

重要インフラの高度保守運用を実現する インテリジェントソリューション TOMONI®

Intelligent Solution TOMONI® for Advanced Maintenance and
Operation of Critical Infrastructure



安形 友希子*1
Yukiko Agata

田中 徹*2
Toru Tanaka

手島 哲平*3
Teppei Teshima

須藤 仁*4
Jin Sudo

箕手 裕一*5
Yuichi Minote

山元 雄矢*6
Yuya Yamamoto

発電プラント設備のような重要インフラ設備に対して、保安・保全活動の維持・向上が喫緊の課題と言われて久しい。三菱重工業株式会社(以下、当社)では、これを克服するための手段の一つとしてインテリジェントソリューション TOMONI を提案している。TOMONI では発電設備に対するAI(Artificial Intelligence)もしくは機械学習を用いた制御高度化、自動自律プラントの実現を目指すだけでなく、運転監視、運用保守に関わるお客様と OEM (Original Equipment Manufacturer)である当社の業務プロセスをデジタル技術によりつなぎ、お客様の DX (Digital Transformation)を支援、地に足のついたスマート保安を目指して、TOMONI メンテナンスプランナ他、多様なソリューションメニューを開発、提供している。

1. はじめに

デジタルトランスフォーメーション(DX)の機運が盛り上がりを見せてから久しく、デジタル技術の活用が保全のあり方を大きく変容している(一部の)現場がある一方で、依然として紙媒体での情報管理が主流のままなど、多くの現場ではデジタル技術が浸透していない実情があり、我々は保全現場の抜本的デジタル改革を支援する取組みを開始した。

また、経済産業省では2年前より官民協議会を発足させ、人員不足、高経年化、災害激甚化等の電力保安が直面する課題を、IoT(Internet of Things)やAI、ドローン等の新たな技術を導入することで克服し、将来的な保安力の維持・向上、生産性の両立を目指す“スマート保安”を強力に推進しており、法整備等デジタル改革に向けた環境も追い風となっている。

また、当社のインテリジェントソリューション TOMONI は、デジタルを活用したさまざまな製品やサービスの集合体である。クラウドにデータを蓄積し可視化する機能、発電所を動かす制御装置(Netmation)やその付加装置(ボイラ AI 燃焼調整)、定期点検(以下、定検)工事手配を支援するツール、定検工事の現場作業で使われるスマホアプリなど多岐にわたり、お客様に提供するものもあれば、自社利用を目的としたもの、さらには両者をつなぐものもある。

TOMONI は自社のさまざまなデジタル製品をつなぐ活動へと導く。それは各部門が協調、協力せずに別々に開発するのではなく、できるだけ相互に接続・連携することで、データの最大活用を目指すとともに、お客様の投資対効果の最大化、自社の業務効率化を狙うものである。

本報では、2章で当社における DX の取組みとして TOMONI の生み出す価値について、お

*1 エナジードメイン エナジートランジション&パワー事業本部 エナジートランジション総括部新事業開発推進部

*2 エナジードメイン 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

*3 エナジードメイン 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 主席部員

*4 三菱重工パワー環境ソリューション株式会社 技術本部電気制御部 主席

*5 エナジードメイン エナジートランジション&パワー事業本部 GTCC 事業部制御システム技術部 主席部員

*6 エナジードメイン エナジートランジション&パワー事業本部 エナジートランジション総括部新事業開発推進部
技術士(機械部門)

お客様、自社の業務、及び発電プラントに区分して整理、3章以降で製品化、開発・実証試験中のインテリジェントソリューション事例を示す。

2. TOMONI の生み出す価値

TOMONI により生み出すことができる価値は大別すると次の3つから構成される(表1)。

表1 インテリジェントソリューション TOMONI により生み出す価値区分

	対象	内容	価値
1	お客様業務プロセスのデジタル化	O&M 高度化、ナレッジ管理、データの見える化、サイバーセキュリティ強化	省コスト、省力化、効率化、人材育成、技術伝承、安全、ビジネス継続性
2	MHI 自社業務デジタル化	新型コロナウイルス感染症流行環境に対応した遠隔運転支援の強化、プラントライフサイクルを通じた、デジタル活用によるお客様アセット運用支援	省コスト、省力化、効率化、感染症対応、安全、アフターサービス品質向上、製品付加価値増
3	発電プラントのデジタル化	発電プラントを“自動自律化”し、最適な運転保守を実現 性能向上、トリップ防止、部品長寿命化、需要予測、発電最適化、エネルギーマネジメント	性能向上、稼働率向上、売電最適、フレキシビリティ向上

2.1 お客様業務プロセスのデジタル化

当社の自社業務や納入発電プラントのデジタル化を進める中で、“1. お客様業務プロセスのデジタル化”の支援を行うことが、アセット運用におけるデジタルイノベーションには必要不可欠である。お客様の業務プロセスは多岐にわたり、そのデジタル化は地道な活動となるが、これを進めることにより

- ①お客様自身がデジタル化による保全変革を実感でき、
- ②アセットの最適運用、保全高度化に必要な情報が整理・蓄積・可視化され、
- ③保全情報の一元管理にも寄与できる。

