

# 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

## Technology Development of Energy Management System to be Beneficial for Carbon Neutral Era



磯部 勇介\*<sup>1</sup>  
Yusuke Isobe

森原 雅幸\*<sup>2</sup>  
Masayuki Morihara

橋本 雅之\*<sup>3</sup>  
Masayuki Hashimoto

名嘉 丈博\*<sup>3</sup>  
Takehiro Naka

三橋 真人\*<sup>3</sup>  
Masato Mitsunashi

小林 裕\*<sup>4</sup>  
Yu Kobayashi

カーボンニュートラルの達成に向けて、産業分野におけるエネルギーの需給管理を取り巻く環境が大きく変化している。三菱重工業株式会社(以下、当社)は、カーボンニュートラルの一つの手段になり得るエネルギーマネジメント技術を開発し、設備メーカー独自の視点で各設備のライフサイクルでの発生コストを制御の基軸に置くシステムを構築した。当社工場内に脱炭素電源である太陽光発電設備と蓄電池設備を実際に導入した上で、オンサイト発電及び自己託送を想定したオフサイト発電で必要となる機能の検証を実施中である。開発した技術の検証を進めると共に、今後も冷温熱系機器の制御を含めた機能拡張を継続し、お客様へカーボンニュートラルに関するソリューションを提供していく。

## 1. はじめに

2020年10月に日本政府は、2050年までに脱炭素社会を実現し、温室効果ガスの排出を実質ゼロにすることを目標と定め、当社グループにおいても2040年までのカーボンニュートラルを宣言した。産業分野においてもカーボンニュートラルもしくは脱炭素が長期戦略上の喫緊のテーマとなっており、当社は脱炭素技術を早期に確立し、同技術と製品・サービスの社会実装を通じて、カーボンニュートラル達成に貢献することを目指している。

こうした背景の中、産業分野のエネルギー需要家では、カーボンニュートラル施策の実例及び需要家のエネルギー使用状況に沿ったソリューション提案のニーズが多く存在する。特にカーボンニュートラル化の“現実解”として、自家消費を目的とした太陽光発電設備等の脱炭素電源の導入が多くみられるが、太陽光発電設備に代表される変動性電源は天候により発電量が変化する。そのため、需要特性に応じて抑制せざるを得ない場合も生じるなど、脱炭素電源としてのメリットを最大限に活用が出来ているとは言い難い。

そこで、太陽光発電設備や変動を吸収する蓄電池設備等の分散型リソースの機器特性や、ライフサイクルコストを考慮した設備メーカー独自のカーボンニュートラル型エネルギーマネジメント技術を開発した。実際に横浜製作所本牧工場内の共創空間である Yokohama Hardtech Hub (YHH) に太陽光発電設備と蓄電池設備を導入した上で、同技術の機能検証を実施し、当該設備のライフサイクルでの発生コストを基準とした投資回収予測、監視結果に基づく機器制御と設備運用について実設備を用いた検証試験に着手した。2022年度の長期実証試験により、開発機

\*1 カーボンニュートラル推進室、技術戦略推進室 ビジネスインテリジェンス&イノベーション部 副室長、主席部員 技術士(機械部門)

\*2 カーボンニュートラル推進室、技術戦略推進室 ビジネスインテリジェンス&イノベーション部 室長、主席部員

\*3 総合研究所 パワーエレクトロニクス研究部 主席研究員 \*4 総合研究所 パワーエレクトロニクス研究部 主任

能の有効性を確認していく予定である。

## 2. カーボンニュートラル型エネルギーマネジメントの概念と提供価値

カーボンニュートラルの達成を見据え、当社が考える工場等産業分野のエネルギー需要家におけるエネルギーマネジメントの概念と、エネルギーマネジメント技術を活用して生み出されるお客様への提供価値は、以下の通りである。

### 2.1 カーボンニュートラル型エネルギーマネジメントの概念

エネルギー需要家において、需要家内で使用される多種多様なエネルギーのカーボンニュートラルの達成を目的と位置付けた際に、エネルギー供給及び需要に係る設備を上手く“やりくりする”ことは、目的に向かう有効な手段の一つであり、エネルギーマネジメントの本質である。

