

課題名	E-0903 再生可能エネルギーの大規模導入を可能とする自律協調エネルギーマネジメントシステム
課題代表者名	荻本和彦 (東京大学 生産技術研究所エネルギー工学連携研究センター 荻本研究室)
研究実施期間	平成21～22年度
累計予算額	85,795千円 (うち22年度 40,640千円) 予算額は、間接経費を含む。

研究体制

- (1) 再生可能エネルギー供給量の変動予測に関する研究 (独立行政法人産業技術総合研究所)
- (2) 分散型自律協調エネルギーマネジメントに関する研究 (東京大学)
- (3) 分散/集中エネルギーマネジメントの協調に関する研究 (東京大学)
- (4) エネルギー需給システム解析評価研究 (東京大学)

研究概要

1. はじめに

地球環境問題、資源・エネルギー問題の顕在化のもと、持続的なエネルギーシステムの構築に向けて、原子力、石炭ガス化発電、再生可能エネルギーなどの研究開発が進められている。このうち大規模電源はその技術特性から、再生可能エネルギーである風力や太陽光発電はその天候による出力の変動特性から、毎時の電力需給バランス調整機能を低下させる要因となることが懸念されている。これに対し、分散電源、ヒートポンプ給湯機、プラグインハイブリッド自動車、電気自動車の導入に伴い、需要側に貯湯槽やバッテリーなどの蓄熱/蓄電技術が近い将来に導入・普及することが予想され、新しい需要側の調整力として期待されている。2008年10月には経済産業省資源エネルギー庁が、「低炭素電力供給システムに関する研究会」を立ち上げ、太陽光発電等の再生可能エネルギーや原子力などの「ゼロ・エミッション電源」の比率を50%以上とする低炭素社会の構築に向けた電力供給面での対策の検討を開始するなど、既に新しい電力システムの在り方の模索が始まっている。

また、エネルギー利用の本来の目的は、エネルギーの消費ではなくそれを用いて得られる効用の増加であり、それにより人間の享受できる快適性、生産性の維持向上である。従って、多様な利用形態を持つ家庭/業務分野において、そこで必要とされる本来のサービスの質と量を把握し、これに対して必要最小限のエネルギー利用をすることで、環境負荷の大幅な低減が期待できる。しかし、現実には省エネルギー促進策としては機器効率の向上に主眼が置かれ、効用そのものについて議論される機会は少ない。

これらの状況において、我々が提案する自律協調エネルギーマネジメント (図1参照) は、生活の質の維持、省エネルギーに加え従来の大規模供給側が担ってきた需給調整機能を需要側で分担することで、エネルギーシステムとの協調による再生可能エネルギーの導入拡大と全体の品質向上という、エネルギー問題と環境問題の解決へ新たな道を拓く可能性が高い。また、将来的にこれらの生活に密着した需要側のエネルギー技術を、海外などを含めて地域の条件に合わせて適用することは、エネルギー問題と環境問題の広範な解決に貢献するものと期待される。

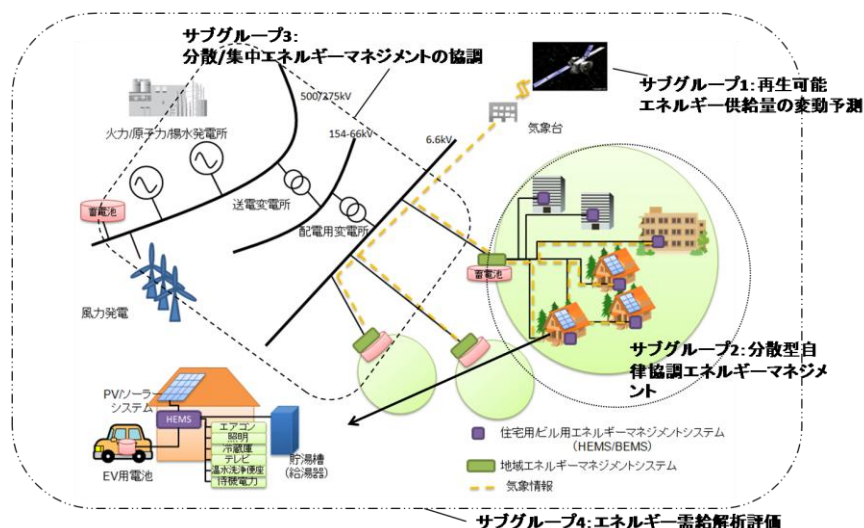


図1 再生可能エネルギーを含む自律協調エネルギーマネジメントシステム

2. 研究目的

本研究では、家庭、業務などの民生部門におけるエネルギーサービス水準を維持・向上しつつ再生可能エネルギーの大規模導入を実現するための自律協調エネルギーマネジメントシステムの構築を目的とし4つのサブテーマ（図1参照）により実施した。検討したシステムは、気象予測に基づき広域における変動の平滑化効果（以下、ならし効果）を考慮した発電予測や快適な空間の維持向上に必要なエネルギーサービス量を境界条件として、エネルギーシステム全体と協調的に運用される需要側建物等における自律分散型のエネルギーマネジメントシステムである。ここで言う協調とは、再生可能エネルギーの大規模導入による既存エネルギーシステム（ネットワーク）への負担を軽減するよう、集中／分散のエネルギー貯蔵要素や需要機器制御などを活用し、さらにはネットワーク側の電圧や周波数などの品質維持も分担することをいう。

サブテーマ1では、エネルギーマネジメント等に必要再生可能エネルギー供給量の変動予測に関する研究として、天気予報や数値予報データを利用した単地点の太陽光発電の発電量予測技術の開発、広域におけるならし効果を考慮した発電量予測技術開発を目的とした。サブテーマ2では、快適性維持と省エネルギーの実現に加えて、電力システム全体に貢献できる建物レベルの分散エネルギーマネジメントシステムの開発を目指し、エネルギーサービス需要量予測に必要な住宅内需要構造解析手法の検討、快適性を損なわない範囲での制御パターンの検討、家庭内機器を制御した場合の効果の評価を行い、装置の実装技術の検証のための装置の試作を行うことを目的とした。サブテーマ3では、分散エネルギーマネジメントと集中エネルギーマネジメントが協調したシステムの開発を目指し、分散発電大量導入時の系統安定化対策に関して、蓄電池システムの必要設置容量の適切な評価手法および電気自動車やヒートポンプ給湯機など他の可制御な需要家機器との協調制御手法の確立を目的とした。サブテーマ4では、再生可能エネルギーの変動性に加え、ヒートポンプ給湯機や電気自動車など需要側機器の普及によるエネルギー需要の変動を考慮した動的エネルギー需給解析モデルを用いて、解決すべき課題分析とその解決のための集中／分散エネルギーマネジメントモデルの開発、および、開発された技術に制度を組み合わせ導入した場合の目的達成の可能性の解析・評価を目的とした。

