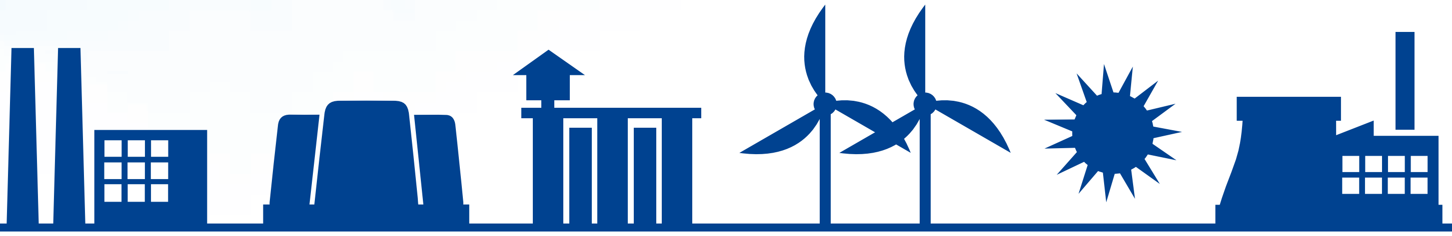
Business i. ENECO

電気のより上手な利用に向けた
電中研の取り組み



電力中央研究所

http://criepi.denken.or.jp/

■ CONTENTS ■

その 1

次世代電力需給マネジメント特別研究チームの紹介 ■ 4

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム
研究参事　副チームリーダー　**根本 孝七**

その 2

電気の新たな価値を活用する研究の紹介 ■ 8

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム
電力・エネルギー価値創造グループ長　副研究参事　**齋川 路之**

その 3

賢く電気をお使いいただく研究の紹介 ■ 12

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム
電力・エネルギー価値創造グループ　需要マネジメントユニットリーダー　副研究参事　**永田　豊**

その 4

良質な電気をお使いいただくための研究の紹介 ■ 16

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム
研究参事　配電システムグループ長　**小林 広武**

■本冊子は、雑誌「月刊ビジネスアイ エネコ」で 2015 年 12 月号から 2016 年 3 月号に掲載された内容に加筆・修正したものです。

■各回参考文献一覧に記載のある「電力中央研究所報告」は、
電力中央研究所ウェブサイト（http://criepi.denken.or.jp/result/index.html）よりダウンロードできます。

はじめに

この４月からいよいよ電力システム改革の第２ステップである小売の全面自由化が始まりました。これを受けて電気事業においては、これまで以上に「お客さまから選ばれ続ける」という視点がクローズアップされています。お客さまサイドでは、太陽光などの発電設備や、HEMSなどのエネルギー管理のための機器が導入されるなど、これまでになく能動的になっています。このようなお客さまの能動化は、電力品質や設備利用率など、電力のサプライチェーンの全てに亘って遡上影響することになり、従って、お客さまと協調した取組が課題解決の鍵となります。

このような認識の下、お客さまと直接的に接する需要家サービス分野と配電分野の連携を密にすることで相乗効果を狙い、電力中央研究所では、総勢50名の各分野のエキスパートからなる次世代電力需給マネジメント特別研究チーム（略称：MPSD）を2014年７月に発足させました。
MPSDは、省エネ･再エネ、低炭素化、さらには少子高齢化なども含め、社会的な大きな課題について、合理的エネルギー利用（「上手なエネルギーの使い方」）と電力系統の安定運用（「良質な電気の供給」）を軸足とした課題解決法を、社会や電気事業に提案することを目指しています。

このため、総合エネルギー産業や生活支援産業なども含め、新たな事業展開に必要となる新技術やツール、更には規格・基準など、技術的プラットフォームの構築を進めています。

また、小売全面自由化と数年後の発送電分離により、託送料金が電力流通分野の最重要評価関数になると考えられます。MPSDでは需要家サービス分野と配電分野の研究者が連携することで、託送料金の分母と分子になる電力需要と設備形成・運用にも総合的に取組み、電気事業による合理的託送料金の形成を技術的側面から支援してゆきます。

本冊は、月刊「ビジネスアイ　エネコ」誌に、2015年12月号から2016年３月号に亘って、次世代電力需給マネジメント特別研究チームのこれまでの研究成果を中心に紹介させて頂いたものを冊子として纏めたものです。お手に取って頂いたのを機に、是非ご一読頂き、MPSDへのアドバイスやご意見、ご指導など頂ければ大変幸甚にございます。

次世代電力需給マネジメント特別研究チーム　一同

次世代電力需給マネジメント特別研究チームの紹介

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム　研究参事　副チームリーダー　根本 孝七

昨今、電気を利用するお客さま自身が太陽光発電を行うなど、お客さまサイドにおける電気利用の環境が大きく変化し始めており、電気事業者も新たなサービス提供を目指し始めている。これを受け、電力中央研究所では2014年7月に「次世代電力需給マネジメント特別研究チーム」を設置し、お客さまに最も近い需要家サービスと配電の両分野についての相乗的な課題解決に向けて取り組みを開始した。関連する研究や取り組みを4回にわたり紹介する第1回目はチームの概要を紹介する。

背景：電気を利用するお客さまの能動化

2015年6月に改正電気事業法が可決され、本年4月から小売の全面自由化が始まり、低圧需要家のお客さまも自由に電力会社（電力小売事業者）を選ぶことができるようになった。これにより、電力小売事業者も様々なサービスメニューを工夫して、お客さまへ提供するようになる。

お客さま自身においては、太陽光発電をはじめとする分散形電源導入や、電気自動車から家の中の電気機器への電力供給（Vehicle to Home）が普及段階にあり、エネルギーの生産消費者（プロシューマ）的側面が強まっている[1]。また、HEMSなどを導入し電気をはじめとする自らのエネルギー利用を管理運用するなど、いままででは考えられなかったほど、お客さまはアクティブになり、「需要家の能動化」が進んでいる。

このため、これまで以上に、お客さまサイドの動向が電気のサプライチェーンの全てにわたり、強い影響力を及ぼすことになる。例えば、図1に示すように、お客さま設備などとして太陽光発電が大量導入されることで、配電系統の電圧が許容範囲を逸脱することにより生じる分散形電源の発電機会損失、出力変動を吸収する役割を担う火力発電設備の稼働率低下、さらにはその対策のための費用負担や新たな制度設計など、社会経済や国の施策へと遡上して波及することになる。

これらの課題の解決にあたるには、まずはお客さまサイドの便益やサービスのあり方などから考えていくのが合理的であると考えられる。何故なら、全面自由化により、お客さまが供給事業者を選択できるようになるとともに、発変電所や送電線のような巨大設備も包含する電力システムの中では、お客さまサイドの設備の変化が一番早いからである。

図1では、太陽光発電大量導入に対して、課題解決に向けたお客さまサイドにおける施策の一例として、デマンドレスポンスなどのような需要制御を示した。この対策効果は、結果として、電気のサプライチェーンを遡上波及し、最終的にはお客さまの便益として還元される。このように、これまでのエネルギーセキュリティ的な視点に加えて、お客さまの能動化との協調を如何に合理的に実現するか、その際に様々なリスクと経済性のバランスをどう取るかが、今後の要点の一つとなる。

図1　需要家の能動化による影響の遡上と対策例

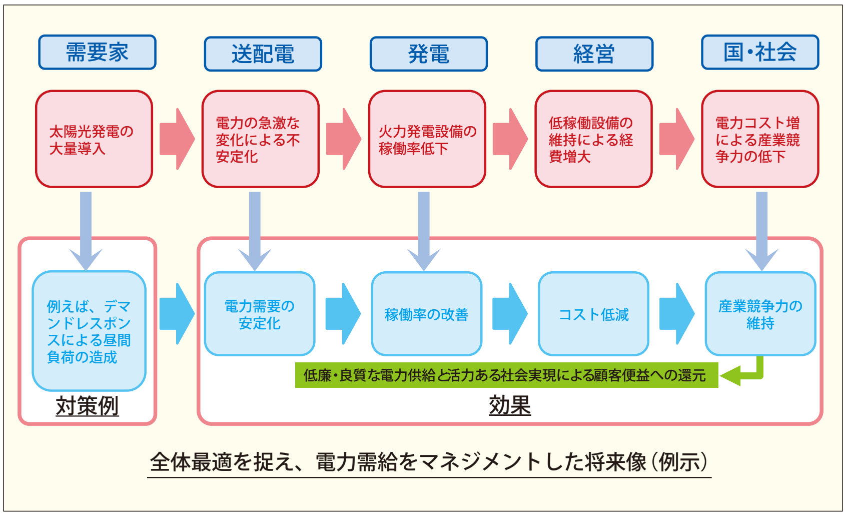
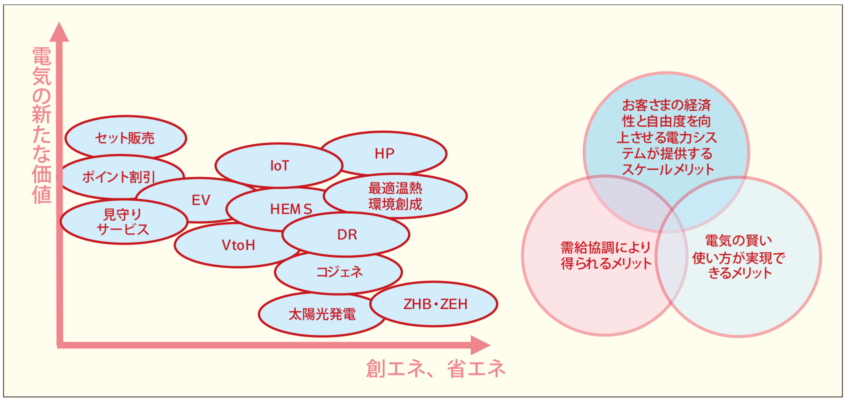


図2　能動化：お客さまのこれまでにない積極的な取り組みのイメージと便益



能動化するお客さまの3つの便益

次に、お客さまへの便益提供という観点から、電力システム（電力系統）の役割とお客さまとの協調関係を整理する（図2）。

(1) 第一の便益：電力システムとの接続により得られるメリット

電力システム（電力系統）は、複数のお客さまの需要が時間的に異なることに着目し、発電・送電・変電・配電の設備を共有することで経済合理性を確保・追求するとともに、規模の経済性を基本モデルとしていた。発電部門において状況は異なるものの[2][3]、この基本モデルは多少の変化はあっても、特に送変電部門を中心に電力システム改革後においても有効であると思われる[4]。

現在、ICT技術革新をベースに集中電源と再生可能エネルギーやお客さまサイドの分散形電源を統合するための技術進展、すなわちスマートグリッド化[5]が、スマートメータ導入などにより進んでいる。これにより、お客さまの能動化が多様であっても、お客さまは電力システムに繋がることで、良好な信頼性と品質を有する電力をより安価に利用できるものと期待されている。