このカーボンニュートラルを目的とした手段としてのエネルギーマネジメントを、当社として“カーボンニュートラル型エネルギーマネジメント”と定義付けた。その概念は図1に示す通り、3つの要素で構成され、エネルギー需要家のカーボンニュートラル達成へのPDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルを支援するものである。

#### (1) あるべき姿を定める ～適切な目標の策定～

設備管理者及び運用者が設定する脱炭素と経済性の両立条件に従い、その時点で効率良く運用できると予測する“あるべき姿”を設定する。

#### (2) 確りと為す ～的確な制御の実行～

(1)で定めた目標を達成する様に、制御対象となる供給及び需要設備の特性に応じて運転計画を立て、計画に従い制御を実行する。なお、運転計画と制御実行にあたっては、設備メーカーである当社のエネルギー機器に関する知見が反映される。

#### (3) 正しい道に導く ～最適な運用の支援～

(2)の運転計画と制御実行のズレを可視化し、ズレが制御対象設備のライフサイクルコストに与える影響度を加味し、補正する手立てを運用者に提示する。

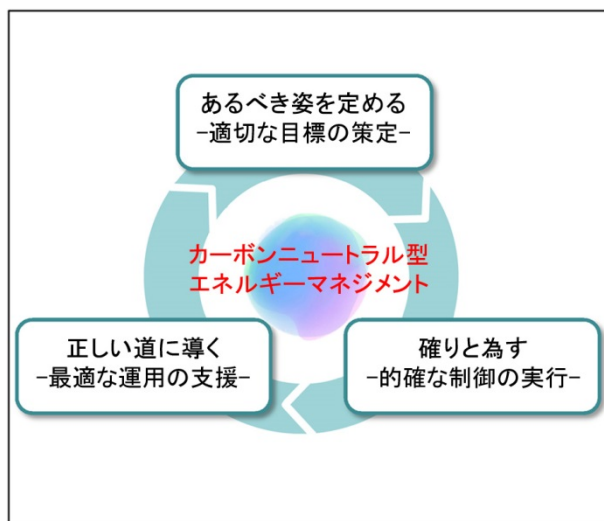


図1 カーボンニュートラル型エネルギーマネジメントの概念

### 2.2 お客様への提供価値

今回開発したエネルギーマネジメント技術をカーボンニュートラル達成の道具として活用し、次に示す価値を最終的にお客様へ提供することを目指している。

#### (1) 設備メーカーの特徴を実装

電力供給設備である自家発電機、冷温熱供給設備である空冷チラー、電熱併給設備であるコージェネレーションシステムなど、当社は、エネルギー供給及び需要の核となる製品及び関連技術を幅広く保有している。これら設備メーカー独自の知見とノウハウを活かし、設備の運

転特性、ライフサイクルコスト及び制御対象機器の多様性を反映した制御アルゴリズムが実装されている。

#### (2) 脱炭素電源設備に対応

需要家におけるカーボンニュートラル達成を目指す際に、自らで管理可能な脱炭素電源としてオンサイトもしくはオフサイトの太陽光発電は必要不可欠な設備となる。また、変動性電源である太陽光の脱炭素電力を需要家内で余すことなく利用するには蓄電池設備の併用も、手段の多様化の観点から有効となる。エネルギーマネジメント技術の開発にあたっては、これらの脱炭素電源設備を実際に導入した上で、機能の有効性を検証し、実用性を兼ね備えたものとしている。

#### (3) シミュレーションにより効果の予実を管理

エネルギー設備を新規に導入もしくは更新する際は、投資対効果を考慮し計画することが一般的であるが、設備導入後は維持運用費のみで運転を判断することが多い。本来、運用環境は計画時から変化するため、環境変化の影響度を随時運転計画に反映していくことが望ましい。本報の開発技術を活用し、変化点から先の状況をシミュレーションにて予想した上で、コストや脱低炭素の効果の実績を管理することで、計画時の投資回収精度を向上することが可能となる。

