

スマートファクトリー化を支援する サーマルカメラによる設備温度モニタリングシステム

Facility Temperature Monitoring System for Supporting Transformation to Smart Factory

竹内 一 真*
Kazuma TAKEUCHI

名古屋 浩*
Hiroshi NAGOYA

渡辺 壘**
Rui WATANABE

米竹 淳一郎*
Junichirou YONETAKE

要旨

近年、製造業全体でIoTを活用したスマートファクトリー化が官民一体で推進されているが、その中でも素材産業のプロセスは反応器など装置内部で進行するためプロセスの見える化が難しく、スマートファクトリーへのトランスフォームが進みにくい領域である。このようなお客様のデータ活用によるトランスフォームを加速するため、大半の設備・成型品自体が発するデータである「表面温度」の見える化に着目した。

顧客価値実現に向けて、ユーザーである設備運転員・設備管理者の要件として「設備表面温度を面データとして蓄積できる」および「24時間365日、表面温度データを取得し続けられる」を重視し、耐環境性の高いMOBOTIX社の二眼カメラ「M16サーマル」を本システムのセンシングデバイスとして選定した。M16サーマルで設備を24時間365日撮影し、蓄積した表面温度データを解析することで、プロセス可視化や異常早期発見、予兆検知ができるのではないかと考えた。異常を早期・予兆で捉えることで設備停止のような重大トラブルを未然に防ぐことが可能となる。

実際に稼働している社内工場の熱交換設備を解析対象として本システムの有効性検証を実施した。この設備は高温液体流入による伝熱があり、所定サイクルで表面温度に変化が生じる。このような設備の表面温度データを撮り貯め、解析を行った結果、設備運転員が気付いていない、異常予兆と思われる表面温度状態、温度ムラを抽出することができ、補修を検討すべき部位を絞り込んだレポートを出力できた。この結果、工場の安定操業に繋がるポテンシャルを確認することができた。

Abstract

In recent years, public-private sector joint efforts have been driving a transformation across the entire manufacturing industry to Smart Factory, making use of IoT. Even so, in the materials industry, it is difficult to visualize processes because the processes progress inside apparatuses such as reactors, and it is therefore difficult to transform to Smart Factory. In order to accelerate this type of transformation driven by customers utilizing data, the focus has turned to the visualization of surface temperature data generated by most equipment and formed products themselves.

To realize customer value, as to the requirements of the users, which are comprised of plant operators and facility managers, we have placed emphasis on the accumulation of facility surface temperature data as image data, and the continuous gathering of equipment surface temperature data 24 hours a day, 7 days a week. We have chosen the environment-proof MOBOTIX dual camera M16 Thermal as the sensing device of this monitoring system. It is thought that by imaging facilities 24 hours a day, 7 days a week with the M16 Thermal and analyzing the accumulated surface temperature data, it is possible to visualize processes, detect abnormalities early, and detect predictors. With the capability of detecting abnormalities and predictors early, it becomes possible to prevent the occurrence of serious trouble such as production stoppage.

We tested the efficacy of the system on a heat-exchanger under actual operation at one of our plants. The heat-exchanger transfers heat of high-temperature liquid flowing in, thereby changing its surface temperature at a predetermined cycle. By collecting and accumulating this type of surface temperature data and analyzing the results, temperature unevenness was extracted as a surface temperature condition that predicted abnormality but was not noticed by the plant operator, and to generate a report presenting a summary of parts that should be examined for repair. This result confirmed that the system has the potential to stabilize operations.

*産業光学システム事業本部 状態監視ソリューション事業部 MX事業推進部

**生産本部 生産イノベーションセンター 先端生産技術開発部

1 はじめに

日本国内の多くの製造業は、海外企業との競争激化に伴い、生産設備の稼働率を下げられないという悩みを抱え、設備停止を伴うメンテナンスや設備の刷新が実施しづらい環境に置かれている。さらに、人手不足によりメンテナンス作業員一人ひとりの負担が増加しているだけでなく、少子高齢化により熟練作業の技術伝承も難しく、安定操業リスクが年々高まっている。

このような社会環境を背景として、人手に依存しないIoTによる安定操業ソリューションの必要性が高まっている。一般的に、IoTがもたらす進化には4段階のステップ「監視→制御→最適化→自律化」があると言われており、インダストリー 4.0構想のもと、IoTを活用したスマートファクトリー化（工場の自律化）が官民一体で推進されている。

