

カーボンニュートラルを目指した マルチリージョンEMS

千貫智幸*
Tomoyuki Chinuki
杉山瑛美*
Emi Sugiyama

Energy Management System for Multi-region Digital Power Supply
targeting to Carbon Neutrality

1. ま え が き

昨今、世界全体で脱炭素・カーボンニュートラルを表明する国・企業が続々と増えている。グローバルな取引ではサプライチェーン全体での脱炭素化達成への要請が高まっており、製品の購入契約の条件に製造企業での脱炭素の取組みを課す事例も出てきている。

また、SBT(Science Based Targets)⁽¹⁾やRE100(Renewable Energy 100%)のように各企業の脱炭素に対する取組みを評価する国際的なプロジェクトも存在する。これらプロジェクトへの参加は企業にとっての脱炭素達成のモチベーションになるほか、投資家にとっての参考情報になる。

このような背景の中、多くの企業が工場や建物ごとに脱炭素目標を設定し、再生可能エネルギー(以下“再エネ”という)電力の調達を加速させている。再エネ電力の調達手段としては、拠点内の敷地に再エネ発電を導入して自家消費する方法があるが、拠点内に必ずしも十分な再エネ設置スペースがあるとは限らない。特に国土が限られている日本で大量の再エネを導入できる箇所は限定されており、大規模工場がある拠点内に需要を賄うだけの再エネを導入することは難しい。また、太陽光発電・風力発電などの再エネの発電量は天候・時間帯によって発電量が大きく変わるため、需要に見合うだけの電力を常時安定的に供給できな

いという課題もある。三菱電機はこの“再エネ電源の時間的・空間的偏在性”という課題に注目し、解決策としてマルチリージョンEMS(Energy Management System)を開発している。

マルチリージョンEMSは、各拠点の再エネを含む分散型電源・蓄電池・需要家機器を制御し、再エネの電力を複数の拠点間で融通し合うことで脱炭素目標の達成と経済的な需給運用の実現を両立するためのクラウドサービスである。拠点間の再エネ電力の融通は“自己託送”という国内制度に準拠して行われる。自己託送とは、電力会社が持つ送配電系統網を利用して、自家発電設備による発電電力を自社内の別の需要地点に送電するサービスである。自己託送を行う場合、再エネの出力変動も含めて30分単位の電力の計画を毎日作成・提出し、実需給断面での同時同量監視・制御を24時間実施するなどの業務が発生するが、マルチリージョンEMSはBLEnDer^(注1)電力需給管理パッケージ⁽²⁾を用いてこれらの運用を総合的にサポートする(図1)。

