



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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の実験と評価
Author(s)	小杉, 智紀; 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 . P3-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 10, 69-72
Issue Date	2002-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7103
Type	departmental bulletin paper
File Information	10-3-6_p69-72.pdf



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の実験と評価

○小杉 智紀 (北海道大学)
中村 真人 (北海道大学)
羽田 豊 (北海道大学)
窪田 英樹 (北海道大学)
中島 祐一 (北海道ガス)
村瀬 光則 (北海道ガス)

濱田 靖弘 (北海道大学)
伊藤 健 (北海道大学)
横山真太郎 (北海道大学)
落藤 澄 (北海道大学)
山田 隆一 (北海道ガス)
後藤隆一郎 (北海道ガス)

はじめに

本研究は、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燃料電池活用型住宅用エネルギーシステム^{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), 5)}を設置し、自然エネルギー・燃料電池複合利用システムの実証実験と評価を行うものである。まず、自然エネルギー・燃料電池複合利用システムの実験を行う前段階として、数値解析を実施し、燃料電池の運転方法の検討を行う。次いで、自然エネルギーと燃料電池の複合利用を考慮した電力・給湯システムの実証実験を行い、その省エネルギー性、環境性、経済性に関する評価を実施する。

1. 太陽エネルギー・燃料電池複合利用システムの解析

1. 1 検討対象と計算条件

既報⁴⁾の実測値に基づく熱効率、部分負荷特性を与え、太陽エネルギー・燃料電池複合利用システムの解析を行った。図-1に自然エネルギー・燃料電池複合利用システムの概念図を示す。太陽光発電、およびソーラーコレクタによってできるだけ自然エネルギー依存率を高め、補助システムとして燃料電池を導入する。このようなシステムの適正な導入規模に関しては、複数世帯の住宅群を擁するコミュニティなどを視野に含め検討する必要があると考えられるが、本解析では北海道大学構内の実験住宅への適用を想定している。表-1に計算条件を示す(エネルギー種別熱量換

算値:電力 9.887 [MJ/kWh]⁶⁾, 天然ガス 41.617 [MJ/m³]⁷⁾, 二酸化炭素排出係数:電力 0.131 [kg-C/kWh]⁶⁾, 天然ガス 0.644 [kg-C/m³]⁷⁾, コスト:電力 22.2 [円/kWh]⁸⁾, 天然ガス 155.4 [円/m³]⁹⁾。従来方式は商用電源、およびガスボイラ(熱効率:0.75¹⁰⁾, 電力消費量 200 W)とした。深夜 23 時~5 時)の燃料電池の運転を避け、検討対象とした運転方式は表-2に示す 24 種類である。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、電力負荷に近い負荷率で運転し、電力負荷が最低負荷率 50%を下回った場合に燃料電池の運転を停止させる(逆潮(小)), 電力負荷が最低負荷率を下回った場合においても負荷率 50%で運転を継続させる(逆潮(中)), 常に逆潮するように負荷率を設定する(逆潮(大))の3パターンを考慮した。

太陽エネルギー利用設備としては、既報¹¹⁾における単結晶シリコン型太陽電池(24 m²), 多結晶シリコン型太陽電池(14.4 m²), ソーラーコレクタ(8 m²)を取り上げた。

なお、解析に用いた電力・給湯需要量には、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¹²⁾により算出された4人家族の電力需要、建築・環境省エネルギー機構¹³⁾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

太陽光発電と燃料電池(電主熱従)の複合利用(RUN5~12)では、従来方式に対する運用時における年間一次エネルギー、CO₂削減率が43~66%, 35~57%の範囲となった(表-2)。コストについても22~58%と非常に高い値が得られている。変換効率の高い単結晶シリコン型太陽電池を用いた場合(RUN5~8)の削減率が、多結晶シリコン型(RUN9~12)を大きく上回っているが、製造段階のエネルギー消費量、CO₂排出量、コストが大きいため、ペイバックタイムは