3. 研究の方法

（1）再生可能エネルギー供給量の変動予測に関する研究

エネルギーマネジメント等に必要再生可能エネルギー供給量の変動予測に関する研究では、広域におけるならし効果を考慮した太陽光発電システムの発電量予測技術開発として、単地点の日射量予測モデルの開発、発電量予測モデルの検討、広域エリアにおけるアップスケージングの検討および広域エリアでの予測誤差低減効果について評価を行った。

まず、天気予報および数値予報データを利用し、回帰モデルおよび学習モデルの1つであるサポートベクターマシンを利用した予測モデルの開発を行った。発電量予測については、直接予測と間接予測について比較検討し、両者の特徴について評価を行った。広域の発電量予測技術については、アップスケージングについて基礎検討を行い、太陽光発電システムの実測データの可観測性や設備情報の有無による影響評価を行った。さらに、広域エリアによる誤差低減の可能性については、2地点間の無相関性の確認を行うことで誤差低減効果について評価を行った。

（2）分散型自律協調エネルギーマネジメントに関する研究

不規則な変動を有する太陽光発電システム等の大規模導入を実現するためには、追加的な需給バランス調整力を確保することが今後必要となる。住宅やオフィスビル等の需要側建物においても、快適性維持・省エネルギー実現と並行して需要機器の制御等による調整力確保が実現できれば、系統の安定化に大きく貢献できる。需給バランス調整力確保を担う建物レベルの分散エネルギーマネジメントに関する検討を行った。

需要構造を把握し、需要予測が可能になれば、太陽光発電量予測等と合わせることで太陽光発電システムや太陽熱温水器などを含めた家庭内機器の適切な運転計画が立案できる。また、需要構造の把握は、需要家の効用の増加に寄与しないエネルギー消費量の抽出にもつながる。分電盤における電流計測による需要予測の可能性を検討するため、集合住宅を中心とした50世帯における実測を開始し、LAN回線を通じてデータ収集するシステムの構築を行った。計測器を設置した家庭から順次データ収集を行い、収集データに基づくエネルギー需要構造の解析を行った。回路別データより機器別稼働状況を推計するために、自己組織化マップを活用したクラスタリング手法を用いたエネルギー需要構造把握手法を提案した。

次に、家庭ごとのエネルギー需要構造の把握によって予測された翌日のエネルギーサービス需要量や、太陽光発電量の予測等に加え、電力システム側からの需要調整インセンティブ情報によって、最適に家庭内機器が運転された場合の効果を定量的に評価するため、混合整数線形計画法を用いた家庭内機器最適運転計画モデルおよび建物エネルギーマネジメントシミュレーションモデルの開発を行った。これらのモデルを用いることで、エネルギー需要機器やエネルギー貯蔵装置の運転スケジュールを調整することによって、電力需給バランスの調整に貢献できる可能性の評価を行った。

さらに、将来、住宅やオフィスビルなど多くの建物への導入が想定されるエネルギーマネジメント装置の実装技術の検証を行うため、機器の運転制御など必要な仕様を決定し、太陽光発電システム、蓄電池、需要を模擬するシステムを構築し、基本的な制御に関する試験を行った。

(3) 分散／集中エネルギーマネジメントの協調に関する研究

風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギー電源は出力が一定でなく、火力発電や水力発電のように可制御な電源でないため、大規模な風力発電および太陽光発電システムを電力系統に連系する際は、その出力変動に伴う配電電圧逸脱問題と系統周波数変動問題の2点が懸念される。本研究では、電力系統モデルを用いたシミュレーションによって蓄電池容量評価手法、周波数制御手法、および需要家機器群のモデリング手法を検討した。

まず、需要家に導入されている太陽光発電システムに対して制御できる蓄電池を適切な場所に設置することで太陽光発電余剰電力を貯蔵し、配電線電圧を適正に維持することを想定し、住宅地域配電システムモデルを参考にした配電システムモデルを用いて、電圧や潮流などの系統制約のもとで配電システム全体に必要な蓄電池容量の評価を行った。

次に、周波数制御については、需要家に設置された制御可能なヒートポンプ給湯機の制御運転によって周波数変動を抑制することを想定し、電力需給バランスから周波数偏差を解析する周波数解析モデルを用いて、限られたエネルギー量の湯を沸き上げる過程におけるヒートポンプ給湯機群の運転制御による周波数変動抑制効果の検証を行った。

電力系統としては、需要家個々の機器の制御の結果ではなく、多数台の機器の制御による影響が重要になってくる。多数台の需要家機器の集約モデルを、ヒートポンプ給湯機と電気自動車それぞれについて開発し、機器1台1台の動作を模擬する詳細モデルの積み上げと比較して評価を行った。

(4) エネルギー需給システム解析評価研究

サブテーマ1～3で研究される需要側建物における分散エネルギーマネジメントシステムが、自律・協調的な運用を行い、需要を調整することで再生可能エネルギーの大量導入に貢献する可能性について、エネルギー需給システム全体での解析評価を行った。

既存系統側の原子力、石炭ガス化発電などの新しい供給技術、プラグインハイブリッド自動車、電気自動車、ヒートポンプ給湯機、分散電源コジェネなどの新しい需要側機器の導入が今後期待される。そこで、再生可能エネルギーの変動に加えて、これらの需要機器の導入普及によるエネルギー需要の調整を考慮した動的エネルギー需給解析モデルを用いて、解決すべき課題の解析・評価を行い、求められる電力システム需給調整力確保の要件を満たすことのできる能動化需要による集中／分散エネルギーマネジメントモデルを考案した。この分散エネルギーマネジメントモデルはサブテーマ2で個々に分析・評価を行う一方、本サブテーマでは、ヒートポンプ給湯機、電気自動車、バッテリーなど本技術を適用できる将来モデルを設定し、動的需給解析モデルを用いて再生可能エネルギー発電大量導入につき、電力システムの需給調整力確保を含む解析・評価を行った。また、サブテーマ2で研究された分散エネルギーマネジメントの多数（500万台）導入を想定し、積み上げ型の分散エネルギーマネジメント導入効果の分析・評価モデルを作成し、分析・評価を行った。