本稿では、マルチリージョンEMSの概要について述べる。また、マルチリージョンEMSのコア技術になる当社が開発した最適化技術についても述べる。

(注1) 電力小売自由化に合わせて当社が開発し、2001年に商標登録、販売を開始した電力市場向けのパッケージ型ソフトウェア製品の総称。

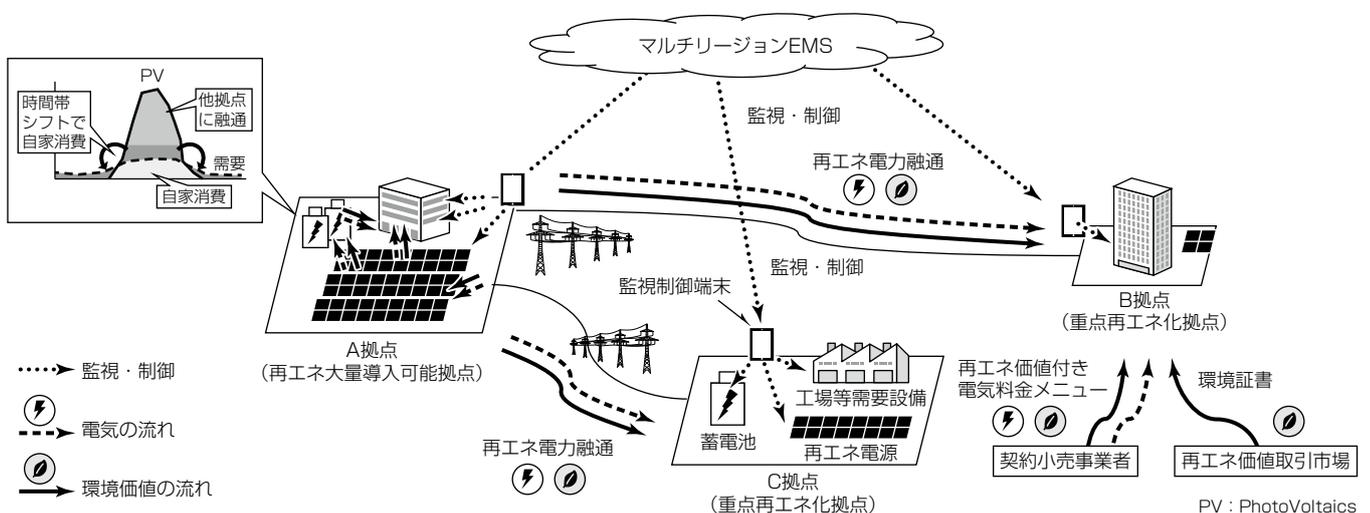


図1. マルチリージョンEMSの概念図

2. マルチリージョンEMS

2.1 システム概要

マルチリージョンEMSは、ある拠点に導入された再エネの発電電力を既存の電力網を通じて別の拠点に融通することで、拠点ごとの脱炭素目標の達成と経済的な需給運用の実現を両立するためのクラウドサービスである。特徴は、電力の需給バランスと環境価値をそれぞれ管理することである。

電力に関しては、将来の再エネ発電量及び需要を予測し、拠点間の電力融通も考慮した上で各拠点の需給バランスを各30分単位で一致させる計画を策定する。30分単位の電力の計画は日々作成し、電力広域的運営推進機関(Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators: OCCTO)に提出する。実需給断面では、発電設備・蓄電池・需要家機器を制御することで同時同量監視制御などの運用業務を24時間実施する。

環境価値に関しては、自己託送による拠点間の再エネ発電電力融通のほか、再エネ価値付き電気メニューの契約や、環境価値取引市場や相対取引からの調達によって得た再エネ価値も活用し脱炭素目標の達成を実現する。また、国際的に認められているRE100, SBT/CDP(Carbon Disclosure Project), 及び日本独自の地球温暖化対策推進法(温対法), エネルギー供給構造高度化法(高度化法)にも準拠しこれら報告の支援も行う。

表1. マルチリージョンEMSを構成するパッケージ一覧

パッケージ名称	概要
CM : Contract Manager	マスタ管理 : 需給運用・環境価値管理に必要な各種契約情報, 各拠点の発電機・蓄電池, 需要等の諸元データを管理する。
LF : Load Forecast	需要予測・再エネ予測 : 気象情報及び需要家ごとの実績を管理し, 拠点ごとの需要負荷の予測及び再エネ発電出力の予測を行う。
PM : Portfolio Manager	需給計画 : 30分コマ単位の同時同量制約, 拠点ごとの脱炭素目標制約, その他各設備の制約条件などを考慮し, コスト最小になる需給計画を策定する。
BP : Business Protocol	計画提出 : ビジネスプロトコルに従って発電・販売計画などをOCCTOに提出する。
BM : Balance Manager	同時同量監視制御 : 需要実績・発電実績を収集し, 計画値同時同量の監視・制御を行う。
RE : Renewable Energy	再エネ管理 : 再エネや蓄電池システムの監視制御・需給制御を行う。
AC : Aggregation Coordinate	分散リソースの集約 : 複数の分散電源リソースの集約的な制御・監視・管理を行う。
CN : Carbon Neutral for Business	需要家向けカーボンニュートラル : 拠点ごとの脱炭素目標を管理し, 目標達成を支援する。
DEP : Digital Energy Platform	デジタルエネジープラットフォーム : プラットフォーム基盤と分散電源用端末から構成される。多数の分散電源の管理・通信連携などを行う。

2.2 システム構成

マルチリージョンEMSは、当社開発のBLENder電力需給管理システムパッケージによって構成される。構成要素となるパッケージ一覧を表1に示す。各拠点の分散電源や蓄電池などの情報はBLENder DEPのプラットフォーム上で管理し、各アプリケーションにデータを連携する。各拠点の機器の監視・制御は拠点内の監視制御端末がBLENder DEPと連携して実施する。

3. マルチリージョンEMSの最適化技術

この章では、マルチリージョンEMSのために当社が開発した“マルチリージョン型デジタル電力最適化技術”について述べる。この最適化技術では、複数拠点間での再エネ由来の電力の融通、各拠点の分散型電源・蓄電池の運用及び環境価値証書の購入に関する計画を最適化する。マルチリージョンEMSの制御方式には、中央集中制御方式と自律分散制御方式の二つがあり、最適化問題の定式化が異なる。中央集中制御方式は、自社内の複数拠点を一括管理して需給運用や脱炭素目標策定を行う場合に適用される。自律分散制御方式は、採算が独立した自社内の拠点間で電力融通を行う場合に適用される。

