

次世代のスマートシティを想定した技術の実証

技術研究所 エネルギースマート化計画

小島 義包・中尾 俊二

スマートシティのエネルギーネットワークには、太陽光発電や風力発電、コージェネレーションシステム等の多様な発電設備や蓄電池が分散して接続され、これらを効率的に運用するエネルギーマネジメントシステムの構築が必須である。当技術研究所では、このようなスマートシティを想定した次世代の需給制御システムを構築する、エネルギースマート化に着手した。約 900 kW の太陽電池のほか、3000 kWh の蓄電池、約 440 kW の常用発電機を設置し、電力需給予測並びに制御、BCP に対応した自立運転制御を行い、加えてデマンドレスポンスやデマンド計画を行う、「ハード」と「ソフト」と「ひと」を結ぶユーザインタラクティブなエネルギーマネジメントシステムの構築を進めている。本稿では、これらのスマートエネルギーシステムの概要について紹介する。

キーワード：スマートグリッド、分散電源、蓄電池、EMS、負荷予測、デマンドレスポンス

1. はじめに

当技術研究所（写真—1）は、土木、建築、設備分野の研究の拠点として 1965 年に東京都清瀬市に開設された。これまで、社会のニーズに応えるためにさまざまな分野の先端技術の開発が行われてきた。1982 年には世界一の省エネルギービル（旧本館）、2010 年には自然エネルギーの利用や、次世代設備の採用で、最高水準の省エネ・省 CO₂ ビル（新本館）を建設した。また、新本館完成と共に、太陽光発電システム（約 150 kW）、小型風力発電システム、コージェネレーションシステム及びリチウムイオン電池等を組み合わせたマイクログリッドシステムを構築し、実証運用を続けている。

この研究所構内において 2014 年度中の完成を目指して進めているのがエネルギースマート化計画である。研究所構内のエネルギーを建物単位での利用から

建物間で相互に融通利用する、エネルギーの効率的な需給制御システムを導入し、次世代型スマートエネルギーシステムを構築する。スマートエネルギーシステムは大規模太陽光発電（既存を合わせて約 900 kW）や常用発電機等による分散発電設備のほか、小型や大型蓄電設備、これらを統合的に需給制御・監視する EMS（Energy Management System）から構成される。特に、ビッグデータなどを活用した電力需要と発電電力の予測とリアルタイムの需給の把握に基づき、時々刻々と変動する需給バランスを調整する EMS によって、再生可能エネルギーを安定的かつ最大限に活用するのが特徴である。

2. 背景

東日本大震災以降、省エネルギー対策や再生可能エネルギー導入の推進に加えて、エネルギーの安定供給



写真—1 技術研究所 全景写真

の重要性が高まっており、特に電力供給の安定性が強く求められている。

国の政策においても、安全性に課題が残る原子力発電、燃料調達や環境などの問題に直結する火力発電に代わって、再生可能エネルギーの導入を推し進めている。再生可能エネルギーは、一次エネルギーを消費しない自立分散型エネルギーであり、安全性、環境性に優れたエネルギー源であるが、発電コストが高いことと出力が不安定であることが課題として挙げられる。

一方、建物内に設置する電源として電力供給の安定に寄与するものとして、常用発電機が挙げられる。特にガスエンジンやガスタービン発電装置などは、排熱の有効利用が重要課題であり、一般的には空調や給湯の熱源として排熱を利用することでシステム全体のエネルギー効率の向上を図っている。しかし、施設によっては熱利用先が少ないために常用発電機の排熱を十分に活用できない場合もあり、このような施設では、別の形態での排熱の効率的な活用方法を検討することが必要である。

デマンドレスポンス (DR : Demand Response) は、ピーク電力低減、かつ省エネルギーを実現する手法で、電力の供給側と需要側の意思の疎通によって成り立つものであるが、供給側からの通知に需要側が了承して実施される形式のものがほとんどである。現在のところ、積極的なコミュニケーションの上で成り立っている DR としては、住宅分野に採用されている

HEMS (Home Energy Management System) であり、今後は業務用施設での展開が期待されている。

このような背景のもと、今回図-1に示すような、太陽光発電、蓄電池等の「ハード」と、需給予測制御、BCP 対応自立運転、見える化等の「ソフト」に「ひと」を加え、エネルギーシステムとユーザー間のインタラクティブをコンセプトにしたエネルギーのスマート化を進めている。

