

長期優良住宅における家庭用分散型電熱源機器と温水式床暖房の併用効果に関する研究

熊埜御堂, 令
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

奥田, 有規
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

尾崎, 明仁
京都府立大学大学院生命環境科学研究科

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

他

<https://doi.org/10.15017/26748>

出版情報：都市・建築学研究. 20, pp.67-75, 2011-07-15. 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：

長期優良住宅における家庭用分散型電熱源機器と 温水式床暖房の併用効果に関する研究

Energy Saving Effects of the Combination of Distributed Power and Heat Source System on Housing and Floor Heating

熊埜御堂 令*, 奥田有規*, 尾崎明仁**, 赤司泰義***, 住吉大輔**

Rei KUMANOMIDO, Yuki OKUDA, Akihito OZAKI,

Yasunori AKASHI and Daisuke SUMIYOSHI

This paper presents actual measurement for long-life quality housing and energy saving effects of the combination of distributed power and heat source system on housing and floor heating of warm water type. We studied about energy saving effects of 3 equipments, Polymer Electrolyte Fuel Cell Co-Generation System (PEFC-CGS), Solid Oxide Fuel Cell Co-Generation System (SOFC-CGS), and Micro Gas Engine Co-Generation System (GE- μ CGS). As the result, it is clarified that when we use floor heating, energy reduction rate of housing electricity and heat source equipments is higher than that by air conditioner and that the highest primary energy consumption reduction rate is 26.0% in the case of SOFC-CGS combined with floor heating.

Keywords : Model-based simulation, Actual measurement, Fuel cell CGS, Gas engine CGS,
Floor heating of warm water type, Primary energy reduction

数値シミュレーション, 実測調査, 燃料電池 CGS, ガスエンジンマイクロ CGS,
温水式床暖房, 1次エネルギー消費量削減

1. はじめに

現在, 我が国のエネルギー消費量の約 3 割を占める民生部門(家庭, 業務)のエネルギー消費は, 産業部門と比較して高い伸びを示してきており, 民生部門における抜本的な省エネルギー対策の推進が喫緊の課題となっている。特に, 家庭部門においては, 住宅の高気密・高断熱による省エネルギー化が進む中, 超長期にわたって良好な状態で使用するための措置が講じられた住宅である『長期優良住宅』の普及を促進するための法律が平成 21 年 6 月 4 日に施行された。

また, 太陽光などの再生可能エネルギーや燃料電池などの分散型電熱源を活用した省エネルギーシステムへの関心が高まっている。その中で, 家庭用個別分散型電熱源機器として, ガスエンジンマイクロコージェネレーションシステム(以下, コージェネレーションシステムを CGS とする)や燃料電池 CGS の開発と導入が進められている。これらは, 敷地内で発電を行う際に発生する排熱を利用し, 住宅へ電力と熱を供給する電熱源機器で, いかに排熱を有効利用できるかでその効果が大きく左右される。排熱を有効に利用する手段の一つとして温水式床暖房が挙げられる。輻射方式暖

房である床暖房は, 対流方式暖房であるエアコンと比較して, 室内の上下温度差が小さく均一な環境を形成しやすい。また, 床暖房は足元が暖かいため, 比較的低い室温でも暖かく感じられるといった利点がある。

そこで本研究では, 床暖房導入住宅の熱負荷特性や温水式床暖房と家庭用個別分散型電熱源機器との併用効果を明らかにし, 長期優良住宅において, エネルギー消費量の削減を図ることのできる環境性の高いエネルギーシステムを提案することを目的とする。

研究を実施するにあたっては, 熱負荷計算プログラムや電熱源機器導入効果算出プログラム等を用いた数値シミュレーションおよび実際の省エネ・創エネ型住宅での実測試験の両側面からの検討を行った。

2. 実験住宅の室内環境

2.1 実験住宅の概要

本研究で対象としている住宅は, 福岡市西区に建つ「創エネ住宅(以下, 実験住宅)」である。表 1 にその建物概要を, 写真 1 に建物外観を, 図 1 に実験住宅の平面図を示す。

1 階はオープンな LDK, 2 階は寝室として 3 つの洋室とファミリールームという構成になっており, 図 1 の LDK の橙色の部分には温水式床暖房が導入されている。なお, LDK は負荷計算に際して南側から居間, 食堂, 台所の 3 室に分けてモデル化した。切妻屋根の南側に

* 空間システム専攻修士課程

** 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

*** 都市・建築学部門

は太陽光発電パネルと太陽熱温水器の集熱パネルが設置されている。

表2に実験住宅に導入されている各種設備機器、表3に空調機器概要を示す。太陽光発電システムや家庭用固体高分子形燃料電池CGS（以下、PEFC-CGS）の他、床暖房やミストサウナなどの熱利用設備が導入されているのが特徴である。熱源設備のPEFC-CGSと太陽熱温水器は切り替えによって何れかを選択するものとなっている。

表4に実験住宅の主な部位の構成を示す。実験住宅は次世代省エネルギー基準を満たす仕様となっている。特に、窓仕様については開口部が大きいことから冬期の暖房負荷を抑制するために断熱Low-Eペアガラスが採用されており、熱損失係数(Q値)は立地する第IV地域の基準値を上回る第III地域の基準値を満たしている。

表1 建物概要

所在地	福岡市西区今宿
用途	研究施設・宿泊体験施設
建築面積	79.49㎡
延床面積	119.23㎡
階数	2階
最高高さ	8.98m
構造	木造
工期	平成21年8月～12月



写真1 建物外観(南東側)

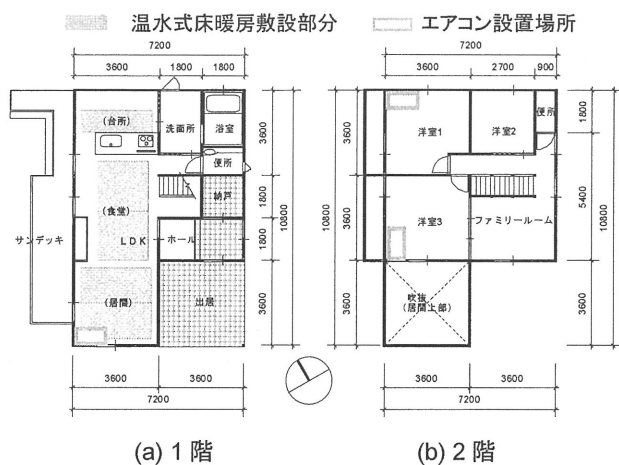


図1 平面図(単位mm)

