

インテリジェントメディアセンサーの開発

Development of Intelligent Media Sensor

吉村和俊* Kazutoshi YOSHIMURA 辻本隆浩* Takahiro TSUJIMOTO 小片智史* Satoshi OGATA 東由美子* Yumiko HIGASHI 神谷昌弘* Masahiro KAMIYA 木俣明則* Akinori KIMATA

高津宏明* Hiroaki TAKATSU 浅岡正悟** Shogo ASAOKA 山村晃** Akira YAMAMURA 大木誠*** Makoto OOKI 湯浅崇史*** Takafumi YUASA

要旨

コニカミノルタでは、オフィス印刷（OP: Office printing）からプロダクション印刷（PP: Production printing）まで幅広い電子写真製品を開発している。

安定した用紙搬送や画像品質には紙特性が深く関連しており、用紙毎に細かな制御を必要としている。その為、用紙を間違えるとJAM（紙搬送不良）や画質不良（お客様不満足）の原因となる。

現在、紙特性に深く関わる“坪量”、“紙種”に関連するお客様が設定する用紙設定項目を設けている。

今回、用紙設定に関わる操作性の改善を目指し、コニカミノルタのコアである光学技術を中心として紙特性のセンシング技術と、紙種に応じた換算式を選択する坪量換算および機械学習による紙種判別アルゴリズムの推定技術を総称したインテリジェントメディアセンサーを開発した。

技術開発を進めるにあたり、お客様のワークフローの課題を調査し、課題解決出来るセンシング技術として坪量、表面性、紙厚、封筒検知を選定した。また、OP/PPで横断する技術部分である坪量検知に関しては共同開発を行い、それぞれの製品開発につなげた。

本開発による操作性改善により、OPでは用紙選択の自動検出機能がデフォルト化され、お客様の用紙設定が不要になり操作時間が従来に対して十数秒の削減となる。PPでは、熟練者でなくても、操作パネルに紙種、坪量区分の候補を表示させることで多種多様な紙の特性判断が可能となった。

Abstract

Konica Minolta develops a wide range of electrophotography products from OP (Office Printing) to PP (Production Printing).

Stable paper conveyance and image quality are deeply related to paper properties, and refined control for each individual sheet is necessary. Therefore, using a wrong sheet can result in a paper conveyance malfunction (jamming) and poor image quality (customer dissatisfaction).

At present, “basis weight” and “paper type”, which are closely related to paper properties, need to be set by a customer.

In this development, to improve operability with regard to paper settings, we developed an intelligent media sensor, which is a general name of: a paper property sensing technology based on an optical technology which is our core technology; and an estimation technology including a basis weight conversion algorithm that selects an appropriate conversion formula according to a paper type and a paper type determination algorithm using machine learning.

In the beginning of the technical development, we investigated the problems in customers' workflow, and basis weight, surface properties, paper thickness and envelope detection were set as goals of a sensing technology that can resolve the problems. Further, basis weight detection commonly used in OP and PP was developed by a joint development and was mounted on OP and PP.

As a result of improvement of operability, the automatic detection function becomes a default feature, making it no longer necessary for a customer to do paper setting and thus saving a ten and several seconds in operation time compared with conventional methods. For PP, it has become possible for an inexperienced user to determine a variety of paper properties with prospective paper types and basis weights being displayed on the control panel.

* 情報機器開発本部 エンジン制御開発センター

** 情報機器開発本部 オプトメカトロサービス開発部

*** 情報機器開発本部 EP画像技術開発センター

1 はじめに

電子写真プロセスでは、感光体上のトナー像を搬送された紙表面に転写し、定着での熱と圧力で紙に固定している。その為、紙特性が、通紙性能や画像形成プロセス条件に大きく影響し、紙特性情報を基に細かな制御を実施している。

