

称号及び氏名	博士（工学）	井上	修紀
学位授与の日付	平成 25 年 3 月 31 日		
論文名	「家庭内エネルギー消費の評価に関する研究」		
論文審査委員	主査	教授	辻 洋
	副査	教授	松本 啓之亮
	副査	教授	真嶋 由貴恵

論文要旨

京都議定書は 2005 年 2 月に発効されているが、その中で 2012 年の日本の CO₂削減目標値は 1990 年から 6%とされ、これに対応するためにはエネルギー消費の大幅な削減が必要となっている。さらに 2011 年 3 月に発生した東日本大震災により、全国の原子力発電の稼働は難しくなっており、より多くの CO₂削減が必要となり、2012 年の目標達成が難しい状況になってきている。1990 年から 2008 年までのエネルギー消費の年平均伸び率は、産業用が -0.6%であるに対し、家庭用が +1.6%、業務用が +1.3%、運輸が +0.7%増加しており、家庭用および業務用の CO₂ 排出量の伸びが大きく、目標達成には家庭内のエネルギー消費の削減が不可欠である。増加する家庭内エネルギー消費実態に関しては日本建築学会や（株）住環境計画研究研等で数十軒単位のデータが報告されているが、さらなる月間レベルでの家庭のエネルギー消費の特徴を把握し、分析することによって省エネルギーを行うことが期待されている。

本研究では家庭内エネルギー消費について注目し、実態把握、省エネルギー方策の検討および将来の消費ニーズについて議論する。実態把握のために Web アンケートによる家庭内エネルギーの消費実態の調査を実施した。杉原らの報告において住宅や家族構成が同じような属性の家庭でもエネルギー消費は約 3 倍の差がある。本調査においては日々のライフスタイルがエネルギー消費の差異に影響を与えると考え、給湯、暖房、在宅時間等の生活パターンについても調査に含めた。これらの結果をもとに家庭の分類手法を確立し、家庭に応じた省エネルギー方策としてアドバイス提示方法の可能性について検討する。また、今後の省エネルギーの方向性を把握するため、ライフスタイルの変化および電気製品に対するニーズから将来の家電機器像を示す。

第 2 章では、家庭内エネルギー消費の現状把握として実態調査を行った結果について述べる。

まず、家庭内エネルギー消費に関する動向に関する統計データおよび過去に実施された実態調査による家庭内エネルギー消費の変遷について調べた。これにより日本における給湯、暖房、冷房、その他の用途別に、家庭の年間エネルギーの使い方および要因の実態について把握した。

次に、日本建築学会の調査結果等をもとに個々の家庭におけるエネルギー消費構造について分析を行った。日本建築学会が家庭のエネルギー消費を 2002 年度から 2004 年度にかけて年間を通した用途別の測定を実施している。このデータをもとに地域として関西エリアを選定し、用途別の分析を行った。家族構成、住居タイプ、工法等が年間エネルギー消費に影響を与えるとの報告があるが、単純な回帰分析だけでは要因の分析評価は難しい。このため、家庭内エネルギー消費の基本的な構造分析として、給湯、空調等のエネルギーの消費機器と外気条件の関連性について述べる。

さらに、家庭内の月毎のエネルギー消費実態を把握するためにアンケート調査を実施し、分析を行った。調査としてはデータの収集が比較的容易な Web により行う。ここでは、日本建築学会が行った過去の調査データと比較分析できるように基本的な調査項目を合わせた。家族構成、建物工法、給湯や空調の使い方、在宅人数および所有機器等を基本的な調査項目として、価値観、省エネ行動意識などのライフスタイルに関する項目を加えた。

2009 年 3 月に 2500 件のデータを取得し、太陽光発電等による自家発電を除き、12 か月以上連続した有効回答 2,220 件のデータが得られた。そのデータをもとに家族構成等の属性や価値観等のライフスタイルの影響評価を行った結果について述べる。

第 3 章では、家庭内エネルギー消費の多寡要因に関する分析した結果について述べる。

まず、第 2 章で行ったアンケートデータを用いて年間エネルギー消費と各項目の関係から多寡の要因分析を行なった。(財)日本エネルギー経済研究所の「エネルギー・経済統計要覧」によると家庭におけるエネルギー消費の約 6 割は給湯と暖房で占められている。このため給湯および暖房と関連のある季節と年間のエネルギー消費の関係について調べた。ここでは、年間エネルギー消費と冬季エネルギー消費の関連性および端境期と冬季エネルギー消費の関連性について分析を行った。また、家族構成、住宅属性などの基本属性と年間エネルギー消費の関係について項目ごとに箱ひげ図を用いて分析を行った。加えて、ライフスタイルがエネルギー消費に影響を与える要因と考え、価値観、環境意識、コスト意識、給湯の使い方、使用機器等と年間エネルギー消費の関係について分析を行い、その結果を述べる。

次に、この分析により、家庭内のエネルギー消費と家族構成や住宅属性、ライフスタイルの項目による分析だけでは多寡の要因を評価することが難しいことが判った。多寡の要因は単独の項目で決まるのではなく、複雑なパラメータの組み合わせとして階層構造もし

くはネットワーク構造であると考えられる。そこで階層構造の分析として情報エントロピー手法を用い、決定木により年間エネルギー消費が家族構成、住宅属性、ライフスタイルとどのような関係になっているのかについて述べる。