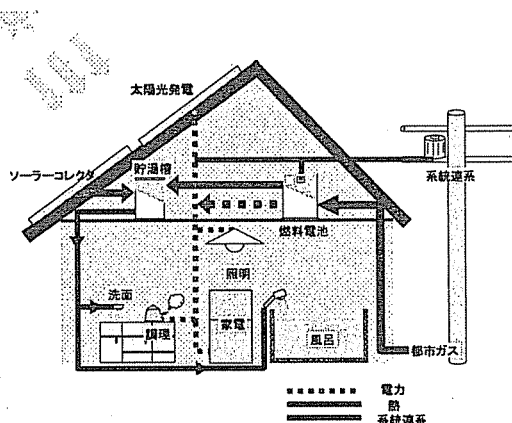


図-1 太陽エネルギー・燃料電池複合利用システム

表-1 計算条件

対象住宅	地域		住宅の種類		延床面積
	札幌	旭川	実験住宅	約128 m ²	
燃料電池発電・熱回収モデル ⁴⁾	負荷率	発電熱効率	熱回収率	排水処理	流量
	100%	28.7%		0.6 L/min	
	75%	28.6%		0.5 L/min	
	50%	28.1%		0.3 L/min	
換算係数		商用電力		天然ガス	
一次エネルギー換算係数		9.887 ⁶⁾ MJ/kWh	41.617 ⁷⁾ MJ/m ³		
CO ₂ 排出換算係数		0.131 ⁶⁾ kg-C/kWh	0.644 ⁷⁾ kg-C/m ³		
コスト換算係数		22.2 ⁸⁾ 円/kWh	155.4 ⁹⁾ 円/m ³		
年間エネルギー需要量[MJ/(m ² ・年)]		照明・他	給湯		
		107.8 ¹²⁾	161.2 ¹²⁾		

表-2 計算結果

燃料電池 方式	逆潮 なし	本種エネルギー 利用設備	運転時年間削減率 [%]			ペイバックタイム [年]		
			一次エネルギー	CO ₂	コスト	エネルギー	CO ₂	コスト
RUN1	逆潮なし	なし	22.18	15.98	17.49	0.50	0.97	28.84
RUN2	逆潮(中)	なし	23.39	16.66	18.65	0.48	0.92	47.03
RUN3	逆潮(大)	なし	22.82	15.24	-0.58	0.49	0.97	-
RUN4	逆潮(大)	なし	22.80	14.89	-3.29	0.49	1.04	-
RUN5	逆潮なし	多結晶シリコン型	61.99	53.03	57.73	4.39	5.82	39.80
RUN6	逆潮(小)	多結晶シリコン型	64.30	55.61	54.36	4.23	5.55	42.27
RUN7	逆潮(中)	多結晶シリコン型	65.24	56.30	47.04	4.17	5.48	48.85
RUN8	逆潮(大)	多結晶シリコン型 (24 m ²)	65.49	56.27	42.74	4.16	5.48	53.75
RUN9	逆潮なし	多結晶シリコン型	43.51	35.88	41.40	1.16	1.72	32.98
RUN10	逆潮(小)	多結晶シリコン型	45.74	38.27	37.33	1.10	1.52	36.60
RUN11	逆潮(中)	多結晶シリコン型	46.50	39.40	29.78	1.08	1.61	35.01
RUN12	逆潮(大)	多結晶シリコン型 (14.4 m ²)	46.43	37.96	21.47	1.08	1.83	63.94
RUN13	逆潮なし	ソーラーコレクタ	27.25	23.43	22.13	1.09	1.86	42.88
RUN14	逆潮(小)	ソーラーコレクタ	27.73	23.78	19.48	1.07	1.83	48.71
RUN15	逆潮(中)	ソーラーコレクタ	27.55	23.27	19.51	1.08	1.87	70.27
RUN16	逆潮(大)	ソーラーコレクタ (8 m ²)	27.29	22.76	11.50	1.09	1.91	82.53
RUN17	逆潮なし	ソーラーコレクタ	27.25	23.61	23.67	1.09	1.85	40.09
RUN18	逆潮(小)	ソーラーコレクタ	27.58	23.98	23.32	1.08	1.82	40.70
RUN19	逆潮(中)	ソーラーコレクタ	26.83	22.80	16.98	1.11	1.91	55.95
RUN20	逆潮(大)	ソーラーコレクタ (8 m ²)	26.87	22.49	15.84	1.12	1.94	60.68
RUN21	逆潮なし	多結晶シリコン型	44.37	37.05	41.74	1.13	1.87	32.73
RUN22	逆潮(小)	多結晶シリコン型	46.59	39.43	37.68	1.08	1.57	38.28
RUN23	逆潮(中)	多結晶シリコン型	47.23	39.87	32.12	1.07	1.55	42.55
RUN24	逆潮(大)	多結晶シリコン型 (14.4 m ²)	47.31	39.80	27.51	1.08	1.58	49.66

