

住宅における固体高分子形燃料電池の導入効果に関する研究

黒木, 洋
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻修士課程

渡辺, 俊行
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

赤司, 泰義
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

高口, 洋人
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

他

<https://doi.org/10.15017/19048>

出版情報：都市・建築学研究. 6, pp.155-165, 2004-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

住宅における固体高分子形燃料電池の導入効果に関する研究

Study on Energy Saving Effect of Housing Polymer Electrolyte Fuel Cell Cogeneration System

黒木 洋*¹, 渡辺俊行*², 赤司泰義*², 高口洋人*², 浅木 朗*¹

Hiroshi KUROKI, Toshiyuki WATANABE, Yasunori AKASHI,

Hiroto TAKAGUCHI and Akira ASAKI

Energy saving effect of housing polymer electrolyte fuel cell cogeneration system (PEFC-CGS) which is one of the distributed power source systems was clarified by computer simulation. First, model-based simulations were conducted using heating/cooling load data for air-conditioning and hot water supply demand data that are predicted in an experiment house as the inputs of the simulations to study an optimum operation method of PEFC-CGS. As the result, it is clarified that the DSS Electric Power Load Tracking Operation (PEFC-CGS starts when electric power load is needed and stops when not needed, and it runs in the partial output according to electric power load) is the most efficient. Second, in order to confirm energy saving effect of PEFC-CGS in existent detached house, the computer simulations were conducted using demand data measured in two detached houses located in Fukuoka prefecture. As the result, on one house the energy consumption reduction effect by PEFC-CGS was confirmed.

Keywords: Polymer electrolyte fuel cell, Cogeneration system, All-electric system, Energy consumption, Ratio of heat to electricity

固体高分子形燃料電池, コージェネレーションシステム, 全電化システム, エネルギー消費量, 熱電比

1. はじめに

1997年12月の世界気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3 京都会議)において, 日本は温室効果ガス全体を2008年から2012年にかけて1990年比で6%削減することを目標に定めた。しかし, 民生・運輸部門におけるCO₂排出量は年々増加の傾向にあり, 従来からの対策がとられたとしてもCO₂排出量を1990年レベルに抑えるのは難しく, 約2000万トン(炭素換算)について新たな対策を追加的に講じなければならない。

日本のエネルギー政策の中でも「新エネルギー」に関しては, 2010年までのCO₂排出量削減目標の内, およそ半分にあたる900万トンの削減を新エネルギー導入によって達成する計画となっており, その潜在性や技術の進歩に大きな期待が寄せられている。表1は供給サイドの新エネルギーの導入実績と目標を示したもので¹⁾, 新エネルギーにおける約900万トン(炭素換算)のCO₂排出量削減は原油換算で1910万klに相当する。中でも太陽光発電と風力発電に懸けられる期待は大きく, 1999年の導入実績と比較して2010年にはそれぞれ約23倍, 約38倍の普及が目標とされている。表2は需要サイドの新エネルギーの導入実績と目標を示したものである¹⁾。これらは新エネルギーの中でも比較

表1 新エネルギー導入実績と目標(供給サイド)

	1999年度 (実績)	2010年度		1999年度 比
		現行対策 維持 ケース	目標ケー ス	
太陽光発電	5.3	62	118	約23倍
風力発電	3.5	32	134	約38倍
廃棄物発電	115	208	552	約5倍
バイオマス発電	5.4	13	34	約6倍
太陽熱利用	98	72	439	約4倍
未利用エネルギー (雪氷冷熱含む)	4.1	9.3	58	約14倍
廃棄物熱利用	4.4	4.4	14	約3倍
バイオマス熱利用	—	—	67	—
黒液・廃材等	457	479	494	約1.1倍
新エネルギー供給	693	878	1910	約3倍

単位: 原油換算万kl

表2 新エネルギー導入実績と目標(需要サイド)

	1999年度 (実績)	2010年度		1999年度 比
		現行対策 維持 ケース	目標ケー ス	
クリーンエネルギー 自動車	6.5万台	89万台	348万台	約54倍
天然ガス コージェネレーショ	152万kW	344万kW	464万kW	約3倍
燃料電池	1.2万kW	4万kW	220万kW	約183倍

*1 空間システム専攻修士課程

*2 都市・建築学部門

新しい技術であり、インフラ整備や実用化への課題が残っているもので、新エネルギーによるCO₂排出量削減目標の中には勘案されていない。しかしながら、燃料電池などは家庭用分散型コージェネレーション機器として大規模な導入が期待されており、その実用化と普及に向けて国内外の企業によって開発競争が激化している。

燃料電池とは、水素と酸素とを化学反応させ電気を生成する機器であり、電気と共に反応の過程で生ずる熱も供給するコージェネレーションシステムの1つである。一般的に系統電力は発電時に発生する熱を大気中に放出するため、送電ロスも含めると1次エネルギー利用効率は39%程度と言われている。それに対し住宅内、あるいは敷地内で発電を行うマイクロコージェネレーションシステムは、発電効率では系統電力に劣るものの、発電時の排熱を有効利用できれば、高効率で1次エネルギーを利用できる可能性がある。本報では、家庭用マイクロコージェネレーションシステムの中でも発電効率が高く、効果的なエネルギー利用が期待できる固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステム（以下PEFC-CGS）について、戸建住宅に導入した場合の省エネルギー効果を数値シミュレーションによって明らかにする。

2. 数値シミュレーションの概要

図1にPEFC-CGSモデルを示す。PEFC-CGSモデルではガスを改質して得られた水素を用いてPEFCを作動し、その発電と系統からの買電によって電力負荷を賄う。給湯負荷は排熱回収によって貯湯槽に蓄えられた湯で賄うが、貯湯が無い場合には温水ボイラー（効率80%）を使用する。市水の温度は、夏季25℃、中間季18℃、冬季10度で設定している。表3にPEFC-CGSの仕様を示す。なお検討に用いたPEFC-CGSの仕様は現行のものを参考にした。定格発電出力は1kWとし、電力負荷に追従した部分負荷運転時には図2に示す部分負荷特性を考慮するが、原則として30%から100%まで7%刻みの11段階制御を行う。その際、表3に示した発電出力変化速度を考慮し、急激な出力変化制御はできないものとした。このPEFC-CGSモデルを用いて、1分間隔の電力・給湯負荷データからPEFC-CGS導入時のエネルギー消費量の算出を行った。また、PEFC-CGS導入による省エネルギー効果の検討のため、図3に示す従来システムモデルと比較した。

3. 実験住宅を対象とした数値シミュレーション

3-1. 入力負荷データ

年間を通したPEFC-CGSの戸建住宅への導入効果を検討するため、2004年9月に福岡市内に竣工予定の実験住宅を対象として数値シミュレーションを行った。

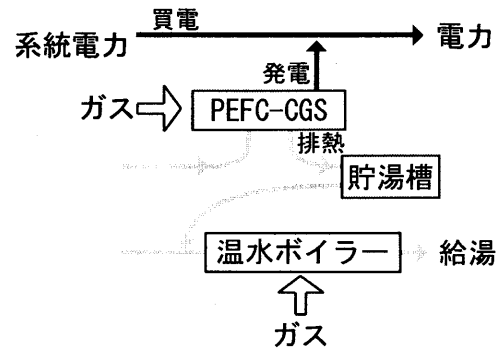


図1 PEFC-CGSモデル

表3 PEFC-CGS仕様

発電効率/排熱回収効率	31.7%/51.5%
定格発電出力	1kW
定格排熱出力	1.63kW
発電出力変化速度	15W/min 60W/min (停止時は瞬時に停止)
最大増加速度	
最大減少速度	
貯湯温度	60℃
貯湯槽容量	200L

