

自家発設備の価値を高めるカーボンニュートラルソリューション

Carbon-Neutral Solutions to Increase the Value of Independent Power Generation Facility



池田 亮*¹
Ryo Ikeda

田中 鉄也*²
Tetsuya Tanaka

行木 裕二*²
Yuji Nameki

菅原 啓法*³
Hironori Sugawara

西田 量*⁴
Ryo Nishida

山元 雄矢*⁵
Yuya Yamamoto

昨今、国内外の各産業分野においてカーボンニュートラルへの取組みが活発になるなか、保有・運転している自家発設備においてもカーボンニュートラル達成のニーズが高まっている。三菱重工工業株式会社(以下、当社)は国内自家発設備への多くの納入実績をもつとともに、カーボンニュートラル達成に向けた技術・製品・サービスを有しており、それらを最大限活用した自家発設備のカーボンニュートラルを達成するソリューションを提供している。本報では当社が考えるカーボンニュートラル達成のための2つのアプローチ：①設備改善に焦点を当てたエネルギーバランスの診断・改善、②人や業務プロセスなど自家発設備を取り巻くニーズ(困りごと)の解決につき、具体例を挙げて紹介する。当社はお客様の中長期的な経営目標やニーズを踏まえて、自家発設備ごとにカスタマイズされた価値あるカーボンニュートラルソリューションを提供していく。

1. はじめに

日本国内の石油・化学・製紙・鉄鋼・セメント等の産業分野の多くの工場において、ボイラや蒸気タービン、ガスタービン等にて構成される自家発設備が保有されており、コージェネレーションシステムとして、電力と熱(蒸気等)を製造設備側に供給している。長年にわたり、お客様(ユーザ)とメーカー双方で排熱の有効利用や副生燃料利用等による省エネ、効率化による発生CO₂の削減を進めてきたが、昨今のカーボンニュートラル達成に向けた社会要請の増大により、更なる発生CO₂の削減が求められるようになってきている。また、製造設備側への熱供給として、高温高圧かつ多量の熱(蒸気等)が必要になる場合が多いが、その熱供給の手段が化石燃料を使用するボイラなどに限られており、CO₂排出量削減の大きな障壁になっている。一方、昨今の電力逼迫状況や、エネルギーセキュリティの観点から、自家発設備の必要性、重要性が再認識されつつあり、自家発設備の有効活用、カーボンニュートラル達成の重要度が増している。

当社は国内自家発設備へ多くの納入実績をもつとともに、発電に加え、熱供給に関する多くの知見、カーボンニュートラル達成への最新技術・製品・サービスを有しており、これらの技術・知見を活かして、お客様の既存の自家発設備のカーボンニュートラル達成を支援する“カーボンニュートラルソリューション”を提供する。

本報ではカーボンニュートラルソリューションとして、2つのアプローチを紹介する。一つ目は、“エネルギーバランスの診断・改善”であり、設備自体に焦点を当てたアプローチである。ここでい

*1 エナジードメイン SPMI 事業部 計画部

*2 エナジードメイン SPMI 事業部 計画部 主幹技師

*3 エナジードメイン エナジートランジション推進部 主席技師

*4 エナジードメイン エナジートランジション推進部 主席部員

*5 エナジードメイン エナジートランジション推進部 技術士(機械部門)

エネルギーバランスとは、使用燃料や購入電力等をインプット、発電電力量(自家消費量, 売電量), 熱供給量(送気量)をアウトプットとする自家発システムにおける、電力と熱の供給比率(熱電比率)及び効率, 経済性, 環境性を含む, プラントを俯瞰した全体像を示すもの(図, 数値)である。2つ目は, “自家発設備を取り巻くニーズ(困りごと)の解決”であり, 設備を扱う人(マンパワー, 技術伝承)や, 業務プロセス, 収益改善といった設備の利用等に焦点を当てたアプローチである(図1)。