さらに、全面自由化後は特に、お客さまの積極的な供給者選択を可能とする共通プラットフォームとしての役割が重要となり、これから提供される多様なサービスを利用するためには、お客さまも事業者も電力システムに接続することが必要となる。

(2) 第二の便益：お客さまサイドと供給サイドの協調によりもたらされるメリット

一方で、お客さまの電気利用状況や太陽光などの発電量が急激に変化する際には、電圧変動などのような電気的な擾乱が発生することがある。この時、電力システムを経由して他のお客さまに影響を及ぼすなどの支障が生ずる。通常、電力システムを運用管理する電力会社（将来的には一般送配電会社）は、この影響を抑えるため、場合により多大な費用を投じて、対策を施す必要が生じる。

しかし、お客さまサイドにおいて擾乱発生の対策を施したほうが合理的な面もあり得る。これまでも、お客さまの協力を御願いしてきた[6]。力率割引・割増の制度のように、お客さまサイドと電力システムが協調して擾乱抑制をすることで、電力流通設備での対策費用を効果的に抑制でき、これにより直接的および間接的に電気料金の低減に繋がる。能動化するお客さまは電力システムとの協調がより可能となるため、将来的に、このような電力システムの運用に協調・貢献することで実際の対価も得ることができる可能性がある。これが二つ目の便益である。

当所では、「アンシラリーサービスの価値評価」という研究テーマに取り組んでおり、供給サイドとお客さまサイドの両方において、その経済的価値を評価している[7][8]。このような協調は再生可能エネルギーをお客さまの便益向上に資する上で必須の要件である。国の長期エネルギー需給見通しで示されている2030年の再生可能エネルギー導入割合22～24％に対し[9]、系統安定化費用は1000億円/年程度との見積もりもされているが[10]、より経済性を高めるにはお客さまサイドの協調が重要で、その技術開発が不可欠であると考えられる。

(3) 第三の便益：電気のより賢い使い方を可能とするインフラと新たな電力価値提供

電力システムの3つ目の役割は、電気エネルギーの有する可能性を最大限に引き出し、より上手な電気の使い方をサポートするためのインフラである。人類が電気エネルギーを使い始めて130年以上経過したが、ICTという技術的革命により、電気エネルギーの持つポテンシャルは一段と大きくなった。能動化するお客さまとは、この可能性を追求するお客さまと言える。より賢い上手な電

図3　次世代電力需給マネジメント特別研究チームと主要研究テーマ

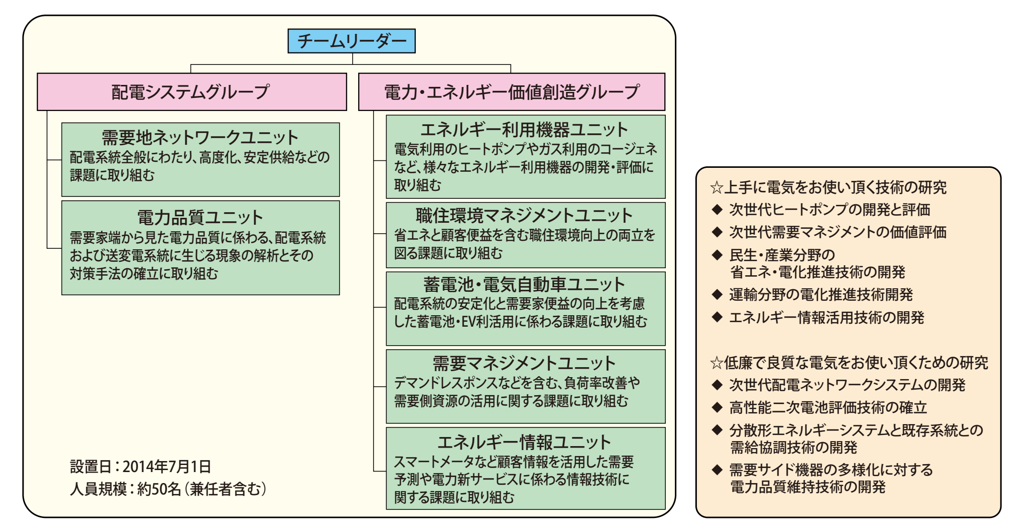
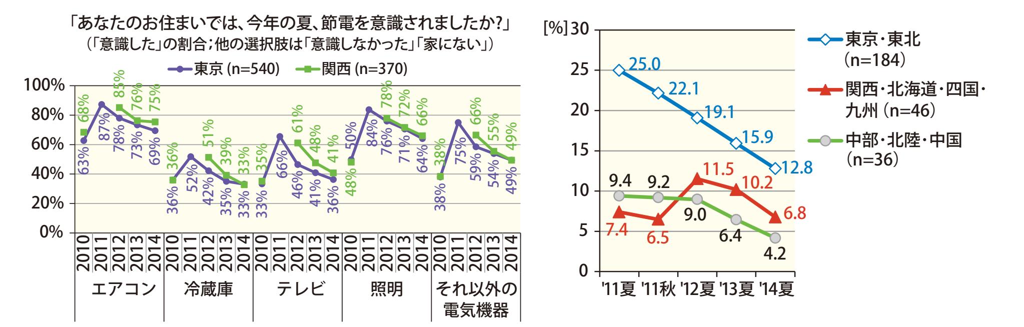


図4　お客さまの節電意識と行動の変化



(a) 家庭部門における主な用途の節電意識の変化　　(b) 事業所での照明間引き行動の変化

気の使い方とは、①出力変動が激しく、需要とは無関係に発電する再生可能エネルギーをうまく活用し、②効率的に、③お客さまの健康で快適な職住環境と経済的な社会活動を実現することである。

これまでの一例として、エコキュートがある。直接的には系統電力により電動機を動かすことで、再生可能エネルギーとも言える空気熱を活用し、高効率に温水供給を可能とした[11]。また、スマートメータのデータを有効に活用し、お客さまとの適切なコミュニケーションにより、お客さまの省エネ行動に寄与できる可能性が示されている[12]。

さらに、電力システム改革により、事業者の活動が刺激を受け、電力システムを様々に活用した新たなサービスメニューの提案が期待される。この新たな便益提供は料金抑制と併せて電力システム改革の要点であることから、精力的かつ多様な研究開発によるイノベーションが望まれる。

電力中央研究所の新たな取り組み：次世代電力需給マネジメント特別研究チーム

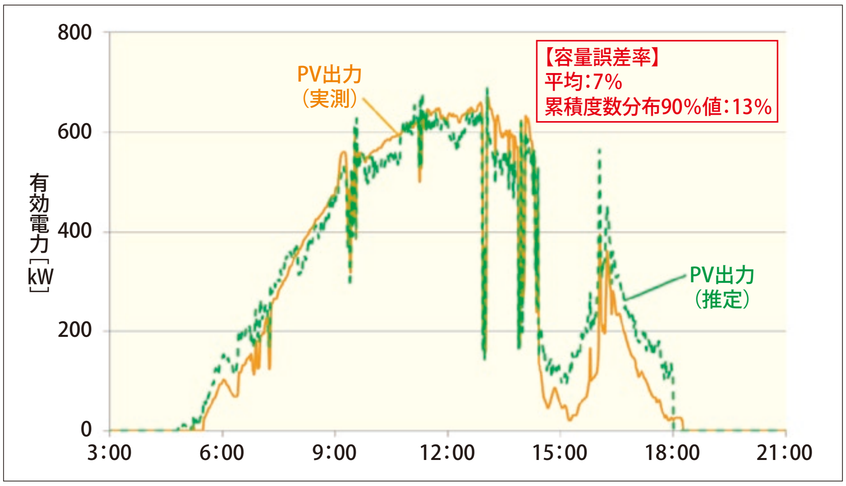
(1)チームの概要と主な研究テーマ

当所では、前述した能動化したお客さまの第二の便益と第三の便益がこれまでよりも重要になると見ている。配電部門と需要家サービス部門が協調することで、このための合理的提案や課題解決策を見出すことを目的に、次世代電力需給マネジメント特別研究チームを発足させた。チームの体制と主要研究テーマを**図3**に示した。これらの研究テーマに対して単独に取り組むのではなく、異分野の専門家が有機的に連携して解決に臨む。以下では、このチームの取り組みと最近の研究成果の例を二つ紹介する。

(2)チームの取り組みの例(その1)：お客さまの節電の意識と行動に関する分析（事業所および家庭における2011年～2014年の節電行動の継続状況の分析）

今後のお客さまの能動化を予測する上で、お客さまの電気に対する意識の変化を知ることは極めて重要である。当所では、東日本大震災後4年間にわたる、東日本と西日本の家庭および事業所における節電の定着状況の調査・分析を行った[13][14]。この結果、**図4**に示すように節電に対する意識レベルは震災直後に比べ低下しているものの、機器更新による効率化や電気料金の上昇の影響が

図5　配電線に導入されたお客さま太陽光発電出力の総量推定例



相殺することで、節電の効果が持続している可能性が高いことを明らかにした。震災直後から継続的に節電の持続性を明らかにした研究例は他になく、この知見は、今後のお客さまの需要動向を予測する上で貴重なものと考える。

(3)チームの取り組みの例(その2)：お客さまのPV発電量と実負荷需要の推定

電力に対する生産消費者化は能動化の要点である。お客さま設備として大量の太陽光発電が導入された場合に、お客さまの実際の電力需要は把握困難になる。一方、配電系統の合理的な設備計画や、万が一のトラブル時の迅速な対応をする上で、お客さまの実際の電力需要と太陽光発電電力を把握することは極めて重要となる。

当所では、お客さまの実負荷と太陽光発電電力を、個々の配電線レベルで、特別な計測器を増設することなく、**図5**に示すように実用的な精度で推定する手法を提案した[15]。具体的には、配電線を流れる電力の変化を実負荷変動と太陽光出力変動にベクトル分解することで、太陽光出力をリアルタイムで推定する手法を開発した。これにより、配電設備の増強を適切な規模・時期に実施できることとなり、結果として電気料金の低減に寄与することになる。

(4) 今後の取り組み

当チームでは、より上手に電気を利用する技術として、省エネと負荷の平準化の両立を狙った「エネルギー利用機器の開発・評価」や「行動科学を取り入れたデマンドレスポンス技術の開発」、オフィスの知的生産性や住宅の快適性の向上と省エネの両立を図る「職住環境マネジメント技術の開発」などに取り組んでいる。また、スマートメータなどの新たなセンシング技術を活用した「配電系統の電力品質維持」、「配電系統事故時のエリア検出、復旧の高速化」など、電力の安定供給に資する課題にも取り組んでいく予定である。

