

寒冷地における家庭用コージェネレーションシステムの 現状評価と将来性に関する研究

Study on Evaluation of Present Performance and Future of Residential Cogeneration Systems in Cold Region

濱田 靖弘^{*1} 田 籠 秀 俊^{*2} 長 野 克 則^{*3} 後 藤 隆 一 郎^{*4} 中 村 充^{*4}
Yasuhiro HAMADA Hidetoshi TAGOMORI Katsunori NAGANO Ryuichiro GOTO Mitsuru NAKAMURA

Abstract

This paper describes the present performance and future of residential cogeneration systems (CGSs) in order to save energy and to reduce carbon dioxide in cold regions. First, as a result of numerical analyses of fuel cell CGSs on power and domestic hot water supply, primary energy consumptions and carbon dioxide emissions of all target houses in Sapporo were reduced. Especially high reduction effects of the latest polymer electrolyte fuel cell (PEFC) and the solid oxide fuel cell (SOFC) were shown. Second, we analyzed the relationships of power generation efficiency of the utility power and fuel cell and the primary energy reduction rate. As a result, the reduction rates of the standard PEFC, the latest PEFC and SOFC were approximately 17%, 21% and 32%, respectively. Finally, we analyzed fuel cell CGSs for power, domestic hot water and space heating. The rate of operation from October to April increased compared with the CGSs without space heating. Especially large reduction effect was seen in the house to which demand of domestic hot water had limited the operation of fuel cell. In the house with high effect of introduction, the amount of the annual primary energy reduction reached 30 GJ.

キーワード：数値解析，家庭用コージェネレーションシステム，固体高分子形燃料電池，固体酸化物形燃料電池

Key Words：Numerical Analysis, Residential Cogeneration System, Polymer Electrolyte Fuel Cell, Solid Oxide Fuel Cell

1. はじめに

2003 年度における国内の地球温暖化ガス排出量は，二酸化炭素換算で 13 億 3900 万トンとなり，1990 年度と比較して 8.3%増加した．京都議定書の発効によって，日本は 1990 年比 6%の削減を義務づけられることになり，2008 年から 2012 年の平均で 14%の削減が必要となる．特に，家庭部門における 2003 年度の排出量は，1990 年度比で 31.4%増加しており，家庭部門における効率的な排出抑制が求められている．このような状況の中で，エネルギーの有効利用に資するコージェネレーションシステム（Cogeneration System：CGS）の省エネルギー性が注目を集めている．

住宅用コージェネレーションシステムは，マイクロガス

エンジンの実用化を契機として，全国的な普及が始まっており，ガスエンジンの設置件数は日本全国で相当数にのぼっている．一方，固体高分子形燃料電池（Polymer Electrolyte Fuel Cell：PEFC，または Proton Exchange Membrane Fuel Cell：PEMFC）は，常温から 80℃程度の低温域で作動することから材料の低コスト化が可能となるとともに，比較的容易な起動・停止，高い総合効率と環境安全性，静音性などの特性を有し，実用化に向けた技術開発が国内外で進められている^{(1)~(7)}．特に，日本ではこれらの技術開発が，国土交通省⁽⁸⁾，経済産業省⁽⁹⁾，日本ガス協会⁽¹⁰⁾，燃料電池実用化推進協議会（事務局：新エネルギー財団）⁽¹¹⁾などの機関によって推進されている．

住宅用燃料電池の適正な運転形態に関しては，これまで多くの研究例^{(12)~(22)}があり，解析的にはその高い省エネルギー効果が確認されている．一方，実機の性能評価に関しては，新エネルギー財団，建築環境・省エネルギー機構による実証事業があるが，これらのデータは非公開であり，実機の発電・排熱回収特性の詳細な運転実績に基づく導入

*1 北海道大学大学院工学研究科准教授
〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目
e-mail: hamada@eng.hokudai.ac.jp

*2 北海道大学大学院工学研究科修士課程

*3 北海道大学大学院工学研究科教授

*4 北海道ガス株式会社
(原稿受付：2007年12月6日)

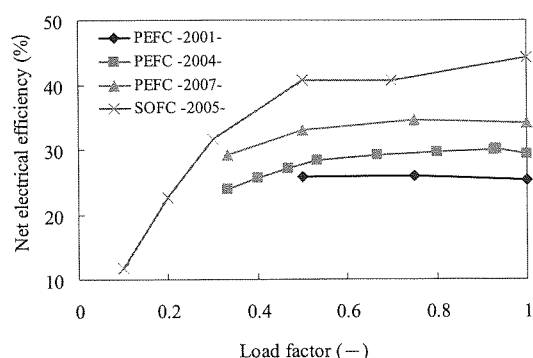


Fig. 1 Load factor and net electrical efficiency of fuel cell.