その為、各社ともに内容に違いはあるが、紙特性に深く関わる“坪量”、“紙種”に関連する用紙設定項目を設け、お客様の設定操作を必要としている。

坪量とは、紙特性を示す最も基本的な仕様値であり、用紙1m²あたりの重さを、単位 (g/m²) で表す。

紙種は多種多様であり、電子写真に使用される用紙も複数に分類されるが、大きく2種に分けると、非コート紙とコート紙に分類される。

非コート紙は、一般的にOPで使用される用紙（普通紙）で、坪量の違いにより薄紙、厚紙と呼ばれることがある。コート紙は、非コート紙の表面を樹脂コーティングした用紙で、表面が滑らかでツヤのある紙である。光沢の違いよりグロス紙とマット紙に分類され、カタログや写真集などPPで主流の紙種である。

2 技術開発

2.1 技術選定の背景

Fig. 1 にコニカミノルタのOP/PPで使用される坪量、紙種範囲を示す。使用される紙種範囲が異なる為、設定項目が異なっている。

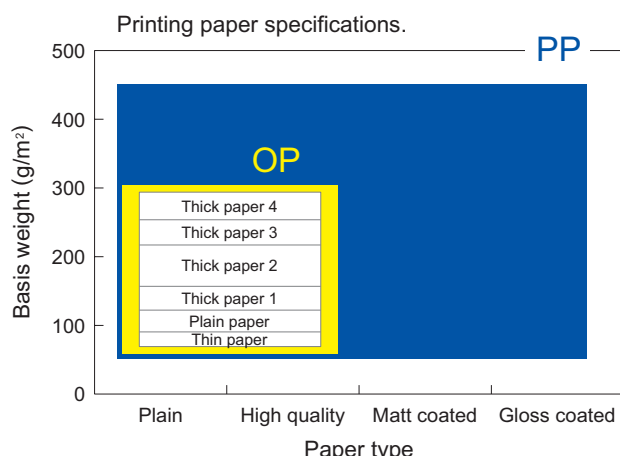


Fig. 1 Difference in paper setting items between OP and PP.

For OP, a customer is necessary to make a paper selection such as thin paper, plain paper, thick paper 1 to 4, and envelope, each of which is associated with the basis weight table. For PP, in order to get the highest image quality on various types of paper, it is necessary to set items of control and adjustment items related to paper properties.

OPでは、坪量テーブルに紐付けされた、薄紙、普通紙、厚紙1-4及び、封筒などのお客様による用紙選択操作が必要である。しかし、お客様が用紙から判断することは

困難であり、選択操作の必要性を認識されていない場合もある。その為、市場で発生する不具合内容の4.5%が用紙設定間違いに関連している。

そこで、用紙選択操作を不要とする為の坪量センサーと、封筒検知センサーを開発した。検知結果を現行の坪量テーブルに自動的に当てはめる事で、操作時間を削減し、用紙不適合によるJAMや画質不良を改善する。

PPでは、多種多様な紙種に対して最高画質の印刷物を出力できる様に、紙特性に関する制御調整項目を有している。最適な制御パラメータを設定すれば、お客様の望む最高画質を得る事ができる。しかし、市場で発生する不具合内容の18%が用紙設定に関連するものであり、設定には熟練者のノウハウが必要である。そこで、既存紙種設定の下記4種に判別し、坪量区分と共に表示することで、熟練者でなくとも用紙設定が出来るようにする。

- ・普通紙（非コートで表面の粗いもの）
- ・上質紙（非コートで表面性の良いもの）
- ・マット紙（コート紙で表面がマットなもの）
- ・グロス紙（コート紙で表面が平滑なもの）

紙種判別を実施するにあたり、約1,000銘柄の紙物性値データベースを用いて機械学習を行い、紙種判別に必要な物性値を抽出した。Table 1 に最上位の物性値の寄与度を100とした場合の比率を示す。

Table 1 Degree of contribution of each physical property value for determination of paper type determination.

