

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「分散協調型エネルギー管理システム構築
のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」
研究課題「消費者の受容性を考慮した
住宅エネルギー管理システム」

研究終了報告書

研究期間 平成24年10月～平成27年3月

研究代表者： 岩船由美子
(東京大学生産技術研究所, 准教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

不安定な発電出力特性を有する再生可能エネルギーの大量導入を実現させるためには、電力システムにおけるエネルギー需給調整力を確保することが必要である。そのために、消費者の快適性・利便性を維持しつつ必要に応じて電力需要を調整することができる機能を持つ住宅エネルギー管理システム(HEMS)の開発を本研究では目指している。実際の住宅におけるエネルギー消費実態の分析に基づいて、多様なライフスタイルにおいて有効なHEMSをめざし、①HEMSの基本機能の開発、と②HEMSを社会システムに組み込む仕組みや制度に関する研究、③消費者の受容性の高いシステムにするための研究を行った。

サブテーマ(1)：住宅エネルギー管理システムの基本機能に関する研究

- ・ 約500世帯分のHEMSデータを収集し、データ構造の分析を行うとともに、給湯需要量、電力需要量の翌日予測手法について検討した。そして、予測データを使った計画、運用を行うHEMSモデルを構築し、太陽光発電や定置式電池、電気自動車用電池などを保有する住宅における経済性に、個別の住宅における予測精度がどのような影響を与えるかについて検討した。
- ・ ヒートポンプ給湯機の昼間運転試験を実施し、性能データの収集、整理を行い、HEMSシミュレータへ反映させた。

サブテーマ(2)：住宅エネルギー管理システムを活かす制度・仕組みに関する研究

- ・ サブテーマ(1)の家庭内機器最適運転計画モデルについてもアグリゲータによる運用の効果を評価できるように拡張し、住宅用蓄電池を用いたHEMSに対するインセンティブの与え方の検討を行った。
- ・ 電力需要シフトの効果を定量的に評価するための電力系統側の発電燃料費算出のための簡易モデルの作成を行い、需要シフトのための電気料金について検討を行った。電力系統に住宅用太陽光発電と電気自動車が多数入った状況を想定し、系統側の限界燃料費に基づいて電気料金を設定した場合、電気自動車用電池の運用方法がどのように変わるかについて初期検討を行った。

サブテーマ(3)：住宅エネルギー管理システムの消費者受容性に関する研究

- ・ HEMS普及のための消費者の受容性を検討するため、先行研究サーベイに加え、HEMSの製品価値を高める追加的な品質などについて、インタビュー調査を実施した。これらの調査結果に基づき、理論仮説を確定し、仮説検証のためのインターネット調査のための事前準備を行った。
- ・ 需要の能動化の受容性を検討するため、先行研究およびインタビュー調査を実施し、理論仮説の導出を行うとともに、仮説検証のためにHEMS利用者463世帯を確保し、利用者に対するエネルギー使用実態と組み合わせた質問紙調査を実施した。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. HEMS における予測—計画—運用モデルの構築

再生可能エネルギーの変動吸収を目的としたデマンドレスポンスにおいて、家庭部門を利用した事例に関して、これまで電気給湯器などの直接制御の試みがある程度である。本研究で枠組みを示した、無数の需要を束ね、料金を介した間接的な自動制御を実施するという方法は、世界でも実現しておらず、先進的な取り組みである。

2. 家庭用需要の構造分析

HEMS データを収集し、我が国の家庭部門のエネルギー構造を明らかにするべく、各種属性によるエネルギー消費の説明を行った。商用 HEMS データを用いた分析の事例は少なく、属性データと組み合わせることで価値ある知見を得ることができた。

3. HEMS 受容性の明確化

HEMS の受容性に関する検討は古くからあり、10 年以上も前から同じような議論をされてきているが、その明確な解が得られてきていなかった。特に系統連携も含めた HEMS の機能に対する受容性についての議論が不十分であった。そこで現在市販されている HEMS に対する受容性や、今後 HEMS に付与されるであろう機能に対する受容性など、広範な質問紙調査やフィールド調査により明らかにし、上述した運用モデルの利用に資する基礎データを収集することができた。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. HEMS における予測—計画—運用モデルの構築

家庭用の電力需要におけるエネルギーマネジメン的な取り組みは今後系統の安定化のために重要となる要素と考えらえる。本研究では、HEMS の実運用を視野に入れて、予測、計画、運用を実現するモデルを完成し、将来的には、系統運用貢献のために、HEMS に実装されるシステムのひな型を構築したといえる。

2. 料金制度の検討

システム負荷をパラメータとした電力会社の燃料費を定式化し、これに連動したダイナミックプライシングを想定することで、HEMS 単位の局所最適が、システム全体最適へ連動する仕組みを提案することができた。

3. HEMS 受容性の明確化

HEMS 受容性のための調査は、現在すでに販売されている HEMS に対するもののみならず、今後付加されるであろう機能や、生活者が住宅に求めている機能について顕在意識のみならず潜在意識にまで遡り調査することを試みている。これらの結果は、今後企業が生活者の受容性が高い新しい HEMS を開発していく上で、非常に有用な知見が得られたと考える。

§ 2. 研究構想(および構想計画に対する達成状況)

(1) 当初の研究構想

サブテーマ(1):住宅エネルギー管理システムの基本機能に関する研究

住宅やオフィスにおける分散 EMS の役割の一つであるエネルギー需要機器制御には、集中 EMS と協調したエネルギー需給調整力確保のための制御と、生活の快適性・利便性・省エネ性のための制御という二つの面を有する。これらの機能を実現するためには、図 1 に示す HEMS の基本機能が必要不可欠である。

まず前日に、Step 1 として翌日のエネルギーサービス需要量を「予測」し、Step 2 として電力システムからの要求や電気料金信号に応じて最適な機器の運転を「計画」する。当日には、Step 3 として前日立てた運転計画を基に、当日の予測状態からのずれや緊急の状況にも対応した「運用」を行う。この、「予測」「計画」「運用」の 3 つの基本機能の実現に向け、以下の研究を行う。

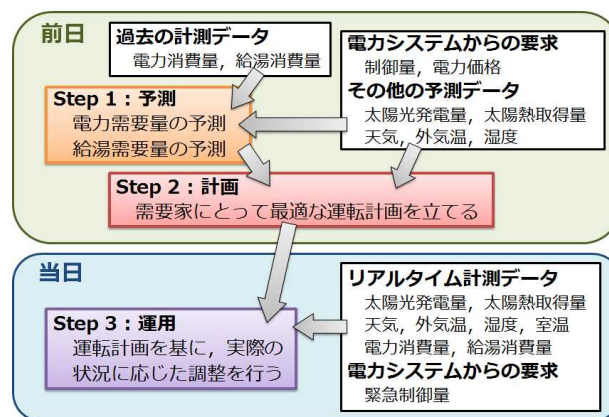


図 1 想定する HEMS の基本機能

(1a) エネルギー消費構造の把握および需要予測手法の検討

需要の形態は世帯構成やライフスタイルによって様々であり、エネルギー管理に必要な需要予測が容易な世帯もあれば難しい世帯もある。多様な世帯を対象とした需要予測手法を確立することが課題である。提案者らが所有する千葉県柏の葉地区 50 世帯の電力消費量（分電盤回路別電力・主要機器）・給湯需要量データおよび、住宅メーカー所有の全国 1000 世帯以上の HEMS 収集データ（分電盤回路別電力・PV 発電量）を分析対象とし、エネルギー消費量の実測結果に基づき、用途別のエネルギー消費量を把握する手法について検討し、重回帰分析やニューラルネットワークなどの統計手法を用いて、「計画」への入力情報としてのエネルギー需要量の「予測」手法の開発を行う。多様な世帯の需要に応じた実現可能な予測精度について検討を行う。

(1b) 家庭内機器の最適運転計画手法の検討

エネルギー需要量の「予測」データに加え、電力システムからの要求や、外部から入手した PV 発電量・気温などの予測データを用いて、PV、太陽熱集熱器、ヒートポンプ給湯機、蓄電池、電気自動車などの需要側の可制御機器の最適な運転の「計画」を行う数理計画法を用いたモデルの高度化・精緻化を行う。需要家機器の最適運転計画には、可制御機器の性能のモデル化や、機器個体の設置特性の補正機能が重要不可欠である。本学キャンパス内の HEMS 実証試験住宅に設置された PV、太陽熱集熱器、ヒートポンプ給湯機、蓄電池などの各種エネルギー利用機器の性能や運転状況の計測結果に基づいて、信頼性の高いモデルへの改良を行う。

(1c) 消費者ニーズを考慮した運用手法の検討と HEMS シミュレータの構築

当日の機器の運用においては、種々の予測が外れた状況下においても快適性・利便性を損なわないことが重要であり、また、電力システムからの緊急の要請やリアルタイムで計測されるデータ

に基づく運転計画の見直しなども必要になると考えられる。これらの機器運用アルゴリズムの検討を行う。

また、「予測」「計画」「運用」の3つの基本機能を統合し、HEMS 実証試験住宅で計測されるデータ等を含めて、一連の HEMS 機能を再現する HEMS シミュレータの構築を行う。

サブテーマ(2):住宅エネルギー管理システムを活かす制度・仕組みに関する研究

需要能動化による電力需給調整の高度化は、需給信頼度、経済負荷配分などを改善し、需給システムの運用、設備計画、市場設計、電力料金制度、再生可能エネルギーの買い取り制度など広い分野に波及効果を持つ。また、HEMS・BEMS(ビル・エネルギー管理システム)・EV(電気自動車)のアグリゲータなど、エネルギー管理を行う新たなビジネスモデルの登場により、社会システムの中の HEMS の位置づけも多様化しつつある。

ここでは、HEMS に関する仕組みや制度、需要能動化のための適切な料金制度などに関する研究を行う。

(2a) HEMS アグリゲータに関する制度・仕組みの検討

電力システムと HEMS との間にアグリゲータが介在する場合、個別の分散 EMS が限られた情報から最適化をする場合と比較して、より優れた予測・計画・運用を実現できる可能性がある。また、需要の能動化によって得られる電力システム側のメリットを、HEMS 利用者に分配するための制度設計や運用の点でも、アグリゲータの介在により、実現可能性が高まることが期待される。

サブテーマ(1)で開発した HEMS モデルを、アグリゲータが管理する多様な複数の需要家を想定して適用し、住宅一軒ごとの HEMS による管理とアグリゲータによる一括管理について、電力システムへの貢献の効果をそれぞれ評価し、電力システムの要求の与え方やインセンティブの付与方法などの検討を行う。また、サブテーマ(3)から得る消費者受容性の知見を考慮しつつ、電力システムからの要求の種類や、需要側の制御機器の種類に応じた適切な制度・管理手法についての検討も行う。