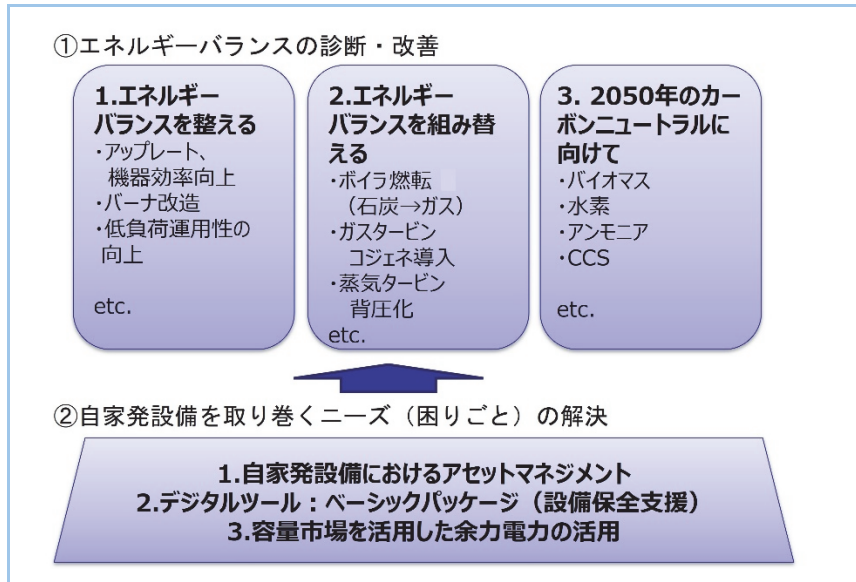


図1 カーボンニュートラルソリューションの全体像

2. エネルギーバランスの診断・改善

グローバルな市場環境や市場ニーズの変化と、設備納入から年月が経つことによって、自家発設備へ要求される電力・熱デマンド, 運転負荷, CO₂削減の要求, それを可能とする適用技術が変わってきている。こうした課題に対して, お客様との打合せを重ねながら, 現状の把握 → 課題の抽出を行い, 短期～中長期的なカーボンニュートラル達成へのロードマップ作成, 運転費用や初期費用, CO₂発生量の試算, そして将来のカーボンニュートラル達成に向けた提案をするのが“エネルギーバランスの診断・改善”の流れである。(図2)。

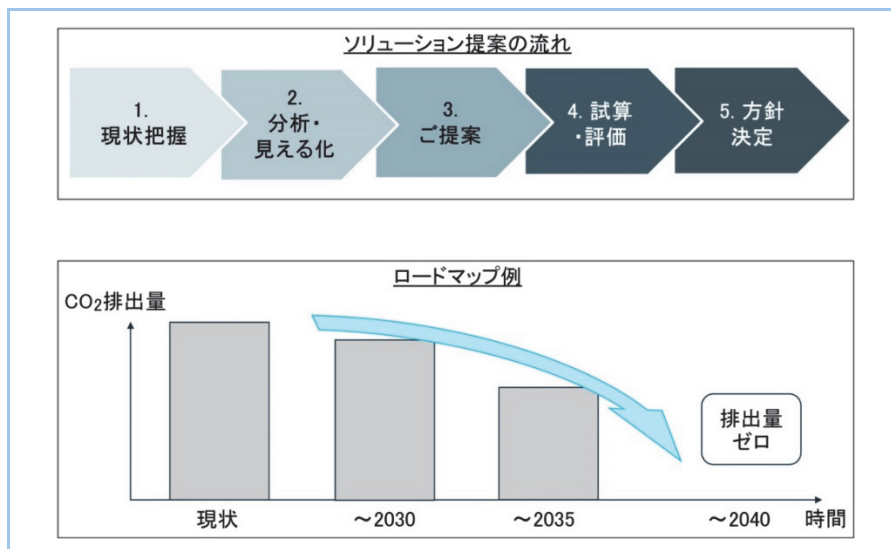


図2 ソリューション提案の流れとロードマップ例

2.1 エネルギーバランスを整える

(1) 小規模投資によるエネルギーバランス調整

自家発設備のカーボンニュートラル達成に向けて、比較的短期に、初期投資を抑えつつ着実な効果、つまり効率の向上や買電/売電量の最適化を目指す対策として、機器の改善(改造)、小規模な設備導入という手段が挙げられる。機器の改造という点では、経年劣化に対する性能改善から、効率を改善しうる運転点の見直し、最新技術の部分適用によるアップデートなどがある。また、設備導入の候補としては、ガスエンジン、ORC(Organic Rankine Cycle)、ヒートポンプといった高効率機器があり(図3)、数百kW~数MW規模の発電出力向上、省エネへの貢献が期待できる。(各機器の特徴や開発状況については本エナジードメイン特集の個別記事を参照されたい⁽¹⁾。)これらの提案は、後述する提案に対して、燃料や敷地の可用性などといった制約条件、全体の熱電比率への影響が比較的少ないメリットがある一方、場合によっては短期的な対策に留まる可能性もある。目標達成(カーボンニュートラル達成)に向けた将来像までを見越した効果的な投資とするためには、全体を俯瞰する目線、中長期的な目線を持った対策・ロードマップ立案が重要であり、当社はお客様の短期、中長期双方のカーボンニュートラル達成に向けた検討・提案に協力している。