表2 導入設備概要

発電設備	太陽光発電システム
発電・熱源設備	固体高分子形燃料電池CGS
熱源設備	太陽熱温水器
熱利用設備	床暖房、ミストサウナ
暖房設備	ガス暖炉

表3 空調機器概要

	機器概要	設置場所
エアコン	型式:CS-710CX2(Panasonic)	1F居間
	型式:CS-229TB(Panasonic)	2F洋室1
	型式:CS-289TB(Panasonic)	2F洋室3
温水式床暖房(温水マット)	型式:LFM-12DXB-K(住商メタレックス)	1FLDK
	型式:LFM-12DBCK3015(西部ガス)	1FLDK
	型式:LFM-12EBCK2421(西部ガス)	1FLDK
型式:LFM-12EBCK2424(西部ガス)	1FLDK	

表4 実験住宅の部位構成

部位	構成[mm](内→外)
外壁	漆喰[5]、石膏ボード[12]、断熱材[45]、合板[9]、通気層、合板[9]、壁土[18]
窓	ガラス[6]、中空層[12]、ガラス[6](断熱Low-Eペアガラス)
天井(屋根)	合板[24]、断熱材[95]、合板、アスファルトルーフィング[1]、スレート[5]
床	フローリング[15]、合板[24]、断熱材[45]

2.2 冬期実測調査の概要

実験住宅において、エアコンを使用した際および床暖房を使用した際の室内温熱環境の違いを把握することを目的として、平成22年2月18日～2月22日(第1期)、平成22年3月1日～3月5日(第2期)に測定を行った。表5に設定条件、表6にエアコンの運転スケジュール、表7に床暖房の運転スケジュールを示す。エアコンの室内設定温度は22℃とし、床暖房はパネル出力の設定値(大・中・小)のうち、室温制御22℃に相当する中を選択した。case1は空調を行わず、自然室温を計測した。case2-aとcase2-bではLDK以外の居室でエアコンによる暖房を行い、case2-aでは1階のLDKをエアコンにより暖房する。case2-bでは床暖房による暖房を行う。各ケースにおいて、温湿度、床表面温度、垂直温度、PMV値を測定した。図2に測定項目と測定点、表8に測定機器概要を示す。

表5 設定条件(冬期実測)

	暖房機器	
	LDK	LDK以外
case1	なし	なし
case2-a	エアコン	エアコン
case2-b	床暖房	エアコン

表6 エアコン運転スケジュール

対象室	エアコン運転スケジュール																								運転時間	
	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
居間・食堂																										
洋室1																										
洋室2																										
洋室3																										

表7 床暖房運転スケジュール

対象室	床暖房運転スケジュール																								運転時間	
	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
台所																										
居間・食堂																										

⊗ 温湿度 ▲ 床表面温度 ◆ 垂直温度 ■ PMV値

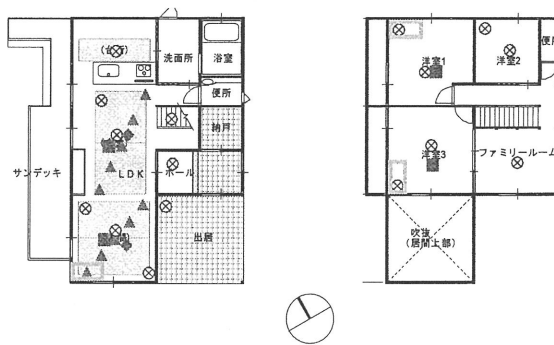


図2 測定項目と測定点(冬期実測)

表8 測定機器の概要(冬期実測)

測定項目	測定機器(内はメーカー)	測定位置(垂直高さ)	測定間隔
温湿度	おんどとり:RTA-53A(T&D)	1100mm、吹き抜けは3100mm付近	1分
床表面温度	T熱電対(岡本製作所)	居間	1分
垂直温度	T熱電対(岡本製作所)	食堂	1分
		(100,600,1100,1600,2100,2600,3100,3600mm)	
PMV値	アメニティーメータ:AM-101(京都電子工業)	居間	5分
		(100,600,1100,1600,2100,2600mm)	

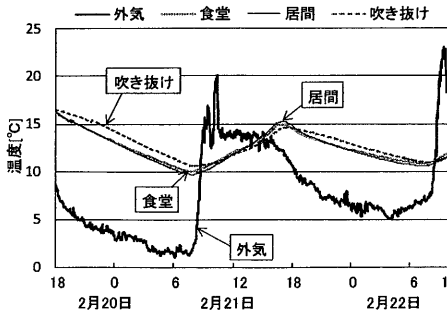


図3 case1の室温

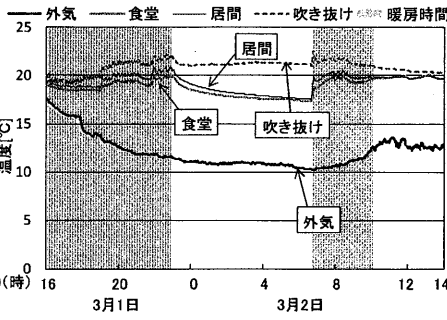


図4 case2-aの室温

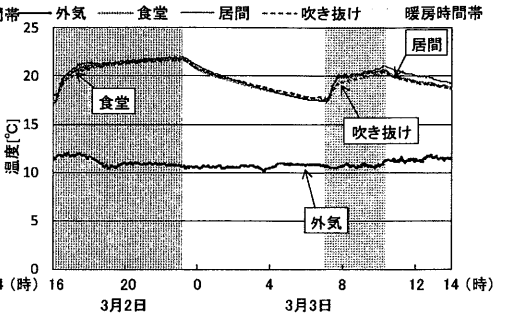


図5 case2-bの室温

2.3 冬期実測結果

図3, 図4, 図5にcase1, case2-a, case2-bの室温を示す。case1において、食堂、居間、吹き抜けは、早朝の室温が約10°Cであるが、西日の影響を受ける17時から18時の間の室温は約15°Cに達している。また、16時から翌7時の間は、吹き抜けの室温が居間と食堂に比べて1~2°C高い値で推移している。case2-aにおいて、暖房時間帯である16時から23時の居間と食堂の室温は、設定温度である22°Cに達していないが、吹き抜けは22°Cに達しており、その後も吹き抜けの室温が居間と食堂に比べて高い値で推移している。床暖房を使用するcase2-bにおいて、各室間の温度差はほとんど見られない。

図6, 図7にcase2-a, case2-bの居間の室温、床表面温度、PMVを示す。case2-aにおいて、外気温が9時から10時頃にピークとなっているが、温度センサーに直射日光が当たっていた状態で測定したためと考えられる。暖房時間帯である7時から10の間では、case2-a, case2-bともに設定温度である22°Cに達していない。また、暖房時間帯である16時から23時の間において、case2-aとcase2-bの室温とPMV値に大きな差は見られない。case2-bの床表面温度は、case2-aと比べて10°C~13°C高くなっている。

図8にcase2-a, case2-bの暖房運転開始3時間後の19時での居間の垂直温度分布を示す。case2-aでは、高さが上がるにつれて温度も上昇しているが、case2-bでは、床表面近くが最も高温になっている。また、室内の上下温度差は、case2-aで最大約5°C、case2-bで最大約2°Cとなり、床暖房を使用する方がエアコンを使用するよりも上下温度差は小さい。