また、この支援を通じ、メーカーである当社とユーザであるお客様とのコミュニケーションの向上を図ることで、よりシームレスな情報共有・データ連携などが可能となり、両者の相乗効果によるお客様収益の向上、新たなソリューション創出にも期待できる。

TOMONI では、プラントの安全運転を第一に現場とセキュアに通信接続、最新かつ信頼性の高いデジタル技術やシステムアーキテクチャを採用し、重要インフラ設備における実証を経たソリューションを提供することで、お客様の継続的なデジタルイノベーションへ貢献することを目指す。

2.2 MHI 自社業務デジタル化

現在当社では、新型コロナウイルス感染症の流行により海外渡航に制限がある状況下において、遠隔での海外試運転支援を強化するなど、“2. MHI 自社業務デジタル化”に積極的に取り組んでいる。例えば2021年に営業運転開始した福島復興IGCCプロジェクトでは、勿来、広野発電所に対して、試運転期間中のリアルタイムの運転データ監視に加え、主要な試験に応じたTOMONI への入力情報のうち、欠損や重複等、分析の妨げになるデータを特定し、目的に応じた形にデータ加工するデータクレンジングをしたうえで分析処理を行い、機器の構成部品に対する発生事象のAI予測や、運転支援ダッシュボードなど、従来よりも高度な試運転支援ツールを、ごく短期間で製作し、プロジェクトの遂行に貢献した。

また、過去の定検データを活用した次回定検手配品見積もり支援システムの提供や、定検時の現場作業におけるデジタルアプリケーション(AIによる異物管理、作業フロー管理など)の活用など、TOMONI ではいわゆるIoTに留まらない、デジタルソリューションにもその適用範囲を拡大している。

このようにTOMONIでは自社内で利用、改良を重ねることによりブラッシュアップし、製品・サービスとして提供可能なものに関しては、お客様にも販売している。

2.3 発電プラントのデジタル化

“3. 発電プラントのデジタル化”を実現するために、リアルタイム性が求められる運転監視や判断を要するシステムは発電所構内で構築し、ビッグデータの収集、分析処理に適したクラウド環境とも連携することで全体として最適なシステムを構成する。例えば AI を使ったボイラ燃焼調整や、ガスタービン(GT:Gas Turbine)性能向上ソリューション、起動時のトリップを予防するための主要弁の自動開閉テスト機能などが挙げられる。

今後はこれらの個別設備に対するデジタル化に留まらず、工場消費電力の予測、再生可能エネルギー(以降、再エネ)の発電量予測、及び売電価格の予測などを組み合わせたエネルギーマネジメントシステム(EMS:Energy Management System)と連携し、設備全体の収益最大化、低炭素・CO₂ 排出量低減を目指して全体最適となるようにプラントが自動かつ自律的に運転する、いわゆる“自動自律プラント”を目指す。

3. スマート保全

スマート保全とは、3.1 に記載のとおり、スマート化による保全の効率化・高品質化を目指すものであるが、3.2 に記載のセキュリティサービスがそれを支える。

3.1 TOMONI スマート保全: デジタルによる保全改革

多くの保全現場でDX やスマート化の推進が模索される中、AI、異常予兆検知等の華々しい施策が注目を集めがちであるが、TOMONI では、その前身の発足から約7年にわたる多様な議論・実践の経験から、“DX も地道な活動であり、イノベーションに必要となるのは、簡単なことでも良いので保全業務プロセスにデジタル技術を取り入れ継続すること、そしてその波を隅々まで行き渡らせること”ではないかとの考えに至っている。この地道な活動を通して、十分な情報量の蓄積やその体系化、情報連携が可能となる。これにより効果的に情報を取り扱うことができるようになり、最終的に保全の高度化・高品質化の実現につながるものとする。さらに個別の保全活動がデジタル技術によりつながり、それら全てが一元管理される保全の将来像を目指す。TOMONI では、保全を支えるプラントメーカーとして、そのビジョンを製品化のプロセスに乗せるべく活動を始めた。足がかりとして、現在お客様の日々の保全業務を支援する TOMONI ベーシックパッケージを提供している(図1)。これは、当社が供給するハードウェア設備に対する技術情報を予め搭載しておくことで、お客様ができるだけ“すぐに”使える状態となるようにパッケージ化したものであり、以下のコンテンツが含まれ、お客様業務のデジタル化を強力に支援するものである。

- ・保全業務の高品質化・効率化: 保全履歴管理や工事計画支援等、保全プロセスを広く支援するメンテナンスプランナ/ボイラの点検履歴可視化等を行うボイラスマートインスペクション
- ・技術資料・図書の簡単検索が行えるスマート検索
- ・メーカーエンジニアとのコミュニケーションツールとなる掲示板
- ・技術情報・業界情報等の簡単解説を行う TOMONI ブログ

ベーシックパッケージの他、スマート化に資する個別ソリューションを多数用意しており、今後は、それらを整理、統合、拡充し、上述のとおり、新たな“TOMONI スマート保全”を構築する。

