KONICA MINOLTA

KONICA MINOLTA, INC.
Technology Report

Vol.19 Jan. 2022 ISSN 1880-7216

Giving Shape to Ideas

KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT Vol.19 Jan. 2022 目次

巻頭言：社会・環境課題をイノベーションで解決し持続的な社会を実現 …… 05
コニカミノルタ株式会社 執行役員 サステナビリティ統括部長　高 橋 壮 模

特集：コニカミノルタが考える５つのマテリアリティを解決するDX技術

データサイエンスを活用した樹脂材料の難燃性解析 ＊ …… 08
中島　陽・中村優太・池田祐子・小嶋　健

資源有効利用の実現に向けた化学強化ガラス検査技術開発 ＊ …… 14
高橋　篤・前澤明弘・伊藤博人・田畑顕一・山本宣人

パルスオキシメーターの開発史とコロナ禍における社会貢献 …… 19
徳丸翔太・舘田典浩・三輪　敦・小野陽一・亀田正信

個に応じた学びを支援する教育機関向けソリューション …… 24
松末育美・則武和輝・滝上睦子・石黒広信

技術論文・技術紹介

【デジタルワークプレイス事業／プロフェッショナルプリント事業】

AccurioPro ColorManager Printによるスキルレス色合わせ技術 …… 30
山口岳志

IQ-501を利用したカール自動補正による印刷オペレーションの自動化技術 …… 34
野田恵介・池田　信・平田大樹・沖津俊太

Consideration of the Counter Charge Traveling Distance on the Charge Transport Equilibrium Mechanism with a Dynamic Procedure ＊ …… 38
Yoshihiro HATTORI

電子写真用光沢センサーの開発 …… 44
浅野　斉・石川明正・高橋昌彦・大木　誠・湯浅崇史

Study on Internal Stress Vibration and Edge Wear of a Cleaning Blade ＊ …… 51
Yoshiki NAKANE・Yu MUKOBAYASHI・Yoshihiro HATTORI

コモンモードシミュレーションを用いたEMC設計のための支配的なノイズ源の特定 ＊ …… 57
辻本隆浩・髙津宏明・野村　毅・五百旗頭健吾・川島　渉・豊田啓孝

Video Encoding with Graph Guided Attention Learning …… 63
Michael STOPA

【ヘルスケア事業】

再撮影判定支援機能「Positioning i」の開発 …… 68
伊藤良平・山村拓也・清水亜麻衣・髙木達也

簡単操作で血管エコー検査を実現するVascular NAVI®の開発 …… 72
占部真樹子・武田義浩・大杉増美・川端章裕・赤羽睦弘

デジタルマンモグラフィー画像を用いた乳房構成解析ソフトウェア（Bda）の紹介 …… 78
南　寛威・甲斐千遥

アミロイドβの非標識蛍光イメージング手法の開発 ＊ …… 83
小野雄樹・岡野誉之

【インダストリー事業】

色・光沢の品質管理／検査や調色システムに適した分光測色計CM-36dGの開発 …… 88
谷中祐太・飯田慎一・川崎貴志・田中宏樹・板倉聡史

顧客対応の高度化に向けた品質保証DX …… 93
森　宏之・豊田美帆・佐々木克司・小板橋海渡

深層学習を活用した自動外観検査技術の開発 …… 97
岡﨑智也・指田岳彦・奥野貴一・舘　高基

意匠性とオンデマンド性を兼ね備えた新コンセプトOLED ＊ …… 103
及川和博・泉　倫生・髙　秀雄・檜山邦雅・北　弘志

ハイスループット実験と機械学習を活用した有機化合物の分光特性予測 ＊ …… 109
蝦名昌徳・小田一磨

【画像IoTプラットフォーム「FORXAI（フォーサイ）」】

コニカミノルタDXの要「FORXAI」と人流マーケティング事業 …… 114
椛島拓夢・矢口　実・小島和浩・正木賢治・柴谷一弘

製造業におけるFORXAI IoT Platformの活用 …… 119
吉澤将則・竹田健太郎・髙橋光一

FORXAI Recognitionの骨格検出アルゴリズムによるMFP組み立て工程改善 …… 124
園山将士・森永雄二郎・矢口　実・里見慎哉

Expediting Konica Minolta's Digital Transformation: AI-enabled Orchestration of Modern Workload and Software-Defined Infrastructure from Edge to Cloud …… 128
Antonio DINA・Mohsen AMIRIBESHELI・Fragkiskos SARDIS

知的財産報告書

知的財産報告書 …… 136

商 標 一 覧 …… 146

執筆者紹介 …… 147

研究開発活動

コニカミノルタの事業概要と支える技術 …… 156

技 術 受 賞 …… 158

発 表 報 文 …… 159

口 頭 発 表 …… 161

KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT Vol.19 Jan. 2022 Contents

Foreword: Realizing a Sustainable Society by Solving Social and Environmental Issues through Innovation ····· 05

Takenori TAKAHASHI Corporate Vice President, General Manager, Corporate Sustainability Operations KONICA MINOLTA, INC.

DX Technologies that Solve Konica Minolta's Five Material Issues

Data Science Approach for Plastic Material Flame Retardancy * ····· 08

Yo NAKAJIMA, Yuta NAKAMURA, Yuko IKEDA, Takeshi KOJIMA

Realization of Sustainable Consumption and Production —Development of the Inspection Technology for Chemically Strengthened Glass— * ····· 14

Atsushi TAKAHASHI, Akihiro MAEZAWA, Hiroto ITO, Kenichi TABATA, Yoshito YAMAMOTO

History of Konica Minolta Pulse Oximeter Development and Social Contributions Under COVID-19 Pandemic ····· 19

Shota TOKUMARU, Norihiro TATEDA, Atsushi MIWA, Youichi ONO, Masanobu KAMEDA

Educational Solutions for Individually Optimized Learning ····· 24

Ikumi MATSUSUE, Kazuki NORITAKE, Chikako TAKIGAMI, Hironobu ISHIGURO

Full Paper & Introductory Paper

【Digital Workplace Business / Professional Print Business】

Technology of Skill-free Color Matching with AccurioPro ColorManager Print ····· 30

Takeshi YAMAGUCHI

Automated Printing Operation Technology with Automatic Curl Correction Using IQ-501 ····· 34

Keisuke NODA, Makoto IKEDA, Daiki HIRATA, Shunta OKITSU

Consideration of the Counter Charge Traveling Distance on the Charge Transport Equilibrium Mechanism with a Dynamic Procedure * ····· 38

Yoshihiro HATTORI

Development of Gloss Sensor for Electrophotography ····· 44

Hitoshi ASANO, Akimasa ISHIKAWA, Masahiko TAKAHASHI, Makoto OOKI, Takafumi YUASA

Study on Internal Stress Vibration and Edge Wear of a Cleaning Blade * ····· 51

Yoshiki NAKANE, Yu MUKOBAYASHI, Yoshihiro HATTORI

Identification of Dominant Noise Sources of Radiated Disturbance for EMC Design Using Common-mode Simulation * ····· 57

Takahiro TSUJIMOTO, Hiroaki TAKATSU, Takeshi NOMURA, Kengo IOKIBE, Wataru KAWASHIMA, Yoshitaka TOYOTA

Video Encoding with Graph Guided Attention Learning ····· 63

Michael STOPA

【Healthcare Business】

Development of Re-shooting Judgment Support System "Positioning i" ····· 68

Ryohei ITO, Takuya YAMAMURA, Amai SHIMIZU, Tatsuya TAKAGI

Development of Vascular NAVI® for "Easy to use" Vascular Ultrasound ····· 72

Makiko URABE, Yoshihiro TAKEDA, Masumi OSUGI, Akihiro KAWABATA, Mutsuhiro AKAHANE

Introduction of Breast Density Assessment (Bda) Software for Digital Mammography Images ····· 78
Hirotake MINAMI, Chiharu KAI

Development of the Label-free Fluorescence Imaging Method of Amyloid β * ····· 83
Yuki ONO, Takayuki OKANO

【Industry Business】

Development of Spectrophotometer CM-36dG Appropriate for Color and Gloss of QC and CCM System ····· 88
Yuta TANINAKA, Shinichi IIDA, Takashi KAWASAKI, Hiroki TANAKA, Satoshi ITAKURA

Digital-Transformation for Quality Assurance as Sophistication of Customer Service ····· 93
Hiroyuki MORI, Miho TOYODA, Katsuji SASAKI, Kaito KOITABASHI

Development of Automated Visual Inspection Technology Using Deep Learning ····· 97
Tomoya OKAZAKI, Takehiko SASHIDA, Kiichi OKUNO, Koki TACHI

New Conceptual OLED Combined with the Designability and the Capability of On-Demand Printing * ····· 103
Kazuhiro OIKAWA, Tomoo IZUMI, Hideo TAKA, Kunimasa HIYAMA, Hiroshi KITA

High-Throughput Measurements and Machine Learning Approach to the Prediction for the Spectral Characteristics of Organic Compounds * ····· 109
Masanori EBINA, Kazuma ODA

【Imaging IoT Platform "FORXAI"】

Konica Minolta DX's Key "FORXAI" and People Traffic Analysis Business ····· 114
Takumu KABASHIMA, Minoru YAGUCHI, Kazuhiro KOJIMA, Kenji MASAKI, Kazuhiro SHIBATANI

Applications of FORXAI IoT Platform for Manufacturing Industry ····· 119
Masanori YOSHIZAWA, Kentaro TAKEDA, Koichi TAKAHASHI

Improvement of MFP Manufacturing Process Using FORXAI Recognition Frame Detection ····· 124
Masashi SONOYAMA, Yuujirou MORINAGA, Minoru YAGUCHI, Shinya SATOMI

Expediting Konica Minolta's Digital Transformation: AI-enabled Orchestration of Modern Workload and Software-Defined Infrastructure from Edge to Cloud ····· 128
Antonio DINA, Mohsen AMIRIBESHELI, Fragkiskos SARDIS

Report on Intellectual Properties ····· 136

List of Trademarks ····· 146

Voices of the Authors ····· 147

R&D Activities

Overview of the Konica Minolta and Its Technologies ····· 156

Awards ····· 158

Publications ····· 159

Presentations ····· 161

社会・環境課題をイノベーションで解決し持続的な社会を実現

Realizing a Sustainable Society by Solving Social and Environmental Issues through Innovation

コニカミノルタ株式会社
執行役員　サステナビリティ統括部長
高橋 壮模　Takenori TAKAHASHI

Corporate Vice President
General Manager, Corporate Sustainability Operations
KONICA MINOLTA, INC.

2015年に国連がSDGsを提唱して以来，早くも6年が過ぎました。近年の新型コロナ感染症の発生により社会・経済は大きな影響を受け混乱が生じ，社会課題の解決が世界中で求められていると認識しています。当社においても，パルスオキシメーターや検温システムなどの提供で少しでも課題解決の一助になればと努めております。

SDGsでは2030年までに達成すべき17の目標が掲げられ世界中で活動が進められています。当社においては，SDGsへの対応，ESG経営は経営戦略そのものであるとの考えのもと，積極的に取り組んでおります。当社の経営ビジョンは2つの言葉から成ります。

(1) お客様の「みたい」を実現することで，グローバル社会から支持され必要とされる会社
(2) 人と社会の持続的な成長に貢献する，足腰のしっかりした進化し続けるイノベーション企業

即ち，当社は常にイノベーションを起こし，社会・環境課題を解決することで成長すると共に，社会から必要とされる会社であることを目指しています。

当社は2030年を見据えた長期ビジョンと，中期経営計画「DX2022」を策定し2020年から活動を始めました。中期経営計画の策定にあたっては，2030年に当社が取り組むべき社会課題を明確にし，バックキャスティングにより中期的に取り組むべき課題を設定しました。SDGsのフレームワークを利用して2030年の社会・環境課題を抽出。それらを当社事業との関わりから重要度を評価し，取り組むべき5つのマテリアリティ（重要課題）を特定しました。これらを踏まえ，当社の目指すべき姿がより一層明確になったと考えています。

❶ 働きがい向上及び企業活性化
❷ 健康で高い生活の質の実現
❸ 社会における安全・安心確保
❹ 気候変動への対応
❺ 有限な資源の有効利用

これらのマテリアリティは，当社が持つ人財，技術などの無形資産を活用し事業を進化させることで大きな社会価値を生み出せる重要課題を示したものです。

さまざまな社会課題が顕在化するなか，解決するためのイノベーションが求められます。当社は，「見える化」により現場で働く人の業務フローを変革し，さらにその先にある社会や人々の豊かな生活に貢献していきます。

「❶ 働きがい向上および企業活性化」では，働き方の多様化が進むなか，場所を問わず生産性を高めクリエイティブな働き方を可能にするソリューションを提供し，生きがいや働きがいと企業の成長を支援していきます。

「❷ 健康で高い生活の質の実現」では，遺伝子検査技術や独自の画像診断解析を用いることで，未病検査プラットフォームの提供や創薬支援に貢献します。

「❸ 社会における安全・安心確保」では，非接触・遠隔で工場やプラントなどの監視や検査を可能にします。異常や危険を予知・予測し事故を未然に防ぎます。

「❹ 気候変動への対応」，「❺ 有限な資源の有効利用」では，当社独自の材料技術や検査技術によりCO_2削減と資源の有効利用に貢献します。また，当社が提供する印刷産業におけるオンデマンド生産により，お客様の生産工程を従来のシステムから変革し生産効率向上を支援します。生産効率を高めることで，お客様のCO_2削減につながり，お客様での資源抑制にも貢献します。

今号のテクノロジーレポートでは，これら5つのマテリアリティを視点とした技術開発や社会課題の解決につながる活動の一部を紹介いたします。

当社では顕在化した社会・環境課題のみならず，潜在的に存在する課題についても研究・開発者が自分事化し，イノベーションを起こし解決に努めております。5つのマテリアリティを基軸とした中期経営計画「DX2022」の達成を目指すことで，「真の社会・環境課題解決企業」へと進化していきます。

特集：コニカミノルタが考える
5つのマテリアリティを解決するDX技術

Special Focus

DX Technologies that Solve
Konica Minolta's Five Material Issues

データサイエンスを活用した樹脂材料の難燃性解析

Data Science Approach for Plastic Material Flame Retardancy

中島　陽＊　中村優太＊＊　池田祐子＊＊　小嶋　健＊
Yo NAKAJIMA　Yuta NAKAMURA　Yuko IKEDA　Takeshi KOJIMA

要旨

樹脂材料での環境貢献を目指してポリプロピレン樹脂をベースとした難燃性複合材料を開発している。ポリプロピレンは製造時のCO_2原単位が小さく，比較的安価で使用量が多いため廃材の有効利用も期待できる。一方で，性能面では課題が多く改質が必要となる。例えば複合機の構造部品として使う場合は機械強度や寸法精度，成形加工性などに加えて難燃性も求められるが，ポリプロピレンは燃えやすく難燃化が大きな課題となる。

従来の難燃処方検討では，UL94垂直燃焼試験で難燃性をランク評価し，ランク判定に用いる燃焼時間やドリップ有無のデータを中心に有効な処方を探索していた。しかし，これらのデータでは難燃効果の評価やメカニズム解析が難しく，難燃ランクと材料処方の詳細な関係を掴みにくいという課題があった。そのため，難燃処方の設計では燃焼試験を繰り返し多くの試行錯誤を要していた。

そこで，新たなアプローチとしてデータサイエンスを活用した燃焼挙動解析を考案した。難燃ランクを決定する複雑な燃焼挙動を中間特性として定量化し，材料処方や難燃ランクとの関係性を解析することで，材料処方から難燃ランクまでを一気通貫で繋げて解釈でき，材料処方の設計を効率化できるものと考えた。

解析はまず燃焼試験を動画撮影して燃焼挙動の特徴量を定義し説明変数とした。次いで難燃ランクへの重要度の高い挙動を決定木による帰納的アプローチにより抽出した。この解析をポリプロピレン系の複合材料に適用した。複数の難燃剤や強化剤を含む複雑な処方だが，解析によってドリップ性と発泡性が難燃化に重要な挙動と推定できた。

解析結果の検証として，ヒンダードアミンと金属水酸化物を用いてドリップ性と発泡性を制御し難燃ランクへの影響を確認したところ仮説を支持する結果となった。今後，この結果を指針に難燃性ポリプロピレン複合材料の性能を向上させていく。

本解析手法は材料種によらずあらゆる難燃処方に適用可能と考えられ，新しい難燃処方の探索や材料処方全体の最適化を効率化できる期待がある。

Abstract

In order to contribute to the environment, we have developed flame-retardant composite materials based on polypropylene, which enable the production with a lower CO_2 emission and a lower cost. On the other hand, it is necessary to modify several performances including flammability to apply to structural parts of our multi-functional peripherals. Since polypropylene is flammable, flammability often emerges as a major issue.

The UL94 vertical flammability test is used to rate the flammability. Conventionally, we searched for effective formulations using the data of burning time and drip occurrence for the rank decision. However, it was difficult to evaluate the flame retardancy effects and analyze the mechanism with these data, and that prevented us from understanding the detailed relation between the flammability rank and the formulation. As a result, it took a lot of time to design the flame-retardant formulation.

Therefore, we introduced a novel approach in which combustion behaviors were analyzed as intermediate properties between the formulation and the flammability rank using data science. We quantified the combustion behaviors so that we could understand the phenomenon and streamline the way of designing the formulation.

First, we created a dataset of combustion behaviors from the video of the flammability tests. Then, the behaviors with high importance were extracted by decision tree, which is one of inductive methods. We applied this method to complex formulations containing polypropylene and flame retardants, etc. The analysis suggested that dripping and foaming were important behaviors for the flammability.

Furthermore, we investigated the effect of dripping and foaming to the rank of flammability, which supported the above hypothesis.

We expect that this method will be able to apply to any other materials and make progress in designing and optimizing the flame-retardant formulations.

＊情報機器開発本部　材料要素技術開発センター　機能材料開発部
＊＊開発統括本部　要素技術開発センター　DS技術開発室

1　はじめに

近年，持続可能な自然環境の重要性が強く認識されており，パリ協定では国際的に温室効果ガスの削減目標を制定するなど各種規制や目標が整備されている。

コニカミノルタでは環境施策としてエコビジョン2050を掲げ，樹脂材料の分野では再生材（リサイクル材）に関する改質技術[1) 2)]や原料精製技術を開発し製品化してきた。重量ベースで73%以上の再生材を含む再生樹脂を複数グレード開発し，当社製品のMFP（Multi-functional Peripherals）の樹脂部品として搭載している。2019年では再生樹脂を約3900t使用し，バージン材を使用した場合と比べてCO_2排出を約6400t抑制した。このように資源の有効利用やCO_2排出量削減を推進している。

さらなる環境問題の取り組みの1つとしてポリプロピレン樹脂に注目した。この樹脂は製造時のCO_2排出量が小さいため環境負荷が小さい。また，比較的安価な樹脂材料であるため多くの部品に搭載し環境価値を拡大できる期待がある。さらに，世界的に生産量が多いため再生材を活用できれば資源の有効利用にもつながる。

しかし，ポリプロピレン樹脂をMFPの構造部品に適用する場合，単体では要求性能が不足することが多く改質技術が必要となる。特に，ポリプロピレンは限界酸素指数が小さく難燃性の改善が難しいことから，難燃性と他の要求性能を両立させることが課題となる。

そこで，本稿ではポリプロピレン樹脂をベースとした複合材料において，難燃処方開発の効率化を可能にする解析手法を確立することを目的に検討した。データサイエンスを活用し燃焼挙動まで踏み込むことで，従来では把握しにくかった難燃性と材料処方の関係性を明らかにできるようにした。

2　ポリプロピレン複合材料の難燃処方設計

2.1　樹脂材料の改質

ポリプロピレン複合材料は，ポリプロピレン樹脂をベースとし，ポリマーやフィラー，低分子化合物の複合化や化学的な変性によって改質して開発される。材料処方の要素である材料種と組成比，製造条件を制御して高性能化を達成する。構造部品に適用する樹脂材料への要求は機械特性や成形加工性，寸法精度，外観特性などに加えて難燃性が求められる場合もある。

2.2　難燃性の指標と目標水準

本稿での難燃性とは，材料のもらい火への耐性のことであり，評価はUnderwriters Laboratories Inc.の定めるUL94規格の垂直燃焼試験（以降V試験）に準じた（Fig. 1）。この方法は，短冊状の試験片を垂直に固定し，下端を一定条件で10sec接炎し，接炎終了から消火までの時間である燃焼時間やドリップ有無などを記録する。ドリップとは試験片下部が破断し滴下することをいう。この操作を1つの試験片につき2回繰り返し，合計5本の試験片に実施して材料の難燃性をランク付けする（Table 1）。MFP製品の樹脂部品には様々な難燃ランクの要求があるが，例えば多くの内装部品はV-2ランクという難燃性を要求される。本稿では内装部品を対象とし，難燃ランクとしてV-2を目標として検討する。

V-2ランクとは，各試験片の燃焼時間が30sec以下かつ総燃焼時間が250sec以下であり，試験片下に置いた綿のドリップによる着火が許容される難燃ランクである。V-2ランクを満たす樹脂は一般に難燃樹脂とみなされる。また，本稿ではV-2，V-1，V-0いずれの基準も満たさない場合をnot-Vと表記する。

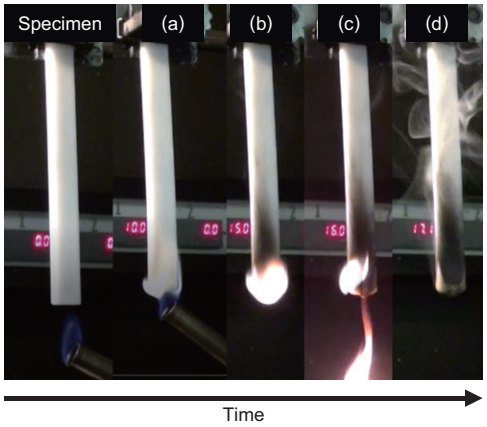


Fig. 1 UL 94 vertical flammability test, (a) flame application, (b) burning, (c) burning and dripping, (d) flame extinction.

Table 1 Criteria of UL 94 vertical flammability.

Test criteria	V-0	V-1	V-2
Burning time of each individual specimen (sec) (after first and second flame applications)	≤10	≤30	≤30
Total burning time (sec) (10 flame applications)	≤50	≤250	≤250
Burning and afterglow times after second flame application (sec)	≤30	≤60	≤60
Dripping of burning specimens (ignition of cotton batting)	no	no	yes
Combustion up to holding clamp (specimens completely burned)	no	no	no

2.3　V試験による難燃処方設計の課題

従来では，V試験のランク判定に用いるデータである燃焼時間やドリップの有無を中心に有効な難燃処方を探索していた。しかし，これらのデータは難燃性の品質評価には有用だが難燃ランクと材料処方の関係を掴みにくいという課題があった。その結果，材料処方設計での試行錯誤が増え開発に時間を要していた。

この原因を2点考えている。1点目は燃焼現象の複雑さが挙げられる。燃焼とは炎などの熱源から伝熱された物体の有機物が熱分解し，熱分解で生じた可燃性ガスが気相へ拡散して燃焼反応が起こり，燃焼反応で生じた放射熱が物体に伝熱する，というサイクルが継続する現象であり（Fig. 2），消火にはいずれかのプロセスを遮断する必要がある。通常は複数のプロセスを抑制して消火さ

せるため，ランク判定に使うデータからでは実際にどのメカニズムが有効だったのか見極めることが難しい。2点目は燃焼時間から難燃処方の効果を評価しにくいことが挙げられる。燃焼時間はすぐに消火して短い時間となるか，燃え尽きるまで継続して長い時間となるかの極端な値をとりやすく，連続量であるもののふるまいは2値の質的変数に近い。そのため，一定以上の難燃化効果がある場合でしか燃焼時間の改善を検知できず，有効な手段を見落とす懸念がある。

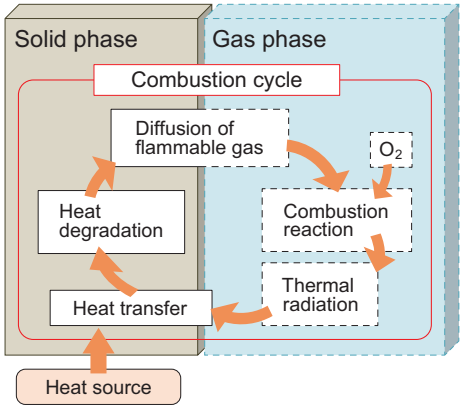


Fig. 2 Combustion cycle.

このようにV試験のランク判定に用いるデータの解析では材料処方へフィードバックしにくいため，本稿では新たにデータサイエンスを活用した燃焼挙動の解析を検討した。

3 燃焼挙動の解析

3.1 燃焼挙動解析の導入

新たな解析手法としてデータサイエンスによる燃焼挙動の解析を導入した。難燃ランクを決定する複雑な燃焼挙動を中間特性として定量化し，材料処方や難燃ランクとの関係を解析することで，材料処方から難燃ランクまで一気通貫で繋がる処方設計ができるものと考えた。

3.2 サンプル作成

ポリプロピレン樹脂をベースとした複合樹脂において，HYPERKTX-30（神戸製鋼所）で混練，Roboshot S-2000i 50Bp（FANUC）でUL94規格に準拠した3.2mm厚の試験片を成形し，合計18水準のサンプルを作成した。添加剤として，ポリリン酸アンモニウム，リン酸エステル，ヒンダードアミン，金属水酸化物，補強フィラー，結晶核剤などを併用した。この系では複数の難燃効果（ラジカルトラップ，吸熱，酸素希釈，可塑化）を併用することで効率的な難燃化を狙っており，また機械強度も同時に改質しているため複雑な処方になっている。

3.3 V試験と燃焼挙動のデータセット作成

作成した18水準の試験片に対してV試験を実施した。この際，V試験の様子を動画撮影し燃焼挙動に関係する特徴量を説明変数としてデータセットを作成した（Fig. 3）。Table 2に目的変数である難燃ランクと共に，燃焼に関わる特徴量を示す。

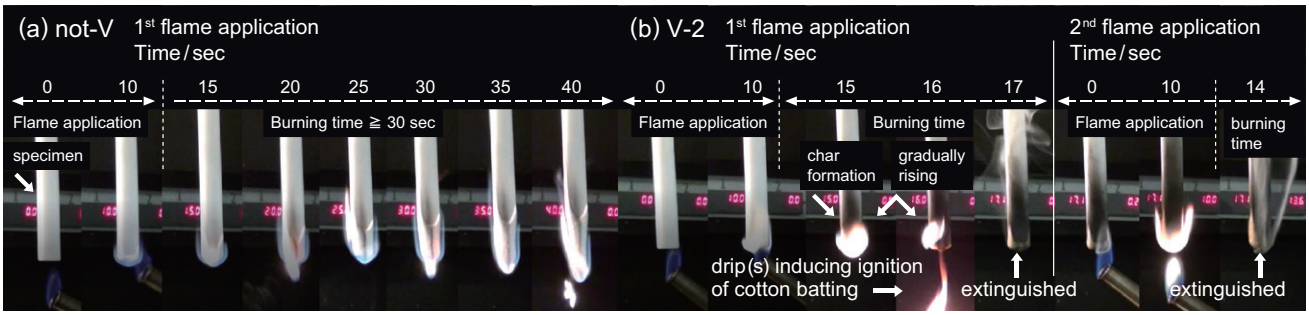


Fig. 3 Examples of vertical flammability test and features, (a) not-V, (b) V-2.

Table 2 Datasets of combustion features.

	Class	Feature									
Sample	Flam-mability	Time to ignition (sec)	Time to first dripping (sec)	Drip times	Flame-spread way	Flame color	Flame size from bottom	Char formation	Drip viscosity	Drip flame color	Foam amount
1	not-V 0	5	19	22	gradually rising 0	orange 0	>70% 0	yes 0	low 0	white 0	no 0
2	not-V 0	6	23	10	gradually rising 0	orange 0	>70% 0	yes 0	low 0	white 0	no 0
3	not-V 0	5	36	4	gradually rising 0	orange 0	>70% 0	yes 0	high 1	white 0	no 0
4	not-V 0	7	39	1	gradually rising 0	orange 0	>70% 0	yes 0	high 1	orange 1	no 0
5	V-2 1	10	13	1	gradually rising 0	orange and blue 1	<40% 1	no 1	low 0	orange 1	small 1
6	V-2 1	10	15	1	gradually rising 0	orange and blue 1	<40% 1	no 1	low 0	orange 1	small 1
7	not-V 0	6	15	30	gradually rising 0	orange and blue 1	40-70% 2	no 1	low 0	orange 1	large 2
8	V-2 1	9	14	1	gradually rising 0	orange and blue 1	<40% 1	no 1	low 0	white 0	small 1
9	V-2 1	7	30	1	gradually rising 0	orange 0	>70% 0	yes 0	high 1	white 0	small 1
10	V-2 1	9	15	1	gradually rising 0	orange 0	40-70% 2	yes 0	low 0	white 0	small 1
11	V-2 1	6	22	1	gradually rising 0	orange 0	40-70% 2	yes 0	high 1	white 0	large 2
12	V-2 1	4	27	1	gradually rising 0	orange 0	40-70% 2	yes 0	high 1	white 0	large 2
13	V-2 1	8	14	2	gradually rising 0	orange and blue 1	<40% 1	no 1	low 0	orange 1	small 1
14	not-V 0	7	12	50	gradually rising 0	orange and blue 1	40-70% 2	yes 0	low 0	orange 1	no 0
15	not-V 0	8	11	50	gradually rising 0	orange and blue 1	>70% 0	no 1	low 0	white 0	large 2
16	not-V 0	6	40	1	wrapping 1	orange 0	>70% 0	yes 0	high 1	white 0	no 0
17	not-V 0	6	42	11	wrapping 1	orange and blue 1	>70% 0	yes 0	high 1	white 0	small 1
18	not-V 0	6	14	50	wrapping 1	orange and blue 1	>70% 0	yes 0	low 0	white 0	no 0

※All features were observed at first flame application. ※Integers adjacent to categorical variables represent the levels used for the decision tree.

連続値で表現できない燃焼時の炎の色や大きさ，ドリップ粘度，発泡量等は，その特徴を目視で抽出して質的変数とした。抽出した特徴量から，変動がないものや欠損値を処理したデータセットを作成した。

3.4　決定木による燃焼挙動解析

前節で作成したデータセットに対して決定木による解析を行った。解析にはPython3の機械学習ライブラリであるscikit-learnを使用した。決定木とは目的変数に対して特徴量を1つずつ順に条件分岐させて分類または回帰する手法であり，解釈が容易である。

本稿では，難燃ランクの分類にCART（Classification and regression trees）アルゴリズムを適用した。まず，データセットを分岐して新たなサブデータセットを作り，これらをノードと呼ぶ。あるノードkにおける分類ラベルの混ざり具合を式（1）のジニ不純度G_kによって評価した。

$$G_k = 1 - \sum_{i}^{C} p_{ik}^2 \qquad (1)$$

ここで，分類ラベルをi＝1,2,..,Cとし，p_{ik}はノードk中のラベルiのデータ数の割合である。ノードkからの分岐はジニ不純度の減少が最大になる条件を選んだ。続いて，各分岐後のノードに対して同様に分岐を探した。これを繰り返して得られるノードと分岐条件の集合が決定木モデルとなる。

また，式（2）の特徴量の重要度を算出した。

$$I_F = \frac{\sum_{f}^{f'} \Delta G_f}{\sum_{k}^{k'} \Delta G_k} \qquad (2)$$

ここで，ノードをk＝1,2,..,k'とし，その中で特徴量Fによって分岐されたノードをf(≤f')とする。また，ノードkを分岐したノードをk_1，k_2，それぞれのデータ数をn_k，n_{k1}，n_{k2}，初期のデータ数をNとして，$\Delta G_k = (n_k/N)\,G_k - (n_{k1}/N)\,G_{k1} - (n_{k2}/N)\,G_{k2}$から，特徴量Fの重要度$I_F$を求めた。重要度は決定木全体のジニ不純度の減少に対するある特徴量の寄与を表す。

解析結果をFig. 4に示す。この結果では，接炎1回目のドリップ回数，接炎1回目の最初のドリップまでの時間の重要度が高く（Fig. 5），この2つで完全に分類された。

次に上記2つの特徴量を除いたデータに再度決定木を適用した（Fig. 6）。この場合は，発泡量の重要度が高く（Fig. 7），他の特徴量は重要度が小さく完全に分類するために1回目よりも階層の多い木構造となった。発泡量は1回目の決定木では現れなかったが，難燃ランク分類に有益な情報を持つと考えられる。

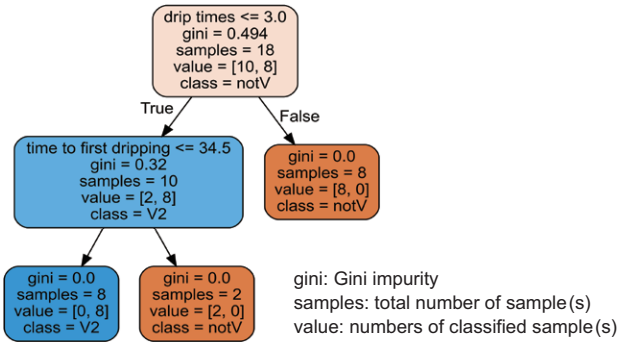


Fig. 4 The 1st decision tree, each square represents a node.

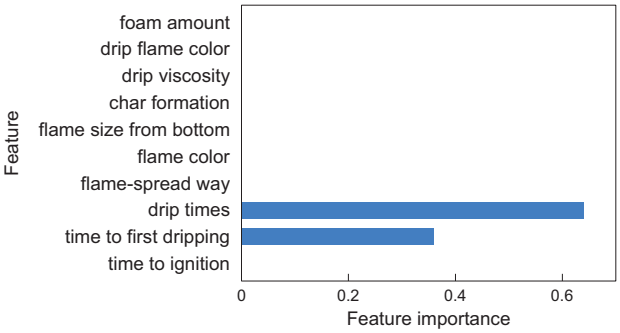


Fig. 5 Feature importances of the 1st decision tree.

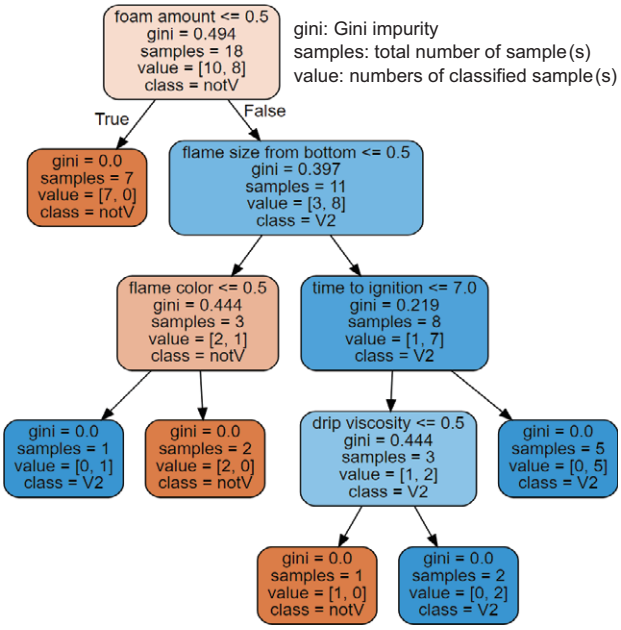


Fig. 6 The 2nd decision tree.

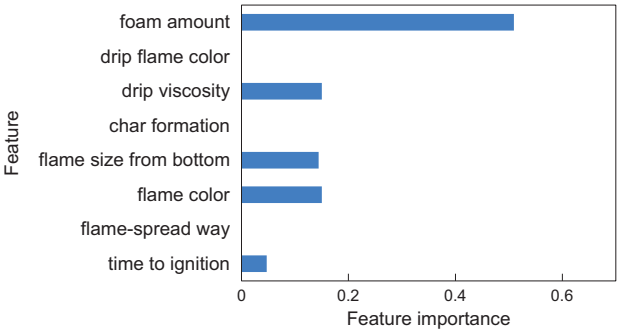


Fig. 7 Feature importances of the 2nd decision tree.

以上から，難燃ランクと関連の大きな特徴量として，接炎1回目のドリップ回数，接炎1回目の最初のドリップまでの時間，発泡量，を抽出した。傾向としては，接炎1回目のドリップ回数が少ない，接炎1回目の最初のドリップまでの時間が短い，発泡が発生する，場合にV-2に分類されやすい。燃焼時の炎の特徴や炭化層形成は重要度が小さかった。この結果から，この系では難燃化にドリップ性と発泡性が重要であると考えた。

3.5　燃焼挙動の特徴量と材料処方の関係

燃焼挙動解析から，この系での難燃化に重要な挙動としてドリップ性と発泡性が抽出された。材料物性から考えるとドリップ性は燃焼時の粘度が支配的であり，温度上昇によるポリプロピレン分子鎖の運動性増加や熱分解，ヒンダードアミンによるポリプロピレン分解の促進[3]，低分子量であるリン酸エステルによる可塑化，フィラーによる高粘度化の効果が複合した結果だと考えられる。また，発泡性は金属水酸化物の熱分解反応による水分子の生成に起因すると考えられる。

そこで，粘度と金属水酸化物の熱分解反応が難燃ランクへ及ぼす影響を調べ，燃焼挙動の解析結果の妥当性を検証した。

3.6　燃焼挙動解析結果の検証

燃焼時の粘度と金属水酸化物の熱分解の難燃ランクへの影響を検証した。検証用サンプルとしてポリプロピレン／ヒンダードアミン3種（Fig. 8）／水酸化アルミニウム有無の複合系を用い，Rheomix OS（HAAKE）で混練，シート巻取装置（プラ技研）で1.6mm厚のシートを成形し，シートから切り出して作成した試験片にV試験を実施した。

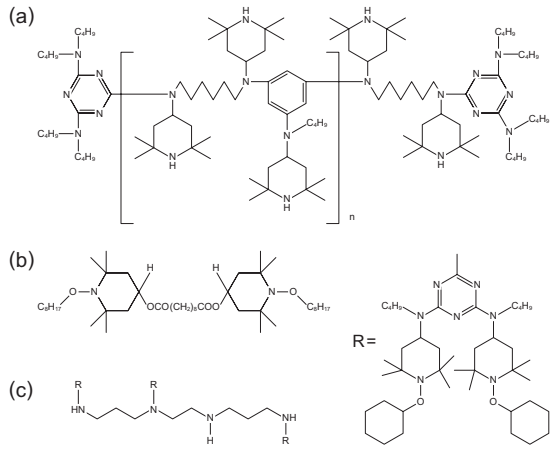


Fig. 8 Chemical structures of hindered amine (HA), (a) HA-A, (b) HA-B, (c) HA-C.

並行して，粘度をMFR（melt mass-flow rate）によって測定した。MFRとは，材料を溶融する温度でシリンダーに保持し，一定荷重でダイを通した時に吐出される重量を測定する手法であり，MFRの値が大きいほどその温度での粘度が小さいといえる。

先述のサンプルのうち水酸化アルミニウムを含まないものを対象とし，成形したシートをペレット状に裁断して測定した。ダイの内径2.0mm，シリンダー温度280，300℃，前処理として加熱されたシリンダーにサンプルを5min保持してから荷重2.16kgで測定した。ヒンダードアミンの化学構造の違いからポリプロピレンの分解反応速度が異なり，従って粘度に差が生じることを予想した。これをMFRで評価することで燃焼時の粘度の違いを推定し，V試験結果との関係を調べた。

3.7　検証結果と考察

V試験及びMFR測定の結果をTable 3およびFig. 9に示す。ヒンダードアミン種で異なるMFRを示した。280°Cと300°CでのMFRを比較すると，ヒンダードアミンCを用いたサンプルのみ著しく粘度が低下していることがわかる。さらに，V試験結果ではMFRの大きいヒンダードアミンCと水酸化アルミニウムを併用したサンプルのみV-2となり，他は全てnot-Vとなった。

Table 3 Formulation of test samples and V test results.

Polypropylene (wt%)	Hindered amine (wt%)	Hindered amine type	Aluminum hydroxide (wt%)	Flammability
100	0	-	0	not-V
99	1	A	0	not-V
99	1	B	0	not-V
99	1	C	0	not-V
75	0	-	25	not-V
75	1	A	24	not-V
75	1	B	24	not-V
75	1	C	24	V-2

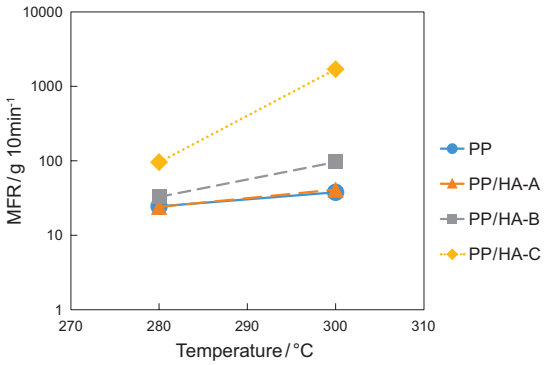


Fig. 9 MFR plotted against temperature, polypropylene (PP) / hindered amine (HA)-A, B, C.

MFRとV試験結果を合わせると，燃焼時に低粘度化し，かつ金属水酸化物の熱分解も発生すると難燃化しやすいことがわかる。従って，燃焼挙動解析で抽出されたドリップ性と発泡性がV-2ランクに重要であることが実験的にも支持された。

今回の解析では，燃焼挙動を定量化し重要な特徴量を把握することで，材料物性（粘度，金属水酸化物の分解反応），燃焼挙動（ドリップ性，発泡性），難燃ランクの関係を紐づけることができた。この解析結果の応用として，例えば低粘度化に注目した新しい難燃化処方の探索

が考えられる。また，難燃性以外の性能を改質する際に粘度を考慮することで難燃性と両立させるといった全体最適化の指針にも利用できる。このように，燃焼現象を分解して難燃ランクに重要な燃焼挙動を抽出し，その燃焼挙動に支配的な材料物性に注目することで材料処方を効率的に設計できるようになったといえる。

4　結論・まとめ

ポリプロピレンベース複合材料の難燃処方設計において，V試験での燃焼挙動の動画から特徴量を定義し決定木解析を行った。その結果，難燃化に重要な挙動としてドリップ性と発泡性が抽出された。この検証として，ポリプロピレン／ヒンダードアミン／水酸化アルミニウム系のMFR測定およびV試験を実施したところ解析結果の妥当性を支持した。このように，従来の演繹的な解析では把握しにくかった難燃ランクと材料処方の関係について，中間特性である燃焼挙動に着目し，データサイエンスを活用して帰納的に解析することで理解を深めることができた。また，本解析方法はポリプロピレンに限らずあらゆる材料処方に適用できる可能性があり，新たな知見や複合材料の最適化につながり，大幅な開発効率化を達成できる期待がある。本稿での結果や手法を使って難燃性複合材の改質技術を発展させ，環境貢献をはじめとした様々な価値を提供していく。

5　今後の展望

本稿では中間特性として燃焼挙動を燃焼動画から目視で抽出したが，燃焼動画から自動で特徴量を抽出するシステムの導入や，熱物性等の材料物性も特徴量に加えることが考えられる。このように難燃性に関連したデータセットをより拡充することで，他の機械学習モデル活用の幅も広がり，材料処方からの難燃性予測にもつながっていくと期待している。

●参考文献

1) 齊田 靖治，間簑 雅，土居 厚，鵜飼 晃生，江尻 綾美，Konica Minolta Tech. Rep., vol. 10, 61-65 (2013)
2) 加茂 徹監修，プラスチックリサイクルの技術開発とその取り組み，規制・施策動向，将来展望，74–84 (2021)
3) R. Srinivasan, Bruno Rotzinger, Tadashi Kagawa, マテリアルライフ学会誌，14 [4] 178–180 (Oct.2002)

資源有効利用の実現に向けた化学強化ガラス検査技術開発

Realization of Sustainable Consumption and Production

— Development of the Inspection Technology for Chemically Strengthened Glass —

高橋　篤＊　前澤明弘＊　伊藤博人＊＊　田畑顕一＊＊　山本宣人＊＊＊
Atsushi TAKAHASHI　Akihiro MAEZAWA　Hiroto ITO　Kenichi TABATA　Yoshito YAMAMOTO

要旨

スマートフォンやタブレットPCなどの電子機器のディスプレイを保護するカバーガラスとして，化学強化ガラスが用いられている。化学強化ガラスはイオン交換法により強度を高められたガラスであり，適切な化学強化処理が施されると，優れた落下耐性や耐擦傷性が得られる。

しかしながら，スマートフォン等のカバーガラスに導入される化学強化ガラスは，製造工程に由来した品質ばらつきが発生しやすく，化学強化処理が不十分であった場合，製品として使用される際にガラスが割れてしまうリスクが高くなる。スマートフォン等のカバーガラスが破損した場合は，ディスプレイモジュールの交換や，スマートフォンそのものを廃棄し新品に交換する必要があり，利用者にとっての不便となるのみならず，限りある資源の有効利用の観点からも好ましくない。

カバーガラスの製造工程において，化学強化処理された状態を，非破壊で全数検査できるようになると，製品の出荷品質が高まり，製品使用時にガラスが割れてしまうリスクを低下させることが期待される。生産数量が非常に大きい製造現場において，簡易に，短時間で，全数検査する事を目的とし，紫外線，可視光線，X線等を用いた光学的な手法での検査方法の実現可能性を検討した。

カバーガラスとして一般的に用いられるアルミノシリケートガラスをモデルに検討を実施したところ，深紫外線やX線の照射によりガラスが発光する様子が観察され，その発光スペクトルが化学強化処理の前後で変化する事を発見した。

今後，製造現場における化学強化処理ガラスの新たな評価手法として実現する事で，カバーガラスに関わるサプライチェーン全体において，サステナブルな資源利用の実現に向けた貢献が期待される。

Abstract

Chemically strengthened glass is used as a cover glass for protecting the display of electronic equipment such as a smartphone and a tablet PC. Chemically strengthened glass is glass with enhanced strength by ion exchange and has excellent drop resistance and scratch resistance. However, a chemically strengthened glass tends to cause quality variation derived from a manufacturing process, and insufficiently chemically strengthened glass is broken easily.

If a cover glass is broken, it is necessary to replace the display module or to dispose of the smartphone itself and replace it with a new one. It is inconvenient for the user and is not preferable from the viewpoint of effective use of the resources. In the manufacturing process of the cover glass, if we can inspect the condition of chemical strengthening treatment by a non-destructive method, enhancing the quality and reducing the broken risk can be expected.

The feasibility of the inspection method by the optical technique using ultraviolet ray, visible ray, X-ray, etc. was examined, aiming at the whole number inspection in a short time in the manufacturing field of the cover glass in which the production quantity is very large. When aluminosilicate glass, which is commonly used as a cover glass, was examined in a model, it was observed that the glass emits light by irradiation with deep ultraviolet rays or X-rays. And, we have discovered that the emission spectrum changes before and after the chemical strengthening treatment. In the future, by realizing a new evaluation method of chemically strengthened glass in the manufacturing process, the contribution towards the realization of sustainable resource utilization is expected in the whole supply chain related to cover glass.

＊サステナビリティ統括部　企画部　技術グループ
＊＊開発統括本部　要素技術開発センター　DS技術開発室
＊＊＊ヘルスケア事業本部　ヘルスケア事業部　モダリティ事業統括部

1　はじめに

スマートフォンやタブレットPCなどの電子機器のディスプレイを保護するカバーガラスとして，化学強化ガラスが用いられている。化学強化ガラスは，イオン交換によりガラスの表面に圧縮応力層を形成する事で，強度が高められたガラスである。イオン交換においては，ガラス表面付近に存在する，LiイオンやNaイオンを，より大きなアルカリイオンであるKイオンと置換させることで，圧縮応力を発生させ，ガラスの強度を高められることが知られている[1)]。

ガラスに導入されるアルカリイオン（Kイオン）の侵入深さ，及び，その量は，カバーガラスの強度を決定する重要な因子であるが，その製造プロセスに起因するばらつきが大きい。同一のタイプのスマートフォンについて，化学強化処理により導入されたKイオンの濃度分布をFig. 1 に示す。同機種であるにもかかわらず，化学強化層の分布状態が異なっている。

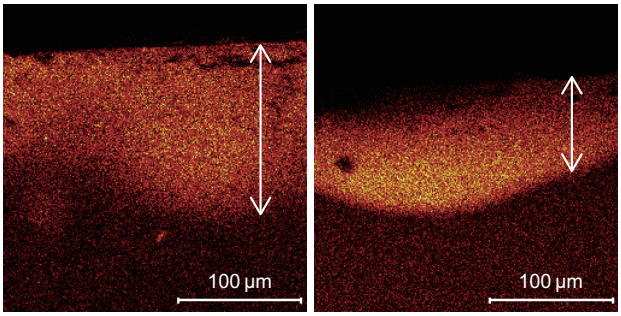


Fig. 1 K ion distribution of smartphone cover glass. Each glass is removed by the same type of smartphone and analyzed by TOF-SIMS. Allows show the thickness of the K ion distribution.

スマートフォン用カバーガラスの製造プロセスの一例をFig. 2 に示す。化学強化処理が行われたのち，研磨加工が実施される。化学強化処理における，イオン導入量のばらつきに加えて，その後の研磨加工のプロセスでの加工量のばらつきにより，同じ製品においても，化学強化層の侵入深さや濃度にばらつきが生じやすい。

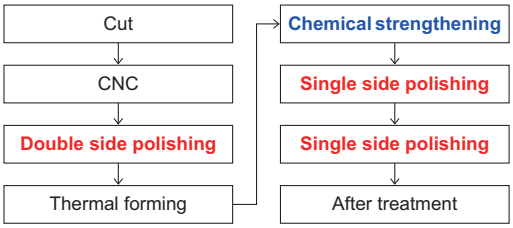


Fig. 2 An example of manufacturing process for the 3-dimensional smartphone cover glass.

化学強化層の導入が不十分なカバーガラスは，製品に組付けられて出荷されたのち，割れてしまうリスクが高い。スマートフォンのカバーガラスが破損した場合，ディスプレイモジュールの交換や，スマートフォンそのものを廃棄し，新しいものと交換する必要が生じるため，利用者にとっての不便となるだけではなく，限りある資源の有効利用の観点からも好ましくない。

2　化学強化層の評価における課題

製造されたカバーガラスの全数検査を実施し，化学強化層の状態を評価する事ができれば，出荷品質が改善し，製品出荷後の使用時において，ガラスが割れてしまうリスクを下げることが期待できる。しかしながら，スマートフォン用のカバーガラスを例にとると，1工場での年間生産数が数千万枚，1日当たりに換算すると数十万枚に及ぶため全数検査は検査負荷が非常に大きい。簡易に，短時間で評価が実施できる事は重要なポイントとなる。

ガラス中のアルカリイオンの組成分布を評価する手法として，例えば，TOF-SIMSを用いる手法があげられる。Fig. 1 に示したように，ガラスに含まれるアルカリイオンの分布を評価する事ができるが，微小領域の破壊的評価手法であるため製品の全数検査には使えない。

非破壊検査の例としては，顕微ラマン分光法を用いた評価手法がある[2)]。化学強化処理によって生じた残留圧縮応力を非破壊で評価することが可能であるが，計測領域は微細であり，また計測に時間がかかる難点がある。

光学的な評価方法，例えば，光の吸収特性，あるいは発光特性から，アルカリイオンの存在状態を捉えることができると，全数検査の実現が期待できる。ガラスの光学的な特性については石英等などで，その吸収，及び発光特性について多くの研究がなされている[3)4)5)]。一方で，カバーガラスの様にケイ素以外の成分を多量に含む系における検討は少ない。化学強化処理の前後における，その光吸収特性および発光特性を調査し，光学的な検査手法の実現可能性についての検討を行った。

3　実験方法

3.1　実験材料の準備

GORILLA® GLASS 2（板厚1.1 mm）をモデルガラスとして検討を実施した。化学強化処理を施されたガラスは，400℃で溶融した硝酸カリウム溶融塩にガラスを6時間浸漬する事で作製した。

3.2　評価方法

3.2.1　ガラス成分の評価

ガラスの構成成分については，WDX（Rigaku社製ZSX PrimusIV）にて分析を実施し，特に含有アルカリイオンの組成分布はTOF-SIMS（アルバック・ファイ社製TRIF-V nano TOF）を用いて分析した。オリジナルのガラス材料及び，化学強化処理されたガラス材料をそれぞれ切断し，ガラス表面から内部方向におけるアルカリイオンの分布について評価した。

3.2.2　紫外可視近赤外領域の光透過・発光特性評価

ガラスの紫外から近赤外領域における光透過特性について，紫外可視赤外分光光度計（日本分光社製V-670）を用いて評価を行った。発光特性については蛍光分光光度計（日本分光社製FP-8600）にて評価を行った。

3.2.3　X線の透過特性評価

ガラスのX線透過特性について，X線源としてキヤノン電子管デバイス製DRX-3724HD管球を用い，管電圧を40，70，120kV，管電流を100mAとして，X線を照射した。透過したX線のエネルギーはunforce Raysafe製Xi線量計を用いて計測し，空気に対する透過エネルギーを1として，ガラスをセットした場合の透過率を評価した。

3.2.4　X線励起蛍光スペクトル

ガラスに対してX線を照射した際の紫外から可視における発光特性について以下の条件で測定を実施した。X線光源としてキヤノン電子管デバイス製DRX-3724HD管球を用い，管電圧を120kV，管電流を100mA，照射時間を0.64秒とした。X線照射によるガラスからの発光はファイバマルチチャンネル分光器（オーシャンオプティクス社製USB2000+）に，光ファイバーケーブル（オーシャンオプティクス社製QP1000-2-UV/VIS）を接続して計測を実施した。

4　評価結果

4.1　GORILLA® GLASS 2の構成成分

WDXにより評価したガラスの構成成分比をTable 1に示す。アルミノシリケートガラスを主成分として，その他成分としてはNa, Mg, Ca, Snといった成分が含まれる。

Table 1 Chemical composition of GORILLA® GLASS 2.

Composition	Content (mass %)
Na2O	12.5
MgO	1.5
Al2O3	21.0
SiO2	64.4
CaO	0.5
SnO2	0.1

4.2　化学強化処理されたガラスのアルカリイオン分布

アルカリ金属イオン（Li，Na，K）の組成分布をTOF-SIMSにて測定した結果をFig. 3に示す。化学強化処理をされていないガラスでは，Kイオンが検出されていない。加えて，ガラスの表面近傍ではNaイオンの含有量が低下している。化学強化処理が施されたガラスでは，Kイオンがガラス表面近傍の約50μmに存在する事に加えて，元のガラスに含まれるNaイオンについても，表面近傍に拡散している様子が見て取れる。

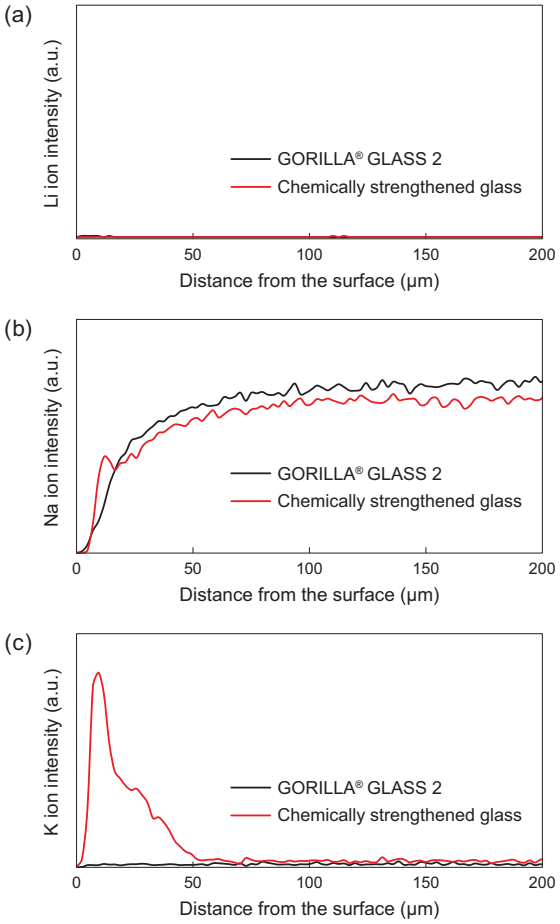


Fig. 3 Li, Na and K ion distribution.
(a) Li ion distribution
(b) Na ion distribution
(c) K ion distribution

4.3　紫外可視近赤外透過スペクトル

化学強化処理の有無による，紫外可視透過スペクトルの比較結果をFig. 4に示す。GORILLA® GLASS 2は，波長300nm未満の紫外線を吸収する特性を有しているが，化学強化処理の有無による紫外可視近赤外吸収スペクトルの変化は確認されなかった。

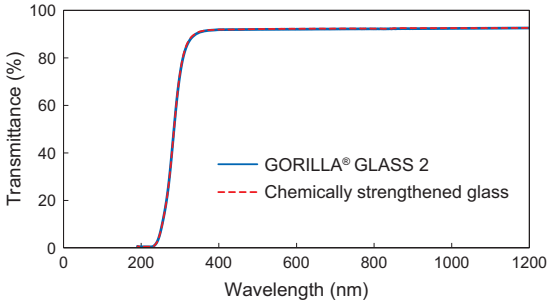


Fig. 4 UV –visible- near infrared absorption spectra of the glasses.

4.4　紫外可視蛍光スペクトル

紫外可視蛍光スペクトルの測定結果をFig. 5に示す。GORILLA® GLASS 2及びその化学強化処理品は，深紫外線にあたる200nmから300nmの紫外光により励起され，300nmから700nmの紫外光から可視光の領域で蛍光を

発する。化学強化処理の前後での蛍光スペクトルの変化を比較すると，化学強化処理されたガラスでは，励起波長約220 nmによる350 nm付近の蛍光波長の発光が増強されている様子が観察された。

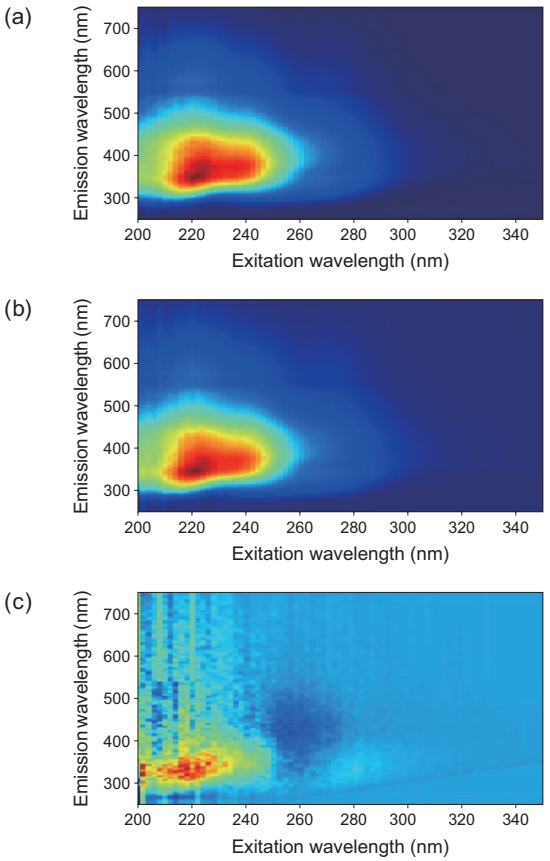


Fig. 5 Fluorescence spectrum of GORILLA® GLASS 2.
(a) GORILLA® GLASS 2
(b) Chemically strengthened GORILLA® GLASS 2
(c) Difference data (b-a)
Color shows intensity of the luminescence.
Red: Strong, Yellow: medium, Blue: weak

4. 5　X線透過特性評価

X線透過特性の測定結果をFig. 6 に示す。照射したX線は，そのエネルギーの一部がガラスに吸収されているが，化学強化処理の有無により，エネルギー吸収量が変化する様子は見られなかった。

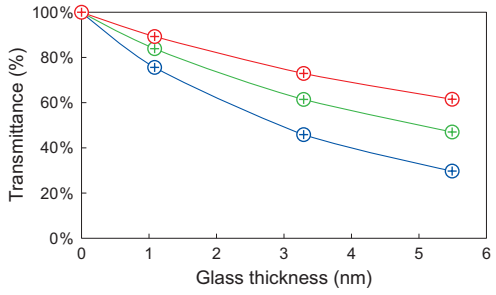


Fig. 6 X-ray Transmittance property.
Blue 40 kV, Green 70 kV, Red 120 kV
＋: GORILLA® GLASS 2
○: Chemically strengthened GORILLA® GLASS 2

4. 6　X線励起蛍光スペクトル評価

X線励起蛍光スペクトルの測定結果をFig. 7 に示す。X線の照射により，紫外線領域（200–450 nm）に蛍光が発生した。また，化学強化の有無により，発光のスペクトルが変化している。

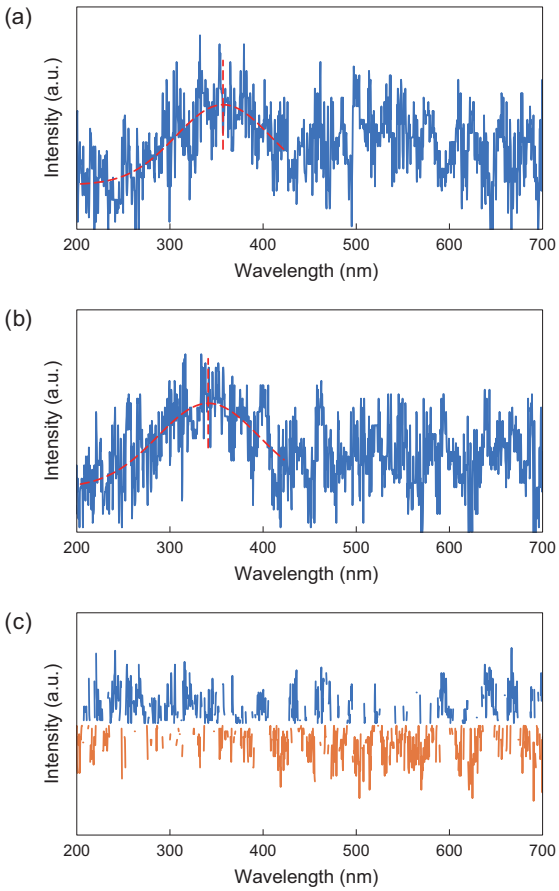


Fig. 7 X – ray induced fluorescence spectrum.
(a) GORILLA® GLASS 2
(b) Chemically strengthened GORILLA® GLASS 2
(c) Difference between (b) and (a)
Blue bar: (b)–(a)≥0, Orange bar: (b)–(a)<0

化学強化前のガラスでは，発光スペクトルが最大となる波長が355 nm付近であるのに対して，化学強化後のガラスでは，その波長が340 nm付近にあり，蛍光のスペクトルが，短波長側に15 nmほどシフトしている事が確認された。また，化学強化処理されたガラスでは，350 nm未満の波長領域で発光強度が高まっている。

5　考察

GORILLA® GLASS 2をモデルガラスとして，化学強化処理の前後でのガラスの構成成分の変化，及びX線，紫外線，可視光線の光吸収特性，発光特性を評価した結果，化学強化処理の実施により，ガラスの表面近傍におけるアルカリ金属イオンの組成分布が変化したガラスは，紫外線及びX線の照射による発光スペクトルが化学強化の前後で変化する様子が見られた。

ガラスの構成成分分析結果，及び，シリカやアルミナ，その他ガラスに関する構造欠陥と，発光特性に関する報告[3)4)5)6)]から，今回のGORILLA® GLASS 2における発光の由来を考えると，ガラス中の酸化ケイ素構造中の欠陥構造（酸素欠乏型欠陥：ODC，酸素過剰型欠陥：NBOHC），酸化アルミニウム構造中の欠陥（F center，F+ center），ガラス中に含まれる金属イオン（Sn2+，Sn4+）等に由来する発光スペクトルが複合的に変化した結果，今回の測定で見られた，化学強化処理前後での発光スペクトルの差異が生じていると考えらえる。

また，ガラス以外の固体酸化物の例をとると，Liイオンを添加した酸化マグネシウムでは，Liイオンの添加により，酸化マグネシウムの発光中心（F center，F+ center）に由来する蛍光スペクトルが変化する事が報告されており[7)]，今回のGORILLA® GLASS 2の化学強化処理前後における発光スペクトルの変化においても，アルカリイオンのガラス中での存在状態の変化が，ガラス内の発光中心に影響を及ぼした結果と推察される。

6　まとめ

スマートフォンカバーガラスに用いられる化学強化ガラスを題材として，光学的な手法を用いたアルカリイオン存在状態の可視化を検討した結果，化学強化処理の前後で，深紫外線またはX線の照射により蛍光スペクトルの変化が確認され，光学的検査手法の確立に向けた足掛かりが得られたと考えられる。一方で，発光中心が固体酸化物中のネットワーク構造の欠陥に由来するものであるならば，ガラスの組成の違いや熱処理等の条件によってもその発光特性が変化する可能性があり，その発光メカニズムをより明確に解明していくことは，GORILLA® GLASS 2以外のスマートフォン用カバーガラスへの適用可能性を検証するのみならず，電池等に使用される固体酸化物中のイオンの移動状態を簡易に非破壊で評価できる可能性からも有用と考えられる。引き続き検証を進めていきたい。

●参考文献

1) 山本 哲，吉田 宣史，NEW GLASS Vol.23 No. 3 32–38 (2008)
2) Nobuyuki Terakado et al. COMMUNICATIONS PHYSICS Vol. 3 (2020)
3) Linards Skuja, Journal of Non-Crystalline Solids 239 16–48 (1998)
4) Shinji NAGATA et al. 2.4 J. Plasma Fusion Res. Vol. 90, No.1 55–58 (2014)
5) M. Ghamnia, C. Jardin, M. Bouslama, J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena 133 55–63 (2003)
6) Tomoko AKAI, NEW GLASS Vol.22 No. 4 54–59 (2007)
7) Haruka SOMA, Takashi UCHINO, J. Phys. Chem. C 121, 3, 1884–1892 (2017)

パルスオキシメーターの開発史と コロナ禍における社会貢献

History of Konica Minolta Pulse Oximeter Development and Social Contributions Under COVID-19 Pandemic

徳丸翔太＊ Shota TOKUMARU　舘田典浩＊ Norihiro TATEDA　三輪敦＊ Atsushi MIWA　小野陽一＊ Youichi ONO　亀田正信＊ Masanobu KAMEDA

要旨

コニカミノルタで現在も扱っている，採血せずに指先で動脈の血中酸素飽和度（SpO_2）と脈拍数が測定できるパルスオキシメーター※は，1977年にコニカミノルタ（当時ミノルタカメラ）が世界で初めて商品化した医療機器である。

パルスオキシメーターの商品開発の中で，コニカミノルタは高性能小型化を進めるとともに，開発当初手術室やICUに限られたその使用領域を，現在では一般家庭で使用されるまでに拡大し続けてきた。そして2020年に始まった新型コロナウイルス感染症拡大に端を発してパルスオキシメーターの用途と社会的な認知は飛躍的に拡大し，コロナ禍においてなくてはならない医療機器となっている。

コニカミノルタは，コロナ禍における国産パルスオキシメーターメーカーの供給力不足と，中等症以上の患者を受け入れる病床不足という2つの社会課題に対し，コロナ禍以前の約20倍のパルスオキシメーターの増産と，柔軟かつ迅速な病床整備を可能にするSpO_2セントラルモニタリングシステムの商品化という形でソリューションを提供した。

本稿では，パルスオキシメーターの開発の起源から，小型化と用途拡大の歴史，さらには執筆時点でも依然猛威を振るうコロナ禍による市場の急変と，コロナ禍で必要とされるソリューションを提供することで成しえたコニカミノルタの社会貢献について報告する。

※ 医療機器としての正式な一般的名称は「パルスオキシメータ」ですが，本稿の特性を鑑みて，医療関係者以外で認知度の高い「パルスオキシメーター」の呼称を便宜上使用しております。

Abstract

The pulse oximeter is a medical device to measure pulse rate and percutaneous arterial oxygen saturation (SpO_2) without blood sampling. The world's first finger pulse oximeter was commercialized by Konica Minolta (Minolta Camera at that time) in 1977.

Throughout product development history of pulse oximeters, Konica Minolta has been pursuing performance improvement and downsizing. In the beginning, pulse oximeter was used in the limited places such as operating rooms and ICUs in hospitals. Along with the performance improvement and downsizing, places and situations to use have been being expanded initially from limited situation such as operating rooms and ICUs currently to personal use by non-medical experts outside the hospitals. Furthermore, the COVID-19 pandemic broke out since 2020 has driven the remarkable expansion of usage and social recognition of pulse oximeter, and it becomes an indispensable medical device under the COVID-19 crisis.

With fighting against COVID-19, Japan faced the severe shortage of domestic pulse oximeters and the hospital beds for moderate or more severe COVID-19 patients. To solve these two social problems, Konica Minolta offered the solutions; to boost production capacity 20 times of pulse oximeters and to urgently put new SpO_2 central monitoring system into the market. With this new system, hospitals can prepare and maintain beds for moderate or more severe patients more flexibly and instantly than before.

This paper reports the origin of pulse oximeter, its history of downsizing and expansion of use, market change caused by COVID-19 crises, still prevalent as of this writing, and social contribution of Konica Minolta against COVID-19.

＊ヘルスケア事業本部　ヘルスケア事業部　モダリティ事業統括部

1　はじめに　パルスオキシメーターの起源

コニカミノルタのパルスオキシメーターの原点は1968年アメリカ・アポロ8号，1969年アポロ10号，11号に搭載された「スペースメーター」にある。「スペースメーター」は宇宙の過酷な条件を想定して設計された当時の最新鋭の照明・センサー技術を搭載した光学測定器（露出計）であり，“Earthrise”としてよく知られる地球の写真を宇宙から撮影する際に，その青さを「スペースメーター」で測定した（Fig. 1）[1)2)]。

Fig. 1 The picture called ‘Earthrise’ taken aboard Apollo 8 and ‘SPACE METER’ specially customized Exposure Meter for Apollo project.

「スペースメーター」の技術者が，露出計で培った測光技術を応用し，生体指の動脈血の拍動による透過光量の変化をセンシングし信号処理することにより酸素飽和度（以下，SpO_2）を測定したものが指先測定型パルスオキシメーターである。コニカミノルタ（当時ミノルタカメラ）は，1974年4月にこの技術について国内特許出願し，1977年に指先測定型パルスオキシメーター「オキシメータ OXIMET MET-1471（以下, OXIMET）」を世界に先駆けて商品化した（Fig. 2）。

Fig. 2 The picture of ‘OXIMET MET-1471’.

一方，日本光電社はコニカミノルタに1ヵ月先行して1974年3月に耳朶で測定する方式のパルスオキシメーターの特許を国内で出願しており，日本光電社がパルスオキシメーターの原理発明者として世に知られることとなった[3)]。しかしながら，パルスオキシメーターの臨床使用は，OXIMETが登場し，誰でも簡単に非侵襲で，指先に装着して直ぐに，正確にSpO_2を測ることができるようになったことから始まった。

なお，採血せず，連続的に酸素飽和度を測定するイヤーオキシメーターという機器は1940年代から存在していたが，虚血の為に測定前に耳を圧迫し，測定中に耳を温めるといった作業が必要とされ，装着して直ぐには測ることができなかった上に，誤差が生じやすく再測定も多かったことから，広く普及するには至らなかった。

2　パルスオキシメーター開発　小型化の歴史

1977年に商品化したOXIMETは重量7.7kg, 消費電力130Wであり, 使用できる場面は限られたが, 連続的かつ非侵襲でSpO_2を監視できるため, 意識のない患者や異常を訴えられない患者の呼吸状態の監視に使用され，手術室やICU，内視鏡検査時等における血液ガス分析や目視判断に代わる呼吸モニターとして急速に浸透していった。

コニカミノルタではOXIMETの発売以降，最新の照明・センサー技術と電子回路技術を取り入れ，測定アルゴリズムを最適化してさらなる小型化，軽量化，省電力化を実現していった。また，製品機能の向上のみならず，医療関連機関と協力して，使用領域の拡大と，それに伴う啓発活動にも貢献してきた（Fig. 3）。

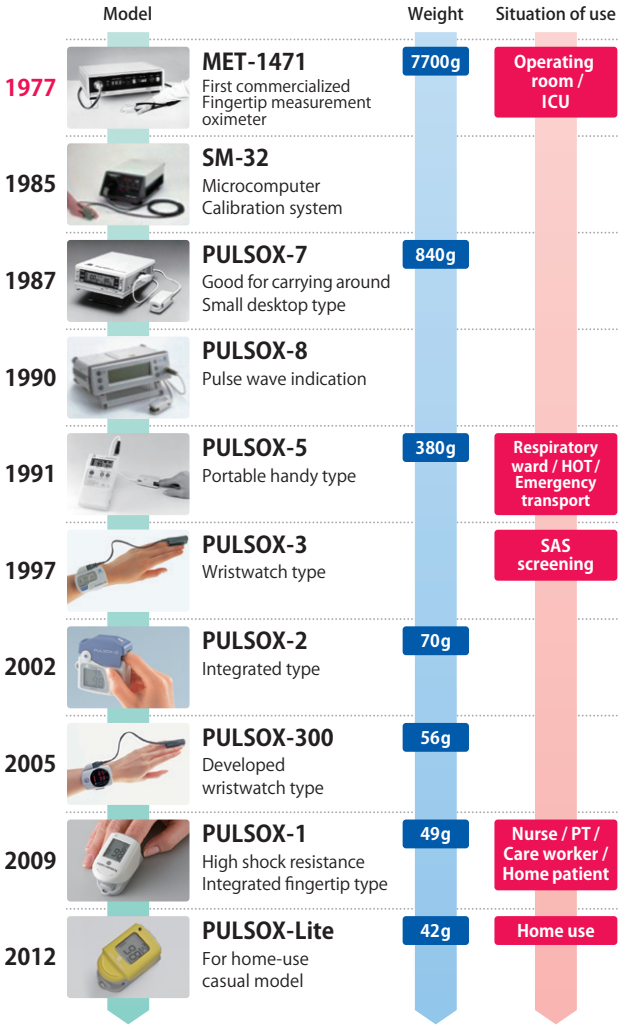


Fig. 3 The history of downsizing and lightening of Konica Minolta pulse oximeters.

特に1991年に発売された「PULSOX-5」(Fig. 4) は重量が380gとOXIMETの約1/20にまで小型化され，真に「ハンディ」と呼べるものとなったことで，次に示すような分野における活用を促進していく事となった。

・呼吸器病棟における病状の安定した患者のスポットチェック
・在宅酸素療法患者の訪問看護
・救急搬送時の呼吸モニター

Fig. 4 The picture of 'PULSOX-5'.

1994年に高度慢性呼吸不全患者の在宅酸素療法適用の判定にパルスオキシメーターを用いたスポット測定が保険で認められ，呼吸器疾患に対する外来診療，検査において使用が急拡大した。コロナ禍におけるパルスオキシメーターの活用を可能にしたのは，この時点より間質性肺炎の進行状況とSpO_2低下の関係性について臨床知見の蓄積がなされてきたからである。

小型化の進展は2009年に「PULSOX-1」の登場によって，現在一般的に最もよく知られる指先一体型パルスオキシメーターの形にたどり着いた。重量はOXIMETの約1/160，消費電力は約1/2600であり，測定はほぼ自動で，誰でも，いつでも，数秒で正確なSpO_2を得られるパルスオキシメーターであったことから，看護師や理学療法士，介護士，慢性呼吸不全患者，ぜんそく児童の親，高齢者家族等の使用が大きく加速した。その過程で，2012年に「PULSOX-1」をベースとした在宅患者向けカジュアル機「PULSOX-Lite」を投入し（Fig. 5），在宅の安全使用を目的とした一般の方への啓発活動を並行して行い，日本呼吸器学会肺生理専門委員会に協力し2014年に「Q&Aパルスオキシメータハンドブック」が発行された[4]。

Fig. 5 The pictures of 'PULSOX-1' (left) and 'PULSOX-Lite' (right).

3　コニカミノルタの開発方針転換

コニカミノルタのパルスオキシメーター開発を続けてきたのは光学測定器を扱うセンシング事業部であったが，2015年にヘルスケア関連事業の全社統合のため，パルスオキシメーター等の光学測定技術を用いた医療機器については，センシング事業部からヘルスケア事業部へ事業移管されることになった。

移管に際し，ヘルスケア事業部内で新規開発すべきパルスオキシメーターについて検討を行い，市場において技術競争より価格競争に傾いてきていたスポット測定式のパルスオキシメーターについては委託開発とし，SAS（sleep apnea syndrome，睡眠時無呼吸症候群）のスクリーニング検査機としてデファクトスタンダードとなっている腕時計型メモリ機能付きパルスオキシメーターと，パルスオキシメーターの主な利用者である看護師のバイタル測定・モニタリングに関する業務効率を大幅に改善する新モニタリングシステムに対して，コニカミノルタの開発リソースを集中することを決定した。

「PULSOX-1」「PULSOX-Lite」両機種を統合し，これまでに培ってきた指先一体型パルスオキシメーターに関する品質・性能・ノウハウを組み込み，市場の低品質廉価品とは一線を画したハイエンド機「PULSOX-Neo」(Fig. 6) の開発・製造を日本精密測器社に委託し，2019年に販売を開始するとともに，「PULSOX-1」「PULSOX-Lite」の製造を中止した。

Fig. 6 The picture of 'PULSOX-Neo'.

4　コロナ禍におけるコニカミノルタの活動

4. 1　COVID-19の流行と「PULSOX-Neo」

2020年1月16日に国内で初めて新型コロナウイルス感染症（以下，COVID-19）患者が報告され，同年3月11日には世界的大流行を意味するパンデミック宣言がWHO（世界保健機関）のテドロス事務局長によってなされた[5)6)]。

COVID-19はウイルス感染による間質性肺炎を引き起こすとされ，COVID-19で死亡する症例は呼吸不全が多いために重症度は呼吸器症状（特に呼吸困難）とSpO_2を中心に分類され，パルスオキシメーターによるSpO_2測定が求められている[7]。WHOからは，パンデミック宣言直前の3月2日に，各国に向けて人工呼吸器とパルスオキシメーターの活用が呼びかけられた[8]。

上記の様な背景から，メディア報道も相まってパルスオキシメーター需要が急増し国内の供給不足が懸念される中，同年5月にコニカミノルタはパルスオキシメーターの国産パイオニアメーカーとして経済産業省に増産に必要な設備と工数や薬機認証に関する情報提供を行い，6月の令和2年度「N95マスク・非接触体温計・パルスオキシメータ生産設備導入支援事業」の実現に結び付けた。

国からの支援を担保した上で「PULSOX-Neo」の生産委託先である日本精密測器社に対し生産能力の増強を依頼し，従来の約3倍に引き上げた[9]。また，冬場に大きな感染の波が来た場合に，感染者全員を入院あるいは宿泊療養施設で隔離する事が難しくなるケースが懸念された。その際に軽症者を自宅療養へ切り替える必要が生じると想定し，呼吸器専門医の助言・指導を受け自宅療養中のパルスオキシメーター推奨使用法を作成し自治体への情報提供を開始した。そして，同年12月に発生した第3波渦中において東京都が自宅療養者へパルスオキシメーターを貸与するスキームを全国に先駆けて発表し，都からの要請に応じる「PULSOX-Neo」の供給を実現した[10]。

4.2　コロナ病床へのソリューション提供

一方，感染者の増大は中等症以上の患者を受け入れる病床を緊急増設しなければならない状況およびそれに伴う生体情報モニターの不足が懸念された。その中で，3章で述べた経緯から開発を進めていたコニカミノルタのセントラルモニタリングシステムの，ベッドサイドにおけるSpO_2の連続測定機能と，測定したバイタルデータをスタッフステーションで一元管理するための無線通信機能は，既に実用可能な状態にあった。特に，920MHz帯の電波を用いたSub-GHz無線通信の採用は，生体情報モニターとして前例のない試みであった。

コニカミノルタのSub-GHz無線通信は，2.4GHz帯の無線LANやBluetoothと比較して，①通信可能な距離が長い，②回析特性が高い，③電波干渉要因が少ない，という3つの特徴を備えていることから，病床毎のアンテナ設置工事が不要であり，柔軟かつ迅速な整備が求められる中等症患者向け臨時病床に対する設備として最適と考えられた（Fig. 7）。

そして厚生労働省に対しコロナ禍において必要な製品として，認証審査を迅速に行うことを要請し，当局の協力と迅速な商品化への期待を背負い，企画・開発・品質保証・製造・販売が一体となってこれに取り組み，「モニタリングシステム VS1」を同年12月に発売し，異例の短期間で商品化を実現した（Fig. 8）。

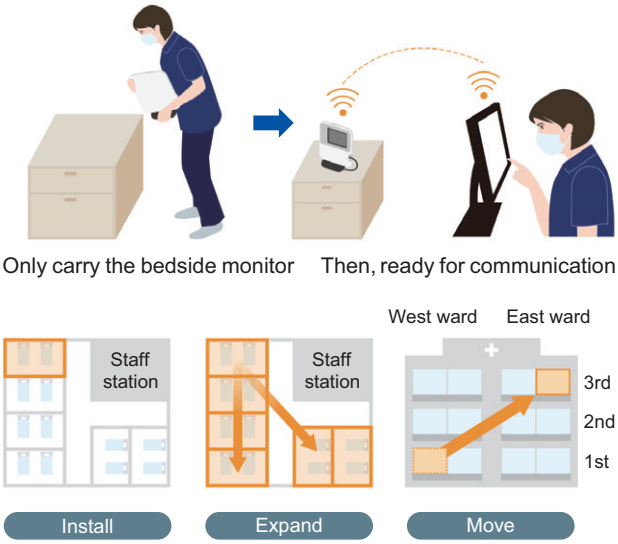


Fig. 7 ‘Monitoring system VS1’ with Sub-GHz wireless communication is easy to instantly install to the temporary hospital beds for COVID-19 patients and move or expand the beds in hospitals.