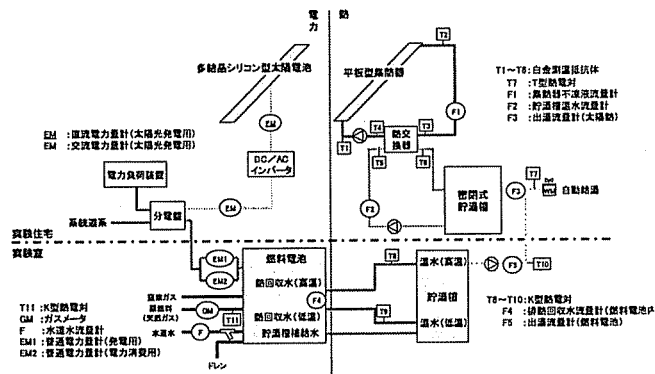


図-2 実験装置系統図

表-3 実験条件

実験 番号	日程	稼働設備	運転スケジュール																								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2002年4月 26~27日	太陽光発電																									
		燃料電池																									
2	2002年8月 16~18日	ソーラーコレクタ																									
		燃料電池																									
3	2002年8月 16~18日	太陽光発電																									
		燃料電池																									
出湯量(42℃換算) [L]																											

注 □印は稼働時間帯を、数値は燃料電池負荷率 [%] を示す

多結晶シリコン型の方が小さくなる。燃料電池の運転を熱主電従とした場合 (RUN21~24) との結果の相違は、それほど見られなかった。一方、ソーラーコレクタと燃料電池の複合利用 (RUN13~20) では、一次エネルギー、CO₂、コストの削減率は、それぞれ26~28%、22~24%、11~24%という結果となった。

2. 太陽エネルギー・燃料電池複合利用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を参考に、3種類の条件 (燃料電池の逆潮なし) で実規模実験を行った。図-2、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。実験には、多結晶シリコン型太陽電池 14.4 m² (最大出力: 1.5 kW)、平板型集熱器 (8 m²)、固体高分子形燃料電池 (交流端最大出力: 1 kW)^{4), 5)} を使用した。貯湯槽はソーラーコレクタ (300 L)、燃料電池用 (200 L) に独立して設置している。1. における電力需要を模倣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 15 分毎に設定することが可能であるが、今回は

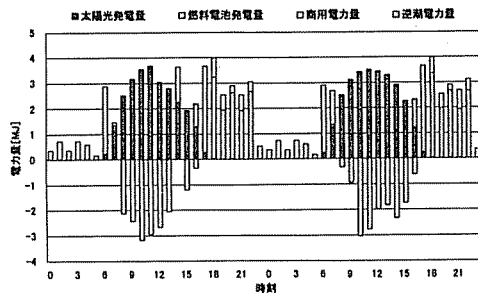


図-3 時刻別電力収支の内訳 (実験 1)

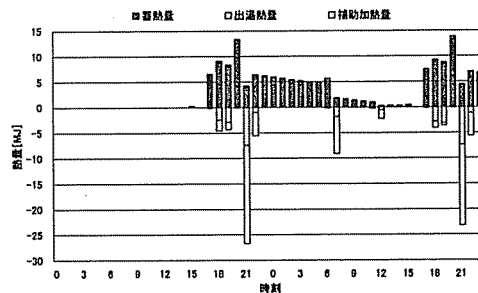


図-4 時刻別熱収支の内訳 (実験 1)

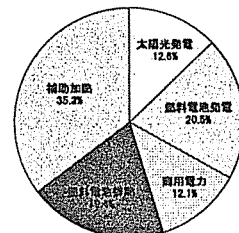


図-5 エネルギー種別利用量の内訳 (実験 1)

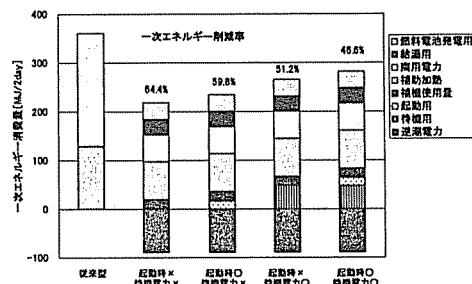


図-6 一次エネルギー消費量の比較 (実験 1)

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るものとした。実験は、表-3 に示す各種導入設備の運転スケジュールで実施した。

3. 太陽光発電と燃料電池の複合利用

図-3 に実験 1 における時刻別電力収支の内訳を示す。電力の正側に住宅内で消費された太陽光発電、燃料電池の交流端出力、商用電力を示し、太陽光発電の逆潮電力は負側とした。実験期間の天候は良好であり、日中の電力需要は太陽光発電で十分賄える結果となった。2 日間合計の太陽

