

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360432

研究課題名(和文) サービス水準を考慮した家庭用エネルギー最適供給統合評価

研究課題名(英文) Integral Residential Energy System Considering Service Level for Consumers

研究代表者

岩船 由美子 (IWAFUNE, YUMIKO)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：20512007

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円、(間接経費) 4,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では「エネルギー需要」を規定するサービス水準を明確にし、最適なエネルギー供給を実現するための方法論について分析するために、各種技術や政策的手段による変容可能性を評価するためのモデルを構築した。給湯機器や空調機関連の実測に基づいて機器特性を把握し、モデルに反映させ、快適性を考慮したエアコン運転に関する検討、ユーザーの利便性を低下させない電気自動車用電池利用の可能性検討を実施し、さらに一般家庭に実測データに基づいた需要モデルの構築を行った。本モデルにより、給湯、空調等の代替、運用方法の変更による省エネルギー効果の検討、さらに可制御負荷の調整による家庭や電力系統への貢献の評価が可能となった。

研究成果の概要(英文)：In this research, residential energy system model was developed to evaluate the optimal energy supply taking into account the consumer service level which determines energy consumption in households. The model reflected detailed characteristics of home appliances such as a water heater and an air conditioner based on the actual measurement values at an experimental house, and energy utilization data from existing home energy monitoring systems. The effect of controlling residential air-conditioners considering the comfort of users and the feasibility of operating electric vehicle batteries without compromising the convenience of users were evaluated by our model. The model enables integrated evaluation of the energy conservation by operational change and replacement in appliances and adjustment capability of the demand response effect of controllable demand.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：システム工学 省エネルギー 新エネルギー

### 1. 研究開始当初の背景

エネルギー・環境問題は、その問題の源が累増する人間の欲求であり、その欲求を満たすための物質やサービスの必要量であるにも関わらず、これまで物質やサービスの必要量である「需要」を所与のものとし、その需要に対し如何に効率的に供給するかという観点から論じられてきた。しかし、人類が排出する二酸化炭素を半減するといったレベルを目標とするのならば、これまでのやり方では対応不可能であり、今まで所与とされてきた需要そのものの在り方を考えていかななくてはならない。

一方、あるサービス水準が仮定されたとき、住宅における省・創エネルギー技術を統合的に運用し最適化することは、低炭素化に大きく貢献することができるが、建物や機器の多様性、必要データの入手困難さ、高度な専門的知識の必要性などから、専門家であっても検討は容易ではない。このため、消費者自らが求めるサービス水準に対して最適な技術を選択し、最適な運用をしていくことが困難であるばかりではなく、住宅にかかわる設備・機器の開発においても、その達成目標を合理的に決定することが困難な状況にある。住宅における省・創エネルギー技術は次々と開発され多様化が著しいため、最適化の検討には、時間とコストのかかる実証試験では限界がある。このような問題の解決策として、家庭用エネルギー需給モデル分析の貢献が期待できるが、既往研究では、需要が固定的に取り扱われ、消費者の行動は反映されておらず、選択できる技術オプションも限定されている。

### 2. 研究の目的

太陽熱温水器、CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯器、潜熱回収型ガス給湯器、エアコン、電池などの実測に基づく運用特性の把握を行い、利用者の利便性や快適性を損なわない運用方法についてモデルを構築して検討を行う。

### 3. 研究の方法

(1)実証試験住宅 (COMMA ハウス) における各種エネルギー供給・エネルギー消費機器の運転試験より、機器性能特性データを収集する。

(2)家庭の空調負荷 (ヒートポンプ式エアコン) を制御した際の需要家の利便性を条件として用いた上で、エアコン消費電力の評価を行う。

(3)住宅における需要調整の手段として、電気自動車 (以下 EV) を考え、EV バッテリーと PV システムを連携させることによって、今後多様化する電気料金システムのもとで、どのような EV バッテリーの運用が需要家にとって最適かをシミュレーションするモデルを作成する。

