

## 家庭用分散型電熱源システムの導入効果に関する研究

青木, 博子  
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

中尾, 美晴  
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

黒木, 洋  
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻博士後期課程

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

<https://doi.org/10.15017/19136>

---

出版情報 : 都市・建築学研究. 16, pp.101-109, 2009-07-15. 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 :

## 家庭用分散型電熱源システムの導入効果に関する研究

### Installation Effect of Distributed Power and Heat Source System for Housing

青木博子\*, 中尾美晴\*, 黒木 洋\*\*, 渡辺俊行\*\*\*

Hiroko AOKI, Miharuru NAKAO, Hiroshi KUROKI and Toshiyuki WATANABE

This paper presents effects of housing electricity and heat source equipments. We studied about energy saving effects of 4 equipments, CO<sub>2</sub> Heat Pump water heater (CO<sub>2</sub>-HP), Micro Gas Engine Co-Generation System (GE-μCGS), Polymer Electrolyte Fuel Cell Co-Generation System (PEFC-CGS), and Solid Oxide Fuel Cell Co-Generation System (SOFC-CGS). As the result, we have found that energy consumption and CO<sub>2</sub> emission reduction rate is the highest in the case of SOFC-CGS. Energy consumption is reduced by 17-20% using SOFC-CGS on Electric Power Load Tracking Operation, and 44-47% on Rated Operation. And CO<sub>2</sub> emission is reduced by 6-21% on Electric Power Load Tracking Operation and 23-47% on Rated Operation.

**Keywords :** Model-based simulation, Fuel cell CGS, Gas engine CGS, CO<sub>2</sub> heat pump water heater, Primary energy reduction

数値シミュレーション, 燃料電池 CGS, ガスエンジンマイクロ CGS, CO<sub>2</sub> ヒートポンプ給湯機, 1次エネルギー消費量削減

#### 1. はじめに

2005年2月に京都議定書が発効となり, 2008年から約束期間に突入したものの, 家庭からのCO<sub>2</sub>排出量は増加傾向にある. その対策として, 今年から家庭への導入が始められた家庭用燃料電池のように, 様々な家庭用分散型電熱源システムの開発, 導入が推進されている. 本研究では, それら分散型電熱源システムの中でも, 既に導入が始まっている, 或いはここ数年での導入が期待されている4種類の分散型電熱源システムについて, 数値シミュレーションによる導入効果の地域比較を行った.

#### 2. 検討機器概要

検討を行った電熱源機器は, 自然冷媒ヒートポンプ給湯機 (CO<sub>2</sub>-HP 給湯機), ガスエンジンマイクロコージェネレーションシステム (GE-μCGS), 固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステム (PEFC-CGS), 固体酸化化物形燃料電池コージェネレーションシステム (SOFC-CGS) の4種類である. 以下にそれぞれの詳細を示す. なお, いずれの機器も貯湯槽に温水を蓄える仕様であり, 貯湯槽のモデルには図1に示す温度成層型モデルを用いた.

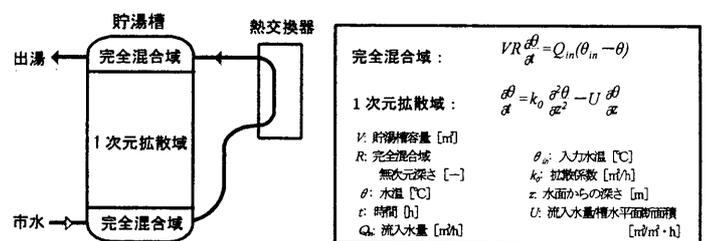


図1 温度成層型貯湯槽モデル

#### 2.1 CO<sub>2</sub>-HP 給湯機

表1にCO<sub>2</sub>-HP給湯機仕様<sup>1)</sup>を示す. 消費電力量は現行機のカatalogに記載されているCOPを用い, 外気温度により変動する設定とする. 図2に外気温度とCOPの関係を示す. 運転方法は, 夜間電力時間帯である午前1時に始動し, 貯湯槽が満蓄状態 (貯湯槽最下層温度が60°C) になった際に停止するものとした. また, 貯湯槽容量は, 貯湯槽からの熱損失などを考慮し, 現行機の中では最も小さい370Lとした.

#### 2.2 GE-μCGS

表2に機器の仕様<sup>2)</sup>を, 図3に部分負荷特性を示す. GE-μCGSは定格発電効率が約20%と他の個別分散型電熱源機器に比べ低く, 部分負荷運転を行うことでさらに効率が低くなる. そこで本研究では, 最低部分負荷率を0.5と設

\* 空間システム専攻修士課程

\*\* 空間システム専攻博士後期課程

\*\*\* 都市・建築学部門

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。運転方法はDSS (Daily Start & Stop) 運転とした。DSS 運転は、過去の負荷データを用いて最も1次エネルギー消費量が少なくなると予想される最適運転時刻を予め決定し、その時間帯で運転させる運転方法であり、本研究では、最適運転時刻算出に用いる過去の負荷データを1週前のものとして算出した。ただし、運転時間内であっても、貯湯槽の最下層温度が65°C以上となった場合は運転を停止するものとした。ガスエンジン型のCGSはガスを直接燃焼して作動することから、逆潮流は行わないものとし、運転方法は『DSS 電力負荷追従運転』のみとした。また、GE-μCGS 実機の貯湯槽仕様は150Lであるが、シミュレーションプログラムで入力に使う給湯負荷の大きさを考慮して、最適な貯湯槽容量の検討を行った結果、本研究では貯湯槽容量を600Lとした。

### 2.3 PEFC-CGS

検討に用いたPEFC-CGSの機器の仕様を表3に、システム概要図を図4に示す。起動停止時エネルギーや部分負荷効率等の機器特性は、既往研究<sup>3)</sup>と同様のものを用いた。

運転方法はDSS 運転とし、最適運転時刻の算出はGE-μCGSと同様に1週前の負荷データから行った。ただし、運転時間内であっても、貯湯槽が満蓄状態（最下層の完全混合域温度が40°C以上）となった場合は運転を停止するものとした。検討に用いたPEFC-CGSは都市ガスを原料とするため、新エネルギーによる発電とは看做されず、現状では逆潮流による売電ができないが、本稿では今後の展開を期待し、逆潮流有のケースも検討する。逆潮流を考慮せず、電力負荷の変動に合わせて出力制御を行う運転方法を『DSS 電力負荷追従運転』、逆潮流を考慮して定格出力で作動し、余剰電力を系統へ売却する運転を『DSS 定格運転』とした。なお、貯湯槽容量はGE-μCGSと同様に検討を行い、600Lとした。