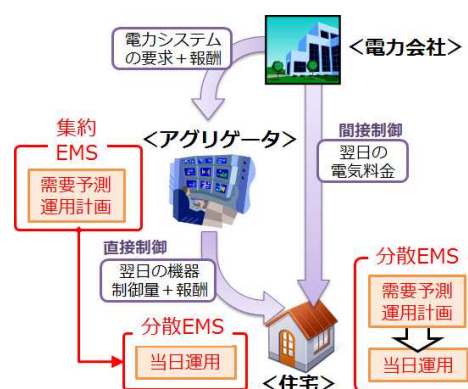


図 2 HEMS アグリゲータの例

(2b) 需要を能動化する電気料金の設定手法の検討

電力システムと HEMS が電気料金を介して間接的に需給調整が行われる場合、需要を適切に誘導できる電気料金を設定することが非常に重要である。

サブテーマ(1)で開発した HEMS モデルを用い、様々な電気料金を想定して、需要の変化量を評価し、電力システムに貢献する需要の能動化を実現する電気料金制度の設計を行う。また、サブテーマ(3)から得る消費者受容性の知見を基に、受容性の高い制度の検討を行う。

サブテーマ(3):住宅エネルギー管理システムの消費者受容性に関する研究

エネルギー管理という新しいサービスを普及させるためには、快適性、経済性、利便性、平易性などの条件を備えた仕組み・制度を構築し、システムとして利用者の受容性を向上することが不可欠となる。ここでは、社会調査などを通して、消費者の受容性に関する研究を行う。

(3a) HEMS 普及のための消費者受容性の検討

HEMS という製品は、消費者にとって全く未知の製品であるか、知ってはいてもこの製品の品質は使ってみないとわからないという経験財である。このような製品を広く普及させていくためには、消費者に如何に知ってもらい、理解してもらおうかが極めて重要になる。また今までの先行研究では、消費者が HEMS を認知したとしても、エネルギー管理サービスのみでは製品としての魅力は乏しいと感ずることが報告されている。HEMS の製品価値を高め、消費者に利用したいと思ってもらうには、

他にどのような品質が必要なのか、関連する消費財の先行研究や、デプスイタビューなどを通じた要求品質の抽出を行う。またそれらを踏まえ HEMS 製品を広く普及させるには、消費者にどのように訴求していくべきなのかについても検討を行う。

(3b) 需要の能動化・料金制度などの消費者受容性の調査

HEMS が広く普及したとしても、その利用者がどの程度需要調整を許容するかによって需給調整の価値は大きく異なる。快適性や利便性を損なわずして、如何に需要を能動化できるのか、利用者の需要調整への協調行動は継続するのかなど検討を行う。なお、エネルギー消費行動は質問紙調査によって得られる回答と、実際のエネルギー消費量との間に乖離があることが報告されていることや、HEMS のような消費者にとって未知の製品は、質問紙のみの調査では把握が難しいことなどから、実フィールドにてエネルギー使用実態と組み合わせた質問紙調査を実施し分析を行う。また、HEMS 利用者の需要調整への協調行動を促進するには、どのようなエネルギー管理の仕組みや料金制度が効果的であるのかを明らかにし、エネルギー消費者のライフスタイル・シフトの可能性の検討を行う。そしてこれらの結果をサブテーマ(1)の制御手法やサブテーマ(2)の制度設計に活用する。

(2)新たに追加・修正など変更した研究構想(FS での取り組みによる成果, FS 以外の成果等)

FS において、他の研究チームとの協業で、次のような取り組みを行っている。

<第1期>

下記のように他のチームとの連携を検討し、データ共有、シミュレーション結果の連動などを行っている。

- ・HEMS によるエコキュート制御がもたらす電圧問題への貢献に関する研究 (第1期, 林 FS)
- ・気象データと HEMS データとの連携ポテンシャルの検討 (第1期, 中島 FS)
- ・HEMS 受容性に関する調査 (第1期, 加藤 FS)

<第2期>

・需要を核としたエネルギーマネジメントシステムの評価プラットフォームの実現に向けた検討 (第2期 岩船 FS)

下記の項目について展開の可能性を検討した。

- 需要データの共有, HEMS による調整ポテンシャルの算定方法に関する検討
- EMS を含む柔軟性資源を総合的に評価するためのエネルギーマネジメント技術—経済性評価プラットフォームの検討

§3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①「東京大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
岩船由美子	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	H24.10～ H27.3
荻本和彦	同上	特任教授	H24.10～ H27.3
池上貴志	同上	特任助教	H24.10～ H26.2
八木田克英	同上	CREST 特任研究員	H24.10～ H27.3
片岡和人	同上	CREST 特任研究員	H25.6～ H26.3
河合俊明	同上	CREST 学術支援職員	H24.10～ H25.9
前川晶子	同上	CREST 特任専門職員	H25.11～ H26.3
渡邊裕美子	同上	博士課程 学生	H24.10～ H27.3

研究項目

- ・ 消費者の受容性を考慮した住宅エネルギー管理システム

②「東京農工大学」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
池上貴志	東京農工大学大学院 工学研究院・先端機械システム部門	准教授	H26.3～H27.3

研究項目

- ・ 住宅エネルギー管理システムの機能と活かす仕組みの研究

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

国内でHEMS販売実績が多い企業数社と連携して、HEMSデータの提供を継続的に収集できるような体制を整えた。しかし個人情報の観点から、データ利用の同意を利用者から得ることが非常に困難を極め、調査協力世帯の脱落も多かったため、今後もさらに連携企業を増やすことを計画している。

§ 4 研究実施内容及び成果

4.1 東京大学 グループ

(1) 研究題目

消費者の受容性を考慮した住宅エネルギー管理システム

(2) 研究の目的および内容

電力システムに貢献する需要の能動化の機能を持つ住宅エネルギー管理システム(HEMS)のソフトウェア部分の開発と普及を目指す。HEMSの基本機能に関する研究として、実際の住宅における多様なエネルギー消費実態の分析に基づいて、住宅のエネルギー需要量予測手法、家庭内機器の最適運転計画手法、快適性・利便性を維持した当日の機器運用手法の開発を行う。また、需要の能動化を実現するための電気料金などの制度やアグリゲータなどのHEMSを社会システムに組み込む仕組み・制度に関する研究を行う。さらに、HEMSの価値を高めるサービスや、需要の能動化、料金制度などに関する消費者意識の社会調査により消費者受容性の高いシステム構築のための研究を行う。

(3) 本年度の研究実施項目・概要(実施項目)

サブテーマ(1):住宅エネルギー管理システムの基本機能に関する研究

(1-1)多様な世帯のエネルギー消費データの収集,整理,エネルギー消費構造の分析
オール電化住宅約500世帯におけるHEMSデータと,住宅・世帯属性データを収集し,用途別,時間帯別に消費構造を分析した。需要の多寡に影響を及ぼす因子を回帰分析により抽出した。

(1-2)電力需要・給湯需要の予測手法の検討

配電レベル,系統規模の電力需要予測手法はすでに確立されているが,建物レベルの需要予測はそのニーズの少なさから多くは試みられていない。

住宅における需要予測が必要なシーンを考えると,貯蔵要素のある機器の最適運用などが挙げられる。例えばヒートポンプ給湯機において,翌日の給湯需要を適切に予測できれば,これに合わせて前日深夜電力でお湯を作ることで,沸かしすぎや貯湯ロスを抑制することができる。また,太陽光発電と蓄電池を保有する住宅において,将来的に太陽光の余剰買取価格が下落した状況下では,太陽光発電の出力をなるべく自家消費することが必要となる。そのような場合,翌日の太陽光発電による余剰電力発生量(太陽光発電量-需要)を予測し,その分は充電できる状態を維持しつつ,必要量のみを安価な時間帯に充電しておく必要がある。そもそも住宅の需要のボラティリティは大きく,個別のHEMSが自端で処理することなどを考えると,簡易な手法が適していると考えられる。本研究では,比較的簡易な重回帰モデルにより,短期の学習期間での予測を試みるものとした。

① 電力需要の予測とその評価

翌日の電力需要を,時間帯として,日量あるいは毎時,単位として回路別あるいは総量で予測し,過去のデータの平均を用いる場合と重回帰モデルを用いた場合とで比較した。重回帰モデルの説明変数として,過去データ,休平日の別,外気温の予測値を用いた。

PV付きのオール電化住宅160世帯1年分の給湯以外の電力需要データにおける予測結果を図に示す。各手法によって日量の平均二乗誤差あるいは絶対誤差率を求めた結果を手法1(前日データを予測値とした場合)の値で降順に並び替えたものである。単純平均を用いた方法に比べ重回帰による予測の方がほぼ誤差は小さくなっている。回帰のうちでも,住宅全体よりも回路別に

予測するほうが精度が高い。ただ、時間的な解像度を上げることは必ずしも予測精度向上にはつながらない。時間別回路別回帰予測は、前日予測に比べて、RMSE 値で 0.79kWh/日、絶対誤差率で3.6ポイント予測精度を改善している。個別の世帯における予測結果を図に示す。上図世帯 A (図 3 内に対応)は時間別回路別回帰予測が、前日予測より悪くなった例である。不規則な長期不在などの影響により変動が非常に激しく予測が困難である。下図世帯 B は休平日の周期性があり、休平日の情報を入力に入れた回帰予測によって、前日予測に比べて大幅に予測精度が改善できた例である(前日予測 MAPE 23.3%→回帰予測 16.3%)。

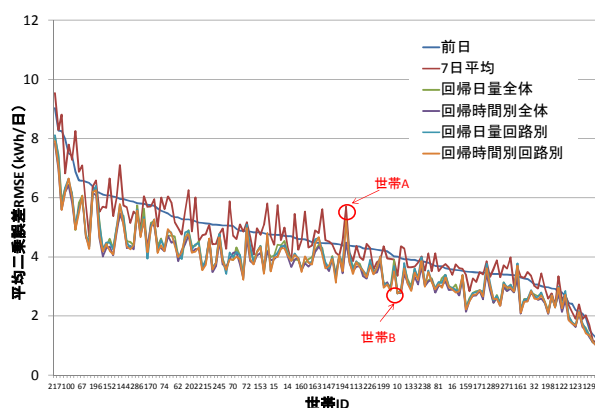


図 3 160 世帯における予測結果 (平均二乗誤差, 2012 年 10 月～2013 年 9 月, 手法 1 の結果により降順に表示)

