

平成 30 年 5 月 1 日現在

機関番号：82626

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07468

研究課題名(和文) 家庭用エネルギー技術の包括的評価手法の開発

研究課題名(英文) A evaluation method of various residential energy technologies

研究代表者

小澤 暁人(Ozawa, Akito)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員

研究者番号：20783640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：これまで個別に評価されてきた需要側(家電製品など)・供給側(燃料電池など)の家庭用エネルギー技術について、導入による経済性・環境性を包括的に評価する手法を開発した。家電・給湯製品の使用実態に基づいて家庭の電力・給湯需要を推計する「需要推計モデル」と、与えられた需要パターンに対して家庭用燃料電池・ヒートポンプ給湯器・太陽光発電による最適なエネルギー供給をシミュレーションする「最適供給モデル」を開発し、両者を統合した。統合モデルによる分析を通じて、家庭用エネルギー技術の導入効果が世帯属性や技術の組み合わせ方によって変化することを定量的に明らかにし、エネルギー技術の効果的な実装に向けた示唆を得た。

研究成果の概要(英文)：We developed a method to evaluate economic and environmental performances of various residential energy technologies that save energy demand (e.g. energy-efficient home appliances) and supply energy efficiently (e.g. fuel cell combined heat and power (FC-CHP)). We developed two models; one model is to estimate residential electricity and heat demand based on questionnaire surveys on home appliances and hot water use, and the other is to simulate optimal energy supply patterns, using residential FC-CHP, heat pump water heater and photovoltaics, and then integrated these two models. From analysis results using the integrated model, we found that performances of residential energy technologies vary depending on household structures and technology combinations, and obtained some suggestions for effective deployment of energy technologies.

研究分野：エネルギー環境システム工学

キーワード：家庭用エネルギー 地球温暖化ガス排出削減 省エネルギー 創エネルギー 家電製品 燃料電池 ヒートポンプ 太陽光発電

1. 研究開始当初の背景

COP21 の地球温暖化「2°C目標」達成に向け、わが国は2050年までに80%の温室効果ガス排出削減を目指しており、そのためには大幅な省エネ・エネルギー利用の低炭素化が不可欠である。石油危機以降わが国の産業部門はエネルギー消費量を40年間で10%削減した一方、家庭部門の消費量は40年間で倍増しており対策の余地が大きい。2050年80%削減に向けた「地球温暖化対策計画案」(2016年5月閣議決定)では、2030年までに家庭部門CO₂排出量を40%削減するために、高効率照明を現在の4倍、燃料電池を32倍導入することなどが記され、これら家庭用エネルギー技術の普及は急務である。この計画達成には、技術をシステムとして捉えて評価し、少ない経済負担で温室効果ガスを削減する技術普及シナリオとそれを実現する技術普及策を示すことが重要で、そのためには技術導入の経済性・環境性を評価するモデルが必要となる。また、スマートメーターなど近年普及しつつあるエネルギー計測技術と評価モデルの融合による、家庭ごとの最適な技術導入提案も期待されており、評価モデルへの関心は高い。技術の経済性・環境性はエネルギー需要パターンに依存するため、評価モデルでは需要パターンを考慮する必要がある。

エネルギー技術には、需要自体を削減する技術(例. 省エネ家電製品)と、需要に対して高効率または低炭素で供給する技術(例. 燃料電池)の2種類がある。前者の技術評価を目的として、家電・給湯製品の使用状況からエネルギー需要を推計するモデルがこれまで開発されている。しかし、これらモデルの家電・給湯製品の使用状況は、生活行動統計から推測することで与えられていた。そこで研究代表者は、家庭での家電・給湯製品の使用実態を調査し、この情報に基づいてエネルギー需要を推計するモデル(以降、需要推計モデル)を開発した。これにより、多種多様な家電・給湯製品を使用実態に即して評価することを可能にした。

これら既往研究の需要推計モデルでは需要側の技術評価は可能であるが、供給側の技術評価には、与えられた需要に対して家庭での最適なエネルギー供給をシミュレーションするモデル(以降、最適供給モデル)が必要となる。しかし、需要推計・最適供給モデルは互いに独立して開発され、需給両方の技術を包括的に評価することによる技術システムの普及策は検討されていない。

