

需要家エネルギーを最適化するsEMSA®

Energy Management System (sEMSA®) Achieving Energy Cost Minimization

堀 広生*
Hiroo Hori

石垣 圭久
Yoshihisa Ishigaki

木村 恵敬
Yoshitaka Kimura

チャン スン マイ
Tran Xuan Mai

尾崎 智也
Tomoya Ozaki

横瀬 誉実
Takami Yokose

近年、分散電源の普及と2016年度の電力自由化などのエネルギー政策に伴い、EMS (Energy Management System) が普及し、さらに、地域全体の電力需給調整とも連携が進んできている。当社は、工場向けEMS (sEMSA®) を開発し、2014年度の横浜製作所とN社製作所での実証を経て、2015年度製品化を準備中である。当社が開発したsEMSA®は、数理計画法を用いた最適な運用計画と、実時間をベースとする動的再配分制御の技術の特徴とする。さらに、デマンドレスポンス信号を全自動で最適な運用計画に取り込み、最適性を維持しつつ受電電力の引き下げが可能である。本稿では、sEMSA®の概要、および横浜製作所とN社製作所の実証結果について報告する。

We have developed an energy management system “sEMSA®,” which optimally controls multiple power sources based on mathematical programming in customer premises. sEMSA® realizes energy cost minimization by newly developed “optimal planning of power sources” and “real time control.” In addition, this system automatically regulates grid incoming power corresponding to the power company’s demand requests. We have completed field tests of sEMSA® at Sumitomo Electric Yokohama Works and another company’s factory. sEMSA® for factory use will be released in 2015.

キーワード：数理計画法、デマンドレスポンス、蓄電池、発電機、太陽光発電 (PV)

1. 緒言

近年、再生可能エネルギーをはじめとした分散電源の普及やエネルギー政策、さらに、デマンドレスポンスによる地域全体の電力需給調整の進展により、分散電源の効率的な運用の必要性が高まっている。

当社では、複数かつ異種の分散電源を最適に制御し、デマンドレスポンスにも自動対応を可能としたエネルギーマネジメントシステム (sEMSA®) を開発した。図1にsEMSA®概要を示す。

sEMSA®は、独自の需要予測・太陽光発電予測をもとに、

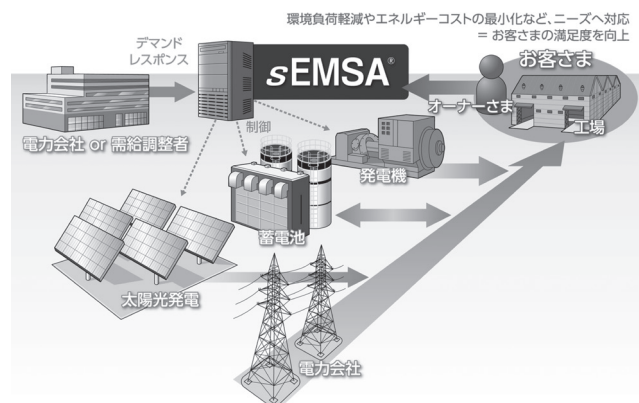


図1 sEMSA概要図

数理計画法を活用することで分散電源の最適な運用計画を48時間先まで立案する。計画の時間粒度を10分と一般的な30分のデマンド時限に対して短く設定していることで高精度な計画が立案されるだけでなく、計画立案の周期も10分を実現しており、高頻度に計算をやり直すことで予測の誤差による影響に対して頑健な仕組みとなっている。さらに、秒オーダーで受電点を監視し、計画を加味した上でフィードバック制御する独自技術の動的再配分制御 (DRC: Dynamic Reallocation Control) によって、30分デマンドの超過防止、デマンドレスポンスによる受電電力の削減に高精度で対応する。sEMSA®は、この最適運用計画機能と、動的再配分制御の特徴とする。

当社では、2014年度に当社横浜製作所と、導入されている分散電源、および電力需給契約が異なるN社製作所の2地点でsEMSA®を導入、検証し、連続自動運転と有効性を確認した。本稿では、sEMSAの概要、当社横浜製作所とN社製作所における検証結果について報告する。

