

省 CO₂ や電力システム改革に対応する 新しいエネルギーマネジメントシステム『I.SEM[®]』

茂手木 直 也

近年、電力システム改革や再生可能エネルギーの増加、BCP への対応などによって、建物側でのエネルギーマネジメントのニーズが拡大・多様化する傾向にある。こうした社会動向に対し、独自の企画によるエネルギーマネジメントシステム『I.SEM[®]』（アイセム）（以下「本システム」という）を開発した。本システムは、建物または建物群の負荷予測から熱源や空調の運転最適化等を行うクラウド上に構築されたソフトウェア群と、建物側に設置された太陽光発電や蓄電池、電気自動車の充放電装置等の分散電源群を統合するハードウェアのパッケージシステムである。このシステムの導入により、今後更にニーズが高まる省 CO₂ やデマンド制御、非常時の自立給電を達成する。

キーワード：電力システム改革、再生可能エネルギー、BCP、負荷予測、運転最適化、デマンドレスポンス、蓄電池、電気自動車

1. はじめに

近年、電力システム改革や再生可能エネルギーの増加などによって、建物側でのエネルギーマネジメントのニーズが拡大・多様化する傾向にある。こうした社会動向に対し、独自の企画によるエネルギーマネジメントシステム『I.SEM[®]』を開発した。本システムはクラウド上に構築されたソフトウェア群と建物側に設置された分散電源を統合するハードウェアのパッケージシステムである。本報では、本システムのエネルギーマネジメント機能および適用したエネルギー負荷予測技術について説明する。

2. 社会動向

従来、建物のエネルギーマネジメントの主な目的は、省エネルギーとピークカットであった。省エネルギーにおいては、高効率機器の導入や室内環境の緩和、人感センサー等による不要な機器の停止等が一般的な対策であった。また、ピークカットにおいては、設定した契約電力を超過しないよう一部の負荷設備の遮断や設定の緩和に加え、蓄熱システムを利用した定常的なピークシフト運転が挙げられる。これらの省エネ・ピークカットの対策は、個別機器での省エネ化や単純なデマンド制御、定常的なスケジュール制御によって達成可能であり、既に広く普及している。

これに対し、2010 年頃から、再生可能エネルギーの大量導入に備え、蓄電池などの利用による地産地消の最適化を目的とした『スマートグリッド』への対応が叫ばれ、経産省の主導の下、メーカー・ゼネコン各社が実証を行ってきた。これらの実証においては、従来の固定的な料金体系に加えて、多様な電力料金メニューが実施され、その効果が検証された。

これらの実証成果を踏まえて推進された『電力システム改革』では、2016 年に電気の小売りが全面自由化され、2017 年にはネガワット取引市場が創設された。2020 年には送配電部門の法的分離が計画されている。こうした改革により、電力卸取引市場の取引拡大が予想され、市場における電力の不足・余剰に応じた取引単価の変動に連動した電気料金メニューの普及が期待されている。現在実施または想定されている電気料金メニューの例を、表 1 に示す。

また、再生可能エネルギーの普及においては、2009 年に余剰電力買取制度により建物に設置される太陽光発電システムが拡大した。また、2012 年から開始された再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）により、メガソーラーを始め、系統内における再生可能エネルギーが急増した。

こうした再生可能エネルギーの増加により、電力網が不安定化することが懸念されており、突発的な発電量不足や余剰が生じる可能性がある。既に九州など一部の地域では、電力需要に対し再生可能エネルギーによ