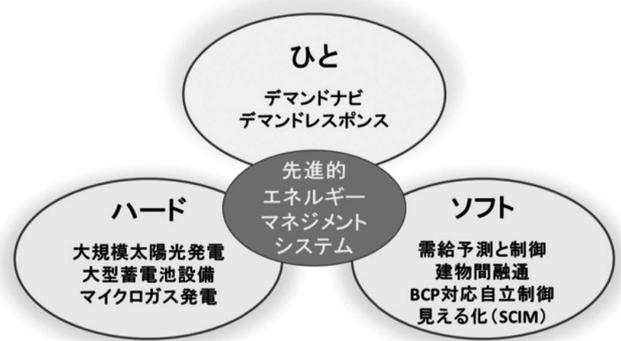


図-1 エネルギースマート化のコンセプト

3. システム構成

システム構成図を、図-2に、主要諸元を表-1にそれぞれ示す。

太陽光発電システムは既存 700 kW に加え、本計画において新たに5棟の屋上に増設し、合わせて約 900 kW の大規模出力システムを構築する (写真-2

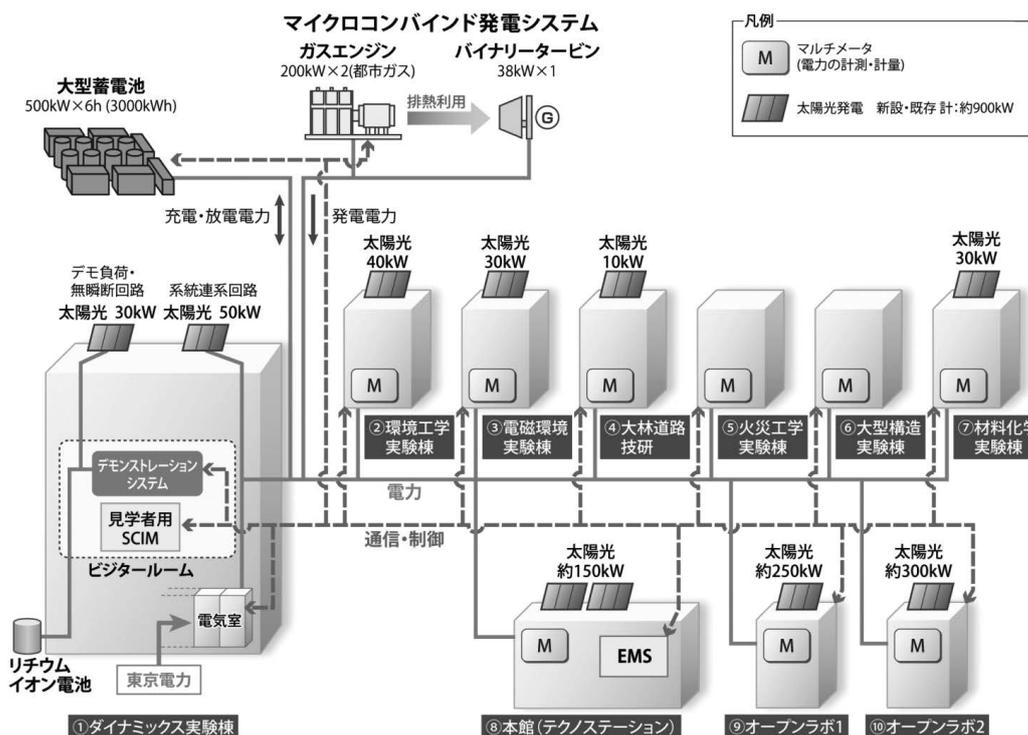


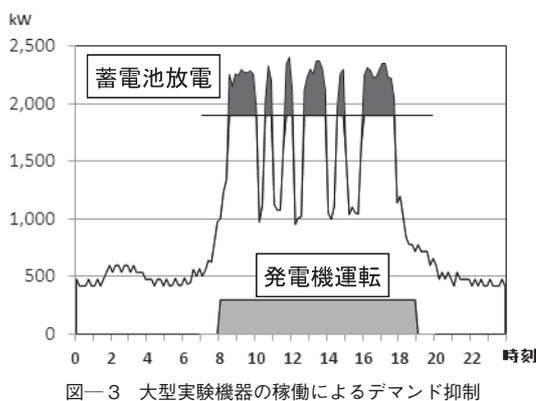
図-2 システム構成図

表一 主要諸元

設備システム	機器名	仕様等
蓄電池	レドックスフロー電池	出力：500 kW 容量：3000 kWh
	リチウムイオン電池	出力：20 kW 容量：20 kWh
常用発電機 (マイクロコンバインド発電システム)	ガスエンジン発電機	出力：200 kW 台数：2台
	低沸点媒体直接循環型バイナリータービン発電機	出力：38 kW 台数：1台
太陽光発電		計約900 kW(既存を含む)
EMS	需要計画, 需要予測, 需給計画, 需給制御, デマンドレスポンス, 需給監視, 見える化の各機能を搭載	



写真一 太陽光発電パネル (オープンラボ1屋上)



図一 大型実験機器の稼働によるデマンド抑制

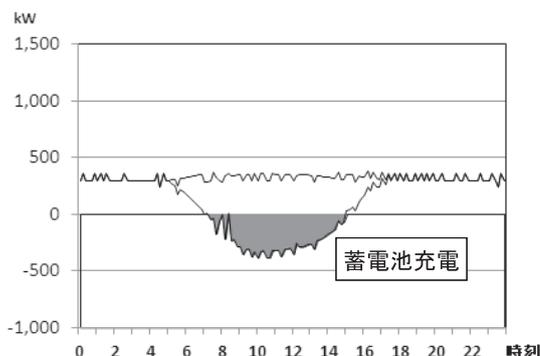