### 2.4 SOFC-CGS

表4に機器の仕様<sup>4)</sup>を示す。システム概要は図4に示したPEFC-CGSと同様である。部分負荷運転時の発電効率及び排熱回収効率は図5の曲線を用いた。SOFC-CGSは、现阶段の燃料電池の中で最も発電効率が高い機器であり、定格での1次エネルギー利用効率は系統電力よりも高い。しかし、作動温度が750°Cと非常に高温のため、起動停止に長時間を要する。このため、運転方法は、on/off制御を行わない24時間運転に限られる。PEFC-CGS同様、電力負荷追従運転及び定格運転での検討を行い、それぞれ『24時間電力負荷追従運転』『24時間定格運転』とし、定格運転時には逆潮流を行うものとした。なお、貯湯槽の蓄熱量が満蓄になると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。貯湯槽容量はGE-μCGSと同様に検討を行い、600Lとした。

表1 CO<sub>2</sub>-HP 機器仕様

加熱能力/消費電力	夏季	4.5kW/0.93kW
	冬季	4.5kW/1.15kW
COP	夏季	4.84
	冬季	3.91
貯湯温度	65°C	
貯湯槽容量	370L	

表2 GE-μCGS 機器仕様

定格発電出力	1kW
定格熱出力	3.25kW
発電効率 (LHV)	20%
排熱回収効率 (LHV)	65%
貯湯温度	70°C
貯湯槽容量	600L
燃料	都市ガス13A

表3 PEFC-CGS 機器仕様

定格発電出力	1kW
定格熱出力	1.66kW
発電効率 (LHV)	35%
排熱回収効率 (LHV)	58%
貯湯温度	60°C
貯湯槽容量	600L
作動温度	約90°C
燃料	都市ガス13A

表4 SOFC-CGS 機器仕様

定格発電出力	1kW
定格熱出力	0.69kW
発電効率 (LHV)	49%
排熱回収効率 (LHV)	34%
貯湯温度	70°C
貯湯槽容量	600L
作動温度	約750°C
燃料	都市ガス13A

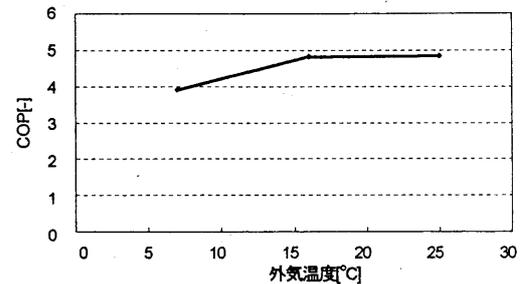


図2 CO<sub>2</sub>-HP 給湯器 COP

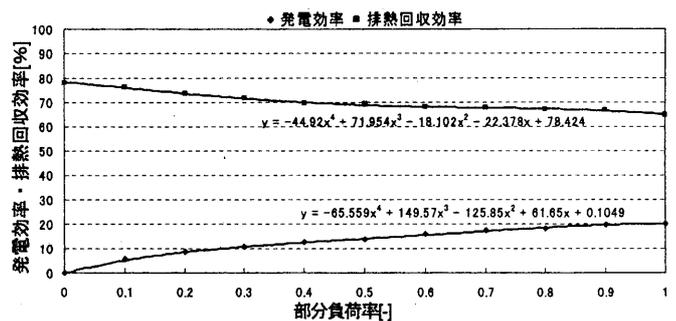


図3 GE-μCGS 部分負荷効率

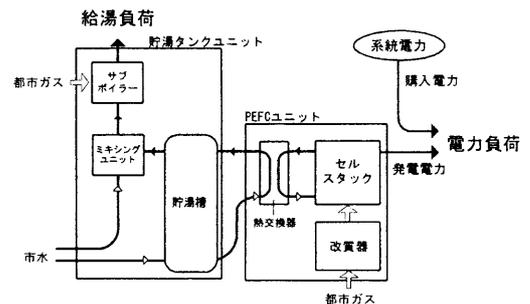


図4 燃料電池モデル

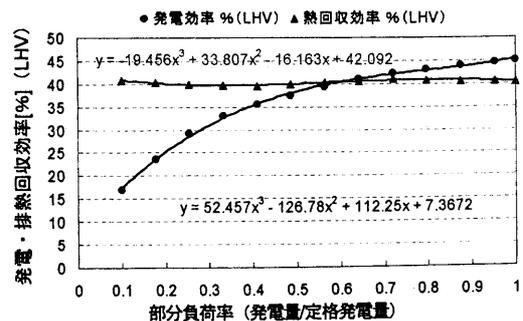


図5 SOFC-CGS 部分負荷効率

### 3. 入力負荷データ

負荷データ作成に用いる建物は日本建築学会標準住宅モデル<sup>5)</sup>を採用し、部位構成は次世代省エネルギー基準の基準値を満たす仕様とした。モデル住戸における家族構成は父、母、子供2人の核家族とし、生活パターンは、データブック国民生活時間調査 2005<sup>6)</sup>を用いて行動設定データを更新した生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver.2.0<sup>7)</sup>を用いて、季節別、平休日別に設定した。

シミュレーションに用いた負荷データは、日本建築学会「住宅用エネルギー消費量と温暖化対策検討委員会」<sup>8)</sup>で2002年から約3年間に亘り行われたエネルギー実測調査の結果を参考に条件設定を決定したものであり、検討地域は実測を行った地域に合わせ、札幌、仙台、新潟、東京、福岡の5地域とした。図6に、各地域における月積算電力、給湯負荷を示し、以下にその概要を示す。