2. sEMSA®開発指針

sEMSA®は、図2に示す住友電工EMSアーキテクチャに基づいて開発している。

住友電工EMSアーキテクチャは、EMSに必要な要素を5階層に分類し、階層間のインターフェースを定義することにより、各層間を独立させている。

sEMSA[®]は、住友電工EMSアーキテクチャに従って開発し、各層の多数のソフトを部品として品揃え可能とすることで多様な顧客ニーズに迅速、かつ低コストで対応可能な“EMSソフトパッケージ”とした。

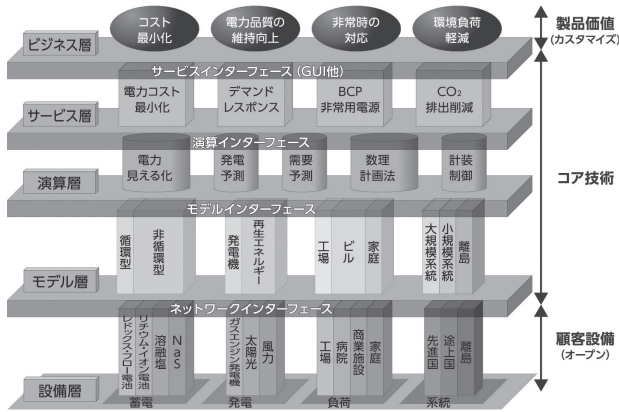


図2 住友電工EMSアーキテクチャ

3. sEMSA[®]制御機能

3-1 構成

sEMSA[®]は、顧客の望む条件を満たしながら発電機/蓄電池をはじめとした分散電源を最適に制御するシステムである。

分散電源とsEMSA[®]はMELSECNET/HやFL-netといった産業用ネットワークによって接続され、各種情報の収集と制御を実現している。収集した情報はWebブラウザベースのGUIによってリアルタイムやヒストリカルのトレンドとして表示し見える化を行う(図3)。

また、収集し蓄積された自然エネルギーの発電実績や気象情報実績、電力需要実績等をベースに発電予測と需要予測を行う。これら予測情報と収集した分散電源の現在状態などの種々の情報に基づいて、分散電源の運用計画を立案する。こ

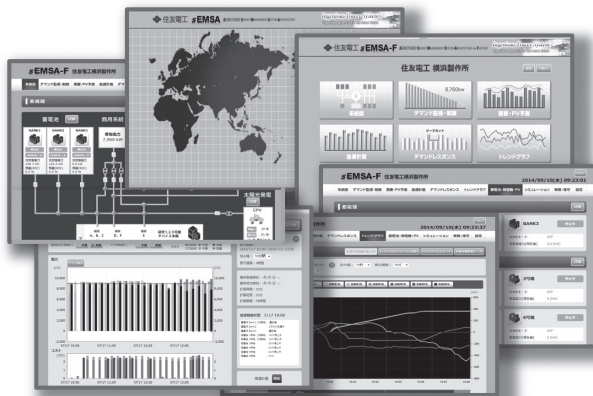


図3 sEMSA GUI画面イメージ

の運用計画の立案は、数理計画法を用いることで、顧客の望む条件を最適に満たしていることが数学的に保証される。最後に、立案された計画と収集された分散電源の現在状態や予測と実績の乖離などを加味して分散電源に対する制御指令値を決定する。決定した制御指令値は産業用ネットワークを介して、分散電源に設定される。図4にsEMSA[®]システム構成を示す。