3.1 中央集中制御方式での最適化

この制御方式では、各拠点の設備情報や脱炭素目標を考慮した上で、全拠点の合計コストが最小となるように拠点間融通計画、各発電設備・各蓄電池の出力計画、及び需要予測計画などを策定する。各拠点はマルチリージョンEMSが策定した計画に基づいて需給運用を行う。環境価値取引市場や相対取引を通じた環境証書の売買は運用者が一括集約して行った上で、各拠点に証書を配分する。中央集中制御方式の概念図を図2に示す。

この制御方式での最適化問題の目的関数は、発電機コスト、自己託送にかかる託送料金、小売事業者からの購入電力料金、再エネ価値市場等からの環境証書購入コストの全拠点合算値である。目的関数を式(1)に示す。

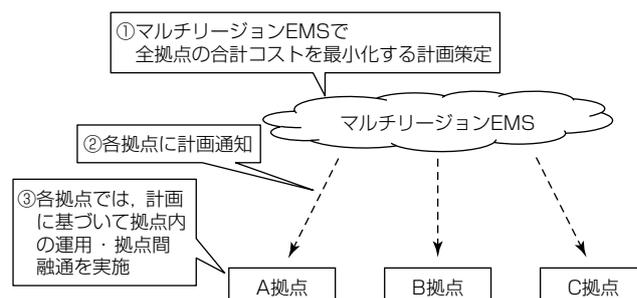


図2. 中央集中制御方式の概念図

なお、マルチリージョンEMSでは蓄電池に貯められている再エネ電源由来の電力量と非再エネ電源由来の電力量を分けて管理し、蓄電池内の再エネ価値の保持・移転も計画や実績に反映する。

ある拠点での環境価値目標に関する制約は式(2)によって表される。式(2)左辺によって表される環境価値の取得量が、式(2)右辺によって表される対象期間中(通常は年間)の需要に再エネ目標比率を掛けた値を上回ることが条件となる。式(2)左辺は、自拠点内の再エネ発電によって得られる環境価値、環境価値付き電力の蓄電池充放電による得失、他拠点からの融通によって得た(又は他拠点に受け渡した)環境価値、小売事業者からの電気料金メニューから得た環境価値の和から成る。

その他の制約条件としては、拠点ごと・30分コマごとの需給バランス制約、発電機の運用制約、蓄電池の運用制約・容量制約などが挙げられる。

式(1)、式(2)での各変数の説明は次のとおりである。なお、電力量はどれも30分コマ単位の量である。

- N_{site} : マルチリージョンEMSの管理対象拠点の数
- t_{end} : 演算対象時間の30分コマ数
- N_{gen}/N_{bat} : 拠点内の発電機数/蓄電池数
- N_{CER} : マルチリージョンEMSで扱う環境証書の種別数

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize 全拠点の合計コスト} \\
 & = \sum_{s=1}^{N_{site}} \left\{ \sum_{t=1}^{t_{end}} \left\{ \sum_{i=1}^{N_{gen,s}} (\text{発電単価}_{i,t,s} \cdot \text{発電電力量}_{i,t,s}) \right. \right. \\
 & + \left. \left. \begin{aligned} & \text{託送料金}_t \cdot \text{他拠点からの融通電力量}_{t,s} \\ & + \text{購入電力料金単価}_{t,s} \cdot \text{購入電力量}_{t,s} \end{aligned} \right\} \right. \\
 & + \left. \sum_{j=1}^{N_{CER,s}} (\text{環境証書単価}_j \cdot (\text{環境証書の購入量}_{j,s} \right. \\
 & \left. \left. - \text{環境証書の売却量}_{j,s})) \right\} \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{t=1}^{t_{end}} \left\{ \sum_{i=1}^{N_{gen}} (\text{発電電力中の再エネ比率}_{i,t} \cdot \text{発電電力量}_{i,t}) \right. \\
 & + \sum_{j=1}^{N_{bats}} \left(\begin{aligned} & \text{放電電力量のうち再エネ発電由来分}_{j,t} \\ & - \text{充電電力量のうち再エネ発電由来分}_{j,t} \end{aligned} \right) \\
 & + \text{他拠点からの融通電力量のうち再エネ発電由来分}_t \\
 & - \text{他拠点への融通電力量のうち再エネ発電由来分}_t \\
 & + \left. \begin{aligned} & \text{購入電力中の再エネ比率}_t \cdot \text{購入電力量}_t \\ & + \sum_{j=1}^{N_{CER}} (\text{環境証書の購入量}_j - \text{環境証書の売却量}_j) \end{aligned} \right\} \\
 & \geq \text{再エネ目標比率} \cdot \sum_{t=1}^{t_{end}} (\text{需要予測値}_t) \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