#### (4) ライフサイクル視点の指標で評価

エネルギー設備において、導入計画時に設定した機器性能や設備利用率を、廃棄時まで維持できることは稀である。また、費用面でも、特に維持運用費は、環境変化により導入計画時からの差異が発生することは容易に想像できる。そこで、或る断面での指標では捉えきれない、経年による機器特性の変化、維持運用費の変動など、ライフサイクルを考慮した指標、代表例として均等化発電原価 LCOE (Levelized Cost Of Electricity) に基づく制御アルゴリズムを開発した。これにより、リアルタイムに指標を更新することで常に最新の状態で全体最適の評価ができる。

### 3. エネルギーマネジメント技術の構成

第2章で述べた通り、設備導入後の運転、エネルギーマネジメントは、維持運用費削減を目的に実施されるのが一般的であるが、カーボンニュートラル達成のためには、脱炭素電源設備を計画通りに“使い倒す”ことが重要となる。本開発ではこれを実現するために、運転判断の指標として、LCOEを導入する。蓄電池設備は一般的に LCOS (Levelized Cost Of Storage) と表記されるが、充電費用等を考慮することで、LCOE と同一の体系で評価可能である。

LCOE を使用したエネルギーマネジメントの流れは以下の通りである。

#### (1) 計画 LCOE 策定 (運転開始前)

設備導入時、運転期間中に予想される燃料費、発電電力量等に基づいて、計画時点の LCOE を算出する。これをライフサイクル視点で達成すべき LCOE と定義する。

#### (2) 実績 LCOE 監視 (運転期間中)

各種設備の発電電力量は、運転方法や環境条件等によって変化する。また、燃料費や電気料金等も市場動向により変化する。これらを逐次反映して実績 LCOE を算出し、計画 LCOE との差異を監視する。

LCOE 予実管理、LCOE に基づく運転シナリオのイメージを図2に示す。LCOE 予実管理では、対象機器の運転開始から現在までの実績 LCOE を計算した後、過去の実績や将来の予測に基づいて、運転シナリオ毎の LCOE を予測する。LCOE に基づく運転シナリオ選択では、原則として機器の予測 LCOE が小さい順に稼働する。その後、運転シナリオ毎に対象機器の将来 LCOE の違いを評価し、将来 LCOE が最適となる運転シナリオを選択する。

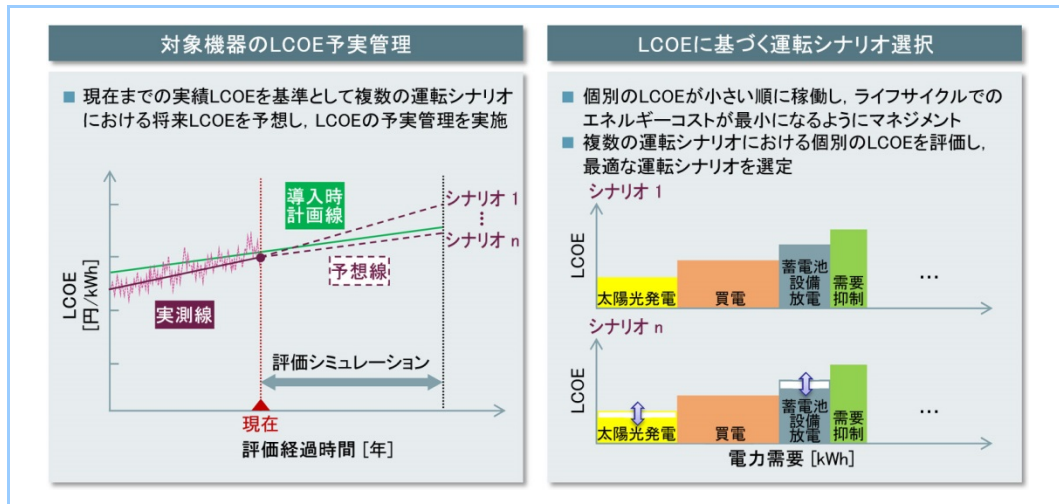


図2 LCOE 予実管理・LCOE に基づく運転シナリオ選択イメージ

対象機器の運転方法は、今回対象とする太陽光発電設備は出力制限、蓄電池設備はピークカット運転、受電電力平準化、余剰電力充電運転等に分類できることから、これらの運転方法を予め運転シナリオとして用意しておき、LCOE 視点で運転シナリオを選択する方針とした。

