

# 生成 AI を活用した TOMONI® のスマート保全と遠隔監視 : 現状と将来展望

Smart Maintenance and Remote Monitoring by TOMONI® Utilizing Generative AI  
: Current Status and Future Prospects



後藤 大輔\*<sup>1</sup>  
Daisuke Goto

三上 尚高\*<sup>1</sup>  
Naotaka Mikami

山内 貴洋\*<sup>2</sup>  
Takahiro Yamauchi

長田 克幸\*<sup>2</sup>  
Yoshiyuki Nagata

服部 美里\*<sup>2</sup>  
Miri Hattori

筒井 誠\*<sup>3</sup>  
Makoto Tsutsui

TOMONI®のスマート保全では、保全業務に必要なデータを蓄積、ユーザ目線で分かりやすく情報提供することで、お客様の保全業務を強力に支援する。現場からの運転データは、クラウドサーバへ保管し、情報セキュリティに対するリスク管理とサイバーセキュリティ要件への対応を行い、デジタル技術・支援ツールを活用することで、遠隔からお客様の運転・運用を支援する。また、TOMONIの生成AI(Artificial Intelligence)アプリの社内向け試行を開始、その利便性と課題が見えてきた。今後は、課題解決に取り組むとともに、TOMONIに蓄積された保全、運転データを活用し、既存アプリと生成AIを組み合わせ、お客様向けにもサービス展開する予定である。

## 1. はじめに

発電業界も含めた産業界におけるIoT(Internet of Things)や、ビッグデータの大流行から、約10年経過した現在、AIの急激な発展によりデジタルを取り巻く状況はまさに混沌としており、このデジタルを乗り越えることは極めて難しくなっている。また、GX(Green Transformation)の波は発電業界を揺さぶり、更に感染症、紛争など様々な危機的状況が混じりあい、燃料代の高騰、人材枯渇、為替変動など、外的要因も一層複雑で予測不可能となっている。私たちはもはや“デジタルを活用”と言っている場合ではなく“デジタルが前提のビジネス、サービス”を考えていかなければ、あっという間に他社、他国から差をつけられてしまうことになるであろう。

そのような中、三菱重工業株式会社(以下、当社)のインテリジェントソリューション TOMONIは10年近くにわたって活動し、エネルギー事業を陰ながら支える仕組みとして成長、更にエネルギー以外の事業部門においても活用拡大しつつある状況は、ひとえに“地道”に“継続”してきたことが最も重要なことであったと考える。

世間一般でもはやされるデジタルは巨大なユーザを対象としたB2C(Business-to-Customer)のケースが主であり、私たちが向き合うのは、ミッションクリティカルなB2B(Business-to-Business)の世界である。そこでは規模の経済が有効に働きにくく、セキュリティ等の制約も大きく、機器ライフスパンも極めて長く、決して華々しく成果が出るものではなく、徐々に成果を積み重ねていくしかないものであると認識すべきである。

本報では、発電プラントの運用保守のスマート化を検討されているお客様、保守計画業務で苦勞されているお客様に対して、当社が提供する“プロセスデータを活用し発電プラントを賢く動かす”“デジタルイノベーションでスマート保全を実現する”を軸に、各章で各サービスメニューとこれらを

\*1 エナジードメイン GTCC 事業部 ICT 開発推進部 グループ長

\*2 エナジードメイン GTCC 事業部 ICT 開発推進部

\*3 デジタルイノベーション本部 EPI 部 次長 技術士(経営工学部門)

支えるデジタルコア技術を紹介する。また、TOMONI のメンテナンスの高度化を支援するソリューション、要素技術を示す。さらに、メーカーである私たちが如何にお客様とともに進んでいくか、その先の生成 AI 活用など最新技術をどのようにサービスに活用していくか、手がかりとなれば幸いである。

## 2. スマート保全への取組み

### 2.1 背景

電力・ガス・石油といった産業エネルギー関連のインフラ設備は、長きにわたって日本の産業や人々の生活を支えてきた。そのような設備の保全現場では、設備の長期間運用による設備の老朽化、人材の確保や、技術伝承等の多くの経営課題に直面している。また、経済産業省では、IoT や AI・ドローン等の新たなデジタル技術の導入によるこれら課題の克服、将来的な保安力の維持・向上と、生産性向上を目指す“スマート保安”を強力に推進している。こうした社会背景に加え、最近のデジタル技術の目覚ましい進歩が広く認知されていることもあり、デジタル技術の活用の波がきている。

当社はお客様への発電プラント納入後も定期検査からトラブル対応に至るまで、長年にわたりお客様の設備保全業務と密接に関わりながら設備の信頼性向上を担ってきたと自負している。だからこそデジタル化という側面でも知見を活かし、様々な経営課題解決の一助になりたいと考え、お客様のプラント全体の保全改革を全方位から支援するため、TOMONI スマート保全として活動を始めた。