3.2 自律分散制御方式での最適化

この制御方式では、拠点内の電力及び環境価値の調達コストが最小化になるような計画を拠点ごとに策定する。具体的には、拠点内の発電設備・蓄電池の出力計画、及び需要予測計画を策定するとともに、他拠点への融通希望量(又は他拠点からの融通希望量)、融通希望単価、融通希望時間帯を算出する。次に、マルチリージョンEMSは各拠点からの融通希望情報を突き合わせ、融通を送る拠点と融通を受ける拠点のニーズがマッチングした場合には、拠点間の融通計画を策定し各拠点に通知する。各拠点では融通計画を踏まえて拠点内の需給計画を修正する。環境価値取引市場や相対取引を通じた環境証書の売買は各拠点で行う。自律分散制御方式の概念図を図3に示す。

各拠点は融通希望のマッチング前後で、それぞれ拠点内のコストを最小化する計画を策定する。ある拠点での約定結果通知後の計画策定での目的関数は式(3)のとおりである。

中央集中制御方式での目的関数との違いとして、各拠点が他拠点との電力融通費用を考慮してコストを最小化する

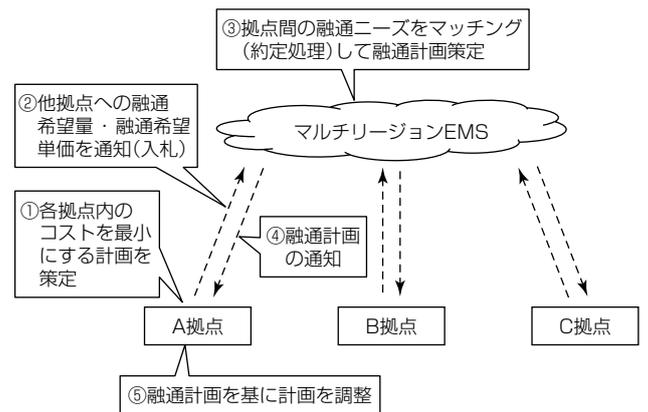


図3. 自律分散制御方式の概念図

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize 拠点内のコスト} \\
 & = \sum_{t=1}^{t_{end}} \left\{ \sum_{i=1}^{N_{gen}} (\text{発電単価}_{i,t} \cdot \text{発電電力量}_{i,t}) \right. \\
 & + \text{託送料金}_t \cdot \text{他拠点からの融通電力量}_t \\
 & + \sum_{r=1}^{N_{route}} \left\{ \begin{aligned} & \text{再エネ電力融通単価}_{r,t} \cdot \\ & \text{他拠点との再エネ電力融通量}_{r,t} \end{aligned} \right. \\
 & + \left. \begin{aligned} & \text{非再エネ電力融通単価}_{r,t} \cdot \\ & \text{他拠点との非再エネ電力融通量}_{r,t} \end{aligned} \right\} \\
 & + \left. \begin{aligned} & \text{購入電力料金単価}_t \cdot \text{購入電力量}_t \\ & + \sum_{j=1}^{N_{CER}} (\text{環境証書単価}_j \cdot (\text{環境証書の購入量}_j \right. \\ & \left. \left. - \text{環境証書の売却量}_j)) \right\} \dots\dots\dots (3)
 \end{aligned}
 \right.
 \end{aligned}$$

計画を策定することが挙げられる。なお、マルチリージョンEMSが策定する拠点間融通計画では、再エネ電力の融通と非再エネ電力の融通とで異なる融通単価が設定されることを想定している。

制約条件及び変数の定義は、中央集約制御方式と同等である。なお、 N_{route} は他拠点への融通経路の数を示す。

4. マルチリージョンEMSでの環境価値管理業務

この章では、企業内の各拠点の脱炭素目標達成のためにマルチリージョンEMSを活用した場合の環境価値管理業務フローについて述べる。制御方式としては、3.1節の中央集中制御方式を適用することを想定する。

環境価値管理の業務フローを図4に示す。環境価値目標は現行制度では年間単位で管理するため、業務を年度開始前、年度中、年度終了後に分けている。

(1) 対象年度開始前

企業の環境価値担当者は、まず年度単位の脱炭素目標を設定してマルチリージョンEMSに登録する。目標には、年間の総需要電力量のうち再エネ電力量の割合を示す“再エネ比率目標”と、消費電力をCO₂に換算したときの“前年度からのCO₂排出量削減目標”の2種類があり、それぞれ設定可能である。