#### 4. エネルギーマネジメント技術の機能と効用

今回開発したエネルギーマネジメント技術の主要機能のイメージを図3に示す。各機能の概要と効用は以下の通りである。

(1) 太陽光発電の自己消費率向上機能

太陽光の発電電力を最大限利用すべく、受電点の電力を監視し、逆潮流が発生する可能性がある場合には太陽光発電の出力を制限する。

(2) 太陽光発電出力に応じた需要制御機能

太陽光発電電力に合わせて需要機器を制御(引き上げ、引き下げ)する。

(3) エネルギーマネジメント統合機能

蓄電池設備運転(受電電力平準化、ピークカット、余剰電力充電等)と(1)、(2)を組み合わせ、統合的にエネルギーマネジメントを行う。太陽光発電電力や電力需要の予測結果を活用し、LCOE や CO<sub>2</sub> 排出量等の基準をもとに運用制御を行う。また、蓄電設備については、複数の蓄電池設備群に対して劣化状態を揃えることを目的として、充電率や劣化状態に応じて個別に電力変換器を制御する機能も搭載している。

(4) オフサイト発電設備の自己託送機能

2拠点間の自己託送を管理(実証時は仮想)する機能である。太陽光発電電力や電力需要の予測に基づいて自己託送の送電量及び受電量の計画値を作成し、その計画値を遵守するよう 30 分計画値同時同量制御を行う。