表—1 電気料金メニューの例

名称	概要
デマンドレスポンス (DR)	電力卸取引市場価格の高騰時または系統信頼性の低下時において、料金単価の設定またはインセンティブの支払に応じて、需要家側が電力の使用を抑制するよう電力消費パターンを変化させること。この需要側の電力抑制量は『ネガワット』と呼ばれ、『ネガワット取引市場』で売買される。
リアルタイム料金	卸電力市場価格と連動して、電力小売料金単価を設定する形式。料金設定のタイミングは、卸取引市場に応じて1日前（スポット市場の場合）、時間前（当日市場の場合）などがある。
同時同量	電力の需要と供給のバランスを常に一致させることを指し、電力小売事業者（新電力）においては30分間の需要と供給を一致させることが要求される。 需要と供給が一致しなかった分（インバランス）は、送配電事業者に対し、インバランス単価で精算する。インバランス単価は市場連動であるが、電力網の状況によって高騰することもあり、このインバランスを回避することが新電力の採算向上に重要である。

る発電量が上回る状況も発生しており、再生可能エネルギーに出力抑制が掛かる等の懸念が生じている。こうした事態への対応として、需要側で電力負荷を増減し、電力の需給バランスを調整するしくみとして、バーチャル・パワー・プラント（VPP）が試行されている。

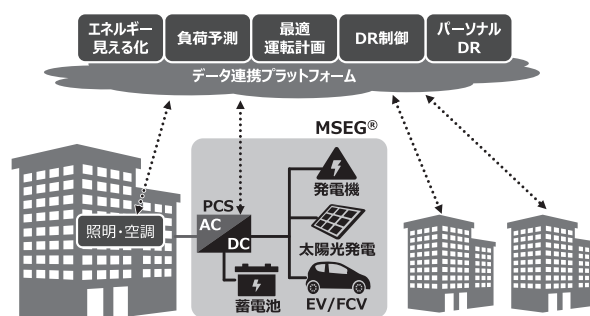
需要側においても、2011年の東日本大震災以降、BCP機能の強化のため、72時間以上の継続稼働が可能な常用発電機を設置する建物が増加した。また、今後は電気自動車の普及が期待されており、その蓄電容量の増加に伴い、電気自動車の充電スタンドを設置する建物においては、その電力負荷が無視できない状況となりつつある。建物においては、こうした分散電源を適切に運転管理し、平常時でも有効活用するニーズが高まっている。

また、建物側での様々な分散電源の設置が進んでいることに加え、ICT技術の進化によって、先に述べた電力網の状況に応じて変動する多様な電気料金メニューに対応して、建物内の分散電源を制御し、素早く柔軟に受電電力を調整することが可能となってきた。

このような電気料金メニューに対応するためには、最低でも30分単位の細かい予測を行う必要があり、より高い予測精度が求められ、更に様々な分散電源・負荷設備の自動制御と連携する必要がある。従って、機器個別最適化や定常的なスケジュールによって制御される従来型のシステムではなく、よりインタラクティブで、ダイナミックなシステム構築が不可欠となってきた。

3. 本システムの概念

こうした社会動向を踏まえ、省CO₂や電力システム改革に対応するエネルギーマネジメントシステムを開発した。本システムはクラウド上に構築されたソフトウェア群と建物側に設置された分散電源を統合するハードウェアのパッケージシステムである。図—1に本システムの概念図を示す。



図—1 本システムの概念図

本システムは、以下のシステムで構成される。

- ・建物の電力・熱負荷を予測する『負荷予測システム』
- ・変動するエネルギー単価に対応して複合熱源や分散電源の運転を最適化する『最適運転計画システム』
- ・建物内の執務者と協調して負荷抑制を実行する『パーソナルDRシステム』
- ・分散電源や負荷抑制を制御して、ピークカットやDRを達成する『DR制御システム』
- ・太陽光発電、蓄電池、電気自動車充放電装置、燃料電池、発電機等を含む分散電源群を直流で統合するパワーコンディショナ装置『MSEG[®]』（Multi-Source Energy Gateway）