その後、各拠点の脱炭素目標を考慮して、マルチリージョンEMSが年間単位のコストを最小化する需給計画を策定する(3.1節)。なお、策定した各拠点の需給計画は30分ごとの同時同量制約を満たす。

次に、需給計画を基に環境価値証書の購入計画を決定する。購入対象の証書は、国内で扱われている非化石証書、Jクレジット、グリーン電力証書の3種類である。なお、これらの計画策定業務は年度開始後も最新の実績データを基に繰り返し計画策定を実施する。

(2) 対象年度中

脱炭素目標を設定した対象年度が始まると、卸電力市場への入札、計画提出、監視・制御などの需給運用業務をマルチリージョンEMSを通じて行う。

実績データの値によっては当初の計画よりも需要や再エネの発電量が増減し、これによって環境証書の必要量も変化する可能性がある。マルチリージョンEMSでは、計画と実績の際に起因した環境証書必要量の変化を監視し、変化量があらかじめ決めたましい値を超えた場合にはアラートを上げ、企業の運用者に環境証書の追加購入や売却を促す。環境証書の調達状況や残りの購入必要量はシステムを通じて確認できる。

(3) 対象年度終了後

対象年度の実績データが全て集まった後は、各拠点の目標達成計画を画面で確認できる。マルチリージョンEMSは年度の結果を踏まえて各拠点に証書を配分する。また、各種制度の報告に活用可能なレポートを出力する。

5. むすび

本稿では、当社が開発しているマルチリージョンEMS及びそのコア技術になる“マルチリージョン型デジタル電力最適化技術”について報告した。マルチリージョンEMSは、脱炭素化の社会的ニーズと“再エネ電源の時間的・空間的偏在性”という課題に対するソリューションである。拠点間での再エネ電力融通によって脱炭素目標の達成と経済的な需給運用の実現を両立する。また、マルチリージョンEMSによる拠点間の再エネ融通は、自社内の拠点間の電力・環境価値融通だけでなく企業間の融通にも適用できる。

脱炭素化に向けた世界的なニーズが日々高まり、実事業や企業評価にも影響が拡大しつつある中で、この概念及びこのシステムが各企業の脱炭素化の取組みの一助となると当社は考える。

参考文献

- (1) From Ambition to Impact: How Companies are Reducing Emissions at Scale with Science-Based Targets (Science Based Targets initiative Annual Progress Report 2020) (2021)
- (2) Power systems ICT solution "BLEnDer", Mitsubishi Electric Corporation
<https://www.MitsubishiElectric.co.jp/ictpowersystem/business/solution1.html>

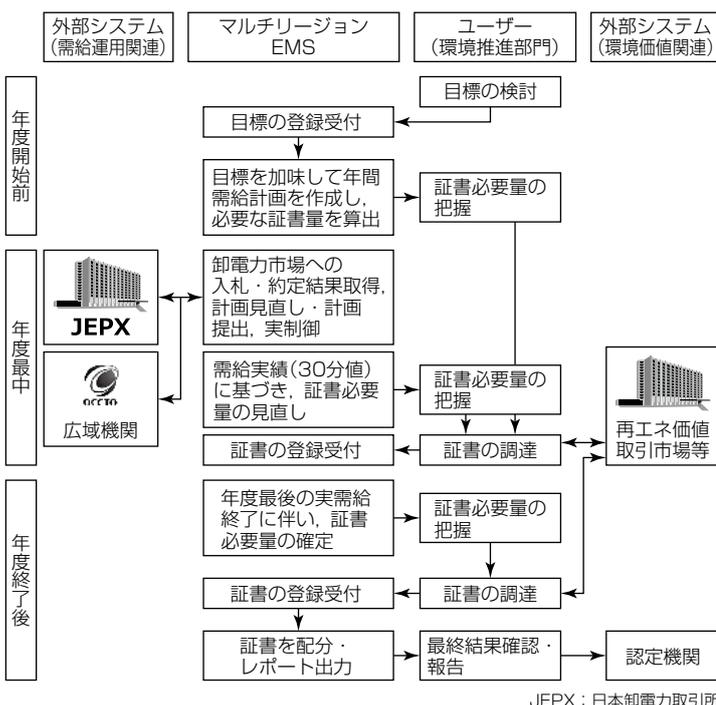


図4. 環境価値管理の業務フロー