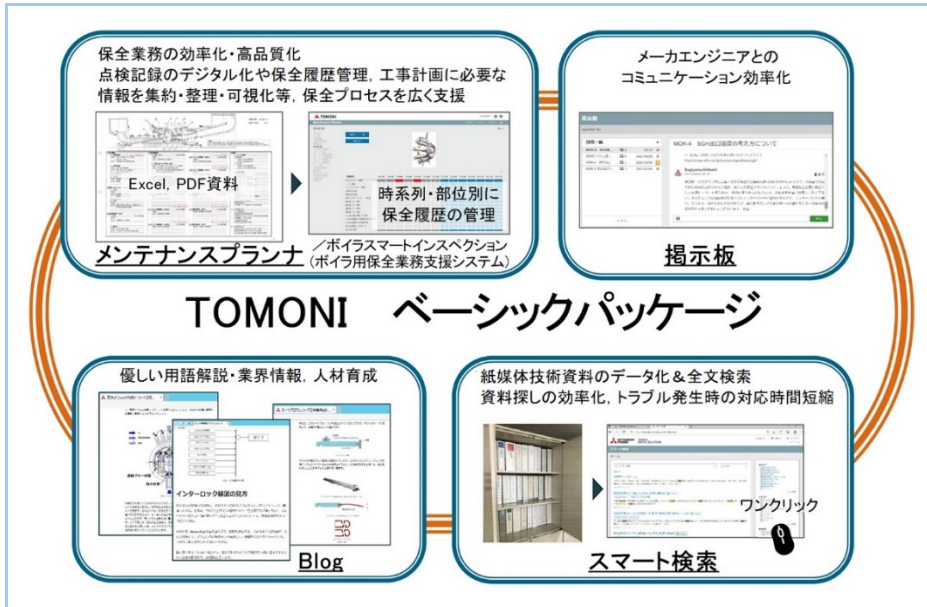


図1 デジタルによる保全改革:スマート保全

3.2 制御システムセキュリティサービス (NPP: Netmation Protect Pack)

重要インフラ設備に対し、制御システムセキュリティに関する規格が整備され、IEC62443-3-3: 2013, NERC-CIP (Middle Impact BES Cyber System), JESC Z0004-2016 といった各種規格への準拠が求められている。高度保守運用を実現するためには、クラウドシステムのみならず、発電所構内の制御システム全体を含めたセキュアなシステムアーキテクチャを構築する必要があり、自社製制御システム DIASYS Netmation を同規格へ適合すべく NPP を開発し、セキュリティ要求の厳しい海外の GTCC (Gas Turbine Combined Cycle) プラント向けに納入している。NPP の要求仕様は DIASYS Netmation と上述の規格、特に IEC62443 3-3 の SL-2 対象の要求事項に対してギャップ分析を実施し、NIST (National Institute of Standards and Technology) フレームワークに基づき、NPP が対応すべきセキュリティ要件とソリューション仕様を策定している (図2)。今後は、Windows セキュリティパッチの適切な提供、パッチの適用とその管理、収集したセキュリティログの監視・分析というサービスを本格的に開始し、お客様への制御システムへの信頼性向上と TOMONI によるデジタルソリューションとの融合を図る。