4. 結果及び考察

(1) 再生可能エネルギー供給量の変動予測に関する研究

単地点の予測モデルでは、天気予報利用モデルにおいてステップワイズ法の結果、天気および湿度を説明変数として用いた単純多重回帰モデルが有効であることを示した。数値予報データを利用したモデルについては、5kmメッシュのメソスケールモデルデータを利用し、サポートベクターマシンを利用したモデルの開発を行った。全国各地点の日射量予測結果より、東京における日射量予測誤差は、2乗平均平方根誤差において、約0.134 kWh/m²であり、各地点の2乗平均平方根誤差における全国平均は、0.136 kWh/m²であることを示し、現状の予測誤差範囲の把握および一定の地域差

がある知見を得た。発電量予測については、実測の太陽光発電システムデータを利用して、直接予測と間接予測の比較検討を行い、直接予測が0.105 kWh/kW、間接予測が0.104~0.110 kWh/kWの予測誤差であり、両者の差が大きいことが示され、実用化に向けた基礎的な知見が得られた。

広域エリアの予測の検討については、特定の可観測地点から全量を推定する予測（アップスケーリング）について実測データを用いて基礎的な検討を行った。図2に各ケースにおける予測誤差結果を示し、すべての可観測日射量データ利用のケースは、単地点データ利用のケースと比較して、約30%予測誤差が低いことが確認できた。また、方位傾斜データの有無については、極端な例（例えば西向きに設置されている）を除きサイトの方位、傾斜情報の有無に大きく依存しない結果を示した（2乗平均平方根誤差にて0.02 kWh/kW以下）。また、広域エリアの予測誤差低減効果としては、予測誤差の地点間の無相関性を検討し、図3に示すように地点数増加による予測誤差低減効果の評価を行った。評価の結果、広域による予測誤差については、単地点の約5~4割程度、誤差を低減できる可能性を示した。

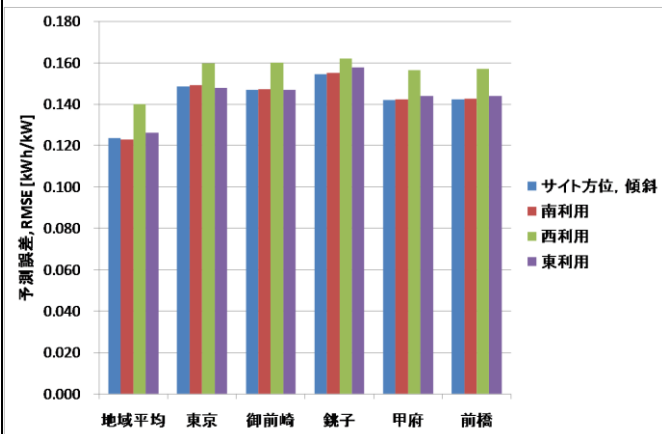


図2 アップスケーリングの評価結果

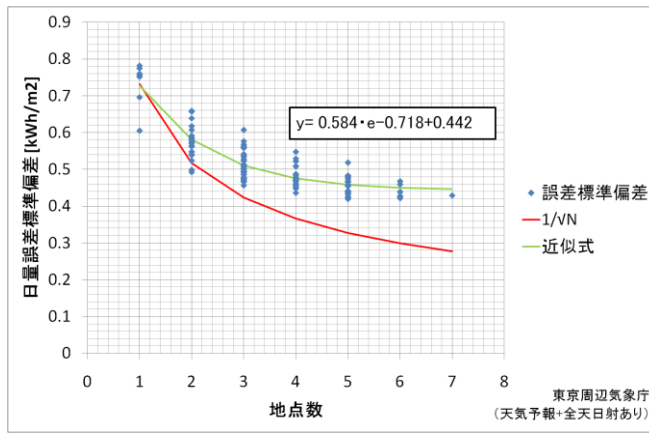


図3 地点数と予測誤差の標準偏差との関係

(2) 分散型自律協調エネルギー管理に関する研究

本研究では「分電盤」における短時間間隔の実測によって電力消費構造把握を行う手法を提案した。分電盤電流データによる将来の分散エネルギー管理のための電力需要予測に向けた住宅電力消費構造把握の可能性について検討するため、千葉県柏の葉キャンパス駅周辺のマンションを中心とした50世帯でエネルギー消費量の実測を行った。実測の主目的は分電盤データの収集であるが、最終的な分析結果の検証、住宅のエネルギー全体の構造把握を合わせて行うために、分離が比較的難しいと思われる一部の家電製品、空調室温湿度、非空調室温度及びガス消費量の計測も合わせて実施した。計測システムの構成を図4に示す。

分電盤電流データを用いた機器別稼働状況の推定手法として、自己組織化マップを用いた手法の検討を行った。世帯Aのリビング回路における解析を行った結果、回路に接続している機器の情報をいわずに、消費電流の非常に小さいクラスター (CL1)、5アンペア前後の電流が長い時間流れるクラスター (CL2)、ピーク分クラスター (CL3)、ベース分クラスター (CL4) の4つのクラスターに分解することができた。これに加えて接続されている機器の出力に関する情報が得られれば、回路に接続されている機器が少ない場合には、この解析により機器別の電流消費量が推計できることを示した。本研究成果により、分電盤電流データからの機器別稼働状況把握の基礎的な見通しを得ることができた。

さらに、室内環境の快適性を損なわない範囲でどの程度省エネルギー余地があるのか検討するため、実測を行っている世帯を対象に質問紙調査法を用いた調査を実施した。家庭内の省エネルギー行動は情報フィードバックで省エネルギー可能、エネルギー管理で省エネ

