

# 産業プラント・工場設備のスマート巡回点検システム

## Smart Patrol Inspection Technology for Plant Equipment



本田 雅幹\*1  
Masaki Honda

坂下 元\*1  
Gen Sakashita

樋口 智啓\*1  
Tomohiro Higuchi

添田 勝弥\*2  
Katsuya Soeda

伊藤 弾\*3  
Dan Ito

電力や石油、ガス、化学などのエネルギー業界では、産業プラント設備の老朽化や運転員・保守員の人材不足などの問題を抱えており、限られた人的リソースで質・量ともにこれまで以上の保全業務を行うことが課題となっている。本課題に対し当社では、産業プラント・工場設備における巡回点検業務を対象に、無線センサやタブレット端末、独自のアプリケーションソフトウェアなどから成るスマート巡回点検システムを開発した。本システムは、社内外の巡回点検業務に試行・適用しており、社内の上水道設備の巡回点検では、同業務に要する時間を約 90%低減できる目途を得た。本システムにより巡回点検業務のデジタルイノベーションを支援し、プラント・工場設備保全業務の課題解決、ならびに高度化・省人化、収益性向上などに貢献する。

## 1. はじめに

電気、石油、ガス、化学などのエネルギー業界では、産業プラント設備の老朽化や運転員・保守員の高齢化と人材不足、また、技術・技能伝承力の低下に加え、デジタル社会の進展など、構造的な問題や様々な環境変化への対応が求められている。これに対し、経済産業省は、プラント設備の保全業務に IoT (Internet of Things) や AI (Artificial Intelligence)、ロボットなどのデジタル技術を活用するための実証や、技術活用を促す規制改革を進めており、保全業務へのデジタル技術の導入事例が増えている<sup>(1),(2)</sup>。

当社では国内にある 30 箇所以上の工場において、電気・ガス・水道などのインフラ設備から工作機械、クレーンなどの製造設備まで多数の設備・機器を保有しており、巡回点検や定期メンテナンスなどの日常保全業務を行っているが、設備の老朽化や運転・保守員の高齢化・退職による人員減少が進行する中、保全業務品質の維持・向上や効率化・省人化に課題を抱えている。

このような産業プラント・工場設備の保全業務に関する課題に対して、当社では、巡回点検業務の高度化、省力化、収益性向上を目的としたスマート巡回点検システムを開発した。本技術は、無線通信が可能なセンサやタブレット端末を活用し、点検データの自動回収・点検履歴管理・帳票自動出力などが可能であり、巡回点検業務のデジタルイノベーションを支援する。

本報では、スマート巡回点検システムの概要と特長に加え、社内外のフィールドで試行・適用した結果と今後の展望について紹介する。

\*1 総合研究所 サービス技術部

\*2 バリューチェーン本部 施設管理部 主席部員

\*3 エナジートランジション&パワー事業本部 GTCC 事業部 ICT 開発推進部

## 2. 産業プラントや工場における巡回点検の内容と課題

産業プラントや工場では保全活動の一環として、各事業者にて巡回点検、あるいは巡視点検が行われており、その要領は法令や内規に基づいたものが多い。例えば、高圧ガス設備については、一般高圧ガス保安規則で、設備の使用開始時・終了時に加え、運転中は1日に1回以上、設備などの作動状況を点検することが義務付けられている<sup>(3)</sup>。また、火力発電設備については、2017年4月に施行された改正電気事業法において、事業者の保安力向上を目的として、火力発電設備の安全管理検査制度が見直された。これにより、適切な保守管理を行う場合には、最大6年まで定期事業者検査時期が延伸可能となったが、保安力の審査項目として、内規で定める設備部位ごとに1日1回以上の頻度で点検を行うことなどが示されており<sup>(4)</sup>、巡回点検は発電所などの保安力を向上させるために重要で必要不可欠な業務と言える。