（1）同時同量制御

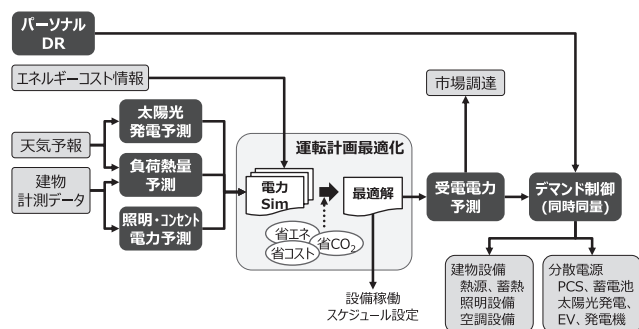
先述の通り、今後、電力自由化によって電力メニューの多様化が期待される。ここでは、先述の電力メニューの中から、『同時同量』に対応した制御について説明する。本システムによる同時同量制御のフローを図—2に示す。

①電力・熱負荷予測

まず、前日までに建物電力・熱消費量等の計測データおよび気象予報、建物内のイベント情報等から電力負荷（熱源への電力供給分以外）および熱負荷、太陽光発電量を予測する（予測システムの詳細については後述する）。

②運転計画最適化

次に、予測された熱負荷に対し、時刻別のエネルギー単価等の情報を踏まえ、冷凍機の運転順序、蓄熱槽の



図一 本システムにおける同時同量制御のフロー

利用時間帯など、熱源設備を最適に運転する計画を作成する。

この計画によって稼働した場合の熱源電力を予測し、①で予測した電力負荷や太陽光発電量、また時刻別の電力料金単価等を組み合わせ、翌日以降の電力を最も安価に調達する買電計画を立案する。これらの予測は常時更新する。

③ パーソナル DR

通常のピークカットやDRにおいては、予め設定された照明・空調の制御項目を実行していくが、この場合、執務者側で不満足者が増加する懸念がある。これに対し、本システムでは事前に建物内の執務者各々に対して自分の座席エリアの制御可否を申告させ、許可を得たエリアのみを制御対象とすることで、執務者の満足度を維持しながら、幅広い負荷抑制を可能とする。

④ デマンド制御

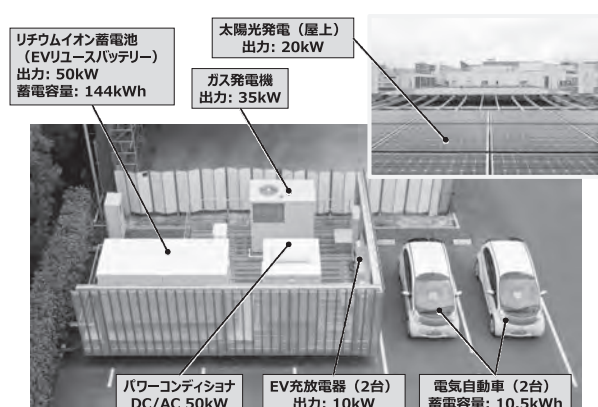
事前に立案した買電計画と現状の受電電力値の差分に対し、分散電源や、パーソナルDRによって許可された照明・空調の負荷抑制を最適制御し、30分間の電力量を買電計画に一致させる同時同量制御を行う。

⑤ MSEG[®]

本装置は、複数の電源設備を直流で統合し、効率良く交流に変換して建物内の電力系統と連系するパワーコンディショナである(図一3)。太陽光で発電した電力を蓄電池や電気自動車に充電する際、一度交流に変換することがないため、直流/交流変換ロスが少ない。また、災害による停電時には、蓄電池に残った電力に加え、太陽光発電による電力を蓄電池に貯めて使うことが可能である。