参照)。これは、研究所構内の通常稼働時の消費電力にほぼ匹敵するものである。発電電力や大型実験装置の電力変動を抑えるために大型蓄電池としてレドックスフロー電池を設置する。この他、ガスエンジンの排熱を利用して再発電する、マイクロコンバインド発電システムを開発・設置する。これらを統合的に管理するEMSには、実験装置のデマンド計画やデマンドレスポンスなどユーザー（研究者）とのインタラクティブな機能も併せもつ計画としている。

4. 機能概要

(1) 蓄電池充放電制御

今回、当研究所に導入する蓄電池の役割は、①大型実験機器の稼働によるデマンドの抑制（図一3）、②太陽光発電出力の変動吸収、③低電力負荷時の余剰発電電力の蓄電（図一4）、④BCP対応である。

このうち③の余剰電力蓄電は、太陽光発電電力を単純な逆流、売電とせず、構内消費することにより施設全体における再生可能エネルギーの最大限有効活用を目指すものである。



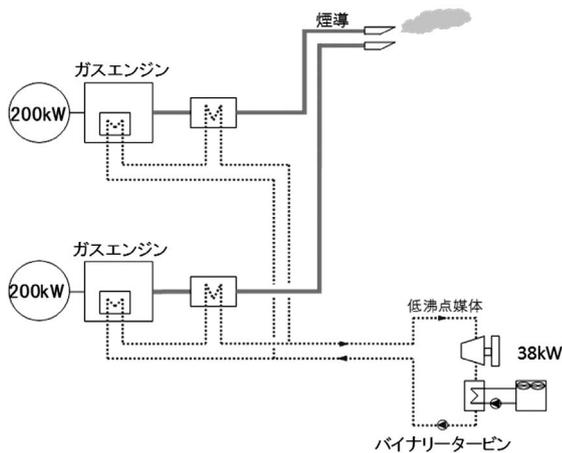
図一 余剰発電電力の蓄電

(2) 常用発電機(マイクロコンバインド発電システム)

今回導入する常用発電機は、その排熱からさらに電気をつくる仕組みを付加し、マイクロコンバインド発電システムと呼ぶこととした。システム図を図一5に示す。

常用発電機の排熱利用方法としては給湯や空調熱源として利用するCGSが一般的であるが、当研究所の様に、施設特性上あるいは設備システム上、空調及び給湯熱源としての活用ができない場合においては、低温排熱を利用して発電を行うバイナリー発電が考えられる。

