

家庭用エネルギー機器の費用最小化運転モデルによる

CO₂ 排出量削減ポテンシャルに関する研究

新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 (2011 年 3 月修了予定)

氏名：服部公裕 学生証番号：47-096680

指導教員：吉田好邦准教授

キーワード：費用最小化運転モデル、家庭用高効率給湯器、CO₂ 排出量削減、感度分析

1. 背景

日本国内のCO₂排出量は増加傾向にあり、地球温暖化問題は深刻さを増している。中でも家庭部門においては世帯数の増加や家電保有数の増加の影響から1990 年以降、エネルギー起源CO₂ が35%も増加しているのが現状である。

地球温暖化対策の重要性が高まる中、2009 年 9 月、我が国は 1990 年比で 2020 年までに温室効果ガスを 25%削減することを表明した。25%削減という目標の達成に向け、2010 年 6 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、家庭部門においては家庭部門のエネルギー消費から発生する CO₂ 排出量を半減させるという内容が盛り込まれた。

家庭部門において給湯はエネルギー消費量の約 3 割を占めており、家庭における省エネを進めるためには、高効率給湯器の普及が重要となる。そのため家庭用高効率給湯器を 2030 年までに全世帯の 8~9 割に普及させることを目指すとされた。

2. 目的

家庭のエネルギー需要はライフスタイルや居住地など様々な要因に影響を受けるので最適な家庭用エネルギー機器を一言に言及することは難しい。そこで本研究では様々な需要家を考慮し、また太陽電池や太陽熱温水器といった自然エネルギー機器との組み合わせまでを含めた家庭用エネルギー機器のシステム評価を行う。

システム評価は利用者視点からは費用を最小化することが望ましいことから費用最適化計算によって行う。費用を最小化することはエネルギー利用量の削減にもつながることから費用最小化による評価は実際の消費者のニーズを捉えた上での CO₂ 排出量削減ポテンシャルの評価と言える。

また、CO₂ 排出量の削減を考えるには現時点だけの削減量ではなく、中長線を視野に入れた削減量が重要となる。そこで現時点でのシステム評価だけではなく、2020~2030 年の中長線を想定した CO₂ 排出量削減ポテンシャルを評価するために排出原単位の改善や技術革新による技術向上などを考慮したシステムの評価も行う。

以上のように様々な観点からシステムの評価を行い、比較をすることで中長期的な視点から CO₂ 排出量の削減に向けて効果的な家庭用エネルギー機器の検討を行う。

3. 評価手法

3.1 エネルギー需要モデル

1 日の電力負荷、給湯負荷については 15 分毎の居住者の行動を考慮した家庭部門需要家の生活行動モデル¹⁾を参考にしてエネルギー需要モデルを作成した。需要家については 4 人世帯と 2 人世帯の 2 パターンを考慮し、それぞれにつき、500 世帯のエネルギー需給モデルを作成し、20 世帯ずつ抽出し、評価の対象とした。

暖房需要については、エアコンと温水床暖房の 2 つを考慮する²⁾。なお、冷暖房負

荷は、札幌／東京／鹿児島 の 3 地域で、次世代省エネ基準住宅と新省エネ基準住宅について SMASH for Windows Ver.2 により作成した。これによって求められた空調負荷モデルに需要家のエネルギー需要モデルと組み合わせることでエネルギー需要モデルを作成した。

3. 2 対象機器

対象とした家庭用給湯器は従来型給湯器に加えて、潜熱回収型給湯器、家庭用燃料電池、HP 給湯器の 4 つである。さらに自然エネルギーとして太陽光発電と太陽熱温水器を対象機器とした。

機器の性能については従来型給湯器を熱効率 80%，潜熱回収型給湯機を熱効率 95%とした。

家庭用燃料電池については発電効率 33% (HHV)，熱回収率 47%の総合効率 80%と設定した。また、部分負荷運転を考慮して負荷率が 30%以下では運転できないように運転モデルを構築した。

HP 給湯器の貯湯ロスを含まない HP ユニット単体の COP (HPCOP) については文献³⁾の実測データを基にして重回帰分析を行い、以下のように推定した。 x は外気温で y は沸き上げ温度である。

$$HPCOP = 0.045x - 0.025y + 4.14 \quad (1)$$

この重回帰分析の標本数は 96 で重決定係数は 0.71 である。外気温については気象庁の 2009 年の 1 時間ごとの気象情報を基にして期別に時間帯別の平均気温を求めた値を用いる。これによって時間帯別の外気温を(1)式に代入することで HPCOP は 1 日の気温変化による影響を反映した値となる。また沸き上げ温度については、文献³⁾を参考にして暖房期は 85℃、中間期は 80℃、冷房期は 75℃に設定した。これらの値を代入して求めた HPCOP (東京) を期別に図 1 に示す。また、対象とした 3 地域についての 1 日の平均 HPCOP を示したものが表 1 である。下段のカッコ内に示した値は深夜電力の利用