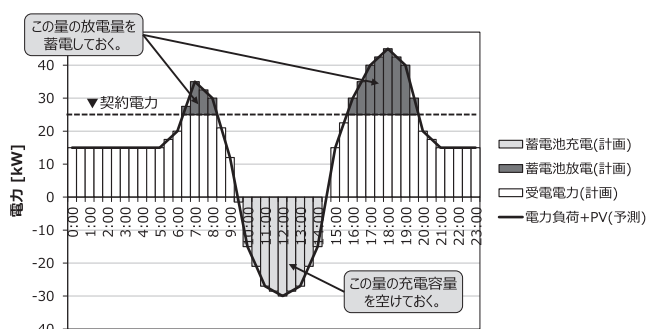
(2) 再生可能エネルギーの自家消費

同時同量制御のフローを応用し、太陽光発電と蓄電池を設置した建物において、余剰電力を蓄電池に蓄電し、建物負荷が高い時に放電することにより、再生可能エネルギーの地産地消を向上する制御を本システムの一機能として実装した。

図一 3 MSEG[®]

余剰電力買取制度の買取期間終了後は、余剰電力の買取単価が通常の電力単価を下回る可能性が高い。従って、建物に蓄電池を設置することにより、余剰電力を蓄電池に蓄電し、電力負荷が高いときに放電する制御によって経済性を向上できる。これに加え、蓄電池は建物のピークカットにも活用できるため、これら余剰電力の自家消費とピークカットの両立が求められる。

これらの制御を両立するためには、まず、1日から数日先までの時刻別の太陽光発電量および建物負荷電力量を予測し、余剰電力および契約電力量の超過が生じる時刻およびその電力量を算出する。次に、蓄電容量の情報から、発電電力の余剰が生じる時刻(蓄電池への充電を開始する時刻)において、蓄電残量の上限值(蓄電残量は何%以下であれば良いか)を設定する。また、契約電力の超過が始まる時刻において蓄電残量の下限值(蓄電残量は何%以上であれば良いか)を設定する。この充電または放電開始時点の蓄電残量条件を満たすよう、蓄電池の充放電制御を行う(図一4)。



図一 4 太陽光発電の自家消費を考慮した蓄電池制御

4. クラウド基盤を用いた負荷予測システム

ここでは、本システムに実装した負荷予測システムについてその詳細を説明する。負荷予測においては様々な予測モデルが実践されているが、本システムで

は、近年、予測手法として広く普及しているニューラルネットワークによる予測モデルを採用した。ニューラルネットワークの構造は階層型パーセプトロン構造を使用した。この方式は、入力層・中間層・出力層の3層構造を持ち、結合荷重や閾値を学習により変更することで、予測モデルを構築することができる。

システムの実装においては、Microsoft のクラウドサービスである『Microsoft Azure』および機械学習サービスである『Azure Machine Learning』を利用しており、図-5 に示すデータ処理フローを経て、予測結果を算出する。

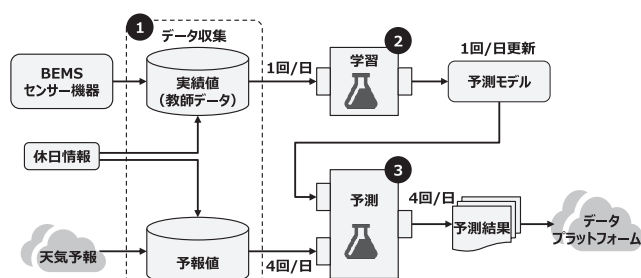


図-5 エネルギー需要予測システムのフロー

(1) データ収集

まず、学習に必要な建物の運用実績値、予測に必要な天気予報値、建物の休日情報を取得し、Azure 上に構築したデータベースへ蓄積する。本システムでは、以下の3つのデータを用いて学習・予測を行う。

- ・運用実績値：予測を行いたい消費電力量（建物全体、熱源、等）の実績データおよび建物で測定している外気温湿度、日射量などの気象データを取得する。データはBEMS等のデータベースあるいはセンサー機器から直接取得する。
- ・天気予報値：天気予報配信会社から配信される天気予報データを、インターネットを介して取り込む。本システムで採用した天気予報は1日4回更新され、予測のインプットデータとして用いる。
- ・休日情報：平日と休日で負荷パターンが大きく異なる場合、別々に予測モデルを構築した方が予測精度の向上が期待できる。本システムでは休日の情報をユーザーが設定することで、平日と休日でそれぞれ予測モデルを構築できる仕様とした。