可能性評価が報告された例は黒木らの先導研究⁽²³⁾などに限られる。

筆者らの研究室では、これまで再生可能エネルギーと燃料電池を活用した住宅用複合型エネルギーシステムのあり方について検討することを目的として、固体高分子形燃料電池実機の性能評価、住宅のエネルギー需要への適用性、太陽エネルギーとの複合利用効果の実験と解析を実施してきた^{(24)~(27)}。本研究は、省エネルギー化・二酸化炭素排出量の削減を目指し、寒冷地における家庭用 CGS の現状評価と将来性を評価することを目的としたものである。まず、電力・給湯システムにおける燃料電池 CGS の解析を行い、札幌市内の世帯を対象とした一次エネルギー消費量・二酸化炭素排出量の削減効果について、特にトップランナー型 PEFC、固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell: SOFC) の性能に基づき明らかにする。次いで、発電所・燃料電池発電熱効率と一次エネルギー削減率の関係について解析を実施する。さらに、電力・給湯・暖房システムにおける CGS の解析を行い、電力・給湯 CGS と比較した場合の燃料電池の稼働率向上効果、一次エネルギー削減効果について評価する。

2. 燃料電池性能の近年の動向

筆者らはこれまで PEFC に関して、実機の発電・排熱回収特性の運転実績値の取得を実施してきた^{(24)~(27)}。2001 年相当の PEFC の実験では、交流端発電熱効率 (高位発熱量基準) は 26% で、排熱回収熱効率との和である総合熱効率は 70.4% であった。部分負荷運転については、負荷率 50%, 75%, 100% の三段階のみの設定であった。一方、2004 年には発電熱効率 32% で、総合熱効率は 72.7% を示した。同時に負荷率 30% までの追従性を示すようになった (図 1)。参考としてヒヤリング調査に基づく 2007 年相当の PEFC の発電熱効率は 34%、総合熱効率は 85.1% を達成している。さらに SOFC も実用段階に達しつつあり、2005 年相当の発電熱効率が 44.3% に達した。SOFC は低負荷領域においても比較的高い追従機能を有しており、より実用性に優れていることが特徴である。

Table 1

Outline of target households

Category of house	Detached house				
	Super-insulated				Standard
Name	B	C	D	L	E
Lights and appliances (GJ)	14.2	13.5	12.2	16.1	11.3
Domestic hot water (GJ)	31.9	12.5	6.4	17.0	8.7
Space heating (GJ)	36.6	43.4	44.4	32.3	52.3
Ratio of heat to power (-)	4.8	4.1	4.2	3.1	5.4

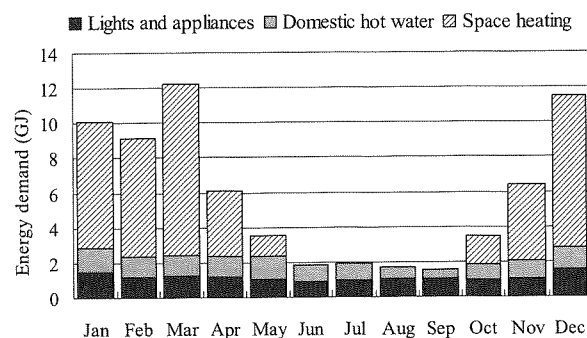


Fig. 2 Monthly energy demand of House C.

3. 解析概要

3.1 対象世帯

燃料電池 CGS の解析を実施する検討対象世帯は表 1 に示す五世帯とした。既報⁽²⁸⁾による札幌の家庭用エネルギー需要量調査結果の一部を適用した。年間の熱電比は 3.1~5.4 と非常に幅が大きい。一例として、高断熱型の世帯である C 邸は、札幌市における標準的な電力需要・給湯需要に比較的近い⁽²⁸⁾。C 邸の月別の電力需要と給湯需要・暖房需要を図 2 に示す。年間電力需要は 13.5 GJ、給湯需要は 12.5 GJ、暖房需要は 43.4 GJ である。また、熱電比は 4.1 である。

3.2 解析方法

図 3、表 2 にそれぞれ燃料電池 CGS の数値解析プログラムのフローと数値解析の各種条件を示す。プログラムは従来方式計算部と燃料電池 CGS 計算部から構成されており、燃料電池 CGS 計算部には蓄熱制御計算部が含まれている。まず、時刻別の電力負荷、給湯負荷および暖房負荷を入力し、従来方式における一次エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の算出を行う。従来方式における熱源機器としては、ボイラ、ヒートポンプ (以下、HP と称す) を想定した。次いで、燃料電池 CGS 計算部の蓄熱制御計算部で蓄熱量・放熱量を求め、商用電源およびその他の構成機器を含む全体の一次エネルギー消費量が最小となる燃料電池の発電電力量を決定する。燃料電池 CGS を用いた場合の一次エネルギー消費量および二酸化炭素排出量を算出し、削減量・削減率を算出する。

蓄熱制御計算部における蓄熱方法の最適運転は時刻間蓄熱槽運転方策と各時刻における機器運転方策とを同時に決

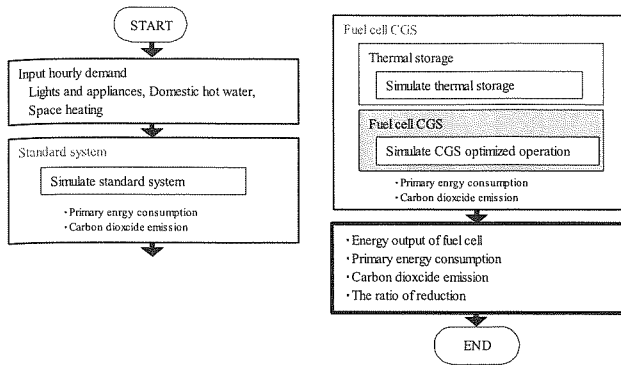


Fig. 3 Outline of numerical analysis program.

