

電力・給湯負荷の実測に基づく住宅用燃料電池 コージェネレーションシステムの導入評価

白土 博康, 保科 秀夫, 富田 和彦

Introduction evaluation of Polymer Electrolyte Fuel Cell Cogeneration Systems for Household Application based on measurement survey of Electric Power and Hot Water Supply Loads

Hiroyasu SHIRATO, Hideo HOSHINA, Kazuhiko TOMITA

抄 録

メタンガスを燃料とする住宅用燃料電池コージェネレーションシステムの種々の運転方法について、札幌における実住宅の過去の月別・時間別熱電需要データをもとに1次エネルギー消費量、CO₂排出量、運用コスト計算を行い、既存エネルギー供給システムと比較した。その結果、燃料電池コージェネレーションシステムを導入するにあたり、各家庭の熱電需要に影響されず、省エネルギー、低コストを保つシステムとして、2次電池を使用し、定格負荷運転を行う方法がもっとも良いことが分かった。

キーワード：燃料電池，コージェネレーション，2次電池，1次エネルギー消費量，CO₂排出量

abstract

We proposed some systems when we considered introduction of polymer electrolyte fuel cell cogeneration system for household application using methane gas as fuel and compared to conventional electricity and hot water supply systems in terms of amount of primary energy consumption, CO₂ emission, running cost based on measurement survey of electric power and hot water supply loads at three houses in Sapporo. Consequently, we concluded system using battery is best one for saving energy consumption and reducing cost as it isn't affected by demand for electricity and hot water supply of each home.

KEY-WORDS：fuel cell, cogeneration, battery, primary energy consumption, CO₂ emission

1. 緒 言

近年、人為的 CO₂排出に伴う地球温暖化問題がクローズアップされ、省エネルギー性の高い機器の開発、普及が急がれている。その中で、環境負荷が低く、従来のエネルギー供給システムに変わりうる PEFC(固体高分子電解質型燃料電池)を発電機として利用する家庭用燃料電池コージェネレーションシステム(以下 PEFC CGS)の開発が国内外で活発に行わ

れている。

一般家庭に PEFC CGS を導入する際、当該家庭の熱電需要量、熱電需要割合を予め把握し、それに見合うシステム設計を行う必要がある。国内においては、各協会や大学において標準家庭の生活パターンモデル、又は実住宅のエネルギー消費量調査をもとに、そのエネルギー需要に見合う PEFC を家庭に導入する時の1次エネルギー消費量削減率、CO₂排出量削減率、運用コスト削減率の評価を行う研究が行われている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。しかし、その多くは、関東地方を念頭に置き、暖房需要が多く、冷房需要が少ない北海道地域とは熱電需要が異なる内容となっている。

事業名：一般試験研究

課題名：ガスハイドレートと燃料電池によるメタン利用技術の研究

本研究では、札幌における実住宅の過去の月別・時間別熱電需要データをもとに灯油等に比べ単位発熱量あたりのCO₂排出量の少ないメタンガスを燃料としたPEFCCGSの種類の運転方法について、1次エネルギー消費量、CO₂排出量、運用コスト計算を行い、既存エネルギー供給システムと比較したのでその結果を報告する。

2. 解析対象住宅及び燃料電池の廃熱利用

2.1 解析対象住宅

(株)住環境計画研究所が実施した調査データ⁷⁾を使用し、その中から年間エネルギー需要の異なる戸建て住宅2軒と、集合住宅1軒を抽出した。抽出した各家庭の家族構成、主な住宅仕様及び主要エネルギー機器に関する情報を表1に示す。

表1 各家庭の家族構成、主な住宅仕様及び主要エネルギー機器に関する情報

	A邸	B邸	C邸
家族構成	夫婦子供2人	夫婦子供3人	夫婦子供1人
建て方	一戸建て	一戸建て	集合住宅
施工	1995年12月	1989年11月	1995年8月
階数	2階	2階	11階建て5階
延べ面積[m ²]	111	104.1	78.4
性能	高断熱・高気密	標準的断熱	
工法	ハネル(数骨)	木造軸組み	SRC
電気契約容量	60A	20A	50A
暖房熱源	灯油	灯油	灯油
暖房方式	温水セントラル	FFストーブ・セミセントラル	温水セントラル
給湯	灯油ボイラー	灯油ボイラー	灯油ボイラー