※効率は高位発熱量(HHV)基準

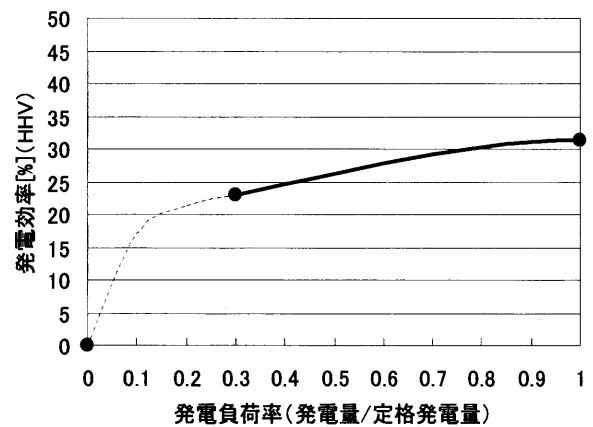


図2 PEFC-CGS 発電効率の部分負荷特性

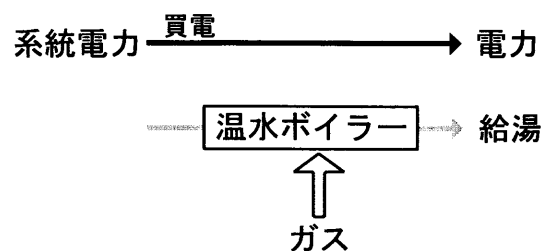


図3 従来システムモデル

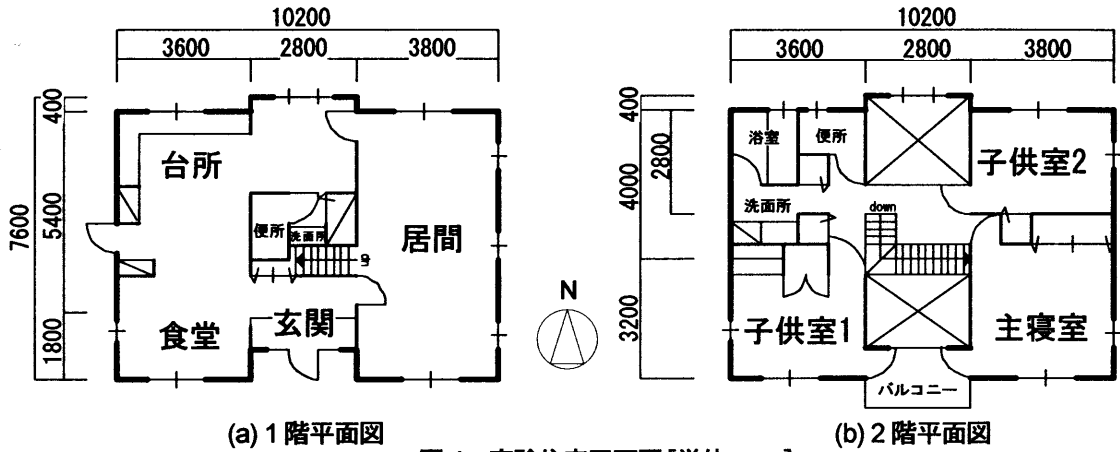


図4 実験住宅平面図[単位:mm]

図4に実験住宅の平面図を、表4に部位構成を示す。熱損失係数(Q値)は $2.32\text{W/m}^2\text{K}$ 、夏期日射取得係数(μ 値)は0.063で、いずれも次世代省エネルギー基準で定められた第IV地域の基準値(Q値2.7、 μ 値0.07)を満たす高断熱住宅である。この住宅において、生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver2.0²⁾を用いて作成した居住者(父、母、子2人から成る標準的な4人家族を想定)の季節別生活パターン(15分間隔)と多数室室温変動・熱負荷計算プログラム TrP³⁾により算出した暖冷房負荷(1時間間隔)を基に、年間の電力・給湯負荷データ(1分間隔)を作成した。

生活パターンは曜日の区別をせず、全て平日のものを使用し、電力使用機器は SCHEDULE のデフォルト設定を採用した。暖冷房負荷算出条件を表5に示す。空調は在室時に行うものとし、設定温度は冷房 27°C 、暖房 20°C である。電気式ヒートポンプエアコンはトップランナー機を想定して暖房・冷房ともにCOPを5.1とした。表6に作成した季節別電力・給湯負荷積算値と熱電比(電力負荷に対する給湯負荷の割合)を、図5に各季節における1週間の電力・給湯負荷グラフを示す。夏季は冷房のため1日を通して電力負荷が大きくなっているが、市水温度の高さや給湯需要の

表6 電力・給湯負荷および熱電比

	夏季 (6-9月)	中間季 (4, 5, 10月)	冬季 (11-3月)
季間積算電力負荷[kWh]	1297.39	874.15	3169.63
季間積算給湯負荷[kWh]	694.47	883.59	2000.31
日平均電力負荷[kWh]	10.63	7.17	25.98
日平均給湯負荷[kWh]	5.69	7.24	16.40
熱電比	0.54	1.01	0.63

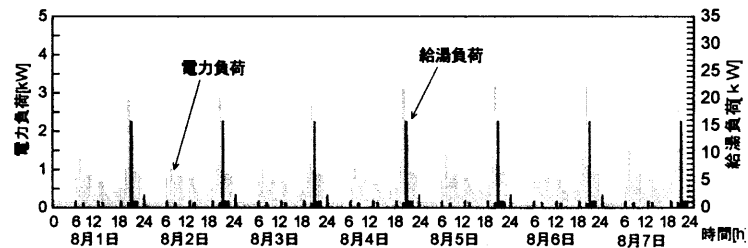
[熱電比]給湯負荷/電力負荷

表4 実験住宅の部位構成

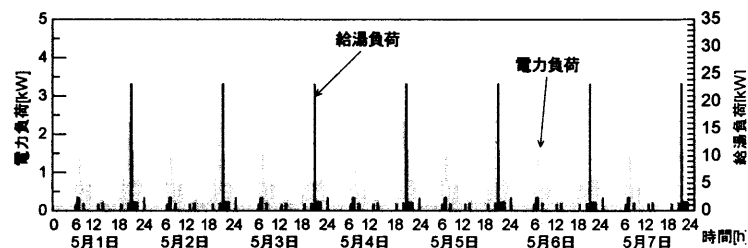
部位	材料(室内側より表示、[]内単位:mm)
壁	石膏ボード[9.5]、発泡ポリスチレン断熱材[50]、密閉中空層、合板[12]、通気層、煉瓦[110]
窓	普通複層ガラス(板ガラス[3]+空気層[6]+板ガラス[3])
天井	石膏ボード[9.5]、グラスウール[100]
床	合板[10]、合板[12]、発泡ポリスチレン断熱材[50]
ドア	金属製高断熱構造扉

表5 暖冷房負荷算出条件

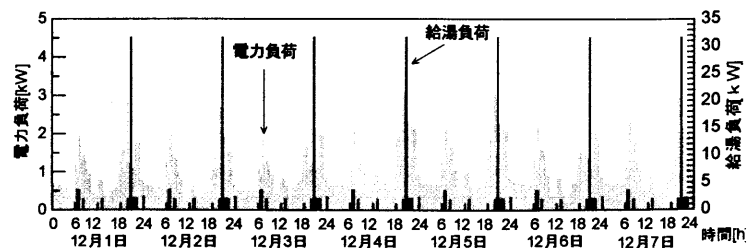
空調対象室	居間、食堂、主寝室、子供室1、子供室2 計5室
夏季冷房期間	6月1日~9月30日(4ヶ月間)
冬季暖房期間	11月1日~3月31日(5ヶ月間)
設定温度	冷房: 27°C 、暖房: 20°C
空調スケジュール	在室時
気象データ	拡張アメダス気象データ(福岡市 標準年)



(a) 夏季



(b) 中間季



(c) 冬季

図5 予測負荷データ(各季1週間)

少なから給湯負荷は小さくなっており、熱電比は3つの季節の中で最小となっている。中間季は空調負荷が無いために電力負荷が他の期間に比べて小さく安定しており、給湯負荷は夏季よりも大きい。そのため熱電比は1を上回り、3つの季節の中で最も高い値を示している。また、冬季には暖房負荷を全て電気式ヒートポンプエアコンで賄う設定となっているため、電力負荷が大きくなっており、給湯負荷も3つの季節の中で最も大きくなっている。

3-2. PEFC-CGS 運転方法の検討

3-2-1. 運転方法

電力と熱を同時に供給するコージェネレーション機器の運転方法は一般的に電主運転（電力負荷に合わせた運転）と熱主運転（給湯負荷に合わせた運転）の2通りがある。今回の検討ではPEFC-CGSの運転方法として以下の4通りの方法を想定した。