次回以降では、当チームの取り組みとして、下記を紹介する。

○第２回：電気の新たな価値を活用する研究（ヒートポンプ研究、応用としての農業電化、職住環境の取り組み、電気自動車など）

○第３回：賢く電気をお使いいただく研究（デマンドレスポンス〈DR〉、アンシラリーサービスの価値評価など）

○第４回：良質な電気をお使いいただくための研究（次世代配電技術と需要家の電力品質に関する研究、需要家の多様な機器に対する配電技術の対応など）

参考文献

[1]A.トフラー、H.トフラー、(山岡訳)「富の未来」、講談社、p.279、(2006)
[2]穴山、「電力産業の経済学」、NTT 出版、p.26、(2005)
[3]八田、「電力システム改革をどう進めるか」、日本経済新聞出版社、p.26、(2012)
[4]橘川、「電力改革－エネルギー政策の歴史的大転換」、講談社、p.110、(2012)
[5]スマートグリッド実現に向けた電力系統技術調査専門委員会編、「スマートグリッドを支える電力システム技術」、電気学会、(2014)
[6]例えば、東京電力、「電気供給約款」、平成26年3月1日
[7]高木、田頭、岡田、浅野、「低圧用無効電力補償装置の設置方策の検討－ PV 導入時における電圧上昇対策の費用対効果分析手法の提案－」、電力中央研究所報告 Y14010、2015年4月
[8]坂東、浅野、金田、中野、「米国におけるアンシラリーサービス供給のための需要側資源の活用動向」、電力中央研究所報告 Y14011、2015年4月
[9]経済産業省、「長期エネルギー需給見通し」、平成 27 年7月
[10]資源エネルギー庁、「再生可能エネルギーの導入促進に向けた制度の現状と課題」総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会（第 12 回）－配布資料（http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/pdf/012_02_00.pdf)、2015年6月24日
[11]齋川、岩坪、浜松、「高性能温冷熱供給ヒートポンプシステムの開発（第 3 報 2 段圧縮システムの基本性能評価)」、電力中央研究所報告 W87029、1988年3月
[12]向井、西尾、小松、内田、石田、「スマートメータデータを活用した情報提供と行動変容－集合住宅におけるピーク抑制・省エネ実証事例－」、電力中央研究所報告 Y15002、2015年9月
[13]西尾、「家庭における 2011～14 年夏の節電の実態－東日本大震災以降の定点調査－」電力中央研究所報告 Y14014、2015年4月
[14]木村、大藤、「事業所における 2011～14 年夏の節電の実態－東日本大震災以降の定点調査－」電力中央研究所報告 Y14013、2015 年 4 月
[15]坂口、上村、松田、「配電線センサー情報による区間単位での太陽光発電出力推定手法の開発」電力中央研究所報告 R14012、2015年6月

電気の新たな価値を活用する研究の紹介

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム　電力・エネルギー価値創造グループ長　副研究参事　齋川 路之

「次世代電力需給マネジメント特別研究チーム」の研究や取り組みを４回にわたり紹介する第２回目は、電気の新たな価値を活用する“お客さまサイドの研究”として、ヒートポンプのさらなる高効率化と普及促進に向けた性能評価試験や技術開発、農業電化におけるヒートポンプやLED照明の活用に向けた研究開発、温熱快適性と省エネを両立した職住環境の検討に活用するためのツール開発、および電気自動車の普及のための充電インフラ整備に向けた研究開発などの取り組みを紹介する。

ヒートポンプに関する研究開発

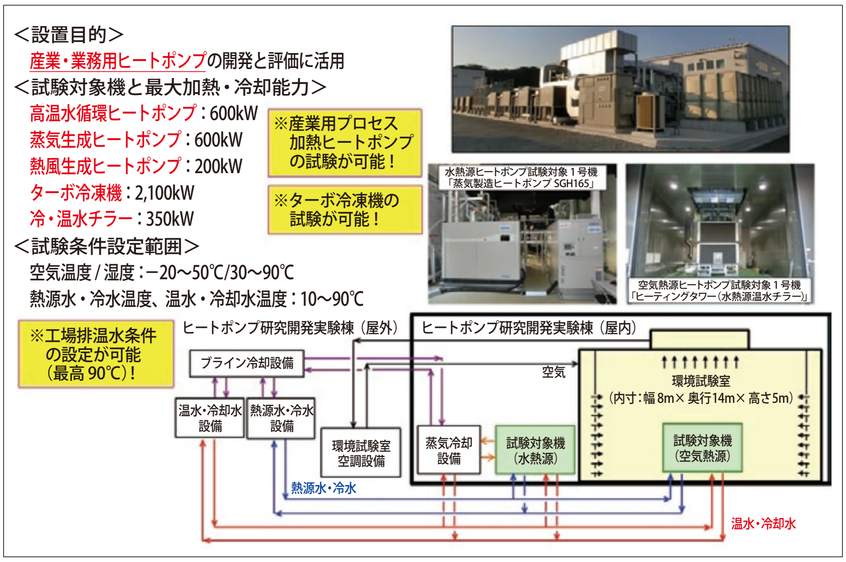
ヒートポンプは、電気という質の高いエネルギーを利用して、熱を温度の低いところから奪って温度の高いところへ与える装置であり、少ないエネルギーで“温める”あるいは“冷やす”ということができる装置である。エアコン、冷蔵庫、ヒートポンプ給湯機など、私たちの身近なところで使われている。

ヒートポンプは、省エネルギー（一次エネルギー消費量削減）・省CO_2（CO_2排出量削減）技術として、国内外で注目を集めており、いっそうの高効率化や産業分野への用途拡大などが期待されている。さらに、ヒートポンプの中で熱を実際に運ぶ物質を冷媒というが、現在使われている多くの冷媒は、地球温暖化係数（GWP）が基準となるCO_2の1に対し、数百から数千と大きいため、低GWP冷媒の開発・利用も課題となっている。

当所では、これまでに、地球温暖化係数が低く（GWP＝1）、オゾン層も破壊しないCO_2冷媒に着目し、実験と計算から、CO_2が給湯用のヒートポンプに最も適した冷媒であることを明らかにした。さらに、これら基礎的な研究の成果をもとに、東京電力とデンソーと共同で、「家庭用CO_2冷媒ヒートポンプ給湯機（愛称：エコキュート）」を2001年５月に世界で初めて商品化した。その後、他メーカの市場参入や国の補助金制度により普及が進展し、2016年３月末で約500万台が出荷された。このような状況の下、当所は、「ヒートポンプ性能評価試験設備」を設置し、エコキュートなどを対象に、外気温度や給湯負荷などをパラメータとした性能評価試験を2007年から開始し、現在も継続して実施中である[1]。

最近では、産業用プロセス加熱分野などでの熱源転換による省エネ・省CO_2を目指して、「ヒートポンプ開発試験設備」（図1）を2013年度に設置し、産業用の大型蒸気生成ヒートポンプなどを対象に、採熱源（工場排温水など）の温度や生成蒸気の温度などをパラメータにした評価試験を実施中である[2][3]。今後は、これらによって得られた知見を、産業分野向けの高効率ヒートポンプの開発などに活かしていく。

図1　ヒートポンプ開発試験設備の概要



また、ヒートポンプの効率向上に繋がる様々な基礎研究にも挑戦しており[4]、今後も各種ヒートポンプのさらなる高効率化と普及促進に繋げていくとともに、CO_2などの地球温暖化係数の低い冷媒の各種ヒートポンプへの適用を目指し、技術開発や機器性能評価などを進めていく。

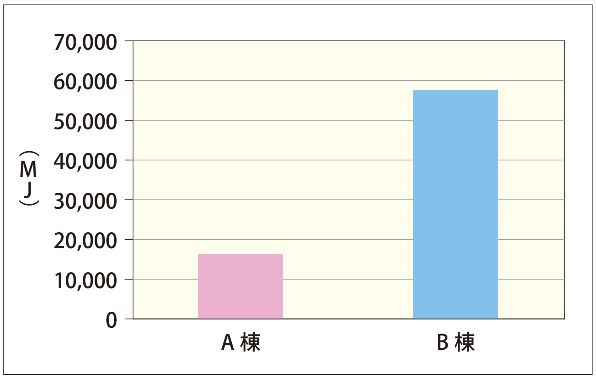
農業電化に関する研究開発

当所では、農業電化に関して、植物工場や施設園芸におけるヒートポンプやLED照明の活用に関する研究開発を進めている。

園芸施設の暖房装置であるヒートポンプは、石油燃焼式暖房装置と比較して、省エネ性やCO_2発生量、ランニングコストなどについて高い評価があるが、ヒートポンプの使用によって作物にどのような影響があるのかは、花卉以外ではあまり知られていない。また、ハイブリッド方式のエネルギー利用に関する研究は進んでいるが、ヒートポンプ単独での知見は少ない。そこで当所では、2つの同型温室にヒートポンプと灯油暖房機をそれぞれ設置し、両温室におけるエネルギー消費量や栽培されたトマトの収量、品質などを比較することによって、ヒートポンプを利用した栽培の特性を明らかにする研究を行っている[5]。

2棟（A棟およびB棟）の同型のガラス温室（間口6.3m、奥行12.6m、棟高3.7m、軒高2.2m）を使い、A棟には空気熱源ヒートポンプを、B棟には灯油暖房機を設置し、トマトの冬季栽培試験を実施した。結果の一例を図2に示す。図は、栽培期間中の一次エネルギー消費量を示したもので、A棟に比べてB棟のエネルギー消費量は高く、3倍以上になっている。また、トマトの品質については、両者の差がなく、収量については、A棟がやや上回る結果が得られた。このような比較研究を進めることで、ヒートポンプ利用の優れた点や改善点を明確にし、ヒートポンプの適切な導入・利用方法を示していく。

図2　栽培期間中の一次エネルギー消費量



LED照明の利用については、一般照明向けLEDの急速な進展に伴い、植物栽培に有効な光強度を得ることができる紫、青、青緑、緑、橙、赤などの発光スペクトルの狭い単色LED光源も入手可能となり、生産効率の向上が追求される植物工場や施設園芸生産現場における効果的な活用法の提案が期待されている。

そこで当所は、他機関と連携し、最新のLED光源を導入して光質と光強度が葉菜類の成長と有用成分蓄積に及ぼす影響の解明に取り組んでいる[6]。一例として、サニーレタスのLED栽培結果では、可食部の増大には赤LED（620～680nm）が有効であり、ポリフェノール類の蓄積には青LED（450～470nm）が有効であることが分かった。結果を総括すると、葉菜類の地上部成長と有用成分蓄積は光質（波長）と光強度に大きく影響されるため、適切な光質制御を実施することで生産性向上と有用成分蓄積が可能であることが分かっている。