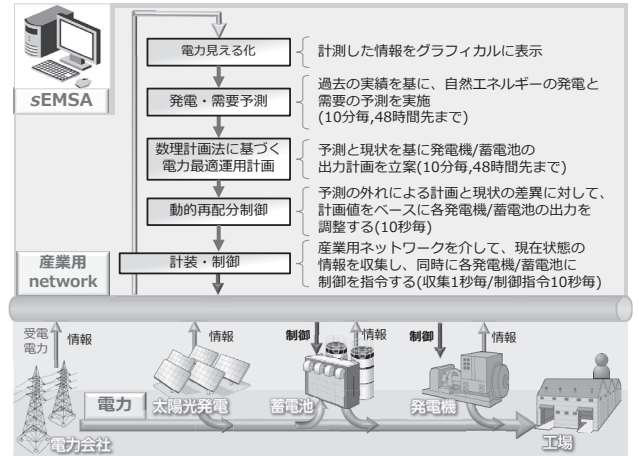


図4 sEMSA システム構成

3-2 太陽光発電・電力需要予測

太陽光発電予測は、過去の発電電力と計測した気象情報、および気象予測情報から太陽光発電による未来の発電電力を予測する機能である。

電力需要予測は、過去の電力需要と計測した気象情報、および気象予測情報から未来の電力需要を予測する機能である。

太陽光発電・電力需要予測の予測周期・予測の時間粒度・予測期間を表1に示す。太陽光発電・電力需要予測の予測周期・予測の時間粒度・予測期間は最適運用計画のそれと同一タイミングである。

表1 太陽光発電・電力需要予測の周期・粒度・期間

項目	sEMSA [®] の仕様
予測周期	10分
予測の時間粒度	10分
予測期間	48時間

sEMSA[®]では、10分毎に予測を実施し直すことで、予測と実績との差、つまり予測誤差を低減し、高精度な制御を実現している。図5に、予測/計画立案の周期が12時間である既存EMSとsEMSA[®]の電力需要予測の予測誤差について推移を例示する。

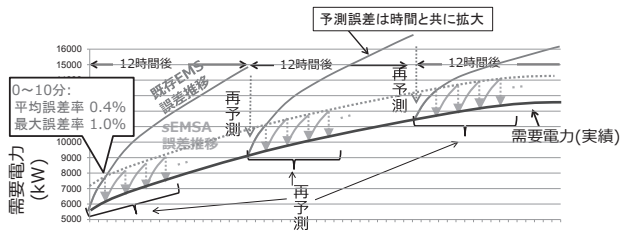


図5 既存EMSとsEMSA®の電力需要予測の予測誤差推移

3-3 最適運用計画機能

最適運用計画機能は、発電機や蓄電池などの制御対象である分散電源の起動停止および出力値について最適な運用計画を立案する機能である。立案される計画は時間粒度10分で48時間先までであり、10分毎に再計算される。計画立案にあたっては、電力需要予測や太陽光発電予測を用いて電力の需給バランス、制御対象設備の特性、電力およびガスの需給契約を制約とし、制御対象設備の起動停止状態および出力値を、需要家のコストが最小となるように決定する。以下に最適運用計画機能で扱う最適化問題を示す。

【目的関数】

minimize : コスト

【制御変数】

- ・制御対象分散電源の起動停止状態と出力値

【制約条件】

- ・電力需給バランス制約
- ・制御対象分散電源の出力上下限制約
- ・制御対象分散電源のメンテナンスコスト制約
- ・発電機の出力変化率上下限制約と燃料消費量制約
- ・蓄電池の充電残量制約と充放電効率制約
- ・買電電力上限制約

本機能にて立案した計画例を図6に示す。買電、分散電源による発電をソース別に表現した積み上げグラフであり、グラフの上端は需要電力を示している。蓄電池によるピークシ

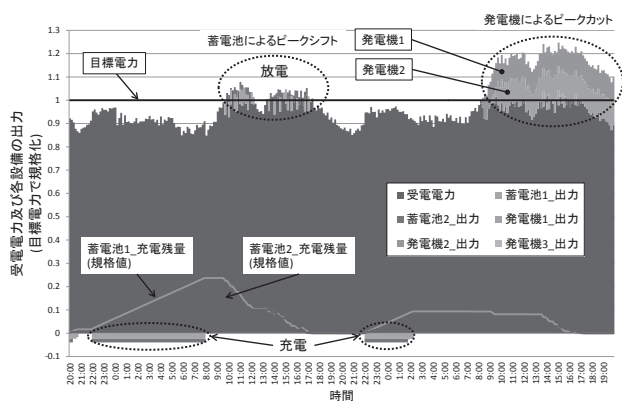


図6 最適運用計画機能による計画例

フト運転と発電機によるピークカット運転により、買電電力が目標電力以下となる運用計画が立案されている。また、図6は、発電機の発電単価が買電単価よりも相当に高い条件であるため、蓄電池のみで需要を満たせない時間にのみ発電機を運転する計画となっている。