2. 研究の目的

本研究では、需要側・供給側の家庭用エネルギー技術について導入の経済性・環境性を評価する手法を開発する。まず、家庭エネルギーの需要推計と供給シミュレーションを一括して行う統合モデル(以降、統合モデル)を開発し、需要側・供給側両方の技術を包括

的に評価可能にする。そして、様々な技術の組み合わせについて経済負担と温室効果ガス排出量を評価して技術の相性を示し、経済・環境の両立するエネルギー技術システムの普及策を提案することを採取的な目的とする。具体的には、以下の3つの手順で研究を実施する。

1) 需要推計モデルの拡張による、省エネ型家電・給湯製品導入時の家庭エネルギー需要の推計

研究代表者がこれまで開発してきた需要推計モデルを拡張して、標準型/省エネ型それぞれの家電・給湯製品を導入した時の家庭エネルギー需要を推計する。

2) 最適供給モデルの開発および家庭エネルギー需給のシミュレーション

1の需要推計モデルで求めた需要に対して、家庭用燃料電池・ヒートポンプ給湯器・太陽光発電を導入した時の最適なエネルギー供給をシミュレーションするモデルを開発する。

3) 統合モデルによる技術導入の経済性・環境性評価および技術システム普及策の検討

1・2のモデルを統合して、家庭エネルギー需要推計と供給シミュレーションを一括して行う統合モデルを開発する。様々な家庭用エネルギー技術の組み合わせについて導入による経済負担と温室効果ガス排出量を評価し、相性の良い組み合わせを示す。

3. 研究の方法

1) 需要推計モデルの拡張による、省エネ型家電・給湯製品導入時の家庭エネルギー需要の推計

a. 家電・給湯製品の性能および費用の調査

需要推計モデルで想定する家電・給湯製品の性能を設定するために、市場の家電・給湯製品の性能を調査した。電力消費量の多い家電製品(冷蔵庫・テレビ・エアコン・照明)を対象に、『省エネ性能カタログ』(資源エネルギー庁)や各メーカーのカタログなどで公表されている性能データを収集した。

同様に、技術導入の経済性評価に必要な製品費用を調査した。具体的には、価格比較ウェブサイト『価格.com』の価格データを参照した。

b. 異なる性能の家電・給湯製品を導入した時の家庭エネルギー需要の推計

家庭エネルギー需要の形態は、家電製品による電力需要とシャワー・湯はりなどの温水需要に分けられる。また、生活行動遷移や自然エネルギー出力変動によるエネルギー需給変化を考慮するには、数分~数十分程度の時間スケールでの分析が必要となる。そこで

1. aの調査結果に基づいて、異なる性能の家電・給湯製品を導入した時の家庭の電力・温水需要を15分刻みで推計した。性能のバリエーションは2種類(標準型・省エネ型)とした。家電・給湯製品の使用実態に基づいて、15分ごとの各家電・給湯製品によるエネ

ルギー需要を積み上げて、家庭全体の電力・温水需要を推計した。推計した家庭エネルギー需要を統計資料の値と比較して、推計の妥当性を評価した。

2) 最適供給モデルの開発および家庭エネルギー需給のシミュレーション

a. 家庭用エネルギー供給機器の性能および費用の調査

モデルの制約条件を決定するために、エネルギー供給機器の性能と費用を調査する。家庭用燃料電池 (PEFC、SOFC)、ヒートポンプ給湯器、太陽光発電を対象に、各メーカーのカタログ収集と既往研究調査を実施し、シミュレーションに必要な機器特性 (最大・最小出力、変換効率、機器価格など) を調査した。同様に、家庭用電力・ガス小売事業者の料金プランを調査し、モデル化に必要なエネルギー情報 (基本料金、従量料金 CO₂ 排出原単位など) を収集した。

b. 太陽光発電の出力推計

太陽エネルギーを利用する太陽光発電の出力は時々刻々の日射量によって変化する。そこで、「地上気象観測 1 分値資料」(提供: 気象業務支援センター)「年間特別日射量データベース (METPV-11)」(提供: NEDO) の日射量データから斜面日射量の 15 分値を求め、2. a で得た変換効率を乗ずることによって、機器の出力を推計した。

c. 家庭用エネルギー供給機器のモデル化

2. a および 2. b で求めた機器の性能・費用に基づいて、家庭用エネルギー供給機器を定式化して最適供給モデルを開発する。モデルの最適化計算は数理計画法の一種である混合整数計画法によって実施し、コスト最小化を目的変数としてエネルギー需給をシミュレーションした。最適化計算の実装にあたっては数理計画ソフト「GAMS」を使用した。