図1に、プラント保全業務におけるデジタル技術の活用マップを示す。プラントの保全業務は、補修計画の策定から日常保守、突発対応など多岐にわたるが、スマート保全では、その保全業務を出来るだけ網羅して対応できるデジタル技術を準備した上で、お客様ごとに、最適なプラントデジタル化を構築していくことが大切だと考えている。

TOMONI スマート保全では、数あるデジタル技術の中でもデジタル基盤の整備が最重要と捉えており、次節では、基盤となる保全データの集約、整理、管理、活用等に関する各種取組みを紹介する。

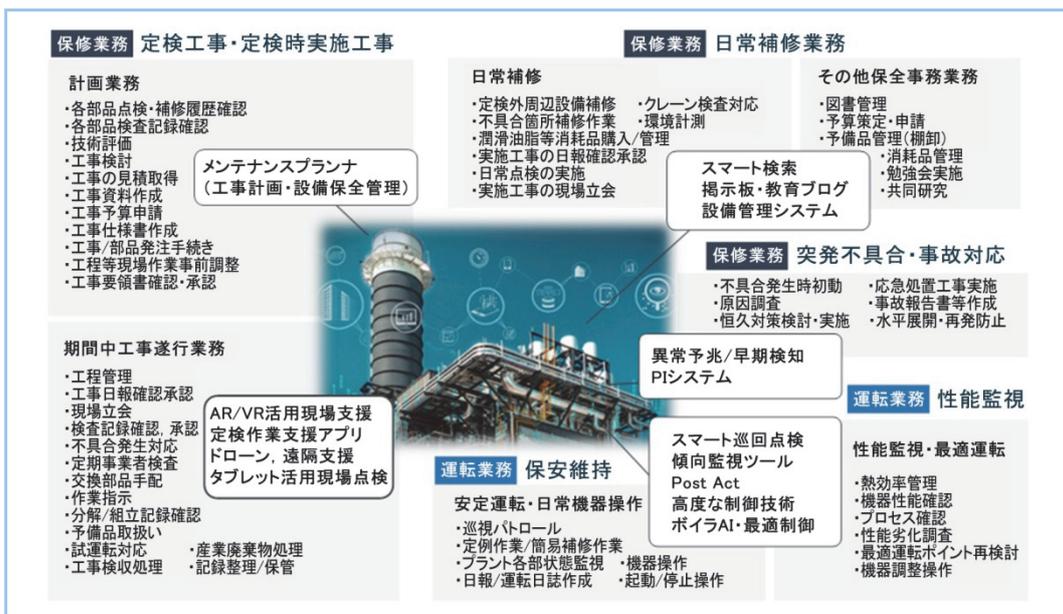


図1 発電プラントの保全デジタル化

## 2.2 活動紹介

### 2.2.1 メンテナンスプランナ

ガスタービンやボイラ、蒸気タービン等の機器において、定期検査は一定期間ごと(TBM:Time Based Maintenance)に行われるが、その際の処置(例:補修や部品交換等)は設備状態を元に決定される(CBM:Condition Based Maintenance)ことも多い。火力発電プラントにおいては、適切にCBMを実施することが“更なる設備の信頼性向上/保全の高度化”のために重要なポイントとなっている。

“メンテナンスプランナ”は、TBM 情報を時間軸方向・設備単位で整理・可視化することで、CBMを行う上での適切な判断を支援する保全業務サポートシステムである(図2)。本システムの主な狙いとして、以下3点が挙げられる。

1点目は、設備の全体像把握である。設備全体を階層的に表示し、色彩を用いて点検結果を分かりやすく表現する等、設備の全体状況を一目で把握できるよう工夫している。

2点目は、設備に対する処置を検討するのに必要な情報の、質・量の向上である。設備への処置を検討する上では、直近の点検結果だけでなく、過去の処置状況や、点検結果の推移といった時間経過的要素も重要である。また、写真、数値、図面、当時の技術図書、現場での所感等の多くの情報があることで、設備保全担当者は、管理者へ状況説明・提案がしやすくなり、管理者もより適切に判断しやすくなる。本システムでは、こうした情報を、処置を検討する設備単位で登録・閲覧することができる。

3点目は、処置の抜け漏れ防止である。処置提案内容は本システムに登録できるため、処置漏れや手配漏れを防ぐ手助けとなっている。

設備保全業務は非常に複雑なプロセスであり、当プロセスをそのままシステム化しようとする、システム自体が煩雑化する恐れがある。そこでメンテナンスプランナは、当社のアフターサービス技術者が、お客様の設備保全担当者との業務プロセスを分析して企画・開発を主導することで、保全のPDCA(Plan-Do-Check-Action)サイクルを回せる必要最低限の機能に絞ったシンプルなユーザインターフェースを実現している。これにより、現状の保全業務プロセスを大きく変更することなく、デジタル化の第一歩を踏み出すことが可能である。