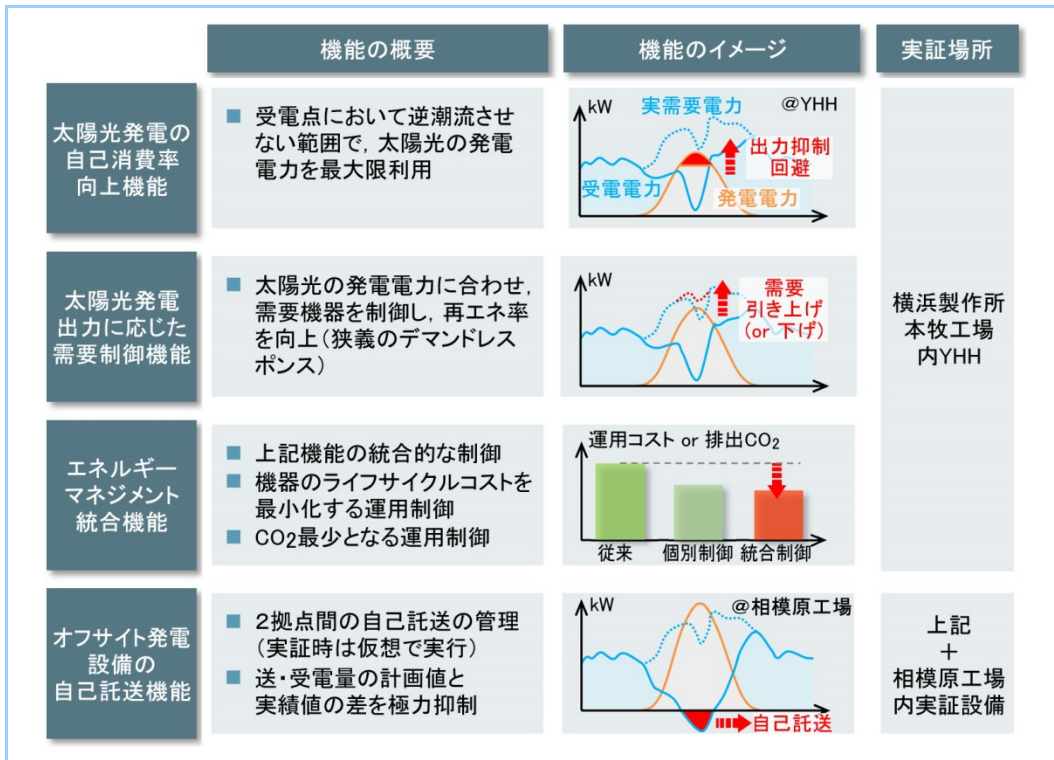
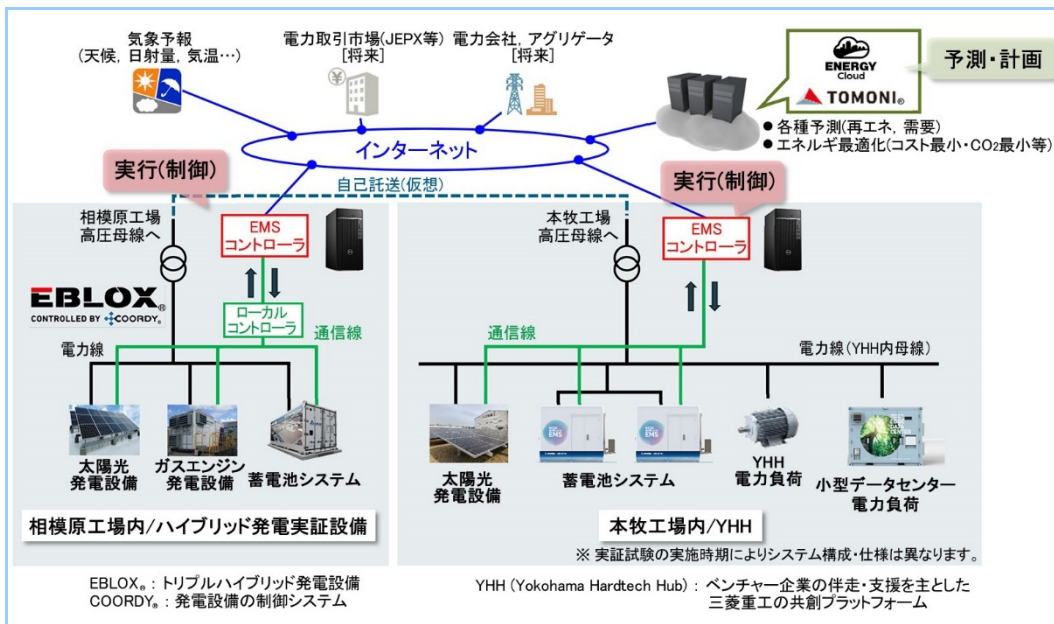


図3 開発したエネルギーマネジメント技術の機能概要

## 5. 実設備を用いた基本機能の検証

第4章で述べたエネルギーマネジメント技術の基本機能を、YHH に設置した実証設備を使用し検証を行った。実証システムの構成を図4に示す。クラウド側システム(TOMONI®)では、当社独自のAI デマンド予測エンジン(ENERGY CLOUD®)を活用し、TOMONI 環境で太陽光発電電力と電力需要の予測を行い、運転計画を立案する。なお、TOMONI はデジタルを活用したエネルギー関連の様々な製品やサービスを集合させた総称であるが、ここでは、それらを支えるシステム基盤を言う。



エッジ側システム(エネルギーマネジメントシステムコントローラ, 以下 EMS コントローラ)は、YHH 及び当社相模原工場内にあるハイブリッド発電設備(EBLOX®)実証設備の2拠点に設置し

ている。YHH には今回、太陽光発電設備、蓄電池設備、及び EMS コントローラー一式を新規導入し、クラウドが立案する運転計画、運転モード選択方針に従って、EMS コントローラーが配下機器の制御を行う。相模原工場にはEMSコントローラーのみを新規導入し、既存のハイブリッド発電実証設備のローカルコントローラーとのインターフェースを構築している。2拠点を TOMONI 経由で連携させることで、YHH・相模原工場間の自己託送を想定した機能を実現している。