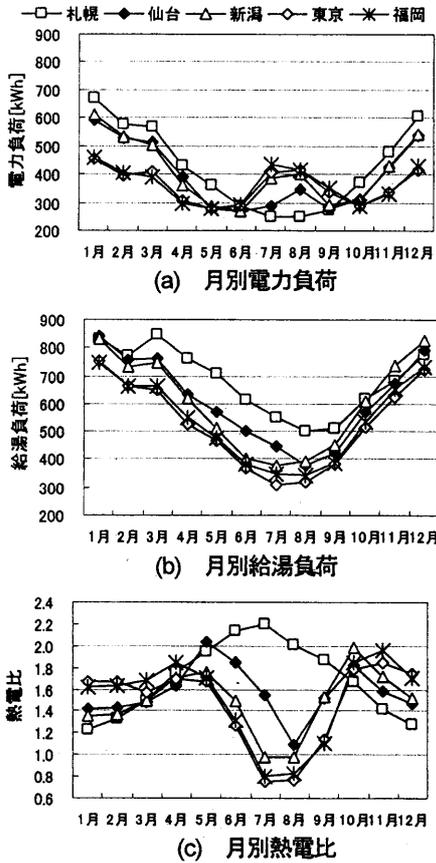


図6 入力負荷データ

#### 3.1 空調負荷データ

空調は在室者のある部屋ごとに暖冷房ともに電気ヒートポンプエアコン (COP=5.1) で行う設定とし、多数室室温変動・熱負荷計算プログラム TrP<sup>9)</sup>を用いて各地域の空調負荷を作成した。季節設定は、拡張アメダス気象データ<sup>10)</sup> (標準年)を用い、連続7日間の平均外気温 (以下、移動平均外気温) が15℃を下回った場合、その4日目を暖房開始日とし、移動平均外気温が15℃を上回ればその最終日を暖房終了日とした。夏季は移動平均外気温が24℃を上

回れば冷房開始、その後24℃を下回れば冷房終了とした。図7に北海道及び九州で行われた実測での空調負荷とモデル負荷との比較を示す。月別の推移は実測住戸と同様となっている。

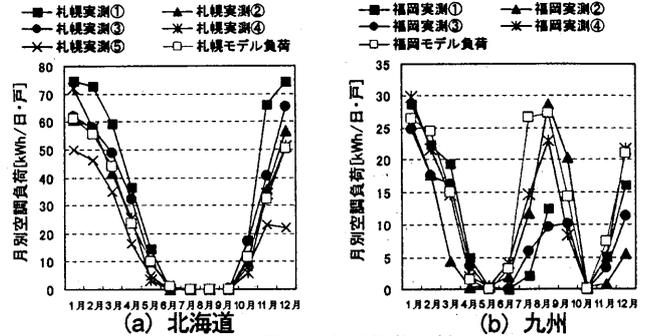


図7 空調負荷比較

#### 3.2 給湯負荷データ

給湯の発生時刻は SCHEDULE Ver.2.0 に準ずるものとしているが、給湯量に関しては SCHEDULE Ver.2.0 のデフォルト設定値が実測値に比べ小さいことから、既往研究<sup>11)</sup>を基に表5に示す値とした。図8に福岡における実測住戸での給湯負荷とモデル負荷との比較を示す。住戸ごとの差はあるが、月別の給湯負荷は実測値と同等の値となった。

表5 給湯量設定

項目	行為	場所	冬季		中間季		夏季	
			使用温度	使用量	使用温度	使用量	使用温度	使用量
洗顔	洗顔	洗面	38℃	7.0 Lit/回	38℃	7.0 Lit/回	39℃	7.0 Lit/回
入浴	入浴	浴室	39℃	40.8 Lit/回	38℃	41.5 Lit/回	38℃	42.2 Lit/回
炊事	炊事	厨房	39℃	49.5 Lit/回	40℃	43.0 Lit/回	40℃	40.7 Lit/回
湯はり	-	浴室	44.0℃	250 Lit/回	42.5℃	250 Lit/回	41.5℃	250 Lit/回

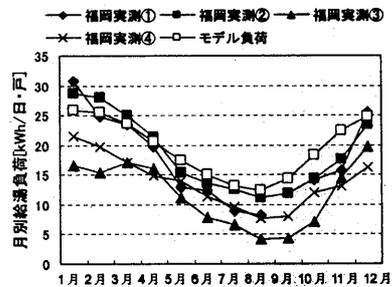


図8 給湯負荷比較

#### 3.3 調理負荷

給湯負荷と同様に、発生時刻は SCHEDULE Ver.2.0 に準ずるが、発生量に関しては見直しを行った。図9に調理負荷を測定できた住戸における実測値と SCHEDULE Ver.2.0 デフォルト値の日積算2次エネルギー消費量比較を示す。デフォルト値では日ごとの調理負荷の変動は無いため、最大値と平均値は等しいが、実測住戸では調理負荷は日によって異なる。比較すると、全住戸平均での最大値とデフォルト設定値とがほぼ同様の値となっていることがわかる。デフォルト値では常に実在住戸での最大値で調理を行っていることになり、調理負荷を多く見積もりすぎてしまう。そこで平均値に合わせて、デフォルト値の66%の値を用いるものとしたところ、図10に示すように、月別調理負荷は実測住戸と同程度の値となった。

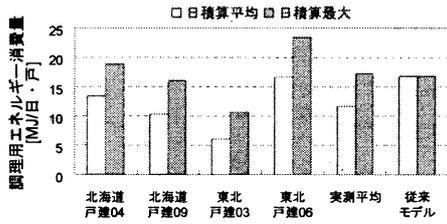


図9 日積算調理負荷比較

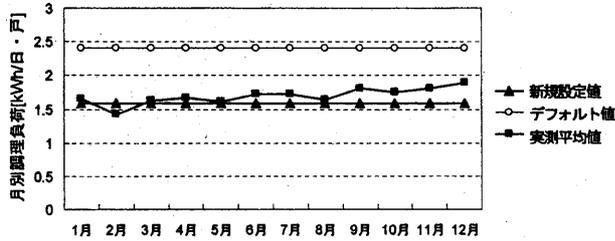


図10 月別調理負荷比較

### 3.4 一般電力負荷

一般電力負荷は SCHEDULE Ver.2.0 で設定された使用機器から算出した。図 11 に示すように、月別の実測一般電力負荷とデフォルト値は似通っているため、一般電力負荷に関してはデフォルト値を用いて問題ないと判断した。

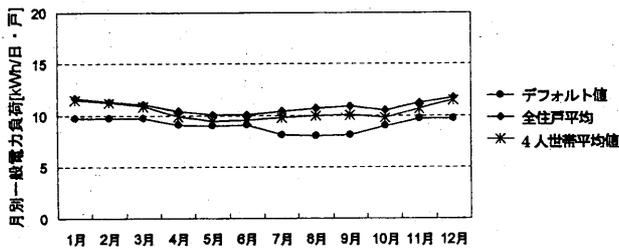


図11 月別一般電力負荷比較

### 4. 導入効果

表 6 にシミュレーションに用いた 1 次エネルギー消費量及び CO<sub>2</sub> 排出量換算値を示す。CO<sub>2</sub> 換算値は、地球温暖化対策の推進に関する法律に基づいて算定、公表されている事業者別の排出係数<sup>12)</sup>を用いるものとした。また、考察で使用する数値の定義と計算式を表 7 に示す。これらの数値と作成した入力負荷を用いて、各機器の導入効果の算出を行った。