Physical quantity	Contribution for paper type discrimination
Density	100
Smoothness	81
Coefficient of friction	36
Whiteness	9
Stiffness	8

上記結果より、紙種判別への寄与度が高い、密度と表面平滑度の上位2因子で検討を進め、センサーを開発した。

2.2 選定技術一覧

Table 2 に、センサー一覧を示す。

坪量は、紙特性を表す重要な項目で有り、坪量センサーは、OP/PPで共通使用する。また、下記関係式よりPPの密度算出にも使用する。

$$\text{密度 (g/m}^3\text{)} = \text{坪量 (g/m}^2\text{)} / \text{紙厚 (}\mu\text{m)}$$

紙厚検知はロータリーエンコーダ方式のセンサーを採用した。PPの紙種判別では、密度と共に、紙種判別への寄与度が高い、紙表面の特徴を検知する表面性センサーを使用する。

Table 2 Sensing items and sensing methods for OP and PP.

Sensing item	Sensing method	OP	PP
Basis weight	Optical	✓	✓
Surface properties	Optical		✓
Paper thickness	Rotary encoder		✓

今回、コニカミノルタのコアである光学技術を用いて開発した坪量センサー、表面性センサー及び、坪量換算、紙種判別アルゴリズムを紹介する。

3 坪量検知

用紙の坪量を測定するセンサーを開発するにあたり用紙にダメージを与えない為に非接触で行う必要がある。非接触の測定方法として超音波や光の透過を用いるものが考えられるが、各方式の特性を比較した結果、超音波は湿度や温度などの影響を大きく受けることがわかり、安定測定可能な光の透過率を用いる測定を採用した。

3.1 光学坪量検知

今回、光の透過率で坪量を測定するために適した波長があることが分かった。Fig. 2 は、主要な用紙60種の各波長の透過率と坪量の相関関係を確認した結果である。

可視光の範囲では、製紙メーカーや銘柄が異なると用紙の色味を合わせる為に含まれる成分により透過特性が変わり相関が低くなる。また、透過率と坪量の相関が高い波長を使用しても紙種による影響がある為、青色B (450nm 付近) と近赤外IR (850nm 付近) の2つの波長を組み合わせ使用した。

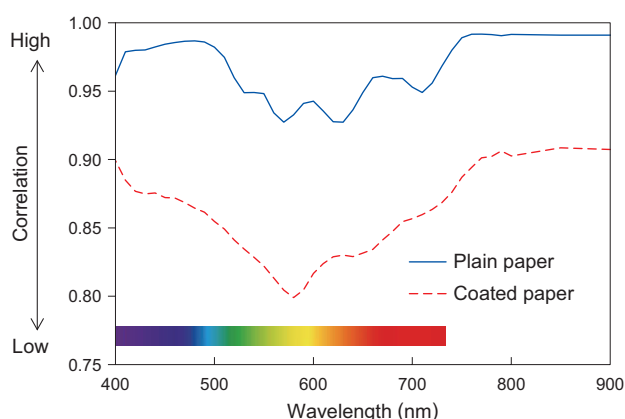


Fig. 2 Wavelength dependence of correlation value between transmittance and basis weight for plain paper and coated paper. Because a high correlation between transmittance and basis weight is exhibited with respect to blue B (λ = approx. 450 nm) and near-infrared IR (λ = approx. 800 nm) regardless of paper type, the transmittance is measured in these two wavelength ranges to estimate basis weight in optical measurement of basis weight.

3.2 坪量換算

紙種によって透過率と坪量の傾向が異なる為、紙種毎に、最適な坪量換算式を選択する必要がある。

Fig. 3 に紙種特性を示す。コート紙は、表面に塗布された成分の影響で青色の透過率が低くなる傾向があり、近赤外と青色の波長の透過率の差で分類できる。更に、再生紙は、古紙の成分が含まれていることで用紙の表面からの反射光Gが低くなる特性から分類できる。

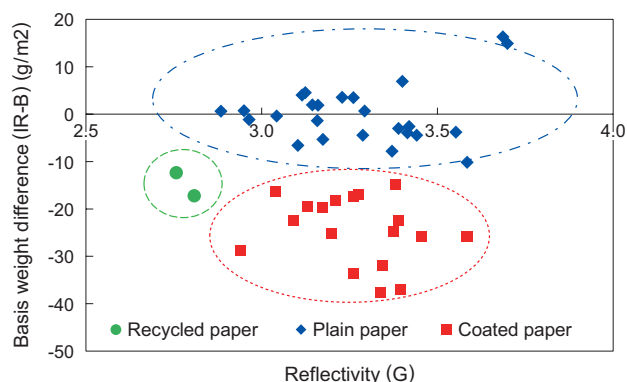


Fig. 3 Paper type determination based on basis weight difference IR-B and reflectance G.