今後は、生育ステージに対応した適切な波長や、複数波長に対する作物反応に関する知見を蓄積し、人工光型植物工場における葉菜類の生産性向上に寄与していく。

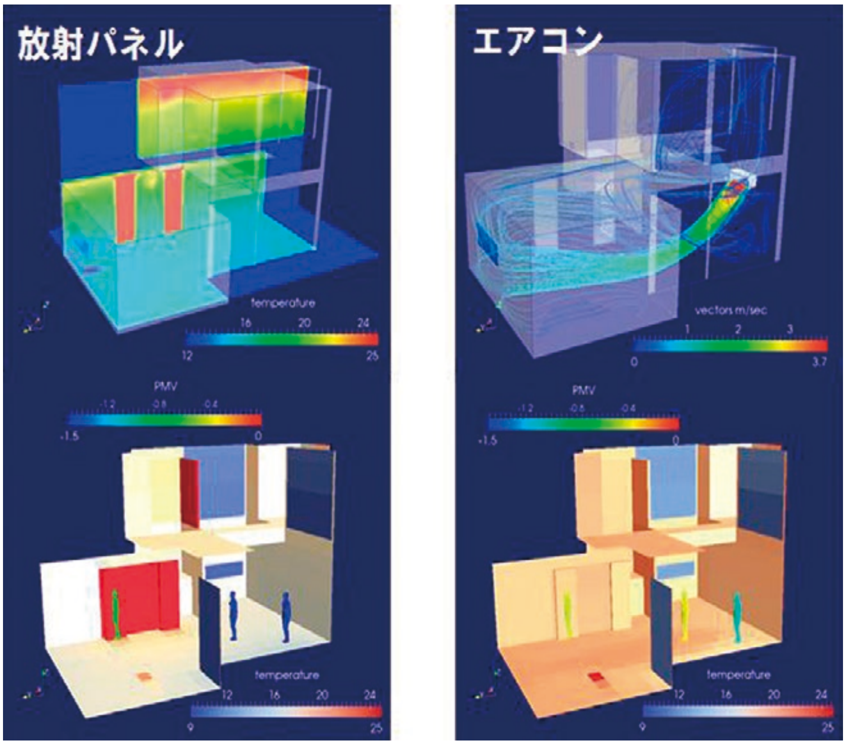
職住環境に関する研究開発

家庭部門における最終エネルギー消費の約3割は冷暖房によるものであり、居住空間の温熱快適性の良否とも密接に関わっている。温熱快適性と省エネの両立を図るためには、住宅性能、空調機器性能、居住者の住まい方などを総合的に検討する必要がある。このためのツールとして、当所では、住宅用室内温熱環境設計ツール（CADIEE）を開発した[7]。本ツールは、以下のような特長を有している。

①住宅の年間暖冷房負荷を正確に計算できる方法として、国土交通大臣の特別認定を取得している。このため、本ツールで評価した住宅の熱的性能を公式な評価結果として公表することができる。

②住宅の設計段階において、建築後の年間の温熱快適性やエネルギー

図3　吹き抜けのある住宅の放射パネルやエアコンによる暖房の解析・評価例



消費を計算することができる。このため、温熱快適性、省エネ性の両面において性能の高い住宅の普及に寄与できる。

③温熱快適性に及ぼす影響は大きいが、従来考慮されなかった放射伝熱現象を精度よく扱える[8]。このため、低放射ガラスなどの窓性能や床暖房の効果など、新しい住宅技術に対応できる。

④詳細な気流解析機能を持ち、エアコンなどからの吹き出し気流を精緻にシミュレーションすることができ、吹き抜けのある住宅の空調・換気などに対応できる（**図3**）。

上記②に関連して、様々な機種のエアコンについて、室内外の熱的な条件が変動する冷房・暖房運転時の消費電力や効率を推定可能な「エアコン熱源特性モデル」を開発、CADIEEに組み込み、任意の気象条件・住宅条件・利用条件下におけるエアコンの消費電力と室内の温熱環境を推定できるようにしている[9]。

さらに、住宅特性、ライフスタイル、消費者の嗜好（環境性or経済性or快適性）を入力条件とし、この条件にマッチしたエアコンの選定を支援するツールの開発も行った[10]。本ツールは、タブレット型PC上で動作するように設計されており、簡易かつ短時間で選定できるようになっている。なお、このツールにおいては、地域やエアコンを利用する部屋の断熱性能、畳数、方位、階といった住宅特性、エアコンの設定温度や使用時間帯といったライフスタイルに対し、冷暖房能力や価格帯（普及機と高機能機）の異なる様々なエアコンを利用して冷暖房を行った際の消費電力・室温を、前述のCADIEEにより詳細に計算、その結果をデータベースとして内蔵している。

今後については、開発したCADIEEをベースとして、住宅だけでなく、各種ビルへの適用や、各種空調方式（全館空調、放射パネル式冷暖房）などの評価研究を進めていく。

電気自動車に関する研究開発

電気自動車（EV）は、電動駆動のため、ガソリン自動車などの内燃機関駆動のような排熱はなく、回生制動によるエネルギー回収もあり、効率も高い。化石燃料に依存しないこともあり、CO_2排出量の抑制にも効果的である。当所では、EVの普及促進に向けて、種々の取り組みを行っている。現在、国内でEVは7万台、プラグインハイブリッド自動車は5万台が走行している。

EVは、走行時に排熱、排ガスが全くなく、走行する街中のエネルギー消費を低減できるため、ヒートアイランド現象の緩和が期待できる。東京23区内において、乗用車や軽自動車をすべてEVで代替した場合、夏の昼間時間帯に約0.6度の気温低下が期待できる。さらに、冷房によるエネルギー消費も削減でき、相乗効果も望める[11]。

EVの普及拡大に向けた課題を明らかにするため、購買対象者へ調査を行ったところ、一充電走行距離が実質100km程度と短い、それを補う充電インフラ整備が不十分、従来の車両コストより割高─が挙げられた[12]。

一充電走行距離の延伸には、軽量・コンパクトな二次電池の実用化が必要である。国では、EV用二次電池の研究開発シナリオを設定し、国

家プロジェクトで「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」（2009年から7カ年）にて、従来のリチウムイオン電池を凌駕する高エネルギー密度の高性能電池開発を進めている。リチウム硫黄電池や空気電池、固体電解質電池などの研究開発が進められている。

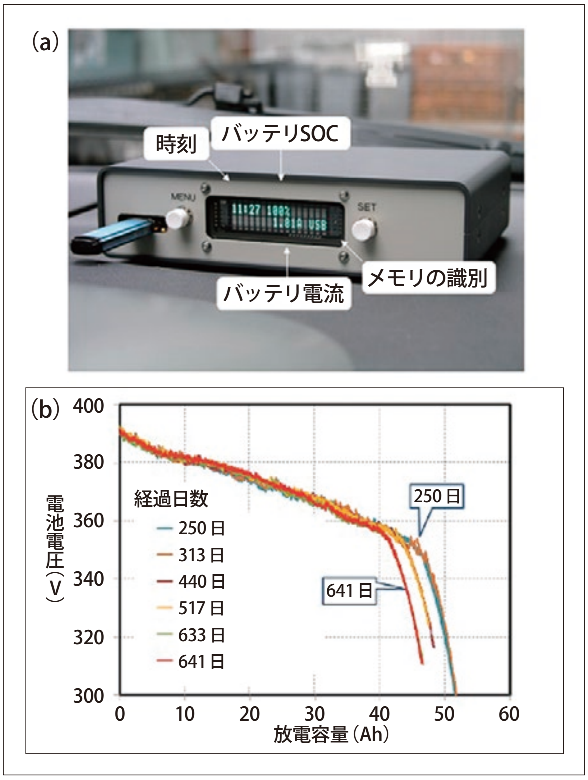
EV運用では、走行距離の短縮に繋がる二次電池性能劣化は一番の懸念事項である。当所では、補助コンビネーションメータ（**図4**）を使い、実使用しているEVを定期的に性能計測している。走行距離のみではなく、納入時からの経過日数の影響も検討し、電池劣化傾向から簡易な評価手法を提案している[13]。

充電インフラ整備については、現在、普通充電と急速充電の2種類が、5000カ所に整備されている。普通充電は、交流200V・3kWで車両に供給し、インフラ整備費は低コストで、一般の家庭や駐車場にも容易に設置できるが、100%までの充電には数時間と長い時間を要する。一方、急速充電は、直流400V・20～50kWで供給し、高電圧受電となり、コスト高になるが、70～80%まで十数分の短時間で充電可能である。

EVの一般市販に合わせて、一般家庭や商業施設の駐車場などへの普通充電設備の設置に関するガイドブックが、経済産業省と国土交通省でとりまとめられた[14]。一方で、国は急速充電スタンド整備の推進のために、当所で開発した交通シミュレータによる全国の道路、地形を考慮した検討結果を基に、2014年に設置モデルプランを作成・発表した。都市圏を中心に充電インフラは整いつつある[15]。

EVをはじめとした車両の電化推進は、地球温暖化に向けた運輸部門で期待される技術である。わが国では、まず、東京オリンピック・パラリンピックを目指し、EV普及拡大を推進する。EVの二次電池高性能化に加えて、一充電走行距離の延伸や非接触給電技術による利便性向上を進める必要がある。一方、スマートグリッドや災害時対策として蓄電池システムなどの車両以外の利用メリットも期待されている。また、より一般的な、利用頻度の高いEVとして、通勤、業務での車両運用に使えるように、事業所などへのインフラ整備を進めることも必要である。

図4　EV搭載の（a）補助コンビネーションメータとその結果から算出した（b）二次電池の容量低下傾向



参考文献

[1]藤縄ほか：多機能型 CO_2 冷媒ヒートポンプ給湯機の性能評価－給湯および暖房を含む性能評価手法の検討－、2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2012

[2]橋本ほか：各種大型ヒートポンプ性能評価試験設備の開発－第1報：試験設備仕様の検討－、2013年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2013

[3]甲斐田ほか：各種大型ヒートポンプ性能評価試験設備の開発－第2報：試験設備の健全性の検証－、2013年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、2013

[4]張莉ほか：無着霜ヒートポンプ給湯システムに関する研究開発－第2報：吸着剤塗布熱交の熱・物質移動特性の把握及びシステムの試設計－、電力中央研究所報告、M14004、2014

[5]後藤、庄子：同型温室における石油暖房機とヒートポンプの多面的な比較、農業環境工学関連5学会2015年合同大会、2015

[6]庄子：LEDによる葉菜類の機能性成分向上、施設と園芸168(2015冬) 4-7、2015

[7]宮永、占部：住宅用室内温熱環境設計ツールの実用化－その1：多数室空調負荷・温熱快適性指標の同時計算手法－、電力中央研究所報告、R06016、2007

[8]宮永、中野：拡散面と鏡面からなる三次元閉空間内の放射伝熱改良型光線追跡法を用いた計算方法－、日本機械学会論文集、65巻635号B編、1999

[9]上野、北原：家庭用エアコンの熱源特性モデルの開発、電力中央研究所報告、R09、2015

[10]安岡、上野、宮永：家庭用エアコン選定支援ツールの開発 - その2ライフスタイルや選好を考慮したツールの構築－、電力中央研究所報告、R14010、2015

[11]池谷：電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価、電力中央研究所報告、Q08030、2009

[12]土屋：電気自動車の家庭への普及ポテンシャル、電力中央研究所報告、Y11032、2012

[13]岩坪：実走行データを活用したEV搭載電池の容量低下推定手法の提案、電力中央研究所報告、M15001　2015

[14]経済産業省、国土交通省：充電設備設置にあたってのガイドライン、2010 http://www.mlit.go.jp/common/000130718.pdf