3) 統合モデルによる技術導入の経済性・環境性評価および技術システム普及策の検討

a. モデルの統合と技術導入の経済性・環境性の評価

需要推計モデルと最適供給モデルを統合して、様々な家庭用エネルギー技術の組み合わせを導入した時のエネルギー需給をシミュレーションし、技術導入した場合の家庭の経済負担と温室効果ガス排出量を評価した。

b. 相性の良い技術の組み合わせの提示

3. a での評価結果に基づいて、技術導入の経済性 (経済負担の増加)・環境性 (温室効果ガスの排出削減) の面から相性の良いエネルギー技術の組み合わせを検討した。

4. 研究成果

拡張版の需要推計モデルを用いて、異なる性能の家電・給湯製品を導入した時の家庭の電力・温水需要を 15 分間隔で推計した。季節は夏・冬・中間期 (夏寄り・冬寄り) の 4

通り、家族構成は年代の異なる 2~4 人家族の 10 通り、ライフスタイルは 14 通りを想定し、合計 560 パターン (=4×10×14) の電力・温水需要を推計した。推計した需要を用いて、家電製品を買い替えた時の割引現在価値を家族構成別に評価した (図 1)。割引現在価値は買い替えによる節電額の現在価値から家電製品の購入費用を引いた金額を表し、数値が大きくなるほど家庭にとっての経済的メリットが高いことを意味する。評価に際してモンテカルロシミュレーションを利用し、ライフスタイルの違いによる価値の変化を考慮した。棒グラフは中央値、エラーバーは 68% 信頼区間を表す。評価結果を見ると、冷蔵庫・リビング照明の買い替えはいずれの家族構成の場合でも割引現在価値は有意に正の値を取るのに対して、TV の買い替えは家族構成によって値の正負が変化している。夫婦 2 人と高校生以上の子供がいる家庭 (Scenario 3, 5) で TV の買い替えによる割引現在価値が正となる傾向を示しており、これらの家庭では TV の視聴時間が長いために TV 買い替えによる節電効果が大きいことを示唆している。以上の結果から、家電製品の買い替え効果が家族構成によって異なることを定量的に明らかにした。

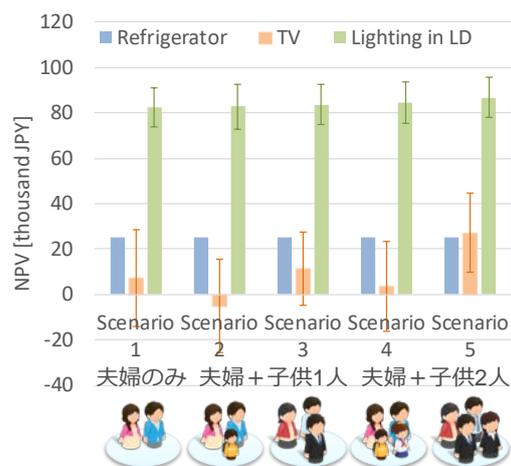


図 1 家族構成別の家電製品買い替えによる割引現在価値

続いて、需要推計モデルと新たに開発した最適供給モデルを統合し、家電・給湯製品の組み合わせによる導入効果の違いを評価した。異なる給湯製品 (従来型給湯器、PEFC) を利用する家庭が家電製品 (冷蔵庫、リビング照明) を買い替えた時の割引現在費用の評価結果を図 2 に示す。割引現在費用は図 1 の割引現在価値と逆の指標で、数値が大きくなるほど家庭にとっての経済的デメリットが高いことを意味する。従来型給湯器を利用する家庭の場合、冷蔵庫・リビング照明のいずれとも買い替えによって割引現在費用が削減できるのに対して、PEFC を利用する家庭では冷蔵庫を買い替えると費用が増加する結果となった。費用増加の理由として、冷蔵庫は常に電力を消費し、家庭のベースロード