定する必要があるため、多数の未知変数を含む大規模な問題となり多大な演算時間を要する⁽²⁹⁾。伊東ら⁽³⁰⁾は、時間帯別のエネルギーコスト差を考慮することにより運用方を前処理解析する手法を提示している。本研究における蓄熱制御計算部では、各時間における重み付け変数として、蓄熱リスク係数と放熱リスク係数を導入し、蓄熱槽周りの運転計画を予め構築することによって演算負荷の低減を行うものとした。ここで、蓄熱リスク係数 $\phi_{in}(k)$ は非蓄熱時過剰排熱値で、燃料電池定格熱出力と蓄熱槽を有しない場合の燃料電池電主熱從運転時の排熱量と熱需要の差で表される蓄熱可能熱量との差としており、値が大きいほど蓄熱運転のリスクが大きいこととなる。放熱リスク係数 $\phi_{out}(k)$ は非蓄熱時不足排熱値としている。蓄熱運転解析部分では、以下の蓄熱槽目的関数を最小化し、各時刻における蓄熱量、放熱量を決定する。

$$J_{ST} = \sum_{k=0}^{D-1} [\{\phi_{in}(k)\}^T Q_{ST}^{in}(k) + \{\phi_{out}(k)\}^T Q_{ST}^{out}(k)] \cdot \Delta t \quad \dots (1)$$

$$\phi_{in}(k) = \frac{H_{FC,max} - H_{FC,plf} + H_{dd}}{H_{FC,max}} \quad \dots (2)$$

$$\phi_{out}(k) = \frac{H_{dd} - H_{FC,plf}}{H_{FC,max}} \quad \dots (3)$$

燃料電池 CGS 計算部においては、既報⁽²⁵⁾と同様に 0-1 混合整数線形計画法を用いて計算を行っている。以下に制約条件および目的関数に関する式を示す。

・商用電力

発電所における一次エネルギー消費量を F_{PS} 、商用電源の発電熱効率を η_{PS} とすると、商用電力 E_{PS} は以下の式で表される。

$$E_{PS} = \eta_{PS} \times F_{PS} \quad \dots (4)$$

・補助ボイラ

補助ボイラにおける一次エネルギー消費量を F_B 、補助ボイラの熱効率を η_B とすると、供給熱量 H_B は以下の式で表される。熱効率 η_B は標準型ボイラでは 75%、潜熱回収型ボイラでは 92.3% としている。

$$H_B = \eta_B \times F_B \quad \dots (5)$$

Table 2

Conditions of numerical analyses

Fuel cell

Rated power	750 W (AC)
Minimum power	250 W (AC)

Heat storage tank

Tank capacity	200 L
Water supply temperature	60 °C
Heat loss rate	1.0%/h

Utility power

Net electrical efficiency	36.62%
---------------------------	--------

Boiler

Latent heat recovery	92.3%
Standard	75.0%

Heat pump

SCOP (domestic hot water)	1.9
SCOP (space heating)	3.0

$$F_{B,min} \cdot \delta_B \leq F_B \leq F_{B,max} \cdot \delta_B \quad \delta_B \in \{0,1\} \quad \dots (6)$$

・燃料電池

燃料電池における一次エネルギー消費量を F_{FC} 、燃料電池の発電熱効率、排熱回収熱効率をそれぞれ $\eta_{FC,E}$ 、 $\eta_{FC,H}$ とすると、発電電力 E_{FC} 、排熱回収量 H_{FC} は以下の式で表される。

$$E_{FC} = \eta_{FC,E} \times F_{FC} \quad \dots (7)$$

$$H_{FC} = \eta_{FC,H} \times F_{FC} \quad \dots (8)$$

$$F_{FC,min} \cdot \delta_{FC} \leq F_{FC} \leq F_{FC,max} \cdot \delta_{FC} \quad \delta_{FC} \in \{0,1\} \quad \dots (9)$$

