

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

The Latest Initiative of Intelligent Solution TOMONI®
to Achieve Carbon Neutrality



田中 徹*1
Toru Tanaka

黒田 康之*2
Yasuyuki Kuroda

遠藤 格*3
Itaru Endo

辻井 一記*1
Kazunori Tsujii

吉田 祐也*4
Yuya Yoshida

小林 優太*4
Yuta Kobayashi

現在カーボンニュートラルに向けた取組みは、全世界的にあらゆる事業体に対して求められている。三菱重工業株式会社(以下、当社)では、CO₂ 排出の抑制と回収の両面から取組みを行っているが、これをデジタル活用の側面から目標達成に貢献すべく、発電事業を中心にインテリジェントソリューション TOMONI®のソリューションメニューの開発を進めている。本報では、カーボンニュートラル達成に向けて、ガスタービンコンバインドサイクル(GTCC:Gas Turbine Combined Cycle)、スチームパワー(SP:Steam Power)発電所、及び設備群からのCO₂排出抑制に関するソリューションを紹介する。

1. はじめに

地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けて、2015年にパリ協定が採択され、その実現に向けて、世界120以上の国と地域が“2050年カーボンニュートラル”という目標を掲げている。2020年10月、日本政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言。当社は、2020年に発表した中期事業計画である“2021事業計画”において、エネルギー供給側で脱炭素化を目指す“エナジートランジション”と、エネルギー需要側で脱炭素・省エネ・省人化を実現する“社会インフラのスマート化”を2つの成長領域に定めた。これらの領域の事業を推進し、また既存の事業の脱炭素化・電化・知能化を推進することにより、2040年カーボンニュートラルを達成し、カーボンニュートラル社会の実現に向けて貢献していくことを掲げている。

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様々な製品や、サービスの集合体であり、前述の“社会インフラのスマート化”に寄与するものである。より具体的には、発電所を動かす制御パラメータの最適化や付加装置により、直接的に発電設備の効率や運用を向上し燃料ガスや石炭の消費量を抑制することでCO₂排出量削減に繋げるもの、発電所の運転データをクラウドに蓄積、分析することにより、部品を交換するタイミングの最適化を図ることで、製造時のCO₂排出量削減や、調整等の保守作業を遠隔または自動的に行うことで人の移動に伴うCO₂排出量削減に繋げるものがある。

本報では、デジタル活用の側面からカーボンニュートラルの達成に向けて貢献する、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。

*1 エナジードメイン GTCC 事業部 ICT 開発推進部

*2 エナジードメイン GTCC 事業部 ICT 開発推進部 グループ長

*3 エナジードメイン GTCC 事業部 ICT 開発推進部 主席技師 技術士(経営工学部門)

*4 エナジードメイン SPMI 事業部 技術部

2. TOMONI とは

2023 年現在, GTCC プラントや SP プラントを中心に, 全世界で 138 台(2023 年5月末現在)の火力発電設備への TOMONI サービスを高いサイバーセキュリティレベルでクラウド環境に接続, 提供するに至っている。お客様に対しては LTSA(Long Term Service Agreement)に代表される発電設備の総合メンテナンスサービスや, 発電設備の稼働率保証を支える基盤として貢献しているが, 近年は, 当社の TOMONI HUB(遠隔監視センター)を中心としたコミュニケーションハブとして, 発電所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 の全体像を図1に示す。TOMONI 導入により, 例えば“メンテナンスにおける日々の巡回・点検・管理業務の効率性や確実性を高め, 保守員の判断の支援や省人化ニーズにも対応”し, “オペレーションにおける当社製品の付加価値を高め, 経済価値・カーボンニュートラルなどの具体的なお客様メリットを実現”する。実用化が進むアプリケーションの代表例を“CO₂ 排出量削減に対する貢献”という視点で表1に纏めた。第3章, 第4章では個別のアプリケーションを紹介する。

