

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「分散協調型エネルギー管理システムのための
エネルギー需要シミュレーションモデルの開発」

研究終了報告書

研究期間 平成25年10月～平成27年3月

研究代表者：下田 吉之
(国立大学法人大阪大学大学院
工学研究科、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

住宅・住宅群を対象とするエネルギー管理では、管理対象住宅及びエネルギーシステム全体の経済性、環境性等の最大化を目的としたエネルギー需給関連機器の運用最適化が構想されている。住宅において電力需給の調整に利用可能な負荷(可制御負荷と呼ぶ)は、ヒートポンプ給湯機、洗濯機、食洗機などの稼働時間を変更できる機器・設備、エアコン、冷蔵庫、照明など提供するサービス量の調整によって電力負荷を変更できる機器・設備、蓄電池、電気自動車のような蓄電設備によるものがある。

エネルギー管理システムはエネルギーキャリアの価格、電力系統の状態(電圧や周波数)のほか、システムが対象とする住宅・住宅群の再生可能エネルギー発電量、エネルギー需要、上記の可制御負荷の大きさを与条件として動作する。従来、エネルギー管理システムの分析・設計を行う場合、エネルギー需要と可制御負荷について特定の条件下で計測されたデータを使用することが多いが、この方法では分散協調型エネルギー管理システムの分析・設計において、検討対象地域の特性を考慮できない、将来の時間断面やデータが利用可能ではない対象に対して分析を実施することができない、サービスの質と管理効果のトレードオフの関係を考慮した検討ができないなどの課題があった。

このような背景から、本研究は分散協調型エネルギー管理システムがサービスを提供する住宅・住宅群を対象として、時系列のエネルギー需要および分散協調型エネルギー管理システムにより調整可能な可制御負荷の大きさ・応答速度を分単位で予測するエネルギー需要モデルを開発し、これらの課題の解決に貢献するものである。本モデルでは、エネルギー需要の決定要因を①住宅居住者の生活行為、②生活行為に伴う住宅機器・設備の操作、③機器・設備の仕様、④機器・設備の所有状況、⑤住宅仕様、⑥気象条件等外界条件の6要因に分類し、各要因の世帯間のばらつき、時系列の変化・影響を可能な限り模擬し、人の行動に伴って稼働する個々の機器・設備のエネルギー消費の積み上げとして計算対象全体のエネルギー需要を定量化する。このような構造により、人間行動、各制御機器・設備の稼働状況、外界条件の影響を考慮した上で、いつ、どの機器がどれだけのエネルギーを消費しているかを定量化することができるだけでなく、可制御負荷の大きさ・応答速度、エネルギー管理の実施に伴うエネルギー効率の変化、サービスの質の変化などを予測することが可能となる。本研究期間においては、本モデルで使用するデータベースの開発、エネルギー需要推計のコアである住宅居住者の生活行為生成モデルの開発、モデルの推計精度検証、他のCREST参画チーム(FS)への分析結果の提供を行った。

本研究開発モデルの優れている点は次の通りである。

1) 居住者の生活行為推計に基づく住宅全エネルギー需要の推計

これまでに多くの住宅エネルギー需要推計モデルが開発されてきた。しかし、居住者の生活行為に伴うエネルギー消費機器・設備の稼働を再現し、かつ、暖冷房、照明、給湯、その他機器など、すべての用途を対象としてエネルギー需要を精度高く推計することができるモデルは存在しない。本モデルは5分タイムステップで全用途のエネルギー需要を推計する機能を有する。

2) コミュニティ・都市・都市圏単位での住宅エネルギー需要推計

コミュニティ・都市・都市圏の単位でエネルギー需要を推計する場合、住宅ストックを複数の類型に分類し、分類別の住宅モデルを作成し、住宅モデルを入力とするシミュレーションにより世帯あたりのエネルギー需要を算出し、類型別の世帯数との積和をとることで対象地域のエネルギー需要を推計する方法が確立されている。しかし、時系列のエネルギー需要を推計する機能を有する、全用途のエネルギー需要を推計する、実存する住宅の多様性を反映するという、エネルギー管理に求められる機能を有するモデルは開発されていない。本研究が開発するモデルはこれら3つの機能を有するモデルである。

3) 可制御負荷の推計機能

前述の通り、開発モデルは分散協調型エネルギー管理が導入の対象となるコミュニティ・都市・都市圏などの空間を対象として可制御負荷の推計機能を持つ。このようなモデルは上記、1)、2)が達成できて初めて可能となる機能である。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 居住者の生活行為推計に基づく住宅全エネルギー需要の推計

これまでに多くの住宅エネルギー需要推計モデルが開発されてきた。しかし、居住者行動に伴うエネルギー消費機器・設備の稼働状況を再現し、かつ、暖冷房、照明、給湯、その他機器など、すべての用途を対象としてエネルギー需要を精度高く推計することができるモデルは存在しない。本モデルは5分タイムステップで全用途のエネルギー需要を推計する機能を有する。また、電力系統大の実測結果との比較により精度の高さが証明された。

2. コミュニティ・都市・都市圏単位での住宅エネルギー需要推計

これまで、時系列のエネルギー需要を推計する機能、全用途のエネルギー需要を推計する機能、住宅エネルギー需要の多様性を反映する機能を備えたうえで、コミュニティ・都市・都市圏単位での住宅エネルギー需要を推計するモデルは開発されてこなかった。本研究は住宅のエネルギー需要決定要因に関するデータベースの構築、データベースに基づく住宅モデルのサンプリング、上記の住宅エネルギー需要モデルによる住宅全用途エネルギー需要の推計を行うことにより、上記の機能を有するコミュニティ・都市・都市圏単位での住宅エネルギー需要推計モデルを確立した。

3. 住宅居住者の生活行為生成モデルの確率

住宅居住者の生活行為を生成するモデルとして確立している手法はマルコフ連鎖による状態遷移モデルのみであった。本研究はマルコフ連鎖に代わる手法として、1)毎日周期的に行う睡眠などのルーチン行為とそれ以外の非ルーチン行為に分離し、2)ルーチン行為の継続時間、開始・終了時刻の確率分布から生起時間を確定し、3)ルーチン行為の間を非ルーチン行為で埋める手順のモデルを提案した。このモデルにより時刻別の行為採用比率、行為の継続時間数が正確に再現されるほか、ルーチン行為については家族内での食事を同時にとること、入浴を順番に行うことなど、家族内での相互作用を考慮できるモデルとなった。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 分散協調型エネルギー管理システム的设计・評価におけるエネルギー需要データ、可制御負荷データの提供

エネルギー管理システム的设计・評価においては、エネルギー需要と可制御負荷について特定の条件下で計測されたデータを使用することが多い。この結果、分析結果の応用可能性には限界があった。これに対して、本研究が開発したエネルギー需要モデルを用いることによって、データが存在しない地域や将来の時間断面を対象として、エネルギー管理システム的设计・評価を行うことが可能になる。

2. 社会問題の単位でのエネルギー需要推計および可制御負荷の推計

住宅のエネルギー需要にかかわる社会問題には、国単位で議論される地球温暖化、都市圏の単位で議論される電力システム周波数調整における住宅可制御負荷の利用、コミュニティの単位で議論される電力配電線系統の電圧制御における住宅用太陽光発電の影響緩和、住宅可制御負荷の利用などがある。一方、これまでこのような社会の問題の単位でエネルギー需要、可制御負荷の情報を得ることは困難であった。本研究はそれを可能とし、社会の問題の解決に貢献するものであると考える。また、再生可能エネルギーの利用が拡大し、現在研究されているエネルギーマネジメントシステムが実用化するのには数年後、10年後といった将来である。現在建物の省エネルギー化が全国規模で進展しており、これら将来のエネルギーマネジメントシステムの効果を評価するためには将来断面の需要が重要になる。本研究では最新の省エネルギー基

準適合住宅が普及した時点での電力ロードカーブの推計を実施した。

3. 社会実証試験や社会科学調査のスケールアップ機能の提供

社会実証試験や社会科学調査等では、分散協調型エネルギー管理に関連する多様な情報が収集される。一方、それらの知見は必ず実証、調査が行われた文脈に依存するものであり、本来把握したい都市圏など社会問題の単位でいかなる意味を持つのかを把握することは困難である。本研究では上記の通り社会問題の単位でエネルギー需要を再現することから、得られた知見をモデル上に反映し、他のグループが開発する電力系統モデル等との統合を行うことにより、社会実証試験や社会科学調査が対象とする技術や施策を社会問題の単位に展開した場合に得られる効果を社会問題の単位で推計することができる。

§ 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

1. 研究の背景

エネルギー管理システムの分析・設計においてはエネルギー需要全体の予測だけでなく、用途分解された需要予測と、その中から可制御負荷を分別して予測すること、可制御負荷の制御によるエネルギーサービスの質の変化の評価を行うことが不可欠である。これまで、エネルギー需要の想定には、実在住宅において計測されたデータのほか、計測データに基づいて開発された時系列モデル(回帰モデルやニューラルネットワークモデルなど)による推計値が用いられている。しかしこれらの方法では前述のように対象地区の変化や機器性能・機器構成の変化など需要側の変化を考慮に入れた評価を行うことや、エネルギー管理の実施に伴うエネルギーサービスの質の変化を定量化することができない。

以上の背景から先行研究では、まず住宅居住者の生活行為(睡眠、外出、食事などの時間の使い方)を確率モデルにより推計し、各生活行為に伴う機器・設備の稼働を決定し、機器・設備の性能を考慮してエネルギー需要を算出するボトムアップ手法を確立している(スウェーデン Widen ら 2010、イギリス Richardson ら 2009、九州大学谷本ら 2012)。また、入力条件を適切に与えることにより、このようなモデルによって精度高くエネルギー需要を推計することが可能であることが示されている(Widen ら 2010)。また、研究代表者は実在住宅の詳細な電力需要計測結果を分析し、図1に挙げた①～④のエネルギー需要決定要因が冷暖房給湯を除くエネルギー需要の世帯間差異を作り出す主要因であることを示した。これらの知見から、本研究チームでは計算対象の住宅に対して地域性や世帯間のばらつきを反映したシミュレーションの入力パラメータを適切に設定することにより、エネルギー需要の特性をモデル上で再現できると考えている。一方、先行研究においてはエネルギー需要算出のためのアルゴリズム開発に力点が置かれており、入力条件の設定方法に関する蓄積はほとんどない。また、これらの先行研究では住宅居住者それぞれの行動が別々にシミュレートされており、食事や入浴等の家族内での共有行動、機器の同時利用がエネルギー需要に及ぼす影響が十分に再現されていない。同様に、エネルギー需要も個々の住宅を単位として独立に推計されるのみであり、例えば地域単位で住宅群におけるエネルギー需給の調整能力の配分など、住宅間における相互作用の存在が想定される問題に対して分析を行うことができない。以上の背景から、本研究では上記のようなマルチエージェントシミュレーションの提案に至った。

2. 研究の目標・ねらい

住宅・住宅群を対象とするエネルギー管理では、管理対象住宅及びエネルギーシステム全体の経済性、環境性等の最大化を目的としたエネルギー需給関連機器の運用最適化が構想されている。住宅において電力需給の調整に利用可能な負荷(可制御負荷と呼ぶ)は、ヒートポンプ給湯機、洗濯機、食洗機などの稼働時間を変更できる機器・設備、エアコン、冷蔵庫、照明など提供するサービス量の調整によって電力負荷を変更できる機器・設備、蓄電池、電気自動車のような蓄電設備によるものがある。

エネルギー管理システムはエネルギーキャリアの価格、電力系統の状態(電圧や周波数)のほか、システムが対象とする住宅・住宅群の再生可能エネルギー発電量、エネルギー需要、上記の可制御負荷の大きさを与条件として動作する。従来、エネルギー管理システムの分析・設計を行う場合、エネルギー需要と可制御負荷について特定の条件下で計測されたデータを使用することが多いが、この方法では分散協調型エネルギー管理システムの分析・設計において次のような課題が残る。

- エネルギー管理システムが気象条件等の異なる地域に適用された場合、将来省エネルギー技術の進展によりエネルギー需給が大きく変化した場合等、現在入手可能なデータのもとで推計されたエネルギー管理システム導入効果が計画通りに発揮されるか不明確である。
- エネルギー管理システムの効果を最大化させるための家電機器構成・容量を求める検討ができない。

- 海外ではデマンドレスポンスとしてエアコンの直接制御などが実施されているが、エアコンのように、エネルギー管理によってエネルギーサービスの質が変化する場合、サービスの質と管理効果のトレードオフの関係を明らかにすることが重要であるが、そのような検討が行えない。