(2) 運転の効率化、CO₂削減：エネルギーマネジメント

国内の自家発設備において、設備ごとの省エネ対策はすでに高いレベルで進んでいる状況であるが、電気や蒸気といったエネルギーの供給設備を単独で捉えるのではなく、工場の生産プロセスに必要なエネルギー需要を、複数の設備を含めた全体最適を考慮し、日々変化するエネルギー需要に対して時系列で最適になるよう制御することによって更なる省エネルギー化を進める余地はあると考えている。生産活動の外部環境がダイナミックに変化する中で、複雑なプロセスを有する現場においてエネルギーマネジメントの必要性が高まっている。当社が提供するエネルギーマネジメントガイダンスを用いることで、日々変化する工場の電力や蒸気のデマンド、燃料調達や売買電の価格を加味した上で、複数のエネルギー供給設備の負荷をどのように配分するべきか等、経済性を最大化することが可能となる。

例えば重油、石炭、副生燃料とそれぞれ異なる燃料を使い、定格出力や最低負荷、効率が異なるボイラ、ガスタービン、抽気復水タービン、背圧タービン等から構成される自家発設備があり、その設備が日々変化する生産計画を踏まえて、電力、低、中、高圧の蒸気を必要とする生産プロセスへ供給し、不足する電力はスポット市場から購入する場合を考えてみる。どの設備をどのような負荷で動かせば最も経済的になるのかを検討するためには、副生燃料の供給量、燃料価格や買電価格だけでなく、各設備の運転可能な負荷範囲、負荷に応じた各設備の効率の変化を考慮することになり、経験豊富なエンジニアでなければ、その解を求めることは難しい。本ソリューションでは、これを数理最適化のアルゴリズムにおける目的関数、制約条件といった数式に落とし込むことで最適解を導き出し、その結果を“最適な運転条件”として提供する。変化するデマンドや燃料価格などを変動因子とし、最適負荷配分をシミュレーションすることによって、蒸気の大気放出ロスや不足電力の調達費用などの需給の不一致による損失を最小化しながら、省エネルギー化、運転最適化を一層進めることができる。

このエネルギーマネジメントガイダンスに加え、近年では太陽光発電設備や蓄電池の導入、地理的に離れている複数の拠点で電力を融通する自己託送への取組みも加速している。その場合には天候や他拠点の電力需要など、加味しなければならない条件が追加され、エネルギーマネジメントに対する検討要素がさらに複雑になっている。これらのニーズに対応するため、当社が提供するインテリジェントソリューション：TOMONI®と接続し、タイムリーに各設備の最適負荷配分を提供するエネルギーマネジメントシステム(EMS)を提供すべく、取組みを加速している⁽²⁾。