この特性を利用し、下記流れで最適な坪量換算式を選択し、坪量を算出する。先ずOPでは、

- Step 1 反射率Gから再生紙を判別。
- Step 2 各透過率から算出した坪量値の差分IR-Bからコート紙と、普通紙(非コート紙)を判別し、坪量換算式を選択する。更にPPの場合はこの後に述べる表面性センサーを用いる。
- Step 3 コート紙をグロス紙とマット紙に分類する事で、紙種に応じて最適な坪量換算式を選択できる。

3.3 センサー構成

Fig. 4 に坪量センサーの構成を示す。3種類のLED (Light Emitting Diode) を配置した。透過率は、用紙を挟んで反対側に配置したPD (Photodiode) でIRとBの透過光を検出し算出する。反射率は、用紙表面の反射光Gを測定する。

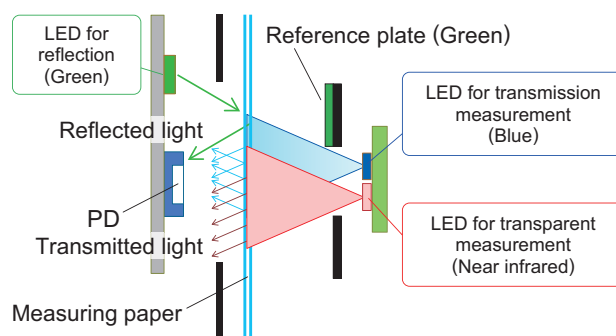


Fig. 4 Configuration of basis weight sensor.

Three types of LEDs are disposed, and transmittance is calculated by detecting transmitted light of IR and B by means of photodiodes disposed on the opposite side of paper with the paper between the photodiode and the LED. Reflectance is measured by measuring reflected light G from the paper surface.

3.4 回路構成

Fig. 5 に光学坪量検知の回路構成を示す。発光回路は、各LEDで紙無時の受光出力が一定になるようにパルス幅変調 (PWM) でLEDのON時間を調整している。受光回路は、紙の有無で増幅回路 (AMP) のゲインを切り換えることで、紙有りでの受光光量が低下しても所定の電圧まで増幅して、坪量演算部に入力することで、用紙の透過／反射率を正確に測定し、坪量演算の精度を向上する機能がある。

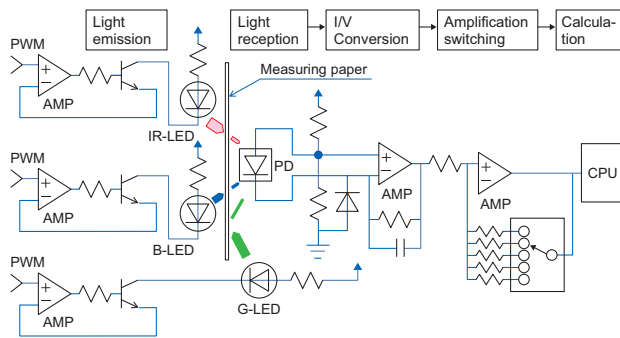


Fig. 5 Circuit configuration for optical basis weight detection.

The circuit is equipped with a light quantity adjustment function with PWM control of LEDs and with a switching function of an amplification gain for light reception signals, so that the measurement accuracies of transmittance and reflectance are improved.

