



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	自然エネルギー・燃料電池活用型複合システムに関する研究-暖房・融雪システムの実験と評価-
Author(s)	羽田, 豊; 濱田, 靖弘; 中村, 真人 他
Description	第11回衛生工学シンポジウム (平成15年11月6日 (木) -11月7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 一般セッション . 5 建築・都市環境とエネルギー有効利用 . P5-2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 11, 199-202
Issue Date	2003-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7080
Type	departmental bulletin paper
File Information	11-5-2_p199-202.pdf



5-2

自然エネルギー・燃料電池活用型複合システムに関する研究

—暖房・融雪システムの実験と評価—

○羽田 豊 (北海道大学) 濱田 靖弘 (北海道大学) 中村 真人 (北海道大学)
窪田 英樹 (北海道大学) 落藤 澄 (北海道大学) 後藤隆一郎 (北海道ガス)

はじめに

本報は、これまで調査および数値解析等により、その有効性について検討してきた自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システム^{1)~3)}の導入可能性を実証的に明らかにすることを目的として、北海道大学構内の実験用建て住宅“ローエネルギーハウス”に燃料電池試験機^{4)~9)}を設置し、燃料電池と地盤熱源ヒートポンプ複合システムによる暖房と融雪の実証実験と評価を行ったものである。まず、住宅における熱電比の季節別変動に対して、自然エネルギー、ヒートポンプ、燃料電池を複合的に利用するシステムの考え方を提示するとともに、実規模実験施設の概要について報告する。本実験の融雪運転では、路面状況の画像解析・制御システムを採用している。次いで、暖房・融雪の運転実績を整理し、省エネルギー・環境保全・経済性に関する評価を実施する。

1. 自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの考え方

既報⁹⁾では、電力・給湯需要に、それぞれ空気調和・衛生工学学会空気調和設備委員会の予測プログラム¹⁰⁾により算出した4人家族の電力需要、建築環境・省エネルギー機構による給湯負荷テストモデル(Lモード)¹¹⁾を適用し、発電出力1kWの固体高分子形燃料電池を用いたコージェネレーションシステムの解析と実験を行い、図-1に示すダブルDSS(Daily Start and Stop)運転(燃料電池の1日の発停回数を2回とした場合)の省エネルギー効果が最も高くなることを示した(2002年6月26日~28

日に実施した実験値)。一方、近年の燃料電池の開発動向を考慮した場合、時々刻々変動する電力需要に完全に追従した運転を求めることは現状では困難であると言える。また、頻繁に発停を繰り返すことは耐用年数を短くする要因となる。図-2に筆者らが測定を行った比較的電力需要の大きい世帯の代表日における電力消費の変動(測定間隔:5分)¹²⁾を示す。熱需要とのバランスについても考慮する必要があるが、中間期の電力・給湯システムとしては、低負荷による連続運転と需要が増加する時間帯における定格運転を組み合わせた方式も現状では一つの考え方となると考えられる。

実験住宅では、冬期間は地盤熱源ヒートポンプシステムによる暖房運転を実施している¹³⁾が、ヒートポンプを連続運転した場合の電力消費(照明ほかを含む)の時刻別変動は図-3に示すようになり、中間期と比較して電力需要は大幅に増加することになる。燃料電池とヒートポンプの複合利用を考慮した場合には、給湯・暖房の熱需要を両者でハイブリッドに賄うことになり、燃料電池による発電出力をヒートポンプの動力として使用することによって、燃料電池の稼働率が向上する。

さらに、既報⁹⁾では、太陽エネルギー(多結晶シリコン型太陽電池:14.4m², 平板型太陽熱集熱器:8m²)と燃料電池の複合利用効果に関する実験結果について報告しているが、図-4の結果に見られるように、十分な日射量が得られる場合には、日中は太陽エネルギーを最大限取り入れ、夜間に燃料電池を稼働させることによって、大幅な省エネルギー効果が得られること