・電力収支式

電力需要は燃料電池発電電力と商用電力との和として、以下の式で表される。

$$E_{FC} + E_{PS} = E_d \quad \dots (10)$$

同様に、給湯需要・暖房需要についても以下の収支式を適用した。

・給湯収支式

$$H_{FC} + H_B = H_{dd} \quad \dots (11)$$

・暖房収支式

$$H_{FC} + H_B = H_{hd} \quad \dots (12)$$

・目的関数

$$J_{PE} = F_{PS} + F_{FC} + F_B \quad \dots (13)$$

目的関数は、一次エネルギー消費量の和の形で表し、これを最小化するものとした。また、逆潮については考慮していない。

4. 解析結果と考察

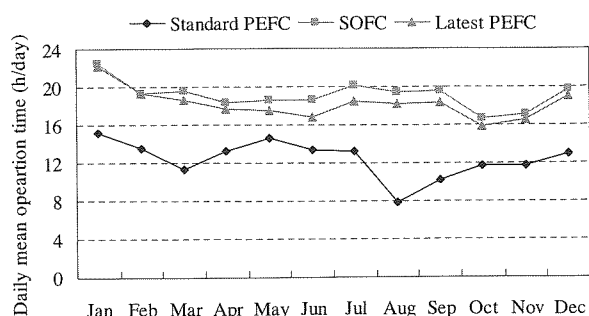


Fig. 4 Daily mean operation time.

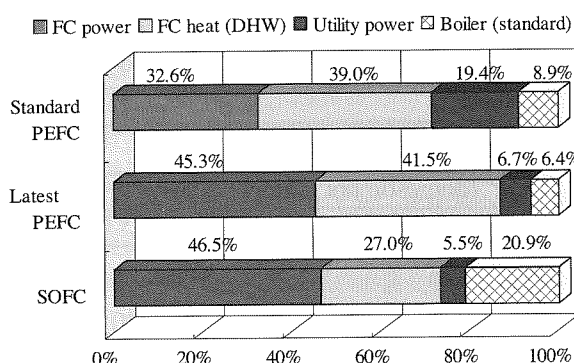


Fig. 5 Annual fuel distribution.

4.1 電力・給湯システム

電力・給湯システムにおける燃料電池日平均稼働時間を図4(C邸)に示す。ここで、標準型(Standard:図1の2004年相当)PEFC, トップランナー型(Latest:図1の2007年相当)PEFC, SOFCの定格時発電熱効率はそれぞれ30.3%, 34.1%, 43.8%とし、排熱回収熱効率はそれぞれ40.1%, 51.0%, 31.2%とした。また、いずれのシステムも定格出力を750Wとし、蓄熱槽の容量を200Lとする。標準型PEFCは、年平均で12.5時間となり、夏期8月に最も短く7.9時間、冬期1月が最も長く15.2時間であった。全体的に中間期から冬期にかけて電力需要に対して給湯需要が大きくなり、燃料電池の排熱を有効的に活用することによる。一方、トップランナー型PEFCは年間を通して標準型PEFCに比べ、日平均稼働率が増加している。年間では18.2時間となった。SOFCは年間では19.2時間となり、トップランナー型PEFCと比べ、季節変動が小さい。このため冬期は大きな違いが見られないものの、給湯需要の少ない夏期においても稼働時間が多くなっている。これはトップランナー型PEFCと比較すると、燃料電池排熱回収熱効率に対する発電熱効率が高いことが要因である。

燃料電池稼働状況を図5(C邸)に示す。ただし、給湯ボイラは標準型ボイラとしている。標準型PEFCでは年間の全需要のうち燃料電池発電電力量で32.6%、燃料電池排熱給湯利用量(DHW: Domestic hot water)で39.0%を賄い、

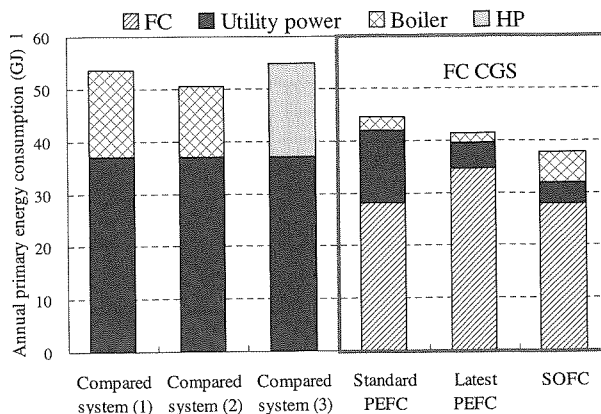


Fig. 6 Annual primary energy consumption.

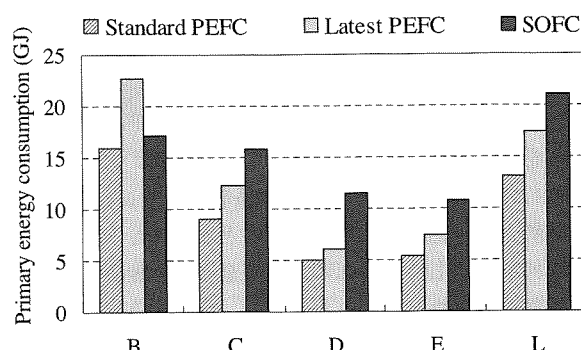


Fig. 7 Primary energy reduction.