[15]次世代自動車振興センター、電力中央研究所、構造計画研究所：充電ステーション最適配置に関する解析調査、2012、http://www.cev-pc.or.jp/chosa/download.html

賢く電気をお使いいただく研究の紹介

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム　電力・エネルギー価値創造グループ　需要マネジメントユニットリーダー　副研究参事　永田 豊

「次世代電力需給マネジメント特別研究チーム」の研究や取り組みを4回にわたり紹介する第3回目は、お客さまに働きかけることで需要を供給にマッチさせるなど“賢く電気をお使いいただくための研究”として、デマンドレスポンスを新たな需給対策や新サービスに活用するための研究や、電力品質維持のための系統運用に活用するための研究、スマートメータから得られるデータを利用した新サービス提案のための研究などの取り組みを紹介する。

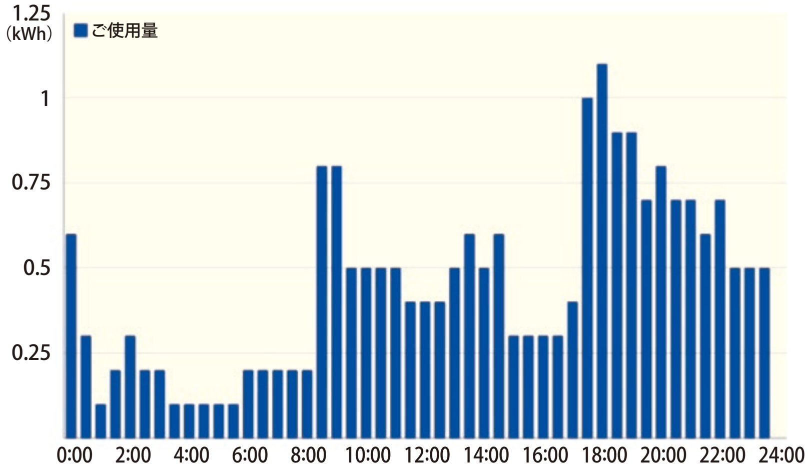
背景：着実な普及が進むスマートメータ

現在、スマートメータの普及が着実に進められており、一番早い東京電力では2020年度、最も遅い沖縄電力でも2024年までに全世帯に取り付けられる予定となっている[1]。スマートメータは、計量値を通信により集計するため、検針員の巡回が不要になるなどの経費削減メリットに加え、各世帯の30分積算の消費電力量を計測するので、この計測値を用いた様々なサービス展開が考えられている。

すでに、一部の電力会社では、インターネット回線を通じてスマートメータのデータの「見える化」サービスが始まっている。図1は2015年7月より始まった、東京電力の「でんき家計簿」サービスで実際に見られる、筆者の自宅の電力需要パターン（夏季平日で1日の需要が最大だった日）で、早ければ前日のデータを見ることができる。時間帯別の使用量は、電気の使い方を考える上での第一歩となると思われるが、このようなサービスが全世帯に及ぶと思われる。

本連載第2回で、電気の新たな価値を活用するための研究として、当所のヒートポンプ研究、農業電化、職住環境、電気自動車などについて紹介した。今回は、お客さまに働きかけることにより、需要を供給の都合にマッチさせていただく取り組み、いわゆる「デマンドレスポンス」に関して、当所で実施した研究を紹介させていただくことを通じて、「賢く」電気をお使いいただく方法について考えてみたい。

図1　スマートメータによる時間別グラフの例



賢い電気の使い方―デマンドレスポンス

電力需要は、夏季に、冷房需要に伴う急峻なピークを伴う。震災直前の2010年度における、沖縄を除く9社計のデータで見ると、1年間で系統全体の需要が特に多いのは8760時間のうちわずか180時間程度で、この間だけで大規模発電所15基分、1500万kWも需要が多かった。このため、このピークの間だけ、お客さまに節電を要請すれば、その分の発電設備を持たなくて済み、長期的に電気代を安くすることができると考えられる。

このような発想のもと、古くはデマンドサイドマネジメント（需要側管理、DSM）、最近ではデマンドレスポンス（需要反応、DR）という考えに基づく、電力ピーク需要抑制の試みが続けられている。そして、その一部は、これまでも「需給調整契約」という形で、実際に工場などの大口のお客さまに利用していただいている。

しかし、需給調整契約は限られたお客さましか利用できない。冒頭で述べたスマートメータの普及やイン

ターネットなどの情報通信技術の発達を考慮すると、一般のお客さまも参加できるようなDRプログラムを設定することが可能になると思われる。このため、節電意識が高まった東日本大震災後を中心に、一般のお客さまを対象としたDRの実証試験が各地で行われている[2][3][4][5]。

最近では、2015年度にネガワット取引を対象とした国の「次世代エネルギー技術実証事業」が行われている[6]。本事業では、需要削減を発電と等価な資源（＝ネガワット）として相対契約や市場を通して取引することを想定しており、一般電気事業者3社と、一般電気事業者と需要家の間をつなぐ事業者（＝アグリゲータ）として、複数の企業が参画している。

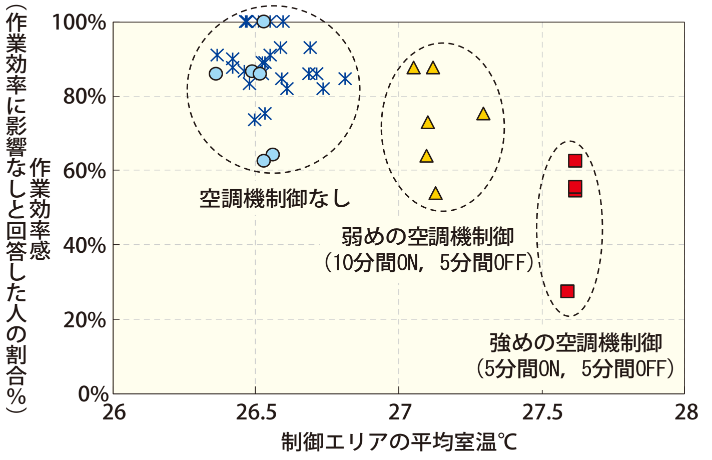
また、2014年6月の電気事業法の改正により、2015年4月に創設された電力広域的運営推進機関は、将来の供給力が不足すると見込まれる場合、新たな供給者を募集することになっているが、その際、発電所の新設に代わり、DRによるネガワットで応募する事業者が現れる可能性がある。

電力中央研究所におけるDR研究

（1）海外先行DR事例の分析とわが国で導入する際の課題についての検討

当所では、DRがDSMと呼ばれていた1980年代から、本分野に関する研究を行ってきた。近年では、米国など先行する国における事例の調査[7]、アンケートによるDRプログラムの市場ポテンシャルの評価[8]、業務用需要家の自動化DRシステムについての分析[9]、家庭用スマートメータの社会的便益の評価[10]などである。これらの研究を通じて、わが国でピーク需要を削減するようなDRを実施する場合に、どのようなお客さまや用途で削減ポテンシャルが多そうか、また、どのような課題が予想されるかなどを明らかにしてきた。

図2　空調機制御エリアの平均室温と作業効率感の関係



例えば、夏のピーク需要が発生する時間帯に、オフィスの冷房設定温度を上げたり、一時的に冷房を切ったりすると、室内温度が上がることで作業効率が低下するといったことが問題となる可能性がある。このような問題に関して実証試験を行うことにより、その程度を定量的に分析した（**図2**）[11]。また、小規模工場などのお客さまが、決められた生産スケジュールを守りつつピーク需要を下げるための、利用機器の運転パターンを変える方法を提示するためのツールを、実際のお客さまのご意見を伺いながら開発した[12]。

（2）新しいDR方式その1（再生可能エネルギー導入対応）

その後、東日本大震災後の供給力不足が解消するにつれ、DRを新たな需給対策や新サービスに活用するための研究を重点的に進めている。

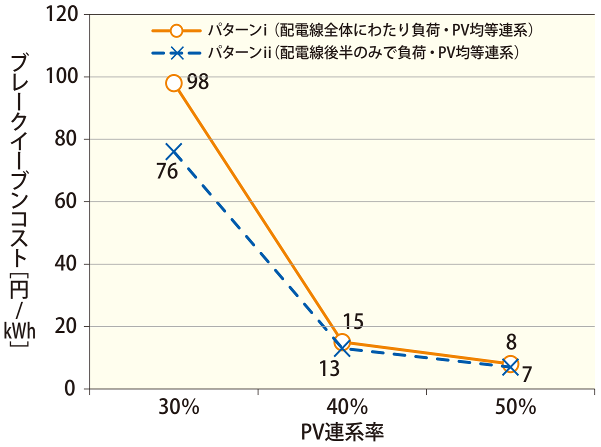
その一つは、2012年7月に始まった再生可能エネルギーの固定価格買取制度に伴う、太陽光発電（PV）の急速な普及への対応である。PVが大量に普及した場合の問題点は様々あるが、その中でも、家庭の屋根に据え付けられたPVからの大量の逆潮流電力による、配電電圧の上昇問題について、これを防ぐため、お客さまにPVの系統連系を一時的に解除（解列）してもらうことをDRメニューとして設定した場合の、ブレークイーブンコスト（DR対策に投資可能な最大費用）を評価した（**図3**）[13]。

一方、電圧上昇のための具体的な対策として、無効電力を補償する方法があるが、これに関しては、どのようなタイプの装置をどの場所に設置することが経済的になるかについて、モデル配電系統を用いて分析している[14]。

（3）新しいDR方式その2（アンシラリーサービスを目的としたFast DR）

もう一つは、電気事業に関する規制の変化、いわゆる電力システム改革を受けた、将来の電力供給体制の変化を見越した分野に関する研究である。2020年度までに、電力会社の発電、送電、配電、小売の各部門が法的分離され、送電に関しては、各地域の独占的な送電会社と、2015

図3　PV逆潮流による配電電圧上昇対策をDRで行う場合のブレークイーブンコスト



年4月に創設された電力広域的運営推進機関が担うことになっている。その際、これまでの発送電一貫体制では電力会社が独自に行っていた、電力品質（周波数や電圧）を維持するために日々行っている系統運用サービスである「アンシラリーサービス」の一部が、市場で取引されるようになる可能性がある。

このアンシラリーサービスに、DRを活用するための研究も行っている。それらは、先行する米国の動向調査[15]、わが国におけるポテンシャル推計[16]に加え、業務用のエアコンの出力を集中制御により短周期で調整することにより、周波数の変動を抑えることのシミュレーション分析（**図4**）[17]などである。業務用空調機を制御に加えることにより、火力のみで制御する場合と比べ、マイナス側の周波数変動を大きく抑制できる。将来、PVや風力が大量に導入され、周波数調整能力が供給側だけでは足りなくなった場合、お客さまの機器を利用することが考えられる。