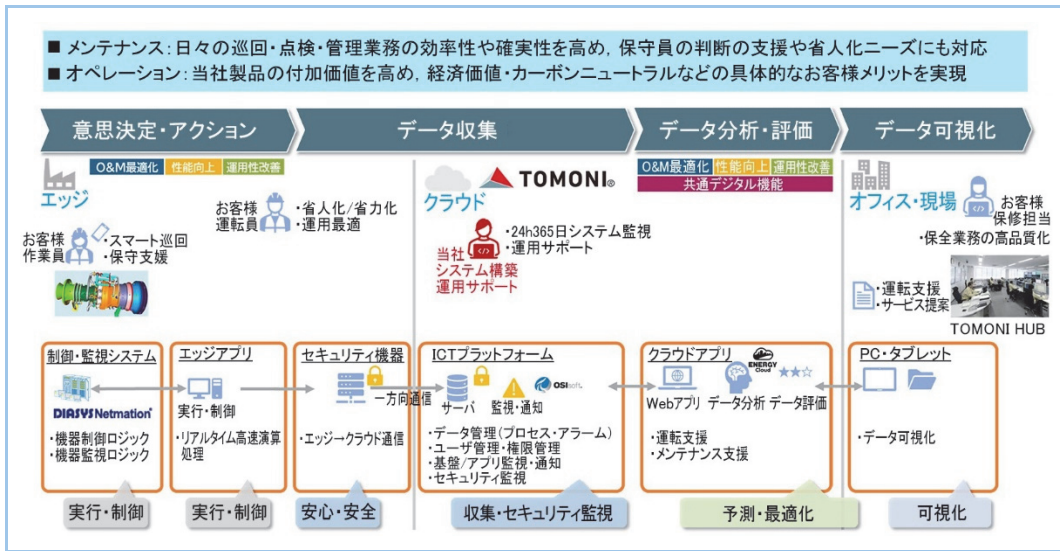


図1 TOMONI の全体像

表1 CO₂ 削減への貢献とアプリケーション例

区分	アプリケーション例(*は本報にて紹介)
1 直接的な CO ₂ 削減に対する貢献 (プラント制御最適化)	<ul style="list-style-type: none"> ・性能最適パッケージ* (①IGV 運用最適, ②GT 冷却空気 AI 最適, ③TCA 運用最適, ④最大負荷最適) ・ボイラ最適ソリューション* (①ボイラ AI 燃焼調整, ②Netmation OscAR)
2 間接的な CO ₂ 削減に対する貢献 (適切なメンテナンス, 計画外停止時の早期復旧, TA 派遣削減等)	<ul style="list-style-type: none"> ・プラント運転ビューア ・吸気フィルタ差圧監視* ・GTCC プラント性能診断 ・異常予兆検知(Pre-ACT) ・初動対応支援(Post-ACT) ・トリップ予防アプリ ・GTCC 遠隔燃焼調整/自動燃焼調整

3. カーボンニュートラル達成のためのソリューション

本章では、GTCC プラントや SP プラントという個としてのソリューション事例、及び、これらを含む設備群としてのソリューション事例をそれぞれ示す。

3.1 GTCC プラント向けソリューション

再生可能エネルギー(再エネ)の積極導入がなされている状況下であっても、依然として火力発電は需給バランスの調整力として重要な役割を担っており、特に、高効率な発電設備である GTCC プラントの存在感が増している。この GTCC プラントの付加価値を更に向上させるソリューションの事例として、制御パラメータの最適化により効率最適化を行う“GTCC 性能最適パッケージ”、省人化に繋がる“遠隔燃焼調整・自動燃焼調整”、資源の有効活用に繋がる“吸気フィルタ差圧監視”を示す。

3.1.1 GTCC 性能最適パッケージ

当社の GTCC 発電プラントでは、100%負荷での熱効率を最大化し、環境規制値を守るとともに、ユニット起動停止の自動化や負荷追従性の向上に努めてきた。最近では、再エネ導入により稼働率が低下し、部分負荷運転が増加するプラントに対して、圧縮機入口案内翼(IGV: Inlet Guide Vane)開度や冷却システムの運用を最適化することで、制限値に抵触することなく、部分負荷帯においても性能最適化を図るソリューションメニューを開発し、TOMONI の①IGV 運用最適、②ガスタービン(GT: Gas Turbine)冷却空気 AI(Artificial Intelligence)最適、③TCA(Turbine Cooling Air)クーラ運用最適⁽¹⁾として、国内外の GTCC 発電プラントで納入実績を上げている。一方で、100%負荷近傍の運転点においても、GT の経年劣化や、復水器真空等外部条件の変動の影響で、排ガス温調運転点から外れるケースがあり、実機の状態を確認しながら IGV を追加制御する④最大負荷最適機能についても開発、実機検証を経て商用プラントに実装することができた。