3-4 動的再配分制御

最適運用計画機能が立案した計画そのままに分散電源を制御すると、2つの問題がある。1つは、計画の時間粒度が10分であるため10分以下の状況の変化や要求に対応できない。もう1つは、計画はあくまで需要と自然エネルギーの予測に基づいて立案されるため、予測が外れた場合に所期の目標を達することができない。動的再配分制御はこれら問題点を補う仕組みである。動的再配分制御は計画の粒度である10分に対してより短時間である10秒を制御周期とし、先に述べたような状況の変化や予測の外れを補償するように分散電源の出力を調整し、制御指令値を決定する。図7に予想/最適運用計画とDRC実行周期を示す。

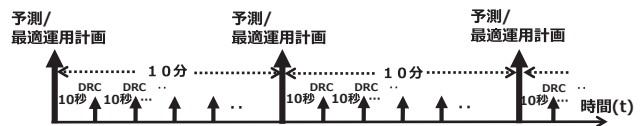


図7 予測/最適運用計画とDRC実行周期

分散電源の出力調整に際しては、計画や予測の外れ具合と、各分散電源の発電コスト等の設備特性を勘案する。さらに、必要に応じて、計画で予定されていなかった分散電源の起動を実施する。この動的再配分制御を最適運用計画と組み合わせることによって、受電電力を自在に所望の有りに制御することが可能となる。

4. sEMSA® 拡張機能

4-1 デマンドレスポンス機能

デマンドレスポンス (DR) とは、電力会社が供給する電力の逼迫時にデマンドレスポンスを発令し、それを受けた需要家が節電や自家発電等によって系統からの受電電力を削減し需給バランスを調整する仕組みである。

当社は、2014年度、横浜製作所に設置されているガス発電機 (4MW) に加えて、レドックスフロー (RF) 電池 (1MW、5MWh)、および集光型PV (100kW) の分散電源を制御するsEMSA®を導入し、需要家として、経済産業省が支援するDRの実証事業に参加した。図8に本DR実証のシステム構成を示す。

本DR実証では、sEMSA®を用いた全自動運転により、以下の制御を正確に実行できることを確認した。

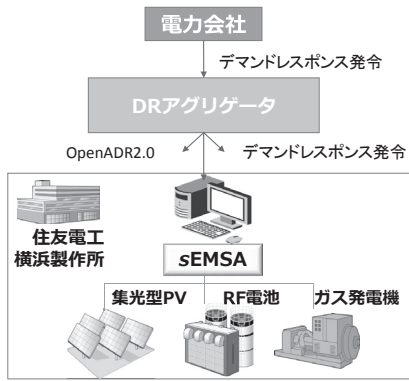


図8 DR実証システムの構成

- ①DRアグリゲータからのOpenADR2.0*1によるDR信号の受信
- ②DR信号受信後、即座にアグリゲータと契約した受電電力の削減量を制約条件とした設備の運転計画の立案
- ③コスト最小化しつつ、受電電力の削減量の堅守