2.4 夏期実測調査の概要

実験住宅において、通風を利用した際およびエアコンを使用した際の室内温湿度変化や快適性の違いを把握することを目的として、平成22年8月7日~8月14日に測定を行った。表9に設定条件、表10に通風のスケジュール、表11にエアコンの運転スケジュールを示す。エアコンの室内設定温度は26°Cとした。case3では窓を閉じた状態での自然室温を測定する。case4では通風を行い、case5ではエアコンによる冷房を行う。各ケースにおいて、温湿度、垂直温度、PMV値、風速を測定した。図9に測定項目と測定点、表12に測定機器の概要を示す。

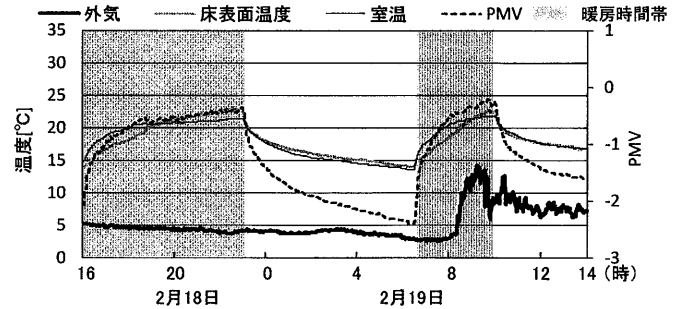


図6 case2-aの室温・床表面温度・PMV (居間)

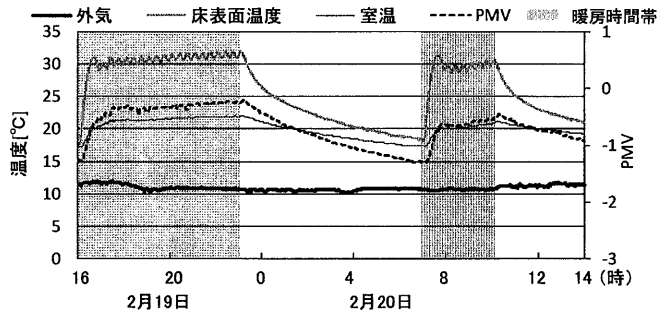


図7 case2-bの室温・床表面温度・PMV (居間)

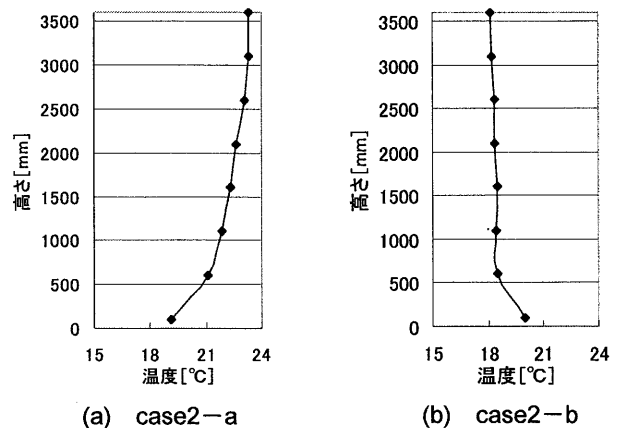


図8 居間の垂直温度分布(19時)

表9 設定条件 (夏期実測)

	空調方法	
	LDK	LDK以外
case3	なし	なし
case4	通風	通風
case5	エアコン	エアコン

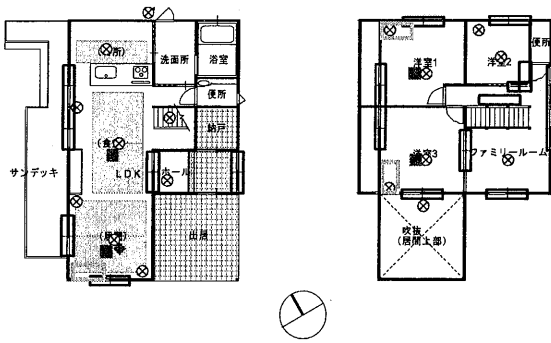
表 10 通風のスケジュール

対象室	通風のスケジュール																								
	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
居間・食堂																									
洋室1																									
洋室2																									
洋室3																									

表 11 エアコンの運転スケジュール

対象室	エアコンのスケジュール																								
	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
居間・食堂																									
洋室1																									
洋室2																									
洋室3																									

● 温湿度 ◆ 垂直温度 ■ PMV値・風速 □ 窓開放部分(通風時)



(a) 1階 (b) 2階

図 9 測定項目と測定点 (夏期実測)

表 12 測定機器の概要 (夏期実測)

測定項目	測定機器()内はメーカー	測定位置(垂直高さ)	測定間隔
温湿度	おんどとり: RTA-53A (T&D)	1100mm, 吹き抜けは3100mm付近	1分
垂直温度	T熱電対 (岡本製作所)	100,600,1100,1600,2100, 2600,3100,3600mm	1分
PMV値・風速	アメニティメータ: AM-101 (京都電子工業)	1100mm	5分

2.5 夏期実測結果

表 13 に通風時間帯の風向と風速, 図 10 に case3, case4, case5 の室温と日射量, 図 11 に case3, case4, case5 の風速と PMV を示す. 全日射量, 風向, 風速は, 気象庁の福岡の気象観測データ¹⁾を用いた.

case3 において, 冬期実測の case1 と同様に, 17 時から翌 7 時の間は, 吹き抜けの室温が居間, 食堂の室温よりも 1~2°C 高くなっている. 8 月 8 日の 11 時から 12 時の間に, 外気温が低下しているにもかかわらず, 各部屋の室温が上昇している. 実測の際, カーテンやブラインドを使用しておらず, 室内に入射する日射の影響を強く受けたためと考えられる. また, 室温が 35°C に近づくと PMV が測定最大値の 3 を超える.

case4 において, 8 月 14 日の通風時間帯である 7 時から 17 時の間では, 外気温度より各部屋の室温が低く, 室温, PMV 共に上昇を続けている. 通風の実測の前日にエアコンによる冷房を行っていたため, 通風を行う前の室温が低くなっていることが影響していると考えられる. 実測では窓の開放は十分に行ったものの, 通風の効果はあまり得られなかった.

case5 において, 8 月 12 日の西日の影響を受ける 17 時から 18 時の間に, 居間の室温が設定温度である 26°C を上回っている. また, 冷房時間帯である 7 時から 17 時の間では, 洋室 1 の室温が設定温度の 26°C を下回っており, 過剰に冷房されている. これは, 1 階居間に設置されているエアコンに比べて, 2 階洋室のエアコンの空調範囲が狭く, 過大な機器容量のエアコンが設置されているためと考えられる.