これらの個別の性能最適ソリューションは、相互に連携、連動し、発電所毎の運用ニーズに合わせて自律的に全ての負荷帯において性能及び発電機出力を最適化する必要があるが、従来は負荷帯毎の最適化機能が連携できていなかった。これらを組み合わせたソリューションパッケージを現在開発中で、最適制御だけでなく、同機能が稼働している時間や効果を Web アプリケーション上に表示することで、お客様に GTCC 発電プラントの最適運用のための指標として活用いただくことを目指している。

今後は GTCC 性能最適パッケージとして広くお客様に提供し、再エネの増加の影響等により、位置づけや運用が変化する GTCC プラントを、よりきめ細やか且つタイムリーに支援する技術を提供することで、CO₂ 排出量削減に貢献する。

3.1.2 GTCC 遠隔燃焼調整・自動燃焼調整

安定燃焼は GT 及び GTCC 発電設備の稼働率向上には極めて重要であり、燃料組成や大気条件を踏まえて、適切な燃料と空気の投入割合(燃空比)となるよう燃焼調整を行っている。燃焼調整に必要なパラメータは、発電所内の複数システムとの組合せで決定される複雑さから、当社の運転指導員や燃焼調整員のノウハウが必要であり、従来は、発電所に出向き現場で燃焼調整を行う必要があった。燃料性状や大気条件が大きく変化した際に再調整が必要となることがあるが、調整員が現地に到着するまで運転ができない、または運転に制限が生じることがあった。

ネットワーク経由で発電所構内のシステムにアクセスし、当社燃焼調整員が遠隔地からパラメータ変更すること自体(遠隔燃焼調整システム)は技術的に可能であるが、回転体のような1秒1秒の高速応答性を求められる機器に対して、運用上許容できる通信起因の遅れ時間で調整できることが求められる。そこで、燃焼調整員がそのノウハウで行ってきた操作を簡素化、または自動的に行う“自動燃焼調整システム”も開発し、実機への適用を進めている(図2)。自動燃焼調整システムは、必要に応じて、遠隔から当社燃焼調整員や技術者が支援しながらも、当社調整員の到

着を待つことなく現場でお客様自身が確認、パラメータをシステムに対して書き込む判断をすることが可能となる。

これらシステムは、調整員の移動時に生じるエネルギーロス削減することにも繋がり、同時に新型コロナ禍のような移動の制約を解決する手段ともなる。F形 GT 向けは某商用実機で検証実施し技術開発完了、現在、J/JAC/GAC 形 GT 向けに技術開発を進めているところである。