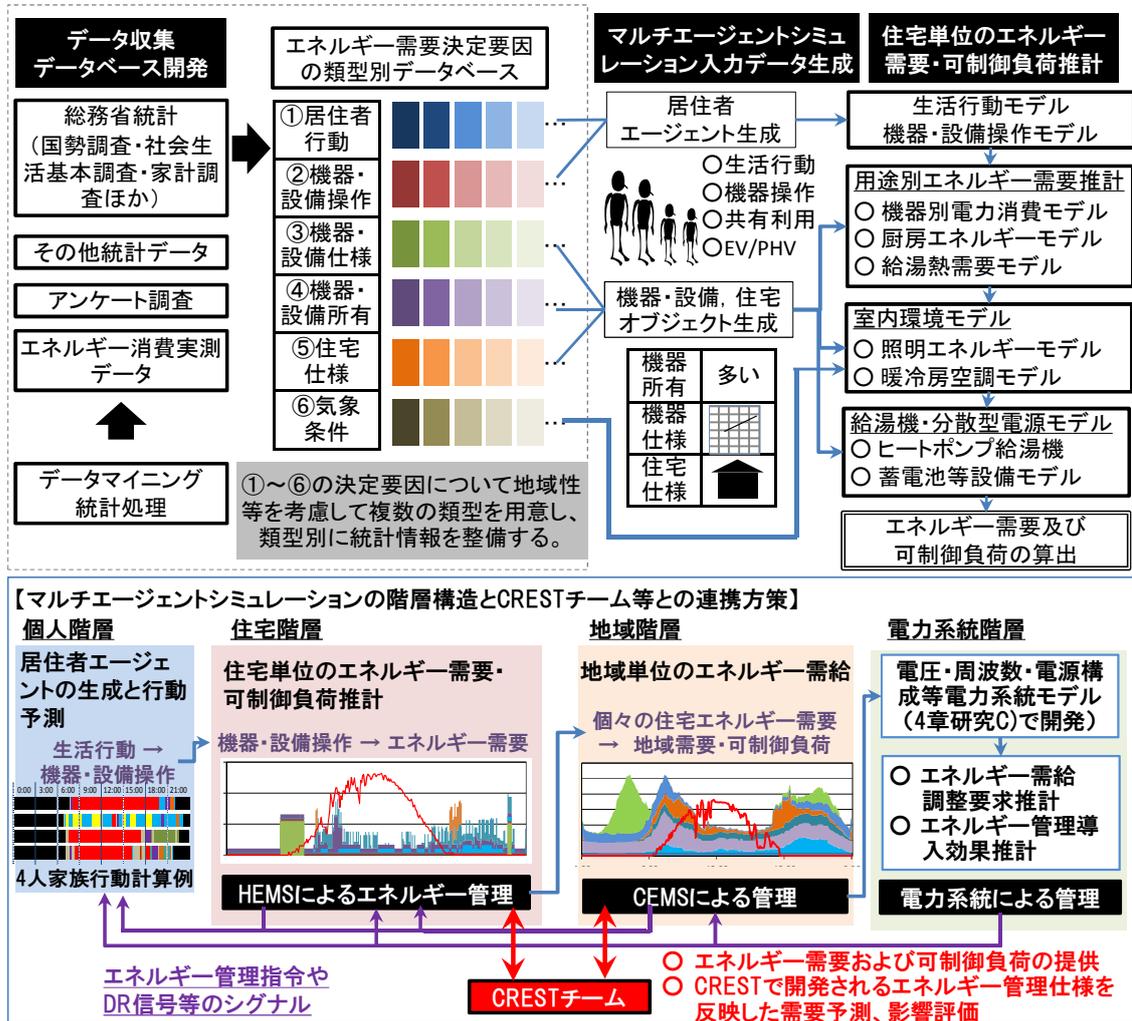


図1 住宅・住宅群を対象とするエネルギー需要モデルの概要

本研究は分散協調型エネルギー管理システムがサービスを提供する住宅・住宅群を対象として、時系列のエネルギー需要および分散協調型エネルギー管理システムにより調整可能な可制御負荷の大きさ・応答速度を分単位で予測するマルチエージェントシミュレーションモデルを開発し、これらの課題の解決に貢献するものである。開発するモデルの概要とCRESTチームとの連携関係を図1に示す。本モデルでは、エネルギー需要の決定要因を図1に示す6要因（①住宅居住者の生活行為、②生活行為に伴う住宅機器・設備の操作、③機器・設備の仕様、④機器・設備の所有状況、⑤住宅仕様、⑥気象条件等外界条件）に分類し、各要因の世帯間のばらつき、時系列の変化・影響を可能な限り模擬し、個々の機器・設備のエネルギー消費の積み上げとして計算対象全体のエネルギー需要を定量化する。このような構造により、人間行動、各制御機器・設備の稼働状況、外界条件の影響を考慮した上で、いつ、どの機器がどれだけのエネルギーを消費しているかを定量化することができるだけでなく、可制御負荷の大きさ・応答速度、エネルギー管理の実施に伴うエネルギー効率の変化、サービスの質の変化などを予測することが可能となる。これらの情報は他のCRESTチームによるエネルギー管理システム構築の基礎情報として利用しうる。また、入

力データの整備により、現在エネルギー需要データが利用可能ではない対象を想定したデマンドレスポンス実験なども実行可能である。加えて、本モデルは個人、住宅、地域、都市圏の階層を構築し、それぞれに対応する個人、HEMS、CEMS、電力系統エージェントを生成し、階層内・階層間での相互作用を模擬する。HEMS、CEMS に対して他の CREST チームが開発するシステムを組み込むことにより、開発システムによってもたらされるエネルギー需給、ピーク電力需要、広域電力系統の安定性等の変化を予測することができる。これを多様な条件下で実施することで、住宅、地域、広域電力系統と多重階層的に展開されるエネルギー管理システムの性能向上に貢献する。

3. 研究の将来展望

本研究では住宅のエネルギー需要のみを対象とするが、2015 年度以降の第 2 期研究期間では業務施設のエネルギー需要モデルを統合する。また、スマートメータやオンラインで得られるデータ等に基づいてモデルをチューニングしたうえで、エネルギー管理システムの制御や最適化を指向する CREST チームとの連携によりエネルギー分散協調型エネルギー管理システムのシミュレーターの一部として展開し、デマンドレスポンス等の制度の設計・運用やエネルギー社会インフラパッケージの設計等の支援に使用可能なものに改良する。さらに、海外の地域へモデルを適用し、インフラパッケージの海外事業展開を支援する。

(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)

本研究では、住宅、地域、電力系統の単位でエネルギー需給、可制御負荷の情報を集約し、それぞれの単位でのエネルギー管理の導入、階層内での可制御負荷の調整配分、階層間の相互作用を評価するためのマルチエージェントシミュレーションモデルを開発することを構想した(図1 下部)。本モデルは、個々の住宅のエネルギー需要、発電量、可制御負荷を属性として持つ HEMS エージェント、同情報の地域積算値を属性として持つ CEMS エージェント、エネルギー需給に対して電圧や周波数、電源構成などの性能や BEMS・CEMS に対する需給調整要求や指令を算出する電力系統エージェントにより構成されるが、CEMS エージェント、電力系統エージェントのモデルは他の CREST チームによって提供されることから、本研究ではエネルギー需要推計モデルの開発に注力するとともに、CREST チームとの連携(FS)により次の課題に取り組むこととした。

(1) 岩船 FS の課題として挙げられた住宅におけるエネルギー需要調整能力の推計

岩船 FS では、電力系統における需要家による分散協調型エネルギー管理の導入効果を推計する計画を策定した。この策定計画における本研究グループの貢献を明らかにするため、ケーススタディとして、需要家側のエネルギー需要調整能力の推計を行った。この結果は 4.3 に説明する。

また、岩船 G の電力消費計測データ(オール電化の戸建住宅 363 件)を用いて本モデルの精度検証を行った。

(2) 鈴木 FS が開発する HEMS モデルへの統合化を前提としたエネルギー予測モデルの開発

鈴木 FS では、HEMS への実装を念頭にエネルギー需要の挙動を再現するエネルギー需要モデルの開発を行っている。鈴木 G をはじめとする先行研究では、過去に計測されたデータに基づいてエネルギー需要そのものの挙動を再現する数理モデルを開発している。これまでに開発されたモデルは、基本的にエネルギー需要の挙動の連続的な変化を想定するものである。一方、住宅のエネルギー需要は居住者の在・不在をはじめとする生活行為の変化に起因するものであり、不連続な挙動を示す場合が多い。そこで鈴木 FS における活動として、エネルギー需要の挙動のみではなく、部屋の単位での居住者の在・不在状況、機器稼働状況を含めて時系列予測し、不連続な変化を再現できるモデルを構想した。具体的には、①住宅エネルギー需要計測データに基づく居住者の状態推定手法の開発、②住宅エネルギー需要と居住者の状態の関係を表すデータベースの構築、③①、②を用いたエネルギー需要推定モデルの開発である。4.3 では各開発項目の結果を報告する。

(3) 林 FS へのエネルギー需要推計データおよび精度検証結果の提供

林 FS では仮想的な配電系統を対象として配電線電圧推計を行い、エネルギー管理に対する要求や対策の導入効果を評価するシステムを構築している。一方、需要家の電力需要は過去に計測されたデータを使用しており、地域の需要家を自由に想定することはできなかった。加えて、地域において需要家から提供される可制御負荷の推計や、可制御負荷を用いた電圧制御の検討などを行うことはできなかった。これに対して、本研究グループが開発しているエネルギー需要モデルの推計結果を提供し、それに基づく電圧推計を林 FS で実施し、今後の連携の可能性を確認した。この結果、当初の構想どおり、本研究グループが推計したエネルギー需要を前提とした配電線電圧推計が可能であることが確認された。今後は、需要家の可制御負荷による電圧制御を検討するなど、より高度な連携を実施することを計画している。

(4) 省エネルギー基準改定に伴う将来の電力ロードカーブの変化の予測

住宅に関する省エネルギー基準が 2013 年に改訂され、太陽光発電や家庭用コージェネレーションなど多様な機器の導入が評価の対象に加えられた。このことは、本研究の目的の一つとしている「将来の時間断面での電力需要予測」に大きな影響を与えられると考えられるので、同基準適合住宅の電力ロードカーブ変化予測を実施した。

§ 3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 「下田」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
下田 吉之	大阪大学大学院工学研究科	教授	H25.10～
山口 容平	同上	助教	H25.10～
谷口 綾子	同上	特任研究員(D2)	H26.4～
宇川 晃太郎	同上	M2	H25.10～
東野 正和	同上	M2	H25.10～
井上 卓也	同上	M1	H26.4～
板垣 優矢	同上	M1	H26.4～

研究項目

- ・ 分散協調型エネルギー管理システムのためのエネルギー需要シミュレーションモデルの開発

(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

- ・ IEA (International Energy Agency)はエネルギーに関する数多くの分野での研究開発をコーディネートしており、EBC (Energy in Buildings and Communities) プログラムは、IEA 加盟 26 カ国で実施される研究ネットワークを構築しており、健康で環境負荷が小さく、サステナブルな建物やコミュニティを形成するための省エネルギー技術・プロセスの統合に関する研究や開発を行っている。この中の委員会の一つである Annex63「Implementation of Energy Strategies in Communities」では都市・コミュニティにおけるエネルギー関連戦略の実行のための手法が開発・共有される。本 Annex には下田が参画し、日本チームの代表を務める。また、Annex66「Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings」には委員会代表者より推薦され、山口が参画している。本委員会では建築物、住宅における居住者行動の実態把握手法、モデル化手法が開発・共有される。

§ 4 研究実施内容及び成果

4. 1 マルチエージェントシミュレーションのためのデータベース開発

本研究では地域性や世帯間のばらつきをモデル上で再現するため、①居住者生活行為、②機器・設備操作、③機器・設備仕様、④機器・設備所有、⑤住宅仕様、⑥気象条件のエネルギー需要決定要因に関するデータベースの開発を行い、実社会における①～⑥のばらつきをモデル上で再現する。先行研究で開発されてきたエネルギー需要モデルでは、これらのエネルギー需要決定要因のうち①～④については、地域や世帯間でそのばらつきが考慮されていない。この結果、時系列のエネルギー需要の重ね合わせによる負荷平準化効果が過小評価される危険性がある。本研究では、①～④に関するデータを収集し、エネルギー需要予測に使用可能なデータベースを整備した。エネルギー需要決定要因⑤、⑥についてはすでにデータベースを整備済みであることから、以上により要因①～⑥のデータベース整備が完了する。以下では次の5点について成果を報告する。