表 6 換算係数

(a) 1 次エネルギー消費量

電力	中間	10.05[MJ/kWh]
	夜間	9.31[MJ/kWh]
ガス		45.9[MJ/Nm <sup>3</sup> ]

(b) CO<sub>2</sub> 排出量

電力	札幌 (北海道電力)	0.517[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
	仙台 (東北電力)	0.473[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
	新潟 (北陸電力)	0.457[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
	東京 (東京電力)	0.425[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
	福岡 (九州電力)	0.387[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
ガス		2.355[kg-CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> ]

表 7 数値の定義と計算式

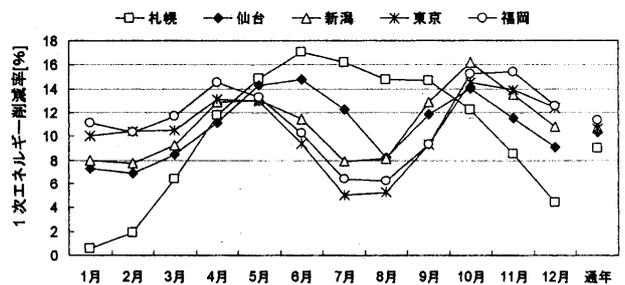
数値	計算式
発電効率	$\frac{\text{機選発電量}}{\text{電力負荷}} \times 100$
給湯効率	$\frac{\text{給湯負荷} - \text{サブボイラー供給熱量}}{\text{給湯負荷}} \times 100$
実質発電効率	$\frac{\text{電力負荷} - \text{買電量}}{\text{各機器消費ガスの高位発熱量}} \times 100$
実質排熱利用効率	$\frac{\text{給湯負荷} - \text{サブボイラー供給熱量}}{\text{各機器消費ガスの高位発熱量}} \times 100$

### 4.1 CO<sub>2</sub>-HP 給湯機

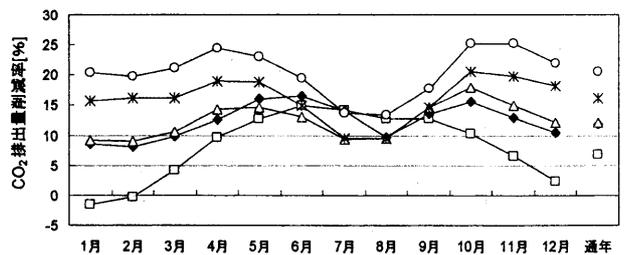
図 12 にシミュレーション結果の月変動を、図 13 に年間 1 次エネルギー消費量を、図 14 に年間 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。各地域における CO<sub>2</sub>-HP の実質 COP は外気温の影響から、夏季に高く冬季に低く、低緯度地域ほど高い。月別の 1 次エネルギー削減率は、空調負荷の高い時期ほど低くなる傾向がある。東京、福岡等の低緯度地域では、外気温の高さから冷房負荷が大きいいため、夏季に最も削減率が低くなる。新潟、仙台と高緯度地域になるほど夏季の削減率は高くなり、逆に冬季の削減率は低くなる。札幌においては、夏季の冷房負荷が非常に低いため、夏季の削減率が高いが、冬季の削減率は他地域に比べて極端に低くなる。

CO<sub>2</sub> 排出量削減率も月別変動は 1 次エネルギー削減率と同様であるが、電力の CO<sub>2</sub> 換算値の違いにより、地域ごとのばらつきが大きくなる。特に札幌では、CO<sub>2</sub> 換算値の高さ故、厳寒期における削減率はマイナスの値となる。

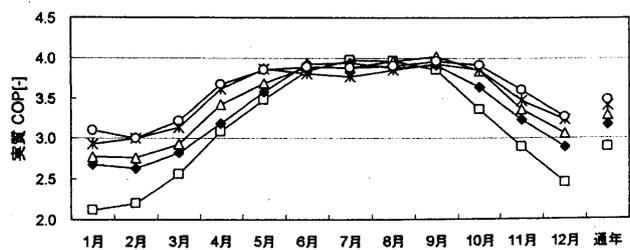
年間削減率で地域別に比較すると、低緯度地域ほど削減率は高く、1 次エネルギー削減率は、札幌 9.0%、仙台 10.3%、新潟 10.7%、東京 10.6%、福岡 11.4%となる。CO<sub>2</sub> 排出量削減率は札幌 6.9%、仙台 11.7%、新潟 12.1%、東京 16.2%、福岡 20.5%となり、特に低緯度地域での省エネ性が高いことがわかった。



(a) 1 次エネルギー消費量削減率



(b) CO<sub>2</sub> 排出量削減率



(c) COP

図 12 シミュレーション結果 月変動 (CO<sub>2</sub>-HP)

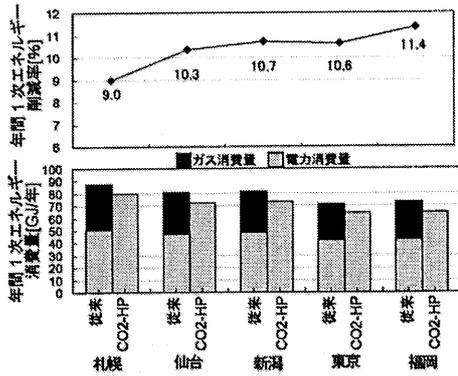


図13 年間1次エネルギー消費量 (CO<sub>2</sub>-HP)

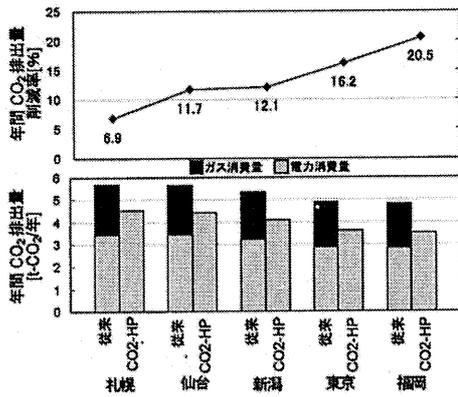


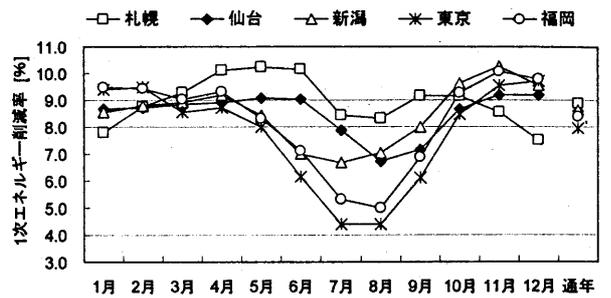
図14 年間CO<sub>2</sub>排出量 (CO<sub>2</sub>-HP)