を担っているため、省エネ型に買い替えることによってベースロードが落ちてPEFCの稼働率が低下し、結果的にPEFCの経済性が損なわれるためと考えられる。一方で、リビング照明は朝晩のピークロードを担うため、PEFCの運転にさほど影響しない。本研究の分析を通じて、家電・給湯製品の相性を定量的に示すことを実現した。

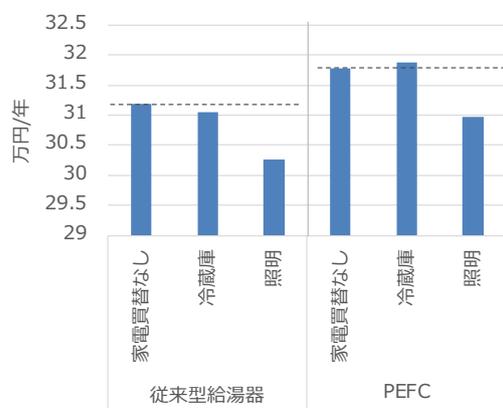


図2 給湯器別の家電製品買い替えによる割引現在費用

本研究では、需要側・供給側の家庭用エネルギー技術について導入の経済性・環境性を評価する手法を開発した。開発した評価手法に基づく分析を通じて、家族構成や家電・給湯製品の組み合わせといった条件の違いによって家庭用エネルギー技術の導入効果が変わることを定量的に明らかにした。

家庭部門の省エネ化を目的とする現行制度(例、省エネラベル、住宅省エネ基準)では、標準的な条件を想定した場合の導入効果を示しており、個々の条件の違いを十分には考慮できていない。その一因として、家庭生活の多様性を把握する術がなかったという課題が挙げられている。近年、スマートメーターなどエネルギー計測技術の普及により家庭ごとの最適な技術導入提案も期待されている。個々の家庭における条件を加味したエネルギー技術評価に基づく、次世代型の家庭部門の省エネ促進策に寄与するという点において、本研究の成果は意義深い。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① 小澤暁人、工藤祐揮、吉田好邦、A new method for household energy use modeling: A questionnaire-based approach、Energy and Buildings、査読有、Vol.162、2018、pp.32-41、DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.12.032

〔学会発表〕(計6件)

- ① 小澤暁人、工藤祐揮、技術の複合利用を

考慮した家庭用エネルギー技術の評価、第13回日本LCA学会研究発表会、2018年3月8日、早稲田大学早稲田キャンパス(東京都新宿区)

- ② 小澤暁人、工藤祐揮、田原聖隆、A cost optimization model for residential energy supply systems - a case study in Japan、7th World Hydrogen Technology Convention (WHTC)、2017年7月12日、Prague Congress Centre (Prague, Czech Republic)

- ③ 小澤暁人、工藤祐揮、田原聖隆、吉田好邦、Energy Saving Effect of Replacement of Home Appliances: A Behavior-Based Approach、11th Asia Pacific Conference on Sustainable Energy & Environmental Technologies (APCSEET)、2017年3月8日、Bihar Agriculture Management & Extension Training Institute (Patna, India)

- ④ 小澤暁人、工藤祐揮、田原聖隆、使用条件の異なる家庭用エネルギー機器によるコスト・CO2排出量、第12回日本LCA学会研究発表会、2017年3月2日、産業技術総合研究所 つくばセンター(茨城県つくば市)

- ⑤ 小澤暁人、吉田好邦、Environmental evaluation of residential fuel cell systems under uncertain energy demands、6th International Conference on Green and Sustainable Innovation (ICGSI)、2016年11月29日、Dusit Thani Bangkok (Bangkok, Thailand)

- ⑥ 小澤暁人、吉田好邦、Environmental assessment of residential fuel cell in different stages of family life、EcoBalance 2016、2016年10月6日、京都テルサ(京都府京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小澤 暁人 (Ozawa, Akito)

産業技術総合研究所・安全科学研究部門・研究員

研究者番号：20783640