表 13 通風時の風向と風速 (夏期実測)

時刻	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
風速(m/s)	3.3	2.2	2.4	2.3	4.9	4.5	4.4	3.8	3.8	4.7
風向	南	南南東	南南西	南	南	南南西	南南西	南南西	南	南

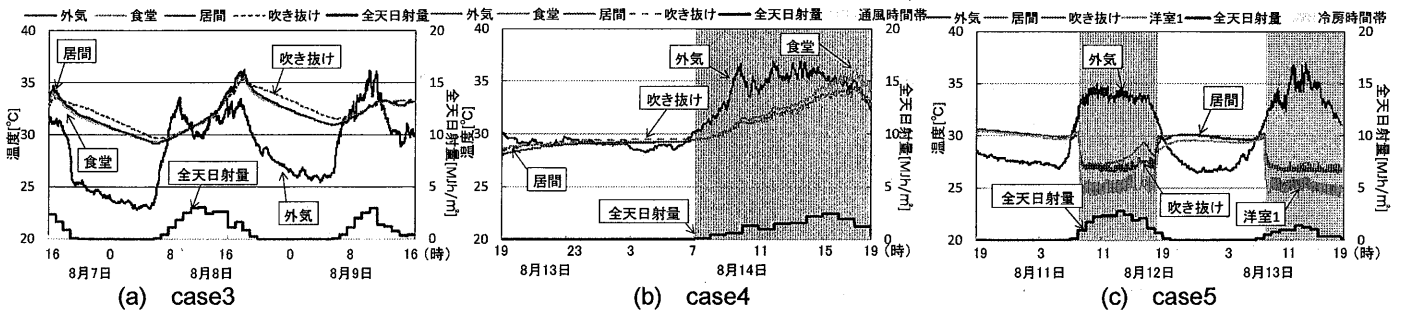


図 10 室温と日射量

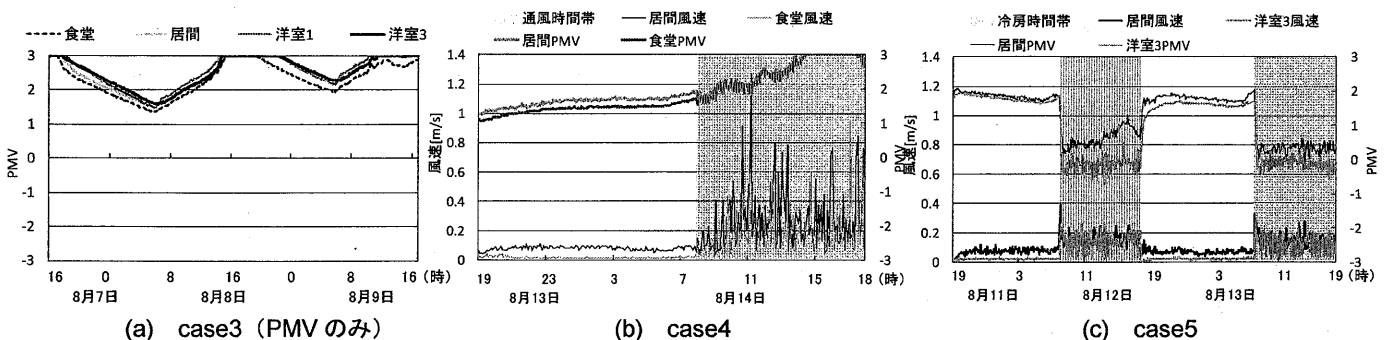


図 11 風速と PMV

3. 実験住宅における温水式床暖房の熱負荷計算

実験住宅における温水式床暖房の熱負荷を数値シミュレーションにより算出する。比較のために、エアコンの熱負荷についても計算を行う。

3.1 シミュレーションプログラム概要

動的熱負荷計算プログラム THERB²⁾を使用して、長期優良住宅の室内熱負荷計算を行った。計算期間は12月から3月までの冬期4ヶ月間である。生活スケジュールは SCHEDULE Ver.2.0³⁾により作成し、家族構成は標準的な4人家族(父、母、子供2人)とした。表14に居住者の在室スケジュールを、表15に建物内の機器および人体発熱スケジュールを、表16に設定条件を示す。居間、食堂、台所は、在室スケジュール上は一体の室(LDK)とみなし、内部発熱等はすべて居間で発生するものとした。在室時に空調を行うこととし、空調は設定値22℃の室温制御とした。気象データには福岡市の拡張アメダス気象データ⁴⁾(標準年)と福岡市の市水温度データ⁵⁾を用いた。また、本計算では、室内の温度分布は一様という条件で計算を行った。

表14 在室スケジュール

対象室	空調スケジュール																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
LDK																									
洋室1																									
洋室2																									
洋室3																									

表15 機器および人体発熱スケジュール

部屋名	項目	0:00-8:00								17:00-23:00								日積算単位
		0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
洋室1	在室	124	124	124	124	124	124	89									108	943 Wh
	照明							30										30 Wh
洋室2	在室	51	51	51	51	51	51	43			59	15				51	51	525 Wh
	照明							15			30	8						87 Wh
	スタンド																	38 Wh
洋室3	在室	59	59	59	59	59	59	44	20				34	68	34	17	59	629 Wh
	照明							22					44	87	44	22		219 Wh
	スタンド												15	30	15	8		88 Wh
玄関	在室																	0 Wh
	照明							98							20			118 Wh
洗面	照明							76							25			101 Wh
	ドライヤー							338							113			450 Wh
	洗濯機								95	63								158 Wh
浴室	在室													85	119			203 Wh
	照明													74	74			148 Wh
	浴槽													170	170			340 Wh
居間	在室							128	91		73	68	178	127	130	195	18	1286 Wh
	照明							100			201	201	201	201	201	201	50	1353 Wh
	掃除機								200									300 Wh
	アイロン												125	125				250 Wh
	テレビ	2	2	2	2	2	2	2	91	2	2	120	120	120	120	120	2	933 Wh
	ラジオ	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	336 Wh
台所	スタンド																	45 Wh
	スタンド																	0 Wh
	在室							49			49	97	24					267 Wh
	照明							28			28	57	14					128 Wh
	冷蔵庫	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	1440 Wh
	電気ジャーボット							66	66		66	66	66	66	66	66		1056 Wh
2F 予備室	ガスレンジ						600	600		600	2399						4798 Wh	
	電子レンジ							200									200 Wh	
	炊飯器						225										225 Wh	
	照明																0 Wh	
2F 予備室	在室																0 Wh	
	照明																0 Wh	
2F 廊下・階段	在室							55	55			55	55	55	55	55	55	496 Wh
	照明																	0 Wh
1F 廊下・階段	在室							60	60			60	60	60	60	60	60	539 Wh
	照明																	0 Wh
1F トイレ	在室																	0 Wh
	照明																	0 Wh
2F トイレ	温水洗浄便座	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	840 Wh
	照明																	0 Wh
2F トイレ	在室																	0 Wh
	温水洗浄便座	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	840 Wh