- ・ 家族構成、住宅形式、住宅断熱性能、暖冷房器具採用率に関するデータベース開発
- ・ 総務省統計局が実施した社会生活基本調査の個票分析に基づく生活時間データベースの構築
- ・ 住宅エネルギー消費データに基づくデータマイニング手法の開発
- ・ 機器・設備カタログデータの収集
- ・ ①～④に関するアンケート調査

(1) エネルギー需要決定要因⑤、⑥：家族構成、住宅形式、住宅断熱性能、暖冷房器具採用率に関するデータベース開発

本研究では、総務省統計局による国勢調査¹⁾に基づいて、家族構成 19 種類、住宅形式(集合住宅・戸建住宅の別)2 種類、住宅延床面積 6 区分、断熱性能 4 区分により 912 類型を開発済みである。ある対象のエネルギー需要を推計する場合、国勢調査に基づいて各類型の世帯数を収集し、その構成を縮約するように、シミュレーションを実施する世帯の類型を決定する。例えば後に示す関西電力管内のエネルギー需要推計では、関西電力管内の住宅を 5000 世帯に縮約した。表 1 には大阪府の世帯数の分布を示すが、シミュレーション対象世帯は、この分布の比率を保持するように、サンプリングを行った。

表 1 大阪府の総世帯の分類結果

世帯人数	家族構成	集合住宅						戸建住宅						
		～20㎡	20～40㎡	40～60㎡	60～80㎡	80～100㎡	100㎡～	～40㎡	40～60㎡	60～80㎡	80～100㎡	100～120㎡	120㎡～	
1人	単独男	84433	187929	107521	86249	14285	2394	18422	15965	13894	11450	6726	11758	
	単独女	56296	125303	71690	57507	9525	1596	12283	10645	9264	7634	4485	7840	
	単独高齢男	15523	34551	19768	15857	2626	440	11731	10166	8848	7291	4283	7487	
	単独高齢女	25244	56188	32147	25787	4271	716	35304	30595	26626	21942	12890	22533	
2人	夫婦	共に就業	3152	18291	35740	39855	9336	2117	3986	10136	12679	15076	11191	20702
		夫のみ就業	3026	17559	34311	38260	8963	2032	3827	9730	12172	14473	10743	19874
	高齢夫婦	3880	22518	43999	49065	11494	2606	15482	39363	49241	58549	43461	80399	
	女親と子	就業	2079	12064	23573	26287	6158	1396	3374	8578	10731	12760	9471	17521
非就業		1886	10946	21388	23851	5587	1267	3022	7685	9613	11430	8485	15696	
3人	夫婦と子	共に就業	1776	12174	29871	42713	11326	2592	4979	15336	25020	33329	25847	42832
		夫のみ就業	2236	15326	37604	53771	14259	3263	6268	19306	31498	41958	32539	53920
	女親と子	就業	500	3424	8402	12014	3186	729	829	2554	4167	5551	4305	7134
		非就業	456	3125	7668	10964	2907	665	749	2307	3763	5013	3888	6442
4人	夫婦と子	共に就業	1092	5978	23752	46556	15008	3580	1867	9765	22238	36437	30245	42517
		夫のみ就業	1349	7387	29353	57534	18547	4425	2325	12160	27692	45373	37662	52945
5人	夫婦と子	共に就業	251	1379	6100	11279	4281	1266	416	2449	5269	10490	9721	17531
		夫のみ就業	313	1721	7611	14072	5342	1579	522	3070	6606	13150	12187	21978
6人	夫婦と子と両親	共に就業	56	320	1439	2267	951	407	118	701	1278	2916	3162	9702
		夫のみ就業	70	399	1795	2828	1186	507	148	881	1605	3663	3971	12186

各類型では、エネルギー需要の推計に必要な条件が設定される。家族構成では居住者の年齢、性別、仕事の有無など住宅居住者の属性が決定される。住宅に関する類型では、具体的な住宅の大きさ、間取り、壁体等の仕様が規定される。居住者の属性は生活行為を決定するための生活時間データの選択や入浴等の給湯設備使用頻度などの設定に用いる。その他の類型はすべての組み合わせについて、図 2 に例を示す具体的な間取り、住宅規模、壁体等の構造を持つ住宅の仕様を用意し、シミュレーションの計算条件として与えている。

なお、将来の時間断面を考慮したエネルギー需要推計を行なう場合、家族構成については人口問題研究所が公開している推計値を用いる。また、住宅の断熱性能については、4つの区分（無断熱、旧基準、新基準、次世代基準）を考慮し、省エネルギー基準の基準値に基づいて住宅の各部位（屋根、外壁、内壁、床など）の熱性能値をそれぞれ設定している。また、各熱性能区分適合住宅が対象地域内の住宅ストック全体に占める割合を推計するストックモデル²⁾を開発している。本データは新築住宅戸数、新築住宅に占める各熱性能区分の割合、住宅寿命関数などを用いて住宅ストックの更新をモデル化したものである。例として、大阪における住宅ストックに占める各熱性能区分の割合の推計結果を図3に示す。

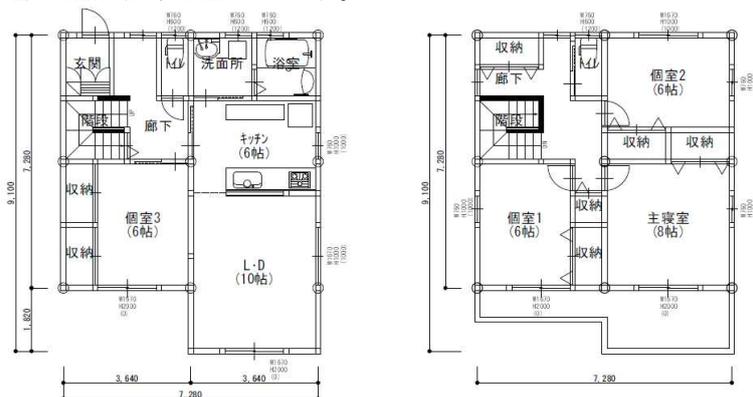


図2 モデル住宅間取り例（戸建住宅100～120㎡：左1階、右2階）

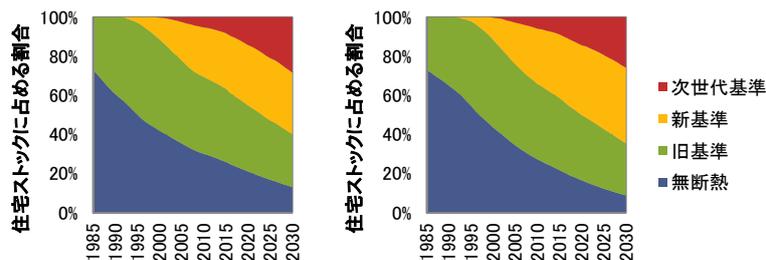


図3 住宅ストックに占める各熱性能区分の割合（大阪府、左：集合住宅、右：戸建住宅）

（2）エネルギー需要決定要因①：社会生活基本調査の個票分析に基づく生活時間データベースの構築

本研究は、平成18年度総務省社会生活基本調査³⁾で収集された20万人分の生活時間記録個票に基づいて、住宅内における時間の使い方（生活時間）に関するデータベースを開発した。ここでは、生活時間記録個票の回答者の性別、年齢などの属性や生活時間の特徴に基づいて類型を作成し、類型別に表2に示す情報を整備した。なお、本研究では、毎日ある程度定期的に行われている行為として睡眠、仕事・学業、通勤・通学、食事、入浴の各行為をルーチン行為と呼び、それぞれの開始時刻、終了時刻、継続時間数を抽出した。それ以外の行為は非ルーチン行為と呼ぶ。本データベースで扱う行為を表3に示す。本行為種別は社会生活基本調査の調査票Bに基づくものである。データの作成には表第2列に示す社会生活基本調査の調査個票データを用いた。なお、非ルーチン行為の継続時間数、行為別遷移確率は時間帯によって異なることが観測されたことから、勤め人男性、女性、生徒・学生の平日（勤務日）については一日を起床時刻から通勤・通学のために家を出るまでの時刻と、仕事・学校から帰宅後から就寝までの二つの時間帯区分に、それ以外の属性と、勤め人男性、女性、生徒・学生の休日（非勤務日）については、起床時刻と朝食の間、朝食と昼食の間、昼食と夕食の間、夕食から就寝までの間の4つの時間帯区分を作成し、時間帯別に頻度分布を作成した。つまり、例えば勤め人、生徒・学生の場合、出勤前の時間帯、仕事・学校からの帰宅後の時間帯の二つで異なる時間の使い方の特性が与えられることとなる。

これによって、表4に示す計30種の居住者類型を作成し、生活行為推計に用いる入力データを整備した。この内、勤め人男性、女性については生活時間の特徴によってクラスター分析による

類型化を行い⁴⁾、その他の属性については、表に示すように、性別、年齢区分、子供の有無、子供の年齢、単身世帯・家族世帯の別により類型を決定した。

表2 生活時間データより整備した生活時間統計データ

整備した統計情報	使用した調査票
ルーチン行為の継続時間数頻度分布	調査票 A
ルーチン行為の開始時刻、終了時刻の頻度分布	調査票 A
行為実施者比率：時刻別の各行為を行っていた回答者の比率	調査票 B
非ルーチン行為の継続時間数頻度分布	調査票 B
行為別遷移確率：行為をそれぞれ状態と考え、行為終了後に遷移する行為の頻度分布を作成した。	調査票 B

表3 本研究で考慮した行為種別

ルーチン行為	非ルーチン行為			
睡眠	身の回りの用事	食事の管理	家族とのコミュニケーション	趣味
食事	外出	乗り物の手入れ	電話	ゲーム
通勤	テレビ	世帯管理	電子メール	その他の趣味・娯楽
主な仕事	学習・研究(学業以外)	介護・看護	手紙	読書
学校	宿題	家族の身の回りの世話	教養・娯楽	新聞・雑誌
入浴	菓子づくり	その他の家事	創作	ビデオ・DVD
	園芸	乳幼児の介護・看護	菓子作り	ラジオ
	住まいの手入れ・整理	乳幼児の身体の手話と監督	園芸	CD・カセット
	衣類等の整理	乳幼児と遊ぶ	ペット	休養・くつろぎ
	衣類等の作成	うたたね	裁縫	その他
	建築・修繕	交際・付き合い		

表4 本研究で考慮した居住者類型

大分類	説明および小分類
勤め人男性 (3 類型)	自営業以外の仕事を持つ 20 歳から 64 歳までの男性。クラスター分析により次の類型を作成：①午前、午後に勤務時間を持つ男性、②長時間の勤務時間を持つ男性、③昼から深夜にかけて勤務する男性
勤め人女性 (5 類型)	自営業以外の仕事を持つ 20 歳から 64 歳までの女性。クラスター分析により男性と同じ 3 類型のほか、次の類型を作成：④午前中のみパートタイム勤務、⑤午後のみパートタイム勤務
家庭主婦 (5 類型)	20 歳から 65 歳の家庭主婦。年齢、同居している子供の有無・年齢により次の 5 類型を作成：①45 歳未満で子供のいない主婦、②45 歳以上で子供のいない主婦、③小学生未満の子供を持つ主婦、④小学生あるいは中学生の末子を持つ主婦、⑤高校生以上の末子を持つ主婦
シングルマザー	夫を持たない母。1 類型。
農林水産業従事者	農林水産業従事者：性別、65 歳未満、65 歳以上の別で 4 類型
男性生徒・学生	小学生、中学生、高校生、大学生・専門学校生・大学院生の 4 類型
女性生徒・学生	同上 (4 類型)
高齢男性	65 歳以上の男性。一人暮らしと家族暮らしの 2 類型。
高齢女性	65 歳以上の女性。一人暮らしと家族暮らしの 2 類型。

(3) エネルギー需要決定要因②：住宅エネルギー計測データに基づくデータマイニング手法の開発

住宅で計測されたエネルギー消費の計測データに基づいて、エネルギー需要決定要因のうち②機器操作に関する以下のデータを抽出する手法を開発した。本手法は分電盤回路別に計測される 1 分間隔の電力消費量と、10 分間隔で計測されるガス、水道消費量のパルス計測値を前提とする。