(2) 学習

次に、ニューラルネットワークにより、過去の実績値を学習して予測モデルを構築する。モデル構築には教師データとなる過去の運用実績値が必要であり、本システムでは直近1ヶ月程度の過去データを基に学習

し、1回/日の頻度で予測モデルを更新する。

予測対象とする項目に応じて特徴量を選択する。本システムでは、特徴量として、曜日・時間・気温・日射量を選択することができる。また、予測対象が過去1ヶ月の実績データの中でも、特に直近の実績値との関連が強い傾向にある場合、24時間前の実績値（休日考慮なし or 休日考慮あり）も特徴量として選択することができる。

さらに、在席（在館）人数や空調稼働スケジュールなど、消費電力や空調負荷に影響を及ぼすものを特徴量として取り込めれば、予測精度が向上する可能性があるが、一般的な建物では、これらの特徴量の正確な予定を予め把握することは難しく、現時点では実装していない。宿泊施設や展示場、イベントホールなど、これらの予定を予め取得することが可能であり、かつこれらの予定が建物のエネルギー需要に大きな影響を与える建物の場合は、機能追加を検討する必要がある。

(3) 予測

先に作成した予測モデルに対して、採用した特徴量の予報値をインプットデータとして投入する。本システムでは、翌日・翌々日の予測（30分毎、48時間分）の予測を行い、天気予報データの更新に合わせ、1日4回（6時間毎）予測を更新する。

5. 導入事例

上述の本システムを都内の事務所ビル（東京都江東区、延床面積3,980 m²）に導入し、その効果を検証した。制御対象とする分散電源として、MSEG[®]（AC/DC：50 kW，PV：20 kW，蓄電池：50 kW/144 kWh，EV 充放電器：10 kW × 2），ガス発電機（35 kW）を導入し、クラウド上のシステムから制御した。

以下に負荷予測システムおよび負荷予測を用いた同時同量制御の検証結果を示す。

(1) 負荷予測システム

2016年9月～11月の期間においてエネルギー需要予測の精度を検証した。予測は1日4回（6時間毎）に更新するが、検証には前日夜に算出した24時間予測値を用いた。

図-6 および表-2 に、予測結果を示す。予測精度を示すEEP（Expected Error Percentage、予測誤差率）は、各予測対象において5.6～8.6%となっており、他の予測手法と比較して、概ね良好な予測結果が得られた。

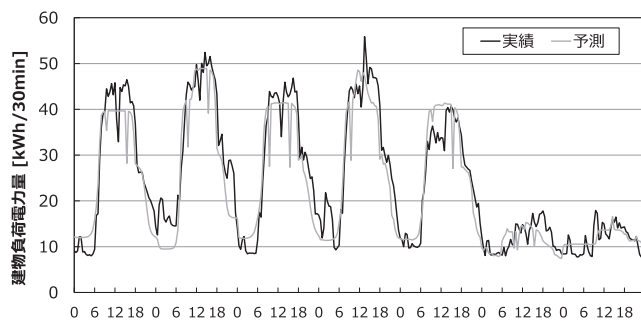


図-6 建物消費電力量の予測結果 (10/3～10/9)

表-2 各対象における予測結果

予測対象	EEP※
建物消費電力量	6.3%
空調熱源除く消費電力量	8.8%
空調熱源消費電力量 (ビルマルチ)	5.8%
太陽光発電量	8.6%

$$\text{※ } EEP = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (y_{p,t} - y_{d,t})^2}}{y_{\max} \times (n-1)} \times 100$$

