

## 論文の内容の要旨

論文題目 生活行動の違いを考慮した  
家庭における省エネルギーの可能性評価

氏 名 小澤 暁人

### 第1章 序論

地球温暖化問題や東日本大震災を背景として、日本ではエネルギーをめぐる課題が顕在化し、特に省エネルギー化は日本のエネルギーシステムが抱える重要な課題となっている。部門別エネルギー消費の推移に目を向けると、日本では家庭部門におけるエネルギー消費量はここ40年間で倍増しており、その要因として核家族化・単身化による世帯数の増加や家庭生活の利便性・快適性追求による世帯あたりの機器保有台数の増加が挙げられる。このように、家庭での生活行動とエネルギー消費が密接に関係している点が、家庭部門の特徴といえる。

家庭部門の省エネルギー化に向けた取り組みは大きく2種類に分けることができる。1つ目の取り組みは、エネルギー消費量を削減する一般的に「省エネ」と呼ばれるもので、これを果たすための方策が「デマンドサイドマネジメント」と呼ばれる技術である。2つ目の取り組みは、低炭素・高効率なエネルギー技術の活用する「創エネ」と呼ばれるもので、特に家庭部門においては小規模なエネルギー源を需要家の近隣に設置する「分散型エネルギー」の活用が期待されている。家庭部門におけるエネルギー消費は居住者の生活行動と密接な関係性を持っており、この特徴が家庭部門の省エネルギー化に向けた取り組みの難しさをもたらしている。家庭で消費されるエネルギーは、その家庭の生活行動の特徴を反映している。そのため、家庭の生活行動を無視して省エネルギー対策を取ると、対策による省エネ効果が十分に得られないだけでなく、場合によっては居住者の日常生活における自由意志を阻害する可能性を持つ。よって、家庭における省エネルギー技術の導入効果を評価するためには、エネルギー消費だけでなく、エネルギー消費を発生させる居住者の生活行動も考慮に入れることが重要となる。

このような視座に立ち、本研究では家庭における居住者の生活行動とエネルギー消費の関係性を分析し、またそこから生活行動の違いを考慮して家庭における省エネルギー

技術の導入評価を行うことを目指す。第1章は序論であり、本研究の背景と目的および先行研究と本研究の位置づけについて述べる。第2章から第5章にかけては本論である。研究目的としては、第2章・第3章がデマンドサイドマネジメントの一種である省エネアドバイス活用の評価にむけた研究であり、第4章・第5章が分散型エネルギーの例として家庭用燃料電池システムの性能評価に向けた研究である。また研究内容としては、第2章・第4章が家庭における生活行動とエネルギー消費の分析に関する研究であり、第3章・第5章が第2章・第4章の知見に基づく、家庭の生活行動の違いを考慮した省エネルギー技術評価に関する研究である。

## 第2章 省エネルギーアドバイスを目的とした家庭電力需要データ分析

たとえ同じ家庭の電力需要であっても、生活行動のパターンがその日その日で異なることによって電力需要カーブの形状には違いが生じ、日々の電力需要カーブの差異は完全なランダムではなく、その日の生活行動によって数種類のパターンに分類することができる。もし電力需要カーブの分析によって類推される生活行動のパターンとそのときの電力需要に関係性があることすれば、この関係性に基づいて「どのような生活行動パターンの日が電力を使用する量が多いのか、あるいは少ないのか」という情報を家庭の居住者に提供することによって、省エネルギー化に向けた気づきを促すきっかけを与えることができると考えられる。

このような観点から、それぞれの家庭における日々の電力需要カーブを数パターンに分類し、ここから類推される生活行動パターンと電力需要の関係性を調べる。具体的な手法としては、それぞれの家庭の電力需要カーブ1か月分をクラスタ分析によって数パターンの電力需要カーブに分類する。そして、電力需要カーブのパターンの中で最も日数の多いものを「その家庭が1ヶ月間で最も普段通りの生活をしたときに発生する電力需要カーブのパターン」として「標準電力需要パターン」と名付ける。クラスタ分類を分析対象となる全ての家庭について各月について実施し、それぞれの世帯における1月から12月まで月ごとの標準電力需要パターンを抽出する。そして、標準電力需要パターンとそれ以外の電力需要パターンについて、日数の割合・1日の電力需要量などの比較を行う。比較の結果から、「標準電力需要パターンとは、およそ2日に1日の頻度で現れる電力需要カーブである」こと、そして「標準電力需要パターンの1日の電力需要量は、それ以外のパターンと比べて2 kWh程度少ない」ことが明らかになった。その結果から、標準電力需要パターンに含まれる日が「その家庭が1ヶ月間で最も普段通りの生活をした日であり、1日の電力需要量が少なく省エネ型の生活を過ごしていた」ということが分かり、各家庭の生活行動パターンとそのときの電力需要の関係性を表す情報が得られることを示した。