### 4. 研究成果

#### (1) 快適性を考慮したエアコン運転に関する検討

本研究では、HEMS の機能の 1 つとして家庭のエアコンを制御するシステムを想定した上で、エアコン制御によって得られる電力需要ピーク削減効果に関して評価した。熱源特性を詳細に模擬することが困難な家庭のエアコンに関するシミュレーションを、COMMA ハウスにおける実験結果を反映させることで実態に合致した計算を行えるようにした点や、エアコン 1 台あたり、家 1 軒あたりの評価に留まらず、東京電力管内において多数のエアコンを制御することを評価した点が他の研究では行われていない新規性のある特徴であると言える。

また、アンケート結果を用いてエアコン使用者の、制御されることに対する許容率の数値を用いてピーク削減効果の評価を行い、実態に即した削減効果ポテンシャルの評価を行った。本研究のまとめを以下に示す。

アンケート結果においてエアコンの設定を変更されることに対する許容率は、設定した価格帯では価格弾力性が小さく、設定温度によって決定される。設定温度 1 の変更は約 6 割の人が許容する。

冷房時においてプレクーリング等、設定温度を積極的に変化させる場合、湿度・平均放射温度等の変化が居住者の快適性に及ぼす影響が無視できないほど大きくなるため、PMV を基準として評価を行うことが重要である。

エアコン使用者が設定を変更することを無条件に許容する場合、東京電力管内の需要ピーク削減効果は約 110 万 kW となる。

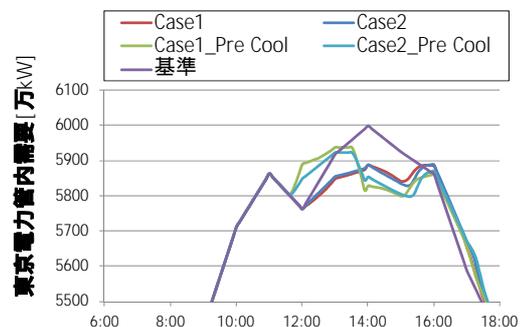


図 エアコン制御による東京電力管内需要変化

ピーク需要削減による削減可能な設備費を考慮すると、家庭のエアコン制御により最大 50 億円/年の経済的メリットを得ることができる。

今回のアンケート結果においては、報酬と許容率の関係から設定温度を2度変更する場合に最も大きなメリットが得られることが示された。実際に制御を行う場合、適切な報酬や料金精度等、システム設定を行うことが重要であるといえる。

プレクーリングを行うことは、特定の時間帯におけるエアコン1台あたりの消費電力削減に有効であるが、東京電力管内におけるピーク需要削減効果を低減する。

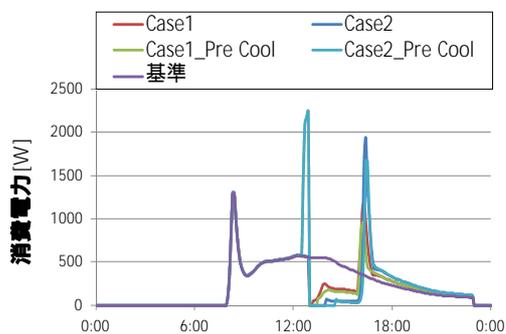
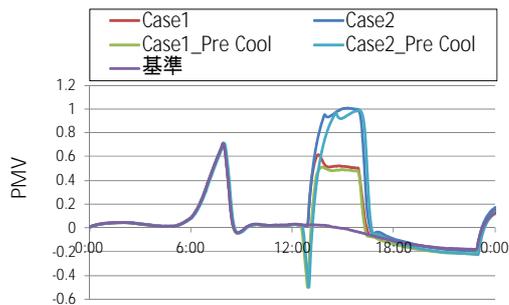


図 各運転ケースにおける快適性に関する値と消費電力

(2) ユーザーの利便性を低下させない電気自動車用電池利用の可能性検討

本研究では、住宅における需要調整の手段として、電気自動車(以下 EV)を考え、EV バッテリーと PV システムを連携させることによって、今後多様化する電気料金システムのもとで、どのような EV バッテリーの運用が必要家にとって最適かをシミュレーションするモデルを作成する。EV の主目的は走行であるため、需要家の利便性を阻害しないことが前提条件となる。