$y_{p,t}$: 時刻tの予測負荷
 $y_{d,t}$: 時刻tの実績負荷
 $y_{\max}$: 最大実績負荷
 n : データ数

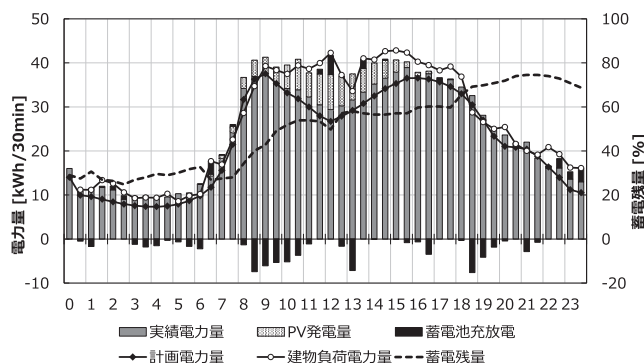


図-7 同時同量制御の検証結果 (10/12)

(2) 同時同量制御

上述のシステムを用い、同時同量制御の実証を行った (実証日: 2016年10月12日)。検証においては、計画電力量に対して同時同量率±3%以内 (契約電力比) に消費電力量を制御することを目標とした。実証の結果、同時同量率2.5%以内に制御することができ、目標を達成した (図-7)。

(3) 複数棟における同時同量制御

このシステムを、先の実証建物を含む近隣に位置する3棟の建物群に拡張し、3棟統合による同時同量制御を行った。図-8に各建物の設備概要を示す。

この制御においては、3棟の建物を仮想的に1棟の建物とみなし、各建物に設置された分散電源や負荷設備を最適に制御する。本実証においては、3棟の建物群において、事前に予測された受電電力合計値に対

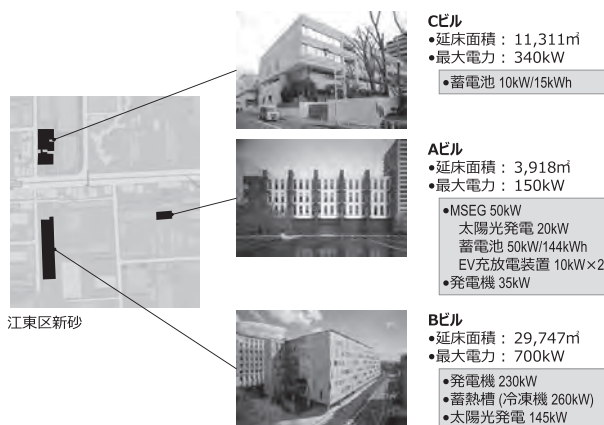


図-8 本システムによる複数棟統合制御

し、実際の電力消費量を契約電力合計の±3%以内に制御することができ、30分同時同量を達成した。

近年では、需要家が企業・組織の単位で電力小売事業を構成し、電力卸取引市場から直接電力を調達して自社の建物に電力供給を行う『需要家PPS』と呼ばれる事例が増えつつある。多数の顧客を持つ新電力に比べ、需要家PPSでは需要家数が少ない場合が多いため、供給先である自社の建物の電力需要を精度良く予測し、インバランスが生じないように制御する『同時同量制御』が求められる。本システムはこのような建物群制御に有効なシステムである。

6. おわりに

本報では、電力システム改革を含む社会動向を踏まえ、開発した本システム『ISEM』について、その機能と、機械学習を用いた負荷予測システムの概要を説明した。

建築設備は、電力網と連携したリアルタイム性の高い高度な運用が十分可能であり、今後、需要側のマネジメントによって系統全体における効率化・省CO₂化に積極的に取り組める電気料金メニューが普及することを期待したい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 茂手木, 『省CO₂や電力システム改革に対応するEMS』, 電設技術, 64 (2), 103-108, 2018-02

【筆者紹介】

茂手木 直也 (もてぎ なおや)
 ㈱竹中工務店
 環境エンジニアリング本部
 エネルギーソリューション企画グループ
 課長