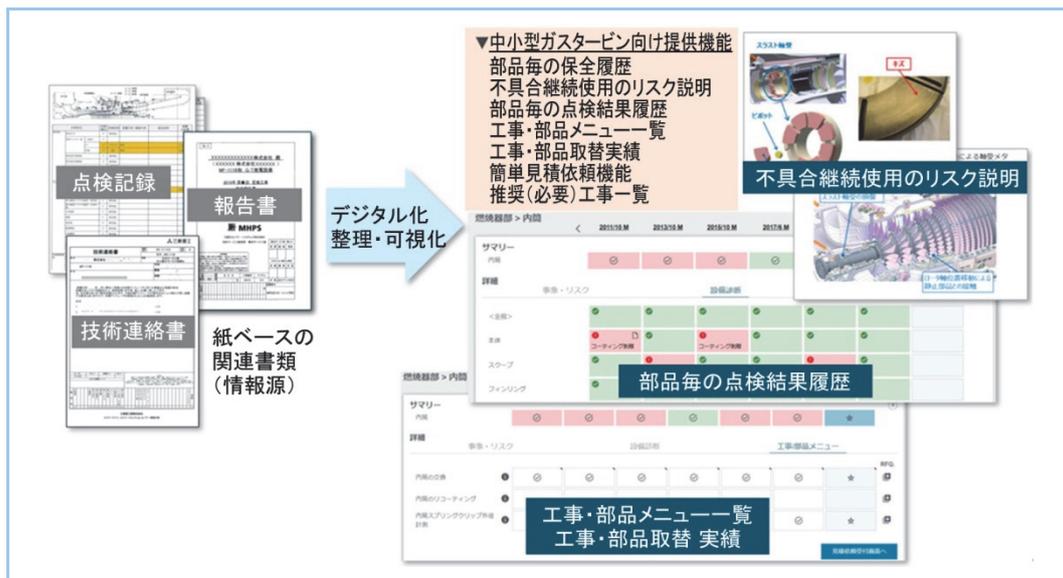


図2 メンテナンスプランナ

### 2.2.2 スマート検索

日々の現場の保全業務において、“メンテナンス履歴が整理できていない”“欲しい資料が欲しい時に見つからない”等の課題が挙がることが多い。そのため保全のあらゆる記録・ドキュメント類をデジタル情報として一律データ管理し、いつでもどこでも活用可能な(=Ready)状態にすること

が、スマート保全を実現するために必要と考える。

TOMONI においては、保全業務に必要な紙媒体資料、記録類は、デジタルデータに変換・クラウド環境内に一律保管されており、これらを“スマート検索”を介して全文検索・参照することができる(図3)。本システムは、検索候補のサジェスト機能や、閲覧文書に対する関連文書リコメンド機能、検索タグによるフィルタ機能等を有しており、資料探しを効率化できることで、トラブル時の対応時間短縮等に寄与することができる。

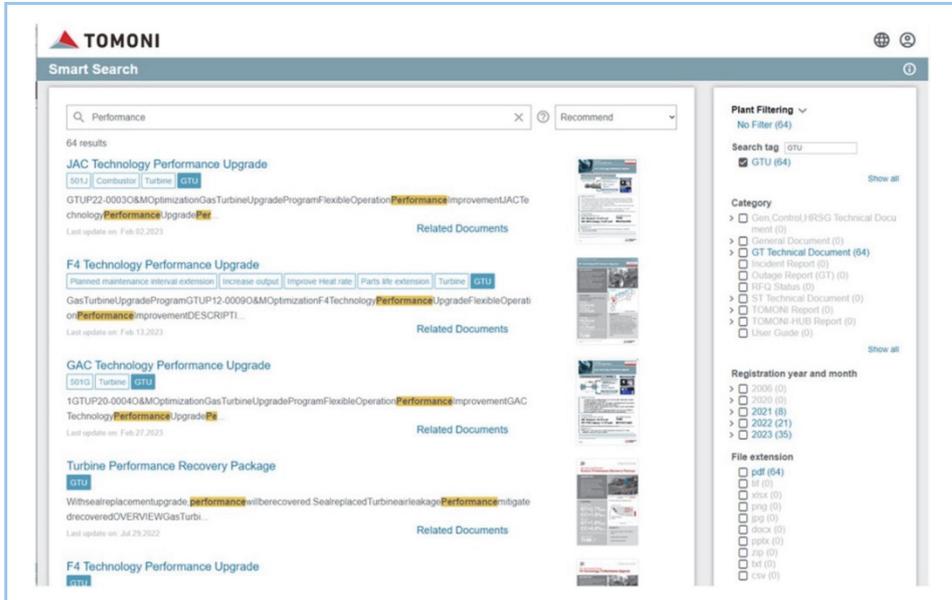


図3 スマート検索

### 2.2.3 コミュニケーション機能

お客様・当社間のコミュニケーションツールの一つとして“TOMONIカスタマーポータル”を運用してきたが、2023年9月より順次大幅にリニューアルする(図4)。現行版は“各 TOMONI コンテンツへアクセスするための入口”という意味合いが強かったが、リニューアル版は“当社からお客様に向けた情報を一元的に提供するポータルサイト”として、プラント基本情報・TOMONIアプリケーションメニュー・ドキュメントビューア(技術資料等の図書閲覧機能)を掲載するほか、当社がお客様に特にご覧いただきたい情報(例:三菱重工技報・ニュース等)を、定期的に掲載・アップデートしていく。また遠隔監視をご契約頂いているお客様であれば、カスタマーポータル上でリアルタイムの運転状況も確認できる。