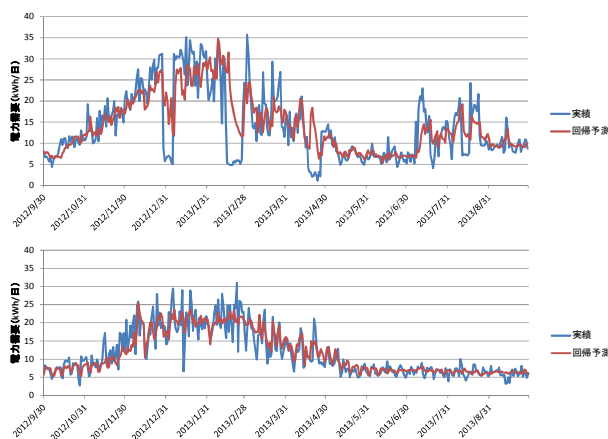


図 4 予測困難な世帯 A および周期性のある世帯 B における実績値と回帰(時間別回路別)予測結果

各住戸の翌日の毎時 PV 発電量をサポートベクターマシン(SVR)を用いて予測した結果と、需要回帰予測の予測誤差(%RMSE)をプロットした結果が、図 5 である。この値は各世帯の平均 PV 発電量(kWh/日) および平均日需要(kWh/日)に対する割合である。PV 予測の入力データとして、GPV-MSM データより得られる、気温、雲量、相対湿度の毎時予測値、および大気外水平面日射量(計算値)が用いられている。PV の誤差率は 20～30%台に分布している。需要の方がばらつきが大きく 10～30%台に分布していることがわかった。

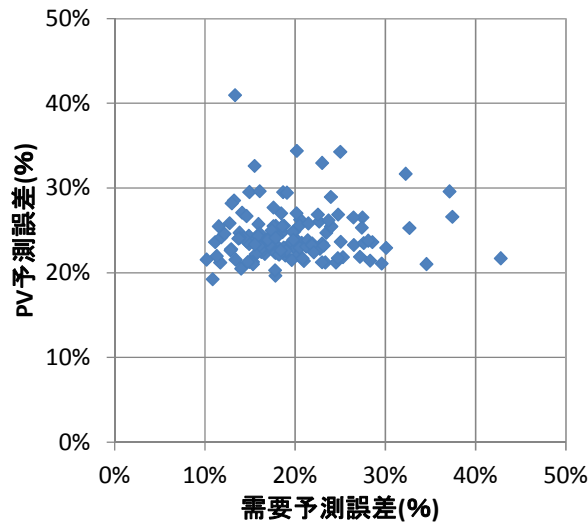


図 5 需要(回帰予測)とPVの翌日予測時の予測誤差

さらに、需要の予測誤差が、エネルギーマネジメントの経済性に与える影響を評価するために、PV-蓄電池運用モデルを構築し、10kWの電池を用いてPVの出力をなるべく自家消費するような運用を行う場合の経済性を評価した。予測精度の悪化とそれに伴うコスト増加率は正の相関がある。余剰電力の買取価格を0とし、現状の夜間8時間型の時間帯別電灯料金単価を用いた場合、経済性に与える影響はPVの予測誤差の方が需要よりも大きいことが分かった。ただし、その絶対値は比較的小さく、平均で一日10円程度、月300円程度の増加にとどまっていた。

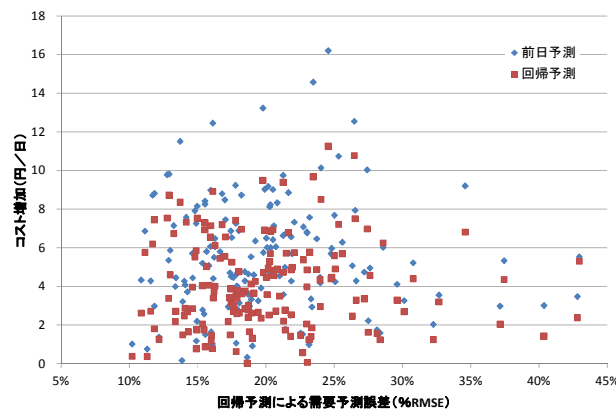


図 6 需要予測手法による経済性の改善(コスト増加金額)

② 給湯需要の予測

給湯需要についても、重回帰を用いた翌日予測を行い、太陽熱—ヒートポンプハイブリッド給湯システムの運用を行い、その予測誤差の影響を定量的に評価した。翌日の日射量、需要の予測を前日23時に行い、需要予測量から太陽熱による供給可能予想量を差し引いた分を、安価な深夜電力で貯湯する際の経済性を評価した。

給湯需要は、実測された4世帯の1時間ごとのガス消費量から推計した5か月分を用いた。5か月平均の予測精度は図のようになり、重回帰を用いた予測手法が、過去3日、7日の単純平均データを用いたものに比べて必ずしも低い結果とならなかった。太陽熱—ヒートポンプハイブリッド給湯システムの運用について、を表のケースについて実施し、費用を計算した結果を図に示す。給湯器の運用は、貯湯量のマージンが適切に設定できるかという点が重要となる。重回帰予測による予測手法による95%信頼区間を用いて貯湯量を決定した場合、単純予測と標準偏差を用い

た場合に比べて、経済性は改善されている。すなわち、予測精度そのものの大小よりも、予測の信頼区間を含めた検討が重要である、ということが定量的に示された。

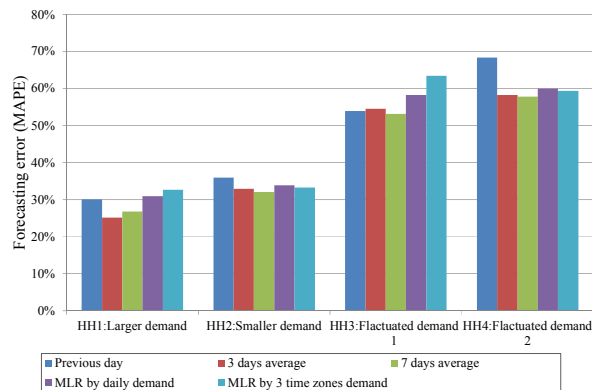


図 7 5 世帯における給湯需要予測精度 (5 か月平均)

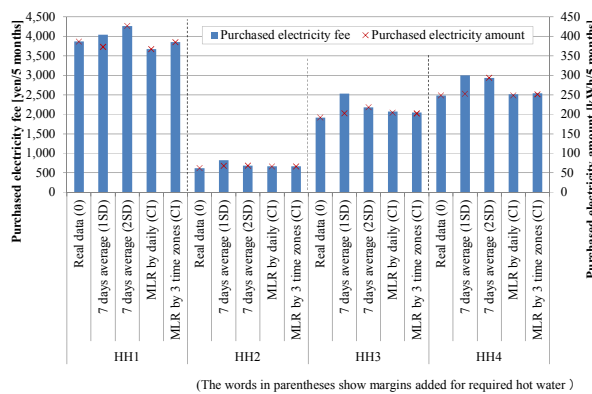


図 8 太陽熱—HP ハイブリッド給湯機運用における経済性比較

- Case1. 実需要 (貯湯マージン0)
- Case2. 7日平均予測 (貯湯マージン7日間標準偏差)
- Case3. 7日平均予測 (貯湯マージン7日間標準偏差×2)
- Case4. 日量回帰予測 (貯湯マージン95%信頼区間)
- Case5. 3時間帯別回帰予測 (貯湯マージン95%信頼区間)

(1-3) エネルギー機器の性能データ等を収集、整理し、最適運転計画モデルに取り込む。

サブテーマ(2): 住宅エネルギー管理システムを活かす制度・仕組みに関する研究

アグリゲータが管理する多様な複数の需要家を想定して HEMS モデルを拡張する。系統側の発電燃料費算出のための簡易モデルを完成させる。

・電力系統の需給バランス確保のための EV-PV システムの評価

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、今後多様化する電気料金システムのもとで、EV バッテリーと PV システムを連携させるとき、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した。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。需要、PV 発電量の予測を行い、計画-運用に至る過程で、各予測誤差がどのような影響をもたらすかを検討し、さらにその

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。

提案する PV-EV モデルは、計画と運用の 2 つのステップからなる。計画段階では、需要や PV 発電量の予測、ユーザーによる EV 使用予定申告に基づき、翌日の EV 電池の運用を決定する。運用段階では、前日運用完了時 SOC (充電レベル) の充電レベルの状態からスタートして、実需要、実 PV 発電量に余剰電力量を決定し、実際の EV の利用状態に応じてバッテリーの充電状態が毎時計算される。

EV 走行の想定は、非通勤 EV のみとし、走行パターンは、自動車 OD 調査より得られたトリップ長データや出発時刻に基づいて、日々ランダムに発生するものとし、予測はせず、安全側に申告してもらう想定とした。

51 世帯について、PV-EV システム導入の経済効果を評価した。図は FIT 価格別に、需要や PV のリアル値を用いて、運用を最適化した結果の世帯平均である。FIT 価格が高い場合では、売電量 (PV2G) が大きくなるが、FIT 価格 24 円 / kWh でも 38 円 / kWh の結果と変わらず、積極的に売ったほうが経済性がよい。

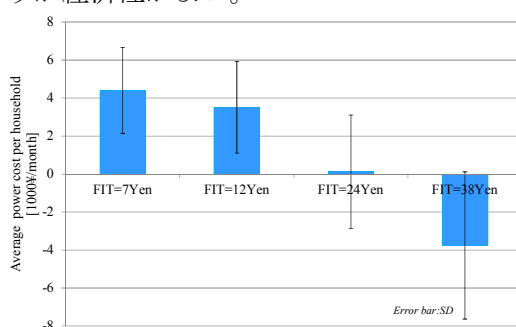


図 9 FIT 価格別平均月別力コスト (51 世帯平均)

将来的に太陽光発電が大量導入されるようになると、現状のような価格体系は維持できなくなることが予想され、電力価格は、電力系統全体の需給のバランスを確保させるために、動的に変化することが考えられる。そこで、図に示すシステム全体の燃料費に連動する料金を前提に、PV-EV 世帯のオペレーションを最適化した。

導入される PV 総容量は 15GW、ピーク電力の約 3 割と想定した。同時に EV の普及を想定し、約 300 万世帯が PV-EV システムを導入するものとした。買電価格を 限界燃料費 +10 [円 / kWh], 売電価格を 買電価格 - 2 [円 / kWh] と想定した場合、各世帯は電力コストを抑制するために、電力系統需要が少ない時間帯に EV バッテリーを充電し (G2EV), 需要ピーク時間帯に EV バッテリーに蓄電されている電力を用いて世帯を給電する (EV2H)。結果として、系統需要の平準化に貢献する。PV システムにより系統全体の年間燃料費が 2,730 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 312 億円削減できる。後者は一世帯当たり 10,400 円 / 年の価値となることが算定された。