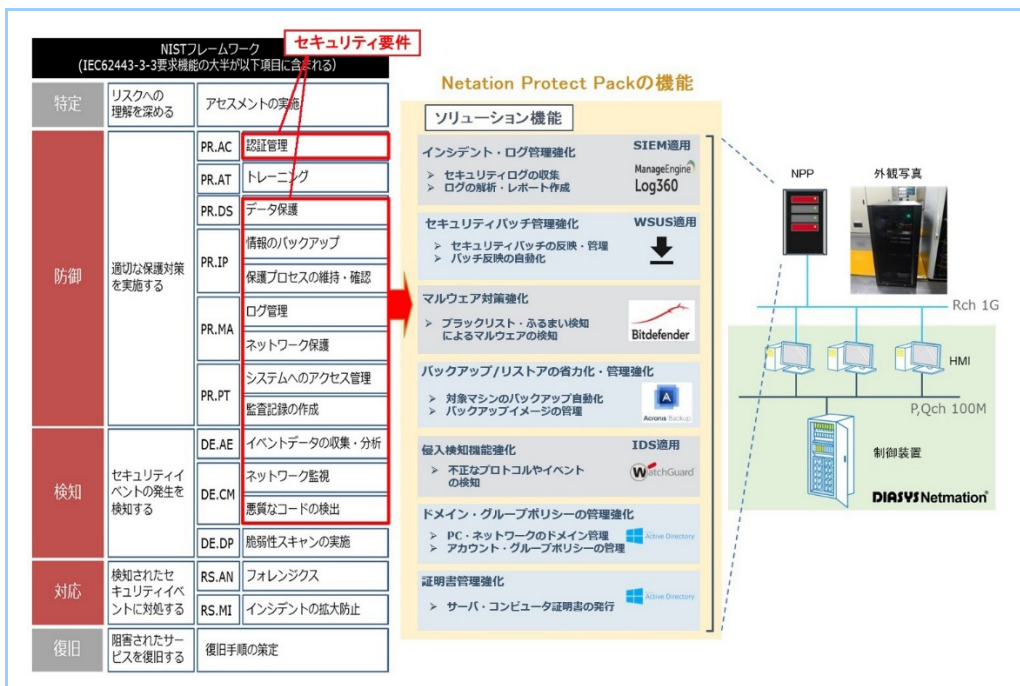


図2 制御システムセキュリティサービス

4. AI による制御性改善やトリップ予防アプリケーション

4.1 GTCC 向けトリップ予防アプリケーション

当社では、長期保守契約を結んでいるお客様を中心に、発電所の運転・保守をサポートする遠隔監視サービスを提供している。このサービスは TOMONI HUB より提供されており、TOMONI HUB は遠隔監視機能に留まらず、当社の多様なソリューション能力をつなぎ合わせることで、“お客さまと共に”設備価値の向上と脱炭素社会の実現に役立つサポートの実現を目指している。TOMONI HUB で収集したビックデータを分析した結果、GTCC プラントにおける異常停止(トリップ)の要因全体としては、GT 負荷運転時が 76%、GT 起動中が 24%を占めている。近年の再エネの台頭等により、GTCC プラントはこれから発電される電力を補完する役割が大きくなりつつあり、起動回数増加やスタンバイ状態からの立ち上げ機会が増える。そこで、GT 起動時のトリップ要因を減らすことに着目。また、その上位6項目で起動中トリップ要因の約 80%を占めることが判明している(図3)。

そこで最も比重の大きい人的な要因(Human Error)を減らすことを目的に、作業性向上アプリケーションを開発した。ヒューマンエラーのうち、35%が系統隔離や復旧作業の不良により発生している。それは例えば、通常運転中は“開”とすべき手動弁を定検中に“閉”としていたが、定検後に再び“開”とすることを忘れることによる、プラント再起動過程でのトリップ事例である。これを予防するため、手動弁操作の指示、状態管理ができるアプリケーションを開発した(図4)。RFID タグを手動弁に配し、現場でスマートフォンを用いてそれを読み取ることで、作業対象の手動弁を特定する。また、隔離・復旧作業手順書と系統図データとをそれぞれリンクさせることで、データの一元管理とスマートフォンでの確認を可能とする。

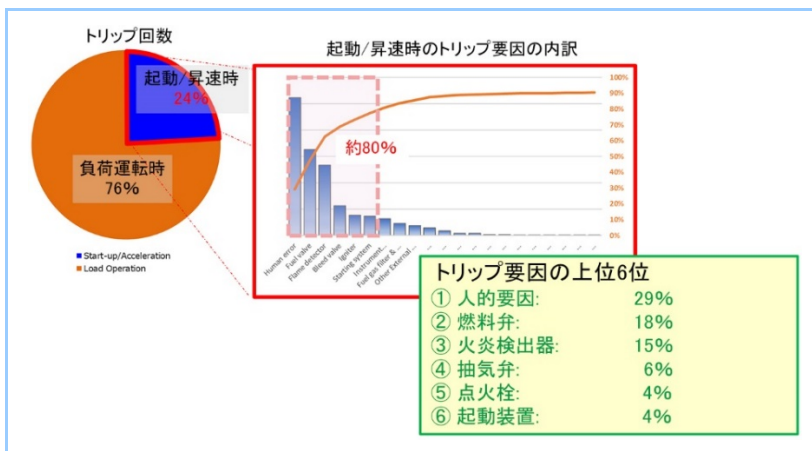


図3 GTCC プラントにおける異常停止(トリップ)の要因分析

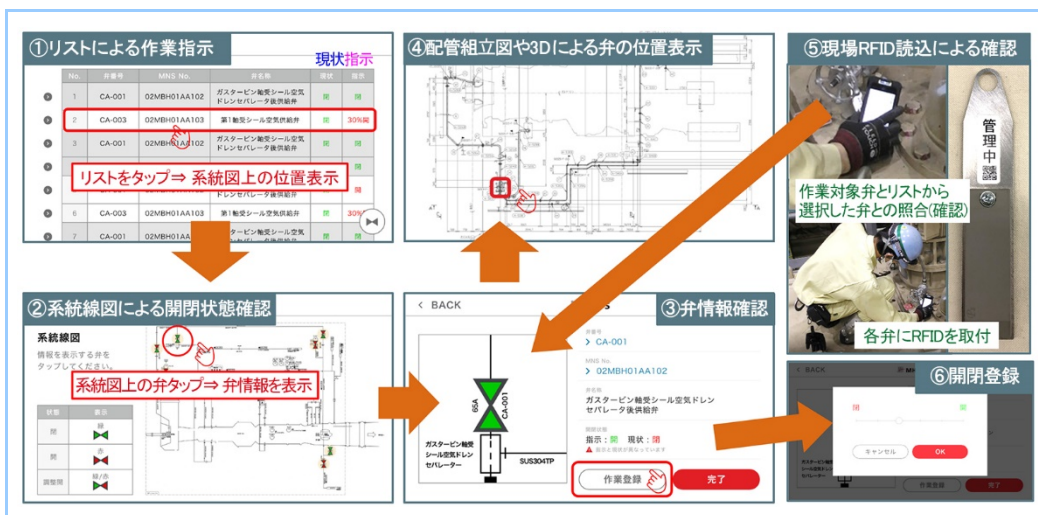


図4 作業性向上アプリケーション例

GT 起動中のトリップ要因の比重として続く、燃料弁、抽気弁、点火栓に対して(図5)は、プラント停止中(起動前)にこれら機器を動作させデータを取得し、機器状態の診断を行うアプリケーションを開発した(図6)。起動前又は経年的な機器状態の把握、また、異常が疑われた場合には推奨点検項目を表示することにより、プラント起動に影響が無いよう事前に適切な保守を行うことができるようになり、起動信頼性の維持・向上に貢献する。