- ① 終日電力負荷追従運転—CGSを終日連続して作動させ、常に電力負荷に追従した部分負荷制御運転を行う運転方法。
- ② DSS (Daily Start & Stop) 定格運転—1日のうちに2回の起動停止を行い、作動中は常に定格効率で動かす運転方法。
- ③ DSS 電力負荷追従運転—1日のうちに2回の起動停止を行い、作動中は電力負荷に追従した部分負荷制御運転を行う運転方法。
- ④ 自動起動停止制御運転—終日電力負荷に追従運転した部分負荷運転を行い、電力負荷が発電負荷率30%時の発電量を下回った場合と、貯湯槽が満蓄（湯が200L貯まった状態）になった場合に自動停止し、温熱負荷復活後、自動再起動を行う運転。

①が電主運転、②が熱主運転となる運転方法で、③と④は電主運転と熱主運転の中間的な運転方法である。①～③の運転方法では、電力負荷が発電負荷率30%時の発電量を下回った場合には、負荷率30%で作動する設定とした。また、②と③のDSS制御に関しては、季節ごとに総1次エネルギー消費量が最小となる運転時間をあらかじめ算出し、最適な起動停止時間を決定している。

3-2-2. 計算結果

作成した電力・給湯負荷を入力として、4つの運転方法において季節ごとのエネルギー消費量を算出した。表7に運転方法別の各季節におけるPEFC-CGS運転状況とエネルギー消費量を、図6に季節ごとの各運転方法における1次エネルギー消費量を、図7に1次エネルギー利用効率を比較する。部分負荷運転や余剰熱の発生などにより、実質的な1次エネルギー利用効率は発電効率・排熱利用効率ともに機器の目標値よりも低い値となる。ここでは実質発電効率、排熱利用効率を以下の式で算出している。

$$\text{実質発電効率} = \frac{\text{総電力負荷} - \text{買電量} + \text{売電量}}{\text{PEFC-CGS消費ガスの高位発熱量}}$$

$$\text{実質排熱利用効率} = \frac{\text{給湯負荷} - \text{ボイラーによる給湯熱量}}{\text{PEFC-CGS消費ガスの高位発熱量}}$$

①の終日電力負荷追従運転では、全ての期間においてボイラーガス消費量が0となっていることから（表7ボイラーガス消費量参照）、給湯負荷の全てを貯湯によって賄っていることがわかるが、余剰熱が大量に発生するため排熱利用効率が非常に低い値となっている。また、電力負荷が発電負荷率30%時の発電量以下になる時間帯が多いことや、出力変化速度の制限があることによって余剰電力が多く発

表7 PEFC-CGS 運転状況とエネルギー消費量

PEFC-CGS運転方法	季節	設定作動時間	起動停止回数【回】	発電量【kWh】	買電量【kWh】	余剰電力量【kWh】	CGSガス消費量【Nm ³ 】	ボイラーガス消費量【Nm ³ 】
①終日電力負荷追従運転	夏季(6~9月)	終日	-	1278.23	214.52	195.30	385.95	0.00
	中間季(4、5、10月)	終日	-	909.17	131.09	175.56	279.51	0.00
	冬季(11~3月)	終日	-	2507.14	702.58	40.05	670.65	0.00
②DSS定格運転	夏季(6~9月)	9-10、19-23 (計5時間)	244	476.98	866.24	45.72	122.38	0.16
	中間季(4、5、10月)	6-8、18-23 (計7時間)	184	543.22	443.90	122.60	137.59	0.00
	冬季(11~3月)	6-9、17-23 (計9時間)	302	1193.87	1993.66	17.64	300.23	3.74
③DSS電力負荷追従運転	夏季(6~9月)	9-10、19-23 (計5時間)	244	417.42	880.52	0.368	110.61	0.73
	中間季(4、5、10月)	7-10、17-24 (計10時間)	184	496.25	383.17	14.85	140.73	0.00
	冬季(11~3月)	6-10、17-23 (計10時間)	302	1302.84	1867.48	0.58	329.25	1.06
④自動起動停止制御運転	夏季(6~9月)	-	806	398.65	900.10	1.16	115.31	0.00
	中間季(4、5、10月)	-	279	448.10	417.92	1.45	124.67	5.63
	冬季(11~3月)	-	468	1200.38	1970.76	1.47	323.44	0.00

生ずる結果となり、発電効率も全ての運転方法の中で最低となっている。1次エネルギー消費量も多く、夏季と中間季には従来システムを上回っており、年間で見ると消費エネルギーは増加する結果となっている。

②のDSS定格運転では排熱利用効率が高く、特に冬季においては51.1%とほぼ定格値と同じ効率となっている。冬季には電力負荷が大きいためにPEFC-CGS定格運転中の余剰電力が少なく(表7余剰電力量参照)、発電効率も逆潮流の有無に関わらず30%を超える高効率となった。夏季には給湯負荷が小さいことからPEFC運転時間が短く(表7設定作動時間参照)、排熱利用効率も44.3%と多少低い値となっているが、作動中の電力負荷が大きいために発電効率は高い(図5(a)参照)。しかし、中間季においては運転中に余剰電力が多く発生するため、発電効率は逆潮流無しの場合には23.9%と低い効率になった。DSS定格運転では、逆潮流を考慮した場合、全ての期間で発電効率は30%を超え、1次エネルギー消費量も全運転方法の中で最小となる。

③のDSS電力負荷追従運転では余剰電力の発生が少なく、夏季と冬季において、逆潮流の有無に関わらず発電効率はほぼ等しくいずれも高効率である。中間季に余剰電力が若

干多くなっているのはPEFC作動中の電力負荷が小さいためと考えられる(図5(b)参照)。逆潮流を考慮しない場合には年間の1次エネルギー消費量はDSS電力負荷追従運転が最小となる。

④の自動起動停止制御運転では、全ての期間において余剰電力の発生が少なく、逆潮流の有無による発電効率の差が小さい。夏季と冬季に関しては1次エネルギー消費量・利用効率ともにDSS運転よりも高い値となっているが、中間季においては逆潮流無しの場合に最小の値となっている。電力負荷が発電負荷率30%の発電量を下回ることが多い場合には、自動停止制御のかかるこの運転方法を用いることで、他の運転方法よりも余剰電力の発生が抑えられ、エネルギーを高効率で利用できることになる。また、DSS運転が長期の負荷発生傾向から最適な運転時間を割り出して作動するのに対して、自動起動停止制御運転は瞬間的な負荷変動に合わせて作動するため、変化の激しい負荷発生条件においては他の運転よりも柔軟に対応することが可能で、現実的な運転方法と考えられる。しかし、今回の結果では自動制御による起動停止回数が年間1553回となり(表7起動停止回数参照)、1日平均にして4.25回とDSS運転の

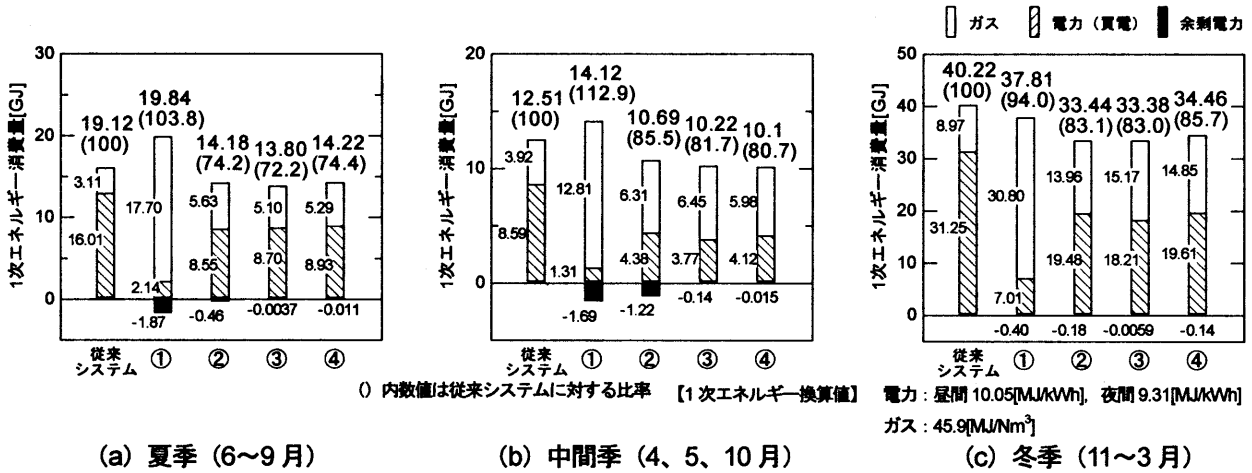


図6 1次エネルギー消費量比較
(①終日電力負荷追従運転 ②DSS定格運転 ③DSS電力負荷追従運転 ④自動起動停止制御運転)