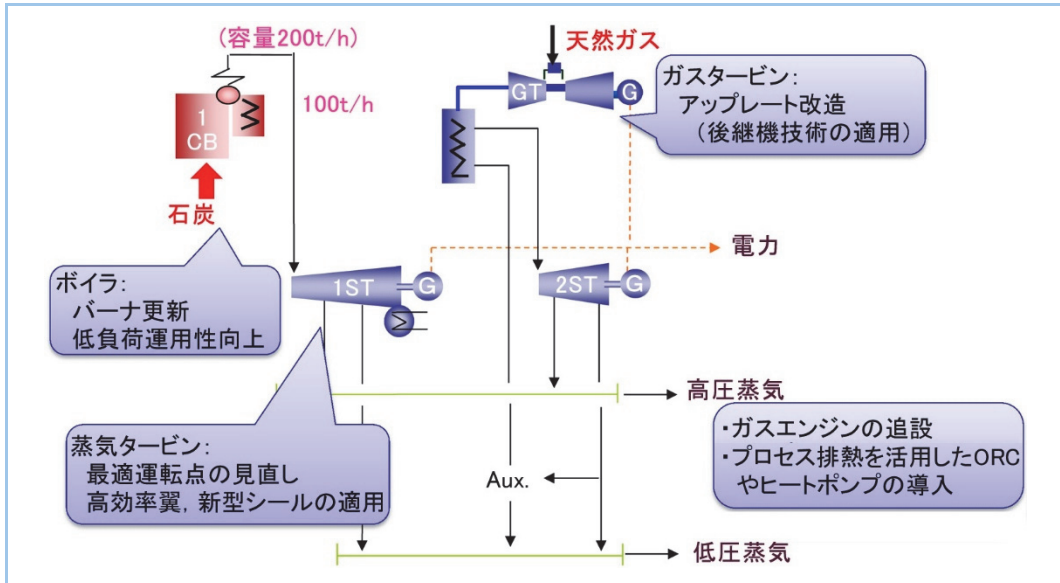


図3 エネルギーバランスの改善例

2.2 エネルギーバランスを組み替える

自家発電設備のカーボンニュートラル達成に向けて、中長期(例えば 2040 年, 2050 年まで)にわたる大規模な効果(効率改善, CO₂ 削減等)が必要になる場合, 機器の燃料転換や主力設備の追加更新という手段が選択肢になる。例えばボイラであれば石炭, 重油焼きユニットの天然ガス, 都市ガス等への燃料転換, 石炭焼きユニットであればバイオマス混焼化, 専焼化等である。また, ボイラ中心のユニット構成を一部ガスタービンコジェネへ置き換えることも有効な手段となる。この際, ボイラと蒸気タービンで構成されるプラントと, ガスタービンプラントでは熱電比率が大きく変わることには注意が必要である。自家発電設備は基本的に熱デマンド見合い(蒸気デマンド優先)の運転になることから, ガスタービン導入により発電量が設備更新前より大きくなるケースが多い。これを売電にて処置することも一つの手段だが, 系統側の制約や経済性の観点で不利になる場合があるため, エネルギーバランス全体を俯瞰して, 最適な設備構成に組み替えていくことが重要となる。図4はボイラの燃料転換, ガスタービンコジェネ化によって CO₂ 低減効果を得ると共に, 復水式の蒸気タービンを背圧式に改造(基礎や車室は流用)することで, 低コストで熱電比率を保つことができている例である。同時に復水による熱損失を低減し, 総合効率の向上による経済性の向上と, 更なる CO₂ 削減を実現している。