巡回点検の内容は、対象設備や事業者によって異なるが、目視点検、聴診、触診などの五感点検や現場計器の指示値のチェックなどが一般的であり、異常や不具合などの早期発見を図っている。また、多くの場合、これらの点検結果は点検記録用紙に記入され、管理者のチェックを受けた後、原紙保管されるが、電子化されるケースは多くない。このような人間の五感を活かして異常有無を判断し、紙で設備状態を記録するスタイルの巡回点検であっても設備の保全は可能であると考えられる。しかしながら、近い将来、設備の老朽化に伴う点検箇所数の増加や運転・保守員の高齢化・人材不足により、従来の点検スタイルでは設備の信頼性を維持することが困難になる可能性が高い。これらの問題は電気保安分野において認識されているが<sup>(5)</sup>、当社工場の設備保全においても類似の問題を抱えていることから、産業プラントや工場の設備保全において共通の問題と考えられる。したがって、産業プラントや工場の巡回点検においては、限られた人的リソースで質・量ともに従来以上の点検を行うことが重要な課題である。

## 3. スマート巡回点検システムについて

当社では上述した巡回点検における課題の解決策の一つとして、スマート巡回点検システムを開発した(関連特許出願中)。同システムの構成図を図1に示す。本システムで用いる主なデバイスは、無線センサ、ロギングボックス、無線ポータブル計測器、タブレット端末及び管理PCの5つであり、これらにより巡回点検のスマート化、デジタル化を支援する。本章では、それぞれのデバイスを含むスマート巡回点検システムの特長について述べる。

本システムにおいて最も重要なデバイスは無線センサである。無線センサは、電圧・電流・接点信号、表面温度、温度・圧力計器の指示値及び振動などの物理量を測定し、測定データとセンサを識別するためのIDをタブレット端末に送信するものである。センサはバッテリーで駆動し、電源配線が不要でかつ機器への後付けが容易であるという特長を持つ。

この無線センサの機能を拡張するデバイスがロギングボックスである。ロギングボックスは、無線センサからのデータを受信し、内部の記憶領域にデータを保管する。保管されたデータは現場巡回時にタブレット端末に転送される。これにより、巡回頻度によらない、定期的なデータロギングを実現している。

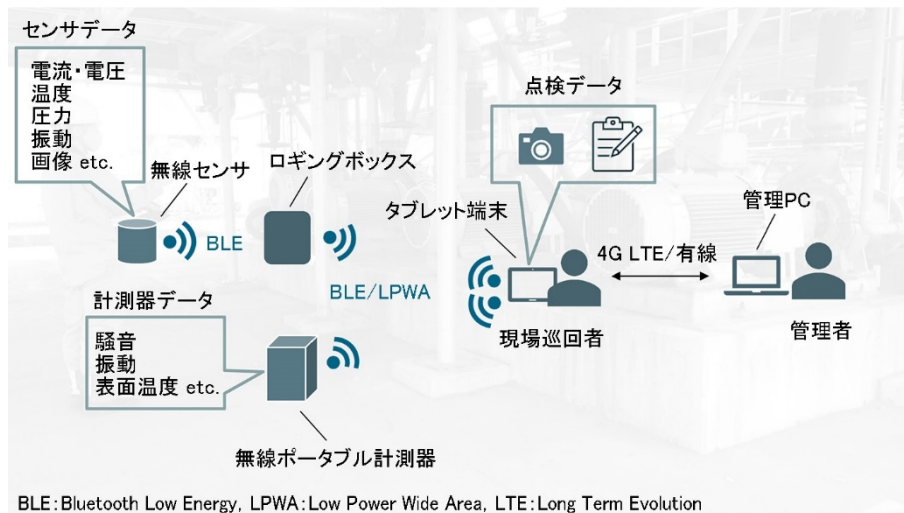


図1 スマート巡回点検システムの概念図

無線ポータブル計測器は、騒音や振動、表面温度を測定可能で、計測器本体に内蔵された通信モジュール又は外付けの通信アダプタを使用し、タブレット端末に測定データを送信する。

