



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	燃料電池活用型戸建て住宅用コージェネレーションシステムの実験と評価
Author(s)	伊藤, 健; 濱田, 靖弘; 中村, 真人 他
Description	第10回衛生工学シンポジウム (平成14年10月31日 (木) -11月1日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 建築環境・エネルギー利用 . P3-5
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 10, 65-68
Issue Date	2002-10-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7102">https://hdl.handle.net/2115/7102</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	10-3-5_p65-68.pdf



### 3-5 燃料電池活用型戸建て住宅用コージェネレーションシステムの実験と評価

○伊藤 健 (北海道大学) 濱田 靖弘 (北海道大学)  
 中村 真人 (北海道大学) 小杉 智紀 (北海道大学)  
 羽田 豊 (北海道大学) 横山真太郎 (北海道大学)  
 窪田 英樹 (北海道大学) 落藤 澄 (北海道大学)  
 中島 祐一 (北海道ガス) 山田 隆一 (北海道ガス)  
 村瀬 光則 (北海道ガス) 後藤隆一郎 (北海道ガス)

#### はじめに

これまで当研究室では、平成13年12月から発電出力1kWの固体高分子形燃料電池を北海道大学構内の実験戸建て住宅“ローエネルギーハウス”に設置し、燃料電池活用型住宅用エネルギーシステムの導入可能性評価を実証的に明らかにすることを目的として、発電・排熱回収特性に関する実験<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>を行ってきた。

本研究では、固体高分子形燃料電池を導入した電力・給湯システムの省エネルギー性、環境保全性、経済性について評価を行うものである。まず、試験機の実測値に基づく熱効率、部分負荷効率を与え、各種の運転条件を設定し、一次エネルギー削減率の解析を行う。次いで、解析結果により選定した運転方式について、住宅での利用を想定した実規模実験を行い、システムの導入可能性について評価する。

#### 1. 燃料電池導入効果の解析

##### 1.1 検討対象と計算条件

既報<sup>1)</sup>の実測値に基づく熱効率、部分負荷特性を与え、固体高分子形燃料電池を導入した電力・給湯システムの一次エネルギー削減効果の解析を行った。表-1、表-2に計算条件と結果を示す。ここで、従来方式は商用電源およびガスボイラ(熱効率:0.75<sup>3)</sup>、電力消費量:200W)とした。

深夜(23時~6時)の運転を避け、検討対象とした運転方式は表に示す18種類である。試験機の冷機起動時に定格出力に到達するまでに時間が約83分であることから、1日の発停回数の上限を2回とした。運転方式は、電主熱従、熱主電従のいずれかを考え、逆潮する場合には、電力需要に最も近い負荷率で運転する場合[有(小)]と商用電源をできるだけ使わない場合[有(大)]を想定した。試験機の排熱回収水入口温度の上限値が35℃であり、電力供給継続のために、熱利用せずに貯湯槽の換水を行う場合(無効排熱有)についても計算を行った。

表-1 計算条件と結果(発停回数1回)

計算番号	方式	逆潮	無効排熱	運転時間	一次エネルギー削減率 [%]	
					逆潮含まず	逆潮含む
RUN1	電主熱従	無	無	17時~23時	11.35	11.35
RUN2		無	有	17時~23時	11.35	11.35
RUN3		有(小)	無	12時~23時	6.12	17.32
RUN4		有(小)	有	6時~23時	-1.60	14.93
RUN5		有(大)	無	12時~23時	5.01	17.42
RUN6		有(大)	有	6時~23時	-7.70	13.41
RUN7	熱主電従	無	無	17時~23時	11.35	11.35
RUN8		有(小)	無	12時~23時	6.12	17.32
RUN9		有(大)	無	15時~23時	0.84	17.18

なお、解析に用いた電力・給湯需要には、それぞれ空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会の予測プログラム<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>による給湯負荷テストモデル(Lモード)を適用している。