4 表面性検知

表面性センサーは用紙の表面特性を光学的な反射特性を用いて判別するものである。一般的に光沢性の低い紙（普通紙、マット紙など）の反射特性は完全拡散となる。一方、光沢性の高い紙（グロス紙）では正反射と拡散が混ざった状態になる。この違いを利用して表面性を検知する。

4.1 センサー構成

Fig. 6 に表面性センサーの構成を示す。照明角度は「紙及び板紙－75度鏡面光沢度の測定方法 (JIS P 8142・ISO 8254)」に従って、LEDを75°に設定した。受光側は正反射光と拡散光を計測するために75°と30°の位置にPDを配置した。次に波長について説明する。用紙表面の滑らかさの指標としてベック平滑度がある。複数の受光検知を用いた複合重回帰でベック平滑度との相関を確認し、高い相関が得られた465nmを採用した。

上記配置にて、用紙の表面性の違いが受光量に表れるか照明シミュレーションにより検証を行った。用紙はグロス紙とマット紙を用い、事前に用紙のBSDF（双方向散乱分布関数）を測定し、その結果を用いてシミュレーションを行った。Fig. 7 に結果を示す。グロス紙では、75°センサーと30°センサーの受光量に1桁程度の違いがあったのに対し、マット紙ではほぼ同じ受光量となった。この結果より、光学的な反射特性を測ることで用紙の表面性が検知可能なことが確認できた。

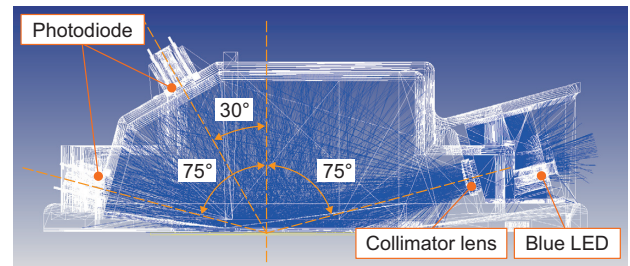


Fig. 6 Configuration of surface property sensor.

In accordance with "Paper and board—Measurement of 75 degree specular gloss—Converging beam method (JIS P 8142/ISO 8254)", LEDs were set at 75° and in order to measure diffused light and regularly reflected light, photodiodes are disposed at a position of 75° and 30° on the light receiving side. The blue lines represent the light rays emitted for lighting simulation.

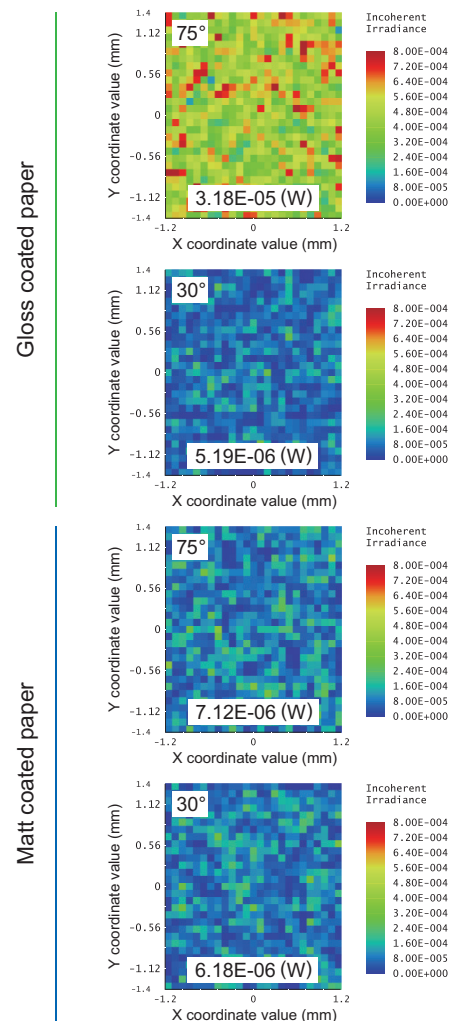


Fig. 7 Lighting simulation results of the surface property sensor for gloss paper and matte paper.

With respect to gloss paper, there is a difference of approximately 1 digit in the received light amount between the 75° and 30° sensors; however, with respect to matte paper, there is almost no difference in the received light.