□で示す発熱は局所換気で即座に外界に放熱されるものとした。

表16 設定条件

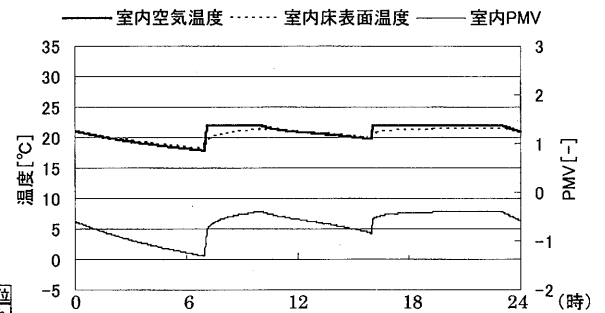
	設定条件			
	LDK	洋室1	洋室2	洋室3
case 6	エアコン		エアコン	
case 7	床暖房		エアコン	

3.2 熱負荷計算結果

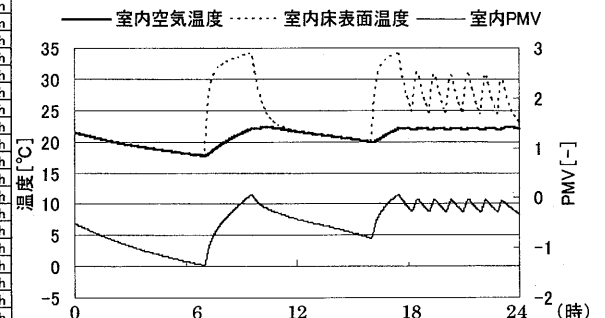
図12にLDKの室内環境を、図13に冬期4ヶ月間の積算暖房負荷を示す。

LDKの室内環境について、case6のエアコンと比較して、case7の床暖房は立ち上がりが遅く、暖房開始から室温が設定値の22℃に達するまでに時間を要する。床表面温度は、室温が設定値に達するまではcase7の方がcase6よりも10℃以上高く推移しており、設定値に達した後もcase7の方が5℃程度高く推移している。PMVは運転開始からしばらくするとcase7の方が高くなる。

空調容積の大きさから、LDKをエアコンで暖房する場合も、床暖房で暖房する場合も、暖房負荷はLDKが他の3室に比べ圧倒的に大きい。床暖房で暖房するcase7は、LDKをエアコンで暖房するcase6に比べ、暖房負荷が期間全体で約12%増加する。LDKの暖房負荷に限って言えば、case6が2773kWh、case7が3336kWhとなり、case7はcase6に比べ約20%大きい。



2月6日 (a) case6



2月6日 (b) case7

図12 LDKの室内環境

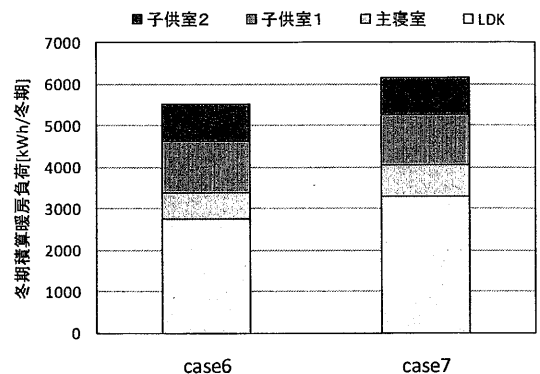


図13 冬期積算暖房負荷

4. 家庭用個別分散型電熱源機器と床暖房の併用効果

長期優良住宅を対象に、家庭用個別分散型電熱源機器と温水式床暖房の併用効果をシミュレーションにより明らかにする。

4.1 電熱源機器概要

本研究では、家庭用個別分散型電熱源機器として、PEFC-CGS、家庭用固体酸化物形燃料電池 CGS（以下、SOFC-CGS）、家庭用ガスエンジンマイクロ CGS（以下、GE- μ CGS）の3種類を取りあげる。表 17 に各機器の仕様⁶⁾⁷⁾⁸⁾を示す。

PEFC-CGS の導入効果算出プログラムは、既往の研究⁹⁾で構築したものであり、温度成層型貯湯槽モデルが導入されている。SOFC-CGS は現在メーカーによる実証研究段階であり、詳細なデータを得ることが困難である。そのため、シミュレーションプログラムを構築する際に必要となる部分負荷運転時の発電効率及び排熱回収効率には、既往の研究⁹⁾で明らかにした PEFC-CGS の特性曲線を SOFC-CGS の特性曲線に代用した。GE- μ CGS については、参考文献⁸⁾から得られた部分負荷効率を基にプログラムを構築した。GE- μ CGS は PEFC-CGS、SOFC-CGS に比べ発電効率が低く、部分負荷運転を行うことでさらに効率が低くなる。そこで本報では、参考文献⁸⁾を基に最低部分負荷率を 0.5 と設定し、余剰電力が発生した場合は電熱ヒーター（効率 0.9）により市水を加熱し、温水を貯湯槽に蓄える設定とした。

以降のシミュレーションにおいては、系統からの買電及びガスボイラー（HHV での効率 0.72）により需要を賄うシステム（以下、従来システム）との比較により 1 次エネルギー削減率を算出する。

表 17 各機器の仕様

	PEFC-CGS	SOFC-CGS	GE- μ CGS
定格発電出力	1kW	1kW	1kW
定格熱出力	1.36kW	0.89kW	3.25kW
定格発電効率(HHV)	33%	41%	18%
定格排熱回収効率(HHV)	45%	36%	59%
貯湯温度	60°C	70°C	70°C
貯湯槽容量	200L	150L	150L
サブボイラー効率(HHV)	95%	95%	72%
	(潜熱回収型)	(潜熱回収型)	
燃料	都市ガス13A	都市ガス13A	都市ガス13A