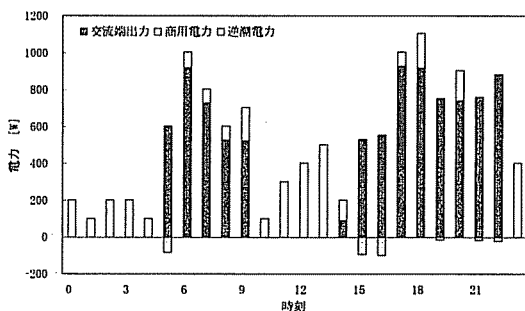


図-1 ダブルDSS運転の実験結果

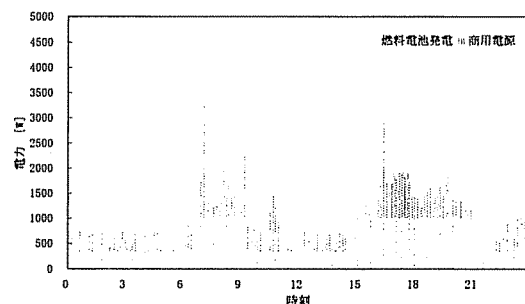


図-2 電力消費の実測例と燃料電池利用の考え方

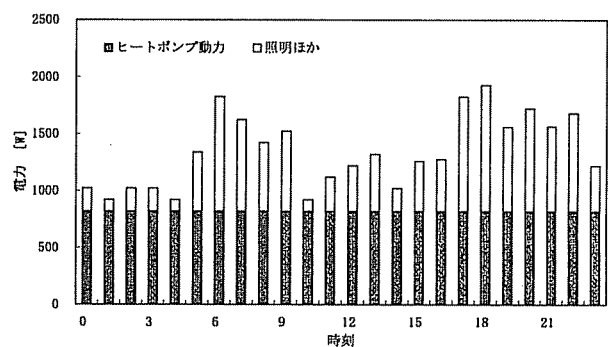


図-3 冬期の電力消費の変動

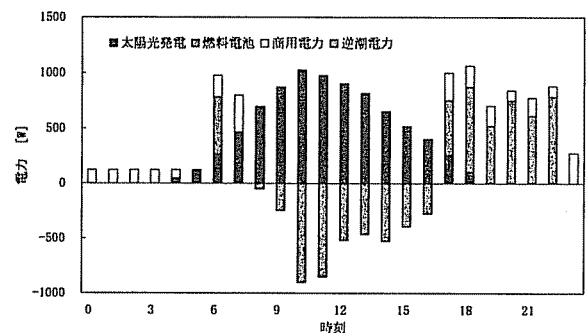


図-4 太陽光発電との複合利用の実験結果

表-1 測定項目と測定機器

測定項目	測定機器
原料ガス流量	燃料電池ユニット内蔵センサ
発電出力(直流・交流)	
排熱回収水流量・温度	膜式メータ
原燃料消費量	
発電量・電力消費量	普通電力計
貯湯槽内水温	K熱電対
原燃料温度	シース型K熱電対
補給水温度	
出湯温度	
出湯量	羽根車式流量計
排水量	メスシリンダ
排ガス温湿度	温湿度センサ
周囲温湿度	
外気・室内温湿度	温湿度センサ
熱媒温度	白金測温抵抗体またはシース型T熱電対
熱媒循環流量	羽根車式流量計
電力量	普通電力量
全天日射量	エブリ日射計
風速	風向・風速計
太陽光・風力発電	電流・電圧計
融雪路面画像	画像センサ