本研究では、住宅における EV - PV システムにおいて、今後多様化する電気料金システムのもとで、どのような EV バッテリーの運用が必要家にとって最適かをシミュレーションするモデルを作成した。本モデルは、需要や PV 発電量の予測に基づき、日々のバッテリー運用を計画し、実際の運用を行う構造となっている。EV 走行もユーザーからの申告に基づくことを設定しており、現実の運用に適用

しうものである。

さらに EV バッテリーのマネジメントが多数の住宅で実現することによって系統全体の供給コストに与える影響を合わせて評価した。得られた知見を以下に示す。

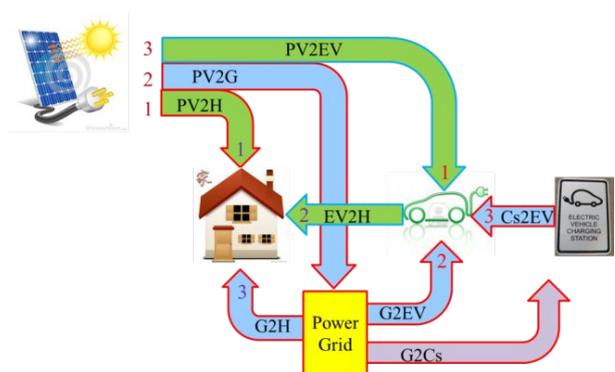


図 PV-EV システムモデル

FIT 価格による EV バッテリー運用・各戸の経済性への影響

FIT による PV の買い取り価格が低下すると、逆潮流量は抑制され、PV から EV への充電量が多くなる。しかし、夜間の買電価格よりも FIT 価格が下回らないと、逆潮流量は大きくは減少しない。

需要や PV 発電量の予測誤差、EV の申告誤差による影響の評価

FIT 買取価格を 7 円/kWh とした場合、予測・申告誤差の影響により、各戸の電力コストは、すべて既知とした Ideal ケースに比べて 51 世帯平均で 250 円/月 (6.5%) 高くなり、最大でも 10%強のコスト増加に収まった。計画なし(夜 EV フル充電、トリップ後 PV で充電)に比べると、平均で 300 円/月 (9.0%) 低くなり、PV-EV システムの運用を事前に計画することによって世帯の電力コストを削減できることがわかった。需要および PV 予測誤差と誤差によるコスト増加率には明確な相関は見られなかった。

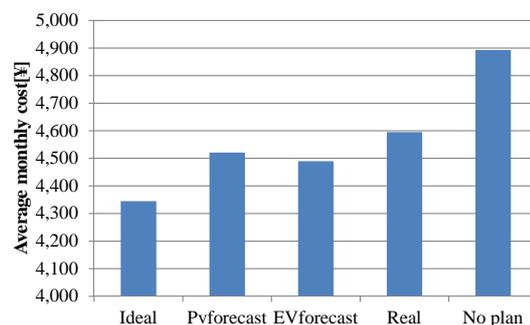


図 各ケースの電力コスト

PV-EV システム大量導入時の系統への影響評価

PV-EV システムが大量導入され、系統の限界燃料費に連動して住宅における電力価格が決定される場合、V2G によって系統の負荷平準化に貢献できる。PV システム 15GW 分が東電管内 300 万世帯に導入され、同時に EV が活用可能である場合、まず PV システムにより系統全体の年間燃料費が 2,710 億円削減でき、PV-EV 最適運用によってさらに年間燃料費を 430 億円削減できる。後者は一世帯当たり 14,300 円/年の価値となる。

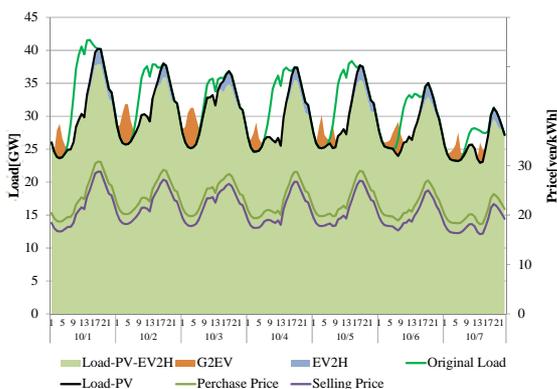


図 各条件の系統負荷曲線

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

岩船由美子、荻本和彦、八木田克英、分電盤計測に基づく住宅用電力消費パターン分析手法、電気学会論文誌 C、査読有、Vol. 133、No.5、2013、pp.1086-1093