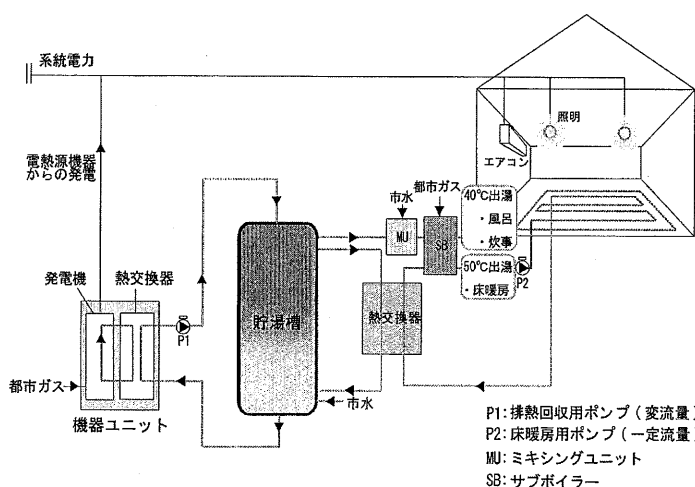


図 14 併用システムのシステム図

4.2 併用システム概要

図 14 に各電熱源機器と床暖房の併用システムのシステム図を示す。

各電熱源機器は、発電および排熱回収を行う電熱源機器ユニットと、排熱回収後の温水を貯める貯湯槽ユニットで構成される。家庭内で発生する電力負荷は、各電熱源機器による発電で賄い、不足分は系統からの買電によって補う。発電の際に電熱源機器ユニットで発生した排熱は、所定の貯湯温度の温水として回収され、貯湯槽に貯められる。給湯負荷は、貯湯槽からの出湯で賄い、ミキシングユニットで出湯温度(40°C)に調節される。貯湯槽出湯温度が40°Cに満たない場合は、サブボイラーによって追炊きを行う。床暖房運転時は、まず貯湯槽に貯められた温水と床暖房の循環水を熱交換することで床暖房の循環水を温める。床暖房循環水の熱交換器出口温度が床暖房循環水設定温度(50°C)に満たない場合は、サブボイラーで追炊きされる。その後、室内に敷設された床暖房温水パイプ内を循環する。

既に市場に投入されている PEFC-CGS、GE- μ CGS は機器に学習機能が付加されており、以前の負荷発生パターンから最適運転時刻を算出しその時間帯で運転を行う設定となっている。これは既往研究⁹⁾で行った、予め最適な運転時刻を算出しその時刻内で運転を行う DSS (Daily Start & Stop) 運転と同様の手法であると考え、本研究では PEFC-CGS、GE- μ CGS の運転方法として DSS 運転を採用した。SOFC-CGS は作動温度が極めて高く起動に要する時間が長いこと、作動温度まで機器を昇温させるのに必要なエネルギーの消費量が大きいため、24 時間連続運転を行うものとした。現在、各電熱源機器 CGS は余剰電力を逆流させることが困難であるため、本研究ではいずれの CGS においても電力負荷追従運転による検討を行う。

CGS は発電時に発生する排熱を回収しながら運転を続けるため、貯湯槽の蓄熱量が一定値を越えると運転を停止しなければならない。PEFC-CGS、GE- μ CGS は、貯湯槽の最下層水温が貯湯温度以上になった場合に停止指令を発令する設定としている。一方、SOFC-CGS は 24 時間連続運転を行うために、貯湯槽の蓄熱量が満蓄になった時点で放熱ファンを作動させ、排熱を空气中に放熱する設定としている。

4.3 入力負荷データの作成

シミュレーションの入力に用いるデータは、空調負荷、一般電力負荷、給湯負荷、気象データである。各データは 1 年間のデータで、12 月から 3 月までを冬期、6 月から 9 月までを夏期、それ以外を中間期とした。冬期の空調負荷は第 3 章で算出した値を用い、夏期、中間期についても同様に計算を行った。空調は全ての場合で在室時運転とし、冬期の設定値を室温 22°C、夏期の設定値を室温 26°C とした。一般電力負荷、給湯負荷は生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver.2.0³⁾を用いて算出した。家族構成、居住者の在室スケジュール、建物内の機器および人体発熱スケジュールは第 3 章と同様の設定とした。表 18 に給湯量スケジュールを示す。

表 18 給湯量スケジュール

給湯量スケジュール① *空白は0																								
時刻[時]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
冬期							28	49												250	50	84	42	7
夏期							40													250	83	82	42	
中間期							28	43												250	85	83	42	7

表 19 検討ケース

	電熱源機器	暖房機器		冷房機器
		LDK	LDK以外	
case8-a	なし	エアコン	エアコン	エアコン
case8-b	なし	床暖房	エアコン	エアコン
case9-a	あり(PEFC)	エアコン	エアコン	エアコン
case9-b	あり(PEFC)	床暖房	エアコン	エアコン
case10-a	あり(SOFC)	エアコン	エアコン	エアコン
case10-b	あり(SOFC)	床暖房	エアコン	エアコン
case11-a	あり(GE)	エアコン	エアコン	エアコン
case11-b	あり(GE)	床暖房	エアコン	エアコン

4.4 ケーススタディによる床暖房併用効果の検討

併用システムの効果を明らかにするために、表 19 に示す条件でケーススタディを行った。case8 が従来システムの場合、case9 が PEFC-CGS を導入した場合、case10 が SOFC-CGS を導入した場合、case11 が GE- μ CGS を導入した場合である。また更に、導入する電熱源機器に対して、(a) LDK の暖房機器にエアコンを使用する場合と、(b) 床暖房を使用する場合を設定し、検討を行った。

4.4.1 運転状況

図 15 に各電熱源機器の冬期運転状況を、図 16 に夏期運転状況を、図 17 に中間期運転状況を、図 18 に PEFC-CGS と GE- μ CGS の日平均運転時間を、図 19 に発電寄与率を、図 20 に給湯寄与率を示す。ここで寄与率とは、電熱源機器由来の電力及び熱で家庭の需要をどれだけ賄えたかを評価する指標である。

冬季の運転状況を見ると、PEFC-CGS に関しては、case9-b (床暖房を使用した場合) は case9-a (エアコンのみで暖房を行う場合) に比べ PEFC-CGS の運転時間が長くなり、PEFC-CGS がほぼ 24 時間稼働していることがわかる。そのため、発電寄与率も、case9-a が約 40% であるのに対して case9-b は約 80% と、約 2 倍になっている。しかし、case9-b では、床暖房運転時に床暖房循環水を温めるための熱を PEFC-CGS からの排熱だけでは賄い切れず、サブボイラーの稼働が case9-a と比べ増加する。そのため、case9-b の給湯寄与率は case9-a に比べ低下する。SOFC-CGS に関しては、24 時間連続運転を行うため、case10-a と case10-b で運転時間に差は無い。発電寄与率は、case10-a ではエアコンのみで全空調対象室の暖房を行うために電力負荷が大きくなり、SOFC-CGS からの発電のみでは負荷を賄い切れない時間帯が多くなるため、case10-b よりも低くなる。給湯寄与率は、PEFC-CGS の場合と同様に、case10-b では床暖房の熱負荷を排熱だけでは賄えず、サブボイラーの稼働が増えるため、case10-a よりも低くなる。GE- μ CGS に関しては、case11-b (床暖房を