##### 1.2 計算結果と考察

発停回数1回、すなわちDSS(Daily Start and Stop)運転では、逆潮が認められない場合の一次エネルギー削減率は、6時間(17時~23時)運転(RUN1,2,7)時に11.35%で最大となった(表-2)。その他の計算では、削減率は数%にとどまっており、特に、無効な換水を行った場合には、逆にエネルギー消費が増大する結果となった。逆潮を許容した場合は、いずれの運転方式も10%以上の削減率が得られており、11時間(12時~23時)運転(RUN5)時に17.42%で最大となった。

1日の発停回数を2回までとした場合には、DSS運転と比較して省エネルギー性は向上した。逆潮を認めない評価においても削減率は高くなっており、10時間(6時~10時, 17時~23時)運転(RUN10,11,16)時に16.28%で最大となった。一方、逆潮を許容した場合は18.55%[RUN12,17:12時間(6時~10時, 15時~23時)]に達する結果となった。

今回の計算は、電力供給継続のための無効な換水は、ほとんど導入効果がないことを示しており、従来の大規模CGS(Cogeneration System)の評価にあるような電主熱従、熱主電従運転の相違の議論の前段に排熱有効利用を優先する必要があると言える。

#### 2. 燃料電池活用型戸建て住宅用コージェネレーションシステムの実験概要

各種運転条件における一次エネルギー削減率の解析結果に基づき、3種類の条件を抽出し、実規模実験を行った。図

表-2 計算条件と結果(発停回数2回)

計算番号	方式	逆潮	無効排熱	運転時間	一次エネルギー削減率 [%]	
					逆潮含まず	逆潮含む
RUN10	電主熱従	無	無	6時~10時, 17時~23時	16.28	16.28
RUN11		無	有	6時~10時, 17時~23時	16.28	16.28
RUN12		有(小)	無	6時~10時, 15時~23時	11.67	18.55
RUN13		有(小)	有	6時~14時, 17時~23時	9.24	17.78
RUN14		有(大)	無	6時~10時, 16時~23時	9.60	18.40
RUN15		有(大)	有	6時~10時, 14時~23時	2.63	16.75
RUN16	熱主電従	無	無	6時~10時, 17時~23時	16.28	16.28
RUN17		有(小)	無	6時~10時, 15時~23時	11.67	18.55
RUN18		有(大)	無	6時~9時, 17時~23時	8.52	17.58

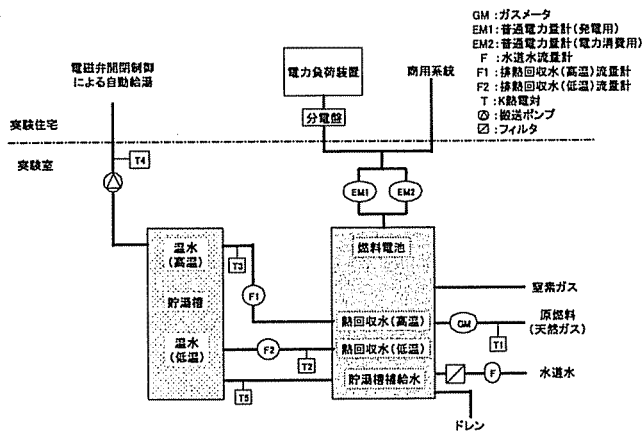


図-1 実験装置系統図

表-3 実験条件と実験日程

実験番号	日程	運転方式	負荷率				
			100%	75%	50%	25%	
1	2002年4月 26~27日	DSS運転 (17時~23時)	時刻	0	6	12	18
			出湯量 [L]	79.5	15.9	31.6	49
2	2002年5月 17~18日	DSS運転 (12時~23時)	時刻	0	6	12	18
			出湯量 [L]	79.5	15.9	31.6	49
3	2002年6月 26~28日	発停回数2回 (6時~10時, 15時~23時)	時刻	0	6	12	18
			出湯量 [L]	79.5	15.9	31.6	49