- ・ エアコンのつけっぱなし利用
- ・ エアコンタイマーの利用状況
- ・ 給湯用途別給湯水量

- ・ 家電製品の使用頻度

1) エアコンのつけっぱなし利用

一日あたりの平均エアコン稼働時間が 20 時間を超えている世帯をエアコンつけっぱなし世帯とした。冷房の場合対象月を8月とし、対象室は居間食堂と個室である。エアコンの電力消費が待機電力である3.1W以上の場合、そのタイムステップで稼働しているとした。暖房は対象月を2月とし、他は冷房と同様である。対象回路は居間食堂エアコン、その他1台のエアコンとした。テストデータを分析したところ、8月ではエアコン(冷房)つけっぱなし世帯は4%、個室で0.5%であった。2月ではエアコン(暖房)つけっぱなし世帯は居間食堂で0%、個室で2%であった。

2) エアコンタイマーの利用状況

21:00～翌 7:00 において、住宅居住者が睡眠の状態ではエアコンを使用している時間帯をタイマー利用と定義し、これを計測データから抽出する方法を開発した。分電盤回路では、居間食堂エアコン、居間食堂照明、居間食堂照明コンセント、個室エアコン、個室照明コンセントの計測結果が利用可能であるものとする。まず、居住者による室の使用を判断するため、電力消費がある閾値以上の数値である場合、エアコン、照明が稼働しているとした。表5にエアコンタイマーの判定条件を示す。基本的に照明が非稼働でエアコンが稼働している場合、「タイマー稼働」状態と判定した。1日のタイマー稼働時間は、21:00～翌7:00の間の表中の「タイマー稼働」の合計時間である。ただし、外が明るく照明は消灯している中で居住者が起床しエアコンが稼働している状況も考えられる。この場合タイマーは非稼働と判定すべきであるため、対象室に起床している居住者の在室の有無でタイマーの稼働状態の決定を行うものとした。起床している居住者の在室の有無は、対象室のコンセント回路の電力から、常時生じている電力消費を除いて作成した変動分電力消費を抽出し、変動分電力消費が計測された場合、「起床している居住者有り」と判断するものとした。

表5 エアコンタイマーの状態の判定条件

エアコン	照明(コンセント)	状態
稼働	稼働	タイマー非稼働
稼働	非稼働	タイマー稼働
非稼働	稼働 or 非稼働	タイマー非稼働

3) 給湯用途別給湯水量

本研究グループが開発している給湯熱需要予測モデルでは、一日の居住者の給湯行為を予測し、給湯行為に伴う給湯水量、給湯温度を外部パラメータとして入力し、給湯行為に伴う給湯熱需要を算出している。しかし、これらの入力パラメータは既往研究やアンケートに基づいて設定したものであり、必ずしも実態を反映したものではない。そこで、水道、都市ガスの消費量、洗面・脱衣所、キッチンの電力消費量を用いて上記のパラメータを抽出する方法を開発した。まず、電力消費量を用いることで、給湯需要に関係のある部屋の使用状況を取得する。これに基づいて、都市ガス消費量を給湯・厨房・暖房の各用途に分解し、給湯に関しては5つの給湯行為(風呂・シャワー、湯張り、炊事・片付け、洗顔、追い炊き)に分解する。図4に都市ガス消費用途分解手順を示す。本手法ではまず各時刻の都市ガスと水道が同時消費であるかを判定する。同時消費である場合は給湯用途の可能性が高いため、洗面・脱衣所とキッチンの電力消費データより照明点灯状況を推計し、条件に該当する給湯行為に分解する。都市ガスのみの消費である場合は厨房用途か暖房用途の可能性が高いため、キッチンの照明点灯状況より厨房用途と暖房用途に分解する。また、20分間都市ガスと水道が同時消費であり、かつ水道の消費量が160 [ℓ]以上である場合は湯張り行為とした。

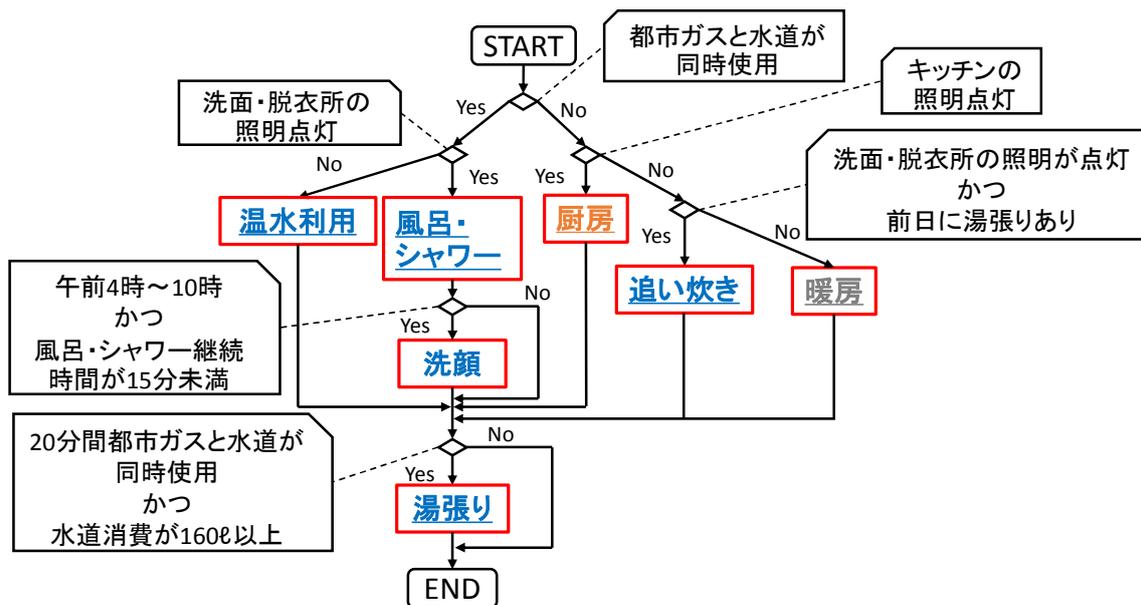


図4 都市ガス消費用途分解手法

4) 家電製品の使用頻度

エネルギー需要モデルでは、生活行為に対して行為時に操作する家電機器・設備が設定されている。その設定に従い推計された居住者の生活行為から機器・設備の稼働を確率的に決定する。しかし食器洗い乾燥機や洗濯機、衣類乾燥機についてはこの限りではない。このような生活行為と稼働が必ずしも対応しない機器・設備の稼働を再現するために、電力消費実測結果より表6に示す指標について実測データから使用実態を把握する方法を開発した。

表6 機器・設備の仕様および稼働を示す指標と対象機器

指標	内容	対象機器
稼働継続時間	機器が継続して稼働する時間	食器洗い乾燥機、洗濯機 衣類乾燥機、冷蔵庫(デフロスト)
稼働時消費電力	稼働時に消費される電力	
機器操作確率	居住者が特定の行為後(食事、洗濯)に対象機器を操作する確率	食器洗い乾燥機、衣類乾燥機

テストデータにより得られた結果を説明する。図5に食器洗い乾燥機と洗濯機、衣類乾燥機の稼働継続時間および稼働時消費電力の世帯間のばらつきを示す。洗濯機については両指標とも世帯間の差異は小さいが、食器洗い乾燥機と衣類乾燥機では大きい。これは両機器が多様な利用方法を持つためと考えられる。食器洗い乾燥機では洗浄機能と乾燥機能の両機能を利用する場合と、どちらか片方の機能のみ利用する場合が考えられる。このような利用方法の違いが稼働継続時間および稼働時消費電力の世帯間のばらつきを生み出したと考えられる。図6に食器洗い乾燥機と衣類乾燥機の機器操作確率を示す。前者については朝食、昼食、夕食別に食後に機器操作確率を算出した。朝食後と昼食後に比べて夕食後に食器洗い乾燥機を使用する確率が高いことがわかる。

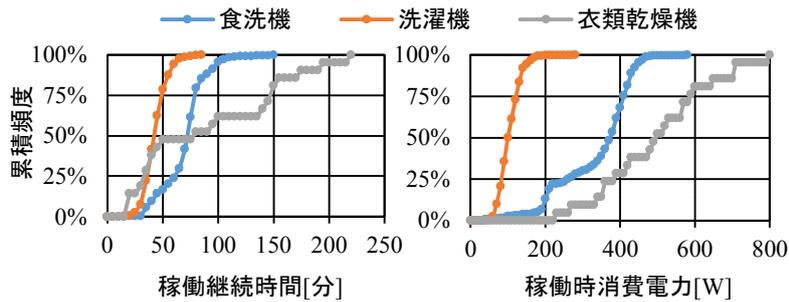


図5 稼働継続時間および稼働時消費電力

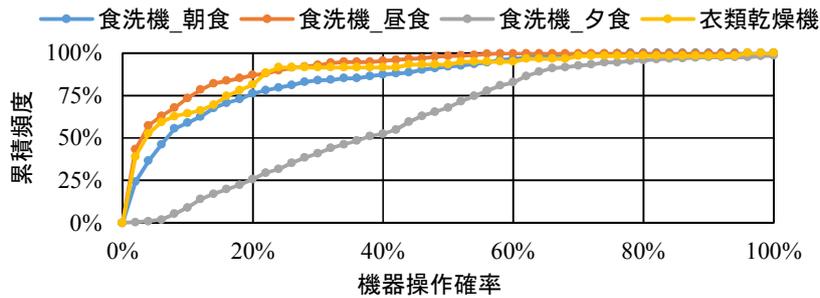


図6 機器操作確率

(4) エネルギー需要決定要因③：カタログデータに基づく機器・設備の仕様の収集

省エネルギーセンターがまとめている省エネ性能カタログ⁷⁾から、住宅機器・設備の仕様に関する情報を収集した。省エネ性能カタログからは、機器・設備の仕様情報とエネルギー性能情報を得ることができる。ここでの仕様情報とは住宅機器・設備の製造年、容量や大きさなどを指し、エネルギー性能情報とは機器・設備の稼働時・待機時消費電力、エアコンのCOP、冷蔵庫の年間標準電力消費量などを指す。これらの情報の収集・整理によって、住宅機器・設備の製造年、大きさの頻度分布から住宅機器・設備のエネルギー性能の頻度分布を得る手法を開発した。

例として、テレビの製造年及び大きさ別の消費電力を図7に、冷蔵庫の製造年及び大きさ別の年間電力消費量を図8に示す。テレビ、冷蔵庫は製造年が古いほど、大きさは大きいほど消費電力が大きいことがわかった。パソコンも同様に製造年が古いほど消費電力が大きい。

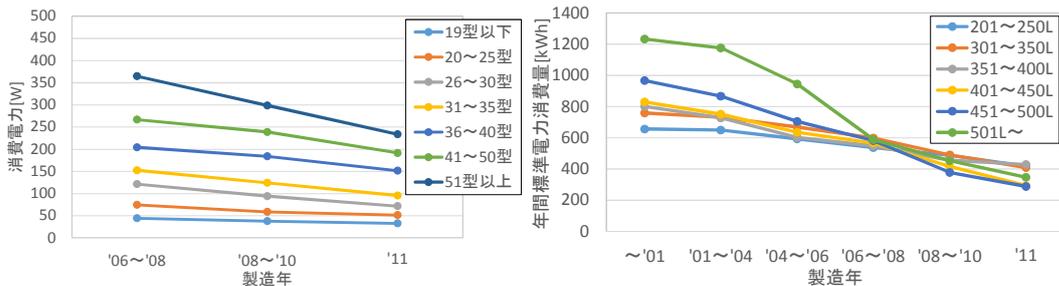


図7 テレビの製造年及び大きさ別の消費電力 図8 冷蔵庫の製造年及び大きさ別の年間標準電力消費量

(5) エネルギー需要決定要因④：アンケート調査による機器・設備の所有状況データベース構築

すでに収集済みのアンケート調査⁸⁾結果を集計し、各種住宅機器・設備の所有状況とその仕様をデータベース化している。

(6) エネルギー需要決定要因①から④の調査：アンケート調査の設計

エネルギー消費決定要因の①から④の項目の実態を把握するため、アンケート調査を行うことを計画した。以下では、アンケート調査の設計を行うために行った住宅エネルギー需要決定要因に