Fig. 8 The picture of ‘Monitoring system VS1’.

4.3　「PULSOX-Lite」の生産再開

2021年初めより開始した自宅療養者への貸与を機に，パルスオキシメーターのコロナ禍における有用性が更に広く認識され，従来とは桁違いの需要が生じる可能性が懸念されるようになった。

1977年に世界初の指先測定型パルスオキシメーターを世に送り出したメーカーとして，また，在宅呼吸器患者向けパルスオキシメーターの活用を学会や患者会と長年推進してきた企業として，パルスオキシメーターの在宅活用という社会要請に応えることは，コロナ禍におけるコニカミノルタの社会的使命であった。そこで3章記載の経緯により生産を中止していた在宅利用向け指先一体型「PULSOX-Lite」の生産再開を決断，生産委託先であったセキアオイテクノ社とコニカミノルタの生産本部，センシング事業部，ヘルスケア事業部が一体となって早期生産再開への取り組みを2021年初めに開始した。

生産再開への最初のボトルネックは医療機器認証の問題であった。「PULSOX-Lite」は生産・販売を中止し認証を取り下げていた為，新たな認証申請が必要となり通常では生産再開に半年以上かかる状況であった。しかしパルスオキシメーターの国内増産体制確保の社会的必要性

と再生産品が既認証品と同等である事を厚生労働省へ説明することで，既認証の有効性継続を認められ認証問題をクリアした。

次に課題として挙がったのは世界的な半導体不足であったが，セキアオイテクノ社をはじめパートナー企業の協力と，コニカミノルタの部品調達力や調達可能な部品に合わせた迅速な設計変更・評価」といった「ものづくり力」を結集させ，「PULSOX-Lite」の生産再開を検討開始からわずか3ヶ月で実現し，「PULSOX-Lite」の生産備蓄を4月より開始する事で，従来の約20倍の生産能力をもって緊急特需に備えた[11]。

4.4　過去最大の第5波における自治体への供給

第3波時点で自治体が行っていた備蓄によって第4波を乗り越え，ワクチン接種も進み始めていたことから，市場では自治体への配備は十分と言う認識が広がり，5月以降は需要が落ち着いていた。しかし，デルタ株等のウイルス変異の状況を鑑み，更なる感染爆発の可能性が拭い切れないことからコニカミノルタはパルスオキシメーターの生産拡大を維持した。同年7月には，感染爆発によってパルスオキシメータが不足した際にコニカミノルタから迅速に供給できるよう備蓄している旨の情報提供を自治体や医師会に対して行った。

ワクチン接種に注力している状況の中では，反応は薄かったが，8月にデルタ株を中心とした過去最大の第5波が発生し，新規感染者は原則自宅療養する方針へ転換した[12]。これにより自治体によるパルスオキシメーターの緊急の大型調達が集中し，増産・備蓄が功を奏し，コロナ禍において社会に大きく貢献する結果となった。

5　今後の展開

依然COVID-19による緊張は解けず，再流行に備えた体制準備が急務とされている。一方で既存の医療機関による病床増は限界があり，自治体主導の臨時施設の整備が進められており，「モニタリングシステムVS1」が社会から求められている。パルスオキシメーターは言うまでもなく，コロナ禍において必需品と社会から認識され，感染の大波が再来した際には，メーカーとして供給責任を果たさなければならない。コニカミノルタは，パルスオキシメーターとセントラルモニタリングシステムを2本の柱として，コロナ禍を乗り越えるべく社会に貢献し続けていく。

●参考文献

1) NASA: Apollo 8: Earthrise, NASA Image of the DAY, 2020-12-23, https://www.nasa.gov/image-feature/apollo-8-earthrise（2021年10月28日）
2) 蛤 謙治,「パルスオキシメータの小型軽量化による用途の拡大」, KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT, 4, 61–64 (2007)
3) 日本光電工業株式会,「青柳卓雄氏とパルスオキシメータ」, 日本光電工業株式会社ウェブサイト, https://www.nihonkohden.co.jp/information/aoyagi/index.html#paper（2021年10月28日）
4) 一般社団法人日本呼吸器学会,「パルスオキシメータ冊子発刊のお知らせ」, 一般社団法人日本呼吸器学会ウェブサイト, https://www.jrs.or.jp/modules/guidelines/index.php?content_id=68（2021年10月28日）
5) 厚生労働省,「新型コロナウイルスに関連した肺炎の患者の発生について（1例目）」, 厚生労働省ウェブサイト, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08906.html（2021年10月28日）
6) World Health Organization,“WHO Director-General’s opening remarks at the media briefing on COVID-19 -11 March 2020”, https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020（2021年10月28日）
7) 厚生労働省,「新型コロナウイルス感染症（COVID-19）診療の手引き・第6.0版（2021）」
8) World Health Organization, “Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report–41”, https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200301-sitrep-41-covid-19.pdf?sfvrsn=6768306d_2（2021年10月28日）
9) 経済産業省,「令和2年度「N95マスク・非接触体温計・パルスオキシメータ生産設備導入支援事業」に係る補助事業者の採択結果について」, https://www.meti.go.jp/information/publicoffer/saitaku/2020/s200818001.html（2021年10月28日）
10) 東京都,「新型コロナウイルス感染症の自宅療養者を対象とした支援について（第1489報）, https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2021/01/21/24.html（2021年10月28日）
11) コニカミノルタ株式会社,「安心して使用できるパルスオキシメーターをより多くの方々に提供するため新たに20倍の生産能力を確保」, https://www.konicaminolta.com/jp-ja/newsroom/2021/0330-01-01.html（2021年10月28日）
12) 首相官邸,「令和3年8月2日　新型コロナウイルス感染症の医療提供体制に関する関係閣僚会議」, https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/actions/202108/02kaigi.html（2021年10月28日）

個に応じた学びを支援する教育機関向けソリューション

Educational Solutions for Individually Optimized Learning

松末育美＊ Ikumi MATSUSUE
則武和輝＊ Kazuki NORITAKE
滝上睦子＊ Chikako TAKIGAMI
石黒広信＊ Hironobu ISHIGURO

要旨

進化するIoTや人工知能といった先端技術が社会に浸透するに伴い，教育現場でも先端技術の効果的な活用が求められている。文部科学省が推進する「GIGA（Global and Innovation Gateway for All）スクール構想」では，全国の小中学生に1人1台の端末を配布して，Society5.0の時代の要請に応える学びを目指している。

コニカミノルタは，働く人の業務改善やその先の社会課題と向き合い，顧客の「みたい」に応えてきた。コニカミノルタのAI技術は，教育分野における教員の働く教育現場の課題解決に貢献できると考え，2019年から大阪府箕面市とともに文部科学省の学校における先端技術の活用に関する実証事業に取り組んだ。この実証事業では，大阪府箕面市の「鉛筆・筆箱・タブレット」を合言葉に，教員の業務改善と個別最適な学びの実現を目指し，児童生徒の経年の学力データを分析して児童生徒の学力傾向の可視化の検証を行った。

また，新型コロナウイルス感染症の拡大による影響で，学校が一斉休業となった際には，オンラインでの教育の需要が一層高まった。こうした状況を踏まえ，コロナ禍での課題を深掘りし，教育現場のデジタルトランスフォーメーション（DX）を実現する教育機関向けソリューションを開発している。全ての教員が校内でも遠隔でも場所を選ばずに，1つのアプリケーションによって，より良い授業進行が可能になる。今後は，学力データの分析を差別化技術とし，教育のDX実現を目指す。教育機関向けソリューションは，自治体への展開が始まっており，今後の事業拡大が見込まれる。

Abstract

As the economy grows, advanced technologies such as internet of things (IoT), artificial intelligence have deeply penetrated our lives. The effective utilization of the technologies is required even in educational scenes. The goal of GIGA School Program is that elementary and junior high school students will learn the needed skills in the Society 5.0 era by utilizing the distributed computers.

Konica Minolta has accommodated the customer's needs and requirements while visualizing issues that even customers haven't noticed. In demonstration project promoting by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), we have been collaborating on the project about the utilization of advanced technology in schools with Minoh City, Osaka Prefecture since 2019. The purpose of the project, which Minoh City board of education envisions, is decrease teacher's workload and improvement the level of education. In order to solve the problems, Konica Minolta has analyzed the academic achievement data of students and provided teachers value by visualization of them.

In addition, due to the COVID-19 pandemic, education has changed dramatically, whereby teaching is undertaken remotely and on digital platforms. With this sudden shift away from the classroom, we are developing the educational one-stop solutions that solve customer issues to realize Educational Digital Transformation (EDX). The solutions help teachers to easily run their lessons at school or in remote locations.

Building upon our success, the solution enables EDX by through the analysis service of academic achievement. The solution is used by our business partners, and we expect further expansion of our business.

＊情報機器開発本部　DX開発推進センター

1　はじめに

1.1　学校教育の状況

これからのSociety5.0の時代は，教育におけるICTを基盤とした先端技術の効果的な活用が求められる。このような時代において，文部科学省は，児童生徒が課題を発見し，その解決に向けて主体的で協働的な学びをより一層推進する必要があると言及している。また，文部科学省が推進する「GIGA（Global and Innovation Gateway for All）スクール構想」では，全国の小中学生に1人1台の端末と，高速大容量の通信ネットワークを整備している。この構想の目的は，誰一人取り残すことない，個別最適な学習活動をより一層充実させることである。近年は，新型コロナウイルスの感染拡大に伴い，子どもたちの学びを保障する手段として，オンライン学習に大きな注目が集まっている。将来の学校教育を支える基盤としてタブレット端末等のICT活用は必要不可欠になっている。今まさに，教育現場はデジタルトランスフォーメーション（DX）が求められており，これまでの学習の在り方や教員の業務の在り方が変容している。

1.2　コニカミノルタと学校教育

コニカミノルタは，働く人の業務改善やその先の社会課題と向き合い，顧客の「みたい」に応えてきた。様々な業種・業態におけるデジタル化を支援することによって顧客課題の解決につながると考えている。我々は，教育現場もその対象になると思い，教育のDXに向けて，教育現場の課題を解決するため，2019年から大阪府箕面市とともに文部科学省「新時代の学びにおける先端技術導入実証研究事業」[1]（以下，実証事業）に取り組んでいる。

2　実証事業の概要

実証事業の目的は，教員による児童生徒への学習や生活指導の充実，校務支援や政策改善等によって，教育の質を向上することである。誰一人取り残すことのない，公正に個別最適化された学びの実現に向けて，学校現場と企業等との協働により，昨今の技術革新を踏まえながら，学校教育において効果的に活用できる先端技術の導入と活用についての実証を行う。この実証事業において，大阪府箕面市の「鉛筆・筆箱・タブレット」を合言葉に，我々の先端技術を活用して，教員の業務改善と個別最適な学びの実現に取り組んでいる。3章では，実証事業の取組みの1つである「成績予測を活用した，指導の個別最適化」について記述する。

3　成績予測を活用した，指導の個別最適化

大阪府箕面市では，平成24年度から，全ての児童生徒を対象にした「箕面子どもステップアップ調査」という学力調査を年1回実施している。箕面市の教員にヒアリングを行った結果，この学力調査の結果を児童生徒の学力変化の把握や，指導の振り返りに活用したいという要望が強く挙がった。そこで，我々は過去9年間の学力データを用いて，長期的な児童生徒自身の変容を詳細に分析し，その結果を教員の指導に生かすことを検討した（Fig. 1）。この取組みは，教員が児童生徒を指導する時に，教員の経験や勘に頼るのではなく，データにもとづいた方向性や方針を持つことによって，今まで以上に的確な指導を目指すものである。

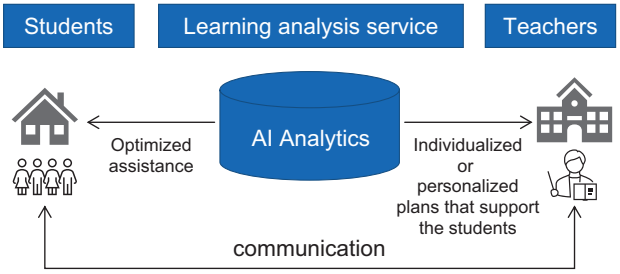


Fig. 1 Learning analysis system architecture.
By combining the experience of teachers and AI analysis, the teachers can provide more accurate guidance than ever before.

3.1　分析システムの概要

学力調査のデータに対して，個人情報の秘匿化や教科／単元を学習指導要領コードに整理するというデータ前処理を施した後，児童生徒の特性を分析する。Table 1は教員がその分析データを活用する目的や方法をユースケース毎に示している。ユースケースに応じた分析結果を教員に提示することを考えている。

Table 1 Use case of the learning analysis system.

Use case	User	Purpose	How to Use
After class	Teachers	Class improvement	Pay attention in the next lesson to the students who don't understand
After class	Teachers	Class improvement	Give the students homework according to their growing points
Class management	Teachers	Improvement of classroom management	Take over the teacher's guidance when students pass to the next grade

3.2　取組を実現するための分析手法

学力調査のデータについて，データの前処理をした後，各学年の教科／単元毎の正答率から，主成分分析法を用いて成績分布の特徴を分析した。次にk-平均法により5グループに分類し，子どもの成績傾向を容易に把握できるようにした。一例ではあるが，Fig. 2の場合，特徴PC1は算数の得点を示し，値が小さいほど高得点であることを意味する。特徴PC2は算数における体積や図形の合同の得点を示している。値が高いほど高得点であることを意味する。例えば，Fig. 2のGroup 1に分類した児童生徒は，算数全体の得点は高いが，体積や図形が苦手であ

るという傾向が読み取れる。この結果をもとに，対象児童生徒の過去の学力推移の傾向から，どの教科／単元の指導をすればより効果的であるか，教員にレコメンドするダッシュボード開発を行った（Fig. 3）。レコメンドのレポートには，子どもたち一人ひとりの学力の推移，強み・弱み，予測シナリオと成長に向けた処方箋を表示している。学力調査やこの成績分析の結果によって，教員が児童生徒一人一人に対する単元毎の学力傾向をもとに，該当の児童生徒に対して注意を払いながら授業での様子を見ることが可能になった。

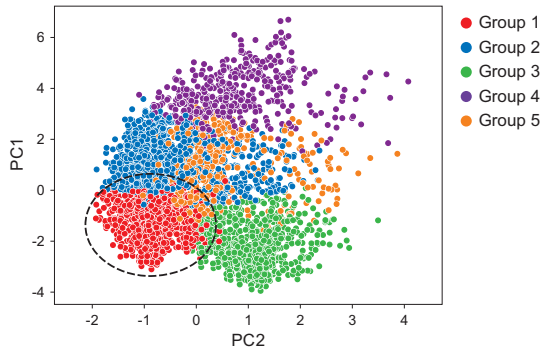


Fig. 2 Graph that classifies the characteristics of academic ability.
The students in group1 have high scores for math. However, they are not good at the field of volume and figures.

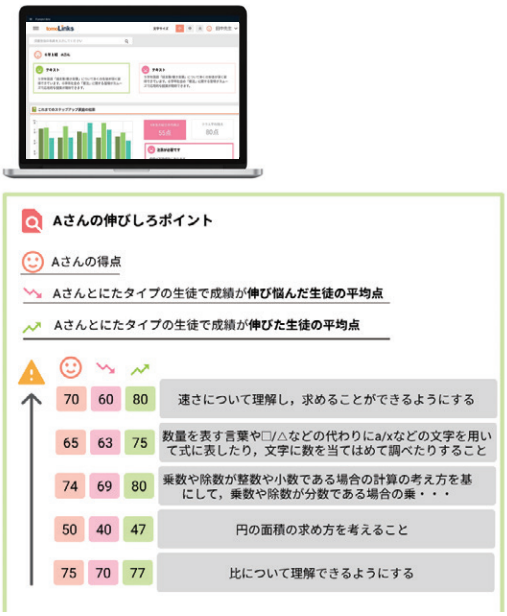


Fig. 3 Report of the learning analysis service.
It shows the transition of each child's academic ability, strengths and weaknesses, prediction scenarios and prescriptions for growth.

3. 3　効果検証

教員に対して，この分析結果やレポートの提示についてヒアリングを行った。教員から「従来は学力のつまづきが大きい子どもに応じて，できなかった問題を集めて渡していたが，それをシステムで可能になることは価値がある」と評価いただいた。一方で「分析を最適化すると，子どもたちのなぜ？どうして？といった考える力が身につかないのではないか」という懸念の声も上がっている。子どもたち自身が弱点を把握し，それを克服するように考える行動を促すことが必要であり，そのようなレポートであればより良いとコメントをいただいた。また，学力調査の実施頻度は1年に1回だけであるため，次年次の学力調査が行われるまでに，この学力調査を用いた分析結果だけでは児童生徒の日常の学力変化を追うことできないことは課題である。

今後は，デジタル化されていないテストや，児童生徒の機微な学力変化をつかむことのできる日常データを活用する。児童生徒の学力が伸びているのか，伸び悩んでいるのかという日頃の変化に教員がいち早く気づくことができるダッシュボードを目指す。また，学力傾向の分析に加えて，動画教材等の教材を学習指導要領コードで紐づけ，各教材，ツールが児童生徒の成績にどの程度影響を与えているかという分析を行う予定である。

4　教育現場のDX

GIGAスクール構想によって，全国の小中学校の約96%以上が端末の利活用を開始しており，児童生徒にとって端末を活用した学習はより身近になっている。その一方で，教員のICTの浸透度の差は大きく，教員へのヒアリングを通して，複数のツールを授業のユースケースに応じて切り替えるのは，操作が煩雑で授業の進行に影響が出ている課題を見出した。コロナ禍で遠隔教育を実施できた自治体は20%程度であり，全体としてICTの活用はなかなか進んでいないのが現状だ。安全で効果的な教育環境の実現に向けて，コニカミノルタのAI技術を活用して，教育のDXを支援したいと考えている。

4. 1　目的

学びの効率化やさらなる質の高い指導支援を目的に，前述の教育のDXに関する課題を解決するために，我々は協働学習，遠隔学習，学校生活のDXを実現する「学習支援サービス」を開発した。学習支援サービス及び，3章に記述した「成績予測を活用した，指導の個別最適化」を含む「学びの分析サービス」のサービス設計をFig. 4に示す。我々はこれら2つのサービスを含む教育機関向けソリューションを通して，児童生徒の学習機会を拡大する価値を提供する。

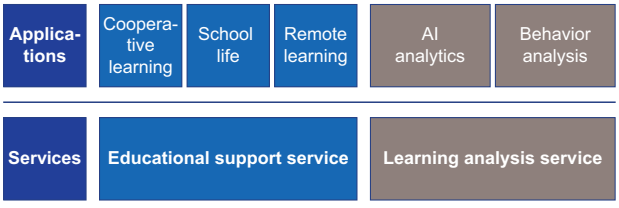


Fig. 4 Application Architecture of services.
The educational support service supports the remote collaborative learning and the contact book function required for school life. The learning analysis service of AI analysis is described in Chapter 3.

4.2　サービスの価値検証

全ての教員，児童生徒が簡単に操作できるように，学校生活に必要な機能を1つのアプリケーションで「ワンストップ」で提供している。特に，学習活動・学校生活のペーパーレス化と学習状況の把握や教材の配布・回収を簡単にしている。教員や児童生徒にヒアリング，アンケートを行った結果，児童生徒の7割以上から学習支援サービスを使った授業は楽しかったという評価を得られ，ICT活用に貢献したと考えている（Fig. 5）。

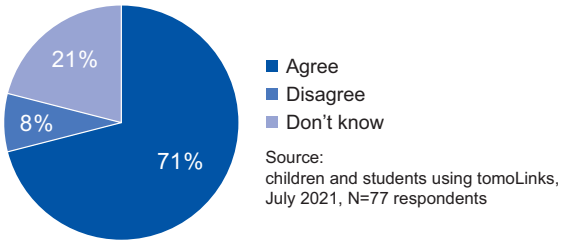


Fig. 5 Questionnaire results.
We asked 77 children and students how they felt about the lesson using the service.

今後は，実証事業で取り組んでいる成績予測を活用し，「学びの分析サービス」によって指導の個別最適化を目指す。また，子供たちからのSOSへの早期対策のための，感情分析などの開発も検討している。データ解析により今まで見えていなかった子どもたちの特性を可視化し，教員の指導や子供の学習の質を高め，多様化する子供の個性に合わせ「個別最適化された学び」の実現を目指す。

5　発表・メディア紹介

今後もメディアを通じた発信で活動の認知度を高めることにより，教育のDXに貢献していきたい。

以下，発表やメディア紹介の例を示す（公開順）。

- 日経新聞：コニカミノルタ，学力試験をAI分析 東京書籍と協業
  https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC277EM0X21C21A2000000/（2022年1月20日）
- 文部科学省：新時代の学びにおける先端技術導入実証研究事業（学校における先端技術の活用に関する実証事業・先端技術の効果的な活用に関する実証）について：先端技術紹介（コニカミノルタ）
  https://www.mext.go.jp/content/20210323-mxt_jogai02-100013299_0011.pdf（2021年11月9日）
- 日経新聞：コニカミノルタ，教員の授業をAIで分析 育成効率化
  https://www.nikkei.com/article/DGXZQODZ229V10S1A320C2000000/（2021年11月9日）
- ReseEd：可視化そして分析…コニカミノルタが教育業界で生み出す新たな価値
  https://reseed.resemom.jp/article/2021/05/07/1522.html（2021年11月9日）
- ReseEd：学校の枠を越えて広がる新しい学びの形，「tomoLinks」が実現する遠隔・協働学習
  https://reseed.resemom.jp/article/2021/07/30/2019.html（2021年11月9日）

6　まとめ

実証事業では，教育現場の声を聞きながら，顧客課題解決につなげる活動を実施してきた。21年度の実証事業では，教育データの利活用をより促進し，教員の支援となる活動を進める。また，学習支援サービスや学びの分析サービスを搭載した教育機関向けのトータルソリューションによって，教育のDXを広く展開していきたいと考えている。この活動を通して，多様な子どもたちが誰一人取り残されることなく社会とつながる個別最適化された協働的・探究的な学びに貢献したい。

●参考文献

1) 文部科学省，新時代の学びにおける先端技術導入実証研究事業について
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1416148.htm（2021年11月9日）

技術論文・技術紹介

Full Paper & Introductory Paper

AccurioPro ColorManager Printによるスキルレス色合わせ技術

Technology of Skill-free Color Matching with AccurioPro ColorManager Print

山 口 岳 志*
Takeshi YAMAGUCHI

要旨

近年，コニカミノルタのプロダクションプリントの導入先である印刷業界では，受注するジョブの多品種小ロット化が進み，ジョブごとの印刷準備に時間がかさみ印刷コストの増大につながるという課題に直面している。この課題の中でも，印刷の色調整にかかっている作業時間は少なくなく，印刷コストの低減に向けて，もっと簡単に短時間で色調整が完了することが要望されてきた。

とくに，印刷見本が持ち込まれると，熟練の印刷オペレーターがトーンカーブ調整によってトライ＆エラーを繰り返し，30分以上かけて色の合わせこみを行っているが，近年の技術継承の難しさ，コストダウンの必要性から誰でも簡単に色合わせを実施できることが求められていた。

このお客様の要求に対応するために，コニカミノルタでは，印刷見本をスキャナーでスキャンするだけで，色合わせを行うことができるソリューションAccurioPro ColorManager Printを技術開発した。アプリケーションをコントローラーおよびIQ-501と連携させることでスキル不要なオペレーションを可能にするとともに，IQ-501搭載の分光測色器とエンジン付属のスキャナーを用いたハイブリッド測色により，高精度な色合わせが可能となった。

本技術を市場に展開することで，印刷オペレーターの熟練者スキル依存からの脱却を促進すると同時に，色合わせ工数削減による印刷会社の利益拡大に貢献する。

Abstract

In recent years, in the production printing industry, printing jobs are becoming more diverse and smaller in lots.

Therefore, the printing company faces a problem that the cost increases too much if it takes time to prepare for printing for each job.

When the print sample comes with the print data, the skilled operator uses the tone curve adjustment to perform color matching to the print sample.

This is done over 30 minutes by repeating adjustment trials and errors, but due to the difficulty of technology inheritance and the need for cost reduction, anyone was required to be able to easily perform color matching.

To meet this customer demand, Konica Minolta has developed a technology called AccurioPro ColorManager Print, which enables color matching by simply scanning a print sample with a scanner.

By linking the application with the controller and IQ-501, skill-free operation is possible, and high-precision color matching is achieved by hybrid color measurement using the spectrophotometer equipped with IQ-501 and the scanner attached to the engine.

By deploying this technology, we will promote breaking away from customers' dependence on skills and at the same time contribute to expanding profits of printing companies by reducing color matching man-hours.

*情報機器開発本部　PPシステム制御開発センター　PPコントローラ開発部

1　はじめに

近年，コニカミノルタのプロダクションプリントの導入先である印刷業界では，受注するジョブの多品種小ロット化が進み，ジョブごとの印刷準備に時間がかさみ印刷コストの増大につながるという課題に直面している。この課題の中でも，印刷の色調整にかかっている作業時間は少なくなく，印刷コストの低減に向けて，もっと簡単に短時間で色調整が完了することが要望されてきた。

コニカミノルタでは，この課題を解決すべく，2017年にAccurioPress C6100/IQ-501システムをリリースし，色調整のスキルレス化・自動化を実現した[1]。これにより，望みの色空間に色合わせすることが容易になった。

我々はIQ-501によるカラーマネージメントのさらなる価値向上をすべく，顧客訪問や展示会でのヒアリングを行い，お客様の困りごとの探求や，解決策の価値検証を継続的に行ってきた。

その中で我々が注目したのは，印刷業界で日常的に行われている，印刷見本に対する色合わせである。この色に合わせて欲しい，という印刷見本が印刷データとともに持ち込まれ，それに合わせるためには熟練の印刷オペレーターがトーンカーブ調整などで時間をかけて行っており，これはパッチを測色する仕組みのIQ-501では解決しきれない課題であった。

この課題を解決するために，我々は印刷見本をスキャナーでスキャンするだけで，色合わせを行うことができるソリューションAccurioPro ColorManager Printを技術開発した。

本技術を用いることで，従来20–30分程度かけて熟練者が色調整していた印刷見本に対する色合わせを1回の自動調整約5分で完了することができるようになった。今後，省人化が必要となっていく印刷会社に対して，ワークフロー変革の一助となることを確信している。

本稿では，本技術を開発するに至った経緯と，搭載技術の紹介と合わせて，その価値について報告する。

2　顧客の現場視点を組み入れた開発

コニカミノルタは2017年，AccurioPress C6100/IQ-501システムをリリースし，プリンタープロファイルのワンタッチ作成機能などにより，カラーマネージメントのスキルレス化，簡便化を実現した。

さらにIQ-501によるカラーマネージメントの価値向上のために，開発メンバーが主導して顧客訪問を継続的に行い，顧客ワークフローの構造化および複数のペインポイントの抽出を行った。そして，解決ソリューション案についてプロトタイプを作成し，それが実際に必要か，現在の顧客のワークフローを変えることができるか顧客ヒアリングにて検証してきた。

その中で，我々が技術開発すべきと結論した課題が印刷見本に対する色合わせである。IQ-501の自動パッチ測定によるプロファイルベースのカラーマネージメントを行っても，プロファイル管理されていない見本に対しては，いまだに熟練者がトーンカーブ調整などを使ってトライ＆エラーを繰り返し，20–30分かけて色合わせを行っているのである（Fig. 1）。

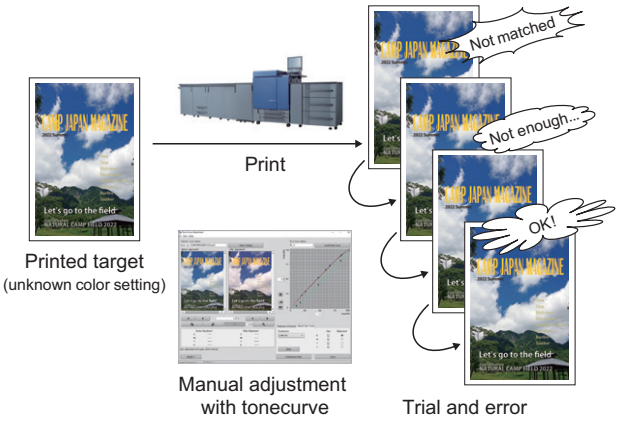


Fig. 1 Color adjustment method using the conventional tone curve function.

この課題を解決することで，色合わせ時間の短縮による印刷コストの削減だけでなく，高度な知識や熟練の技が不要になり，印刷オペレーターの技術継承に頭を悩ませる必要もなくなる。

我々は技術開発のために，スクラムチームを組み，アジャイル方式にて開発を進め，日本国内における協力していただける印刷会社を選定しβ版を試用してもらうことで，価値検証を開発フェーズでも実施し，ユーザビリティや機能改良，精度向上を行い，製品化を進めた。

その結果，IQ-501カラーマネージメントのポイントであるスキルレスというコンセプトを継承し，印刷見本をスキャンするだけで色合わせが完了するAccurioPro ColorManager Printをリリースするに至り，2021年現在，ワールドワイドで展開中である。

次章にて，開発した搭載技術について報告する。

3　搭載技術

3.1　シームレスなエンジンとソフトウェアの連係

印刷オペレーターが印刷見本に対する簡単な色合わせを実現するために，画像を取り込む方法としてはプロダクションプリント機に付属しているスキャナーで印刷見本をスキャンする方式を採用した。

また，印刷見本となる画像をスキャンするアプリケーション，色調整を行うアプリケーション，作成したプロファイルを登録するアプリケーション，といったように複数のアプリケーションを駆使する必要になるところだが，我々は一つのアプリケーションからジョブの選択，スキャン，プロファイル調整から登録まで，ウイザードに従って進めていくだけですべての作業が完了するアーキテクチャを採用した（Fig. 2）。

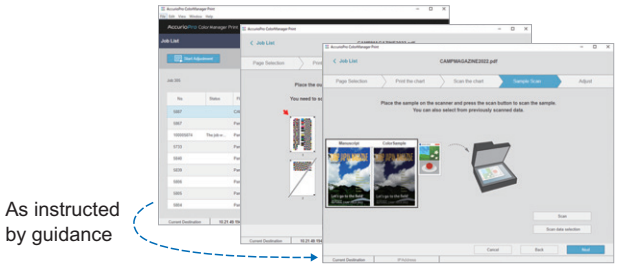


Fig. 2 Some examples of user interface that completes all the work according to the instructions.

3.2 自然画像からの色推定技術

IQ-501システムでは分光測色器とCCDスキャナーによるハイブリッド測色技術によって矩形の測色パッチを測定していたが，印刷見本にパッチがあるとは限らない。そこで，スキャン画像を様々な矩形領域で探索し，画素値の色彩値の分散が小さいところ，スキャナーのフレアの影響度が小さいところ，画像に使われている色域が満遍なく取れるところ，といった様々な項目を考慮して，取得するポイントを決定するアルゴリズムとした（Fig. 3）。

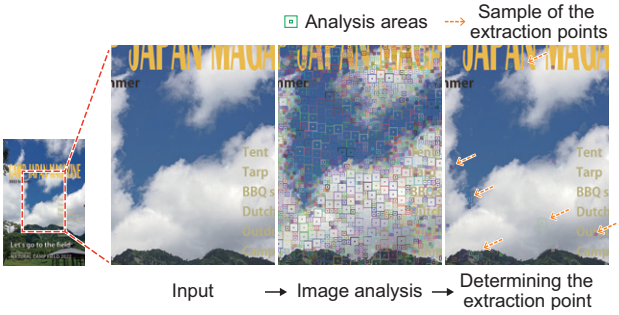


Fig. 3 Determining color measurement points from natural images.

Fig. 4 に印刷の色変換テーブル，および，スキャナーから測色値計算のためのスキャナープロファイルを計算する流れを示す。スキャン画像から精度良く測色値を推定するために，IQ-501搭載の分光測色器でL*a*b*値が既知となっているチャートをスキャナーで測定し，スキャナープロファイルを更新するハイブリッド測色アーキテクチャを採用した。また，本システムでもIQ-501同様のRGBK->L*a*b*の4次元スキャナープロファイルを採用している[1]。

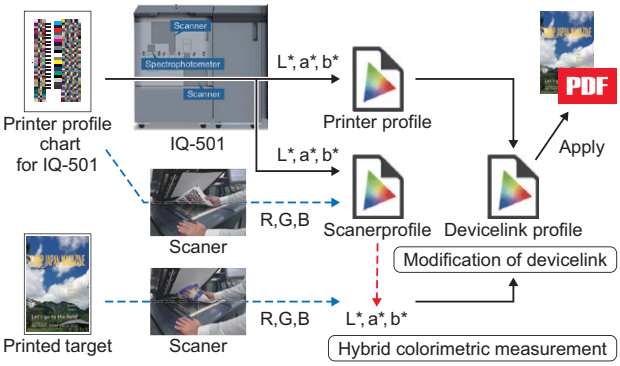


Fig. 4 Hybrid colorimetric system using a spectrophotometer in IQ-501 and a scanner.

3.3 画像位置合わせ技術

原稿に記載されたCMYK値を色変換テーブルで色変換して任意のL*a*b*値を再現するのが基本的なカラーマネージメントシステムの考え方だが，自然画像のスキャン画像のRGB値では，色変換テーブルのどのグリッドを修正すれば良いのかわからない。また，スキャン画像は傾いてスキャンされている可能性もあり，そのままではデータとの位置の照合ができない。

そこで，原稿のCMYK画像とスキャン画像の双方の特徴量抽出を行い，2者の座標を合わせこみ，前章で決定した色推定ポイントから原稿のCMYK値を特定，そしてデバイスリンクプロファイルが所望のL*a*b*になるよう補正するアルゴリズムとした（Fig. 5）。

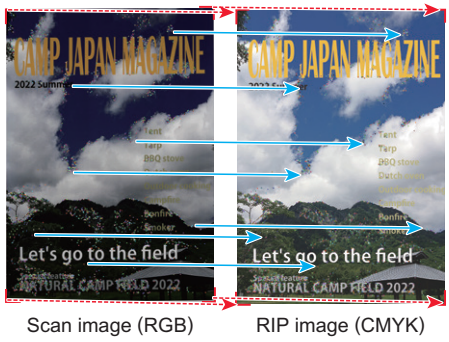


Fig. 5 Image coordinate matching technology between scan image and PDF image.

3.4 色変換テーブル修正技術

前章までに述べたとおり，自然画像から代表色を取得し，所望のL*a*b*になるよう色変換テーブル（デバイスリンクプロファイル）を修正する。各代表色について算出した色変換テーブル補正量を周囲のグリッドに伝播させるアルゴリズムを構築することで，代表色のみならず，画像で使用されている色域全体をリーズナブルな計算コストで補正することができる（Fig. 6）。また，補正量が大きい場合には，トーンジャンプが発生するリスクがあるため，スムージング強度をオペレーターが任意に選択できるような仕組みも搭載した。

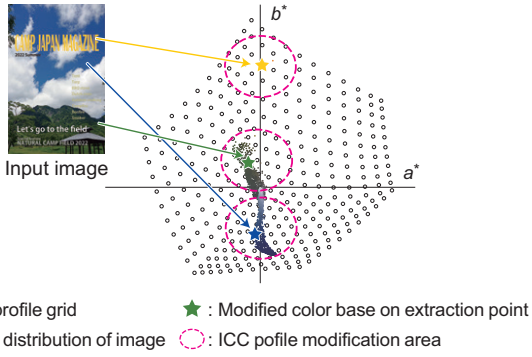


Fig. 6 Correction of the ICC profile using by extraction points from input natural images.

4　結果

自然画像のカラーマッチング性能を定量的に評価するために，自然画像からチャートを生成し，それを本技術で生成した色調整用デバイスリンクプロファイルを用いて原稿画像と同時に出力し，分光測色機（コニカミノルタ製FD-9）にて測定することで定量的な評価を実施した（Fig. 7）。

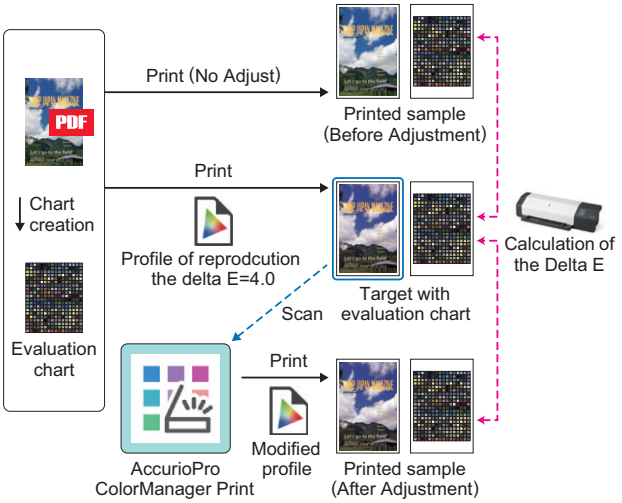


Fig. 7 Evaluation method for natural images using chart generation.

印刷見本と調整前原稿の色差，印刷見本と本技術で色調整した原稿の色差を円の大きさで表し，a*-b*色度平面にプロットしたものをFig. 8 に示す。なお，印刷見本画像には意図的にΔE_{00}色差が平均約4.0になるように色をずらしたものを使っている。調整前に発生させていた色差（図左）に比べ，本技術を使って自動調整することにより全体的に色差を小さく調整できていることが確認できる。また，自動調整の結果よりも高い精度の色合わせを必要とする場合はこの調整後にトーンカーブ調整などを行うことで，従来以上の精度での色調整および時間短縮を実現することができる。

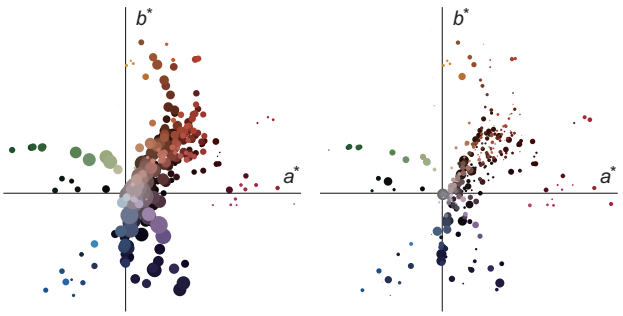


Fig. 8 Color difference in measured color values (represented by diameters of dots) between the target and the print sample.
Left: Before adjustment, Right: After adjustment.

調整にかかる時間について評価結果をFig. 9 に示す。プロットが調整回数，縦軸に平均色差，横軸に調整時間（秒）を示す。黒の点線の水準が従来通りの手動調整を繰り返すことによって13回繰り返した結果である。青色の水準は，1度目の実線は本技術を用いた自動調整，2度目からの点線は従来のどおりの手動調整で追い込んだ結果である。自動調整の1回の精度でも従来手法以上の精度を5分程度で実施でき，さらに手動調整で精度を追い込んだとしても，ベースとなっている精度が良いため，従来の1/3程度の時間で完了していることがわかる。

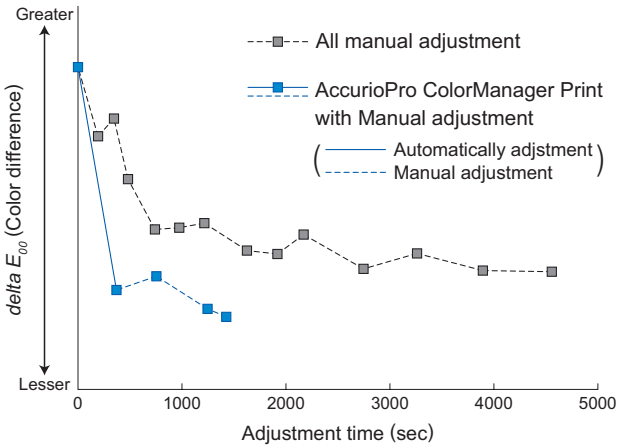


Fig. 9 Adjustment time and accuracy.

5　まとめ

AccurioPro ColorManager Printではスキル不要で印刷見本に対する色合わせを可能とするシステムを達成した。これにより簡便にカラーマッチングできるようになり，IQ-501の自動カラーマネージメントシステムと合わせて，熟練者のスキル依存だったワークフローの変革を促進することができる。

今後は，さらなる精度向上，利便性向上，自動化強化を行い，顧客のワークフローの変革に貢献していきたい。

●参考文献

1) 川津憲治，嶋津明彦，山口岳志，池田信“AccurioPress C6100シリーズにおけるIQ-501連携によるスキルレスオペレーションの実現”，KONICA MINOLTA Tech.Rep., VOL.15 53–59 (2018)

IQ-501を利用したカール自動補正による印刷オペレーションの自動化技術

Automated Printing Operation Technology with Automatic Curl Correction Using IQ-501

野田恵介＊ Keisuke NODA
池田信＊ Makoto IKEDA
平田大樹＊＊ Daiki HIRATA
沖津俊太＊＊ Shunta OKITSU

要旨

近年，印刷業界では印刷ジョブを高品質かつ安定して高い生産性で処理できる機能への要求が一層強くなってきている。印刷業界に新たな価値を提供するために，コニカミノルタはAccurioPress C14000/IQ-501（Intelligent Quality optimizer）システムを開発した。印刷機本体であるAccurioPress C14000と，自動品質最適化ユニットであるIQ-501で構成される本システムは，機器の調整を効率化・省人化し，誰でも簡単に高品質かつ安定した印刷ができることを目指し開発した。

本稿では，印刷紙の保管状態や印刷時の定着工程の熱や圧力が原因で起こる紙の湾曲・カールに対して，インラインで印刷画像を読み取るIQ-501と，中継搬送ユニットであるRU-518mを連携することで印刷中に自動でカール補正を行い，フラットな印刷物を常に提供可能とする「カール自動補正機能」について紹介する。

従来のカール補正機能は，お客様がカール量を目測しなければならないことと，その補正にヤレ紙や作業時間を要する課題があった。都度印刷物を確認し，カール補正を行わなければならないことは，お客様の生産性向上を妨げていた。そこで，IQ-501にて印刷用紙の表裏画像を読み取り，印刷用紙のカール量を監視し，RU-518mのカール量の補正値を自動設定することで，印刷前はもちろん印刷中のカール変動にも自動で対応するカール補正を可能とした。これは，印刷を中断せずに常にフラットな印刷物の製作が自動でできるため，後加工工程での作業性向上や紙角の折れ，印刷の擦れを低減し，ヤレ紙削減に繋がり，印刷の品質の向上に寄与する。また，カールはJAM（紙詰まり）や後加工不良の原因になるため，それらを未然に防ぐことでお客様のダウンタイム削減にも貢献する。

カールは，用紙，環境，機器，印刷画像等の多くの条件により変化するため，リアルタイムでのカール補正が必要な課題である。自動品質最適化を目的としたIQ-501の画像データとカール補正機能を有するRU-518mを連携することで，カール補正作業を自動化することができるカール自動補正機能について報告する。

Abstract

In order to provide new value to the printing industry, Konica Minolta has developed AccurioPress C14000/IQ-501 (Intelligent Quality optimizer) system. This system consists of AccurioPress C14000, which is the main body of the printing press, and IQ-501, which is an automatic quality optimization unit. This system was developed to make the adjustment of the equipment more efficient and labor-saving, and to enable anyone to easily produce high-quality and stable printing.

This paper describes “automatic curl correction function” that automatically corrects curl during printing by linking IQ-501 and RU-518m, in order to provide flat printed materials at all times, against curling of paper caused by the storage conditions of printed paper and the heat and pressure of the fixing process during printing. We will introduce “automatic curl correction function”.

The conventional curl correction function requires the customer to visually measure the amount of curl, and the correction of the curl requires the use of damaged paper and work time. To solve this problem, IQ-501 reads the front and back images of the printing paper, monitors the amount of curl of the printing paper, thereby enabling curl correction that automatically responds to changes in curl before and during printing. This improves workability in the post-processing process, reduces paper corner folding and printing abrasion, and leads to a reduction in waste paper, thereby contributing to the improvement of printing quality. In addition, since curling can cause JAM and post-processing defects, it can also contribute to reducing customer downtime by preventing these problems.

This paper reports on automatic curl correction function that can complete curl correction work automatically by linking the image data of IQ-501 and RU-518m with curl correction function.

＊情報機器開発本部　PPシステム制御開発センター　PPシステム制御開発部
＊＊情報機器開発本部　PP製品開発センター　第1PP製品開発部

1　はじめに

近年，デジタル技術の進展によるペーパーレス化で，印刷市場の規模は縮小している。そのような環境下で，印刷会社の印刷オペレーターの高齢化，若年層の人材不足といった課題が顕著にあらわれてきている。

これらの課題により，印刷業界では，ジョブを効率的かつ安定して高い生産性で印刷できる印刷機能への要求が一層強くなっており，コニカミノルタでは，AccurioPress C14000/IQ-501システムによって，画質の調整の自動化，印刷中に安定した品質を提供し，お客様の要求に応えている。

1.1　IQ-501

IQ-501は，色や濃度・表裏画像位置の印刷前調整，プリンタープロファイルの作成，印刷時の画像監視と補正など，人手のかかる作業を，コニカミノルタ独自の技術で自動化を実現した自動品質最適化ユニットである。IQ-501は，印刷前調整の工数削減により印刷時間を短縮し，印刷中のダウンタイムや作業負担を減らし安定した印刷品質を供給することで，収益性の高いデジタル印刷システム環境の構築に貢献している。

IQ-501は，Fig. 1に示すように印刷物の表裏の画像を読み取るライン型CCD（Charge Coupled Device）イメージセンサーを備えた二つのスキャナーとコニカミノルタ製の分光測色計を搭載している。これらを固定し，印刷物を搬送しながら読み取る「シートスルー方式」を採用することで，印刷機本体の生産性を低下させることなく，印刷画像をリアルタイムで読み取っている。

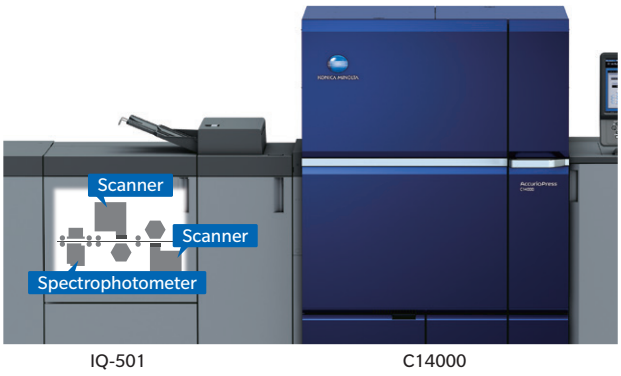


Fig. 1 Layout of the IQ-501's two scanners and its Spectrophotometer.

2　カール補正機能

カールとは，湿度や水分，または機械的応力などによって起きる紙の湾曲である。印刷時の定着工程の熱や圧力，紙の保管状態が原因となり発生する。

カールは，印刷物の外観を損ねるだけでなく，用紙搬送不良や製本などの後加工の不具合を引き起こす。また，環境や条件によって変化するため，印刷中に変化することがある。

現状，カールを補正するために，印刷物を出力後，一昼夜重しをおいてカールを直している場合があり，納期短縮への課題となっている。

2.1　中継搬送ユニット（RU-518m）

コニカミノルタでは，カールを補正するデカーラーを内蔵した中継搬送ユニットRU-518m（Relay Unit）を展開している。RU-518mは内部にベルト方式のデカーラー部を有し，オペレーターが操作パネル上からデカーラーの押し込み量を設定することで，カール補正を実施する。デカーラー設定値は搬送面の上下方向にそれぞれ複数段階あり，カールの状態に合わせて，デカーラー設定値を調整することでカール補正が可能である。またRU-518mでは，機械を停止させてデカーラー設定値の調整を行う従来の形態から，印刷動作を停止することなくデカーラー設定値の調整を行う機能を取り入れている。これによって，顧客の生産性を落とさずに，カールを解消することが可能となった。

しかし，現在のカール補正作業は，印刷前にオペレーターが印刷物のカール状態を確認し，操作パネルを操作すること，また印刷機や紙の状態の変化によって時間的に変化していくカールをオペレーターがモニタリングし，デカーラー設定値にフィードバックを入れていく必要があることの2点において，オペレーターに負担をかけている。そのため，印刷物のカール状態を検知し，デカーラー設定値の調整を行う操作の自動化を達成することで，生産性向上に寄与すると共に，印刷オペレーションの自動化を達成することが出来る。

3　カール自動補正機能のシステム

Fig. 2にカール自動補正機能のシステム図を示す。まず，印刷機本体からRU-518mを経て搬送された用紙上の画像をIQ-501で読み取り，画像を解析してカール量を検出する。次に，IQ-501で検出したカール量を，デカーラー設定値とカール量との関係から成る補正式に代入し，カール補正値を算出する。最後に，算出されたカール補正値からデカーラー設定値を自動で更新し，後続の用紙に対してRU-518mにてカール補正量の最適化を行う。

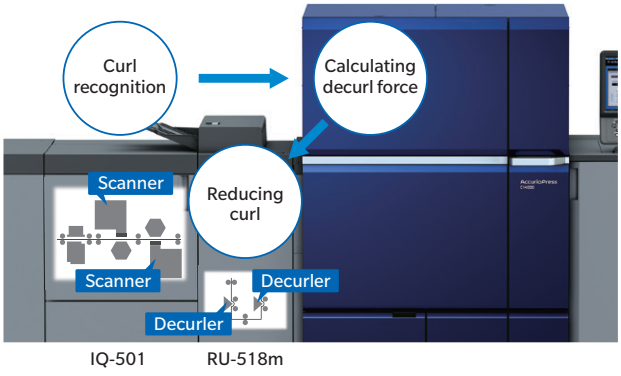


Fig. 2 Auto-curl adjustment system by IQ-501 and RU-518m.

3.1　カール量自動検出方法

IQ-501で取得される画像からカール量を検出する方法を説明する。まずFig. 3に，カールした用紙がIQ-501内部の読み取り部の搬送経路を通過する様子を示す。

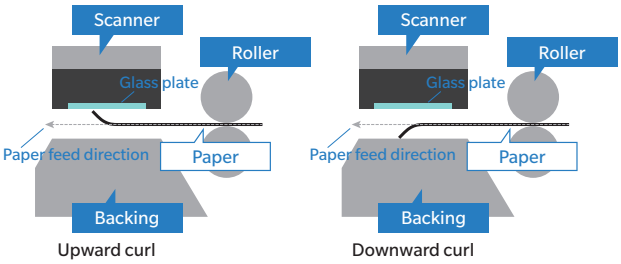


Fig. 3 Paper curls formed by transportation path.

用紙がカールしている場合，カールした用紙先端は搬送ローラーを通過後，自身のカール量に応じて読取ガラス面へと接近（Upward curlの場合），あるいは乖離（Downward curlの場合）し，読取面を通過する。カール量に応じて読取面との距離が変化し，その変化が読取画像に現れることを利用してカール量を検出する。

次にIQ-501搬送経路内でカールに因って読取ガラス面と用紙との距離が変化する影響により，読取画像の用紙端部が変形する様子をFig. 4で示す。図中の緑線が，用紙がカールしていない場合に読み取れる画像の用紙端部を示し，赤矢印がカールしている場合の変形量を示している。読取ガラス面に接近する方向のカール（Upward curl）と乖離する方向のカール（Downward curl）で，読み取り画像の変形の仕方は異なる。

用紙の外形を検出することで画像の用紙端部の変形量を求め，変形量をカール量に換算してカール量を求める。最後にIQ-501に内蔵される表裏2つのスキャナーそれぞれで測定したカール量からカール補正値を算出する。カール量からカール補正値への換算方法は次章で説明する。

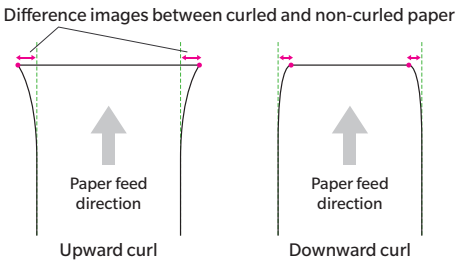


Fig. 4 Corner mages of upward and downward curled paper.

3.2　デカーラー自動フィードバック制御

本章では，前章で画像から算出されたカール量からRU-518mのデカーラーへのフィードバック制御技術について紹介する。Fig. 5は，RU-518mのデカーラー設定値とその時排出される用紙のカール量との関係を示したグラフである。グラフは，横軸にデカーラー設定値，縦軸にそのデカーラー設定値でカールしていない用紙を搬送した際に生じるカール量を示している。

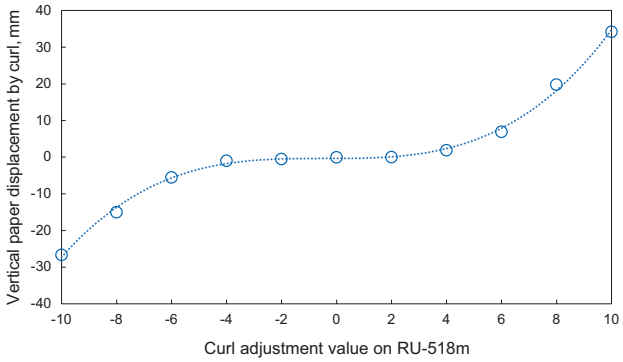


Fig. 5 Relationship between curl adjustment value and vertical paper displacement by curl. Auto curl adjustment system defines the curl adjustment value from the detection value by IQ-501 and calculates the feedback value to RU-518m by approximation curve.

Fig. 5より，デカーラー設定値とカール量は，3次の近似曲線の関係を持つことがわかる。以下に，本システムのフィードバック制御における処理フローの概要を紹介する。まず前章で説明したカール量自動検出技術より算出したカール量に対して必要な補正量を決定する。続いて，決定した補正量分の用紙変化に必要なデカーラーへのフィードバック量をFig. 5の近似曲線から算出する。最後に計算されたデカーラーへのフィードバック量を元のデカーラー設定値に加え，新たなデカーラー設定値に更新することで，カールの自動補正を実現する。

この制御により，印刷中も継続的にカール状態を検出し，デカーラー設定値にフィードバックすることで，カール量を常に収束させる。また印刷中はフィードバック後のカール量が目標補正範囲内に補正されている場合，デカーラー設定値を維持する。これは，突発的なカール発生などに因りデカーラーへのフィードバック量が急に変動することを防ぎつつ，過補正の繰り返しとならないようにするためである。

4　カール自動補正効果

本システムは3章で述べた技術を用いて，2つのカール自動補正機能を搭載している。主に用紙変更時や試し刷りなどの印刷開始前の調整を目的としたカール自動補正機能の初期調整と，印刷中の定着工程の熱や圧力変化／紙のロット間差や給紙トレイ設定の違いが原因で発生するカール量の変化に対して自動補正を行うことを目的としたカール自動補正機能リアルタイム調整の2つである。本章では，各機能でのカール補正の効果確認結果を示す。

カール自動補正機能の初期調整では，印刷前に用紙を複数枚通紙し，検出したカール量からデカーラーへのフィードバック量を決定し，デカーラー設定値の調整を実施する。Fig. 6に示すのは，印刷前後でのカールによる紙の変化量を示したグラフで，横軸にプリント枚数，縦軸に検出したカール量を示し，青線はIQ-501で画像を読み取った測定値を，橙色のプロットは排紙された用紙

のカール量を一定枚数おきに金尺で測定した結果を示す。Fig. 6 に示すように印刷前に通紙を行い，通紙された紙のカール状態を把握する。Fig. 6 上から，通紙した紙には実測値+12 mm程度のカールがあり，IQ-501による検出値も同等の数値を算出していることが分かる。この結果をもとに，デカーラー設定値にフィードバックを行うことで，印刷開始時にカールを一定量の範囲まで補正することが可能である。Fig. 6 から印刷開始時（フィードバック後）にはカール量は0～+3 mmと大きく改善出来ていることが分かる。

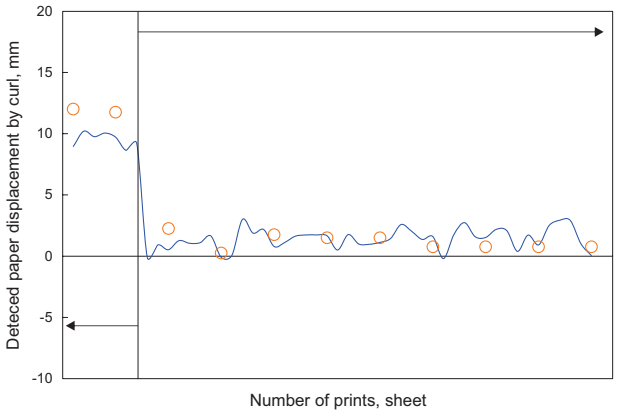


Fig. 6 Curl condition during preparation and printing phase. Detected values (blue line) indicate measurement results by IQ-501. Measurement values (orange plots) indicate that on a scale. The curl condition improves in the printing phase because of the curl condition detection by IQ-501 and the feedback adjustment value to RU-518m.

一方，カール自動補正機能のリアルタイム調整では，印刷中の用紙をIQ-501で読み取ることでカール量の変化を検出し，デカーラーにフィードバックを実施する。

Fig. 7 は，印刷中にIQ-501で検出したカール量の状態を示したグラフで，横軸にプリント枚数，縦軸にIQ-501で検出したカール量を示す。

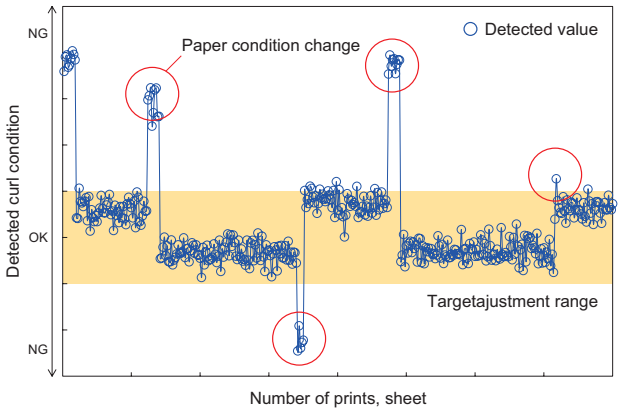


Fig. 7 Curl condition during printing detected by IQ-501. Red circles indicate when to change the paper condition for a large print job. The curl condition become worse because of paper condition change but improve immediately with auto curl adjustment function. In the printing phase, the curl condition is kept within the target adjustment range (yellow area).

印刷中のカール状態は紙のロット間や給紙トレイ毎の給紙設定の違いなどで変化することが予測される。Fig. 7 は，紙のロット差などの紙の状態でカールが変化する状況を想定した実験結果であり，実験上複数のトレイを使用した連続印刷の形で，その状態を再現している。グラフ中の赤円部は初期のデカーラー設定の異なるトレイから給紙した結果を示しており，運用上ではカール量が変化するような紙の状態変化が生じた現象を想定している。Fig. 7 において，カール量の変化をIQ-501が検出したことでデカーラー設定値にフィードバックが入り，カール量がNGの範囲に飛び出した測定結果が，グラフ中の黄色の目標補正範囲へとカール補正が実施される様子を確認することが出来る。この結果から連続印刷時のカール量変化を検出し，自動補正を実施するカール自動補正機能のリアルタイム調整の効果を確認することが出来る。

5　まとめ

印刷オペレーション自動化の要求に応え，生産性向上を狙い，カール補正機能の自動化を実現した。従来のカール補正機構に加え，IQ-501を用いた画像によるカール量の測定を行うことで，従来手動で入力していた補正量を自動でフィードバックするシステムを構築した。更に印刷中の変動も自動で測定しフィードバックすることで，印刷中のカール量変動も抑える機能を実現した。

今後も印刷オペレーションのさらなる自動化・省人化を目指し，顧客価値を生む製品開発を行う。

Consideration of the Counter Charge Traveling Distance on the Charge Transport Equilibrium Mechanism with a Dynamic Procedure

Yoshihiro HATTORI *

要旨

電子写真の歴史において二成分磁気ブラシ現像法は，その品質，耐久性，および現像特性の制御性の高さから，多くのカラー MFP およびプロダクションプリンターで採用されてきた。栗田が提案した電荷輸送平衡メカニズムは，電子写真の二成分現像法における現像特性の解析モデルとして有用であり，多くのMFP設計に適用されている。このモデルでは，カウンターチャージの移動距離を定数として扱い，その値を実験的に推定している。著者は，拡散モデルと電荷移動度モデルを適用することにより，カウンターチャージ輸送プロセスの反復計算を試みた。各計算モデルにおいて，現像特性は所定時間経過後緩やかな時間依存性を示し，電荷輸送平衡メカニズムが概ね支持されているという結果が得られた。

拡散モデルは，DCバイアス電圧が印加された現像条件に適合した。「トナー供給制限」の条件を除いて，電荷輸送平衡メカニズムが適用可能である。電荷移動度モデルは，ACバイアス電圧を重畳した現像条件に適合した。この場合，現像時間が交流電圧の振幅などによって決定されるカウンターチャージの通過時間よりも長い場合，電荷輸送平衡メカニズムが適用可能である。これらの結果は，経験的ノウハウを解析的理解に置き換え，技術的知識の伝承に役立てるという価値をもたらす。電子写真技術の向上のために，更なる応用が期待される。

Abstract

In the history of the electrophotography, two-component magnetic brush development method has been adopted in many color MFPs and production printers because of its quality, durability, and controllability in developing characteristics. The charge transport equilibrium mechanism proposed by Kurita is useful as an analysis model of development characteristics in two-component development method of electrophotography and has been applied in many MFP designs. In this model, the traveling distance of the counter charge is treated as a constant, and its value is estimated experimentally. The author tried an iterative calculation of the process of counter charge transport by applying a diffusion model and an electric charge mobility model. In each calculation model, the development characteristics showed a gradual time dependence after a lapse of a predetermined time, and the results obtained that the charge transport equilibrium mechanism was generally supported.

The diffusion model met the developing condition that DC bias voltage was applied. The charge transport equilibrium mechanism can be accepted except the condition under the 'limitation of toner supply'. The electric charge mobility model met the developing condition that AC bias voltage was superimposed. In this case the charge transport equilibrium mechanism can be accepted if the developing time is longer than the transit time of counter charge which is determined by amplitude of AC voltage and so on. These results provide the value of replacing empirical know-how with analytical understanding and helping to transfer technical knowledge. Further applications are expected for improving electrophotographic technology.

* EP Process R & D Division 1, EP Image Engineering Development Center, R & D Headquarters Business Technologies

1 Introduction

In the history of the electrophotography, two-component magnetic brush development method has been adopted in many color MFPs and production printers because of its quality, durability, and controllability in developing characteristics. Several important theories and models helped in designing developing systems and controlling algorisms for image stabilization. Kurita's Charge transport equilibrium model [1] is one of the useful models for analyzing experimental data. Equation (1) shows Kurita's original charge transport equilibrium model determining developed toner charge Q;

$$Q = \frac{-\varepsilon_0 V_0}{d_s/k_s + d_t/k_t + d_c/k_c\theta} \tag{1}$$

where V_0 is given potential difference, θ is speed ratio between developing roller and photoconductor, and d_s/k_s, d_t/k_t and d_c/k_c are equivalent thickness of the photoconductor, developed toner layer and the counter charge. In this model, developability is dominated by the counter charge thickness and θ.

Equation (2) shows Hattori's revised charge transport equilibrium equation (2019) [2]. In this equation, the term of the counter charge thickness is modified considering relative movement of developer from the viewpoint of developed photoconductor.

$$Q = \frac{-\varepsilon_0 V_0}{\frac{d_s}{k_s} + \frac{d_t}{k_t} + \frac{d_c}{k_c \cdot |\theta| \cdot (1 + |\theta - 1|)}} \tag{2}$$

Fig. 1 refers above model [2] showing the counter charge is condensed or diluted to $1/|\theta|$ and $|\theta\text{-}1|$ is ejected to the vertical direction. In this figure the distance of the counter charge is constant.

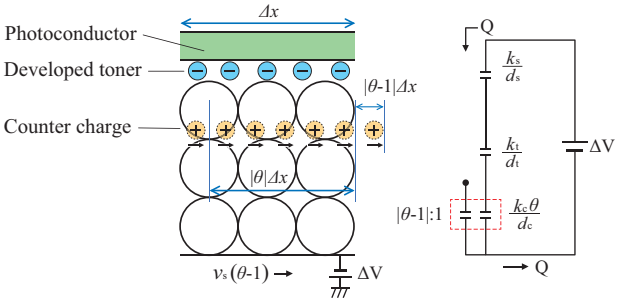


Fig. 1 Schematic illustration and equivalent circuit of the revised charge transport equilibrium model at the condition of $0<\theta<1$.

Fig. 2 shows comparison between experimental results and the calculated results reported in the author's previous paper [2]. Equation (1) and Equation (2) can meet good correlation with experimental results by estimating some constant value on the term including 'counter charge'. However, there is no suggestion in these models why or how the counter charge is driven to the balanced position. Okada [3] suggested a useful reference as a mathematical solution for both IMB (Insulative Magnetic Brush) and CMB (Conductive Magnet Brush) development method by focusing conductivity of the magnet brush. In this study, the author focused the IMB method and applied a numerical, iterative solution for toner deposition and counter charge transportation to understand the mechanism that the counter charge term seems to be a constant.

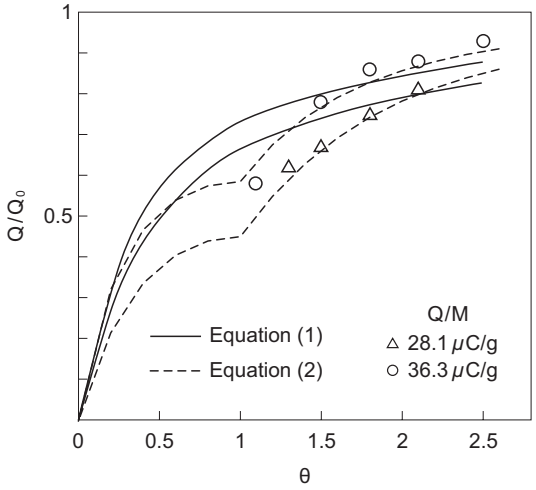


Fig. 2 Comparison between experimental results and the calculation; solid lines are by Equation (1) and dotted lines are by Equation (2).

2 Charge transport model and calculating method

A calculation model is shown in Fig. 3. It is a 'multi-layered model' consists of developer layer, air gap, developed toner layer and photoconductor layer, where developer layer including counter charge is divided in n sublayers (L_1, $L_2 \cdots L_n$) to reproduce counter charge distribution. At the step 1, developed toner charge Q_t and newly generated counter charge in the top sub-layer of the developer ΔQ_{dn} are calculated so as the electric field in the imaginary air gap layer to be zero else toner density in the top sub-layer to be empty. ΔQ_{dn} is condensed or diluted from Q_t by Equation (2);

$$\Delta Q_{dn} = \frac{Q_t(t) - Q_t(t - \Delta t)}{|\theta|(1 + |\theta - 1|)} \tag{3}$$

At the same time, amount of counter charge transport among neighboring sub-layers is calculated by the determined model. After Δt, at the step 2, electric field in all sub-layer are re-calculated on the basis of the new charge distribution calculated at the step 2. Step 1 and step 2 are alternately repeated.

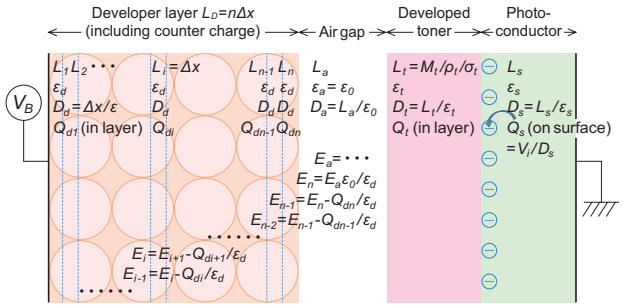


Fig. 3 Iterative calculation model by alternating development and charge transport.

Two types of charge transport model were tested: the Fick's laws of diffusion and the electric charge mobility model. By Fick's laws, counter charge density $Q_{di}(t)$ in sublayer L_i is expressed in the following Equation (4);

$$\begin{aligned} Q_{di}(t) = {} & Q_{di}(t-\Delta t) \\ & +\delta\{Q_{di+1}(t-\Delta t)-Q_{di}(t-\Delta t)\} \\ & -\delta\{Q_{di}(t-\Delta t)-Q_{di-1}(t-\Delta t)\} \end{aligned} \quad (4)$$

where δ is the diffusion coefficient. This model assumes the counter charge transportation is dominated by mechanical dispersion such as vibration or collision rather than electrostatic force.

In another model, the counter charge transportation is dominated by electrostatic force received from the electric field;

$$\frac{\Delta Q_{di}(t)}{\Delta t} = \mu Q_{di}(t-\Delta t) E_i(t-\Delta t) \quad (5)$$

where μ is the counter charge mobility and E_i is the electric field in the i-th sublayer of the developer layer.

List of the parameters for calculation is as follows;

- Developer layer thickness $L_D = 0.5$ mm
- Number of divisions of the developer layer $n = 40$
- Imaginary Air gap layer $L_a = 0.1\,\mu$m
- Packing ratio of toner layer $\sigma_t = 0.5$
- Specific gravity of toner $\rho_t = 1000$ kg/m^3
- Photoconductor layer thickness $L_s = 25\,\mu$m
- Developing bias voltage $V_B = -500$ V
- Latent image potential on photoconductor $V_i = -100$ V
- Toner charge per weight $q/m = -30\,\mu$C / g
- Permittivity of the air gap (vacant) $\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}$ F/m
- Relative permittivity of the developer layer $\varepsilon_d = 2.5$
- Relative permittivity of the toner layer $\varepsilon_t = 2.0$
- Relative permittivity of the photoconductor $\varepsilon_s = 2.7$
- Counter charge mobility $\mu = 1.0\times10^{-7}$ m^2/Vs

Unit time Δt is tuned as $\mu E_n(0)$ doesn't exceed $L_D/n/\Delta t$. Development efficiency η is evaluated;

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_0}$$
$$Q_0 = \frac{-\varepsilon_0(V_B - V_i)}{L_s/\varepsilon_s + L_t/\varepsilon_t} \quad (6)$$

3 Results and discussion

3.1 Diffusion-model-based analysis

Fig. 4 shows an example of the result supposing charge transport was given by the Fick's laws of diffusion at the condition $\delta = 0.1$ and $\theta = 0.25$. In case that diffusion model was supposed, counter charge generated at L_{40} gradually moved slowly and kept stagnation around the photoconductor side.

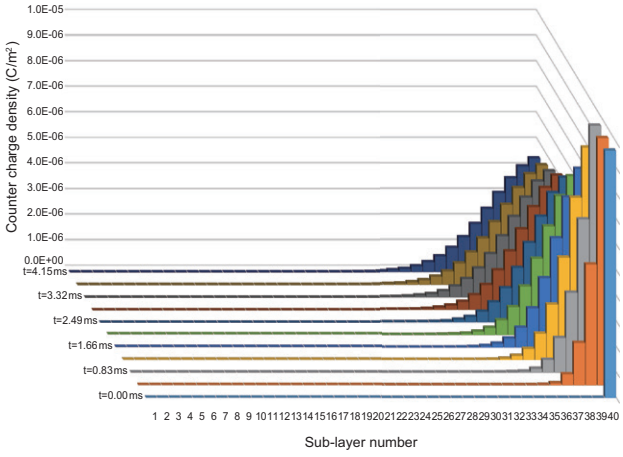


Fig. 4 Calculated result of the counter charge distribution in the developer layer by applying diffusion model (at $\theta = 0.25$, $\delta = 0.1$).

Fig. 5 is the time dependence of development efficiency by supposing the diffusion model. The figure shows rapid increment of efficiency from $t = 0$ to 0.1ms and nearly static state after that. During the period of above rapid increment, the calculation result indicated a state like 'limitation of toner supply'. Even if E_a was not canceled to zero, toner density at L_{40} became empty and development did not progress until toner was dispersed from the neighboring sub-layer.

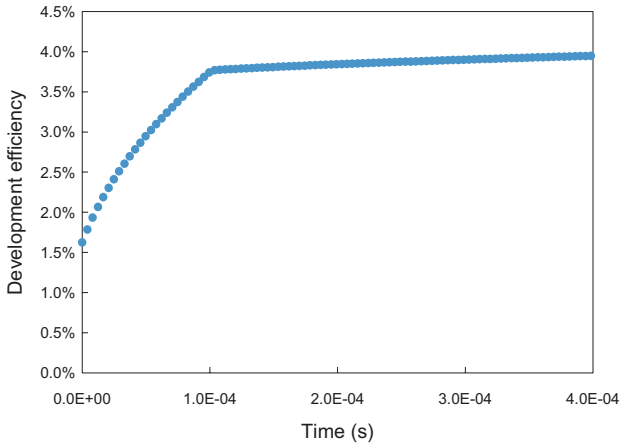


Fig. 5 Calculated result of development efficiency by applying diffusion model (at $\theta = 0.25$, $\delta = 0.1$).

Fig. 6 shows effect of θ at the diffusion model calculation. By giving sufficient θ, 'limitation of toner supply' could be avoided. Anzai et al. [4] suggested that toner to develop latent image was provided from the uppermost carrier layer, and that mechanical force by magnetic brush should be included in developing forces acting on toner. The diffusion model seems to correspond to their investigation in case of IMB system that DC bias voltage is applied.

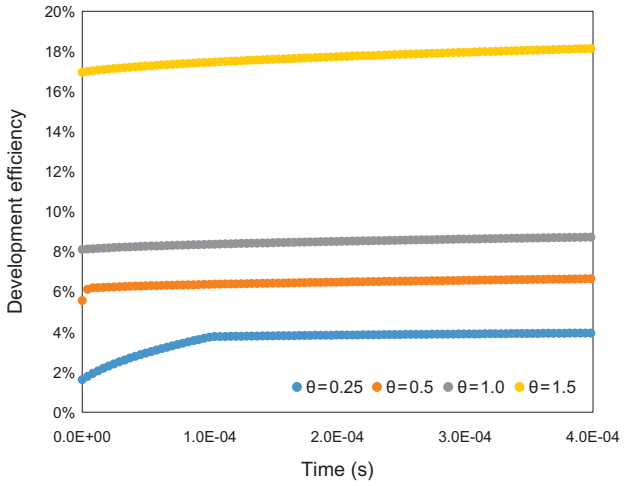


Fig. 6 Calculated result of development efficiency by applying diffusion model (at $\theta = 0.25$, 0.5, 1.0 and 1.5, $\delta = 0.1$).

3. 2 Electric-charge-mobility-model-based analysis

Fig. 7 shows another example of the result supposing charge transport is given by electric charge mobility model. Counter charge generated at the photoconductor side of the developer layer was transported to the developing roller side in about 2ms and was stayed around the neighboring area of the developing roller. Fig. 8 shows a corresponding result of development efficiency. At the start of development, 'limitation of toner supply' was observed from t=0 to 0.4ms, consecutively from t=0.4ms to 2.2ms, developing efficiency was increased according to counter charge transport form the photoconductor side to the developing roller side, and finally developing efficiency became constant. The result can be understood that transport of counter charge induces toner deposition and that it requires 'transit time' for developing property to be in the stable situation. The 'transit time' may be a factor for the process speed limitation of the system.

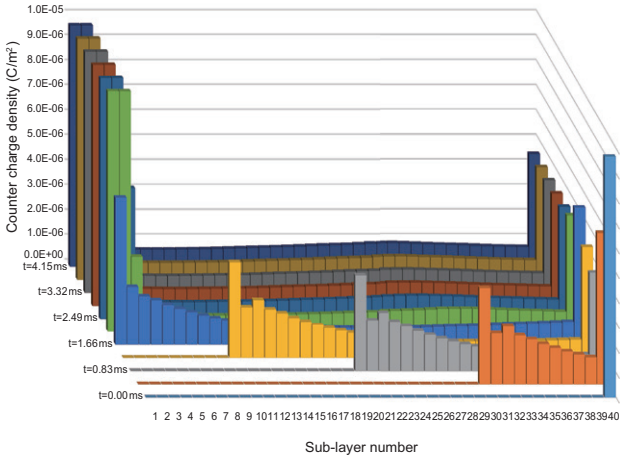


Fig. 7 Calculated result of the counter charge distribution in the developer layer by applying electric charge mobility model (at $\theta = 0.25$, $\mu = 1.0\times10^{-7}$ m²/Vs).

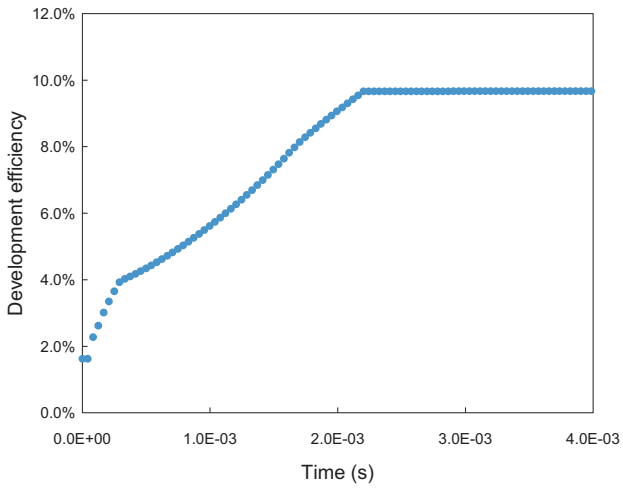


Fig. 8 Calculated result of development efficiency by applying electric charge mobility model (at $\theta = 0.25$, $\mu = 1.0\times10^{-7}$ m²/Vs).

Fig. 9 shows effect of θ at the electric charge mobility model calculation. As can be seen from the figure, developing efficiency was relatively increased by applying larger θ but it does not have effects to accelerate the developing speed. On the contrary, Fig. 10 shows effect of μ. By giving the larger μ, the developing efficiency reached to the saturated level in a shorter time, but the saturated levels were the same.