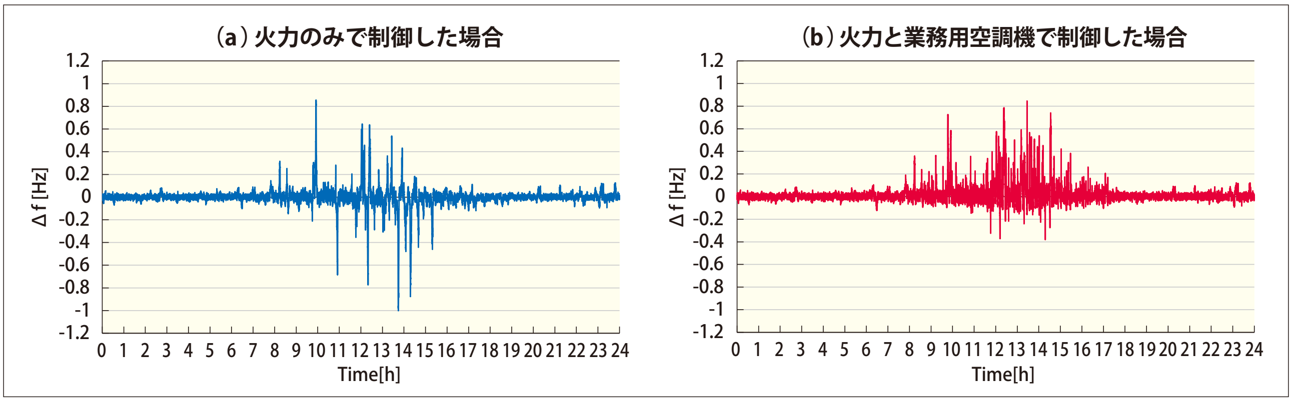
また、米国の主要6系統運用機関（ISO）/地域送電機関（RTO）の調査に基づき、わが国がアンシラリーサービスにDRを利用する際に重要な点（需要側資源の信頼度を確認しながら徐々に導入量を増やすこと、需要側資源の応答性の評価方法を設定し、信頼度を維持できる資源のみが参加できるような制度にすることなど）を提言している[18]。

（4）スマートメータを利用したお客さま満足度の高いDR実現に向けて

さらに、冒頭で述べたスマートメータの普及を見据え、スマートメータから得られるデータを利用した新サービス提案のための研究も行っている。スマートメータの計測値は、**図1**に示したように30分積算・100W単位とあまり細かいものではないが、それを適切な手法を用いることにより、気温に敏感な冷暖房などの需要や、年中変わることのない固定的な需要などにかなりの精度で分解できることを確かめている[19]。また、高圧一括受電マンションを対象とした実証試験で、各家庭の電気の使い方に応じて、節電のためのアドバイスを自動的に生成するシステムを開発し、その効果や使い勝手などを検証している（**図5**）[20][21][22]。

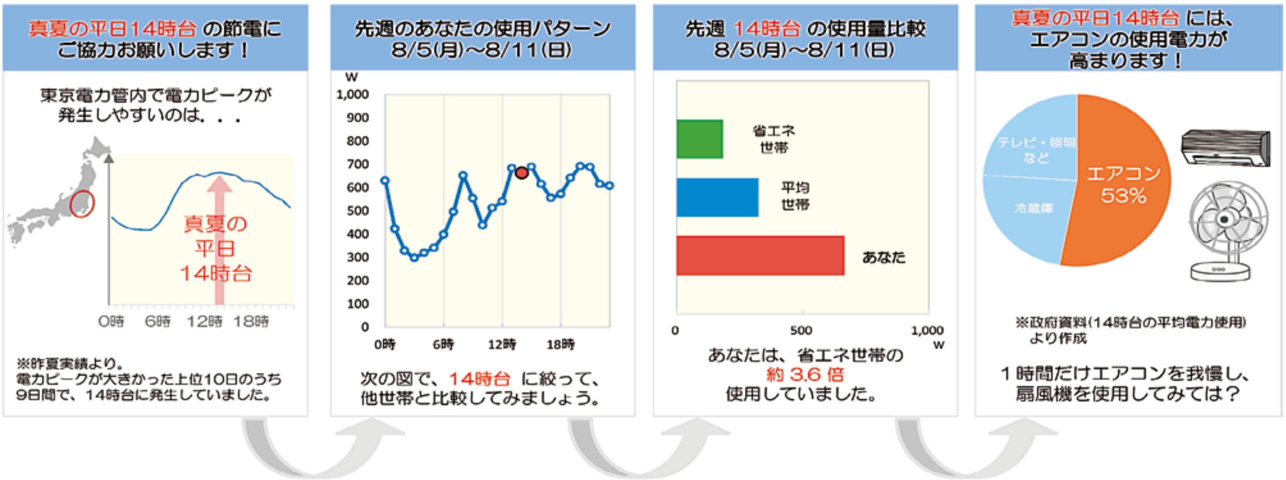
これらの研究を、例えば、それぞれのお客さまの電気の使い方に応じて最もお得な料金プランや利用可能なDRメニューを提案したり、冷暖房需要が特に多いお客さまには節電方法や、省エネ性能が高いエアコンへの買い替えを勧めたりすることへの応用が考えられる。2016年4月より、電力の小売全面自由化が開始となり、お客さまは自由に小売事業者を選ぶことができるようになる。その際、料金だけでなく、きめ細かでお客さまのニーズに応えるサービスを提供することがますます重要になると思われ、本研究はそれにとって最初の

図4　再生可能エネルギー大量普及時の周波数制御に業務用空調機を用いた場合の効果



（注）東北電力管内、中間季休日、PVが3GW・風力が2GW導入された場合を想定。

図5　世帯ごとにカスタマイズした省エネアドバイスレポートの例



ステップとなるものと考えている。

おわりに

DRの実証試験で統計的に有意な結果を得るためには、数百以上のサンプルが必要で、そのための計測や情報提供装置などに多くの費用がかかる。一方、当所におけるDR研究は、これまで示した例のように、限られた予算でDRに関わる効果的なインプリケーションが得られる研究内容に特化していることが一つの特徴である。

再生可能エネルギーの固定価格買取制度や電力システム改革の影響で、電気の需給をめぐる状況は大きく変わることが予想される。スマートメータの普及や大容量・高速情報通信技術の発展も相まって、今回紹介したように、今後、電力の供給事業者が、お客さまに電気の使い方について働きかけることが増えるのは必定と考えられる。我々は、デマンドレスポンスを介して、お客さまにとって賢い電気の使い方が、供給事業者にとってもコスト低減につながるようなWin-Winの関係になるような方策が重要であると考えており、今後もそれに向けた具体的な提案ができるような研究を続けていきたい。

参考文献

[1]資源エネルギー庁電気・ガス事業部、「スマートメーターの導入促進に伴う課題と対応について」、経済産業省スマートメーター制度検討会（第15回）配布資料3、p.5、(2014.12.9)

[2]資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部、「次世代エネルギー・社会システム実証事業―進捗状況と成果等―」、経済産業省次世代エネルギー・社会システム協議会（第16回）配布資料1、(2014.4.24)

[3]ジャパン・スマートシティ・ポータルホームページ、http://jscp.nepc.or.jp/index.shtml

[4]九州電力、「電気料金による電力使用抑制効果に関する実証試験（結果）について」(2013.1.22) http://www.kyuden.co.jp/press_h130122-1.html

[5]早稲田大学先進グリッド研究所、「早稲田大学EMS新宿実証―新宿実証から開く日本の扉―」、(2014.11.1)

[6]一般社団法人新エネルギー導入促進協議会、「平成26年度次世代エネルギー技術実証事業費補助金（補正予算に係るもの）の採択者一覧（第一回）」http://www.nepc.or.jp/topics/pdf/150417/150417_2_1.pdf

[7]山口、今中、浅野、「米国における需要反応プログラムの実態と課題」、電力中央研究所報告 Y05028、(2006)

[8]山口、高山、「業務・産業需要におけるデマンドレスポンスのポテンシャル評価―関東圏の事業所アンケート調査に基づく集計・分析―」、電力中央研究所報告 Y10020、(2010)

[9]高橋、浅野、山口、「業務部門のデマンドレスポンスによる需要調整の技術的ポテンシャルの評価」、電力中央研究所報告 Y08034、(2009)

[10]高山、山口、高橋、戸田、浅野、「スマートメータ導入に関する米国の動向とわが国における便益評価の課題」、電力中央研究所報告 Y09028、(2010)

[11]高橋、上野、高山、浅野、「オフィスにおけるデマンドレスポンス制御試験：需要調整効果と居室内快適性の分析」、電力中央研究所報告 Y09014、(2010)

[12]坂東、比護、浅野、古川、「産業用需要家の電力需要マネジメントのための設備利用計画策定ツールの開発」、電力中央研究所報告 Y12018、(2013)

[13]河村、「太陽光発電大量連系時の系統電圧制御に対するデマンドレスポンスの適用可能性―発動頻度と経済性の評価―」、電力中央研究所報告 Y12008、(2013)

[14]高木、田頭、岡田、浅野、「低圧用無効電力補償装置の設置方策の検討―PV導入時における電圧上昇対策の費用対効果分析手法の提案―」、電力中央研究所報告 Y14010、(2015)

[15]坂東、浅野、金田、中野、「米国におけるアンシラリーサービス供給のための需要側資源の活用動向」、電力中央研究所報告 Y14011、(2015)

[16]高橋、「再生可能エネルギー電源大量連系に対応するアンシラリーサービス型デマンドレスポンスの導入可能性の検討」、電力中央研究所報告 Y13030、(2014)

[17]菊池、浅野、坂東、「再生可能エネルギー電源大量連系時の業務用空調機電力制御による負荷周波数制御」、電気学会論文誌、B135 (4)、233-240、(2015)

[18]坂東、浅野、金田、中野「米国におけるアンシラリーサービス供給のための需要側資源の活用動向」、電力中央研究所報告 Y14011、(2015)

[19]小松、西尾、「スマートメータデータ分析情報の活用―分析技術の動向調査と需要分析の予備的検証―」、電力中央研究所報告 Y14003、(2014)

[20]向井、西尾、小松、内田、石田、「高圧一括受電マンションにおける電力ピーク抑制策の実証研究：2013年夏のピーク抑制・意識変容効果の検証」、エネルギー・資源、35 (4)、7-17、(2014)

[21]小松、西尾、向井、篠原、「電力消費量データを活用した省エネルギーアドバイスレポートの自動生成システム」、電気学会論文誌、C134 (9)、1394-1405、(2014)

[22]向井、西尾、小松、内田、石田、「スマートメータデータを活用した情報提供と行動変容―集合住宅におけるピーク抑制・省エネ実証事例―」、電力中央研究所報告 Y15002、(2015)