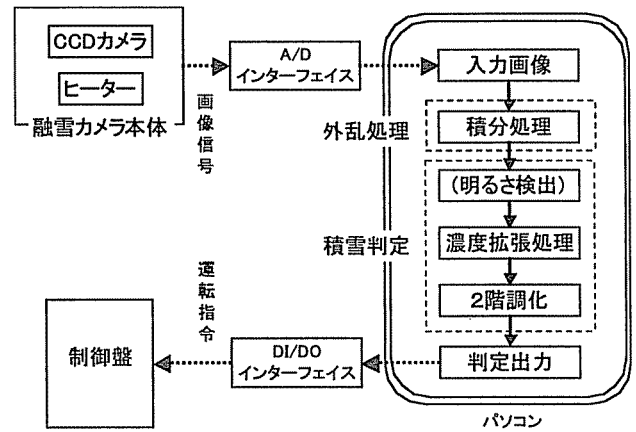


図-7 融雪路面画像解析・制御システムの概念図

想定して、貯湯槽下部排熱をヒートポンプの熱源として利用する運転も可能とした。

2.2 測定項目と測定機器

表-1に測定項目と測定機器を示す。燃料電池ユニット内には、ガス流量・温度、発電量(直流発電端・交流インバータ端・交流送電端)、排熱回収水循環流量・出入口温度などに関する各種測定機器を内蔵しており、パーソナルコンピュータによって10秒間隔で記録した。また、燃料電池ユニットの外部にガス流量計(膜式メータ)、電力量計、温度センサ(貯湯槽内水温5点、出湯温度、原燃料温度)、出湯流量計を設置し、10秒間隔にてデータログによる測定を行った。この他、実験住宅内の温湿度、熱媒温度・循環流量、各種電力量のためのデータログ(測定間隔:5分)、全天日射量、風速、太陽光・風力発電のためのデータログ(測定間隔:30秒)を合わせ、総計200点以上の測定点を擁している。本報では、2002年12月18日(1kW)、2003年2月27日~3月6日(0.5kW)における運転の結果について報告する。

2.3 融雪路面画像解析・制御システム

本実験の融雪運転では、図-7に示す画像解析・制御システムを採用した。従来の融雪制御は、温度センサ、水分センサなどを複合的に用いるものであるが、路面状況を的確に捉えること

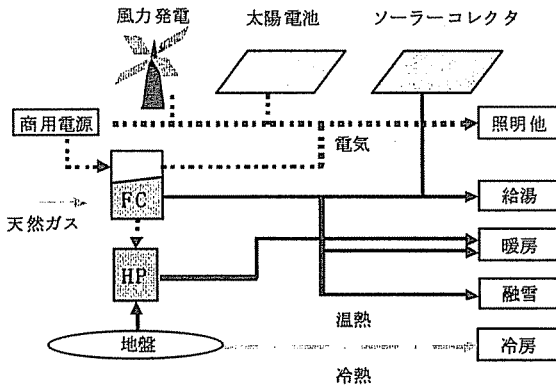


図-5 自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの概念図

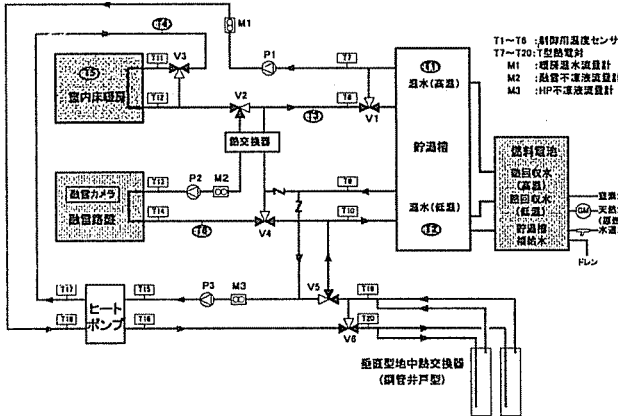


図-6 暖房・融雪システムの系統図

を示している。これらの検討を踏まえ、住宅における熱電比の季節別変動に対して、自然エネルギー、ヒートポンプ、燃料電池を複合的に組み合わせた住宅用複合システムの考え方を整理すると図-5に示すようになる。戸建て住宅単体としてばかりでなく、コミュニティ規模におけるシステム構築も今後必須となると考えられる。

2. 実験概要

2.1 実験施設の概要

図-6に実験住宅における暖房・融雪システムの系統図を示す。実験住宅玄関周囲に新規に設置した融雪路盤の面積は、12.5 m²である。燃料電池の電気出力は定格運転時にて1 kW(交流端)、また、75%、50%負荷出力での運転も可能である。熱出力は約60°Cの温水として貯湯槽に供給される。貯湯槽の有効容量は200 Lであり、温度成層型の利用を行う。暖房と融雪は燃料電池の排熱で加温された貯湯槽温水と熱交換し、熱取得するもので、貯湯槽上部の高温水を暖房に、下部の低温水を融雪にそれぞれ利用する。運転は、各箇所に取り付けられたセンサの信号を制御システムにより統括し、電磁弁、搬送用ポンプの制御を行う。暖房運転に関しては、低負荷時には燃料電池のみによる熱供給が可能であるが、大部分は、地盤熱源ヒートポンプシステムにより加温して利用することになる。融雪については、貯湯槽下部排熱を用いて運転を行うが、これについてもヒートポンプによる補助加熱が可能な配管とした。また、貯湯槽内の温度成層の乱れにより、燃料電池の排熱回収運転に影響が生じる場合を