図9に、sEMSAが実際にDR信号を受信し、受電電力を削減した結果を示す。

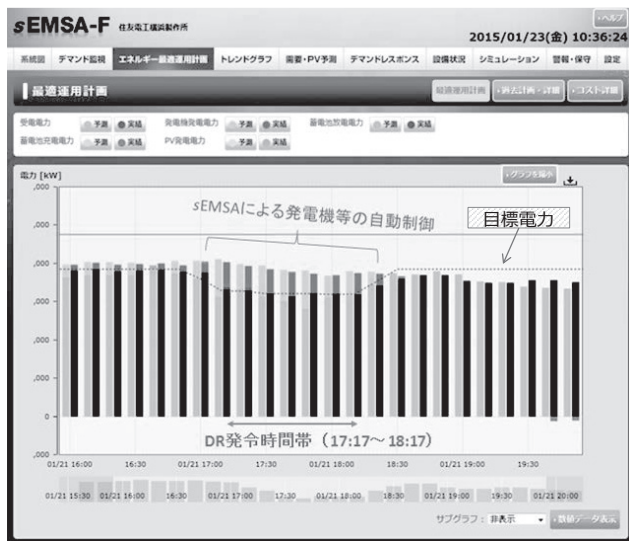


図9 DR発令により受電電力を削減したsEMSA®

4-2 契約電力検討支援機能

sEMSA®は、与えられた契約電力のもと、エネルギーコストが最小となるように分散電源を制御するが、需要家の更なるエネルギーコスト削減には、最適な契約電力を検討し、電力需給契約を見直す必要がある。そこで、契約電力検討支援機能により、sEMSA®に蓄積された年間の電力需要データ、電気・燃料料金情報、分散電源の各種情報を用いて、契約電

力を変更した場合の年間エネルギーコストの変化についてのシミュレーションを可能とした。

図10は、シミュレーション結果の契約電力と年間エネルギーコストの関係を求めた例である。これにより需要家は、エネルギーコストが極小となる契約電力、および常用する発電機の台数や用途を検討する。

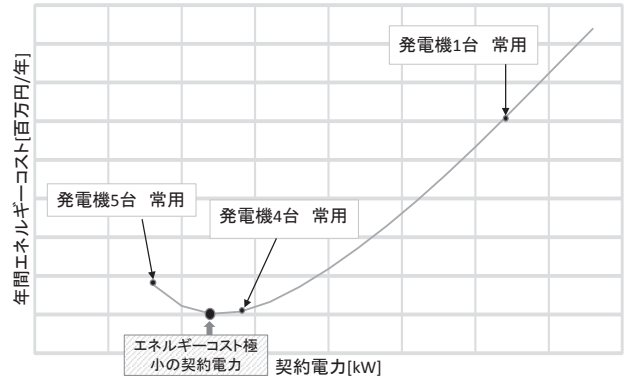


図10 エネルギーコストと契約電力の関係

5. 開発プラットフォーム

sEMSA®は、特定の設備のためのEMSではなく、また需要家の設備は多種多様である。そのため、個別需要家向けのカスタマイズやシステム検証を実設備ではなく、仮想環境で実施できると好都合である。そこで当社は、図2のアーキテクチャにおけるネットワークインターフェース以下の設備層をエミュレートする設備エミュレータ(図11)を開発した。

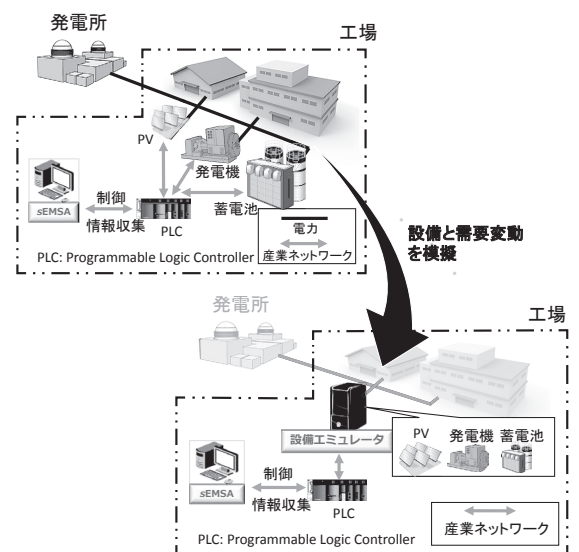


図11 設備と需要変動を模擬する設備エミュレータ

この設備エミュレータは、急激な需要変動などの需要家側の環境や分散電源の故障なども忠実に再現することができることに加え、MELSECNET/H、FL-netなど複数の産業用ネットワークもサポートすることで、多種多様な条件を模擬するプラットフォームとなっている。sEMSA[®]からは設備エミュレータは実際の設備と同一に見える。