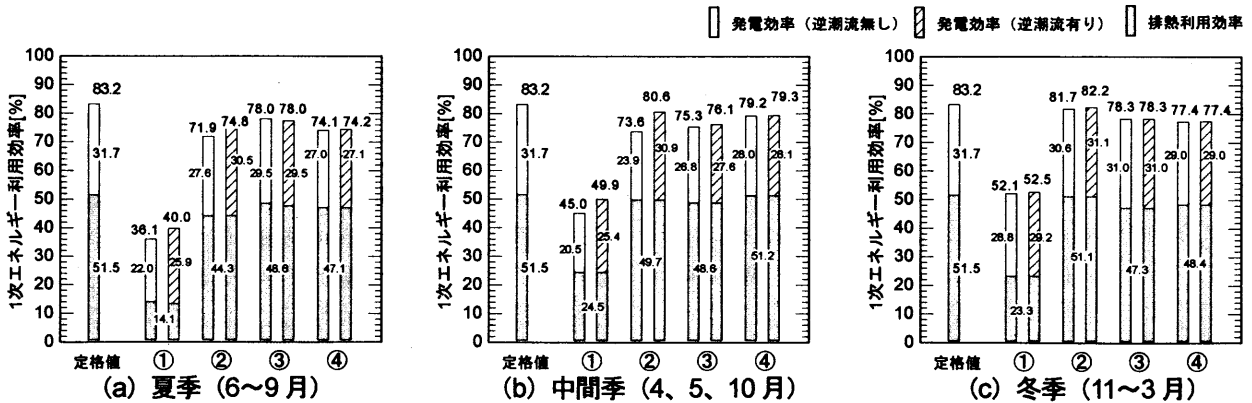


図7 1次エネルギー利用効率比較
(①終日電力負荷追従運転 ②DSS定格運転 ③DSS電力負荷追従運転 ④自動起動停止制御運転)

2倍以上の起動停止を行うこととなり、実際に運用した場合に機器の劣化も考慮する必要がある。

以上の結果から PEFC-CGS の最適な運転方法は、逆潮流を考慮する場合には DSS 定格運転、逆潮流を考慮しない場合には DSS 電力負荷追従運転であると言える。しかしながら現在の法制度下では、化石燃料(天然ガス)を原料とする PEFC-CGS による発電電力は新エネルギーとしては扱われないため、電力会社との逆潮流契約は困難である。このことから、現状においては DSS 電力負荷追従運転が最も現実的かつ効率的な運転方法であるといえる。また、自動起動停止制御運転も、制御方法をより細かく設定し、起動停止回数を少なくすることができれば効果的な運転方法と成り得る。

3-3. 超高効率火力発電普及を想定した検討

これまでの検討では省エネ法の定める換算値を用いて 1 次エネルギー消費量を算出してきた。しかし、将来的には多くの発電所が超高効率火力発電 (More Advanced Combined Cycle 発電, 以下 MACC) に移行すると言われており⁴⁾、全電化システムを用いた場合の 1 次エネルギー消費量が大きく削減されることが予測される。そこで、受電端効率 50% を想定した場合の電力 1 次エネルギー換算値 7.2MJ/kWh を用いて、PEFC-CGS の導入効果を全電化システムと比較検討した。各システムの設備概要を表 8 に示す。PEFC-CGS の運転方法は、前段の結果から最も現実的かつ効果的であると判断した DSS 電力負荷追従運転に加え、将来的に PEFC による発電の逆潮流契約が可能となった場合を考慮し、DSS 定格運転も検討した。また、MACC 普及時には PEFC-CGS の発電効率も向上していると考えられるため、発電効率 31.7%・排熱利用効率 51.5% の現行機の他に、排熱利用効率はそのまま発電効率が 35% のもの、40% のものを想定してそれぞれ検討を行った。

図 8 に各システムにおける 1 次エネルギー消費量を示す。なお PEFC-CGS の結果については、逆潮流無しの場合が DSS 電力負荷追従運転によるもの、逆潮流有りの場合が DSS 定格運転によるもので、逆潮流有りの場合の電力消費量は買電量から売電量を差し引いたものとなっている。MACC 普及により、従来システムにおける 1 次エネルギー消費量は、現状での 71.9GJ/年から 16.6GJ/年削減され 55.3GJ/年となった。全電化システムの 1 次エネルギー消費量は 47.8GJ/年であり、従来システムに比べて 13.4% の削減となっている。それに対して PEFC-CGS は、発電効率 31.7% の現行機では逆潮流の有無に関わらず全電化システムよりも低い削減率である。発電効率が 35% のものになると、逆潮流有りの場合のみ削減率が 14.5% と全電化システムの効果を上回り、発電効率 40% のものになると逆潮流の有無に関わらず全電化システムよりも高い削減率となる。

表 8 システム設備概要

	電力	給湯	調理レンジ
従来システム	系統(買電)	温水ボイラ(ガス)	ガスコンロ(ガス)
全電化システム	系統(買電)	CO ₂ HP給湯機(電気)	IHクッキングヒーター(電気)
PEFC-CGS	PEFC発電、系統(買電)	PEFC排熱、温水ボイラ(ガス)	ガスコンロ(ガス)

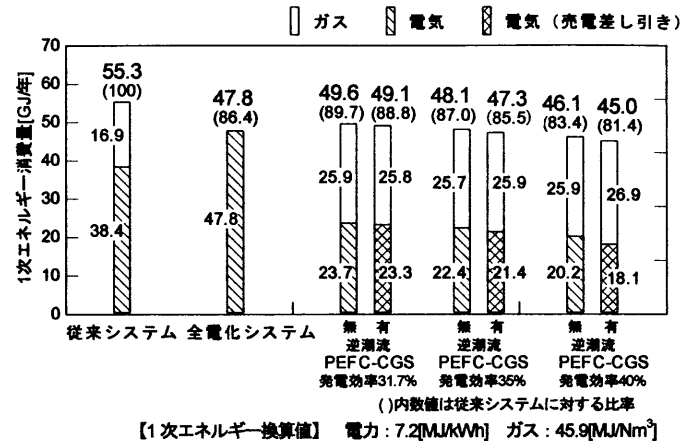


図 8 年間 1 次エネルギー消費量比較

4. 実測住宅を対象とした数値シミュレーション

4-1. 実測負荷データ

前節までは実験住宅を対象として予測負荷データを作成し、年間の PEFC-CGS 導入効果を検討してきた。ここでは、実在住宅に PEFC-CGS を導入した場合の省エネルギー効果を確認するため、福岡県内の住宅におけるエネルギー消費量実測調査⁵⁾により得られた詳細な負荷データ(消費電力量を 1 分間隔、ガス消費量を 5 分間隔で測定)を用いて数値シミュレーションを行った。

計算には負荷発生傾向の大きく異なる 2 軒の住宅(O 邸, Y 邸)の各季節 1 週間のデータを用いた。O 邸は北九州市の戸建住宅(延べ床面積 128.1 m²)で父・母・子 2 人の 4 人家族、Y 邸は太宰府市の戸建住宅(延べ床面積 157.29 m²)で父・母・子 3 人の 5 人家族であり、冷暖房はいずれの住戸も電気式ヒートポンプエアコンによって行っている。表 9、表 10 に各住戸の負荷データの概要を、図 9 に各期間の負荷推移を示す。O 邸の負荷の特徴として、中間季・冬季の給湯用ボイラガス消費量が多いことが挙げられる。冬季は電力負荷も大きいため熱電比(給湯負荷を電力負荷で除した値)は 0.66 と低いが、中間季には 1.57 と高い値となっている。Y 邸に関しては、全ての季節で給湯負荷が小さく電力負荷が大きいという傾向があり、熱電比が非常に低い値となっている。

表9 O邸実測負荷データ

	冬季	中間季	夏季
	2003年		
	12月8日(日) 12月14日(土)	5月18日(日) 5月24日(土)	8月17日(日) 8月23日(土)
最大消費電力[kW]	7.17	2.07	3.70
最小消費電力[kW]	0.18	0.12	0.09
期間積算電力消費量[kWh]	202.98	60.76	87.57
期間積算ボイラーガス消費量[Nm ³]	13.14	9.35	5.70
期間積算1次エネルギー消費量[GJ]	2.64	1.04	1.14
熱電比	0.66	1.57	0.66