-1, 表-3 に、それぞれ実験装置系統図、実験条件と実験日程を示す。実験装置は、既報<sup>2)</sup>と同様であるが、住宅内に電力負荷装置、自動給湯のための制御装置を付加している。1. における電力需要を模擬的に再現するための電力負荷装置は、0.1~6 kW (0.1 kW 毎) の範囲を最小で15分毎に設定することが可能であるが、今回は1時間毎に変動を与えるものとした。給湯に関しては、テストモデルに従い、電磁弁の開閉を制御し、浴室で出湯を行った。出湯温度が設定値(42℃)以上の場合には等熱量換算水量を出湯し、設定値に達していない場合には、所要水量と温度から追焚熱量を求めたものとした。実験は、表-3 に示す負荷変動で実施した。いずれの実験も表中の日程のうち2日間(48時間)同じスケジュールを繰り返し、2日目の運転実績について評価を行った。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 DSS 運転 (12時~23時)

図-2 に実験 2 における直流端発電熱効率、交流端発電熱効率、および排熱回収熱効率の変動を示す(低位発熱量基準)。2 日目における直流端発電熱効率の平均値は 40.2% であり、既報<sup>1)</sup>と同様の結果が得られている。また、総合熱効率(交流端)は 70.9% であった。

図-3 に時刻別電力収支の内訳を示す。電力量の正側に住宅内で消費された燃料電池の交流端出力、商用電力を示し、逆潮電力量は負側とした。1 日あたりの電力需要量 42.4 MJ に対して、逆潮を含めない燃料電池の交流端出力は 22.3 MJ であり、CGS 依存率は 52.7% であった。逆潮を含む場合は

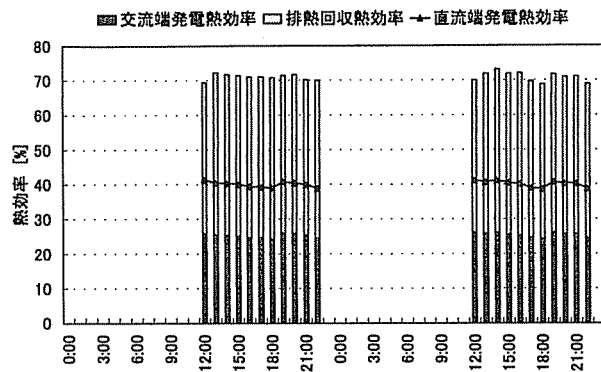


図-2 熱効率の変動 (実験 2)

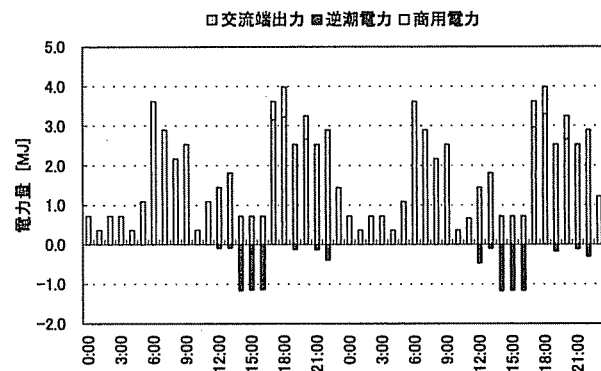


図-3 時刻別電力収支の内訳 (実験 2)

63.8% となる。

図-4 に時刻別熱収支の内訳を示す。ここで正側の蓄熱量は、水道水温度基準の積算値であり、負側は給湯に利用した排熱量、および補助加熱量(追焚熱量)を示している。日中から夜の運転により、夕方の全給湯需要と入浴用の 76.4% を賄う結果となった。朝の給湯需要については、入浴以降 23 時までの運転で 40.6% 賄っている。日総計の給湯の CGS 依存率は 67.7% であった。

図-5 に一次エネルギー消費量の比較を示す。従来方式との比較は、4 段階で行った。右端が実際の一次エネルギー消費量であり、削減率は 14.8% となった。また、燃料電池起動時のエネルギー消費量、および待機時電力消費量については、今後の改善が必要と考えられることから、実際の消費量からこれらを差し引いた場合についても検討した。起動、待機時のいずれかのみを除いた消費量の比較を行った結果、いずれの要因も削減率を数%悪化させているが、僅かに待機時電力消費の影響の方が大きくなっており、今後対策を講ずるのは、比較的容易であると考えられる。二つの要因を除いた場合には、削減率は 20% を超える結果となった。