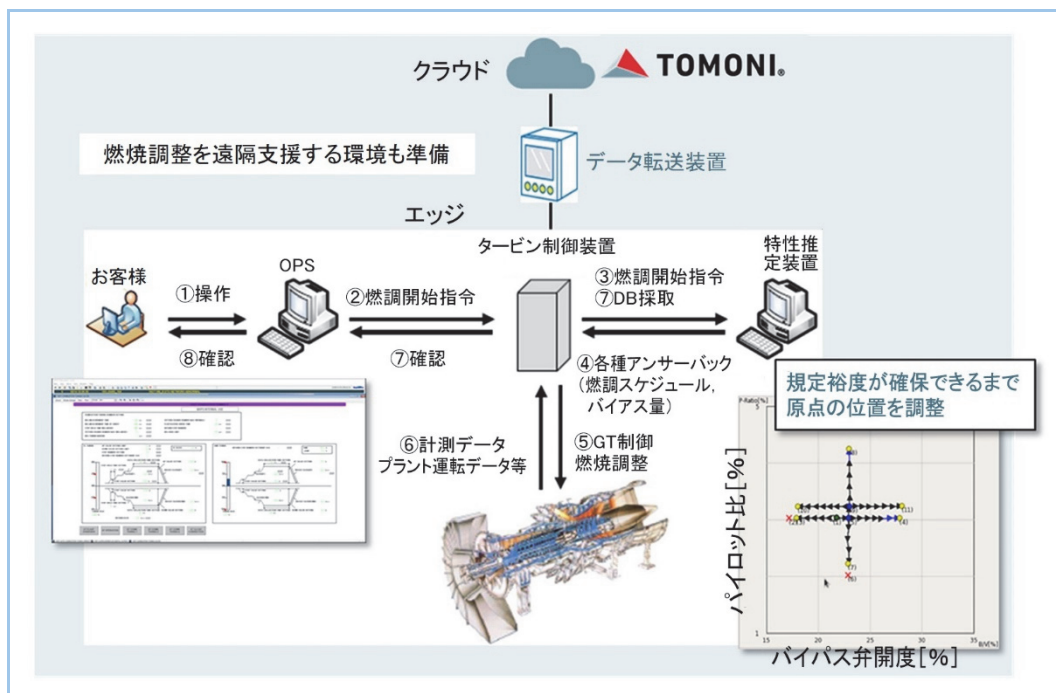


図2 自動燃焼調整

3.1.3 吸気フィルタ差圧監視

GT 性能が低下する要因の一つに、圧縮機入口に設置される吸気フィルタの経時的な汚れや閉塞による圧力損失の上昇が挙げられる。そのため、従来の GTCC プラントでは、時間計画保全 (TBM: Time Based Maintenance) により吸気フィルタを新品に取り換えることで圧力損失を低下させ、高効率運転を維持することが一般的であった。

しかし、吸気フィルタの差圧データをクラウド環境にビッグデータとして蓄積し、前処理やユーザインタフェースの工夫を加えることでユーザに経済性に関わる判断材料が提供され、TBM で管理するよりも最適な吸気フィルタ交換タイミングを推定できることが確認された。つまり、過去の差圧トレンドデータと現在との比較表示や、GT 特性を知るメーカーとして出力・効率の低下影響量表示を搭載することで、費用対効果を踏まえた最適な吸気フィルタ交換タイミングの判断 (状態基準保全 (CBM: Condition Based Maintenance)) に繋げることができる。

更に、短期間での異常の兆候を捉え、運転員の保全に対する判断を支援することも可能である。例えば寒波到来時、吸気フィルタの凍結や雪の付着が原因と考えられる差圧の急上昇が発生する。吸気フィルタ差圧監視では、この上昇兆候を検知すると、アラートを発報する。これを受けて、運転員は現場確認を展開し、速やかにアンチアイシングシステムを稼働させる。アンチアイシング運転は安全運転に寄与する一方、稼働前は燃焼器に供給されていた圧縮空気の一部を同システム側に賄うことになりプラント性能を低下させてしまう。今後は本アプリケーションのアラートに従い、必要な時のみ稼働させることで燃料消費量を抑制することができる (図3)。