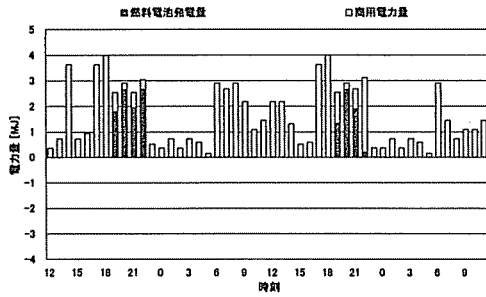


図-7 時刻別電力収支の内訳 (実験 2)

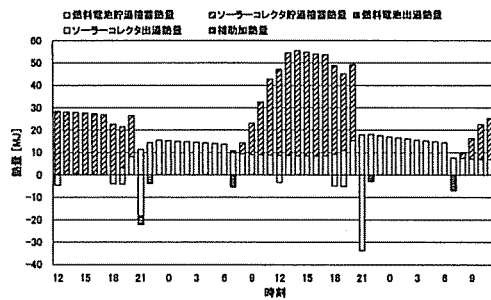


図-8 時刻別熱収支の内訳 (実験 2)

光発電量は 53.5 MJ であり、このうち逆潮電力量は 32.6 MJ を占める。17 時以降は、燃料電池から電力を供給し、発電量は 33.8 MJ であった。逆潮を含めない場合の太陽光発電 (Photovoltaic:PV) 依存率, CGS 依存率は、それぞれ 27.9%, 45.4% であった。逆潮を含む場合の PV 依存率は 71.7% に達する。

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。燃料電池の運転時間が短いため、全ての出湯時間帯において補助加熱が必要となった。給湯に関する CGS 依存率は 35.5% であった。

図-5 に逆潮分を含まないエネルギー種別利用量 (二次エネルギー換算値) の内訳を示す。全体に占める太陽光発電の割合は 12.6% であった。一方、燃料電池に関しては、電力・熱について、それぞれ 20.5%, 19.4% となった。

図-6 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 46.6% となった。また、燃料電池起動時のエネルギー消費、および待機時電力消費については、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。二つの要因を除いた場合には削減率は 64.4% となった。

4. ソーラーコレクタと燃料電池の複合利用

図-7 に実験 2 における時刻別電力収支の内訳を示す。燃料電池の運転時間は 19 時から 23 時までの 4 時間であり、発電量は 15.1 MJ であった。CGS 依存率は、19.2% という結果となった。商用電力量は 64.0 MJ であり、このうち太陽熱集熱運転の搬送ポンプ電力消費量は 6.5 MJ であった。

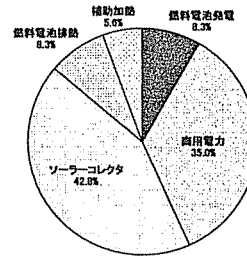


図-9 エネルギー種別利用量の内訳 (実験 2)

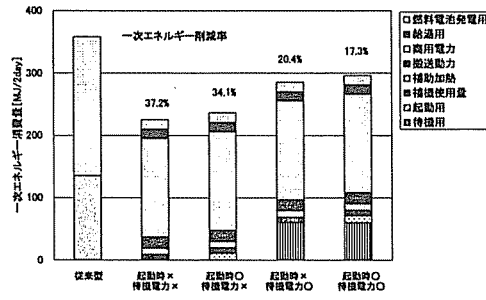


図-10 一次エネルギー消費量の比較 (実験 2)

図-8 に時刻別熱収支の内訳を示す。午後からの給湯需要に対しては、ソーラーコレクタの出湯でほぼ賄うことができたが、21 時の給湯需要に対して補助加熱が必要となった。午前の給湯需要に対しては、燃料電池貯湯槽からの出湯で完全に賄うことができた。また、給湯に関するソーラーコレクタ (Solar Collector:SC)・CGS 依存率は、それぞれ 75.5%, 14.6% という結果となった。

図-9 に逆潮分を含まないエネルギー種別利用量 (二次エネルギー換算値) の内訳を示す。全体に占めるソーラーコレクタの割合は 42.8% であった。燃料電池に関しては、電力・熱について、それぞれ 8.3%, 8.3% となった。

図-10 に一次エネルギー消費量の比較を示す。右端の実際の一次エネルギー削減率は 17.3%、起動・待機時エネルギー消費を除いた場合には 37.2% であった。

5. 太陽光発電, ソーラーコレクタ, 燃料電池の複合利用

図-11 に実験 3 における時刻別電力収支の内訳を示す。太陽光発電量は 35.3 MJ、このうち逆潮電力量は 12.0 MJ を占める。PV 依存率は、逆潮を含まない場合 29.2%、逆潮を含む場合 44.8% であった。