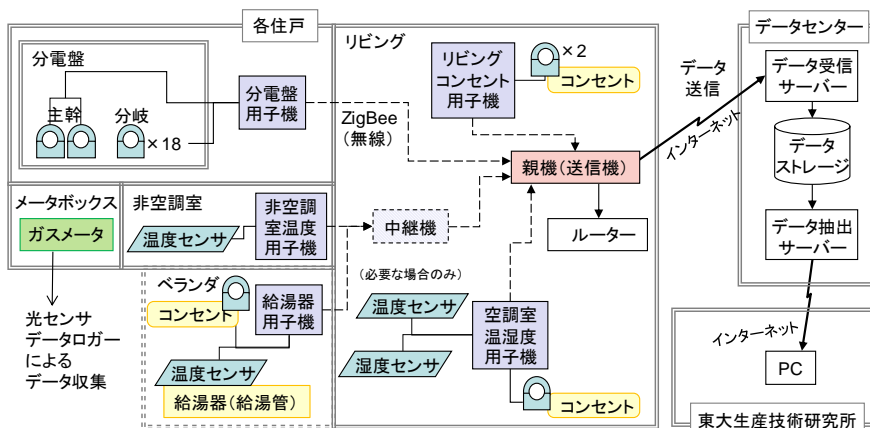


図4 計測システムの構成

ギー可能、省エネルギー不可能の3つに分類できる見通しが示された。

次に、需給バランス調整力を担うエネルギーマネジメント装置の開発を目指し、電力システム側から与えられた需要調整のためのインセンティブ情報（時刻別の電力価格）によって家庭内のエネルギー需要機器やエネルギー貯蔵装置の運転スケジュールを計画する混合整数線形計画法を用いたモデルを開発した。対象とした家庭内機器およびモデルで扱ったエネルギーフローを図5に示す。モデルを用いた計算結果より、価格設定によるヒートポンプ給湯機の運転時間の違いを図6に示す。天候に応じた価格設定V0～V3によって、需要家のヒートポンプの運転量を調整できることを示した。以上により、適切な電力価格の設定によって、家庭内においては電力料金が最小となる需要機器の運転を行いつつ、電力システム全体の需給バランス調整に貢献できることを確認した。

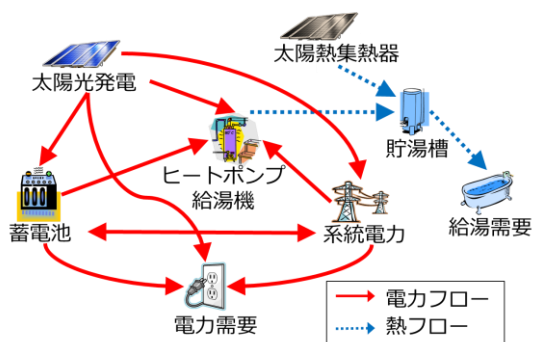


図5 モデルの対象機器とエネルギーフロー

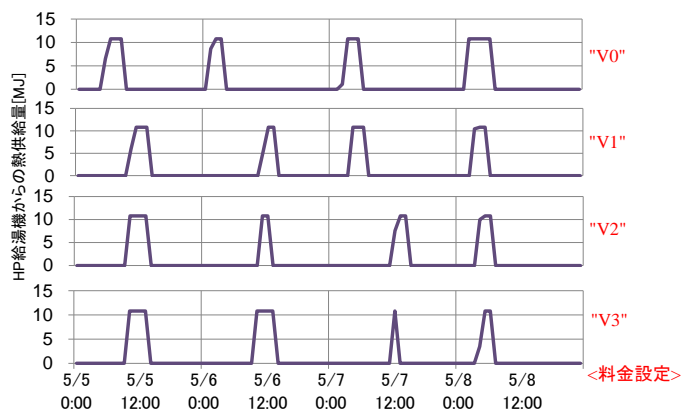


図6 価格設定によるヒートポンプ給湯機の運転時間の違い

さらに、このような運転制御を行うエネルギーマネジメント装置の実装技術の検証のため、太陽光発電システム、蓄電池、需要を模擬するシステムを構築し、基本的な制御に関する試験を行った。試作した装置を用いて、各種の運転切り替え動作の確認を行った。その結果、懸念されたような制御の不安定性や、システム特性のカギを握るバス電圧の大きな変動も見られず、正常に動作することが確認でき、分散エネルギーマネジメント装置の実用レベルでの安価な製造について技術的な見通しを得ることができた。

(3) 分散／集中エネルギーマネジメントの協調に関する研究

配電システムにおいて需要家に設置される太陽光発電システムに対して、配電システムに蓄電池を導入し適切に運用することで余剰電力の貯蔵および配電線電圧を適正範囲内に維持する電圧制御手法について検討した。蓄電池の設置場所は、各ノードに太陽光発電システム導入量に比例して分散して設置するパターンA、フィーダの末端に集中的に設置するパターンB、フィーダの midpoint に集中的に設置するパターンCの3通りとして検討を行った。それぞれの設置パターンにおいて、各ノードの時間断面における潮流・電圧を制約条件とし、蓄電池容量を最小化する最適化問題を解くことで蓄電池の必要最小容量を求めた。その結果を表1に示す。蓄電池を太陽光発電システム導入箇所に分散的に設置するよりも配電線上の相応しい地点に集中して設置する方が小さな蓄電池容量で電圧逸脱問題を解消できることを確認した。

表1 蓄電池の必要最小容量

パターン	kW容量[kW]	kWh容量[kWh]
A (分散設置)	708	2,506
B (末端集中設置)	423	1,937
C (中点集中設置)	429	1,943

次に、従来の火力や水力などの可制御電源や蓄電池システムだけでなく、需要家機器であるヒートポンプ給湯機群を系統周波数制御に利用することを検討し、新たな制御システムを提案した。ヒートポンプ給湯機は想定エリア内の10%の需要家に設置されているものとし、ヒートポンプ給湯機運転時に出力の±10%の範囲で消費電力を制御できるものとして、電気学会東30機系統モデルの一部である8機系統モデルを用いて周波数偏差の評価を行った。ヒートポンプ給湯機を導入しない場合、ヒートポンプ給湯機を導入して制御に利用しない場合、ヒートポンプ給湯機を制御する場合の3通りについて、周波数偏差の評価を行った。各ケースにおける周波数偏差の最大値を図7に示す。

ヒートポンプ給湯機を導入しない場合と比較して、ヒートポンプ給湯機を導入することで制御運転を行わなくても周波数変動が抑制され、制御運転によりさらに周波数変動を抑えることが確認できた。需要家の利便性に配慮して制御時間と制御容量が制限されている場合においても、ヒートポンプ給湯機を適切に制御することで周波数変動を抑制できることが分かった。