良質な電気をお使いいただくための研究の紹介

電力中央研究所　次世代電力需給マネジメント特別研究チーム　配電システムグループ長　研究参事　小林 広武

「次世代電力需給マネジメント特別研究チーム」の研究や取り組みを4回にわたり紹介する最終回は、太陽光発電や蓄電設備といったお客さまサイドの分散形エネルギーシステムや負荷機器との連携・協調をうまく取りながら、それらが多く系統に接続されても配電線電圧を適正な範囲内で維持し、質の高い電気をお客さまにお使いいただくための“次世代配電技術に関する研究”などの取り組みを紹介する。

電気を利用するお客さまの能動化と配電系統の課題

近年、電気事業者のお客さま自身も太陽光発電を中心とした分散形電源、蓄電池設備、電気自動車によるVtoHなど、分散形エネルギーシステムを所有するとともに、HEMSやBEMSにより自ら電気利用を管理運用する、いわゆる「需要の能動化」が進みつつある。加えて固定価格買取制度の導入により、メガソーラーなどの事業を目的とした太陽光発電も需要地域に大量導入されつつある。

このような太陽光発電を中心とする分散形電源が図1に示す電力会社の配電線に接続され、発電した電気や住宅などで余った電気（余剰電力）が配電線に送り込まれると、配電線末端側から変電所側に向かって電気が流れるいわゆる逆潮流が生じる。その結果、配電線電圧が上昇し電気事業法で規定されている適正範囲（100V系で95V～107V）を逸脱する可能性がある。

また、災害などにより配電線が切れて地面に接触（地絡）した場合やショート（短絡）した場合、変電所でこれらの事故を検出し、1秒程度以内の短時間で当該配電線を変電所から切り離して安全を確保するが、この時分散形電源や蓄電池設備が配電線に接続したまま運転を継続するいわゆる単独運転が発生し安全確保に影響を及ぼす可能性がある。

現状では、このような配電線接続問題については、基本的に、系統連系規程[1]にもとづき分散形電源や蓄電池設備側で各種の対策が施されている。例えば、電圧上昇問題については、配電線接続地点の電圧を自ら監視し、これが上限を超えそうになったら無効電力を出力して電圧を低下させたり、発電電力自体を減少させて適正範囲を維持している。

しかしながら、大量接続時には電圧上昇の程度が大きくなり、これにより発電電力の抑制量が増大するケースが増え、新たな問題となる。加えて、将来的にお客さまサイドに蓄電池設備や電気自動車が普及した場合、例えば電気料金の安い時間帯で一斉に充電が行われる時など、逆に配電線電圧が下限値を逸脱し、充電量に制約がかかるケースも想定される。このような分散形電源の発電や蓄電池設備の充放電への制約を極力与えずに配電線電圧を適正範囲内に維持する新たな

図1　配電系統の構成例

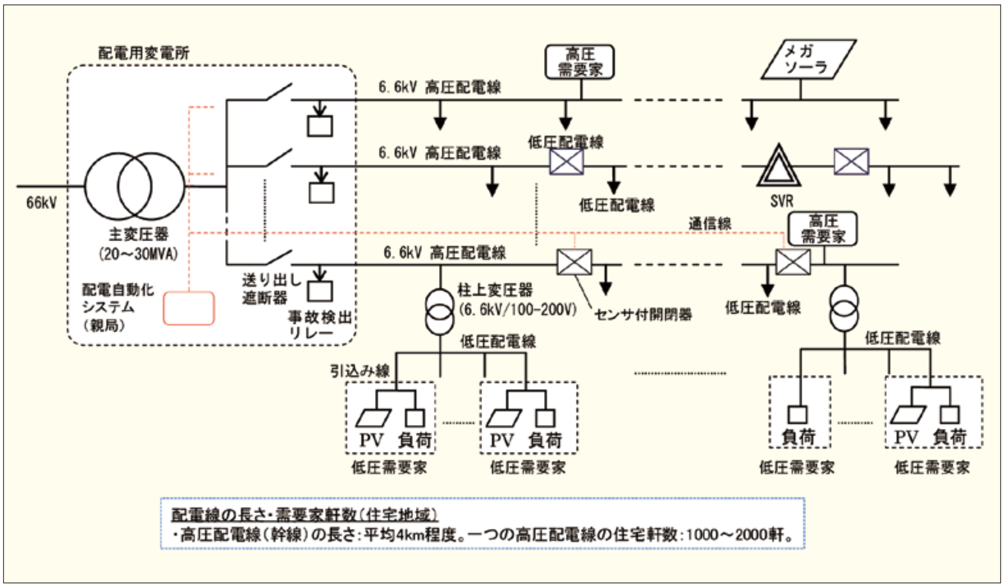
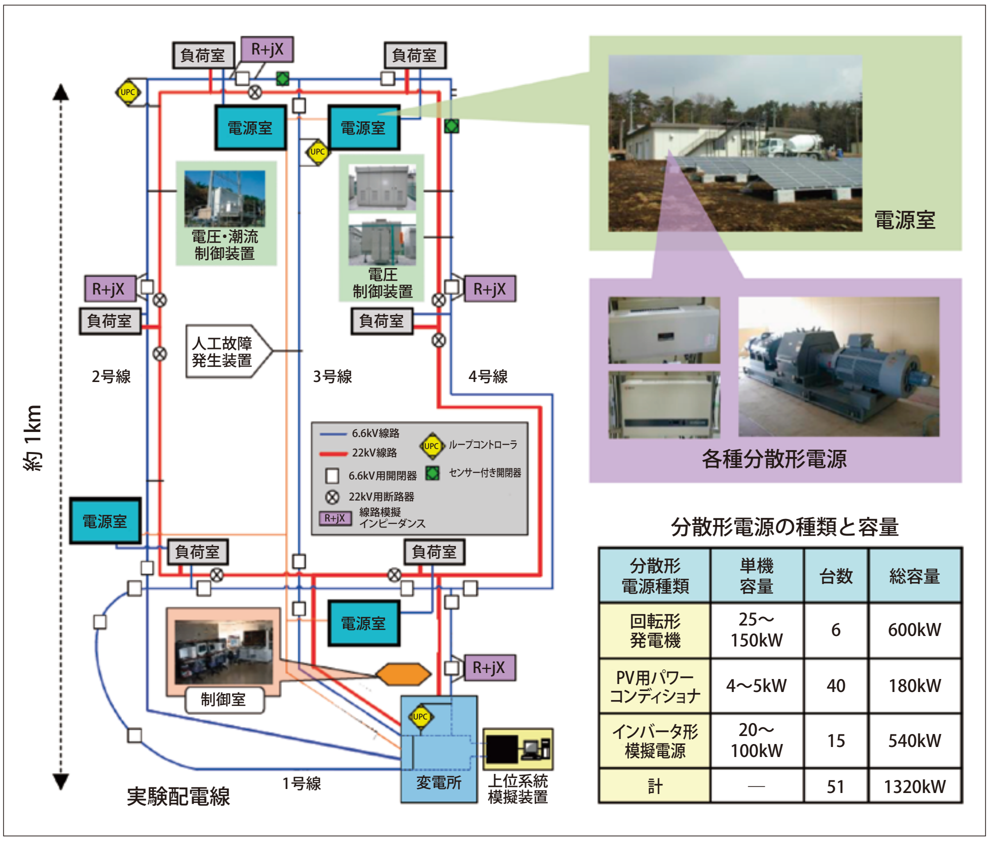


図2　需要地系統ハイブリッド実験設備の概要



分散形電源の種類と容量

分散形電源種類	単機容量	台数	総容量
回転形発電機	25〜150kW	6	600kW
PV用パワーコンディショナ	4〜5kW	40	180kW
インバータ形模擬電源	20〜100kW	15	540kW
計	—	51	1320kW

技術が必要になっている。

さらに、分散形電源の運転により、配電線の実際の負荷量が把握できなくなるケースが生じる。通常、事故などにより配電線で停電が発生した場合、停電地域の負荷量に供給可能な別の配電線ルートを決定し、ルート切り替えにより早期復旧が図られるが、正確な負荷量を把握できなくなると、切り替えた配電線ルートに設備容量を超える過大な電流が流れて再度の停電を招くなど、早期復旧ができなくなる可能性が生じる。対策として、配電線に接続している分散形電源の発電出力をリアルタイムで簡易に推定する手法の開発が求められている。

電力中央研究所における次世代配電技術の開発

このような新たな課題に合理的かつ的確に対応し、対策コストを極力抑えながらお客さまへの良質な電気の供給を維持していくために、当所では、お客さまの所有する分散形電源、蓄電池設備さらには負荷機器との連携・協調も考えた次世代配電技術の開発に取り組んでいる。

(1) 概要

分散形電源の大量接続に対応する配電系統の構成・運用技術に関しては、当所では、2000年度に「需要地系統」の概念を提案し、国の開発プロジェクトにも参画しながら、配電線を流れる電気の向きや量および配電線電圧を同時に高速でコントロールする新型配電線制御装置や、情報通信によるこれらの制御装置の集中制御方式を開発した[2]。

並行して、当所赤城試験センターの構内に、各種分散形電源を併設した実規模スケール配電系統実験設備である「需要地系統ハイブリッド実験設備」(図2)を建設し、これらの開発技術を実証した。成果は各電力会社の配電自動化システム高度化の検討などに資されている。「需要地系統ハイブリッド実験設備」は、引き続き国プロや電力会社からの多くの受託実験にも活用されており、実規模スケールで配電系統技術や分散形電源接続技術を総合的に実験できるわが国随一の設備となっている。