タブレット端末は、現場巡回員が現場で使用する端末であり、管理 PC との LTE (Long Term Evolution) 通信ができない環境においても動作し、通信接続の有無を気にすることなく使用できる。また、複数の端末を同時に使用することも可能である。本端末は巡回点検のスマート化とデジタル化を支援するためのアプリケーションソフトウェア(図2)を内蔵しており、同ソフトウェアは当社独自で開発したものである。同ソフトウェアには、無線センサ及び無線ポータブル計測器のデータを収集する機能以外に、目視点検などによる異常有無の判定結果を選択する機能、写真撮影及びメモ入力機能を実装している。また、巡回点検業務中に必要となる図面や作業マニュアルなども機器情報にひもづいた形で検索・閲覧できるようにし、点検だけでなく動作チェックや注油作業などのメンテナンス作業の支援も可能とした。

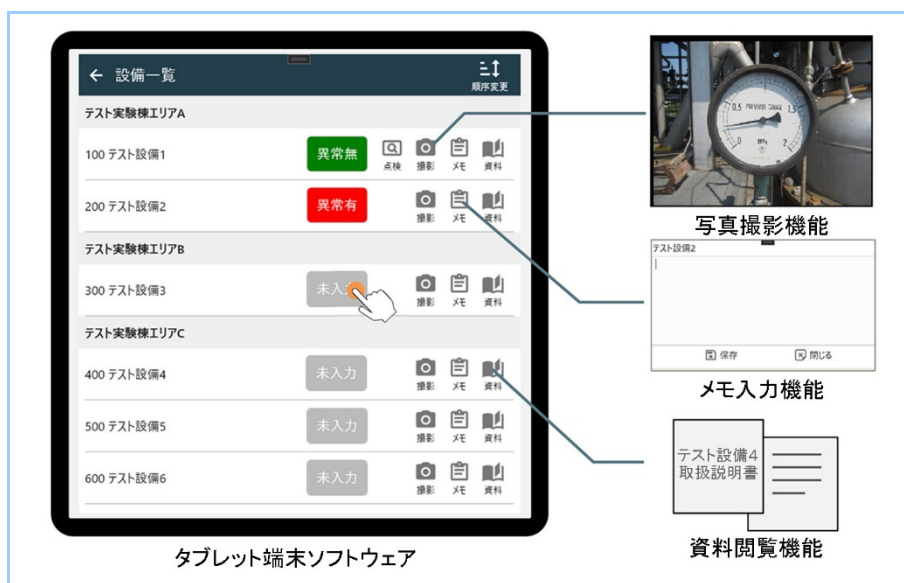


図2 タブレット端末ソフトウェアの機能の一例

管理 PC は、主に事務所に設置して、管理者が使用することを想定しており、巡回点検対象機器の名称・状態・点検履歴などのマスタデータ管理や点検結果閲覧、トレンドグラフ表示、点検記録承認、報告書自動出力などを可能とするアプリケーションソフトウェアを開発・実装した(図3)。

なお、本システムの提供価格とリードタイムを抑えるべく、無線センサと無線ポータブル計測器は、市販品を採用する方針とした。しかしながら、製品や提供メーカーごとに通信仕様や付属ソフトのアーキテクチャが異なるため、単なる組合せではユーザインタフェースが分断され、ユーザビリ

ティの低下を招く。そこで、各デバイス(センサ・ポータブル計測器)に対する汎用的あるいは固有の処理(バイト列抽出や四則演算など)をブロック化し、デバイス種別ごとの処理をブロックの組合せとして実装する環境を構築した。これにより、簡便にセンサの追加ができるほか、各種センサデータが一様に整形されるため、統合的なデータ処理が可能となった。さらに、同プラットフォームをタブレット端末に搭載することで、製品や提供メーカーによらず統合されたユーザインタフェースを実現し、ユーザビリティの向上を図った。