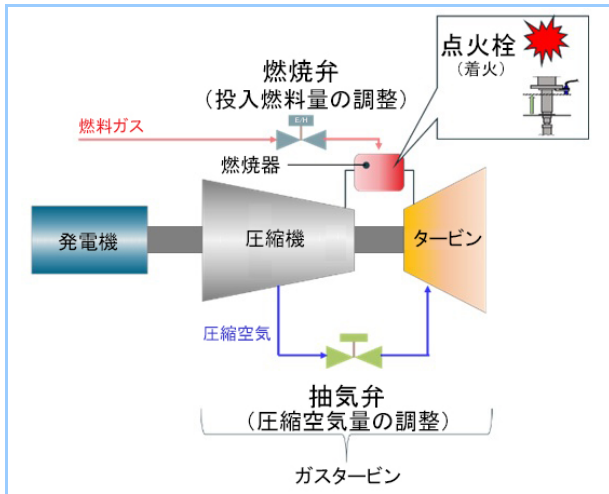


図5 燃料弁, 抽気弁, 点火栓簡易図

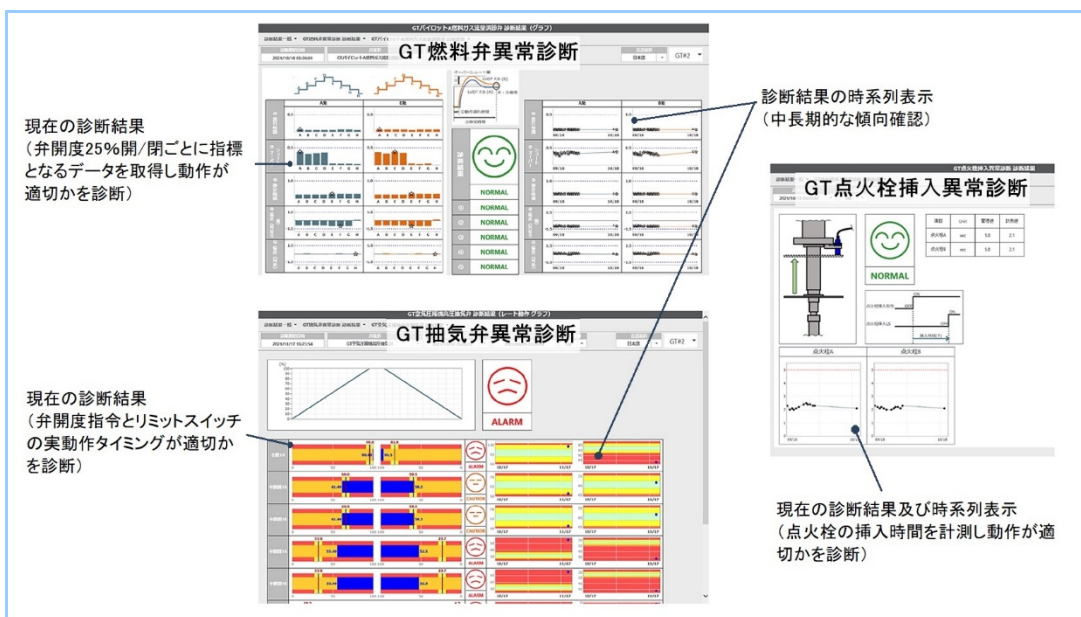


図6 GTCC 向けトリップ予防アプリケーション例

4.2 作業性向上のためのアプリケーション

事例の一つとして GT の保温作業の効率化について述べる。従来は、保温材ごとに取付け位置を図面で確認しながらの復旧作業や、損傷した場合のサイズの再調整などの補修作業に時間を要していた。この問題を解決すべく、保温材のブロック化と分解復旧作業のガイドシステム(アプリケーション)を開発した。ブロック保温材は、取付け位置ごとに適した形状、一人で持ち運びできる大きさで、取付けも金具を引っ掛けたりマジックテープを止めたりするだけの簡易的なものに見直した。これにより、従来に比べ補修作業にかかる手間と時間が約 80%低減された。

また、ガイドシステムでは、ブロック保温材に取り付けたバーコードをスマートフォンで読み取ると、保温材ごとの取付け位置や収納場所を 3D 図上で案内され、従来の図面との照合が不要となり、作業効率向上を図れる(図7)。さらに、作業者が作業進捗をスマートフォンに入力すると、管理画面にリアルタイムで連携され進捗状況が他のスマートフォンと共有される。これにより、保温

材の分解復旧作業の効率化や作業漏れ防止となり品質向上が図れるだけでなく、作業員の経験にばらつきがある場合も、従来あったワイヤリングとサイズの再調整作業が不要になること、取付け位置間違いが発生しないことから、均一な品質で保温作業が可能となった。