2.2 燃料電池の廃熱利用

札幌のような寒冷地でコージェネレーションを導入する場合、エネルギーバランスを考慮し、廃熱を給湯のみか、又は給湯暖房に利用するか予め検討する必要がある。月別平均給湯需要量と電力需要量の割合、及び月別平均給湯暖房需要量と電力需要量の割合をそれぞれ図1、図2に示す。

札幌のような寒冷地では冬期の暖房熱需要量が大きいいため、図2に示すように暖房を考慮する場合の熱電需要割合は夏期と冬期で大きく異なる。PEFCCGSでは、発電量と利用可能な廃熱量は約1:1である。このため廃熱を給湯、暖房の両方に用いる場合、電力需要を主体にシステムを構成すると、冬期の熱供給が大きく不足するためPEFCCGSは補助熱源としてしか成立しない。一方、PEFCCGSから発生する廃熱を主とする場合、冬期には大量の電力が余剰する。このよ

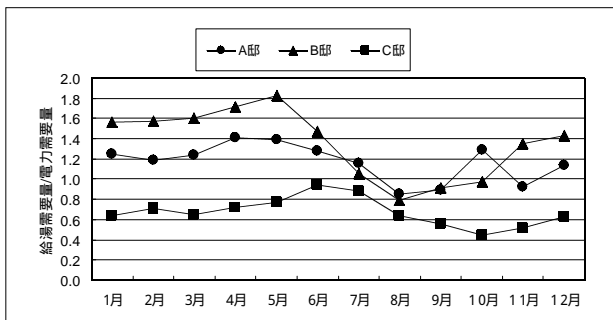


図1 月別平均給湯需要量と電力需要量の割合

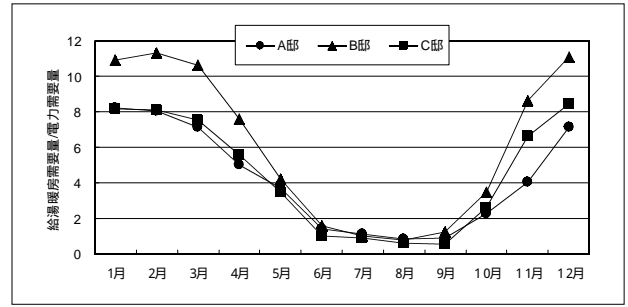


図2 月別平均給湯暖房需要量と電力需要量の割合

うにPEFCCGSでは廃熱を給湯と暖房の両方に利用するには、エネルギーバランス上明らかに困難である。したがって廃熱利用には給湯のみ考慮するシステムを検討した。図3に各家庭の月別平均電力・給湯需要量を示す。

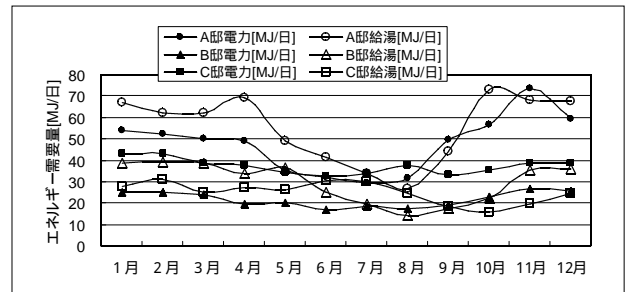


図3 各家庭の月別平均電力・給湯需要量

2.3 解析方法

解析は図4のフローチャートのように月別エネルギー消費量及び時間別平均エネルギー消費割合から時間別エネルギー需要量を算出し、PEFCの運転条件に合わせて商用電力売買電力量、メタンガス消費量、補助熱量を算出する。それを月単位で累積し、年間の1次エネルギー消費量、CO₂排出量、運用コストに反映させる。電池容量は100W~3000Wの