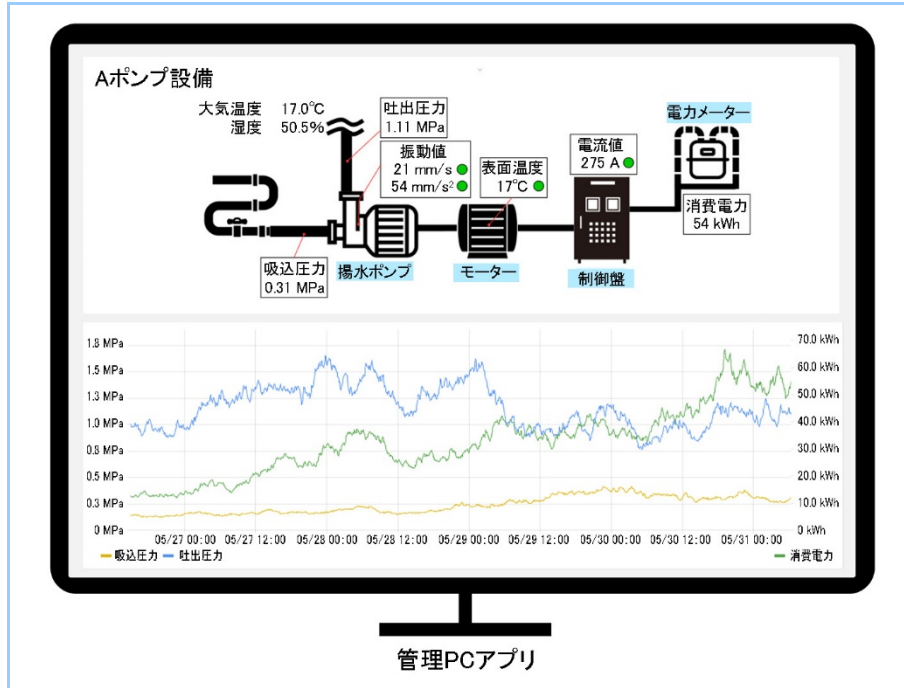


図3 管理 PC アプリの機能の一例

## 4. 巡回点検業務への試行・適用結果

本章では、センサデータの自動取得や点検結果の電子管理が可能なスマート巡回点検システムについて、社内工場や発電プラントの巡回点検業務に試行・適用した結果について述べる。

### 4.1 社内工場における上水道設備への試行結果

当社工場内にある上水道設備を例題にスマート巡回点検システムを試行した。例題としたのは井戸設備であり、揚水ポンプ、送水ポンプ、制御盤及び水槽などの各機器・装置で構成され、井戸水を汲み上げ工場に送水している。同設備の巡回点検では、外観異常、異音、異臭及び異常振動有無などを確認する五感点検と電流・電圧や吐出圧力、流量などをチェックする測定点検を行っている。本試行では、電流センサ、振動センサ並びに圧力計の指示値を読み取るセンサなどをポンプに後付けし、タブレット端末を使って各センサの測定データの受信を試みた。無線センサの設置状況の例を図4に示す。試行の結果、タブレット端末で各センサデータを問題なく受信できることを確認し、測定点検の効率化が可能であることが示された。本結果を踏まえ、例題とした井戸設備に対して、スマート巡回点検システムを適用した場合の期待効果を試算した。期待効果の試算結果を図5に示す。本井戸設備の巡回点検に要している時間は年間約 462 時間であるが、本技術適用により測定業務を効率化できれば、年間で約 404 時間の工数低減が期待される。また、測定点検を自動化することにより、これまで測定点検にかかっていた時間を五感点検に充てることで、五感点検に注力する時間が増え、巡回点検の高度化に繋がることが期待される。