多数台のヒートポンプ給湯機全体に対して周波数制御信号を与えたときの応答性は、1台1台の詳細ヒートポンプ給湯機モデルの積み上げによって得ることができるが、台数が増加すると計算量が膨大となる。本研究では、多数台のヒートポンプ給湯機を集約した集約ヒートポンプ給湯機モデルを提案した。このモデルでは、多数のヒートポンプ給湯機を30分間でランダ

ムに起動するとして設計している。また、ヒートポンプ給湯機の運転時間は沸き上げ量によるが、この沸き上げ量は正規分布に従うものとして設計している。運転時の合計定格消費電力の±10%の範囲で消費電力を制御できるものとして、1000台のヒートポンプ給湯機を模擬した集約モデルの場合と、個々の詳細モデルを1000台用いた場合で、周波数制御信号に対する応答性の比較を行った。ヒートポンプ給湯機の消費電力のうち、周波数制御信号によって変動している成分を合計

した合計制御電力の時間変化を図8に示す。図から分かるように、制御電力についての差異が非常に小さく、周波数制御信号に対する応答性を非常に良く近似できていることが確認できた。

電気自動車は、走行が終わってプラグインすると充電状態（SOC：State of Charge）が85%になるまで充電し、その後、80～90%の範囲で周波数制御信号に応じて充放電制御を行うこととし、電気自動車のインバータ容量制約およびバッテリー容量制約のもとで、周波数制御信号によって充放電を行うモデルを開発した。多数台の電気自動車を扱う場合に、充放電の制御信号をSOCの大きさによって優先順位をつけて与え、電気自動車群のSOCのばらつきが小さくなるようなSOC同期制御を行うこととした。100台の電気自動車を想定し、SOC同期制御を行う場合と、一律に充放電制御信号を与える場合（SOC同期制御を行わない場合）とで比較を行った。SOCの時間変化の結果を図9に示す。色の違いはそれぞれが別のEVであることを示し、各図では100台のEVのSOC変化をプロットしている。SOC同期制御を行った場合では、多数の電気自動車のSOCが同期して変化していることが確認できた。以上より、電気自動車群を1つの蓄電池モデルとして集約モデル化できることを示した。

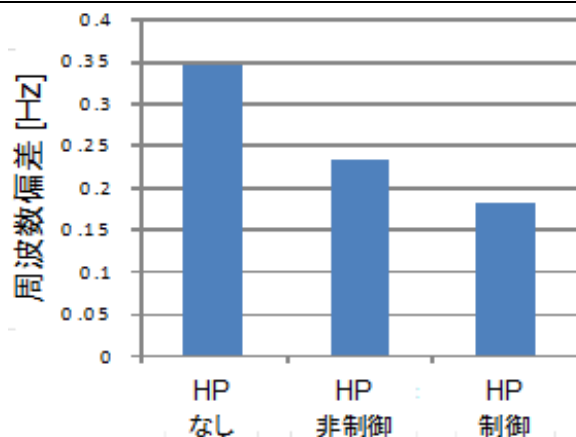


図7 ヒートポンプ給湯機と制御の有無による周波数偏差の最大値

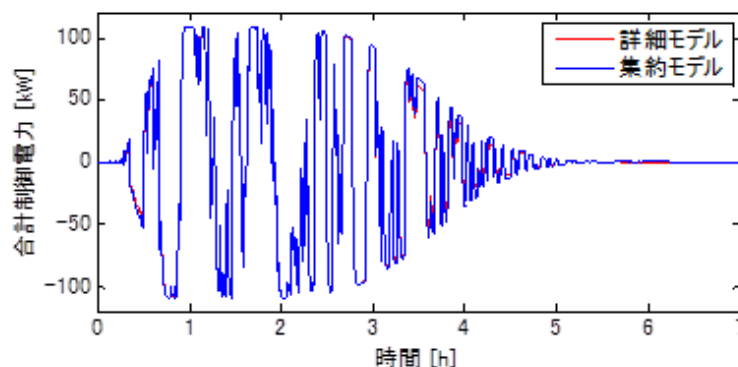


図8 合計制御電力の詳細モデルと集約モデルの比較

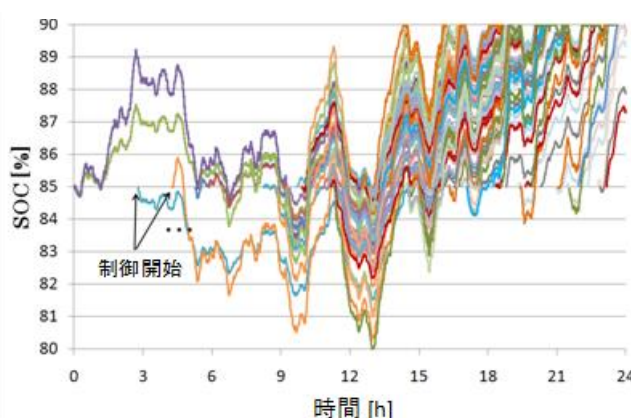
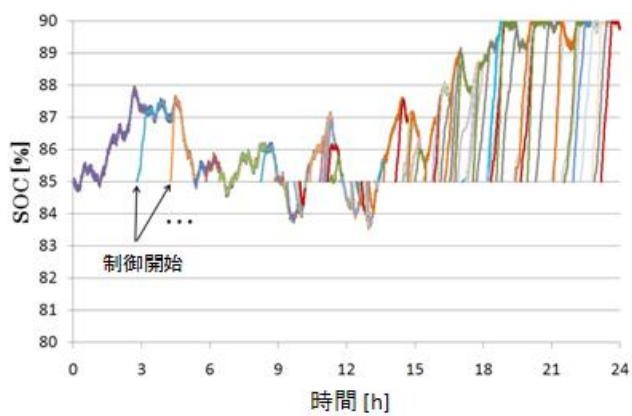


図9 電気自動車群のSOCの変化（左：SOC同期制御なし、右：SOC同期制御あり）

(4) エネルギー需給システム解析評価研究

本研究においては、電力需給解析によりこれらの課題を定量的に評価し（図10、図11）、これを克服するために需要の能動化を核とした集中／分散のエネルギーマネジメントの協調制御モデル（図12）を開発した。本モデルは、電力会社などの集中エネルギーマネジメントからシステム全体の需給状況を反映した直接あるいは間接的な信号を送り、これに対して住宅など需要側の分散エネルギーマネジメント装置が快適性、省エネルギー・省CO₂の視点を加えて自律的に判断し、需要を制御することによって電力システム全体の需要の形が変わるという考え方である。この協調制御モデルを組み込んだ電力需給解析により、既設発電機に加えて電気自動車やヒートポンプ給湯機、定置用バッテリーなど新たな需要機器による需給調整を想定し、再生可能エネルギーの大量導入時の需給調整力の評価を行う手法を確立した。本手法では、追加対策の設備量と運用方法の想定の下で、電力システムの需給調整が難しくなる時間帯を特定し、再生可能エネルギー発電の抑制量などを算出した。