Fig. 8 に表面性センサーでの測定結果を示す。シミュレーション結果と同様に、グロス紙は他の紙種に比べて75°PDセンサー（正反射光）の出力が高く紙種判別できることを確認した。

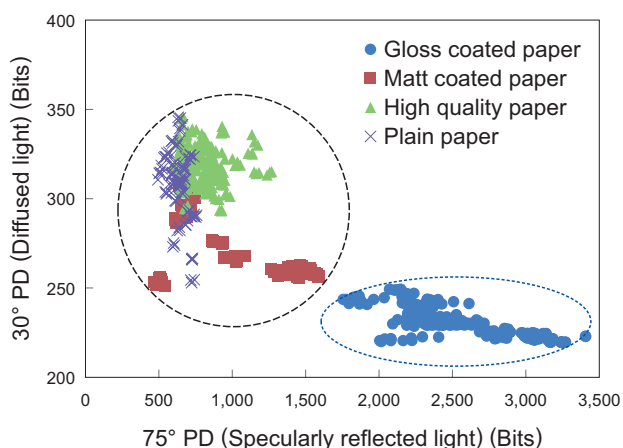


Fig. 8 Detection results of the surface property sensor.

It was confirmed that, similar to the simulation results, the output of the 75° PD sensor (regularly reflected light) was higher with respect to gloss paper than other paper types and that the surface property sensor could be used for paper type determination.

4.2 紙種判別システム構成

Fig. 9 に紙種判別システムを示す。紙種判別は、機械学習を用いて作成した紙種判別アルゴリズムを使用した。アルゴリズムは、ランダムフォレストを複数の候補から紙種判別の精度と、製品への組み込み性を考慮して選定した。判別の因子には、密度、表面性（正反射光、拡散光）の他に、坪量センサーでの検出値を用いた。紙種判別アルゴリズム作成では、教師データにPPで使用される主要な紙、約50種を使用し、紙バラつきとして表裏、目方向を加味したデータを学習させた。

この紙種判別アルゴリズムを用いて「紙種-坪量区分」の組合せの推定スコアを算出し上位候補を表示する。また、登録済み紙種／坪量情報（ペーパープロファイル）と測定データとの距離算出をおこない上位候補を表示する。

作成した紙種判別アルゴリズムを用いた教師データの正答率は95%以上を得られ、残り5%に関しても上位候補に含まれ、致命的な誤判別は無かった。

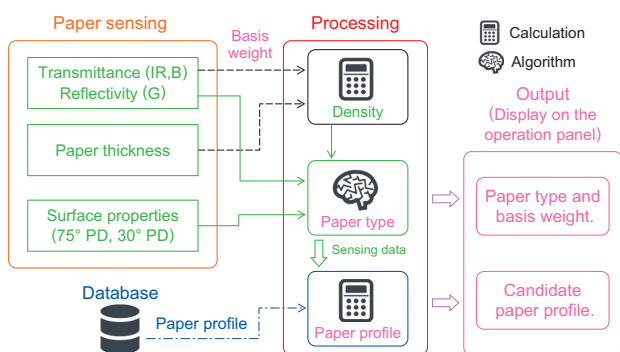


Fig. 9 Paper type determination system.

Property values of 50 types of paper are learned as teaching data by means of machine learning to construct a paper determination algorithm. To the paper characteristic determining algorithm, the densities measured by various sensors, the output of the surface property sensor, and the output of the basis weight sensor are input, so that candidates of classifications of basis weight corresponding to individual paper types are output.

5 搭載形態

5.1 オフィス印刷

Fig. 10 にセンサーの搭載要件図を示す。搭載要件は次に記載する2項である。1) 全ての給紙口（1, 2, 3, 4, 手差し）から来た用紙を判別する。2) 検知動作を複数回平均化するため、用紙を止めずに判別する。但し、搬送経路が広く、用紙がばたつき、給紙口によってセンサー通過時の用紙角度が異なる課題が発生した。その為、坪量センサー部にコロを設ける事で通紙経路を絞り、搬送中の用紙経路と姿勢を安定させた。また、センサー通過時の角度差を小さくし、坪量センサー位置をコロの中心よりも上側に配置する事で、検知位置での角度バラつきを低減させ、用紙判別の精度を向上させた。

