



燃料電池を用いた家庭用コージェネレーションシステムに関する研究

前田, 和茂

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2010-09-25

(Date of Publication)

2011-02-18

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5067

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005067>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 前田 和茂
博士の専攻分野の名称 博士（工学）
学 位 記 番 号 博い第 5067 号
学位授与の 要 件 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位授与の 日 付 2010 年 9 月 25 日

【 学位論文題目 】

燃料電池を用いた家庭用コージェネレーションシステムに関する研究

審 査 委 員

主 査 教 授 八坂 保能
教 授 阿部 重夫
教 授 小川 真人
准教授 竹野 裕正

(別紙1) 論文審査の結果の要旨

氏名	前田和茂		
論文題目	燃料電池を用いた家庭用コージェネレーションシステムに関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	八坂保能
	副査	教授	阿部重夫
	副査	教授	小川真人
	副査	准教授	竹野裕正
			印
要旨			
<p>本論文は、家庭における一次エネルギー消費量とCO₂排出量の削減という観点から、家庭用エネルギー供給システムの比較評価を行い、その中で特にシステムの導入効果が高いと考えられる家庭用固体高分子型燃料電池(Polymer electrolyte fuel cell; PEFC)コージェネレーションシステムについて、その最適な構成、運転制御方法に関する研究をまとめたものであり、7章から構成され、各章の概要は以下に示す通りである。</p> <p>第1章では、近年の省エネルギー・低炭素社会実現に向けた社会的背景と家庭用PEFCコージェネレーションシステムの位置付けについて述べ、現在における研究状況について説明している。この中で、家庭用PEFCコージェネレーションシステムの構成・運用方法とその導入効果についての研究報告は、大規模実証事業での成果報告をはじめ、様々に行われてきているものの、その他の省エネルギーシステムとの比較検討により総合的に評価がなされた例は少なく、十分とは言えない点を指摘している。これらの点から、家庭用PEFCコージェネレーションシステムを含む省エネルギーシステム全般の評価・検討を総合的に行う必要性について説明すると共に、独自に行ったフィールドテストから取得したデマンドデータを用いた評価手法について説明し、本研究の意義と目的について述べている。</p> <p>第2章では、日本におけるエネルギー需要とCO₂排出量に関する現状分析を行うことで、課題と解決策の方向性を示し、本論文で評価対象とする家庭でのエネルギー需要データについて考察を加えている。日本国内のエネルギー消費量とCO₂排出量は年々増加しており、部門別で見ると家庭部門の増加が著しく、家庭部門での問題は、内訳で見ると給湯用エネルギーは減少傾向にあるものの動力用として消費される電力の増加に起因することを指摘している。よって、給湯用として消費される一次エネルギーとCO₂排出量を削減するのみならず、動力用、即ち、電力として消費される一次エネルギーとCO₂排出量を合わせて削減することができれば、家庭部門での課題解決のための有効な手段と成り得ることを指摘している。これらのことから、家庭部門での給湯需要を賄いつつ、電力消費による一次エネルギーとCO₂排出量の削減に効果があると期待されている家庭用PEFCコージェネレーションシステムの導入は対策として効果的である可能性が高いと結論づけている。</p> <p>第3章では、家庭用エネルギー供給システムを比較評価し、それぞれのシステムに関する適用範囲を明確にしている。家庭用エネルギー供給システムとして、商用電力と従来型ガス給湯器によるものを従来システムとして基準に置き、潜熱回収型給湯器、自然冷媒ヒートポンプ式給湯器、家庭用PEFCコージェネレーションシステムとの比較評価を実際の需要データを用いて行った。自然冷媒ヒートポンプ式給湯器については、深夜電力時間帯を主な運転時間帯に設定する運転とし、家庭用PEFCコージェネレーションシステムについては、日々起動停止運転を適用するなど実システム運用に極めて近いものであると考えられる。この結果、潜熱回収型給湯器は3システム中で最も削減効果が低く、一次エネルギー削減に関して自然冷媒ヒートポンプ式給湯器が家庭用PEFCコージェネレーションシステムを部分的には上回る結果となったが、家庭用PEFCコージェネレーションシステムのCO₂排出削減量は自然冷媒ヒートポンプ式給湯器の10.0～15.0%に対して7.1～21.7%と大きく上回る結果を示すことを指摘している。</p>			