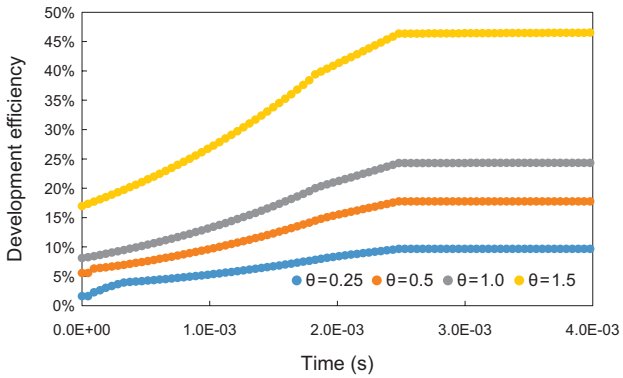


Fig. 9 Calculated result of development efficiency by applying electric charge mobility model (at $\theta = 0.25, 0.5, 1.0$ and 1.5, $\mu = 1.0 \times 10^{-7}$ m^2/Vs).

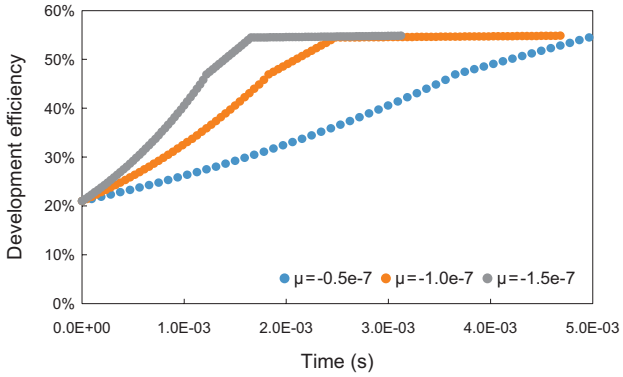


Fig. 10 Calculated result of development efficiency by applying electric charge mobility model (at $\theta = 1.7$, $\mu = 0.5 \times 10^{-7}$, 1.0×10^{-7} and 1.5×10^{-7} m^2/Vs).

In case of two-component development method applying AC bias voltage superposition, AC amplitude is considered as a parameter of the counter charge mobility. In actually, counter charge is a part of charge on the carrier surface with opposite polarity to toner. Counter charge is appeared when a toner particle is deposited from the carrier surface and transferred and disappeared when another toner moved from neighbor onto there. There exist many kinds of barriers or traps for toner transition through the developer layer. AC bias generates an alternating electric field in the developer layer and is thought to affect the toner to overcome barriers and traps resulting counter charge transport. Fig. 11 shows experimental data of developing property under various condition of AC bias superposition reported by the author in 1997 [5]. In this figure, *M/A* (mass of toner per unit area) was increased by applying AC bias superposition from 0 (=DC only) to 1.0 kV_{P-P} and saturated at 1.0 kV_{P-P} and more. It is understood that the counter charge mobility was increased by AC bias superposition and the transit time came up at the developing time when AC bias became 1.0 kV_{P-P}.

In rough approximation, supposing the process speed limitation of the single-headed two-component development method utilized in color MFPs to be around 500 mm/s and contact width between magnet brush and photoconductor to be 1mm, developing time is calculated as 2.0 ms. Developing property should be saturated until the end of the developing region if the unit were designed with sufficient robustness. When the developer layer thickness is 0.5 mm and developing bias is 500 V, mobility of the counter charge is approximated to be $5 \times 10^{-7} m^2/Vs$. It is as same order as mobility of organic semiconductor.

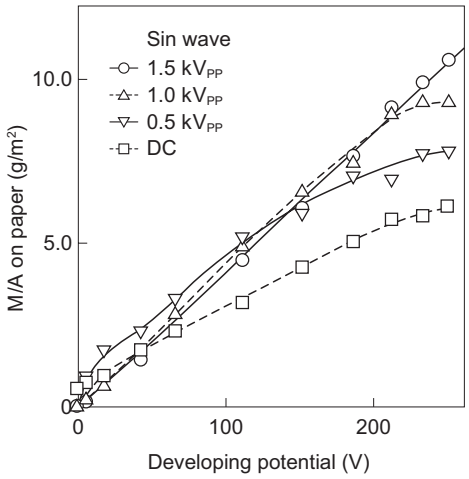


Fig. 11 Experimental result of the change in development property depending on AC bias superposition reported in [5]. *M/A* (mass of toner per unit area) was increased by applying AC bias superposition from 0 (=DC only) to 1.0 kV_{P-P} and saturated at 1.0 kV_{P-P} and more.

4 Conclusion

Although the charge transport equilibrium model is well-known as a useful model for analyzing experimental data of the two-component development method, there was no discussion why and how the counter charge layer was determined. In this study, an iterative calculation method was applied to consider the process of counter charge transport. A diffusion model and an electric charge mobility model were discussed. The diffusion model met the case that DC bias voltage was applied. The charge transport equilibrium mechanism can be accepted except the condition under the 'limitation of toner supply'. The electric charge mobility model met the case that AC bias voltage was superimposed. In this case the charge transport equilibrium mechanism can be accepted if the developing time is longer than the transit time of counter charge which is determined by amplitude of AC voltage and so on.

Although two-component development method has been applied to many commercial products and has contributed to progress in speed and quality of electrophotographic process, few analytic investigations have been presented recently. In this paper, two-component development method was discussed by utilizing a charge transport model in multi-semi-conductive-layer. Such a model is worthful to improve technical knowledge from empirical know-how to analytical understanding. Further applications are expected for improving electrophotographic technology.

References

[1] T. Kurita, "Charge transport equilibrium mechanisms in electrographic toner development system", DENSHISHASHIN GAKKAISHI, 30(2), pp. 131-142 (1991) [in Japanese].

[2] Y. Hattori, "Re-consideration of the speed ratio dependent term on the charge transport equilibrium mechanism," Proceedings for the 6th fall meeting of Federation of Imaging Societies, 2019 (2019) [in Japanese].

[3] H. Okada, "An analysis of two-component magnetic brush developments considering development resistance and toner-supply-limit (1) – with-mode development –", Journal of the Imaging Society of Japan, 52(3), pp. 181-193 (2013) [in Japanese].

[4] M. Anzai, N. Hoshi, H. Sawada and A. Shimada, "High-speed magnetic brush reversal development in electrophotographic process", DENSHISHASHIN GAKKAISHI, 24(2), pp. 95-101 (1985) [in Japanese].

[5] Y. Hattori, "Technologies in four-color developing process and image stabilizing system", DENSHISHASHIN GAKKAISHI, 36(4), pp. 324-335 (1997) [in Japanese].

Acknowledgment

Dr. Inan Chen, former in Xerox Corporation, gave lectures and consultations of physics and mathematics from 1999 to 2009 concerning electrophotographic process and materials including multi-layered model for charge transport calculation. The author expresses cordial gratitude for his worthful instructions. Reprinted with permission of the Imaging Society of Japan, the representative host society of ICAI 2021, the International Conference on Advanced Imaging 2021.

The copyright of this article is owned by the Imaging Society of Japan.

電子写真用光沢センサーの開発

Development of Gloss Sensor for Electrophotography

浅野 斉＊ Hitoshi ASANO
石川 明正＊ Akimasa ISHIKAWA
高橋 昌彦＊＊ Masahiko TAKAHASHI
大木 誠＊＊ Makoto OOKI
湯浅 崇史＊＊ Takafumi YUASA

要旨

高画質化と自動化が進むプロダクションプリンターの顧客要望に対応する為，コニカミノルタは電子写真の光沢感を測定する光沢センサーを開発した。

これまで我々は独自の自動調整技術を搭載したIQ-501により，トナー画像の濃度，色，等のリアルタイム補正を可能としてきたが，光沢を測定しリアルタイム補正する技術はいまだ存在していなかった。

また光沢感は物体表面の光の正反射に対する人の感応であり，その高低は反射率や拡散状態が複雑に影響することから，測定対象に応じた光沢度や写像性等，様々な測定方法が提案されてきた。しかし，何れもトナー画像の光沢を測定する目的で開発された手段ではない為，電子写真の定着フィードバックには適さなかった。

そこで新たな光沢センサーを開発するにあたり，トナー画像に対して人が感じる光沢感のメカニズムの解明を実施。トナー画像の光沢感は正反射の反射率とその拡散状態に起因するが，さらに反射率はトナーの色と定着条件により変化し，拡散分布は用紙地肌の表面状態が大きく関与する事が判明した。

これらの特性に対応する為，光沢センサーの光源には白色LEDを採用，散乱光をRGBの色フィルター付きフォトダイオードで測定してトナー色を判断し，正反射光をリニアセンサーで測定して反射率と拡散分布を測定する構成とした。

今回開発した光沢センサーと現在開発中の定着パラメーター制御技術と組合せる事で，トナー画像の光沢を自在に制御する事が可能となり，顧客の要望に合わせた光沢を有する印刷物を自動で提供することが可能となる予定である。

用紙地肌とトナー画像の光沢を合わせることによる画像品質の向上で，更なるプロダクションプリンターの普及とオフセット印刷からオンデマンド印刷への置換えの促進が期待される。

Abstract

Konica Minolta has developed a gloss sensor to detect the glossiness of electrophotographic image, to solve the customer demands for electrophotographic printers, which are becoming more sophisticated and automated.

Until now, Konica Minolta has made it possible to stabilize the density, color, and position of toner images by IQ-501 which has some unique technologies, but there has not yet been a technology for stabilizing gloss.

Gloss is the human sense of specular reflection of light on the surface of an object, and the intensity of gloss is due to the reflectance and diffusion distribution. There are some measurement methods for gross, but they are not for the gloss of the toner image, so that it was not a suitable method for the feedback of a fusing unit of an electrophotographic printer.

So that, before developing a new gloss sensor, we first studied the mechanism of gloss that humans perceive on toner images. It was found that the gloss of the toner image is due to reflectance and diffusion width of the specularly reflected light, the reflectance changes depending on the color of toner and the fixing conditions, and the diffusion width changes depending on the surface condition of the paper.

To measure these characteristics, the gloss sensor is equipped with a white LED as a light source. The toner's color is measured by three photodiodes with RGB color filter, and the reflectance and the diffusion distribution are measured with a linear sensor.

By combining the gloss sensor and the fixing parameter control technology currently under development, it is possible to control the gloss of the toner image, and it is possible to automatically provide printed matter with gloss that meets the customer's request.

＊情報機器開発本部　PPデバイス制御開発センター　第1PPデバイス制御開発部
＊＊情報機器開発本部　PP製品開発センター　第2PP製品開発部

1　はじめに

プロダクションプリンターの高画質化に伴い，近年，印刷物の光沢感が注目を浴びており，トナー画像の光沢をコントロールする為の定着技術の開発が進んでいる。しかし光沢を精密にコントロールするには，フィードバック機能が不可欠であり，トナー画像の光沢を読み取るセンサーの製品搭載が必要となる。そこで今回，製品搭載可能な光沢センサーの開発に着手した。

光沢感は物体表面の光の正反射に対する人の感応であり，その高低は反射率と拡散状態に起因する。その為，測定対象に応じて光沢度や写像性等，様々な測定方法が提案されてきた。しかし何れもトナー画像の光沢を測定する目的で開発された手段ではない為，定着制御のフィードバックに適した手段とは言えなかった。

そこで，新たな光沢センサーを開発するに際し，我々はトナー画像における正反射の状態とメカニズム，及び人が感じる光沢感との相関の把握を実施した。トナー画像の光沢感をフィードバック制御するのに適した光沢センサーを開発した。

2　トナー画像の光沢メカニズム

2. 1　光沢評価の既存技術

光沢感は物体表面の光の正反射に対する人の感応である。Fig.1 は紙に光が照射した際の，正反射光と周辺の拡散分布，及び散乱光の概念図であるが，人が感じる光沢感は正反射光の反射率と拡散状態に起因する。

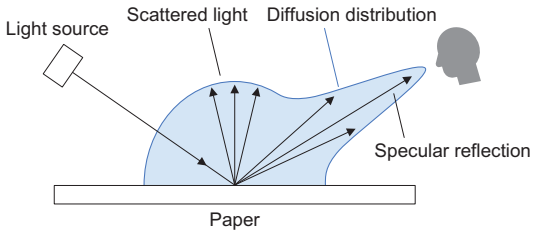


Fig. 1 Relationship between gloss, specular reflection and diffusion distribution.

しかし物体の表面形状や材質が様々である為，正反射した光の反射光の特徴も様々となり，反射率と拡散状態が光沢感に与える寄与度は一様ではない。

トナー画像は比較的低光沢であり，トナー画像の光沢感においては，室内照明の光を用紙に当てた際の正反射光の光像とトナー画像のコントラストの強さで判断する場合が多く，鏡面光沢度（Fig. 2）という測定基準が一般的である。しかし鏡面光沢度は正反射光の一定範囲における総光量を計測する方法であり，拡散分布を測定するには適していない。

また車の塗装のような高光沢の被写体においては，塗装面に写り込む光像の鮮明さを判断基準とする場合が多く，写像性（Fig. 3）という測定基準も存在する。しかし写像性は櫛状のスリットを移動させて光量の変化を読み取ることで，正反射の中心光量と周辺拡散光量の光量比を計測する手法である為，正反射率は測定できない。

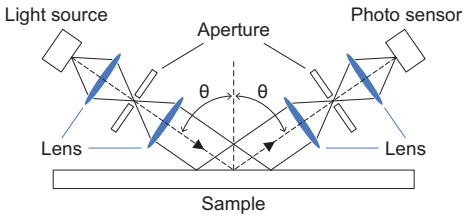


Fig. 2 Measure method of specular glossiness.

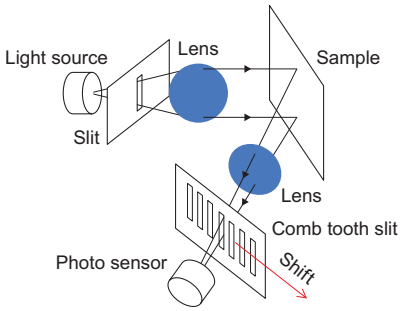


Fig. 3 Measure method of determination of image clarity.

光の反射率や光像の鮮明さを測定する構成としては，正反射光をカメラに搭載されるイメージセンサーやドキュメントスキャナーに搭載されるリニアセンサーで測定し，反射率と拡散分布を測定する方法が考えられる。しかし，定着フィードバック制御を行う為には，それらの測定値を分析してフィードバック情報に変換するアルゴリズムの開発も必要となる。

アルゴリズムの開発に向け，まずはトナー画像の反射特性と光沢感の関係性把握，及びトナー画像の反射特性と定着の関係性把握を行った。

2. 2　用紙と定着による光沢変化

トナー画像の反射特性と定着の関係性を把握する為，普通紙やコート紙を含む各種用紙にて，トナーや定着条件を変えたサンプルを作成，正反射光の反射率と周辺の拡散分布を測定し，更に人が感じる光沢感との関係性の把握を試みた。

その結果，トナー画像の正反射光の反射率はトナーの色と定着条件と用紙地肌の反射率が関与する事，更にトナー画像の拡散分布は用紙地肌の拡散分布とほぼ同じ分布となり，定着条件では大きく変化しない事が判明した。

Fig. 4 は各種用紙における，トナー画像の反射特性である。高光沢のコート紙は高反射率で拡散が狭いのに対し，低光沢のコート紙は低反射率で拡散が広い。コート層の無い普通紙は，更に低反射率となり拡散も広くなっている。トナー画像の反射特性は紙のコーティング，即ち表面状態により変化することが判る。この関係性を明確にする為，次にトナー画像の反射特性と用紙地肌の反射特性の関係性を調査した。

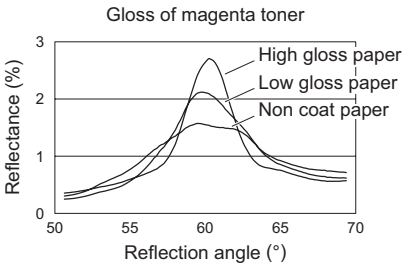


Fig. 4 Variation of gloss of the magenta toner by the paper.

Fig. 5 は高光沢のコート紙における，用紙地肌とトナー画像の反射特性である。高光沢のコート紙はコート層の表面が鏡面状である為，用紙地肌の拡散が狭くなり，トナー画像の拡散も同様に狭くなっている。

Fig. 6 は光沢を減らす為に表面に起伏を与えた，低光沢のコート紙の反射特性である。高光沢のコート紙に比べて，用紙地肌の拡散が広くなり，トナー画像の拡散も同様に広くなっている。

Fig. 7 はコート層の無い普通紙における，用紙地肌とトナー画像の反射特性である。用紙地肌が鏡面ではない為，正反射が発生していない。トナー画像の拡散分布は低光沢のコート紙と同等の広さとなっている。

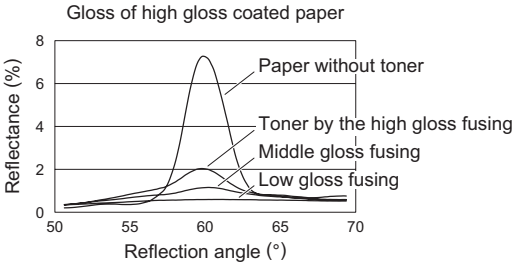


Fig. 5 Variation of gloss of the black toner by fusing condition, in the high gross coated paper.

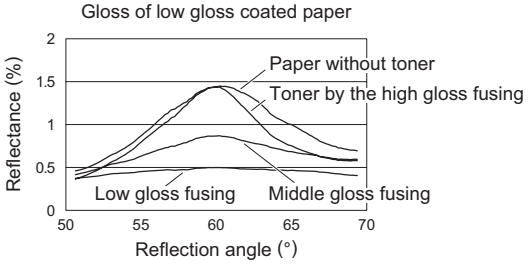


Fig. 6 Variation of gloss of the black toner by fusing condition, in the low gross coated paper.

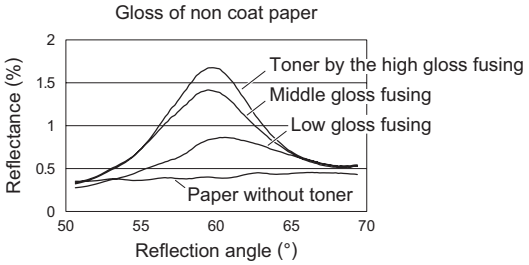


Fig. 7 Variation of gloss of the black toner by fusing condition, in the non coat paper.

以上の結果から，トナー画像の反射特性は用紙地肌の反射特性に起因していることが明らかとなった。これらの特性に基づき，定着制御のフィードバックのメインパラメーターとして反射率のピーク値を採用，サブパラメーターとして用紙地肌の拡散分布を採用することに決定した。

なお本実験における光沢変化は，定着温度，定着NIP幅，搬送速度，等の定着条件によりトナーの溶融状態を変化させており，高溶融の定着条件では高反射率，低溶融の定着条件では低反射率となっている。

2. 3　トナー色による光沢変化

先に述べた通り，トナー画像の正反射光の反射率はトナーの定着条件と用紙地肌の反射率で変化するが，トナーの色によっても変化する。この影響は定着による反射率の変化と重畳する為，トナーの色情報もフィードバックのサブパラメーターとして取得する必要がある。

トナー色は基材となる樹脂に含有した顔料により決定するが，淡色である黄色トナーは高反射率となり，濃色である黒色トナーは低反射率となっている。

Fig. 8 は高光沢のコート紙におけるトナー画像の反射特性であり，トナー色を変えた場合の変化を示す。

Fig. 9 は低光沢のコート紙におけるトナー画像の反射特性であり，トナー色を変えた場合の変化を示す。

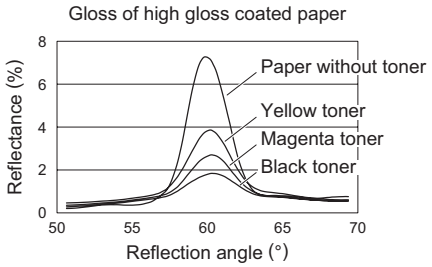


Fig. 8 Variation of gloss of toner by the toner's color, in the high gloss coated paper.

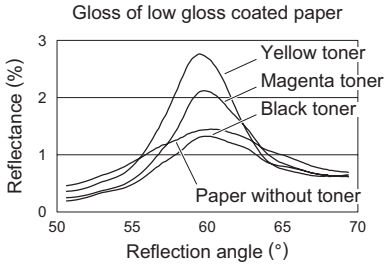


Fig. 9 Variation of gloss of toner by the toner's color, in the low gloss coated paper.

Fig. 10 はコート層のない普通紙におけるトナー画像の反射特性であり，トナー色を変えた場合の変化を示す。

コート紙はトナー色で反射率が大きく変化するのに対し，コート層の無い普通紙では反射率が大きく変化しない。これはコート紙が光を正反射させるのに対し，コート層の無い普通紙は正反射が発生しないことに起因するものと考えられる。

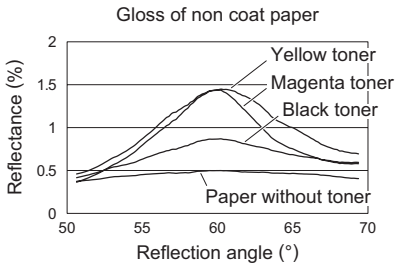


Fig. 10 Variation of gloss of toner by the toner's color, in the non coat paper.

以上，定着制御のフィードバック情報のサブパラメーターである用紙地肌の拡散分布に加えて，トナー色の情報も追加する事に決定，これらの情報を光沢センサーで測定する方針とした。

2. 4　トナー画像における光沢感の制御

定着の光沢制御は，主に反射率のピーク値をフィードバック情報として定着条件を変化させて，光沢の安定化を図るが，制御を自動化する為には光沢の狙い値の自動設定も必要となる。人が感じる光沢感は反射率だけでなく拡散分布も影響しており，かつトナー画像光沢の拡散分布は用紙表面性に起因する為，実験にてその関係性を明らかにした。

Fig. 11は反射率のピーク値と人が感じる光沢感の相関関係を表すグラフである。

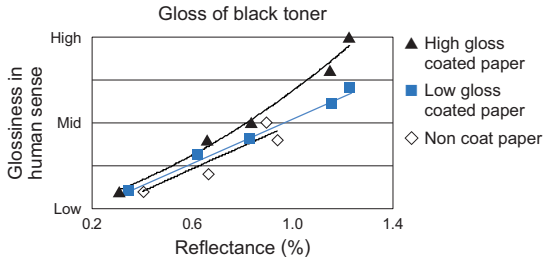


Fig. 11 Relationship of glossiness in human sense with reflectance.

Fig. 11から判る通り，反射率のピーク値が同程度の場合，高光沢のコート紙は低光沢コート紙や非コート紙に対して光沢感を高めに感じる傾向があり，これは拡散分布の狭さが起因している。またトナー色でも光沢感は変化する事が判っており，これらの関係性は複雑で交互作用も存在する。

これらの特徴に対応する為，トナー色と用紙地肌の拡散分布で補正テーブルを作成し，トナー画像の反射率を照合して定着制御へのフィードバックを行う事に決定。このテーブル補正により，トナー色や紙種が変わったとしても同一の光沢感が再現するよう，自動設定する事が可能となった。

また一般的にトナー画像の光沢感と用紙地肌の光沢感の差が少ない方が好ましいと感じられる場合が多く，この為の自動設定モードも搭載可能。テーブル補正をもちいて用紙地肌の光沢感と同等となるようトナー画像の反射率ピーク値を設定する。たとえば地肌に光沢の無い普通紙ならトナー画像の反射率を最小レベルに設定，高光沢のコート紙ならトナー画像の反射率を最大レベルに設定して，地肌とトナー画像の光沢感の差を抑制，顧客の望む光沢に自動設定する事が可能となる。

2. 5　トナー画像の光学シミュレーション

トナー画像の光沢感は正反射光の反射率とその周辺の拡散分布により決定することは明確であるものの，トナー画像がどういうメカニズムで反射率と拡散分布を変化させるか，トナー層の形状や屈折率がどう影響しているかは，いまだ解明されていない。そこで今回，用紙とトナー層の光学シミュレーションモデルを作製，シミュレーションで得た反射率と拡散分布に対して，実験で測定した反射率と拡散分布を照合させる事で，それらのメカニズムの解明を試みた。

まず用紙とトナー層の厚さと表面形状を市販の計測器で測定，3Dの形状モデルを作製した。但し微細で複雑な表面形状をそのままモデルにするとシミュレーターの分解能が不足，解析規模も膨大となった為，モデルの大型化と大幅な簡素化を実施。用紙表面を波形にモデル化し，トナー層の表面は更に微細な波形を重畳してモデル化した。

Fig. 12は簡素化した紙とトナー層の形状モデルであり，Fig. 13はトナー層の微細形状を示す。紙表面の粗い起伏に対し，トナー層の微細な表面起伏を重畳した形状となっている。

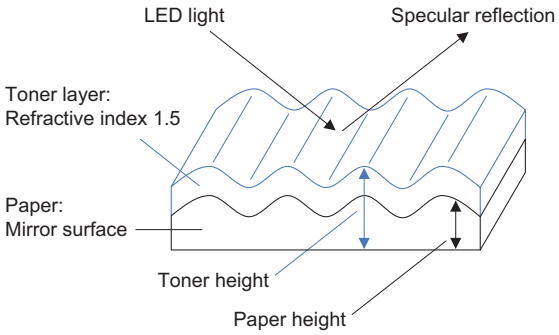


Fig. 12 Optical simulation model of the paper and toner.

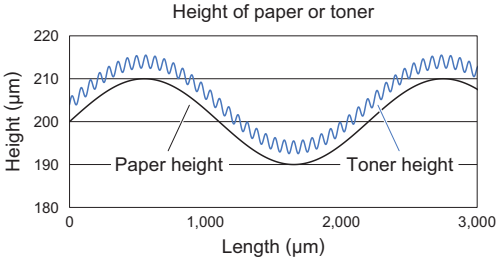


Fig. 13 Surface shape of optical simulation model of the paper and toner.

以上の形状モデルに対して光学特性を付与，トナー層の光学特性は表面の反射率と透過率，内部の屈折率と吸収率の組合せでモデル化し，紙の光学特性は反射率と散乱率でモデル化した。

Fig.14 は形状と光学特性のパラメーターをチューニングして作製した，高光沢コート紙と低光沢コート紙と普通紙の光学シミュレーションモデルの反射特性である。実際の反射特性に近い，ピーク反射率と拡散分布の変化を再現することができた。

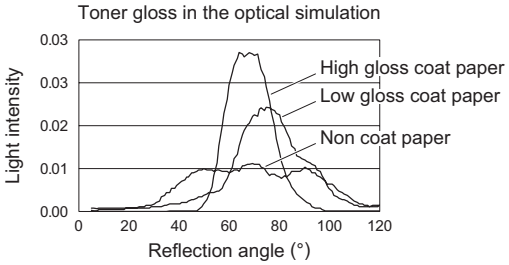


Fig. 14 Variation of gloss by the paper in optical simulation.

Fig.15 は低光沢コート紙の光学シミュレーションモデルにおける反射特性で，定着やトナー色による光沢変動を再現させたものである。ピーク反射率が変化するのに対して，拡散状態は変化しておらず，実際の反射特性に近い変化傾向を再現させることができた。

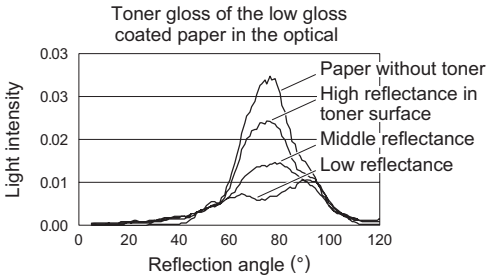


Fig. 15 Variation of gloss by the reflectance of toner surface in optical simulation.

2.6　トナー画像の正反射メカニズムの考察

今回作成したトナー画像のシミュレーションモデルは大幅に簡素化したことで精度が低く，シミュレーション結果と実験結果において定量的な乖離が存在する。しかし用紙地肌の拡散分布とは異なる，対称性のない特殊な形状の拡散分布やその変化の傾向等，定性的には一致しており，メカニズムの考察を得ることが可能となった。

今回の光沢実験において最も特徴的であり，かつメカニズムを理解し難かった現象として，トナー画像の拡散分布が紙の表面形状でほぼ決定する事，定着条件の変化で反射率のみが大きく変化する事が上げられるが，シミュレーションモデルにおいて両者はトナー表面の反射率を変化させる事で再現できている。実際の現象においては定着条件によって高光沢となる際，トナー表面の反射率が増大すると共に，トナー表面と内面の散乱率と吸収率が減少するものと考えられるが，シミュレーションモデル簡素化の為，それらの等価条件としてトナー表面反射率のみで代用した。

定着条件の変化でトナー表面の起伏が平滑化する可能性も指摘されていたが，シミュレーションモデルの実験においては反射率よりも拡散分布が大きく変化する結果となっており，この可能性は低いものと考えている。

これらの解析結果を踏まえて推定した光沢変化のメカニズムは以下の通り。トナー画像で発生する正反射光は，トナー表面の正反射光と用紙面の正反射光の合成であるものと考えられる。照射光に対しトナー層の表面で一部の光は正反射し，一部は散乱するが，残りの光はトナー内層に侵入する。その侵入光の一部はトナー層で散乱，吸収されるものの残りは用紙表面に到達。用紙表面で正反射し，再度トナー層で散乱，吸収されながら放出される。トナー表面の反射光と用紙面の反射光の合成がトナー画像の正反射光となり，それらが相互に影響しながら複雑な変化を示す。

Fig. 16 はトナー画像の反射メカニズムを光学シミュレーション上で再現させたものである。トナー画像の反射光は，紙表面の反射光 i とトナー表面の反射光 ii の合成光であることを示している。

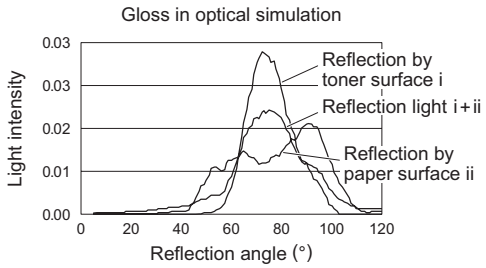


Fig. 16 Composition of gloss in the optical simulation model.

Fig. 17 はトナー画像の反射メカニズムの概念図である。LED から照射された光の一部がトナー表面で反射（Fig. 16 - i, Fig. 17 - i），残りの光はトナー層に入射する。その際，トナー表面の傾斜により入射光が拡散。拡散した入射光が紙表面で反射し，トナー層から出射（Fig. 16 - ii，Fig. 17 - ii）する。光学シミュレーションで得たトナー画像の反射光（Fig. 16 - i＋ii）は，これら二つの反射光の合成光であり，実際のトナー画像においても同様の現象が生じているものと推定する。

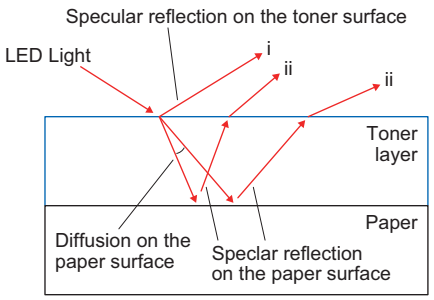


Fig. 17 Reflect surface in the optical simulation model.

定着条件による反射率の変動は，トナーが高溶融となった事でトナー表面の反射率光量が増大，トナー内層の散乱率と吸収率が減少した影響と考えており，トナー樹脂の透明度，白濁の変化が起因しているものと考えている。

またトナー色の影響は，紙表面からの反射光がトナー層を通過する間に，トナー樹脂に含有された顔料によって減衰する現象と考えられ，トナー表面の反射率変化は軽微であるものと推定する。この推定はトナー色による反射率変化が，非コート紙では極めて軽微なことにより裏付けられる。非コート紙は用紙表面での正反射が発生しない為，トナー層内での吸収，散乱影響が顕在化しないものと考えられ，この現象に合致。またトナー色では正反射率がほとんど変化していない事も明白となった。

3　光沢センサーの機能と構成

3. 1　光沢センサーの構成

以上の結果を得て，光沢センサーはトナー画像の正反射光の反射率と，用紙の地肌の正反射光の周辺拡散分布，及びトナー画像の色を測定する事を目的にシステム設計を実施した。

Fig. 18 は光沢センサーの構成図であり，その設計内容を以下に示す。

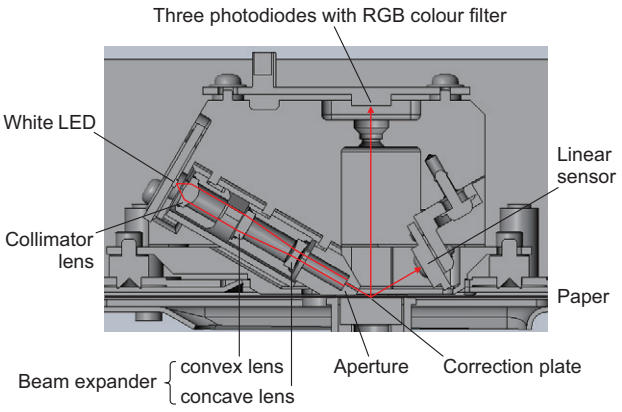


Fig. 18 Optical design of the gloss sensor.

光源には白色LEDを採用，散乱光をRGBの色フィルター付きフォトダイオードで測定してトナー色を判断し，正反射光をリニアセンサーで測定して反射率と拡散分布を測定する方式とした。リニアセンサーは微細なフォトダイオードの素子を一列に並べたICであり，複合機（MFP）のスキャナーなどに採用される事が多い。光沢センサーはMFPのような高解像度は不要である為，低解像度の128素子品を採用，コストを抑制している。

LEDの照射角度は既存技術である光沢度との相関性を確保する為，60度に設定。正反射角度の60度の位置にリニアセンサーを配置し，散乱光を測定するフォトダイオードは鉛直方向に配置した。

拡散分布に対するリニアセンサーの分解能を高めるには，トナー表面の微細な形状変化や散乱特性変化に対するリニアセンサー出力分布形状の感度を高める必要がある。

ここで照射光の分布（照射径と入射光束角度）とリニアセンサー出力分布形状の関係を考える。Fig.19 にその概念図を示す。

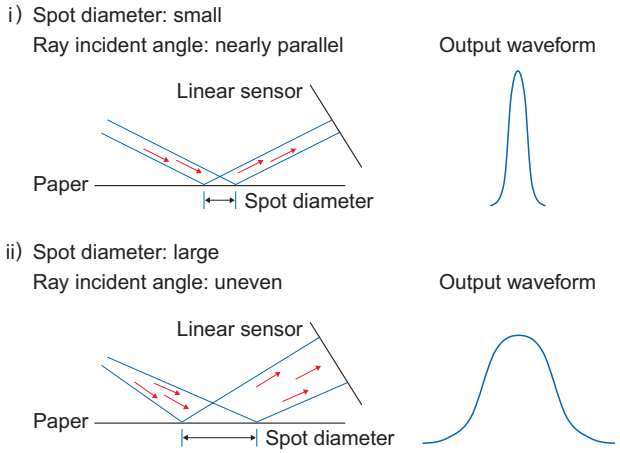


Fig. 19 Relationship between irradiation light distribution and output waveform.

光沢センサーは用紙面上の照射径を小さく，入射光束角度をそろえることで，高性能の検出を可能にしている。鏡面のように表面の凹凸がなく散乱しない面を測定した場合においては，リニアセンサーの出力としてシャープな分布が得ることが可能。表面に凹凸があって散乱特性を有するトナー画像を測定した場合においては，トナー画像による光束の角度変化を反映した，ブロードの出力分布を得ることが可能となっている。

一方で用紙面上の照射径が大きく，入射光束角度が不ぞろいであった場合，鏡面を測定してもリニアセンサーに向かう光束の角度が不ぞろいになりブロードな出力分布が得られる。トナー画像を測定しても，微細な表面凹凸の変化の影響が平均化され，且つ元々光束の角度が拡がってしまっているため，表面凹凸変化時や散乱特性変化時でも出力分布の変化は小さくなってしまう。

以上より，拡散分布の分解能を高めるには，照射径が小さく入射光束角度がそろっていることが望ましい。

またリニアセンサーはフォトダイオードに比べて1 pixel当たりの受光面積が小さく，取り込む光量が小さい為，SN向上の為には，リニアセンサーに到達する光量を多くすることが望ましい。

反射光の拡散分布に対する分解能と光量確保を両立する為，光沢センサーは下記のような光学系を採用した。

LED光源からの光束を平行光に近づける目的でコリメーターレンズを搭載するが，光の利用効率を高めるために，明るいコリメーターレンズ（開口数0.68）を用いて光源からの光を多く取り込んでいる。コリメーターレンズから射出された光束は径が大きいため，凸レンズと凹レンズを組み合わせたビームエキスパンダーを用いて光束角度を維持しつつ径を絞り（コリメーターレンズ2面後ビーム径ϕ5⇒凹レンズ2面後ビーム径ϕ1.7），アパーチャを通過する光束を増加させリニアセンサーに到達する光量を増加させている。

一般的に，面光源であるLEDはコリメーターレンズを用いても完全な平行光にすることはできない。LEDは発光面全体で発光しておりコリメーターレンズ光軸外から

も光束が入射するからである。この為，光沢センサーでは平行光に近い光束のみが用紙面上に到達するようアパーチャに厚み（3mm）を持たせており，光軸に対して角度のついた光束はアパーチャ内壁に当たって減衰，平行に近い光束のみがアパーチャから射出する構成としている。

しかし，上記のような光束角度の規制を行っても，完全な平行光がアパーチャから射出されるわけではないため，可能な限り小径のアパーチャを，可能な限り用紙面近くに配置して，用紙面上の照射径を小さくする必要がある。

アパーチャを用紙面に近づけられるよう，先端付近の形状を円錐状に加工，アパーャ先端から用紙面までの光路長を約3mmまで近づけている。厚みをもった小径なアパーチャ（ϕ0.5）を精度よく作製するため，アパーチャの開口は放電加工をもって加工している。

以上の手段をもって，照射径の小径化しつつ，入射光束角度をそろえ，かつ光量確保も達成することができた。

またLEDは発光による発熱や劣化によって光量が変動する為，補正機能が必要となる。これに対応する為，光沢センサーは補正板を搭載，補正板の正反射光をリニアセンサーで読取り，発光量変化等で発生するセンサー感度の変化を補正する。この補正板は用紙搬送経路の下に格納するが，紙粉等による汚れを防止する為，通常はシャッターで隔離，感度補正時にのみ露出される。補正板には白色樹脂を用いるが，わずかに反射率の個体差は発生する為，事前に補正板の反射率を測定して記憶素子に格納，光沢センサー感度の機差も抑制する。

3.2　光沢センサーの機能

以上の光学設計により，光沢センサーは5mm×5mmのトナー画像を用紙搬送したままで測定することが可能となった。

市販の光沢度計はフォトダイオードで反射率を測定している為，搬送による用紙姿勢の変動が正反射の角度ズレに直結して測定不能となるのに対し，光沢センサーではリニアセンサーを採用した事で受光エリアが広くなり，角度ズレに対するロバスト性が向上，用紙を搬送しながら光沢をモニターする事が可能となる。

トナー画像の光沢測定は印刷用紙の余白，非画像エリアに角ベタ等のトナーマークを形成して行う事を想定している。トナーマークが大きいと非画像エリアが拡大，かつトナーの消費量も増大する為，画像サイズは小さい事が好ましい。しかし一方，用紙搬送において紙がスリップした場合は画像位置がずれる為，画像サイズが小さいと正確な測定ができない。この課題に対応する為，光沢センサー自体に読取タイミングの検出機能を搭載させる事とした。用紙地肌の散乱光とトナー画像の散乱光は光量が異なる為，この変化をトナー色判別用のフォトダイオードで検出し，光沢センサー自らが測定タイミングを決定する。これらの制御は光沢センサーを制御するIC（Fig. 20）に搭載，加えてリニアセンサーの読取制御と読取データーからの反射率と拡散分布の測定，フォトダイオードによるトナー色判別等，様々な機能を搭載することで，製品本体のCPUに負担をかけることなく，センサー内で光沢情報の測定と分析を完了させることが可能となっている。

4　光沢センサーの展開

前述の通り，光沢センサーは自律型のセンサーである為，様々な製品への展開が容易である。次世代プリンターへの搭載を検討すると共に，将来的にはインクジェット画像の光沢測定やメディアの表面性の高精度測定等，更なる顧客価値の開拓を図っていく予定である。

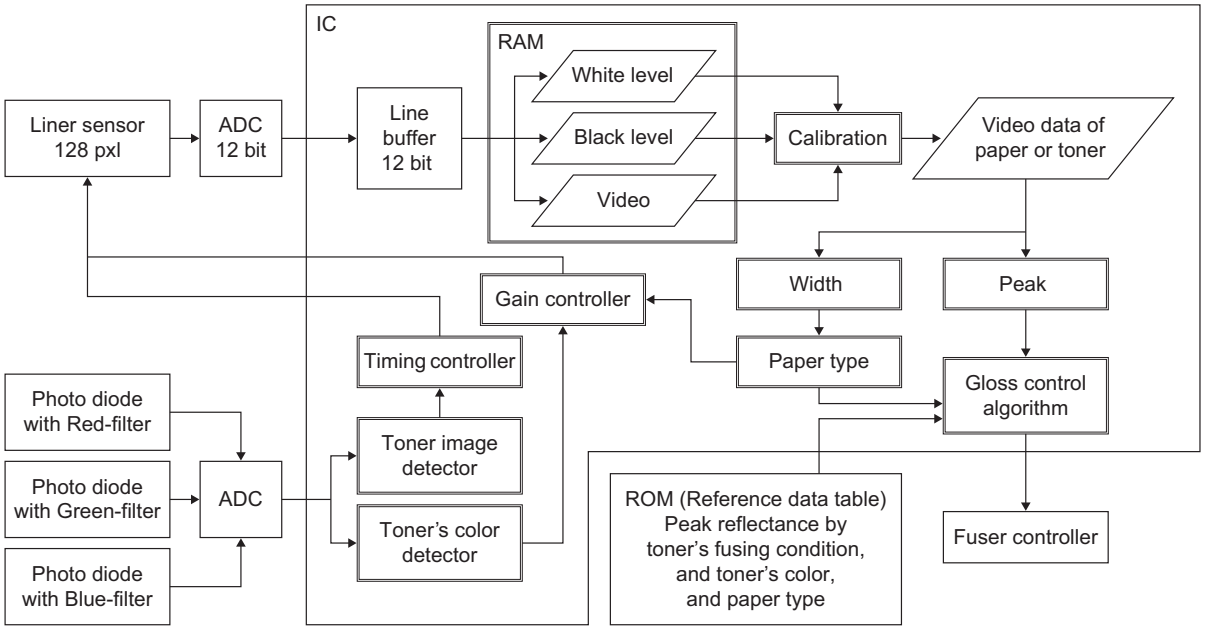


Fig. 20 Block diagram of an IC for the gloss sensor.

Study on Internal Stress Vibration and Edge Wear of a Cleaning Blade

Yoshiki NAKANE＊, Yu MUKOBAYASHI＊, Yoshihiro HATTORI＊

要旨

電子写真プロセス内で使用される部品の一つであるクリーニングブレードの寿命はエッジの摩耗量が律速であり，エッジの摩耗については疲労摩耗が寄与することが知られている。疲労摩耗は，繰り返し応力が作用し，摩耗部に微小な亀裂が生じて剥離が発生する現象として知られており，線形累積損傷則が剛体の疲労破壊をよく説明する経験則として使われている。他方で，クリーニングブレードを構成する粘弾性体の疲労摩耗を線形累積損傷規則に適用した研究はほとんど無い。

本研究の目的は，線形累積損傷則の基礎であるS-N曲線がブレードの摩耗で成立することと，ブレードの摩耗幅と$\Sigma n_i/N_i$の間に相関関係があることを確認することとした。

本研究では，光弾性法を適用し，光弾性高速動画からブレードのエッジ周辺に作用する内部応力を動的に解析した。応力の繰り返し回数の動的解析に使用したレインフロー法は，繰り返し回数をカウントする一般的な方法の中でヒステリシスを考慮したカウント方法である。

結果として，ブレードのS-N曲線は，Sが増加するにつれてNが減少する典型的なS-N曲線の挙動を示した。またブレード摩耗幅と$\Sigma n_i/N_i$は良好な相関関係を示し，$\Sigma n_i/N_i$，つまり累積疲労損傷度が大きいほど，ブレード摩耗幅が大きくなった。

本研究の結果から，短時間の光弾性高速動画を撮影して，ブレードの内部応力を可視化，さらに応力変動を追跡して得られたデータを分析し，$\Sigma n_i/N_i$を算出することで，摩耗幅を予測することが可能になったと言える。

Abstract

A cleaning blade is one of the parts used in the electrophotographic process. The life of the cleaning blade is determined by the amount of wear on its edge, and it is known that fatigue wear dominates the of edge wear. Fatigue wear process is known as follows; when repeated stress acts, micro cracks progress in the wear part, causing peelings. The linear cumulative damage rule is used as an empirical rule that explains fatigue fracture of rigid body well. On the other hand, few studies have applied the fatigue wear of viscoelastic bodies that make up the cleaning blade to the linear cumulative damage rules.

The purpose of this study is to confirm that the S-N curve, which is the basis of the linear cumulative damage rule, holds for blade wear, and that there is a correlation between blade wear width and $\Sigma n_i/N_i$.

In this study, we applied photoelastic method and dynamically analyzed the internal stress acting around the edge of the blade from the photoelastic high-speed moving image. The rainflow method was used for the dynamic analysis of the number of stress repetitions, which is a counting method that considers hysteresis among the typical methods for counting the number of repetitions.

As the results, the S-N curve of the blade showed typical S-N curve behavior in which N decreased as S increased. The blade wear width and $\Sigma n_i/N_i$ also showed a good correlation, and the larger the $\Sigma n_i/N_i$, that is, the cumulative fatigue damage, the larger the blade wear width.

By the results of this study, it can be said possible to predict the wear width by visualizing the internal stress of the blade from a short-time photoelastic high-speed video, analyzing the data obtained by tracking the stress fluctuation, and calculating $\Sigma n_i/N_i$.

＊EP Process R&D Division 1, Image Engineering Development Center, R&D Headquarters Business Technologies

1 Introduction

In the electrophotographic process, toner used as colorant causes image noise when it remains on an image carrier. A toner cleaning system is installed and a cleaning blade, hereinafter referred to as a 'blade', is widely applied to the cleaning system. The blade is composed of a viscoelastic body cut into a strip shape supported by a metal member, and is held under pressure at the edge of the blade against the image carrier. While the image carrier, formed in a cylindrical shape, rotates to repeat imaging sequence, frictional force is generated between the image carrier and the edge of the blade, which results in wear of the edge. As the edge wear increases, the blade cleaning performance deteriorates, and image noise is triggered due to toner slipping through. Various studies have been reported to reduce the blade edge wear and extend life of the blade. Several types of wear mechanisms have been proposed. Seino et al. proposed wearing equations based on the fatigue wear model [1]. They predicted stick-slip behavior causing fatigue wear of the edge and successfully examined the possibility by their experiments. At the time of Seino et al.'s research, there was no technique to measure the stress acting on the edge of the blade, so a tensile fatigue test was conducted by applying a repetitive stress with constant amplitude and frequency to the blade. They concluded inductively that the vibration acting on the edge caused fatigue wear.

In our previous report, "Visualization of internal stress of cleaning blade by photoelastic method" [2], we proposed a method to visualize the internal stress of the blade and discussed its validity as a measurement method by means of static analysis, and the magnitude of the stress. Dynamic analysis was carried over to the next report. Therefore, in this study, we brushed up this method and dynamically analyzed the internal stress acting around the edge of the blade from the photoelastic high-speed moving image. Since it became possible to analyze the number of repetitions in addition to the magnitude of the stress acting around the edge of the blade by dynamic analysis, we tried to explain the amount of wear of the blade by applying the linear cumulative damage rule.

The purpose of this study is to confirm that the S-N curve, which is the basis of the Minor's rule of cumulative damage, holds for blade wear, and that there is a correlation between blade wear width and $\Sigma n_i/N_i$.

2 Model

2. 1 Photoelastic method

When an external force is applied to an elastic body having a transparent and uniform structure such as celluloid to generate stress in the elastic body, the elastic body temporarily exhibits birefringence. When polarized light is incident on a photoelastic body, birefringence produces a pair of plane polarized lights that oscillates in the direction of the internal force and in the direction perpendicular to the internal force. Since the pair of plane polarized lights passes through the elastic body at different velocities, the light exiting the photoelastic body has a phase difference δ with respect to the incident light. Since this δ is proportional to the principal stress difference, the photoelastic method is used as a method to analyze the stress distribution in the elastic body by measuring δ.

The detailed method for measuring the internal stress of the cleaning blade by the photoelastic method is as described in the previous report [2].

2. 2 Linear cumulative damage rule

The linear cumulative damage rule is used as an empirical rule for estimating the life when the amplitude and frequency of stress acting on an object are irregular. This method is used when external stress acts on a rigid body that receives repeated loads. Fig. 1 is called a fatigue strength curve, and it is also called a S-N curve because it takes the magnitude of stress and the number of repetitions as axes. When the fatigue life due to constant repetitive stress of stress σ_i ($i = 1,2,\cdots, m$) of arbitrary magnitude is N_i ($i = 1,2,\cdots, m$), respectively, the σ_i that actually acts if the number of stress repetitions is n_i, the degree of fatigue damage due to σ_i is n_i/N_i, and it is considered that fatigue fracture occurs when the cumulative fatigue damage due to all σ_i exceeds 1, which can be expressed by Equation 1 [3].

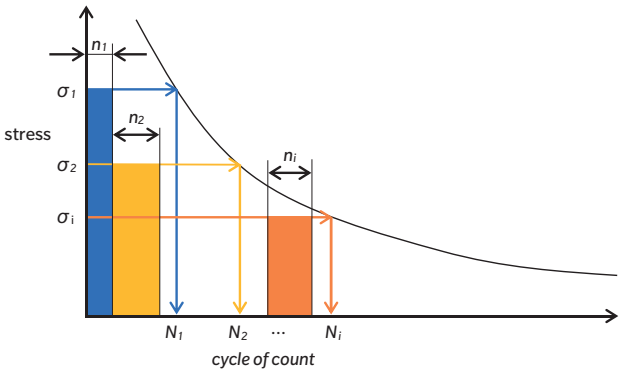


Fig. 1 Example of S-N curve.

$$\sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{N_i} \geqq 1 \tag{1}$$

Although many studies have applied the linear cumulative damage rule to fatigue fracture of rigid bodies, few reports have been employed it to predict the occurrence of fatigue wear in viscoelastic bodies [4]. In this study, we tried to adopt the linear cumulative damage rule to predict the fatigue wear of the blade from the magnitude and number of repetitions of the internal stress caused by the self-excited vibration generated in the viscoelastic body. Firstly, we focused the difference between fatigue fracture and fatigue wear. Equation 1 expresses the conditions under which fatigue fracture occurs, but fatigue wear can be considered to be the repeated discontinuous occurrence of minute fatigue fracture at the wear-generated portion. On this supposition, we considered that the larger the $\Sigma n_i/N_i$ and the larger the number of fatigue fractures, the larger the wear width of the blade. Based on this hypothesis, we hypothesized Equation 2 to represent the wear width 'W_f' under the constant 'a'.

$$Wf = a \times \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{N_i} \tag{2}$$

2. 3 Cycle counting method

When the number of stress repetitions is measured by the cumulative linear damage rule, it is necessary to consider the properties of the object on which the stress acts, the surrounding environment, and so on. For example, when some phenomena such as stress corrosion cracking are involved, the effect of the repetition rate is taken into consideration. And in the case of low cycle fatigue (fatigue phenomena in which the number of repetitions is 10^4 times or less) accompanied by the same phenomena, it is necessary to consider the waveform shape of stress, that is, triangular wave, rectangular wave, and the like rather than the speed. Since the blade edge of this study is classified as high cycle fatigue in which wear becomes remarkable after 10^4 or more repetitions, it is not necessary to consider the repetition rate and waveform shape. On the other hand, since the blade is composed of a viscoelastic body as a material, it is desirable to use a method of counting the number of repetitions in consideration of hysteresis [5].

Among typical methods for counting the number of repetitions such as the peak method, the range method, and the range-mean method, the rainflow method is a method for counting the number of repetitions in consideration of hysteresis. Hereinafter, the rainflow method will be described. As shown in Fig. 2, stress is on the horizontal axis and time is on the vertical axis. Unlike normal, the vertical axis is time, pointing downwards. The time-series waveform is likened to a multiple roof structure, and the behavior of rain flowing from the top of the roof is emulated. Rain flows downward from the base of the roof. When it reaches the eaves of the roof, it falls down to the lower roof and start flowing again until the flow stops due to the conditions for stopping the flow described later. After the flow stops, the next flow begins.

There are two conditions for the falls to stop. The first is, for example, when the flow from point 0 falls down from point 1, it can fall down to point 3 as it is because the starting point of the flow 2 in the next tensile direction is on the tension side of point 0, it flows down as it is, but the flow stops at the point 3 and the next tensile flow starts because point 4 is on the compression side of the point 0. The second is, for example, the flow from the point 2 stops at point 1, because the roof is already wet with the flow that has fallen from the point 1.

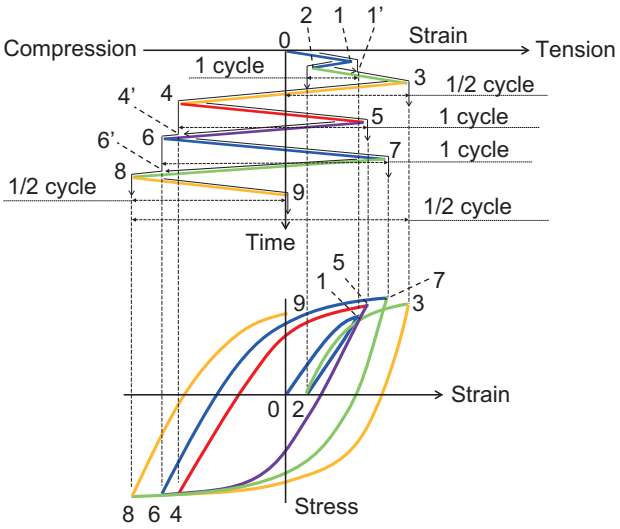


Fig. 2 Relationship between distortion interval and hysteresis loop by rain flow method.

Amplitude and frequency are determined as follows; when the conditions for stopping the flow are met, or when the flow is not stopped and the water falls down toward an infinite bottom, the length in the horizontal axis direction of the water flow is measured as the amplitude of the corresponding half cycle wave [6]. One of the features of the rainflow method

is that it deals the waveform in half cycle units. It means the method can count the wave even if the hysteresis loop is not closed as can be seen from the hysteresis loop corresponding to the distortion.

3 Experiment

3. 1 Experimental equipment and analysis method

Fig. 3 shows an external photograph of the friction tester manufactured for this study. It is a blade-on-disk type friction tester that imitates the cleaning system of the electrophotographic process, and can test the line contact slip friction between the disc and the blade. This tester consists of the following units: a disk drive unit that rotates a disk, a blade holding unit not shown in the photo that holds the blade and presses it against the disk, a polarized light source unit that polarizes the light emitted from the light source with a polarizing plate and transmits the blade, and an imaging unit consisting of a 'camera' CRYSTA PI-1P manufactured by Photoron Co., Ltd. with a built-in 1/4 wave plate connected to a lens holding a circularly polarizing filter at the tip to create a photoelastic image from transmitted light.

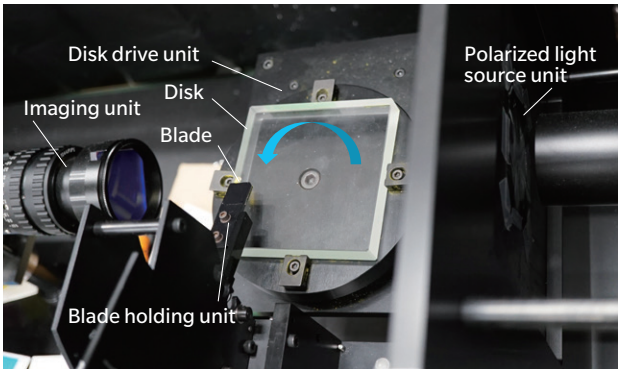


Fig. 3 Photograph of the friction tester prototyped for this research.

Fig. 4 shows an example of a photoelastic image taken by the friction tester. This is a snapshot from a photoelastic video. Fig. 5 shows a snapshot of the optical image taken at the same time. In the optical image, deformation of the edge cannot be observed, but in the photoelastic image, the color matching lines are lined up at narrower intervals near the edge, which means that higher internal stress is acting. In the high-speed moving image acquired by applying the photoelastic method, the movement of the color matching line, that is, the fluctuation of the internal stress acting near the edge of the blade was quantified using the tracking software. The high-speed video was shot for about 5 seconds at a frame rate of 10000 fps. Kinovea [7] was used as the tracking software, and Fig. 4 also displayed the trajectory during tracking. Since this study focused on the stick-slip of the blade, the data acquired by tracking is limited to the direction in which the frictional force acts. The obtained data were output in csv format and used for cycle counting. We used the Python rainflow module for the analysis. Among the outputs obtained by the rainflow module, the range and count are equivalent to the strain and cycle of count on the S-N curve. The cycle of count was divided by the video recording time to obtain the number of repetitions per unit time.

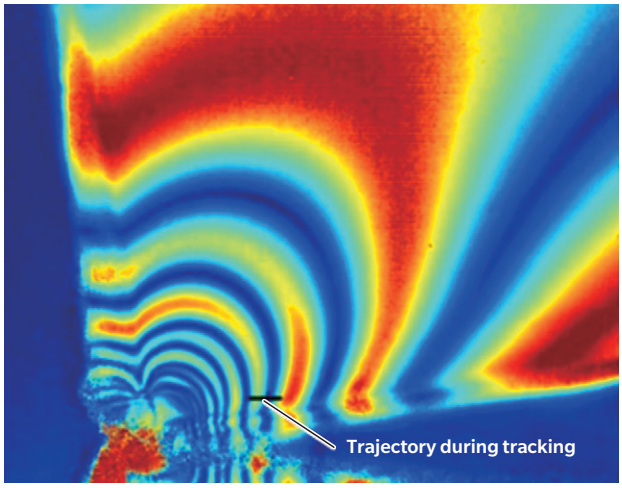


Fig. 4 An example of a photoelastic image of the edge of a blade.

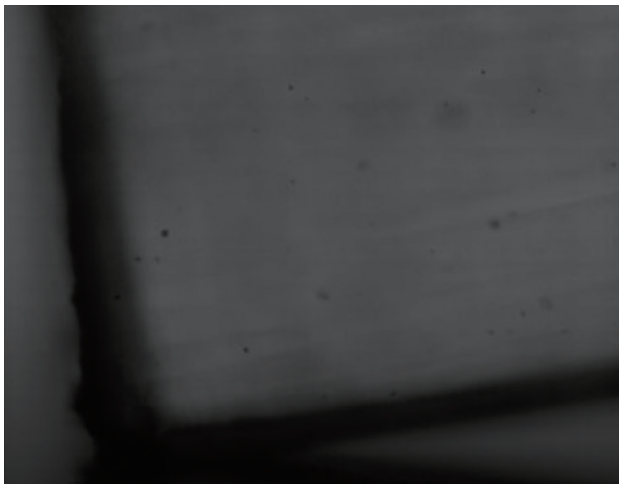


Fig. 5 An example of an optical image of the edge of a blade.

3. 2 Derivation of S-N curve

In order to derive the S-N curve of the blade, we first extracted the conditions under which remarkable fatigue wear occurs in the blade. A blade set to the specified conditions was installed on the AccurioPress C6100 manufactured by Konica Minolta, hereinafter referred to as the 'actual machine', durability was evaluated, and then the edge of the blade was

microscopically observed. The presence or absence of fatigue wear was confirmed. When no significant fatigue wear occurred, the level of the pure water contact angle on the surface of the image carrier was changed and the durability was evaluated again. By repeating above operations, the conditions under which fatigue wear remarkably occurs were extracted.

Next, by using the friction tester, the blade and the image carrier were set under the conditions that cause remarkable fatigue wear extracted in the durability evaluation of the actual machine. Photoelastic video was captured and the magnitude of stress when fatigue wear occurs in the blade and the number of repetitions were obtained by analyzing the video. The S-N curve of the blade was derived by dividing the magnitude of the stress thus obtained into a predetermined range and measuring the number of repetitions in each stress range.

3. 3 Wear width - $\Sigma n_i/N_i$ correlation

In order to verify the relationship between the blade wear width and $\Sigma n_i/N_i$, it is necessary to acquire the wear width and n_i data under different conditions, excluding N_i verified in 3.2. Durability evaluation using the actual machine was carried out to acquire wear width data. For the acquisition of n_i data, the data obtained by tracking the photoelastic image was analyzed by the rainflow method. The parameters whose levels were changed were the pure water contact angle of the photoconductor, the blade material, and the blade edge angle, and the other parameters were fixed and verified.

4 Results and discussion

4. 1 Resutlts of S-N curve

The S-N curve of the blade shown in Fig. 6 was typical S-N curve behavior in which N decreased as S increased. In addition, there is no fatigue limit that appears only in iron-based materials (at a certain stress or less, fatigue fracture does not occur even if the number of repetitions increases), and the linear cumulative damage rule was agreed.

4. 2 Wear width - $\Sigma n_i/N_i$ results

As shown in Table 1, the wear width of the blade changed when the contact angle of the photoconductor, the material of the blade, and the angle of the edge of the blade were changed. Since no trend can be found from here, the life of the blade cannot be predicted.

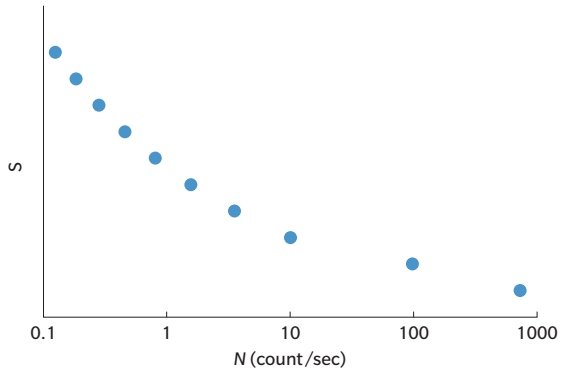


Fig. 6 S-N curve of blade.

Table 1

Material	Edge angle	Pure water contact angle	Wear	$\Sigma n_i/N_i$
A	X	Low	61.8	15.1
		Middle	22.2	4.0
		High	25.2	8.4
A	Y	Low	29.3	8.5
		High	25.8	5.3
B	X	Low	36.0	9.1
		Middle	29.0	6.7

On the other hand, the blade wear width shown in Fig. 7 and $\Sigma n_i/N_i$ showed a good correlation, and the larger the $\Sigma n_i/N_i$, that is, the cumulative fatigue damage, the larger the blade wear width. This relationship was maintained even if the pure water contact angle of the photoconductor, the material of the blade, and the angle of the edge of the blade were changed.

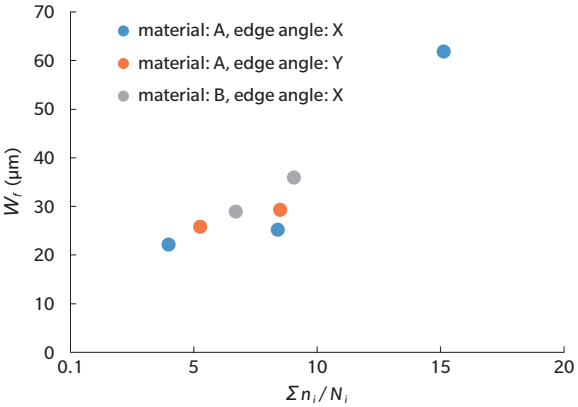


Fig. 7 Blade wear width - $\Sigma n_i/N_i$.

5 Conclusion

The S-N curve derived by counting the magnitude of the internal stress of the blade and the number of repetitions by the rainflow method showed a typical S-N curve, and it was suggested that the linear cumulative damage rule holds for the blade as well.

Furthermore, it was confirmed that a direct proportional relationship was held between the wear of the blade and $\Sigma n_i/N_i$ regardless of the conditions such as the surface condition of the blade and the photoconductor.

Previously, we have used actual machines to study for extending the life of blades (with many materials) by measuring the wear width of the blade tested in the durability evaluation (which requires evaluation time). By utilizing the results of this study, it can be said possible to predict the wear width by visualizing the internal stress of the blade from a short-time photoelastic high-speed video, analyzing the data obtained by tracking the stress fluctuation, and calculating $\Sigma n_i/N_i$.

This study suggests that the cumulative linear damage rule, a method for predicting fatigue fracture when an external stress is applied to a rigid body, may also be applied when measuring the internal stress of a viscoelastic body. Viscoelastic bodies such as blades have become widely applied in other fields (for example, in the case of electrophotographic process, rubber rollers for paper transport, charging, transfer, fixing rollers, etc.), and similar verifications will continue in the future. It is hoped that this will be carried out and that the technology for predicting fatigue fracture of viscoelastic bodies will advance.

References

[1] K. Seino, S. Yuge, and M. Uemura, "Wear characteristics and cleaning ability of cleaning blades", Journal of Imaging Society of Japan, 40, pp.320-329 (2001) [in Japanese].

[2] S. Higuchi, Y. Nakane, and K. Nakano, "Visualization of internal stress of cleaning blade by photoelastic method", Proceedings for the Imaging Conference JAPAN 2019, pp.59-61 (2019) [in Japanese].

[3] T. Watanabe, "Design and verification of concrete structures", Chapter 6, p.13, "engineering-eye", ITOCHU Techno-solutions Corporation, (2011) [in Japanese], https://www.engineering-eye.com/rpt/w015_watanabe/pdf/w015_06.pdf (December 12, 2021)

[4] K. Hayakawa, "Basic concept of life evaluation", Journal of Japan Rubber Association, 68, pp.297-306 (1995) [in Japanese]

[5] K. Kojima, "Cycle counting methods forfatiguew analysis", High Pressure Institute of Japan, 56, pp.184-188 (2018) [in Japanese]

[6] T. Endo, M. Matsuishi, K. Mitsunaga, K. Kobayashi, K. Takahashi "Proposal of Rain Flow Method and its application", Kyushu Institute of Technology Research Report Institute, 28, pp.33-62 (1974) [in Japanese]

[7] https://www.kinovea.org/ (August 12, 2021)

Acknowledgment

Reprinted with permission of the Imaging Society of Japan, the representative host society of ICAI 2021, the International Conference on Advanced Imaging 2021. The copyright of this article is owned by the Imaging Society of Japan.

コモンモードシミュレーションを用いたEMC設計のための支配的なノイズ源の特定

Identification of Dominant Noise Sources of Radiated Disturbance for EMC Design Using Common-mode Simulation

辻　本　隆　浩＊　Takahiro TSUJIMOTO
髙　津　宏　明＊　Hiroaki TAKATSU
野　村　　毅＊＊　Takeshi NOMURA
五百旗頭　健吾＊＊＊　Kengo IOKIBE
川　島　　渉＊＊＊　Wataru KAWASHIMA
豊　田　啓　孝＊＊＊　Yoshitaka TOYOTA

要旨

開発期間短縮とコスト削減のため，究極は試作なしでEMC（Electromagnetic Compatibility）設計まで完結させることが求められている。実構造モデルを用いた三次元電磁界シミュレータによる電磁界解析は有力な候補である。しかしながら不要放射の原因特定には繰り返し計算が必要であり，膨大な計算コストとのトレードオフとなる。複合機や自動車のような金属筐体近くに通信ケーブルが張り巡らされた構造からの不要放射は，コモンモードが支配的と考えられる。そのため，支配的な放射の元となるコモンモード励振源やその原因を設計の初期段階で特定し，適切な措置を施すことができれば，手戻りのないEMC設計が実現可能となる。

本論文では，モード変換を取り扱うことのできる平衡度不整合モデルを用いることでこれが可能となることを示す。複合機を模擬した構造を対象にその有効性を評価した。まず実構造モデルの三次元電磁界解析結果と比較し，放射量が概ね一致することを確認した。さらに，各コモンモード励振源に起因して生じるコモンモード電流や放射を比較することで支配的な放射の元となる励振源を特定できることを示した。

Abstract

EMC design is required to be updated to make the development period of products short. EM emission from multi-functional peripherals (MFPs) and automobiles is mostly due to the common-mode. Therefore, if the dominant common-mode excitation source and its course are identified in the early design stage and take appropriate measures, it enables EMC design without repetition. This paper showed that the imbalance difference model, modeling the mode conversions occurring where a transmission line changes the balance, could identify dominant common-mode excitation sources. If the recognized excitation sources are reduced the intensity in the early design stage, the EMC design can prevent redesigning the product.

We applied the model to a structure imitating MFPs. As a result, we identified the dominant excitation source by comparing common-mode current or radiation generated due to each common-mode excitation source.

＊情報機器開発本部　MFPデバイス制御開発部
＊＊情報機器開発本部　PP製品開発センター　第3PP製品開発部
＊＊＊岡山大学　大学院自然科学研究科

1　はじめに

複合機や自動車などの大型の実製品に対しても開発期間やコスト削減を目的に設計の初期段階からEMC（Electromagnetic Compatibility）を考慮した設計，いわゆるEMC設計をコンピュータ上で実現し，試作回数を最少化することが求められている。三次元電磁界シミュレータによる電磁界解析では，実製品の構造を忠実に再現した実構造モデルに基づいてシミュレーションを行うことで，不要放射が予測可能である。計算時間に関しても計算機性能向上に伴い，実用可能な時間で計算できるようになっている。

しかし，電磁界解析に基づき不要放射の原因となりうる要素と算出結果の因果関係を理解することは依然として困難であり，不要放射の原因究明には条件を変えた繰り返し計算が必要となる。そのため膨大な計算コストが必要となる。複合機や自動車のような金属筐体に通信ケーブルが張り巡らされた構造からの不要放射はコモンモードが支配的と考えられる。これは，ノーマルモード放射は信号伝送系の線路間隔を小さくすることで抑制が可能であり，不要放射への影響が小さいためである[1]。一方，コモンモードはその経路により形成されるループ面積がノーマルモードより大きく放射量も大きい。線路の平衡度の変化で生じるコモンモードへのモード変換はコネクタ設計や筐体上のケーブルの引き回し次第で増減する。

そのため，コモンモード励振源やその原因となる構造を設計の初期段階で特定し，コモンモード放射を抑制するケーブルや筐体構造およびケーブル配置の決定することが，不要放射抑制にとって重要である。なぜなら，設計の最終段階における配線経路や送受信基板位置などの変更は，設計全体への影響が大きく困難となるためである。よって，EMC設計実現にはコモンモード発生原因であるモード変換を取り扱えるモデルが必要である。

モード変換によって生じるコモンモード電流やコモンモード放射を予測する手法として，コモンモードアンテナモデル[2) 3) 4)]やモード等価回路モデル[6)]がある。これらのモデルは伝送線路の平衡度に着目し，平衡度が変化する場所で，その変化量に応じて生じるモード変換を表現しており，平衡度不整合モデルと呼ばれる。平衡度不整合モデルを用いることでモード変換によって生じるコモンモード電流やコモンモード放射の評価が可能である。

先行研究ではコモンモードアンテナモデルは平衡度が異なる伝送線路を有するプリント回路基板（PCB）[2) 3) 4)]やコネクタ接続されたPCB[5)]のような単純な構造を対象としており，モード等価回路モデルもモデルパラメータが線路に沿った方向にのみ変化する構造を対象としていた[6) 7)]。本論文では実製品の例として複合機を模擬した被試験機器（Equipment Under Test: EUT）を対象に平衡度不整合モデルと三次元実構造モデルとの結果を比較し，放射量が概ね一致すること，つまりEUTからの不要放射はコモンモード放射が支配的であることを示し，さらに平衡度不整合モデルを用いることで支配的な放射の元となるコモンモード励振源を特定可能であることを示す。不要放射の評価は複合機の実際の不要放射試験に則って，Fig. 1のように放射中心から半径10mの円筒面上の電界の水平偏波と垂直偏波の最大放射スペクトルを評価する[8)]。

本論文ではまず，2で平衡度不整合モデルを用いた不要放射予測法について示す。次に，3で本論文において評価を行うEUTのモデル構造について示す。最後に，4で実構造モデルの三次元電磁界シミュレーションとの比較結果と平衡度不整合モデルを用いることで支配的な放射の元となるコモンモード励振源を特定可能であることを示す。

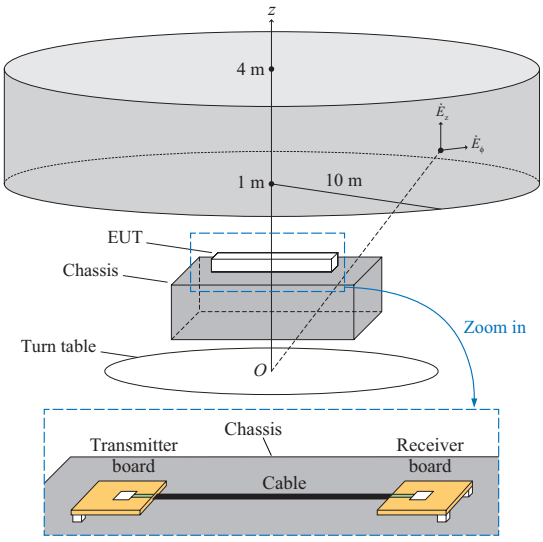


Fig. 1 Evaluation system for radiation.

2　平衡度不整合モデルを用いたEMC設計

2. 1　平衡度不整合モデル

本論文で取り扱う平衡度不整合モデルに関してFig. 1のEUTを例に説明する。

2. 1. 1　平衡度不整合モデルの利点

複合機や自動車には金属筐体近くに送受信基板をケーブルで接続した複数の通信系を内包しているため，EMC規格を満たさなかった場合に設計の最終段階でそのような通信系の基板配置や配線ケーブルの引き回しを変更することは設計スケジュールへの影響が大きく現実的ではないため，対症療法的なノイズ対策に頼りがちである。そのため，ケーブル接続された通信系は設計の初期段階で不要放射を抑制する配置にするのが肝要である。また，Fig. 1のように筐体近くに配置された通信系は線路の2導体に加えて金属筐体が近接するため，2導体線路と筐体をシステムグラウンドとして扱った3導体で構成される。この場合，3導体伝送系ではノーマルモードとコモンモードの二つの直交モードが存在し，このコモンモードが不要放射発生の主要因となる。そのため，設計の初期段階からコモンモード放射を生じさせない配慮が必要である。

平衡度不整合モデルのコモンモードアンテナモデルおよびモード等価回路モデルは線形モデルである。そのため，EUTが複雑化しモード変換が複数箇所で生じる場合であっても，各モード変換によって発生するコモンモード電流やコモンモード放射の線形和より合成電流や合成電界を得られる。言い換えると，複数の励振源を1つずつ励振することで支配的な放射の元となる励振源を特定可能である。その結果，設計の初期段階で平衡度不整合モデルを用い，コモンモード放射への寄与が大きいコモンモード励振源に対して対策を行うことでコモンモード放射を抑制した配置を実現できる。

2.1.2　モード等価回路モデル[6) 7)]

Fig. 1 のEUTのモード等価回路はFig. 2 で表される。伝送系に生じる電磁界をTEMモードで近似できる範囲では，実電圧と実電流をモード分解することにより，3導体伝送系はノーマルモードとコモンモードの伝送線路に分けて表される[9) 10)]。

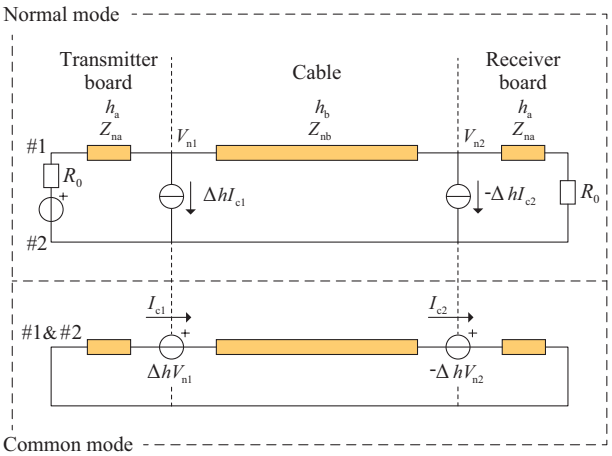


Fig. 2 Modal equivalent circuit model of signal trans-mission system shown in Fig. 1, where $\Delta h=h_b-h_a$.

Fig. 1 の送受信基板とケーブルの平衡度を表す電流配分率[3)]をそれぞれ，h_a, h_bとし，これらは異なる値をもつとする。つまりFig. 1 のEUTは異なる電流配分率をもつ線路が接続されているため，その境界で電流配分率の差Δhが生じる。$\Delta h=h_b-h_a$とすると，送信基板とケーブル間にΔh，ケーブルと受信基板間に$-\Delta h$の電流配分率の変化が生じ，モード変換は電流配分率が変化するその境界で生じる。そのため，Δhとその境界におけるノーマルモード電圧V_nを用いて表されるノーマルからコモンへのモード変換を意味するコモンモード励振源ΔhV_nがコモンモード等価回路に直列に挿入される。さらに，Δhとその境界におけるコモンモード電流I_cを用いて表されるコモンからノーマルへのモード変換を意味するノーマルモード励振源ΔhI_cがノーマルモード等価回路に並列に挿入される。このようにしてモデリングされたモード等価回路モデルを用いることで各コモンモード励振源に起因するコモンモード電流I_{c1}, I_{c2}を求めることができる。

2.1.3　コモンモードアンテナモデル[2) 3)]

コモンモードアンテナモデルはFig. 2 の等価回路におけるコモンモード等価回路部分のみを再現した三次元モデルである。Fig.1のコモンモードアンテナモデルはFig.3 のようになる。

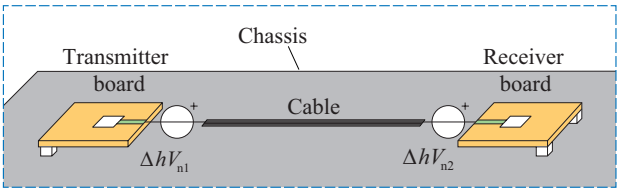


Fig. 3 Common-mode antenna model of signal trans-mission system shown in Fig. 1.

コモンモード励振源を1つずつ配置したモデルを用いることでそれぞれのコモンモード励振源に起因して生じるコモンモード放射E_{c1}，E_{c2}を求めることができる。また，アンテナエレメントとなるケーブル部の2導体はコモンモードにおいては同電位であるため，コモンモードアンテナモデルでは両導体を1つの導体としてモデル化する。マイクロストリップ線路のように信号線が帰路面より十分狭い場合，信号線のコモンモード放射への影響は帰路面より十分小さいため，コモンモードアンテナモデルではマイクロストリップ線路部の形状をその帰路面形状で与える。このようにコモンモードアンテナモデルはアンテナエレメントに相当する導体部の微細な構造を省略し，電磁界シミュレーションにおける被解析構造を簡略化できる。

コモンモードアンテナモデルの電磁界シミュレーションにおいても実際の不要放射試験に則って，最大放射スペクトルを計算する。そのため，コモンモードアンテナモデルによるコモンモード放射スペクトルは以下の手順で算出した。

(1) Fig. 3 の各モデルでシミュレーションを行い，各地点においてE_{c1}とE_{c2}を求める。
(2) E_{c1}とE_{c2}の線形和を水平偏波と垂直偏波ともに算出し，その結果から全地点の最大値をとることで，放射スペクトルE_cを決定する。

2.2　平衡度不整合モデルを用いた放射予測

モード等価回路モデルとコモンモードアンテナモデルの両者の平衡度不整合モデルをFig. 4 で示すフローチャートにより連成して解くことで，Fig. 1 に示すEUTからの放射予測が可能である。まず，①ノイズ発生源となりうる場所を抽出する。次に②ノイズ発生源に対して，モード等価回路モデルでコモンモード電流I_c'とノーマルモード電圧V_nを求める。③コモンモードアンテナモデルに①で得られたV_nを与えコモンモード電流I_c''およびコモンモード放射E_cを求め，④モード等価回路モデルで求めたI_c'とコモンモードアンテナモデルで求めたI_c''を比較し一致した場合は，E_cを出力し放射予測を終了する。

I_c’とI_c”が一致しない場合はモード等価回路モデルで与えるコモンモード放射に相当する損失を変更して②からやり直す。

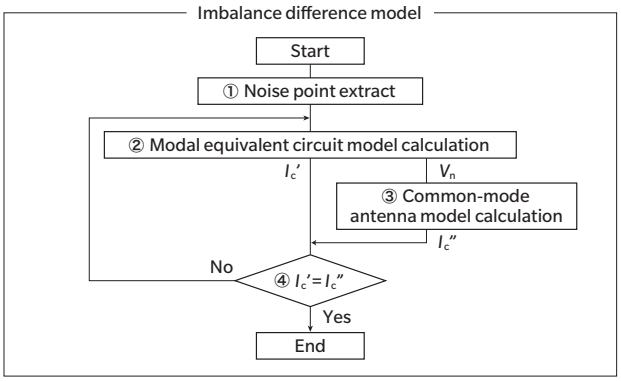


Fig. 4 EMI simulation flow chart using imbalance difference model.