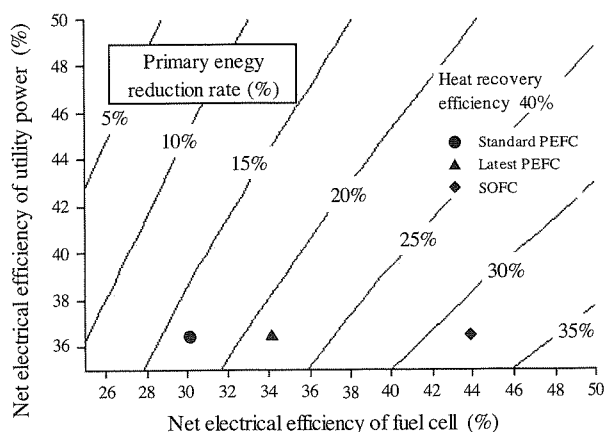


Fig. 8 Primary energy reduction rate.

計71.6%を燃料電池で賄う結果となった。一方、トップランナー型PEFCでは燃料電池発電電力量および排熱給湯利用量が増加し、燃料電池で賄われる需要は86.8%となった。また、同時に商用電力量と給湯ボイラの利用量が減少した。SOFCでは、燃料電池発電電力によって賄われる量が増加した一方、排熱回収熱効率が低下したため、燃料電池排熱利用によって賄われる量が減少し、標準型PEFCおよびトップランナー型PEFCと比較すると給湯ボイラによって賄われる熱需要の割合が増加した。

年間一次エネルギー消費量を図6(C邸)に示す。比較対

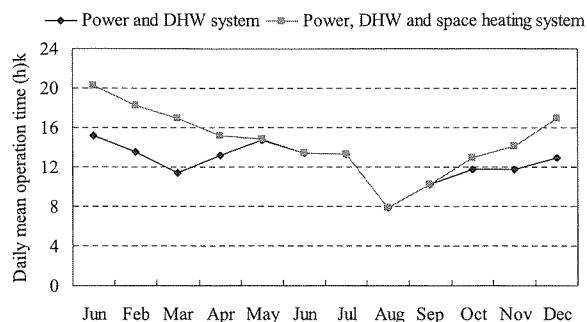


Fig. 9 Daily mean operation time (Standard PEFC).

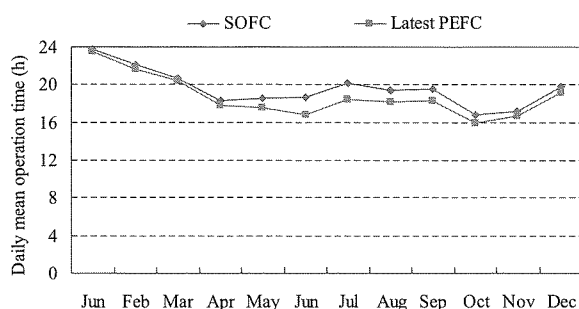


Fig. 10 Daily mean operation time (Latest PEFC and SOFC).

象として給湯需要を標準型ボイラで賄う方式 (1), 潜熱回収型ボイラで賄う方式 (2), 給湯ヒートポンプで賄う方式 (3) を取り上げた。ただし, 給湯ヒートポンプのシステム成績係数 (SCOP) は既報⁽³¹⁾によった。燃料電池 CGS を用いた場合, 方式 (1) と比べ, 標準型 PEFC, トップランナー型 PEFC, SOFC はそれぞれ 9.1 GJ, 12.3 GJ, 15.9 GJ の削減が見られた。また, 潜熱回収型ボイラを導入した方式 (2) と比較しても高い一次エネルギー削減効果が確認できた。

図 7 に各世帯における年間一次エネルギー削減量を示す。比較対象は電力需要を商用電力, 給湯需要を標準型ボイラで賄う方式としている。他の四世帯とも C 邸と同様に燃料電池 CGS を導入することによって高い一次エネルギー消費量の削減が得られた。特に SOFC は B 邸を除くと非常に高い削減効果があった。B 邸は電力需要に対する給湯需要の割合が他の世帯と比較して高いため, 熱電比の小さい SOFC よりトップランナー型 PEFC の方が適することとなる。標準型 PEFC では一次エネルギー削減量は B~L 邸でそれぞれ 16.0, 22.7, 5.1, 5.4, 13.1 GJ となった。

発電所および燃料電池の発電熱効率と方式 (1) を対象とした一次エネルギー削減率の関係を図 8 に示す。ただし, 燃料電池の排熱回収熱効率は 40% とした。発電所の発電熱効率が 36.6% の場合の標準型 PEFC, トップランナー型 PEFC, SOFC の一次エネルギー削減率はそれぞれ 17%, 21%, 32% (図中の●, ▲, ◆印) となり, CGS の高い導入効果が示唆される結果となった。

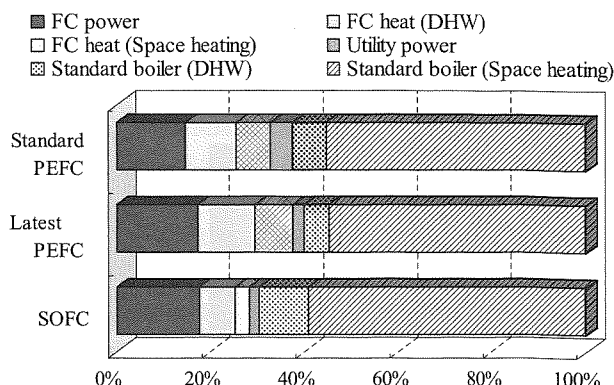


Fig. 11 Annual fuel distribution.