## 4.2 GE-μCGS

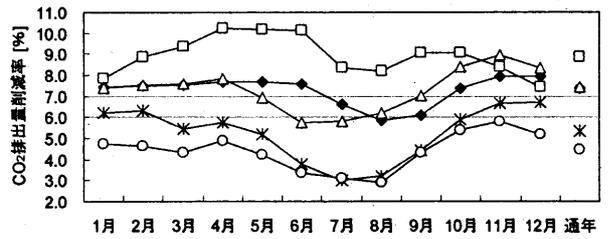
図15にシミュレーション結果の月変動を、図16に年間1次エネルギー消費量を、図17に年間CO<sub>2</sub>排出量を示す。1日の運転時間は全ての地域で夏季よりも冬季の方が長い傾向にある。これはGE-μCGSが給湯負荷に併せて運転を行うためであり、同様の理由から高緯度地域の方が若干運転時間の長い場合が多い。1次エネルギー削減率は、東京、福岡の低緯度地域では夏季に低く冬季に高くなる。GE-μCGSは給湯負荷に合わせて作動するため、給湯負荷が大きく、作動時間の長くなる冬季ほど多くの電力と熱を供給できる。低緯度地域では夏季の冷房負荷が大きいので、冬季に比べて削減率が大幅に下がる結果となっている。高緯度になるにつれて冷房負荷が小さくなるため夏季の削減率が高くなるが、暖房負荷が大きくなることから、冬季の削減率は低緯度よりも低い。また、札幌では冬季よりも夏季の方が削減率は高くなり、中間季に最も高くなる。年間の削減率は、札幌8.9%、仙台8.6%、新潟8.7%、東京7.9%、福岡8.4%となり、地域による差は軽微であった。

CO<sub>2</sub>排出量削減率は、検討を行った中では電力のCO<sub>2</sub>換算値が最も高い札幌で11月、12月を除いた全ての月で全地域中最も削減率が高くなり、CO<sub>2</sub>換算値の最も低い福岡で最低となった。これはGE-μCGSからの発電により削減できる系統電力からの買電量をCO<sub>2</sub>換算した場合、削減できるCO<sub>2</sub>排出量は結果的に換算値の高い地域ほど多くなるためである。年積算で見ると、CO<sub>2</sub>削減率は、札幌8.9%、仙台7.4%、新潟7.5%、東京5.4%、福岡4.5%となり、高緯度

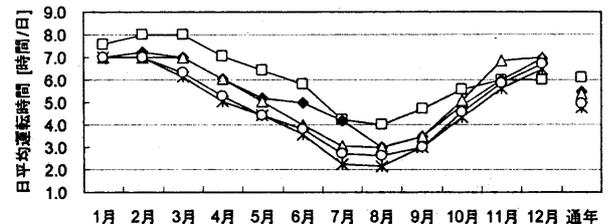
地域の方が高い結果となった。



(a) 1次エネルギー消費量削減率



(b) CO<sub>2</sub>排出量削減率



(c) 日平均運転時間

図15 シミュレーション結果 月変動 (GE-μCGS)

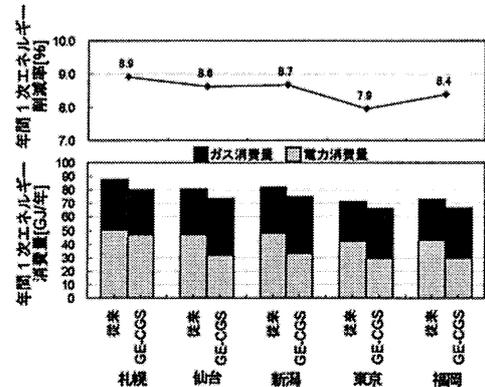


図16 年間1次エネルギー消費量 (GE-μCGS)

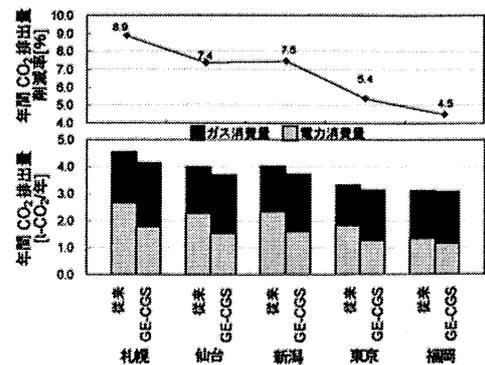


図17 年間CO<sub>2</sub>排出量 (GE-μCGS)

### 4.3 PEFC-CGS

図 18 にシミュレーション結果の月変動を、図 19 に年間 1 次エネルギー消費量を、図 20 に年間 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。逆潮流を考慮しない電力負荷追従運転の場合、運転時間は長く、中間季、冬季においては多くの地域で 24 時間運転となり、夏季には低緯度地域ほど運転時間が短くなる。年間を通して低緯度地域よりも高緯度地域の方が 1 次エネルギー削減率は高い傾向があり、特に、中間季、夏季における削減率は、低緯度地域よりも高い値となる。低緯度地域における夏季の給湯寄与率は高いことから、短時間の運転でも給湯負荷の多くを賄っていることがわかるが、運転時間が短くなり、発電量は少なくなることで、大きな冷房負荷に対しての発電寄与率が低くなるため、1 次エネルギー削減率は低くなっている。高緯度地域でも、札幌の夏季の削減率が新潟、仙台と比べて低くなるのは、冷房負荷が低いことで部分負荷運転が長くなり、発電効率が落ちるためである。年間の積算で見ると削減率は札幌 19.9%、仙台 19.0%、新潟 19.3%、東京 17.1%、福岡 17.2%で、高緯度地域ほど高い傾向があり、札幌が最も高く、仙台、新潟、及び東京、福岡ではほぼ同じ削減率となった。

定格運転とした場合、運転時間は全地域で年間を通して短くなるが、給湯寄与率は 100% に近くなり、短時間の運転で効率よく給湯負荷を賄うことが出来るようになる。1 次エネルギー削減率の月変動は、熱電比の変動と似通っており、札幌を除いた地域では、夏季に最も低く、次いで冬季、中間季の順に高くなり、夏季の削減率は高緯度、冬季の削減率は低緯度地域が高くなる。札幌では 5 月から 6 月にかけてピークとなり、夏に若干下がり冬季に最も低くなる。冬季における削減率は全地域で最低の値となり、暖房負荷の大きさに対して、発電電力が逆潮流を考慮した上でも追いついていないことが発電寄与率の低さからも見て取れる。年間削減率で見ると、電力負荷追従運転時よりも全地域で 7~8% 高くなり、札幌 28.1%、仙台 26.9%、新潟 26.0%、東京 24.5%、福岡 25.3% となった。