しかしその一方で、1段階目のステップにあたる設備稼働状態の監視（データの見える化）を実施している製造業企業は15%程度に留まっており、IoTの活用が進んでいるとは言いがたい状況である（Fig. 1）。中でも素材産業のプロセスは反応器など装置内部で進行するため、稼働状態の監視が難しく、この1段階目のステップを乗り越えられないことがスマートファクトリーへの移行・推進が難しい要因である。

このようなスマートファクトリー化が難しい各種製造業のお客様に対してコニカミノルタの強みであるセンシング技術を活用したIoTシステムを提供し、お客様の課題解決を志向する設備モニタリングシステムを本稿では紹介する。

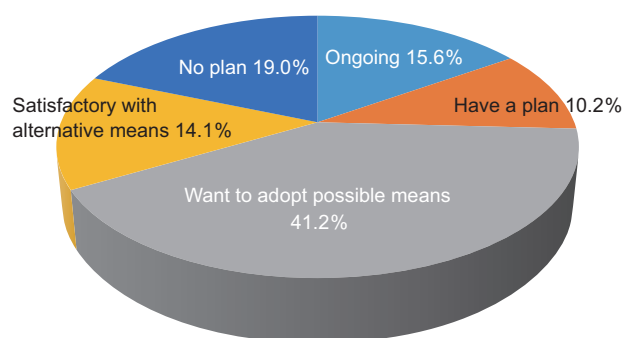


Fig. 1 Percentage of Japanese manufacturers that utilize data to visualize operational processes to improve operation, in a survey by the Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI)¹⁾.

With only about 15% of manufacturers found to be utilizing data with the adoption of IoT to digitize, utilizing of IoT in manufacturing operations has not advanced very much.

2 設備温度モニタリングシステム

2.1 コンセプト

一般的に、生産設備には半導体式あるいは熱電対式温度センサーが設置されている。しかしこれらのセンサーから取得されるのは「点の温度データ」であるため局所

的なモニタリングに留まり、製造業でのデータ活用が求められる中、温度測定点は絶対数として不足している。そこで、サーマルカメラを用いて設備の表面温度を「面データ」として取得・蓄積することで設備の温度測定点を圧倒的に増大させ、製造業のトランスフォームを加速し、設備運転員・設備管理者の課題を解決できる可能性に着目した。

社内の生産設備をサーマルカメラで撮影した画像をFig. 2に示す。温度を面で捉えることで、既設の温度センサーより遥かに多くのデータが取得可能である。また、時系列に表面温度を追跡することで、設備内部の状態をモニタリングすることができる。

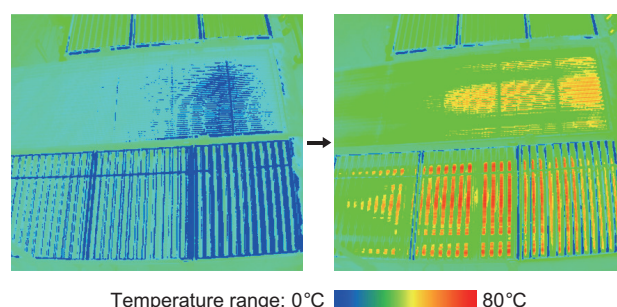


Fig. 2 Examples of heat-map images of a heat-exchanger.

Utilization of images for surface temperature measurement enables more comprehensive temperature monitoring of the target equipment without missing points that would not be picked up with already used sensors such as thermocouple type temperature sensors. Furthermore, the entire process can be monitored by tracking the surface temperature over time.

また、生産設備は24時間稼働しているケースが多く、このような設備を24時間365日モニタリングするためには、必然的に堅牢性と耐環境性を兼ね備えたセンシングデバイスが求められる。

ユーザーである設備運転員・設備管理者の要件「設備表面温度を面データとして蓄積できる」および「24時間365日、表面温度を取得し続けられる」を重視し、MOBOTIX社の二眼カメラ「M16サーマル」を本システムのセンシングデバイスとして選定した。M16サーマルで蓄積した表面温度データを解析することで、稼働状態の見える化だけではなく異常の早期発見・異常予兆検知など、スマートファクトリー化に繋がる顧客価値を提供できると考えた。

2.2 システム開発

Fig. 3に本システム概略を、またTable 1にM16サーマルの仕様を示す。M16サーマルは耐環境性／堅牢性に優れ、重要設備を常にモニタリングし続けることができる。また、電源供給はPoE（Power over Ethernet）であるため敷設工事はLANケーブル1本のみであり、導入による設備停止を必要としない。現場稼働への影響を最小限に抑えることができるモニタリングシステムの導入を優先した。