【1次エネルギー換算値】電力:昼間10.25[MJ/kWh]、夜間9.62[MJ/kWh]、ガス:45.9[MJ/Nm³]
 【2次エネルギー換算値】電力:3.6[MJ/kWh]、ガス:45.9[MJ/Nm³]
 【熱電比】給湯負荷/電力負荷

表10 Y邸実測負荷データ

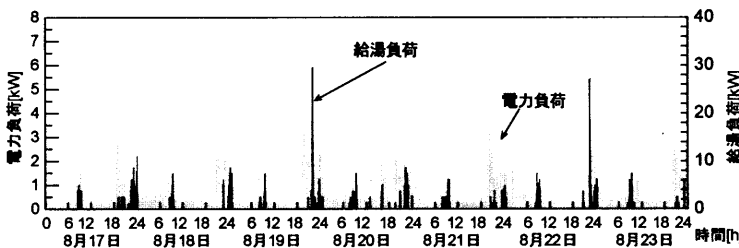
	冬季	中間季	夏季
	2003年		
	12月21日(日) 12月27日(土)	5月18日(日) 5月24日(土)	8月17日(日) 8月23日(土)
最大消費電力[kW]	7.77	4.13	6.37
最小消費電力[kW]	0.32	0.20	0.27
期間積算電力消費量[kWh]	268.37	126.96	183.60
期間積算ボイラーガス消費量[Nm ³]	5.66	4.24	1.27
期間積算1次エネルギー消費量[GJ]	2.91	1.44	1.87
熱電比	0.22	0.34	0.07

【1次エネルギー換算値】電力:昼間10.25[MJ/kWh]、夜間9.62[MJ/kWh]、ガス:45.9[MJ/Nm³]
 【2次エネルギー換算値】電力:3.6[MJ/kWh]、ガス:45.9[MJ/Nm³]
 【熱電比】給湯負荷/電力負荷

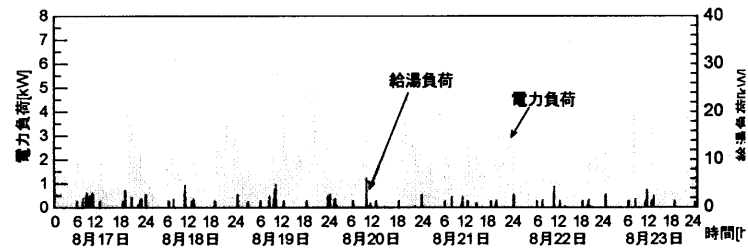
4.2. 計算結果

実測負荷データを用いた計算では、PEFC-CGSの運転方法をDSS電力負荷追従運転(以下DSS運転)と、自動起動停止制御運転(以下自動制御運転)の2通りで設定し、それぞれ結果を算出した。図10から図13に計算結果を、図14、図15に各住戸の季節別1次消費エネルギー量および1次エネルギー利用効率を、表11にPEFC-CGS作動状況とエネルギー消費量を示す。なおPEFC-CGSの運転助走期間は設けず、検討期間の初日に運転を開始する設定としている。

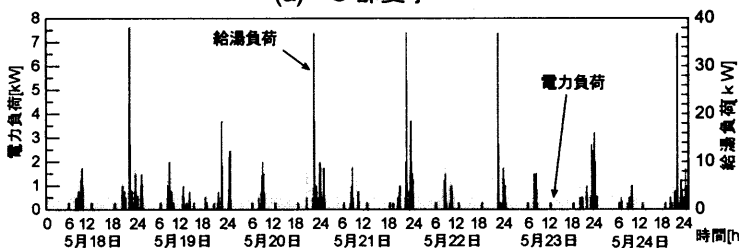
O邸の計算結果を見ると、総1次エネルギー消費量はDSS運転、自動制御運転ともに従来システムに比べて約12%の削減となっている。季節別にみると夏季と冬季にはDSS運転の効果が高い。中間季には自動制御運転の効果が大きく、予測負荷データを用いた計算結果とは逆の傾向が見られた。中間季にDSS運転の効果が高くなるのは、電力負荷が1日を通して大きく、PEFC作動時間が計18時間と長く設定できた(表11設定作動時間参照)ためと考えられる。それに対して自動制御時の運転状況を見ると、日中にPEFC-CGSが作動していない時間帯が多く発生していることがわかる(図11(c)参照)。これは入力した実測負荷データが1分間隔で測定されたものであることから電力負荷の変動が細かく、電力負荷が発電負荷率30%の発電量を下



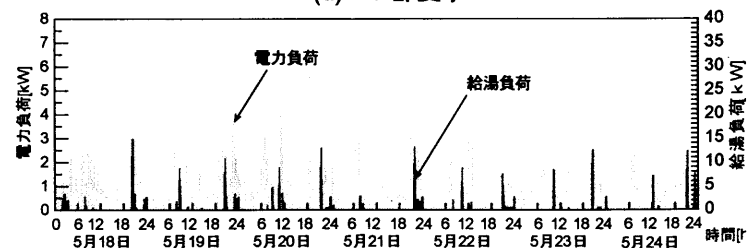
(a) O邸夏季



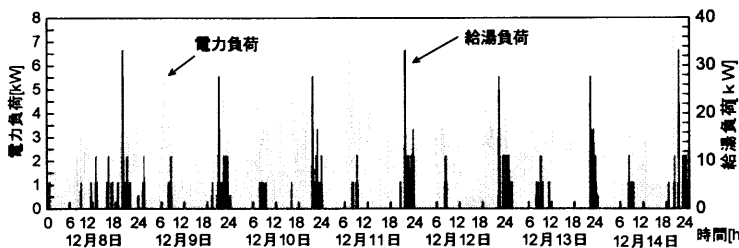
(d) Y邸夏季



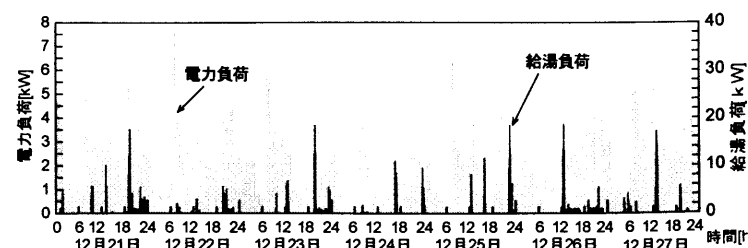
(b) O邸中間季



(e) Y邸中間季

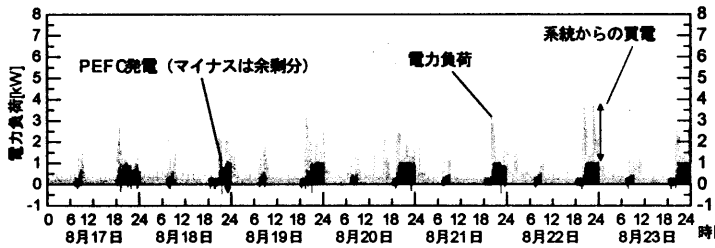


(c) O邸冬季

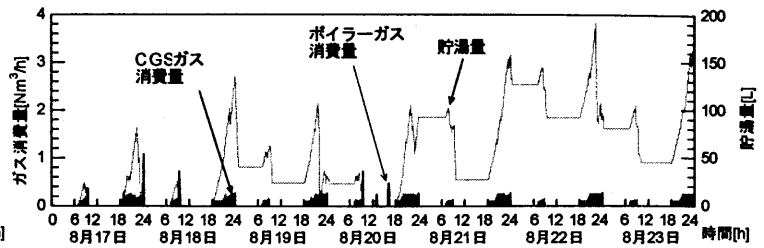


(f) Y邸冬季

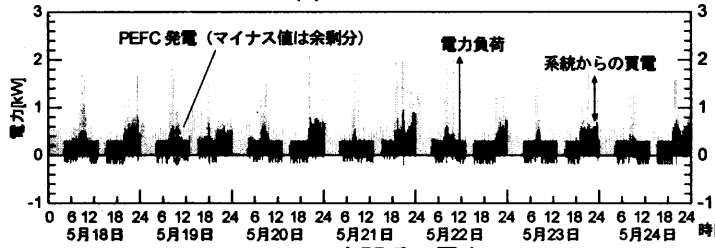
図9 実測住戸負荷データ (左: O邸、右: Y邸)