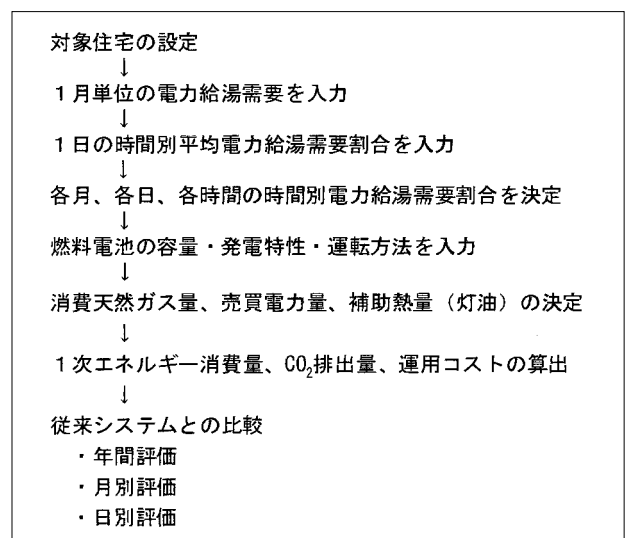


図4 解析方法のフローチャート

PEFCについて計算し、1次エネルギー消費量、CO₂排出量、運用コストを商用電力と灯油ボイラーを用いた従来のエネルギー供給システムと比較した。

2.4 PEFCの運転方法

2.4.1 時間別電力需要量、給湯需要量

図5、図6に各家庭の時間別電力需要量、給湯需要量を示す。家庭の電力給湯負荷変動は激しく、朝、及び夕方から夜に大きくなるため、PEFCで定格負荷運転を行うと電力又は給湯の供給の過剰な時間帯が発生し、省エネルギー性が損なわれる。特に電力供給に関しては、瞬時の負荷変動に対応しなければならない。そこで、本研究では後述する表2に示すこれまで検討されているa、c、dの運転方法の他に2次電池で電力負荷変動を吸収する電主熱従型の運転方法(b:定格負荷2次電池使用型)もあわせて検討した。また、給湯負荷に関しては貯湯槽を用い、負荷変動を吸収する方法を検討した。

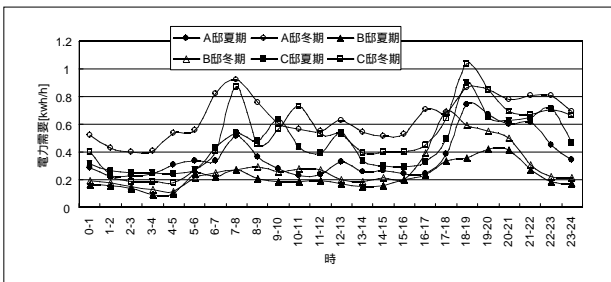


図5 各家庭における時間別電力需要量

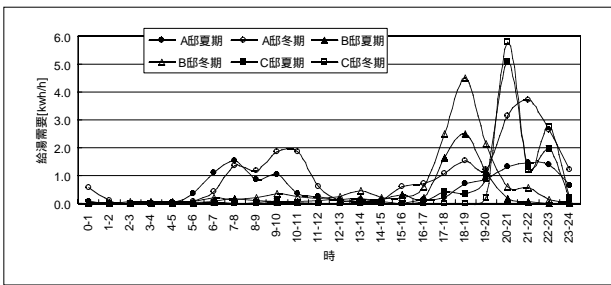


図6 各家庭における時間別給湯需要量

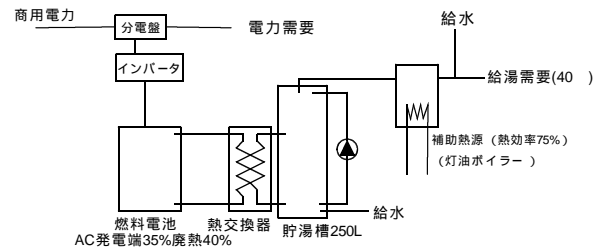
表2 PEFC 運転方法

ENTRY	名称	商用電力連携	逆潮流	電池効率変化	補助熱源(灯油)
a	定格負荷逆潮流型	有	有(5円/kwh)	無	有
b	定格負荷2次電池使用型	無	無	無	有
c	定格負荷熱主電従型	有	有(5円/kwh)	無	有
d	商用電力連携電主熱従型	有	無	有	有
	従来システム	有	—	—	有

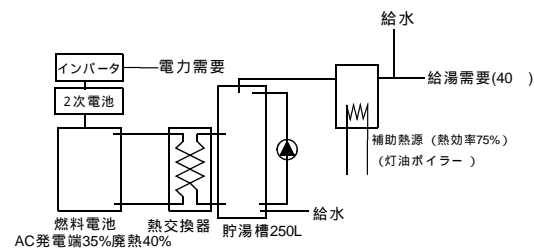
2.4.2 計算モデルと運転方法

図7に今回検討したメタンガスを燃料とするPEFCCGSの概要図を示す。PEFCCGSで発電した電力は、インバータを通じて各電力負荷に対応する。PEFCCGSから発生する廃熱は熱交換器を介し貯湯槽に貯められ給湯暖房に利用する。a: 定格負荷逆潮流型では常に定格でPEFCを運転し、瞬時電力