排熱を温熱または冷熱として利用するCGSは、バ



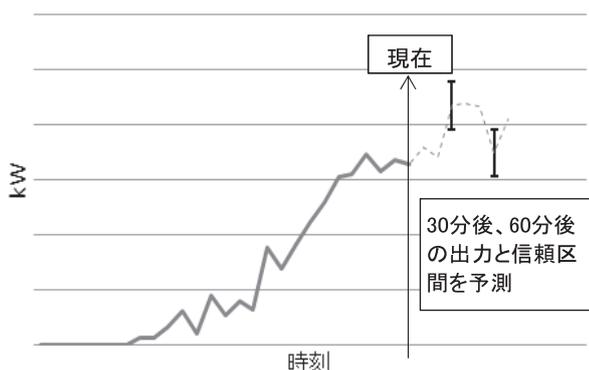
図一五 マイクロコンバインド発電のシステム構成

イナリー発電を用いたマイクロコンバインド発電システムよりも総合効率が高い。ただしこれは、温熱や冷熱の排熱利用先が排熱をすべて利用できるだけ存在する場合の話であって、温熱や冷熱の利用先が少ない深夜などの時間帯は、排熱をすべて電力として使い切るマイクロコンバインド発電システムの方が高効率である。昼夜を問わず安定した総合効率を維持できるため、通年では排熱の発電利用は冷熱・温熱利用する場合と同等以上の効率を発揮する可能性が高い。

(3) 太陽光発電電力予測

施設全体の電力負荷に対して、再生可能エネルギーの出力の割合が小さい場合は、出力変動がさしたる問題にはならないが、割合が大きい場合には出力変動が構内配電網及び系統の電力品質に影響を与える可能性がある（電圧、周波数の変動、適正範囲からの逸脱）。適正な出力・容量を持った蓄電池の導入と、充放電制御により、こういった問題を防ぐことが必要である。

出力が不安定な再生可能エネルギーを最大限に利用するためには、きめ細かな発電量予測技術が必要である。当研究所には、一般的な翌日分の1時間ごとの太陽光発電出力予測のみならず、30分後及び60分後の



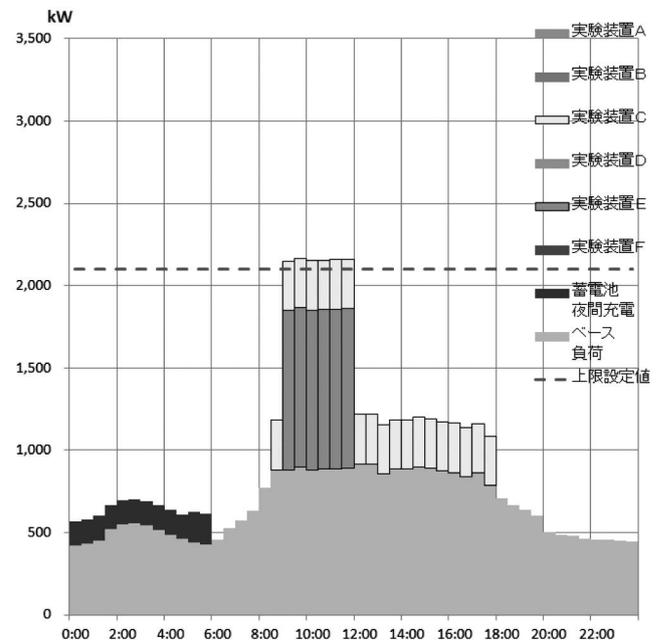
図一六 太陽光発電の発電電力予測

太陽光発電出力予測及び信頼区間の算出を行うためのアルゴリズムを開発し、導入する（図一六）。この直近の太陽光発電出力予測方法については、早稲田大学先進グリッド研究所の林泰弘所長の指導を得て確立した。

(4) 需要計画・需要予測

太陽光発電電力を予測する一方で、構内ベース負荷の予測を行う。天気・気温・日射など外部条件の情報、空調・照明・その他の機械類の稼働状況など内部条件に関する情報、さらに過去の運用実績及び電力負荷実績値を合わせた、いわゆるビッグデータ解析に基づく負荷予測を行う。

また、当研究所には多数の実験機器があり、単体で数百～1000 kWの電力負荷となる大型のものもある。これらの稼働は、最大デマンドに直結する大きな要因なので、現状でも実験機器ユーザー間の話し合いで稼働時間の調整が行われている。電力の需給制御を行うためには、これらの大型実験機器電力とベース負荷電力を合わせた電力需要予測を行い、太陽光発電予測を加味して、常用発電機、蓄電池の運転計画を行うことが必要となる。大型実験装置の稼働予定の登録及び修正変更を随時受け、デマンドの予測を行い、実験可否判定や調整促進を行うためのシステムとしてデマンドナビ（図一七、商標登録申請中）を導入する。