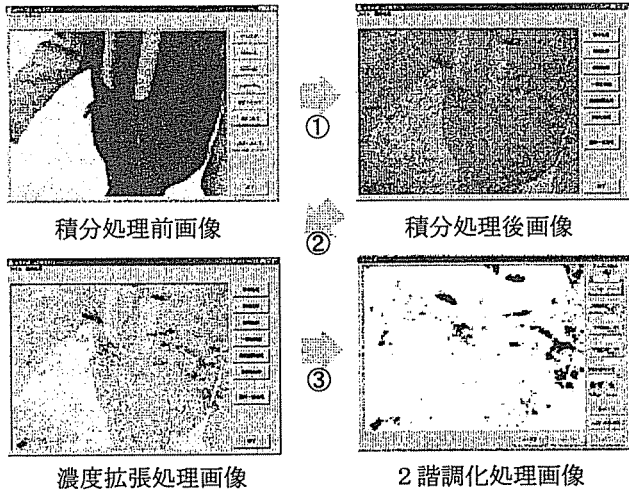


図-8 処理画像の一例

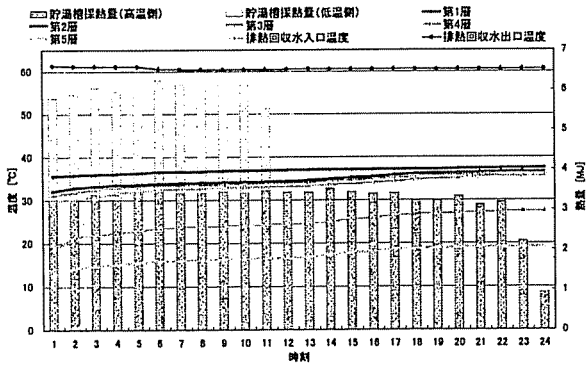


図-9 燃料電池排熱回収量・温度，貯湯槽内水温の変動
(2002年12月18日)

が困難であり，過剰なエネルギー消費の要因となる場合が多いと考えられる．そこで，積雪判定の精度の向上による運転時間の軽減をめざして，本システムを導入した．融雪カメラには凍結防止用ヒータを内蔵し，CCDカメラにより取り込んだ画像をパーソナルコンピュータで以下の処理を実施する．

- 1) 積分処理 画像データの時間的積分によって平均値を算出し，歩行者，自動車などの動的な外乱の影響の低減，コントラストの平準化を行う．
- 2) 濃度拡張処理 輝度値の範囲を明るさに応じて変更することによって，任意の外界条件における高精度の積雪判定を可能とする．
- 3) 2階調化 通常の白黒画像（グレースケール256階調）を2値化（白・黒）し，積雪の有無を判断する．
これらの処理プロセスの例を図-8に示す．

3. 運転実績と評価

図-9，図-10にそれぞれ代表日（2002年12月18日，燃料電池出力：1 kW）における燃料電池排熱回収熱量・温度，および暖房・融雪の運転実績を示す．燃料電池からの排熱回収水出口温度は約61℃であり，貯湯槽上部から暖房用に平均3.2 MJ/hの採熱を行った．暖房への平均送水温度，供給熱量は，それぞれ31.1℃，13.1 MJ/h（最低外気温度：-6.1℃）であり，室内平均気温は21.2℃と良好であった．また，0～10時には，画像解析・制御システムにより融雪運転を実施しており，熱媒送り温