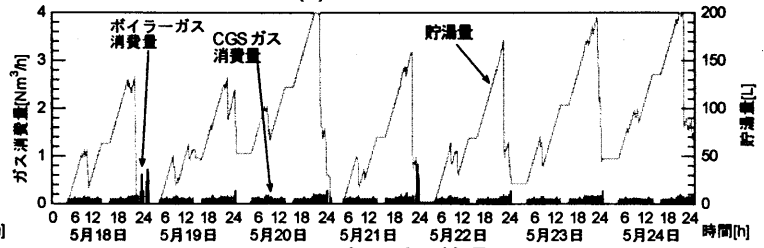
(a) 夏季 電力



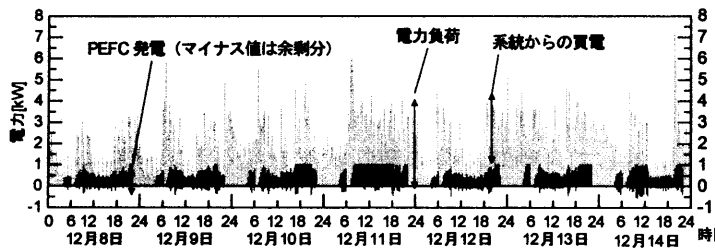
(b) 夏季 給湯



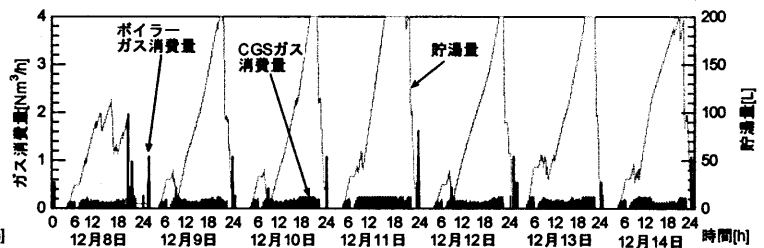
(c) 中間季 電力



(d) 中間季 給湯

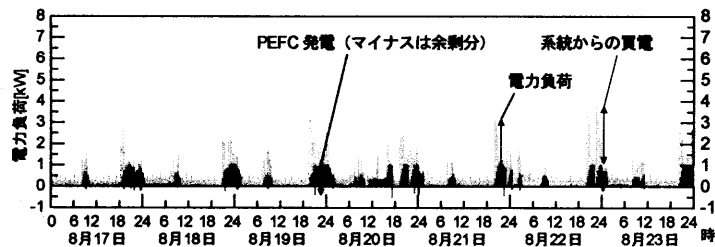


(e) 冬季 電力

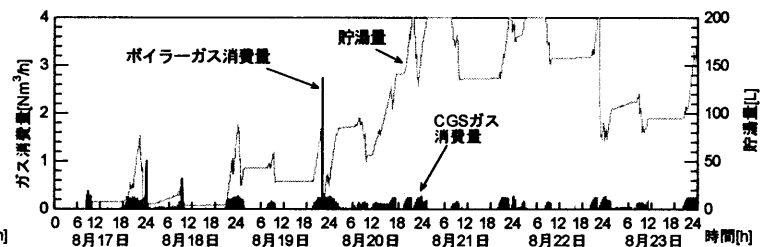


(f) 冬季 給湯

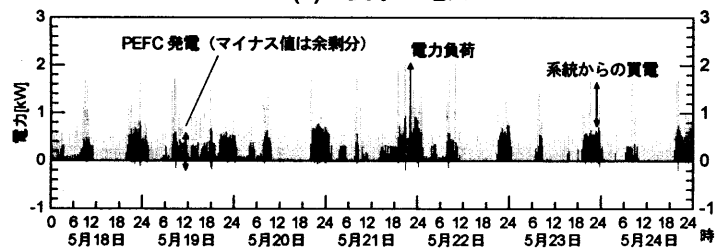
図 10 O邸 DSS 電力負荷追従運転計算結果



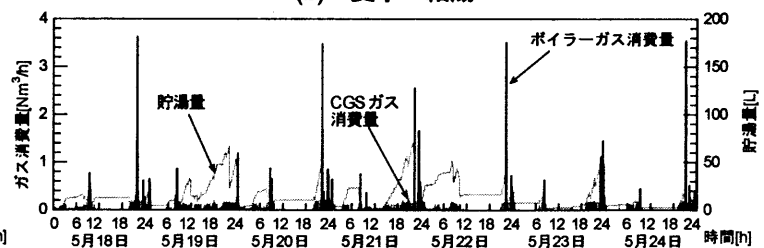
(a) 夏季 電力



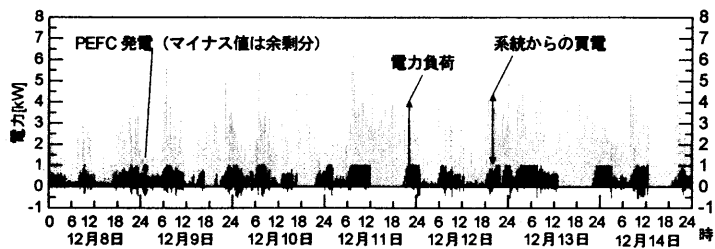
(b) 夏季 給湯



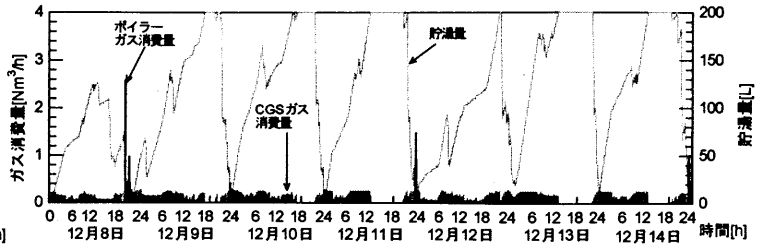
(c) 中間季 電力



(d) 中間季 給湯



(e) 冬季 電力



(f) 冬季 給湯

図 11 O邸 自動起動停止制御運転計算結果

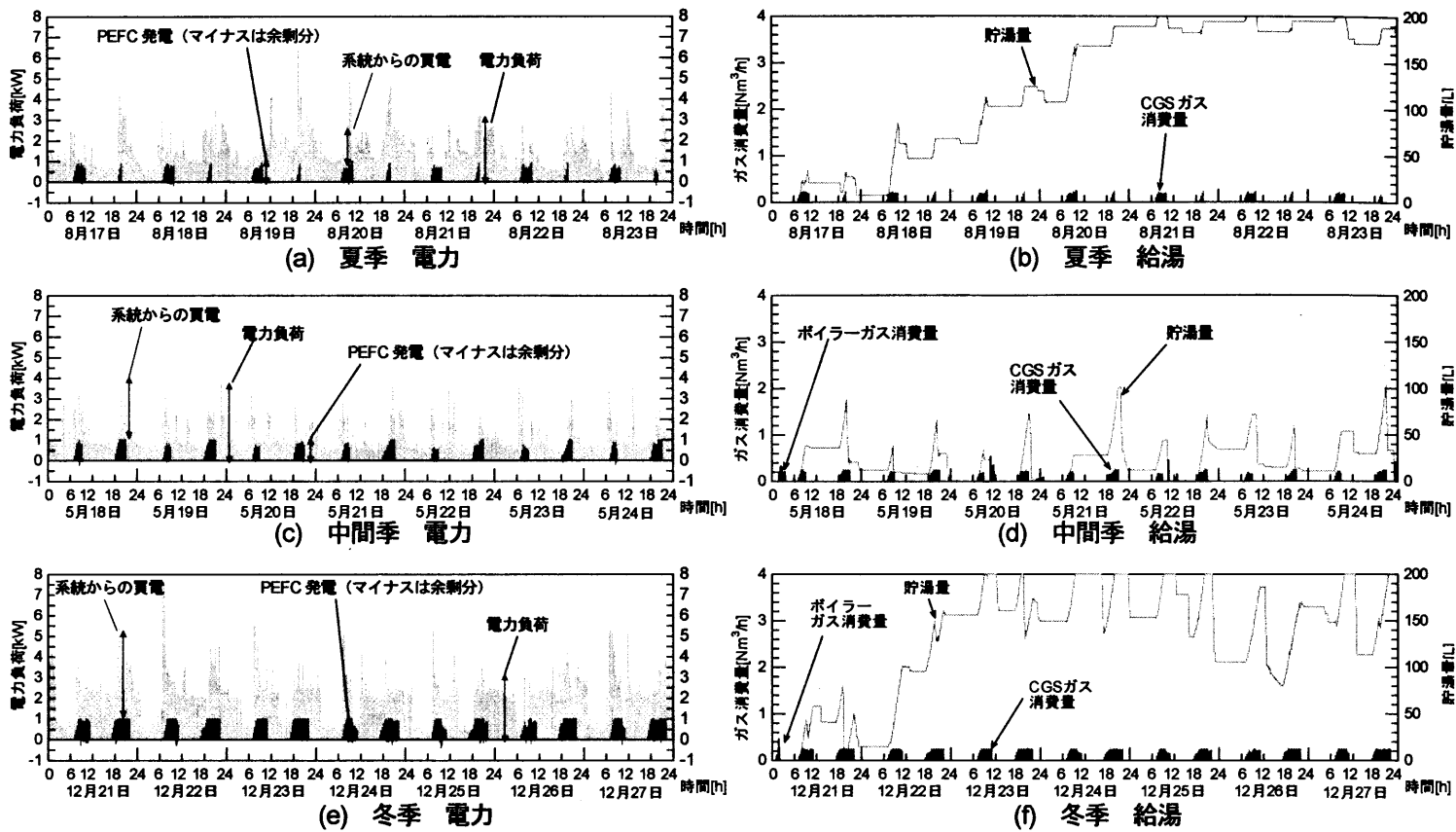


図 12 Y 邸 DSS 電力負荷追従運転計算結果

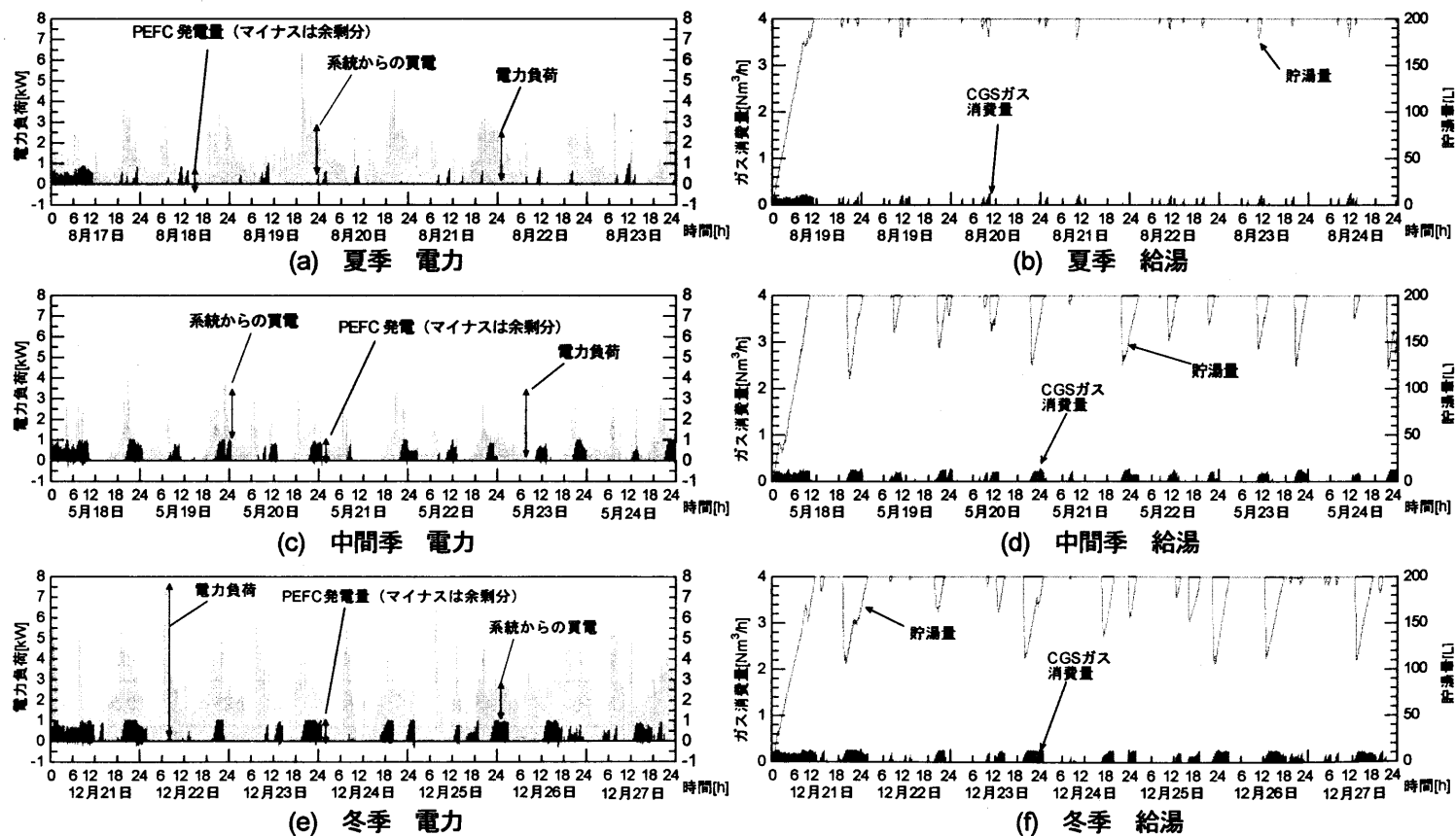


図 13 Y 邸 自動起動停止制御運転計算結果

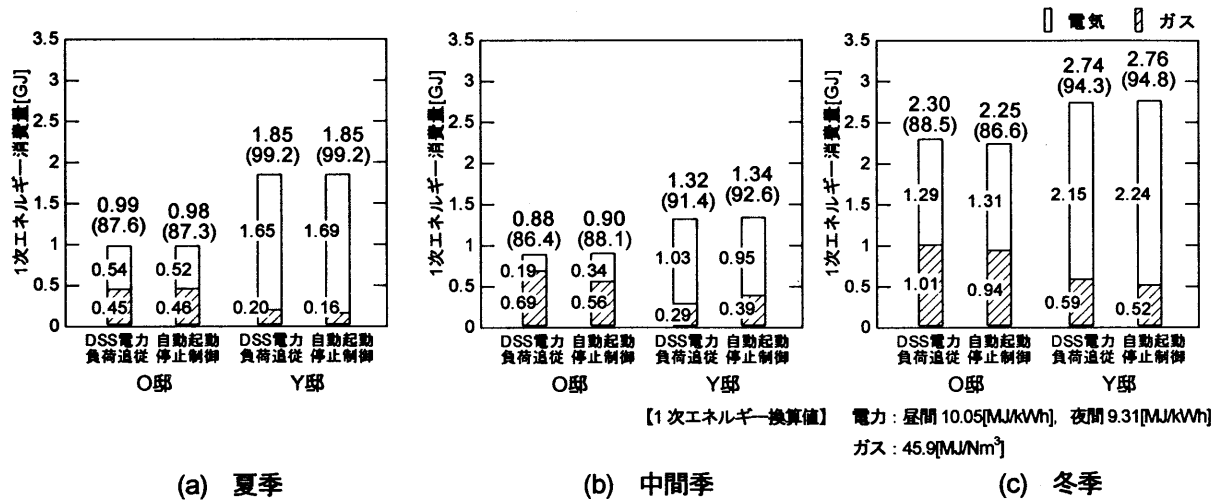


図14 1次エネルギー消費量比較

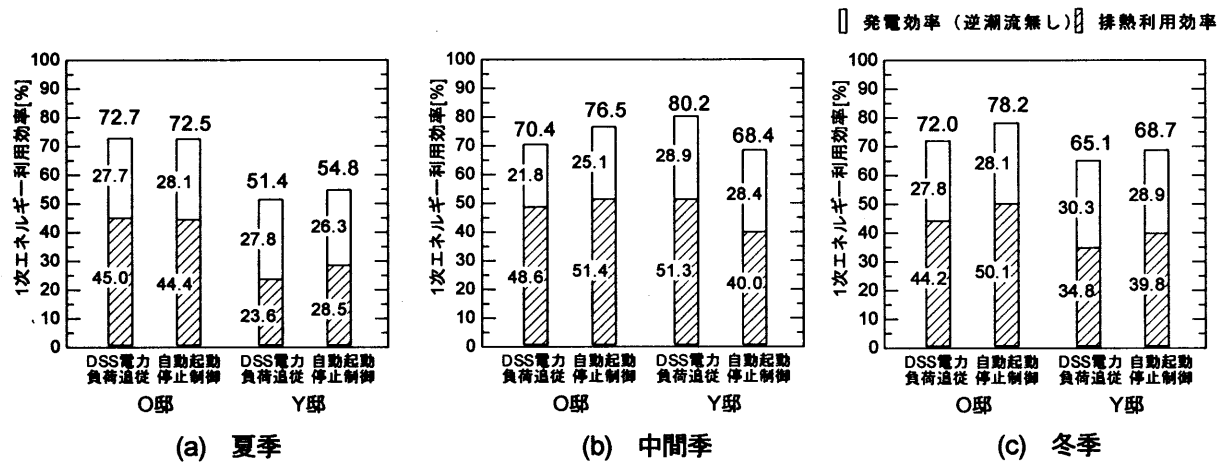


図15 1次エネルギー利用効率比較

表11 PEFC-CGS 運転状況とエネルギー消費量

住宅	PEFC-CGS運転方法	季節	設定作動時間	起動停止回数【回】	発電量【kWh】	買電量【kWh】	余剰電力量【kWh】	CGSガス消費量【Nm ³ 】	ボイラーガス消費量【Nm ³ 】	
O邸	DSS電力負荷追従運転	夏季 (8/17~8/23)	7-9、18-24 (計8時間)	14	33.70	54.89	1.02	9.73	0.52	
		中間季 (5/18~5/24)	4-13、15-24 (計18時間)	14	45.53	19.99	4.77	14.61	0.48	
		冬季 (12/8~12/14)	4-6、7-22 (計17時間)	14	72.28	132.04	1.34	19.94	2.13	
	自動起動停止制御運転	夏季 (8/17~8/23)	-	-	183	34.75	53.02	0.19	9.61	0.36
		中間季 (5/18~5/24)	-	-	296	25.98	34.83	0.062	8.06	4.17
		冬季 (12/8~12/14)	-	-	152	71.25	132.73	1.00	19.57	0.88
Y邸	DSS電力負荷追従運転	夏季 (8/17~8/23)	7-10、19-20 (計4時間)	14	15.36	168.24	0.030	4.31	0.52	