## 第3章 データ分析に基づく省エネアドバイス実証実験

第2章で得られた生活行動と電力需要の関係性に関する情報をフィードバックすることによる家庭の省エネルギー効果を検討するために、省エネアドバイスレポートを提案する。提案する省エネアドバイスレポートでは、標準電力需要パターンとそれ以外の4パターンのなかで1日の電力需要量が多いパターンに着目する。具体的な情報内容としては、標準電力需要パターンに含まれる日とそれ以外の電力需要量が多いパターンに含まれる日を示し、これらのパターン同士の電力需要カーブを比較する。こうすることで、普段通りの生活をした日と比べて特に電力需要が多かった日と時間帯を指摘し、この日時における家庭生活の振り返りを促すことで電力需要を増加させる要因を見つけるきっかけを与える。

この省エネアドバイスレポートを送付することによる家庭の省エネルギー効果を評価するために、実証実験を行った。スマートメーターが設置されている家庭の中から実証実験に参加してくれる家庭を募り、参加の承諾が得られた家庭78世帯に対して省エネアドバイスレポートを作成・送付した。送付する省エネアドバイスレポートのバリエーションを3種類用意し、電力需要の特徴に応じて各家庭に対して最も適していると考えられるレポートを送付する。そして、省エネアドバイスレポートを送付した家庭と送付しなかった家庭の電力需要の推移を比較することで、省エネアドバイスレポートの送付による省エネルギー効果を評価した。また省エネアドバイスレポートにアンケートを同封して、レポートの内容に関する居住者の意識を調査した。

#### 第4章 アンケート調査に基づく家庭エネルギー需要の推計

筆者が新たに開発した家庭エネルギー需要推計モデルについて述べる。

開発したモデルの新規性は「家族構成員間の生活行動の関連性」「個々の家電製品・給湯の使用状況」の実態を考慮して需要推計を行う点にある。これまでの研究では生活行動や家電製品・給湯の使用状況の実態が不明であり、この点がモデルの適用範囲を制限していた。そこで、「家族構成員間の生活行動の関連性」「個々の家電製品・給湯の使用状況」の実態を把握するために、家庭における生活行動と家電製品・給湯の使用状況に関するアンケート調査を実施して、特定の1日における15分ごとの居場所・生活行動や家電製品・給湯の使用状況などを質問した。つづいて、このアンケートの回答結果を入力データとして、開発したモデルを用いて15分間隔での家庭電力・給湯需要カーブを推計する。

そして、推計した需要を比較して、季節・家族構成・生活様式の違いが需要カーブや1日の需要量に与える影響を調べた。また、推計結果から家庭の年間二次エネルギー消費量を求め、統計値と比較して推計の妥当性評価をした。さらに、今回の推計結果と、家族構成員間の生活行動の関連性を考慮しない場合の家庭の電力・給湯需要の推計結果とを比較して、家族構成員間の生活行動の関連性によるエネルギー需要への影響を調べた。この結果、例えば両親と子供2人の4人家族の家庭であったとしても、子供が小中学生

の場合と社会人の場合とで電力・給湯需要のピークが発生する時間帯に違いが生じることが確認でき、ライフステージの進行が家庭のエネルギー需要に影響することを示した。

#### 第5章 需要の不確実性を考慮した、家庭用燃料電池システムの最適運転モデル

家庭用燃料電池システムの運転をシミュレーションするための運転モデルを開発した。このモデルの特徴は、生活行動のばらつきによって生じる家庭エネルギー需要の不確実性を考慮して、電力・給湯需要を予測しながら家庭用燃料電池システムの最適な運転計画を決定する点にある。「家庭のエネルギー需要は一意に決まっているのではなく、日々の生活行動の違いによって不確実性を有している」という考えのもと、その時点から24時間後までの家庭エネルギー需要（電力・給湯需要）を予測して、家庭の電力・ガス料金の期待値が最小となるように家庭用燃料電池システムの運転を計画していく。このような運転形式は、数理計画法の一種である確率動的計画法（stochastic dynamic programming ; SDP）によってモデル化が可能である。

開発したモデルを用いて、第4章で推計したエネルギー需要を入力値として固体高分子形（polymer electrolyte fuel cell ; PEFC）・固体酸化物形（solid oxide fuel cell ; SOFC）の運転シミュレーションを行ない、様々な家族構成の家庭に対して燃料電池システムを導入した時の経済性（電力・ガス料金の合計）・環境性（CO<sub>2</sub>排出量）を評価する。またライフステージの進行によって生活リズムが変わることによる燃料電池運転性能の変化を評価する。