が不足の場合は商用電力から供給し、余剰する場合は逆潮流する。逆潮流価格は5円/kWhとした。b: 定格負荷2次電池使用型では系統連結せず2次電池を用いる。2次電池容量は5kWhとし、電力需要量がPEFC発電量を超える場合、その差を2次電池で補った。制御は2次電池容量が3.5kWh以下になった場合PEFCを起動させ、再び5kWhになった段階でPEFCを止めるON・OFF運転とした。なお、ON・OFF時に発生するエネルギー損失は考慮しない。c: 定格負荷熱主電従型は定格のPEFCを給湯需要(貯湯槽温度40℃未満でON, 50℃以上でOFF)にあわせて制御し、余剰電力は5円/kWhで逆潮流させた。d: 商用電力連携電主熱従型は1時間の電力需要量に燃料流量を追従させる方式である。しかし、実際には家庭の電力負荷は時間別に(瞬時に)大きく変動するため、改質器を伴う燃料電池では困難な運転方法である。部分負荷運転時の効率は大阪大学の部分負荷特性に準拠³⁾し、負荷50%以上では定格時と同効率とし、電力需要量がPEFC発電量の半分以下の場合、PEFC発電効率を電力負荷に比例して低下させ、電力需要量がPEFC発電量を超える場合には、その差を商用電力で補うこととした。



定格負荷逆潮流型、定格負荷熱主電従型、商用電力連携電主熱従型



定格負荷2次電池使用型

図7 PEFCCGSの概要図

2.4.3 その他計算条件

PEFCは通常AC発電端効率35%、廃熱40%とした。貯湯槽(250L, 0.5×0.5×1m)は完全混合モデルとし熱交換器の交換効率は貯湯槽温度にかかわらず100%とした。使用給湯温度を40℃に設定し、タンク温水温度が40℃以下であれば、使用量にあわせて補助熱源を用いて加温させた。また室温を18℃一定とし、貯湯槽の熱貫流率は1.0W/m²・Kとした。なお、従来システムの給湯用灯油ボイラー、PEFCCGSの給湯用補助ボイラーのシステム熱効率はいずれも75%とした。また給水温度⁸⁾、1次エネルギー換算係数⁵⁾、CO₂排出量換算

係数⁵⁾は文献値を使用し、運用コスト計算の商用電力料金、メタンガス(天然ガス)料金は、2001年12月現在の北海道電力(株)の従量電灯B、北海道ガス(株)の一般ガス料金を使用した。なお、これらの料金には基本料金は含まれていない。またPEFC 運転方法 b: 定格負荷 2 次電池使用型では商用電力料金は含まれていない。灯油料金は48.27円/L とした。

3. 結 果

3.1 年間 1 次エネルギー消費量削減率

図 8, 9, 10 に A, B, C 邸それぞれにおける年間 1 次エネルギー消費量削減率を示す。

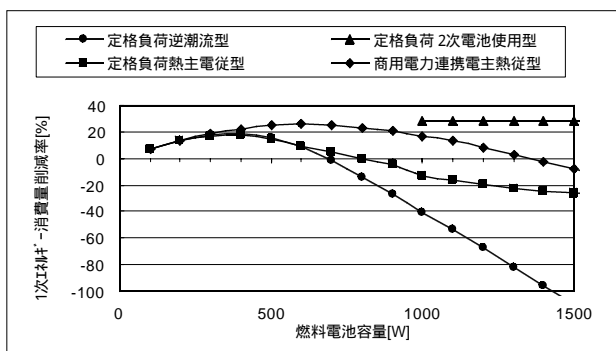


図 8 年間 1 次エネルギー消費量削減率 (A 邸)

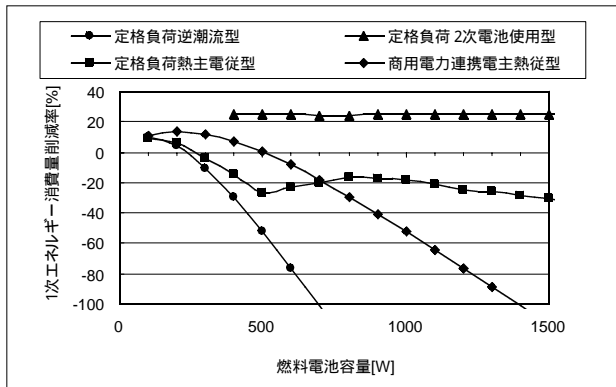


図 9 年間 1 次エネルギー消費量削減率 (B 邸)