次節以降で，実際に実構造の例として複合機を模擬した構造を対象に，平衡度不整合モデルを用いることで支配的な放射の元となるコモンモード励振源とその原因の特定が可能であることを示す。

3　評価モデル構造

本論文において評価するEUTの構造を示す。EUTの構造をFig. 5 に示す。EUTは複合機を模擬した構造となっており，筐体上面に設置されている送信基板と側面に設置されている受信基板がフレキシブルフラットケーブル（Flexible Flat Cable: FFC）で接続されている。床面の原点Oからz軸方向に100 mmの位置に評価系の底面の中心を設置しており，床面とEUTの電気的な接続はない。

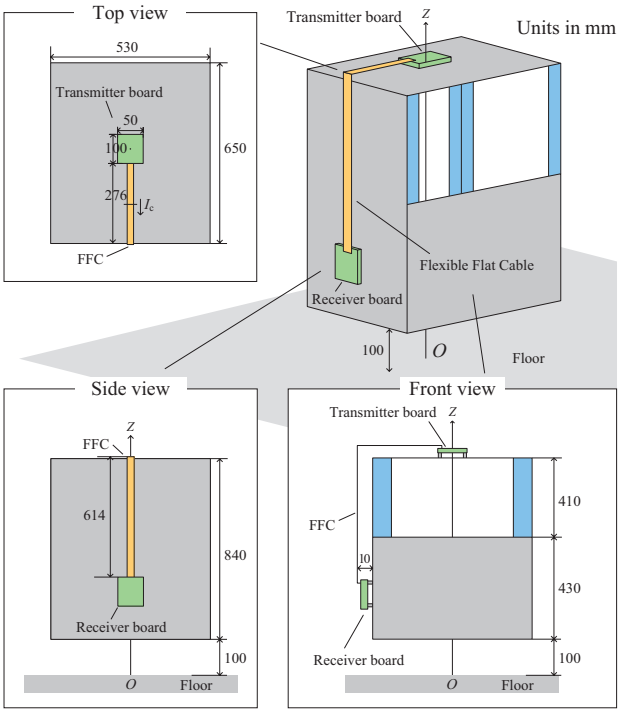


Fig. 5 Real structure model imitated multifunction Peripherals.

Fig. 6 は筐体を含むFFC部の断面構造である。FFCは内部に20本の導体を有しており，各導体は0.18 mm間隔で配置されている。FFCと筐体の距離は10 mmである。

送受信基板は互いに同様の配線パターン構造をしており，例としてFig. 7 に送信基板の拡大図を示す。FFCの20本ある導体のうち中央の1本を信号線とし，基板上のマイクロストリップ線路の信号導体と接続している。その両隣のFFC導体は帰路線となるよう送受信基板のグラウンドに接続している。残りの17本の導体は送受信基板において50 Ωで終端している。電流配分率は近接導体と各線路間の容量から求まる[6]ため，FFCの電流配分率は中央の信号線と筐体間の容量およびその両隣の線路と筐体間の容量を求めることで算出した。

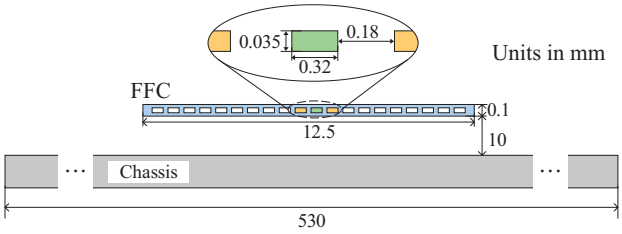


Fig. 6 Cross-section view of FFC.

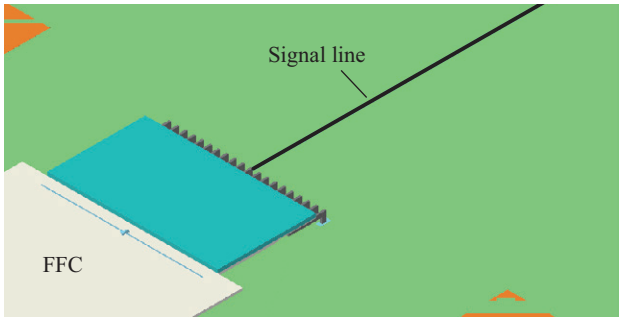


Fig. 7 Expanded view of transmitter board used for real structure model.

実構造モデルの解析には三次元電磁界シミュレータ（Fujitsu Poynting for Microwave）を用いた。実構造モデルの送信基板に実装した信号源から送信した信号のパラメータをTable 1 に示す。送信信号には，パルス振幅Vが3.34 V，周期Tが100 nsの台形パルスを用いた。デューティ比Dは50%，立ち上がり時間t_rおよび立ち上がり時間t_fはそれぞれ0.74 nsおよび0.62 nsである。コモンモードアンテナモデルとモード等価回路による解析では，まず信号源を単位電圧源として計算し，得られた結果をTable 1 で規定する台形波のスペクトルの包絡線で補正する。

Table 1 Parameters of trapezoidal pulse used as transmission signal.

Item	Value
V (V)	3.34
T (ns)	100
D (%)	50
t_r (ns)	0.74
t_f (ns)	0.62

三次元電磁界シミュレーションで得られるI_cは放射による損失の影響を含んでいる。回路シミュレーションでもこの放射による損失を表現するため，等価回路モデルと実構造モデルで計算されたコモンモード電流I_cとノーマルモード電圧V_nが同等となるような線路損失を与えた。

送受信基板とFFCの電流配分率が異なるため，送受信基板とFFCの接続部でモード変換が生じる。次節で送信基板とFFC間で生じるモード変換に起因するコモンモード電流I_{c1}およびコモンモード放射E_{c1}とFFCと受信基板間で生じるモード変換に起因するコモンモード電流I_{c2}およびコモンモード放射E_{c2}をそれぞれ比較し，支配的なコモンモード励振源の判定が可能かを確認する。

4　複合機を模擬した構造を用いた評価

4. 1　モード等価回路を用いた評価

まず，Fig. 4 内の②モード等価回路による評価を行う。三次元電磁界シミュレーションにおいてコモンモード電流はループ形状の電流モニタにより測定した。電流モニタは筐体上面に沿って配置されているFFCの中央付近がコネクタやスリットから距離があり磁界分布が比較的安定していると考え，その位置に設置した。Fig. 5 の評価対象の上面図中にI_cで示している。モード等価回路を用いた回路解析には市販の回路シミュレータ（Cadence AWR Microwave Office）を用いた。Fig. 1 とFig. 5 の信号伝送系の構造はどちらも送受信基板とケーブルで構成されているため，等価回路モデル構造は同様である。そのため，回路解析にはFig. 2 のモード等価回路モデルを使用した。Table 2 は回路シミュレーションに用いた諸パラメータである。特性インピーダンス，実効比誘電率，電流配分率は二次元電磁界シミュレータ（ANSYS 2D Extractor）を用いてそれぞれの線路の断面構造から算出した。

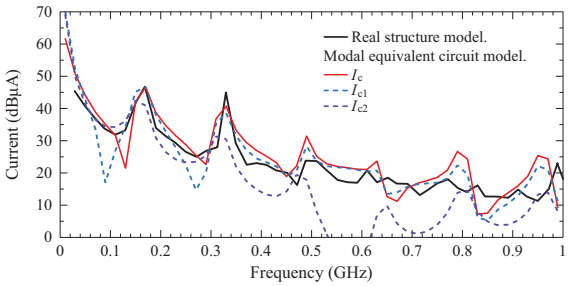
Table 2 Parameters used for circuit simulation.

	Item	Transmitter board	FFC	Receiver board
Normal-mode	Z_n (Ω)	48.99	87.08	48.99
	ϵ_n	2.97	1.72	2.97
	Loss (dB/m)	0	2	0
Common-mode	Z_c (Ω)	-	225.64	-
	ϵ_c	-	1.10	-
	Loss (dB/m)	-	2	-
	h	0.0009	0.1820	0.0009

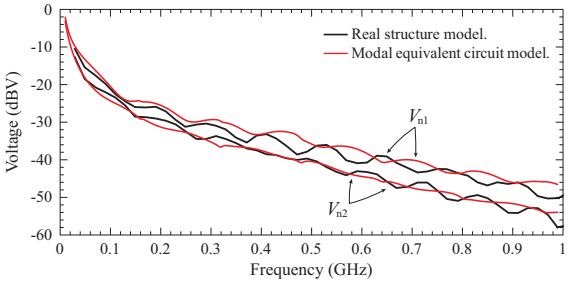
実構造モデルの三次元電磁界シミュレーションとモード等価回路を用いた回路シミュレーションにより算出したI_cとV_nの比較をFig. 8 に示す。Fig. 8 (a) の実線から高周波では誤差が増加するが，0.1 GHz ～ 0.5 GHz で生じる伝送系全体を共振器長としたコモンモード共振を再現できており，ピーク強度も概ね一致している。490 MHz でピーク強度に差があるように見えるのは，実構造モデルにおいて共振ピークがずれているためである。このことから，EUTで生じるモード変換の影響をモード等価回路で再現できていることが分かる。

次にFig. 8 (a) の破線からI_{c1}とI_{c2}を共振周波数において比較すると全周波数帯域にてI_{c1}が支配的であることが分かる。コモンモードを発生させるコモンモード励振源は$\Delta h V_n$で表されるので，Fig. 8 (b) の結果から線路損失の影響によってFFCと受信基板間のノーマルモード電圧V_{n2}が送信基板とFFC間のノーマルモード電圧V_{n1}より小さいため，I_{c1}が支配的となっていると考えられる。

以上より，モード等価回路によりI_cを解析することで支配的なコモンモード励振源の推定が可能であり，また線路の平衡度や損失などから原因特定も可能である。



(a) Common-mode current spectra



(b) Normal-mode voltage spectra

Fig. 8 Comparison of common-mode current and normal-mode voltage between of real structure model and modal equivalent circuit model.

4. 2　コモンモードアンテナモデルを用いた評価

次にFig. 4 内の③に示すようにコモンモードアンテナモデルによる評価を行う。放射解析は原点Oを中心とした半径10 mの円筒面上の高さを1 mから4 mまで0.5 m間隔で合計7箇所で行い，各高さにおいて円周方向に5 deg間隔で合計72箇所，計504点における解析結果から各周波数における最大放射スペクトルを求めた。

コモンモードアンテナモデルは三次元電磁界シミュレータ（ANSYS HFSS）を用いて電磁界シミュレーションを行った。

Fig. 5 のコモンモードアンテナモデルは2. 1. 3で示したモデリング方法により，Fig. 9 のようになる。送受信基板とFFCの電流配分率は異なるため，送受信基板とFFCの接続間にコモンモード励振源が挿入される。コモンモードアンテナモデルのアンテナエレメントとなる導体部のうち，送受信基板の形状は帰路面形状とした。FFCで伝送線路として使用している導体はFFC中央にある3本のみだが，線路近辺にある導体は電磁界分布に影響があると考え，FFC部の形状は絶縁体を含むケーブル外形と同等の形状とした。

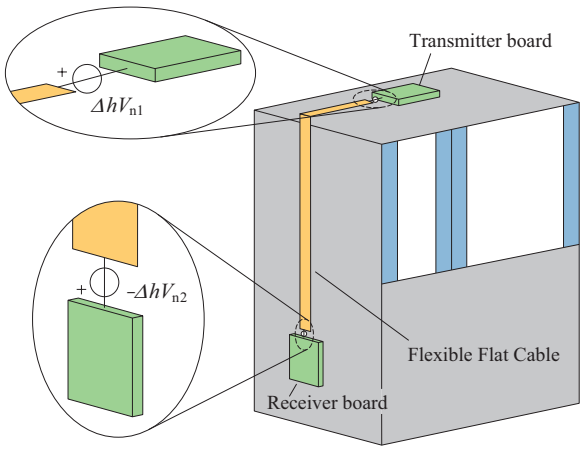
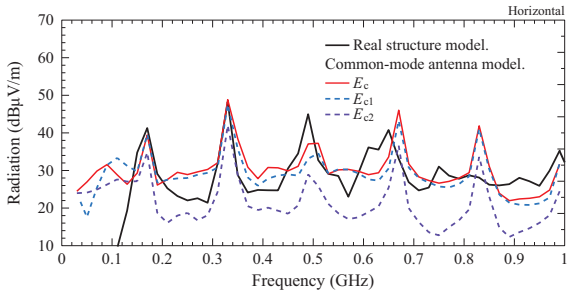


Fig. 9 Common-mode antenna model of EUT in Fig. 5.

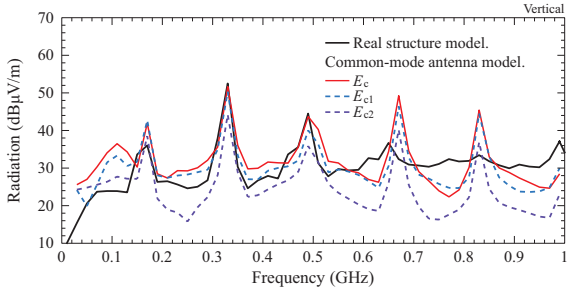
実構造モデルとコモンモードアンテナモデルの比較をFig. 10 に示す。(a) と (b) はそれぞれ水平偏波と垂直偏波のスペクトルを示している。Fig. 10 の実線の結果からコモンモードアンテナモデルにおいても 0.1 GHz–0.5 GHz では伝送系全体を共振器長としたλ/2，λ，3 λ/2，…のコモンモード共振のピーク周波数およびレベルが実構造モデルと一致している。このことから，複合機のように金属筐体と送受信基板をケーブルで接続された通信系で構成される構造で発生する不要放射はコモンモード放射が支配的であることが分かる。

次にFig. 10 の破線の結果からE_{c1}とE_{c2}では全周波数帯域においてE_{c1}が支配的であることが分かる。これはモード等価回路の結果と同様に線路損失の影響によってV_{n2}がV_{n1}より小さいため，E_{c1}が支配的となっていると考えられる。

以上より，コモンモードアンテナモデルで評価することでコモンモード放射の元となる支配的なコモンモード励振源の特定が可能である。



(a) Horizontal polarization



(b) Vertical polarization

Fig. 10 Comparison of radiation from EUT.

5 まとめ

本論文では，平衡度の変化によって生じるモード変換を再現した平衡度不整合モデルを用いることで支配的なコモンモード励振源の特定が可能であることを示した。複合機を模擬した構造をEUTとして，実構造モデルの三次元電磁界シミュレーション結果と比較し，放射量が概ね一致したことからEUTから生じる不要放射はコモンモード放射が支配的であることを確認した。さらに，各コモンモード励振源からのコモンモード電流やコモンモード放射の結果から不要放射の支配的な励振源を特定できることを示した。

今後は平衡度不整合モデルにより特定したコモンモード励振源への対策によりコモンモード放射を抑制した設計が可能であるかを検討するため，筐体構造やFFCの配線位置を変更したEUTに対しても同様に支配的なコモンモード励振源が特定可能かの検討を行いたいと考えている。

●参考文献

1) Clayton R.Paul, EMC概論, 佐藤利三郎監修, 櫻井秋久ほか訳, ミマツデータシステム, 東京, pp. 429–436 (1996)
2) T. Watanabe, O. Wada, T. Miyashita, and R. Koga, “Common-mode-current generation caused by difference of unbalance of transmission lines on a printed circuit board with narrow ground pattern,” IEICE Trans. Commun., vol. E83-B, no. 3, pp. 593–599 (March 2000)
3) T. Watanabe, H. Fujiwara, O. Wada, R. Koga, and Y. Kami, “A prediction method of common-mode excitation on a printed circuit board having a signal trace near the ground edge,” IEICE Trans. Commun., vol. E87-B, no. 8, pp. 2327–2334 (Aug. 2004)
4) T. Matsushima, T. Watanabe, Y. Toyota, R. Koga, and O. Wada, “Calculation of common-mode radiation from single-channel differential signaling system using imbalance difference model,” IEICE Trans. Commun., vol. E93-B, no. 6, pp. 1739–1745 (June 2010)
5) Y. Wakaduki, T. Watanabe, Y. Toyota, K. Iokibe, R. Koga, and O. Wada, “Connector model for use in common-mode antenna model used to estimate radiation from printed circuit borads with board-to-board connector,” IEICE Trans. Commun., vol. E99-B, no. 3, pp. 695–702 (March 2016)
6) 豊田啓孝，渡辺哲史，五百旗頭健吾，古賀隆治，“ケーブル接続された送受信機器のモード等価回路と同定，” 信学技報, EMCJ2010-76 (2010)
7) 瀬島孝太, 豊田啓孝, 五百旗頭健吾, 古賀隆治, 渡辺哲史, “モード等価回路を用いた非一様媒質中伝搬の回路シミュレーションとその応用，” 信学論(B), vol. J96-B, no. 4, pp. 389–397 (Apr 2013)
8) CISPR 32: 2015, “Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements,”
9) 上芳夫, “EMCにおける伝送回路理論とその展開，” 信学論（B), vol. J90-B, no. 11, pp. 1070–1082 (Nov. 2007)
10) A. Sugiura, Y. Kami,“Generation and propagation of common-mode currents in a balanced two-conductor line,” IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 54, no. 2, pp. 466–473 (April 2012)

Video Encoding with Graph Guided Attention Learning

Michael STOPA*

要旨

動画機能のグラフとノード情報を共有する為のグラフ畳み込みニューラルネットを使用して，動画と表現言語を一致する最近開発された深層学習アルゴリズムモデルの研究を紹介する。グラフのエッジは学習された機能であり，動画機能の意味と近接情報および動画フレームを代表する。まず，モデル体型の動画エンコーディング部分に焦点を当てながらモデル全体を記述する。このモデルはフレームから動画機能を抽出するためにResNet15で事前計算を行い，さらにゲート付きの繰返し単位（GRUs）を使用して動画の連続した側面を学習し，それらの結果を特性グラフに組み込む。特性グラフの各ノードは所定フレーム内の与えられた機能ベクトルによって与えられる。色々な例のラスター図形を使用してグラフエッジを表示した結果，エッジの強さは正または負であり，一般的に非対称である事が判明した（グラフは指示グラフ）。エッジのフーリエ変換は，フレーム特徴空間に顕著な周期性を示さないので，フレームの近接性に関する情報が動画エンコーディングに組み込まれていないことを示唆する。

Abstract

We present a study of the recently developed deep learning architecture for matching videos with captions that employs a graph of video features and graph convolutional neural network to share node information. The edges in the graph are learned features and represent semantic and proximity information of the features and frames of the video. We begin by describing the overall model, focusing on the video encoding portion of the architecture. The model employs precomputation with ResNet152 for extracting features from frames and also gated recurrent units (GRUs) for learning sequential aspects of the video which are then incorporated into a property graph, where each node of the graph is given by a vector of a given feature in a given frame. We illustrate the graph edges with raster figures for a variety of examples. We note that the edge strengths can be positive or negative and are generally asymmetric (i.e. the graph is a directed graph). A Fourier transform of the edges exhibits no pronounced periodicity in the frame-feature space suggesting that information about the proximity of frames is not incorporated in the video encodings.

* Konica Minolta Laboratory U.S.A., Inc.

1 Introduction

In the past several years, deep learning methods based on artificial neural networks have revolutionized the analysis of speech, text and images [1,2]. The individual breakthroughs in language and vision have led naturally to the confrontation of a variety of tasks that combine these two modalities. Video captioning, as captured in the MSR-VTT Challenge [3] Fig. 1 is one of the major applications of the combination of visual and language modalities. Datasets with multiple modalities are of increasing importance for machine learning since they broaden the space of available labelled instances. For Konica Minolta areas like image and text or video and audio are applications where multiple modalities come into play. In particular, benefiting from the advances in the Natural Language Processing (NLP) and Computer Vision (CV) research communities, video captioning as shown in Fig. 2 has rapidly attracted increasing attention over a short period of time and developed in a variety of directions.

1. A man hits a homerun playing baseball.
2. Men are playing baseball in a field.
3. A man swings and hits the ball over the fence.
4. The team in white scores a homerun in baseball.
5. A man homers and is congratulated by his team.

Fig. 1 Example of labelled MSRVTT video clip. The clip is typically 5 seconds long. Each clip has five captions generated by human beings.

In contrast to image captioning, video captioning is substantially more challenging due to the need to (a) ingest much more data, and (b) capture action (verbs) rather than focusing primarily on objects (nouns) with a presumed relationship.

In general, video action understanding is a difficult and challenging task and accurate video action understanding can provide many benefits in several business domains, such as, security, manufacturing, and retails.

Video captioning is one step towards accurate video action understanding and predication. Many models have been developed which differ depending on the precise task being addressed; for example, writing a caption for a given a video as opposed to choosing a caption from a list that best matches with a given video. One unifying feature of most video-text models, however, is the positing of an abstract joint space into (and out of) which the video and the language are encoded (decoded). Indeed, the encoding process can be considered as a problem all its own.

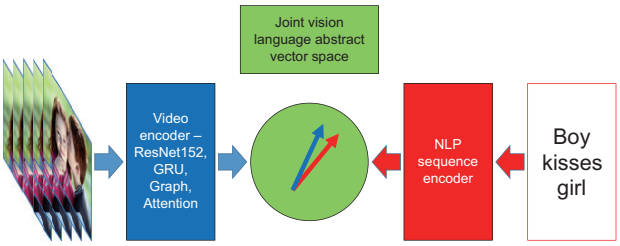


Fig. 2 Video to text machine learning requires that both images and language be encoded into a shared abstract space. Comparison of the projected vectors is then trained against ground truth to align the embeddings from the two modalities.

2 Graph neural network

In that context a recently developed technique – typified in a paper by Li et al [3] on which we will focus in this technical report – is to employ feature graphs to aid in the encoding of a video. Such a graph consists of nodes and edges, in symbols G=(N,E). For these graphs the nodes are vectors representing the features extracted from the graph and the edges are learned relationships between those features, which we discuss in greater detail below.

The primary function of the graph is to employ an algorithm called the graph convolutional neural network (GCN) [4,5] in order to pass information between the nodes – the expectation being that this provides a better representation of the whole video.

GCNs perform similar operations to convolutional neural networks (CNNs) where the model learns the features by inspecting neighboring nodes. The major difference between CNNs and GCNs is that CNNs are specially built to operate on regular (Euclidean) structured data, while GCNs are the generalized version of CNNs where the numbers of node connections vary and the nodes are unordered (irregular on non-Euclidean structured data).

Konica Minolta Labs U.S A has open innovation research project with Professor Raymond Fu of Northeastern University. The topic of the first year of that program was video captioning and the group produced algorithms and code that established state-of-the-art results in the MSRVTT challenge [3] on matching videos and captions. The architecture of that model is shown in Fig. 3.

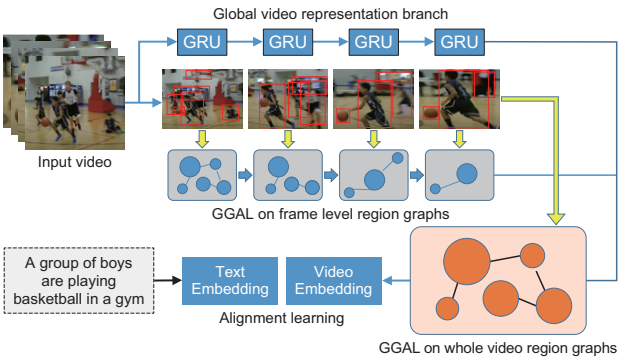


Fig. 3 Overview of the GGAL architecture, emphasizing the video encoding branch. Two kinds of graph are constructed: a frame level graph and a global graph. The global graph is created from faster R-CNN features and is analyzed in this paper.

2. 1 Graph guided attention learning

Here, we want to simply present an overview of the NEU developed model, Guided Graph Attention Learning (GGAL) enhances the video learning by capturing important region-level semantic concepts within the video. The inputs to the model are a series of videos (typically about five seconds in length) and, for each video, ten captions that have been generated by human beings. The objective is, upon training, to input either a video or a caption and to infer the correct caption or video.

In this paper we are specifically interested in the encoding of the video (as opposed to the text encoding function, see Fig. 3). In deep learning it is common to encode sequential data with a recurrent neural network. A video is an interesting case because it contains visual data in each frame but then the frames themselves form a sequence. The solution is to first extract ImageNet pre-trained features from each RGB frame using ResNet-152. The resulting sequence of frame-level scene features are:

$$F = \{f_1, f_2, \ldots, f_k\} \tag{1}$$

where $f_i \in R^D$ and D is a hyperparameter (typically 2048). The number of frames, typically 20, is denoted k. These features are then fed into a gated recurrent unit (GRU) to learn the sequential properties of the action.

At the same time, the frames are analyzed for frame-level features using a region-of-interest algorithm such as Faster R-CNN (here using ResNet-101 as a backbone). In this case, every frame i contains a finite set of features which we denote:

$$R = \{r_i^1, r_i^2, \ldots, r_i^n\} \tag{2}$$

where again $r_i^j \in R^D$ and there are n features extracted for each frame. In the work cited here there are generally n=25 features per frame.

Note that in the GGAL model there are two sets of feature and thus two types of graphs. In the first case, each frame is cast as a graph based on the scene features which are encoded in one vector per frame, f_i. In the second case, one global graph is constructed from the faster R-CNN extracted regions of interest and associated features. It is this second graph, and the graph convolutional neural network that is applied to it, that we focus on in the remainder of this report.

2. 2 Region features as a graph

In any video the features which can be discerned in each frame are not isolated but have some relationship with each other. This relationship can be semantic (e.g. a boy kicks a ball suggests that a feature for boy and a feature for ball are related). The relationship can be frame-to-frame (the same ball at successive times), or it can also be just physical proximity within a frame. These kinds of relationships between a collection of entities – or nodes – are the essence of graphs, and the relationships themselves are manifested as edges between the nodes.

For this case the set of vectors R are treated as the features of a set of $N = n \cdot k$ nodes. The edges between these nodes are *learned parameters*. Specifically, if we denote the edges between r_i and r_j (for notational simplicity we will now use only one index on each feature which range from 1 to $N = n \cdot k$) as $A(r_i, r_j) = w_\varphi(r_i) \cdot w_\vartheta(r_j)$ then the composite functions are simply fully connected layers, that is: $w_\varphi(r_j) = W_\varphi \cdot r_j$ and $w_\vartheta(r_j) = W_\vartheta \cdot r_j$. The weight matrices W_φ and W_ϑ are learned during training.

As shown in the model architecture in Fig. 3, we perform a Graph Convolutional Network (GCN) operation[4] to learn relationship enhanced region features by message passing on this fully-connected region graph. Response of each node is computed based on the message passing with its neighbors defined by the graph relations. We add residual connections to the original GCN to help the training:

$$R'_w = R_w + (A R_w W_g) W_r \tag{3}$$

Where W_g is a weight matrix of the GCN layer with dimension $D \times D$, W_r is the weight matrix of the residual structure. A is the above-mentioned edge (also called "affinity") matrix. The output $R_w' = \{r_1', r_2' \cdots, r_N'\}$, $r_i' \in \mathbb{R}^D$ is the semantic relationship enhanced representation for the region nodes.

The meaning of Equation (3) can be readily understood by referring to Fig. 4. Each node has a 2048-dimension feature vector r_i. The affinity matrix A,

multiplying the feature vector, produces a linear combination of neighboring node feature vector weighted by the strength of the relevant edges. In the illustration in Fig. 4 we represent the feature vectors by the colors of the nodes. After one GCN step, those nodes with strong connections have had their colors mixed, e.g. a blue node strongly connected to a red node has caused both nodes to change to purple. Similarly, red and yellow nodes become orange.

The GCN mixing can be applied only once or it can be applied several times. The choice here is entirely empirical and the objective is simply to produce a set of node feature vectors that share information and (hopefully) make a better encoding of the video.

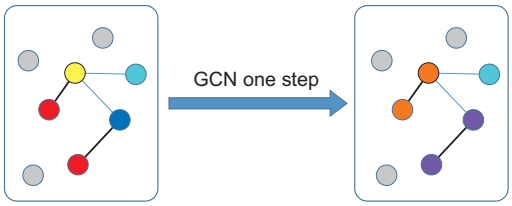


Fig. 4 Illustration of the graph convolutional neural network process. Nodes with features - illustrated by the colors - are connected by edges. The GCN step then mixes the features between nodes according to their connections.

3 Analysis of graph edges

The original models for convolutional neural networks for image recognition, for example, treated the intermediate layers as black boxes. Only afterward was the structure of those "feature maps" examined to show the evolution, in a multi-layered CNN, of the features from primitive elements like edges and curves to more complex structures like faces and cars as the layer index increased toward the feature classification at the end.

Until now, to our knowledge, no similar investigation of the structure of the elements of a graph in a GCN has been conducted. In the case of this calculation this is especially interesting because the edges are *learned*, rather than being prescribed by some algorithm. Thus, they bear a similarity to the kinds of attention matrices [6] that are common in, for example, natural language processing. In the remaining sections of the report, we will specifically look at the structure and statistics of the learned edges of the graphs which emerge from the faster R-CNN features of the videos. Mostly we will present typical examples and statistics of those individual examples rather than a full examination of the entire dataset, which we leave to the future.

3. 1 Affinity matrix

As discussed in section 2.2, the edge or affinity matrix is learned during the training process and, for each video it captures the relationship between the global features that are extracted with faster R-CNN. Note that due to the definition of that matrix, $A(r_i, r_j) = w_\varphi(r_i) \cdot w_\vartheta(r_j)$, there is no built-in symmetry of the edges. In general graphs do not need to have symmetrical edges. For example, graphs that represent Markov processes are typically asymmetrical as they represent evolution of some dynamical system (which is not possible for a completely symmetric graph). In the context of GCN the asymmetry implies that a given node can share the properties from a neighboring node without sharing its properties to that node.

In Fig. 5 we plot as a color map a raster of the affinity matrix for a typical video. Note that the affinity matrix changes from one video to the next because it contains not only the learned weights W_φ and W_ϑ but also the region features $R = \{r_i^1, r_i^2, \cdots, r_i^n\}$ for that particular video.

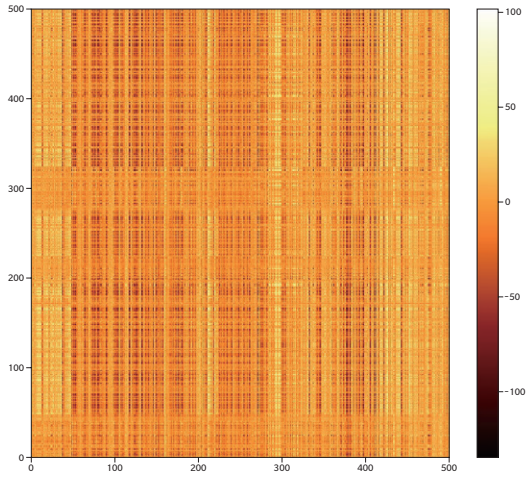


Fig. 5 Sample raster of edge connections for a typical video. Each video has 20 frames and 25 features per frame for a total of 500 features. Note that the rasters are asymmetric indicating that transfer between two nodes can have a directional dependence.

In this matrix the rows (and columns) are ordered as first by feature, 1-25, and then by frame, 1-20 (i.e., the first twenty-five rows, 0-24, correspond to the 25 features in the first frame, etc.). Thus, a periodic signature with length 25 might be expected but this does not appear. A Fourier transform of the data also does not show any periodic feature near length 25. In Fig. 6 we have taken the Fourier transform of each row of the video whose affinity matrix is shown in Fig. 5. These 500 transforms have then been averaged together to produce the displayed figure.

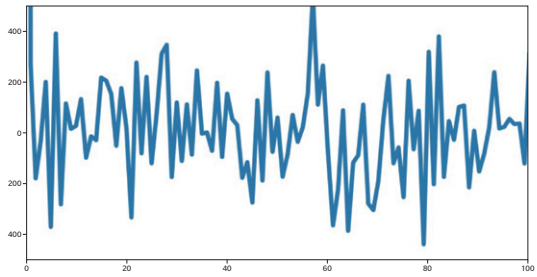


Fig. 6 Fourier transform of the edge connections in Fig. 5. Each row has been indiividually transformed and the results averaged together No significant periodicity at n=25 is discernable.

Clearly there is no distinct feature corresponding to a periodicity of 25. Indeed, the signature shows no prominent Fourier components at any length scale. Therefore, nodes in frames that are far separated are as likely to be joined by strong edges as nodes in neighboring frames or even the same frame. The implication here is that temporal proximity is not incorporated into the construction of the graph. All of the region features of all of the frames are included in the graph and no information is retained to indicate which notes are temporally close to which other nodes.

Also note in Fig. 5 that the edge strengths can be either positive or negative. This is not surprising in that the feature vectors themselves are not restricted to be positive definite but are rather arbitrary real vectors. Hence when the GCN process mixes feature vectors in a general linear combination it is sensible that the edges also are freely positive or negative.

It is possible to create a symmetrized version of the affinity matrix by using only the φ weights or the ϑ weights. In other words, we can write $A(r_i, r_j) = w_\varphi(r_i) \cdot w_\varphi(r_j)$ and thereby expect A to be symmetric. Fig. 7 shows an example (the same video as in Fig. 5) of that symmetrized affinity matrix.

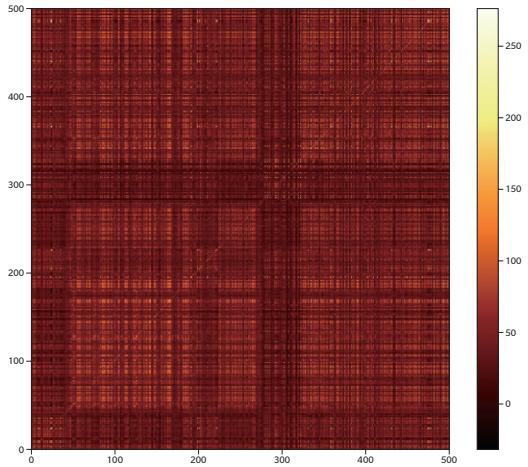


Fig. 7 Symmetrized version of video edge data from Fig. 5. Only one of the learned weight terms is included (see text). note that negative weights are significantly reduced but not eliminated altogether.

It is interesting that the symmetrized version of the affinity matrix shows significantly less – but not zero – likelihood for a weight to be negative.

4 Conclusion

In this short technical report, we have explored the detailed structure of a recently constructed deep learning model for matching videos with captions in the form of the MSR-VTT challenge. We have illustrated the architecture of the model and highlighted the video encoding side and in particular the novel technique of casting the features of the video in the form of a graph.

We have looked at the components of the graph which consist of feature vectors for nodes and a learned affinity matrix for edges. We have examined the structure and statistics of those edges showing a basic asymmetry in the raw weights and a type of "level-repulsion" in the symmetrized version of the weights.

In the future we will look to correlate the properties of the learned edges with the specific nature of the features which lie at the nodes. In addition, as we discussed, we will determine how to include temporal correlations in property graph with the aim of increasing the accuracy of the captioning process.

Acknowledgements

The author would like to thank Prof. Raymond Fu and Mr. Chang Liu at Northeastern University for many discussions and Dr. Jun Amano for translating the abstract into Japanese.

References

[1] Antoine Miech, Dimitri Zhukov, Jean-Baptiste Alayrac, Makarand Tapaswi, Ivan Laptev, and Josef Sivic. "HowTo100M: Learning a Text-Video Embedding by Watching Hundred Million Narrated Video Clips". In International Conference on Computer Vision, 2019.

[2] Shizhe Chen, Yida Zhao, Qin Jin, and Qi Wu. "Fine-Grained Video-Text Retrieval With Hierarchical Graph Reasoning". In Computer Vision and Pattern Recognition, 2020.

[3] Jun Xu, Tao Mei, Ting Yao, and Yong Rui. "MSR-VTT: A Large Video Description Dataset for Bridging Video and Language". In Computer Vision and Pattern Recognition, 2016.

[4] Kunpeng Li, Yulun Zhang, Kai Li, Yuanyuan Li, and Yun Fu. "Visual Semantic Reasoning for Image-Text Matching". In International Conference on Computer Vision, 2019.

[5] Thomas N. Kipf and Max Welling. "Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks". In International Conference on Learning representations, 2017.

[6] Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, Kristina Toutanova "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding". arXiv:1810.04805v2 [cs.CL] 24 May 2019.

再撮影判定支援機能「Positioning i」の開発

Development of Re-shooting Judgment Support System “Positioning i”

伊 藤 良 平＊　山 村 拓 也＊＊　清 水 亜麻衣＊　髙 木 達 也＊＊＊
Ryohei ITO　Takuya YAMAMURA　Amai SHIMIZU　Tatsuya TAKAGI

要旨

病院でのX線撮影において，診療放射線技師（以下，放射線技師とする）は医師が診断しやすいように正しいポジショニングでX線撮影することを求められている。ポジショニングが不適切で診断に適さない画像の場合は再撮影となるため，放射線技師は各撮影部位に応じたポジショニングと再撮影基準を理解し撮影しなければならない。

しかしながら，たとえば骨の位置関係が複雑な四肢の関節撮影は特に難易度が高く再撮影の割合が増加する。さらに再撮影すべきかどうかの判断は放射線技師が撮影した画像を目視で確認し，骨部と骨部の数ミリ単位の位置関係から判断しなければならない。この作業は，経験年数の少ない放射線技師には難しく，判断を誤ると不必要な再撮影による被曝増や医師から再撮影を求められることによる手戻り，間違った画像による誤診等のデメリットが発生する。

このような課題に対してコニカミノルタでは，撮影されたX線画像が適正かを画像解析により自動判定する機能として「Positioning i」を開発した。本機能は，ポジショニング判定機能と左右部位判定機能から構成されており，AI技術の一つであるDeep Learningを用いて，大量，多様な臨床画像を元に当社がこれまで培ってきた画像に関する知見を加え開発している。

「Positioning i」機能により，これまで撮影担当放射線技師の力量に頼っていたポジショニングの再撮影に，再現性のある基準を提供できるため，再撮影判断に迷う場面を減らすことが可能である。

Abstract

Radiologic technologists have a responsibility to provide X-ray images taken with appropriate positioning for accurate diagnosis by physicians. If the positioning is inappropriate and not suitable for diagnosis, it causes image retakes. Therefore, it is important to understand the positioning criteria for each body part and take X-ray images.

However, due to the complicated positional relationship of the bones, it is particularly difficult to take the joints of the limbs with appropriate positioning, and the rate of image retakes is high. In addition, the radiologic technologists are required to visually evaluate a few millimeters of the positional relationship between bones and decide image retakes. It is difficult for inexperienced radiologic technologists to always make appropriate decision, and bad decision causes the problems such as increased exposure to patients due to unnecessary image retakes and misdiagnosis due to interpretation of the images with inappropriate positioning.

Konica Minolta has developed the Positioning i that automatically determines the adequacy of the X-ray image through image analysis technology. By integrating Deep Learning technology and our accumulated knowledge of X-ray images, the Positioning i can provide accurate positioning assessment result and alert of wrong side X-ray examination.

The Positioning i can provide reproducible positioning assessment result and it is expected to lead faster decision of image retakes and reduce decision differences between radiological technologists.

＊ヘルスケア事業本部　開発企画部　画像処理グループ
＊＊ヘルスケア事業本部　開発企画部　臨床開発グループ
＊＊＊IoTサービスPF開発統括部　AI技術開発部　第２グループ

1　はじめに

病院でのX線撮影において，診療放射線技師（以下，放射線技師）は患者の担当医師から依頼された撮影オーダーに基づき，患者の撮影部位と撮影方向，X線の照射条件を決めて撮影を行う。画像は医師が診断しやすいように部位ごとに被写体とX線装置の位置関係（撮影ポジショニング）が定められており，放射線技師は医師の撮影オーダーに対応するため，数多くの撮影ポジショニングを理解し撮影業務に臨まなければならない。

しかし，実際には人の骨の構造には個人差があり，体外から見て一見正しいポジショニングで撮影された画像においても，診断に適さない画像であれば再撮影をする必要がある。

再撮影は患者のX線被曝量が増え，検査時間が増大するため，可能な限り低減させたいが，骨の位置関係が複雑な四肢の関節撮影は特に撮影ポジショニングの難易度が高く，再撮影の割合が増加しやすい。さらに再撮影すべきかどうかは放射線技師が撮影した画像を目視で確認し，骨部と骨部の数ミリ単位の位置関係から判断しなければならない。この作業は，経験年数の少ない放射線技師には難しく，判断を誤ると，不必要な再撮影による被曝増や医師から再撮影を求められることによる手戻り，間違った画像による誤診等のデメリットが発生する。

このような課題に対してコニカミノルタでは，撮影されたX線画像が適正か否かを画像解析により自動判定する機能「Positioning i」を2020年に開発した。本機能は，AI技術の一つであるDeep Learningを用いており，これまで担当放射線技師の力量に頼っていたポジショニングの再撮影に再現性のある基準を提供できるため，再撮影判断に迷う場面や誤診に繋がる撮影の間違いを減らすことが可能となる。

2　「Positioning i」機能について

2.1　対象部位と機能構成

本機能の開発にあたり，対象とする撮影部位の検討を行った。国内の協力施設から受領した，当社の線量管理システム「RADInsight（ラドインサイト）」の統計データ（四肢関節のX線撮影件数〔Fig. 1〕と，再撮影率〔Fig. 2〕）を基にして，共同開発施設へのニーズ調査を行った。

その結果，施設によって各部位の撮影件数や再撮影率にばらつきはあるものの，撮影件数が多い膝関節のほか，患部が小さく目視確認が難しい足関節の側面撮影において再現性のあるポジショニング自動判定の要望が特に高いことがわかった。さらにこれら四肢の関節は，まれに部位間違いとして左右の取り違えが発生する可能性があり，主に責任者クラスの放射線技師からは撮影時の検像機能として左右間違いを検知する機能の要望が高いことがわかった。

そこで，まずは要望が特に高い膝関節側面と足関節側面のポジショニングの判定と左右間違いを検出する機能を開発した。

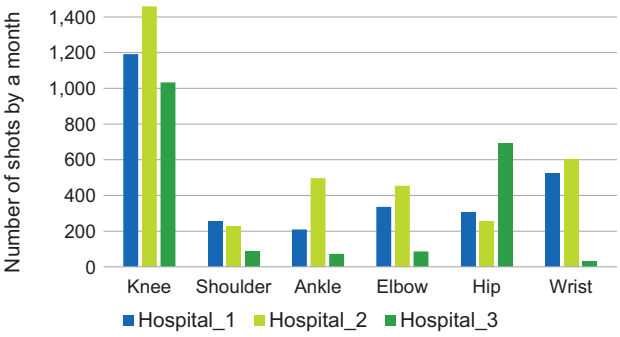


Fig. 1 Number of X-ray shots by a month in certain hospitals.

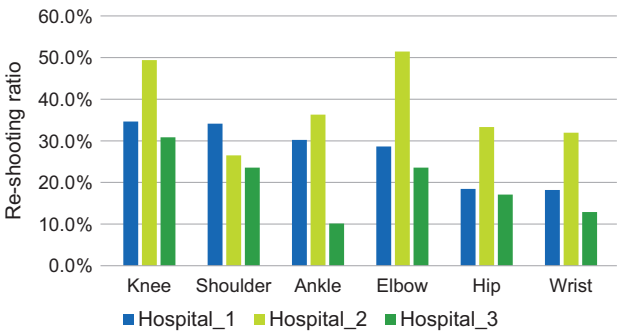


Fig. 2 Re-shooting ratio of X-ray in certain hospitals.

2.2　再撮影判定の基準

被写体のポジショニング方法については決められた手技が存在するが，再撮影の基準については病院の医師や放射線技師が診断能や患者の状態について考慮しながら判断することが多く，再現性のある明確な指標が存在しない場合もある。たとえば膝関節側面については「大腿骨内の外顆と内顆のずれが7 mm以内」[1]との指標も提案されているが，撮影現場では目視で評価する場合がほとんどで再撮影の判断は撮影を担当している放射線技師の技量に影響されるところが大きい。

そのため「Positioning i」がどのような指標で画像のポジショニングの良悪を判定するかについても，明確な基準が無い状態から共同開発施設と協議を重ねた。その結果，膝関節側面については「大腿骨顆部の外顆と内顆のずれ」，足関節側面については「脛骨下関節範囲内にある距骨滑車上面の内顆と外顆のずれ」（Fig. 3）をずれの領域とし，その領域の幅をずれ量とした。ずれ量は施設毎に定める基準値（mm単位で設定可能）を用いて「A：良好，B：許容，C：再撮影の検討が必要」の区分を判定表示できるようにした。

左右部位の判定については体位の容易さから膝関節側面と足関節側面では外側面をX線検出機の受像部に接面して撮影を行うことが一般的であり，本機能でも外側面をX線検出機に接面した状態である前提で骨部の位置関係から左右部位を判定することとした。

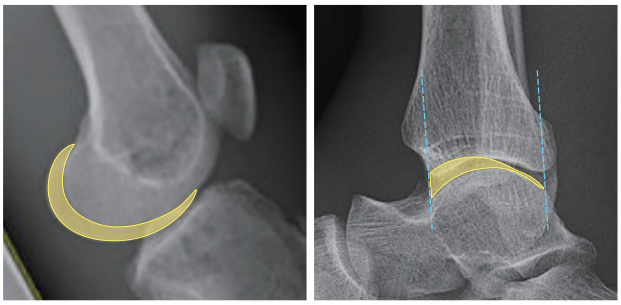


Fig. 3 Knee side X-ray image with gap area of femur (left image). Ankle side X-ray image with gap area of talus (right image).

3 再撮影判定機能アルゴリズム

3.1 処理の概要

「Positioning i」では撮影されたX線画像に対してDeep Learningを用いてポジショニングの判定と左右の判定を行う。

国内の協力施設より受領した臨床画像に，判定指標に基づくずれ領域や左右の部位などのラベルを付与し，Deep Learningにより入力画像と付与ラベルの関係性を学習させた。なお，学習は製品開発時のみ行い，施設導入後自動的にシステム性能および精度が変化することはない。

結果の表示方法は，(A) ポジショニングの判定ではポジショニングずれ領域を撮影画像上に重畳表示し，測定ずれ量と，その数値があらかじめ設定した基準値を上回る場合は再撮影を促すアラートとを表示する。(B) 左右の判定ではあらかじめ設定した部位情報と比較して左右が異なると判定された場合にアラートを表示する(Fig. 4)。

Fig. 4 Exposure screen on diagnostic X-ray image workstation CS-7.

3.2 ポジショニング判定処理

ポジショニング判定では撮影された画像に対して関節のずれ領域とずれ量を同定する（Fig. 5）。さらにX線撮影装置ではアラートを表示するずれ量の大きさを予め設定することができるため，導入施設ごとに判定基準を変更することが可能となる。

撮影された画像は判定対象となる関節位置を推定する前処理を行った後，Deep Learningを用いてずれ領域を推定するセグメンテーション処理を行う。セグメンテーション処理結果の領域に対して，関節の中心方向からその幅を計測し，最も幅が広い部分を最大ずれ量として決定する。このずれ量がどの程度許容されるかは施設ごとに異なるため，ユーザーは，ずれ量の数値が「A：良好，B：許容，C：再撮影の検討が必要」のどれに該当させるかを予め設定することができる。「C：再撮影の検討が必要」と判定された場合は医師の診断に適さない可能性が高いため，再撮影するように促すアラートが表示される。

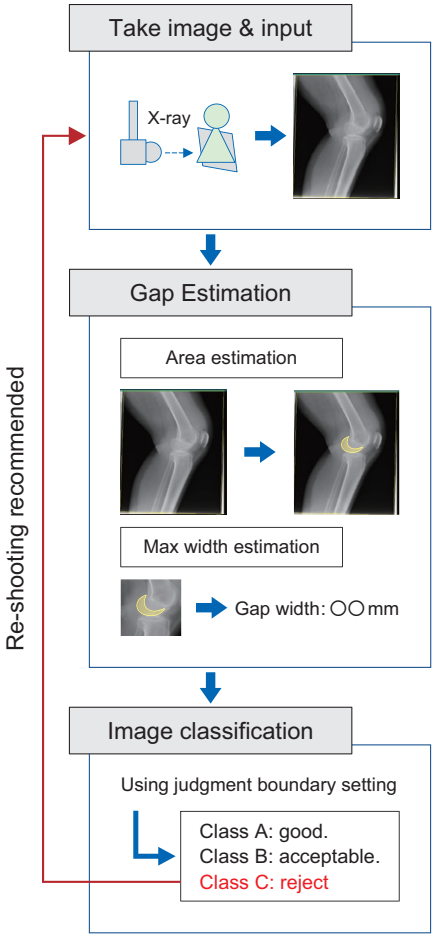


Fig. 5 The positioning detection support algorithm.

3.3 左右部位判定処理

左右部位判定は，撮影された画像の左右と，医師から依頼された撮影オーダーを元にX線撮影装置に入力された撮影部位の左右情報とを比較して両者が異なっていれば再撮影を促すアラートを表示する（Fig. 6）。

まず，撮影された画像に対してサイズ変更，階調・濃度調整等の前処理を行った後，Deep Learningを用いて左部位である確率と右部位である確率とをそれぞれ推定する。その確率が高い方を画像から推定した左右部位として，X線撮影装置に入力された撮影部位の左右情報と比較する。両者が異なっていれば誤った部位を撮影している可能性が高いため，再撮影を促すアラートを表示する。

撮影した放射線技師はアラートをきっかけにして撮影オーダーを再確認することで，思い込みによる左右部位の間違いに気づくことが可能となる。

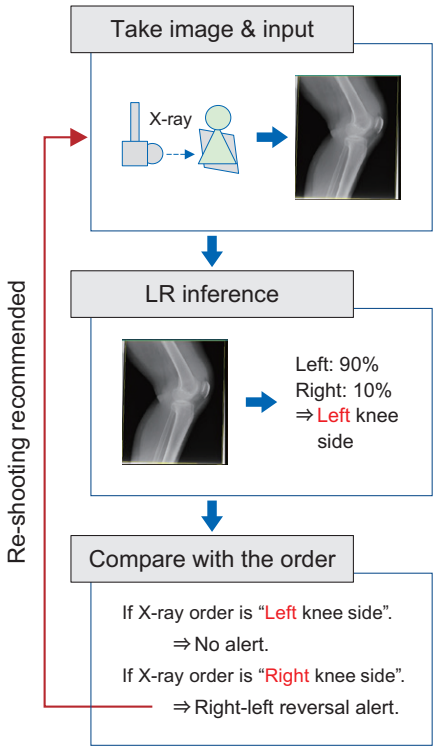


Fig. 6 The right and left detection support algorithm.

4 まとめ

われわれは，撮影されたX線画像が適正かを画像解析により自動判定する「Positioning i」を開発した。本機能により再現性のあるポジショニング基準の導入と医療事故につながる患部の左右間違いを防止することが可能となり，臨床現場の生産性向上に寄与すると考える。

なお，「Positioning i」を実際に導入いただいた病院からは，判定の有用性[2]や再撮影基準の統一によるワークフロー改善効果が示唆される[3]との報告が挙がっているほか，新たな機能や部位拡張についての要望も挙がっている。

コニカミノルタは今後も「Positioning i」の改良，拡張にとどまらず，臨床現場を変革する魅力的な製品を開発し，医師や放射線技師の業務効率化，撮影技術向上，患者の被ばく量低減に貢献して行く所存である。

●参考文献

1) 「図解 下肢撮影法」オーム社 P63：3.3膝関節側面撮影 2010年 ISBN: 978-4-274-20865-2
2) 佐藤圭太，「足関節側面ポジショニング判定支援機能の基礎的検討」，第49回日本放射線技術学会 秋季学術大会 2021年10月（熊本県）
3) 森田康介，「膝側面ポジショニング判定支援機能の再撮影判定基準の検討」，第49回日本放射線技術学会 秋季学術大会 2021年10月（熊本県）

簡単操作で血管エコー検査を実現する Vascular NAVI® の開発

Development of Vascular NAVI® for "Easy to use" Vascular Ultrasound

占部 真樹子＊ Makiko URABE
武田 義浩＊ Yoshihiro TAKEDA
大杉 増美＊ Masumi OSUGI
川端 章裕＊＊ Akihiro KAWABATA
赤羽 睦弘＊ Mutsuhiro AKAHANE

要旨

超音波診断装置は低侵襲で簡便かつリアルタイムな検査が実施できることから，近年，さまざまな診療科で使用されている。

我々は，「みえる」，「かんたん」，「つながる」をコンセプトとする超音波診断装置SONIMAGE HS1を上市して以来，運動器や乳腺・甲状腺，血管などの体表臓器を対象とする診療科で高い評価をいただいている。最近では，機能をコンパクトにまとめたSONIMAGE MX1 αおよび性能を向上して進化を遂げたSONIMAGE HS2が，前述の領域に加え透析領域においても好評をいただいている。

当社装置の特長の一つが簡単操作であり，各診療科におけるワークフローの改善のためにできることはないか検討する中で，今回，血管エコー検査の煩雑な操作の改善に着目した。

例えば，透析の現場ではバスキュラーアクセス（vascular access，以下VA）管理のために超音波診断装置を用いた血流量計測が必要不可欠な検査として行われている。血液透析療法における血流量（flow volume，以下FV）は，次の処置を判断する重要な検査の一つであるが，従来は患者に応じて超音波診断装置の多くのパラメーターを手作業で調整し，計測完了までに11ステップもの操作が必要であった。

そこで我々は，計測に必要なパラメーターを自動調整することで，4ステップでFVが計測できるVascular NAVI機能を開発し超音波診断装置SONIMAGE MX1αおよびSONIMAGE HS2に搭載した。

本稿ではVascular NAVI機能と本機能で使われている技術について紹介する。

Abstract

Ultrasound diagnostic system has been used in various clinical departments in recent years because it's the minimally invasive and convenient medical tool with real-time imaging.

Since launching the ultrasound system SONIMAGE HS1 under the concept of "Visible", "Easy", and "Connected", we have been well accepted in clinical departments targeting superficial organs, like orthopedics, musculoskeletal system, breast, thyroid, vascular and on. We newly released the SONIMAGE MX1 α and the SONIMAGE HS2, and these systems have been well received in the dialysis field, too. One of the features of our system is simple operation. We constantly consider about something that can be done to improve the workflow in each clinical department. In this time, we focused on the complicated operation of vascular echo examination.

For example, in the dialysis field, blood flow volume (hereinafter referred to as FV) measurement using an ultrasound diagnosis method is performed as an important examination for vascular access (hereinafter referred to as VA) management. In hemodialysis therapy, FV is one of the important examinations to determine the next treatment. However, it has taken a long time because 11 steps of operation and many manual adjustments of settings on the system are required to complete the FV measurement.

Accordingly, we have developed the Vascular NAVI function that enables operators to measure FV in just 4 steps by automatically adjusting the parameters, and we have installed this new function to our ultrasound system SONIMAGE MX1 α and SONIMAGE HS2.

This article introduces the Vascular NAVI function and the technology we developed.

＊ヘルスケア事業本部　ヘルスケア事業部　モダリティ事業統括部　超音波開発部
＊＊ヘルスケア事業本部　開発企画部

1　はじめに

超音波検査は低侵襲で簡便に実施でき，医療現場に広く普及している検査である。中でも，血管エコー検査は，血管壁の状態や血流をリアルタイムに検査できるため，さまざまな領域で実施されている。例えば，生活習慣病や閉塞性動脈疾患などの診療に際して頸動脈超音波検査が行われており，透析領域では，近年，VAエコーの有用性が認められてきている。

血管エコー検査はBモードと呼ばれる２次元断層像を用いた形態評価だけでなく，続けて複数のモードを使用して血流による機能評価も実施するため，超音波診断装置の多くのパラメーターを手動で調整する必要があり，操作者への負担，検査されている患者への負担も少なくない。

そこで，血管エコー検査時の煩雑な操作を減らし，客観的な評価と検査時間の短縮を実現するVascular NAVI機能を開発し，当社の超音波診断装置であるSONIMAGE MX1 α およびSONIMAGE HS2に搭載した（Fig. 1）。本稿では，このVascular NAVI機能について報告する。

Fig. 1 Photographs of ultrasonic diagnostic system SONIMAGE MX1 α and SONIMAGE HS2.

2　VAエコーについて

糖尿病などで腎臓の機能が低下し，慢性腎不全になると老廃物や水分が適切に尿中に排泄されなくなる。そこで腎臓の代わりに老廃物などを除去するための治療法が血液透析である。

血液透析において，血液を取り出す出入り口をVAと呼び，VAの一つにシャントがある。シャントとは動脈と静脈をつなぎ，静脈により多くの血液が流れるようにして血液の循環量を確保するための方法またはその状態のことである。

VAエコーは，VA作製前後の血管評価，VAの日常管理，血流不全（脱血不良など）や穿刺困難のようなトラブル時の病態把握などを目的として実施されている。

2.1　VAエコーにおけるシャント機能評価の意義

エコーによるVA評価（以下，VAエコー）は，血液透析を施行するにあたり，血管の状態や循環能力を把握するために行われる。評価項目は，上腕動脈におけるFV，末梢血管抵抗指数（resistance index，以下RI），収縮期加速時間（acceleration time，以下AT），狭窄径，狭窄形態，狭窄率，閉塞形態などがある。FV，RI，ATはシャントの機能評価として診断基準が設けられている。血流評価と狭窄病変の部位や程度から血行動態を把握し，総合的にシャントの良否を判断する。

2.2　従来のシャント機能評価手順

VAエコーにおけるシャント機能評価の手順について以下に示す。

検査者は，まずBモードで対象となる血管を描出し，血管の走行や太さ，深さ，閉塞や狭窄の有無などを観察する。この時，閉塞や狭窄の有無確認には，血管を短軸像，長軸像で観察し，Bモードに加えてカラードプラモードを使用することもある。カラードプラモードとはBモード画像上に血流情報を重ねて表示するモードである（Fig. 2）。

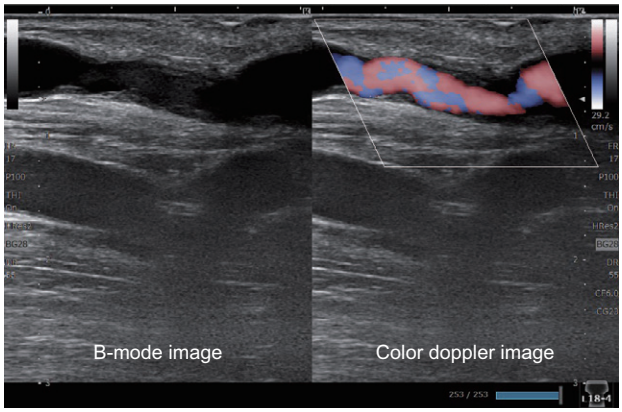


Fig. 2 B-mode image and Color doppler image of blood vessel.

次に血管の長軸断面を描出し，パルスウェーブドプラモード（pulse wave doppler mode，以下PWモード）を起動して，関心領域を決定してから血流評価を行う。

PWモードとは移動する物体から受信する超音波の周波数が偏移することを応用し，関心領域の血流速度情報を取得するモードである。超音波診断装置上には，縦軸が流速，横軸が時間の波形で表示される（Fig. 3）。

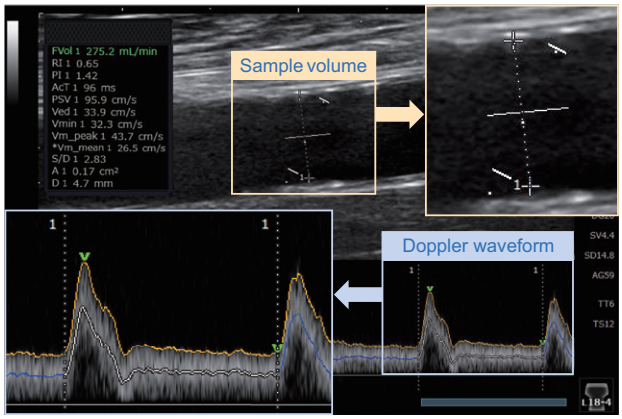


Fig. 3 An example of PW mode that displays blood flow velocity information in the interest region.

関心領域は，Fig. 3 に示すように，検査者がBモード画像上の対象血管中心にサンプルボリュームを設定することで指定される。サンプルボリュームは，対象血管の太さに応じて，幅（以下，サンプルボリュームサイズ）を変更することも可能である。サンプルボリュームサイズの設定は検査の内容によるが，血流量を推定する場合は，血管の内径と同程度に調整する。次に，超音波ビームの入射角（以下，ステア角）の調整を行う。PWモードでは超音波ビームと血流のなす角度が60°を超えると急激に誤差率が大きくなり，計測値の信頼性が低下する。そのため，血流に対して適切な入射角度になるように，ステア角を設定する必要がある。さらに，ステア角に対する血流の方向を示す角度補正値をBモード画像の血管の方向にあうように調整する。その後，アップデートボタンを押してドプラ波形を表示し，ドプラ波形のベースラインと流速レンジを調整する。

シャント機能評価におけるPWモードの評価項目はRIとFVが一般的である。RIは収縮期最大血流速度（peak-systolic velocity，以下PSV）と拡張末期血流速度（end-diastolic velocity，以下EDV）とから式（1）で算出され，計測部位より末梢の血流の流れにくさを反映する指標である。

$$RI = (PSV - EDV) / PSV \qquad (1)$$

装置にはドプラ波形を自動的にトレースしてRI, PSV, EDVなどの計測値を算出するオートトレース機能が搭載されているものもあり，自動で算出することもできる。FV（単位：mL/min）は，平均血流速度（単位：cm/s）と，血管を円と仮定し血管径を手動で計測した結果を用いて算出された断面積（単位：cm^2）とから式（2）により求められる。

$$FV = \text{平均血流速度} \times \text{血管断面積} \times 60 \qquad (2)$$

このように，従来は患者に応じて装置の多くのパラメーターを手作業で調整し，計測に多くの時間を要していた。また，角度補正値や血管径の計測値によって計測結果に差が生じるため，検査者間の誤差は避けることができないと言われていた[1)2)3)4)]。

3　Vascular NAVI機能について

前述のように，従来の血流評価は各機能を理解したうえで多くの操作が必要であった。これを解消するために，我々は，超音波診断装置の画面上に描出された血管画像を解析し，PWモードのパラメーター（サンプルボリューム位置，ステア角度，サンプルボリュームサイズ，角度補正値）およびドプラ波形のベースラインと流速レンジを適切に制御するVascular NAVI機能を開発した。Vascular NAVI機能の特徴は以下の3点である。以降の章でそれぞれについて詳しく説明する。

1）少ないステップで計測できる操作フロー
2）さまざまな描出状態の血管に対応する画像認識技術
3）修正しやすいユーザインタフェース

3. 1　Vascular NAVI機能を用いた血流評価の流れ

Vascular NAVI機能による血流評価手順を示す。Fig. 4はSONIMAGE MX1αにおけるVascular NAVI機能の操作手順である。

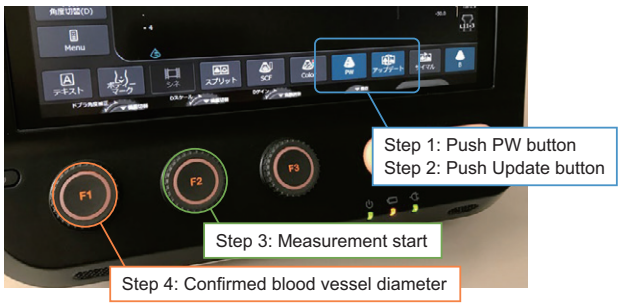


Fig. 4 The operation procedure of the Vascular NAVI function by the SONIMAGE MX1α.

検査者は，まずBモードで対象となる血管の長軸断面を描出する。次にPWモードを起動する。この時，サンプルボリューム位置，ステア角度，サンプルボリュームサイズ，角度補正値はVascular NAVI機能により自動で調整される。検査者は調整されたパラメーターが適切であるか否かを確認した後に，アップデートボタンを押してドプラ波形を表示する。ドプラ波形のベースラインと流速レンジもVascular NAVI機能によって最適に調整され，さらに，オートトレース機能によってRI, PSV, EDVなどの計測値が自動で算出される。

FV計測を行う場合は，計測ボタンを押した後，血管の近位壁，遠位壁と順に表示されるカーソル位置を確認しSetキーで確定するとFV値が表示される。

Table 1 に従来操作とVascular NAVI機能による操作手順の比較を示す。

Table 1 A comparison between the conventional operation and the operation using the Vascular NAVI function.

	Conventional	**Vascular NAVI**
Blood flow velocity*	(1) PW button	**(1) PW button**
	(2) Sample Volume position	
	(3) Steer Angle	
	(4) Sample Volume size	
	(5) Angle Correct	
	(6) Update button	**(2) Update button**
	(7) Baseline	
	(8) Flow Velocity Scale	
	Freeze and Store	**Freeze and Store**
FV	(9) Measurement button	**(3) Measurement button**
	(10) Cursor setting on the proximal wall of vessel	**(4) Press the Set button two times**
	(11) Cursor setting on the distal wall of vessel	
	Store	**Store**

***Using Auto Trace**

このように，従来はFV計測に11ステップの操作が必要であった。これに対してVascular NAVI機能では，ステップ(2)から(5)のサンプルボリューム位置，サンプルボリュームサイズ，ステア角度，角度補正値や，ステップ(7)および(8)のベースラインと流速レンジが自動で設定されるので，4ステップの操作でFV計測が完了する。

3.2　Vascular NAVI機能を実現する画像認識技術

ここまでは，透析領域における血流評価の重要性やVAエコーの手順について説明してきた。以降では，前述のVascular NAVI機能の簡単操作を実現する技術的な解説を述べる。

3.2.1　血管位置の検出

はじめに，描出されたBモード画像の中から血管位置を検出し，PWモード実行時のサンプルボリュームの位置を決定する。

Bモード画像では，血管壁は高輝度，血管内腔は低輝度に描出される。そこで，血管位置の検出処理では，深度方向に高－低－高の輝度パターンとの一致度を評価する。このとき，さまざまな血管サイズに対応するために，元画像を縮小処理させた評価も行う（Fig. 5）。

さらに，評価値に重みをもたせることにより，PWモードの起動時は画像全体から最も血管らしい位置を検出し，既にPWモードを使用している場合には表示されているサンプルボリュームの位置から最も近い血管を検出することで微調整ができるようにしている。このようにして，評価値が最大となる位置を血管として検出する。

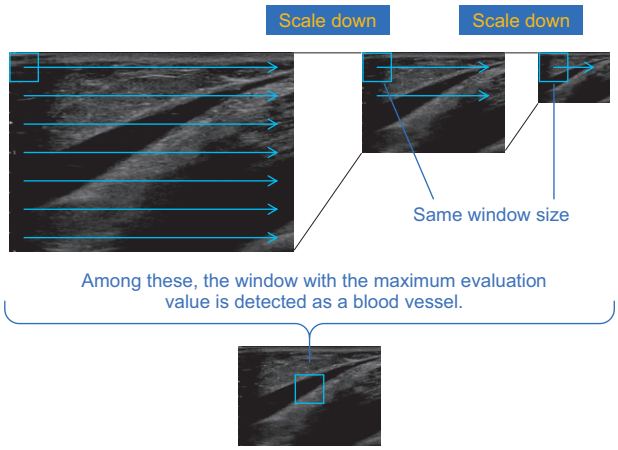


Fig. 5 Detection of blood vessel position from a B-mode image.

3.2.2　血管境界の検出

3. 2. 1節の処理にて検出した血管位置を含む所定の領域において血管境界（近位壁と遠位壁にあたる境界）の検出を行い，PWモードのサンプルボリュームサイズを決定する。

血管壁は高輝度，内腔は低輝度となっているため，深度方向の輝度変化を評価する。Bモード画像では，血管境界付近にノイズが発生することもあるため，輝度変化量による評価だけでは，血管境界候補位置と正しい境界位置が一致しない場合がある。そこで，候補位置の水平方向の連続性も評価している。具体的には，深度方向の輝度変化量と位置の連続量をコストとした経路探索問題に置き換え，コストが最小となる経路を血管壁境界として検出する（Fig. 6）。

ここで求めた近位壁と遠位壁の2つの血管境界から血管径を算出し，ゲートサイズを自動調整する。

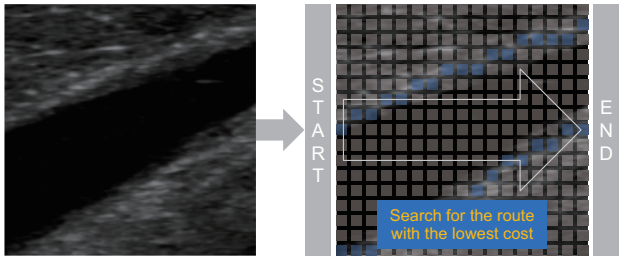


Fig. 6 Detection of blood vessel wall boundaries by route search method.

3.2.3　血管走行の検出

血管の走行については，3. 2. 2節で求めた血管の近位壁と遠位壁の2つの境界から血管中心を求め，直線でフィッティングさせて血管の傾き角度を算出する。次に，血管の傾き角度に対して，角度補正値が60°を超えないようにステア角度を設定する。この時，角度補正値が60°以下かつ60°に近い値を保つように設定するようにし，必要以上に大きなステア角度とならないように設計した。これによって，PWモードの感度の低下やアーチファクトの増加を防ぐことができる。

3.2.4　FV計測時の血管径計測支援

前述の通り，FVを計測する際は血管径を計測する必要がある。そこで，3. 2. 2節で検出した血管境界のうちゲート位置から血管走行に対して垂直方向に延長したラインが血管境界と交わる位置に計測カーソルを表示している。この時，検査者は計測カーソルの位置を確認し，問題なければ確定操作を行う。意図した位置でない場合は，計測カーソル位置を微調整した上で確定操作する。このように，検査者が確認，修正した上で確定するステップを設けることにより，仮に検出された計測カーソル位置が検査者の意図する位置とずれていてもスムーズに修正することができる。

4　性能評価

社内の健常者を対象とし，Vascular NAVI機能を用いたFV計測性能を評価した[5]。

4.1　評価方法

総頸動脈，外頸動脈，内頸動脈，椎骨動脈を含む頸動脈80例と上腕動脈30例を対象に，手動と自動で計測を行い，FVを比較した。なお，計測は全て臨床検査技師が

実施した。この時，Vascular NAVI機能によって検出・設定されたパラメーター等はそのまま使用し，検査者による修正は行っていない。

4.2　評価結果

Vascular NAVI機能を用いた自動計測により，評価対象の全てにおいて正しい血管位置及び走行，血管境界を検出し，PWモードのサンプルボリューム位置，サンプルボリュームサイズ，ステア角度，角度補正値を適切に調整できた。

血管径とFV値における各々の手動と自動の相関を，Fig. 7 (a)とFig. 7 (b)に示す。血管径については手動計測と自動計測の間に相関係数r＝0.979（p値<0.0001）の高い相関があり，FV値についても手動計測と自動計測の間に相関係数r＝0.984（p値<0.0001）の高い相関を認めた。

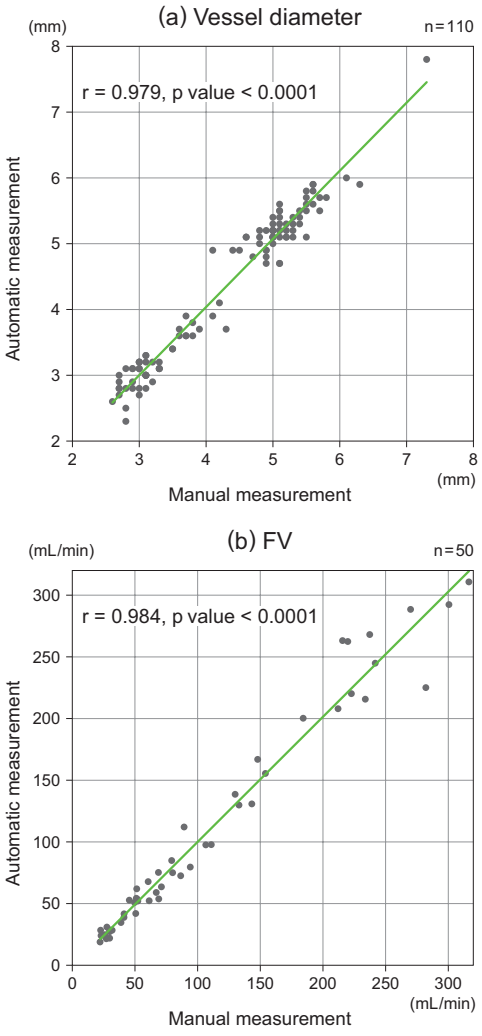


Fig. 7 Correlation between automatic measurement and manual measurement of vessel diameter (a) and FV (b).

4.3　考察

今回の性能評価では，頸動脈，上腕動脈などの血管径や深度の異なる対象に対して，PWモードにおけるパラメーターを全て正しく自動で調整できた。また，Vascular NAVI機能を用いた血管径およびFVの自動計測と手動計測の間に相関係数r>0.9という非常に高い相関が得られており，従来操作に置き換え得る性能が確認できた。

5　まとめと今後

血管エコー検査の煩雑な操作の改善に着目し，VAエコーにおけるシャント機能評価時のワークフローを改善するVascular NAVI機能を開発した。

Vascular NAVI機能は，Bモード画像を解析し，PWモードのパラメーター（サンプルボリューム位置，ステア角度，サンプルボリュームサイズ，角度補正値）を自動調整し，PWモードのドプラ波形を解析してベースラインと流速レンジを自動調整する機能である。本機能にて，健常者による評価を行い，臨床使用するにあたり十分な性能であることを確認した。

本機能により，血流評価における煩雑な操作を減らし，客観的な評価と検査時間の短縮が期待できる。

本稿では詳しく触れなかったが，2021年に上市したSONIMAGE HS2の新バージョンでは，カラードプラ検査において血管の長軸断面と短軸断面を自動的に判定してステア角を調整する機能が追加され，更に性能を向上している。さらに，この新バージョンでは，音声コントロール機能やカメラリンク機能も追加された。

音声コントロール機能は，Vascular NAVI機能を音声で起動して操作できるため，両手がふさがっている場合や，清潔環境下で装置のボタンや画面を触りたくない場合に有用である。カメラリンク機能は，例えばFig. 8に示すように患者の上腕の画像とエコー画像を合わせて記録できるため，FV計測位置や穿刺位置がより分かりやすい形で記録できる。

これらの追加機能とVascular NAVI機能を組み合わせることで，より簡単で清潔な操作および診療の記録が可能となる。

Fig. 8 An example of the camera link function of the SONIMAGE HS2.

今後も更なる“かんたん”を追求してワークフローを改善することより，患者ひとり一人のケアや診療が充実し，QOLの向上につながることを期待する。

●参考文献
1) 春口洋昭,「バスキュラーアクセスにおける超音波診断の意義」, 超音波医学, 46(2), 125–131 (2019)
2) 春口洋昭,「透析スタッフのためのバスキュラーアクセス超音波」, 医歯薬出版 (2017)
3) 日本超音波医学会, 日本超音波医学用語・診断基準委員会 頸動脈超音波診断ガイドライン小委員会,「超音波による頸動脈病変の標準的評価法 2017」(2018年1月29日公示)
4) 日本透析医学会,「慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン」, 透析会誌, 44, 855–937 (2011)
5) 大杉増美, 武田義浩, 占部真樹子,「血管エコーの“かんたん”を実現したVascular NAVI」, 超音波検査技術, 45(5), 518–525 (2020)

デジタルマンモグラフィー画像を用いた乳房構成解析ソフトウェア（Bda）の紹介

Introduction of Breast Density Assessment (Bda) Software for Digital Mammography Images

南　　寛威＊　　甲斐千遥＊
Hirotake MINAMI　　Chiharu KAI

要旨

乳がんは，日本人女性のかかるがんの中で最も罹患率の高いがんであり，その罹患数は年々増加している。現在，乳がん検診の検査手段としてはマンモグラフィー検査が基本である。マンモグラフィー画像では，乳腺組織は白く描出される。日本人を含めたアジア人には“高濃度乳房（dense breast）”といわれる乳腺組織の多い乳房の人が多く，白さが強い傾向にある。一方，病変も白く描出されるため，背景の乳腺組織の白さの程度により，本来発見しなければいけない病変の検出が難しいことが課題となっている。そのため，高濃度乳房に対しては，病変の検出に優れている超音波検査の併用が望まれている。

しかしながら，超音波検査の追加要否の判断指標となる高濃度乳房の判定は，医師によるマンモグラフィー画像の定性的視覚的評価により行われていることから，読影者間や読影者内の判定結果の再現性の確保が課題となっている。

コニカミノルタは，このような課題に対してマンモグラフィー画像から乳房構成を客観的な指標で判定する乳房構成解析ソフトウェア「Breast Density Assessment（Bda）」を開発した。本ソフトウェアは，人間の目や経験では再現性高く判断することが難しい微妙な乳房構成の違いを，高度な画像解析技術により定量的に解析し，日本乳がん検診精度管理中央機構のガイドラインに基づいた判定結果を医師へ提示する。この結果を医師が参考にすることで，再現性が高い乳房構成判定が実現でき，超音波検査の併用を促進するひとつのきっかけになると考える。

本稿では，乳房構成解析ソフトウェア（Bda）の機能とそのアルゴリズムを紹介する。

Abstract

Breast cancer is the most common cancer in Japanese women, and the prevalent rate is increasing every year. Mammography is used as a basic screening tool to detect early breast cancer in women experiencing no symptoms. Breast tissue appears as a white area and dense breast tissue appears as a much solid white area on a mammography image, which makes it difficult to find abnormal findings. Therefore, for dense breast, it is recommended to use ultrasonography, which is better in detecting abnormal findings in dense breasts, in addition to mammography.

Since the category of breast density, which is an index for deciding additional ultrasonography, is determined by a doctor's visual evaluation on a mammography image, reducing inter and intra reader variability represents a challenge for leading appropriate examination.

Konica Minolta has developed the Bda (breast density assessment) software that quantitatively analyzes mammography images to determine the category of breast density.

The Bda software analyzes subtle differences in breast density that are difficult to determine with high reproducibility by the human eye or experience by means of advanced image analysis technology, and provide the result based on the guidelines from the Japan Central Organization on Quality Assurance of Breast Cancer Screening.

It is expected that doctors make decision of breast density with high reproducibility by using the Bda and it leads appropriate ultrasonography.

In this paper, we give an overview of our breast density assessment algorithm, which can robustly provide the results of breast density.