このプラットフォームでsEMSA[®]の開発を進め、様々な環境におけるsEMSA[®]の有効性を検証した。

6. 実証結果

6-1 横浜製作所実証

横浜製作所における、受電一定制御とsEMSA[®]による制御の比較試験の結果について述べる。横浜製作所の分散電源の構成を表2に示す。

表2 横浜製作所の分散電源の構成

設備	種類	出力・容量
蓄電装置	レドックスフロー電池	500kW (2500kWh) 1台 250kW (1250kWh) 2台
太陽光	集光型化合物	100kW 1台
発電機	コージェネレーション	648kW 6台

受電一定制御は、従来から使用されている発電機の制御手法である。受電電力が目標電力を一定時間超過した場合に発電機を1台ずつ起動し、受電電力が目標とする電力以下の場合に1台ずつ停止させる起動停止制御と、受電電力を目標とする電力に保つために起動中発電機の出力を調整するフィードバック制御が行われる。但し、それぞれの発電機は連携しておらず、独立して自立制御が行われる。

前項で述べた開発プラットフォームによって横浜製作所を模擬した環境において、比較試験を行った。試験条件は、夏期平日の3日間における電力需要に対し、分散電源として発電機3台を制御対象とした。また、発電機の発電単価は買電単価よりも相当に高いものとする。比較結果を図12に示す。図12において、受電一定制御に対しsEMSA[®]による制御では、発電機の不要な発停が抑制されたほか、より契約電力に近い電力まで受電電力を活用している。これは発電機の発電単価が高いため、発電機の出力電力を最小に運用しているためである。

以上より、効率の良い電力制御が行われていることが確認できる。この結果、従量料金は約2万円/日低減され、夏季の平日を約64日と仮定すると、約128万円/年のコストメリットが得られる計算となる。加えて、sEMSA[®]の制御では、従来の受電一定制御に比して、契約電力を超過しないように設けていた、契約電力に対する受電目標電力のマージンを縮小とすることができるため、更なる契約電力の引き下げ

が可能であることや、発電機の起動回数抑制による固定費の低減も見込むことが可能である。

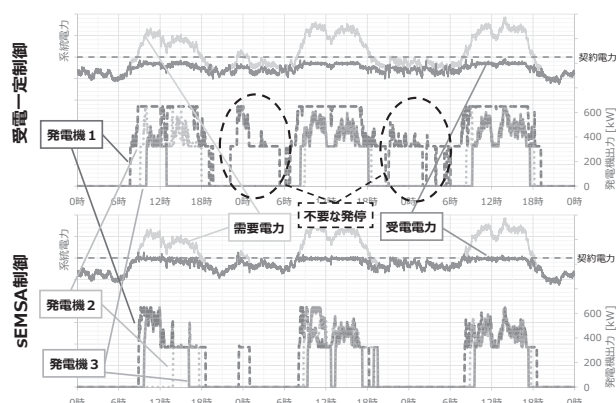


図12 発電機制御手法の比較試験結果

6-2 N社製作所実証

2015年1月にN社製作所にsEMSA[®]を導入した結果について述べる。N社製作所の分散電源の構成を表3に示す。

表3 N社製作所の分散電源の構成

設備	種類	出力・容量
蓄電装置	Liイオン電池	250kW (96kWh) 1台
太陽光	多結晶シリコン	500kW 1台
発電機	コージェネレーション	700kW 1台

実証を行った時期のN社製作所の電力需要は、最大1800kW程度であり、太陽光発電の発電で賄える割合が非常に大きい特徴がある。

今回の実証では、sEMSA[®]の制御によって出力調整が難しい再生可能エネルギーを最大限に有効活用しつつ、ピークカット(最大受電電力1300kW)の実施と、逆流を防止するために最小受電電力100kWという制限を設けながら、Liイオン電池と発電機の運用によってエネルギーコストを最小化できることを確認した。

図13は2015年1月22日(木)に蓄電池と発電機に対して時間によるパターン運転を実施したものと2015年1月29日(金)にsEMSA[®]による自動制御を実施した場合の結果である。この2日を比較対象とした理由は、PVの発電電力に違いがあるが、電力需要の値、形状が似通っているものだったためである。