氏名	前田和茂
<p>第4章では、著者らが開発した運転計画法を搭載した家庭用PEFCコージェネレーションシステムのフィールドテスト結果について評価を行い、その導入効果を実運転により確認するとともに、従来の運転計画法との比較検討をシミュレーションベースで行っている。このシステムに採用した運転計画法では、需要予測によって、連続運転である電力負荷追従運転、出力上昇運転、出力抑制運転、および不連続運転が自動選択される。この結果、従来システムや電力需要追従運転と比較して優位性を有することを、エネルギー需要の大小それぞれの特徴的な運転例を示して詳しく評価している。</p> <p>第5章では、第3章と第4章で明らかとなった課題を解決すべく、家庭用PEFCコージェネレーションシステムの導入効果を最大化するシステム設計、運転方法を提案、評価している。従来、システムの運転制御期間において運転評価期間を24時間に固定する方法が取られてきた。しかしながら、家庭用エネルギー供給の効率化を図る観点からはさらに長周期の評価を行う運転計画法が望ましいと考えられる。ただし、コージェネレーションシステムでは熱供給系における放熱等の損失が大きいため、これを考慮しない長周期の運転計画は急速に効果が縮減する。これらのことから、運転計画周期とその運転計画を評価する評価期間を24時間に加えて48時間とする新たな運転計画法を提案し、その適用により、導入効果として一次エネルギー削減率が2.0～2.6、CO₂排出量削減率が2.7～3.2%の改善効果が得られることを示した。</p> <p>また、PEFC運転方式のうちで出力上昇運転は部分負荷効率が低いシステムでは有効であり、出力抑制運転は起動ロスが大きいシステムで有効であったが、PEFCの技術開発に伴いそれらの運転方法の優位性が失われつつある。そこで、出力上昇運転の考え方を発展させ、余剰エネルギーを蓄電池に蓄えることによりさらに導入効果の向上が可能であることを示している。この方式により、8kWhの蓄電池を導入したシステムでは、一次エネルギー削減率が4.2%、CO₂排出量削減率が5.0%の改善効果となることを明らかにしている。これらに加えて、蓄電池容量の変化に対する削減率への影響についても検討を行い、家庭用PEFCコージェネレーションシステムに搭載する蓄電池容量として4kWh程度で十分な削減効果が得られることにも言及している。</p> <p>第6章では、集合住宅に対するPEFCコージェネレーションシステムの適用例を示し、その導入効果について評価を行っている。集合住宅ではPEFCシステムが高密度で多数台設置され、また、システムの一層の小型化が要求される。そこで、外部から水素を供給して運転する水素駆動のPEFCコージェネレーションシステムを提案し、その特徴を生かすべく電力融通による住棟全体での一次エネルギー削減を図る運転計画法を提案、実証、評価している。この結果、ユニット制御による運転例では、1日あたり1住戸で系統電力とガス給湯器を15.0%使った場合に必要な一次エネルギー184.7MJに対して、従来運転方法の水素PEFCコージェネレーションシステム導入では177.7MJ、一次エネルギー削減率は3.8%となり、提案運転方法では、一次エネルギー176.1MJ、削減率は4.7%に改善することをシミュレーションにより示した。従来運転方法を用いた実機運転でも、運転結果から一次エネルギーを求めると177.5MJ、一次エネルギー削減率は3.9%という結果が得られたことから、本論文における評価方法の正当性を裏付けるものと考えられる。また、集合住宅棟内での電力融通・統合制御による運転例では、一次エネルギー削減効果が18.7%となり電力融通しない場合を7.1%上回る結果を得ている。</p> <p>最後に、第7章において本研究で得られた成果の総括を行う構成となっている。</p> <p>以上のように、本論文は、エネルギー消費量とCO₂排出量の削減に対して特にシステムの導入効果が高いと考えられる家庭用PEFCコージェネレーションシステムについてその最適な構成、運転制御方法に関する研究を行ったものであり本研究分野に新しい知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって学位申請者の前田和茂は、博士(工学)の学位を得る資格があるものと認める。</p>	