時間帯 (23 時～7 時) での平均の HPCOP の値である。

また、貯湯槽の放熱ロスについては家庭用燃料電池、HP 給湯機ともに 3(%/hour) とした。

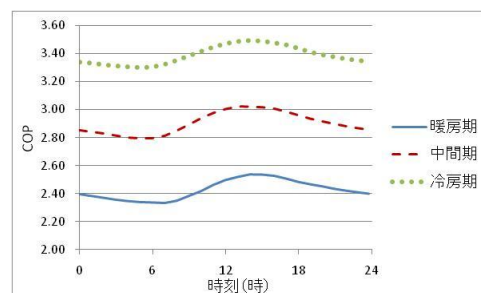


図 1 1 日の時間帯別の HPCOP (東京)

表 1 地域別の 1 日の平均 HPCOP

	暖房期	中間期	冷房期
札幌	2.16 (2.09)	2.91 (2.81)	3.23 (3.16)
東京	2.43 (2.36)	2.90 (2.82)	3.39 (3.32)
鹿児島	2.51 (2.44)	2.91 (2.80)	3.46 (3.37)

3. 3 経済性と環境性の評価について

初期コストについては各給湯機の実価格を参考にして従来型給湯機は 32 万円、潜熱回収型給湯機は 36 万円、家庭用燃料電池 346 万円は、HP 給湯器は 70 万円とし、さらに現行制度の補助金を考慮した。また、それぞれの機器の耐用年数を 10 年とし、1 年あたりの初期コストに換算した。ランニングコストについては東京電力と東京ガスの料金体系を参考にして計算を行った。

環境性については分散電源による系統の代替電源や深夜電力を考慮できるように 2 つの計算手法に基づいて CO₂ 排出量の計算を行った。

家庭用燃料電池については自家発電分の代替電源を火力発電としたものをケース 1、全電源平均としたものをケース 2 とした。それぞれのケースでの CO₂ 排出量の計算式を式 (2)、(3) に示す。

$$CO_2 = H_{all} \times E_{pur} + CO_{2home} - (H_{thermal} - H_{all}) \times E_{home} \quad (2)$$

$$CO_2 = H_{all} \times E_{pur} + CO_{2home} \quad (3)$$

CO_2 : CO_2 排出量

CO_{2home} : 分散電源からの CO_2 排出量

H_{all} : 全電源平均の排出原単位

$H_{thermal}$: 火力発電の排出原単位

E_{pur} : 系統からの買電量

E_{home} : 分散電源での発電量

HP 給湯機に関しては深夜電力を利用する際に深夜電力の排出原単位を考慮して計算したものをケース 1、深夜電力の利用であっても全電源平均の排出原単位を利用して計算したものをケース 2 とした。

従来型給湯機と潜熱回収型給湯機に関しては両ケースとも計算に区別はなく、同様に全電源平均の排出原単位を利用して計算を行った。

排出原単位については系統電力の全電源平均は電気事業連合会の公表データを参考にして $0.44 \text{ (kg-CO}_2\text{/kWh)}$ 、火力発電の平均は $0.69 \text{ (kg-CO}_2\text{/kWh)}$ とした。深夜電力については全電源平均の 7 割を排出原単位とした。都市ガスについては CO_2 排出原単位を $2.21 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^3\text{)}$ とした。

3. 4 最適化計算の概要

最適化計算は時期別に総費用を目的関数として最小化することで行う。主な制約条件とは電力需給制約、給湯需要制約、貯湯槽の容量制約、機器の性能制約などがあり、従来型給湯器、潜熱回収型給湯器、HP 給湯器に関しては線形計画法を、家庭用燃料電池に関しては 0-1 混合整数計画法を利用して解く。

この最適化計算を基にして費用最小化問題時のコスト、 CO_2 排出量を計算する。

4. 機器のシステム評価の結果

需要家を次世代省エネ基準住宅の 4 人世帯で暖房をエアコンとした場合の各給湯機のシステム評価の結果を図 2 に示す。今回の全ての分析において同様の需要家を想定することとする。

まず経済性についての比較を行う。総コストについては初期費用の高さから家庭用燃料電池が極めて高く、他の 3 機器に関してはほぼ同等ではあるが HP 給湯機が最も経済性が優れている。この傾向に地域差はなく、3 地域とも同様の傾向が得られた。ランニングコストに関しては全地域について HP 給湯器、家庭用燃料電池、潜熱回収型給湯機、従来型給湯機の順に低くなっており、HP 給湯器に関しては従来型給湯機と比較して 3 地域とも 2 割程度の削減効果がある。