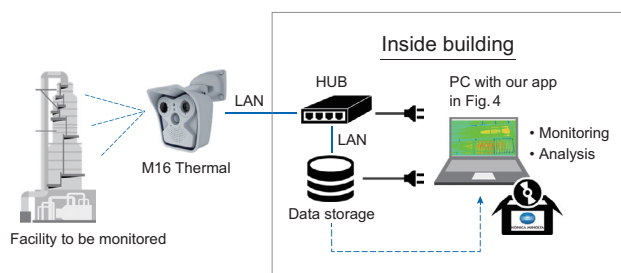


Fig. 3 Facility surface temperature monitoring system.

Table 1 Specifications of MOBOTIX M16 Thermal.

Dimensions (H×W×L)	210×158×207 mm
Weight	1,160 g
Angle of view	45°×34°
Protection class	IP66 and IK07
Thermal resolution	0.05°C
Temperature measuring range	-40°C – +550°C
Power consumption	< 7 w

本モニタリングシステムにより可視／赤外画像が時系列に蓄積されるため、今回開発した専用アプリケーションにより表面温度の面データ解析が可能である (Fig. 4)。併せて、赤外画像内に温度情報が画像の輝度情報として保存されており、所望の場所の温度を確認することが可能である。また、可視画像と合わせて過去の事象を振り返りインシデントを抽出することが可能である (Fig. 5)。

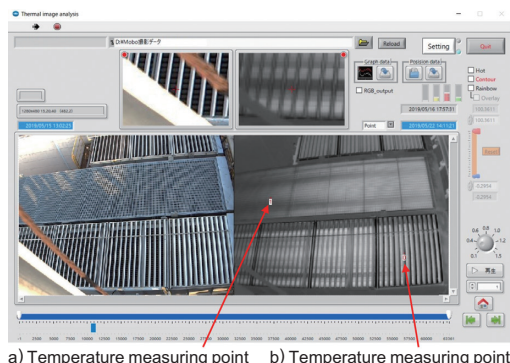


Fig. 4 Screenshot of temperature analysis application.

The program is developed for this study to perform image data analysis of surface temperatures.



Fig. 5 Screenshot of temperature analysis function.

Temperature data is stored in infrared images as brightness information, so the user can check the temperature at a given position. The red and white lines on the graph imitate temporal changes in temperatures for points a) and b) in Fig. 4, respectively.

3 実証実験（社内実践事例紹介）

3.1 製造現場のお困り事

社内工場の設備を用いた本モニタリングシステムの有効性の実証実験事例を紹介する。モニタリング対象は熱交換設備であり、Fig. 6 中央の黒色の管が温度解析部位であり、例えばFig. 7 のような表面温度分布が面データとして取得される。



Fig. 6 Outer appearance of a heat-exchanger that was used as an object of a demonstration test and was actually operated for production.



Fig. 7 Heat-map image of surface temperature of the equipment shown in Fig. 6 when in a uniform temperature state.

工場内にいくつか存在する同タイプの熱交換設備は、それぞれ適切なタイミングで適切な部位に補修を行う必要があるが、補修を行うべき部位の絞り込みが難しく、補修漏れがあると計画外の設備停止に繋がり数千万円オーダーの生産ロスが発生する、という課題がある。これに対し、設備の状態が見える化し、データ解析により補修の必要が生じる箇所を絞り込んでおくことで、計画外の操業停止を防ぐことができる（状態基準保全が行える）と考え、異常予兆検知を含めた設備診断を目指して取り組んだ。

3.2 実証実験結果

本設備は所定時間サイクルでの高温液体の流入による伝熱があり、表面温度に変化が生じる設備である。撮り貯めた温度データを解析したところ、過去に補修が実施された部位では、高温液体流入後に設備表面に特徴的な温度ムラが観察された (Fig. 8)。



Fig. 8 Heat-map image of the equipment immediately after a high-temperature liquid has flown into the equipment.

A temperature unevenness, which is thought to be a predictor of abnormality, is detected at a part that was once subjected to temporary repair. This shows that the temperature unevenness is related to a part in need of permanent repair.

温度ムラは熱負荷が局所的に高い状態を表わしているため、要補修箇所と関連がある特徴的な熱挙動であると仮定し、同一設備のまだ補修が行われていない場所で、温度ムラが生じている部位を探索した。結果、Fig. 9に示すように設備右側からも温度ムラが抽出された。



Fig. 9 Heat-map image as a result of searching for a temperature unevenness after a high-temperature liquid has flown into.