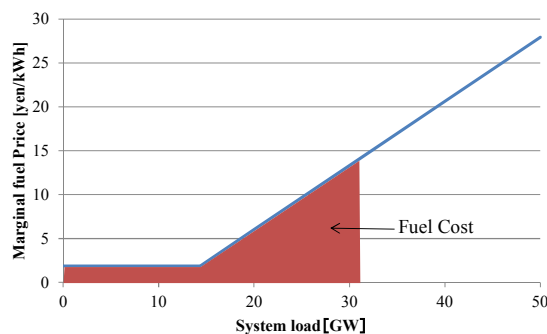


図 10 東京電力の限界燃料費曲線

サブテーマ(3):住宅エネルギー管理システムの消費者受容性に関する研究

(3a) HEMS 普及のための消費者受容性の検討

HEMS の現時点での普及台数は、10 万台にも届かない程度ではないかと考えられる。HEMS の基本的な役割には、見える化、省エネルギーや快適性向上のための宅内制御、全体システム(電力系統)への貢献のための制御などがあるが、現在販売されている HEMS は見える化機能のみがほとんどである。そして、見える化や宅内制御は 90 年代から存在する基本機能であり、このような機能を備えた HEMS 普及のための議論は 10 年以上行われてきているものの進んでこなかった。この HEMS が普及しなかった原因としては、省エネ効果の不透明さ、高額な導入コスト、消費者ベネフィットの希薄さ、などが上げられている。

このような HEMS の普及拡大のための一つの方向性として、HEMS の高付加価値化を図り、省エネ以外でのサービスを付与することによって消費者にとって製品としての魅力度を高めようというものがある。そしてこの高付加価値化については、見守り機能や遠隔操作機能など、様々な開発が行われてきているものの、いずれも HEMS の普及を促進させるまでの決定打にはなっていない。さらには防犯機能や遠隔操作機能など、今までに検討されてきている付加価値は HEMS でなくとも実現可能であり、例えば遠隔操作などはスマートフォンなどを利用した同様なサービスが存在している。本研究では、住宅への HEMS 普及拡大のために HEMS に付与する魅力あるサービスを幅広く探索するとともに、HEMS 導入可能性が高いのはどのような消費者なのかを明らかにすることを目的とした調査を実施した。

[3a-調査1]

HEMS にエネルギーサービスとは別に、付与できるサービスとして、どのような可能性があるのか抽出することを目的としたインタビュー調査を実施した(表 1 参照)。調査対象者は住宅所有者とし、新築住宅ではなく既築住宅に居住後数年経過している人を対象とした。これは我が国の最近の新設住宅着工件数はストック住宅の数%にしかならず、既築住宅世帯がほとんどであることから、HEMS の普及拡大には既築住宅への対応が重要と考えるからである。また、HEMS 設置は新築時の方が設置が容易であり、既築住宅への設置には宅内配線などの工事が伴い導入への障壁がさらに大きい。よって HEMS 設置の魅力がより大きいことが必要になってくる。インタビューは一对一のデプスインタビューで行ったが、より深く探索できるようにインタビューの事前に 9 日間の日記を記入してもらい、その日記に基づきインタビューを実施するという方法をとった。

表 1 インタビュー調査の概要

方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日記調査 (9 日間) ・ 日記調査に基づくデプスインタビュー (60 分)
対象	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一都三県在住の男女 ・ 持家戸建住宅 or 持家集合住宅に 3 年以上居住 ・ ペット飼育世帯を含む ① 50~60 代, 所得高め (世帯年収 1000 万円前後) ② 30~40 代, 所得高め (世帯年収 800 万円前後)
時期	2013 年 11 月~2014 年 3 月
サンプル数	日記調査 48 名, インタビュー調査 39 名

その結果、まず若年層(30~40 代)では、将来への漠然とした不安が大きく、子供に将来どの程度お金がかかるか見当もつかず、長期住宅ローンなどを抱えていると、さらに経済的不安が大きいようであった。よって節約意志が強く、節約のための先行投資ならば、積極的に取り入れるような意見が聴かれた。また、子育てや仕事にとにかく忙しく、時短への要求が高い。そして通勤時間の節約から比較的都心に住居を構えた結果、家が狭く収納が追いつかない等、スペースセービングの要求もあった。家事のうちで、掃除は自動掃除機、炊事は外食・中食など、時短しようと思えば比較的可能であるが、洗濯に関しては時短化が比較的難しいのか、特に乾燥に関しては不満が聴かれた。乾燥機能については省エネとも大きく関連するので、乾燥機をなるべく使わず外気を利用して

風乾させることを補助するなど HEMS の付加価値としては可能性があるように考える。

また家族内でのコミュニケーションや食事を重要だと考える発言が高齢層より多かった。またいくらか時短を要求していても、利便性を追求することは、良き母・良き妻でありたいと願う想いとは相反するため、その辺のバランスを叶えることも重要であると考えられる。

次に高齢層(50～60代)では、若年層同様に将来への不安、すなわち老後の不安が大きかった。そして比較的所得の高い世帯を対象としたにも関わらず、若年層同様に経済的不安が大きく聴かれた。しかし経済的不安が大きいからといって、そのために節約しようという意見はさほど聴かれなかった。経済的不安から、お金をかけて住宅や暮らしを改善しようという意見が聴かれず、清潔を保ち、睡眠をとるなど、家は基本機能を満たせばいいという発想であった。そして家に閉じこもりたくなく、積極的に外出し、快適性や自己実現は家の外で追求しようという意見が聴かれた。食事については若年層と異なり、家族人数も少なく家族内でコミュニケーション手段としての食事としての重要性は低く、それよりも知人や友人とのコミュニケーション手段として外食を利用するという意見が聴かれた。時間には余裕があるため、時短への要求は聞かれず、小さい子供もいないために洗濯物も少なく、洗濯に関する要求もなかった。

高齢層の場合、住宅にお金をかけて付加価値を上げようというより、将来の様々なリスクに柔軟に対応するために、住み替えができるであるとか、住まいの可変性を考えていることなどを考えると、HEMS によって住宅の快適性を向上させようであるとか、新しいサービスを導入しようであるとかいう発想は望めない可能性がある。但し、外出する機会が多くなると、遠隔操作などのような住宅を外から管理出来るようなサービスにニーズがある可能性はあると考える。

[3a-調査 2]

HEMS に付与できるサービスとして、どのような可能性があるのか、①上述のインタビュー調査から挙げられた点について幅広い世帯に対して確認すること、②現在販売されている HEMS の設置意向がある人とはどのような人であるのか明らかにすることを目的として、表 2 のようなインターネット調査を実施した。各設問に対して 7 段階評価(1:あてはまらない～4:どちらでもない～7:あてはまる)で回答してもらった。

表 2 インターネット調査の概要

方法	調査会社の所有するモニタに対するインターネット調査
対象	・ 全国の 18 歳以上の主婦 (2 人以上世帯) ・ エリア/年代を人口構成比に併せて回収
時期	・ スクリーニング調査 2014 年 3 月 25～27 日 ・ 本調査 2014 年 4 月 2 日～7 日
サンプル数	15,032 名に送付 10,188 名が回答 (有効回答率 67.8%)

まず調査対象世帯のデモグラフィック属性について図 11 に、主な調査項目の単純集計結果を図 12 に示すが、将来に対する不安、光熱費の削減、自宅改善欲求などについては、若年層の方が高い。そして、HEMS 設置意向については年齢差が確認できないものの、遠隔操作機能、見守り機能についても、若年層の方が利用希望が高い。また睡眠に対する不満や、収納に対する不満も若年層の方が高い。

HEMS の設置意向については、「HEMS とは、家庭で利用する電気やガスなどのエネルギーがいつでもどこで、どれくらい使用されているかを表示したり、家電などの設備をつなげて、エネルギー消費のムダをなくすなど、かしこいエネルギー利用を実現する機器です。」という説明文を表示してから、HEMS 設置意向について聴いたが、7 段階評価でどの世代でも 3 点未満であり、非常に低い。しかし今の家に対する設置意向と、将来家を住み替えることがあった際の設置意向で聴くと、後者の住み替えた際の設置意向の方が高くなっていた。

HEMS を用いて住宅に付与できるサービスを抽出するために先に実施した定性調査で挙げられた項目を、インターネット調査にて量的確認をとって見たところ、全体的に高齢世帯の反応が悪く、何に対しても要求が低い。自宅には何か手をいれて快適に住もうとする意志も弱く、見守りや遠隔

操作などの便利な機能に対してもあまり興味がない。食事でも手間がかかっても自分で作りたいし、掃除も自分でやりたい。節約意志も低い。これらより HEMS に付加価値をつけて導入できる可能性としては、比較的若年層の方が高いと考えられる。しかし、インターネット調査は人口構成比に基づき全国調査を実施したものの、インタビュー調査を首都圏にて実施し、その結果を踏まえ本調査の設問を用意したため、インターネット調査での質問紙の構成が、郊外のニーズを上手く抽出出来るようなものになっていなかった可能性も考えられる。この辺りは、今後の課題としたい。

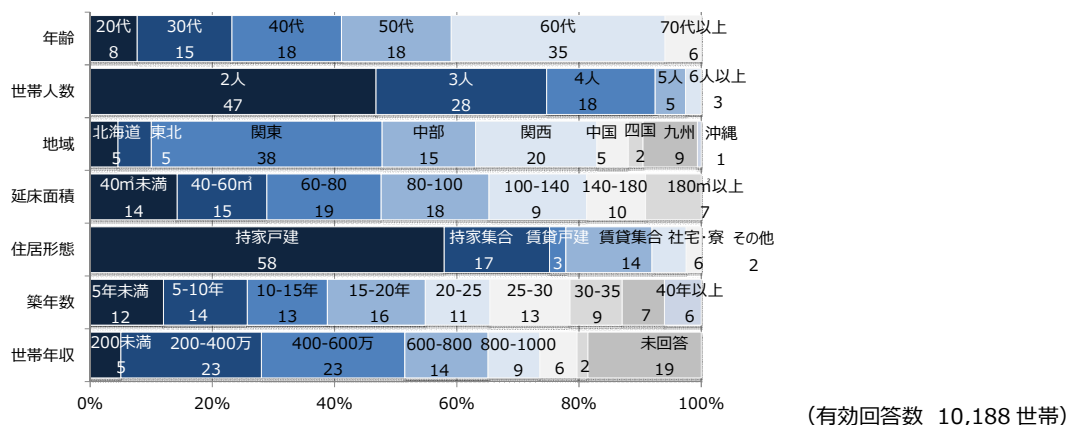


図 11 調査対象世帯の概要

(3b) 需要の能動化・料金制度などの消費者受容性の調査

[3b-調査 1]

HEMS が広く普及したとしても、その利用者がどの程度デマンドレスポンス(DR)を許容するかによって DR の価値は大きく異なる。快適性や利便性を損なわずして、如何に需要を能動化できるのか、利用者の需要調整への協調行動は継続するのかなど検討を行った。エネルギー消費行動は質問紙調査によって得られる回答と、実際のエネルギー消費量との間に乖離があることが報告されていることや、HEMS のような消費者にとって未知の製品は、質問紙のみの調査では把握が難しいことなどから、実フィールドにてエネルギー使用実態と組み合わせた質問紙調査を実施し分析を行った。

まず住宅メーカーS社の HEMS 付き戸建住宅をほぼ同時期に新築し、約1年が経った居住者で、全電化かつ PV 設置世帯を調査対象として 463 世帯確保した(図 13)。これらの世帯では、太陽光発電量と住宅全体および機器もしくは部屋ごとの 8 分岐回路の電力消費量が計測されている。これらの世帯に対して、需要の能動化のために HEMS を用いてどのようにコミュニケーションを図るのか約2年間の間に4回ほど質問紙の送付やエネルギー診断の送付による介入を行い検討を行った。