CO<sub>2</sub> 削減率で比較すると、電力負荷追従運転、定格運転ともに、電力の CO<sub>2</sub> 換算値の低い東京、福岡などの低緯度地域で低く、換算値の高い高緯度地域で高くなり、地域による差が大きくなる。電力負荷追従運転では、札幌、仙台、新潟で月別の削減率変動は 1 次エネルギーと同じ挙動になるが、東京、福岡では夏季に中間季よりも削減率が高くなる傾向がみられた。これは夏季の PEFC-CGS 作動中の発電効率が向上することに起因するものである。年間で比較すると、札幌 20.7%、仙台 16.6%、新潟 16.9%、東京 10.7%、福岡 7.5% となった。定格運転とした場合、発電効率が向上し、余剰電力を系統に逆潮流することで削減率が高くなる。特に札幌においては、春から夏にかけて多く発生する余剰電力を系統に逆潮流することで、CO<sub>2</sub> 換算値の高い系統電力を削減できる格好となるため削減率が非常に高くなる。

年間では、札幌 27.3%、仙台 23.1%、新潟 22.6%、東京 16.3%、福岡 12.9% となり、高緯度地域になるほど削減率が高くなる結果となった。

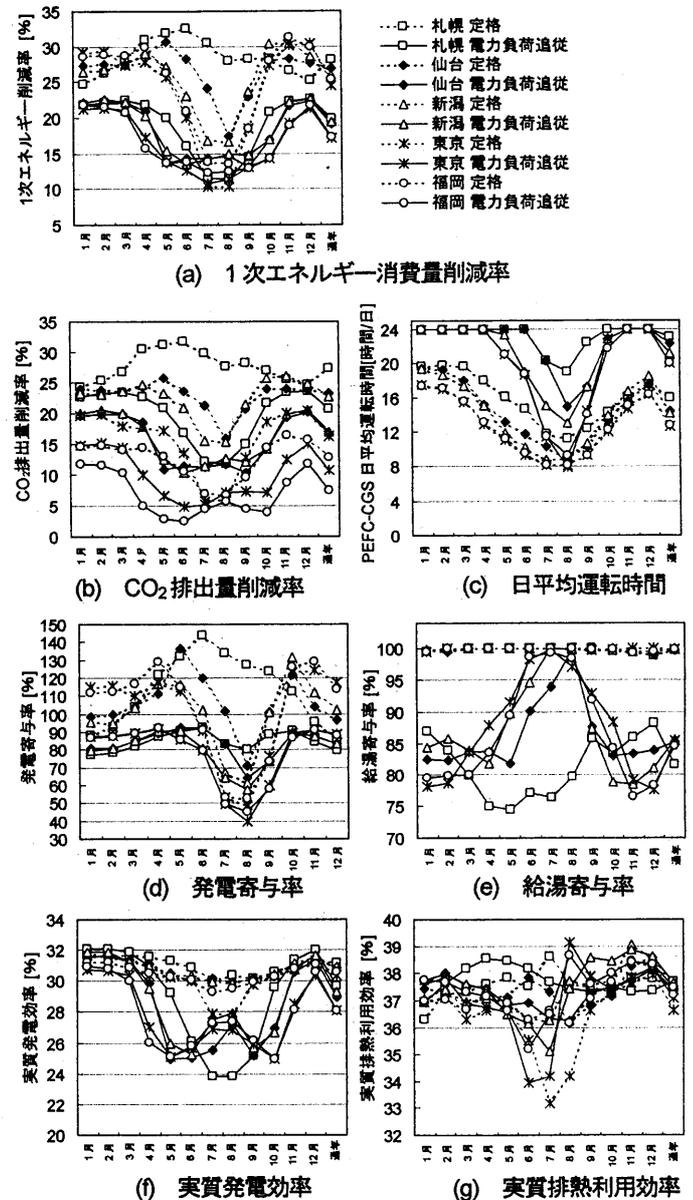


図 18 シミュレーション結果 月変動 (PEFC-CGS)

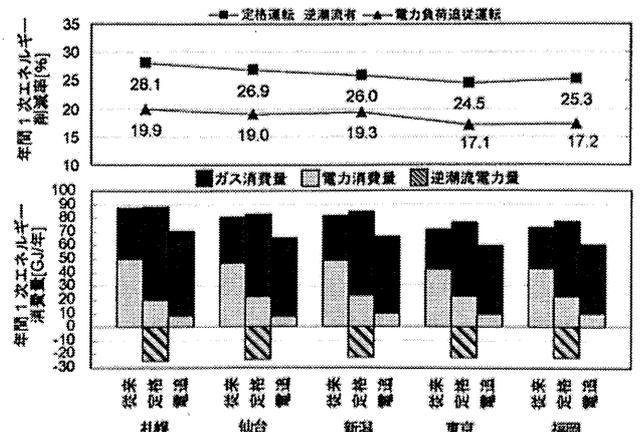


図 19 年間 1 次エネルギー消費量 (PEFC-CGS)

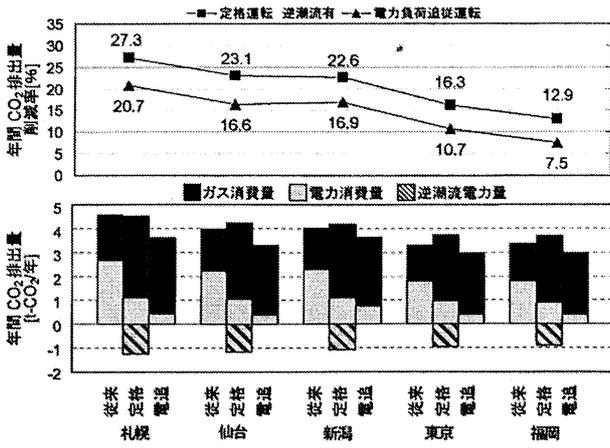


図20 年間CO<sub>2</sub>排出量 (PEFC-CGS)