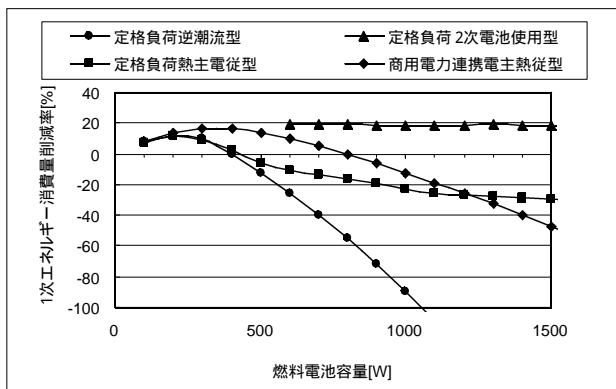


図10 年間 1 次エネルギー消費量削減率 (C 邸)

a: 定格負荷逆潮流型, c: 定格負荷熱主電従型において, 1 次エネルギー削減率が最大となる電池容量は, A 邸において400W, B 邸において100W, J 邸において200W である。従来システムに比べ 1 次エネルギーが削減できる電池容量の幅は小さい。

次に d: 商用電力連携電主熱従型において, 1 次エネルギー削減率が最大となる電池容量は, A 邸において600W, B 邸において200W, C 邸において300W である。この方式は, 最大 1 次エネルギー消費量削減率が a: 定格負荷逆潮流型, c: 定格負荷熱主電従型よりも高く, 許容できる電池容量の幅も大きい。このことから, 商用電力と連携するには電主熱従型とし, できるだけ時間別電力負荷変動に見合った運転方法をとることが省エネルギー性の向上につながる。また, a, c, d の運転方式では, 1 次エネルギー消費量削減率が最大となる電池容量は熱電需要又は需要熱電比に依存するため, 家族構成の変化に伴い熱電需要が増減すると, 省エネルギー性が損なわれる可能性がある。

一方, b: 定格負荷 2 次電池使用型は商用電力と連携しない。このため, 他の方式よりも 1 次エネルギー削減率は高く, それぞれ約19%~28%程度の 1 次エネルギーが削減された。またこの方式ではピーク電力を 2 次電池で吸収できるため, 1 次エネルギー消費量削減率が電池容量に依存せず, 一様の 1 次エネルギー消費量削減効果が期待できる。

3.2 年間 CO₂排出量削減率

A, B, C 邸それぞれにおける年間 CO₂排出量削減率を図 11, 12, 13 に示す。

年間 CO₂排出量削減率は, 年間 1 次エネルギー消費量削減率と同様の傾向を示している。a: 定格負荷逆潮流型, c: 定格負荷熱主電従型において, CO₂排出量が最大となる電池容量は, A 邸において400W, B 邸において100W, J 邸において200W であり, d: 商用電力連携電主熱従型において, A 邸において600W, B 邸において200W, C 邸において300W である。また b: 定格負荷 2 次電池使用型では電池容量に依存せず, 各家庭で約22%~33%程度の CO₂排出量が削減された。

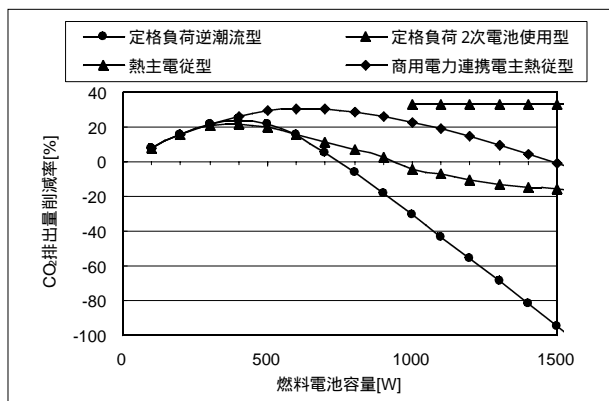


図11 年間 CO₂排出量削減率 (A 邸)