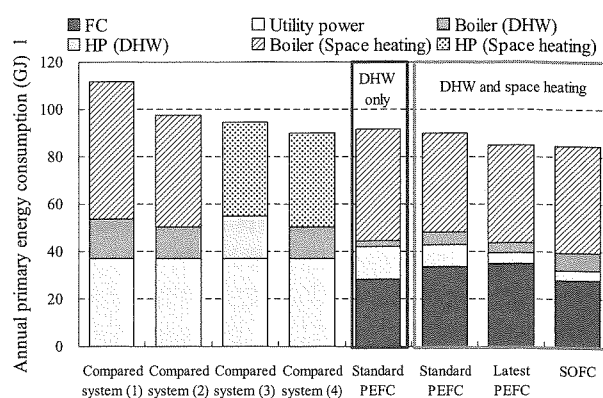


Fig. 12 Annual primary energy consumption.

4.2 電力・給湯・暖房システム

燃料電池排熱を給湯需要に加えて暖房需要に対しても適用する電力・給湯・暖房システムについて検討を行った。燃料電池のシステムに関しては, 電力・給湯システムと同様に燃料電池の定格出力を 750 W, 蓄熱槽容量を 200 L とした。図 9 に標準型 PEFC における電力・給湯システムと電力・給湯・暖房システムのそれぞれの日平均稼働時間の比較を示す。また, 図 10 にトップランナー型 PEFC と SOFC を用いた電力・給湯・暖房システムの日平均稼働時間を示す。標準型 PEFC においては電力・給湯システムと比較して, 電力・給湯・暖房システムでは暖房需要のある 10 月~4 月に燃料電池の稼働時間が増加していることが分かる。年間では電力・給湯・暖房システムは 14.5 時間となり, 電力・給湯システムより 2.1 時間増加した。トップランナー型 PEFC および SOFC はともに標準型 PEFC と比較すると稼働時間が増加している。冬期においてはトップランナー型 PEFC と SOFC は稼働時間がほぼ同じになったが, 夏期においては発電熱効率の高い SOFC のほうが高い稼働時間となった。年間でトップランナー型 PEFC は 18.7 時間, SOFC は 19.6 時間となった。

電力・給湯・暖房システムにおける燃料電池稼働状況を図 11 (C 邸) に示す。ただし, 給湯・暖房ボイラはいずれも標準型ボイラとした。標準型 PEFC, トップランナー型

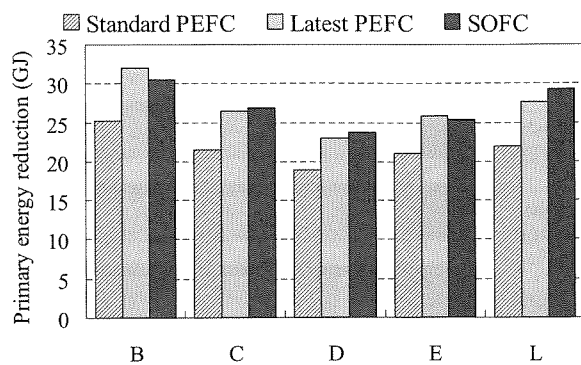


Fig. 13 Primary energy reduction.

PEFC, SOFC のいずれにおいても暖房需要を賄うボイラが大きな割合を占めており、50%を超えている。特に発電熱効率がが高く、熱電比の低い SOFC は給湯・暖房に用いる排熱量が少なくなるため、ボイラの稼働量が多くなっている。暖房ボイラに関しては全体の需要の 59% を占めている。電力・給湯・暖房システムにおいて標準型 PEFC では年間の全需要のうち燃料電池発電電力量で 14.7%、燃料電池排熱利用量で 18.0% を賄い、計 32.7% を燃料電池で賄う結果となった。一方、トップランナー型 PEFC では年間の全需要のうち燃料電池発電電力量で 17.2%、燃料電池排熱利用量で 20.2% を賄い、計 37.4% を燃料電池で賄い、SOFC では年間の全需要のうち燃料電池発電電力量で 17.6%、燃料電池排熱利用量で 10.7% を賄い、計 28.3% を燃料電池で賄う結果となった。

年間一次エネルギー消費量を図 12 (C 邸) に示す。ここで、比較対象として次の方式を取り上げた：(1) 標準型ボイラ、(2) 潜熱回収型ボイラ、(3) ヒートポンプ、(4) 給湯ボイラ (標準型) および暖房ヒートポンプ。また、前節の燃料電池による電力・給湯システムに加えて暖房ボイラ (潜熱回収型) を含めた方式との比較を行う。比較四方式の中では、方式 (4) が最も一次エネルギー消費量が少ない結果となった。燃料電池 CGS を用いた場合、方式 (1) と比較して、標準型 PEFC、トップランナー型 PEFC、SOFC はそれぞれ 21.6 GJ、26.5 GJ、27.1 GJ の削減が見られた。また、電力・給湯システムと比較しても削減が得られるという結果となった。一方、方式 (4) との比較では、標準型 PEFC は、ほぼ同等、トップランナー型 PEFC では 5 GJ、SOFC では 5.6 GJ の削減が得られた。暖房方式においては高性能ヒートポンプの導入効果が高いと言える。