関する歴史的変遷のレビューと、アンケート調査計画の概要について説明する。アンケート結果は研究機関終了時までには回収・整理を行う予定である。

1) 住宅エネルギー需要決定要因に関する歴史的変遷のレビュー

エネルギー白書によると、住宅1世帯の平均エネルギー消費量1965年において19.2GJ/年であったものが、2000年までに46.5GJ/年まで増加している。この変化はエネルギー需要決定要因①～⑤に加えて、家族構成等の変化によってもたらされていると考えられる。本研究では、これらの要因に関する文献のレビューを行い、明治時代から現在までの歴史的変遷を調査し、エネルギー需要決定要因がどのように決定されているかを考察した。本成果はプロシーディングス論文としてまとめられている⁹⁾。本調査の特徴は、技術的な変化だけではなく、家族、生活、時間の使い方、住宅、住宅設備、家電製品を包括的に捉え、それらに影響を及ぼす産業化などの因子を含めてSocio-technical system¹⁰⁾として解釈し、その変遷を明らかにするものである。以下に成果の概要を示す。

- 1920年、わが国全世帯の54%は核家族であったが、1955年には60%となり、その後も劇的に核家族世帯は増加した。この主な要因は、都市部において産業が集積し、農村部から家を離れて従事した人たちが家族を形成したことである。高度成長期には「夫は外で働き、妻は家庭で家事育児」という性別役割分業が固定化され、企業も妻子を養うに十分な家族賃金を支給した。また、学歴が重視されるようになり、進学率が増加した。
- 高度成長期初期では専業主婦の比率が高かったが、高度成長終了時には女性の就業率が大きく増加した。この理由に、家電製品の普及やサービス業によるアウトソーシング化の進展により家事労働が軽減されたこと、進学率の増加に伴う教育支出の増加や医療技術の成長とあまって子供の出生数が減少し、育児期から早く離脱することが可能となったことなどがあげられる。この結果、女性の経済的自立の可能性が高まり、自らライフコースを選択できる状況が生まれやすくなり、男性、女性双方にとって結婚や出産などに関する拘束的な年齢規範や性別規範が希薄化し、晩婚化や少子化が進み、家族の規模は縮小する傾向がある。
- 一方、社会生活基本調査による生活時間の変遷を見ると、勤め人男性、家庭婦人、フルタイムの勤め人女性、パートタイムの女性それぞれの家事時間は1970年以降ほとんど変化しておらず、家庭における役割が時間の使い方を規定していると考えられる。
- 住宅については、第二次世界大戦後から1970年代初期まで住宅ストックの量的不足が社会問題とされ、空間効率の高い住宅が建設された。その後、規模や機能面など、質的な変換が志向されるとともに、都市部のスプロール化が進んだ。1990年にバブル経済が崩壊すると、都市部の土地価格が減少し、都市部に高層マンションが建設されるなど、多様な選択肢が提供されている状況にある。また、省エネルギー法の確立により住宅の断熱性能は向上する傾向にある。
- 住宅におけるエネルギー消費機器・設備については、次のように4つの区分に分類することができる。まず、大部分の世帯で標準的に使用されている冷蔵庫、洗濯機などの家事関連の家電製品、テレビなどの家族で共有利用する機器である。これらの機器は高度成長に伴い、普及し、高度化された。次の区分は個人利用の機器である。この区分については保有機器の増加、多様化が進んでいる。3つ目の区分は世帯の嗜好によって購入された機器(ウォーターサーバ、加湿器、除湿機など)である。この区分の機器も年々多様化が進んでいる。最後の区分は住宅に備え付けられている機器・設備である。住宅の質的な向上に伴い、利便性、快適性が追及され、給湯設備、トイレ、各種厨房器具、床暖房など、機器・設備の種別が増加し、機能が向上した。加えて、省エネルギー法などの確立によりエネルギー効率の向上も進められている。

以上の分析により、住宅のエネルギー需要決定要因が歴史的にいかに変化してきたのか、また、それぞれの因子がいかに関係を持って形成されてきたのかを理解することができた。

2) アンケートの設計

以上の調査結果により、アンケートでは家族構成、住宅形式、居住者の属性、ライフステージ、生活時間、生活行為に伴う機器・設備の利用、使用する部屋、入浴・食事の習慣等家族での団欒・

共有についての調査を行うこととした。アンケートの分析計画を表 7 に示す。

表 7 アンケートの分析項目

項目	内容
生活時間データの整備	社会生活基本調査と同じ生活行為種別を用いて生活時間データを収集する。生活時間の特徴に応じて生活時間データを複数のグループに分類し、グループ別にデータベースを作成する。都市型、地方型などの違いについても検討の対象とする。
生活行為に伴う機器・設備利用調査	社会生活基本調査では十分に把握することができない行為については詳細調査票を追加し、行為の実施状況(時間配分および実施頻度)を把握する。例えば、調理・食事の管理の詳細区分として、買物、下準備、コンロの使用、食事、皿洗い、皿洗い以外の片付け、食器洗浄機使用、炊飯器セット、炊飯器炊き上げなどエネルギー使用にかかわる情報を把握する。
部屋の使い方	部屋の使い方は個人の嗜好性や家族の規範などで決まると考えられる。その実態を把握するため、どのような行為を居間などの共有室、個室を利用しているかを調査する。居間などの共有室の利用時間、利用行為、入浴の順番、湯はり、食事のルールなどを把握する。
機器・設備の所有状況	機器所有は世帯の特徴を反映するものであると考えられるが、前述の 4 つの区分に基づいて情報を収集する。

4. 2 住宅単位のエネルギー需要モデルの開発

建築分野ではエネルギー需要が決定される要素とその時系列の変化・影響をモデル上で可能な限り模擬することで時系列のエネルギー需要を推計するモデルが開発されている。これまでに開発されてきたエネルギー需要モデルでは⁹⁾⁻¹⁷⁾、まず住宅居住者の生活行為(睡眠、外出、食事などの時間の使い方)を確率モデルにより推計し、各生活行為に伴う機器・設備の稼働を決定し、機器・設備の性能等を考慮してエネルギー需要を算出する。つまり、エネルギー需要が決定される構造をモデル上で再現し、個々の機器・設備のエネルギー消費の積み上げとして計算対象全体のエネルギー需要が定量化される(ボトムアップ型)。この点はエネルギー需要の挙動そのものをモデル化する時系列モデルと大きく異なる点であり、このような構造により、人間行動、機器・設備の操作特性、外界条件等を含めて、多様な条件が変化した状況を想定してエネルギー需要、可制御負荷の推計が可能である。また、人の行動と住宅機器・設備の稼働の情報、さらに、室内環境の予測等を組み合わせることによって EMS によるエネルギー管理効果とサービスの質の変化の対応関係を明らかにすることができる。さらに、このモデルを上位のエネルギーシステムが対象とする空間スケールに対して適用することで、エネルギーシステムの性能に及ぼす影響を考慮して EMS の分析・設計を行うことが可能となる。

本研究で開発するエネルギー需要モデル(図1上部)では、まず計算対象住宅の居住者に適用される①住宅居住者の生活行為、②生活行為に伴う住宅機器・設備の操作の類型を統計情報に基づいて決定し、居住者エージェントが持つ特性を付与する。また、同様に、③機器・設備の仕様、④機器・設備の所有状況、⑤住宅仕様、⑥気象条件等外界条件の類型を選択し、機器・設備、住宅、外界条件の仕様を決定する。本モデルでは 1 住宅に関する①～⑥の情報をすべて含めて住宅モデルと呼ぶ。コミュニティを対象とする場合、計算対象のコミュニティに立地する個々の住宅に対応する住宅モデルを作成し、それぞれの住宅モデルに対して計算されるエネルギー需要を積算し、コミュニティのエネルギー需要として定量化する。次に、居住者をエージェントとして生活行為及び行為に伴う機器・設備の操作を決定する。ここでは居住者の集合として家族を表現し、照明、空調、給湯設備などにおける居住者間の共有利用を模擬する。また、機器・設備の操作・仕様、住宅仕様・気象条件に関する設定に基づいて用途別エネルギー需要を算出する。照明や空調については住宅室内光・熱環境シミュレーションを行い、給湯エネルギー需要については給水温度の変化や給湯設備の外気温特性を考慮するなど、エネルギー需要構造を詳細に模擬する。以上により①～⑥で与えられる世帯間の差異を反映して、個々の住宅のエネルギー需要の確率的な時系列挙動が推計される。なお、他の CREST チームが開発するエネルギー管理システムと接続可能な

ものとするため、時間解像度を5分とした。また、モデルの精度の確認のため、入手済みのエネルギー需要データを用いて精度検証を行った。

以下では開発モデルの概要とモデルの精度検証を行った結果を報告する。

(1) 生活行為データの生成

住宅単位のエネルギー需要を推計するため、計算対象日における住宅居住者の生活行為を生成するモデルを開発した¹⁸⁾。ここでの生活行為とは、睡眠や食事などの時間の使い方に相当するものであり、本モデルで考慮する生活行為は4.1(2)表3に示した通りである。モデルの入力データは表2に示したものをを用いる。

本モデルでは生活行為を毎日定期的に行う睡眠、食事、仕事のようなルーチン行為とそれ以外の非ルーチン行為に分類しており、上記の24時間の枠への配置はルーチン行為から優先的に行われる。ルーチン行為はその開始時刻、終了時刻、継続時間数の頻度分布に基づいてランダムに生成される。これをまず一日のタイムライン上に配置する。ただし、家族間の相互作用を考慮するため、次のルールを設置するものとした。

- ① 勤め人の女性あるいは主婦が食事を住宅内で行い、かつ、他の居住者が在宅している場合、在宅している居住者は、勤め人の女性あるいは主婦と食事を同時に開始する¹⁹⁾。
- ② 入浴は一人ひとり行うものとする。まず各居住者の入浴開始時刻をランダムに決定し、入浴開始時刻が早い順に優先的に入浴を行う。ただし、入浴開始時刻において別の住宅居住者が入浴している場合は、当該居住者が入浴終了直後に入浴を行うものとする。また、その時刻から入浴継続時間数を足した時刻の間に食事などの別のルーチン行為が割り当てられている場合、そのルーチン行為が終了した直後に入浴を行うものとする。

以上でルーチン行為のみが配置された一日のタイムラインが完成する。次に、非ルーチン行為によりルーチン行為の間の空白を埋める。まず、ルーチン行為終了後、ルーチン行為終了時の行為終了時刻における行為選択確率を用いて、ルーチン行為終了後に実施する行為を決定する。次に、当該行為の継続時間を継続時間数頻度分布によって決定する。まだ空白の時間が存在する場合、次式によって与えられる行為選択確率($SP_{t,n}$)によって次の時刻における行為を決定し、当該行為の継続時間を継続時間数の確率分布によって決定する。

$$APB_{t,n} = \sum_{du}^{VS} PB_{t+du,n} \cdot Dr_{tr,n,du} \quad (1)$$

$$SP_{t,n} = APB_{t,n} / \sum_i^N APB_{t,i} \quad (2)$$

ただし、 nl は空白時間に選択されうる行為を表す。 $PB_{t+du,n}$ は行為 n の時刻別行為実施者比率であり、 $Dr_{tr,n,du}$ は行為 n の継続時間頻度分布を表す。 VS は連続した空白セル数であり、(1)式は $Dr_{tr,n,du}$ の累積頻度分布が90%を越えた時点で計算を終了する設定とした。これにより、短い空白セルにおいて継続時間が長い行為が選択される確率は低くなる。一方、行為継続時間数が短い行為の場合、(1)式の算出結果は行為実施確率とほぼ等しい数字となる。このように、算出された各行為の選択確率 $SP_{t,n}$ を(2)式により算出し、空白セルにおいて実施する行為を決定する。

この操作を一日の最後に行われるルーチン行為開始時刻まで繰り返す。これらの確率分布は平日、休日それぞれの区分で用意されるものであり、曜日の特性を反映した生活行為のデータを生成することができる。

図9に勤め人男(①午前、午後に勤務時間を持つ男性)に対して算出したルーチン行為の開始、終了時刻の頻度分布の推計結果、計算に用いた入力データである生活時間データの頻度分布を示す。図からわかるように生活時間データがモデルにより再現されている。次に、図10に同勤め人男性、主婦(小学生、中学生の子供を持つ主婦)の行為継続時間数の計測結果と生活時間データを比較した結果を示す。図では各プロットがどの行為のものであるか特定していないが、勤め人については時間の区分を午前(出勤前)、午後(出勤後)の2区分、主婦の場合は起床、就寝と朝食・昼食・夕食により分類される時間区分4区分(Time range 1から4)別に、1回の行為実施が継続する時間数を集計したものである。図からわかるように、若干シミュレーション結果の継続時間数が短い傾向が見られる。これは本モデルの計算アルゴリズムに起因するものである。本モデルはルーチン