(DOI: 10.1541/ieejciss.133.1086)

山田雄吾、岩船由美子、需要家の快適性を考慮した家庭用エアコン制御による夏季ピーク需要削減効果の評価、電気学会論文誌 C、査読有、Vol.133、No.10、2013、pp.1864-1872

(DOI:10.1541/ieejciss.133.1864)

伊藤朋央、岩船由美子、池上貴志、日渡良爾、交通シミュレータを用いた電気自動車の充電制御に関する研究、電気学会論文誌 B、査読有、Vol.133、No.7、2013、pp.587-597

(DOI: 10.1541/ieejpes.133.587)

〔学会発表〕(計25件)

Aachiq Mustapha、岩船由美子、畑泰彦、大関崇、Joao Gari da Silva Fonseca Jr.、需要と PV 発電量予測を考慮した PV2EV システムの経済性評価、第 32 回エネルギー・資源学会研究発表会、2014.1.24.、砂防会館

岩船由美子、八木田克英、畑泰彦、住宅における翌日電力需要予測手法の検討および蓄電池運用の経済性に与える影響評価、第 32 回エネルギー・資源学会研究発表会、2014.1.24.、砂防会館

R.Hashimoto, H.Yano, K.Kudo,

T.Ikegami, K.Kataoka, K.Ogimoto : Novel Planning and Control Method of Heat Pump Systems Based on Estimation of the Instantaneous Coefficient of Performance for Demand Response, AORC-CIGRE Technical Meeting, 2014.5.27-29, Ichigaya, Tokyo

アシクムスタッフ、岩船由美子、需要と日射量予測を考慮した EV バッテリーの利用による PV 余剰電力の消滅効果の評価、平成 25 年電気学会電力・エネルギー部門大会、2013.8.27.、新潟コンベンションセンター

八木田克英、山田雄吾、岩船由美子、家庭における夏季の空調負荷制御に対する受容性、第 22 回日本エネルギー学会大会講演要旨集、2013.8.5.、工学院大学

Y.Iwafune, T.Ikegami, K.Ogimoto:

“Optimal Operation of Solar and Heat Pump Hybrid Water Heating System Based on Short Load Forecast”, The SICE Annual Conference 2013,

2013.9.14., Nagoya

A.Mustapha, Y.Iwafune, T.Oozeki :

“Reduction of PV Reverse Power Flow through the Usage of EV's Battery with Consideration of the Demand and Solar Radiation Forecast” ,

International Sustainable Mobility and Connected Vehicle Leadership Forum,

VEC-IEVC, 2013.10.22-26., San José

山田雄吾、岩船由美子、住宅における暖房需要制御による冬季ピーク需要削減に関する検討、平成 25 年電気学会全国大会講演論文集、No.6-148、pp.269-270、2013.3.20-22.、名古屋大学

A. Mustapha、岩船由美子、EV バッテリーの利用による PV 余剰電力の削減効果の評価、平成 25 年電気学会全国大会講演論文集、No.6-122、pp.220-221、2013.3.20-22.、名古屋大学

鄭叡韻、岩船由美子、マルコフ連鎖を用いたコミュニティでの住宅電力需要パターン作成モデル、平成 25 年電気学会全国大会講演論文集、No.6-91、pp.166-167、2013.3.20-22.、名古屋大学

渡邊裕美子、岩船由美子、パーソントリップ調査を用いた将来の交通・民生エネルギーサービス需要予測のための基礎検討、第 29 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、No26-4、pp.415-418、2013.1.29-30.、砂防会館

A. Mustapha、岩船由美子、EV バッテリーの利用による PV 余剰電力の削減効果の評価、第 29 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、No26-3、pp.411-414、2013.1.29-30.、砂防会館