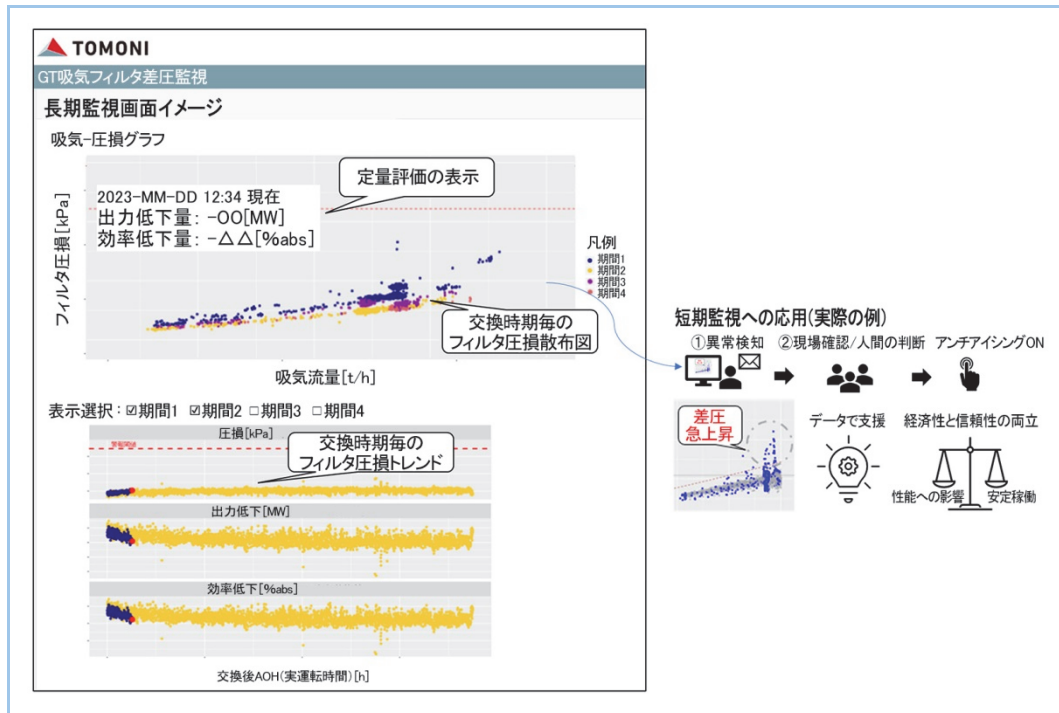


図3 吸気フィルタ差圧監視画面とユースケース

3.2 SP プラント向けソリューション-ボイラ最適ソリューション-

カーボンニュートラルに向けた取組みとしては、アンモニアへの燃料転換による石炭焚きボイラの脱炭素化等がある。その実用化までの間は、効率向上や制御改善による低炭素化を図りつつ、電力システム全体の安定化に寄与する技術が求められている。当社では国内電力・自家発・IPP に拘らない広く適用可能な効率改善・経済性改善・運用安定化のインテリジェントソリューションを提供することを目指し、SP 向けソリューションの開発を進めている。

ボイラでは燃料性状、経年変化等により静的な収熱バランス、燃焼特性や動的な負荷応答性が変わるため、最適な運転状態を保全のため燃焼調整を行うことが望ましい。本項では、静特性改善を担うボイラ AI 燃焼調整システム及び、動特性改善を担うボイラ制御最適化システム (Netmation OscAR®) を紹介する。

3.2.1 ボイラ AI 燃焼調整システム

ボイラの燃焼状態に影響するプロセスや制御パラメータの組合せは多岐にわたり、長らくメーカーの熟練技術者による経験とノウハウにより燃焼調整を実施してきた。これを AI に置換え、デジタルツイン(実機と同じ挙動を示すデジタル空間上のモデル)を活用し、ボイラの燃焼調整を支援するシステムを開発(図4)、ボイラ効率・環境性能・補機動力等を総合的に改善し、経済性向上・CO₂ 排出量削減を実現することを確認した。

ボイラの計測データを用いて、ボイラの運転状態変化と制御パラメータ変化の関係を模擬したデジタルツインを構築し、その時々々の運転状態に応じてシミュレーションすることで、最適な制御パラメータの提案が可能となる。さらに、ボイラメーカーとしての設計・制御のノウハウに基づき、対象となる実機の制約条件を設定することで、実用的な操作端設定を提案し、それを適切なレートで実機へ反映することで、安定運転を維持しながら経済性向上を図ることを可能としている。2023年5月に商用運転中の国内事業用ボイラ向けに本システムを納入した。また現在、複数案件で商談対応中である。