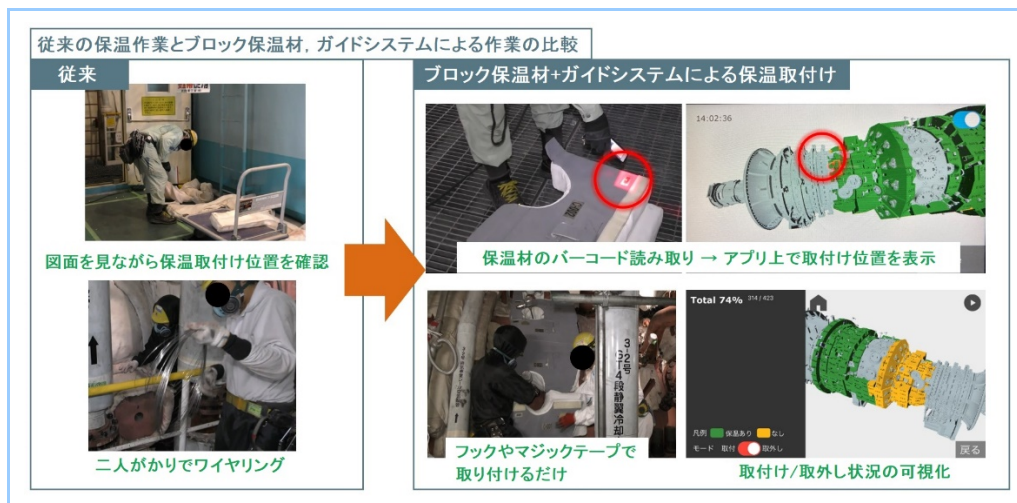


図7 ブロック保温アプリケーション

4.3 スチームパワー向けボイラ AI 燃焼調整, 制御最適化 (Netmation OscAR[®])

株式会社 MHI パワーコントロールシステムズが、スチームパワー向けに開発したボイラ制御最適化システム (Netmation OscAR), 及び石炭焚ボイラ向けに開発したボイラ AI 燃焼調整システムを、国内電力・自家発・IPP に拘らない広く適用可能なスチームパワー向けの経済性改善、運用安定化のデジタルソリューションとして提供する。

具体的には、Netmation OscAR は、制御性の問題から主/再熱蒸気温度設定を下げて運転している等、運用制限を行っているボイラの制御性を改善し、温度設定を戻した運用が可能となることで効率を改善できる。また、制御変動低減による警報の抑制や運転員の手動介入操作低減により運用の安定化を図ることができる。また、ボイラ AI 燃焼システムは、環境性能、ボイラ効率、補機動力等を総合的に改善し、経済性向上が実現できる。これらのシステムを、TOMONI を介して提供することで、スマート保全やその他デジタルソリューションメニューと連携し、サービス向上を図る。また、将来的にはバイオマス混焼やアンモニア混焼への応用も期待できる。

4.4 脱硫計算機更新への脱硫最適 AI

脱硫装置では AI 技術を用いて設備の運転・保守の最適化や運用コスト低減を目的としたデジタルソリューションに取組み、実証試験を行っている。

- ・脱硫装置の連続運転コスト(所内消費電力)削減
- ・吸収塔内炭酸カルシウム(以下、炭カル)濃度の改善による石膏ボード(副製品)の品質向上
- ・炭カル濃度ソフトセンサを開発し、性能・設備診断機能を強化

炭カル濃度の計測が必要なお客様へは、従来分析計を提供してきたが、サンプリング配管の詰まりなど、保守性での課題が多い。そこで、炭カル濃度ソフトセンサについては、予測計算するための物理式策定及び検証を実施し、NODE (Neural Ordinary Differential Equations) を用いた物理式+ニューラルネットワークモデルにて予測精度を 2.57% (FS) とすることができた。また、転移学習でも 7.88% (FS) 誤差を達成することができた (図8)。今後、営業運転中の火力発電プラントに対して炭カル濃度計撤去要求の代案を見据え、所内検証を実施している。

