



Title	自然エネルギー・燃料電池活用型複合システムに関する研究-寒冷地における最適運転計画-
Author(s)	羽田, 豊; 濱田, 靖弘; 中村, 真人 他
Description	第11回衛生工学シンポジウム (平成15年11月6日 (木) -11月7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 一般セッション . 5 建築・都市環境とエネルギー有効利用 . P5-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 11, 203-204
Issue Date	2003-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7081
Type	departmental bulletin paper
File Information	11-5-3_p203-204.pdf



5-3 自然エネルギー・燃料電池活用型複合システムに関する研究

—寒冷地における最適運転計画—

○羽田 豊 (北海道大学) 濱田 靖弘 (北海道大学) 中村 真人 (北海道大学)
窪田 英樹 (北海道大学) 落藤 澄 (北海道大学) 後藤隆一郎 (北海道ガス)

はじめに

これまで筆者らは、平成13年12月から発電出力1kWの固体高分子形燃料電池を北海道大学構内の実験用戸建て住宅“ローエネルギーハウス”に設置し、燃料電池活用型住宅用エネルギーシステムの導入可能性評価を実証的に明らかにすることを目的として、発電・排熱回収特性に関する実験^{1), 2)}、住宅での利用を想定した実規模実験³⁾を行ってきた。

本報では、数値解析により固体高分子形燃料電池を導入した暖房・給湯システムにおける燃料電池の最適導入計画を行うものである。解析手法には0-1混合整数線形計画法を用い、一次エネルギー消費量の最小化問題を解くものである。まず、固体高分子形燃料電池を導入した給湯・暖房システムに0-1混合整数線形計画法を適用し、燃料電池コージェネレーションシステム最適容量解析プログラムを作成し、数値解析により燃料電池の最適容量を算出する。次いで、解析結果について省エネルギー性、環境保全性、経済性に関して評価する。

記号

E_d : 電力需要量	[MJ]
E_{FC} : 燃料電池発電電力量	[MJ]
E_{PS} : 商用電力量	[MJ]
E_{RP} : 逆潮電力量	[MJ]
F : 一次エネルギー消費量	[MJ]
F_B : 補助ボイラー一次エネルギー消費量	[MJ]
F_{FC} : 燃料電池一次エネルギー消費量	[MJ]
F_{max} : 最大一次エネルギー消費量	[MJ]
F_{min} : 最小一次エネルギー消費量	[MJ]
F_{PS} : 商用電源一次エネルギー消費量	[MJ]
H_B : 補助ボイラー発熱量	[MJ]
H_d : 給湯需要量	[MJ]
H_h : 暖房需要量	[MJ]
H_{FC} : 燃料電池排熱回収量	[MJ]
H_{WA} : 余剰熱量	[MJ]
η_B : 補助ボイラー効率	[-]
$\eta_{FC,e}$: 燃料電池発電熱効率	[-]
$\eta_{FC,h}$: 燃料電池排熱回収熱効率	[-]
η_{PS} : 商用電源発電搬送効率	[-]
δ : 0-1 整数関数	[-]

1. 解析プログラムの概要

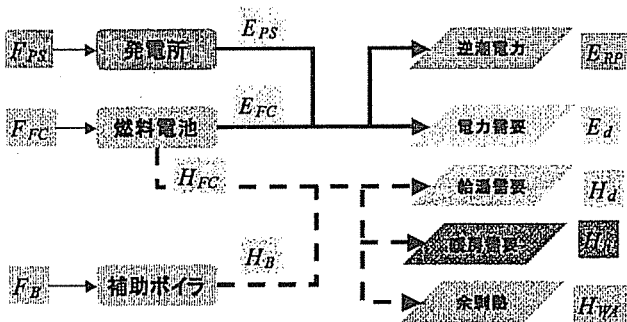


図-1 燃料電池 CGS 電力・給湯システムモデル

図-1 に戸建て住宅に固体高分子形燃料電池を導入した場合の給湯・暖房システムモデルを示す。電力需要を燃料電池と商用電源により賄い、熱需要を燃料電池の排熱と補助ボイラーで賄うものである。0-1 混合整数線形計画法を用いて燃料電池最適容量を計算するために、構成機器の定式化を行う。以下に構成機器の式を示す。