#### 3.2 発停回数 2 回 (6時~10時, 15時~23時)

図-6 に実験 3 における直流端発電熱効率、交流端発電熱効率、および排熱回収熱効率の変動を示す(低位発熱量基準)。1 日目の午後に燃料電池の運転が僅かに不安定になったが、考察に用いる 2 日目の運転への影響は小さいと考え、実験を続行した。直流端発電熱効率、総合熱効率(交流端)は、そ

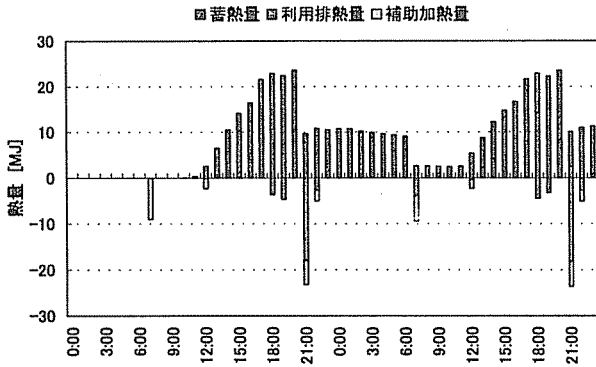


図-4 時刻別熱収支の内訳 (実験 2)

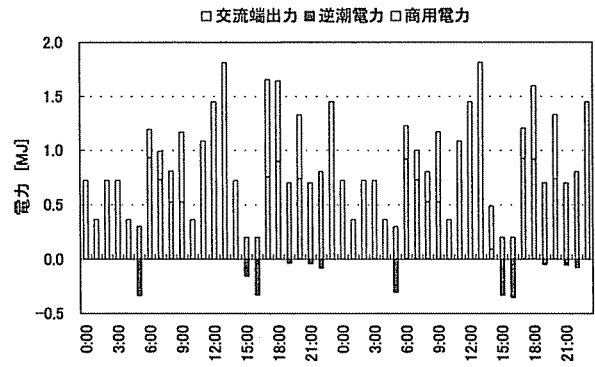


図-7 時刻別電力収支の内訳 (実験 3)

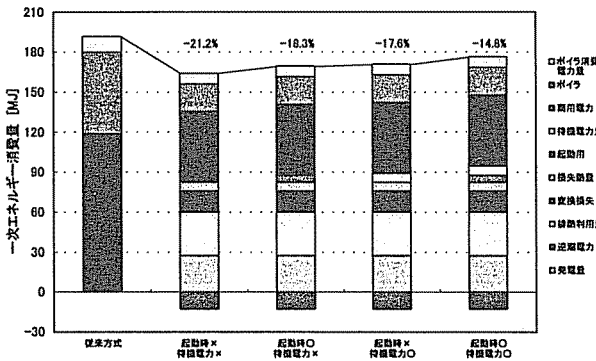


図-5 一次エネルギー消費量の比較 (実験 2)

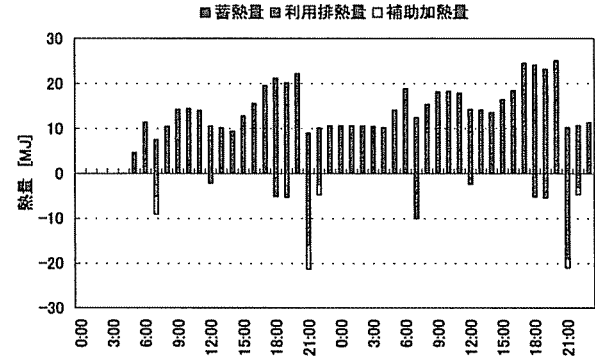


図-8 時刻別熱収支の内訳 (実験 3)

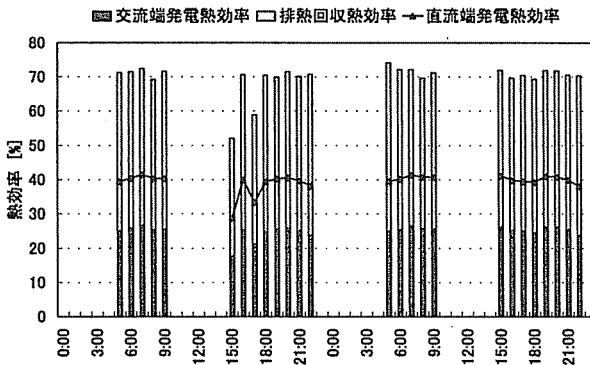


図-6 熱効率の変動 (実験 3)