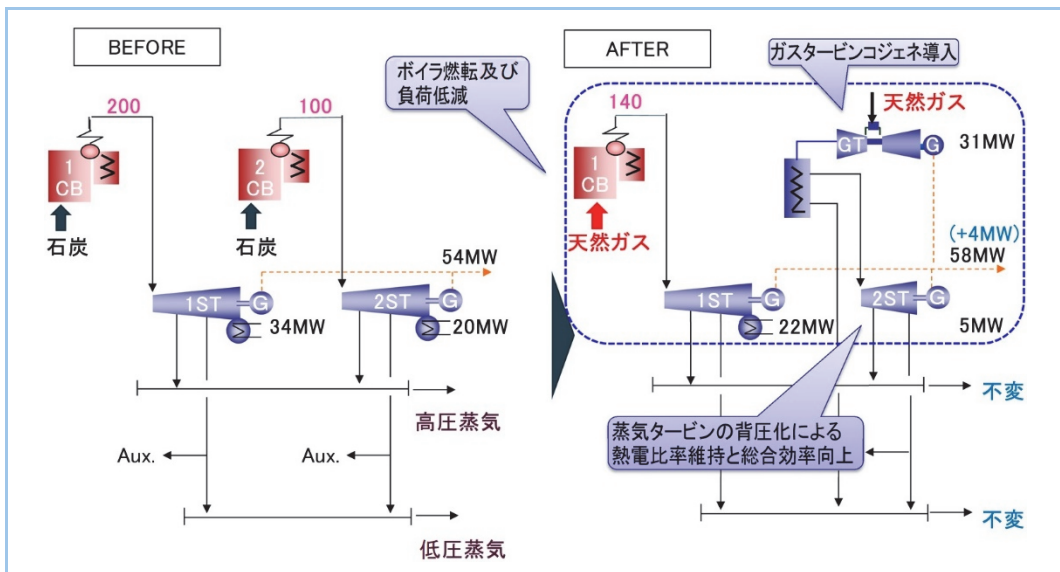


図4 エネルギーバランスの組み換え例

2.3 2050年のカーボンニュートラル達成に向けて

当社はカーボンニュートラル達成に向けて、ボイラ、ガスタービン、ガスエンジンなどの機器のカーボンニュートラル達成(将来のカーボンニュートラル燃料への切り替え)が可能となるよう、技術開発を鋭意進めている。現在、水素・アンモニア等のカーボンニュートラル燃料の調達性(量, 安定性, 価格等)に関する課題はあるものの、お客様の中長期的な目標や将来の燃料調達志向(本業との親和性)などをヒアリングしながら、お客様の自家発電設備ごとに適した提案を行っている(図5)。

カーボンニュートラル燃料のインフラの整備動向やエネルギー政策など先行き不透明な状況下では、複数の選択肢を残しつつ、設備投資を行っていく必要があり、当社では、将来水素もしくはアンモニアいずれの場合も対応できるガスタービンを開発している。また、CO₂貯留、活用技術の普及が進むという状況を想定し、自家発電設備に当社グループの製品であるCO₂回収装置を導入するという選択肢もある。自家発電設備用燃料がカーボンニュートラル達成された上に、CO₂回収装置が加われば自家発電設備自体はカーボンネガティブとなり、2050年のカーボンニュートラル達成に向けて、お客様のプロセス側(本業)を含めた広範囲のカーボンニュートラルを達成する有効な手段の一つになり得ると考えている。(各機器の開発状況については、本エナジードメイン特集の個別記事を参照されたい⁽¹⁾。)

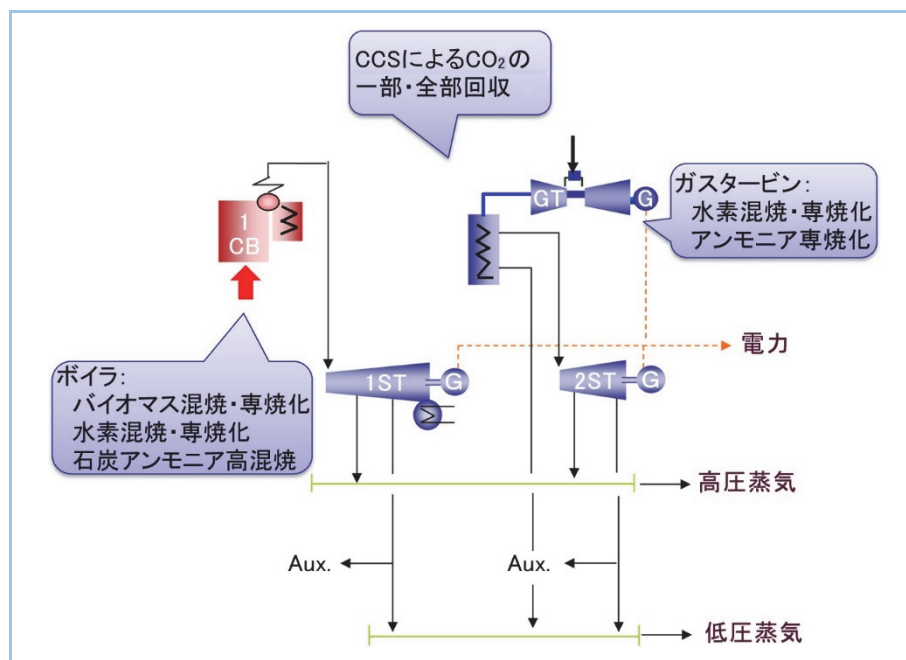


図5 カarbonニュートラル化の例

3. 自家発電設備を取り巻くニーズ(困りごと)の解決

自家発電設備の最適化やカーボンニュートラル達成にあたり、前述の設備そのものの改善のほかにも、様々な課題がある。

例えば、ユーティリティとしてのエネルギー(電力や熱・蒸気)需給のバランスを把握できていないことから、まず現状運転の“見える化”から着手したいというニーズもあれば、課題は何となく見えており、その課題解決するための方策を検討したいのだが、推進する人手や資金が十分でなく、対策が進まないといったニーズもある。それらの課題を解決するためには、より一層お客様側の立場に立ったソリューションが必要であり、そのソリューション例として、自家発電設備におけるアセットマネジメント、デジタルツール、容量市場を活用した余力電力の活用を紹介する。