その結果、HEMS を設置後約1年半程度経つ世帯において、HEMS で表示される値を全く見ていない世帯が 17.5%、月平均1回未満の世帯が 28.3%であり、約半分近くの世帯においてほとんど見ていないということが明らかになった(図 14)。HEMS 機器が自動で宅内制御を行うようなオート DR ではなく、信号に基づき生活者が協調行動をとるというマニュアル DR を期待する場合、HEMS で示される情報を消費者が閲覧していることは大前提である。そこで、どのようにすれば HEMS 画面を閲覧するのかを上述の 463 世帯にて検討を行った。すると全く見ていない世帯においては、見える化する端末の問題が大きく、簡単に見えることや、見えてしまうような仕組みが重要であることが明らかになった。また見なくなってしまう世帯においては、そもそもエネルギー利用に興味がなく、省エネ行動などの実践にインセンティブが働かない世帯である可能性が高く、このような世帯に対しては、数値を見せるだけではなくコスト・ベネフィット訴求の強いメッセージとともに DR 情報を提示していくことが重要であることが明らかとなった。また、閲覧回数の少ない世帯に対しては、見せる情報は簡易化した方が好まれる傾向であるが、見える化 HEMS を頻繁利用している世帯においては、更に詳細な情報を要求しており、これらの希望に添う形で見える化していくことが良好なコミュ

ニケーションに効果的である可能性も示された。

最終年度である平成 26 年度は、昨年に引き続き HEMS を利用している同じ被験者に対して、実測している電力消費量をもとに各世帯のエネルギー診断を行い、現在の消費行動を示すとともに、普段の生活行動を変更することが可能か、どの程度変更を受容できるのか、各世帯別にどのような効果が得られるかを明らかにするとともに、実際に DR にて能動化できる需要はどの程度なのか等の検討を行う。

この研究については、最後のフィールド調査を平成 27 年 1 月に予定している(図 13 参照)。

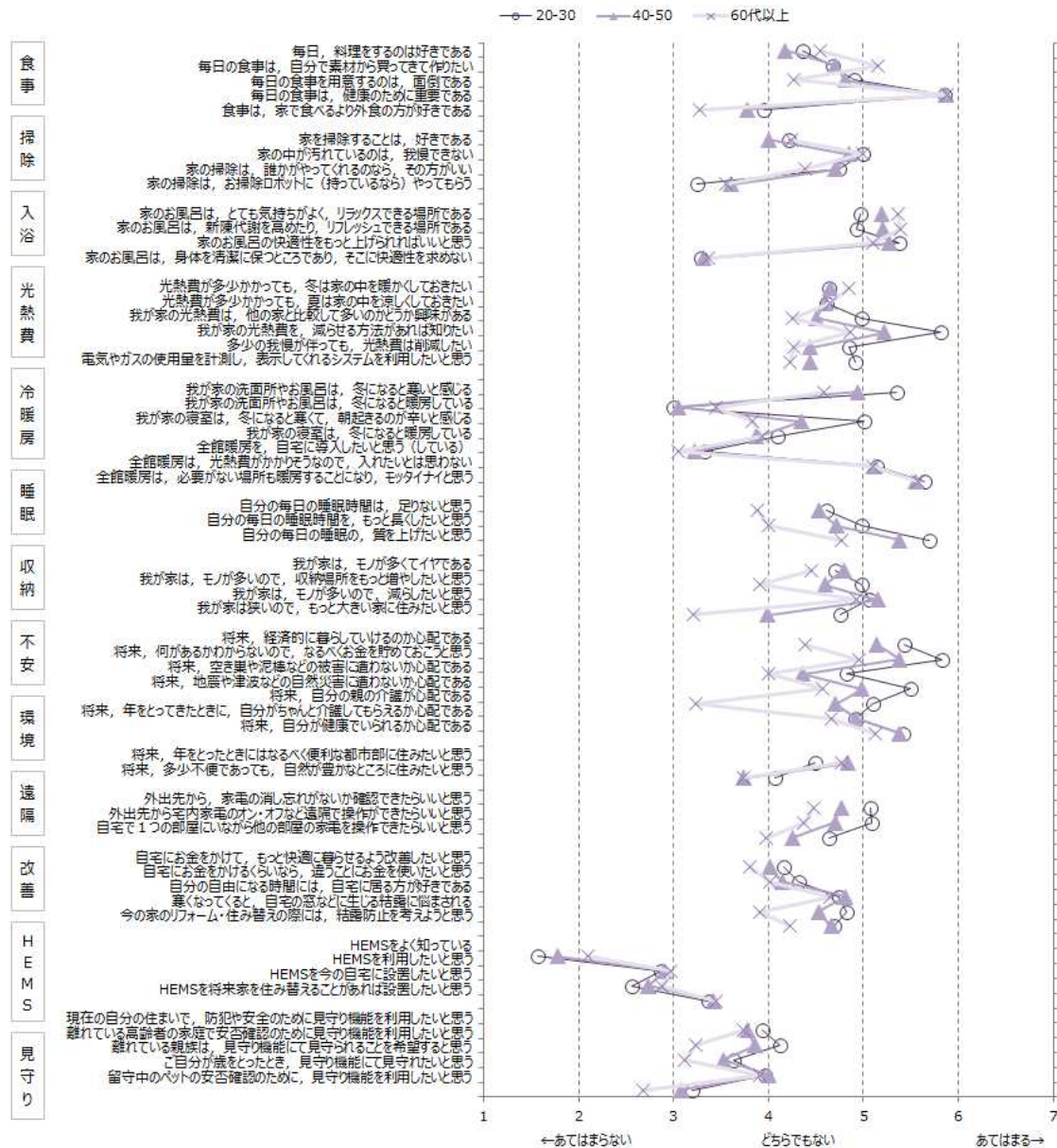


図 12 定量調査の単純集計結果

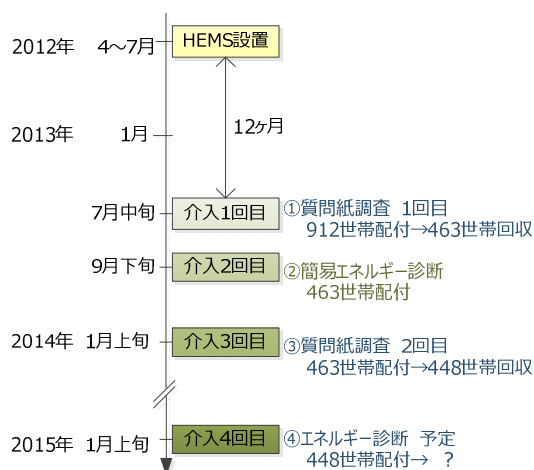


図 13 研究スケジュール

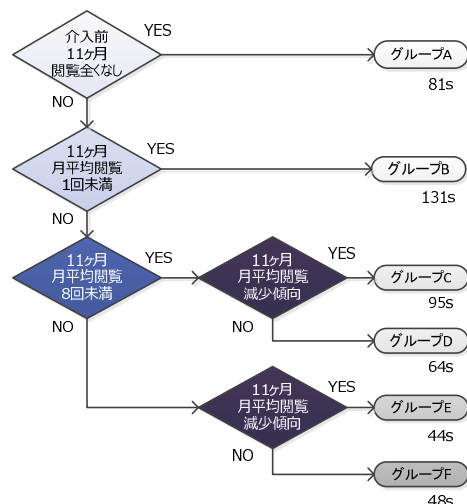


図 14 HEMS 設置世帯の HEMS 画面閲覧状況

[3b-調査 2]

マニュアル DR にて需要の能動化を期待する際には、HEMS で示される情報を消費者が閲覧していることのみならず、消費者が在宅していることが重要となる。また在宅時にどのようなエネルギー消費を行っているかということも重要になってくる。上述のフィールド調査ではサンプル数に限りがあること、世帯構成に偏りがあることから、在宅時間や家電等の利用時間を把握することを目的として広範なインターネット調査を行った。調査は上述の[3a-調査1]と同時期、同サンプルに対して行ったインターネット調査である(表 2・表 3 参照)。主な調査結果を図 15～図 22 に示す。

表 3 インターネット調査での調査項目

デモグラフィック	<ul style="list-style-type: none"> 年齢, 世帯人数, 家族構成, 世帯収入, 居住地, 延床面積, 築年数, 住居形態, ペット有無,
エネルギー利用に関して	<ul style="list-style-type: none"> 光熱費 (2 月と 8 月の電気・ガス・灯油) 電力契約種別 保有住設機器, 保有自動車台数
行動時間	<ul style="list-style-type: none"> 冷暖房, 調理, 食洗機, 入浴, 洗濯, TV (休平日別) 空気清浄・加湿除湿 (季節別, 休平日別) 自動車 (通勤, 非通勤別)
行動時間変更意図	<ul style="list-style-type: none"> 冷暖房, 調理, 食洗機, 入浴, 洗濯乾燥, TV