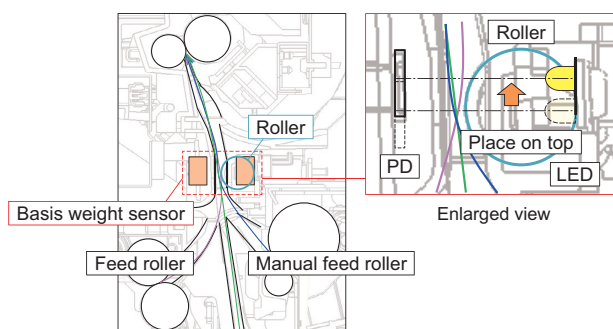


Fig. 10 Layout of optical basis weight sensor, and rollers on paper feeding path of OP machine.

The roller provided on a basis weight sensor section narrows the paper feeding path, so that the path and the position of the paper being conveyed is stabilized.

Fig. 11 に給紙カセットの用紙設定画面を示す。

給紙カセット毎に用紙種類の自動検出がデフォルトで有効となっており、お客様が意図的に用紙を選択するという作業を無くす事で設定ミス無くしたマン・マシンインターフェイスとした。用紙種を把握されていないお客様には、用紙種自動検出時の情報が用紙設定画面に反映されるため、不明な用紙の調査時間も不要となった。

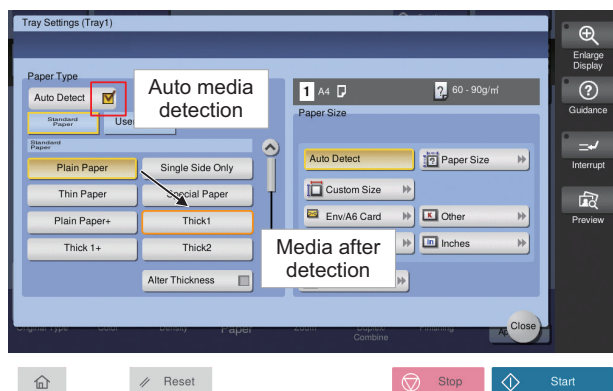


Fig. 11 Screen for setting type of paper in paper cassette.

Automatic paper type detection is set as default on the control panel. After a paper type is detected, the detected paper type is automatically displayed.

5.2 プロダクション印刷

インラインタイプと、PPでの印刷ワークフローを考慮し、印刷動作時中でも用紙測定可能なオフラインタイプの2形態で、製品開発をおこなった。

・インラインタイプ（本体内蔵）

Fig. 12 は、PPインラインタイプの構成図を示す。搬送経路上に配置された3種のセンサーで搬送紙の紙種と坪量を判別する。印刷開始前に必ず実施する調整時に、不明な用紙でも操作パネルに表示された紙種-坪量区分候補からの選択で用紙設定が容易となる。また、PPでは複数の給紙部で異なる用紙を使用する場合があるが、印刷開始前に紙種と坪量を判別することで用紙セット間違いを防止できる。



Fig. 12 Layout of inline-type optical basis weight sensor, paper thickness sensor, and surface property sensor for PP machine.
The paper type and basis weight of the fed paper are determined with the three types of sensors disposed on the conveyance path.

・オフラインタイプ（外付け）

Fig. 13 に、操作イメージを示す。卓上タイプの検知装置であり、USB及び電源ケーブルで本体と着脱でき、持ち運びできる。挿入口から用紙を奥まで突き当て挿入するだけで誰でも簡単に紙種、坪量測定ができる。

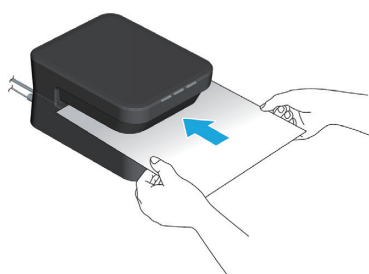


Fig. 13 Application example of offline-type paper type detection system for PP machine.
Basis weight can be easily measured by inserting paper in the arrow direction.