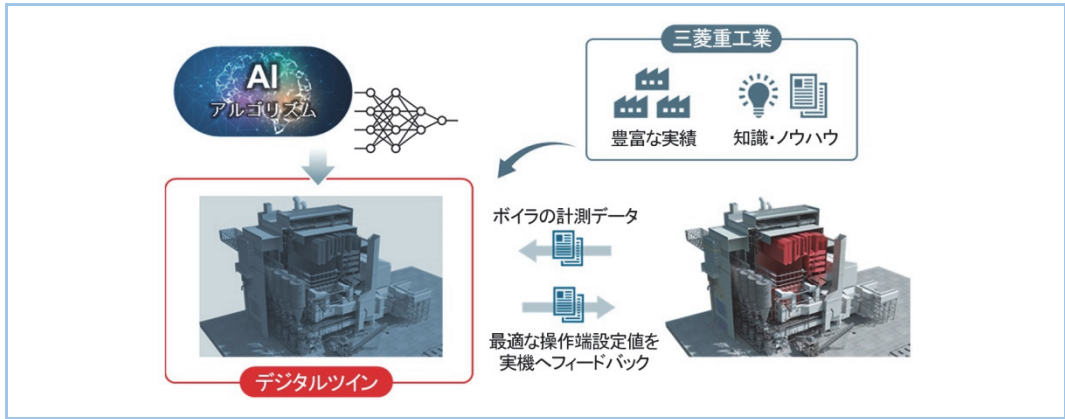


図4 ボイラ AI 燃焼調整システムの概要

3.2.2 Netmation OscAR (Optimized Suitable Control with AI Robust technology)

SP 向けボイラでは様々なお客様のニーズに合わせて、燃料/空気/温度などの動的な主要プロセス値に対して、長年培ってきたプラント制御技術により部分負荷及び 100% 負荷における安定運転を実現している。一方、CO₂ 排出量削減として石炭専焼からバイオマス混焼などの燃料性状変化や、経年変化、スーツブロー(SB)噴射時の外乱など、主蒸気温度、圧力等への改善の余地は大きく、従来制御アルゴリズム以外のアプローチを検討、システム開発を進めてきた。Netmation OscAR は、他 ICT メーカーでは実現できない、これまでのプラントメーカーとして培ってきたノウハウを具現化した『AI を使用した高度制御化』と『既存制御ループ改善を組み合わせることによる制御改善』を行うことで、燃料費削減、安定運転に大きく寄与できるシステムとして製品化したものである。具体的には、国内産業用・共同火力ボイラ向けに納入、図5に示す効果を確認している。

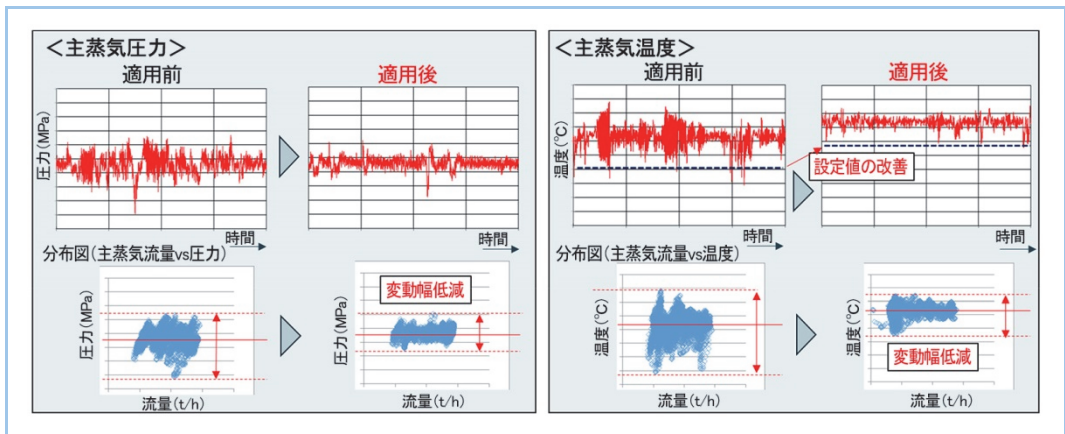


図5 Netmation OscAR システムの導入事例

制御改善機能としては、“PID オンライン最適化機能”と“外乱抑制先行制御”を有しており、最適な運転となる制御改善を提供する。また、追加となるのは外付け PC のみのシンプルなシステム構成であり、通信でお客様 DCS と信号を取り合うため、容易に導入できるシステムとなっている(図6)。