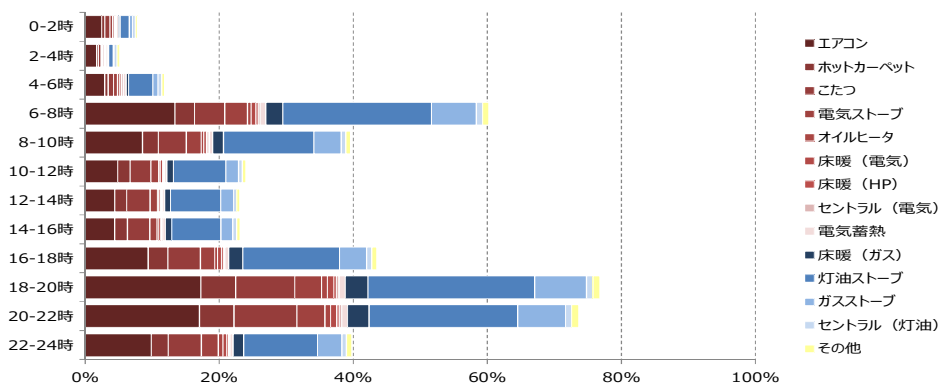


図 15 寒い時期の平日に在宅して暖房利用する世帯

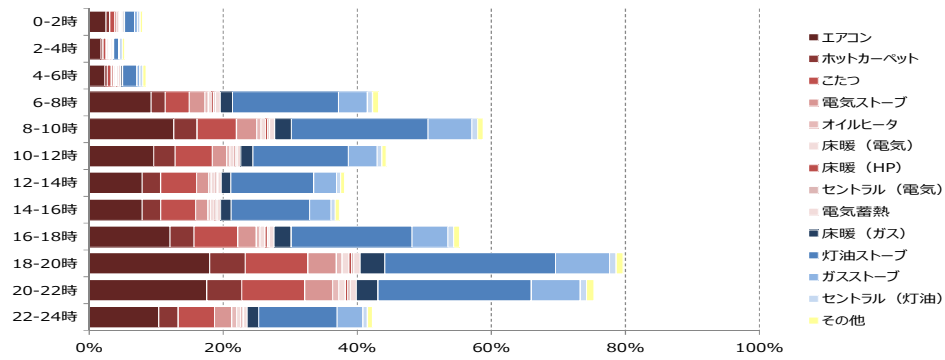


図 16 寒い時期の休日に在宅して暖房利用する世帯

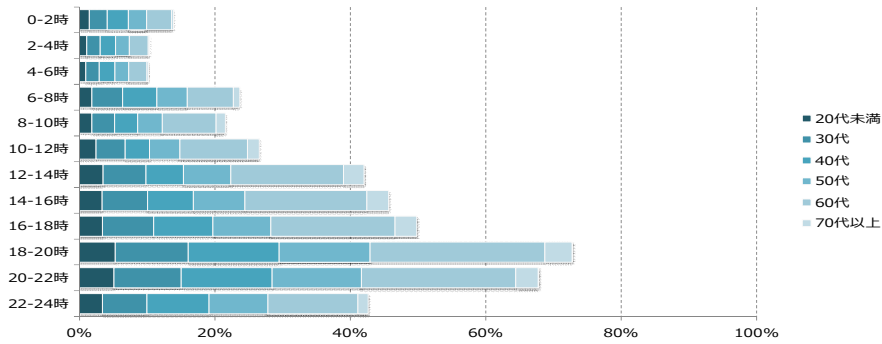


図 17 暑い時期の平日に在宅して冷房利用する世帯

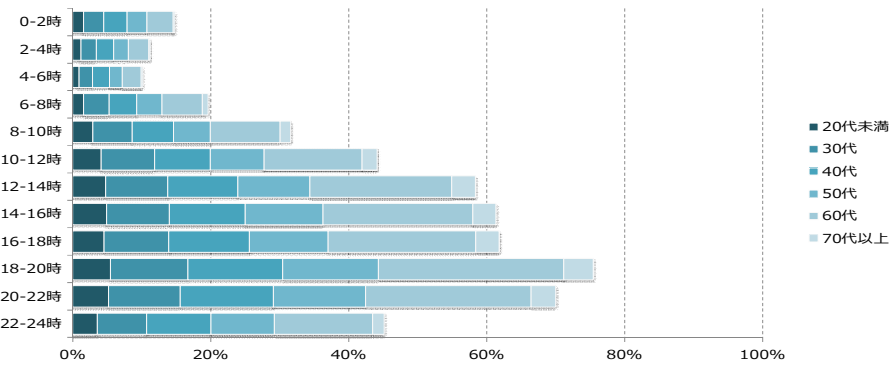


図 18 暑い時期の休日に在宅して冷房利用する世帯

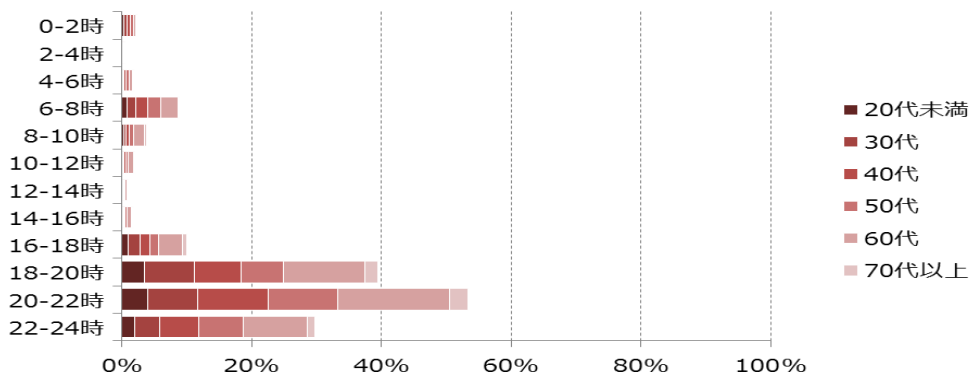


図 19 平日に入浴する世帯

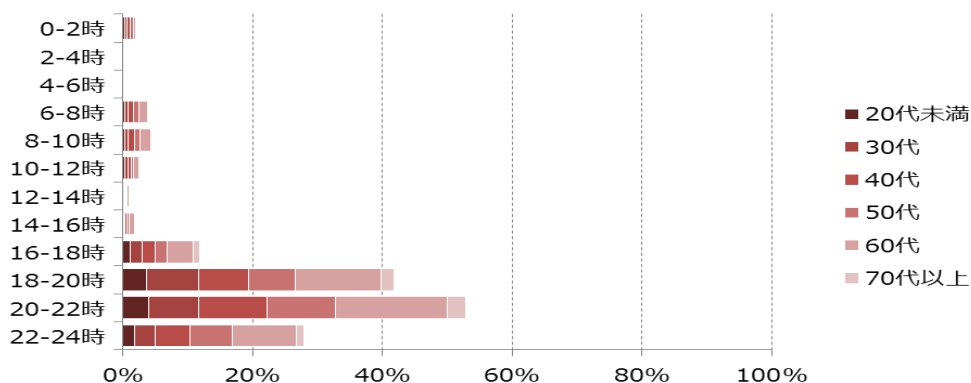


図 20 休日に入浴する世帯

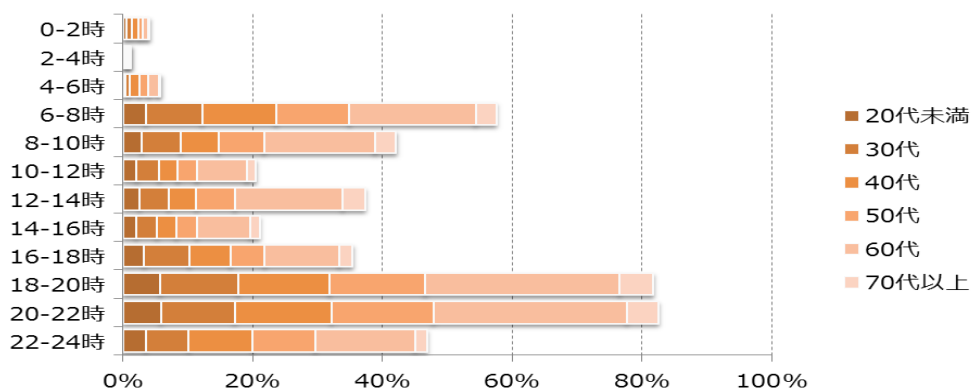


図 21 平日にテレビを見る世帯

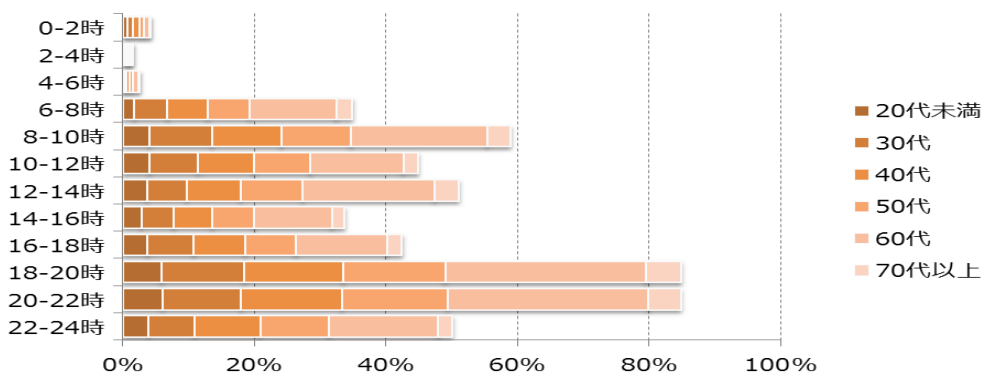


図 22 休日にテレビを見る世帯

図 15～図 16 は冬の暖房時間について「冬の寒い時期にあなたのお住まいで暖房をよく使う時間帯すべてをお答え下さい」と訊いた設問に対する多重回答結果である。調査対象世帯 10,188 世帯中で暖房利用している世帯は 10,107 世帯 (99.2%) で、そのうち電気を利用して暖房している世帯は、平休日ともに夕方 18 時から 22 時に利用している割合が最も多く、約 40% が利用していた。日中は平日で 10% 程度、休日で 20% 程度である。

図 17～図 18 は夏の冷房時間について「夏の時期に、あなたのお住まいでエアコンを冷房として使っている時間帯すべてをお答え下さい」と訊いた設問に対する多重回答結果である。調査対象世帯 10,188 世帯中でエアコンを保有して冷房使用している世帯は 8,816 世帯 (86.5%) であった。そのうち、一日のなかで 18 時～22 時の間の時間帯の冷房利用率が最も高く 60～70% であった。冷房暖房ともに 18 時～22 時の時間帯の利用世帯が最も多いが、暖房の場合は、灯油やガスなど他のエネルギー利用があるため冷房よりは利用世帯割合は低い。また調理する時間帯も平休日ともに 18～20 時が最大で約 80% 程度、テレビを利用す

る時間も平休日ともに 18～20 時が最大で約 80%程度 (テレビ利用世帯 10,188 世帯中, 9,998 世帯 (98.1%) のうち) であり, 一般家庭では, 季節を問わず 18～22 時に電力消費行動が集中している様子がわかる。

次に, 電気の時間帯別料金を利用していない世帯が 10,188 世帯中に 8,349 世帯おり, この世帯に対して, 「電気料金が時間帯によって異なる場合, 普段実践している時間帯から安い時間帯に変更しようと思いませんか」という設問を, テレビ視聴, 洗濯, 食器洗浄, 入浴, 調理, 冷房, 暖房の各生活行動について, 7 段階評価 (1: 動かそうと思わない～7: 動かそうと思う) 訊いた。その結果, 平均値で 3 点前後であり全体的に行動を変更しづらい傾向が見られた (図 23～図 24 参照)。生活行動別にみると食器を洗う行動は, 一段と動かすにくいという回答であった。年齢別では, 若い世代の方が動かしやすい傾向がみられた。そして電気の時間帯別料金を利用している世帯は, 10,188 世帯中 1,839 世帯おり, この世帯に対して「電気料金の時間帯別契約をしてから, 行動する時間帯に変化がありましたか」という設問を同じく生活行動別に訊いた。その結果, 生活行動別にみると洗濯に関して, 他の行動よりも時間帯変更しており, テレビに関しては他の行動より変更していないという回答であった (図 24 参照)。また, 前者の時間帯料金を利用していない世帯に対して行動を動かそうと思うか行動意図を訊いた結果より, 実際に時間帯料金を利用している世帯の行動実践度の回答の方が, 得点が高い傾向がみられた。