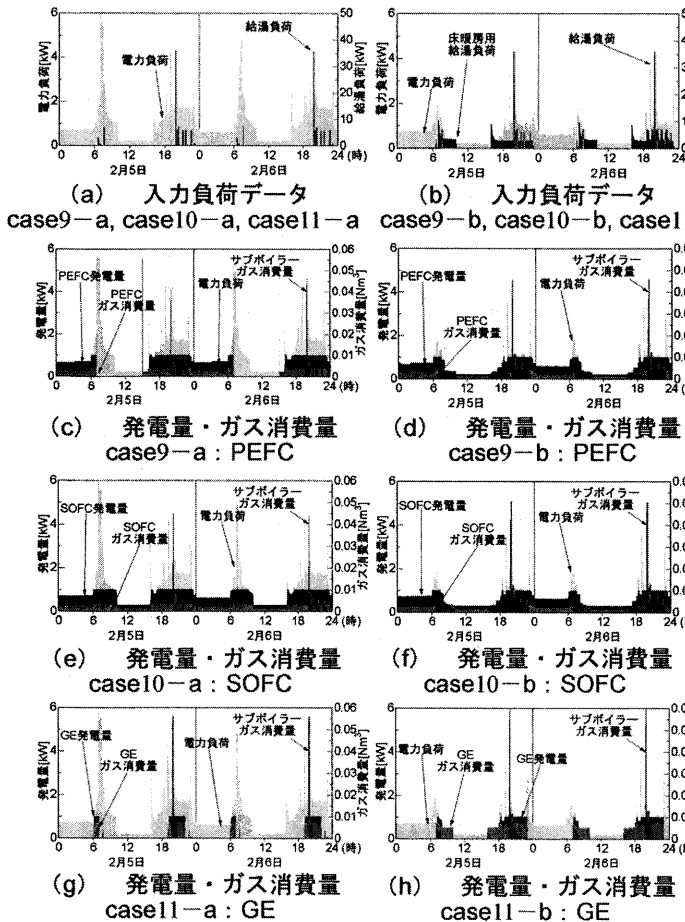


図 15 冬期運転状況

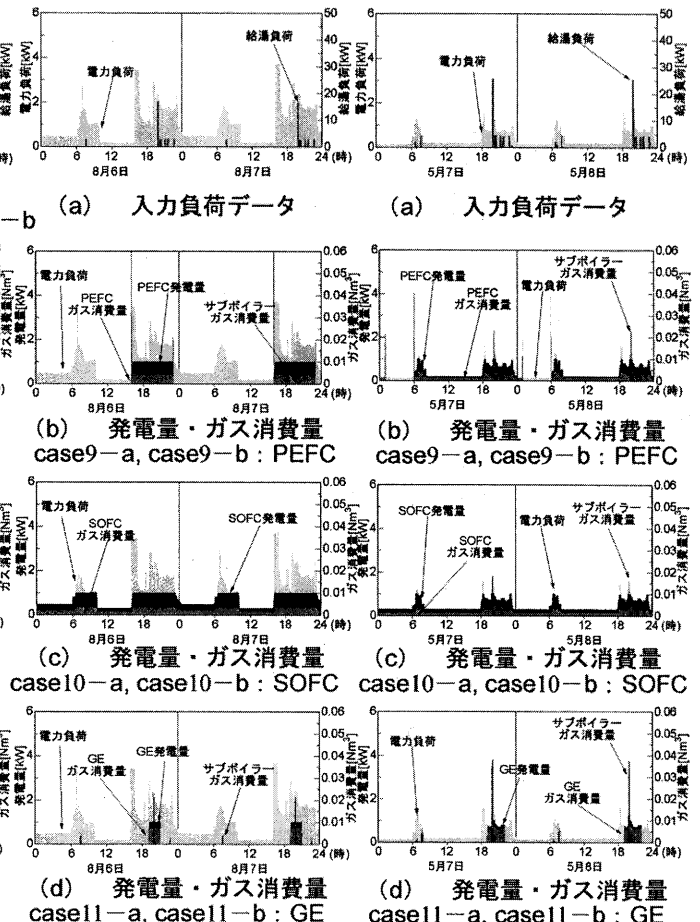


図 16 夏期運転状況

図 17 中間期運転状況

使用した場合は case11-a (エアコンのみで暖房を行う場合) に比べ運転時間が約 2 倍程度長くなる。そのため、発電寄与率も、case11-b の方が case11-a に対し高くなっている。給湯寄与率は、大きな差は無く、他の機器と比べて高い排熱回収効率のため、稼働時間は PEFC-CGS, SOFC-CGS と比べると短い、負荷の発生時間帯に合わせ運転を行っている。

床暖房を使用することで、電熱源機器の排熱利用が促進され、電熱源機器の稼働時間も長くなる。しかし、どの電熱源機器も、床暖房の熱需要を排熱だけでは賄えておらず、サブボイラーの稼働が増加するという結果となった。

夏期、中間期では、空調機器に違いが無いため、case9-a と case9-b, case10-a と case10-b, case11-a と case11-b は、同じ運転状況、導入効果となる。夏期の運転状況を見ると、給湯負荷が小さく、貯湯槽の熱損失も少ない。そのため、運転を開始してから満蓄になるまでの時間が短く、冬期に比べ PEFC-CGS, GE- μ CGS の運転時間は短い。SOFC-CGS は 24 時間連続運転のため、常に十分な熱が蓄えられており、給湯負荷のピーク時ですら、サブボイラーは稼働しない。特に 7 月、8 月の給湯寄与率は 100% に近い値である。電寄与率は、エアコンの使用により電力負荷が大きくなるため、また、PEFC-CGS, GE- μ CGS においては前述したように運転時間が短くなるため、他の期間に比べ低下する。PEFC-CGS では case9-b の場合は GE- μ CGS と同様の傾向だが、case9-a の冬期運転時間よりは長くなる。これは給湯負荷が冬期より小さいものの、電力負荷が小さい影響で満蓄になるのに時間を要するからである。電力負荷の小ささから、発電寄与率は他の期間よりも高くなる傾向が見られる。

4.4.2 省エネルギー効果

図 21 に全てのケースの年間 1 次エネルギー消費量を、図 22 に従来システムに対する月別 1 次エネルギー削減率 (LDK の暖房機器にエアコンを使用する case9-a, case10-a, case11-a の場合は case8-a に対する削減率を表し、LDK の暖房機器に床暖房を使用する case9-b, case10-b, case11-b の場合は case8-b に対する削減率) を示す。従来システム、PEFC-CGS, SOFC-CGS, GE- μ CGS のどの場合においても、LDK の暖房機器に床暖房を使用する方が 1 次エネルギー消費量は大きい。また、どの電熱源機器を導入しようとも従来システムに比べ電熱源機器導入後は 1 次エネルギー消費量が削減される。1 次エネルギー消費量は、SOFC-CGS を導入し全ての空調をエアコンで行う case10-a が最も少なくなった。一般的な家庭の状況に近いと思われる case8-a に対する各ケースの削減率は case10-a が最も高く、次いで case10-b, PEFC-CGS 導入の 2 ケース, GE- μ CGS 導入の 2 ケースとなった。case8-a に対する case9-a, case10-a, case11-a の 1 次エネルギー削減率はそれぞれ通年で 11.6%, 15.7%, 4.3% となり、冬期に限ると 12.5%, 19.8%, 4.3% となった。case8-b に対する case9-b, case10-b, case11-b の 1 次エネルギー削減率はそれぞれ通年で 18.0%, 19.1%, 7.3% となり、冬期に限ると 25.3%, 26.0%, 10.4% となった。床暖房を使