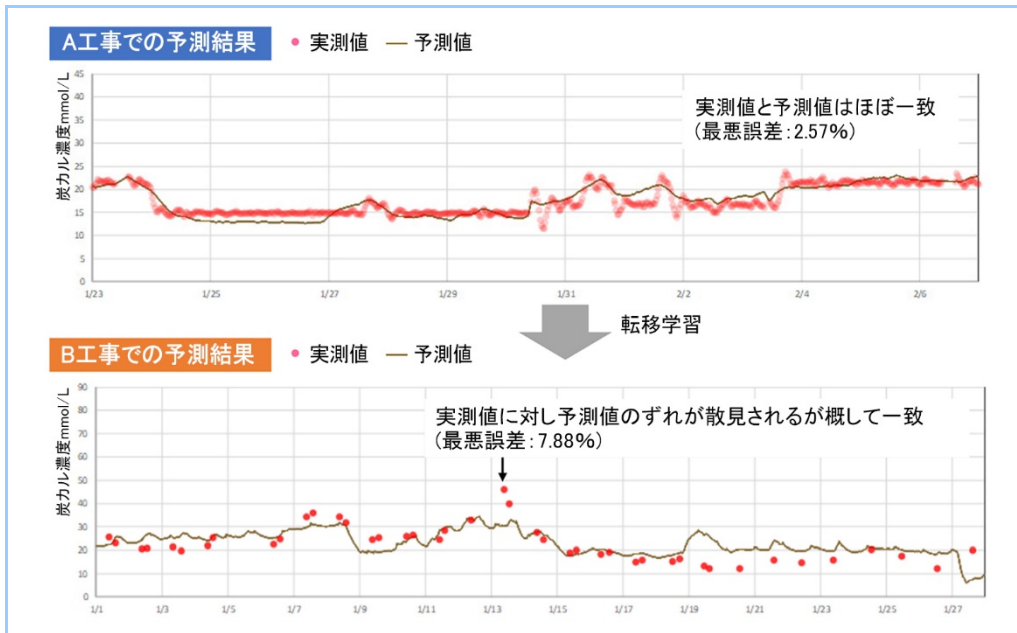


図8 炭カル濃度ソフトセンサによる予測精度の向上

また、負荷増に伴うスラリ循環ポンプ台数・pH 設定を固定としているプラントに対しては、炭種等の運転条件の変化に合わせてそれぞれ最適化する最適運転機能を提案している。同機能は、最適運転指標図(発電機出力に対するスラリ循環ポンプ運転台数・pH 設定値の最適指標)を出力する(図9)。適正に pH 管理しつつ、スラリ循環ポンプ運転台数を減らすことにより、所内動力の低減が可能となる。従来型計算機との比較のための実証試験では、同等の予測性能を確認している。特に負荷変化の大きい運転条件では、調整係数の再計算を随時行う点で優位性が認められた。現在、製品化に向けた開発と併せ、商談を開始している。

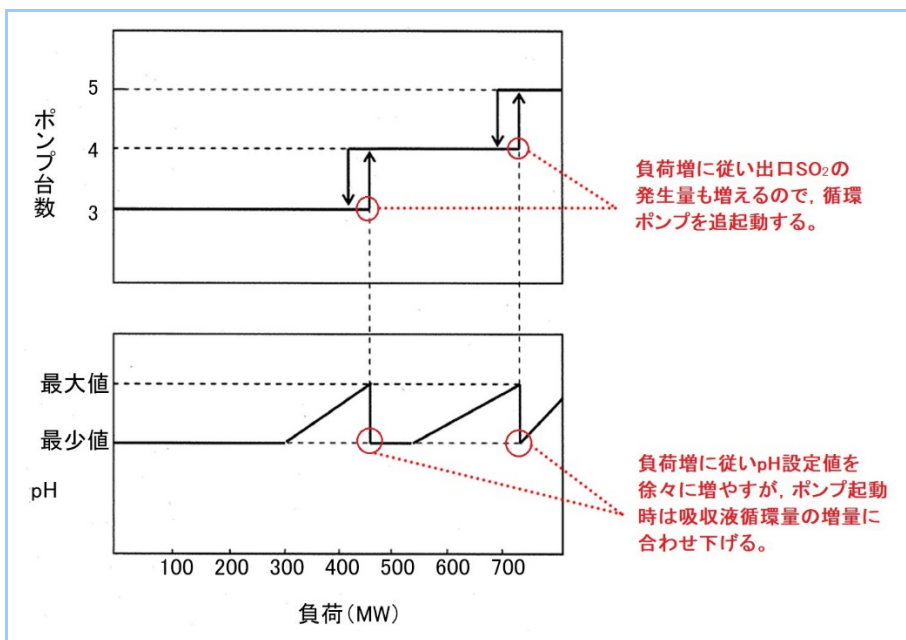


図9 スラリ循環ポンプ最適運転指標図(例)

5. TOMONI によるエネルギーマネジメント

当社グループでは、2040年にカーボンニュートラル(CN:Carbon Neutral)を宣言し、脱炭素化を目指すエナジートランジションを強力に推進している。国内外ではCNに向け太陽光発電(PV: Photovoltaic)、風力発電などの再エネや蓄電池設備(BESS:Battery Energy Storage System)の導入が進んでいる。一方で、不安定な再エネを最大限活用しつつ、電力市場や燃料価格などの

変動において、工場での収益向上や CO₂ 排出量削減を実現するには、火力発電設備や BESS の最適運用によるエネルギーマネジメントが必要不可欠である。

当社では総合プラントメーカーとしての豊富なエネルギー機器へのノウハウをもとに、AI によるデマンド予測技術、運用負荷帯における性能最適化技術、これらの機器の組合せによるエネルギーマネジメントシステム(EMS:Energy Management System)を開発している⁽⁴⁾。現在、当社総合研究所を中心とした自社内工場での実証試験を通して、カーボンニュートラル工場の実現を進めている。クラウド側 EMS では、独自の AI デマンド予測エンジン(ENERGY CLOUD®)を活用し、TOMONI のクラウド環境で工場電力需要量及び太陽光発電量の予測を行い、予測-実績の見える化、エネルギーの最適化を行う。エッジ側 EMS では、クラウドからのデマンド予測、計画値をもとに配下機器の PV や BESS に対して電力分担指令を与えるとともに、自己託送を想定した需要と供給のインバランスを抑制する調整機能も搭載している(図 10)。本実証試験にて、EMS での機器最適運転により、自家消費 PV の利用率 100%とライフサイクルコスト最小化を検証中である。