本論文は、家庭におけるエネルギー消費量と CO₂ 排出量の削減という観点から、代表的な家庭用エネルギー供給システムの比較評価を行い、その中で特にシステムの導入効果が高いと考えられる家庭用 PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell) コージェネレーションシステムを取り上げ、その最適な構成、運転制御方法に関する研究をまとめたものである。

第 1 章では、本研究の背景となる最近の家庭用 PEFC コージェネレーションシステムに関する状況を述べ、本研究の目的を示した。

第 2 章では、日本におけるエネルギー需要と CO₂ 排出量に関する状況分析を行うことで、課題とその解決策の方向性を示し、本論文で評価対象とする家庭でのエネルギー需要データについて考察を加えた。

日本国内のエネルギー消費量と CO₂ 排出量は年々増加しており、部門別で見ると家庭部門の増加が著しい。家庭部門における課題は、動力用として消費される電力に起因することがわかった。これらのことから、家庭部門での電力消費による一次エネルギーと CO₂ 排出量の削減に効果があると期待されている家庭用 PEFC コージェネレーションシステムの導入が、対策として効果的である可能性があるとの結論を得た。

第 3 章では、家庭用エネルギーシステムを比較評価し、それぞれのシステムの導入効果を明確にした。

商用電力と従来型ガス給湯器による従来システムを基準に置き、潜熱回収型給湯器、自然冷媒ヒートポンプ式給湯器、家庭用 PEFC コージェネレーションシステムを実際の需要データを用いて比較評価を行った。自然冷媒ヒートポンプ式給湯器については、深夜電力時間帯を主な運転時間帯に設定する運転、家庭用 PEFC コージェネレーションシステムについては、Daily Start and Stop (DSS) 運転を適用した。潜熱回収型給湯器は 3 システム中、最も削減量が小さくなった。一次エネルギー削減に関しては自然冷媒ヒートポンプ式給湯器が家庭用 PEFC コージェネレーションシステムを上回る結果となったが、CO₂ 排出削減量に関しては家庭用 PEFC コージェネレーションシステムが優位であることがわかった。

第 4 章では、著者らが開発した運転計画法を搭載している家庭用 PEFC コージェネレーションシステムのフィールドテスト結果を用いて、その導入効果を実運転データにより評価することで確認した。

このシステムに採用されている運転計画法では、需要予測によって連続運転である電力負荷追従運転、出力上昇運転、出力抑制運転と不連続運転が自動選択される。そこで、エネルギー需要の大小それぞれの特徴的な運転例を評価し、従来システムや電力需要追従運転と比較して優位性を有することを示した。

第 5 章では、第 3 章と第 4 章で明らかにした課題を解決すべく、家庭用 PEFC コージェネレーションシステムに関し、その導入効果を最大化するシステム設計、運転方法を提案、評価した。

運転計画周期とその運転評価期間を 24 時間に固定する DSS 運転計画法に対して、運転計画周期とその運転計画を評価する評価期間を 24 時間に加えて 48 時間とする新たな運転計画法の適用により、導入効果を大幅に向上ができることを示した。

また、出力上昇運転は、部分負荷効率が低いシステムでは有効であり、出力抑制運転は起動損失が大きいシステムでは有効であったが、PEFC の技術開発に伴い、その重要性が薄まった。そこで、出力上昇運転の考え方を発展させ、蓄電池導入によりさらに導入効果の向上が可能であることを示した。

第 6 章では、集合住宅に対する PEFC コージェネレーションシステムの適用例を示し、その導入効果について評価を行った。

集合住宅では PEFC システムが高密度で多数台設置される。また、システムの一層の小型化が要求される。そこで、外部から水素を供給して運転する水素駆動の PEFC コージェネレーションシステムを提案し、その特徴を生かし、電力融通による住棟全体での一次エネルギー削減を図る運転計画法を提案、実証、評価した。

第 7 章では、本研究で得られた成果の総括を行った。