＊ヘルスケア事業本部　開発企画部

1　はじめに

乳がんは，日本人女性のかかるがんの中で最も罹患率の高いがんであり，その罹患数は年々増加している。2018年の統計では，年間9万人以上が乳がんと診断されており，女性が生涯で乳がんに罹患する割合は9人に1人と推定されている[1]。乳がんは，早期発見であるほど治癒率が高いことから，定期的な検診が重要である病気のひとつとされているが，現在の日本の乳がん検診受診率は47.4%[2]と先進国の中でも低いレベルに位置し，死亡数も年々増加傾向にある。

乳がん検診では，死亡率の減少が証明されている唯一の検査であるマンモグラフィー検査が基本とされている。マンモグラフィー検査は，乳腺組織の多寡によって病変の検出感度が異なることが知られており，乳腺が発達している方の場合は，検出感度が低下することが問題となっている。この乳腺が発達した乳房を「高濃度乳房」と呼び，検診のあり方を考える上で近年関心が高まっている。

一方で，マンモグラフィー検査と相補的な機能を持つ検査として，超音波検査がある。超音波検査は，マンモグラフィー検査では乳腺に隠れて描出できない病変の検出を補う有力な検査法であることが示されている[3]。

日本人を含むアジア人女性では，欧米人と比較して高濃度乳房の割合が多いことから，高濃度乳房に対して，マンモグラフィー検査と超音波検査を併用して行うことを推奨する動きが国内で活発になってきている。

しかしながら，超音波検査の追加要否を決定する高濃度乳房の判定は，医師のマンモグラフィー画像における視覚評価により行われ，読影者間や読影者内の判定結果の再現性確保が課題となっている。

コニカミノルタは，このような課題に対してマンモグラフィー画像から乳房構成を客観的な指標で判定する乳房構成解析ソフトウェア「Breast Density Assessment（以下，Bda）」を開発した。これにより，再現性の高い乳房構成の判定が可能となり，乳房の特徴に合わせた乳がん検診，すなわち「個別化検診」の実現に貢献できると考えている。

2　乳房構成と主観評価における課題

2.1　乳房構成とは

乳房は乳腺組織と脂肪組織によって構成され，マンモグラフィー検査では，乳腺は白く，脂肪は黒く描画される。また，病変は白く描画されるため，高濃度乳房の場合は病変が乳腺に隠れて見えづらく，病変の判別が難しいことが課題となっている。この病変が正常乳腺に隠されてしまう可能性の程度を示す指標が，“乳房構成”である。

乳房構成の判定方法は，日本乳がん検診精度管理中央機構（以下，精中機構）によって定められており[4]，乳腺組織の割合が少ないものから順に，脂肪性（fatty），乳腺散在（scatterd），不均一高濃度（heterogeneous dense），極めて高濃度（extremely dense）の4つに分類される（Fig. 1）。このうち，病変の検出が難しいとされる不均一高濃度と極めて高濃度を併せて“高濃度乳房（dense breast）”と呼んでおり，超音波検査を追加する判断のひとつとなりつつある。

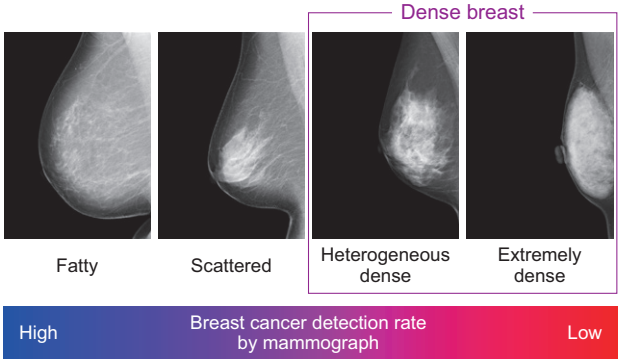


Fig. 1 Radiologists classify breast density using a 4-level density scale.

2.2　主観評価における課題

乳房構成の判定は，読影者の定性的な視覚評価により行われている。視覚評価は，簡便な判定方法である一方，主観的な判定となり，普遍性と客観性に乏しく，判定結果が読影者や読影条件等によって異なることが知られている。このような人の目や経験では再現性高く判断することが難しい微妙な乳房構成の違いについて，客観的に判定し再現性を担保することが乳房構成を評価する上での重要な課題となっている。

3　乳房構成解析ソフトウェア（Bda）

3.1　処理の概要

本ソフトウェアの処理フローは，精中機構のガイドラインの考え方[4]に基づき，乳腺組織がもともと存在していた領域を抽出するプロセスと乳腺が現存する領域を抽出するプロセスから構成される（Fig. 2）。

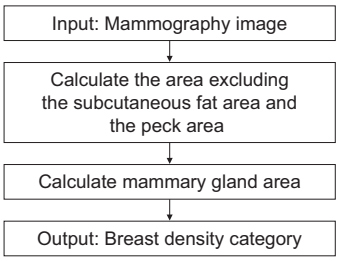


Fig. 2 Breast density assessment algorithm, consisting of two processes.

乳腺組織がもともと存在していた領域は，皮下脂肪と大胸筋部分，および，あきらかな乳腺後隙の脂肪のみの部分を除いた領域で決定される（Fig. 3のb領域）。一方，乳腺領域（Fig. 3のc領域）は，処理済み画像を入力画像としているために起こり得る外部因子の影響を除いた計算領域（Fig. 3のd領域）を用いて抽出する。

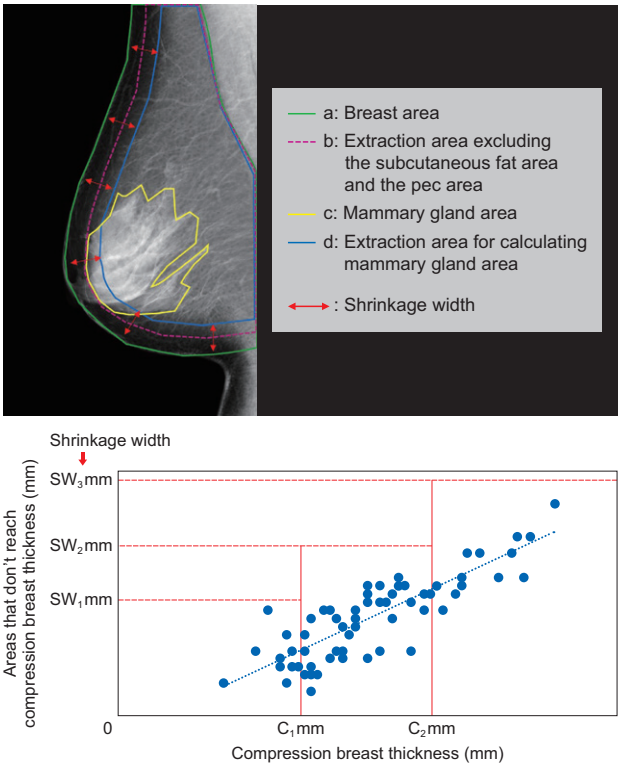


Fig. 3 Relationship between compression thickness and shrinkage width from skin line (bottom). The shrinkage width is used to identify the calculation d area.

3. 2節では，本アルゴリズムにて，ロバスト性を確保した乳腺領域抽出のために計算領域を設定した背景と処理内容について説明する。

3. 2　ロバスト性確保のための工夫

マンモグラフィー検査で撮影された画像は，画像処理条件をはじめとし，患者の個体差（乳房の大きさ・年齢・体格等），撮影手技といった様々な外部因子の影響を受ける。特にスキンライン付近は，乳房圧迫厚に未達の領域（圧迫板にも撮影台にも接触していない領域，Fig. 4の赤矢印部分）となるため，上述の外部因子の影響が顕著に画像として表現される。そこで，乳腺領域抽出のために，乳房圧迫厚に未達の領域を除いた領域を計算領域として利用することにより，ロバスト性を確保した乳腺領域の抽出を行う設計とした。

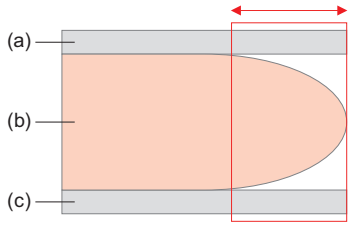


Fig. 4 Schematic diagram from the side of viewed compressing the breast (b) by a compression plate (a) and a radiographing stand (c).

まず，乳房圧迫厚に達している領域と乳房圧迫厚に未達の領域との関係を大量の臨床データより蓄積し，それを基に乳房スキンラインからの収縮幅（Fig. 3のshrinkage width）を決定し，計算領域（Fig. 3のd領域）を求める。そして，計算領域から乳腺領域抽出のための閾値をヒストグラム解析で算出し，乳腺組織がもともと存在していた領域（Fig. 3のb領域）へ求めた閾値を適用することにより乳腺領域（Fig. 3のc領域）を抽出した。

乳房構成のカテゴリーは，乳腺組織がもともと存在していた領域（Fig. 3のb領域）における乳腺領域（Fig. 3のc領域）の割合を乳腺量とし，乳腺量から4段階のカテゴリーを算出している。また，本ソフトウェアでは乳房構成を瞬時に把握できるように，算出した4段階のカテゴリーをKMDC（konica minolta density category）スコア（脂肪性を1，散在性を2，不均一高濃度を3，極めて高濃度を4）で表現している（Fig. 5）。

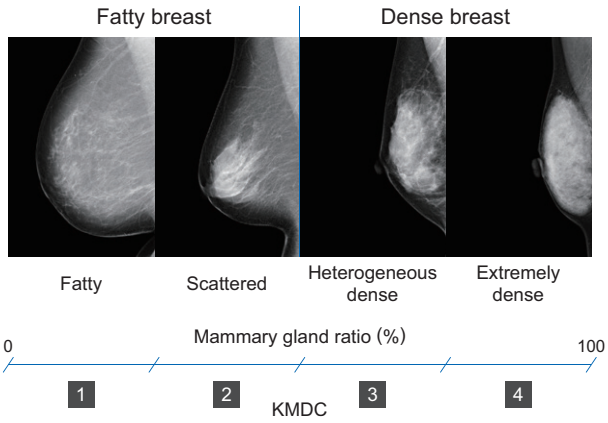


Fig. 5 Relationship between mammary gland ratio and breast density category.

3. 3　視認性を重視した判定結果の出力設計

本ソフトウェアは，当社の画像処理機能搭載ゲートウェイであるSenciafinder（センシアファインダー）に搭載される。乳房X線撮影装置で撮影された画像処理後のデータをSenciafinderが受信するとFig. 6に示す表示スタイルで処理結果を出力する。

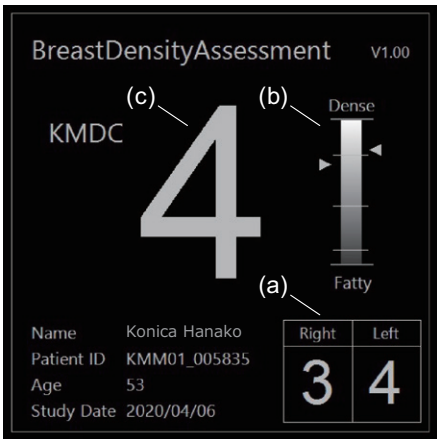


Fig. 6 Output image for breast density assessment.
(a) KMDC (konica minolta density category) for each of the right and left breasts. (b) Percentage of mammary gland for each of the right and left breasts. (c) KMDC for the patient is higher KMDC between right and left breasts.

DICOM Secondary Capture Statement形式で出力していることより，一般的な読影端末で表示が可能であり，施設運用に合わせたフレキシブルなシステム提案が可能なことから，導入への障壁が低いことも特徴である。

乳房構成の判定結果の表示スタイルは直感的な視認性を重視した設計であり，読影の効率化をサポートする。表示の右部に，左右乳房に対する乳房構成の判定カテゴリー（Fig. 6 (a)）とそれらの乳腺割合（Fig. 6 (b)）をグラフィカルに表示する。また，画像中央には左右の乳房構成のうち，より高濃度の判定カテゴリー結果をサムネイル表示で視認可能なフォントサイズで表示する（Fig. 6 (c)）。

このような表示方法により，乳房構成の判定結果を瞬時に把握でき，さらに出力結果の詳細を確認することで，左右の乳房構成に関する情報を直感的に捉えることができる。

4　画像処理条件の影響について

医師の視覚評価の結果と本ソフトウェアの結果に画像処理が与える影響について，笠井ら[5]の報告がある。4. 2節にその結果とそれに対する我々の考察を示す。

4. 1　使用症例・実験方法

医療法人社団 恒聖会 大塚ブレストケアクリニックにて2007年11月～2008年3月までに撮影されたマンモグラフィー画像（当社マンモグラフィーシステムにて撮影）の中からランダムに選択した58症例（116乳房）に対して読影で使用される範囲にて画像処理条件をFig. 7のように変更し本実験に使用した。

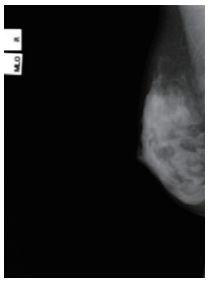
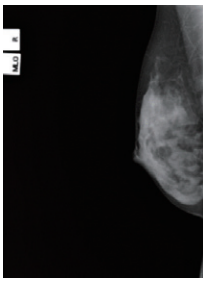
Parameter	Image processing A	Image processing B
G value	3.83	5.56
HE (β2)	0.3	0.65
Image		

Fig. 7 Image processing parameter. Contrast is enhanced by increasing G value, and sharpness is improved by emphasizing HE ($\beta 2$) processing compared with image processing A and image processing B.

画像処理Aと画像処理Bのデータ群を1ヶ月のWash-out期間を設けて医師（乳腺外科医）1名による乳房構成判定を実施し，4段階の乳房構成と乳腺量を回答いただいた。そして，対象症例に対して医師の判定結果と本ソフトウェアの判定結果をそれぞれ比較評価した（Fig. 8）。

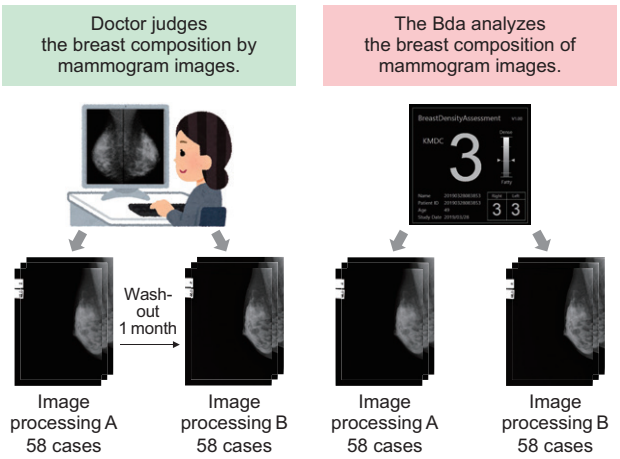


Fig. 8 Evaluation method of doctor's judgment result and Bda analysis result in different image processing.

4. 2　結果・考察

医師の判定と本ソフトウェアの判定はともに，画像処理Aと比較して画像処理Bのほうが“脂肪性寄り”という結果であった（Fig. 9）。

Doctor's result	Image processing A	Image processing B	Difference
Average mammary gland ratio	55.4%	47.8%	▼ 7.6%
Average 4 categories	2.72	2.4	▼ 0.32

Bda's result	Image processing A	Image processing B	Difference
Average mammary gland ratio	45.2%	43.3%	▼ 1.9%
Average 4 categories	2.64	2.59	▼ 0.05

Fig. 9 Result of average mammary gland ratio and average breast density category (4 categories).

画像処理の違いによる判定結果の違いを顕在化させるため，個々の症例について，画像処理Bの乳腺量から画像処理Aの乳腺量を引いた“乳腺量の変化”について考察を行った（Fig. 10）。

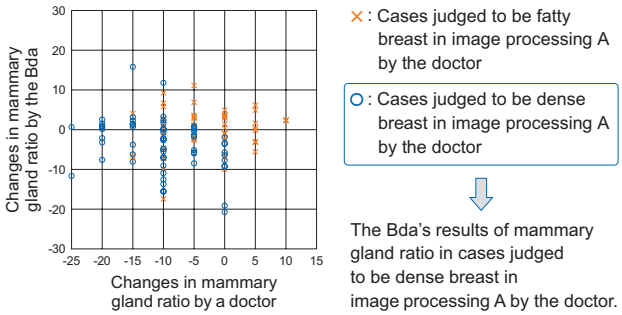


Image processing A	Image processing B	Difference
60.9%	57.3%	▼3.6% (P<0.01)

Fig. 10 Result of changes in mammary gland ratio between image processing A and B. The horizontal axis is the change in mammary gland ratio of the doctor, and the vertical axis is the change in mammary gland ratio by the Bda.

その結果，画像処理Aにおいて医師が“高濃度乳房”と判定した症例は，画像処理Bでは医師の判定および本ソフトウェアの判定ともに“脂肪性寄り”という結果であった。一方，画像処理Aにおいて医師が“脂肪性”と判定した症例において，画像処理Aと画像処理Bとで“乳腺量の変化”に顕著な違いは見られなかった。

“高濃度乳房”の症例に対する本ソフトウェアの中間処理結果の画像をFig. 11に示す。画像処理Bの画像において，本ソフトウェアが“脂肪”と判定した領域が増えたことがわかる。この中間処理結果より，画像処理Aにおいて医師が“高濃度乳房”と判定した症例について，画像処理Bでは医師も本ソフトウェアもともに“脂肪寄り”と判定したと推測される。一方，画像処理Aにおいて医師が“脂肪性”と判定した症例において，画像処理AとBとの間で“乳腺量の変化”に顕著な違いが認められなかった理由は，“脂肪性乳房”の場合は濃度方向の値が乏しいため，画像処理の影響を受けにくいことによるものと考えられる。

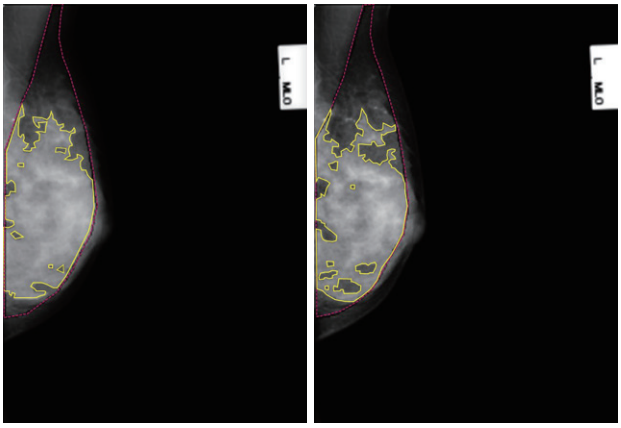


Fig. 11 Result of mammary gland area segmentation between image processing A and B.

これらの結果および考察より，本ソフトウェアは画像処理条件が異なる症例についても，適切に乳房構成の判定ができることが確認された。また，読影者の感覚に合う納得性のある乳房構成の判定ができていることから医師の読影を支援できる可能性が示唆された。

5　まとめ

マンモグラフィー画像から乳房構成を客観的な指標で判定する乳房構成解析ソフトウェア「Breast Density Assessment (Bda)」を開発した。本ソフトウェアを利用することにより，従来困難であった再現性の高い乳房構成の判定が可能となり，各人の乳房の特徴に合わせた乳がん検診，すなわち「個別化検診」の実現に貢献できると考える。

コニカミノルタは，今後も個別化検診をサポートすることで，一人ひとりにとって乳がん検診をよりよいものにし，乳がんの早期発見と治癒率向上に貢献していく所存である。

●参考文献

1) 国立がん研究センター がん情報サービス：最新がん統計 2018 https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary.html (2021.10.20)
2) 国立がん研究センター がん情報サービス：がん検診受診率 https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/screening/screening.html (2021.10.21)
3) Narumi Harada-Shoji, Akihiko Suzuki, Takanori Ishida, Ying-Fang Zheng, Yoko Narikawa-Shiono, Akiko Sato-Tadano, Rie Ohta, Noriaki Ohuchi, “Evaluation of adjunctive ultrasonography for breast cancer detection among women aged 40–49 years with varying breast density undergoing screening mammography: A secondary analysis of a randomized clinical trial”, JAMA Network Open, 4(8):e2121505, (2021)
4) 日本乳がん検診精度管理中央機構 お知らせ「乳房構成の判定方法」 https://www.qabcs.or.jp/news/20200206.html (2021.10.21)
5) 笠井聡，甲斐千遥，櫻井典子，南寛威，勝原慎介，児玉直樹，「マンモグラムを用いた乳房構成解析における画像処理の影響調査」，日本放射線技術学会誌，77(9)，1044 (2021)

アミロイドβの非標識蛍光イメージング手法の開発

Development of the Label-free Fluorescence Imaging Method of Amyloid β

小 野 雄 樹＊　　岡 野 誉 之＊
Yuki ONO　　Takayuki OKANO

要旨

アミロイドが局所あるいは全身に蓄積することにより様々な臓器に障害をきたすアミロイドーシスが発症する。アミロイドーシスは，人や動物の進行性の難治性疾患であり，アルツハイマー病やパーキンソン病などが知られている。アミロイドーシスの患者数は年々増加傾向にあり，早期の診断が求められている。

しかしながら，従来のアミロイドの検出方法は，染色標本を作製し診断する病理組織学的な手法に基づいており，組織への侵襲性が大きく，評価に時間がかかるなどの課題がある。

そこで我々はアミロイドが持っている特異的な自家蛍光パターンに着目した非標識蛍光イメージングを試みた。

リスザル脳とフラミンゴ脳のアミロイドβから発せられる自家蛍光を，顕微鏡に接続したハイパースペクトルカメラで撮影し，撮影した画像を主成分分析（PCA）を用いて解析した。その後，コンゴレッド染色した組織標本との画像を比較したところ良い一致が見られた。

将来的には画像取得からデータ分析までの処理を自動化することが可能であり，簡易にアミロイドを可視化できる可能性を示した。対象物質の非標識・非破壊イメージングを可能とする本技術は，食品分野，工業材料分野，製薬分野，医療分野，衛生分野，環境分野など様々な分野で活用が期待される。

Abstract

Amyloidosis, which causes damage to various organs, develops due to the accumulation of amyloid locally or systemically. Amyloidosis is a progressive, intractable disease in humans and animals, known as Alzheimer's disease and Parkinson's disease and so on. The number of patients with amyloidosis is increasing year by year, and early diagnosis is required.

However, since conventional methods for detecting amyloid are based on histopathological methods of preparing and diagnosing stained specimens, there are issues such as high invasiveness to the tissue and time-consuming evaluation.

In this study, we focused on the specific autofluorescence pattern of amyloid and tried label-free fluorescence imaging.

Autofluorescence emitted from amyloid-β in squirrel monkey brains and flamingo brains was captured by a hyperspectral camera connected to a microscope, and the captured images were analyzed using principal component analysis (PCA). Comparison of the images with Congo red stained tissue specimens showed good agreement. In the near future, it will be possible to automate the entire process from image acquisition to data analysis, and we have shown the possibility of easily visualizing amyloid. This technology, which enables label-free and nondestructive imaging of target substances, is expected to be used in various fields such as food, industrial materials, pharmaceutical, medical, sanitary, and environment.

＊開発統括本部　要素技術開発センター　DS技術開発室

1　はじめに

アミロイドとは，タンパク質のミスフォールディングによって生じる異常な線維タンパクである。アミロイドは，クロスβシート構造を有しており，コンゴレッド色素と特異的に結合する点や，熱や酵素処理に対して強い耐性を有するなど，正常な生体タンパク質とは異なる性質を有する。

アミロイドが局所あるいは全身に蓄積することにより様々な臓器に障害をきたすアミロイドーシスが生じる。アミロイドーシスは人や動物の進行性の難治性疾患であり，原因となるタンパク質毎にアルツハイマー病やパーキンソン病など36病型が存在している。アミロイドーシスの患者数は年々増加傾向にあり，早期の診断が求められている。

アミロイドの検出は，主に病理組織学的検索法が用いられているが，評価には十分な習熟が必要であり検査には数日を要するためアミロイドの検出に時間がかかるという課題がある[1]。その他の方法には，放射性同位体プローブを用いたアミロイドPETなどが挙げられるが，この方法も評価に十分な習熟が必要であり，さらに大がかりな機器が必要で検査費が高額になるなどの課題がある。

また，アミロイドの検出は，食肉衛生の観点からも重要な課題であることが示されている[2]。食肉中のアミロイド検出においては，簡易に迅速に検出する方法が求められている。

そこで我々は，簡易に迅速にアミロイドを検出する手法の確立を目標として非標識蛍光イメージング手法の開発に取り組んだ。

2　実験装置

Fig. 1 に実験装置の概念図を示す。

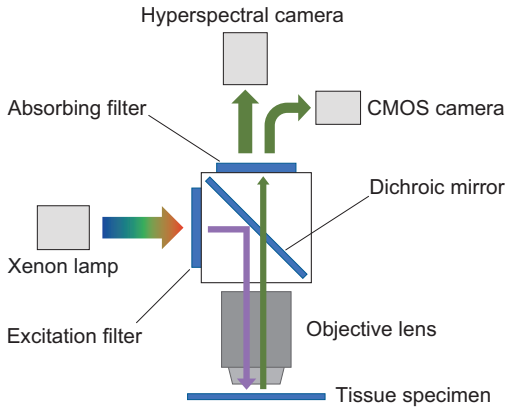


Fig. 1 Conceptual diagram of experimental equipment.

Fig. 1 に示す実験装置は，蛍光顕微鏡（オリンパス製BX50）にハイパースペクトルカメラ（エバジャパン製NHシリーズ）と光源装置（朝日分光MAX-350）を接続した状態を基本形態としている。

光源装置は，キセノンランプ300Wを使用しており，内部のミラーモジュールは同社製UV-VISを使用している。この構成により300nmから600nmの光を照明光，および励起光として利用できる。光源装置の内部には個別に光学フィルターを挿入することができ，必要に応じて波長を選択して照射することができる。なお，光源は蛍光顕微鏡の落射照明ユニットへ石英ライトガイドを用い接続している。

ハイパースペクトルカメラの基本仕様は，画像解像度1000×1000（100万画素），測定波長範囲350nmから1000nm，波長分解能5nmである。ハイパースペクトルカメラは蛍光顕微鏡の三眼鏡筒へCマウントカメラアダプター（オリンパス製U-DPCAD）を介して接続する。ハイパースペクトルカメラは波長ごとの画像を取得できるが，カラー画像の取得はできないため，カメラの光路切り替え機構を追加しCMOSカラーカメラにより明視野カラー画像も撮影できる構成としている。

明視野カラー画像を取得することで，病理学的見地によるアミロイドの識別結果と比較し測定結果の確からしさを検証する事ができる。また，蛍光顕微鏡の蛍光ユニットを適切に選定する事で観察対象からの蛍光のみを観察することができる。

3　事前検証および測定手順

今回の観察においては，事前に対象のアミロイドの精製を行い，精製したアミロイド溶液を蛍光分光光度計（例えば日本分光製FP8300）で測定し励起蛍光マトリックスを取得している。取得したデータを分析，または目視により注目すべき励起波長と蛍光波長の組み合わせを選定する。検出対象の自家蛍光パターンが明らかになっていない場合は，事前検証として詳細な励起蛍光マトリックス情報を取得する必要がある。

その後，実際に観察したい部位の組織切片から組織標本を作製する。測定の際はまず白色照明による明視野環境下で組織標本を観察し，アミロイドを検出したい場所を選定する。次に事前検証によって選定していた励起波長と蛍光波長が取得できるように蛍光ユニットや照明光源の波長フィルターなどを変更し，目視による蛍光観察，さらにはハイパースペクトルカメラによる蛍光画像を取得する。

ハイパースペクトルカメラで撮影した画像データの解析には機械学習の一種である主成分分析（PCA）を用いた。

4　観察結果および考察

4.1　リスザル脳のアミロイドβの可視化の例

アミロイドβを非標識蛍光イメージングにより可視化した例としてリスザル脳について述べる。

東京農工大学村上智亮准教授らの実験から，リスザル脳のアミロイドβは励起光450nm，蛍光485nmに特徴的な蛍光スペクトルが現れることが分かっている。東京

農工大学所有の組織標本をハイパースペクトルカメラで撮影を行った後，取得した画像データをPCAにより解析し，アミロイドβの検出を試みた。Fig. 2 はPCAを行いアミロイドβと赤血球を可視化したものである。

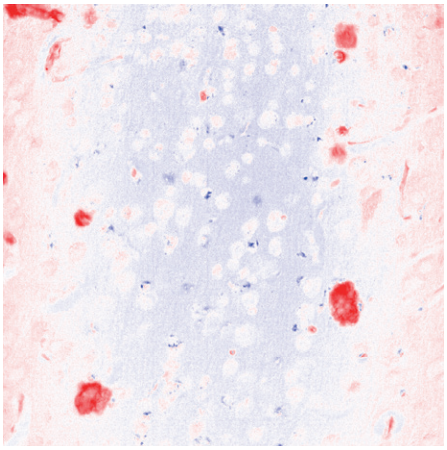


Fig. 2 PCA Score of Amyloid β in Squirrel Monkey brain.

赤い斑点はアミロイドβを示し，青点は赤血球を示している。励起光源にはキセノンランプを使用し，蛍光ユニットにオリンパス製U-MWBV2を用い400nmから440nmで励起する条件とした。組織標本の観察およびハイパースペクトルカメラの撮影には顕微鏡対物レンズにオリンパス製UPlan Fl 20倍NA0.50を使用しており，ハイパースペクトルカメラの撮影範囲は約300×300μmである。ハイパースペクトルカメラは画像上部から1画素分のラインにデータを取得する構成となっており撮影条件としてラインの送り速度を受光量に応じて設定する必要がある。今回の測定は5Line/sec.であり撮影にかかる時間は200秒である。

Fig. 3 はハイパースペクトルカメラで撮影した画像を波長ごとに並べたものである。アミロイドβは数10μm程度の粒子状に凝集しており，Fig. 3 の丸枠で示したように約470nmから530nmの波長領域に波長成分を持ち，480nmから490nmで最も強い蛍光を発している。アミロイドβの周囲の小さな輝点は赤血球であり，アミロイドβ同様に蛍光を発している。しかし，アミドイドβよりも長波長領域の蛍光スペクトルを持つため，その波長分布の差によってアミドイドβと分離できた例である。

PCAの結果からアミロイドβの分離に寄与している波長は，約485nmであり，分光蛍光光度計による測定結果から予測していた蛍光波長とほぼ一致している事が確認できた。以上の結果から，非標識蛍光イメージングの原理確認が出来たと考えている。

Fig. 4 は自家蛍光の観察画像，PCA結果，コンゴレッド染色後の蛍光観察画像の比較例である。撮影場所を変えた場合でも，アミロイドβが凝集している様子を確認することができる。

Fig. 4 の上段の画像は各観察位置の自家蛍光の観察画像である。画像中の青く光っている斑点部がアミロイドからの自家蛍光である。この画像は一般的なカメラで撮影したカラー画像である。カラー画像で撮影場所を選定し，その後に撮影光路を切り替えてハイパースペクトルカメラで撮影する。中段の画像はハイパースペクトルカメラで撮影した画像のPCA結果を画像として表示したものである。赤の斑点部がアミロイドとして検出した箇所である。下段の画像はコンゴレッド染色した後の組織標本の蛍光観察画像であり，明るい斑点部がアミロイドβが染色された箇所である。それぞれの画像を比較するとPCAによって検出した箇所がコンゴレッド染色後の蛍光観察画像とよく一致している様子が分かる。

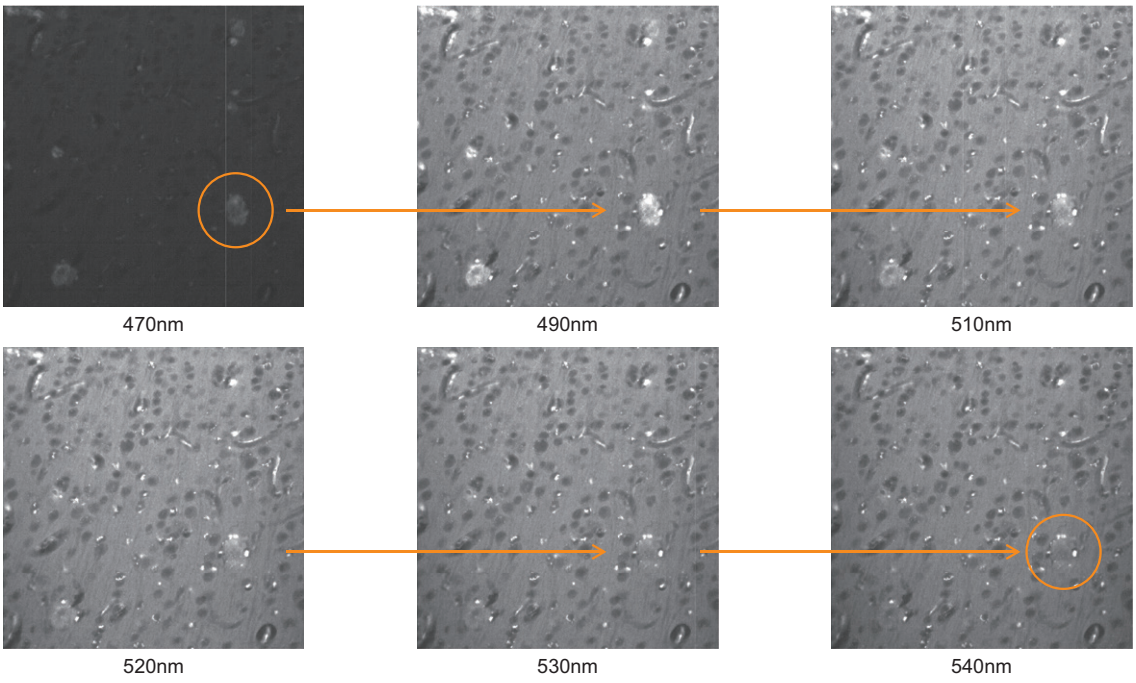


Fig. 3 Hyperspectral camera image of Amyloid β in Squirrel Monkey brain.

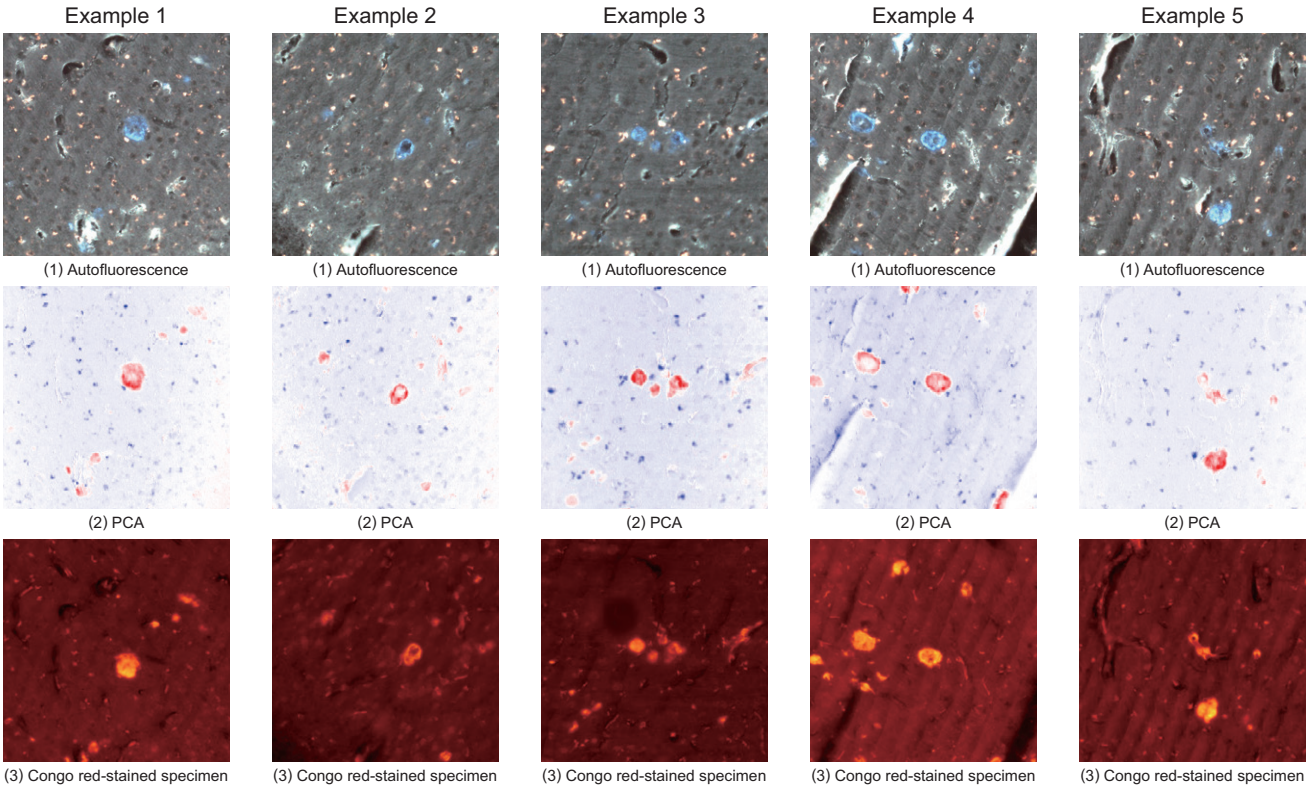


Fig. 4 Comparative example.

4. 2　フラミンゴ脳のアミロイドβの可視化の例

次に，フラミンゴ脳のアミロイドβを非標識蛍光イメージングにより可視化した例を示す。

フラミンゴ脳アミロイドβも，リスザル脳のアミロイドβと同様に励起光源はキセノンランプを使用し，蛍光ユニットはオリンパス製U-MWBV2とU-MWUV2の2種類の蛍光ミラーユニットを用い，それぞれの条件で観察およびハイパースペクトルカメラでの撮影を行った。Fig. 5 は蛍光ミラーユニットU-MWBV2を使用し，ハイパースペクトルカメラで撮影した画像のPCA結果であり，画像の赤い部分がアミロイドと判定した箇所である。

Fig. 6 は同組織標本の抗アミロイドβ免疫染色の画像であり，アミロイドが沈着している場所が茶色く染まっている。Fig. 5 とFig. 6 を比較すると画像中央部において染色されていない領域を，Fig. 5 のPCAの結果ではアミロイドであると判定している。染色された場所の自家蛍光とそれ以外の場所の自家蛍光の波長分布が類似していたため，差異を検出できなかったものと推測される。

Fig. 7 はU-MWBV2とU-MWU2の2種類の蛍光ミラーユニットを使用し，それぞれの条件で撮影した2つの画像を用いてPCAを行った結果である。画像中央部の検出結果が改善され，Fig. 6 の画像とよく一致している様子が分かる。2種類の異なる蛍光ミラーユニットを用い，それぞれの条件で撮影した2つの画像を組合せることにより情報量が増えたことがアミロイドβの分離に寄与したものと考えられる。このように，検出したい対象と周囲との差異が小さい場合は，複数の条件で画像取得しPCAに使用すると効果的である。

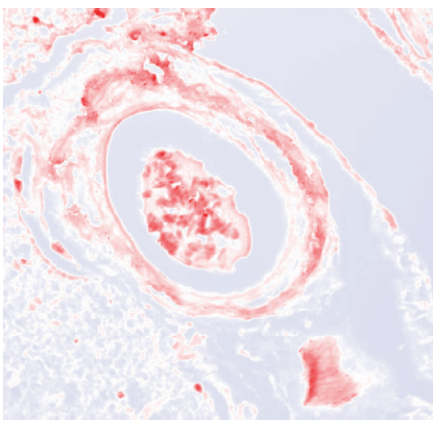


Fig. 5 PCA Score with U-MWBV2.
(Flamingo brain)

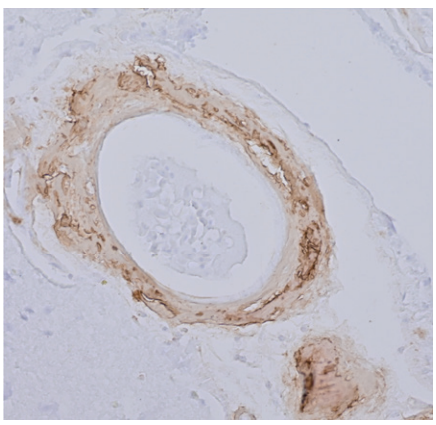


Fig. 6 Anti-Amyloid β stained specimen.
(Flaming brain)

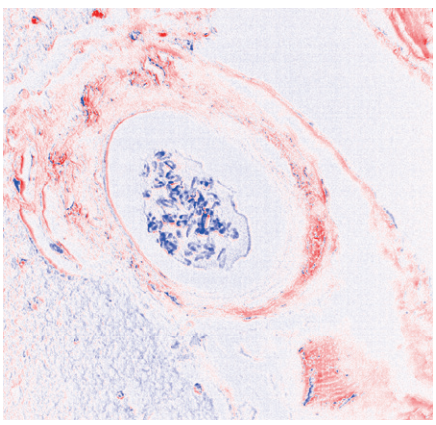


Fig. 7 PCA Score with U-MWBV2 and U-MWU2.
(Flamingo brain)

4.3　まとめ

リスザル脳，フラミンゴ脳のアミロイドβを蛍光観察で検出できることが確認できた。また，ハイパースペクトルカメラ画像をPCAにより解析する環境構築ができた。

4.4　非標識蛍光イメージングの課題

アミロイドの非標識蛍光イメージングを通して抽出した課題は，大きく次の4点である。

(1) 自家蛍光が弱い
(2) 紫外線領域の励起波長が必要
(3) スペクトル分離の精度
(4) データハンドリング

1つ目の課題に対しては，検出するために十分な蛍光を発光させるために照射する励起光の光量を上げる，もしくはハイパースペクトルカメラの検出感度を上げるという2通りのアプローチが考えられる。前者は半導体レーザーを光源に用いることが効果的と考えている。リスザル脳のアミロイドβに適した励起波長は450nmであり，出力が1W前後の市販の半導体レーザー製品が使用できる可能性がある。後者は，たとえばセンサーサイズの大きなセンサーを選択する，あるいはビニング処理などが有効と考えられる。アミロイドβに関しては数10～100μm程度の凝集を検出できれば良いと考えると，今回使用したセンサーを適用する場合は5ピクセル程度のビニング処理を実施した場合でも十分な分解能で撮影が可能と考えられる。また，ビニング処理は4つ目の課題に対しても同時に効果的な手法である。

2つ目の課題については，キセノンランプは紫外領域の波長成分を持っており，光源出力も高いことから光量自体は十分あると考えている。しかし，一般的な光学材料は約400nm以下の波長になると急激に透過率が低下するため，顕微鏡光学系の光量損失が課題となる。そのため，たとえば250nmから300nm程度の励起波長が必要となる場合は十分な光量を確保することが困難になる。また蛍光の取り込みも同様に困難になる。このような対象サンプルの測定には紫外対物レンズを用いるなどの対策が有効と考えられる。

3つ目の課題に対しては，スペクトル成分の分離方法としてはPARAFACが有効であると考える[3]。また，分析に使用しない波長領域の情報を排除するために，顕微鏡にセットする蛍光ユニットの各フィルターを観察対象に応じて選定することが有効である。

4つ目の課題に対しては，データ量の圧縮がポイントとなる。現状は，ある1つの励起波長に対してハイパースペクトルカメラの画像データ量は250MB／枚である。励起波長を掃引する場合や連続撮影を行うは場合には，非常に膨大なデータ量となる。しかしながら，アミロイドは特異的な自家蛍光パターンを有することが分かっているため，予めいくつかの撮影条件を決めておき，特定条件の撮影のみからアミロイドの沈着領域を検出できる可能性がある。その場合は，ハイパースペクトルカメラの代わりに一般的な産業用カメラと光学フィルターを配置すればよく，装置の簡易化と装置の低コスト化に大きく寄与することが期待される。

5　課題と今後の展望

今後は，コンゴレッド染色した組織標本の観察画像と，PCAの結果をより詳細に比較し，検出結果の妥当性について検証を進めていく予定である。

また，並行して動物種や対象臓器を増やしデータ蓄積を進めていく予定である。将来は検出に関する装置面と検出アルゴリズムの標準化へ繋げていきたいと考えている。

6　謝辞

東京農工大学農学研究院動物生命科学部門村上智亮准教授には，本開発を進めるにあたり，サンプルの提供や解析に関してご協力，ご助言をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

●参考文献

1) Kadota A, Iwaide S, Miyazaki S, Mitsui I, Machida N, Murakami T. Pathology and proteomics-based diagnosis of localized light-chain amyloidosis in dogs and cats. Veterinary Pathology 57(5): 658–665 (2020)
2) Murakami T, Ishiguro N, Higuchi K. Transmission of Systemic AA Amyloidosis in Animals. Veterinary Pathology 51(2): 363–371 (2014)
3) 白川 英樹，“多変量解析的手法による蛍光スペクトル成分分離法とその細胞生理学的実験への応用”，日生誌 Vol.66, No.12, (2004)

色・光沢の品質管理／検査や調色システムに適した分光測色計CM-36dGの開発

Development of Spectrophotometer CM-36dG Appropriate for Color and Gloss of QC and CCM System

谷 中 祐 太＊ 飯 田 慎 一＊ 川 崎 貴 志＊ 田 中 宏 樹＊ 板 倉 聡 史＊
Yuta TANINAKA Shinichi IIDA Takashi KAWASAKI Hiroki TANAKA Satoshi ITAKURA

要旨

工業製品の色の品質管理（QC）において，色見本などの実物を基準とした管理からデジタルカラーデータを基準とした管理であるDCDM（Digital Color Data Management）への移行を進める動きがある。色見本による管理では，ブランドオーナーは色見本の製作，値付け，サプライヤーへの配布，管理作業が必要であったが，DCDMに置き換えることで，これらの作業が削減され品質管理の効率化，コストダウンが期待できる。

DCDMを実現するためには測色計間の性能差を出来る限り小さくする必要がある。また，工業製品の外観品質管理では色だけではなく，光沢値の管理も同時に行われているケースもあり，作業性向上による管理工数の削減が望まれている。

一方，CCM（Computer Color Matching）では，色見本などの実物がすでに存在せず調色レシピしか残っていない場合もあり，同じ調色レシピを使用したにも関わらず，異なる結果が得られる場合は，調色レシピを再作製する必要があるため，同じ分光反射率の得られる測定器が求められる。

これらの顧客課題を解決するために，前機種であるCM-3600Aと測定互換性を維持したまま，器差を抑制し，且つ，色と光沢の同時測定を可能にした分光測色計CM-36dGを開発した。

CM-36dGは積分球技術，校正技術の改良により測色計の器差を抑制し，前機種との高い測色互換性を維持したまま，ファインダーや透過室を改良したことで，作業効率の改善に貢献できる製品となっている。

Abstract

In the quality control (QC) of industrial products, there is a shift from management using an actual article such as a color card as a standard, to DCDM (Digital Color Data Management), in which digital color data is used as a standard. Management by way of color cards requires a brand owner to perform management tasks including producing color cards, assigning values, and distributing them to distributors. However, DCDM eliminates these tasks, thereby streaming the quality control and reducing costs.

In order to realize DCDM, the difference in performance between colorimeters needs to be minimized. In addition, in the quality control of external appearance of industrial products, gloss values are controlled as well as color in some cases.

On the other hand, in CCM (Computer Color Matching), there are cases where the actual color sample does not already exist and only the toning recipe remains. Therefore, if different results are obtained even though the same toning recipe is used, it is necessary to recreate the toning recipe, so a measuring instrument that can obtain the same spectral reflectance is required.

To solve these customer issues, we have developed the CM-36dG that reduces instrument error and enables simultaneous measurement of color and gloss while maintaining measurement compatibility with previous model CM-3600A.

Equipped with the improved integrating sphere and calibration technology, CM-36dG achieved enhanced usability by a camera preview system for sample positioning and a large open-sided transmission chamber, while keeping compatibility against previous model.

＊センシング事業本部　LD&CA事業部　開発部

1　はじめに

企業のコスト構造の変革，生産性の向上を目的に，企業の生産拠点，サプライチェーンがグローバルに展開されるようになった。企業のブランドイメージを守るため，各生産拠点での製品品質の維持，管理は大変重要であるが，生産ネットワークの広がりにともない，その難易度は高くなっている。これは製品デザインの重要な要素である色においても同じである。

工業製品の色の品質管理において，色見本などの実物を基準とした管理からデジタルカラーデータを基準とした管理であるDCDMへ移行することで，ブランドオーナーは色見本の製作，値付け，サプライヤーへの配布，管理作業が廃止でき，作業の効率化，コストダウンをすることができる。

一方，CCMでは，色見本などの実物がすでに存在せず，過去に測色計を使用して作製した調色レシピしか残っていないこともある。このような場合，ユーザーが調色レシピをそのまま使用しても所望の色が再現できることが求められ，同じ分光反射率の得られる測定器が望まれている。

我々はこれらの顧客課題を解決するために，前機種であるCM-3600Aと高い測定互換性を維持したまま，色と60°光沢の同時測定を可能にし，且つ，装置の高精度化，ユーザビリティ向上を実現した分光測色計『CM-36dG』を開発した（Fig. 1）。

Fig. 1 Spectrophotometer CM-36dG.

2　システム構成

CM-36dGでは，測色における照明および受光の幾何学条件に関して，JIS Z 8722の幾何学条件c[1]に準拠した「拡散照明／8°方向受光（以下，d:8ジオメトリ）」を採用している。d:8ジオメトリでは光源からの光を積分球の内壁面で拡散反射させ，試料に対してあらゆる方向から均等に光を照射する。試料からの反射光のうち，試料面法線に対して8°方向に反射する光を回折格子で分光した後，センサーで受光し，センサー出力値から分光反射率の算出，色の数値化を行う。積分球には開閉式のライトトラップが備わっており，8°方向の正反射光を含む測定SCI（Specular Component Included）と，正反射光を含まない測定SCE（Specular Component Excluded）を自動で切り替えることができる。

また，光沢測定に関しては，JIS Z 8741[2]やDIN 67530[3]に準拠した60°鏡面光沢測定方式を採用している。CM-36dGでは測色計の測定箇所と同一箇所が測定できるように，積分球の壁の一部に光沢計の照明，受光光学系が一体化されている（Fig. 2）。

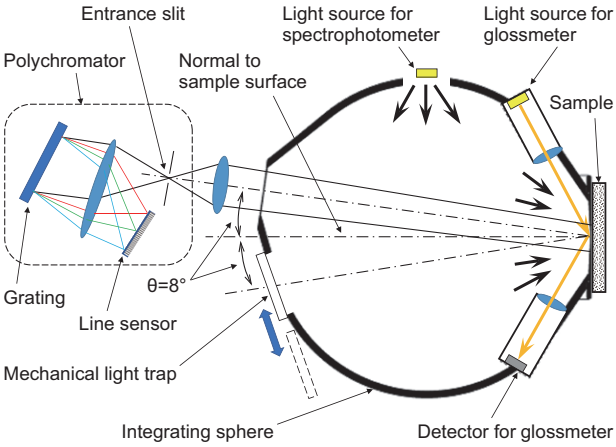


Fig. 2 Internal configuration of CM-36dG system.

3　顧客課題を解決するためのコア技術

3.1　光沢計の搭載と測色互換性の両立

CM-36dGは，色測定におけるCM-3600Aとの高い測色互換性と，ユーザビリティ向上が求められる。

従来のCM-3600Aのようなベンチトップ型測色計は主にペイント，プラスチックなどの材料メーカーにおいてCCM用途で使われている。CCMでは色見本の測定値を元に調色計算を行い，原色材料の配合率を決定し，色見本と同じ色の塗料や樹脂を作製する。ここで機種間誤差があると同じ色見本でも調色結果が変わってしまうため，CM-3600Aとの高い互換性が求められる。

また，測色値だけでなく光沢値の管理も同時に行われている場合がある。その場合，測色計と光沢計の2台が必要となり管理が煩雑となるため，同時測定による作業性向上によって管理工数の削減が望まれている。色と光沢の同時測定が実現すれば，作業性向上による品質管理の効率化と，より高度な品質管理が可能となり，CCMの付加価値向上も期待できる。そこでベンチトップ型測色計で色と光沢測定が一体となった光学系と測定値互換性の両立を目標に開発した。

3.1.1　積分球

CM-36dGの積分球はFig. 3に示すようにd:8ジオメトリで形成される測色部と60°光沢測定部で構成され，色と光沢の同時測定を実現している。積分球は光源，試料

開口，受光開口，光沢照明／受光部の開口，電子ビューファインダーの開口，光源からの照射方向を規制するためのバッフル，正反射光除去の有無を切り替えるためのライトトラップ等で形成されている。また，測色互換性への影響を最小限に抑えるため，光源／試料開口／バッフルの位置関係，開口部のサイズ，積分球内面形状はできる限りCM-3600Aと同一となるようにした。

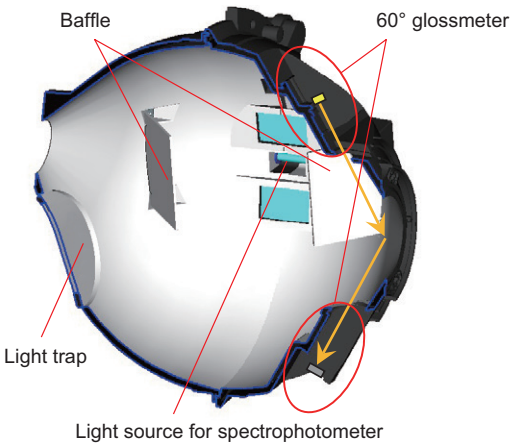


Fig. 3 Sphere configuration.

3. 1. 2　測色互換性

CM-36dGはd:8ジオメトリの分光測色計であり，照明光学系には積分球を用いる。積分球によって拡散光を作り測定対象の表面を照明するが，完全に均一な拡散光ではなく，積分球内の形状，光源からの光の取り込み方，バッフルや開口などの大きさや位置などによって，照明光に僅かな偏りを持つ。光沢計の追加に伴いCM-3600Aの積分球に対し開口を設けるなどの変更が必要となるが，設計変更すると照明光の角度分布が変わり，測定対象によっては互換性に影響を及ぼす。従って，高い互換性と機能追加を両立させるためには，互換性への影響を最小限に抑える積分球の設計最適化が重要である。

Fig. 4にCM-36dGとCM-3600Aの積分球の概略図を示す。CM-36dGとCM-3600Aの積分球との大きな違いは，ライトトラップの追加と，60°光沢計の搭載に伴う光沢照明／受光開口の追加および光学系を配置するための形状の変更である。

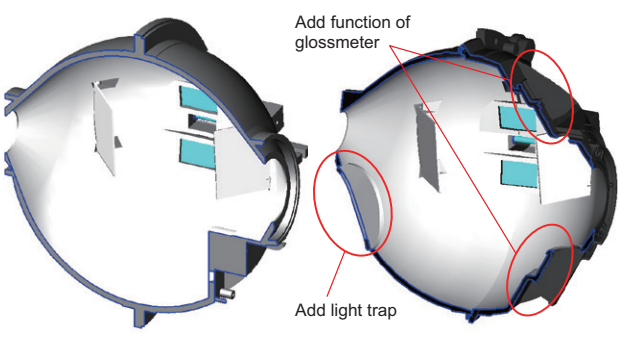


Fig. 4 Comparison of CM-3600A and CM-36dG sphere.

これらの積分球による照明光の角度分布はFig. 5のようになる。光沢計の照明／受光用開口によって照明光の無い部分があるが，それ以外については概ね同様の分布を得ることができている。光沢計の照明／受光用開口からの照明光はサンプルに対する入射角が大きく，この照明光が無いと光沢値の低いマットな表面の測定試料の場合に測定値への影響が出る可能性がある。しかしながら，そのようなサンプルにおいては，あらゆる方向からの照明光が測定値に寄与するため，一部の方向からの照明光が無くなっても影響量は小さい。Fig. 6は光沢計の開口が有る場合と無い場合の低光沢サンプルにおける測定値の差であり，ほぼ影響がないことが分かる。光沢計の開口以外の部分については，光学シミュレーションによって積分球，ライトトラップ，バッフルの配置，形状などを最適化し，CM-3600Aの照明分布に近付くようにした。

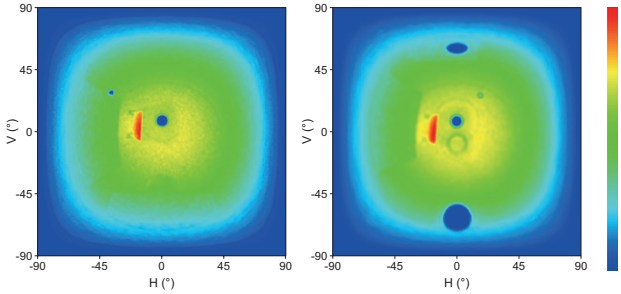


Fig. 5 Simulation result of radiance angle distribution.

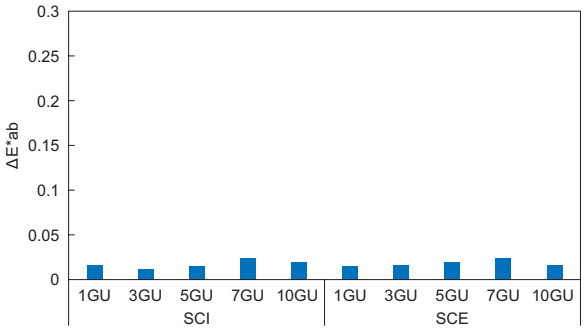


Fig. 6 Difference of measurement value at matte samples between with gloss aperture and without gloss aperture.

3. 2　ユーザビリティ向上

3. 2. 1　WAA（Wavelength Analysis & Adjustment）

分光測色計の測定精度の維持には，分光器の波長が正しく校正された状態に保たれていることが重要である。工場出荷時に校正された分光器の波長は，出荷後に経年変化や温度変化，または落下／振動の影響などにより，波長ズレを起こす場合がある。波長ズレを起こすと特に有彩色の測定試料において測定値が変わってしまうが，ユーザーが測定器の変化なのか，測定試料の変化なのかを切り分けることは困難である。WAAは，出荷後に発生した波長ズレを補正用ランプの輝線を使って測定／補正することで，ユーザーが使用する際の測定トラブルを未然に防ぐことができる機能である。

CM-36dGでは積分球に補正用ランプを搭載しており，白色校正の際に補正用ランプを発光させて波長ズレを測定し，工場出荷時に予めメモリされた初期値と比較して工場出荷時との波長ズレ量を計算する。測定された波長ズレ量に応じて補正を実行し，波長ズレ量が大きい場合には定期校正を喚起する仕組みとなっている。この機能により，これまでユーザーは機器の状態を定期校正でしか知ることができなかったが，定期校正を待たず，測定器内部で自動的に機器の状態を知り，良好な状態を保つことが可能となる。

WAAによる測定値の補正効果をFig. 7に示す。ここでは，視覚的に分かりやすくするため，測定試料にBCRAタイルのRedを使い，CM-36dGの分光器の波長を意図的に0.5nmずらした状態に調整した上で，補正を行った場合と行わない場合の比較を行っている。このグラフより，分光器の波長ズレにより発生した測定値の変動がほぼ補正できていることが分かる。

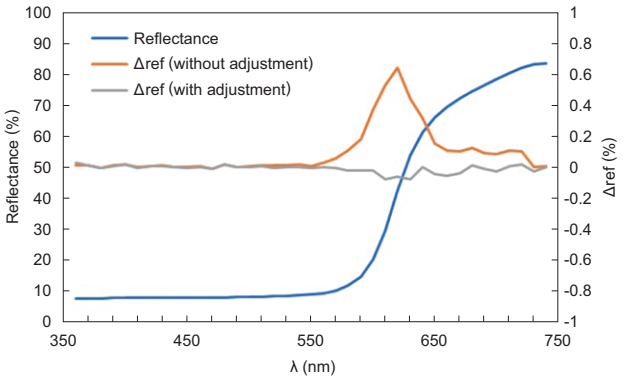


Fig. 7 Correction effect of measured value by WAA.

3.2.2 電子ビューファインダー

狙った位置を測定する測定試料の位置合わせにおいて，前機種であるCM-3600Aは光学ファインダーを搭載していたが，特に暗色の測定試料や柄物，小物試料などは視認性が低く位置合わせが容易ではなかった。

そのような課題を解決するためにCM-36dGでは電子ビューファインダーを搭載し，測定試料の位置合わせ作業を改善している。別売のPCアプリケーションソフトSpectraMagic NXを使えば，撮影画像上に測定範囲も表示されるため，正確な測定位置合わせを容易にしている（Fig. 8）。また，撮影画像の保存も可能である。

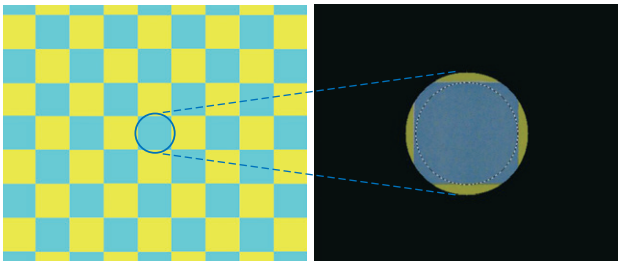


Fig. 8 CM-36dG sample viewer.

3.2.3 透過室

ベンチトップ型の測色計では液体やプラスチックなどの透過性の高い試料の測定を行うために透過室を備えていることが多い。

前機種であるCM-3600Aでは内部構造の制約により，透過室のスペースが限定されているため，測定可能な試料サイズの制約が大きく，また測定開口位置の視認性も悪いため，測定位置の確認が困難であった（Fig. 9 (a)）。

CM-36dGでは透過室のスペースを広く取り，外装カバー側面を開放することで，測定器よりも大きなサイズの試料が測定可能且つ，測定開口の視認性も向上しユーザビリティ向上を実現している（Fig. 9 (b)）。

(a) CM-3600A　　(b) CM-36dG

Fig. 9 Comparison of CM-3600A and CM-36dG transmittance room.

3.2.4 ステータスパネル／操作キー

測定器の状態や設定を確認する際，前機種のCM-3600AではPCアプリケーションソフト画面の表示を確認しなければならないため，ユーザーが設定ミスに気付かず間違った条件で測定されることがあった。また，測定の実行にはPCでの操作が必要なため，複数試料の測定や大量の測定をする場合では測定器とPCを交互に操作しなければならず，作業性の改善が求められていた。

そこでCM-36dGではステータスパネルに測定条件を示すインジケーターと測定ボタンを設けた（Fig. 10）。インジケーターに測定器の状態や設定が表示され，ユーザーの設定ミスを大幅に低減できると共に，試料の設置と測定の実行が測定器の操作のみで行うことができ作業性向上を実現している。

Fig. 10 Status panel and operation keys.

3.3　バリエーションモデル

CM-36dGシリーズは，色と光沢が同時に測定できる標準モデルCM-36dG（Fig. 1 掲載），色と光沢が同時に測定できテキスタイルや紙測定に適した縦型モデルCM-36dGV，反射測定専用モデルCM-36dから成るバリエーションを持っている（Fig. 11）。色と光沢が同時測定可能なCM-36dG/CM-36dGVは，色の反射測定と光沢の測定に加え透過測定機能も搭載しており，フィルム，液体，半透明のプラスチックなど透過率を用いて品質管理を行う試料にも適している。一方，CM-36dは色の反射測定機能のみを搭載した製品である。ユーザーの使用目的，使用条件に応じて最適なモデルを選択できる。

(a) CM-36d　　(b) CM-36dGV

Fig. 11 CM-36dG series.

4　まとめ

本稿では，工業製品の色，光沢の管理に適し，DCDMの実現に貢献できるベンチトップ型分光測色計CM-36dGのコア技術について紹介した。

DCDMの実現には器差を抑えた測色計をサプライチェーン内で運用することが重要であり，ハードウェアの性能を高めたCM-36dGは有用な測定器となる。また，前機種との高い測色互換性を実現したCM-36dGは，QC，CCM用途において，これまでの測定データが流用できスイッチングコストを低減可能である。

様々な分野でデジタル化が進む中で，工業製品の外観管理分野ではアナログな管理手法が主流である。これをデジタルデータによる管理に変革し，効率化を進めようとするユーザーの要求に対して，更なるソリューションを提案していけるよう商品開発に努めていく。

●参考文献

1) JIS Z 8722:2009 色の測定方法—反射及び透過物体色
2) JIS Z 8741:1997 鏡面光沢度—測定方法
3) DIN 67530:1982-01 Reflektometer als Hilfsmittel zur Glanzbeurteilung an ebenen Anstrich- und Kunststoff-Oberflächen

顧客対応の高度化に向けた品質保証DX

Digital-Transformation for Quality Assurance as Sophistication of Customer Service

森　宏之＊　豊田美帆＊＊　佐々木克司＊＊　小板橋海渡＊＊
Hiroyuki MORI　Miho TOYODA　Katsuji SASAKI　Kaito KOITABASHI

要旨

コニカミノルタではこれまで産業用インクジェットヘッドの開発を行ってきたが，用途の多様化により少量多品種化が加速するとともに高精度，高生産性，高安定性の要求が年々高まっており，それに伴う品質保証と顧客対応プロセスも複雑化している。

一方で昨今，データを活用する技術の進歩，また用途の拡大が目覚ましく，インクジェットヘッド事業においてもデータ活用，データ分析による効率化や品質改善を推進してきた。

その中で品質保証のデジタルトランスフォーメーション（DX）を「Digital-QA（Quality Assurance)」として立ち上げ，生産から市場までのデータを一元管理するプラットフォームを新たに構築した。また，データを活用したワークフロー変革や不具合の未然防止に取り組み，顧客対応の高度化を達成しつつある。

本稿では「Digital-QA」の取り組み内容，および品質データの活用方法について紹介する。

Abstract

In Konica Minolta, Industrial inkjet head has been developing for a long time. Recently, since customer and market demand diversity, production procedure need to achieve small quantity and wide variety of produce line-up. Furthermore, higher precision, higher productivity and higher stability of inkjet head are also required. Therefore, process of quality assurance and customer service are more complicated.

On the other hand, the progress of technology for data science and the expansion of applications have been remarkable. In our inkjet business, Konica Minolta utilizes data science and data analysis to improve efficiency for improvement of product quality.

In this situation, we launched “Digital-QA (Quality assurance)” as digital transformation (DX) for quality assurance and constructed a new platform to manage data from production to market. In addition, we are working on workflow transformation and utilizing data for prevention of quality troubles before it happens and improving customer service.

In this report, we introduce the concept of Digital-QA and the method of utilization of data related to product quality.

＊材料・コンポーネント事業本部　IJコンポーネント事業部　開発統括部　第3開発部
＊＊材料・コンポーネント事業本部　IJコンポーネント事業部　品質保証部

1　はじめに

コニカミノルタでは，これまで産業用インクジェットヘッドの開発を行ってきたが，用途の多様化により少量多品種化が加速するとともに高精度，高生産性，高安定性の要求が年々高まっており，それに伴う品質保証と顧客対応プロセスも複雑化している。一方で昨今，データを活用する技術の進歩，また用途の拡大が目覚ましく，インクジェットヘッド事業においてもデータ活用，データ分析による効率化や品質改善を推進してきた。その中で品質保証のデジタルトランスフォーメーション（DX）を「Digital-QA（Quality Assurance）」として立ち上げ，データを活用したワークフロー変革や市場トラブルの未然防止に取り組んでいる。

2　Digital-QAの目指す姿

2.1　課題認識

コニカミノルタでは，Fig. 1 のように市場で不具合が発生したインクジェットヘッド（以下IJヘッド）を解析，原因特定を行い，顧客に対する補償と対策内容を決定するプロセスであるRMA（Return Merchandise Authorization）を採用している（Fig. 1）。

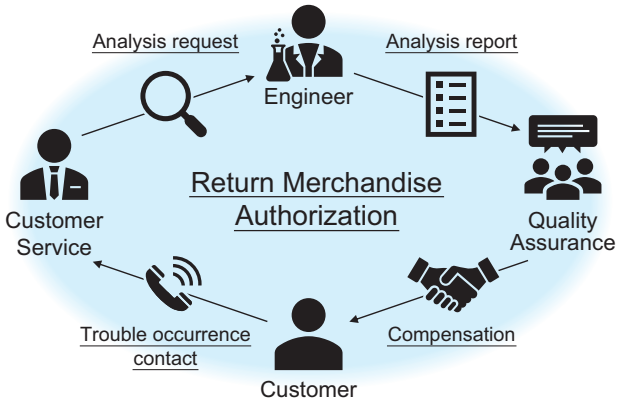


Fig. 1 RMA (Return Merchandise Authorization).
RMA is system in series of process for market troubles for IJ head to analyze to identify the cause, compensate and correct in production.

そのようなプロセスにより市場トラブルを素早く察知し，設計起因，生産起因，ユーザー使用環境起因に発生要因を分類することで，製品の品質及び製品のユーザビリティを高めることが出来る。また，製品不具合に対する補償はコストに反映されるため適切に監視，改善していくことが求められる。

しかし，製品の多品種化と顧客要望の高度化に伴って以下のような問題が顕在化してきた。

（1）複数部門での情報のやりとりに時間がかかり，顧客対応リードタイムが長期化する。
（2）情報が分散することで集計，傾向把握が困難なため同様のトラブルが頻発する。

2.2　活動目的

上記の課題認識を受けて，ここにデジタル技術を導入し，様々な顧客別データを出荷や生産履歴と紐づけて監視，解析を行うためのプラットフォームを新たに構築した。さらにこのプラットフォームを用いて，ワークフローの変革とトラブルの未然防止につなげることにより，顧客対応と品質保証体制をさらに強化することにした。

この一連の活動を品質保証のDXとして「Digital-QA」と命名し，1. 情報の一元管理，2. 品質のリアルタイム監視，3. データによる先んじた品質改善を目指す姿としている（Fig. 2）。

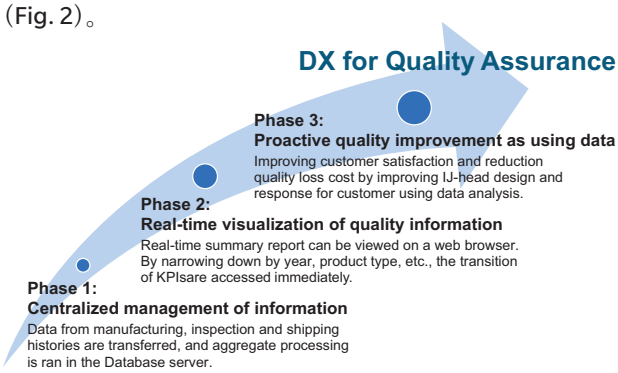


Fig. 2 Roadmap of Digital-QA as digital transformation for quality assurance.

活動は以下の4つのステップに分けて取り組んでおり，次章で詳細について説明する。

① 既存情報のデジタル化と関連付け
② 情報のリアルタイム見える化
③ 顧客対応ワークフローの見直し
④ 傾向分析によるトラブルの未然防止

3　Digital-QA推進の取り組み

3.1　既存情報のデジタル化と関連付け

顧客対応業務には，不具合情報，解析データ，対応履歴等の様々な情報が存在し，従来はExcel，メール，紙など様々な媒体で共有されていた。これらは一括で検索することが出来ないことに加えて型式，用語等が異なるため集計することが困難である。

そこで市場不具合情報，顧客対応履歴，生産／出荷情報を一元管理できるプラットフォームを構築した。システムの全体概要をFig. 3 に示す。

市場不具合情報は顧客から不具合現象をヒアリングした内容を電子帳票に入力する。この電子帳票は製品品種によって入力フォームが分かれているが，集計分析を容易にするため共通部分は型式，用語が統一された構成としている。電子帳票に入力された情報は構造化データとしてデータベースに蓄積される。顧客対応履歴は品質保証部門，営業部門が共通の電子帳票に入力する。生産／出荷情報は他管理システム及び測定装置等から必要な情報がリアルタイムにデータベースに追加され，電子帳票から入力されたデータと関連付けを行っている。

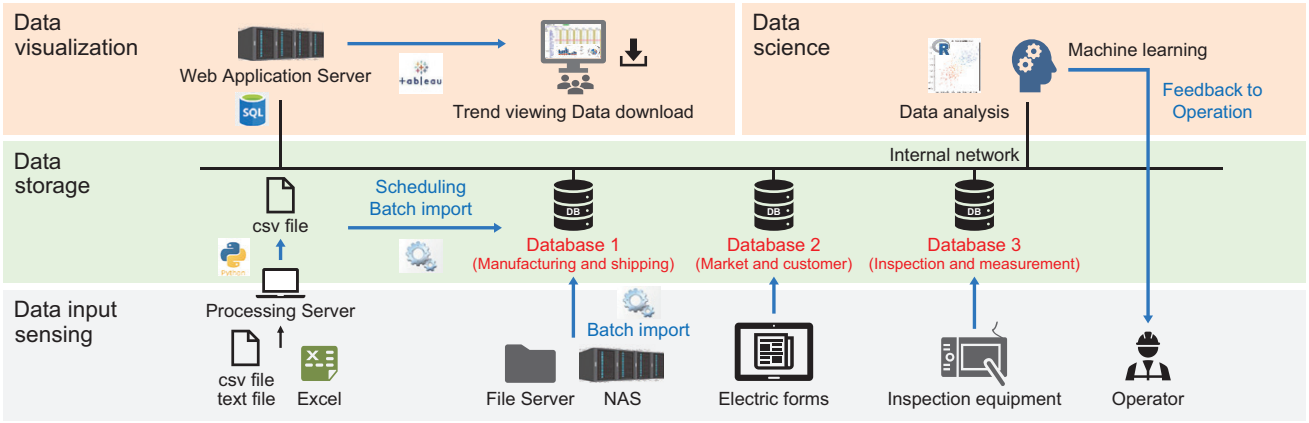


Fig. 3 Conceptual diagram of Digital-QA platform.
The traceability is greatly improved by establishment a data infrastructure that accumulates the information regarding production, shipment and market data. In order to analyze such data, BI and machine learning can be used with the internal network.

これら一連の情報のデジタル化により，生産から出荷，市場での使用状況，製品不具合／補償履歴の全てがシリアルに紐づくプラットフォームとして製品のトレーサビリティを確立している。さらにこのプラットフォームを活用することにより，製品品種ごとの集計や，トレンド解析を容易に行うことが出来る。

3.2 情報のリアルタイム見える化

前述のプラットフォームには日々大量のデータが入力されているが，この中から品質を監視するために重要な指標をFig. 4の様にWeb画面に一覧表示する品質管理ダッシュボードを作成した。

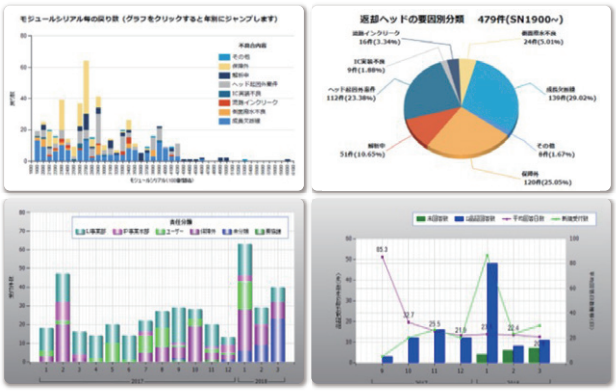


Fig. 4 Real-time automatic aggregation in the quality control dashboard.
Summary reports can be viewed on a web browser and the transition of KPIs are accessed immediately by narrowing down by year, product type, etc.

データの見える化を行うツールとしてBI（Business Intelligence）ツールを選定し，部門横断的に管理者を設定し，監視する指標の選択を行っている。品質を測る指標としては製品の歩留まり等が一般的に用いられているが，それに加えて直接測定することが困難な顧客目線での満足度を評価するため，顧客対応の一連のワークフローが完了するまでに要した日数，および長期化案件数を顧客満足度のKPIとして定義している。

Web画面上で表示することで場所に関わらず品質情報にアクセスすることが可能となり，情報はリアルタイムにアップデートされる。品質管理体制の強化とともに，データの集計作業や報告資料作成にかかる時間がほぼ無くなるため，年間数千万円規模の工数削減によるコストメリットも得られている。

3.3 顧客対応ワークフローの見直し

顧客対応には営業，品証，開発の複数部門が関連してワークフローを形成している。そのため部門間の情報共有がボトルネックになることが度々起こるが，電子帳票と品質管理ダッシュボードを用いることで，必要な情報のみを瞬時に検索しつつ，情報共有をリアルタイムに行うことが可能となった。それにより対面コミュニケーション量が減少し，承認ルートも自動化されるためワークフロー全体が効率化される。

その効果として，前述の顧客満足度KPIとして定義した顧客対応の所要日数はシステム導入を行った3年で1案件あたり40日から15日と半減以下となっている（Table 1）。

Table 1 Comparison of period of response to customers between before and after Digital-QA. After Digital-QA, period for response to customers became less than 1/2.

	Before	After
Data sharing method	Without Digital-QA	With Digital-QA
The number of requests per month	100	80
The days for the response to customers	40 days	15 days
Lead time for a request response	1	~1/2

3.4 傾向分析によるトラブルの未然防止

プラットフォームに蓄積されたデータから傾向分析を行い，市場トラブルが発生したシリアルと類似した環境で使用されている製品，または同一ロットで生産された製品については追加解析，場合によってはトラブル発生前に交換や出荷停止等の処理がなされる。データ分析には品質管理ダッシュボードをドリルダウンして分析する場合もあれば，R等の統計解析ツールを使用する場合もある。

4　データ活用による品質改善

データ分析により製品品質向上に繋がった事例のひとつを紹介する。

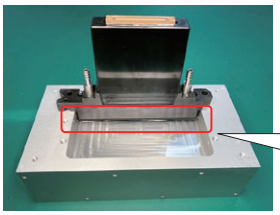
電気的異常の原因解析におけるデータ分析活用

IJヘッドの典型的な不良として電気的異常がある。IJヘッド内部のピエゾ素子に電圧を印加することでノズルからインクは射出されるが，この印加される電圧が何かしらの異常により設定された電圧，タイミングからずれると正常にインク射出は行われず，画像異常を引き起こす。電気的異常の原因は多岐にわたるため，特定し根本的な解決を図るのにはかなりの労力を要する。

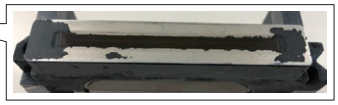
まずこれまでの知見に基づき，インク加温による筐体の変形または断線が起きたと推定し調査したが，実験では再現されなかった。

そこで，プラットフォームに蓄積されている過去に発生した電気的異常の事例を調査した。過去データには1000件以上の電気的異常の発生状況や解析結果が保管されており，ここから統計的手法により類似点を解析した。結果，不具合発生時期とインク種類の特徴量が有意に相関しており，水系インクを使用している複数の顧客で，冬季に電気的異常が発生しているという特徴が抽出された。

再現実験として冬季の使用停止時における保管環境に合わせて，乾燥を防ぐためにIJヘッドをインク，洗浄液に浸漬させた状態で同様な異常が発生するか実験を行った。結果，Fig. 5の様に3か月程度で想定通り電気的異常が発生することが確認された。



The experiment immersing IJ head in ink or cleaning liquid.



The IJ head problem on nozzle plate and electric trouble is occurred.

	Initial	After 3 month	After 4 month
No immersion	Passed	Passed	Passed
Immerse in water based ink	Passed	Not passed	
Immerse in cleaning liquid	Passed	Passed	Not passed

Fig. 5 Experiment as reproduce int the environment of non-operation period, such as night or weekend of IJ head in customer.
The electric trouble occurs when the IJ head is immersed in ink or cleaning liquid for a long period.