3.1 自家発電設備におけるアセットマネジメント(ESCO 的アプローチ)

元々ESCOとはEnergy Service Companyのことであり、お客様のエネルギー消費量または光熱

水支出を削減し、そのメリットをお客様とシェアする事業者をいうが、その事業は以下のサービスの組み合わせから構成される。(ESCO・エネルギー管理推進協議会 HP より)

- ① 省エネルギー診断に基づく省エネルギー提案
- ② 提案実現のための省エネルギー設計及び施工
- ③ 省エネルギー導入設備の保守・運転管理
- ④ エネルギー供給に関するサービス
- ⑤ 事業資金のアレンジ
- ⑥ 省エネルギー効果の保証
- ⑦ 省エネルギー効果の計測と検証
- ⑧ 計測・検証に基づく改善提案

これらのサービスは、業務用または産業用機器に対して提供されることが主流であるが、規模が大きく複雑なシステムで構成される産業用自家発設備全体に対して提供することは非常に難しく、一朝一夕にはいかない。しかしながら、単なる設備供給者から一歩も二歩もお客様側に寄り添った目線での提案検討をするという意味で、ESCO 的なアプローチは必要なことだと捉えている。つまりお客様と共に、より近づいた立場で、課題解決に向けたソリューション提案やサービス提供が求められているということである。

その一例として、アセットマネジメントサービスを紹介する。

上記のサービスの分類では、主に③省エネルギー導入設備の保守・運転管理の一部に該当するもので、これまでの対応は、お客様の設備に問題が生じた場合、お客様自身で問題を認識される度に当社にご相談頂くというものであった。我々が病気や不調がある度にかかりつけ医に行くイメージであり、場合によっては突然入院や手術が必要になることもある。つまりお客様の設備を長期停止し、大規模な修理が発生してしまうこともあり得るということである。それに対して、今後はお客様と共に設備の状態を監視し、必要な改善策をタイムリーに打ち、異常の回避あるいは軽減に繋げ、生産プロセスの安定稼働を実現していこうというサービスを目指している。図6に示すように“かかりつけ医”ではなく、お客様と一緒に走る“伴走者”がこれから目指す姿である。

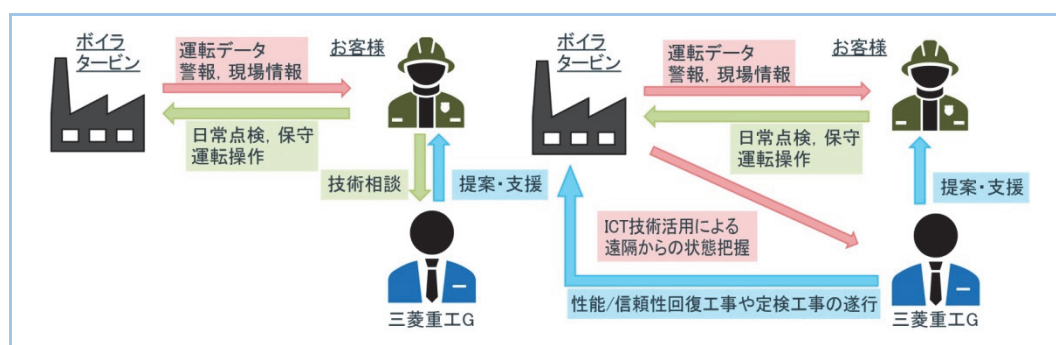


図6 ホームドクターから伴走者へ

3.2 デジタルツール:ベーシックパッケージ (TOMONI 設備保全支援)

設備保全を実施している現場が直面している経営課題、例えば人材不足、設備高経年化、現場力の低下などに対し、多くの現場では DX (Digital Transformation) やスマート化の推進が模索されている。経済産業省では IoT (Internet of Things) や AI, ドローン等の新たなデジタル技術を導入することで、それら課題を克服し、将来的な保安力の維持・向上と生産性の両立を目指す“スマート保安”を強力に推進している。さらに、将来のカーボンニュートラル達成に向けて、以前からの課題に加えて、水素・アンモニアなどカーボンニュートラル燃料への転換、新たな機器の導入、それらを複合的、有機的に管理する制御システムへ対応するために、ますますデジタルの力が不可欠となってくる。