#### 4.4 SOFC-CGS

図21にシミュレーション結果の月変動を、図22に年間1次エネルギー消費量を、図23に年間CO<sub>2</sub>排出量を示す。電力負荷追従運転時における1次エネルギー削減率は、札幌以外の地域では、冬季に最も高く、夏季、中間季の順に低くなっている。冬季には高緯度地域で削減率が高く、夏季になると冷房負荷の小さな仙台では低くなり、冬季と夏季の削減率の差は、高緯度地域ほど大きい。また、札幌では夏季に最も削減率が低く、冬季に最も高くなる。これらの傾向はSOFC-CGS作動中の電力負荷の大きさによって表れるもので、空調負荷のために電力負荷の高い時期ほど、作動中の発電効率が低く、より多くの電力を供給するためである。冬季に比べて夏季の削減率が低いのは、夏季には給湯負荷が少ないために、常に貯湯槽内の温度が高い分布となり、冬季に比べて槽全体からの熱損失が高くなり、排熱利用効率が低くなるためである。更に福岡では給湯負荷の低さから、SOFC-CGSからの熱が余るために放熱量が発生しており、排熱利用効率は特に低くなっている。年間で見ると、1次エネルギー削減率は札幌20.1%、仙台19.3%、新潟20.0%、東京17.6%、福岡18.2%となり、低緯度地域よりも高緯度地域の方が高い傾向がある。

定格運転では月別の推移は電力負荷追従運転時と逆になり、札幌以外では中間季に高く夏季、冬季に低く、札幌では夏季に高く冬季に高い推移となる。空調負荷の低い時期に削減率が高くなっているのは、給湯負荷のほとんどをSOFC-CGSからの排熱で賄いつつ、発電した電力の多くを系統電力に売電できるためである。定格運転とすることで、給湯寄与率は多くの期間で100%となり、全ての地域で年間90%以上となる。また、発電寄与率も全地域で100%を越え、住宅内で発生する電力負荷を全て賄った上で、系統へ多くの電力を供給することが可能となっている。ただし排熱利用効率は、貯湯槽に蓄熱できずに発生する放熱量の増加や、貯湯槽からの熱損失の影響が大きくなり、夏季に向けて大きく落ち込む結果となっている。年間削減率は、札幌44.8%、

仙台45.2%、新潟44.2%、東京46.3%、福岡46.9%となり、電力負荷追従運転時とは逆に低緯度地域の方が高い傾向がみられた。

CO<sub>2</sub>排出量削減率を比較すると、電力負荷追従運転時で札幌21.1%、仙台16.7%、新潟17.4%、東京9.9%、福岡6.4%となり、定格運転時では札幌46.8%、仙台40.5%、新潟39.4%、東京30.6%、福岡22.9%となった。系統からの電力のCO<sub>2</sub>排出量換算係数が低緯度地域よりも高緯度地域の方が高いことが影響し、1次エネルギー削減率の推移とは違い、定格運転時だけでなく、電力負荷追従運転時においても、低緯度地域より高緯度地域の方が削減率の高い結果となった。

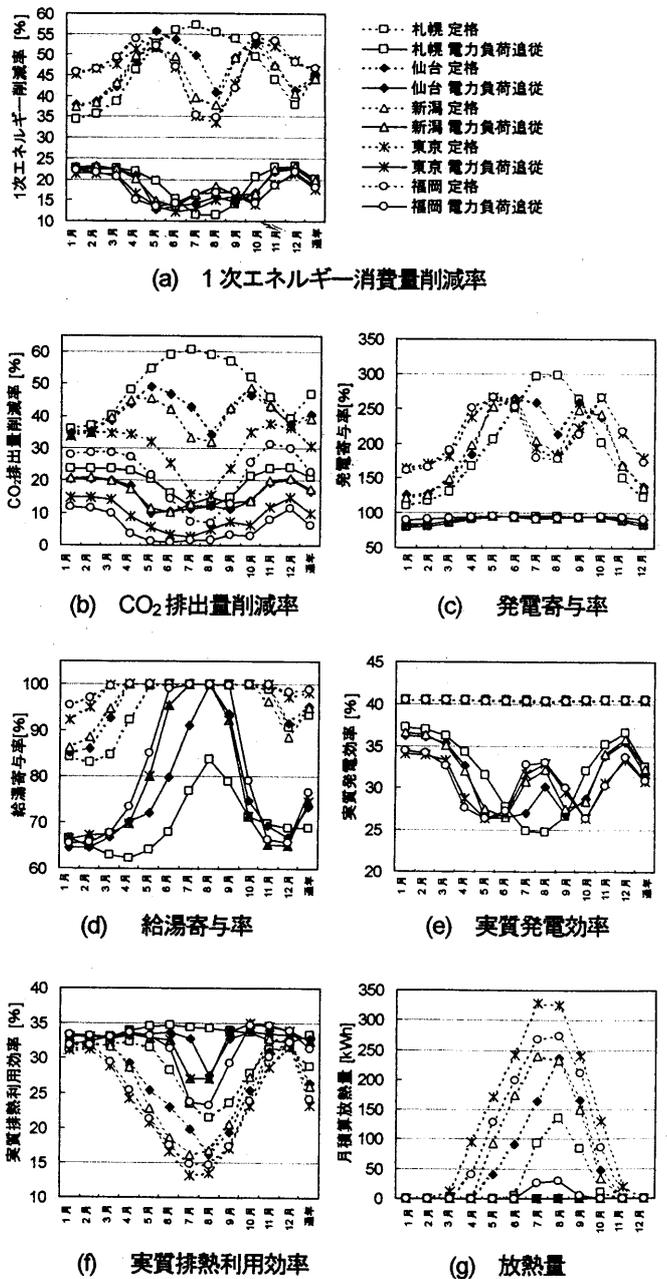


図21 シミュレーション結果 月変動 (SOFC-CGS)

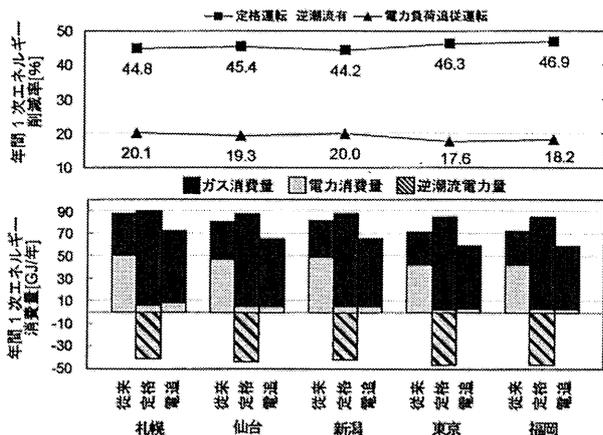


図22 年間1次エネルギー消費量 (SOFC-CGS)