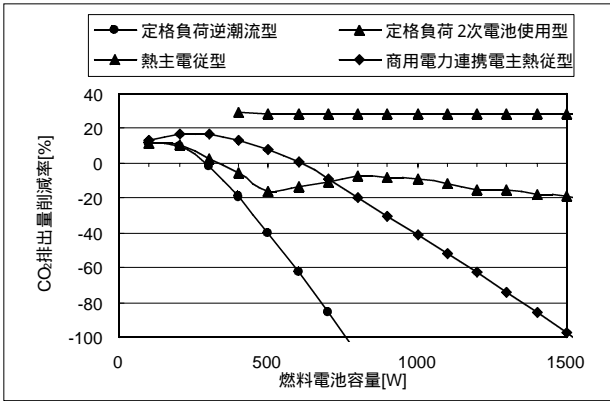


図12 年間CO₂排出量削減率 (B邸)

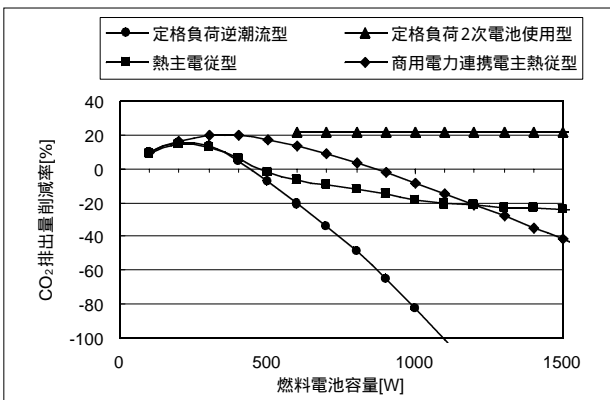


図13 年間CO₂排出量削減率 (C邸)

3.3 月別1次エネルギー消費量削減率

図14にA邸における運転方式の相違による代表的月別1次エネルギー消費量削減率の計算結果を示す (a: 定格負荷逆潮流型電池容量: 400W, 700W, b: 定格負荷2次電池使用型: 1000W, c: 定格負荷熱主電従型電池容量: 400W, 700W, d: 商用電力連携電主熱従型電池容量: 600W, 1000W)。b: 定格負荷2次電池使用型では月別1次エネルギー消費量削減率の変動は少ない。また、他の電池容量でもほぼ同じ値を示す。一方、他の運転方法においても、年間1次エネルギー消費量削減率が最大となる適正な電池容量では、月別の1次エネルギー消費量削減率に大きな変動はみられない。しかし、

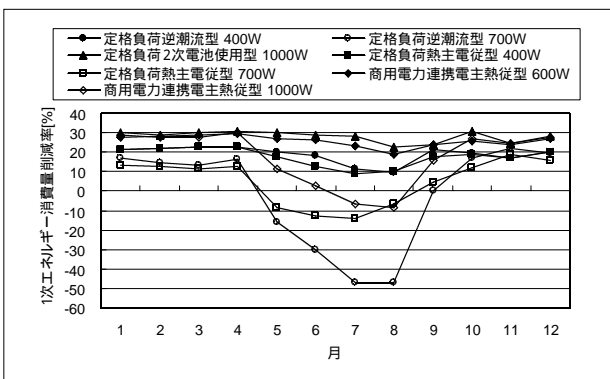


図14 月別1次エネルギー消費量削減率 (A邸)

適正容量より数100W増えると、夏期において省エネルギー性が損なわれることが分かる。以上1次エネルギー消費量削減率, CO₂排出量削減率の結果から, b: 定格負荷2次電池使用型がどのエネルギー需要の家庭にも安定した環境低負荷型PEFCCGSの運転方法であることが分かった。

3.4 年間運用コスト

年間運用コストを現状のメタンガス(天然ガス), 商用電力, 灯油料金で計算した場合, どの運転方式, 電池容量においても既存システムに比べ運用コストは増加した。そこで, A邸を代表例として, 1次エネルギー消費量削減率, CO₂排出量削減率が最大であったb: 定格負荷2次電池使用型において, 商用電力料金, 灯油料金が一定であった場合の運用コストに及ぼすメタンガス(天然ガス)料金の影響を図15に示す。

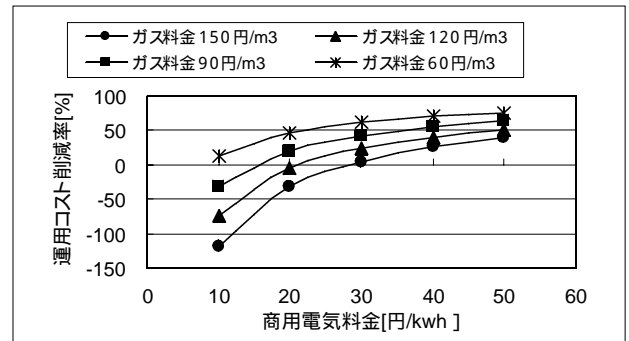


図15 商用電力料金, 天然ガス料金と運用コスト削減率の関係 (A邸, 定格負荷2次電池使用型1000W)