図一七 デマンドナビによる需要計画例

(5) 需給計画・需給制御

需給計画は、運転モード（コスト最小化、CO₂排出量最小化、受電電力最小化）を選択し、これに従って、太陽光発電、常用発電機、蓄電池、受電電力の最適計

画を30分刻み、30分周期で立案する。逆潮流・売電は行わないので、受電電力の範囲は0kWから契約電力までとなる。余剰電力が発生する場合は、蓄電池充電及び太陽光発電出力抑制で対応し、契約電力を超過しそうな場合は、蓄電池放電及びセルフデマンドレスポンス（Self-DR：後述）で対応する。

需給制御は、運転モードと最新予測値に基づいて、太陽光発電、常用発電機、蓄電池、受電電力の最適負荷配分を5分刻み、5分周期で行う。機器類の特性や料金単価などのマスタデータ、契約電力や蓄電池SOC上下限值などの運用データ、電力会社からのデマンドレスポンス（DR）要請、電力需要や太陽光発電などの最新予測データ、至近実績値などを基に、各設備システムに対する指令値を算出、送信する。

(6) デマンドレスポンス（DR）

DRとは一般的に、電力会社の供給力が逼迫した時、需要家に節電協力を求め、需要家が必要に応じて応答することを指す。当研究所でも電力会社からのDR要請を受けて対応するシステム及び体制を整備するが、これとは別に構内デマンドに必要に応じて応答するためのシステムを構築し、前者をArea-DR、後者をSelf-DRと称して区別する。

Area-DRは電力会社からの要請を受けた際に、需給計画に基づいて、協力可能な電力及び電力量を算出、一需要家としてアグリゲータを介して電力会社にレスポンスを行う。

Self-DRは大型実験機器の稼働など、構内の事情により契約電力を超過する予測となった際に、当研究所勤務者に対して協力要請を発するものである。勤務者の自発的な行動によるものから、照明・空調の強制制御まで4段階のレベルを設定する。自発的な行動によるものとは、勤務者にレスポンス（メール返信）を依頼し、これらを集計することで削減電力量を算出、需給計画に反映する。

(7) BCP 対応

研究所内新本館は、免震建物であり本社について災害時の第二の拠点となる。このため、今回のスマート化に合わせてBCP機能を拡充させる。これまでの重要機器に対する無停電電源装置や非常時に稼働するディーゼルエンジン発電装置に加えて、今回のシステムは災害時の電力の自立化を行うことが可能である。電力源として、大型蓄電池を中心にマイクロコンバインド発電機、太陽光発電システムが自立時にも連系接続され、太陽光の変動や消費電力の変動に追従しながら

電力供給を続けることができる。

(8) 需給監視・見える化

需給監視は需給制御により稼働した設備システムの実績データと受電電力を常時監視して、データを収集することを指す。需給予測との差異をフィードバックすることにより、予測精度の向上へつなげる。

見える化のために、専用のサーバを設置する。電力需給状況や稼働実績データ、DR実施状況、デマンドナビによる需要予測、構内各所のライブカメラ映像などを取り込み、見学ルームに設置する大画面モニター上にリアルタイム表示を行う。3次元モデルであるBIMを応用したSCIM（Smart City Information Modeling）を導入し、徹底した見える化を行うとともに、イントラネットを経由して各社員のPCにWeb表示を行う。これらにより当研究所での取り組みとその効果を、社内外へ広くアピールし、展開を目指す。

5. おわりに

本稿では、当研究所に構築するスマートエネルギーシステムについて解説した。大規模・大型の設備機器を設置するのみならず、当研究所の実情に合わせて、最大限の効果を発揮させるための制御技術を導入する。また、施設管理者による一方的な運用にとどまらず、勤務者参加型の運用が可能となるシステムを導入する。

スマートエネルギーシステムの導入により、当研究所のCO₂排出量を約25%削減できる見通しである。

システム完成後の効果検証により、改善点を発見・抽出、対策といったPDCAを行うことにより、さらなる高度化を目指す。

JICMA

【筆者紹介】

小島 義包（こじま よしかね）
 ㈱大林組
 設計本部 設備設計部
 副部長



中尾 俊二（なかお しゅんじ）
 ㈱大林組
 技術本部 環境ソリューション部
 担当課長