A temperature unevenness is observed on the right side of the same equipment as in Fig. 8. No trouble is found at this position, and nothing is repaired.

この左右の温度ムラの中央部分と、温度が均一な正常部位の温度をそれぞれ計測しその傾向を比較した。高温液体流入時点で温度ピークが見られ、このピーク後の温度の経時変化をFig. 10に示す。過去に補修の必要が生じた左側温度ムラ（赤線）の温度が最も高く、正常部位（点線）とは最大で11℃の差が見られた。そして右側温度ムラ（青線）は温度ピーク後3分間の温度低下が鈍く、その傾向は赤線に近いことから、このまま正常部位との乖離が進むと、今後補修の必要性が高まる可能性が伺える。

このように表面温度に着目してプロセス状態をデータ化することで、今後補修を検討すべき部位を絞りこむことができ、状態基準保全に活かせる可能性があるレポートを出力することができた。なお本稿執筆時点ではトラブル顕在化しておらず、予兆としての妥当性に関しては今後実証していく。実証後には、点線との乖離量をリスク指標として活用することも考えられる。

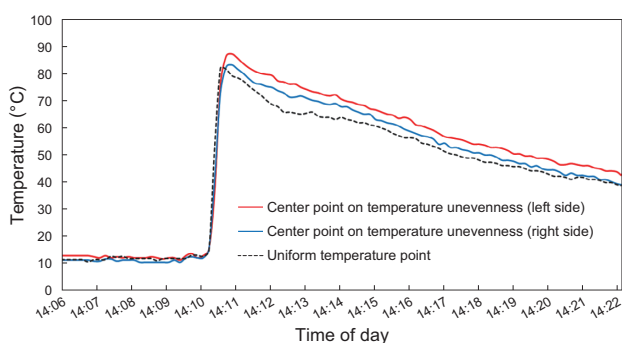


Fig. 10 Temperature comparison between the point with temperature unevenness and the point with uniform temperature.

It is thought that a repair becomes more urgent as the temperature difference between the point where a temperature unevenness is observed and the point where the temperature is uniform becomes larger with time.

4 まとめと今後の展開

耐環境性の高いM16サーマルを用いて、アドオン導入容易な設備モニタリングシステムを構築することができた。また、実際の設備を対象とした実証実験から、表面

温度データを解析することでトラブル予兆の可能性を抽出することができ、製造業の安定操業に繋がるポテンシャルを示すことができた。

温度を面でモニタリングする、という本システムのアプローチは、様々な業種のお客様に対しても価値提供可能だと考えている。例えば近年、製造業以上に熟練職人が不足し熟練技術の伝承が社会課題となっている建設業だが、建材であるコンクリートは硬化時に発熱するため、これまで職人の勘に頼っていたコンクリート硬化進捗管理を、定量的なモニタリングシステムとして提供できる可能性もある。あらゆる物体が発する「熱」の分布およびその変化に着目するため、コンクリートのような接触式センサーの設置が難しい素材が対象であっても大量のデータ収集が可能であり、業種を選ばない汎用性が高いシステムであると考えている。

見えていなかったものを見える化（データ化）し管理可能にしたい、というニーズは特に先進国で同様に存在するため、グローバルの観点でも汎用性は高い。しかし、面でのデータ測定手法の活用により生まれるこの汎用性のトレードオフとして、総データ量が大きくなりがちでデータの使用性には課題がある。

使用性を向上し、かつトレードオフを解消するには、エッジ処理が有効な手法の一つであると考えている。エッジ処理を活用することで、省データ化だけでなく情報の抽象化も行われるため情報漏洩リスクが低下し、クラウドサービス化への移行も期待される。技術課題であり、同時にビジネス観点からもキーフアクターとなるエッジ処理が、今後の重点検討領域である。

課題提起型デジタルカンパニーとして新たな価値を創出するには、ターゲットユーザーの現場に入り込み、現場の方々へのヒアリングや密な議論が不可欠であると考えている。引き続き社内工場と連携して取り組むことで顧客価値・ビジネスモデル・技術をブラッシュアップし、サービス事業化を目指す。

● 出展

- 1) 経済産業省 製造業を巡る現状と政策課題 (Connected Industriesの深化), P23, https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/air_mobility/pdf/001_s01_00.pdfをもとに加工してグラフ作成 (Accessed 2019.10.01)