パターン運転では発電機を9:00に起動、18:30に停止とし、発電機の停止後30分間および起動前30分間に蓄電池を

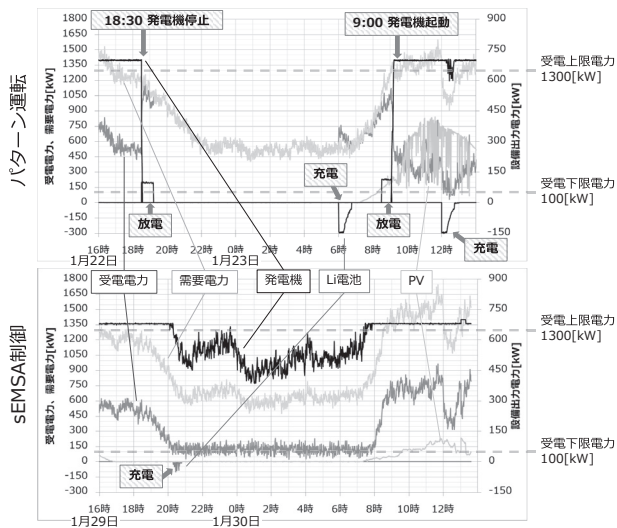


図13 N社製作所sEMSA制御結果

放電している。sEMSA[®]による制御では発電機を一度も停止せず、受電電力が設定された下限値を下回らないよう出力を動的に調整し、蓄電池は受電電力が下限を下回る可能性のある場面にて、充電を実施している。

sEMSA[®]による制御結果がパターン運転と異なる理由は、発電機については、発電機による発電単価が系統電力からの買電単価よりも約1.25円/kWh安い条件であったことから、発電機の発電電力量を最大にすることでエネルギーコストを最小にできると判断し、可能な限り停止させずに運転を継続させる方策を選択したことによる。この方策による効果を計算すると、パターン運転が発電機を停止させた夜間(18:30~9:00)にsEMSA[®]によって発電機が出力した発電電力量は8055kWhであり、同量を系統電力から買電したケースと比べ、エネルギーコストの削減量は1万円強となった。

蓄電池の運用については、パターン運転では発電機の起動/停止の際の受電電力変化を抑制するように発電機の補助システムとして使用しているのに対し、sEMSA[®]では、まず充放電コストを考え充放電を必要最小限に抑える方策を選択している。ただし、蓄電池が発電機と異なり応答が速い特徴を活かして、受電電力が下限値以下になることを防ぐ場面において発電機の応答の遅さをサポートするための充電を行っている。このことは、パターン運転が発電機と蓄電池を共に同じ電力を出力するだけの装置として使用していることに対し、sEMSA[®]は異種の設備に対してそれぞれの特徴に応じた協調動作を実現していると言える。

7. 結 言

以上、当社が開発したsEMSA[®]の制御技術、および横浜製作所とN社製作所の実証結果を紹介した。2015年度は、現

在準備中の製品化を成功裏に収め、さらに当社大阪製作所、伊丹製作所の2拠点にsEMSA[®]を導入する予定である。

用語集

※1 OpenADR2.0 (Automated Demand Response) 自動デマンドレスポンスのために定義された国際通信プロトコルのバージョン2.0である。

・MELSECNETは三菱電機株式会社の登録商標です。

参考文献

- (1) 尾崎智也、石垣圭久、木村 恵敬、堀広生、「需要家向けエネルギーマネジメントシステムsEMSAの開発」、平成26年電気学会電力・エネルギー部門大会、309、pp.07-05-19 (2014)

執 筆 者

堀 広生* : パワーシステム研究開発センター 主席



石垣 圭久 : パワーシステム研究開発センター



木村 恵敬 : パワーシステム研究開発センター



チャン スンマイ : パワーシステム研究開発センター



尾崎 智也 : パワーシステム研究開発センター



横瀬 誉実 : パワーシステム研究開発センター



*主執筆者