当社は、デジタルの力で保全改革を目指す“スマート保全”の取組みを開始した。有用な保全

情報のデジタル化、蓄積、可視化、高度分析により保全の効率化・高品質化を目指す。スマート化対象としては、保全の日常業務や定期点検業務、設備保全としての異常予兆検知や性能監視、また、個別の現場支援デジタルツールが挙げられる。当社は、このスマート保全を提供する一つのデジタルツールとして、以下の“TOMONI ベーシックパッケージ”を提供している(図7)。

<TOMONI ベーシックパッケージ>

- ① メンテナンスプランナ：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
- ② スマート検索：技術資料・図書を容易に検索
- ③ TOMONI 掲示板：メカエンジニアとのコミュニケーションツール
- ④ TOMONI ブログ：技術用語・技術情報・業界情報等の簡単解説

本パッケージは、“手間がかからない・すぐ使える”がコンセプトのシステムであり、当社から提出済の図面・技術連絡書等のドキュメントや保全・技術情報等の必要データを、予め当社にて登録済(ビルトイン済)の状態を提供するため、お客様は改めて情報を登録する手間・時間を必要とせず、即日の使用が可能になり、導入済のお客様からも、人材育成、省力化、コミュニケーションなどの観点で好評を得ている⁽³⁾。また、昨今の人材不足の課題に対応し、デジタルツールに加え、本報 3.1 節でご紹介したアセットマネジメントサービスを組み合わせて、より提供範囲を広げた保全ソリューションも展開している。

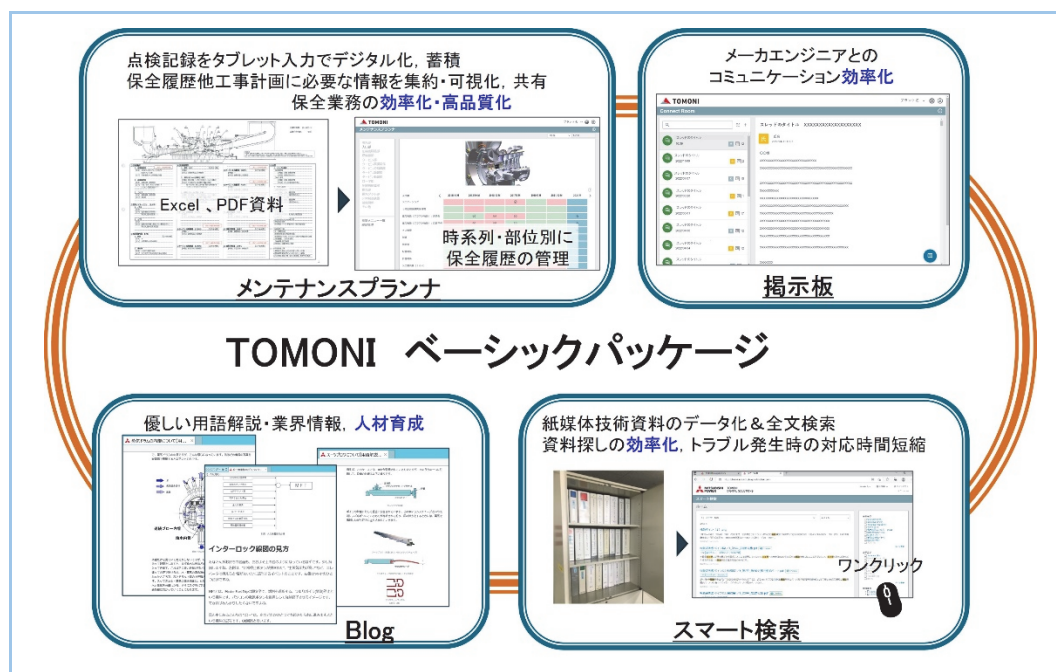


図7 デジタルによる保全改革:スマート保全

3.3 容量市場を活用した余力電力の活用

前述の通り、当社は、安全で高効率な発電設備の納入や保守を通じて、①安定性、②経済性、③環境性を重視し、お客様の事業に貢献できるように努めてきた。一方、電力システム改革により、電力事業に関わる課題は大きく変化してきている。特に、電力供給容量を確保するために創設された容量市場は自家発電設備との関わりが深く、自家発電設備の余力や遊休設備の活用が求められている。