現在の商用電力料金を約20円/kWhとすると, 少なくとも20%以上の運用コストを削減するためには, ガス料金90円/m³以下にする必要がある。この結果から, コージェネレーション用のガス料金を90円/m³(基本料金は含まない)と設定し, 各運転方法で各家庭の運用コスト計算を行った。その結果を図16, 17, 18に示す。

a: 定格負荷逆潮流型において, 運用コスト削減率が最大となる電池容量は, A邸において500W, B邸において200W,

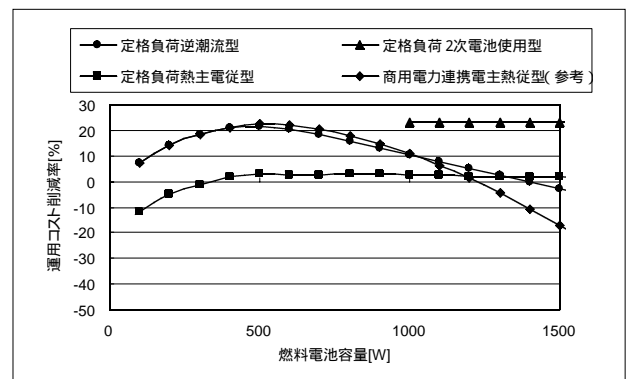


図16 運用コスト削減率 (A邸, ガス料金90円/m³)

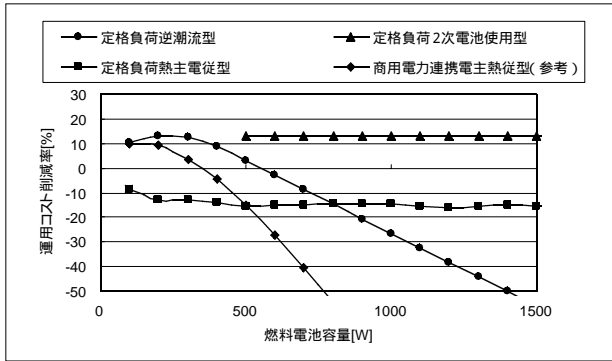


図17 運用コスト削減率 (B邸, ガス料金90円/m³)

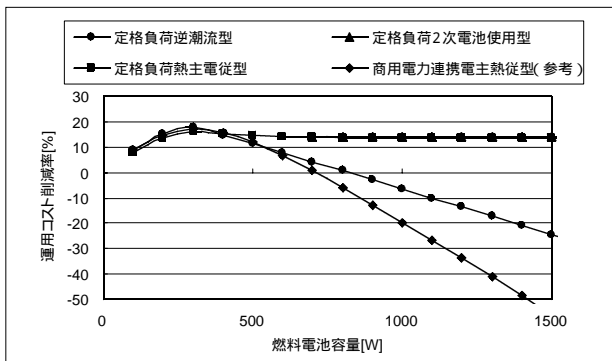


図18 運用コスト削減率 (C邸, ガス料金90円/m³)

J邸において300Wであり、d:商用電力連携電主熱従型において、A邸において500W、B邸において100W、C邸において300Wである。これらの運転方式では、運用コスト削減率が最大となる電池容量は1次エネルギー消費量削減率、CO₂排出量削減率と同様に電力需要又は需要熱電比に依存する。このため、PEFCCGSの導入の前に予め各家庭の熱電需要量を把握する必要がある。また、省エネルギー性の高い電池容量と運用コスト削減率の高い電池容量は比較的一致する。

c: 定格負荷熱主電従型において、A邸では電池容量400W以上、B邸では200W以上、C邸では200W以上になると運用コストがほとんど変化しなかった。

b: 定格負荷2次電池使用型ではそれぞれ約13%~23%程度の運用コストが削減された。またこの方式ではピーク電力を2次電池で吸収でき消費ガス量が電池容量に依存しないため、運用コスト削減率が電池容量に依存しない。

以上、従来システムに対する1次エネルギー消費量削減率、CO₂排出量削減率、運用コスト削減率の結果からPEFCCGSを導入するにあたって、各家庭の熱電需要に影響されず、省エネルギー性、低運用コスト性を保つシステムとして、定格負荷2次電池使用型がもっとも良いことが分かった。