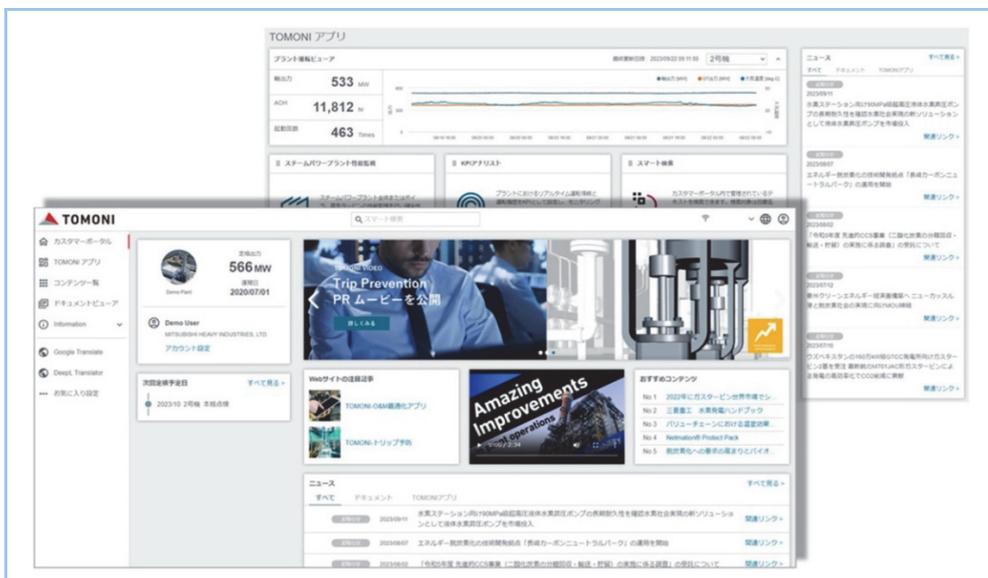


図4 TOMONI カスタマーポータル

また、お客様と当社間でインタラクティブにやりとりを行うためのツールとして、“ConnectRoom”という掲示板アプリも提供している。例えばお客様に疑問点が生じた場合に、当ツールを介して当社のメーカーエンジニアに気軽に問い合わせ、OEM の知見を交えた回答を得ることができる。なおこのやり取りは TOMONI のクラウド環境上に保管されるため、技術的知見の蓄積・共有が可能となる。

その他にも、当社からの情報発信ツールとしてブログも公開している。“初めて保全担当になった方”を想定ユーザとして、発電プラント機器の技術情報や業界情報等を平易な言葉で解説しており、お客様からも好評頂いている。

## 2.3 まとめ

本章では、スマート保全を実現するために重要な各種 TOMONI コンテンツを紹介した。デジタルツールを導入しながら従来の保全業務を変革していく活動は、成果が表れるまでに時間がかかり、かつ、効果を定量評価しにくいこともあり、投資判断が非常に難しいという声も伺っている。そこで当社はお客様とともにデジタル化の第一歩を踏み出すための足掛かりとして、上述したコンテンツ群を、低コスト、かつ、導入が簡単な“ベーシックパッケージ”として提供を開始している。このベーシックパッケージをはじめとして、TOMONI スマート保全では、お客様と深く対話することによって、お客様ごとに最適なプラントデジタル化を提案し、お客様業務の効率化や設備保全の高度化をご支援していきたいと考えている。

## 3. サイバーセキュリティ強化

### 3.1 背景

発電プラントはライフラインを担う重要なインフラであり、制御システムにおいても、発電プラントの安定的な稼働に加え、サイバーセキュリティ対策が要求され、制御システムセキュリティに関する規格に準拠することが求められている。

当社では、発電所のセキュリティ診断“発電所セキュリティアセスメント”や制御システムに対する保全サービス“Netmation ケアプログラム”，高度なセキュリティ対策“Netmation Protection Pack (NPP)”，さらに、発電プラントの制御システムインシデントに対応した教育など、各種ソリューションサービスを提供している。次節では、これらの内容について紹介する。

### 3.2 サイバーセキュリティソリューションサービス内容紹介

#### 3.2.1 発電所セキュリティアセスメント

発電所セキュリティアセスメントは、CSMS 認証(Cyber Security Management System)を取得、自社のセキュリティ対策を実施している知見を活かし、お客様の発電設備に対するアセスメント、及びコンサルティングを実施する。現状分析による課題抽出、対策検討、アクションプラン策定までを実施し、セキュリティ知識に乏しいお客様でも優先順位に沿って効果的なセキュリティ対策が実行可能となる(図5)。

