学位論文題名

再生可能エネルギー・燃料電池活用型住宅用

複合システムに関する研究

学位論文内容の要旨

エネルギーの有効利用および地球環境負荷の低減化の観点から、住宅や個々の建築物における再生可能エネルギーの適正な導入手法とエネルギー自律化のための新たな技術開発が必要不可欠である。今後、エネルギー自律型住宅の普及に向けては、再生可能エネルギーの利用基盤を段階的に強化することが不可欠であり、そのために燃料電池によるコージェネレーションシステムに代表される従来型エネルギーの新利用形態と再生可能エネルギーとの複合化を展開することが緊急の課題であると考えられる。固体高分子形燃料電池は、常温から80℃程度の低温域で作動することから材料の低コスト化が可能となるとともに、比較的容易な起動・停止、高い総合効率と環境保全性、静音性などの特性を有し、実用化に向けた技術開発が国内外で進められている。住宅用燃料電池の適正な運転形態に関しては、解析的にはその高い省エネルギー効果が確認されている。一方、実機の発電・排熱回収特性の詳細な運転実績に基づく導入可能性評価が報告された例はない。さらに、再生可能エネルギーと燃料電池コージェネレーションシステムをハイブリッドに活用した住宅用複合システムの可能性を明らかにするためには、燃料電池および再生可能エネルギーの特性と複合的活用、コージェネレーションシステムの運転制御、給湯・暖房・融雪方式、および建物を統合したトータルシステムとしての評価を行うことが必要である。

本論文は、固体高分子形燃料電池の特性と実用可能性を明らかにし、戸建て住宅における導入効果に関して電力、給湯、暖房、融雪需要を考慮し総合的に評価するとともに、再生可能エネルギーと燃料電池を活用した住宅用複合型エネルギーシステムのあり方について提案することを目的としている。

本論文は8章より構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、燃料電池コージェネレーションの現状と実用化見通しを展望し、再生可能エネルギーと燃料電池の複合システム、さらにエネルギーネットワーク化に向けた未来像を示すとともに、本論文の構成を示した。

第2章では、国内外における燃料電池開発・利用技術に関する既往の研究を要約し、その問題点を述べるとともに、寒冷地における独自のシステム構築の必要性を述べた。さらに、再生可能エネルギー利用の既往の研究を概説し、燃料電池との複合型エネルギーシステムを提案することの意義を明確化し、本論文の位置づけを示した。

第3章は、固体高分子形燃料電池の性能評価を実施したものである。まず、発電特性と排熱回収特性に関する実験を行った結果、定格出力時の直流端発電熱効率、排熱

回収熱効率は、それぞれ 42.5%、49.2%と極めて高い値を示した。次いで、部分負荷特性、排熱回収水入口温度の影響、起動および追従性、排ガスに関する環境性について明らかにした。さらに、実際の給湯利用の前段として、貯湯槽の特性に関する計測を行うとともに、連続運転時においても安定した性能が得られることを示した。

第4章では、固体高分子形燃料電池による電力・給湯システムの実証実験と導入効果の解析を実施したものである。まず、標準的な電力・給湯負荷を適用した三種類の実証実験を行い、ダブル DSS (Daily Start and Stop) 運転の一次エネルギー削減率が最大で 24%に達することを示した。次いで、札幌の世帯の冬期の負荷を取り上げた場合の一次エネルギー削減量は、標準的な中間期のエネルギー需要を適用した実験結果を上回っており、寒冷地においては、燃料電池の導入効果が、特に冬期において大きくなることを明らかにした。さらに、燃料電池コージェネレーションシステムの最適容量の解析を行い、逆潮を認めない場合の燃料電池の最適容量は 0.9 kW (標準・ダブル DSS 運転) となることを示した。逆潮を許容した場合には、容量の小型化を図ることが可能である。