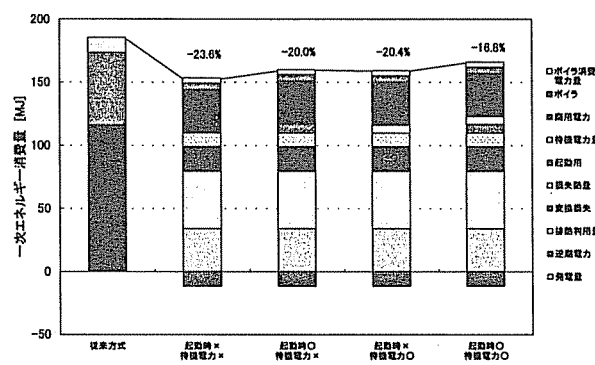


図-9 一次エネルギー消費量の比較 (実験 3)

それぞれ 40.2%, 71.2%であり, 実験 2 とほぼ同様の結果であった。

図-7, 図-8 にそれぞれ時刻別電力収支, 熱収支の内訳を示す。電力に関する CGS 依存率は, 逆潮を含まない場合と含む場合でそれぞれ 70.5%, 80.5%となった。熱に関する CGS 依存率は 92.4%となり, 実験 2 より 24.7%向上した。

図-9 に一次エネルギー消費量の比較を示す。従来方式と比較した場合の一次エネルギー削減率は 16.8% (起動・待機時のエネルギー消費を除いた場合: 23.6%) となり, 電力・給湯システムの運転条件としては, 実験 2 より望ましいと考えられる。

#### 4. 省エネルギー・環境保全・経済性評価

図-10 に実験 1~3 における一次エネルギー・二酸化炭素・

コストの運用段階における削減率 (逆潮含む) を示す。ここでは, 起動・待機時のエネルギー消費は含めていない。

実験 2 (DSS 運転: 12 時~23 時), 実験 3 (発停回数 2 回: 6 時~10 時, 15 時~23 時) の一次エネルギー・CO<sub>2</sub>削減率は, いずれも 20%以上であり, コストについては 50%以上という結果となった。

図-11 にエネルギー, CO<sub>2</sub>, コストに関するペイバックタイムの予測結果を示す。ガスボイラ, 貯湯槽に関する敷設段階の原単位は既報<sup>9)</sup>によった。燃料電池に関しては, 適切な情報の入手が困難であったことから, 同程度の容量のヒートポンプのエネルギー・CO<sub>2</sub>原単位<sup>7)</sup>を用いるとともに, コストについては, 各メーカーからのヒヤリングなどに基づき 50 万円に設定している。一次エネルギー, CO<sub>2</sub>は実験 2, 実験 3 では, それぞれ 0.5 年, 1 年以内の回収が可能であるが,