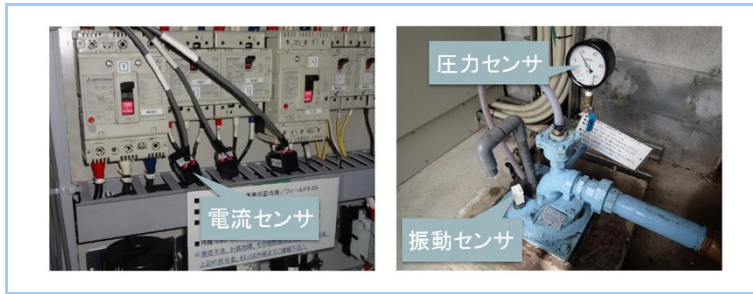


図4 上水道設備への無線センサの設置例

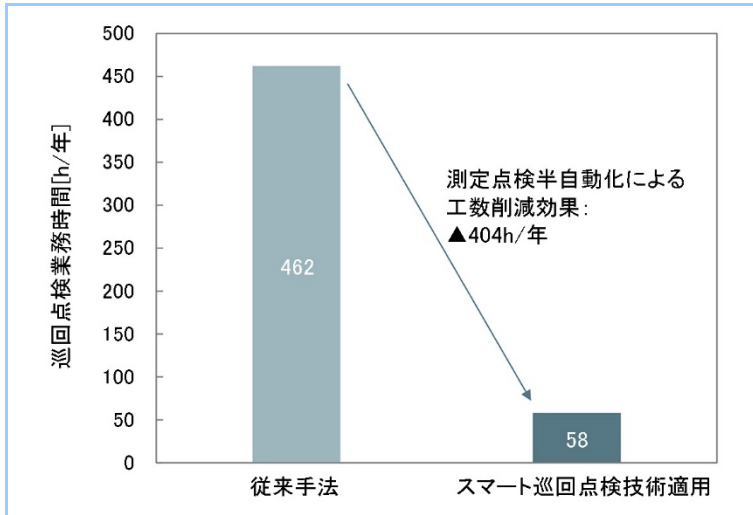


図5 社内上水道設備の巡回点検業務への適用効果予測

#### 4.2 社内工場における水道メータ、電力メータ検針業務への適用結果

次に、社内工場における水道メータ、電力メータ検針業務への適用結果について述べる。当社の多くの工場では、工場内の各所にある水道メータと電力メータを月に一度の頻度で検針し、検針結果を集約しているが、一定の作業コストが発生している。そこで、スマート巡回点検システムを活用し、パルス発信機能付きのメータ、パルス読み取りセンサ及びロギングボックスを用いて、メータの値をタブレット端末で収集するシステムを構築し、検針業務に適用した。水道メータ及び電力メータへの無線センサ設置例を図6に示す。本システムの導入により、特に複数のメータが集中する場所において、検針業務の効率化が可能となった。また、水道メータのデータ解析例を図7に示す。折れ線グラフは1時間あたりの平均使用量を、棒グラフは24時間ごとの累積使用量を示している。ここで、夏季休暇期間の平均使用量に着目すると、平均使用量はゼロであり、当該システムにおいて漏水が発生していないことが推定できる。このように、従来よりも高密度のデータを取得し、可視化することで、系統ごとの漏水の有無を確認できるなど、これまでの検針業務ではできなかった高度な分析も可能となった。