第5章は、燃料電池排熱の暖房利用に関して、独自のコージェネレーションシステムを開発し、実証実験とシミュレーションによる評価を行うとともに、住宅の暖房環境を対象として、衣服、設定室温、エネルギー消費量の関係を整理し、暖房エネルギーの削減を図ることを目的としたものである。燃料電池排熱をヒートポンプと組み合わせ、排熱の暖房利用可能なシステムとして構築する事により一次エネルギーおよび二酸化炭素排出量削減に寄与することを示した。また、暖房負荷削減の観点から、設定室温とデグリデーに基づく暖房エネルギーの簡易予測式、および設定室温と追加着衣量の関係式を提示し、設定室温を低下させた場合の省エネルギー効果、衣服の追加着用による設定室温の低下と省エネルギー効果に関する計算例を示した。さらに、札幌市内の戸建て住宅を対象として、暖房期間のモニタリングを実施し、期間エネルギー消費量が予測値に概ね近い傾向を示すことを検証するとともに、省エネルギー対策による一次エネルギー削減効果の試算を行った。

第6章は、燃料電池排熱の融雪利用に関して、画像解析を導入した路面融雪運転制御との複合システムを開発し、雪処理の大幅な省エネルギー化を図ることを目的としたものである。まず、対象路面画像の積分処理、明るさ検出処理、濃度拡張処理、二階調化処理による積雪判定手法を提示するとともに、試験装置、制御プログラムを作成した。次いで、制御プログラムにおける各種処理精度の実験を行い、歩行者、自動車などの動的な外乱、日射、日影、照明などによる画像データ明るさの相違の影響に起因する誤作動をおおむね防止し得ることを確認した。さらに、一般に用いられる路面融雪運転制御法の一つとして降雪センサを取り上げ、運転時間の比較を行った結果、大幅な削減効果が得られた。

第7章は、再生可能エネルギーと燃料電池を活用した住宅用複合型エネルギーシステムの実証実験と評価を実施したものである。まず、太陽エネルギー・燃料電池複合による電力・給湯システムの晴天日における実験を札幌において実施し、従来方式に対する一次エネルギー削減率が 46.6%となることを示した。さらに、システムの適正な規模と導入効果に関するシミュレーションを行った結果、逆潮を許容しない場合の札幌における多結晶シリコン型太陽電池、固体高分子形燃料電池の一次エネルギー消費量を最小とする最適容量はそれぞれ 27 m² (最大出力: 2.8 kW)、1.1 kW となった。ソーラーコレクタとの複合利用についても熱利用を給湯に限定した場合の燃料電池の

最適容量は札幌において 1 kW 程度になることを明らかにした。さらに、燃料電池排熱を地下熱利用と組み合わせ、排熱の暖房・融雪への適用が可能なシステムの試作を行い、冬期は連続運転により省エネルギー・環境保全に大きく寄与することを示した。

第 8 章では、本研究で得られた結果を要約して述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 窪 田 英 樹
副 査 教 授 横 山 真 太 郎
副 査 教 授 繪 内 正 道
副 査 助 教 授 濱 田 靖 弘

学 位 論 文 題 名

再生可能エネルギー・燃料電池活用型住宅用 複合システムに関する研究

エネルギーの有効利用および地球環境負荷の低減化の観点から、住宅や個々の建築物における再生可能エネルギーの適正な導入手法とエネルギー自律化のための新たな技術開発が必要不可欠である。今後、再生可能エネルギーの利用基盤を段階的に強化することが不可欠であり、そのために燃料電池によるコージェネレーションシステムに代表される従来型エネルギーの新利用形態と再生可能エネルギーとの複合化を展開することが緊急の課題であると考えられる。

本論文は、固体高分子形燃料電池の特性と実用可能性を明らかにし、戸建て住宅における導入効果に関して電力、給湯、暖房、融雪需要を考慮し総合的に評価するとともに、再生可能エネルギーと燃料電池を活用した住宅用複合型エネルギーシステムのあり方について提案することを目的としたものである。

本論文は8章より構成される。

第1章では、燃料電池コージェネレーションの現状と実用化見通しを展望し、再生可能エネルギーと燃料電池の複合システム、さらにエネルギーネットワーク化に向けた未来像を示すとともに、本論文の構成を示している。