また、実規模の電力システムの特성에基づき協調制御のための制御パラメータを解析し、それに基づく需要の能動化による協調制御の効果としての電力システムの電力需要の変化を解析し、需要の能動化を核とする集中／分散エネルギーマネジメントの協調による導入効果を分析・評価する手法を確立し、試算によりシステム全体の需要が多数の分散エネルギーマネジメントの応動により変化することを確認した。これらにより、再生可能エネルギー発電の大量導入の障害となる電力システムの需給調整力の低下の課題を需要の能動化を核とする集中／分散のエネルギーマネジメント

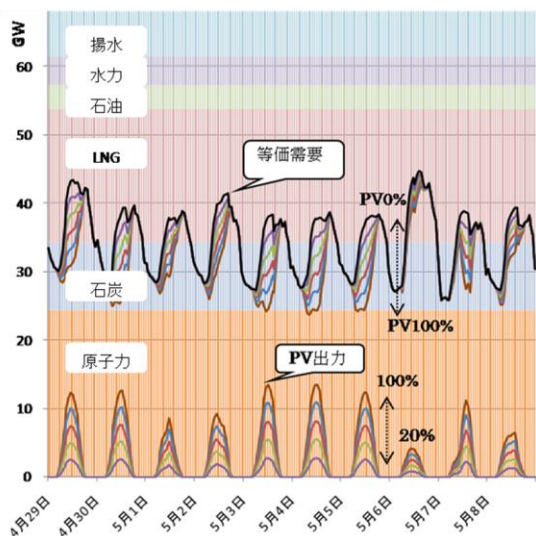


図10 太陽光発電導入時の等価負荷曲線 (5月、オフピーク負荷期)

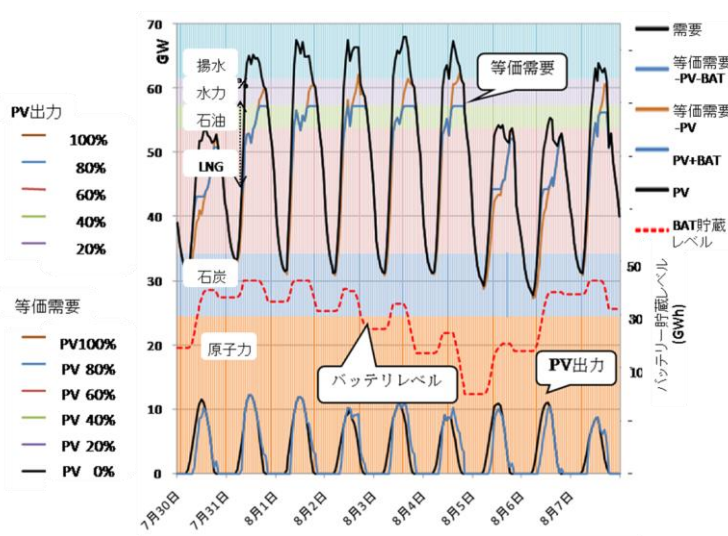


図11 太陽光発電・蓄電導入時の等価負荷曲線 (8月、ピーク負荷期)

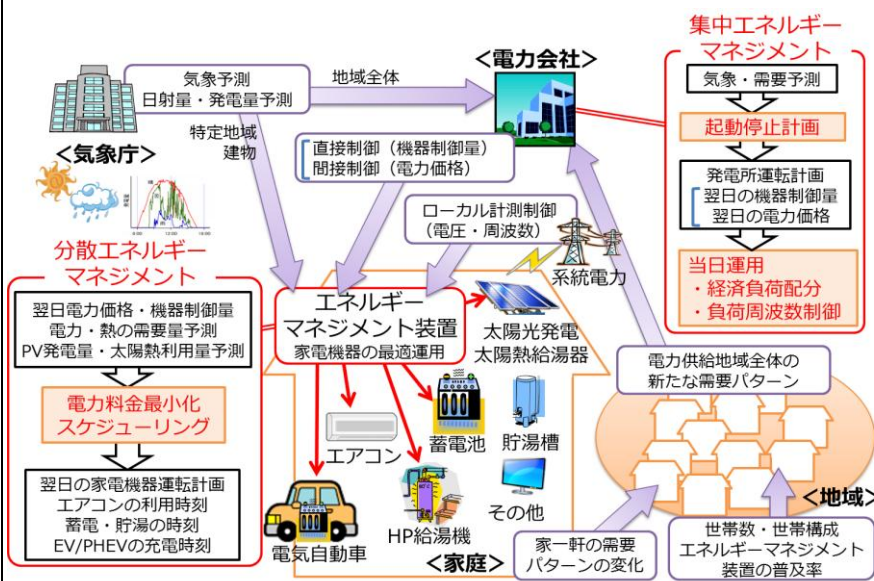


図12 集中と分散のエネルギーマネジメントの協調

の協調により解決する仕組みに見通しを得た。

以上の解析手法や需要の能動化による集中／分散エネルギーマネジメントの協調モデルを用いて、再生可能エネルギー発電の導入量について、例えば太陽光発電の導入量については長期エネルギー需給見通しの53GWのケース、その50%増の80GWのケースなどについて検討を行った。この検討では太陽光発電、風力発電の大量導入時の「ならし効果」を含めた変動特性がまだ観測データとして得られていない

ため、需要の変動とともに3、5、7、10%などと変動率をパラメータとした解析・評価を行った。この結果、太陽光発電の発電量抑制と需要の能動化を組み合わせることで、発電電力量の数%の抑制とそれによる経済性低下を許容すれば、技術的には安定な導入が可能であることを示した。計算結果より、図13に10電力システム全体における需給調整力不足時間と必要抑制電力量を月別に示した。

今後、太陽光発電を始めとする出力の変動する再生可能エネルギー発電の大量導入に向けては、今回想定した変動特性の実績データによる解析・評価を進める一方、本研究で想定した様々な要素を実運用に耐えるものに完成してゆく必要がある。安定供給、経済性、環境性など多角的な条件を満足できるものに、計画してゆく必要がある。