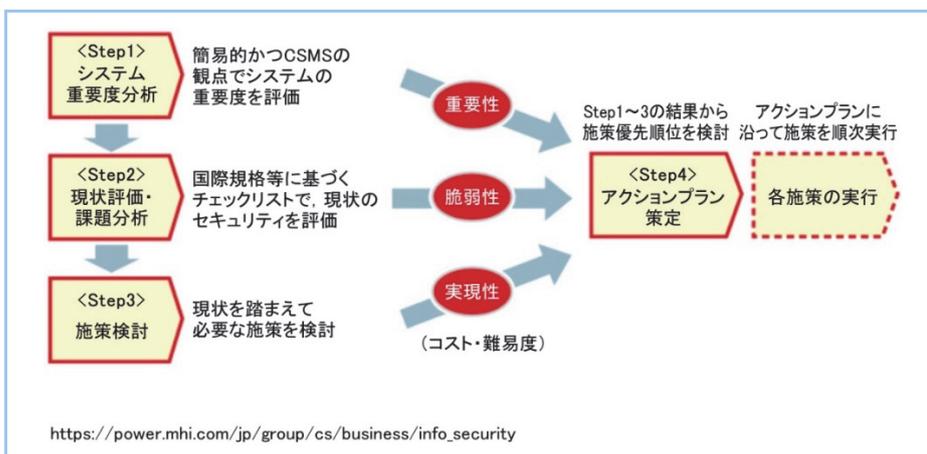


図5 発電所セキュリティアセスメント

### 3.2.2 Netmation ケアプログラム

Netmation ケアプログラムは、日常の運転・保守に対するフレキシブルなサポートや突発事態への即時対応、早期の部品交換などをサービス提供すべく、24 時間問合せ対応可能なヘルプサービスや、故障時の部品の緊急発送、技術員派遣・トレーニングなどを提供している。

### 3.2.3 Netmation Protection Pack (NPP)

NPP は、制御システムセキュリティの各種規格 (IEC62443-3-3 : 2013, NERC-CIP, JESC Z0004-2016) に準拠した脅威管理, リスク管理, アプリケーション管理, 及びシステム管理機能を提供する包括的な制御システムセキュリティソリューションであり, セキュリティ要求が厳しい国や, 新設プラントを中心に導入が進んでいる。

NPP は, NIST (National Institute of Standards and Technology) フレームワークに基づいた各種機能により, 制御システムのセキュリティパッチ・マルウェア対策定義ファイルを最新に保つとともに, ネットワーク機器やユーザインターフェースのセキュリティ監視など, 常に最新のサイバーセキュリティ要件を満たすために必要な多層サイバー防御により, 制御システムを脅威から守る仕組みを構築する。

### 3.3 TOMONI との連携

NPP は, TOMONI クラウドと接続, 制御システムの情報を連携することで, セキュリティパッチの適切な提供と適用の管理, 制御システムのセキュリティログの監視・分析, 当社のエキスパートによる制御システムの診断など, 製造メーカのノウハウを活用したさらに高度なサービスを提供することが可能となる。また, 次の展開として制御ネットワークへの不正アクセス監視・防御を可能とする InteRSePT®との連携も視野に現在開発中である。

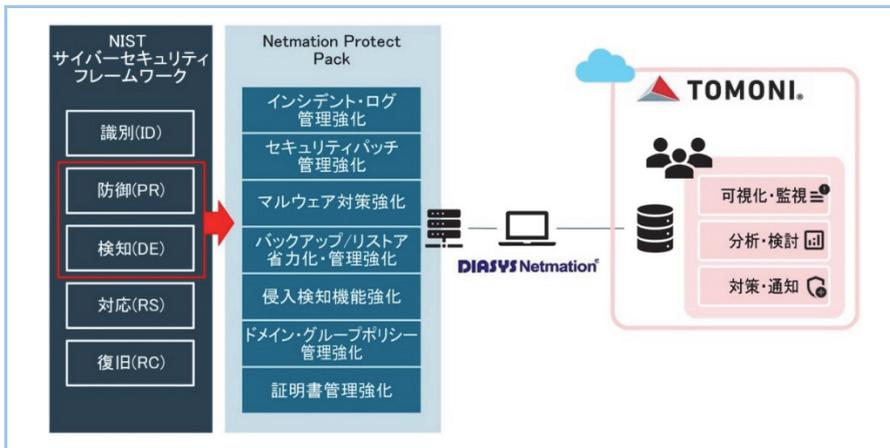


図6 Netmation Protection Pack

### 3.4 まとめ

発電所及び制御システムをサイバーセキュリティの脅威から守ることは、今後のデジタル技術の進歩に伴ってより一層重要となってくることが予想される。当社のノウハウを適用した各種セキュリティソリューションサービスは、お客様の発電所や制御システムを脅威から守り、安全・安心な発電所の運用に貢献できるものと考えます。