次に環境性について比較を行う。まずケース 1 の計算手法では家庭用燃料電池の火力代替効果が極めて大きく、3 地域とも従来型給湯機と比較して 40% 以上の削減効果がある。ケース 2 の計算手法においても家庭用燃料電池では 2 割程度の削減効果を有しており、環境性能に優れていると言える。HP 給湯器は札幌において寒冷地であることから COP が他地域と比較して小さくなる影響で HP 給湯器にすることで従来型給湯機と比較して CO_2 排出量が増加するという結果が得られた。また、潜熱回収型給湯機が HP 給湯器より若干ではあるが CO_2 排出量が少なくなっている。

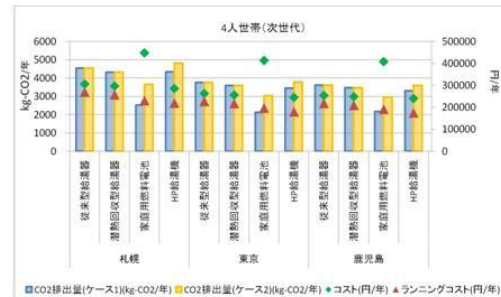


図 2 各給湯機の地域別のシステム評価

5. 感度分析

5. 1 系統電力の排出原単位

中長期を想定した場合、系統電力の CO_2 排出原単位の向上が見込まれることから排出原単位の改善による CO_2 排出量(ケース2)の感度分析を行った。

図3に東京における結果を示す。東京では CO_2 排出原単位が $0.318 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}$ 以下になると HP 給湯器の CO_2 排出量が最も少なくなる。札幌では $0.298 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}$ 以下、鹿児島で $0.322 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}$ 以下で HP 給湯器の CO_2 排出量が最も少なくなった。

家庭用燃料電池については系統電力の CO_2 排出原単位の変化による影響は少なく、 $0.24 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}$ 以下では最も CO_2 排出量が大きくなった。

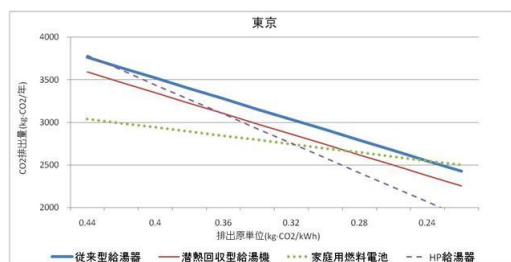


図3 系統電力の排出原単位の感度分析結果(東京)

5. 2 家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレークイーブン

家庭用燃料電池と HP 給湯器の性能向上を考慮し、東京において家庭用燃料電池と HP 給湯器の CO_2 排出量が等しくなる効率を系統電力の CO_2 排出原単位別に図4に示す。

系統電力の CO_2 排出原単位がいくつであっても家庭用燃料電池の発電効率が向上することで HP 給湯器も HPCOP を現状よりおきくしなければならないことが分かる。系統電力の CO_2 排出原単位別に見ていくと、系統電力の CO_2 排出原単位が低下することで家庭用燃料電池と CO_2 排出量が等しくなる HP 給湯器の HPCOP は小さくなる。よって系統電力の CO_2 排出原単位の改善は機器の技

術革新が起こり、性能が向上した際には HP 給湯器に優位に働くと言える。

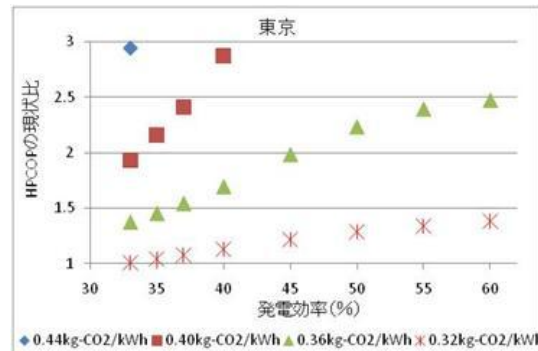


図4 家庭用燃料電池と HP 給湯器の環境性のブレークイーブン(東京)

6. まとめ

本研究では様々な観点からシステム評価を行った。現状の場合では CO_2 排出量の観点からは家庭用燃料電池が最も優れていると言える。中長期的な視点では系統電力の CO_2 排出原単位が変化した場合には現状ケースにおいても技術革新時においても HP 給湯器の環境優位性が高まることを示した。

参考文献

- 1) 河野孝史；一般生活者の行動パターンに基づく住宅用エネルギーシステムの研究，2004 年度東京大学卒業論文，(2005)
- 2) 榎堀都；温熱快適性と省エネ行動を考慮した家庭用高効率エネルギー機器導入に関する研究，2007 年度東京大学大学院修士論文，(2008)
- 3) 三村拓也，北山広樹，村川三郎，濱田靖弘，鍋島美奈子，高田宏；住宅用貯湯式給湯システムの機器稼働実態と性能評価に関する研究 その13 CO_2 ヒートポンプ給湯器(08 年モデル)の機器稼働実態，第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンスプログラム，(2010)