		中間季 (5/18~5/24)	7-9、18-21 (計5時間)	14	22.34	104.64	0.040	6.03	0.38	
		冬季 (12/21~12/27)	7-11、17-22 (計9時間)	14	50.10	218.46	0.20	12.96	0.067	
	自動起動停止制御運転	夏季 (8/17~8/23)	-	-	39	12.01	171.57	0.010	3.57	0.00
		中間季 (5/18~5/24)	-	-	64	30.94	96.11	0.10	8.49	0.00
		冬季 (12/21~12/27)	-	-	59	42.33	226.24	0.22	11.40	0.00

下回る場合に瞬時に停止し、負荷復活後緩やかに再起動するという動作が頻繁に起こったためと考えられる。このことは起動停止回数が中間季に特に多くなっていることから明らかである(表 11 起動停止回数参照)。しかしそれによって余剰電力の発生が DSS 運転に比べて抑えられており、実質発電効率は全期間で DSS 運転と比べて高い値となっている。また、貯湯槽が満蓄状態になると停止するという制御により、冬季には排熱利用効率が高く、1 次エネルギー消費量も小さくなり、DSS 運転時よりも効果的な運転となっている。O 邸に関しては、DSS 運転と自動制御運転の双方に有効性がみられ、PEFC-CGS 導入による省エネルギー効果が確認できた。

一方、Y 邸に関しては 1 次エネルギー消費量の計算結果から、PEFC-CGS 導入による効果が O 邸に比べて非常に小さいということが確認された。特に夏季においては 1 次エネルギー消費量がほぼ従来システムと等しくなり、PEFC-CGS の導入効果がほとんど見られないという結果になっている。この要因として、Y 邸における発生負荷の熱電比が小さいことが挙げられる。熱電比は電力負荷に対する給湯負荷をあらわす数値であり、熱と電気をあわせて供給するコージェネレーションシステムの運転はこの熱電比に大きく左右される。熱電比が小さいということは電力負荷に対して給湯負荷が小さいということであり、余剰熱が発生しやすいため PEFC-CGS を長時間運転することができない。Y 邸の計算に際して季節ごとに検討した DSS 運転の最適運転時間は、O 邸のものに比べて短くなり、特に熱電比の低かった夏季には 1 日わずか 4 時間となった(表 11 設定作動時間参照)。更に、運転時間を短く設定したにもかかわらず DSS 運転の貯湯量推移をみると、夏季と冬季において貯湯の多くが使用されずに残っていることがわかる。これによって排熱利用効率は夏季に 23.4%、冬季に 34.8% と非常に低い値となっている。また、自動制御運転ではこの傾向が全ての期間で見られ、PEFC-CGS 運転開始からおよそ 10 時間で貯湯槽が満蓄状態となり、そこからは給湯負荷発生後に再起動を繰り返すという動きになっている。最終的に貯湯槽容量の 200 リットルの湯が使用されず、排熱利用効率は全期間で低い値となっている(図 13 参照)。しかし、Y 邸では電力負荷が大きいため、PEFC-CGS 作動時の発電効率は非常に高い値となっており、余剰電力もほとんど発生していない。今回は 1 週間の負荷データを用いた検討であったが、前後の期間で大きな給湯負荷の発生があれば PEFC-CGS の導入効果が向上する可能性もあり、さらに検討する必要がある。