ノズル板面に異常が見られたことから，顧客の保管環境による外装部材の劣化が根本原因ということが分かり，顧客に対して保管方法の変更を提案することで，その後同様の異常の発生は無くなっている。

このように製品情報，異常現象，顧客使用環境を収集し網羅的に解析，課題解決する一連の流れは従来困難だったことである。本例は下流側である顧客対応による解決であったが，さらに上流側の生産，設計段階での課題解決プロセスにおいても今回と同様なアプローチが有効に働くことが考えられる。

5　まとめ

本稿では，インクジェットヘッドの品質保証プロセスへのデータ活用による顧客対応強化の取り組みの一部を紹介した。我々のビジネス体系に合った独自のカスタマイズを加えたシステム構築により，多くの成果が得られるようになってきている。今後は今回構築したシステムを拡張し未だ現場で眠っているデータを取り込んでいくとともに，様々なアプリケーション（BI，機械学習，画像解析等）を導入していくことで顧客要望を満たす品質の実現につなげていく。

深層学習を活用した自動外観検査技術の開発

Development of Automated Visual Inspection Technology Using Deep Learning

岡崎 智也＊ Tomoya OKAZAKI
指田 岳彦＊ Takehiko SASHIDA
奥野 貴一＊ Kiichi OKUNO
舘 高基＊ Koki TACHI

要旨

画像認識技術を用いた工業部品・製品の外観検査工程の自動化が進んでいる。特に近年は，AI技術の目覚ましい発展を受けて，従来自動化が困難であった検査対象への適用が期待されている。しかし，一般物体認識と外観検査とでは条件が異なるため，既存技術を外観検査へそのまま適用することは困難であった。この問題を解決するため，我々は外観検査のシーン・課題に応じた様々なAI外観検査技術の開発をおこなっている。本稿では，AI技術を活用した自動外観検査の取り組み事例を２件紹介する。

１件目は半教師あり学習による異常検知技術である。一般に，製造現場では不良品を大量収集するのが困難である。そこで我々は，良品画像のみで学習可能な画像再構成モデルと，少数の不良品画像を用いた異常度計算パラメーター最適化を組み合わせた，新たな異常検知アルゴリズムを開発した。その結果，様々な検査対象に対してロバストな異常検知処理を実現した。

２件目は教師あり学習による欠陥種分類技術である。製造現場では欠陥の見逃しを避けるため，過検知気味に欠陥候補を抽出することが多い。そのため欠陥ではない誤検知が多数混入しており，それらを精度よく除外する必要がある。そこで我々は，分類に適した注目Frame抽出処理と，欠陥／非欠陥判定と欠陥種分類を独立に判断するマルチタスクネットワーク構造を組み合わせた，新たなアルゴリズムを開発した。その結果，誤検知の除去と欠陥種の分類を同時に高精度におこなう処理を実現した。

Abstract

The automation of the visual inspection process of industrial parts and products using image recognition technology has been progressing. Especially in recent years, with the remarkable development of AI technology, it is expected to be applied to inspection targets that have been difficult to automate in the past. However, it has been difficult to apply existing technologies to visual inspection because the conditions for general object recognition and visual inspection are different. To address this issue, we are developing a variety of AI visual inspection technologies for different visual inspection scenarios and tasks. In this paper, we introduce two examples of automatic visual inspection using AI technology.

The first is an anomaly detection technique based on semi-supervised learning. In general, it is difficult to collect a large number of defective images at a manufacturing site. To solve this problem, we developed a new anomaly detection algorithm that combines an image reconstruction model that can be trained using only normal images and anomaly calculation parameter optimization using a small number of defective images. As a result, we have achieved robust anomaly detection for var-ious inspection targets.

The second is a defect classification technique based on supervised learning. At the manufacturing site, defect candidates are often over-detected to avoid missing defects. Therefore, many false positives that are not defects are mixed in, and it is necessary to eliminate them with high accuracy. To solve this problem, we have developed a new algorithm that combines the process of extracting frames of interest suitable for classification and a multi-task network structure that independently determines defect/non-defect and defect type classification. As a result, we have achieved a highly accurate process that simultaneously eliminates false positives and classifies defect types.

＊IoTサービスPF開発統括部　AI技術開発部

1　はじめに

近年，深層学習技術の登場により画像認識の性能が大きく向上し応用先も広がっており，期待される応用先の一つとして外観検査が挙げられる。

外観検査とは，工業部品・製品の品質を保証するためにおこなう検査工程の一つである。外観検査の代表的な例として，対象物の表面にある傷やバリ，欠けやヘコミ等，外観に現れる欠陥を確認し品質の良し悪しを判断することが挙げられる。

従来から簡単な外観検査は自動化が成されてきたが，検査基準の定式化が困難な検査等については，未だ熟練の検査員による目視がおこなわれているのが実情である。しかし認識技術の性能向上といった要因だけでなく，近年の人手不足や熟練者の育成が難しいといった社会課題の顕在化に伴って従来は自動化が難しかった検査についても自動化を望む声が高まっている。更に近年では発生した欠陥の種類や頻度等から生産時のどの工程に問題があるか推定するための判断材料として用いる等データ解析への応用も期待されており，効率的に多量のデータを取得するためにも自動化が求められている。我々はこうした状況に対応するため，深層学習技術を用いた外観検査の自動化について取り組んだ。

本稿ではその事例として，3章で半教師あり学習による異常検知について，4章で教師あり学習による欠陥分類について，それぞれ報告する。

2　深層学習の外観検査への適用における課題

深層学習はNeural Networkを用いた機械学習の一種であり，近年目覚ましい成果を挙げている。例えばコロナ禍におけるマスク装着の自動判定や人流解析等にも深層学習は使われており，実社会での使用に耐えうるアプリケーションを提供出来るまでになっている[1)2)]。

深層学習は非常に強力な手法であるが，高い性能を得るためには大量の学習用データが必要であることも知られている。

また，解析の精度を上げるためには入出力データに対する適切な前後処理の設計も重要であるが，外観検査では撮影条件や被写体のバリエーションが大きく，事前に最適なパラメーターを設計しておくことは難しい。これらのことが深層学習を外観検査に適用する上で大きな課題となっている。

例えば欠陥の検出では，欠陥は“正常ではないもの”であるため，未知の欠陥であっても正常ではないと判断できる場合には検出出来ることが求められる。すなわち欠陥に関する事前知識が乏しい中でも検出が出来る必要がある。

さらに欠陥の種類分類をおこなう場合，発生しうる欠陥全てについて多量の学習用データを取得することが求められる。しかし一般に欠陥の発生頻度は良品に比べれば稀であり，更に欠陥の中にも発生頻度が非常に少ないものも存在する。そのため，十分な量の学習データを揃えることが困難である。

我々はこれらの課題に対応可能な深層学習手法を開発した。以降ではその具体的な事例について紹介する。

3　事例紹介：半教師あり学習による異常検知

3.1　概要

製造業における製品の外観検査では，検査対象から不良品を高精度かつロバストに検知する必要がある。目視による検査では，検査員によって不良品の判別基準にばらつきがある，新規検査員への教育コストが高い，等の課題がある。これらの課題を解決すべく，検査対象を撮影した画像を用いて自動検査する技術の開発がおこなわれている。自動検査では，予め定めた判別基準に基づいて外観検査を実施するため，目視検査における基準のばらつきや教育コストなどの問題を解決することが期待できる。

ここでは，外観検査における不良品の自動検知を，深層学習で実現するための取り組み事例を紹介する。

3.2　実現に向けた課題

3.2.1　不良品データの不足

画像を用いて不良品を自動検知するという課題は，検査対象を良品クラスと不良品クラスの2クラスに分類するもの，と考えることができる。大量の学習データがあれば，深層学習の教師ありクラス分類によって，人間と同等以上の分類性能が期待できる。

しかし，製造現場で得られるのはほとんどが良品データであり，不良品データを大量に収集することは現実的ではない。また，不良品のバリエーションは多種多様であるため，学習用に収集した不良データによって，今後発生しうる全ての不良品をカバーすることも難しい。

3.2.2　新規検査立ち上げ時における判定指標の選定

不良品の見逃し防止と良品の過検知抑制を両立するためには，検査するデータの異常度（以下，異常スコア）をどのように設計するかが重要になる。例えば，わずかな色の違いを異常として検知したい検査対象と，表面の色ムラは良品の範囲内として扱いたい検査対象とでは，色特徴に対する異常検知への重要度は大きく異なる。

多様な検査対象に対してロバスト性を担保して高精度に異常検知するためには，検査対象に応じて最適な異常スコアの計算方法を自動選択できることが望ましい。例えば良品不良品の特性を考慮した色空間の選択や，細かい再構成誤差を無視するためのノイズ除去，不良箇所を捉えるためのフィルタ計算などがある。これらは実際に扱う画像データの特性をよく観察した上で，設計者がその都度検討する必要がある。このため，検査装置の立ち上げ工数が大きくなってしまう課題がある。

3.3　課題への対応

ここでは上記で挙げた課題に対応するために，今回検討した主な工夫について述べる。まず良品画像のみを学習データとして，良品画像を再構成する深層学習モデルを学習する。次に少数の不良品画像を用いて，良品画像ではスコアが低く，不良品画像ではスコアが高くなるような異常スコア計算パラメーターを自動選択する。以下で手法の詳細を述べる。

3.3.1　良品画像を再構成する深層学習モデル

機械学習による異常検知において，不良品データが不足する状況に対応するため，比較的データ収集が容易な良品データだけを学習に用いる場合がある。具体的には，学習に用いる良品データから良品の分布を定義し，その分布から外れたものを全て異常とする，というアプローチである。

今回我々は，良品データのみを用いた深層学習手法として，オートエンコーダーを用いた画像再構成型の異常検知を採用した。オートエンコーダーの構成は，良品画像の特徴量を抽出するエンコーダーと，抽出した特徴量を用いて元の良品画像を再構成するデコーダーを持つ。オートエンコーダーによる異常検知の流れを Fig. 1 に示す。

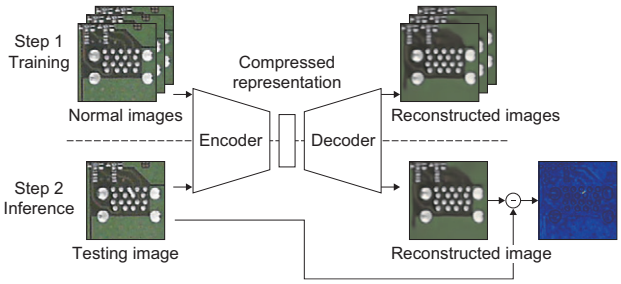


Fig. 1 The concept of autoencoder-based anomaly detection. (Step 1) Training a model from only normal samples and (Step 2) anomaly detection from erroneous reconstructions of input samples, which might carry an anomaly.

Step 1では画像再構成モデルの学習をおこなう。入力した良品画像と，出力された再構成画像の差分が小さくなるように，エンコーダーとデコーダーを学習する。ここで良品画像のみを学習に用いるために，エンコーダーは良品画像の特徴のみを抽出できるよう過学習し，デコーダーは良品画像のみを再構成できるよう過学習することが期待できる。

Step 2では学習済のオートエンコーダーを用いて推論をおこなう。まず検査対象画像をオートエンコーダーで再構成する。次に検査対象画像と再構成画像との差分に基づいて異常スコアを計算する。そして異常スコアが予め定めた閾値と比較することで正常か異常かを判定する。これは，不良品が検査画像として入力された場合には，異常箇所がうまく再構成されず，結果として異常スコアが大きくなるはずである，という考え方に基づく手法である。

3.3.2　少量の不良品を用いたパラメーター設定自動化

前項で述べたオートエンコーダーによる異常検知では，検査対象画像と再構成画像との差分に基づいて異常スコアを計算する。ここで前述のとおり，注目すべき差分とそうでない差分が検査対象によって異なるため，差分すなわち異常スコアを計算するための画像処理パラメーターの選択が，異常検知性能の良し悪しに大きく影響する。

我々は，異常スコア計算時の画像処理パラメーター設定を，少量の不良品データを用いて自動選択する仕組みを構築した。提案手法によるパラメーター選択の流れを Fig. 2 に示す。

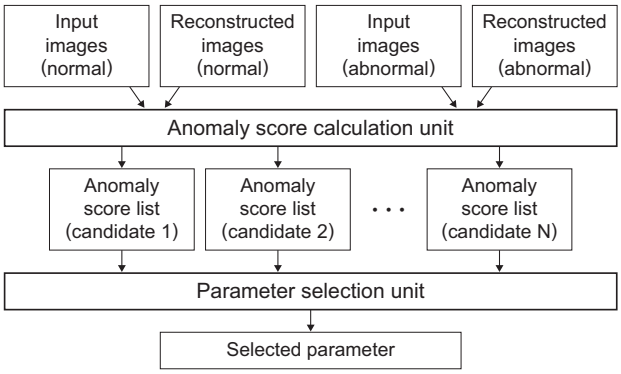


Fig. 2 Pipeline of our proposed method.

まず，良品または不良品のラベルが付けられた複数の入力画像から，予め学習したオートエンコーダーを用いて再構成画像を生成する。ここで再構成画像は前述のとおり，良品画像は入力画像と同等に再構成でき，不良品画像はうまく再構成できないことが期待される。

次に異常スコア計算部にて，入力画像と入力画像に対応する再構成画像のペアに対し，N種類の画像処理パラメーター群を用いて異常スコアを計算する。画像処理パラメーターには，入力画像と再構成画像の差分を計算する色空間や，画像への各種フィルタリング処理の組み合わせなどが含まれる。

そしてN種類の異常スコア群から異常検知性能を比較し，最も成績の良かった異常スコア計算方法を，推論時に用いる画像処理パラメーターとして決定する。

推論時には，上記で自動選択されたパラメーターを用いて，検査画像の異常スコアを計算する。

3.4　評価

提案手法の効果を確認するため，社内で収集した画像データを用いて評価実験をおこなった。収集した画像データのうち，回路基板画像は良品不良品ともに撮影し，金属平板画像は良品データを撮影後に一部画像データを加工して不良品とした。

評価に用いた回路基板画像は良品10枚不良品10枚，金属平板画像は良品15枚不良品15枚とした。画像再構成には，50枚程度の良品画像で学習したオートエンコーダーを用いた。

異常検知性能の評価指標にはarea under the ROC curve（AUC）を用いた。手法の有効性を確認するため，以下3パターンで比較した。

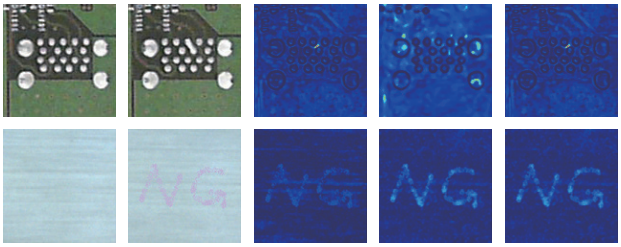
・Case 1. RGB色空間の差を用いる
・Case 2. HSV色空間の差を用いる
・Case 3. 学習データを用いて色空間を選択する

Case 3では画像データを用いて色空間を選択する必要があるため，評価には5分割の交差検証法を用いた。結果をTable 1に示す。

Table 1 Experimental results using AUC in %.

Method	Electronic circuit	Metal plate
Case 1	100	96
Case 2	80	100
Case 3	100	100

Table 1からCase 1とCase 2では，使用する色空間によって2つのデータセットで異常検知性能にトレードオフの関係があることがわかる。一方，提案手法を用いることで，適切な色空間を学習データから選択できるため，トレードオフを解消できた。結果画像例をFig. 3に示す。



(a) (b) (c) (d) (e)

Fig. 3 Sample images of anomaly detection results. (a) normal images of electric circuit and metal plate. (b) anomalous examples. (c-e) anomaly heatmaps obtained by Case 1 (c), Case 2 (d), and Case 3 (e).

Fig. 3 (c)のCase 1を見ると，上段の回路基板画像では欠陥部分のみで異常スコアマップが強く反応しているが，下段の金属平板画像では欠陥部分の反応が微弱であった。Fig. 3 (d)のCase 2を見ると，上段の回路基板画像では欠陥以外の部分での誤反応が多く，良品の誤検知が増加する傾向がみられた。一方で下段の金属平板画像では，欠陥部分で異常スコアマップが強く反応しており，良好な結果であった。提案法であるFig. 3 (e)のCase 3では，どちらの画像でも良好な異常スコアマップを確認できた。

今回の実験により，事前設定した一様な特徴量を使用した場合には異常検知性能にトレードオフが発生するケースにおいて，少量の不良品データを利用することで，性能改善することを確認できた。本技術はコニカミノルタの外観検査事業での活用を検討している。今後は外観検査の適用範囲拡大に向け，更なるロバスト性の向上を目指した技術開発を進める予定である。

4　事例紹介：教師あり学習による欠陥分類

4. 1　概要・システム構成

検査において欠陥種の分類は，修繕工程の自動化や前工程の改善等，生産工程DXにつながるため期待が大きい。画像を用いて欠陥分類をおこなうタスクは，古くから数多くの手法が検討・実用化されてきた。近年は深層学習ベースの分類手法も多く提案されている。

我々は工場でのライン検査を想定し，実用に耐えうるインライン欠陥分類機能を開発している。検査装置の全体構成例をFig. 4に示す。

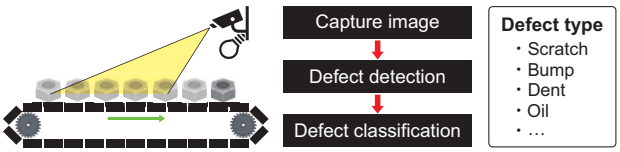


Fig. 4 Image of inline defect classification system.

装置は被写体の搬送をおこなうベルト，固定照明，およびカメラで構成されている。カメラでは常に動画像を撮影している。まず，動画像に対し欠陥疑いの被写体が出現した画像フレームを抽出する。次に，抽出した画像フレームに対して欠陥種を分類する。

ここでは，欠陥種の分類機能を深層学習で実現するための取り組み事例について紹介する。

4. 2　実現に向けた課題

4. 2. 1　誤検知の混入

単純なクラス分類問題では，入力データは分類クラスのいずれかに属するよう前処理されていることが多い。例えば数字認識の公開データセットMNIST[3]では，入力画像は0–9のいずれかの正解ラベルが付与されることを前提として作られている。

しかし実際の工場では，欠陥候補画像の中に欠陥ではない誤検知が多数混入している。誤検知の対策として単純には，欠陥種分類の中に誤検知に相当するクラスを設けるアプローチが考えられる。しかし，本来欠陥であるものを誤検知と見なすのは欠陥品の見逃しとなるため極力避ける必要がある一方，後の修繕工程の負担を下げるため誤検知は適切に除外する必要がある。このため，欠陥日／欠陥判定には欠陥種分類を上回る非常に高いレベルの精度が求められる。そのため，実際の工程での使用を想定する場合，欠陥の分類と言っても実際には，欠陥／非欠陥判定と欠陥種分類という，要求レベルの異なる2つのタスクを同時に解く必要がある。

4. 2. 2　データ数の不足

分類問題で高い性能を発揮する方法として，近年深層学習が注目されている。ただし，深層学習には多量のデータが必要とされている。例えば深層学習に最も多く使われるデータセットImageNet[4]では，1400万枚以上

の画像を提供している。しかし一般的な生産ラインで生産されるのはほとんどが良品で欠陥のデータ数は非常に少なく，その中でもレアな欠陥の画像はほとんどデータが存在しないため，深層学習の適用は困難であった。

こうした課題に対応するため，別のドメインからの特徴の転用をおこなうTransfer Learning[5]や極少数のラベル付き画像を用いて学習をおこなうFew-Shot Learning[6]等が提案されている。しかし，外観検査画像の場合，一般画像は検査画像とのドメイン差が大きすぎるため，Transfer Learningの適用が難しい。また，別の外観検査画像や学習済モデルを用いる場合，それらは通常非公開であり更に見た目や注目点は検査毎に大きく異なるため，こちらも適用が難しい。Few-Shot Learningについてもその多くが事前知識として類似の画像やそこから求めた特徴量を用いて情報を補うものであり，外観検査画像という特殊なドメインへの適用は難しいと考えられる。そのため，実際の工程での使用を想定した場合，データ数は依然大きな問題であるといえる。

4.2.3　検査に寄与しないFrameの存在

ライン検査の場合，被写体がカメラ前を通過する間の時系列画像が得られるが，カメラや照明との位置関係により欠陥が見えるFrameは限定されている。そのため単純に時系列画像として処理した場合，大半のFrameがノイズとなり十分な精度が得られない懸念がある。

こうした問題への対応策として，注目Frameを検出してその周辺のみを解析に用いる方法が考えられる。注目Frameの検出は人行動の異常検知等の分野において多くおこなわれており，画像内の注目箇所を可視化するSaliencyやAttention[7]等の手法が多く使われている。しかし，これらの手法では多量の学習データや多くの計算リソースを前提としていることが多く，データ数が限られ更に検査時間にも制限がある工場では適用が難しく，別の解決策が必要であった。

4.3　課題への対応

ここでは上記で挙げた課題に対応するため今回検討した主な工夫について述べる。工夫はデータを解くための前処理に当たる部分と深層学習の性能を上げる部分に分けられる。全体の概要図をFig. 5に示す。

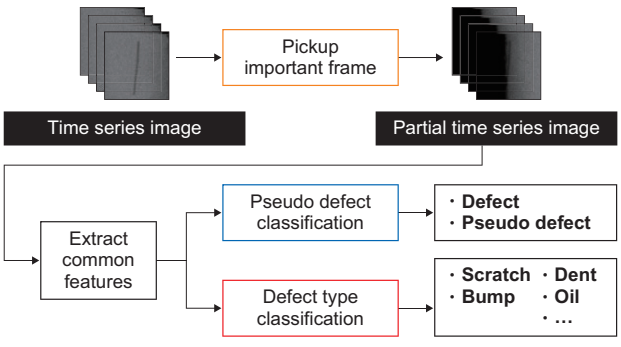


Fig. 5 Overview of our algorithm.

4.3.1　前処理の工夫：注目Frameの自動選択／部分画像切り出し

人間が目視で欠陥を見る場合，無意識に被写体と光源との位置関係を変えながら，欠陥を認識しやすい位置を探している。一例として，傷の部分に影が出やすい様な照明位置を探す場合などが挙げられる。我々はこの点に着目した。具体的には，時系列画像の中で見た目の変動が大きい画像を注目Frameとして自動判定し，その周囲の部分時系列画像のみを抽出する処理を実装した。

学習用データのサンプリング方法にも工夫をおこなった。まず，時系列画像から注目Frame周辺を自動判定する際の条件を複数パターン用意することにより，1つの時系列画像から注目Frameが異なる複数の部分時系列画像を抽出した。次に，抽出した時系列画像に対してフレーム間引きすることにより，1つの時系列画像から疑似的にフレームレートが異なる複数の時系列画像を生成した。

これらの工夫により，解析対象を検査にとって重要な注目Frame周辺に限定しつつ，学習に十分なデータ数を確保することが出来た。

4.3.2　深層学習の工夫：マルチタスクネットワーク構造の活用

前述の通り，本システムでは欠陥／非欠陥判定と欠陥種分類の二つのタスクを解く必要がある。もっとも単純にはそれぞれのタスクを別々に解く方法が考えられるが，2タスクを別々に解く場合，処理時間の増加が懸念される。そのため我々はマルチタスクネットワーク構造を作成し処理時間の増加を抑えることを目指した。

4.4　評価

今回は実際の工場で撮影された金属表面欠陥データで評価をおこなった。対象画像は白黒の時系列画像であり，欠陥の種類は傷や内包物の形状等に基づいた8種類と誤検知の計9種類で構成されている。

学習には計10,000枚程度の欠陥時系列画像を用い，その内最小クラスは300枚程度であった。実際の画像の例をFig. 6に示す。

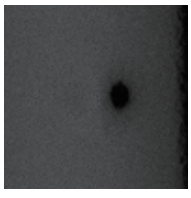


Fig. 6 Example of defect image.

評価指標としては欠陥／非欠陥判定は誤検知除去率および欠陥検出率，欠陥種分類は各クラスの正答率の平均を評価値として用い，手法の有効性を確認するため，以下の3つのパターンで欠陥／非欠陥判定および欠陥種分類をおこない，比較をおこなった。

Table 2 Experimental results on real factory data.

	Pickup important frame	Network architecture	Remove pseudo defect [%]	Detect true defect [%]	Classify correct defect type [%]	Process time [ms]
Case 1	No	Single task	92	99	87	320
Case 2	Yes	Single task	98	99	94	120
Case 3	Yes	Multi task	98	99	94	90

・Case 1. 時系列画像をそのまま用い欠陥／非欠陥判定および欠陥種分類をそれぞれSingle taskとして解いた場合
・Case 2. 注目Frameの抽出をおこない欠陥／非欠陥判定および欠陥種分類をそれぞれSingle taskとして解いた場合
・Case 3. 注目Frameの抽出をおこない欠陥／非欠陥判定および欠陥種分類をMulti taskとして解いた場合

結果をTable 2に示す。結果を見ると前処理により適切なFrameを抽出することで全体的に性能が大きく向上していることが分かる。またマルチタスクネットワーク構造とすることで性能を落とすことなく高速化を可能としている。

今回の検討により，深層学習による高性能な欠陥／非欠陥判定および欠陥種分類を実現することが出来た。現在，本技術を実際の工程へ適用するための検討を進めている。今後は更なる性能向上や適用範囲の拡大に取り組む予定である。

5 まとめ

少量の異常データで学習できるAI外観検査技術について，自社の取り組み事例を紹介した。開発した技術はコニカミノルタの外観検査事業およびセンシング事業の各領域で活用・検討が進んでいる。今後も製造業のDX推進に貢献するべく，画像IoT技術の開発を強化していく。

●参考文献

1) https://www.konicaminolta.com/jp-ja/newsroom/2020/0924-01-01.html (Accessed 2021.10.01)
2) https://www.konicaminolta.com/jp-ja/newsroom/2021/0615-01-01.html (Accessed 2021.10.01)
3) http://yann.lecun.com/exdb/mnist/ (Accessed 2021.10.01)
4) DENG, Jia, et al., “Imagenet: A large-scale hierarchical image database”, In: 2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 248–255 (2009)
5) F. Zhuang et al.,“A Comprehensive Survey on Transfer Learning”, in Proceedings of the IEEE, vol. 109, no. 1, pp. 43–76 (2021)
6) WANG, Yaqing, et al., “Generalizing from a Few Examples: A Survey on Few-Shot Learning”, ACM Computing Surveys Volume 53 (2020)
7) VASWANI, Ashish, et al., “Attention is all you need”, Advances in neural information processing systems, pp. 5998–6008 (2017)

意匠性とオンデマンド性を兼ね備えた新コンセプトOLED

New Conceptual OLED Combined with the Designability and the Capability of On-Demand Printing

及川 和博＊ Kazuhiro OIKAWA　泉 倫生＊ Tomoo IZUMI　髙 秀雄＊ Hideo TAKA　檜山 邦雅＊ Kunimasa HIYAMA　北 弘志＊ Hiroshi KITA

要旨

OLED（Organic Light Emitting Diode）パネルを用いたディスプレイおよび照明が普及し，シェアを伸ばしている。コニカミノルタでは，これまで，りん光発光材料を中心としたOLED材料開発，塗布型素子開発およびフレキシブルOLED照明のパネル生産／販売を行い，OLEDパネルの性能，生産性および顧客価値の向上に努めてきた。最近では，独自のフレキシブルOLEDパネルを商品パッケージ／販促用カード／カタログなどの印刷物に適用した「光るスマートプリンティングソリューション」を事業展開し，新たな“光の価値”を提供している。

現在，OLEDパネルの製造方法の主流は蒸着方式である。生産性課題の解決手段としてインクジェット方式が普及しつつあるが，複雑な層構成とプロセスが市場拡大の妨げとなっていた。

OLEDパネルを，より身近に，デザイン可能なものとしてお客様に提供するためには，インクジェットパターニングの適合性と製造プロセスの簡素化を両立することが重要課題である。

我々は，わずか1層のインクジェット描画のみで発光／非発光のデザインが可能であるSimple-OLEDを開発した。これにより，意匠性とオンデマンド性を兼ね備えた新しいコンセプトのOLEDパネルの作製を実現したので報告する。

Abstract

OLED (Organic light emitting diode) display and lighting technology is spreading and its market share is growing. To improve device performance, productivity, and value of customer, we have been performed development of phosphorescence material system, development of solution-processed OLED and production/sales of OLED panel. Nowadays, we offer “Lighting Paper” to the customer of printings as a new “Light” value improving their branding and product appeal of printed materials such as product packages, promotional cards, and greeting cards.

Vapor deposition process is a mainstream of OLED production although there are problems concerning productivity and huge plant investment. Although ink-jet method is gaining acceptance as solution of productivity, its complicated layer structure and production process prevent market growth.

To present OLED panel to customer as designable and fast tool, there remains important issues both utilization of patterning characteristics of ink-jetting and simplification of device production process.

We have successfully developed “Simple-OLED” capable of designability of turning on and off by ink-jet printing only one layer.

In this study, we report simple structure and process, emission mechanisms, and prototype examples of new conceptual OLED combined with the designability and the capability of on-demand printing.

＊開発統括本部　要素技術開発センター

1　はじめに

OLED（Organic Light Emitting Diode）パネルを用いたディスプレイおよび照明が普及し，シェアを伸ばしている。コニカミノルタでは，これまで，りん光発光材料を中心としたOLED材料開発，塗布型素子の開発およびフレキシブルOLED照明のパネル生産／販売を行い，OLEDパネルの性能，生産性および顧客価値の向上に努めてきた[1)2)3)4)]。最近では，独自のフレキシブルOLEDパネルを商品パッケージ／販促用カード／カタログなどの印刷物に適用した「光るスマートプリンティングソリューション」を事業展開し，新たな“光の価値”を提供している[5)]（Fig. 1）。

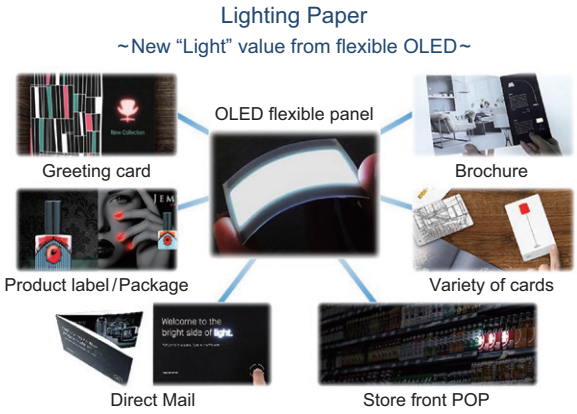


Fig. 1 Lighting smart printing products by using flexible OLED.
(https://www.konicaminolta.jp/oled/about/)

現在，ディスプレイおよび照明用OLEDパネルの製造方法は，ファインメタルマスクおよび高真空装置を用いた蒸着方式が主流である。蒸着方式の課題として，材料利用効率向上，脱真空，マスクレス化などの生産性向上が挙げられ，その解決手段としてインクジェット方式が普及しつつある。

現在のインクジェットOLEDの製造には，かなり複雑な工程が採用されている。バックプレーン電極上の全ピクセルにフォトリソグラフィを用いて感光性絶縁樹脂の隔壁を形成し，隔壁間に複数の機能層を射出積層するのが発光部の主な工程である。各機能層間の真空乾燥や電極蒸着には大規模な設備が必要で，その適用範囲は現在のところ中小定型ディスプレイもしくは定形小型サイネージに留まっている。スマートプリンティングあるいはスマートディスプレイを，より身近にデザイン可能なものとしてお客様に提案するためには，インクジェットのパターニング可能な特徴と製造プロセスの簡素化を組み合わせ，意匠性とオンデマンド性を両立することが重要課題となっていた。

これらの課題に対し，我々は大気下においてたった1層のインクジェット描画のみで発光／非発光のデザインを可能とした。これにより，意匠性とオンデマンド性を兼ね備えた新しいコンセプトのOLEDパネルの作製を実現したので報告する。

2　Simple-OLED

新たに開発したSimple-OLEDのデバイス構成をFig. 2に示す。基本構成は，下記の三要素から成る。

(1) OLEDペーパー（陽極／バッファー層／インク受容層）
(2) インクジェット描画発光層（ホスト：ドーパント）
(3) 封止シート（バッファー層／陰極／封止材）貼合

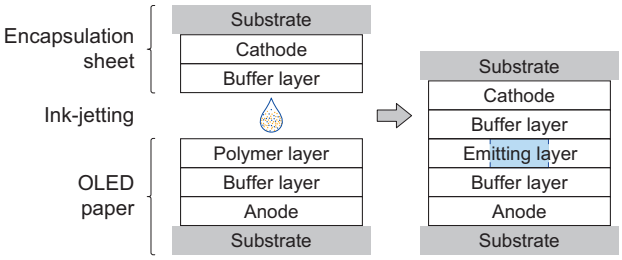


Fig. 2 Layered structure of Simple-OLED.

製造プロセス（Fig. 3）も上記3要素に対応しており，予め準備したOLEDペーパー（便宜上“ペーパー”と記すが，用途に応じて適宜使いわける）に発光インクを射出し（Fig. 4），封止シートで圧着するだけの簡易さを特徴とする。OLEDペーパーには，インクを吸収する絶縁ポリマー層を挿入し，発光インクをインクジェット描画した箇所だけが通電発光する仕組みを設けた。

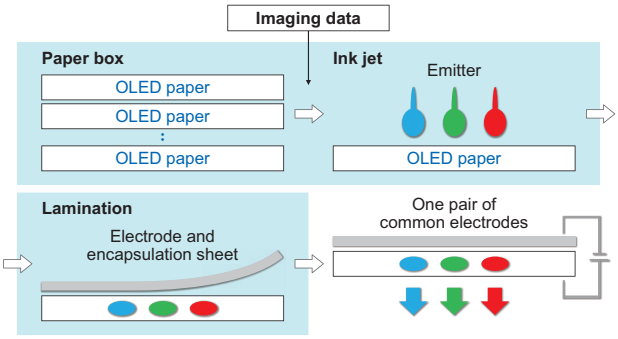


Fig. 3 Fabrication methods of simple-OLED.

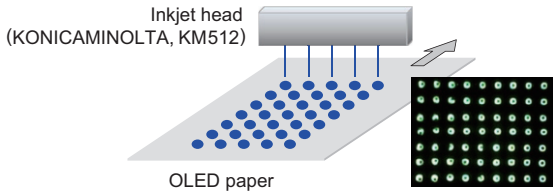


Fig. 4 Fabrication process of emission area and microscopic figure of emission dot.

この構成により，電極や電荷注入層などの発光周辺層を基材としてあらかじめ準備できるようになり，大掛かりな超高真空装置や高純度不活性ガス装置の導入が不要となった。更に，発光インクの着弾時に，ポリマー相が発光材料を瞬時に包み込んで保護するため，大気下での製造も可能である。結果として，インクジェットの描画性と簡易製造プロセスの両立を実証することができた。

Fig. 5 に，ガラス基板およびフレキシブル基板上に作製したSimple-OLEDの実例を示す。発光部の描画には，360 dpiのビットマップ画像を用い，コニカミノルタ製インクジェットコントロールシステムIJCS-1およびインクジェットヘッドKM512を用いて印刷した。46×33 mmの画像エリアに，駆動周波数4 kHzで印字しており，印刷時間は僅か数秒と驚くほど速い。歩留まりを考慮し，インクジェット後に予め陰極を蒸着した後に封止した。いずれの絵柄とも，発光領域は約100 umのドットの集合で表現されており，従来のマスク方式では成しえなかった中空絵柄や面積階調などの複雑なパターン発光を，フォトリソバンク構造無しで形成することができた。

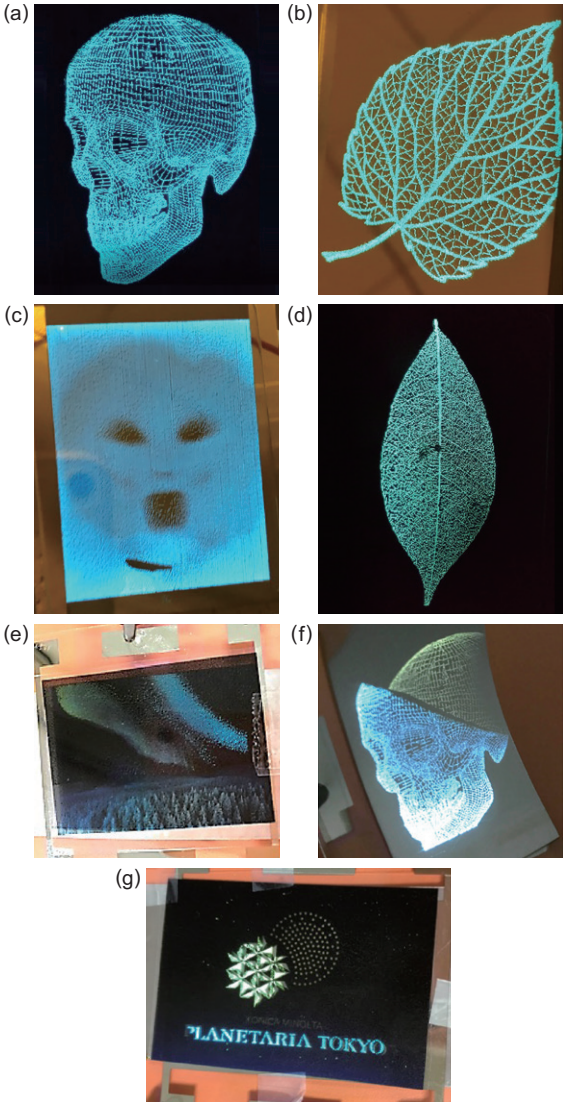


Fig. 5 Pictures of the single-color devices. (a), (b) Line drawing images. (c), (d) Gradation drawing images. (e), (f), (g) Flexible lighting cards combined with multi-color OLEDs and printings.

また，封止シート貼合の採用により，有機層上に電極を直接形成する必要がなくなり，スパッタ法などの有機層へのダメージが懸念される電極材料の組み合わせが可能となった。Fig. 6 に透明封止シートを貼合して作製した両透明デバイスの構成および通電前後の画像を示す。封止シートには，PET基材にスパッタ法を用いてITO陰極を成膜したものを用い，周囲に接着層を設けて0.1 MPaで脱気圧着した。電力オフ時はデバイス下方に置いた印刷物を視認できるのに対し，オン時には半透過や隠すような表現が可能であることが分かる。透明デバイスの実現により，商品パッケージやショーケース向けサイネージなど，用途拡大が期待できる。

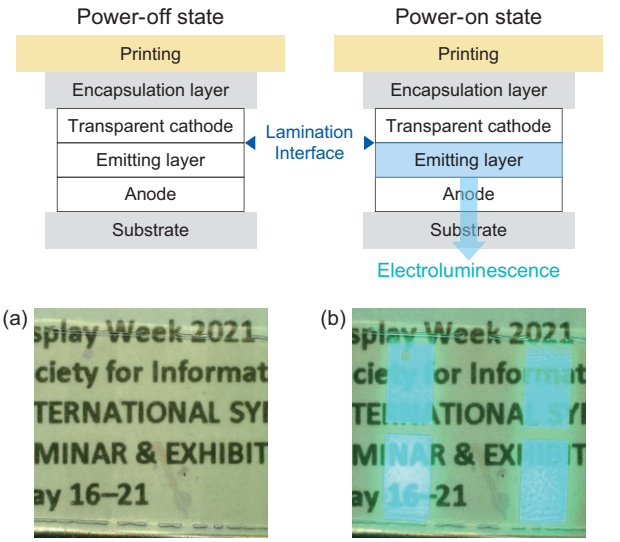


Fig. 6 Structures and pictures of the transparent device laminated transparent cathode and encapsulation sheet (a) without and (b) with electroluminescence.

3　発光メカニズム解析

Tangらによる機能層分離構成[5]が報告されて以来，OLEDの高性能化には多層積層が必要不可欠とされてきた。実際に，スマートフォンやテレビ用のデバイスには，1ユニット5層以上，マルチユニットとなると10層以上の積層構造が用いられており，近年では塗布型マルチユニットデバイスの作製も可能になってきている[2)6)7)8)]。では，なぜSimple-OLEDの少ない構成要素において，安定発光が可能なのだろうか。その理由を突き止めるため，Simple-OLEDの発光メカニズム解析を行った。

3. 1　デバイス特性

デバイス特性の測定に用いた素子構造をFig. 7 に示す。ガラス／ITO上にバッファー層をスピンコートした後，基準ポリマーA，ホストおよび青りん光発光ドーパントから成る発光層を成膜した。成膜にはスピンコーターを用い，予めポリマーとその他の材料との重量比が1:1（ホスト:ドーパント比は4:1）となるよう調製した塗布液をスピンコートした。陰極としてKF/Alを蒸着により形成し，ガラス缶封止して発光デバイス（ELD）Device 1とした。また，電流特性の解析のため，Caを正孔ブロック剤，αNPDを電子ブロック剤としてそれぞれ用いた，電子のみが流れるデバイス（EOD）あるいは正孔のみが流れるデバイス（HOD）も同時に作製した。

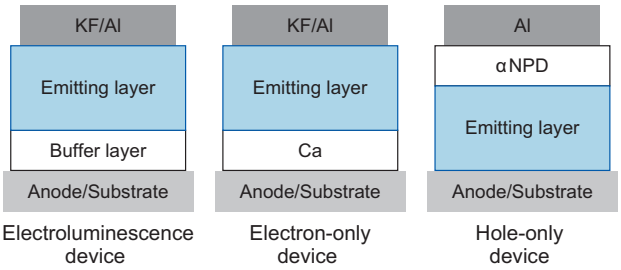


Fig. 7 Schematic structures of the electroluminescence device (ELD), the electron-only device (EOD) and the hole-only device (HOD).

Table 1 に示す通り，ELDの2.5 mA/cm²における外部量子収率（EQE）および電圧は，それぞれ2.7%および5.9 Vとなった。原理的に100%再結合が可能なりん光発光材料の使用と，光取り出し効率20%程度の素子構成であることを考慮すると，理論効率の1割程度に留まっていることになる。しかし，多積層構造を用いていないという観点では，安定して発光していると言える。

Table 1 Characteristics of electroluminescence device 1.

	2.5 mA/cm²	
	EQE [%]	Voltage [V]
Device 1	2.7	5.9

Fig. 8 にHODおよびEODのJ-V特性を示す。測定は，デバイスを恒温槽内に設置し，323 K，298 Kおよび278 Kの環境下でそれぞれ実施した。

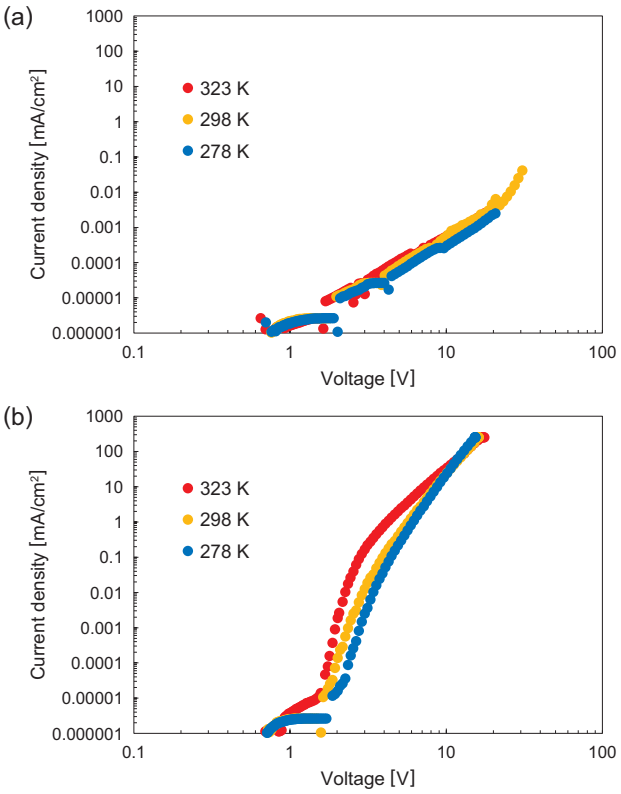


Fig. 8 Current density-Voltage characteristics of (a) hole-only device and (b) electron-only device.

Fig. 8 (a)に示したとおりHODの電流値が温度に依存せず，高電圧領域において直線的であるのに対し，Fig. 8 (b)に示したEODには明らかな温度依存性が見られた。

一般的に，電極から有機半導体への電荷注入機構は，式（1）に示すRichardson-Schottky熱電子放出理論に従うと考えられている[9]。ここで，qは電荷素量，ϕBは注入障壁高さ，Fは電界，hはプランク定数，m*は有効質量である。本検討に用いたホストおよびドーパントの系においても，絶縁ポリマー無しでは，正孔，電子共に電流値が温度に依存する。

$$J_{RS} = A^{*}T^{2}\exp\left[-\frac{\phi_B - \gamma(F)^{1/2}}{k_B T}\right] \quad (1)$$

$$A^{*} = 4\pi q m^{*} k_B^{2}/h^{3}T^{2} \quad (2)$$

$$\gamma = (q^{3}/4\pi\varepsilon\varepsilon_0)^{1/2} \quad (3)$$

温度に依存しない電荷注入機構としては，電界放出（トンネル）理論が知られている[10]。例えば，式 (4) に示すFowler-Nordheim電界放出理論に従う場合，電流値には温度項が含まれない。

$$J_{FN} = \frac{q^{3}F^{2}}{8\pi h\phi_B}\exp\left[-\frac{8\pi(2m^{*})^{1/2}\phi_B^{3/2}}{3qhF}\right] \quad (4)$$

従って，Fig. 8 (a)のHOD電流が温度に依存しないことは，絶縁ポリマーと発光材料の混合により，片方のキャリアのみがトンネリングする，全く新たな発光機構が発現したことを示唆している。

3. 2　発光層の構造解析

次に，トンネル注入機構の由来を明らかにするため，発光層の深さ方向の構造解析を試みた。ITO基板上に，前述のELDと同じ発光層を形成した薄膜サンプルを作製し，斜入射X線小角散乱法（GI-SAXS）および飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）による分析を行った。

Fig. 9 に，GI-SAXSの結果を示す。比較として，発光層の代わりに，ホスト＋ドーパントおよびポリマーAのみで作製したサンプルについても結果を示した。これらの比較サンプルに，回折線は見られなかった。一方，各材料を混合した発光層については，2.4° 付近に回折線が観測された。この結果は，ポリマー相と発光相が相分離し，3.7 nm程度の周期構造が形成されていることを示唆しており，この相分離構造により注入機構の変化や大気バリア性がもたらされていると推測される。

Fig. 10 に発光層のTOF-SIMSの結果を示す。横軸は，イオンスパッタ時間を膜厚に換算した値を表し，0 nmが発光層表面，65 nm付近が発光層とITOの界面を表す。縦

軸は，三材料の二次イオン強度比を表す。この結果，発光層内の陽極側界面の数nmの領域において，ポリマー相が発光相よりも多く分布していることが分かった。

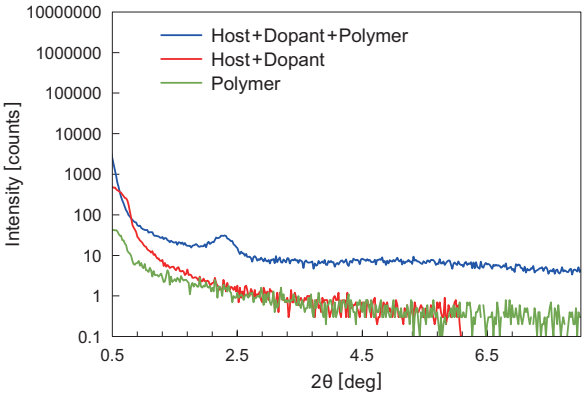


Fig. 9 Grazing incidence small-angle X-ray scattering spectra of emission layer.

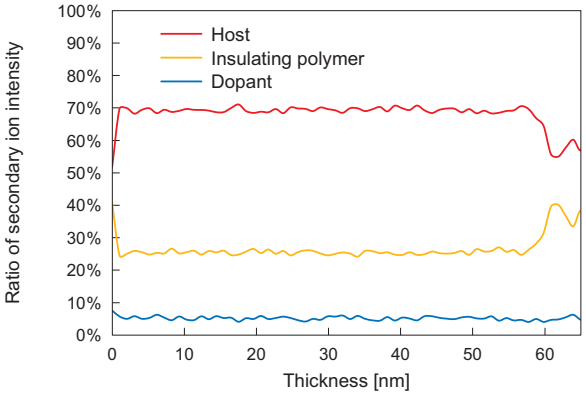


Fig. 10 Depth profile of emission layer measured by time of flight secondary mass spectroscopy.

以上の結果から，絶縁ポリマー層に発光インクが射出混合する際に相分離構造が形成され，陽極側界面にポリマー相が局在することで，ホストやドーパントへの直接的なホール注入が抑制されてトンネル注入機構が発現することが明らかとなった。このポリマーの局在相は，電子伝導のブロック層としても機能していると推測でき，発光層内の電荷再結合確率を高めていると考えられる。

4　デバイス特性の改良

相分離構造を制御できれば，電荷バランスが改善し，更なるデバイス性能の向上が期待できる。そこで，Device 1の絶縁ポリマーを種々のポリマーに変更したELDを作製し，素子特性解析およびTOF-SIMS分析を行った。結果をTable 2に示す。ここで，TOF-SIMSについては，膜中央のポリマーの2次イオン強度比率をPとした場合に，陽極側および陰極側界面5nm付近のポリマー比率をそれぞれP_{Anode}/Pおよび$P_{Cathode}/P$として算出した。その結果，側鎖に水酸基を含むポリマーを用いたDevice 2において，$P_{Cathode}/P$値が大幅に上昇し，Device 1とは逆の陰極側にポリマーを局在させることができた。

Table 2 EQE, voltage and polymer distribution ratios of emission layer using various polymers.

	Polymer		2.5 mA/cm²		TOF-SIMS	
	Backbone	Substituent	EQE	V	P_{anode}/P	$P_{cathode}/P$
Device 1	Polymer A	None	2.7	5.9	1.56	0.96
Device 2	Polymer A	-OH	10.2	6.4	1.09	1.79
Device 3	Polymer A	$-CH_3$	3.2	9.2	0.88	0.96
Device 4	Polymer B	Hetero nitrogen	0.01	5.0	0.98	0.91
Device 5	Polymer C	$OCOCH_3$	2.1	9.7	0.95	0.79
Device 6	Polymer C	-CN	2.0	8.3	0.73	0.96

Fig. 11 に，Device 2の発光層を用いて作製したHODおよびEODのJ-V特性を示す。Device 1の場合とは逆に，Fig. 11 (a)のHODに温度依存性が見られ，Fig. 11 (b)のEODに明らかな温度依存性は見られない。また，注入開始電圧や傾きの関係も，同様に逆転している。従って，ポリマー局在箇所の制御により電荷注入機構およびキャリアバランスが逆転したことになる。

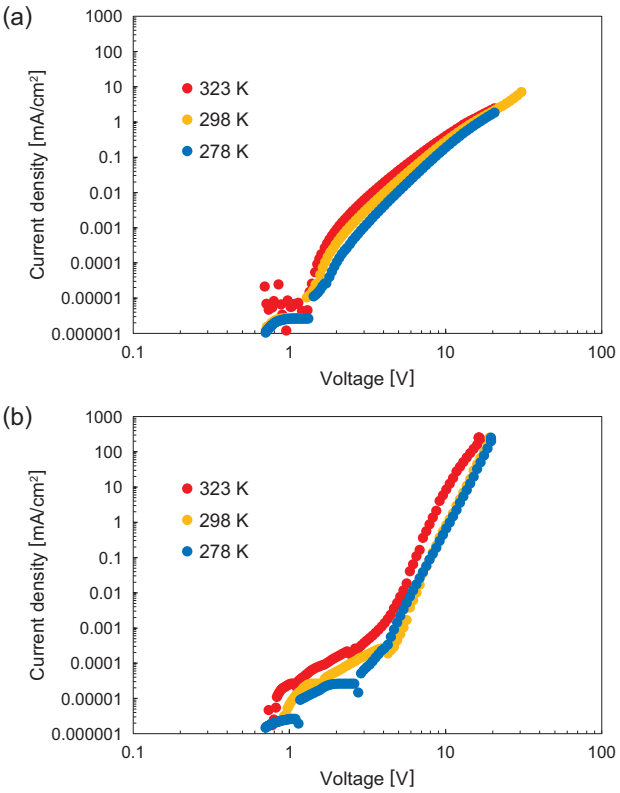


Fig. 11 J-V characteristic of (a) hole-only and (b) electron- only device 2.

Fig. 12 にDevice 2の詳細な素子特性を示す。EQEは2.5 mA/cm²において10%に到達し，理論効率の5割程度まで大幅に向上した。その他の骨格および極性基を導入したポリマーを用いた素子には顕著な変化が見られなかったことから，Polymer A骨格およびプロトン性極性基が，発光層の底あるいは表面に局在するためのドライビングフォースになっていると考えられる。今後，これらの周辺材料の探索や，新たな材料とプロセスの掛け合わせにより，性能およびプロセスのシンプルさの向上を図っていく予定である。

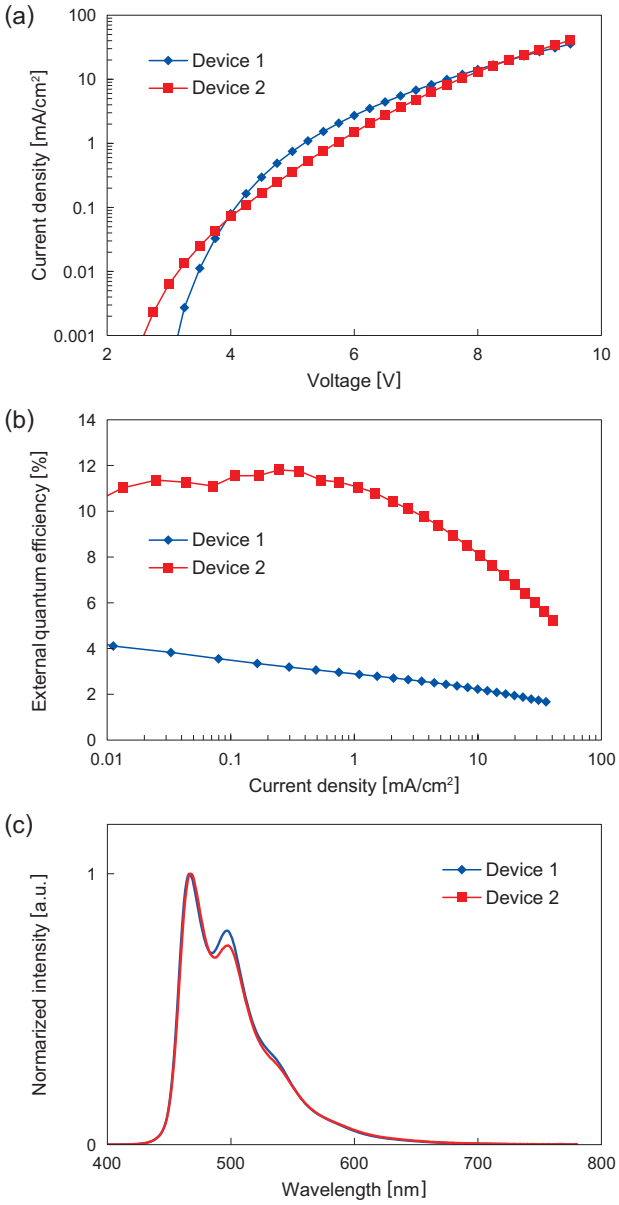


Fig. 12 (a) J-V characteristics, (b) EQE-V characteristics and electroluminescence spectra of device 1 and 2.

5　総括

発光部のインクジェット描画を含む，独自のSimple-OLED構成の採用により，意匠性とオンデマンド性を兼ね備えた新しいコンセプトのOLEDデバイスを実現した。その発光メカニズムには，インクを受容する絶縁ポリマーと発光材料との相分離構造が関わっており，ポリマー相の局在状態の制御によりキャリアバランスの調整および大気成膜が可能となることを示した。結果として，従来の多積層構造を適用せずに，EQE10%を達成した。

今回，デバイスに描画した機能は「発光」であり，スマートプリンティングやスマートディスプレイ市場において，“光の価値”を拡大できるものと捉えている。“描画”を“精緻で微小なダイオード形成”と捉えることにより，様々なセンサーやインジケーターをオンデマンドで作成する技術に発展させることも可能である。

来たるべき超スマート社会において，データ駆動の根幹を成すデータインプット用デバイスとしての新たな展開も視野に，さらなる性能向上と簡便な製造技術の構築を目指していく。

●参考文献

1) H. ITO, H. KITA, K. HIYAMA, “Development of Highly Efficient and Long-Lived Light-Blue Light-Emitting Phosphorescent Materials for OLEDs”, *KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT* VOL.11 (2014). https://www.konicaminolta.jp/about/research/technology_report/2014/pdf/11_ito_h.pdf (2021.10.15)
2) K. Oikawa, K. Hiyama, H. Kita, Y. J. Pu, T. Chiba, S. Ohisa and J. Kido, “Development of Solution-processed Phosphorescent-white Multi-SMOLED”, *KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT* VOL. 15 (2018). https://www.konicaminolta.jp/about/research/technology_report/2018/pdf/15_oikawa.pdf (2021.10.15)
3) T. Tsujimura, J. Fukawa, K. Endoh, Y. Suzuki, K. Hirabayashi, T. Mori: “Development of flexible organic light-emitting diode on barrier film and roll-to-roll manufacturing: Flexible OLED and roll-to-roll manufacturing”, *J. Soc. Inf. Disp*. 22, 412 (2014).
4) https://www.konicaminolta.jp/oled/about/ (2021.10.15)
5) C. W. Tang, S. A. Van Slyke, and C. H. Chen, “Electroluminescence of doped organic thin films”, *J. App. Phys*. 65, 3610 (1989)
6) T. Matsumoto, T. Nakada, J. Endo, K. Mori, N. Kawamura, A. Yokoi and J. Kido: “Multiphoton Organic EL device having Charge Generation Layer”, *J. Soc. Inf. Disp*. 34, 964 (2003).
7) S. Höfle, C. Bernhard, M. Bruns, C. Kübel, T. Scherer, U. Lemmer and A. Colsmann: “Charge generation layers for solution processed tandem organic light emitting diodes with regular device architecture”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7, 8132 (2015).
8) Y.-J. Pu, T. Chiba, K. Ideta, S. Takahashi, N. Aizawa, T. Hikichi and J. Kido: “Fabrication of organic light-emitting devices comprising stacked light-emitting units by solution based processes”, *Adv. Mater*. 27, 1327 (2015).
9) P. R. Emtage and J. J. O’Dwyer, “Richardson- Schottky effect in insulators”, Phys. Rev. Lett. 16, 356 (1966).
10) R. H. Fowler, L. Nordheim, “Electron emission in intense electric fields”, *Proc. R. Soc. Lond*. A 119, 173–181 (1928).

●出典

本稿はThe Society for Information Display, Display Week 2021で発表したものを加筆して転載したものである。本稿の著作権はThe Society for Information Displayが有する。

ハイスループット実験と機械学習を活用した有機化合物の分光特性予測

High-Throughput Measurements and Machine Learning Approach to the Prediction for the Spectral Characteristics of Organic Compounds

蝦名昌徳＊　小田一磨＊＊
Masanori EBINA　Kazuma ODA

要旨

近年，材料開発の革新技術としてマテリアルズ・インフォマティクス（MI）が広く知られるようになり，データを活用した材料開発の動きが幅広く行われている。MIに用いるデータには，実験データのみならず，様々な理論科学計算のデータも有用である。計算データの利用は，実験では得られない情報を説明変数に加えることによる予測精度向上，原理・原則に基づいた理解につながるといった利点が挙げられる。MIにおいて機械学習を行う際には膨大なデータを用意する必要があるが，ハイスループット実験の活用により効率的な実験データ収集が可能となる。

本稿では，中性の有機化合物を対象に，溶液中における有機化合物の極大吸収波長（λ_{max}）の予測モデルの作成を例にとり，ハイスループット実験による実験データの収集に加えて，密度汎関数法に基づく計算（以降DFT計算と称す）結果も取り入れて機械学習を適用した例を示す。

サポートベクター回帰（以降SVRと称す）によりλ_{max}を予測し，実験値と予測値を比較した結果，モデルの適用範囲内では根平均二乗誤差（以降RMSEと称す）が10nm以内であった。また，ハイスループット実験によって約5倍の作業時間の効率化，DFT計算の利用で予測精度の向上に繋がることが分かった。

本稿で示した予測モデルは，膨大な有機化合物の候補から所望の物性を持つ有機化合物候補を迅速に選定する方法として有用と考えられる。今後は，予測の適用範囲を広げるために，実験及び計算データを増やし予測モデルの改良を行っていく。

Abstract

Recently, materials informatics (MI) have been well known as the innovative technology to use data for advanced materials. Not only experimental results, but also theoretical calculation results are mostly used for the materials informatics to improve the predictive models and understand clearly due to the basis on the principle rules. The high-throughput experimentations are also focused as a tool to store efficiently, because machine learning requires the enormous data. In this paper, we targeted neutral organic compounds, and implemented a predictive model for maximum absorption wavelengths of them via the machine learning including the density functional theory (DFT) calculations and the high-throughput experimentations.

We have constructed the predictive model by using support vector regression (SVR). To evaluate this model, we compared the predicted values with the experimental values as test data. We observed that the root mean squared error (RMSE) was retained within 10 nm in an applicability domain although small amount of data was in the applicability domain. Moreover, a five times decrease in measurement time was obtained via the high-throughput experimentations, and DFT calculations led to the high prediction accuracy.

The predictive model via machine-learning is useful for a rapid selection of the materials with the suitable photophysical properties from a huge amount of the organic compounds. Our next plan is to modify the predictive model via increasing the experimental and calculation data for an expansion of the applicability domain of the predictive models.

＊開発統括本部　要素技術開発センター　DS技術開発室
＊＊開発統括本部　要素技術開発センター　コア技術開発室

1　はじめに

近年，MIを活用したデータ駆動型の開発手法は，材料開発プロセスの革新技術として注目を集め，急速に広まりつつある。これまでの材料設計やプロセス条件の決定では，技術者の勘や経験に依存する事が多く，その検証に莫大な時間やコストを要していた。MIでは，機械学習を始めとするデータ解析技術の発達により，実験データの解析による新規材料の物性値の予測や製造方法の最適化技術等の促進が期待される。

しかし，MIの利用は大量のデータの存在が前提であり，データセット構築が課題となる。データを取得する方法は①オープンデータベースの利用，②文献からの取得，③社内の過去データの利用，④理論科学計算の利用，⑤実験による取得，に大別できる（Fig. 1）。①～③の手法は低いデータ取得コストで大規模なデータを入手しやすいが，異なる実験条件や欠損値のために有効なデータが限定される場合が多い。④においては，データ数の拡充と共に，実験では得られない情報を説明変数に組み込むことができる[1)]。⑤においては，人手による実験作業によってデータを得るため，データ取得コストが大きくなりやすい。そのため，大規模データセット構築には，ハイスループット実験を活用して物性データを大量に取得し，そのデータを特定フォーマットで蓄積，整形し，データベースに格納していく必要がある[2)]。

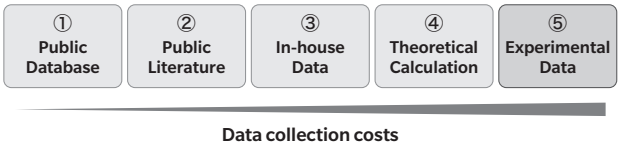


Fig. 1 Methods and costs for collecting data.

一般的にλ_{max}の予測には，時間依存DFT計算（以降TDDFT計算と称す）で算出した吸収波長を活用することが多いが，類似の化合物骨格間での定性的な議論に留まることが多く，その予測精度には課題が残る。TDDFT計算で算出した結果を追加の説明変数として機械学習に組み込むことで，予測精度の向上が期待できる。

ハイスループット実験は試料調整，分注，物性測定などのルーチンな実験操作を自動化・並列化することでデータを効率良く取得していく手法である。ハイスループット実験で得た膨大なデータを機械学習で解析することで，反応条件を最適化した研究も報告されている[3)]。

本稿では，膨大な有機化合物の候補から所望する物性を示す化合物の選定手法を開発するため，④理論科学計算，⑤ハイスループット実験によって構築したデータセットを利用し，λ_{max}の予測モデル作成を実施した。目的変数となるλ_{max}をハイスループット実験で効率的に取得するとともに，TDDFT計算で求めた吸収波長を説明変数として活用することで，機械学習によるλ_{max}を精度良く予測できることを実証した。本稿の第二節では，実験データを効率良く取得するためにハイスループット実験を導入した結果について述べる。第三節では，機械学習を行うために必要な説明変数の生成方法について記載する。第四節では，λ_{max}の予測モデルの作成と，その予測モデルの予測精度と適用範囲について考察をする。最後に，今後の展望を述べて結びとする。

2　ハイスループット実験によるデータ収集

一般に精度の良い機械学習を行う際には大量のデータを要するため，実験データを如何に効率良く取得するかが課題となる。我々は自動分注機及びプレートリーダーを利用することで，試料調整と吸収波長の測定を効率良く行うことを考えた。プレートリーダーはマイクロウェルプレート中の試料の吸光度や蛍光スペクトルなどを自動で計測する装置である。

自動分注機での作業をFig. 2 に示す。試料液調整と，96ウェルガラスプレートへのキャスティングを全て自動で行った。吸収スペクトル測定の際は吸光度が低すぎず，かつ飽和しない程度に濃度を選択する必要がある。そのため，試料調整の際，一度の測定で適切な吸光度が得られるように1化合物につき3つの異なる濃度調整を行った。次いでそのウェルプレートをプレートリーダーにセットし（Fig. 3），96サンプルの吸収スペクトルを測定した。

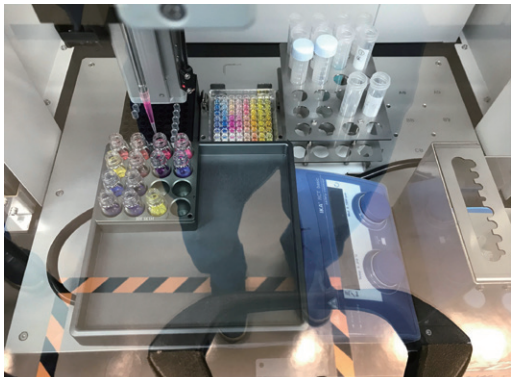


Fig. 2 An automatic pipetting device prepared samples and pipetted into a 96-well glass plate.

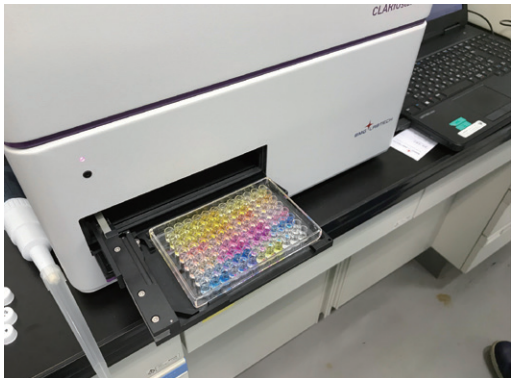


Fig. 3 A microplate reader measured absorption spectra up to 96 samples at once.

以上の操作を行うことで，約800種の有機化合物の吸収スペクトルを取得し，最も長波長側のλ_{max}を機械学習の目的変数として使用した。一般的な分光光度計を用いた手作業による測定時間と比較すると，作業効率を約5倍に向上させることができた。

3　説明変数の生成

3.1　構造の記述子と溶媒の極性パラメーターの生成

機械学習を行う前に，各構造の特徴を数値として記述した変数を用意する必要がある。本取り組みでは中性の有機化合物を対象にし，SMILES記法によってalvaDesc[4]で構造の記述子を生成して，その記述子を説明変数として使用した（Table 1）。

また，分光吸収スペクトル測定では溶媒の極性によってλ_{max}がシフトすることが知られている。この波長シフトの挙動を考慮するために，Rohrschneiderの極性パラメーター[5]を説明変数に追加した（Table 1）。

Table 1　How to prepare the explanatory variable and the number of them before/after the dimensionality reduction.

	Software and literature	Number of explanatory variables before the dimensionality reduction	Number of explanatory variables after the dimensionality reduction
Structure descriptor	alvaDesc[4]	3874	106
Rohrschneider's polarity parameter	Web site[5]	1	1
Calculated absorption wavelength	Gaussian[6] (DFT/TDDFT)	1	1

3.2　DFT/TDDFT計算による吸収波長の算出

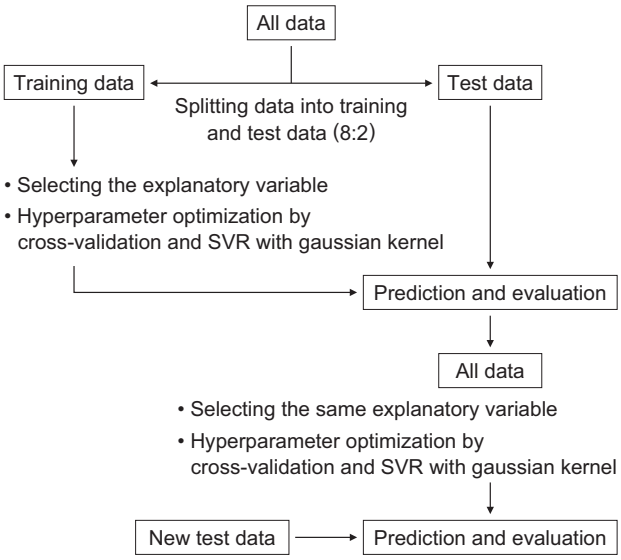
各有機化合物の電子状態計算はGaussian16[6]を用いて，B3LYP汎関数と6-31G**基底関数の計算レベルで行った。DFT計算により基底状態における構造最適化を気相条件下で行い，次いでTDDFT計算を実行することで，各励起状態に対する吸収波長を算出した。得られた計算結果に対し，各励起状態への電子遷移における振動子強度を配慮しながら説明変数として使用する吸収波長を選定した（Table 1）。

4　予測モデルの作成と考察

4.1　λ_{max}予測モデルの作成

第三節で得られた有機化合物の化学構造の記述子，Rohrschneiderの極性パラメーター，TDDFT計算で求めた吸収波長を説明変数としてデータセットを作成し，中性の有機化合物を対象にしたλ_{max}の予測モデルの作成を試みた。

Scheme 1に示したように，2151個のデータを，トレーニングデータとテストデータとして8：2に分け，予測に必要な説明変数のみを効率的に抽出するためにLasso回帰等で各説明変数の重要度を評価し，重要度が極めて低い説明変数を削除した。トレーニングデータを用いて説明変数を絞り込んだところ，構造の記述子に加えて，Rohrschneiderの極性パラメーターも重要な説明変数であり，溶液中におけるλ_{max}の予測では溶媒の極性に関するパラメーターが有効であると言える。さらに，TDDFT計算で算出した吸収波長は最重要因子として挙がっており，TDDFT計算結果を機械学習に組み込むことの有用性が示された。



Scheme 1　Overview of the machine learning workflow.

説明変数の削減後に，ガウシアンカーネルを用いたSVR[7]によって回帰モデルを作成した。その際，ハイパーパラメーターは10分割交差検証法で決定した。トレーニングデータによる回帰モデル（Fig. 4）ではR^2値が0.98，RMSEが16.6 nmを示した（Table 2）。

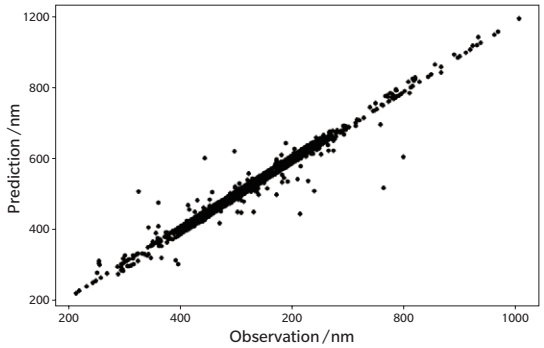


Fig. 4　Prediction via the machine learning on training data versus Observation on the maximum absorption wavelength of neutral organic compounds.

Table 2　Evaluation of R^2 (or Q^2) scores and RMSE values in SVR with gaussian kernel by each data.

	R^2 (or Q^2) score	RMSE / nm
Training data	0.98	16.6
Test data	0.90	33.1
All data	0.98	15.3

次に，回帰モデルを用いてテストデータを利用して検証したところ，以下の定義式（1）からQ^2値が0.90，RMSEが33.1 nmであった（Table 2）。

$$Q^2 = 1 - \frac{\sum_1^n \left(y_{obs,\,i} - y_{pred,\,i} \right)^2}{\sum_1^n \left(y_{obs,\,i} - \bar{y}_{obs} \right)^2} \qquad (1)$$

Fig. 5 から短波長側の予測精度が低いものがあるが，Q^2値も高いことから，予測モデルは過学習をしておらず，汎化性能が高いと考えられた。

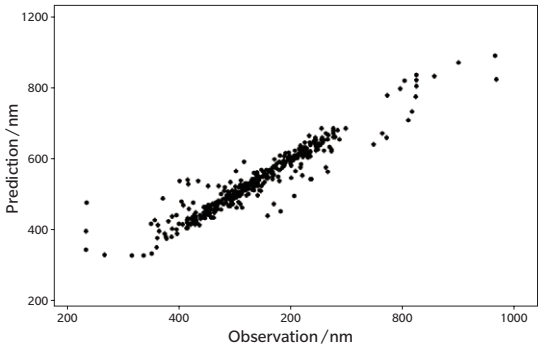


Fig. 5 Prediction via the machine learning on test data versus Observation on the maximum absorption wavelength of neutral organic compounds.

上記の結果から，説明変数の削減およびSVRによる予測モデルの作成方法には大きな問題がないことが分かった。そこで，特に重要度が高い説明変数を使用し，全データを用いたSVRによる予測モデルの作成を行った（Fig. 6）。その結果，R^2値が0.98，RMSEが15.3 nmを示し（Table 2），予測精度がより高いことが分かった。

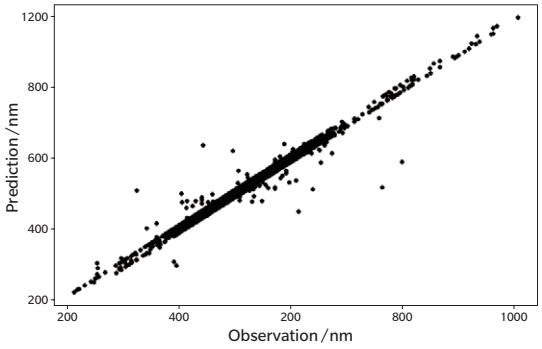


Fig. 6 Prediction via the machine learning on all data versus Observation on the maximum absorption wavelength of neutral organic compounds.

4. 2　予測モデルの予測精度と適用範囲に関する考察

4. 1で作成した予測モデルの予測精度を考察するために，新たに中性の有機化合物の実験データから48個のテストデータを用意し，本予測モデルを適用して得られたλ_{max}の予測値とその実験値を比較した。比較した結果，RMSEが39.7 nmと大きい値を示すことが分かった。これはテストデータにモデルの適用範囲外のデータが混在していることが原因と考えられる。

DFT/TDDFT計算とは異なり，機械学習では適用範囲の可視化を行うことで予測の信頼性を評価できる。この適用範囲はデータ密度と関係があり，データ密度が高いとモデルの適用範囲内であることを示す。そこで，k近傍法[8]によりトレーニングデータの各データ間の距離を算出することでデータ密度を推定し，予測結果のRMSEに配慮しながらモデルの適用範囲を評価した。モデルの適用範囲を評価した結果，適用範囲内にあたるテストデータ数は12個と少ないものの，その適用範囲内のデータでの予測結果ではRMSEが8.4 nmを示し，予測精度の高いモデルを作成することができた。

以上から，本予測モデルは，膨大な有機化合物の候補から所望のλ_{max}を有する有機化合物候補を選定する方法として利用できる。また，今後は同様な方法によって実験及び計算データを増やすことで，予測モデルを改良することができ，モデルの適用範囲を広げることに繋がると期待できる。

5　結び

本稿では，DFT/TDDFT計算とハイスループット実験を組み合わせて機械学習に活用することで，λ_{max}の高精度な予測モデル（RMSE<10 nm）が構築でき，分光光度計を用いた手作業に比べ約5倍の作業時間の効率化を示すことができた。

本稿で作成した予測モデルは製品開発に向けた有機化合物の選定に利用できるだけでなく，本予測モデルの作成方法を応用することで，多様なテーマへの横展開が可能であり，今後のMIを活用した材料開発に貢献していきたい。

●参考文献

1) Kronberg, R., Lappalainen, H., Laasonen, K., *J. Phys. Chem. C*, 125, 15918 (2021)
2) 小田 一磨：「マテリアルズ・インフォマティクスQ&A集―解析実務と応用事例―（第2章, 問13）」, 情報機構, 99–103（2020）
3) Shields, B. J., Stevens, J., Li, J., Parasram, M., Damani, F., Alvarado, J. I. M., Janey, J. M., Adams, R. P., Doyle, A. G., *Nature*, 590, 89 (2021)
4) alvaDesc | 株式会社アフィニティサイエンス https://www.affinity-science.com/alvadesc/ (2021.10.26)
5) 各種溶媒の極性に関する指標 https://www.shodex.com/ja/dc/06/0117.html (2021.10.26)
6) Frisch, M.J. *et. al.*, Gaussian 16, Revision B.01, Gaussian, Inc., Wallingford CT (2016).
7) Nello Cristianini, John Shawe-Taylor（著），大北 剛（訳）：「サポートベクターマシン入門」，共立出版，129–163（2005）
8) 元田 浩, 津本 周作, 山口 高平, 沼尾 正行：「データマイニングの基礎」，オーム社，39–41（2006）

画像IoTプラットフォーム「FORXAI（フォーサイ）」

Imaging IoT Platform “FORXAI”

コニカミノルタDXの要「FORXAI」と人流マーケティング事業

Konica Minolta DX's Key "FORXAI" and People Traffic Analysis Business

樅島拓夢＊　矢口実＊＊　小島和浩＊＊＊　正木賢治＊　柴谷一弘＊

Takumu KABASHIMA　Minoru YAGUCHI　Kazuhiro KOJIMA　Kenji MASAKI　Kazuhiro SHIBATANI

要旨

コニカミノルタは今まで培ってきた画像IoTのコア技術を活用し，お客様やパートナー企業と一緒に社会のDXを加速させる画像IoT PlatformであるFORXAIを立ち上げた。FORXAIではデバイスから得られる様々なデータを取得し，サイバー空間上で整理，AIによる分析結果をリアルタイムに実世界にフィードバックする。また，FORXAIではビジネス環境の変化に着目し，画像IoT技術をオープンプラットフォームとして公開する。これにより，様々な企業が自由にバリューチェーンへ参画し，パートナー企業が持つサービスを相互活用できるエコシステム構築を目指している。

FORXAI事例の一つである「人流マーケティング」では，ネットワーク構築の技術力を強みとする丸紅ネットワークソリューションズ株式会社と協業し，大型商業施設などの店頭マーケティングで発生している「消費者行動の分析」や「人流に合わせた店舗配置／商品陳列の検討」などの分析ソリューションを我々は展開している。人物の性別や年齢，服装色などの人物属性情報を画像から取得するFORXAIの属性認識技術とカメラ間で撮影された属性情報を照合する人物同定処理技術を使い，スマートシティや商業施設における来店者分析を可能とした。

この事例に限らず，コニカミノルタはFORXAIを活用し，パートナー企業と共にビジネスを拡大し，エコシステムの構築を通してデジタル社会の発展に貢献する。

Abstract

KONICA MINOLTA has launched "FORXAI", an Imaging IoT platform that accelerates the DX of society together with customers and partner companies, utilizing the core technology that it has cultivated so far. FORXAI acquires various data obtained from devices, organizes them in cyberspace, and realizes advanced analysis in physical space by AI processing in real time. In addition, FORXAI focuses on changes in the business environment and publishes Imaging IoT technology as an open platform, aiming to allow various companies to freely participate in the value chain and build an ecosystem that utilizes the services of partner companies.