これらの結果が示すのは, 普段の生活行動の時間を変更することは, 人が考えていることと実際に実践するのでは乖離があるということである。一度実践してみると, 大したこと無いと感じる行動もあれば, 逆に変更することは困難であると認識する行動もある。これらの行動については, 質問紙で計測することに限界があるため, 今後はフィールド調査等でサンプル数を増やし行動実験を行って検証することが重要であると考え。

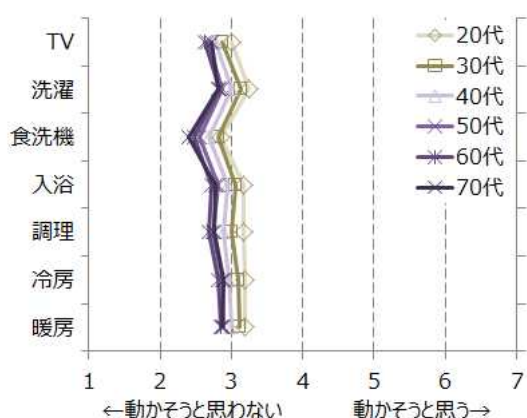


図 23 時間変更意図

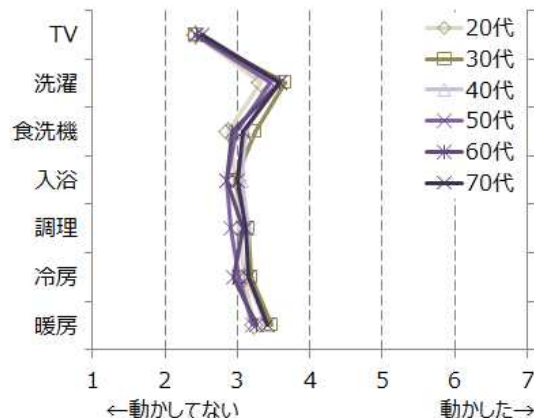


図 24 時間変更実践度

4.2 サブテーマ2: 農工大学 グループ

(1) 研究題目

住宅エネルギー管理システムの機能と活かす仕組みの研究

(2) 研究の目的および内容

電力システムに貢献する需要の能動化の機能を持つ住宅エネルギー管理システム (HEMS) のソフトウェア部分の開発と普及を目指す。HEMS の基本機能に関する研究として、家庭内機器の最適運転計画手法、快適性・利便性を維持した当日の機器運用手法の開発を行う。また、需要の能動化を実現するための電気料金などの制度やアグリゲータなどの HEMS を社会システムに組み込む仕組み・制度に関する研究を行う。

(3) 本年度の研究実施項目・概要 (実施項目)

サブテーマ(1):住宅エネルギー管理システムの基本機能に関する研究

エネルギー機器の性能データ等を収集、整理し、最適運転計画モデルに取り込む。

(1-1) エネルギー機器の性能データの収集と最適運転計画モデルへの取り込み

・ 太陽熱集熱器併用型ヒートポンプ給湯機性能データの収集

ヒートポンプ給湯機は、通常、貯湯槽下部から水を取得してヒートポンプの原理によって加熱して貯湯槽上部に返す仕組みとなっている。このとき、ヒートポンプに取り込む水の温度が高い場合にヒートポンプの成績係数(COP)が低下することが知られている。現在のヒートポンプ給湯機の運転は深夜から早朝に行われるため、太陽熱の取得前であり、加温されていない状態でヒートポンプに取り込まれるが、将来、エネルギーマネジメントにより昼間にヒートポンプを運転する場合、太陽熱の取得後となり、太陽熱により加温された水をヒートポンプに取り込むことになり、COP の低下が予想される。このCOPの低下を考慮した最適運転計画を行うためには、太陽熱取得後のヒートポンプの運転を再現し、性能データを取得する必要がある。

東京大学生産技術研究所キャンパス内の実験住宅に設置した太陽熱集熱器併用型ヒートポンプ給湯機を対象とし、太陽熱取得後あるいは取得中の昼間にヒートポンプ給湯機を運転し、下図に示す位置での温度や流量の計測を行った。これとは別に、外気温度、外気相対湿度の計測も行った。

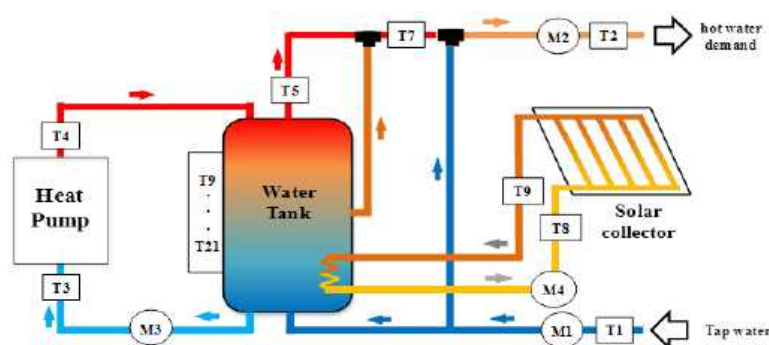


図 25 太陽熱集熱器併用型ヒートポンプ給湯機運転データの計測位置

下図に例として、計測した外気温度、ヒートポンプ入口温度に対する COP の変化をプロットしたものを示す。外気温度低下およびヒートポンプ入口温度の上昇により COP が低下することが確認できる。

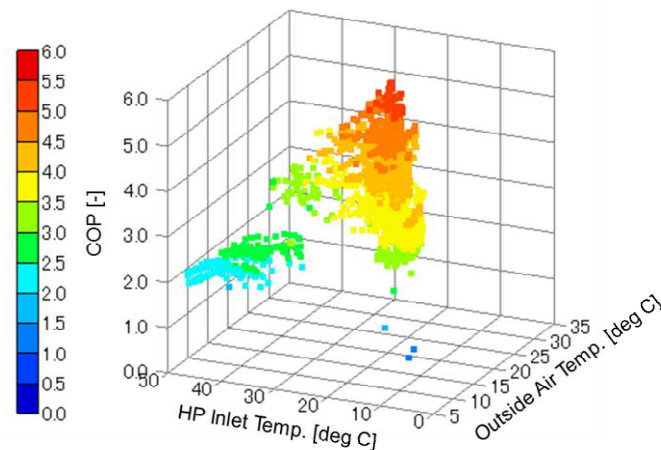


図 26 外気温度・ヒートポンプ入口温度に対する COP の変化

計測したデータより、ヒートポンプの COP に関して、外気温度(T_{atm})、外気相対湿度(H_{atm})、ヒートポンプ出口温度(T_{out})、ヒートポンプ入口温度(T_{in})の 4 変数を説明変数とした以下の線形モデルを作成した。

$$\text{COP} = 0.0796 T_{atm}[\text{°C}] + 0.0051 H_{atm}[\%] - 0.0443 T_{out}[\text{°C}] - 0.0376 T_{in}[\text{°C}] + 6.8505$$

この線形モデルを用いることで、これまでより精度の高い最適運用計画が可能となった。

(1-2) 予測の不確実性を考慮した機器の運転計画・運用手法の検討

- 太陽熱集熱器併用型ヒートポンプ給湯機の運用アルゴリズムの検討

太陽熱の集熱量は、日射量によって日々変動するが、ヒートポンプ給湯機と併用する場合には、ヒートポンプ給湯機を先に運転しておく場合が多く、日射量の予測、つまり、太陽熱をその日にどのくらい取得可能かを正確に把握することはシステム全体の効率に大きく影響を及ぼす可能性がある。一方で、予測が外れた場合であっても、湯切れ等、利用者の利便性を損なわないような運用アルゴリズムも必要不可欠である。

そこで将来、太陽熱取得可能量の予測情報が入手できると想定し、予測の不確実性に対応したヒートポンプ給湯機の運転計画および運用アルゴリズムを複数作成し、湯切れが発生しない計画・運用手法の比較・評価を行った。

この検討については、現在、おおむね計算が完了し、比較・評価を行っている段階である。

サブテーマ(2):住宅エネルギー管理システムを活かす制度・仕組みに関する研究

(2-1) 需要家に対する電気料金設定のための系統側の発電限界燃料費算出モデルの作成

- 関西電力管内を対象とした電気料金モデルの作成

電力システム側の負荷に応じた電気料金を設定するため、まず関西電力管内を対象に、2030 年を想定したあるシナリオのもとで、稼働中の発電機のデータを作成した。現在既に運転している

2030 年にも残っていると考えられる発電所に加え、シナリオに基づいて石炭火力、LNG 火力の発電所の増設を想定している。作成した各電源の構成を下表に示す。ただし、関西電力管内以外の地域の発電所で広域運用を想定しているものについては、一部容量を関西電力の発電機として加えてある。

表 4 想定した 2030 年の関西電力の電源構成

	設備容量
原子力	2,594 MW
石炭火力	6,651 MW
LNG 火力	14,319 MW
石油火力	1,967 MW
バイオ・地熱等	2,710 MW
水力	3,507 MW
揚水	4,945 MW

「アジア/世界エネルギーアウトルック 2013」の各種燃料の 2030 年の燃料単価(2012 年実質価格)を用いて、石炭火力、LNG 火力、および石油火力の各発電所の発電単価 [yen/kWh]を算出し、それぞれの発電機の設備容量を元に限界燃料費を算出した。これを下図に示す。この火力分のシステム負荷(TPO)に対する限界燃料費(MFC)を直線で近似して次式を得た。

$$\text{MFC}[\text{¥/kWh}] = 0.5118 * \text{TPO}[\text{GW}] + 3.0885$$

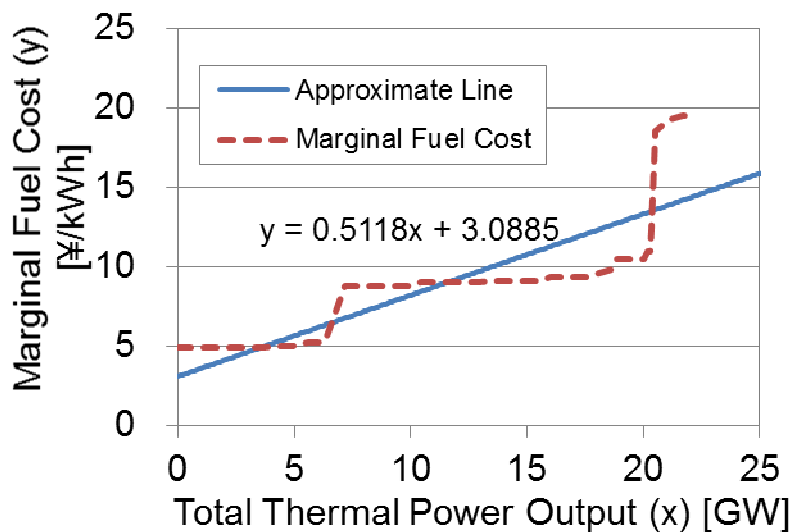


図 27 作成した限界燃料費関数および近似直線（関西電力管内，2030 年想定）

2010 年度の関西電力管内の電力需要、PV 発電量、風力発電量のデータおよび、2030 年の PV 導入量の想定、風力発電導入量の想定を用いて、2030 年の正味負荷データを作成した。この需要に対して、原子力発電、バイオ地熱等の発電について、各月の設備利用率を想定して常時発電することとして発電量の割り当てを行った。次に、流込式水力発電については、関西電力の 2010 年度の月別発電実績データを基に、各月ごとに一定出力で運転するものと仮定して割り当てを行った。