$$E_{FC} = \eta_{FC,e} \cdot F_{FC} \quad \dots\dots(1)$$

$$H_{FC} = \eta_{FC,h} \cdot F_{FC} \quad \dots\dots(2)$$

$$E_{PS} = \eta_{PS} \cdot F_{PS} \quad \dots\dots(3)$$

$$H_B = \eta_B \cdot F_B \quad \dots\dots(4)$$

また、エネルギーバランスについては以下のように定式化する。

$$E_{FC} + E_{PS} = E_d + E_{RP} \quad \dots\dots(5)$$

$$H_{FC} + H_B = H_d + H_h (+H_{WA}) \quad \dots\dots(6)$$

さらに、各機器の一次エネルギー消費量について以下の式を定める。

$$F_{min} \cdot \delta \leq F \leq F_{max} \cdot \delta \quad \dots\dots(7)$$

$$\delta \in \{0, 1\} \quad \dots\dots(8)$$

以上の式を連立方程式として解くことにより最小一次エネルギー消費量を算出することができる。

図-2 に最適運転プログラムフローを示す。比較する従来方式は商用電源およびガスボイラー (ボイラー効率: 0.75⁴⁾、電力消費量: 200 W) を用いるものとした。計算は従来方式計算部、燃料電池方式計算部において、それぞれ時刻別に行い、時刻毎の一次エネルギー消費量を最小にするものである。さらに、燃料電池方式計算部では、燃料電池容量によるループを設けることにより容量別の一次エネルギー消費量を算出し、比較することにより、最適な燃料電池容量を算出するというものである。

2. 検討対象と計算条件

表-1 に計算条件を示す。燃料電池の熱効率に関しては、既報¹⁾から部分負荷による低下は無視できるものとして一定とした。電力・給湯需要には、それぞれ空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会の予測プログラムにより算出した4人家族の電力需要、建築・環境省エネルギー機構による給湯負荷テスト用モデル (L モード) を適用している。また、給湯需要の平準化を行うことにより貯湯槽の存在を模擬した。5通りの平準化パターンを考え、それぞれを用いた場合について計算を行った。暖房に関しては、20,30,40,50 GJ を

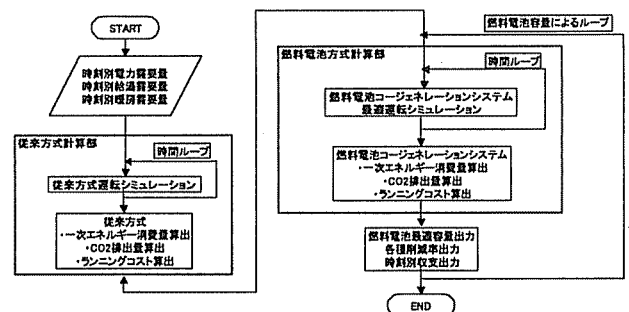


図-2 燃料電池 CGS 最適容量解析プログラムフロー

表-1 計算条件

年間電力需要量	交流端発電熱効率	排熱回収熱効率	最低負荷率	
13.8 GJ	28.8%	49.2%	0.3	
パターン	1	2	3	4
年間暖房需要量	50 GJ	40 GJ	30 GJ	20 GJ
原単位	天然ガス		商用電力	
一次エネルギー消費量	41.62 MJ/m ³ ⁵⁾ (LHV基準)		9.887 MJ/kWh ⁶⁾	
CO ₂ 排出量	0.644 kg-C/m ³ ⁵⁾		0.131 kg-C/kWh ⁶⁾	
コスト	燃料電池用:70円/m ³		23.5円/kWh ⁷⁾	
平準化パターン	年間給湯需要量 18.0 GJ (時刻別給湯需要量 48 MJ)			
Lモード				
平準化パターン1				
平準化パターン2				
平準化パターン3				
平準化パターン4				
平準化パターン5				
時刻	0	6	12	18

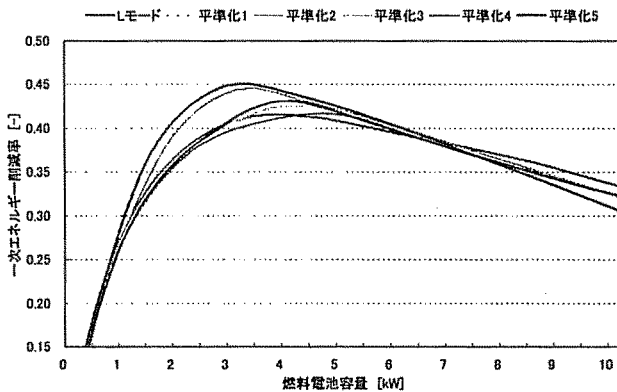


図-3 燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 50 GJ 逆潮有り)

考えた。燃料電池の容量については、0.3~3.0 kW まで 50 W 刻みで増加させ、燃料電池の最低負荷率は0.3とした。また、起動・待機時のエネルギー消費については考慮しないものとした。