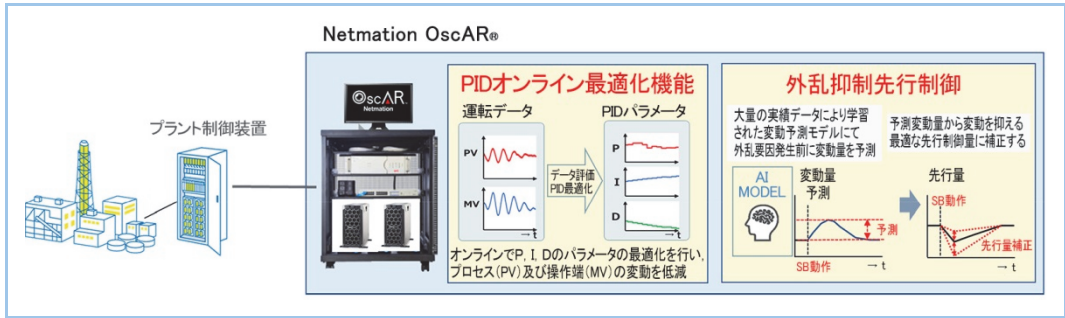


図6 Netmation OscAR システムの概要

3.3 エネルギーマネジメントソリューション

当社の高砂製作所では、火力発電における脱炭素化で重要な燃料転換として、水素を燃料とする発電技術開発のため、水素製造から水素貯蔵、発電までにわたる技術を一貫して検証できる“高砂水素パーク”を整備している。

高砂水素パークでは、水素利用の発電設備(大型 GTCC と中型 GT)、水素製造設備(水電解装置、メタン熱分解、SOEC:Solid Oxide Electrolysis Cell)が配備され、高砂製作所の電力需要とバランスを取りながらの運転が必要となる。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の運用に関するノウハウをもとに、これら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(図7)。この EMS は、発電設備に対しては、独自の AI デマンド予測エンジン(ENERGY CLOUD®)を活用した工場電力需要の予測を行い、送電可能な発電計画を立案する。水素製造設備に対しても、EMSとシステム連携することにより、発電状況、電力需要状況を考慮して、最適な水素製造の運転計画を立案することが可能となる。更に蓄電池設備(BESS:Battery Energy Storage System)との組合せが実現すると、蓄電池の充放電を EMS で制御することで、安定的・効率的なエネルギー供給を実現する(図7)。これら設備群を“かしくつなぎ、コントロール”する EMS 機能は、当社内設備での利用により開発を重ね、また長期検証を経て、他商用発電設備へのエネルギーマネジメントソリューションとして提供を目指す。こうしたソリューション開発は、ΣSynX⁽⁶⁾のコンセプトに基づいて行われている。



図7 Energy Management System

4. まとめ

本報では、カーボンニュートラル社会の実現に向けて貢献する、当社インテリジェントソリューション TOMONI の事例をいくつか示した。GTCC プラント及び SP プラントに対して、燃料消費量の削減や物的・人的リソースの効率化から、CO₂ 排出量削減に寄与するものである。三菱重工グループでは、同時に、火力発電の脱炭素化に向けて発電設備自体の高効率化や、水素・アンモニア利用の推進などにも取り組んでいるが、上述のとおり当社は、インテリジェントソリューション TOMONI の側面からも、設備メーカーとして、運転データの処理・分析から一貫して設備の高効率化、人的・物的資源の有効活用に繋げることができる。また、設備個々の最適化のみならず、前述のとおり設備群を“かしこくつなぐ”エネルギーマネジメントシステムをΣSynX のコンセプトに基づき構築することを目指す。このように TOMONI が当社グループ全体でデジタル技術を共有化し、他の様々なソリューションメニューと組み合わせることで、シナジー創出し、カーボンニュートラルの目標達成に貢献する所存である。

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、三菱重工業株式会社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、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) 三菱重工業株式会社, 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, TOMONITM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) 三菱重工業株式会社, “かしこく・つなぐ”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>