行為を優先的に配置し、空白セルに非ルーチン行為を配置していく。ただし、選択された非ルーチン行為の継続時間は空白セルよりも長い場合、非ルーチン行為の継続時間は空白セル数に短縮される。そのため、シミュレーション結果は実態値よりも短くなる傾向として表れている。最後に、時刻別の行為実施確率を図 11 に示す。図は複数の行為を図に示す 7 種に分類したものであるが、概ね入力として用いた生活時間データの行為実施者比率が再現されている。

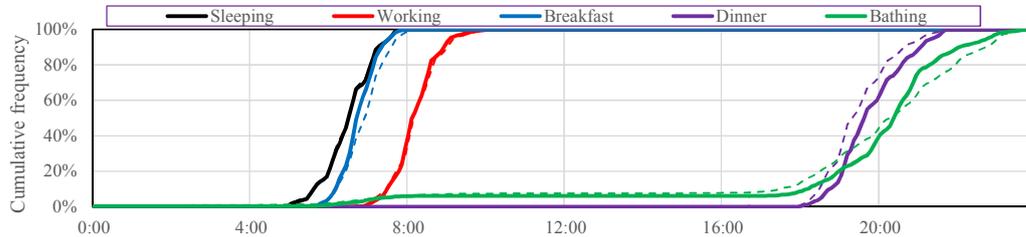


図 9 勤め人男性のルーチン行為開始時刻、終了時刻の頻度分布(実線:シミュレーション、破線:実態)

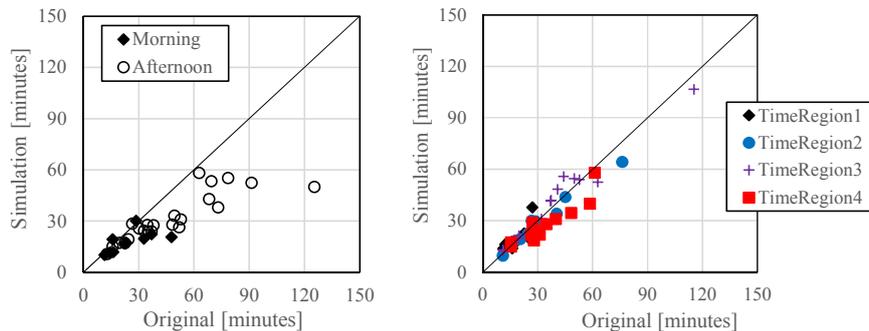


図 10 勤め人男性(左)と家庭主婦(右)の非ルーチン行為継続時間の比較(縦軸:シミュレーション、横軸:実態)

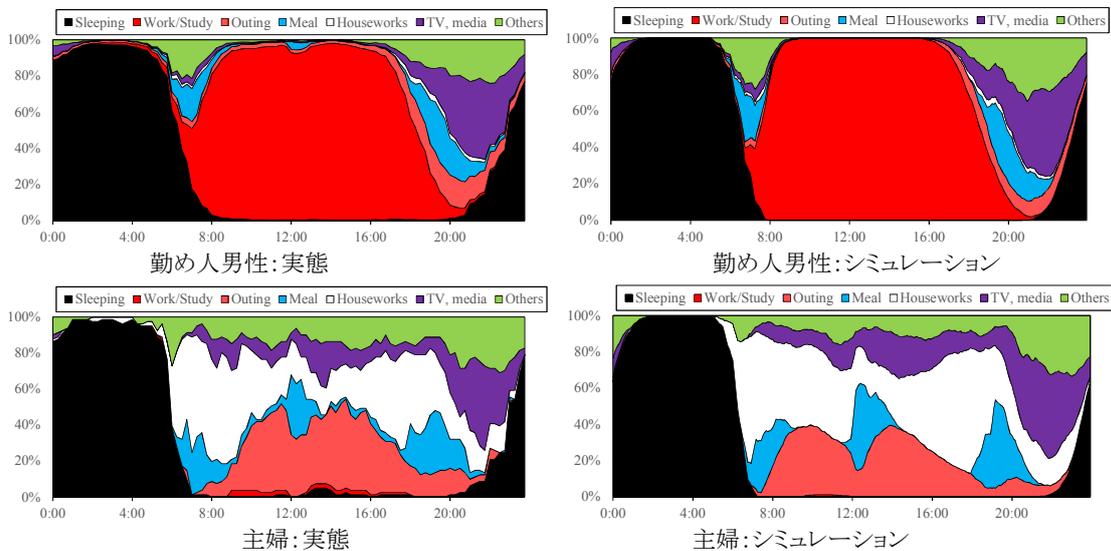


図 11 時刻別行為実施比率の比較(左:実態、右:シミュレーション)

(2) 機器・設備稼働状態の推計

住宅に設置されている機器・設備は生活行為に直結して操作される機器・設備と、照明、暖冷房機器のように居住者の在室状況に応じて操作が決定される環境調整機器に分類される。

生活行為に直結して操作される機器・設備は、生活行為の推計後、行為と機器・設備の操作の関係を表す時刻別操作確率に対して乱数を与え、行為に伴う操作の有無を判定する。この結果を住宅居住者全員について集約し、当該タイムステップにおける機器・設備の稼働を決定する。

環境調整機器については、生活行為の計算結果に基づいて居住者の在室部屋を決定し、居住者が在室している部屋の状態を計算する。照明は、居住者の在室状況、外界条件、住宅の仕様を考慮して室内照度を推計し、照明の点灯の必要性を判定し、必要性が認められた場合に照明器

具が稼働するものと決定される。暖冷房機器についても外界条件、住宅仕様、室内における発熱を考慮したうえで、室内の自然温度を算出し、暖冷房機器稼働の有無が判定される。自然室温の算出には熱回路網モデルを用いている。本モデルは壁・窓ガラスの材質・面積・方位や部屋の位置関係などの住宅仕様情報、時刻別の気象データを格納した気象情報、住宅機器、照明の時刻別・部屋別発熱量、居住者の在室の有無によって決定される人体発熱量を使用する。暖冷房機器の稼働は室内温度と機器の稼働確率の対応関係を表す暖冷房 ON/OFF 決定モデルを用いる。暖冷房 ON/OFF 決定モデルは、暖冷房の稼働状態 (ON/OFF) をマルコフ連鎖による状態遷移モデルとしてシミュレートする。

(3) 機器・設備別エネルギー消費量の推計

多くの住宅機器は機器の稼働時、待機時の消費電力、消費エネルギー量データを用いて、機器の稼働状態に対応する電力消費を決定する。このほかの機器・設備では、容量や効率等の仕様のほか、必要に応じて機器・設備が処理する負荷や外界条件を考慮してエネルギー消費が決定される。この例はエアコンであり、エアコンでは処理熱量の負荷率や外気温、室温がエアコンの効率にもたらす影響を考慮して電力消費量が算出される。

最後に調理、給湯用途の想定を述べる。調理用のエネルギー消費は居住者の調理行為に伴って生じるものとし、エネルギー消費量は世帯人数の増加に伴って増加する設定としている。給湯については、給湯行為を洗顔、入浴、炊事、風呂の湯はりとし、まず、各居住者の給湯行為に基づいて給湯水量、給湯温度を決定する。次に、上水温度を考慮して給湯熱需要を算出する。また、浴槽の熱収支から追い炊きの熱量を算出する。最後に、給湯機の構成や設備の仕様、外気温による効率の変化、配管損失・無効熱量(給湯温度以下の出湯分の熱量)を考慮して給湯熱需要に対応する給湯設備のエネルギー消費量を算出する。

(4) 住宅モデル作成のためのデータベース開発と住宅モデルサンプリング

ここまでで説明したように、住宅のエネルギー需要推計は、1)生活行為の決定、2)生活行為に伴う住宅機器・設備の操作の決定、3)住宅機器・設備の仕様に応じたエネルギー消費量の決定の過程で行われる。本研究では、①～⑥の各データ一式を「住宅モデル」と呼び、モデルの入力条件として整備する。以下にその設定方法を説明する。

- ① 住宅居住者の生活行為では、4.1(2)に説明した 30 種の分類を用いて生活時間データの傾向が異なる居住者を生成する。これにより、シミュレーション上では、すべての世帯のすべての居住者が異なる生活行為を行う状況を再現することができる。
- ② 行為に伴う住宅機器・設備の操作については、行為と機器・設備の操作の関係を表す時刻別の操作確率を用いる。本データは本来すべての世帯に別々のデータを与える必要があるが、多くの機器では標準的な一つのデータを用いている。ただし、給湯設備やエアコンタイマーなど、4.1(3)に整備した操作特性についてはモデル内で反映している。
- ③ 機器・設備の仕様と④機器・設備の所有状況については 4.1(4)に開発したデータベースを用いた。まず、所有台数、購入年数、容量の頻度分布からそれぞれをランダムにサンプリングし、この過程で定まる購入年および容量の情報に基づいて機器仕様を決定する。機器の仕様の設定には 4.1(4)で整備したデータベースを用いる。なお、所有台数が住宅の部屋数を超えない制約を設けている。また冷蔵庫の容量に関しては、世帯人数に応じた確率分布を設けている。
- ⑤ 住宅仕様として定義される情報は住宅の規模、間取り等を含む住宅形状、外皮性能である。サンプリングの方法は 4.1(1)で述べたとおりである。
- ⑥ 気象条件等外界条件については気象庁の観測データ²⁰⁾を用いており、計算対象住宅が立地している地域、計算対象年の気象データを選択する。

(5) 精度検証：関西電力管内の電力需要予測

本モデルにより推計した関西電力管内の家庭部門電力需要を実態データ(サンプル数 1237)と比較することにより、精度検証を行った。この結果、中間期の電力需要推計結果は実態よりも 1 日を通して 80~100W 程度小さいことがわかった。このベース需要の差は、本モデルで考慮していない機器(空気清浄器、ウォーターサーバーなど)が存在すること、エネルギー多消費型の世帯が考慮されていないことなどに起因すると考えられる。一方で、電力消費の時刻別変動は実態と似た傾向を示していることから、空調以外の家電機器の電力消費については概ね再現できていると考

えられた。次に、空調用の電力需要を検証するため、8月と10月の電力需要の差を対象として比較を行った。この結果、冷房使用期間、期間内の変動ともに良い再現性を示していることがわかった。

以上の精度検証により、以下の課題を明らかとした。

- ベース需要の不足
- エネルギー多消費世帯の考慮

(6) 家電機器に関する感度解析

家庭部門の電力消費量に占める割合の特に大きい家電機器(エアコン、照明、テレビ)について、各パラメータが電力消費に与える感度を時刻別に解析する。感度解析を行ったパラメータを表7に示す。各パラメータの設定を変化させてシミュレーションを行うことで、各パラメータの持つ感度を確認することができる。

表7 感度解析を行ったパラメータ

パラメータ	ベース	感度解析	影響のある機器
冷房設定温度	27℃	26℃、28℃	エアコン
エアコン定格COP	2010年のストック機器の平均	2010年のトップランナー機器	エアコン
照明点灯属性	「常に点灯」「日当たりによって判断」 「常に消灯」を確率により決定	「常に点灯」100%、 「日当たりによって判断」100%	照明
照明光源種類	蛍光灯	LED	照明
食事時のテレビ稼働有無	必ず稼働する	稼働しない	テレビ
テレビ視聴時の部屋	「居間」「個室」を確率により決定	「居間」100%、「個室」100%	エアコン、照明、テレビ

各パラメータが電力消費に与える影響度を図12に示す。この図ではベースからの電力消費の差を示している。

エアコンに関するパラメータは、一日を通して電力消費に影響を与えている。「設定温度28℃」と「設定温度26℃」は軸に対してほぼ対称な形状となっており、外気温と設定温度との差が小さい夜間において影響度が大きく(20~40W)、差が大きい昼間において影響度が小さい(約10W)。「エアコン定格COP」については、エアコンの稼働が多い夕方から夜間にかけて影響度が大きい(40~60W)。

照明に関するパラメータである「常に点灯」と「日当たりによって判断」は、6時から17時にかけて影響度が大きく(30W~50W)、両者は軸に対して対称に近い形状となっている。「LED」については、照明の使用頻度が高い18時から22時において影響度が大きく、その大きさは約40Wである。