図 13 に各世帯における年間の一次エネルギー削減量を示す。比較対象は電力需要を商用電力、給湯需要・暖房需要を標準型ボイラで賄う方式としている。他の四世帯においても C 邸と同様に燃料電池 CGS を導入することによって高い一次エネルギー消費量の削減が得られた。電力・給湯システムにおいては、SOFC は B 邸を除くと非常に高い削減効果があったのに対し、電力・給湯・暖房システムではトップランナー型 PEFC と大きな違いが見られなかった。これ

は暖房需要を加わったことにより熱電比の高いトップランナー型 PEFC が効率よく稼働するのが可能となった結果である。標準型 PEFC では一次エネルギー削減量は B～L 邸でそれぞれ 25.2, 21.5, 19.0, 21.0, 21.2 GJ となった。熱電比の高い B 邸および E 邸に関しては、SOFC と比較して、排熱回収熱効率の高いトップランナー型 PEFC の方が削減量が大きくなった。

5. まとめ

燃料電池の定格出力を 750 W、蓄熱槽の容量を 200 L と想定した場合の導入効果の数値解析を実施し、以下の知見が得られた。

1) 電力・給湯システムの燃料電池 CGS において、札幌の標準的な負荷の世帯 (C 邸) においては、標準型 PEFC では燃料電池によって全需要の 72% を賄い、一次エネルギー消費量は従来方式と比較して 9.1 GJ の削減が認められた。

2) 札幌市内の五世帯を対象として、電力・給湯システムの燃料電池 CGS の解析を行った結果、いずれの世帯においても従来方式と比較して一次エネルギー消費量・二酸化炭素排出量の双方の面で削減が認められた。特にトップランナー型 PEFC・SOFC の省エネルギー効果は、極めて高いといえる。

3) 札幌の標準的な負荷の世帯においては、発電所・燃料電池発電熱効率と一次エネルギー削減率の関係について解析を行った。標準型 PEFC の一次エネルギー削減率は 17% 程度、トップランナー型 PEFC の一次エネルギー削減率は 21% 程度、SOFC は 32% 程度となっており、高い導入効果が示唆される結果となった。

4) 札幌の標準的な負荷の世帯においては、電力・給湯・暖房システムの燃料電池 CGS は電力・給湯システムの燃料電池 CGS と比較して暖房需要のある 10 月～4 月に燃料電池の稼働率が向上し、年間で 1450 時間増加した。年間では一次エネルギー消費量が 21.6 GJ の削減となった。

5) 札幌市内の五世帯について電力・給湯・暖房システムの解析を行い、給湯需要が燃料電池の稼働を制限していた世帯において特に大きな削減効果があることを確認した。導入効果の高い世帯においては、年間一次エネルギー削減量が 30 GJ に達した。

記号

D	: 時間分割数	[—]
E	: 電力量	[W]
F	: 一次エネルギー消費量	[W]
H	: 熱量	[W]
J_{PE}	: 一次エネルギー消費量における目的関数	[W]
J_{ST}	: 蓄熱槽における目的関数	[J]
k	: 時刻ステップ	[—]
Q	: 熱量	[W]
$SCOP$	: システム成績係数	[—]

Δt	: 時間間隔	[s]
ϕ	: リスク係数	[-]
η	: 熱効率	[-]

添字

B	: 補助ボイラ
d	: 需要
dd	: 給湯需要
E	: 発電電力
FC	: 燃料電池
H	: 排熱回収
hd	: 暖房需要
in	: 蓄熱
max	: 最大値
min	: 最小値
out	: 放熱
PE	: 一次エネルギー消費量
plf	: 電主熱従運転
PS	: 商用電力
ST	: 蓄熱槽