さらに、情報エントロピーの考え方に基づきベイジアンネットワークを構築し、その構造の分析を行った。これらの分析結果の評価および問題点について述べる。

第 4 章では、家庭内エネルギーの間接制御方法として省エネルギーのためのアドバイス手法について述べ、この手法を用いたプロトタイプシステムおよびその評価について述べる。

まず、家庭内の省エネルギーの方策としては、「住宅の断熱性、気密性の向上」「エコキュート等の新規設備の導入」「最新のエアコン、冷蔵庫等の高効率機器への置き換え」等の設備の更新による方法および住宅機器の使い方による制御方法がある。ここでは後者の住宅機器の使い方による制御について注目し、検討を行った。家庭おける制御としてはホームエネルギー管理システム（**Home Energy Management System**：以下 **HEMS**）の検討が行われている。家庭用機器に対して **HEMS** が直接制御する方法と **HEMS** からの情報により人が操作を行う間接制御がある。**HEMS** による直接制御の問題点や間接制御のための省エネルギーの見える化の問題点について示した。さらに、ここでは効果が高いとの報告のある間接制御に注目し、間接制御を行うための省エネルギーアドバイス手法の検討を行い、そのために必要な入力出力データ項目、アドバイス項目について述べる。

次に、消費実績に基づく間接制御方法として **SECI** モデルを用いた基本モデル作成し、入力項目、知識データベース、実績データベース、出力データによる省エネアドバイス手法の検討を行った。グラフや箱ひげ図の活用によるデータの見える化、アドバイス項目の選定、アドバイス項目の提示するタイミング等を考慮したアドバイス手法の検討を行い、その基本システムについて述べる。

さらに、省エネルギーアドバイスシステム（**KNOTES**）のプロトタイプシステムによる評価および今後の改善、使い続けるための課題について述べる。

第 5 章では、ライフスタイルの変化および電気製品に対するニーズによる将来の家電製品に対する予測を行った結果について述べる。

まず、将来のライフスタイルと家庭内のエネルギー利用形態の関係を明らかにするため、生活行動、サービスおよび将来技術の関連性について未来予測調査等を用いて検討を行い、将来製品の導入領域マップを作成した。導入領域マップを用いたブレインストーミングにより将来の製品およびサービスについて商品一覧を作成した結果について述べる。

次に、将来の家電製品およびサービスモデルの予測方法として、それぞれの製品に対して行ったニーズ調査について述べる。利用形態について現状の使い方ではなく、モデルによる将来の家電製品イメージ図を作成し、イメージによる嗜好性から製品の利用形態を選

定し、その状況における製品ニーズを抽出するためにアンケート調査を実施した。調査は **Web** により行い、将来の製品に対する評価結果から分析を行った。調査項目には価値観・ライフスタイルなどが含まれており、個人の家電製品の嗜好とエネルギー利用形態の関連性について述べる。

第 6 章では、本研究で得られた結果を総括するとともに、今後取り組むべき研究課題について述べる。

審査結果の要旨

本論文は、家庭内エネルギー消費の評価に関するもので、特に日々のライフスタイルがエネルギー消費の多寡に影響を与えると考え、現状を定量的に調査し、省エネルギー方策を提案し、さらに将来の消費ニーズについて分析結果を述べたものである。過去 20 年間、わが国では、産業用のエネルギー消費の削減に効果が認められるにも拘わらず、家庭での増加が問題視されており、我が国のエネルギー事情を鑑みたときに重要な研究成果をあげていると考えられる。

本論文の特徴は、給湯、暖房、在宅時間などのライフスタイルに関するデータや消費者の価値観のデータを集め、それらとエネルギー消費に関する関連について言及したことであり、次の成果をあげている。

(1) 関東、中部、関西エリアを対象として **2500** 件の電気、ガス、灯油の **24** か月分の使用量を収集し、家族構成・住居環境と価値観等による消費量の多寡要因を分析した。要因として生活における価値観が、家族構成が **3** 人以上の場合認められなかったが、**2** 人以下の場合に、認められることを示した。

(2) エネルギー消費の多寡を決める要因を情報エントロピーにより評価したところ、「他の世帯との光熱費比較」というコスト意識の項目が大きく表れることを確認した。さらにベージアンネットワークの手法で要因の組み合わせからエネルギーの多寡を予測するために適当なノード数が **6** 個であることを示した。

(3) 省エネルギーを推進する一つの考え方である間接制御を実装するためのシステム設計を行い、知識管理技術に基づくアドバイス手法を提案し、実装している。

(4) 将来のエネルギー消費製品（特に電化製品）の導入マップに基づいて、家庭におけ

る生活行動とエネルギー利用形態のパターン分類を行うモデルを構築した。これにより消費者像から製品に対する嗜好を分析したり，製品像からそれを指向する消費者を予測したりすることが可能となった。

以上の研究成果は，知能情報工学分野における環境・エネルギー問題に対する新しいアプローチを示唆しており，特に知識管理技術の発展に貢献したと考えられる。また，申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有することを証したものである。

本委員会は，本論文の審査および最終試験の結果から，申請者に対して博士（工学）の学位を授与することを適当と認める。