そこでその代表例として、定格負荷2次電池使用型電池容量1000Wで運転したA邸の夏期(7月)・冬期(1月)・中間期(4月,10月)の各月15日における時間別2次電池充電量を図19に示す。2次電池充電量の推移から1日に3回以内の範囲でPEFCがON・OFFしているのが確認できる。頻

繁なON・OFF制御は改質器の追従を考慮すると困難であると考えられるが²⁾、1日に数回程度は十分対応可能である。

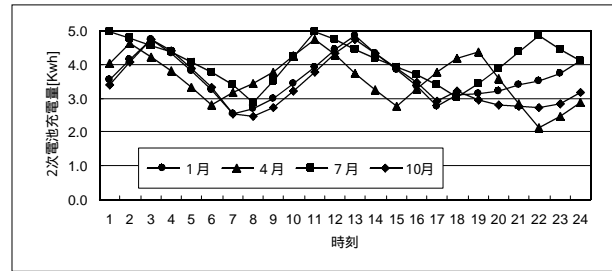


図19 時間別2次電池充電量 (A邸)

4.まとめ

札幌の実住宅の過去の月別・時間別熱電需要データをもとに灯油等と比べ単位発熱量あたりのCO₂排出量の少ないメタンガスを燃料としたPEFCCGSの種々の運転方法について、1次エネルギー消費量、CO₂排出量、運用コスト計算を行い、既存エネルギー供給システムと比較したところ以下のような結果を得た。

- (1) 商用電力と連携する際には電主熱従型とし、できるだけ時間別電力負荷変動に見合った運転方法をとることが省エネルギー性の向上につながる。
- (2) 定格負荷逆潮流型、定格負荷熱主電従型、商用電力連携電主熱従型では、1次エネルギー消費量削減率が最大となるPEFC容量は熱電需要又は需要熱電比に依存するため、家族構成の変化に伴い熱電需要が増減すると、省エネルギー性が損なわれる可能性がある。
- (3) 定格負荷2次電池使用型は、他の方式よりも1次エネルギー削減率は高く、ピーク電力を2次電池で吸収できるため、どの電池容量でも、一様の1次エネルギー消費量削減効果が期待できる。
- (4) 年間CO₂排出量削減率は年間1次エネルギー消費量削減率と同様の傾向を示した。
- (5) 現状の天然ガス、商用電力、灯油料金で計算した場合、どの方式、電池容量においてもPEFCCGSの運用コストは従来システムに比べ増加した。
- (6) 定格負荷逆潮流型、定格負荷熱主電従型、商用電力連携電主熱従型では、運用コスト削減率が最大となるPEFC容量は電力需要又は需要熱電比に依存する。また、省エネルギー性の高い電池容量と運用コスト削減率の高い電池容量は比較的一致するが、PEFCCGSの導入の前に予め各家庭の熱電需要量を把握する必要がある。
- (7) 定格負荷2次電池使用型では、ピーク電力を2次電池で吸収でき消費ガス量が電池容量に依存しないため、運用コスト削減率が電池容量に依存しない。
- (8) 以上のことからPEFCCGSを導入するにあたって、各家

庭の熱電需要に影響されず、省エネルギー性、低コスト性を保つシステムとして、定格負荷 2 次電池使用型がもっとも良いことが分かった。

謝 辞

札幌の住宅のエネルギー消費量データを提供して頂いた(株)住環境計画研究所の鶴崎氏、北海道大学の濱田助手に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) リン酸燃料電池発電技術研究組合：都市エネルギーセンター等燃料電池技術開発民生用分散型電源最適システム実用化開発調査（1994）
- 2) (株)日本ガス協会：固体高分子燃料電池の出力有効技術開発（2001）
- 3) 水野稔ら：民生用熱源システムの総合評価手法に関する研究（第 6 報），空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集（2000）
- 4) 鈴木修一ら：住宅への燃料電池導入の可能性の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（2000）
- 5) 濱田靖弘ら：燃料電池による住宅用コージェネレーションの省エネルギー性に関する検討，空気調和・衛生工学会北海道支部第35回学術講演会講演論文集（2001）
- 6) 鈴置保雄ら：給湯負荷の実測に基づく住宅用マイクロコージェネの評価，第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集（2002）
- 7) (株)住環境計画研究所：北海道クリーンリサーチ（1998）
- 8) 平成10，11年度札幌市水道水量水質年報