「食事時のテレビ稼働なし」の影響度は各食事時間帯において45W~60Wである。テレビ視聴時の部屋を「居間100%」または「個室100%」に変化させると、テレビ、照明、エアコンの電力消費がそれぞれ変化するため、電力消費全体に与える影響度は複雑な挙動を示す。「個室100%」としたケースでは、テレビの稼働台数の増加によりテレビの電力消費が増加する一方で、内部発熱が各個室に分散すること、居間よりも個室のエアコンの方が高効率であることなどから、エアコンの電力消費は減少する。これらの傾向が重なることで、17時から19時においては最大50Wの増加、20時から翌2時においては最大60Wの減少と、時刻によって異なる方向へ影響を与える結果となった。

以上の結果から、影響を与える時刻はパラメータによって異なり、特にテレビ視聴時の部屋については、時刻によって電力消費に与える影響の方向(増加または減少)が異なることが分かった。

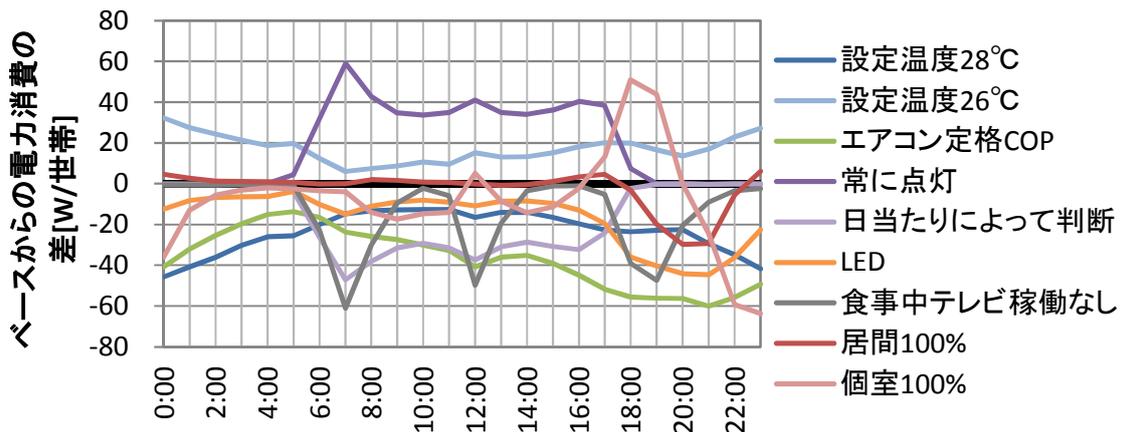


図 12 各パラメータが電力消費に与える影響度

4. 3 多重階層性を反映したエネルギー管理シミュレーションモデル開発

§ 2. 研究構想3. に述べたように、本研究では他の CREST チームとの連携により、住宅、地域、電力システムの単位でエネルギー需給、可制御負荷の情報を集約し、それぞれの単位でのエネルギー管理の導入、階層内での可制御負荷の調整配分、階層間の相互作用を評価するためのマルチエージェントシミュレーションモデルの開発を実施した。本モデルは、個々の住宅のエネルギー需要、発電量、可制御負荷を属性として持つ HEMS エージェント、同情報の地域積算値を属性として持つ CEMS エージェント、エネルギー需給に対して電圧や周波数、電源構成などの性能や BEMS・CEMS に対する需給調整要求や指令を算出する電力システムエージェントにより構成される。他の CREST チームによって CEMS エージェント、電力システムエージェントのモデルが提供されることから、本研究では次の課題に取り組んだ。

- (1) 岩船 FS の課題として挙げられた住宅におけるエネルギー需要調整能力の推計
 - (2) 鈴木 FS が開発する HEMS モデルへの統合化を前提としたエネルギー予測モデルの開発
 - (3) 林 FS へのエネルギー需要推計データおよび精度検証結果の提供
 - (4) 改正省エネルギー基準による効果の評価
- (3)についてはすでに述べているので、このうち(1)、(2)、(4)について以下に述べる。

(1) 住宅における需給調整能力の推計

住宅では家電機器・設備の稼働時刻の変更とサービス量の調整の 2 種類の手法により電力需要の調整が可能である。家電機器・設備の稼働時刻の変更では、居住者の行為が稼働を変更できる時間帯の制約となる。表 8 に本研究で想定した制約条件を示す。食器洗い乾燥機の場合、居住者が次に食器を必要とする「調理」あるいは「食事」を行うまでに稼働を終了することを、稼働時刻を変更する際の制約条件とした。洗濯機や衣類乾燥機の場合では洗濯物を干すあるいはたたむ時間を 30 分と想定し、居住者が就寝あるいは外出する 30 分前までに稼働を終了することとした。エアコンでは設定温度の緩和による電力消費の差異を可制御負荷として算出した。本研究で想定した通常時と緩和時の設定温度を表 9 に示す。

表 8 稼働時刻の変更における制約条件

対象機器	制約条件
食器洗い乾燥機	居住者が次に調理あるいは食事行為を開始するまでに稼働を終了する
洗濯機	午前中に稼働を開始した場合、居住者が外出する 30 分前あるいは 11 時までまでに稼働終了する
衣類乾燥機	午後稼働を開始した場合、居住者が就寝する 30 分前までに稼働を終了する

表 9 エアコンの設定温度

[°C]	冷房	暖房
通常時	26	22
設定温度緩和時	28	20

大阪府に立地する集合住宅 226 軒を想定して需給調整能力の定量評価を行った。図 17 に 8 月と 2 月における需給調整能力の平日世帯平均を示す。図の負の値は削減できる電力を示している。主にエアコンの設定温度緩和によって電力の削減が可能であることがわかる。そのため削減できる電力はエアコンが稼働している朝と夕方に多い。また正の値は増やすことのできる電力を示しており、食器洗い乾燥機、洗濯機、衣類乾燥機の稼働時刻の変更によって得られた。これらの機器は稼働時刻が世帯によって異なるため、幅広い時間帯で需給調整能力が得られる。21～7 時においてもっとも大きな需給調整能力が得られ、その大きさは 65W であった。8 月に比べて 2 月に削減できる電力が小さいのは、エアコン以外の暖房機器を利用している世帯があるためと考えられる。

表 10 に需給調整能力の総量の平日世帯平均を示す。食器洗い乾燥機は居住者が睡眠している広い時間帯で稼働時刻を変更できるため、図 13 では食器洗い乾燥機による需給調整能力が 55%を占めていた。しかし、稼働継続時間および稼働時消費電力の大きさに決まる需給調整能力の総量では、エアコンが 70%を占める結果となった。

表 10 需給調整能力の総量

[Wh/世帯]	食器洗い乾燥機	洗濯機+衣類乾燥機	エアコン
8 月	127	32	409
2 月	125	31	267

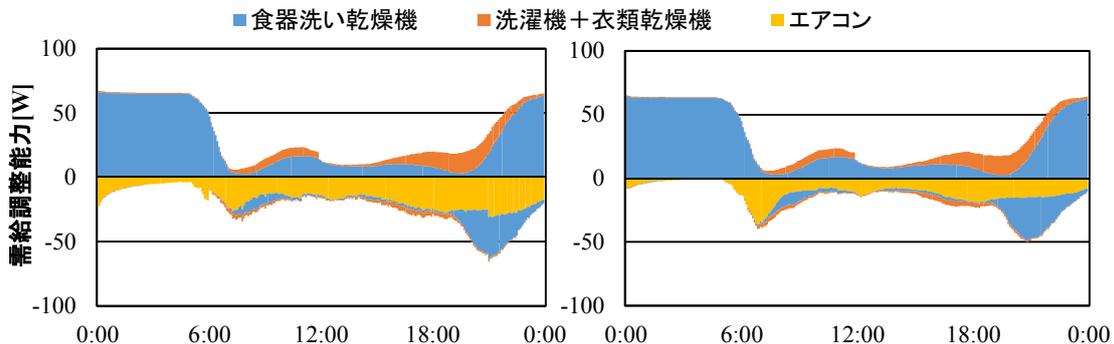


図 13 需給調整能力の平日世帯平均(左図:8月、右図:2月)

(2) 改正省エネルギー基準による効果の評価

エネルギー管理が実現され普及するまでにはある程度の時間がかかることが予想される。その間には現在市場で販売されている様々な省エネルギー技術の普及が進むと考えられる。様々な省エネルギー技術が普及した社会に対してエネルギー管理を適用することを想定し、技術普及の促進に貢献すると考えられる住宅の省エネルギー基準に関して検討を行った。住宅の省エネルギー基準は平成 25 年に大幅に改正され、太陽光発電やヒートポンプ給湯機、コージェネレーションシステムなどの技術導入が評価されるようになった。ここでは、平成 25 年基準によってこれらの技術が普及した場合の省エネルギーポテンシャルおよび電力負荷曲線の変化について、本モデルを用いて推計を行った。平成 25 年基準への適合が可能な 5 ケースおよび BAU についてシミュレーションを行った。基準適合ケースの設定を表 11 に示す。各ケースにおいて、大阪府の全世帯が技術を導入すると想定する。

表 11 基準適合ケースの設定

ケース名(略称)	暖房・冷房	給湯器	太陽光発電	住宅熱性能
ベースライン (BAU)	エアコン (対策なし)	従来型ガス給湯器 (HHV 78%)	なし	4区分の熱性能を考慮
太陽光発電 (PV)	集合住宅のみ AC+LHBと同仕様		戸建住宅のみ設置	次世代基準
ヒートポンプ給湯機 (HP)	エアコン (対策なし)	ヒートポンプ給湯器 (タンク容量 370L)	なし	
PEFCコージェネレーション (PEFC)		PEFCコージェネレーション (発電出力 700W)		
SOFCコージェネレーション (SOFC)		SOFCコージェネレーション (発電出力 700W)		
高効率エアコン + 潜熱回収型給湯器 (AC+LHB)	エアコン (2010年トップランナー)	潜熱回収型ガス給湯器 (HHV 95%)		

BAU ケースおよび SOFC ケースにおける家族類型別の年間一次エネルギー消費量の推計結果を図 14 に示す。SOFC コージェネレーションの導入による BAU からの年間一次エネルギー削減率は、家族類型によって-6%から 20%まで大きな幅を持つ。このように、SOFC をはじめとする省エネルギー技術の効果は、家族類型によって大きく異なる場合があることが示された。

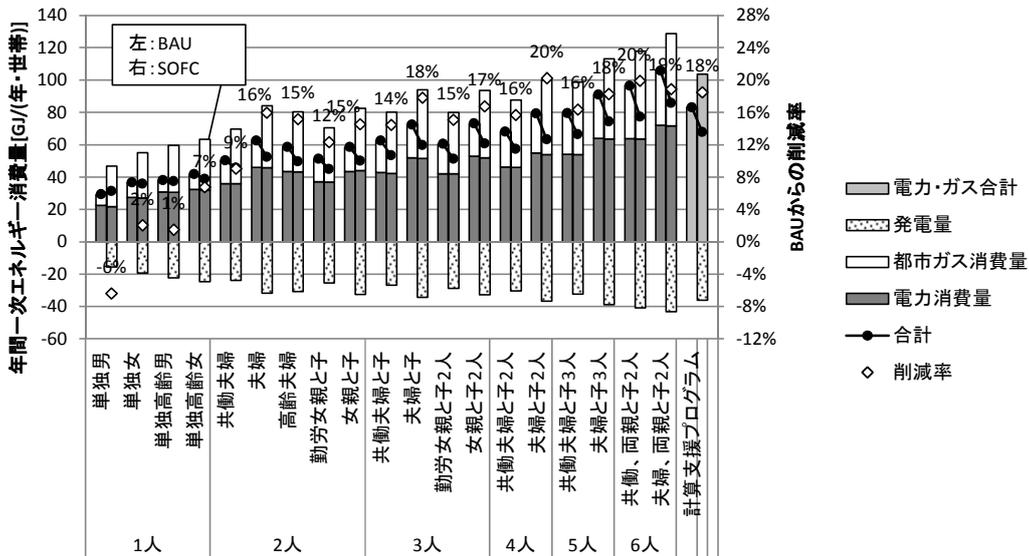


図 14 BAU ケース・SOFC ケースの一次エネルギー消費量 (次世代基準、戸建 120m²以上)

各ケースにおける大阪府全体の電力負荷曲線の推計結果を図 15 に示す。PV ケースについては系統への逆潮流分も含めたものを示している。SOFC ケースでは、全ての時刻において電力需要の抑制が顕著である。特に深夜の電力需要は 0.1 GW~0.3 GW 程度であり、需要のほとんどを SOFC コージェネレーションの発電出力で賄えていることが分かる。