## 4. 遠隔監視を支える技術、ツールの開発

### 4.1 背景

2023年8月末現在, GTCC (Gas Turbine Combined Cycle) プラントや SP (Steam Power) プラントを中心に, 全世界で 144 台が TOMONI に接続され, 火力発電プラントへの遠隔監視サービスをセキュリティ確保のもと, クラウド環境にて提供している。TOMONI による遠隔監視システムは, ガスタービンの LTSA (Long Term Service Agreement) に代表される発電プラントの総合メンテナンスサービスや, 発電プラントの稼働率保証を支える基盤として活用され, さらに, TOMONI

HUB(遠隔監視センター)をコミュニケーションハブとして、お客様との繋がりを強化、発電プラント運営における日々の困りごとを気軽に共有し、課題解決に向けたアクションへ繋げることで、お客様との良好な関係を構築している。

TOMONI では、クラウド環境に1秒～1分周期のデータを年単位で蓄積しており、TOMONI HUB、及び社内の技術者が、自席から各自のパソコンによりリアルタイムで運転状態を確認することが可能であるが、短期的なプロセス監視のみならず、通常運転状態からの逸脱や性能劣化、寿命消費などの中長期的な傾向監視、状態監視ができるよう Web アプリ化された各種ツールが整備されている。また、世界中に納入されたユニットの運転データを集約することで、トラブル発生時のデータに加え、過去のプラントデータや管理情報等を即座に収集・分析できる。

これらにより、異常発生時の初動対応としての現状把握、要因分析作業が迅速化され、復旧に要する時間を短縮することで、発電事業者であるお客様にとって計画外停止期間の短縮、稼働率の維持・向上につながるため、当社では、遠隔監視によってお客様の運転・運用を支援するために、当社独自のノウハウを活かした各種ツールを開発・導入しており、次節にて紹介する。

## 4.2 遠隔監視支援ツール

### 4.2.1 異常予兆検知システム(Pre-ACT)

遠隔監視サービスを支えるためにデジタル技術を活用したツールの開発、適用を進めてきた。

最初に、ガスタービンのリアルタイム監視を強化し、トラブル発生を未然に防止あるいは早期発見するために、MT 法(マハラノビス・タグチ法)を適用した異常予兆検知システムを自社開発し、運用している。

発電プラントの異常予兆を捉えるには、トレンド監視のみならずパラメータ間の相関を監視することが有効だが、発電プラントの監視項目は膨大であり、監視員がタイムリーに監視し続けることは困難である。そこで当社の異常予兆検知システムでは、膨大なパラメータ間の相関をMD 値(マハラノビス距離)という一つの評価指標に置き換えることで、異常の兆候をリアルタイムで監視することが可能となっている。

### 4.2.2 運転支援ツール

異常予兆検知システムで検知した通常状態との違いの詳細確認や、日々の運転状態の評価は、専門家による人の判断が必須であり、この判断を容易にするために、[図7](#)に示す運転支援ツールを導入している。運転支援ツールは、主に時系列で保管されているデータの異なる時間軸でのデータ重ね書きを行うことが可能なツールであり、例えば、起動時などイベントを基準にした過去データとの重ね書きなどに活用することで、専門家のデータ処理時間を削減し、分析・判断といった付加価値の高い作業を即座に実行することが可能となる。

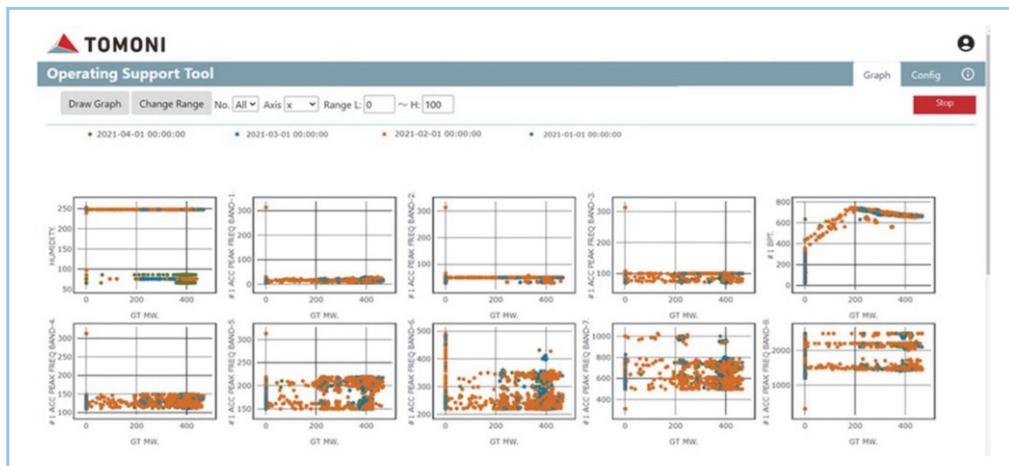


図7 運転支援ツール

### 4.2.3 オペレーションカルテ

監視業務では、高品質・迅速な対応が求められており、そのためには過去に発生した事象や対応をノウハウとして蓄積し、迅速に再利用できるようにしておく必要がある。このため、日々の監視業務において発生したトラブル情報や運転状態の記録を残すツールとしてオペレーションカルテを導入している(図8)。