再生可能エネルギー発電の出力の予測精度向上は、需給運用の難しさを一定割合低減する重要な役割を果たす。予測に基づき、電力システムの計画・運用の構造を修正あるいは変化させる必要も出てくる。さらに、現在、急速な要素技術、応用技術の技術開発が行われている蓄電池について、将来、経済性、機能性が大幅に向上すれば、同時同量、運転予備力、需給調整力確保、負荷平準化などの概念を大きく変化させる影響を持つと考えられる。電力システムの計画・運用の構造は、最初は徐々に、最終的に大きく変化する可能性もある。

再生可能エネルギー発電の導入に向けては、需要側を含めた構成要素の変化、対策技術の進展に沿って、電力システムの運用構造も、ニーズを先取りした技術開発、制度の整備が今後行われ、より柔軟で高品質な電力需給を実現することが可能となる。これらの検討を継続し、需要と供給両側から電力システム全体の運用を高度化することで、再生可能エネルギー発電の大量導入が実現する

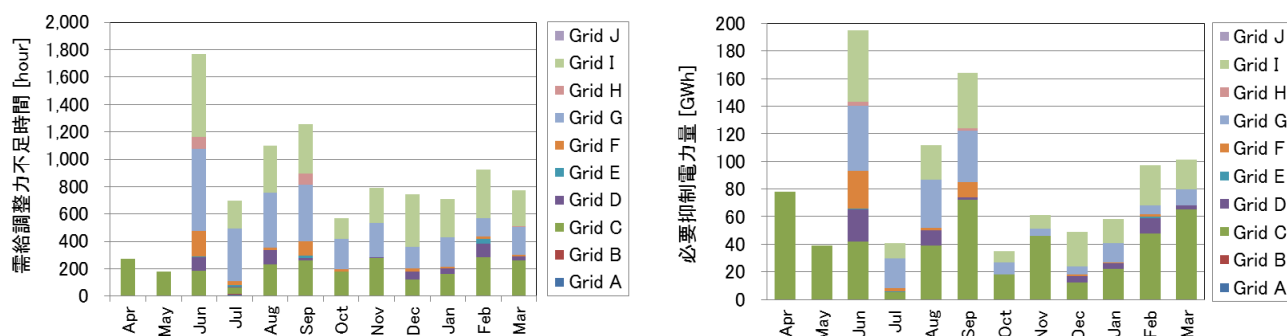


図13 各月の10電力システムの需給調整力の不足時間と必要抑制電力量
(需要変動5%・太陽光発電変動5%)

見通しが得られたと考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

広域エリアにおける発電量予測の基礎検討として、日射量予測における多地点の予測誤差低減の効果を国内で初めて示した。特に、広域エリアにおける予測誤差低減効果の要因分析を行い、2地点間の距離と予測誤差の相関関係を示したことにより、今後の広域における太陽光発電システムの総発電量予測手法の実用化に向けた、基礎的な知見を得ることができた。

既存住宅におけるエネルギー・温熱環境計測システムを開発し、LAN回線を通して収集する環境を構築した。また、需要や電力価格が与えられた場合の太陽光発電システム、太陽熱温水器、蓄電池、ヒートポンプ給湯機、貯湯槽等の最適運用方策を決定する家庭内機器運転計画モデルを作成し、実運用の目安となる最適な分散エネルギーマネジメントが得られた。エネルギーマネジメント装置のプロトタイプを試作し、蓄電池や太陽電池シミュレータ、模擬需要等を用いて、これらの機器が接続された環境を模擬し、エネルギーマネジメント装置の動作の一部を検証した。

太陽光発電システムが分散的に導入された配電系統に蓄電池を設置して配電線電圧管理を行う場合には、蓄電池を太陽光発電導入箇所に分散的に設置するのではなく、配電線上の相応しい地点に集中的に設置して操作することで、より小さい蓄電池容量でも電圧逸脱問題を解消可能であることを確認した。また、タンク貯湯量に応じて運転時間が制限されても、ヒートポンプ給湯機群を制御運転することで系統の周波数変動抑制効果を高めることができることを明らかにした。

太陽光発電など、出力が変動する再生可能エネルギーの大規模導入の実現に向けては、変動量の増加と需給調整を担う火力発電所の割合の低下から、電力システムの需給調整力の確保が究極的課題となる。この課題に対し、家庭等における自律分散エネルギーマネジメントが、エネルギー使用

の最適化と電力系統全体の需給バランスに協調した需要の調節を行う「集中／分散のエネルギーマネジメントの協調モデル」を考案し、需給調整力の確保に有効に機能することを検証することができた。本モデルは、スマートグリッドを含む今後の再生可能エネルギー導入を含む電力・エネルギーシステムの構造変化において革新的役割を果たすと考えられる。

(2) 環境政策への貢献

発電量予測は、太陽光発電システムの大量導入には必須の技術課題であり、環境省「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会」においても「再生可能電力出力予測」が挙げられている。本研究では、電力システムの安定運用に不可欠の広域の発電量予測の予測誤差は明確になっていないため、導入可能量や必要対策費など定量化が難しいのが現状であった。電力需給の低炭素化に向けた再生可能エネルギー導入について、導入可能量および対策を明らかにすることで、環境政策目標である再生可能エネルギーの導入拡大に貢献できると考えられる。

太陽光発電等の出力が不安定な低炭素分散電源を大規模に導入するには、需給バランス調整という観点から家庭等の需要を能動化する集中／分散のエネルギーマネジメントの協調は不可欠である。将来、低コストでこの機能を有する装置を家庭に大量に普及させるための基礎的研究であり、太陽光発電の高い普及率目標の実現を後押しする技術としての貢献が今後期待される。

配電システムに必要な安定化対策としての蓄電池容量の評価手法は、今後の家庭用太陽光発電システム導入に係るコスト試算に際して有効である。また、ヒートポンプ給湯器が系統制御に貢献することで大量の再生可能エネルギー電源導入につながる可能性を明らかにしたことは、ヒートポンプ給湯機の普及促進という点でも期待できる。