PV ケースでは発電による電力需要の削減が大きく、平日の昼間には大阪府全体で電力需要がマイナスになることもある。一方で、発電中は電力需要の変動が非常に激しく、変動の幅は大阪府全体で約 3 GW に及ぶこともある。PV を大量に導入する場合には、このような変動に対応するようなエネルギー管理が求められる。

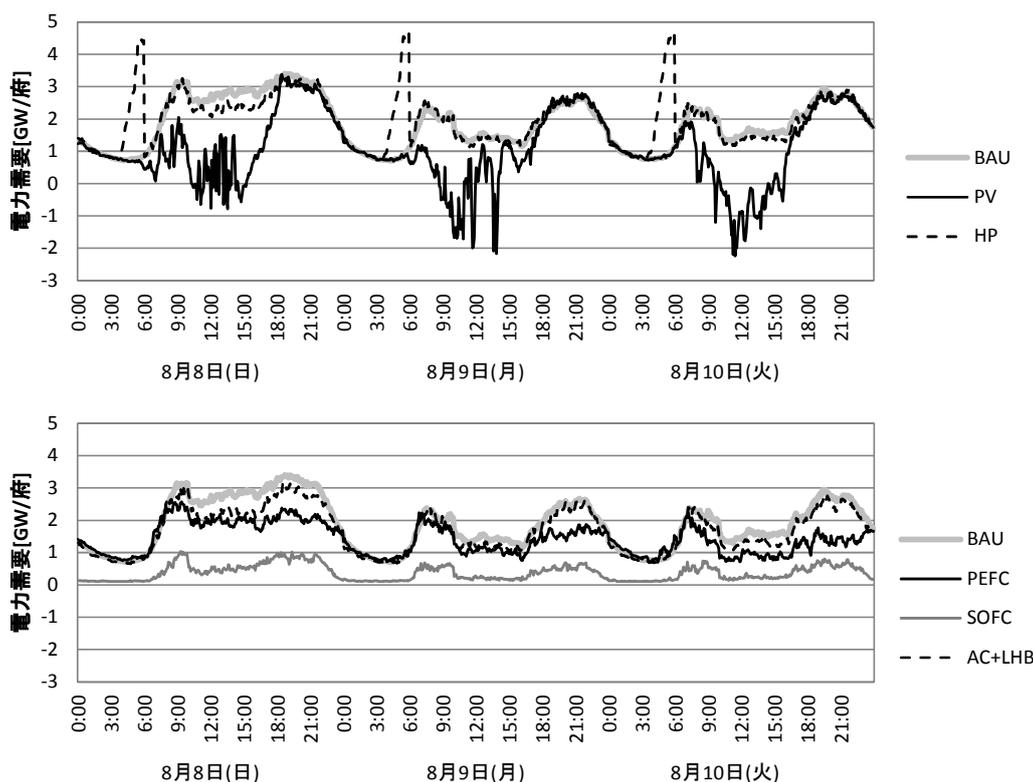


図 15 各ケースにおける電力負荷曲線

HP ケースでは、ヒートポンプ給湯機の沸き上げは 6 時に完了する運転としているため、電力需要が 4 時から 6 時に集中している。BAU ケースにおいては、夏期 3 日間におけるピーク需要は 3.4 GW であるが、大阪府の全ての住宅がヒートポンプ給湯機を導入した場合、未明における沸き上げによって 4.7 GW の電力需要のピークが発生する。このことから、今後ヒートポンプ給湯機の普及を考える場合には、沸き上げ時間帯を分散するなどの措置が必要であると言える。このように、今後の住宅の省エネルギーの進展は、電力需要の量・ロードカーブの形を大きく変えていくので、各種 EMS の効果についてもこのような動向をふまえて推計をおこなう必要がある。

4. 4 参考文献

- 1) 総務省統計局, 統計局ホームページ/国勢調査, 平成 22 年国勢調査, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/> (アクセス日 2014. 08. 09)
- 2) 谷口綾子, 下田吉之, 旭貴弘, 山口幸男:日本の住宅エネルギー最終需要のモデル化と住宅熱性能改善の影響評価 世帯詳細区分型都市住宅エネルギーエンドユースモデルの開発と応用(3), 日本建築学会環境系論文集, 632(2008-10), pp.1217-1224
- 3) 総務省統計局; 平成 23 年社会生活基本調査, <http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/index.htm>, (アクセス日 2014. 04. 10)
- 4) 山口容平, 下田吉之:住宅における居住者生活行為時間配分の実態把握, エネルギー・資源学会第 33 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, pp. 259-264, 2014
- 5) 中濱諒, 前真之他:「新時代の省エネ型給湯設備の計画・評価手法に関する研究 第 5 報 実住戸における湯消費の実測」, 日本建築学会大会学術講演, (2009)
- 6) 前真之:「住宅事業建築主の判断基準 6 章 給湯設備のエネルギー消費量に関する評価方法」
- 7) 省エネ性能カタログ, 経済産業省 資源エネルギー庁, (2001-2011)
- 8) 山口容平, 青木拓也, 羽原宏美, 下田吉之: アンケートに基づく住宅エネルギー消費決定要因の分析, 平成 24 年第 31 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, CD-ROM, pp. 335-338, 18-5, (2012)
- 9) Yohei Yamaguchi. A historical review of socio-technical factors determining energy consumption in the Japanese residential sector. Proceedings of the Studying Sustainability Transitions in Welfare States,

- Rotterdam, the Netherlands, Sep. 2014.
- 10) Geels, F.W., Elzen, B., Green, K., 2004, General Introduction: system innovation and transitions to sustainability. In System innovation and the Transition to Sustainability, Edward Elgar Publishing, pp. 1-16.
 - 11) Widén, J., Wäckelgård E, A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand, Applied Energy, vol. 87, 1880-1892, (2010).
 - 12) Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., Delahunty, A., Domestic lighting: A high-resolution energy demand model. Energy and Buildings, vol. 41, 781-789, (2009).
 - 13) Tanimoto, J., Hagishima. Total utility demand prediction system for dwellings based on stochastic processes of actual inhabitants, Journal of Building Performance Simulation, vol. 3, 155-167, (2012).
 - 14) 高村しおり, 山口容平, 羽原宏美, 下田吉之: 太陽光発電と省エネルギー技術の大規模導入を考慮した地域電力需要の将来推計, 日本建築学会環境系論文集, No. 680, 805-811, (2012).
 - 15) Shimoda Y., Okamura, T., Yamaguchi, Y. Yamaguchi T., Taniguchi A., Morikawa T., City-level energy and CO2 reduction effect by introducing new residential water heaters, Energy, vol.35, 4880-4891, (2010)
 - 16) Shimoda Y., Yamaguchi, Y., Okamura T., Taniguchi A., Yamaguchi Y., Prediction of Greenhouse Gas Reduction Potential in Japanese Residential Sector by Residential Energy End-Use Model, Applied Energy, vol. 87, 1944-1952, (2010)
 - 17) 下田吉之, 山口幸男, 岡村朋, 谷口綾子, 山口容平: 家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いた我が国民生家庭部門の温室効果ガス削減ポテンシャル予測, エネルギー・資源, No. 175, 1-9, (2009)
 - 18) Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda: Behavior Model of Occupants in Home based on Japanese National Time Use Survey. Proceedings of the 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, pp. 617-624, 2014
 - 19) Márcia L. Baptista, Anjie Fang, Helmut Prendinger, Rui Prada, Yohei Yamaguchi: Accurate Household Occupant Behavior Modeling Based on Data Mining Techniques. Proceedings of the Twenty-Eighth AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp. 1164-1170, 2014.
 - 20) (財) 気象業務支援センター, 地上気象観測 1 分値データ, (2005)

§ 5. 研究費の使用状況

① 執行した研究費の概要

平成25年度は物品費を重点的に執行した。購入した Gurobi によって可制御負荷を使用したエネルギー管理(運用最適化)の検討を行った。加えて、ArcGIS ソフトと関連する地図情報、国勢調査詳細データを購入し、エネルギー需要推計に用いるデータベースの開発を行った。平成26年度は人件費を中心に執行し、研究員として雇用した谷口綾子氏が研究項目住宅単位のエネルギー需要モデルの開発を中心に研究を行った。また、エネルギー需要推計のために計算サーバを購入し、エネルギー需要モデルの精度検証用に集合住宅で計測されたエネルギー需要データを購入した。加えて、エネルギー需要決定要因の実態を把握するため、アンケート調査を行った。

§6 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 1 件、国際(欧文)誌 4 件)

1. Ayako Taniguchi (Osaka University), Estimation of city-scale impact of new Japanese energy saving standard for residential building by energy end-use simulation, Proceedings of the World SB14 Conference, Barcelona, pp. Session 140:1-14October 28-30, 2014
2. Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda: Behavior Model of Occupants in Home based on Japanese National Time Use Survey. Proceedings of the 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, pp. 617-624, 2014
3. Masakazu Higashino, Takuya Fujimoto, Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda: Simulation of Home Appliance Use and Electricity Consumption to Quantify Residential Energy Management Resources, Proceedings of the 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, pp. 712-719, 2014
4. Kotaro Ukawa, Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda: Development and Validation of Residential Water Heating Demand Simulation Model Reflecting Variation among Households, Proceedings of the 2nd Asia Conference of International Building Performance Simulation Association, pp. 633-640, 2014
5. 谷口綾子, 下田吉之, 山口容平:改正省エネルギー基準による大阪府家庭部門エネルギー消費削減効果の評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 80 巻, 第 708 号, 2015(印刷中)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 下田吉之, 都市エネルギー最終需要モデルを用いた温室効果ガス削減予測, 建築と社会, No.1110, (2014)

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

② 招待講演 (国内会議1件、国際会議1件)

1. 下田吉之(大阪大学), 都市再生と省エネルギー, 2014 年度日本建築学会大会(近畿)環境工学部門研究協議会, 神戸大学, (2014 年 9 月 13 日)
2. Yohei Yamaguchi (大阪大学), Simulation of occupant behavior and residential energy demand, ASim2014 (the 2nd Asia conference of International Building Performance Simulation), Plenary speech, 名古屋大学, (2014 年 11 月 29 日)

③ 口頭発表 (国内会議 3 件、国際会議 1 件)

1. 山口容平(大阪大学), 住宅コミュニティを対象とするエネルギー需要モデルの開発と分散協調型エネルギー管理への応用, 第 1 回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 電気通信大学, 2014 年 3 月 4 日~7日
2. 谷口綾子(大阪大学), 改正省エネルギー基準による民生家庭部門エネルギー消費削減効果の評価, 平成 26 年度 空気調和・衛生工学会大会, 秋田大学, 2014 年 9 月 3 日~5 日
3. 谷口綾子(大阪大学), 改正省エネルギー法による民生家庭部門エネルギー消費の面的削減効果の評価, 第 33 回エネルギー・資源学会研究発表会, 大阪国際交流センター, 2014 年 6 月 10 日~11 日
4. Yohei Yamaguchi. A historical review of socio-technical factors determining energy consumption in the Japanese residential sector. Proceedings of the Studying Sustainability Transitions in Welfare States, Rotterdam, the Netherlands, Sep. 2014.

- ④ ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

(4)知財出願

- ①国内出願 (0 件)

- ②海外出願 (0 件)

- ③その他の知的財産権
なし

(5)受賞・報道等

なし

(6)成果展開事例

なし

§ 7 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

なし

§ 8 最後に

本研究期間中に、新しい人間生活行為モデルを完成させることができ、そのことおよび現在進行中のデータベース整備が完成することにより民生家庭部門の電力ロードカーブの予測精度が向上し、各種 EMS のスタディに利用可能なレベルに達したものと考えている。また、本研究グループの CREST 研究参加の大きな動機であった、最終需要モデルの多様な用途の開拓について、3つの FS への参加を通じて、いくつかの可能性を見いだすことができ、この点については平成 27 年度以降の最強チームの活動の中で具体化していきたいと考えている。

今後は、他の CREST チーム等本研究チーム外で収集されている住宅エネルギー消費データの活用などにより、地域別・住まい方別の生活時間データなど各種データベースの充実とそれを通じた予測モデルの精度向上、民生業務部門および運輸旅客部門のエネルギー消費予測を含めた「バーチャル都市モデル」への展開、海外への本モデルの適用可能性の検討をおこない、さらには最強チームでのこれらモデルの活用を通じて、次世代のエネルギーマネジメントシステムの開発に本研究成果を役立てていきたいと考えている。