図6 水道メータ、電力メータへのセンサ設置例

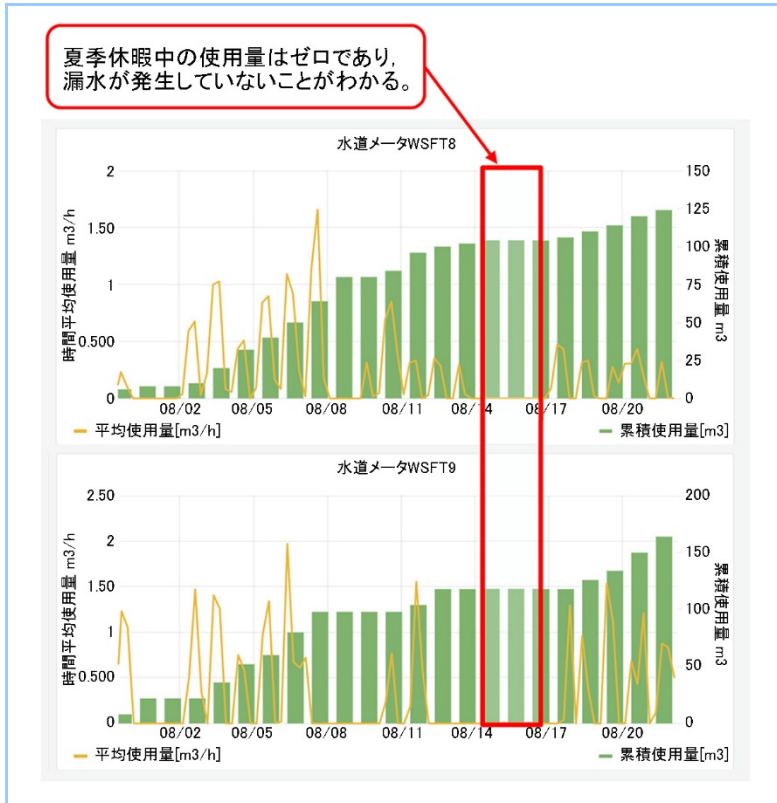


図7 水道メータデータの可視化・分析例

### 4.3 発電プラントにおける巡回点検業務への試行結果

スマート巡回点検システムは、社内の工場設備の巡回点検だけでなく、発電プラントの巡回点検業務への試行を進めている。発電プラントにおいて、主機であるタービンや発電機、ボイラなどの運転状態は、機器に常設されたセンサと通信ケーブルを使って制御システムへ信号・データとして送られ、中央操作室などで常時監視されている。一方、ポンプやファン、コンベヤなどの BOP (Balance of Plant) 設備については、必要最低限の常設センサしか設置されていない、あるいは現場計器しか設置されていないケースが多いため、BOP 設備の保全業務において現場の巡回点検の重要度は高い。

発電プラントにおける巡回点検の対象機器は数・種類ともに多く、点検内容は多岐にわたるが、例えば、高所にある冷却塔のモータやファンに振動センサを設置し、地上でセンサのデータを受信する、また、複数の現場計器が密集したエリアにおいて、計器の指示値を読み取るセンサとロギングボックスを設置し、過去1週間分のデータを一度で回収するなどの使い方を試行中である(図8)。これまでの試行結果から、現場計器の読み取り作業などを自動化、効率化できる目途も得られており、これらの効果により、五感点検や機器・設備のメンテナンスに注力でき、保全業務品質の維持・向上が期待される。



図8 発電プラントにおけるスマート巡回点検システムの試行状況

## 5. 今後の展望

最後に、スマート巡回点検システム活用に関する今後の展望について述べる。

### 5.1 産業プラント・工場設備の保全業務の高度化に向けて

産業プラント・工場設備の保全業務に関する今後のビジョンを図9に示す。第一フェーズとして、スマート巡回点検システムや他のデジタル技術を設備保全業務に順次適用し、当該業務の自動化率・効率を上げることで、省人化とコスト低減を図る計画である。次のフェーズでは、蓄積された膨大なデジタルデータを AI などで分析することで、機器・設備の異常予兆や状態診断を行う。さらに、最終フェーズでは、異常予兆検知結果に基づく早期点検により不具合の発生を防止するとともに、状態診断により日常点検の合理化を行う。これにより、法令などで定められた TBM (Time Based Maintenance) とデータ分析結果に基づく CBM (Condition Based Maintenance) の両輪で保全業務の高度化を図り、設備の信頼性を保ちつつライフサイクルコストの最小化を目指す。