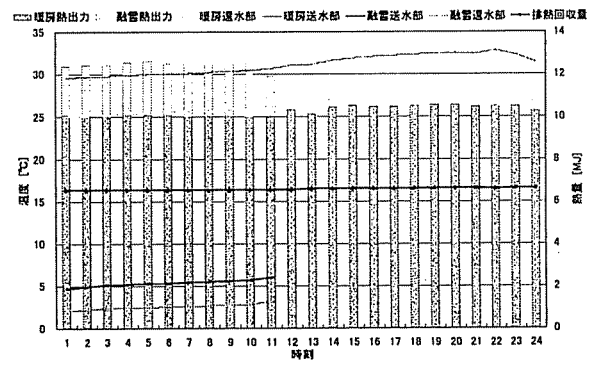


図-10 暖房・融雪システムの運転実績（2002年12月18日）

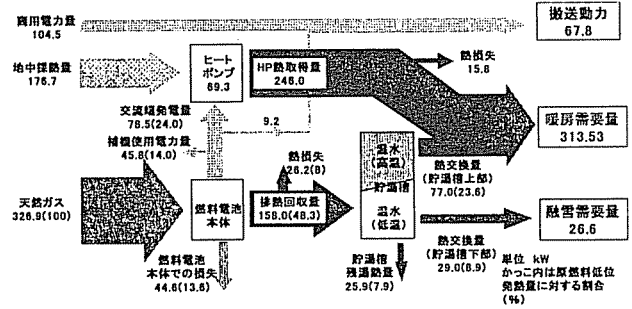


図-11 暖房・融雪システムのエネルギーフロー

度，CGS (Cogeneration System) 排熱利用出力は，それぞれ5.3℃，53.4 W/m²（単位路盤面積あたり）であった．図-11にシステムのエネルギーフローを示す．燃料電池の排熱回収熱効率，交流端発電熱効率は，それぞれ48.3%，24.0%であった．また，暖房のCGS，HP (Heat Pump) 依存率は，それぞれ23.8%，76.2%（電力21.5%，地下熱54.7%）であった．

図-11，図-12に2003年2月27日～3月5日（燃料電池出力：0.5 kW）に行った連続運転時における燃料電池排熱回収水温度・熱量，および暖房・融雪の運転実績を示す．代表日3月4日における燃料電池からの排熱回収水出口温度は約59℃であり，貯湯槽上部から暖房用に平均1.6 MJ/hの採熱を行った．暖房への平均送水温度，供給熱量は，それぞれ31.0℃，10.1 MJ/h（最低外気温度：-5.0℃）であり，室内平均気温は22.9℃と良好であった．また画像解析・制御システムにより融雪運転を実施しており，熱媒送り温度，CGS (Cogeneration System) 排熱利用出力は，それぞれ6.0℃，35.6 W/m²（単位路盤面積あたり）であった．図-12にシステムのエネルギーフローを示す．燃料電池の排熱回収熱効率，交流端発電熱効率は，それぞれ48.0%，24.1%であった．また，暖房のCGS，HP (Heat Pump) 依存率は，それぞれ13.4%，86.6%（電力32.3%，地下熱54.3%）であった．

まとめ

- 1) 固体高分子形燃料電池を住宅に適用し，熱電比の季節別変動に対して，自然エネルギー（太陽，地下熱），ヒートポンプ，燃料電池を複合的に組み合わせることによって適応する自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの考え方を提示した．
- 2) 北海道大学構内の実験用建て住宅“ローエネルギーハウス”に燃料電池試験機を設置し，自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの実規模実験施設を建設し

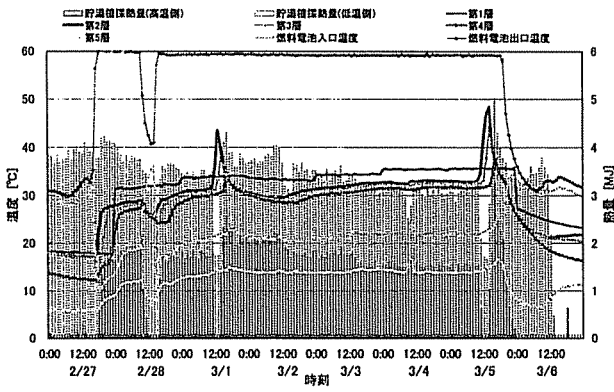


図-12 燃料電池排熱回収量・温度、貯湯槽内水温の変動
(2003年2月27日～3月6日)