鄭叡韻、岩船由美子、実測データに基づく住宅の消費電力のならし効果の定量化、

第 29 回エネルギーシステム・経済・環境  
コンファレンス講演論文集、No14-5、  
pp.231-234、2013.1.29-30、砂防会館  
山田雄吾、岩船由美子、経済性・快適性  
の観点からみた家庭部門の空調負荷制御  
に関する検討、第 29 回エネルギーシス  
テム・経済・環境コンファレンス講演論  
文集、No10-1、pp.135-138、2013.1.29-30、  
砂防会館

野中俊宏 (LIXIL)、岩船由美子、今井公  
太郎、大岡龍三、HEMS を導入した住宅  
における快適性と省エネルギーの両立に  
関する研究、日本建築学会大会学術講演  
梗概集 D-2、pp.1123-1124、2012.9.12-14、  
名古屋大学

鄭叡韻、岩船由美子、実測データに基づ  
くコミュニティー単位での住宅の消費電  
力の分析及び蓄電池評価モデル、電気学  
会 平成 24 年電力・エネルギー部門大会  
論文集、288、2012.9.12-14、北海道大  
学

渡邊裕美子、岩船由美子、最適化モデル  
による地域エネルギーマネジメントの価  
値評価、電気学会 平成 24 年電力・エネ  
ルギー部門大会論文集、155、  
2012.9.12-14、北海道大学

山田雄吾、岩船由美子、住宅における快  
適性を考慮した空調負荷制御に関する検  
討、電気学会 平成 24 年電力・エネルギ  
ー部門大会論文集、154、2012.9.12-14、  
北海道大学

池上貴志、片岡和人、岩船由美子、荻本  
和彦、家庭用ヒートポンプ給湯器の目的  
別最適運転計画、電気学会 平成 24 年電  
力・エネルギー部門大会論文集 101、  
2012.9.12-14、北海道大学

伊藤朋央、岩船由美子、池上貴志、日渡  
良爾、交通シミュレータを用いた電気自  
動車の充電制御に関する研究、電気学会  
平成 24 年電力・エネルギー部門大会論  
文集 21、2012.9.12-14、北海道大学

鄭叡韻、岩船由美子、実測データに基づ  
く住宅の消費電力のならし効果に関する  
分析、エネルギー・資源学会研究発表会  
講演論文集、31、No.5-1、2012.6.5-6、  
グランキューブ大阪

- ⑳ 伊藤朋央、岩船由美子、池上貴志、日  
渡良爾、系統運用に貢献する用途別電気  
自動車の充電制御、平成 24 年電気学会  
全国大会講演論文集、No.6-148、264、  
2012.3.21-23、広島工業大学

- ㉑ 山田雄吾、岩船由美子、住宅の空調制御  
による需要シフトに関する検討、平成 24  
年電気学会全国大会講演論文集  
No.6-114、pp.200-201、2012.3.21-23。  
広島工業大学

- ㉒ 山田雄吾、岩船由美子、住宅における空  
調負荷の可制御性に関する基礎的検討  
エネルギーシステム・経済・環境コンフ  
ァレンス講演論文集、28、pp.539-542、

2012.1.30-31、砂防会館

- ㉓ 岩船由美子、八木田克英、荻本和彦、住  
宅における給湯需要の予測手法に関す  
る検討、エネルギーシステム・経済・環  
境コンファレンス講演論文集、28、  
pp.447-450、2012.1.30-31、砂防会館

- ㉔ 伊藤朋央、岩船由美子、日渡良爾、交通  
シミュレータを用いた電気自動車の充  
電制御に関する研究、エネルギーシス  
テム・経済・環境コンファレンス講演論  
文集、28、pp.425-428、2012.1.30-31、  
砂防会館

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.iwafunelab.iis.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩船 由美子 (IWAFUNE, Yumiko )  
東京大学・生産技術研究所・准教授  
研究者番号：20512007

(2) 研究分担者

荻本 和彦 (OGIMOTO, Kazuhiko )  
東京大学・生産技術研究所・特任教授  
研究者番号：20514582

(3) 連携研究者

八木田 克英 (YAGITA, Yoshie )  
東京大学・生産技術研究所・特任研究員  
研究者番号：00287814