In People Traffic Analysis, which is one of the FORXAI cases, we collaborated with Marubeni Network Solutions Inc., which has strengths in network construction technology. As a result, we provided solutions to analytical issues such as analysis of consumer behavior occurring in store marketing of large commercial facilities and examination of store layout /product display according to the traffic of people. We use FORXAI's attribute recognition technology, which acquires personal attribute information such as the gender, age, and clothing color and more of a person from an image, and the person identification processing technology, which collates the attribute information taken between cameras, it has made it possible to analyze visitors in commercial facilities and a smart city.

Not limited to this case, KONICA MINOLTA will utilize FORXAI to expand our business together with partner companies and contribute to the realization of a Digital Society through the construction of an ecosystem.

＊画像IoTソリューション事業部　FORXAI推進部

＊＊IoTサービスPF開発統括部　データサービス技術部

＊＊＊IoTサービスPF開発統括部　AI技術開発部

1　はじめに

近年，データやIT技術を活用し，急速に成長する企業が世界的に増えている。これらの企業は，ソフトウェアやクラウドの最新技術を最大限に利用し，データ活用に基づくお客様への新たな価値や体験をサービスとして提供することで，世界規模に成長している。これらのビジネスは成長する過程でプラットフォームの概念を生み出し，業界・業種を超えた破壊的イノベーションを引き起こしている。これからのビジネスでは，新規事業の創出において，このようなプラットフォームを活用することが必須であるのは周知の事実である[1]。

コニカミノルタは，ビジネス環境の激しい変化に即時に対応し，持続的なデジタル社会の実現に貢献するために中期経営戦略「DX2022」を掲げている。

このDX2022を推進する上で要としたのは画像IoT技術である。コニカミノルタの画像IoT技術には3つのレイヤーがあり，①現場（エッジ）サイドで必要なデータ・情報を取得するエッジデバイス，②今後のデータビジネスのキーとなり，データの管理を行うIoT Platform，③得られたデータをAI技術によって解析することでお客様に最適な提案をするImaging AIから構成されている。コニカミノルタはこれまで社内で利用していたこれらの技術を社外にも提供するため，画像IoT技術のオープンプラットフォームFORXAIを2020年11月に立ち上げ事業化した。このFORXAIは自社技術だけではなく，パートナー企業やお客様保有の技術を自由に組み合わせることで，多種多様なニーズに応えることを可能にしている。

コニカミノルタはFORXAIを当社DXの礎とし，プロダクト提供から高付加価値サービス提供へとビジネスモデルの変革に取り組んでいる。ここではビジネス環境の変化に対応するFORXAIの概要と，技術，FORXAIを活用したパートナービジネスの実例を紹介する。

2　FORXAIビジネスとは

2.1　ビジネス環境の変化

ビジネス環境の変化に伴い，筆者らは自社のビジネスケイパビリティ（組織が価値を創出できる事業能力）を超えたビジネス構築が重要だと捉えている。従来のビジネスモデルでは各企業が自社の持つビジネスケイパビリティを用いて，単独で価値創出を行ってきた。これは競合他社に優位性を持ったうえで，提供した製品がそのまま事業価値につながった時代であったからである。一方で，これからのデジタル社会では企業はデジタルケイパビリティ（組織がデジタル化を推進する能力）を活用し，データを介して複数の企業やお客様と一緒に価値創出することが求められている。これまでのように，優れた製品を提供することではなく，顧客体験や顧客に応じた個別最適化されたサービスを提供することが事業価値へとつながることに変化した。このようなビジネス環境では，単独の企業で顧客価値創出を行うのではなく，複数の企業で協業して顧客価値創出することが前提となる。多種多様の知見やノウハウ，技術を持った企業が共通の仕組みを使ってシームレスに繋がり，事業共創をすることがこれからの事業にとって最も重要なポイントとなっている。

2.2　FORXAIが目指すもの

コニカミノルタはこのビジネス環境の変化に対応するため，データとIT技術を活用する基盤となるFORXAIを立ち上げた。FORXAIは様々なお客様の課題を解決するため，現場の生データを取得し，AIを活用した分析結果をリアルタイムに実世界にフィードバックすることができる制御技術の集合体である。コニカミノルタのDX推進にとってFORXAIは要と言える存在である。

FORXAIはパートナーとのエコシステムを構築し，お客様にとって最も良いサービスを提供するための顧客価値共創のハブとなることを目指している。

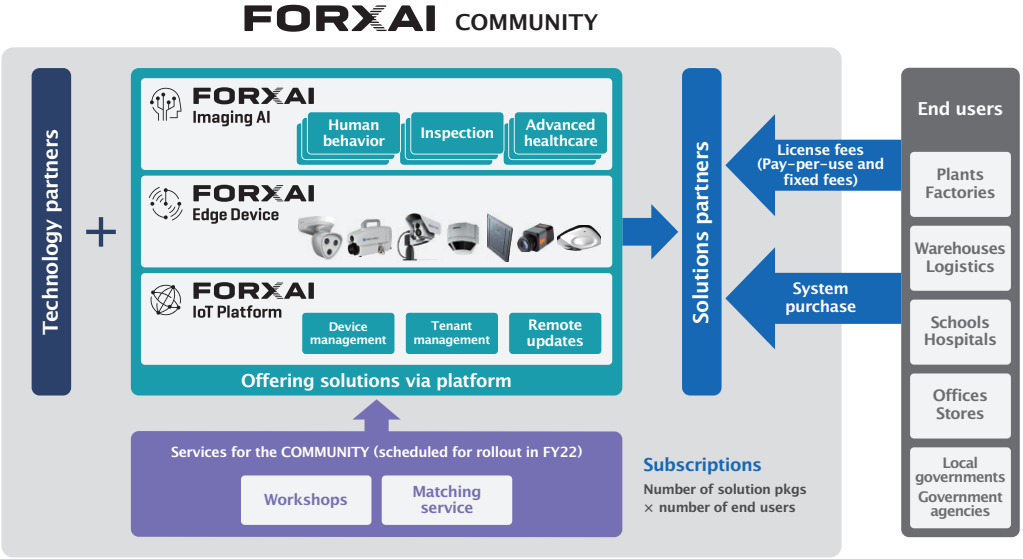


Fig. 1　FORXAI sales channels and business model.

2.3　パートナーエコシステムの構築

FORXAIは，コニカミノルタの画像IoT技術をオープンプラットフォームとしてパートナーに公開する。Fig. 1で示すようにFORXAIでは様々な企業が自由にバリューチェーンへ参画し，パートナー企業が持つサービスを相互活用することを想定している。コニカミノルタと補完関係にある技術や業界の専門性，販売網などを持つパートナー企業と協業することでお客様に新たな価値提供を行うことを促進している。この様々な企業と協業する新規事業創出の仕組みを「パートナーエコシステム」と呼び，連続的にイノベーションを生み出すことを目標に研究開発を進めている。

今後，FORXAIが実現するデジタル社会では，コニカミノルタとパートナー企業の垣根をなくし，各社の持つデジタルケイパビリティと連携したエコシステムを構築し，パートナー企業と共に成長していく姿を描いている。

3　FORXAIを構成する技術

FORXAIはImaging AI, IoT Platform, Edge Deviceの3つのレイヤーから構成される技術群である。FORXAIを活用することで，Imaging AIは，Edge Deviceで取得したデータや情報をIoT Platformで簡単に蓄積・整理することができる。さらに，Imaging AIは，蓄積された画像データを高速・高度に処理するAIエンジンであり，画像に特化したエンジンであることが特徴である。以下にそれぞれの技術について紹介する。

3.1　Imaging AI

Fig. 2に示すとおり，Imaging AIは，画像解析を行うための高速・高度なAI処理技術群である。特に，この画像処理技術を使い，姿勢推定や人物属性検知などの「人行動」，X線動態解析や画像バイオマーカーなどの「先端医療」，欠陥検出や分類などの「検査」の3つの領域に強みがあり，今後の注力領域でもある。

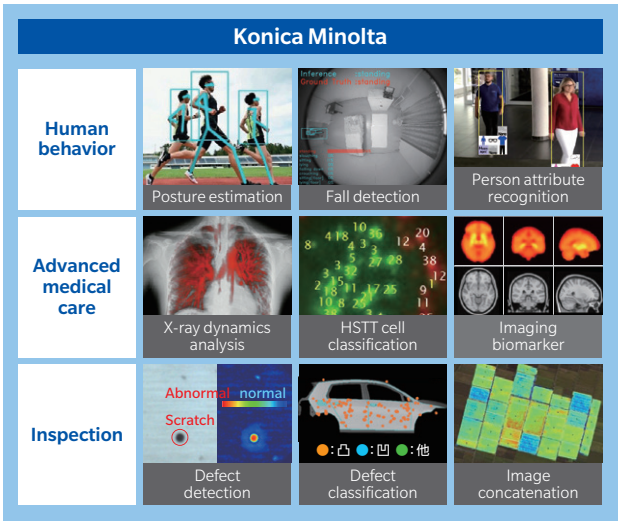


Fig. 2 Overview of Imaging AI technology that Konica Minolta's Strengths.

3.2　IoT Platform

Fig. 3にIoT Platformの概念図を示す。IoT Platformは，Device management agentを介して，プラットフォームに接続されたDeviceを管理することができる。

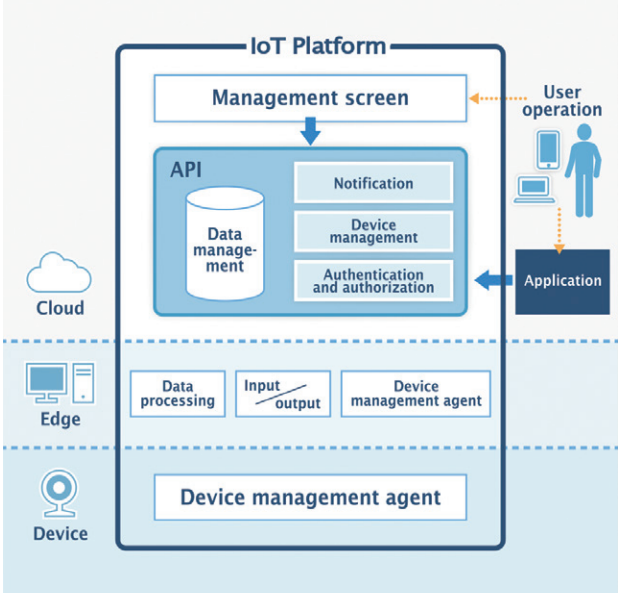


Fig. 3 Overview of IoT Platform.

Deviceから得られたデータは，IoT Platformで蓄積・整理される。Cyber Physical System（サイバーフィジカルシステム）とも呼ばれており，あらゆるエッジデバイスから膨大な情報（ビッグデータ）を取得し，インターネットを介してクラウド上にデータが通信され，分析・解析を行う。IoTを使って事業を行うには必須の機能である。

3.3　Edge Device

Fig. 4にコニカミノルタの特徴的なEdge Deviceを示す。Edge Deviceは，機械の状態をリアルタイムで監視する事業やサーマル機能付き産業用カメラ，ガス監視カメラ，3Dレーザーレーダーなどの事業に活用される。

Fig. 4 Konica Minolta's Edge Devices example.

4　人流マーケティングへの適用

4.1　ユースケース

FORXAIを活用する取り組みの一つとして人流マーケティング事業への適応を紹介する。現在，大型商業施設などの店頭マーケティングでは，消費者一人一人がどのような行動をとっているのかを分析し，店舗の配置や商品の陳列などに人の流れに合わせた戦略が導入されつつある。

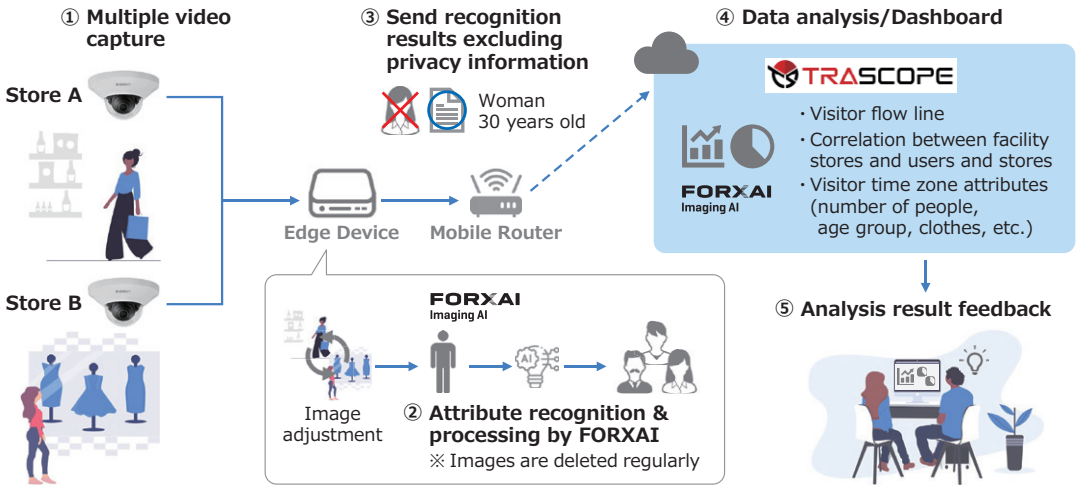


Fig. 5 Business model of People Traffic Analysis.

多くの商業施設では移動する人の動きを分析するための人員を投入して計測していた。これを自動化させようと多くの企業がシステム化に取り組んだが，いくつかの課題があった。例えば顔認識による方式では，マスク装着することで顔の特徴点が隠れてしまい認識精度が著しく低下してしまう。また，顔画像では個人情報にあたる顔画像の取り扱い，プライバシーの懸念もある。骨格検出[2]による方式では，顔認識と違いプライバシーの懸念はなかったが，人の真横からカメラで撮影する必要があるため，設置時において画角調整が非常に煩雑であると言われている。

そこでコニカミノルタはFig. 5に示す「人流マーケティングソリューション」を開発した。このソリューションでは服装や持ち物も含めた人物の全体像から属性を判別する属性認識技術（Fig. 6）を応用し，属性のマッチ率で同一人物を判定することができる。

この技術を応用してスマートシティや商業施設における来店者分析を可能にするソリューションを展開している。属性認識技術を利用することで，個人を特定することなく，異なる地点のカメラに映る人物を追跡することができる。

Fig. 6 Attribute Recognition sample.
*This is only sample. There is actually no function to store the captured image of a person.

顔認証で課題となっていたマスクや帽子で顔が隠れていても同一人物の認識と追跡が可能であり，個人特定を行わないため来店者のプライバシーにかかわる懸念をなくすことができた。さらにFORXAIの画像処理技術により，これまで難しかった複数のカメラ間での画像整合性の問題（照明条件など）を解決した。

この人流マーケティングは，施設内店舗間の相互利用者数，来場者の時間帯別属性，来場者の動線といった来場者のマーケティングデータを，消費者のプライバシーに配慮しながら自動的に取得でき，より効率的な販売戦略の構築や課題解決を支援する。また，AI処理を使うことで常に同一の基準でデータを比較判断することができる。結果として，業種業態が異なる施設においても同一の観点で比較可能なデータとして計測することができるようになった。今後，導入される商業施設においても，この人流マーケティングの計測結果を用いて人流，来客層を分析し，新規テナントのオープンに貢献することを目指している。

本ソリューションは，コニカミノルタ単独ではなく，ネットワーク構築に関するノウハウや映像AI分野での高い営業力を持った丸紅ネットワークソリューションズ株式会社と協業し，販路拡大を図っている。また，丸紅ネットワークソリューションズ株式会社に現場への最適な提供方法の検討やお客様課題の吸い上げ，コンサルティングを行ってもらうことで，コニカミノルタは技術の研究開発に専念することができ，それぞれの強みを活かすことができている。これはFORXAIが目指しているエコシステムの構築の一例である。

4. 2　FORXAI技術による共創

人流マーケティングでは数多くのFORXAI技術を活用している。その中でも最もコアな技術は属性認識技術である。カメラに写った動画から人間と認識して検出すると同時に，性別，年齢層，上下服装，帽子の有無，カバンの有無，メガネの有無など複数の項目を分析する技術である。

この属性認識技術を基に人物にID付け，IDのマッチングを行った技術が人流マーケティングに適用されている。人流マーケティングではこの人物属性の一致度を活用して同一者と認識している。そのため，顔認識では苦手としたマスク顔への対応だけでなく，正面以外の角度からでも判定が可能になった。さらに，服装の色認識ができるため，ファッショントレンド分析への応用も期待されている。ここには，設置されたカメラ間の環境条件を揃えるためにコニカミノルタが得意としている色補正技術も活用している。この技術により，ほとんどの既設カメラで人流マーケティング分析を行えるシステムになっている。なお，性別，年齢層については，物理的な外観に基づいており，実際の人物の性別・年齢を示すものではない。

このシステムではカメラデバイスや現場（エッジ）サイドのサーバーのリモートメンテナンスにIoT Platformを活用している。これにより運用保守のコストを大幅に削減することができた。死活監視とは，機器やシステム，ソフトウェアなどが正常に動作しているかを外部から定期的，継続的に調べる仕組みである。現場（エッジ）サイドで利用されるログデータを取得して，各機器やシステムの状況を一括監視することができる。また，デバイスと接続する仕組みを用いてリモートメンテナンスすることも可能である。事前に登録された暗号情報を用いてデバイスとより安全に通信し（デバイス・システム間認証），遠隔地からアップデートやトラブル対応を行うことができる。

この人流マーケティングのシステムは，コニカミノルタのFORXAIと丸紅ネットワークソリューションズ株式会社のAI映像監視サービス「TRASCOPE-AI」から構成されている。店舗内の現場サイドサーバーからクラウド上でのデータ分析・解析はFORXAIが担当している。クラウド部分の構築はTRASCOP-AIが担当している。FORXAI技術を用いることで，パートナー企業である丸紅ネットワークソリューションズ株式会社との共創で新たなシステムを構築し，新たなサービスを開発することができた。

この取り組み事例を基に，今後は海外展開や協業パートナーの拡大といった販路拡大施策やシステムの汎用性向上に取り組んでいく。また，取得したデータを有効活用することで，新たなデータサービスの創出にもつなげる。更に，FORXAI機能を充実させることでパートナー企業との共創を発展させ，共創により新たな顧客価値創出を行っていく。

5　まとめ

FORXAIは，デジタル社会の構築において，コニカミノルタのDX推進の要となる。

コニカミノルタがこれまで培ってきたEdge Device技術，IoT Platform技術，Imaging AI技術を活用して，顧客ニーズの多様化に即時に対応し，最適化することで，FORXAIを軸としたデジタル社会の構築を目指す。また，FORXAI技術を活用した人流マーケティング事業では引き続き丸紅ネットワークソリューションズ株式会社との協業でお客様への価値提供を行っていく。

ここで紹介した事例に限らず，コニカミノルタはFORXAIを使ってパートナー企業と共にビジネスを広げ，エコシステムを構築し，デジタル社会の発展に貢献していく。

●参考文献

1) Gartner Inc. Building a Digital Business Technology Platform
2) 関井大気 “Pose Proposal Networks” Konica Minolta Tech. Rep., pp.12–21 Vol.16 (2019)

製造業におけるFORXAI IoT Platformの活用

Applications of FORXAI IoT Platform for Manufacturing Industry

吉　澤　将　則＊　　竹　田　健太郎＊＊　　髙　橋　光　一＊
Masanori YOSHIZAWA　　Kentaro TAKEDA　　Koichi TAKAHASHI

要旨

製造業においては未だデジタル技術の取り込み，DX化が十分にできていない生産現場が多く存在しており，改善の余地がある。この現状に対し，コニカミノルタは自社の生産現場の分析により先行して課題を発見することで，画像技術とIoT技術を組み合わせた“画像IoT”システムによる解決策の提案につなげている。生産性の向上や労働安全など解決すべき課題は多岐にわたっており，それらを解決するシステムを効率的に開発する必要がある。

そこで，コニカミノルタが開発した共通基盤であるFORXAI IoT Platform（以下，IoT Platform）を活用し，製造現場のカメラ映像を解析し活用するための共通アーキテクチャを策定した。製造現場の課題の多くはカメラ映像の解析により可視化することができるため，「製造業工程の生産性可視化」や，「労働安全ルール遵守の可視化」といった機能を共通のシステムの中で構築することが可能となった。今後，他の用途にも容易に展開できると考えている。

本稿では，IoT Platformを用いた製造業向けサービスの共通アーキテクチャと開発事例について説明する。

Abstract

In manufacturing industry, there are so many companies and sites that have not sufficiently adopted digital technology and DX. To promote DX for the industry, Konica Minolta investigate issues by analyzing our own production site in advance and proposes “Imaging IoT” solutions for the issues by using combination of our imaging technology and IoT system. Since there are a wide variety of issues, such as productivity and industrial safety, it is necessary to develop them efficiently.

Therefore, we developed the common architecture for analyzing and utilizing camera images at manufacturing site. The architecture is based on FORXAI IoT Platform (hereinafter referred to as IoT Platform) by Konica Minolta. Since most of the issues at manufacturing site can be visualized by analyzing camera images, it is possible to make solutions such as “productivity visualization” and “compliance visualization for safety” in the common system. We expected that it can be easily expanded to other uses in the future.

This document describes cases of service development for manufacturing industry by using our IoT Platform and architecture.

＊画像IoTソリューション事業部　FORXAI推進部　パートナーエンゲージメントグループ
＊＊IoTサービスPF開発統括部　アーキテクチャ開発部　第1グループ

1　はじめに

各種センサーやカメラなどの様々な「モノ」をインターネットに接続し，収集したデータを活用するIoT（Internet of Things）という概念が注目されて久しいが，デジタルトランスフォーメーション（DX）の加速が叫ばれていることも相まって，以前と比べ企業や個人の日々の活動にデジタル技術が広く浸透してきている。

一方で，製造業においては未だデジタル技術の取り込み，DX推進が十分にできていない生産現場が多く存在する。そうした現場でデジタル技術を用いた改善に遅れが生じている理由として，デジタル技術の初期導入コストの高さや近年のデジタル技術に精通した人財確保の難しさ，といったものがある。我々は顧客接点も多く，さらに自社ノウハウがあることを強みとして製造業へのDX化を支援することで，価値提供を推進している。

DX化に必要な技術として，コニカミノルタではエッジIoTの共通基盤となるIoT Platform[1]を開発した。なお，本稿では，CPSプラットフォーム（Cyber Physical System Platform）とIoT Platformは同義として取り扱う。

本稿では，IoT Platformを用いた製造業向けサービスの事例を元に，それを実現するためのアーキテクチャ策定のポイントの解説並びに開発事例の紹介を行う。

2　生産現場の課題

製造業の生産現場における課題のうち，安定稼働に重要な要素である，「生産性に関する課題」と「労働安全に関する課題」について，注目した。

2.1　生産性

生産性に関する顧客課題について我々は調査を進め，それは「稼働率の把握が十分に出来ていない」ということであるということがわかった。多くの生産現場において，複数の生産設備を並行して操作する作業者が多くいる実態がある。同時並行作業をすることで，作業者が設備の稼働状態の変化に気付き難く，設備が停止しているにもかかわらず後続の作業を進めない時間帯が生じる場合があり，こうした時間が稼働率の低下につながっている。

この稼働率の把握を阻害するのが「非効率な作業の存在」である。日々の作業手順は作業者個人に依存する場合があり，作業者によっては「非効率な作業」を行っていることがある。ところが，生産現場の管理者が作業者ごとの日々の詳細な作業内容まで把握することは難しく，現状の分析を正しく行うこともできず，非効率な作業に対する対策を打てないという状況に陥っている。

結果として適切な製造原価の設定が難しくなる。一般的に生産設備の稼働時間を生産実績として原価へ反映することが多いが，設備だけでなく現場作業者の作業実績を含めないと原価を過少に設定することにつながってしまう。

このように，作業者の日々の作業内容を管理者が正確に把握することは困難で，日報や作業者自身からの口頭報告に頼り，作業実績を管理している生産現場は未だに多く存在する。

2.2　労働安全

生産現場を安定して稼働させることは企業活動として重要である。安定稼働に寄与する一つの重要な因子として労働安全性がある。製造業においては危険な作業や現場も存在し，労働災害が発生すると製造工程を停止せざるを得ないケースも発生しかねない[2]。

また，社会課題である人手不足による影響を製造業も受けており，それに伴って実現場では非正規労働者や外国人労働者といった知見が少ない労働者に頼らざるを得ない状況である。さらに，多くの知見を持つ熟練作業者の多くは団塊世代が中心で，こうした作業者の持つ業務ノウハウが次の世代に十分に引き継がれないことも多く，労働災害は高度経済成長以降減少傾向にあったが，近年は下げ止まった状態が続いている[3]。

労働災害が起きた場合に経済活動に与える悪影響は大きく，事故や災害の防止に向けての官民を挙げての取り組みが盛んになっている。その一方で，生産現場の安全管理担当者はその他の業務と並行しながら少ない現場リソースで安全活動を推進しており，現場のリスク管理に多くの課題を抱えていることが，コニカミノルタ自社の生産現場を分析している過程で分かった[4]。

コニカミノルタでは自社内の労働安全課題を解決するための取り組みとして，コニカミノルタの持つエッジデバイスとIoT Platformを活用した現場の課題解決に取り組んでいる。本取り組みではルール遵守状況を可視化することで安全な現場を実現する手法を提案している。

3　仕様

3.1　ユースケースの設定

これらの生産現場における課題に対し，我々は共通基盤のIoT Platformやエッジコンピューティングの技術を用い，現場課題の解決に向けたシステムを策定するために必要なユースケースを設定した。

「生産現場の生産性可視化」の課題に対するユースケースとして，生産現場における現場管理者が，作業者からの報告に頼らずに日々の現場稼働率を確認できるようにすることを目的としたユースケースを想定しサービス開発を行った。Fig. 1はそれを支援するための概略ユースケース図である。生産設備の動脈である設備の稼働率並びに，そこに関与する人物の有無を可視化することを目標に設定した。設備の稼働率にかかる手がかりとして，併設されたシグナルタワーの接点信号をクランプセンサーによって稼働状態を収集して時系列に動作実態を把握する。また，人物の有無については設備周囲を俯瞰して撮像するカメラ映像を用い，画像解析によって結

果を得ることを想定した。これらのデータをクラウド上に統合し，時系列に実態を把握できるようにするためのダッシュボードを設ける形を目指した。

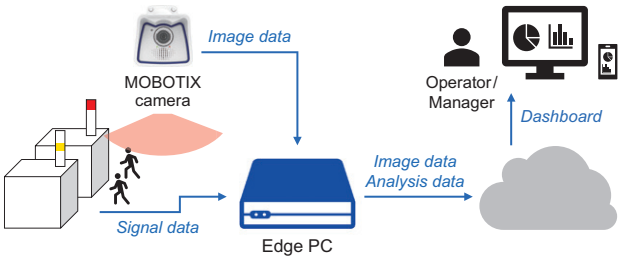


Fig. 1 Use case of manufacturing visualization.

「生産現場の労働安全のためのルール遵守状況の可視化」のユースケースでは，生産現場において台車やフォークリフト等が走行する通路での安全監視を目的としたユースケースを取り上げる。Fig. 2 の概略ユースケース図に示す通り，安全センサーの信号情報若しくは画像解析によるルール違反の検出を行い，その結果をダッシュボード上に表示するようなサービスを目指した。

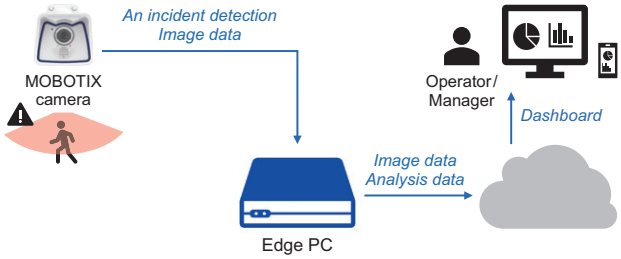


Fig. 2 Use case of safety behavior monitoring.

いずれのユースケースにおいても構成するシステムアーキテクチャは共有できるものとし，ユーザーインターフェース部分をそれぞれのユースケースに適した形で開発を行っている。また，センサー機器が設置されている現場から，遠隔の環境下であっても執務用に利用しているPCがクライアントPCとして利用できるシステム構成を想定した。そのため，設置現場にデータ解析やクラウドへのアップロード処理等を行うエッジPCを設置することを前提としている。

3.2 アーキテクチャ

Fig. 3 は本システムの概略システム構成を示している。カメラによる映像データ，センサーもしくは設備（若しくは併設されたシグナルタワー）からの信号は現場に併設されたエッジPCへ入力される。エッジPCでは，これらの入力を受けてデータ解析を行い，結果をクラウド（IoT Platform）へアップロードを行う。尚，本システムにおいては，屋外もしくは半屋外での設置が想定されることや，GPU活用によるAI画像解析の実現の両立を鑑みて温度拡張性の高いJetson Nanoモジュールを使用したエッジPCを採用している。

アップロードされたデータを可視化するためのダッシュボードは，ウェブアプリを通じてクライアントPCから閲覧することが可能となる。クラウド経由とすることでシステムが物理的に小型化されて設置性が改善し，さらに遠隔からの確認や複数拠点のモニタリング用途に応えることが出来るようになる。また，エッジPC内の設定はクライアントPCから設定を行うことが出来る。

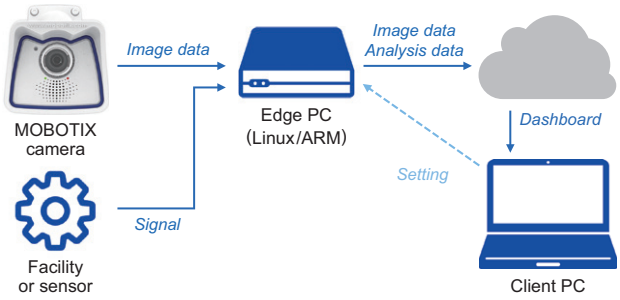


Fig. 3 The system architecture (hardware and cloud).

これらを制御するソフトウェアアーキテクチャ上の主要な構成要素をFig. 4 に示す。“Sensor Apps”ではカメラやセンサーデータの受信とデータ分析を行っている。なお，カメラ映像については，Imaging AI処理として，骨格検出処理を行い，人物行動解析用のデータに変換される。“Data Management/Event Publisher”では解析されたデータの整形と，イベント判定を行っている。

エッジPC内のデータや命令のやり取りを調停する役割を“Supervisor”が担っている。gRPCプロトコルを用いたメッセージと，メッセージごとに予約されたアクション実行によってモジュール間の結合が実現されている。アプリケーションを自動で再起動する常駐設定や，死活監視はエッジPCの可用性の向上につながっている。

イベント情報や，ダッシュボードで使用されるデータはAgent経由でIoT Platformクラウドへアップロードされ，更にユーザー向けの“Dashboard App”上で可視化される。

青色（あるいは水色）の要素はIoT Platformで提供されるソフトウェア要素を利用しており，我々はそれ以外の領域（プロジェクト固有のセンサー制御，データ制御，ダッシュボード）の開発に注力することが出来るようになった。

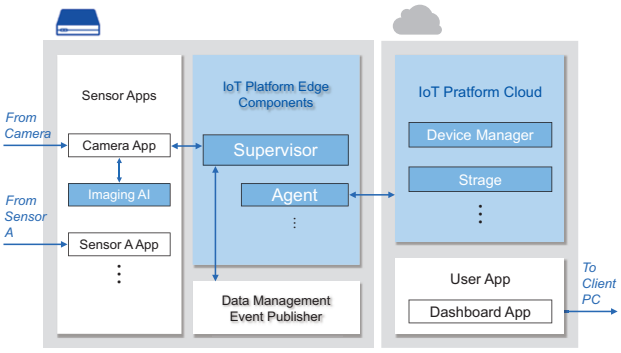


Fig. 4 Overview of the software architecture.

3.3　クラウドとデバイス間の制御

クラウドとエッジPC間の接続については，エッジPCにインストールされたAgentが，クラウド側とのやり取りするためのインターフェース役を担っている。ここでは，Agentからインストールされた機器の個体情報をクラウド側に通知し，クラウド側ではそれが認可された機器であるかどうかを確認することで認証を行う。この認証が成功するとエッジPCとクラウド間での通信が開始出来るようになる。また，Agentの持つ主要な機能の一つに，データアップロード機能がある。エッジPCからクラウドへのデータアップロードを行い，クラウド上にある，ストレージにデータを格納することができる。

エッジ側に設定されるファイアウォールによりエッジPCに許可していない外部からの通信を遮断することで，セキュリティへの配慮も行っている。

3.4　画像解析

カメラ映像からの人物行動解析を実現するために，本システムではFORXAI Imaging AI技術の一つである骨格検出アルゴリズムを採用している[5]。入力された画像に対して，Fig. 5 左に示すような画像上の骨格位置情報を得ることが出来る。

本システムの用途においては，得られた骨格位置情報のうち特定部位が所定の矩形の内部に含まれているかどうかの判定を行う。Fig. 5 右の図は『手首』の位置が水色で示された矩形内にある場合を示している。この判定を用いて，例えば機械作動中に手を入れて作業するような危険行為の抽出や，特定作業をしているかどうかの作業判定などに利用することが可能となる。

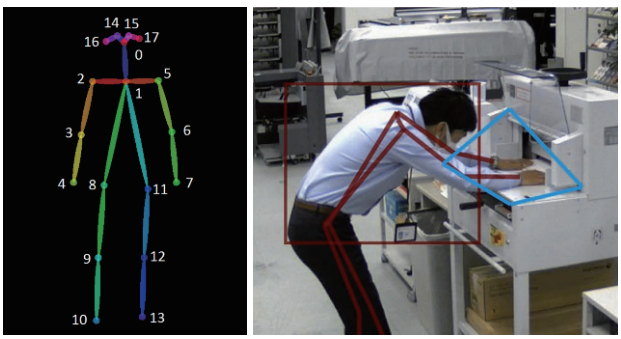


Fig. 5 Skelton detection.

3.5　データフロー管理

カメラ映像，カメラ映像の画像解析結果，センサーデータといった入力データは五月雨式に入力されて来るため，エッジPC内では各モジュール間の処理の整合をとり，イベントの抽出やその際のアクションを適切に実行することが求められる。本システムではFig. 4 のSupervisorがその役割を担い，モジュール間のメッセージのやり取りや，状態監視を行っている。このモジュールを仲介することで，データの入力～解析～イベントの判定～データアップロード等のアクションの実行という一連の流れを実現している。また，モジュールの動作状態を常駐して監視しており，異常停止したアプリケーションを検出すると当該アプリケーションを自動的に再起動させ可用性を向上させている。

4　本システムの活用事例

それぞれのユースケースでのユーザーインターフェースについて取り上げる。

4.1　生産現場における生産性の可視化

本ユースケースでは，生産現場の管理者が現場の設備稼働状況や，工程の稼働率を視覚的に把握しやすいようにすることを第一にユーザーインターフェース（UI）画面を作成した。

Fig. 6 は，可視化する対象設備の現在の稼働状況を一覧で表示しているUI画面であり，このUIから現場管理者は生産現場から離れた場所にいたとしても，遠隔で設備の現在の稼働状況を確認することが可能となっている。

Fig. 6 Andon screen (sample).

また，各設備の稼働率をより詳細に把握したい場合は，日付や期間を指定して振り返りができるようになっており，稼働率を設備ごとに分析することが可能となっている。

Fig. 7 は，ある設備における時系列での稼働状況をグラフ化したものである。これにより，稼働時間の大小を把握することができ，生産現場における生産計画の改善のための分析に役立てることができる。

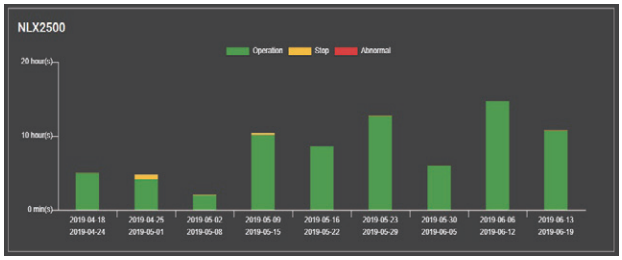


Fig. 7 Operation report screen (sample).

さらに，生産作業中の設備の稼働情報とともに作業者に関する情報をFig. 8 のように並べて比較することができる。この機能を通じて，何かトラブルがあったときにもカメラからの情報と合わせて，作業者がどこでどのくらいの時間作業に従事していたのか，もしくは従事していなかったのか，分析することができる。

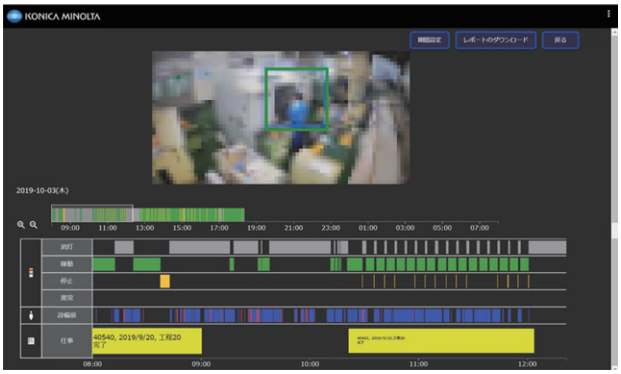


Fig. 8 Operation chart screen (sample).

4.2 労働安全のためのルール遵守状況の可視化

本ユースケースでは，生産現場内を所定の軌道で台車が走行する現場にて労働災害が起きないように，管理者が現場をモニタリングすることを想定し開発した。

労働災害につながりかねない行動や違反行動を自動的に検知し，その検知結果を管理・共有するためのツールとして提供している。

本ユースケースにおいて，コニカミノルタが開発した行動モニタリングシステム[6]の技術を本システムに組み込み，3D LiDARによる進入禁止エリアへの進入検知をトリガーとしたイベント検出を行っている。3D LiDARで検知した結果を撮影したカメラ画像と重ね合わせて可視化表示し，Fig. 9 のようにビューアー上に映し出すことが出来る。

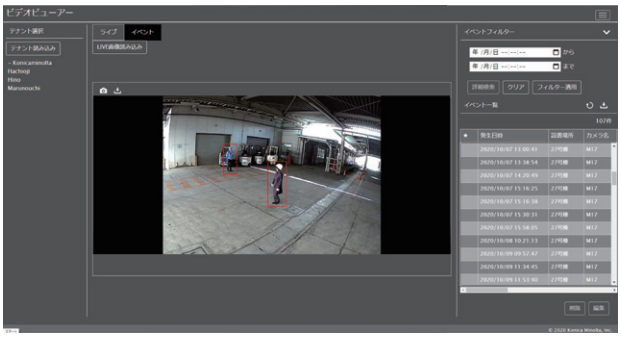


Fig. 9 Sample Image of Video Viewer.

夜間などのカメラだけでは検出が難しい条件下のイベント検出も，3D LiDARなどのセンサーデバイスを組み合わせることでより精度の高い検出が可能となり，生産現場における労災事故につながる事象の把握に役立てられている。

また，右側には検出したイベント一覧が表示されており，そのイベントを選択することで，事象発生時の映像を再生することができ，そこで何が起こったのか，なぜ起こったのか，リアルな映像を元に振り返り対策を練るための材料として活用できる。

これにより，今まで現場業務でどのように労働災害が発生しているのか把握する手段のなかった生産現場の安全管理者は，定量的にかつ記録映像からの事実に基づいて実態把握をすることが可能となり，日々の現場業務の安全確保に向けた対策や管理ができるようになることが期待できる。

5 まとめと今後の展望

本アーキテクチャを活用して，「生産性の可視化」と，「労働安全ルール遵守状況の可視化」との機能を共通のシステムの中で構築した。製造業向けサービス事例を実現するために，IoT Platformを用いてアーキテクチャを策定した。

IoT Platformを活用することによって我々はプロジェクトに特化した部分の開発に注力することができ，効率的に開発を進めることが出来た。

また開発を進める中でユースケースを整理すると，カメラ画像解析もしくはセンサーデータ解析を現場で行い，クラウドで結果の集約・可視化を行うというユースケースで共通化できることもわかった。こういったユースケースは他の用途のカメラシステムにおいても要望されており，本取組は容易にシステム構築できる点で非常に有効なものである。また本件は自社開発に限らずソリューション提供パートナーとの共創活動においても本技術を活用してサービス開始の高速化を支援する期待も高い。

本構成の製品パッケージ化をすすめ，FORXAI技術を利活用したサービスを自社開発のみならずパートナーとの共創によって広く展開し，社会貢献に繋げていく所存である。

●参考文献

1) 竹田健太郎 他：“コニカミノルタのエッジIoTを支えるCPSプラットフォーム” Konica Minolta Tech.Rep., pp.8–11 Vol.16 (2019)
2) 厚生労働省：“製造事業者向け 安全衛生管理のポイント”, pp.4–7 (2011)
3) 厚生労働省HP “労働災害発生状況”（2007–2021）https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei11/rousai-hassei/ (2021/10/25)
4) 菖蒲鷹彦 他：“安全情報を可視化する安全行動サポートシステムを活用した労働災害防止への取り組み” Konica Minolta Tech.Rep., pp.136–139 Vol.18 (2021)
5) 関井大気 “Pose Proposal Networks” Konica Minolta Tech.Rep., pp.12–21 Vol.16 (2019)
6) 吉澤将則 他 “センサーフュージョンによる行動モニタリングシステム” Konica Minolta Tech.Rep., pp.22–25 Vol.15 (2018)

FORXAI Recognitionの骨格検出アルゴリズムによるMFP組み立て工程改善

Improvement of MFP Manufacturing Process Using FORXAI Recognition Frame Detection

園山将士＊　森永雄二郎＊＊　矢口実＊　里見慎哉＊
Masashi SONOYAMA　Yuujirou MORINAGA　Minoru YAGUCHI　Shinya SATOMI

要旨

近年，生産製造工程は主にロボットを使ったオートメーション化が進み，24時間無人稼働する工場も増えてきている。しかし，MFP（複合機，Multi-Functional Peripherals）に代表される精密機器の製造組立はロボット化が難しい領域で，まだまだ人間の手で行われていることが実際である。一方で，人材不足を起因とする人件費の高騰は不可避であり，生産コストへの悪影響が懸念される。

組立工程の生産性の改善のために，QC（品質管理）やIE（生産工学，Industrial Engineering）の手法を活用して工程改善を図っているが，作業者の行動の定量化の為には分析担当者が対象工程を直接観察しており非常に工数がかかる。

今回は，FORXAI Recognitionの骨格検出アルゴリズムを活用して，作業者の行動定量化を行うことで，作業者の移動距離や間接作業時間の出力の自動化に成功したので，その事例について紹介する。

Abstract

In recent years, the production and manufacturing process has been automated mainly using robots, and the number of factories that operate unmanned 24 hours a day is increasing. However, it is difficult to manufacture and assemble precision equipment such as MFP, and it is often done by human hands. On the other hand, soaring labor costs due to a shortage of human resources has become an issue, and there is concern that it will adversely affect production costs.

QC and IE methods are used to improve the productivity of the assembly process. However, in order to quantify the behavior of the worker, the person in charge of analysis directly observes the target process, which requires a lot of man-hours.

We used FORXAI Recognition frame detection algorithm to quantify the behavior of workers. As a result, we succeeded in automating the output of the moving distance by the worker and the indirect work time.

＊IoTサービスPF開発統括部　データサービス技術部
＊＊生産・調達本部　生産統括部　生産企画部

1　背景

近年，生産製造工程は主にロボットを使ったオートメーション化が進み，24時間無人稼働する工場も増えてきている。しかし，MFP（複合機，Multi-functional Peripherals）に代表される精密機器の製造組立はロボット化が難しい領域で，まだまだ人間の手で行われていることが実際である。一方で，人材不足を起因とする人件費の高騰は不可避であり，生産コストへの悪影響が懸念される。

コニカミノルタを始め，各メーカーは貴重な人的リソースの有効活用に腐心し，製造組立現場では改善活動を間断なく進めている。具体的には，工場作業者が最も効率良く動くための，工程レイアウト設計や作業者動線解析，部材デリバリータイミング最適化などに取り組んでいる。

2　マレーシア工場の課題

Fig. 1は，コニカミノルタ製品群の中で，主にMFPの主力製品の生産を担っているマレーシア工場（KONICA MINOLTA BUSINESS TECHNOLOGIES [MALAYSIA] Sdn. Bhd.〈略称：BMMY〉）である。BMMYでは，他生産拠点と同様にQCやIEの手法を活用し生産性の改善を推進している。

IEとは，工程や作業の方法，作業にかかる時間などを科学的な手法に基づき細かく定量化し分析することで，ムリ・ムダ・ムラのない最適な方法を導き出す生産性を向上する手法である。複数あるIEの分析手法の中で工程改善に頻繁に使用されるのが時間分析法である。作業者の作業内容から決定する「標準時間」とストップウォッチ等で実際に作業に要した時間を計測する「実作業時間」を比較し，「標準時間」よりも「実作業時間」が大幅に多い生産性が低い工程を特定し改善する。

BMMY内でも生産性改善を推進するために，時間分析法に基づき「現状分析」「要因特定」「対策検討／投入」「効果測定」の改善サイクルを高速に回転させるのが理想である。「現状分析」と「効果測定」を行うためには，全行程の「実作業時間」を収集する必要がある。しかし，大量生産型のMFP製品は数百にも及ぶ工程に分割して組立を行っており，その多くが人の手で組立作業を行っているため，全行程の「実作業時間」を収集するのに多大な工数が必要となり，改善サイクルのボトルネックとなっている。

「現状分析」が完了した後に「要因特定」のための「作業内容解析」を実施する。計測された実作業時間から，直接作業（製品組立に必須な作業）と間接作業（直接作業に付随する作業：ゴミを捨てる，部品を袋から出す等）を切り分け，直接作業時間が規定された時間より多くかかっているのか，間接作業時間が多いのか等を検証することで，「要因特定」を行う。現状これらの検証は，分析担当者が対象工程を直接観察することで実現している。

生産拠点ではコスト改善や生産性改善の要求が強まっていく中，さらにコロナ禍で出勤率の制限がかかり，間接的な業務への人的リソースの配置が困難になっている。

リソース不足で改善のボトルネックとなっている「現状把握」「効果測定」「作業内容解析」を自動化することによって生産性のさらなる改善につなげたい。

Fig. 1 Actual production at BMMY factory.

3　骨格検出技術

上述の課題を解決するために，我々はコニカミノルタの保有する物体認識技術（FORXAI Recognition）を活用しシステムを構築した。Fig. 2はFORXAI Recognitionの出力結果の一例である。我々は特に，物体認識技術のうち骨格検出アルゴリズム[1)]を用いた。

Fig. 2 FORXAI Recognition can perform fast on low-resource edge devices.
Include algorithms such as
・Pose detection and tracking of 2D skeletons from monocular cameras.
・Attribute / Action recognition.

骨格検出アルゴリズムによって得られた骨格情報を，特定の個人に結び付ける必要がある。作業者が着用している衣服などの外観の色情報に着目し，ある時刻で骨格検出により得られた骨格情報から頭部，胴部，脚部の色情報を抽出した上で，次の時刻以降，各部位の色情報が近似する画像位置を特定することで作業者を追跡し，特定の個人に骨格情報を結び付けた。人物の色情報を抽出するために，先述の物体認識技術に含まれる属性認識アルゴリズムを適用し，色情報をラベルという形式で求め

た。しかしながら，本稿では作業者の作業状態などを把握することを目的としているため，骨格検出アルゴリズムによって得られた骨格情報を基に直接各部位の画像上の輝度値を参照して色情報を計算した。Fig. 3は，骨格情報を基に抽出した色情報のサンプルである。頭，体，脚の各骨格点の色を抽出し，HAT，CLOTHES，PANTSの文字の色に反映させている。

Fig. 3 Sample result image of estimation.
Extracting color information of head, body and leg based on result of pose estimation.

加えて，背景や他者と判別可能，かつ輝度値が一定の範囲内で撮像できる色の帽子やビブスを現場の作業者に着用させ追跡可能な対象として用いた。このようにして得られた追跡のための色情報，およびその算出に用いる骨格情報をCSV形式でファイル出力し，データ分析へと移行する。現在，このような骨格検出および色情報の抽出のプロセスをウェブアプリケーション上で実行するためのクラウド環境を構築することで，動画を取得後，即時に解析を実行できる手段を用意した。今後も解析対象工程の拡大を見据えてシステム開発を継続していく予定である。

4　データ分析

今回は物体認識技術によって個人を特定した骨格情報を活用して，以下の2つの分析を実施した。

4.1　作業者の移動距離の測定

マレーシアのMFPの骨格組み立て工程では，自動搬送機〈略称：AGV〉上の部品に対して作業者が流れ作業で組み立てを行う。そのため，作業者はAGVで流れてくる部品に対して歩き回りながら組み立て作業を実施している。そこで，作業者の移動距離を定量化することで，無駄に動いている時間帯や，作業者ごとの移動距離を比較することで無駄な動きを定量化できると考えた。

本取り組みにおいては，対象作業者がユニーク色のイエローヘルメットを装着し組み立て作業を実施・撮影し，FORXAI Recognitionを用いて人の各関節点の画像位置（pixel位置）と色情報をCSV形式で出力した。得られたCSVファイルから，イエローヘルメットをかぶっている骨格を特定し，骨格の軌跡を描き，移動距離を算出した。移動距離は，画像の中の既知の距離情報を基にしてピクセルから距離情報への変換式を作成し出力した。

また，画像の奥行によってピクセルと距離情報が違う場合は，場所によって使う変換式を変えることで正確な距離情報を算出した。

Fig. 4は10分間の動画を解析し特定した対象作業者の軌跡である。Fig. 5はその時の対象作業者の総移動距離を時系列で示したものである。Fig. 4では，対象者は10分間の間に数回画面左奥の方まで移動していることが分かった。また，Fig. 5では，10分間で対象作業者が61m移動していることが分かった。さらに，どのタイミングで多く移動しているかも把握でき，そのときの動作を特定することで作業改善を行うことが可能である。作業者ごとの移動距離の定量化を行うことで，作業者に合わせた作業改善を実施することが期待できる。

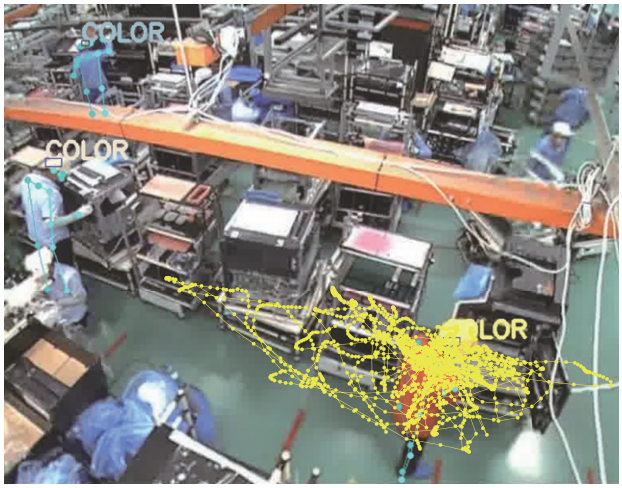


Fig. 4 Result image of movement trajectory using FORXAI Recognition.

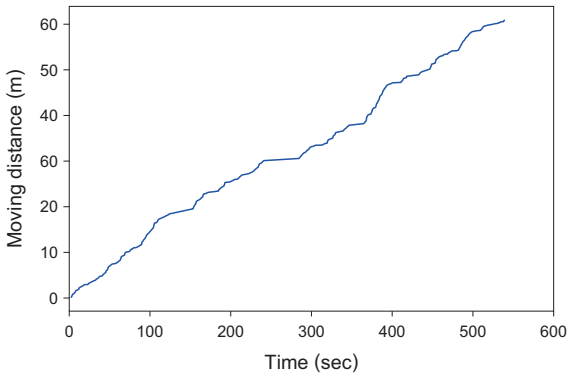


Fig. 5 Time series change of moving distance.

4.2　作業者の間接作業割合の定量化

これまでは人が直接観察することで確認していた直接作業時間と間接作業時間の特定の自動化に取り組んだ。

本取り組みにおいては，対象作業者がユニーク色の赤服を着用し組み立て作業を実施・撮影し，個人を特定した骨格情報を取得した。その後，直接作業を0，間接作業を1としてアノテーションを実施し，さらには骨格情報

に対して相対距離や移動速度を算出するなどの特徴量エンジニアリングを行った。作成したデータを学習データと検証データに分け，複数の分類モデルを作成しArea Under the Curve（AUC）で評価を行った。

Table 1 は，今回比較した3つのモデルのAUCと，閾値を0.5としたときの再現率と適合率の結果を示している。今回のケースでは，AUC，再現率，適合率が全て一番良かったLightGBMを採用した。

Table 1 Comparison of three model accuracy.

Model	AUC	Threshold = 0.5	
		Recall	Precision
LightGBM	0.877	0.703	0.782
XGBoost	0.751	0.610	0.712
KNN	0.760	0.350	0.652

Fig. 6 のように，直接作業と間接作業の比率を確認すると，作業者が実際（Actual）に28.3％の間接作業を実施していたのに対して，予測結果（Predict）では25.4％が間接作業を実施していたと判断しており，高い精度で作業者の行動を判別できていることが分かる。また，動画を確認しても，モデルが間接作業と判断したタイミングにおいては，Fig. 7 のように，作業用の部品を袋から取り出すなど，実際に間接作業を実施していたことを確認できた。

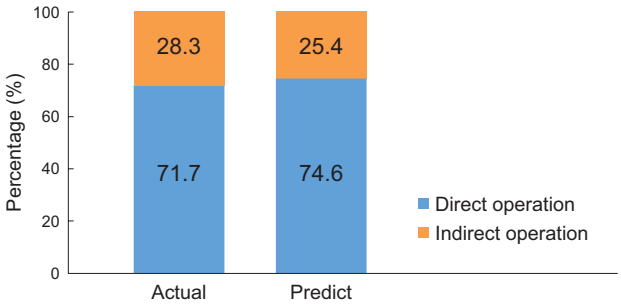


Fig. 6 Comparison of indirect operation ratio.

Fig. 7 Pick up image of indirect operation.

本結果により，対象作業者の直接／間接作業を正確に検出することで，製造現場の改善担当者は現場に張り付いていなくても，出力された結果から対策を実施するべきかを早期に判断できる。また，間接作業が想定よりも多いタイミングを本モデルで検出し切り出して動画として改善担当者に提供することで，対策検討に早期につなげることができる。

5　まとめ

今回の活動による定量化や可視化の成果を，BMMYの実際の組立生産現場で現場改善活動に用いて，フィードバックを受けることで，より有用な定量値や見せ方を目指す活動を始めている。すでに複数作業者の連携のよしあしを確認したいという意見も聞いており，技術開発の余地は大いにあるが，それだけポテンシャルの高い技術と言える。

今後は社内の国内外拠点へ展開することで，現場改善活動サイクルを早めることによる生産性アップに貢献するだけではなく，FORXAIソリューションの1つとして，社外ビジネスへの展開も期待できる。

●参考文献

1）T. Sekii: “Pose Proposal Networks”, in Proceedings of the 15th European Conference on Computer Vision (ECCV), 2018.

Expediting Konica Minolta's Digital Transformation: AI-enabled Orchestration of Modern Workload and Software-Defined Infrastructure from Edge to Cloud

Antonio DINA*, Mohsen AMIRIBESHELI*, Fragkiskos SARDIS*

Abstract

Hybrid cloud combines the benefits of edge computing with the vast resource pool and services offered by public cloud providers by integrating the two systems. To take full advantage of hybrid cloud architecture, infrastructure and service orchestration are needed. Orchestration brings benefits such as selection, deployment, monitoring, and lifecycle management of public and private cloud services and infrastructure resources to enable comprehensive control over their daily operations that consume raw data from disparate devices and transform the data into actionable business processes. This solution processes these orchestrations to enable the immediate, real-time transformation of data to valuable and transaction-capable information. Existing orchestrators suffer from vendor locks, lack of common standards, and inability to be tailored to advanced requirements of AI and IoT and IPA applications. The Konica Minolta orchestrator is a transparent solution based on open standards that can be customised to suit the exact requirements brought by stakeholders. It offers a solution to partners and customers which can be independently interfaced with third-party systems and ISV ecosystems giving them full control over how they deploy software in an edge-to-cloud setting. In our pilot demos, we demonstrated the KM's orchestrator as a viable solution for managing AI applications with additional functionality such as IoT device detection and performing automatic disaster recovery.

1 Introduction

The rapid adoption of cloud services in industrial applications combined with the introduction of 5G networks have enabled hybrid cloud solutions for use cases calling for Artificial Intelligence (AI) and ultra-low latency. Hybrid cloud combines the benefits of edge computing with the vast resource pool and services offered by public clouds by integrating the two systems and giving users the freedom to choose where their data and services are being deployed depending on their performance, cost, and regulatory requirements.

The key enabler for hybrid cloud adoption is the ability to orchestrate resources between private and public clouds. Hybrid cloud orchestration includes functions such as deployment, monitoring, and lifecycle management of public and private cloud services and virtual infrastructure resources to enable comprehensive control over daily operations. This often leads to orchestration solutions that are complex and difficult to use because they are designed to cover a wide range of possible deployment scenarios and services, which in turn makes it challenging and expensive to maintain a hybrid system. However, stakeholders seek solutions that allow them to easily manage their hybrid infrastructure and deployed services that are specific to their needs without superfluous functionality that complicates usability and increases the attack surface of the orchestrator.

Our goal is to develop a modular orchestration solution that is built on open standards so that it can be easily customised to the specific requirements of a user without carrying unnecessary features that affect usability and increase the risk of attack. Essential functionality includes support for multiple cloud vendors, lifecycle management of services, aggregated monitoring for infrastructure and services, a service repository for easy deployment of pre-configured services

* GLOBAL R & D EUROPE AI - Hybrid Cloud & Intelligence Driven Cyber Defense

and finally, a multi-tenant environment to facilitate control over several environments for multiple users. Depending on the use case, additional functionality can include, IoT device detection and management, AI-enabled performance analytics and cost projections, automated multi-site disaster recovery and integration with other systems and services to automate operations such as DevOps and ML Ops.

In this paper, we present the current state of the hybrid cloud orchestration technology, market trends, our recent efforts towards a viable orchestration product and the business value for Konica Minolta International. The rest of the paper is outlined as follows: section 2 briefly covers recent developments in hybrid cloud adoption by SMEs and manufacturing, section 3 presents the Konica Minolta orchestration product, section 4 addresses the business potential for orchestration, section 5 covers future development and finally, section 6 concludes the paper.

2 State of the Art

Existing cloud providers are increasingly competing for taking a larger share of the market. Resource orchestration in the hybrid cloud seems to be one of the vital areas of this competition [1]. As a new trend, the multi-cloud (i.e, to use more than one public cloud provider) paradigm further complicates the orchestration market, as it introduces multiple cloud providers to a single hybrid cloud architecture [2].

In the hybrid cloud space, the existing cloud resource orchestration tools can be divided into two broad groups [3]: The first group provides solutions by major public cloud providers. These solutions are equipped with a comprehensive set of native management tools that are highly integrated with the cloud platform and provide tailored capabilities — for example, Google Anthos [4], AWS cloud formation [5], Azure resource manager [6]. In addition, it is worthy to note that for hyper scalers, orchestration solutions are a delivery vehicle for their cloud-first strategy. Therefore, they are not enabling vendor-neutrality. The second group's solutions are provided by third parties. Third-party tools are commonly cross-platform and multifunctional. While most third-party tools are vendor-neutral, they are designed in a way to have less depth in their functionality. Additionally, the wider scope of use-cases supported causes them to be more complex to deploy and maintain. Some examples of these tools are Cloudify, Morpheus, and Hashi Corp stack.

Not following the existing standards is causing most orchestration solutions (i.e., groups one and two) to suffer from a lack of interoperability. Interoperability in this context refers to the compliance with a common standard for describing the configuration of infrastructure and services, thus avoiding vendor lock-in and relying on a common unified language and model across solutions by different vendors. In [7], by looking at different use cases and definitions, the authors attempted to identify the state of the art of interoperability in the current cloud ecosystem. To address this challenge, all the artefacts presented in this work follow the European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Management and Orchestration (MANO) standardisation framework.

It is also important to note the connection between AI solutions and orchestration. To support AI applications and machine learning pipeline requires a complex architecture that is commonly expanded between cloud and edge. The rise of the hybrid and distributed cloud made AI solutions easier to be built and operationalised and ready to be offered to the public. Each AI solution has at least three separate and sometimes complex pipelines: Data Engineering, Model Engineering, and Deployment of services. Without a suitable orchestration tool, the Provisioning and orchestration of these pipelines and their components can be burdensome and costly. On the other hand, AI through AIOps makes the hybrid-cloud orchestration intelligent by enhancing workload fitment, cost analysis, real-time decision-making, and policy optimisation. In the context of a cloud-native application running on a hybrid cloud infrastructure the monitoring and maintenance are very complex and error-prone tasks as a) infrastructure components are heterogenic, b) lack of application layer traceability, c) overhead of instrumentation and d) lack of synchronisation across a microservice-based distributed system. Therefore, AIOps is a necessity of any modern platform [8] [9]. Both AI platforms and AIOps-enabled orchestration are aiming to make the service better, predictable, and scalable.

2022 is being deemed as the year of economic uncertainty and business anxiety. The coming years require the flexibility and scalability of cloud services to adapt to constantly changing market conditions. The COVID-19 pandemic's effects will last well past 2022. During the past two years, many organisations faced unprecedented demand on their infrastructure. Consequently, many SMEs and enterprise IT organisations adopted cloud computing (hybrid, cloud-first

and distributed). Gartner forecasts that the trend will continue [10] and in the coming years we will see a surge in the emergence of innovative technologies (e.g., IoT and AI). These, in turn, will create the need for tools that enable cloud implementations, encourage cloud adoption and tie cloud services ever closer to the user's premises. As a result of this, it is expected that hybrid cloud computing will expand at a compound annual growth rate of 18.73% over the forecast period 2021 - 2026, from a market valued at USD 52.16 billion in 2020 to reach USD 145 billion by 2026 [11].

Konica Minolta's orchestrator is being developed in conjunction with partners in the AI-NET ANIARA project funded through the Celtic-NEXT cluster for next generation communications. In the context of this consortium, our orchestrator is built to support new and more demanding use cases for telecom operators and industrial IoT verticals. The project is focused on enhancing edge computing architectures for next-generation smart manufacturing and cities. KM orchestrator will support all the key requirements of the next-generation applications such as Slice-as-a-Service, Function-as-a-Service, and microservices. The orchestrator will play a vital role in enhancing the use case narrative by supporting AI automation, lightweight containers, and efficient power usage [12]. Details of KM orchestrator and its components are presented in Sect 3. Challenges and Business Potential are shown in Sect. 4. Current Development and Future Work are explained in Sects. 5. Ultimately, the study is concluded in the Sect. 6.

3 Konica Minolta Orchestrator

3. 1 ETSI MANO Compliance

The Konica Minolta Orchestrator is built on the MANO standard [13]. The standard defines the architecture (Fig. 1) of hybrid cloud orchestration and is extensively used in modern 5G networks for hosting and managing network functions [14] and services. By complying with a standardised architecture, we are able to extend the functionality of the orchestrator within a well-defined framework while maintaining a solid foundation for the future. Furthermore, our compliance with a widely accepted standard, allows us and our partners to interface the orchestrator with existing systems based on our standardised APIs (application programming interfaces).

For our clients, this means that the Konica Minolta orchestrator is transparent and can be customised to suit their exact requirements, even by third parties, provided they comply with the standard. Consequently, Konica Minolta can offer a customised solution to partners and clients which can be independently interfaced with third-party systems, giving them full control over how they use the software.

As per MANO standards, we employ a hierarchical data structure to describe the services deployed to clouds. At the top layer of the structure is the Network Service (NS) which describes the entire service to be deployed and the connections between the components of this service. The components of the service are called Virtual Network Functions (VNF) and they are a collection of independent elements that build a

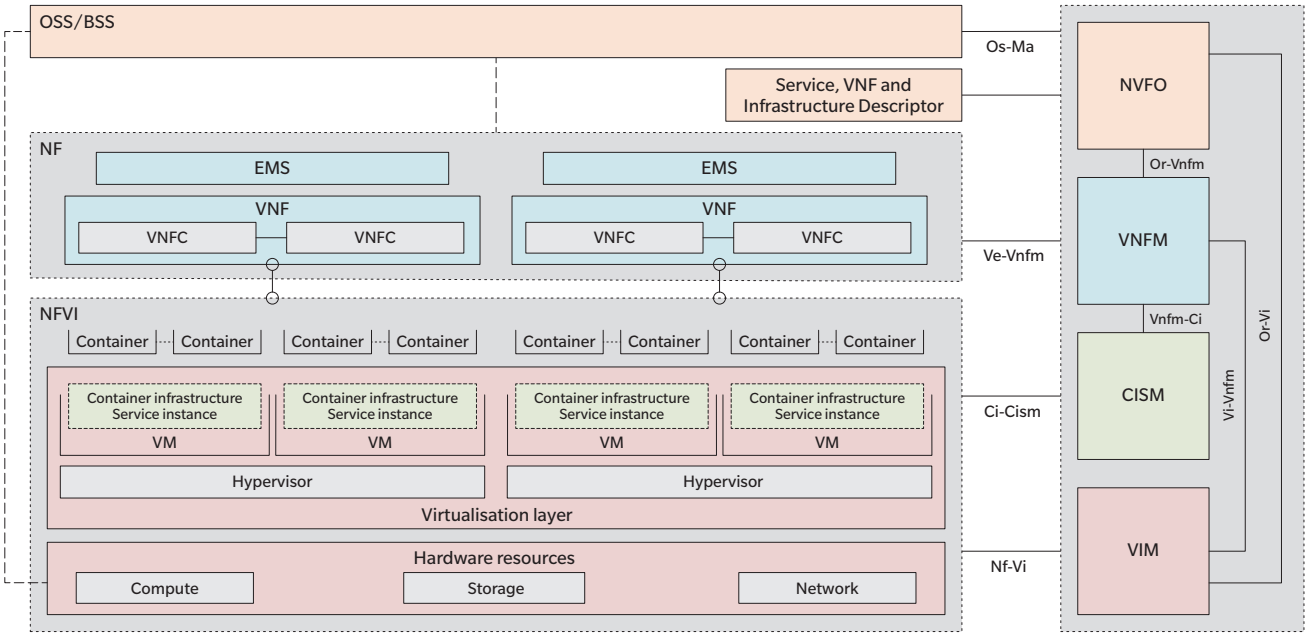


Fig. 1 ETSI MANO reference architecture.

specific function within a network service. In most instances, a VNF describes a Virtual Machine (VM) but the data structure can map several VMs into a single VNF, depending on the complexity and number of components that are needed to build a given function. Physical Network Functions (PNF) are also supported which means that we can also manage physical devices within an infrastructure. For example, we can configure switches and routers to set up a Virtual Private Network (VPN) or change the routing tables and forwarding behaviour.

The orchestrator can store NS and VNF descriptors [13] locally for each user or through public or private repositories. These descriptors are plain text files that can be selected by the end user and deployed to a cloud of their choice. They can also be customised, if necessary, to suit a specific use case. The same template can be used for different clouds, negating the need to write several descriptors for the same service depending on which cloud it needs to be deployed. The translation between the standardised TOSCA descriptor language and the proprietary cloud APIs is managed by the orchestrator, negating the need for having specific knowledge on how to operate each cloud.

Monitoring and lifecycle management of services is supported by the orchestrator at distinct levels. The most basic monitoring occurs at the virtual infrastructure level. The orchestrator will monitor deployed VMs to ensure if they are still operational. In most cases, this uses the cloud API to probe the liveness of deployed VMs. Furthermore, the orchestrator supports application health monitoring on condition that the deployed application provides an API for health checks. The orchestrator has the capability of showing real-time metrics from the cloud infrastructure such as the processor load and network traffic per virtual machine. The collected metrics can be stored and analysed to create reports on utilisation patterns and trends using machine learning.

3. 2 High-Availability and Disaster Recovery

High-availability and disaster recovery functionality are fully supported, as well as, scaling of services based on current load and estimated load using machine learning prediction. For high availability, the orchestrator fully supports applications deployed in containerised form using container orchestration engines. In addition, it is capable of scaling existing services by deploying additional VMs when needed, which are automatically added to the container orchestration engine as worker nodes to balance additional load. Similarly, disaster recovery is handled directly by the orchestrator through monitoring the liveness of services and public clouds. An automated failover system allows users to select a backup cloud for their applications which will be used by the orchestrator to automatically redeploy the services in the event of a localised infrastructure failure.

3. 3 Integration with Konica Minolta Products

Device discovery is supported by the orchestration and is one of the first extensions we have applied on the standard. We have implemented automated device discovery by scanning the network for known Mobotix camera MAC addresses. This is currently an experimental feature to demonstrate the capability of the orchestrator and we expect future versions to

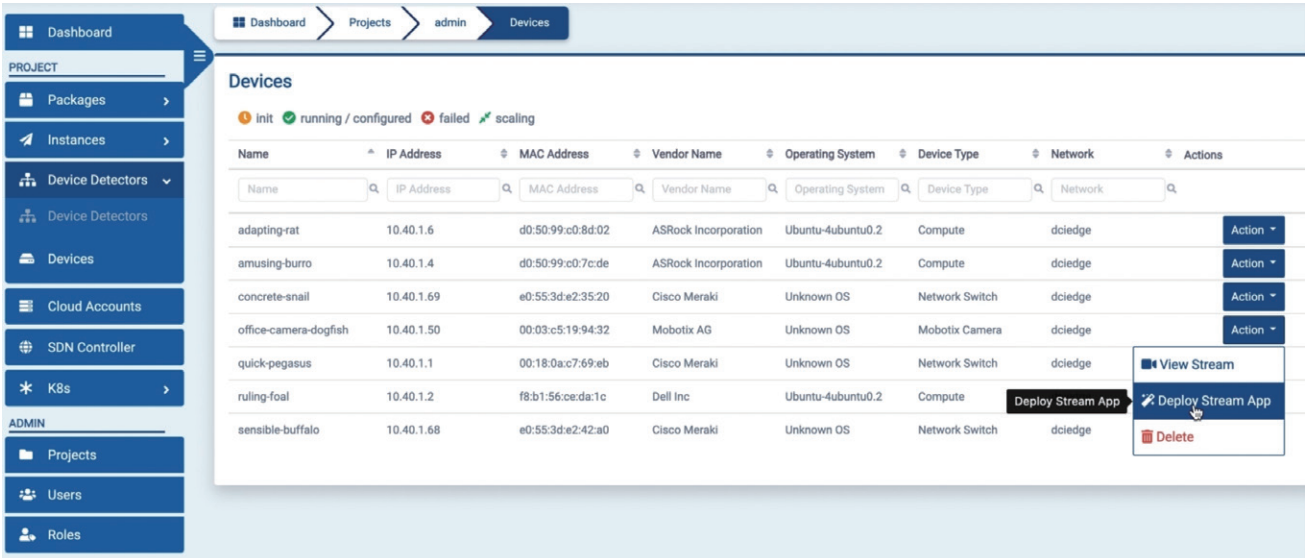


Fig. 2 Mobotix camera detection and service deployment.

integrate with Mobotix cameras in a more robust way that will not require scanning the network actively to detect new cameras. Upon detecting a Mobotix camera (Fig. 2), the orchestrator lists under the device menu and because it is identified as Konica Minolta equipment, it is automatically aware of which services are compatible with the camera and allows the user to deploy the relevant services (such as computer vision) to a cloud of their choice. Furthermore, the orchestrator can directly access the live feed from the camera or redirect the user to the deployed application which manages the camera and streams the live feed. With this feature, we are aiming towards vertical integration of Konica Minolta software and hardware products, making it easier to support our products and provide services to our clients.

The orchestrator itself can be easily deployed to individual servers, laptops, public and private clouds through automated scripts. The deployment uses containerised instances of the orchestrator modules that are configured for high availability to provide a robust platform for managing our services. Furthermore, this modular approach allows us to customise specific functions for our clients, offering them a bespoke solution for their enterprise and industrial networks that eliminates unnecessary complexity and offers a clean solution that targets their specific requirements. In turn, this enables us to pre-configure the orchestrator with relevant Konica Minolta products and services and easily deploy and maintain custom orchestrator instances for each of our clients.

4 Challenges and Business Potential

From a business perspective the main advantage offered by an orchestrator is the simplification of daily workflows and reduction in operating costs through the introduction of automation and unified management tools, which in turn accelerates the delivery of integrated services. Furthermore, an intuitively designed orchestrator which is built to the requirements of a use case will improve the overall quality of experience for the users. An easy-to-use orchestration tool enables a greater “democratisation” of the resources and user’s interaction with them. The tool will automate the management, coordination and organisation of complicated IT systems, services, and middleware. Finally, through automation, the tool will reduce employee involvement and eliminate potential errors in provisioning, scalability, or other complex cloud processes. For this reason, in digital R&D we are focusing on a set of features that offer customers an intuitive framework, with self-service functionality and unified management that accelerates the provisioning of resources, enables end-users to keep track of the actual and estimated costs of infrastructure while offering a better way of managing them.

There exists a quandary between pure sales (reselling) in contrast with internally generated proprietary (IP) Intellectual Property approaches. DCI’s strategy is to integrate existing IPs and generate new ones. Our solutions are creating an ecosystem in which our customers’supply services to run on our platforms. It is worthy to consider that, the tech data and code do not directly result in IPs, The IP depends on the uniqueness and novelty of the platform. The ecosystem is aggregating users’IP and provides a mature platform that increases their chances of success. The ecosystem should be formed in a structured manner, with a strategy, which is not only focusing on re-sale. From this perspective, the business model of Konica Minolta will change. We will play the role of an ecosystem-builder that offers the value proposition on its platform. The path is evolutionary. First, we become aggregators, then orchestrators of solutions and facilitators of relations between all the ecosystem’s participants. As the ecosystem provider, we will position Konica Minolta at the centre. We build partnerships that make our customers do more business with their customers. This can be monetised in a plethora of ways such as revenue sharing, charging partners a flat fee, charging partners for API usage, charging customers to use the integrations.

DCI solutions (KM Orchestrator, and ML pipelines) are offered in a way that are helping the users to avoid hyper-scale cloud providers’ lock-ins, ability to scale resources seamlessly as the workload grows and to take control and decide where to place their data. Also, having transparency and a single pane of glass view makes it possible for the company to position itself as an application service provider, easily responding to the compliance requirements imposed by IT Operations.

Utilising the orchestrator means the speed of delivery is increased, automation and governance operational management costs are lowered, and release times are shortened. In addition, parallel development initiatives and service degradation issues can be more easily managed and controlled, supporting different technologies, and operating on multiple cloud providers.

From the end-user's perspective, an orchestrator can ensure greater stability in applications, provide new features faster, improve communication and collaboration between Development and IT Operations. It is, therefore, possible to invest in innovation the time previously spent in management activities.

5 Current Development and Future Work

DCI is currently engaged in several government-funded projects within the UK and the EU. The Celtic-NEXT AI-NET is a project focusing on next generation manufacturing. One of the branches of the project is ANIARA (Automation of Network edge Infrastructure & Applications with Artificial Intelligence) which deals with orchestration in manufacturing. At the first consortium demo event, we demonstrated our orchestrator as a viable solution for industrial IoT device detection and management as well as disaster recovery scenarios using a combination of edge, private and public clouds.

As part of ongoing development, we are currently in the process of implementing additional features to the orchestrator that will introduce essential capabilities in infrastructure monitoring and lifecycle management. Our goal is to have a complete monitoring solution for infrastructure and services, allowing users to retrieve detailed metrics and service logs though the orchestrator. The two aspects of this are aggregated metrics from the physical and virtual infrastructure and aggregated logging for distributed (cloud-native) services. We are aiming to provide this functionality through the orchestrator to make it easier for the users to have a holistic view of the state of infrastructure and services and for developers to easily trace events in the logs.

Maintaining performance metrics at the orchestrator also enables us to perform analytics using machine learning and produce performance analysis reports including utilisation patters and trends. This in turn will enable us to build pre-emptive scaling algorithms at the orchestrator which will anticipate service demand and adjust service resources accordingly.

Another aspect of the orchestrator we aim to improve over the next development cycle is the service builder interface. At present, the users define services in text files that describe the virtual machines and software packages to be installed on deployment. To improve usability, we aim to produce a new graphical interface that will allow users to build services with simple drag-and-drop functions and context menus. The interface will also include a logical representation of deployed services, showing the topology and relations between services and allow the user to query detailed information for each service through the topology map.

6 Conclusions

The In conclusion, our paper introduces the Konica Minolta orchestrator, its design philosophy, and the set of features that differentiate it from other orchestrators. The orchestrator is built on the European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Management and Orchestration (MANO) standards and is modular by design, By adopting this orchestration solution, the vast number of connected devices on the Internet of Things (IoT) creates an enormous potential for new applications, by leveraging synergies arising through the convergence of consumer, business and industrial Internet, and creating open, global networks connecting people, data, and "things". In this context, the project aims to develop a pattern-driven framework, built upon FORXAI [15] platforms and Internal KM's Systems, to enable and guarantee secure and dependable actuation and semi-autonomic behaviour in IoT/Industrial, Imaging applications and Intelligent Process Automation.

References

[1] *Cloud Resource Orchestration Programming: Overview, Issues, and Directions.* **R. Ranjan, B. Benatallah, S. Dustdar and M. P. Papazoglou.** 2015, IEEE Internet Computing, pp. vol. 19, no. 5, pp. 46–56.

[2] *Consuming Resources and Services from Multiple Clouds.* **Petcu, D.** 2014, J Grid Computing, pp. 321–345.

[3] *A Taxonomy and Survey of Cloud Resource Orchestration Techniques.* **D. Weerasiri, M. Barukh, B. Benatallah, Q. Sheng, R. Ranjan.** 2017, ACM Compt. Surv., pp. 50, 2.

[4] **Google Anthos.** [Online] 09 2021. https://cloud.google.com/anthos

[5] **AWS cloud formation.** [Online] 10 2021. https://aws.amazon.com/cloudformation/

[6] **Azure Resource.** [Online] 2021. https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-resource-manager/management/overview

[7] *Issues on developing interoperable cloud applications: definitions, concepts, approaches, requirements, characteristics and evaluation models.* **Nogueira, E., Moreira, A., Lucrédio, D. et al.** 2016, J Softw Eng Res Dev, p. 7.

[8] *Localization of Operational Faults in Cloud Applications by Mining Causal Dependencies in Logs Using Golden Signals.* **al., Aggarwal P. et.** 2021, Service-Oriented Computing – ICSOC 2020 Workshops. ICSOC 2020. Lecture Notes in Computer Science, p. vol 12632.

[9] *istributed Cloud Intelligence: Implementing an ETSI MANO-Compliant Predictive Cloud Bursting Solution Using Openstack and Kubernetes. In: Djemame K., Altmann J., Bañares J.Á., Agmon Ben-Yehuda O., Stankovski V., Tuffin B.(eds) Economics of Grids, Clouds,.* **al., Faticanti F. et.** 2020, GECON 2020. Lecture Notes in Computer Science, p. vol 12441.

[10] **Gartner.** 2022 Planning Guide for Cloud and Edge Computing. [Online] 2022.