当所では、これらの知見や実験設備をベースに、現在、太陽光発電大量導入や需要能動化に対応する以下の次世代配電技術に関わる研究開発を進めている。

①配電系統の電圧管理や事故時運用への影響評価と対応策検討を支援する配電系統解析ツール

②配電線センサやスマートメータの情報を活用した配電自動化・制御システム高度化技術

③お客さま機器と連携した電圧変動抑制技術

④高調波対策技術

⑤高性能二次電池の性能評価技術

(2) 配電系統解析ツールの開発

電力会社の配電現場での使用も視野に入れたもので、配電系統の電圧管理への影響評価と対応策の検討を支援する解析ツール「配電系統総合解析プログラム」の開発を進めてい

図3　配電系統総合解析プログラムの入出力項目

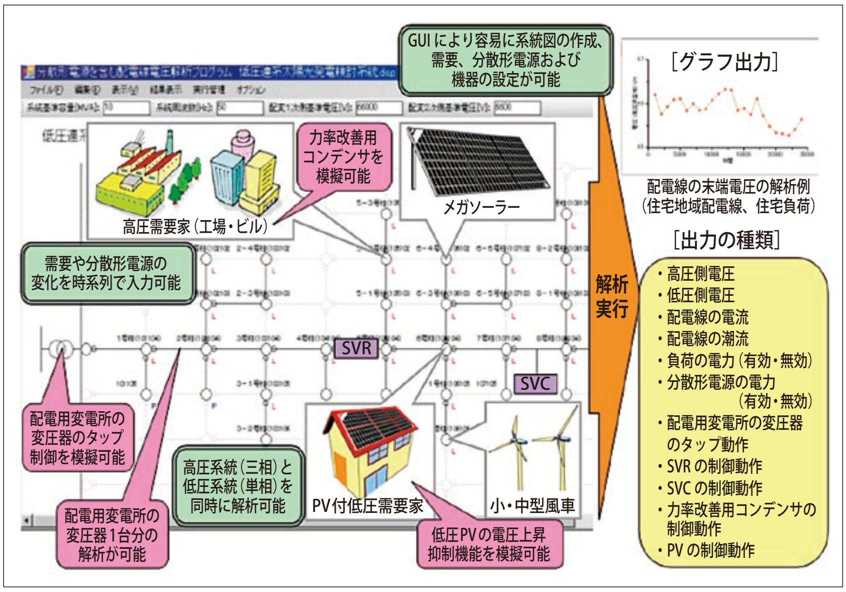
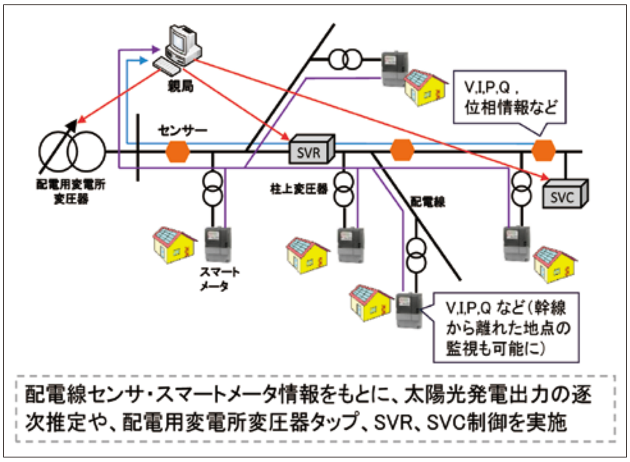


図4　配電自動化・制御システム高度化技術の概念



る[3]。本プログラムは、「需要地系統ハイブリッド実験設備」において過去10年にわたって実施した各種実証試験結果を反映させたもので、現バージョンは、電力会社10社において配電運用や研究開発に活用されている。

特徴は、汎用PC（MS-Windows）上で動作し、GUI（Graphical User Interface）を用いることにより操作が容易であり、任意の配電系統構成（高圧・低圧線路形態、各地点の負荷量時系例パターン、分散形電源出力時系列パターン・電圧制御方式など）に対応するとともに、将来技術を含め、配電線側のあらゆる対策技術の評価（各種技術適用時の各地点電圧・潮流時系列特性、分散形電源の抑制出力電力量など）を可能としている。また、三相不平衡解析も可能である。図3にPC上の高圧配電線構成例と入・出力項目を示す。

また、太陽光発電などの分散形電源の多くはパワーコンディショナ（PCS）を用い、パワエレ技術による周期1万分の1秒以下の高速スイッチングにより直流を交流に変換して電力系統に接続している。今後、配電線への導入が想定される同じくパワエレ技術を適用した高速電圧調整装置TVR（Thyristor Voltage Regulator、STATCOMなど）との協調制御方式や、配電線事故時や単独運転時などの過渡変動に対する分散形電源の動作特性の評価のためには、電圧や電流の波形レベルでの解析が必要となる。このため、当所開発の電力系統瞬時値解析プログラムXTAP（eXpandable Transient Analysis Program）に用いるもので、太陽光発電用PCSを含めこれらの解析に必要となる配電系統構成要素のシミュレーションモデル開発を進めている[4][5]。

（3）配電自動化・制御システム高度化技術

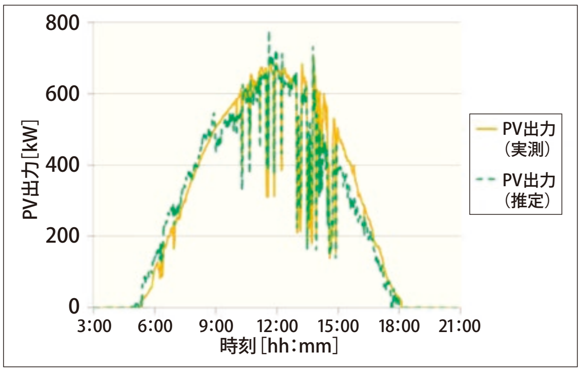
配電系統の管理・運用面の対策技術として、電力会社が設置・更新を進めている配電線センサ（配電線の電圧や電流を逐次計測する装置）やお客さまへの導入が進められているスマートメータの各情報を活用した、配電自動化・制御システム高度化技術（図4）を開発している。これまでに、課題となっている配電線の太陽光発電出力推定法として、配電線センサで得られる潮流変動分を負荷変動分と太陽光発電出力変動分にベクトル分解することによってリアルタイムで推定する簡易な手法を開発し、実際の運転データとの比較により実用精度が得られることを確認した[6]（図5）。

また、配電線センサ・スマートメータ情報の活用により、配電線電圧調整装置をより的確に制御する方式の開発を進めている。さらに、これらの情報を活用した配電線事故地点の探索方式、断線検出方式などを開発する計画である。

（4）お客さま機器と連携した電圧変動抑制技術

住宅には太陽光発電の導入が進んでいるほか、将来的には電気自動車を含めた蓄電池設備の導入拡大も想

図5　太陽光発電出力推定結果
（誤差：平均6%、90%値12%）



定される。これら住宅のお客さまは電圧変動面で高圧配電線より厳しくなる低圧配電線に接続される。そこで、最終的には太陽光発電用や蓄電池用のPCSへの組み込みを目指すものであるが、電圧変動対策として低圧配電線用無効電力補償装置の開発を進めている[7]。

また、これら低圧配電線用やお客さま設置PCSを含め、経済性の観点から、適切な配電線電圧調整装置の組み合わせや配置法についての解析評価に取り組んでいる[8]。さらに、余剰電力問題を含め、お客さまからの逆潮流電力に制限がかかった場合を対象に、ヒートポンプ式給湯機（エコキュート）や蓄電池設備などのお客さま機器を利用した太陽光発電出力有効活用技術の開発にも取り組んでいる[9][10]。

（5）高調波対策技術

分散形電源や蓄電池設備に使用されるPCSのほか、インバータエアコンなど多くの負荷機器からは高調波電流（50Hzや60Hzの基本周波数の整数倍の周波数をもつ電流）が発生する。これらが大きなものとなると配電線電圧にひずみが生じ、お客さま機器に悪影響を与える可能性がある。そこで、負荷機器の高調波電流限度値の研究や電圧歪みの低減につながるお客さま機器の仕様条件や組み合わせ条件などの研究を進めている[11][12]。

（6）高性能二次電池の性能評価技術

電気自動車用のほか、再生可能エネルギー大量導入時の電力系統安定化対策としても期待されるリチウム二次電池を対象に、適切な蓄電池設備の設計や長寿命運転を達成する運用方法の検討、および電池自体の長寿命化に資するものとして、運用時の性能低下傾向を把握する性能評価技術の開発や、電池劣化メカニズムの解明を進めている[13][14]。

おわりに

今後とも、太陽光発電を中心とする再生可能エネルギーの導入が進められるとともに、2016年度からの電力小売全面自由化に伴い、地域によっては多数の小売事業者が参入し、これによって需要の能動化はお客さま単位からお客さま群の単位で進むことも想定される。当所では、このようなお客さま群単位での能動化を一種のコミュニティ化として捉え、コミュニティが分散形電源も活用しながら経済最優先で運用した場合の配電系統の運用に与える影響や対策法など、いわゆる部分最適（コミュニティ単位での経済運用など）と全体最適（電力系統全体の安定運用など）の両立を目指した研究にも着手している[15]。

今後は、連載第3回で紹介したデマンドレスポンス（DR）もうまく活用しながら、再生可能エネルギーの大量導入への対応はもとより、上述のお客さまサイドの大きな変化にも柔軟に対応できる配電系統技術さらには電力系統全体の運用技術の開発・構築を鋭意進める所存である。

参考文献

[1]（社）日本電気協会、系統連系規程（JEAC 9701-2010）、オーム社、（2012）
[2]小林、石川、浅利、岡田、上村、八太、大谷：需要地系統の運用制御技術の開発、電力中央研究所報告 R08、（2008）
[3]上村：配電系統総合解析ツールの開発（その1）―PV大量導入に対応する配電・需要家機器動作解析プログラム―、電力中央研究所報告 R11025、（2012）
[4]長嶋、野田：瞬時値解析による配電系統の動的電圧解析手法（その1）―配電用変電所およびSVRのモデル化―、電力中央研究所報告 H13007、（2014）
[5]長嶋、福島、野田：瞬時値解析による配電系統の動的電圧解析手法（その2）―配電用STATCOMのモデル化―、電力中央研究所報告 H14014、（2015）
[6]坂口、上村、松田：配電線センサー情報による区間単位での太陽光発電出力推定手法の開発、電力中央研究所報告 R14012、（2015）
[7]福島、野田、樺澤、根本：需要家端に分散配置する無効電力補償装置μSTATCOMの開発（その1）―概念と試作機による基本性能の検証―、電力中央研究所報告 H11029、（2012）
[8]高木、田頭、岡田、浅野：低圧用無効電力補償装置の設置方策の検討―PV導入時における電圧上昇対策の費用対効果分析手法の提案―、電力中央研究所報告 Y14010、（2015）
[9]大嶺、浅利：需要家機器による太陽光発電余剰電力有効利用手法の改良―当日補正機能の追加と検証―、電力中央研究所報告 R13022、（2014）
[10]大嶺、八太、浅利、上野、小林：ヒートポンプ式給湯機と電力貯蔵装置を用いた太陽光発電余剰電力利用のための需要地系統運用手法、電気学会論文誌B，Vol.133，No.7，pp. 631-641、（2013）
[11]雪平、岡田：高圧需要家から流出する高調波電流の電圧ひずみ抑制効果（その2）―重負荷期と軽負荷期の相違―、電力中央研究所報告 R11009、（2012）
[12]雪平、岡田、渡辺：電力系統の第5次高調波電圧に対する負荷種別ごとの影響の定量分析、電力中央研究所報告 R14002、（2015）
[13]吉田、三田、小林、宮代：定置用リチウムイオン電池の寿命評価方法の開発（1）―容量変化要因の分離による電池容量変化の分析―、電力中央研究所報告 Q14009、（2015）
[14]小林、宮代、三田：太陽光発電出力平滑化運転におけるリチウムイオン電池寿命推定法の検討、電力中央研究所報告 Q11015、（2012）
[15]大嶺、八太、上野：スマートコミュニティの経済的成立条件の検討―蓄電池とコジェネの導入を考慮したコミュニティ利益の試算―、電力中央研究所報告 R14017、（2015）

電力中央研究所

発行：一般財団法人　電力中央研究所　広報グループ

〒100-8126　東京都千代田区大手町1-6-1（大手町ビル７階）
TEL：03-3201-6601　FAX：03-3287-2863　http://criepi.denken.or.jp/

2016年４月発行