オペレーションカルテは、過去に発生したトラブル情報や対策内容をシステム上に記録することができ、複数の監視員でその情報を共有できる。また、多くの監視プラントで日々記録される事象等は、貴重なノウハウであるため、有事の際に過去に発生した類似事象に即座にたどり着き、対策を検討することができるように、記録された情報を全文検索により、高精度で抽出できるような機能が組み込まれている。このシステムを監視員が活用することで、過去の記録を容易に参照、事象の原因切り分け等の一次支援を迅速化することが期待される。

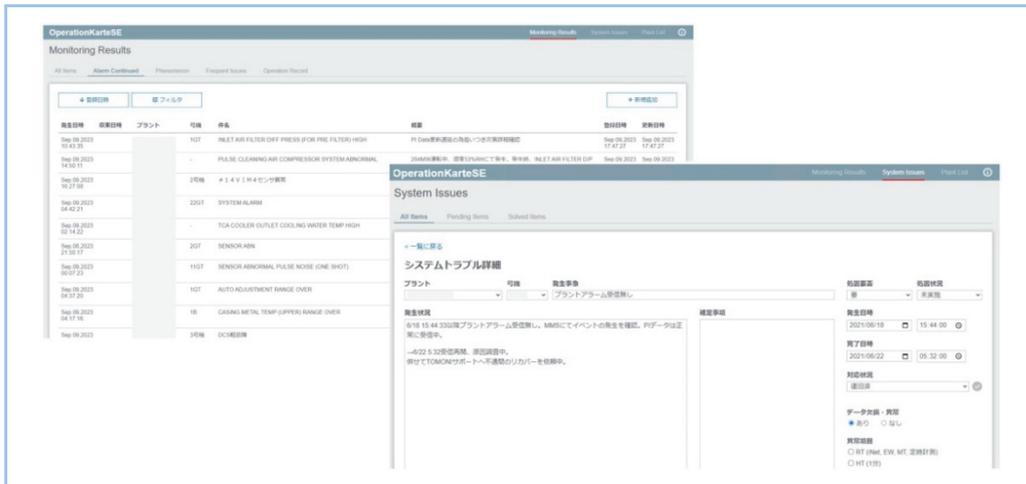


図8 オペレーションカルテ

### 4.3 まとめ

当社において、これまで20年以上にわたり火力発電プラントを中心とした遠隔監視サービスをお客様に提供してきたが、近年は単に遠隔で運転状態を監視するだけでなく、遠隔監視システムを通してお客様と共有する様々なデータをもとに、データドリブンなサービス業務プロセスの構築を推進している。(図9)

本報で紹介した支援ツールを始め、今後も各種デジタル技術を開発・活用することで、遠隔監視サービスを通してお客様の運転・運用を支援していきたいと考えている。

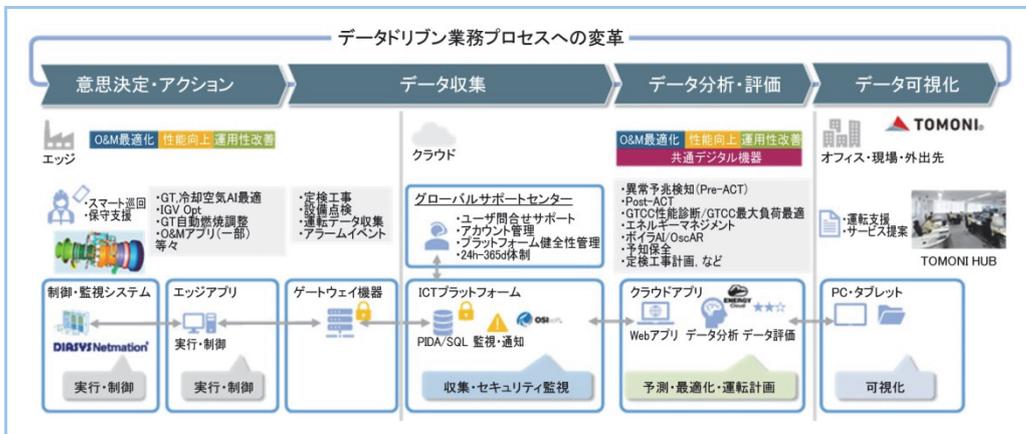


図9 遠隔監視システムによるデータドリブンなサービス業務プロセス

## 5. 生成 AI のデジタルサービスへの活用

前章までで見てきたとおり、運用・保守のスマート化を目指す一方で、それら実務を対応する人員の減少、ベテラン社員の離職に伴う経験値の散逸は、依然として業界全体の課題である。そこで、生成 AI を組み込んだソリューションをお客様へ提供することで、実務担当者の業務負荷低減を実現することを目指し、まずは、社内での生成 AI の活用検討を開始した。