以上の要素を組み合わせた、再生可能エネルギー発電量予測の下での、需要側と供給側の双方の調整力を電力システムの需給調整力確保に活用する集中／分散のエネルギーマネジメントの協調は、「スマートメーターや気象情報と連動したエネルギーマネジメント装置の導入」および「ヒートポンプ、電気自動車等の需要家設備への協調制御機能の導入」、「再生可能エネルギー・需要家と系統とのあらたな協調制御の実現」などとして環境省中長期ロードマップ検討会および同エネルギー供給WG報告書（平成22年3月）、中長期ロードマップ小委員会および低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化検討会（エネルギー供給WG）の報告書（平成22年12月）に取り入れられた（図14参照）。

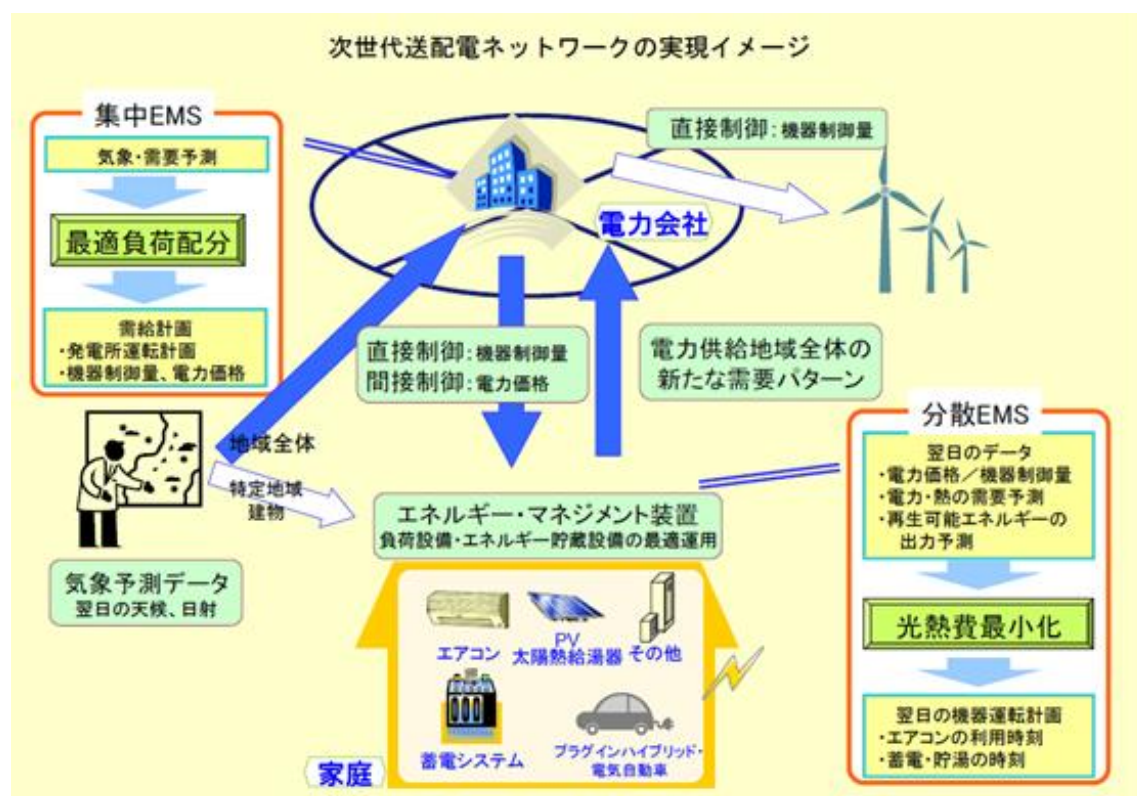


図14 環境省の報告書に掲載された集中／分散エネルギーマネジメントの協調の図

6. 研究者略歴

課題代表者：荻本和彦

1956年生まれ、東京大学工学部卒業、現在、東京大学生産技術研究所エネルギー工学
連携研究センター特任教授

研究参画者

(1) : 高島工

1968年生まれ、筑波大学大学院理工学研究科修了、現在、独立行政法人産業技術総合研
究所太陽光発電研究センター主任研究員

(2) : 岩船由美子

1968年生まれ、北海道大学工学部卒業、博士（工学）、現在、東京大学生産技術研究所
エネルギー工学連携研究センター准教授

(3) : 横山明彦

1956年生まれ、東京大学工学部卒業、工学博士、現在、東京大学大学院新領域創成科学
研究科先端エネルギー工学専攻教授

(4) : 荻本和彦（同上）

7. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

- 1) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., Takashi Oozeki, Takumi Takashima, Kazuhiko Ogimoto: “Solar Irradiation Forecasts with Neural Networks and Numerically Predicted Cloudiness Data”, Proceeding of 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition /5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 5007-5010 (2010)
- 2) Takashi Ikegami, Yumiko Iwafune, Kazuhiko Ogimoto: “Optimum Operation Scheduling Model of Domestic Electric Appliances for Balancing Power Supply and Demand”, Proceedings of 2010 International Conference on Power System Technology (POWERCON2010), 1-8, DOI: 10.1109/POWERCON.2010.5666592 (2010)
- 3) Kei Inoue, Yumiko Iwafune: “Operation of Heat Pump Water Heaters for Restriction of Photovoltaic Reverse Power Flow”, Proceedings of 2010 International Conference on Power System Technology (POWERCON2010), 1-7, DOI: 10.1109/POWERCON.2010.5666074 (2010)
- 4) Yumiko Iwafune, Yoshie Yagita, Kazuhiko Ogimoto: “Estimation of Appliance Electricity Consumption by Monitoring Currents on Residential Distribution Boards”, Proceedings of 2010 International Conference on Power System Technology (POWERCON2010), 1-6, DOI: 10.1109/POWERCON.2010.5666076 (2010)
- 5) 池上貴志, 岩船由美子, 荻本和彦: 「電力需給調整力確保に向けた家庭内機器最適運転計画モデルの開発」, 電気学会論文誌B, Vol.130, No.10, 877-887 (2010)
- 6) 岩船由美子: 「住宅用分電盤電流データを用いた機器稼働状況推定手法」, 電気学会論文誌B, Vol.131, No.7 (2011) (in press)
- 7) 荻本和彦, 片岡和人, 池上貴志, 野中俊介, 東仁, 福留潔: 「将来の電力システムの需給調整力の解析手法」, 電気学会論文誌C, Vol.131, No.10 (2011) (in press)

(2) 査読付論文に準ずる成果発表（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可）
特に記載すべき事項はない。