実証設備を使用した基本機能の検証結果の一例として、エネルギー管理統合機能の例を図5に、自己託送機能の例を図6に示す。図5のエネルギー管理統合機能では、太陽光発電設備を活用しつつ、蓄電池設備の充放電により電力会社からの購入電力削減が可能なことを確認している。図6の自己託送では、予測結果をもとに作成した受電電力の計画値に対して、誤差分を蓄電池設備が動作して補償することで、限られた時間ではあるが計画値と実績値が良好に一致することを確認している。

これらの基本動作試験を経て 2022 年6月より長期実証試験を開始しており、この中で開発したエネルギー管理技術の性能検証と高度化、及び CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果の見える化を進めていく予定である。

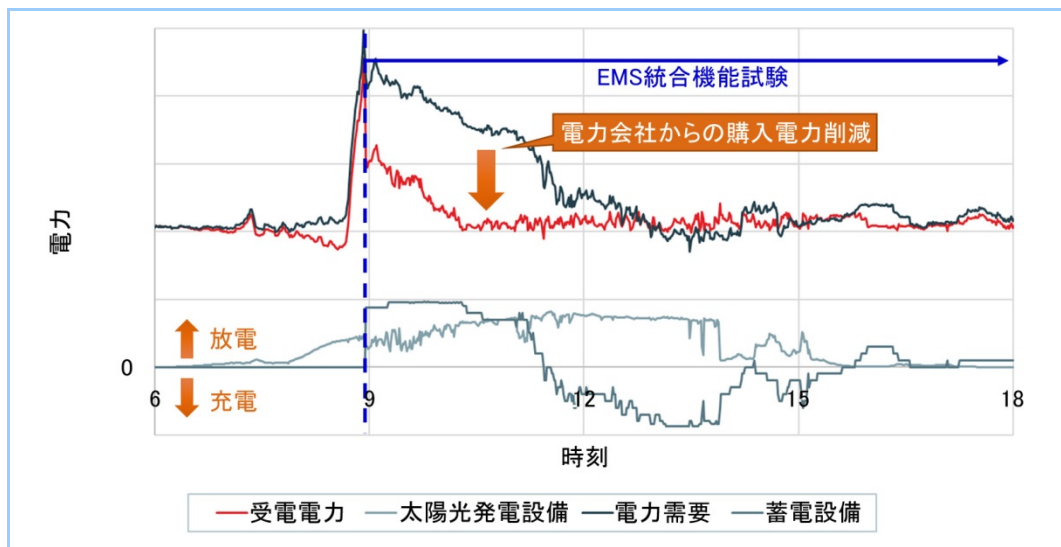


図5 統合機能の検証結果例

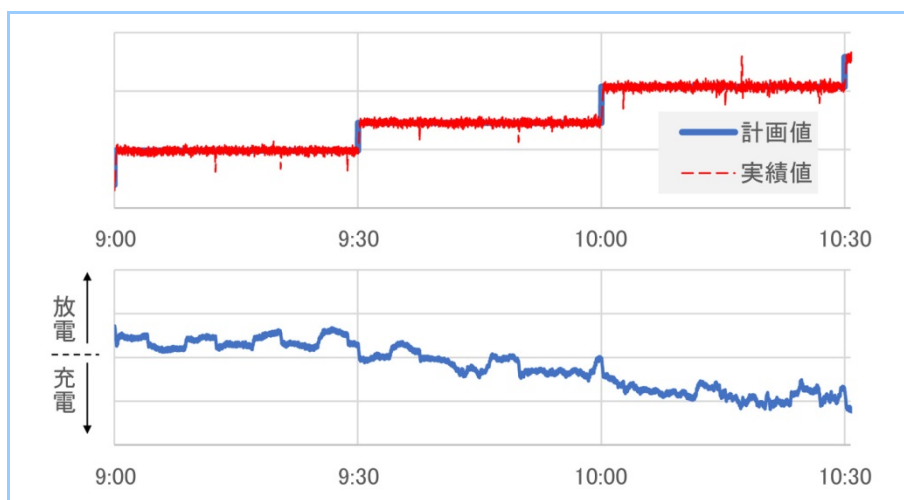


図6 自己託送機能の検証結果例

## 6. まとめ

当社グループは、バリューチェーン全体を通じて脱炭素社会の達成に向け、その一つのツールとなり得るエネルギー管理を、設備メーカー独自の視点で開発を行ってきた。脱炭素電源