Fig. 14 にオフラインタイプの構成図を示す。坪量センサーは、挿入口近傍に配置し、用紙を奥まで挿入する間に検知動作を複数回行い平均化する。用紙先端が奥まで到達したタイミングで、表面性と紙厚の測定を実施する。表面性センサーを実機搭載にあたり、用紙の姿勢が変化すると、測定結果に大きく影響する課題があった。

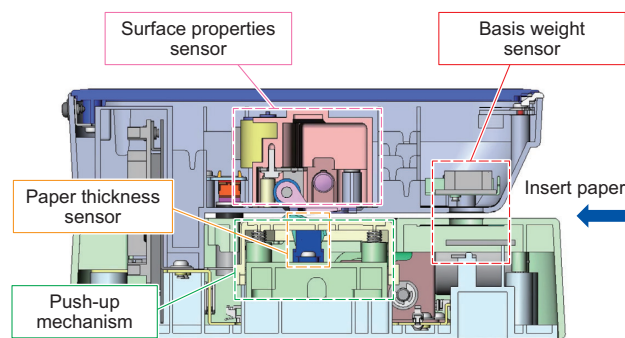


Fig. 14 Configuration of offline-type paper type detection system for PP machine.

その為、Fig. 15 に示す用紙の押上げ機構を設け、測定時は用紙を検知窓（開口部）に押し付けることで用紙の姿勢を安定させている。インラインタイプでは所定回数、所定距離だけ搬送、停止及び押し上げ、用紙測定を行なうことで用紙姿勢及び、用紙面内バラツキの影響を低減している。また、押上げ部材の表面色はインライン、オフラインで共通管理し、バックングによる影響を低減している。

なお、センサーの検知窓は、測定時以外は、Fig. 16 に示すシャッターにより閉じられている。これは紙粉等がセンサー内に流入することによる測定値の変動を防止するためである。またシャッターの裏側にユニット基準板を配置し、定期的にユニット基準板を測定することで、経時的な測定値の変化を補正している。

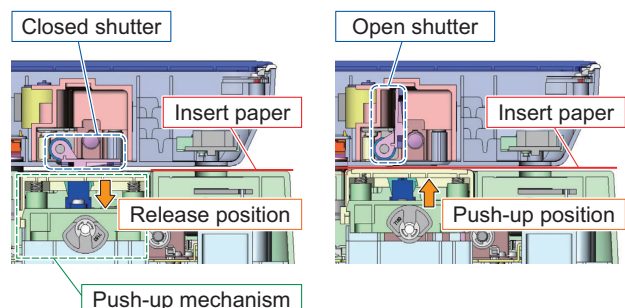


Fig. 15 Operation of push-up mechanism and opening and closing operations of shutter of the offline-type paper type detection system for PP machine.

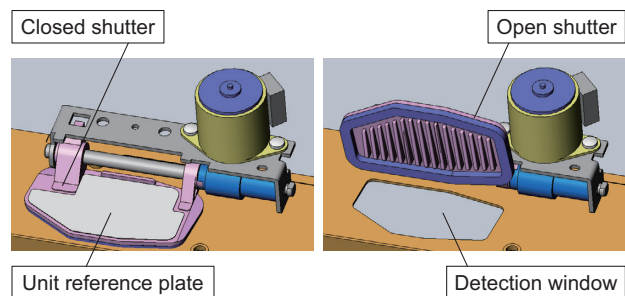


Fig. 16 opening and closing operations of the offline-type paper type detection system.
A temporal change in measurement value is corrected with a unit reference plate on the rear side of the shutter being regularly measured.

6 まとめ

今回の製品開発により、お客様の操作性が改善され、操作時間の削減と共に、用紙設定に関連する不具合が減少すると考える。OPではお客様の用紙設定が不要になり操作時間が従来に対して十数秒の削減となる。PPでは、熟練者でなくても、多種多様な紙の特性判断が可能となった。

今後、上市される製品から収集される紙種検知結果と、従来から製品内部で保有している印字情報やJAM情報、その他製品内のセンサーセンシング結果等を関連付けて解析する事で、操作性改善の効果を検証し、更なる顧客のワークフローの改善提案に繋げる。また、センシング技術向上や、推定アルゴリズム改版により、対応紙種の拡大を目指している。