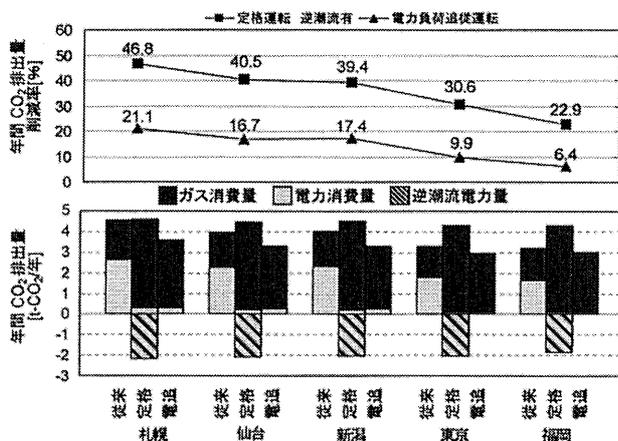


図23 年間CO2排出量 (SOFC-CGS)

## 5. おわりに

以下に、得られた知見を示す。

1) CO<sub>2</sub>-HP 給湯機を導入した場合、1次エネルギー削減率及びCO<sub>2</sub>排出量削減率は、空調負荷の高い時期ほど低く、年間1次エネルギー削減率は、札幌9.0%、仙台10.3%、新潟10.7%、東京10.6%、福岡11.4%、CO<sub>2</sub>排出量削減率は札幌6.9%、仙台11.7%、新潟12.1%、東京16.2%、福岡20.5%となり、特に低緯度地域での省エネ性が高い。

2) GE- $\mu$ CGS を導入した場合、冷房負荷が高く給湯負荷が低い夏季に削減率が低く、給湯負荷の高い冬季に高くなる傾向がある。高緯度地域では暖房負荷の高さから、冬季の削減率は低緯度地域よりも低い値となる。年間では、1次エネルギー削減率が札幌8.9%、仙台8.6%、新潟8.7%、東京7.9%、福岡8.4%、CO<sub>2</sub>排出量削減率は札幌8.9%、仙台7.4%、新潟7.5%、東京5.4%、福岡4.5%となり高緯度地域ほど省エネ性が高い。

3) PEFC-CGS を電力負荷追従運転で運用した場合、年間を通して低緯度地域よりも高緯度地域の方が1次エネルギー削減率が高い傾向があり、年積算で札幌19.9%、仙台19.0%、新潟19.3%、東京17.1%、福岡17.2%となる。CO<sub>2</sub>排出量削減率は札幌20.7%、仙台16.6%、新潟16.9%、東京10.7%、福岡7.5%となり、高緯度地域になるほど高い。

4) PEFC-CGS を定格運転で運用した場合、1次エネルギー削減率は札幌を除いた地域では、夏季に最も低く、次いで冬季、中間季の順に高くなり、札幌では5月から6月にかけて最も高く、冬季に最も低くなる。年間1次エネルギー削減率は札幌28.1%、仙台26.9%、新潟26.0%、東京24.5%、福岡25.3%、CO<sub>2</sub>排出量削減率は札幌27.3%、仙台23.1%、新潟22.6%、東京16.3%、福岡12.9%となり、高緯度地域になるほど削減率が高い。

5) SOFC-CGS を電力負荷追従運転で運用した場合、札幌以外の地域では、冬季に最も高く、夏季、中間季の順に低くなり、札幌では夏季に最低、冬季に最高となる。年間1次エネルギー削減率は札幌20.1%、仙台19.3%、新潟20.0%、東京17.6%、福岡18.2%、CO<sub>2</sub>排出量削減率は札幌21.1%、仙台16.7%、新潟17.4%、東京9.9%、福岡6.4%となり、高緯度地域になるほど削減率が高い。

6) SOFC-CGS を定格運転で運用した場合、札幌以外では中間季に高く夏季、冬季に低く、札幌では夏季に高く冬季に高い推移となる。年間1次エネルギー削減率は札幌44.8%、仙台45.2%、新潟44.2%、東京46.3%、福岡46.9%となり、低緯度地域の方が高い。CO<sub>2</sub>排出量削減率は札幌46.8%、仙台40.5%、新潟39.4%、東京30.6%、福岡22.9%となり、高緯度地域の方が高い。

全ての機器の省エネ効果を比較すると、逆潮流を考慮しない場合にはPEFC-CGS、SOFC-CGSが同程度で最も高く、逆潮流を考慮した場合にはSOFC-CGSが群を抜いて高くなる結果となる。CO<sub>2</sub>排出量削減率だけをみれば、低緯度地域においてはCO<sub>2</sub>-HPによる削減効果が非常に高いが、逆潮流を考慮するとSOFC-CGSによる削減率の方が高くなる。総じて燃料電池の省エネ性は高いと言えるが、SOFC運用時の夏季に発生する貯湯槽からの熱損失や、PEFC-CGS定格運転時の高緯度地域で暖房負荷を賄いきれないなど、その性能を活かしきれない点もみられる。今後は冬季、夏季の空調に燃料電池の排熱を利用する方法や、様々な家族構成や生活パターンを考慮しての省エネ性の検討などを行い、最も効果的な運用方法を明らかにする予定である。

## 参考文献

- 1) 日立アプライアンス株式会社 HP : <http://www.hitachi-ap.co.jp/index.html>
- 2) 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 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 その1, 日本建築学会環境系論文集, No.595, pp.65-72, 2005.
- 3) 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 家庭用分散型電熱源の導入効果に関する研究 その1, 日本建築学会環境系論文集, No.610, pp.67-73, 2006.
- 4) 京セラ株式会社 HP : <http://www.kyocera.co.jp/>

- 5) 宇田川光弘:伝熱解析の現状と課題, 標準問題の提案, 日本建築学会環境工学委員会第 15 回熱シンポジウム, 1985.
- 6) NHK 放送文化研究所:「データブック国民生活時間調査 2005」, 2006.
- 7) 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.
- 8) 日本建築学会:第 4 回住宅エネルギーシンポジウム 住宅用エネルギー消費と温暖化対策, 2005.
- 9) 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.19, pp.337-346, 1992.
- 10) 赤坂裕、他 7 名:拡張アメダス気象データ, 日本建築学会, 2002.
- 11) 高須直子, 他 3 名:入浴行為と使用湯量に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2004.
- 12) 環境省 HP: <http://www.env.go.jp/>, 「平成 19 年度の電気事業者別二酸化炭素排出係数の公表について」, 2008 年 12 月 19 日報道発表資料

(受理:平成 21 年 6 月 4 日)