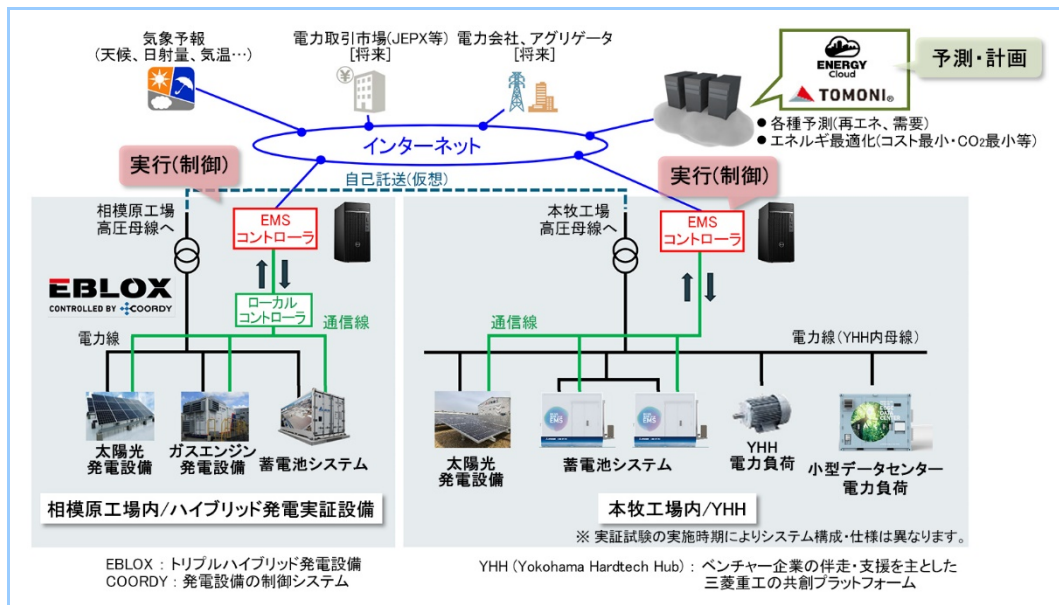


図 10 エネルギーマネジメントシステム構成

今後は当社グループ間でドメイン連携し、電力や熱エネルギー機器を包含した EMS を構築し、ユーザインタフェースの標準化を進めることで、お客様設備構成、規模や運用ニーズに応じた EMS のデジタルソリューションを提供する予定である。

6. まとめ

当社は、お客様、自社の業務プロセスのデジタル化、発電プラントのデジタル化に取り組み、インテリジェントソリューション TOMONI を提供することで、重要インフラのライフサイクルにわたり、高度な保安・保全の実現を支援している。また、設備間やエッジとクラウドとのデータを安全に取り扱うため、規格に準じてセキュリティ対応を行うことで、システム全体の信頼性を高めている。また、継続して利用いただくために、お客様、現場に寄り添った地に足のついた活動を基本とし、導入効果が得られるものから順次展開していくようにしている。当社は高砂工場水素発電実証設備を整備し、自社で水素製造から発電までの技術を一貫して検証できる体制を構築する計画で、より高度な運用保守技術の確立に向けて三菱重工グループの総合力が必要となるエネルギーマネジメントシステム構築にも鋭意取り組む予定である。

TOMONI[®]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。

Netmation OscAR[®]は、株式会社 MHI パワーコントロールシステムズの日本における登録商標です。

ENERGY CLOUD[®]及び関連するマーク・ロゴは、日本及びその他の国における三菱重工業株式会社の登録商標です。

参考文献

- (1) 石垣博康, 毛利悟, 後藤大輔, 永渕尚之, MHPS-TOMONI:火力発電 Digitalization プラットフォームクラウド/エッジサービスとシステムアーキテクチャ, 三菱重工技報 Vol.55 No.4(2018)p.1-7.
- (2) 平崎大二郎, 遠藤彰久, 遠藤格, MHPS-TOMONI[®]:デジタルソリューションによる発電プラントの高度化, 三菱重工技報 Vol.56 No.3(2019) p.1-6
- (3) 石垣博康, 海野健二, クラウド/エッジ技術によるデジタルソリューションとプラント O&M 高度化, 計装, 工業技術社, Vol.63 No.12(2020)p.9-14
- (4) 安威俊重, 石垣博康, 海野健二, 永渕尚之, デジタルソリューション TOMONI による発電プラント自動自律化と脱炭素社会への貢献, 日本ガスタービン学会誌第 49 巻, 5号(2021)p.46-51
- (5) 梶田美紗, 遠藤格, 中島正貴, 佐々木祥平, 脱炭素社会に向けた火力発電プラントの ICT 活用と新技術の開発について, 配管技術 No.3(2022)p.59-66