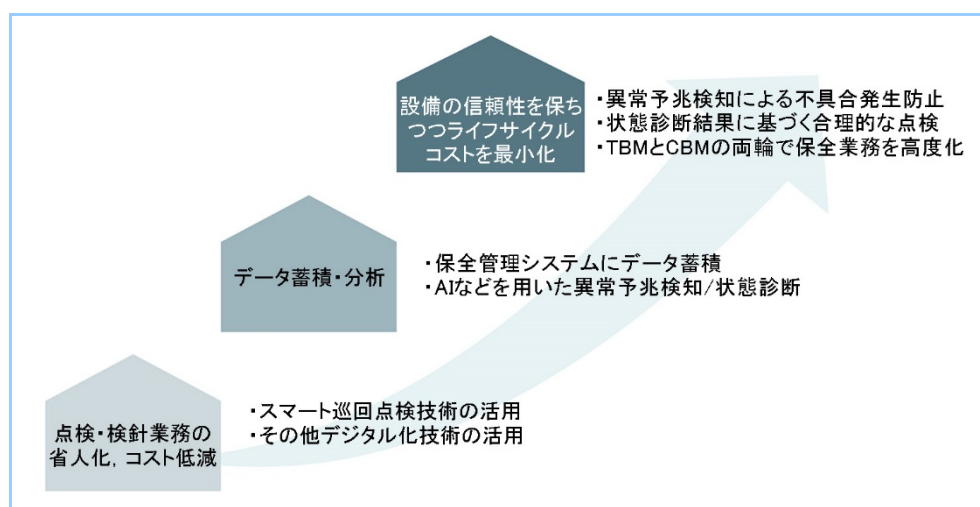


図9 産業プラント・工場設備の保全業務のビジョン

### 5.2 TOMONI<sup>®</sup>などのデジタルソリューションと連携したサービス提供

当社では、2017年からは、発電プラントの最適運転を実現するためのデジタルソリューション：TOMONI のサービス提供を開始し、国内外の発電所に導入している<sup>(6)</sup>。TOMONI が提供するサービスは多種多様であり、発電所の制御システムとの通信接続による遠隔監視や MT 法 (Mahalanobis-Taguchi method) による異常予兆検知、また、図10に示すクランプ式電流センサを用いたモータ駆動設備診断などのアプリケーションを活用して、発電プラントの O&M (Operation and Maintenance) 最適化、性能向上、運用性改善を支援している<sup>(7)</sup>。TOMONI では発電プラントの制御システムから運転データをクラウド環境に送信し、データの可視化や分析を行っている。しかしながら、制御システムで取り扱うデータは、前述の通り、常設のセンサが設置されている主機の運転データが大半であり、発電プラントにもよるが、TOMONI で監視が可能な BOP 設備の運転データは主機に比べ少ない。そこで、スマート巡回点検システムを活用し、BOP 設備の巡回点検データ (運転・保守データ) を TOMONI のクラウド環境に送信する仕組みを開発中である。主機の運転データに BOP 設備の巡回点検データが加わることで、より多くのプラント設備の運転状態が連動して可視化・分析できる。また、異常予兆検知やモータ駆動設備診断などの TOMONI アプリケーションの活用も可能となる。このように、当社のデジタルソリューションと連携することで、より多くの設備状態の見える化と適切なメンテナンスの提案などのサービス提供が可能となり、プラント設備の信頼性向上と O&M コストの低減が期待される (図11)。