残りの需要に対して、先ほどの限界燃料費近似直線を用いた 1 ヶ月単位の最適化計算により、貯水池式水力発電、揚水発電の運転を決定し、発電量の割り当てを行った。

以上より、火力発電に割り当てられた需要量が求まるため、限界燃料費近似直線を基に、各時刻の限界燃料費を求め、これを電気料金案を考える基礎データとして用いることができるようになった。

(2-2) アグリゲータを想定した多様な需要家に対応した HEMS モデルの開発

- 関西電力管内を対象とした HEMS による燃料費低減効果の評価

2030 年度の関西電力管内を想定し、省エネ機器の普及、世帯構成の変化、世帯数の変化、断熱性能の向上などを考慮した、5000 軒の住宅における 5 分毎の電力消費量、給湯需要量のデータを CREST 下田チーム(大阪大学)より入手した。この需要データは、2010 年度の気象データを用いて作成されている。

これまで開発してきた家庭内機器最適運転計画モデルを適用してみることによって、多様な需要家に対応できるモデルへと改良を行った。

関西電力管内全域における HEMS による需要シフトのポテンシャルを推計するため、この 5000 軒のデータと、2010 年度の PV 発電量データとを合わせて、5000 軒の住宅需要データに、開発した家庭内機器最適運転計画モデルを適用し、5000 軒全体での需要シフトの大きさを計算した。

電気料金は、現行の関西電力の電気料金「はぴ e タイム」と、(2-1)で作成したシステム負荷に応じて変動する電気料金を用いた。

この研究については、一部の計算が終わっている段階であり、3 月まで研究を継続する。

§5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 7件, 国際(欧文)誌 1件)

1. R. Hashimoto, H. Yano, K. Kudo, T. Ikegami, K. Kataoka, and K. Ogimoto, “Novel Planning and Control Method of Heat Pump Systems Based on Estimation of the Instantaneous Coefficient of Performance for Demand Response”, CIGRE, AORC Technical Meeting 2014, 1119, 2014.
2. Mustapha AACHIQ・Joao Gari Silva Fonseca Junior・大関 崇・岩船由美子「電力系統の需給バランスのための住宅用 PV-EV システムの評価」電気学会論文誌B, 135(1), 2015 掲載予定
3. 八木田克英, 岩船由美子, 畑 泰彦 “見える化 HEMS の閲覧行動とコミュニケーション効果” エネルギー・資源, 35(4), 56, 2014
4. 池上貴志, 片岡和人, 岩船由美子, 荻本和彦, “逆潮流電力制約下における太陽光発電導入住宅での蓄電池の充放電運用手法の評価”, 電気学会論文誌 C, vol.133, No.10, pp.1884-1896, 2013 (DOI: 10.1541/ieejciss.133.1884)
5. 渡邊裕美子・岩船由美子「人口構成の変化を考慮した地域における長期的なエネルギー需要の推計」エネルギー・資源, 34(6), pp.54, 2013
6. 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, 133(5), pp.1086-1093, 2013 (DOI: 10.1541/ieejciss.133.1086)
7. 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, 133(7), pp.587-597, 2013 (DOI: 10.1541/ieejpes.133.587)
8. 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期ピーク需要消滅効果の評価」電気学会論文誌C, 133(10), pp.1864-1872, 2013 (DOI: 10.1541/ieejciss.133.1864)

(2)その他の著作物(総説, 書籍など)

1. 岩船由美子, 「用語解説(スマートハウス)」, 電気学会論文誌 134(4), NL4_6-NL4_6, 2014
2. 岩船由美子, 「スマートハウスができること(第3部|論考,<特集>環境デザイン-スケールとアプローチ)」, 建築雑誌 129(1654), 22-23, 2014
3. 岩船由美子, 「家庭部門の省エネルギーの可能性(<特集>今,日本の省エネを考える)」, 日本エネルギー学会誌, 92(1), 18-25,2013
4. 岩船由美子, 「これからの HEMS」, 電気学会誌 133(12), 809-812, 2013
5. 岩船由美子, 「ショートスピーチ 家庭部門におけるスマートエネルギー考 (特集 パネル討論 持続可能なエネルギー社会を求めて)」, 技術と経済 (551), 12-17, 2013

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 13件, 国際会議 0件)

- 1) 岩船由美子, あきた産学官連携フォーラム 2014「これからのスマートハウスを考える」
- 2) 岩船由美子, 「スマートハウスはどのように見えるのか～エネルギーの視点から」駒場リサーチキャンパス公開, 東京大学 生産技術研究所, 2014年6月6日
- 3) 岩船由美子, 「エネルギーマネジメントシステムの動向」電力技術懇談会講演会, 早稲田大学 西早稲田キャンパス, 2014年5月23日
- 3) 岩船由美子, 「エネルギーマネジメントシステムの最新動向」APET 第15回イブニングセミナー, 東京大学・本郷キャンパス, 2014年5月21日
- 4) 岩船由美子, 「エネルギーマネジメントシステムの動向」第3回 緑の知の拠点事業シンポジウム&成果報告会, ベストウエスタンプレミアホテル長崎(長崎総合科学大学), (2014.3.14)
- 5) 岩船由美子, 「暮らしの中のエネルギー」福島県地球温暖化防止活動推進センター, ビックパレットふくしま, (2014.2.7)
- 6) 岩船由美子, 「これからの HEMS」つくば発イノベーション(第24回講演会), 産総研つくばセンター, (2013.12.16)
- 7) 岩船由美子, 「「見える化」後の HEMS の可能性」KKE Vision 2013, ヒルトン東京(構造計画研究所), (2013.10.17)
- 8) 岩船由美子, 「家庭におけるエネルギーマネジメント」ウィメンズ・エネジー・ネットワーク勉強会, 東京大学・生産技術研究所, (2013.9.26)
- 9) 岩船由美子, 「HEMS・BEMS データ利用の現状と可能性」第17回 CEE シンポジウム, 東京大学・生産技術研究所, (2013.8.2)
- 10) 岩船由美子, 「スマートハウス・スマートシティ」新宿区エコリーダー養成講座, 新宿区立環境学習情報センター, (2013.6.8)
- 11) 岩船由美子, 「家庭の中のエネルギー」駒場リサーチキャンパス公開, 東京大学・生産技術研究所, (2013.6.1)
- 12) 岩船由美子, 「日本における省エネ・節電の可能性について」AGS セミナー, 東京大学・本郷キャンパス, (2013.5.24)
- 13) 岩船由美子, 「日本のエネルギー改革-2030年を目指して-」低炭素社会実現のためのエネルギー工学研究会(SELCAS), 東京大学・生産技術研究所, (2013.2.22)

② 口頭発表 (国内会議 12件, 国際会議 5件)

1. 庄司智昭, 松本眞子, 芳澤信哉, 高橋尚之, 藤本悠, 林泰弘, 池上貴志, 岩船由美子, DR 対応型 HEMS 導入下での LVR による低圧系統電圧制御に関する検討, 電気学会電力エネルギー部門大会, 京田辺市, 平成 26 年 9 月

2. 庄司智昭, 松本眞子, 芳澤信哉, 高橋尚之, 藤本悠, 林泰弘, 池上貴志, 岩船由美子, 需給バランスを考慮した HP 給湯機運用の低圧系統電圧への影響評価, 電気学会電力エネルギー部門大会, 京田辺市, 平成 26 年 9 月
3. Yumiko Iwafune, Yoshie Yagita, Takashi Ikegami, Kazuhiko Ogimoto
"Short-term Forecasting of Residential Building Load for Distributed Energy Management"
IEEE International Energy Conference, Dubrovnik (2014)
4. Yumiko Watanabe, Yumiko Iwafune
"Method for Evaluating the Relationships between Urban Forms and Energy System"
IEEE International Energy Conference, Dubrovnik (2014)
5. 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)
6. 八木田克英, 岩船由美子 「HEMS 普及のための消費者受容性に関する検討」, 第 23 回日本エネルギー学会大会, 福岡, 2014 年 7 月
7. 渡邊裕美子, 岩船由美子 「建物配置を考慮した地区におけるエネルギーシステム導入の長期的評価」, 第 33 回エネルギー・資源学会, 東京, 2014 年 1 月
8. 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, 東京, 2014 年 1 月
9. 八木田克英, 岩船由美子, 畑 泰彦, 「見える化 HEMS 設置後の閲覧行動とアフターフォローの影響」 第 32 回エネルギー・資源学会 研究発表会, 東京, 2014 年 1 月 24 日
10. 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, 東京, 2014 年 1 月 24 日
11. 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, 東京, 2014 年 1 月
12. 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, Nagoya, 2013. 9.14
13. 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, San José, 2013.10.22-26.
14. アシク ムスタファ・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, 新潟, 2013

年 8 月 27 日

15. 渡邊裕美子・岩船由美子「人の移動と滞在に着目した地域におけるエネルギー需要分析」平成 25 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 新潟, 2013 年 8 月 27 日
16. 渡邊裕美子・岩船由美子「パーソントリップ調査を用いた地域の交通・民生エネルギーサービス需要の将来予想」第 32 回エネルギー・資源学会 研究発表会, 東京, 2013 年 6 月 6 日
17. 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, 東京, 2013 年 8 月 5 日

③ ポスター発表 (国内会議 0 件, 国際会議 0 件)

(4)知財出願

なし

(5)受賞・報道等

なし

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

非公開

②社会還元的な展開活動

なし

§ 6 研究期間中の活動

主なワークショップ, シンポジウム, アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H26 3. 25 (金)	再生可能エネルギー 発電導入のための気 象データ活用	東京大学 生産技術研究所 コンベンション ホール	194 人	産・学・官の様々なステークホル ダーの参加により, 今後の再生可 能エネルギーの大量導入を実現 するための, 組織間の連携とイン フラ・データ活用に向けた議論を 行った。

§ 7 最後に

再生可能エネルギーの変動吸収を目的としたデマンドレスポンスにおいて, 家庭部門を利用した事例に関して, これまで電気給湯器などの直接制御の試みがある程度である。本研究で枠組みを示した, 無数の需要を束ね, 料金を介した間接的な自動制御を実施するという方法は, 世界でも実現しておらず, 先進的な取り組みである。このための基礎研究を, 本研究にて進めることができたことは大きな成果であると考え。特に第 2 フェーズの FS にて分野の異なる先生方と今後のエネルギーマネジメントシステムの評価プラットフォームについて議論できたことは非常に有意義であった。