当社は容量市場の先行市場である調整力公募(電源I')に着目し、アグリゲータとして、また、自社工場においては需要家として参画し、アグリゲータと需要家双方の立場での経験を有している。このノウハウを活かし、容量市場(発動指令電源)においてもアグリゲータ/需要家として参画している。

図8に容量市場の取組みスキーム、調整力発動フローを示す。Demand Response Aggregation System(DRAS)は電力会社(送配電)との通信を行うシステムであり、発動指令時、発動主体であ

る電力広域的運営推進機関(OCCTO: Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators, Japan)からの指令を送配電経路で授受し、一気通貫にお客様(需要家)へ繋ぐものである。このDRASにて発動指令時のタイムリーな対応を実施している。

容量市場に参加する場合、最適な供給力を設定することが重要である。発動指令時に多くの供給力を提供することができれば、多くの報酬が得られ、かつ電力逼迫の緩和に貢献することができるが、設定された供給力を提供できない場合は報酬が減じられるリスクがある。当社では、設備メーカーとしての知見・経験を元に、自家発設備の運転状況、工場の電力/熱(蒸気)デマンド等のデータ分析を通じて、成功/失敗確率を推定し、最適な供給力を検討・提案している。今後、カーボンニュートラル達成を目指す中で、自家発設備を取り巻く環境も大きく変化していくことが想定されるが、この変化にタイムリーに対応し、お客様の事業、電力需給の安定性、レジリエンスに貢献したいと考えている。

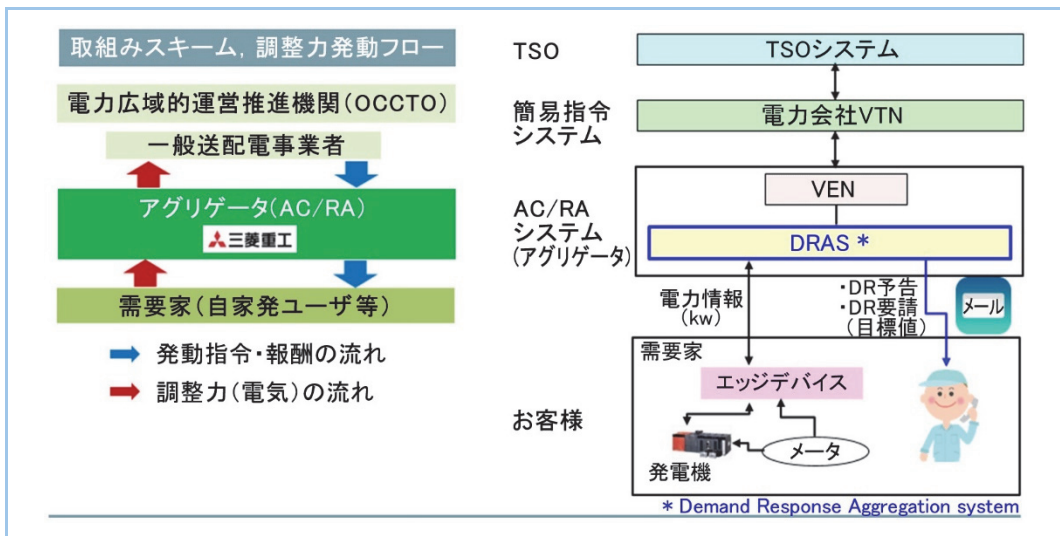


図8 容量市場の取組みスキーム, 調整力発動フロー

4. まとめ

本報では“エネルギーバランスの診断・改善”“自家発設備を取り巻くニーズ(困りごと)の解決”という2つのアプローチからなる当社のカーボンニュートラルソリューションを紹介した。当社はお客様の中長期的な経営目標やニーズを踏まえて、自家発設備ごとにカスタマイズされた価値あるカーボンニュートラルソリューション、お客様目線に立ったソリューションを提案していくと同時に、結果として長く、サステナブルにご使用頂ける自家発設備を提供していく所存である。

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。

参考文献

- (1) 三菱重工技報 Vol.60 No.3 (2023)エナジードメイン特集
<https://www.mhi.co.jp/technology/review/jp/indexj-60-3.html>
- (2) 磯部勇介ほか, カーボンニュートラル型エネルギーマネジメント技術の開発, 三菱重工技報 Vol.59 No.4 (2022)
- (3) 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)