の現実解と見られる太陽光発電設備や蓄電池設備等の分散型リソースを、ライフサイクルコストで制御、運用管理することを最大の特徴としており、今現在も長期での評価と予測シミュレーション構築等のロジック高度化を継続して行っている。

本報では、カーボンニュートラルを見据えた際のコアとなる電力系設備を中心としたエネルギーマネジメントを示したが、工場等産業分野のエネルギー需要家においては、冷温熱系の設備も Scope1 のカーボンニュートラルを検討する上では、重要な要素の一つとなる。図7に示す通り、当社は今後、今回開発したエネルギーマネジメント技術を冷温熱系の設備に応用する形で機能拡張し、お客様へのカーボンニュートラル関連のソリューションサービスとして展開していく。

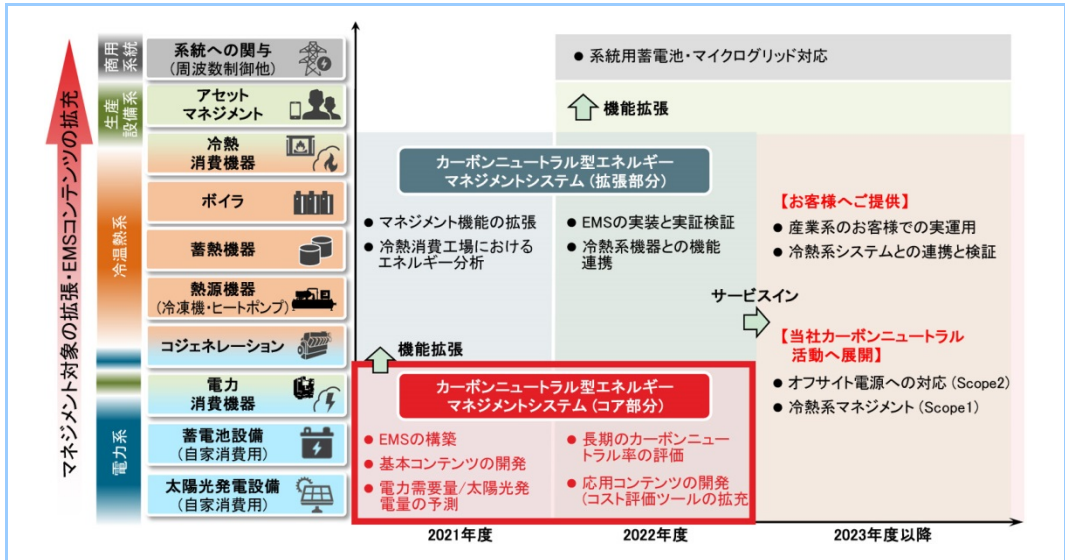


図7 エネルギーマネジメント機能とコンテンツの拡張

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。  
 ENERGY CLOUD<sup>®</sup>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。  
 EBLOX<sup>®</sup>及び COORDY<sup>®</sup>は三菱重工エンジン&ターボチャージャ株式会社の日本における登録商標です。

## 参考文献

- (1) 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<sup>®</sup>、三菱重工技報、Vol.59 No.3 (2022) pp.7-8.
- (2) 彌城祐亮ほか、再生可能エネルギーの有効利用に向けた一手 予測技術とガイダンス機能を用いたエネルギーマネジメント、三菱重工技報、Vol.55 No.4 (2018)
- (3) 若杉一幸ほか、工場デマンドの高精度予測技術の開発、三菱重工技報、Vol.55 No.2 (2018)