[11] **Intelligence, Mordor.** HYBRID CLOUD MARKET-GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2021–2026). [Online] 2021. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hybrid-cloud-market#:~:text=The%20Hybrid%20Cloud%20Market%20was,the%20forecast%20period%202021%20%2D%202026

[12] ***I. Marsh, N. Paladi, H. Abrahamsson, J. Gustafsson, J. Sjöberg, A. Johnsson, P. Sköldström, J. Dowling, P. Monti, M. Vruna, M. Amiribesheli.*** *2021.*

[13] **ETSI GS.** [Online] 10 2021. https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-IFA/001_099/014/04.02.01_60/gs_NFV-IFA014v040201p.pdf

[14] **Network Functions Virtualisation (NFV) Release 4; Management and Orchestration; Functional requirements specification.** [Online] https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-IFA/001_099/010/04.02.01_60/gs_NFV-IFA010v040201p.pdf

[15] **FORXAI.** [Online] 10 2021. https://www.konicaminolta.com/global/newsroom/2020/1119-02-01.html

知的財産報告書

Report on Intellectual Properties

知的財産報告書 2021年度版

はじめに

新型コロナウイルス感染症の流行を契機に，社会情勢やビジネス環境が著しく変化しています。企業の稼ぐ力の源泉についても，無形資産の占める割合が増加し，経営資源としての重要性が増してきました。この状況の変化のもと，昨今では，企業における知的財産をはじめとする無形資産への投資，戦略の実行が経営に大きな影響を及ぼすことがあらためて認識され，その適正な情報開示が求められています。

当社は，知的財産が重要な経営資源であると認識し，2004年度から知的財産報告書を通じて，知的財産に関する投資や戦略について継続的に開示して参りました。今回の知的財産報告書では，中期経営計画「DX2022」における知的財産投資や知的財産戦略及び2020年度における知的財産活動についてできるだけ具体的に開示するように努めました。本報告書が株主・投資家をはじめとするステークホルダーの皆様との対話のツールになることを祈念しています。

今後も経営理念の「新しい価値の創造」に基づき，知的財産の投資・活用を通して事業の持続的成長を支援することにより，企業価値の向上と顧客や社会への貢献を進めて参ります。

松枝　哲也
コニカミノルタ株式会社 上席執行役員
法務部長 兼 総務部, 知的財産部, コンプライアンス, 危機管理 担当

コニカミノルタ　知的財産報告書 2021年度版
https://www.konicaminolta.com/jp-ja/investors/ir_library/intellectual_property/index.html

知的財産活動の方向性

知的財産の活用

近年のデジタル化の加速的進展によりモノ売りビジネスから，ソリューションビジネス・ITサービスへの事業転換が急務とされている中，その実現にはイノベーションの創出が不可欠です。当社はイノベーション創出に単独で取り組むだけでなく，M&Aやオープンイノベーションも積極的に活用し，技術やノウハウ等の知的財産をはじめとする無形資産を獲得しています。

当社は，これら無形資産の効果的な活用を通じて事業転換を加速し，事業利益の拡大のみならず，様々な社会課題に向けたソリューション提供を実現します。

知的財産戦略

知的財産は経営資源の一つであり，事業戦略，技術戦略と結びついた知的財産戦略は経営において不可欠な要素です。当社では，先の中期経営計画「SHINKA 2019」の策定とともに，各事業を知的財産で支えるため，知的財産戦略2017-2022を策定しました。知的財産戦略2017-2022では，基本特許の獲得と独自技術を囲い込む特許網構築，ノウハウ・データの知的財産戦略への組み込みと活用などに取り組み，さらに，事業や知的財産に関する環境変化に応じて毎年アップデートを行ってきました。

また，知的財産戦略2017-2022を着実に実行していくため，同戦略とともに，質向上のための戦略と施策，人財育成のための戦略と施策を展開しており，知的財産の資産価値の向上，同戦略の実効性向上にむけて知財プロの育成に努めています。当社は，2020年度に策定した新たな中期経営計画「DX2022」において，独自の「画像IoTプラットフォーム」を核としたデジタルトランスフォーメーション（DX）を通じて事業ポートフォリオの転換を図っています。この状況を踏まえ，知的財産戦略2017-2022をベースとして，画像IoT知財ジャンルトップ戦略を新機軸として立ち上げ，業容転換の核となる画像IoTプラットフォームビジネスを知的財産面からサポートしています。

事業フェーズに応じた取り組み

当社は，各事業における事業フェーズに沿って知的財産活動を行っています。戦略的新規事業では，市場創造・参入を着実に進めるべく，顧客価値を起点とした知的財産の創出，関連するデータ・ノウハウの保護に注力し，コア事業では，事業の持続的成長・収益化の柱となる技術を保護することにより競争優位性の確保に努めています。安定収益事業・低収益事業では，事業環境に応じて知財投資効率を最適化する知財ROI管理を行うことにより，収益力及び競争力の維持・向上の実現に取り組んでいます。

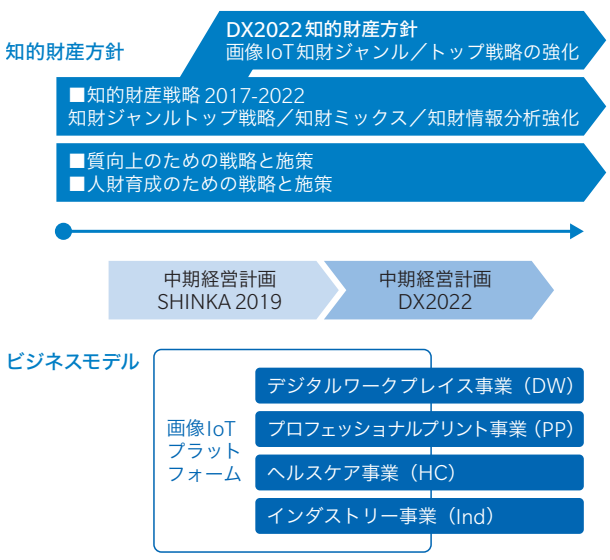


図1. 知的財産戦略の変遷

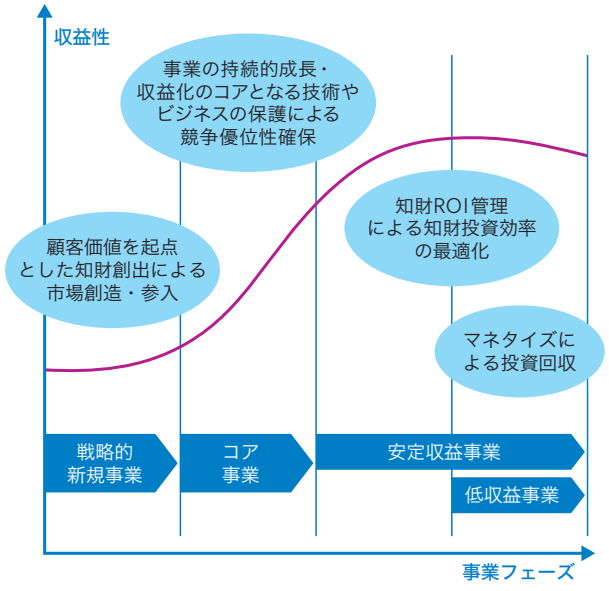


図2. 事業フェーズと知的財産活動での取り組み

知財力強化の取り組み ー知財ジャンルトップ戦略ー

画像IoT知財ジャンルトップ戦略

当社の新たな中期経営計画DX2022を支えるため「画像IoT知財ジャンルトップ戦略」を推進しています。同戦略は，「画像IoT技術」と当社のDNAである「見える化技術」に，「知財ミックス」を掛け合せることで知財ジャンルトップを確立させる戦略です。事業・知財環境を見極め，ジャンルトップを狙える領域を特定し，収益の要となる「いかに顧客への価値を提供するか」に影響する①エッジデバイス（センサー），②AIとソリューションの組合せ，③ビジネスモデルを特許で守るとともにサービスの源泉となるノウハウ及びデータ等を保護することにより，パートナーとの共創を促進，事業への貢献を目指しています。エッジデバイス（センサー）や，Imaging AIを通じて取得したデータに当社独自の見える化技術を適用することにより創出されるソリューションについては，特許の取得やノウハウ管理などの活用により多面的に保護し，また，データそのものにおいても，価値ある情報資産として利活用できる環境作りに取り組んでいます。このようにして当社が強みとする技術領域において，知的財産による多面的・多層的な障壁を築くことにより，その領域でのトップを狙っていきます。

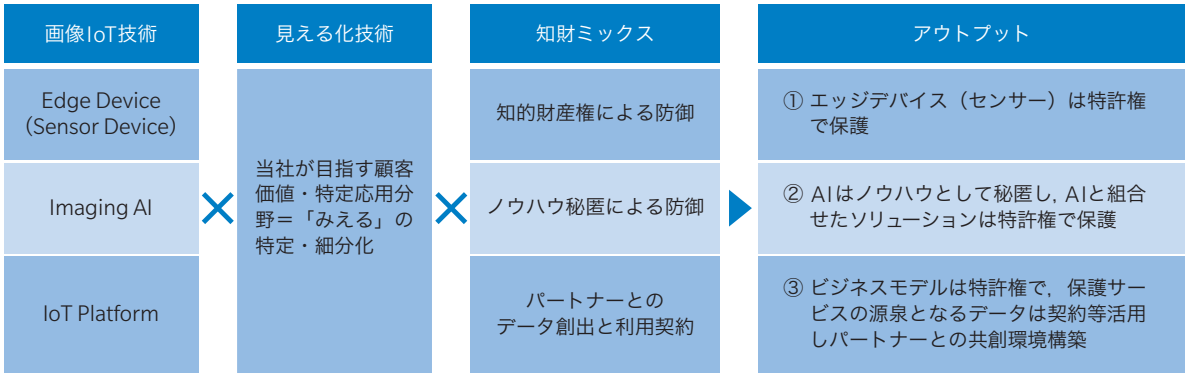
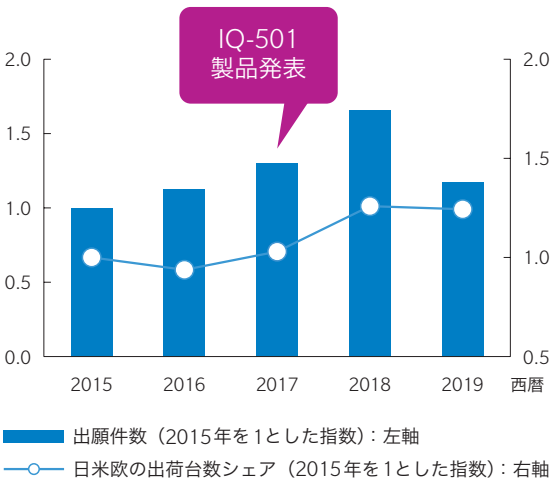


図3. 画像IoT知財ジャンルトップ戦略概略図

2017年夏に発売した自動品質最適化ユニットIQ-501においては，グローバルで特許ポートフォリオ強化を図り，知財ジャンルトップを築きました。この特許ポートフォリオの構築により，自動品質最適化機能を搭載した製品の対象市場でトップクラスのシェア獲得，及び，高い利益率の確保に貢献しています。



Source: IDC Worldwide HCP Tracker 2021Q2 (Share by Company)

図4. 自動品質最適化ユニットIQ-501の特許ポートフォリオの強化（国内外の出願件数推移）

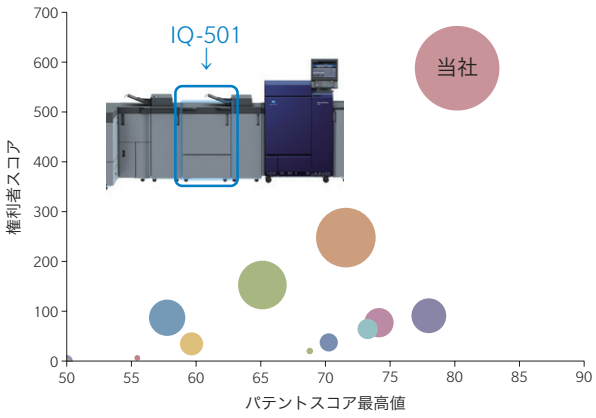


図5. 自動品質最適化機能に関する権利者スコアマップ

※株式会社パテント・リザルトの特許分析ツール「Biz Cruncher」を用いて当社にて作成しました。円の大きさが各社の特許件数を，横軸が最もパテントスコアの高い特許の評価値，縦軸が特許群全体の評価値を示します。

ガバナンス ー知的財産活動を支える体制ー

知的財産マネジメント体制

当社では代表執行役社長による経営判断のもと，知的財産を担当する役員がグループの知的財産マネジメントを推進する責務を担います。知的財産を担当する役員は経営基幹会議の定席メンバーとして参加し，知的財産方針を含むグループ全体の経営重要事項について審議します。経営戦略に基づく知的財産方針は，知的財産部門と各事業部門へ共有され，各事業における市場環境や商流等を考慮して効果的な単位で知的財産戦略を構築し，密に連携しながら戦略の推進・実行を図ります。知的財産部門は「各事業部門における知的財産戦略策定・実行，特許等の出願・権利化」と「全社横断的な知的財産戦略推進，知的財産リスクマネジメント」の機能別に組織を編成し，それぞれ事業部門や企画管理部門と連携し効果的に知的財産戦略を実行できる組織を構築しています。

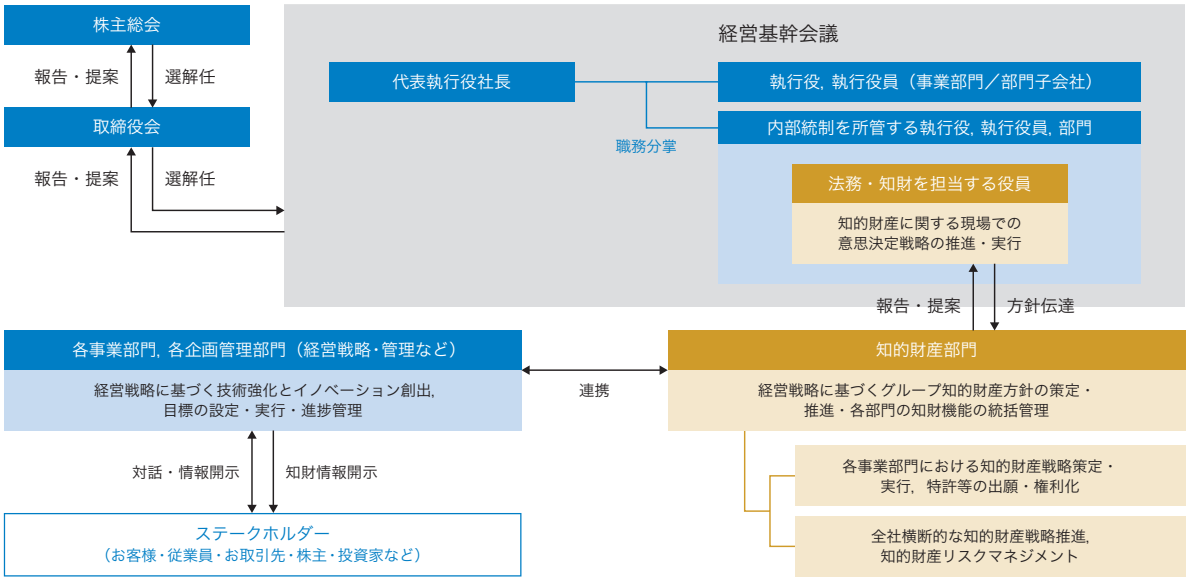


図6. 知的財産マネジメント体制概略図

グループ会社への知的財産活動支援

知的財産等の無形資産が企業競争力の源泉として一層の注目を集める中，知的財産に起因する事業機会の逸失や重大リスクの発生がないように，国内外の開発拠点における知的財産の権利化・クリアランス（第三者の知的財産権を侵害していないか確認するための調査）の体制整備を進めています。知的財産部門においては，各拠点の事業環境，開発の対象・スピードなどは多種多様であることに鑑み，各拠点に対して細やかなヒアリングを行い，それぞれに適応した権利化・クリアランス体制を提案し，その構築をサポートしています。これらの支援を通じて各拠点における権利化・クリアランスの確実な実施を推進することにより，グループ会社一丸となった知財資産の形成，侵害リスクの回避を実現し，企業競争力の向上・企業収益の拡大へと繋げています。

イノベーション創出のマネジメント体制

事業環境変化のスピードが高まる近年，企業が持続的に成長するために，時代の変化に即した新規領域の事業開拓が不可欠となっていますが，新規領域でのイノベーション創出には既存事業と比較して多くの非効率性・不確実性を伴います。当社では新規領域でのイノベーション創出をより効率的に実施するための仕組みとして事業のステージ毎に独自技術やビジネスモデルを仮説検証するイノベーション創出マネジメント体制を構築しています。そして，仮説検証の中で知財情報を用いた経営判断を実施しています。知財情報を用いた仮説検証の例としては，新規領域における他社特許ポートフォリオを分析することで，技術的な動向や競合・アライアンス関係，自社のポジションを把握し，ビジネスモデルの独自性や，事業の拡張可能性・持続性の確からしさを検証することが挙げられます。

特集 ー社会課題の解決に寄与する知的財産ー

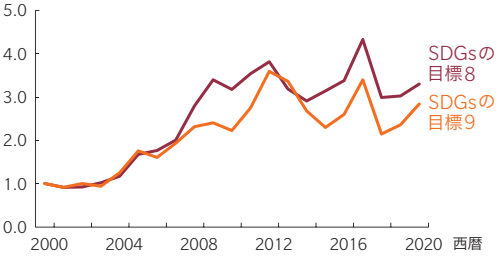
グローバリゼーションによる世界経済の発展が進むなかで地球環境問題に代表される社会課題は多様化・複雑化しており，その解決には高度なイノベーションが必要とされています。当社は，絶え間ないイノベーションにより新たな顧客価値を創出し，その過程で得られた技術やノウハウ等の知的財産を活用することによって，競争優位性の維持・強化を図るとともに，当社が取組む「5つのマテリアリティ」の追求を通じた社会課題の解決を目指しています。

特許から見る当社の社会課題の解決力

当社は，顧客接点，技術，人財をはじめとする無形資産を活用して，様々な社会課題の解決に取り組んでいます。技術に内包される知的財産についてはその一部は特許出願され，公開されることから，社会課題解決への取り組み状況の一端は，開示されている特許情報から可視化することができます。持続可能な開発目標（SDGs: Sustainable Development Goals）で規定される169のターゲット定義文に基づいてSDGsの目標に紐づく当社の日本登録特許を特定すると，2000年以降その登録件数は増加の傾向にあり，特にSDGsの目標8（働きがいも経済成長も）や目標9（産業と技術革新の基盤をつくろう）に対応する技術を数多く蓄積してきました。当社が2020年に保有していた日本登録特許ポートフォリオにおいては44%がSDGsの目標に紐づく特許群であり，そのうち42%がSDGsの目標8に分類されます。大部分が当社のマテリアリティ「働きがい向上及び企業活性化」の課題解決を支援する自動化，ユーザービリティという観点の特許群であり，デジタルワークプレイス事業とプロフェッショナルプリント事業におけるソリューションの競争力維持・強化に貢献しています。これら特許資産は，価値創造プロセスに組み込まれ，当社の５つのマテリアリティを軸とした事業活動の推進力となり，将来的な社会課題の解決に寄与しています。

環境問題解決への取り組み

当社は知的財産領域におけるSDGsへの取り組みの一環として，国連の世界知的所有権機関（WIPO）が運営する環境技術の活用を促進するためのプラットフォームである「WIPO GREEN」にパートナー企業として2019年度に参画しました。2020年度は安全性向上や長寿命化の次世代技術として注目を集める「全固体アルカリ金属二次電池に関する特許群」と，高い発熱効率によって大きな省エネルギー効果を実現する「面状発熱体に関する特許群」等，20を超える環境技術特許を追加登録しました。これら特許群の開放によって地球規模の緊急課題である環境問題の解決に向けたグリーンイノベーション創出を支援していきます。



※分類には，SDGs169のターゲット定義文を用いてIPC（特許分類）とキーワードを組合せた検索式を使用。

図7. SDGsの目標8及び目標9に紐づく当社の日本特許の登録件数推移（2000年を1とした指数）

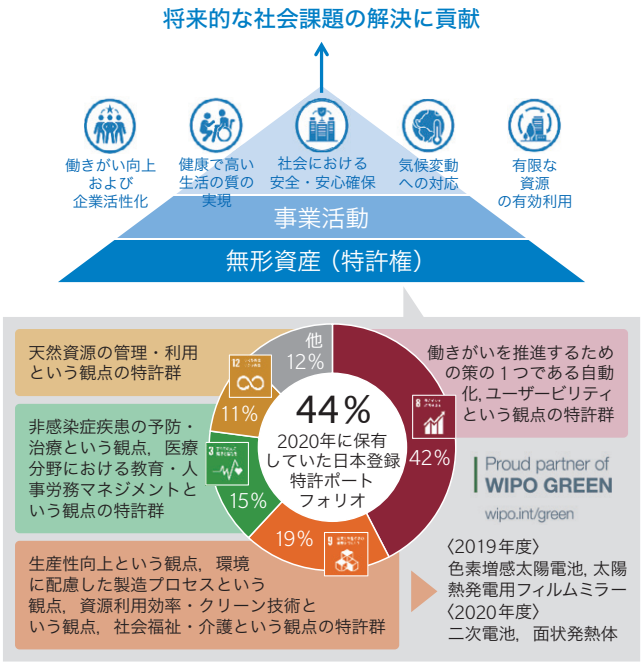


図8. SDGsの17の目標別構成比

特集 ー戦略を支える知財業務のDXー

当社は，「イメージング」技術をはじめとする無形資産を基盤として，デジタルの力で事業を変革すること（デジタルトランスフォーメーション：DX）によって，高付加価値サービスを主体としたビジネスモデルへの業容転換を図り，企業としての成長と社会課題の解決の両立に取組んでいます。知財業務においても，各事業の競争優位性の確立と，持続的な成長につなげるべく，データとデジタル技術を活用することで知財業務・プロセスの変革を推進しています。

DX推進のビジョン

知財業務・プロセスのDXの取り組みにおける目指す姿として，「知的財産戦略の高度化・実効性向上」と「知的財産権の質向上」の2つのビジョンを掲げています。

2020年度は，知的財産戦略の高度化・実効性向上に向けた取り組みとして，知的財産部門のオペレーショナル業務や情報収集の自動化を進め，業務環境の整備を推進してきました。これにより知的財産部門においては，事業収益性向上に寄与する付加価値業務（知的財産権の質の向上，重要知的財産の権利化，知財ソリューションの提供等）へのシフトが加速しています。

知的財産部門のDX推進の取り組みで蓄積した知見は，他の部門における知財関連業務・プロセスにも展開・適用しています。

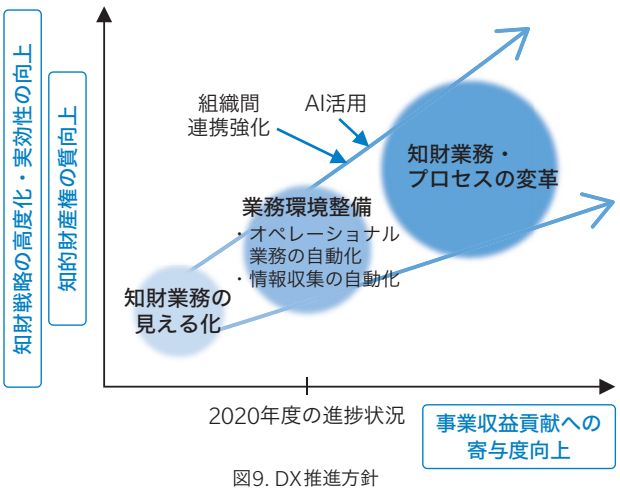


図9. DX推進方針

取り組み事例

〈オペレーショナル業務の自動化〉

特許出願ワークフローの一部にRPA（Robotic Process Automation）を導入し，知的財産部門のオペレーショナル業務において，年間200時間以上に相当する工数の削減を実現しました。

〈情報収集の自動化〉

IPランドスケープを駆使した知的財産戦略の構築にあたっては，競合他社や関連市場を調査・研究することも必要であると考えています。そのため，知財情報はもちろんのこと，新製品情報や市場トレンドといった一般情報の確認が不可欠です。知財情報についてはITツールを活用することによって，必要な情報を自動的に収集するシステムを開発しました。一般情報についてはweb情報の収集・選定にRPAを活用することで，膨大な量の情報から有用なものだけを自動的かつタイムリーに収集する仕組みを構築しました。必要な情報が簡単に即時に確認できるようになったことで，これら情報を用いた知的財産戦略の構築に，より多くのリソースを充てることが可能となり，知的財産戦略の高度化が進みました。

〈知財費用管理の高精度化〉

知財費用については，長年，精度の高い予実管理は困難であるという課題を抱えていました。特許や商標では出願時，権利化対応時，権利維持費用支払時等のタイミングで費用が発生しますが，取り扱う件数が多く，また案件毎にそれらのタイミングが異なるためです。そこで当社は出願から権利満了までの経緯データの統計的な分析結果を活用して，年度での知財予算を算出するシステムや，四半期単位で費用発生タイミングを予測するシステムの開発を行い，費用の予測精度を向上させました。また，リアルタイムに費用実績を集計・確認できるシステムも構築し，これら一連のシステムを組み合わせて四半期毎の精度の高い予実管理を実現しました。

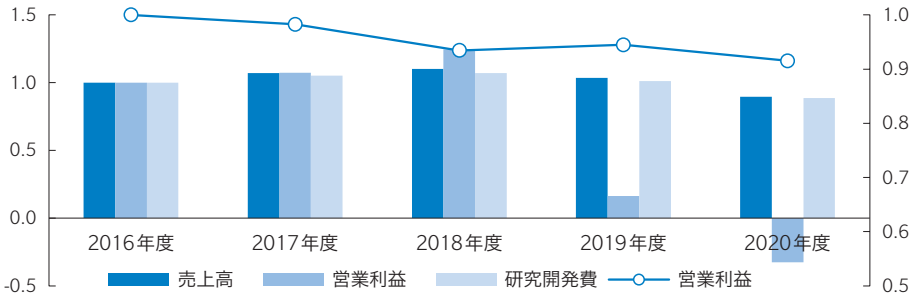
データセクション ー5年間の主要データー

中期経営計画に基づいた各事業計画に連動して，質の高い特許ポートフォリオの構築に努めています。保有する日本特許権について，2020年度は，約1200件を新たにポートフォリオに組み入れ，約1900件の維持を中止することにより，各事業計画に連動したポートフォリオの構成の見直しを進めました。その結果，2020年度は前年に比べ日本特許保有件数は減少しています。

売上の約80％が海外となっている当社にとっては海外の知的財産権の取得が非常に重要です。日本と同様に海外の特許についても事業計画に応じたポートフォリオの形成に努め，厳選した日本出願から，さらに重要な発明を選び，米国，中国等に特許出願し，ワールドワイドでの特許保有件数を増加させています。

（百万円）（年度）	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
売上高	962,555	1,031,256	1,059,120	996,101	863,381
営業利益	50,135	53,844	62,444	8,211	-16,266
研究開発費	73,275	77,021	78,395	74,040	65,034
特許保有件数	**21,611**	**21,276**	**20,235**	**20,453**	**19,814**
国内	13,168	12,926	11,678	11,757	11,083
国外	8,443	8,350	8,557	8,696	8,731
特許取得件数	**2,118**	**2,269**	**2,053**	**2,198**	**1,850**
国内	1,380	1,473	1,183	1,226	1,234
日本企業中順位 ※1	22	12	22	19	11
国外	738	796	870	972	616
米国特許取得件数 日本企業中順位 ※2	19	24	21	24	22
審査請求率	76.7%	48.2%	79.3%	64.5%	82.0%
特許査定率	84.0%	83.0%	81.1%	83.0%	76.4%

※1　特許庁発行の「特許行政年次報告書2021年度版」の情報に基づく特許取得数の順位。
※2　Intellectual Property Owners Association（Top 300 Patent Owners）の情報から推定した順位。
・IFRS基準
・特許取得件数：国内＝日本特許，国外＝米国,中国特許
・保有件数：国内＝日本特許，国外＝米国，中国特許
・審査請求率＝審査請求件数／審査請求期限日が年度中にある案件数
・特許査定率＝特許査定件数／(特許査定件数＋拒絶査定件数＋ファーストアクション後の取下げ・放棄件数)



・売上高，営業利益，研究開発費は2016年度を1とした指数（左軸）
・特許保有件数は国内及び国外特許保有件数を合計し，2016年度を1とした指数（右軸）

図10. 主要データの推移

各事業のフェーズや技術領域に応じて，最適な特許ポートフォリオを構築するために，出願及び権利化する案件の厳選も継続して進めております。審査係属中の出願の再評価・厳選を行った結果，2020年度の特許査定率は前年度から若干低下し，76.4%となりました。しかしながら，保有している特許の質を評価する指標の１つであるパテントスコアの平均は2019年度に対して+1.1%向上しており，出願・権利化案件の厳選が質の高いポートフォリオの構築につながっています。引き続き，ポートフォリオの最適化により，知財投資効率を高め，事業への貢献度を高めていきます。

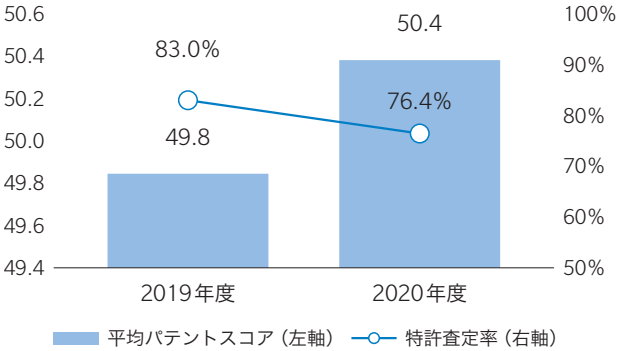


図11. 当社の特許ポートフォリオのパテントスコア前年対比

データセクション ーデータハイライトー

知財ポートフォリオ転換

当社のオフィス事業に続く柱となる事業を確立すべく，事業ポートフォリオ転換を進めている中，対応する知財ポートフォリオの転換に向けた知財投資を実行しています。2019年度までの各年度における特許出願の事業別構成比率において，収益力強化が期待されているプロフェッショナルプリント事業，画像診断を中心とするヘルスケア事業は拡大傾向にあります。インダストリー事業では，データやノウハウとして秘匿すべき生産技術や生産設備そのもの，顧客要望への迅速な対応力等，様々な無形資産がその競争優位の源泉となっており，特許は厳選されたコア技術を中心に出願する戦略に移行しています。この結果，インダストリー事業では高い投資効率で質の高い特許ポートフォリオが形成されています。このように知的財産面から事業ポートフォリオ転換をサポートしています。

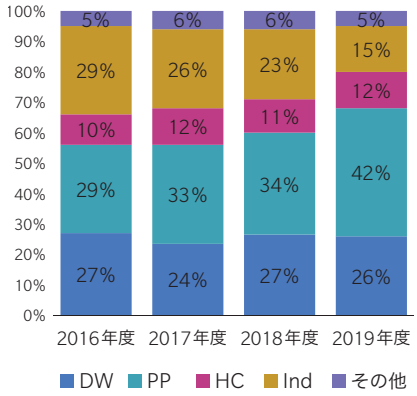
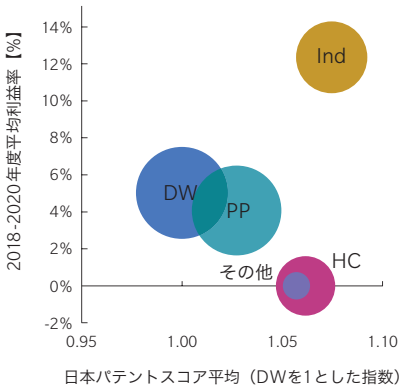


図12. 事業別特許出願構成比



※株式会社パテント・リザルトの特許分析ツール「Biz Cruncher」を用いて当社にて作成しました。
円の大きさが特許件数を，横軸がパテントスコアの平均値を，縦軸が2018-2020年度の平均営業利益率を示しています。

図13. パテントスコア※

投資効率の高い知財ポートフォリオ

当社では，事業ポートフォリオの転換に対応した知財ポートフォリオが質の高い特許で構成されるよう，投資効率を高める取り組みを行っています。この取り組みが適切に機能しているかは例えば，他社特許の審査において引用された特許（被引用特許）を分析することにより確認できます。被引用特許は，技術としての先行性があり，他社の関心度が高いと考えられます。被引用されうる特許の総数は特許出願を行うことにより年々増加しますが，質の低い特許権の放棄や権利満了等により，被引用されうる特許に対する生存特許の割合は減少傾向を示します。一方，当社では，全被引用特許に対する生存している被引用特許の割合は，ほぼ一定を保っています。これは，先行性あるもしくは他社に魅力ある発明を見極めて出願，維持する取り組みにより，生存特許のうちの質の高い特許の割合が高く維持され続けていることを示しています。図15は2015-2018年に出願日を有する当社特許のうち，2020年度に他社特許の審査で引用された特許の事業部門別の比率を示しています。このデータからもインダストリー事業において質の高い特許ポートフォリオが形成されていることがわかります。

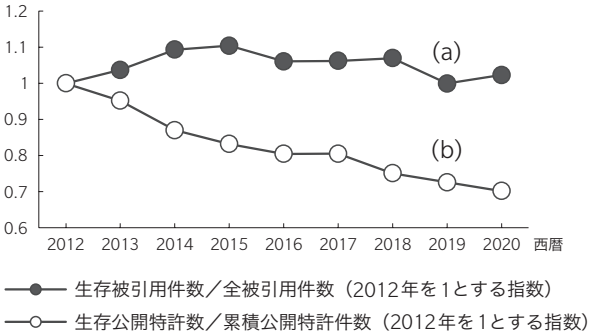


図14. 知財投資効率の推移の一例

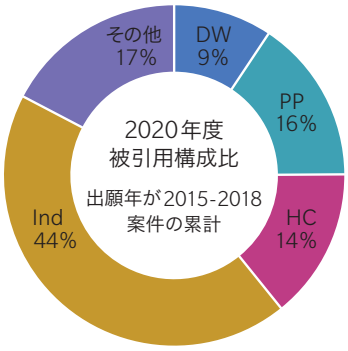


図15. 被引用件数の事業別構成比

データセクション ーデータハイライトー

意匠・商標

当社は，社名「KONICA MINOLTA」及びシンボルマークについて，約180カ国において商標の出願・権利化を行っています。ブランドイメージの維持・向上のために，商品やサービスの名称についても戦略的に商標権を取得しております。2020年度には，当社独自の画像技術と最新のIoT・AI技術を組み合わせて実現した画像IoTプラットフォームのブランドとして「FORXAI（フォーサイ）」を立ち上げました。「先見性 Foresight」と「AIを社会のために：For X AI」という2つの思いを込めたこのブランドを守り育てていくため，国内外において商標出願・権利化を進めております。2020年度末におけるワールドワイドでの当社商標権保有件数は約2,800件となっています。

また，デザイン※に関しては，ブランド構築の重要な手段として創作に努めており，2020年度は介護施設コミュニケーションサービスの「HitomeQ コネクト」や複合機など6製品がデザインを評価され，国内外で賞を受賞しました。カラープロダクションプリンター「AccurioPress C14000／C12000」は，公益財団法人日本デザイン振興会主催の「グッドデザイン賞」，ドイツのノルトライン・ヴェストファーレン・デザインセンター主催の「Red Dot Design Award」，ドイツのiF International Forum Design GmbHが運営する「iF Design Award」を受賞し，印刷事業拡大への意欲を高めるフラッグシップ機に相応しいデザインが高く評価されています。2020年度末におけるワールドワイドでの当社意匠権保有件数は約530件となっています。

※コニカミノルタのデザイン　https://www.konicaminolta.com/jp-ja/design/index.html

FORXAI

デジタル印刷システム
「AccurioPress C14000／C12000」

外部評価

2020年度地方発明表彰（公益社団法人発明協会主催※1）において，当社の特許権4件が発明奨励賞を受賞しました。

また，知的財産の価値を表す外部評価として，株式会社パテント・リザルトが「他社牽制力ランキング※2」を公表しておりますが，同ランキング2020年版において，当社は精密機器業界で4位となり，2013年以降トップ5を維持しています。

社会課題の解決に向けた知財投資に関する外部評価としては，一般財団法人日本特許情報機構（Japio）によるSDGs技術企業ランキング※3において「8 働きがいも 経済成長も」で5位と高い評価を獲得しています。

2020年度 関東地方発明表彰受賞

	発明名称	特許番号
発明奨励賞	両面に形成された画像の位置を監視する画像読取装置	特許第6547647号
発明奨励賞	画像形成装置に用いられる中間転写体	特許第4577362号
発明奨励賞	高速高画質印刷を実現するインクジェットインク	特許第4556414号
発明奨励賞	ニオイ可視化装置	特許第6508440号

※1　公益社団法人発明協会「令和2年度関東地方発明表彰受賞者一覧」 http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/chihatsu/R2/jusho_kanto/
※2　株式会社パテント・リザルト「他社抑制力ランキング2020」 https://www.patentresult.co.jp/news/2021/08/fcitpre.html
※3　一般財団法人日本特許情報機構によるSDGs企業ランキング（日本） https://transtool.japio.or.jp/work/show_sdg.php?mode=prev_year

用語集

● **オープンイノベーション：Open innovation**
イノベーションを起こすための知識や情報に対する企業内部と外部の境界をなくし，アイディアを有機的に結合させて価値を創造すること。

● **知財ミックス：Intellectual Property Mix Strategy**
知的財産（ノウハウ等）や知的財産権（特許権，意匠権，商標権等）の強みを複合的かつ有機的に活用することで自社製品・サービスを多面的に保護する知的財産戦略。

● **ビジネスセグメント：Business segment**

ビジネスセグメント	● 分野	・ユニット
デジタルワークプレイス（DW）	・オフィス（OP） ・ITサービス・ソリューション，ワークプレイスハブ（DW-DX）	
プロフェッショナルプリント（PP）	・プロダクションプリント（PP） ・産業印刷（IP） ・マーケティングサービス（MS）	
ヘルスケア（HC）	・ヘルスケア（HC） ・プレシジョンメディシン（APM）	
インダストリー（Ind）	● 材料コンポーネント（M&C）	・機能材料（PM） ・インクジェットコンポーネント（IJ） ・光学コンポーネント（OC）
	● センシング（SE）	・計測機器（MI）
	● 画像IoTソリューション（IIS）	・画像IoTソリューション（IIS） ・映像ソリューション（VS）

● **画像 IoT 技術：Imaging-IoT technology**
画像データと各種センサー情報をディープラーニングなどのAI技術を活用して解析し，さまざまな現場における意思決定や判断を支援する技術。

● **自動品質最適化ユニット IQ-501：Intelligent Quality Optimizer-501**
印刷中の常時監視で色管理・表裏見当調整を自動化して調整時間を大幅に短縮し，生産時間を改善するオプションユニット。

● **パテントスコア：Patent score**
特許出願後の審査経過情報をもとに，個別特許の注目度をスコアリング評価する指標。株式会社パテント・リザルト「Biz Cruncher」により評価。

● **出願・権利化：Application・Acquisition of right**
知的財産（発明・デザインなど）を特許庁に出願することで知的財産権（特許権・意匠権など）とすること。特許要件や審査基準を満たしつつ，自社実施可能性・他社回避困難性など効果的な権利範囲で権利を取得することが重要となる。

● **特許の質：Patent quality**
特許の価値（特許が企業収益性にどの程度貢献しているか）とは別に，特許の他社への影響度（他社にとって回避困難性が高く使用せざるを得ないものか，事業参入を諦めざるを得ないものか等）を示すもの。

商標一覧

・コニカミノルタ，KONICA MINOLTA，KONICA MINOLTA ロゴ，
シンボルマーク，Giving Shape to Ideas，RETHINK フレームは，
コニカミノルタ株式会社の商標または登録商標です。

・AccurioPress，PULSOX，PULSOX-Lite，PULSOX-Neo，モニタリングシステム VS1，
bizhub，tomoLinks，FORXAI，AccurioPro，Positioning i，RADInsight，Vascular NAVI，
SONIMAGE，Senciafinder，SpectraMagic，HITOMEQ，AccurioJet，INFOMITY，
workplacehub，workplacehub ロゴ，FORXAI ロゴ，LATTICE，LATTICE ロゴ，U-BIX，
VA-TAC，SANUQI，ケアサポートソリューション，REGIUS，PCM，KINOSIS，AeroDR，
Quanticell，Ambry Genetics，Ambry Genetics ロゴ，INVICRO，INVICRO ロゴは，
コニカミノルタ株式会社の商標または登録商標です。

・HYPERKTX は，株式会社神戸製鋼所の登録商標です。

・ROBOSHOT は，ファナック株式会社の登録商標です。

・PYTHON は，Python Software Foundation の登録商標です。

・SCIKIT-LEARN は，Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
及び Institute Mines Telecom の登録商標です。

・CRYSTA は，株式会社フォトロンの商標です。

・GORILLA は，Corning Incorporated の登録商標です。

・ZSX は，株式会社リガクの登録商標です。

・PHI TRIFT V nanoTOF は，アルバック・ファイ株式会社の商標です。

・Bluetooth は，Bluetooth SIG, Inc. の登録商標です。

・ReseEd は，株式会社イードの登録商標です。

・TRASCOPE は，丸紅ネットワークソリューションズ株式会社の登録商標です。

・JETSON は，NVIDIA Corporation の登録商標です。

・MOBOTIX は，MOBOTIX AG の登録商標です。

・LINUX は，Linus Torvalds の登録商標です。

・ANTHOS は，Google LLC の登録商標です。

・AWS は，Amazon Technologies, Inc. の登録商標です。

・AZURE，EXCEL は，Microsoft Corporation の登録商標です。

・Cloudify は，Cloudify Platform Ltd. の商標です。

・MORPHEUS は，Morpheus Data, LLC の登録商標です。

・HASHICORP は，HashiCorp, Inc. の登録商標です。

・Gartner は，Gartner Inc. の登録商標です。

・DICOM は，National Electrical Manufacturers Association の登録商標です。

・TABLEAU は，Tableau Software Inc. の登録商標です。

・Biz Cruncher は，株式会社パテント・リザルトの登録商標です。

・その他のブランド名及び製品名は，各社の商標または登録商標です。

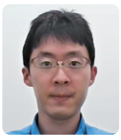
執筆者紹介〈研究開発を終えての一言〉

P. 08 データサイエンスを活用した
樹脂材料の難燃性解析

視点を増やすことで加速する，材料開発の未来

代表執筆者：中島　陽

私は材料開発を担当していますが，本件ではマテリアルズ・インフォマティクスの専門家も交えて議論を重ね，データサイエンスを使った新しい難燃性樹脂の解析方法を見出すことができました。これまで私は材料科学の知識をベースに開発に取り組んできましたが，そこにデータサイエンスの視点も取り込むことで新たなアイデアや発見につながることを実感できました。今後もこのような手法を使って材料開発を加速していきたいと思います。これからの材料開発が楽しみです。


中島　陽

中村優太

池田祐子

小嶋　健

P. 19 パルスオキシメーターの開発史と
コロナ禍における社会貢献

パイオニアメーカーとしての社会的責任

代表執筆者：徳丸翔太

誰もが自由にそして簡単に情報発信し，物を売り買いできる時代なので，パルスオキシメーターがコロナ禍によって広く知られていくにつれて，その位置づけや使用方法に関する正しい知識が追い付いていないことに大きな不安を覚えました。実際に，それが一因の悲しい事故なども起きています。高い品質・性能を持つ医療機器であっても，正しく使われなければ価値を生まないことを再認識し，パルスオキシメーターのパイオニアメーカーとしての責任を全うしていきたいと思います。

徳丸翔太

舘田典浩

三輪　敦

小野陽一

亀田正信

P. 14 資源有効利用の実現に向けた
化学強化ガラス検査技術開発

持続可能性の見地から技術を【RETHINK】する

代表執筆者：高橋　篤

今や日常生活に欠かすことのできないスマートフォンですが，そこに搭載されるカバーガラスは，アナログな製造工程で大量生産されており，サステナブルな資源利用の実現にはまだまだ課題がたくさんあります。今回は，カバーガラスに施される化学強化処理層の品質評価に関して，社内のさまざまな技術を有するメンバーが集まり，コニカミノルタの光学技術・材料技術を活用した，新たな計測手法の実現と，それによる資源の有効利用の実現を目指した成果について紹介します。

高橋　篤

前澤明弘

伊藤博人

田畑顕一

山本宣人

P. 24 個に応じた学びを支援する
教育機関向けソリューション

教員の「みたい」から始まる教育現場のDX

代表執筆者：松末育美

コニカミノルタはICT技術の活用を通じて，学びの効率化やさらに質の高い指導を目指す教員の「みたい」に応え，教育のデジタルトランスフォーメーション（DX）を推進します。学校現場におけるDXの課題は，教員のICT活用指導力の向上です。教員が授業にICTを効果的に取り入れ，子どもたちの学習に対する意欲や興味・関心を高めることが求められています。この課題を解決する教育機関向けソリューションは，教員と児童生徒のワンストップの学び合いを支援します。

松末育美

則武和輝

滝上睦子

石黒広信

P. 30 AccurioPro ColorManager Print による
スキルレス色合わせ技術

現場を訪ねることで得られる刺激的な体験

代表執筆者：山口岳志

「色の管理に関する困りごとを解決する」そう言って始めたプロジェクト。今までは会社のなかでひたすら実験や実装を繰り返す毎日でしたが，本プロジェクトでは顧客訪問のために全国を飛びまわり，自分の目で現場を見つめ，顧客や営業とディスカッションをするというエキサイティングな体験ができました。昨今の情勢から現場に行きにくい状況ではありますが，今後は色管理の改善だけではなく，さらなる顧客のワークフロー改善のために多くの人を巻き込み走り続けていきたいです。

山口岳志

P. 38 Consideration of the Counter Charge Traveling Distance on the Charge Transport Equilibrium Mechanism with a Dynamic Procedure

複雑な理論のなかにこそ潜む，美しい情景

代表執筆者：服部好弘

使い慣れている理論式だったのですが，永らく心残りだった疑問の部分がようやく解けて，今はとてもすがすがしい思いです。電子写真技術は理論研究と製品開発が車の両輪となって進化を遂げてきました。そのなかでも現像プロセスの理論は複雑で奥深く，そこに潜む美しい情景を見出したとき，新たな可能性を持つシステムが誕生したり，逆に新たなシステムが新たな理論を生み出したり，を繰り返してきました。今回のモデルからどんな新しいシステムが生まれるのか，楽しみです。

服部好弘

P. 34 IQ-501を利用したカール自動補正による
印刷オペレーションの自動化技術

印刷技術の品質と効率を同時に高めていきたい

代表執筆者：野田恵介

今回，印刷画像をリアルタイムで読み取ることが可能なIQ-501と印刷紙が湾曲する現象「カール」を補正するRU-518mを連携して印刷品質の監視と自動補正を行うことで，カール補正に関する印刷オペレーションの自動化を実現しました。今後もIQ-501を活用しながら，画像解析による印刷品質の定量化と，それに作用する印刷設定パラメーターのデータ分析を推進して，印刷オペレーションのさらなる自動化・省人化を目指し，顧客価値を生む製品開発が行えるよう精進していきます。

野田恵介

池田　信

平田大樹

沖津俊太

P. 44 電子写真用
光沢センサーの開発

常に《これから》のプリンターを目指しています

代表執筆者：浅野　斉

プロダクションプリンターの自動化と高品質化に向けIM-501やメディアセンサーの開発が進むなか，今回は定着の光沢を自動制御するべく光沢センサーの開発に取り組みました。関連部署の協力を得ながらの各種計測器や光学シミュレーションモデル作製・実験を経てトナー画像における光沢変化の特性を把握し，それに則した光沢センサーのシステム開発を行いました。今後も各種プリンターの自動化と高品質化に向け，新しいセンサーや制御アルゴリズムの開発に取り組んでいく所存です。

浅野　斉

石川明正

高橋昌彦

大木　誠

湯浅崇史

P.51 Study on Internal Stress Vibration and Edge Wear of a Cleaning Blade

見える化×DXで技術開発を飛躍させる！

代表執筆者：中根良樹

私たちを取り巻く社会の変化は目まぐるしく，技術者もトレンドを捉えることが必要です。環境トレンドとして持続可能な社会の実現があり，メーカーの対応としては製品の長寿命化が一つの解になると考えます。長寿命化には技術開発が必要ですが，技術にもトレンドがあり，そのひとつが可視化と考えます。「みたい」に応えることはコニカミノルタのDNA。得意分野です。そこにDXを合わせることで新規技術を開発できました。技術で環境トレンドに応える。技術者の仕事は楽しいです。

中根良樹

向林　祐

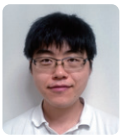
服部好弘

P.68 再撮影判定支援機能「Positioning i」の開発

医療現場における「三方よし」を理念に掲げて

代表執筆者：伊藤良平

放射線技師がX線撮影時に何を見て何を考えているのか。その判断の一助になればという思いから，私は今回，医療現場を支援する目的で『Positioning i』という機能を開発しました。精度が高く進行もスムーズな〈良い検査〉は，受診される患者さんの抱く身体的および心理的な負担を減らし，同時に医師の正しい診断にも貢献できるはずです。本開発で得られた成果をベースに，これからも「患者よし・医師よし・放射線技師よし」の「三方よし」を目指して開発していきます。


伊藤良平

山村拓也

清水亜麻衣

髙木達也

P.57 コモンモードシミュレーションを用いたEMC設計のための支配的なノイズ源の特定

原理原則を追求する“ホワイトボックス化”の大切さ

代表執筆者：辻本隆浩

従来機のEMC設計は対症療法的な勘所のノイズ対策をしており，各試作ステージが進むにつれて原因との因果関係を把握することは困難で再現性が得られず，不要なEMC対策部品追加によるコストアップや対策の手戻り工数が発生していました。この課題に対して岡山大学との産学連携を図り，コニカミノルタ独自の平衡度不整合モデルを使用したコモンモードシミュレーションを行うことで支配的な励振源の特定ができ，早期試作ステージからの的確なEMC設計が可能となりました。

辻本隆浩

髙津宏明

野村　毅

P.72 簡単操作で血管エコー検査を実現するVascular NAVI®の開発

利用する方にとっての「かんたん」を追求したい

代表執筆者：占部真樹子

医療機器開発の難しい点のひとつは「自分自身がユーザーではない」ということだと考えています。開発にあたり，現場ヒアリング等を通じて使われ方や問題点を整理し，どのような製品仕様にすればより良い医療につながる貢献ができるか仮説を立て，様々な視点を持つメンバーと共に検討しています。超音波診断装置をお使いの先生方やスタッフの方だけでなく患者様の視点で考えることも重要です。これからも「かんたん」を追求し，現場のお役に立てるものを作っていきたいと思います。

占部真樹子

武田義浩

大杉増美

川端章裕

赤羽睦弘

P. 78 デジタルマンモグラフィー画像を用いた
乳房構成解析ソフトウェア（Bda）の紹介

「誰かの幸せのために」それが研究の原動力です

代表執筆者：南　寛威

我々が取り扱う医用画像の診断支援技術は，医師への読影支援を通して病気の早期発見に貢献できる現場だと思っています。高価値な製品を開発するためには，臨床現場に足を運び，医療従事者と対話することで，現場の理解を深めることが特に重要だと考えています。

研究と開発にかかる期間はとても長く，厳しい課題も多々ありますが，実現できた際の対価は非常に高いものだと感じています。今後もさらに多くの方々の幸せに貢献できるよう，研究・開発に取り組んでいきます。

南　寛威

甲斐千遥

P. 88 色・光沢の品質管理／検査や調色システムに適した
分光測色計CM-36dGの開発

開発の出発点はいつでも顧客課題のなかに見つかる

代表執筆者：谷中祐太

工業製品の色の品質管理において，これまでコニカミノルタの製品は多く使われてきました。新製品開発では，色管理のデジタル化や作業効率化などの顧客課題を解決することが重要であり，従来製品との高い測色互換性を維持したまま，精度向上と効率化を達成するためにチームが一丸となって製品化を行いました。その結果，顧客の方々にとって満足いただける製品が完成したと考えています。今後も顧客課題に耳を傾けて，ニーズに応えられる製品開発に取り組んでいきたいと思います。

谷中祐太

飯田慎一

川崎貴志

田中宏樹

板倉聡史

P. 83 アミロイドβの非標識
蛍光イメージング手法の開発

安全な日常と将来のため，私たちが今すべきこと

代表執筆者：小野雄樹

異常タンパク質であるアミロイドβの可視化は，従来法ではコンゴレッド染色による組織標本の作製に数日を要することに加えて，画像診断には専門知識が必要となる大変な作業です。今回の取り組みは「染色せずにアミロイドβから発せられる蛍光を直接観察し簡単に可視化しよう」という試みです。本技術は，アミロイドβの可視化の他に食肉検査など食の安全にかかわる応用や，水質検査のような環境分野，その他の幅広い産業分野に応用し活用できる可能性があります。

小野雄樹

岡野誉之

P. 93 顧客対応の高度化に向けた
品質保証DX

DXの時代におけるサービスのあり方を考える

代表執筆者：森　宏之

デジタル化の流れは品質保証部門においても例外ではなく，いかに多方面からの情報を統合して，発生する品質課題に対処していくかが求められています。新たな試行錯誤を進めるなかで，我々はDX，すなわちデジタル技術で業務および風土をトランスフォームするための第一歩を踏み出したところにいます。お客様が満足する品質とは何か，お客様が求めている製品サービスとは何かをこれからも常に考えながらDX時代の品質保証のあるべき姿に向かっていきたいと思います。

森　宏之

豊田美帆

佐々木克司

小板橋海渡

P.97 深層学習を活用した
自動外観検査技術の開発

ひらめいたアイデアは迷わずどんどんカタチに！
代表執筆者：岡﨑智也

私たちのチームでは，製造業のDX推進に貢献すべく画像AI技術を活用した外観検査の自動化に取り組んでいます。人間の目で見ればなんとなく「不良品だな」と判るような画像であっても，アルゴリズムによって精度よく自動検査することは簡単ではありません。性能が出ないときは苦しいですが，ひらめいたアイデアをアルゴリズムへ落とし込み，ねらい通りの実験結果が得られたときにはとても達成感があります。今後も技術開発を通じて，製造業の発展に貢献していきたいです。

岡﨑智也

指田岳彦

奥野貴一

舘　高基

P.103 意匠性とオンデマンド性を兼ね備えた
新コンセプトOLED

課題の難しさこそが新しい気付きのキッカケ
代表執筆者：及川和博

OLEDの光の価値は，多くのお客様，産官学連携，さまざまな技術者たちの思いを結集して進化してきました。「発光」機能を「入力」に置き換えることで，IoTやAIを支えるデバイスへの進化も期待されています。メカニズムの複雑さから，上手くいくのかと不安を覚えることもありましたが，そのたびに次々と新しいアイディアを提案してくれる仲間に支えられてきました。今後も本稿をご覧いただいた皆様と共に，新しい価値や文化を創造していけることを楽しみにしております。

及川和博

泉　倫生

髙　秀雄

檜山邦雅

北　弘志

P.109 ハイスループット実験と機械学習を活用した
有機化合物の分光特性予測

データを最大限に活かす新たな材料開発の道すじ
代表執筆者：蝦名昌徳

マテリアルズ・インフォマティクスの取り組みが広まるなか，データ活用に向けて実験データをいかに効率良く蓄える仕組みを作るか，さらには原理・原則と関係のある計算データをどのように利用するかが課題となります。それは一見簡単そうに見えて，実際は針の穴に糸を通すほどに考慮すべき事項が密接に絡まり合っています。今回は，自動化実験による効率的なデータ収集とDFT/TDDFT計算を活用した一例を示しており，これを足掛かりに多種多様なテーマへの応用が期待できます。

蝦名昌徳

小田一磨

P.114 コニカミノルタDXの要「FORXAI」と
人流マーケティング事業

社会の変革と共に歩む，デジタル企業としての姿勢
代表執筆者：椛島拓夢

Society 5.0に向けた「デジタル社会化」が進むことで直面する様々な課題に対して，FORXAIは解決手段のひとつになると考えています。事例としてご紹介した人流マーケティングは現在多数の引き合いを頂いており，事業規模の拡大に向けて当事業部としても注力しています。今後のビジネス市場においてお客様に必要とされる真の価値創出のため，FORXAI技術の活用やパートナー企業との協業を通してビジネスを拡大し，これまで以上の迅速性を持って変革し続けるデジタル企業を目指します。

椛島拓夢

矢口　実

小島和浩

正木賢治

柴谷一弘

P.119 製造業における
FORXAI IoT Platformの活用

培った経験や知識を世の中のために活かしたい

代表執筆者：吉澤将則

画像IoTプラットフォーム「FORXAI IoT Platform」の製造業における活用事例を紹介しました。市場の変化同様に製造業も多様化が進んでおり，お客様・パートナー様の課題もさまざまです。こうした個別のソリューションを作るのに困っていたところにIoT Platformと出会い，早期の開発に繋げることができました。こうした自社で役立った体験を糧に，これからはパートナー様とも共有化の上でビジネスを加速させ，世の中全体を良くしていきたいと考え，チーム一丸となって取り組んでいます。

吉澤将則

竹田健太郎

髙橋光一

P.124 FORXAI Recognitionの骨格検出アルゴリズム
によるMFP組み立て工程改善

DXによる生産現場での働き甲斐の向上を目指して

代表執筆者：園山将士

コロナ禍で人々の交流や動きが制限される世界が続いています。コロナ終息後はアフターコロナと呼ばれ，元の状態には戻らないと言われています。そのような中では，これまでは人間が現場で調査を行い，判断を行っていた業務について代替となる手段が求められております。今回はFORXAIの高レベルな骨格検出技術の活用により生産現場における現場改善者の判断を助けることが出来ました。今後もコニカミノルタの高い技術力で社会課題を解決し人々の判断を助けていきます。

園山将士

森永雄二郎

矢口　実

里見慎哉

P. 63 Video Encoding with
Graph Guided Attention Learning

Tell me what you see! It's all about pictures and words.

Lead Author: Michael STOPA

Connecting video or images with natural language is a crucial task for a wide range of applications. One manifestation of that task is video captioning, i.e. taking a video and using deep machine learning to either generate a caption or to choose one from a database of captions. This paper performs video-caption matching and uses a technique known as "graph neural networks" to make that process more accurate. Another challenge facing AI researchers is to explain how the machine learning model reaches its conclusions. This paper, by examining the internal state of the graph neural network, presents insight into that process and represents original research not previously investigated. One principal conclusion is that for the model we investigate the relationship between objects in nearby video frames or the same video frame does not tend to be any stronger than for objects in frames separated by longer times.

Michael
STOPA

P. 128 Expediting Konica Minolta's Digital Transformation: AI-enabled Orchestration of Modern Workload and Software-Defined Infrastructure from Edge to Cloud

AI-enabled computing continuum from Edge to Cloud.

Lead Author: Antonio DINA

The infrastructure of the future will be distributed in edge locations, the infrastructure of the future will be developer driven and defined from the software, the infrastructure of the future will be composed of ecosystems of interconnection with partners. We see a future where digital leaders assemble the infrastructure and applications at scale in minutes, anywhere in the world, on demand, from an ecosystem of Cloud providers. KMO make sure apps and services are offered on any clouds from the edge. The orchestration and cooperation between the cloud and the edge provides a crucial computing architecture for IoT applications and FORXAI. Artificial intelligence (AI) is a powerful tool to enable the intelligent orchestration in this architecture.

Antonio
DINA

Mohsen
AMIRIBESHELI

Fragkiskos
SARDIS

研究開発活動

R&D
Activities

コニカミノルタの事業概要と支える技術

1. 事業領域と概要

コニカミノルタは，お客様の期待を超えるソリューションを提供するための，私たちの姿勢であり，お客様に対する私たちの約束である「Giving Shape to Ideas」に込められた願いのもと，世界中の人々から寄せられる想いを，アイデアの力と独自の技術でカタチにしている。事業領域は，デジタルワークプレイス事業，プロフェッショナルプリント事業，ヘルスケア事業，インダストリー事業の4領域からなる。これら事業を支えるのは，材料・光学・精密加工・画像の４分野にわたる12のコア技術である。下記にまず事業概要を紹介し，次頁でこれらの事業を支えるコア技術を紹介する。

《事業領域紹介》

※2022年1月発行時点

● デジタルワークプレイス事業

複合機とITサービスを組み合わせ，お客様の業務課題解決に貢献するサービスを提供しています。

bizhub C750i Premium

bizhub C4050i

● プロフェッショナルプリント事業

商業印刷・産業印刷をデジタルで革新し，お客様のビジネス拡大や高付加価値化を実現する製品・サービスを提供しています。

AccurioPress C7100

AccurioJet KM-1e

● ヘルスケア事業

病院・クリニックのデジタル化，ネットワーク化を支える革新的な画像診断ソリューションや介護関係のサービスを提供しています。

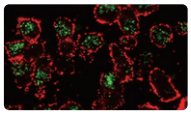
カセッテ型
デジタルX線撮影装置

X線動画解析
ワークステーション

超音波診断装置

ヘルスケアITサービス

パルスオキシメーター



創薬支援サービス

介護施設向けサービス

遺伝子検査

● インダストリー事業

世界最先端のコア技術を活かして，産業・社会の期待に応える高付加価値な材料や機器を開発し，お客様に提供しています。

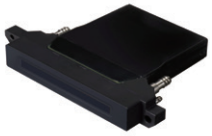
プロジェクター用光学ユニット

ディスプレイカラーアナライザー CA-410

日本初のLEDプラネタリウム
満天 NAGOYA

液晶偏光板TACフィルム

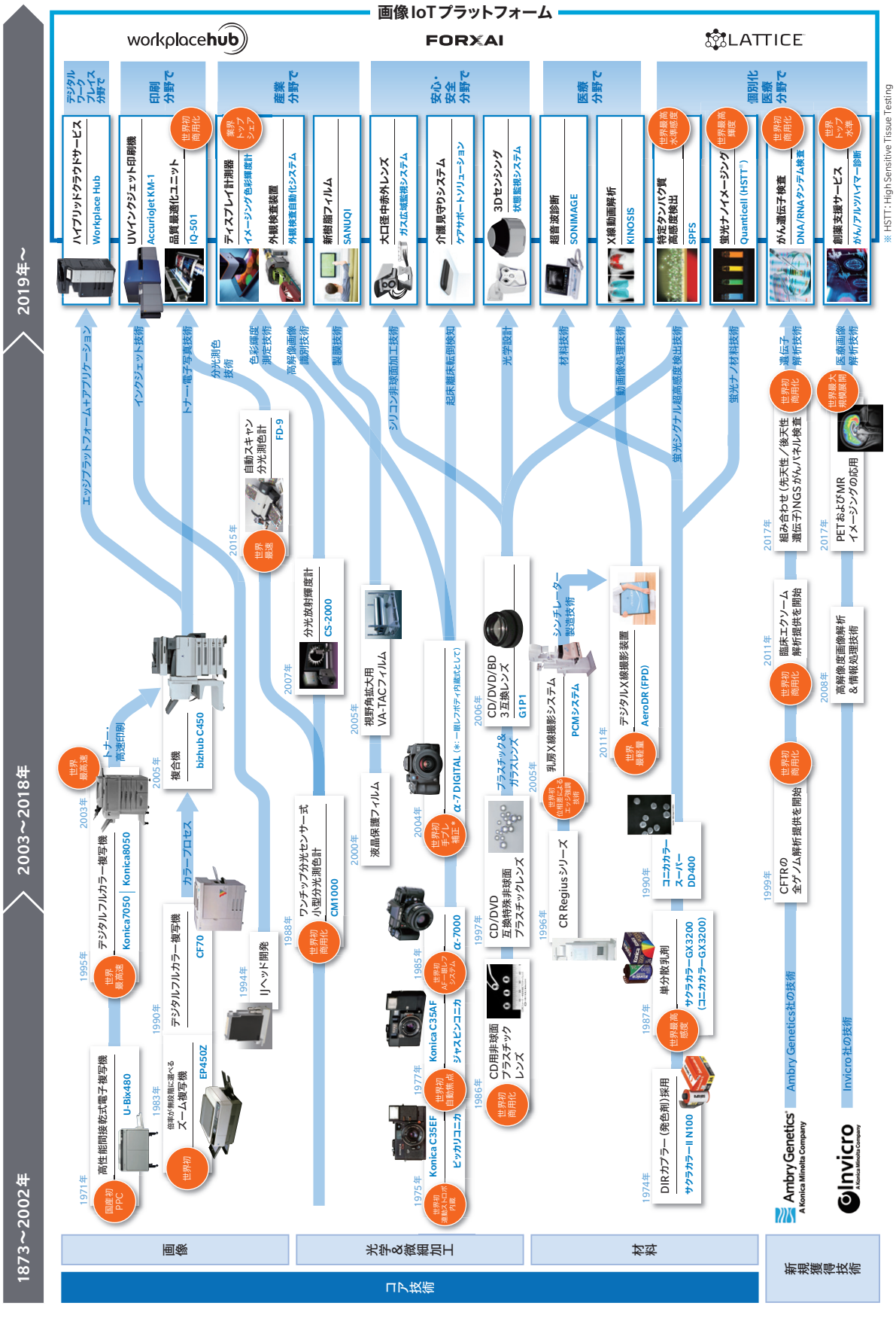
有機EL照明



産業用インクジェットプリントヘッド KM1800iSHC-C

2. コニカミノルタの強み 技術力

写真用フィルムとカメラで培ってきた技術を進化させ，新しい価値の創造に取り組んでいます。



技術受賞

＊印はコニカミノルタ外の共同発表者

対象技術・商品名	受賞者	賞の名称	授賞者
環境サステナブル企業部門 環境大臣賞　銀賞	コニカミノルタ株式会社	第2回 「ESGファイナンス・アワード・ジャパン」	環境省
「ガス監視ソリューション」	コニカミノルタ株式会社	2021年 グッドデザイン賞	公益財団法人 日本デザイン振興会
バイタルサインモニタ [生体情報モニタリングシステムVS1]			
A3カラー複合機 「bizhub C360i/C300i/C250i」	コニカミノルタ株式会社	German Design Awards 2022 Winner賞　受賞	German Design Council
A4カラー複合機 「bizhub C4050i/C3350i」			
デジタル印刷システム 「AccurioPress C14000/C12000」			
デジタル印刷システム 「AccurioPress C14000/C12000」	コニカミノルタ株式会社	Red Dot Award 2021	Design Zentrum Nordrhein Westfalen （ノルトライン＝ヴェストファーレンデザインセンター）
デジタル印刷システム 「AccurioPress C14000/C12000」	コニカミノルタ株式会社	iF Design Award 2021	iF International Forum Design
超音波診断装置　送信音場制御技術 「Dual Sonic」	谷口　哲哉　　酒井　智仁 國田　政志　　小笠原正文	第21回技術賞	公益社団法人 日本超音波医学会

発表報文

＊印はコニカミノルタ外の共同発表者

題目	著者	掲載文献 Vol. No. (2021)
りん光材料による白色有機EL素子の実用化	北　弘志	CSJ Current Review 号：40　ページ：60–69, i (1)
Non-contact heart rate variability monitoring using Doppler radars located beneath bed mattress: a case report	Yusuke Otake＊ Tsuyoshi Kobayashi Yukiya Hakozaki＊ Takemi Matsui＊	European Heart Journal (EHJ) Eur Heart J Case Rep. 2021 Aug; 5 (8): ytab273. Published online 2021 Aug 9. doi: 10.1093/ehjcr/ytab273
II　運動器領域の技術と臨床の最新動向 3. 超音波検査による動きの解析 ―歩行時の半月板動態を中心に	中島　祐子＊　石井　陽介＊ 石川　正和＊　安達　伸生＊ 高木　一也　岡田　薫	INNERVISION Vol. 36 No. 6 ページ：47–50
X線検査ワークフロー改善補助システム ～Software Reject System～の開発	齋藤　智子	JIRA テクニカルレポート Vol. 31 No. 1 p. 8–9
X線動画解析ワークステーション 「KINOSIS（キノシス）」新機能の開発	中村　一起	JIRA テクニカルレポート Vol. 31 No. 1 p. 26–27
高耐久の抗菌性能を有する動画（シリアル）撮影対応 FPD の開発	石井　良英	JIRA テクニカルレポート Vol. 31 No. 2 p. 20–21
一般撮影マネジメントシステム 『RADInsight®』を用いた業務最適化	佐藤　拓也　古山　大輔	JIRA テクニカルレポート Vol. 31 No. 2 p. 6–7
人工知能（AI）を用いたX線画像診断支援アプリケーションの開発	勝原　慎介	JIRA テクニカルレポート Vol. 31 No. 2 p. 8–9
Materials Informatics Approach to Predictive Models for Elastic Modulus of Polypropylene Composites Reinforced by Fillers and Additives	Yuko Ikeda Michihiro Okuyama Yukihito Nakazawa Tomohiro Oshiyama Kimito Funatsu＊	Journal of Computer Chemistry, Japan - International Edition Vol. 7, 2020-0007
胸部疾患に対する診断支援機能の開発	勝原　慎介　笠井　聡	医用画像情報学会雑誌　38巻　2号 p. 67–69
整形外科領域における超音波診断装置の役割 ～超音波診断装置SNiBLE2の有用性	大沼　憲司	映像情報メディカル　9月号
X線タルボ・ロー干渉画像装置による繊維強化複合材料の非破壊解析技術	布施　優	科学と工業 巻：95　号：2　ページ：52–59
ものづくりの逆襲～イノベーション志向経営～	市村　雄二	技術と経済 号：649　ページ：28–39

題目	著者	掲載文献 Vol. No. (2021)
インフラストラクチャーで活用される検査・診断・保全技術 2) PC橋梁の内部鋼材破断検知ソリューション 磁気センシングとIoTによるデータ解析で 内部鋼材破断を即検知	森田　博　橋本　好之 高倉　一徳	検査技術 巻：26　号：4　ページ：66–73
マテリアルズ・インフォマティクスの 社内普及と次世代人財の育成	押山　智寛　加川　哲哉	月刊　研究開発リーダー　7月号 巻：18　号：4　ページ：15–19
トナー開発への溶融シミュレーションの適用	藤崎　達矢　万袋麻希子 加川　哲哉　伊藤　博人	日本画像学会誌 巻：60　号：1　ページ：3–8
高生産性·高信頼·高メディア対応力を 追及したAccurioPress C14000 —現像システムを中心に—	岡村　憩	日本画像学会誌 巻：60　号：2　ページ：178–185
問いを出発点とした 新価値事業創造に関する研究 内発的な視点によって課題を定義する 枠組みをリフレームするアプローチの試行	神谷　泰史　山崎　和彦* 長田彩加人　野添真由美 久保田玲央奈	日本デザイン学会 研究発表大会概要集（CD-ROM） 巻：67th ページ：ROMBUNNO. P-08
2020年度光技術動向調査報告書 1. 光材料・デバイス 1. 5 有機材料 1. 5. 1 注目すべき技術動向および 1. 5. 2 最新性能向上とトレンド	檜山　邦雅	光産業技術振興協会 2020年度光技術動向調査報告書 ページ：44–45
2020年度光技術動向調査報告書 1. 光材料・デバイス 1. 5. 3. 2 近赤外フレキシブル面光源を 用いた生体情報センシング	宮田　康夫	光産業技術振興協会 2020年度光技術動向調査報告書 ページ：50–56
福祉施設のいまとこれから 介護施設向けICTのいまとこれから	斉藤　朋之	病院設備 巻：63　号：1　ページ：26–29
新規エアー緩衝システム開発 および複合機への適用	吉田　成隆	包装技術 巻：59　号：1　ページ：33–36
第5章　高分子材料開発への応用事例 第3節　マテリアルズ·インフォマティクスを 用いた高分子複合材料の弾性率の予測	押山　智寛　奥山　倫弘 池田　祐子	マテリアルズインフォマティクスの ためのデータ作成とその解析, 応用事例（株式会社 技術情報協会）

口頭発表

＊印はコニカミノルタ外の共同発表者

題名	発表者	発表学会・協会	発表日／WEB公開日
マテリアルズ・インフォマティクスを用いた高分子複合材料の弾性率の予測モデルの構築	奥山　倫弘	第127回研究会 有機デバイス研究会	1/22
「AI（人工知能）と医療 ～今後の動向を考える」	笠井　　聡	JIRA　Zoom講演会	1/29
高生産性・高信頼・高メディア対応力を追求したAccurioPress C14000	岡村　　憩	2020年度　第3回 日本画像学会技術研究会 （通算第148回）	2/5
X線タルボ・ロー干渉画像装置による繊維強化複合樹脂の解析ソリューション	前田　景子　　今田　昌宏 太田　生馬　　萩原　清志 新田　裕子　　大竹　雅子 木戸　一博　　江口　愛彦	第12回　日本複合材料会議	3/3
画像IoTプラットフォーム「FORXAI」のネーミング・VIデザイン戦略から学ぶ ～コニカミノルタ（株）における B2Bブランディング実践編～	長田彩加人 Martin Hansson＊	SBT Open Lab	3/18
コニカミノルタの顧客価値創造と組織能力向上	杉江　幸治	名古屋ものづくりワールド2021	4/7
New Conceptual OLED Based on Highly Simplified Architecture and Fabrication Method	Tomoo Izumi Kazuhiro Oikawa Hideo Taka Hiroshi Kita	Display Week 2021	5/18
イノベーションを創出する 技術経営への取り組み	武部浩太郎	第3回　次世代経営研究会 一般社団法人　品質工学会	5/18
運動器エコーにおける リアルタイムAI技術の開発と展望	武田　義浩	第94回　日本超音波医学会 学術集会 運動器（整形）シンポジウム	5/23
外側楔状足底板が歩行中の 内側半月板逸脱に及ぼす影響	石井　陽介＊　　中島　祐子＊ 石川　正和＊　　砂川　　融＊ 高木　一也　　岡田　　薫 安達　伸生＊	第94回 日本整形外科学会学術総会	5/23
【共創×デザイン】イノベーションを生み出すパーパスブランディングとは	長田彩加人	ReDesigner Social Impact Week第二弾	6/1
コニカミノルタの画像AI/IoTの 取り組み	谷口　紗希　　佐藤　文彬 椛島　拓夢　　中西　裕哉 山野　龍佑　　高　　盛輝 西上　直孝	第27回 画像センシングシンポジウム （SSII2021）	6/11

題名	発表者	発表学会・協会	発表日／WEB公開日
ドップラーレーダを用いた 非接触計測によるオーダーメイド型・ リアルタイム肺炎モニターの 開発と臨床応用	神田　雅大*　大竹　裕介* 伊藤　諒*　孫　光鎬* 箱崎　幸也*　松井　岳巳* 小林　剛	日本生体医工学会 第60回大会	6/15
X線タルボ・ロー干渉画像装置による 繊維強化複合樹脂の解析ソリューション	今田　昌宏　太田　生馬 萩原　清志　新田　裕子 有本　直　木戸　一博 江口　愛彦	一般社団法人 プラスチック成形加工学会 第32回年次大会（WEB開催）	6/17
内側型変形性膝関節症患者における 歩行中の内側半月板逸脱増加は 膝関節内反モーメントと関係する	石井　陽介*　石川　正和* 中島　祐子*　高橋　真* 砂川　融*　安達　伸生* 高木　一也　岡田　薫	日本関節鏡・膝・ スポーツ整形外科学会 （JOSKAS meeting 2021）	6/17–19
1.25Dプローブを用いた 超音波ガイド下穿刺における 視認性向上の試み	西垣　森緒	超音波研究会	6/18
Introduction of Konica Minolta's value-added AI applications	勝原　慎介	THE 7th Online Conference Of Southeast Asia And Open Asia	6/27
テクニカルセッション 画像IoT/AI技術“FORXAI”で 「みたい」を形に	岸　恵一	ET & IoT West 2021	7/1
マテリアルズ・インフォマティクスの 社内普及と次世代人財の育成	押山　智寛	R&D部門へのDX導入・ 推進と組織体制の作り方, 人材育成の仕方 主催：株式会社 技術情報協会	8/27
「アーティスティック インターベンションの活用」	神谷　泰史	「デジタルビジネス・ イノベーションセンター （DBIC）」アート思考講座	9/3
PMMA/PVDFブレンドにおける PVDFの特異な結晶化挙動と その形態	成毛　章容　梁　暁斌* 中嶋　健*	第70回高分子討論会	9/7
人間中心の創造とKMデザイン思考	平賀　明子	一般財団法人 日本科学技術連盟 ソフトウェア品質シンポジウム 2021「企画セッション講演」	9/9
「ビジョン共創のための co-visionプラットフォーム」	神谷　泰史	日本人間工学会 アーゴデザイン部会 2021年度コンセプト事例発表会	9/25

題名	発表者	発表学会・協会	発表日／WEB公開日
Consideration of the Counter Charge Traveling Distance on the Charge Transport Equilibrium Mechanism with a Dynamic Procedure	Yoshihiro Hattori	ICAI2021 (International Conference on Advanced Imaging 2021) Sponsored by the Imaging Society of Japan (ISJ), The Society of Photography and Imaging of Japan (SPIJ), The Japanese Society of Printing Science and Technology (JSPST) Society for Imaging Science and Technology (IS&T, USA)	10/6
Study on Internal Stress Vibration and Edge Wear of a Cleaning Blade	Yoshiki Nakane Yu Mukobayashi Yoshihiro Hattori	ICAI2021 (International Conference on Advanced Imaging 2021) Sponsored by the Imaging Society of Japan (ISJ), The Society of Photography and Imaging of Japan (SPIJ), The Japanese Society of Printing Science and Technology (JSPST) Society for Imaging Science and Technology (IS&T, USA)	10/6
企業CVチームの CVではないかもしれない仕事	山中　健司　　山野　文子 尾崎　雄一　　奥田　浩人	第8回 全日本コンピュータビジョン勉強会	10/9
変形性膝関節症患者における歩行中の動的な内側半月板逸変化量は， 立位での静的な逸脱変化量よりも痛みの強度と相関がある	中島　祐子＊　石井　陽介＊ 石川　正和＊　安達　伸生＊ 高木　一也　　岡田　　薫	第36回　日本整形外科学会 基礎学術集会	10/14
ビジネスモデルで先行し， 現場力勝負に持ち込むための 顧客価値創造と組織能力向上の あるべき姿を求めて ～「JUSE-エグゼクティブセミナー」 7か月の取り組みから得た ベストプラクティス～	加藤雄一郎＊　廣田　好彦 内田　雅文＊	クオリティフォーラム2021	11/4
コニカミノルタの顧客価値創造と 組織能力向上	杉江　幸治	クオリティフォーラム2021	11/4
AI・データサイエンス技術を用いた 生産現場変革のリアル （約3年で60件以上の現場実践で 見えた日本製造業の底力）	高橋威知郎	（一社） プラスチック成形加工学会 第176回講演会	11/5

題名	発表者	発表学会・協会	発表日／WEB公開日
広域ガス監視システムの高度化	都築　斉一	公益社団法人　石油学会 第51回石油・石油化学検討会 （函館大会）	11/11
マテリアルズインフォマティクスの基礎と社内導入のコツ	佐川　正悟	2021年度　第2回 日本画像学会技術研究会 （通算第150回）	11/19
「コニカ流デザイン思考実践事例」	平賀　明子	一般財団法人 日本科学技術連盟 JUSE - エグゼクティブセミナー	11/19
「共想と共創のプラットフォーム co-visionによる価値共創の実践」	神谷　泰史	特定非営利活動法人 人間中心設計推進機構 2021年度冬季HCD研究発表会	11/27
Study on Local Thermophysical Property of PMMA/PVDF Blends Using Atomic Force Microscopy	Akihiro Naruke Xiaobin Liang * Ken Nakajima *	The 9th International Symposium on Surface Science	12/1
自治体DXを支える コニカミノルタの非財務価値 ～お客様と共に作り込む品質～	武井　　一	第112回品質管理シンポジウム	12/3
エアー緩衝材システムの開発と適用	吉田　成隆	第59回 全日本包装技術研究大会	12/3
ポータブル型ガス漏えい検査システムによる点検業務効率化について	天野　　卓	公益社団法人　石油学会 第51回装置研究討論会	12/6

KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT

Vol.19 Jan. 2022

第19巻2022年1月発行
発　　行：コニカミノルタ株式会社
〒100-7015東京都千代田区丸の内2-7-2 JPタワー
URL http://konicaminolta.jp
発行責任者：江口俊哉
編 集 長：コニカミノルタ株式会社 技術戦略部 平山博士
〒192-8505 東京都八王子市石川町2970番地
FAX. 042-660-9821

（非売品・禁無断転載） 本誌は環境に配慮したFSC認証紙を使用し，KONICA MINOLTA「AccurioPress C3080」で印刷しております。

KONICA MINOLTA