参 考 文 献

- (1) 笠原晃明, 燃料電池の現状と将来, DNG Report, 23 (2000), 5-8.
- (2) 東京ガス, 都市ガス業界と燃料電池開発, 電力と技術, 61 (2000), 53-57.
- (3) 大阪ガス, 家庭用固体高分子型燃料電池コージェネレーションシステムの開発, 環境研究, 119 (2000), 41-46.
- (4) 藤生 昭・山本聡史・横原勝行・畑山龍次・野口博司, 1 KW 固体高分子形燃料電池電源, SANYO Technical Review, 31-2 (1999), 107-113.
- (5) 伊藤信久, 家庭用小型コージェネシステム, クリーンエネルギー (2000), 29-31.
- (6) <http://www.ballard.com>.
- (7) <http://www.plugpower.com>.
- (8) 国土交通省: 国土交通省重点施策 (2002).
- (9) 経済産業省: 経済構造改革を巡る諸課題と経済産業政策 (2002).
- (10) 伊中秀樹, 固体高分子形燃料電池による家庭用コージェネレーション, エネルギー・資源, 21-5 (2000), 47-52.
- (11) 燃料電池実用化推進協議会, OHM, 88-5 (2001), 13.
- (12) 平田 賢, 21 世紀のエネルギー供給—天然ガスバイプラインと水素供給インフラの展望—, 天然ガス高度利用研究会講演資料 (2000).
- (13) 太田健一郎, 燃料電池の今後, エネルギー・資源, 21-5 (2000), 17-22.
- (14) 市川 勝, 新触媒で天然ガスを水素と化学原料に変換, DNG Report, 23 (2000), 1-4.
- (15) 小樋英明・斯波 敬・伊東弘一, 太陽電池-PEFC を用いた家庭用コージェネレーションシステムの経済性に関する検討 (第 1 報) 蓄電池の経済性, エネルギー・資源学会第 20 回研究発表会講演論文集 (2001), 93-96.
- (16) 杉原英治・河本 純・高尾 良・辻穀一郎, 住宅用燃料電池を含む都市エネルギーシステムのトレードオフ分析, エネルギー・資源学会第 20 回研究発表会講演論文集 (2001), 171-176.
- (17) 若園芳嗣・加藤丈佳・横水康伸・岡本達希・鈴置保雄, 給湯負荷の変動を考慮した住宅用マイクロコージェネの最適形態, エネルギー・資源学会第 19 回研究発表会講演論文集 (2000), 75-80.
- (18) 江尻健吾・下田吉之・中津浩平・水野 稔, 民生用熱源システムの総合評価手法 (6) 住宅用燃料電池システムの評価例, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 (2000), 993-996.
- (19) 西井洋介・鉾井修一, 住宅への燃料電池導入の可能性の検討—コスト・環境負荷の評価—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (2000), 1067-1068.
- (20) 石橋良太郎・田中英紀・奥宮正哉, 住宅用コージェネレーションシステムの最適計画に関する研究 (第 2 報) 住宅の熱電比による貯湯槽容量とエネルギー性能に関する検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 (2002), 229-232.
- (21) 樋口祥明・高橋幹雄・中村 慎・高橋紀行, 住宅用コージェネレーションの省エネルギーに関する研究 (第 1 報) 帯水層を利用した季節蓄熱による省エネルギー効果の解析評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 (2002), 225-228.
- (22) 小原伸哉・工藤一彦, 燃料電池および灯油エンジンを利用した住宅用コージェネレーションシステムの最適運転計画, 空気調和・衛生工学会論文集, 85 (2002), 59-67.
- (23) 黒木 洋・清水章太郎・高口洋人・渡辺俊行, 家庭用分散型電熱源の導入効果に関する研究 (その 1) 家庭用固体高分子形燃料電池 CGS の運転方法と導入効果, 日本建築学会環境系論文集, 610 (2006), 67-73.
- (24) 濱田靖弘・中村真人・窪田英樹・中島祐一・山田隆一・村瀬光則・後藤隆一郎・伊藤 健・小杉智紀・羽田 豊・横山真太郎・落藤 澄: 自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの研究 (第 1 報) 固体高分子形燃料電池試験機の発電・排熱回収特性, 空気調和・衛生工学会論文集, 90 (2003), 19-27.
- (25) 後藤隆一郎・濱田靖弘・中村真人・窪田英樹・落藤 澄・村瀬光則, 自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの研究 (第 2 報) 電力・給湯システムの運転実績と最適導入容量の評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 95 (2004), 89-98.
- (26) 後藤隆一郎・濱田靖弘・窪田英樹・中村真人・落藤 澄・村瀬光則, 自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの研究 (第 3 報) 太陽エネルギーと燃料電池の複合

- 利用, 空気調和・衛生工学会論文集, 106(2006), 1-10.
- (27) Y. Hamada, R. Goto, M. Nakamura, H. Kubota and K. Ochifuji, Operating results on a fuel cell for residential energy systems, Energy Conversion and Management, 47-20(2006), 3562-3571.
- (28) 濱田靖弘・中村真人・落藤 澄・村越千春・鶴崎敬大・横尾美雪・成田涼子・嶋原 亮・長倉香織・横山真太郎, 札幌における家庭用エネルギー消費量とその季時別変動に関する実測と評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 82(2001), 29-37.
- (29) 伊東弘一・横山良平, コージェネレーションの最適計画, 産業図書, (1990).
- (30) 伊東弘一・斯波 敬・横山良平, 蓄熱槽を含むエネルギー供給システムの最適運用計画問題に対する近似解法, 空気調和・衛生工学会論文集, 63(1996), 29-37.
- (31) 村川三郎・北山広樹・鍋島美奈子・高田 宏・山本直樹・永廣健太郎・濱田靖弘, 住宅における CO₂ ヒートポンプ給湯機の使用実態とその評価に関する研究—北海道地区における運転実績—, 空気調和・衛生工学会北海道支部第41回学術講演会論文集(2007), 237-240.