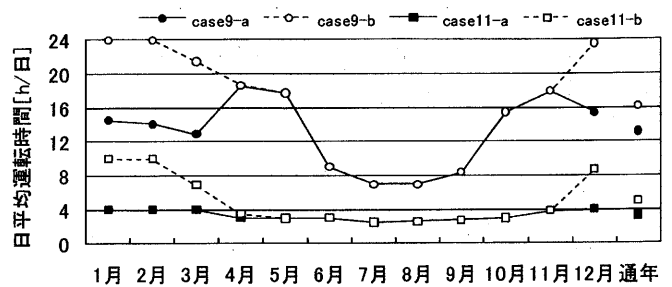


図 18 日平均運転時間

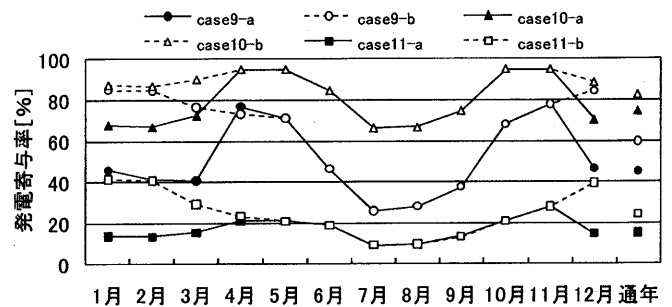


図 19 発電寄与率

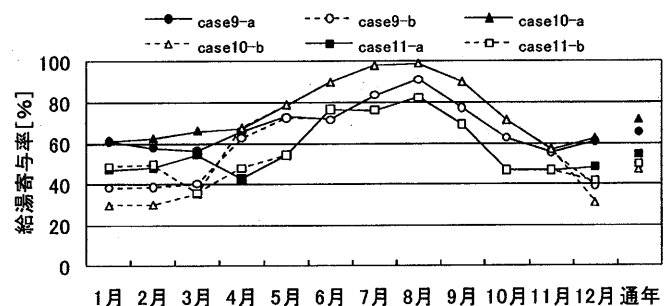


図 20 給湯寄与率

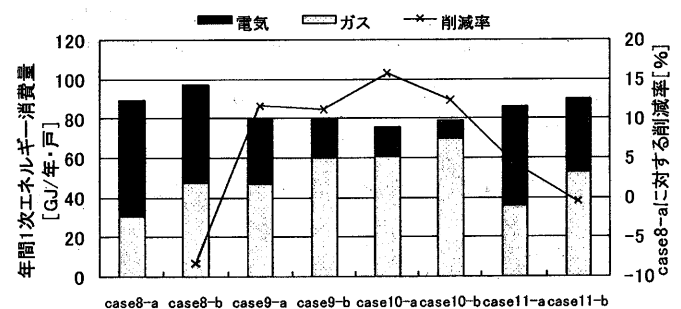


図 21 年間 1 次エネルギー消費量

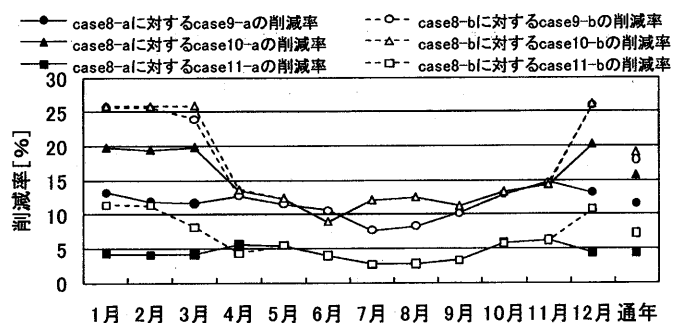


図 22 月別 1 次エネルギー削減率

用すると、エアコンのみで暖房する場合と比べて、電熱源機器のエネルギー削減率が高くなっている。

5. おわりに

本研究では、実測調査とシミュレーションにより、長期優良住宅の温水式床暖房時とエアコン暖房時の室内環境および熱負荷の比較を行った。また、シミュレーションにより温水式床暖房と家庭用個別分散型電熱源機器との併用効果を検証した。実測と室内環境のシミュレーションから、温水式床暖房で暖房すると室内の上下温度差が小さくなること、また、室温制御を行うと、温水式床暖房で暖房した方がエアコンよりもPMV値が高くなることがわかった。冬期積算暖房負荷はエアコンの暖房負荷よりも住宅全体で約12%増加し、床暖房を導入しているLDKに限って言えば、床暖房の暖房負荷はエアコンの暖房負荷よりも約20%増加する。温水式床暖房と家庭用個別分散型電熱源機器を併用させると、エアコンで暖房した場合と比べて、最大で約13%高い1次エネルギー削減率が得られることが確認された。

本研究では、エアコン、温水式床暖房ともに室温制御方式を採用したが、温水式床暖房を使用した場合は、エアコンで暖房した場合と比較して低い室温で同等の快適感を得られる。このことから、快適感を基準とした運転制御を行うことで温水式床暖房のエネルギー消費量を削減することができると考えられる。

分散型電熱源機器は床暖房システム等の機器と組み合わせることでさらなる省エネルギーを実現できる可能性があるが、設計法や運用・制御法が十分に確立されているとはいえず、検討すべき課題は多い。今後は排熱の有効利用だけでなく、床暖房の快適感の評価指標と運転制御方式の検討、太陽光発電や太陽熱給湯器との組み合わせなどの他の分散型電熱源機器との組み合わせについても検討し、省エネルギー効果を高める住宅設備の設計法を構築していきたい。

【参考文献】

- 1) 気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2) Ozaki A., Watanabe T. and Takase S.: Simulation Software of the Hydrothermal Environment of Buildings Based on Detailed Thermodynamic Models, eSim 2004 of the Canadian Conference on Building Energy Simulation, pp.45-54, 2004
- 3) 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 Ver.2.0」, 2000年
- 4) 赤坂裕, 他7名：拡張アメダス気象データ, 日本建築学会, 2002年
- 5) 福岡市水道局浄水部水質試験所：水質試験年報／第29集, 2004年
- 6) 京セラ株式会社：<http://www.kyocera.co.jp/>
- 7) 日立アプライアンス株式会社：
<http://www.hitachi-ap.co.jp/index.html>
- 8) 田中英紀, 他3名：ガスエンジンシステムに対する発電機と貯湯槽の容量設計法 その1, 家庭用コー

ジェネレーションシステムの計画・設計手法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.595, pp.65-72, 2005年9月

- 9) 黒木洋, 他3名：家庭用固体高分子形燃料電池CGSの運転方法と導入効果 その1, 家庭用分散型電熱源の導入効果に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.610, pp.67-73, 2006年12月

(受理：平成23年6月2日)