3. 燃料電池最適導入容量の解析 (逆潮有り)

図-3 に燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 50 GJ 逆潮有り) を示す。給湯需要を平準化しない場合 (Lモード), 削減率は燃料電池容量 4.05 kW で最大となり約 41.6%であった。燃料電池容量 4.05 kW 以上では、燃料電池の最低負荷率 0.3 という制約条件の影響を受け、容量の増加に伴って削減率は低下していく傾向となった。給湯需要を平準化した場合では、平準化パターン 5 を用いた場合に削減率は最大となり、燃料電池容量 3.15~3.50 kW の範囲で約 45.0%に達した。

図-4 に燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 40 GJ 逆潮有り) を示す。暖房負荷 50 GJ の場合と同様の傾向となった。給湯需要を平準化しない場合、一次エネルギー削減率が最大となる燃料電池容量は若干減少し 3.45 kW となり、削減率は約 38.8%であった。給湯需要を平準化した場合では、標準タイプと同様に平準化パターン 4 を用いた場合に削減率は最大となり、約 42.9%となった。

図-5 に燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 20 GJ 逆潮有り) を示す。暖房負荷 50 GJ の場合と同様の傾向となったが、容量の増加に伴い、削減率は大きく減少する傾向が強くなった。また一次エネルギー削減率が最大となる燃料電池容量は、暖房負荷の低減に伴って小さくなる。

3. 燃料電池最適導入容量の解析 (逆潮無し)

図-5 に燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 50 GJ 逆潮無し) を示す。給湯需要を平準化しない場合 (Lモード), 削減率は燃料電池容量 0.90 kW で最大となり

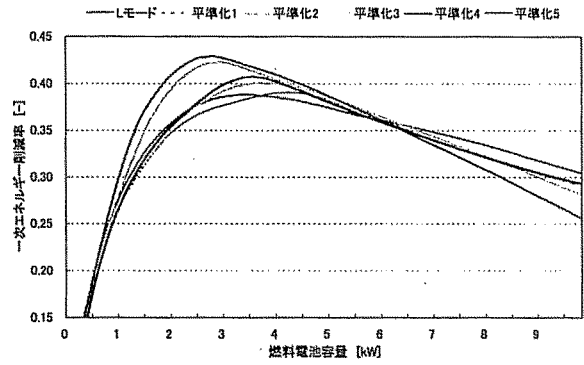


図-4 燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 40 GJ 逆潮有り)

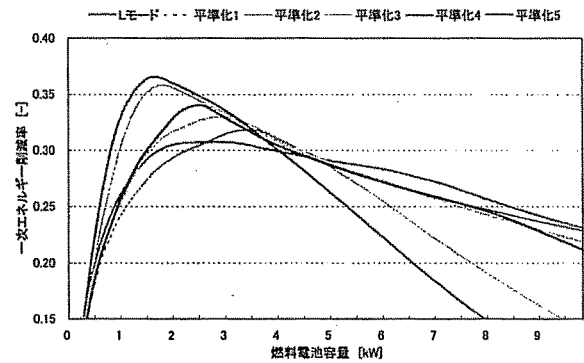


図-5 燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 20 GJ 逆潮有り)

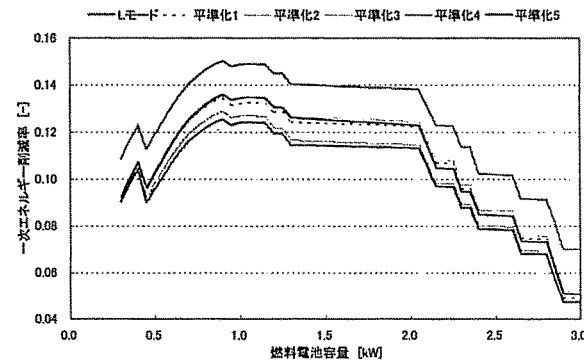


図-6 燃料電池容量による一次エネルギー削減率 (暖房負荷 50 GJ 逆潮無し)

約 15.0%であった。これは逆潮を認めないため、電主熱從運転となり、最大電力需要である 1 kW 付近で削減率が大きくなった。

参考文献

- 1)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
- 2)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
- 3)後藤隆一郎ら：実証実験に基づく自然エネルギー・燃料電池活用型住宅用複合システムの開発と総合評価 (第1報) 燃料電池による電力・給湯システムの実験, 空気調和・衛生工学会北海道支部第37回学術講演会論文集 (2003-3), pp.
- 4)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
- 5)空気調和・衛生工学会編：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
- 6)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>
- 7)北海道電力(株)：契約種別電力料金, 従量電灯 B (2002-10 適用)