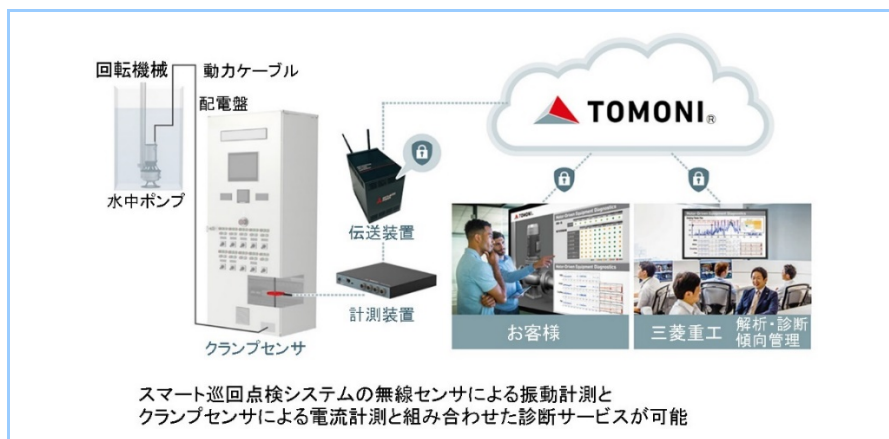


図 10 TOMONI が提供するサービスの一例(モータ駆動設備診断サービス)

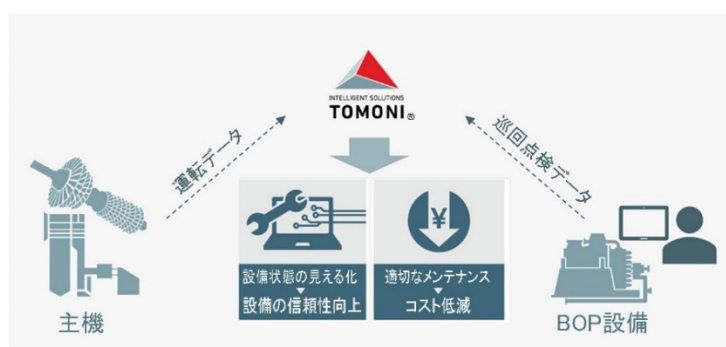


図 11 TOMONI と連携したサービス提供のイメージ

## 6. まとめ

産業プラント・工場設備における巡回点検業務を対象に、機器に後付けできる無線センサデータの自動取得や点検結果の電子管理が可能なスマート巡回点検システムを開発した。また、社内外の巡回点検業務への試行・適用を通し、同業務の効率化に対する効果を確認した。

設備の老朽化や運転・保守員の高齢化と人材不足が進む中、限られた人的リソースで質・量ともにこれまで以上の保全業務を行うためには、デジタル技術の活用が必要不可欠である。本システムは、巡回点検業務のデジタルライゼーションを支援可能と考えており、今後、社内工場の巡回点検業務への適用を拡大するとともに、その過程で得た成果やベストプラクティスをサービスとしてお客様に提供し、産業プラント・工場設備保全業務の高度化や省人化、収益性向上などに貢献する。

TOMONI<sup>®</sup>は、三菱重工業株式会社の日本及びその他の国における登録商標です。

## 参考文献

- (1) 経済産業省, スマート保安推進のための基本方針, (2020)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/safety\\_security/smart\\_hoan/pdf/kihon\\_hoshin.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/pdf/kihon_hoshin.pdf)
- (2) 経済産業省, スマート保安先進事例集, (2022)  
[https://www.meti.go.jp/policy/safety\\_security/industrial\\_safety/smart\\_industrial\\_safety/jireisyu\\_r3.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/jireisyu_r3.pdf)
- (3) 一般高圧ガス保安規則第六条 第二項, 第五十五条 第二項, 第六十条 第一項
- (4) 経済産業省, 発電用火力設備に係る動向について, (2019)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/safety\\_security/smart\\_hoan/denryoku\\_anzen/pdf/20210430\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/pdf/20210430_1.pdf)
- (5) スマート保安官民協議会, 電気保安分野スマート保安アクションプラン, (2021)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/safety\\_security/smart\\_hoan/denryoku\\_anzen/pdf/20210430\\_2.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/smart_hoan/denryoku_anzen/pdf/20210430_2.pdf)
- (6) 石垣博康ほか, TOMONI<sup>™</sup>による発電プラントのデジタル変革, 三菱重工技報, Vol.58 No.3, (2021), p.1-7
- (7) 石垣博康ほか, デジタルソリューションによる予知・予兆診断への展開, 計装, Vol.64 No.10, (2021), p.36-39