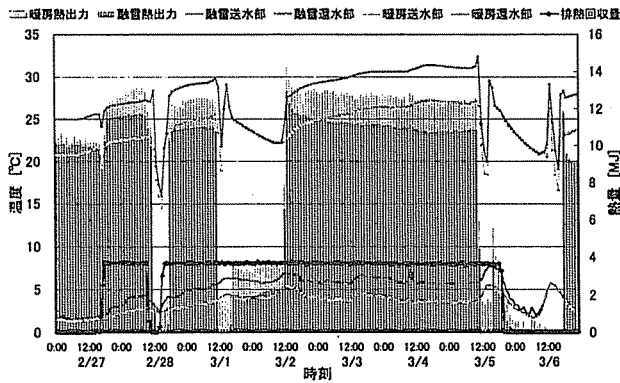


図-13 暖房・融雪システムの運転実績
(2003年2月27日～3月6日)

た。排熱回収のための貯湯槽の上・下層に、それぞれ暖房・融雪用の熱交換器を設置し、地盤熱源ヒートポンプとの併用による各種の運転が可能である。

- 3) 本実験の融雪運転では、路面状況の画像解析・制御システムを採用した。このシステムを採用することで、従来の融雪制御より積雪判定精度の向上が図られ、省エネルギー化に寄与すると考えられる。
- 4) 代表日における(2002年12月18日)における暖房のCGS・HP依存率は、それぞれ23.8%、76.2%(電力21.5%、地下熱54.7%)であった。ヒートポンプの電力消費量は全て燃料電池により賄われた。また、融雪への送水温度、およびCGS排熱出力は、それぞれ5.3°C、53.4 W/m²(単位路盤面積あたり)であった。

終わりに、本研究の遂行にあたり、荏原バート株式会社、および株式会社荏原製作所の関係諸氏に多大なご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

本研究の一部は、空気調和・衛生工学会北海道支部設備技術研究会“燃料電池による住宅用エネルギーシステムの導入可能性評価”小委員会[委員長：窪田英樹(北海道大学教授)]によった。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)14550587“実証実験に基づく自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの開発と総合評価”(研究代表者：同上)によった。

参考文献

1) M. Murase: A study on generation capacity and operation methods of the household cogeneration system utilizing fuel cell by simulation, Proceedings of the Third International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air-Conditioning—CCHVAC 2000 (Nov., 2000), pp. 343~348

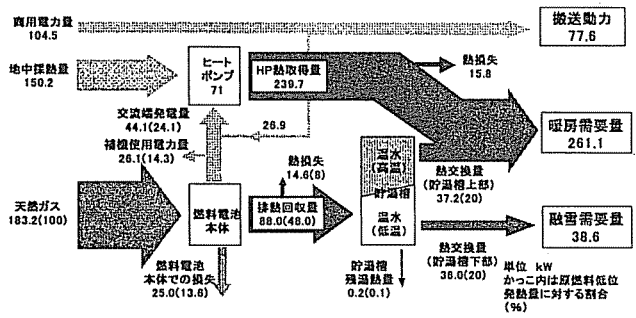


図-14 暖房・融雪システムのエネルギーフロー (2003年3月4日)

表-2 各負荷率による実験結果

燃料電池負荷率 [%]		100	50
平均外気温 [°C]		-1.2	-3.3
平均室内温度 [°C]		21.2	22.9
暖房	暖房供給熱量 [MJ]	313.5	261.1
	供給温度 [°C]	31.1	31.0
	貯湯槽高温部採熱量 [MJ]	77.0	37.2
	HP供給熱量 [MJ]	246.0	239.7
	HP成績係数 [-]	3.6	3.4
	土壌採熱量 [MJ]	176.7	150.2
土壌側不凍液平均温度 [°C]		-3.6	-4.7
融雪	融雪供給熱量 [MJ]	26.6	38.6
	貯湯槽低温部採熱量 [MJ]	29.0	36.0
供給温度 [°C]		5.3	6.0
燃料電池	総合熱効率 [% (LHV)]	72.3	72.1
	発電熱効率 [% (LHV)]	24.0	24.1
	排熱回収熱効率 [% (LHV)]	48.3	48.0
	発電量 [MJ]	78.4	44.1
	排熱回収量 [MJ]	158.0	87.9
排熱回収温度 [°C]		60.6	59.2