5. まとめ

戸建住宅における PEFC-CGS の導入効果を数値シミュレーションにより検討した。以下に得られた知見を示す。

1) 実験住宅の予測負荷データを用いて、PEFC-CGS の運転

方法を検討した結果、逆潮流有りの場合には DSS 定格運転が、逆潮流無しの場合には DSS 電力負荷追従運転が最も効率的な運転方法であることが確認された。

- 2) MACC 発電普及後を想定し、受電端効率 50%となった場合における PEFC-CGS と全電化システムとの比較を行った。PEFC-CGS は逆潮流を考慮した場合には発電効率 35%、逆潮流を考慮しない場合には発電効率 40%を達成することで全電化システムを上回る効果が得られることが確認された。
- 3) 実際の住宅に PEFC-CGS を導入した場合の省エネルギー効果検討のため、福岡県内で測定された 2 軒の戸建住宅における実測負荷データを用いて数値シミュレーションを行った。負荷傾向が実験住宅の予測負荷データに近い O 邸においては PEFC-CGS 導入により 10%以上の 1 次エネルギー削減効果が確認されたが、全ての期間で熱電比が低かった Y 邸においては省エネルギー効果が 5%程度と小さな値であり、PEFC-CGS 導入による効果は負荷の熱電比に大きく左右されるということが確認された。

今後は PEFC-CGS の運転方法を更に細かく設定し、より効果的な運転方法を確立すると共に、様々な負荷条件、設備条件における PEFC-CGS の導入効果の検討を行いたい。

【参考文献】

- 1) 資源エネルギー庁: 施策情報, 新エネルギー政策について http://www.enecho.meti.go.jp/policy/newenergy/new_ene8.htm.
- 2) 空気調和・衛生工学会シンポジウム「住宅における生活スケジュールとエネルギー消費」テキストと付属プログラム「SCHEDULE Ver2.0」, 2000.
- 3) 林徹夫: マイコンによる住宅の多数室室温変動・熱負荷計算システムの開発, 住宅研究財団研究年報, No.20,1992.
- 4) 田中俊六: 省エネルギーシステム概論 (オーム社), 2003.
- 5) 小副川学,他 7 名: 九州・沖縄における住宅のエネルギー消費量に関する調査研究 その 4 夏季の用途別エネルギー消費量, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2004 年 8 月 (予定).

【謝辞】

本研究は平成 16 年度科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業研究課題“スループットを最大化する住空間システム”研究代表者: 松藤泰典教授 (九州大学大学院) および 21 世紀 COE プログラム「循環型住空間システムの構築」拠点リーダー: 松藤泰典教授 (九州大学大学院) によるものである。記して、関係各位に謝意を表します。

(受理: 平成 16 年 6 月 17 日)