第2章では、国内外における燃料電池開発・利用技術に関する既往の研究を要約し、その問題点を述べるとともに、寒冷地における独自のシステム構築の必要性を述べている。さらに、再生可能エネルギー利用の既往の研究を概説し、燃料電池との複合型エネルギーシステムを提案しようとする本論文の意義を明確にしている。

第3章は、固体高分子形燃料電池の性能評価を実施したものである。まず、発電特性と排熱回収特性に関する実験を行った結果、定格出力時の直流端発電熱効率、排熱回収熱効率は、それぞれ42.5%、49.2%と極めて高い値を得ている。次いで、部分負荷特性、排熱回収水入口温度の影響、起動および追従性、排ガスに関する環境性について明らかにしている。さらに、貯湯槽の特性に関する計測を行うとともに、連続運転時においても安定した性能が得られることを示している。

第4章では、固体高分子形燃料電池による電力・給湯システムの実証実験と導入効

果の解析を実施したものである。まず、標準的な電力・給湯負荷を適用した三種類の実証実験を行い、ダブル DSS (Daily Start and Stop) 運転の一次エネルギー削減率が最大で 24% に達することを示している。次いで、札幌の世帯の冬期の場合の一次エネルギー削減量は、標準的な中間期のエネルギー需要を適用した実験結果を上回っており、寒冷地においては、燃料電池の導入効果が、特に冬期において大きくなることを明らかにしている。さらに、燃料電池コージェネレーションシステムの最適容量の解析を行い、逆潮を認めない場合の燃料電池の最適容量は 0.9 kW (標準・ダブル DSS 運転) となることを明らかにしている。逆潮を許容した場合には、容量の小型化を図ることが可能であるとしている。

第 5 章は、燃料電池排熱を利用して暖房エネルギーの削減を図ることを目的としたものである。独自のコージェネレーションシステムを開発し、実証実験とシミュレーションによる評価を行っている。燃料電池排熱をヒートポンプと組み合わせ、排熱の暖房利用可能なシステムを構築した場合、一次エネルギーおよび二酸化炭素排出量削減に大きく寄与することを明らかにしている。また、暖房負荷削減の観点から、設定室温とデグリデーに基づく暖房エネルギーの簡易予測式、および設定室温と追加着衣量の関係式を提示し、衣服の追加着用による設定室温の低下と省エネルギー効果に関する計算例を示している。さらに、札幌市内の戸建て住宅を対象としてモニタリングを実施し、期間エネルギー消費量が予測値に概ね近い傾向を示すことを検証するとともに、省エネルギー対策による一次エネルギー削減効果を試算している。

第 6 章は、燃料電池排熱の融雪利用に関して、大幅な省エネルギー化を図ることを目的として、画像解析を導入した路面融雪運転制御との複合システムを開発している。まず、対象路面画像の積分処理、明るさ検出処理、濃度拡張処理、二階調化処理による積雪判定手法を提示するとともに、試験装置、制御プログラムを作成している。次いで、制御プログラムにおける各種処理精度の実験を行い、歩行者、自動車などの動的な外乱、日射、日影、照明などによる画像データ明るさの相違の影響に起因する誤作動をおおむね防止し得ることを確認している。さらに、路面融雪運転制御法の一つとして一般に用いられる降雪センサと比較し、大幅な削減効果を確認している。

第 7 章は、再生可能エネルギーと燃料電池を活用した住宅用複合型エネルギーシステムの実証実験と評価を実施したものである。まず、太陽エネルギー・燃料電池複合による電力・給湯システムの晴天日における実験を札幌において実施し、従来方式に対する一次エネルギー削減率が 46.6% となることを示している。さらに、システムの適正な規模と導入効果に関するシミュレーションを行い、固体高分子形燃料電池等設備の一次エネルギー消費量を最小とする最適容量を明らかにしている。

第 8 章は、本研究で得られた結果の要約である。

これを要するに、本論文は、固体高分子形燃料電池の戸建て住宅への導入効果を電力と熱需要を考慮して総合的に評価するとともに、再生可能エネルギーと燃料電池を活用した住宅用複合型エネルギーシステムのあり方について論じたものであり、暖房工学、建築環境工学、エネルギー利用工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。