2) 濱田靖弘・窪田英樹・中村真人・伊藤 健・横山真太郎・落藤 澄・中島祐一・新庄博之・村瀬光則・後藤隆一郎：燃料電池による住宅用コージェネレーションシステムの省エネルギー性に関する検討，北海道大学衛生工学会第9回衛生工学シンポジウム論文集(2001-11)，pp. 17~20

3) 濱田靖弘・窪田英樹・中村真人・小杉智紀・横山真太郎・落藤 澄・中島祐一・新庄博之・村瀬光則・後藤隆一郎：自然エネルギーと燃料電池の複合利用を考慮した住宅用エネルギーシステムに関する研究，北海道大学衛生工学会第9回衛生工学シンポジウム論文集(2001-11)，pp. 21~26

4) 後藤隆一郎・中島祐一・新庄博之・村瀬光則・濱田靖弘・中村真人・伊藤 健・小杉智紀・羽田 豊・横山真太郎・窪田英樹・落藤 澄：燃料電池による住宅用エネルギーシステムの導入可能性評価(第1報)発電・排熱回収特性に関する実験，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9)，pp. 1353~1356

5) 羽田 豊・濱田靖弘・中村真人・小杉智紀・伊藤 健・横山真太郎・窪田英樹・落藤 澄・中島祐一・新庄博之・村瀬光則・後藤隆一郎：燃料電池による住宅用エネルギーシステムの導入可能性評価(第2報)電力・給湯システムに関する実験，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9)，pp. 1357~1360

6) 後藤隆一郎・村瀬光則・濱田靖弘・中村真人・窪田英樹・伊藤 健・横山真太郎・落藤 澄：実証実験に基づく自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの開発と総合評価(第1報)燃料電池による電力・給湯システムの実験，空気調和・衛生工学会北海道支部第37回学術講演会論文集(2003-3)

7) 伊藤 健・濱田靖弘・中村真人・窪田英樹・横山真太郎・落藤 澄・村瀬光則・後藤隆一郎：実証実験に基づく自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの開発と総合評価(第2報)燃料電池の運転特性と導入効果に関する解析，空気調和・衛生工学会北海道支部第37回学術講演会論文集(2003-3)

8) 小杉智紀・濱田靖弘・中村真人・窪田英樹・横山真太郎・落藤 澄・村瀬光則・後藤隆一郎：実証実験に基づく自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの開発と総合評価(第3報)太陽エネルギー・燃料電池の複合利用の実験，空気調和・衛生工学会北海道支部第37回学術講演会論文集(2003-3)

9) 小杉智紀・濱田靖弘・中村真人・窪田英樹・横山真太郎・落藤 澄・村瀬光則・後藤隆一郎：実証実験に基づく自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの開発と総合評価(第4報)太陽エネルギー・燃料電池の適正規模と導入効果に関する解析，空気調和・衛生工学会北海道支部第37回学術講演会論文集(2003-3)

10) 空気調和設備委員会 住宅の省エネルギー計算委員会：住宅のエネルギー計算用設定条件のモデル化(1996-10)，空気調和・衛生工学会

11) 省エネルギーハンドブック編集委員会：省エネルギーハンドブック'98(1998-4)，住宅・建築省エネルギー機構

12) 濱田靖弘・中村真人・落藤 澄・村越千春・鶴崎敬大・横尾美雪・成田涼子・鳴原 亮・長倉香織・横山真太郎：札幌における家庭用エネルギー消費量とその季節別変動に関する実測と評価，空気調和・衛生工学会論文集，82(2001-7)，pp. 29~37

13) 濱田靖弘・落藤 澄ら：自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する研究(第1~4報)，空気調和・衛生工学会論文集(1999~2002