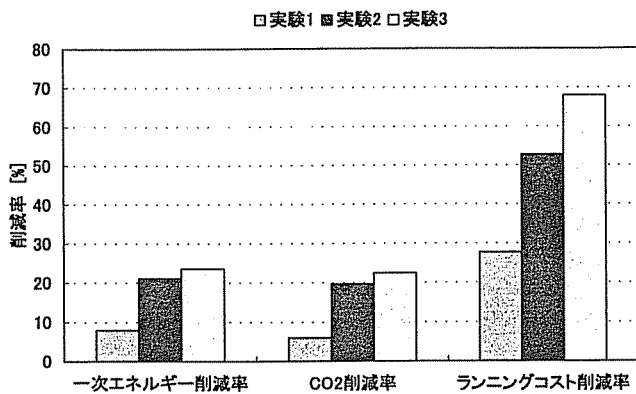


図-10 各種削減率（逆潮含む）

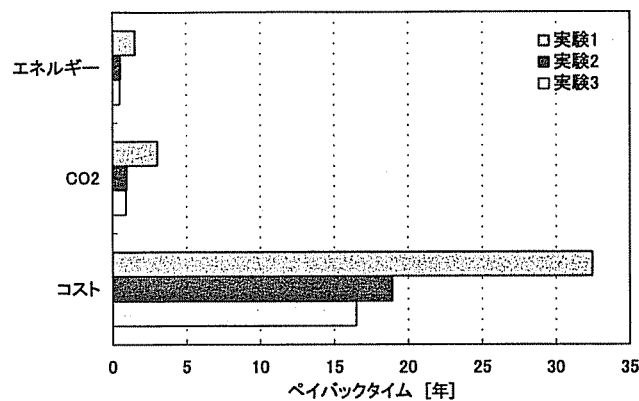


図-11 各種ペイバックタイム

コストについては、15年以上という結果になった。

### まとめ

- 1) 固体高分子形燃料電池試験機の熱効率、部分負荷特性の実測値を用い、住宅用電力・給湯システムの適正な運転方法について検討した。高い省エネルギー性を達成するためには、貯湯槽の無効な換水を行わないことが前提となり、従来の大規模 CGS の評価にあるような電主熱従、熱主電従運転の相違はそれほど見られなくなる。深夜の運転を避けた DSS 運転では、逆潮が認められない場合は6時間（12時～23時）運転時の一次エネルギー削減率が約11%となり、逆潮を許容すると11時間（12時～23時）運転時に最大値（約17%）に達した。また、1日の発停回数を2回までとした場合には、DSS 運転と比較して省エネルギー性は向上した。逆潮を行わない場合と行った場合の一次エネルギー削減率の最大値は、それぞれ約16%、約19%であった。
- 2) 各種運転条件における一次エネルギー削減率の解析結果に基づき、3種類の条件を抽出し、実規模実験を行った。12時から23時までのDSS運転におけるCGS依存率は電力、熱について、それぞれ52.7%、67.7%であった。従来方式と比較した場合の一次エネルギー削減率は14.8%という結果となった。起動・待機時のエネルギー消費を除くと削減率は21.2%であり、補機の専用設計などにより導入効果はさらに大きくなると考えられる。
- 3) 1日の発停を2回（6時～10時、15時～23時）とした場合、CGS依存率は電力・熱について、それぞれ70.5%、92.4%に向上した。従来方式と比較した場合の一次エネルギー削減率は16.8%（起動・待機時のエネルギー消費を除いた場合：23.6%）となり、電力・給湯システムの運転条件としては最も望ましいと考えられる。
- 4) 燃料電池導入による省エネルギー・環境保全・経済効果を削減率、ペイバックタイムに基づき検討した。DSS運転（12時～23時）および発停回数2回の場合の一次エネルギー・CO<sub>2</sub>削減率は、いずれも20%以上であり、コストについては50%以上という結果となった。ペイバックタイムに関しては、エネルギー・CO<sub>2</sub>は数年以内

であるが、現状ではコストが16年程度（発停回数2回）となる。

終わりに、本研究の遂行にあたり、荏原パワード株式会社、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）〕による。また、本研究の一部は、財団法人トステム建材産業振興財団平成13年度（第10回）助成“自然エネルギーの複合利用を考慮した住宅用エネルギーシステムの開発”〔研究代表者：同上〕による。

### 参考文献

- 1) 後藤隆一郎ら：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・衛生工学会北海道支部第36回学術講演会論文集（2002-3），pp.69~72
- 2) 羽田 豊ら：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・衛生工学会北海道支部第36回学術講演会論文集（2002-3），pp.73~76
- 3) 空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧，第12巻2（1995），pp.239~266
- 4) 空気調和設備委員会 住宅の省エネルギー計算法委員会：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
- 5) 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
- 6) 濱田靖弘ら：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4報）省エネルギー・環境保全・経済性に関する評価，空気調和・衛生工学会論文集，84（2002-1），pp.77~86
- 7) 濱田靖弘ら：標準熱回収率による地下熱利用システムの評価方法および住宅への導入効果に関する研究，空気調和・衛生工学会論文集，71（1998-10），pp.53~62