2023年1月、Microsoft 社より“Azure OpenAI Service”の提供が開始され、生成 AI への入力情報の社外流出を心配することなく、安心してサービスを利用できるようになった。そこで TOMONI では同年6月に本技術を活用したウェブアプリケーション“TOMONI TALK with ChatGPT”を社内向けに試験的に公開した(図 10)。このアプリケーションでは、ユーザが対話形式のインターフェースを通じて AI の役割を定義し、テキスト生成のリクエストを行うことができる。

試験に参加したユーザから、文章の推敲などに大いに役立っているという反応がある一方で、利用状況を分析することで次のような生成 AI 特有の課題があることが明らかになってきた。

1. 自社固有の情報に対応できない。
2. 情報の引用元が示されないため正確性の検証ができない。
3. 長い文章の入力ができない。

特に、1. に関しては経験の浅い担当者から、社内の技術文書を情報源として回答を生成して欲しいという声が多く寄せられ、知識データベースとしての活用ニーズが高いことが分かった。

ところで TOMONI ではすでに、2.2.2 で述べたように非構造化情報を蓄積・管理する仕組みとして“スマート検索”を社内外向けに提供している。このアプリケーションの内部で機能している検索エンジンと生成 AI を組み合わせることで、上述の3つの課題に対処可能であることが技術検証を通じて分かってきた。今後は、ウェブアプリケーションを通じての早期の機能提供と効果検証を進めていく。

ここまで述べたように、既存の技術と組み合わせることで業務負荷低減に向けた生成 AI 活用の目途はついたが、実際に利用するには、正確な非構造化情報を適切に蓄積・管理する仕組みを構築することが先決と考える。生成 AI は与えられた情報からのみ“生成”できるのであって、誤った情報を正して提示することはできない。そのため、“正確な情報”を“システムが利用しやすい形式”で、かつ、実運用を考えると如何に“簡単に”蓄積できるか、が生成 AI を最大限に活用するための課題となる。社内のみならずお客様向けにも、これら課題を前項までに紹介したツールを業務に組み込むことで解決し、お客様自身でも、図1に示す補修・運転業務に対して蓄積された保全データの集約、整理、管理、活用に取り組むことができるようになる。このように、デジタル化に向けたトータルソリューションの中で生成 AI を提供することが、本取組みの最終的な目標である。



図 10 TOMONI TALK with ChatGPT

## 6. まとめ

本報では、TOMONI のスマート保全と遠隔監視について、現状と生成 AI と組み合わせた将来展望について示した。スマート保全では、メンテナンスプランナが設備全体を俯瞰するとともに、各設備に対する複雑な保全業務プロセスを、シンプルなユーザインターフェースで、保全業務に応じた適切な質・量の情報提供を行い、保全要員の業務の抜け漏れを防止する手助けを行うことを目的としている。NPP は、日々更新される情報セキュリティに対して、お客様とともにリスク管理、運用できる仕組みを構築するとともに、最新のサイバーセキュリティ要件を満たすことができる。また、発電プラントの膨大な時系列データから必要な情報を容易に抽出、比較・分析できることが、不適合対応や分析評価に携わる部門の業務負荷を低減し、お客様へのサービスレベル向上に貢献する。

これらの TOMONI の技術基盤、構成要素に対して、生成 AI を組み合わせたアプリケーションを構築中であり、社内ユーザを対象に試行用アプリを提供開始している。本試行を通して、生成 AI 特有の有効性と課題が明らかになっており、次ステップに向けて開発中である。今後、業務へ本格適用するにあたっての課題を解決し、更なる利便性を増すよう検証を進め、お客様向けにも提供可能なサービスに成長させていく所存である。

こうした取組みは、三菱重工グループ製品全体を自律化・知能化するソリューションコンセプト (ΣSynX®; シグマシンクス) に基づいて行われている。当社は、エナジートランジションを推進する責務として、これらの設備群をかしこくつなぎ、コントロールすることで、ユーザとなるお客様が安心して運転、保全活動ができるよう支援していきたい。

InterSePT®(Integrated Resilient Security and Proactive Technology)は、三菱重工工業株式会社の日本及びその他の国・地域における登録商標です。

TOMONI®は、三菱重工工業株式会社の日本及びその他の国・地域における登録商標です。

ΣSynX®は、三菱重工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) 三菱重工工業株式会社, ENERGY TRANSITION, TOMONI  
<https://solutions.mhi.com/power/tomoni/>
- (2) 安形友希子ほか, 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®, 三菱重工技報 Vol.59 No.3(2022)
- (3) 梶田美紗ほか, 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
- (4) 石垣博康ほか, TOMONI™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)
- (5) 安威俊重ほか, 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
- (6) 三菱重工工業株式会社, “かしこく・つなぎ”でお客様のビジネスモデルを変革“デジタルイノベーション本部”を新設  
<https://www.mhi.com/jp/news/22062001.html>
- (7) 田中徹ほか, カーボンニュートラルの達成に向けたインテリジェントソリューション TOMONI®の最新の取組み, 三菱重工技報 Vol.60 No.3(2023)