図-12 に逆潮分を含まないエネルギー種別利用量 (二次エネルギー換算値) の内訳を示す。全体に占める太陽光発電、ソーラーコレクタの割合は、それぞれ 12.8%, 42.8% であった。

図-13 に一次エネルギー消費量の比較を示す。右端の実際の一次エネルギー削減率は 44.4%、起動・待機時エネルギー消費を除いた場合には 64.2% という結果となった。

まとめ

1) 固体高分子形燃料電池の試験機の熱効率、部分負荷特性の実測値を用い、太陽エネルギー・燃料電池複合利

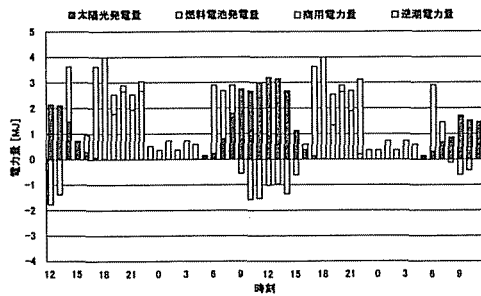


図-11 時刻別電力収支の内訳 (実験3)

用システムの適正な運転方法について検討した。太陽光発電と燃料電池を併用した場合の年間一次エネルギー削減率の計算値は、43~66%となり、極めて高い値が得られた。一方、ソーラーコレクタについては27%前後であった。

- 2) 多結晶シリコン型太陽電池、またはソーラーコレクタとの複合システムのペイバックタイムは、エネルギー・CO₂ともに2年以内となったが、コストについては現状では30年を超えており、各種助成制度の適用が必要となると考えられる。
- 3) 各種運転条件における省エネルギー・環境保全・経済性の解析結果に基づき3種類の実規模実験を行った。太陽光発電・燃料電池の複合利用の実験(実験1)では、電力に関するPV・CGS依存率は、それぞれ27.9%、45.4%という結果となった。また、給湯に関するCGS依存率は35.5%であった。従来方式に対する一次エネルギー削減率は64.4%(起動・待機時のエネルギー消費を除いた場合)に達した。
- 4) ソーラーコレクタと燃料電池の複合利用の実験(実験2)では、電力に関するCGS依存率は19.2%という結果となった。また、給湯に関するSC・CGS依存率は、それぞれ75.5%、14.6%であった。従来方式に対する一次エネルギー削減率は37.2%(起動・待機時のエネルギー消費を除く)であった。
- 5) 太陽光発電、ソーラーコレクタ、および燃料電池を複合的に利用した場合の実験(実験3)では、電力に関するPV・CGS依存率は、それぞれ29.2%、19.2%という結果となった。また、給湯に関するSC・CGS依存率は、それぞれ75.5%、14.6%であった。従来方式に対する一次エネルギー削減率は64.2%(起動・待機時のエネルギー消費を除く)であった。

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
- 2) 濱田靖弘ら:燃料電池による住宅用コージェネレーションシス

- 3) 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
- 12) 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

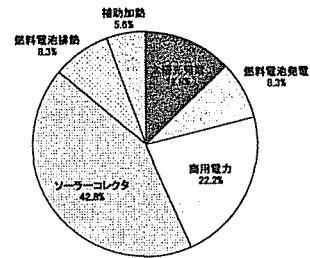


図-12 エネルギー種別利用量の内訳 (実験3)

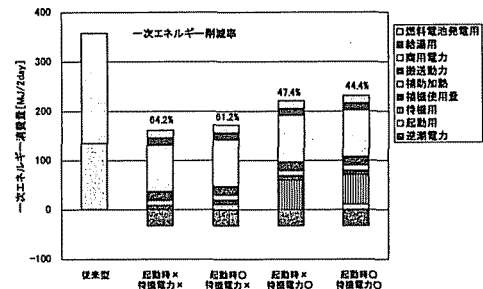


図-13 一次エネルギー消費量の比較 (実験3)

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

濱田靖弘ら: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

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・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9), pp.1353~1356

5) 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・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9), pp.1357~1360

北海道電力(株)企画部:ほくでん環境行動レポート(2001-6), (<http://www.hepco.co.jp/kankyoku/repo2001.html>)

空気調和・衛生工学会:都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価(1994-6), 丸善

北海道電力(株):契約種別電力料金, 従量電灯B(2002-4~6適用)

北海道ガス(株):家庭用温水式暖房, 給湯契約料金「ゆーぬっく24」(2001-10~2002-3適用)

10) 空気調和・衛生工学会編:空気調和・衛生工学便覧, 第12版2(1995), pp.239~266

11) 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1~4報), 空気調和・衛生工学会論文集(1999~2002)

12) 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

13) 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