分オーダーの給湯負荷データを用いた 住宅用マイクロコジェネの運転方法・蓄熱容量の検討

学生員 若 園 芳 嗣 (名古屋大学) 正 員 加 藤 丈 佳 (名古屋大学)
正 員 ウ カ イ (名古屋大学) 正 員 横 水 康 伸 (名古屋大学)
正 員 岡 本 達 希 (名古屋大学) 正 員 鈴 置 保 雄 (名古屋大学)

A Study on Operational Pattern and Heat-storage Capacity of Micro Co-generation System for House Use Based on Minute-order Hot Water Load

Yoshitsugu Wakazono, Student Member, Takeyoshi Kato, Member, Kai Wu, Member, Yasunobu Yokomizu, Member, Tatsuki Okamoto, Member, Yasuo Suzuoki, Member (Nagoya University)

In recent years, introduction of micro co-generation system (μ CGS) is expected to be a promising measure for improving energy efficiency in house. This paper discusses an operation pattern and heat-storage capacity of μ CGS introduced in house use by using hot water load pattern expressed in minute. The simulation results reveal that (i) the introduction of μ CGS drastically contributes to energy saving, (ii) the required heat-storage capacity turned out to be in feasible volume range, (iii) the calculation based on hourly averaged hot water load patterns underestimates the heat-storage capacity, (iv) when reverse power flow is not accepted, value of μ CGS as a hot water supply is diminished because operation of μ CGS is considerably restricted and μ CGS cannot supply sufficient hot water.

キーワード：省エネルギー、マイクロコージェネレーション、蓄熱槽、蓄熱容量、給湯負荷

1. はじめに

近年、数 kW クラスの超小型コージェネレーションシステム (CGS)、いわゆるマイクロコジェネが開発・発売されつつある。特に、固体高分子型燃料電池 (PEFC) やガスエンジン (GE) による戸建住宅向けの数 kW クラスのマイクロコジェネの開発が注目されている⁽¹⁾⁽²⁾。今後の高効率化、低コスト化によってマイクロコジェネが各家庭に広く浸透すれば、民生部門における省エネルギー化を促進できる可能性がある。

従来の数十 kW クラス以上の CGS の場合、複数の需要家に対して電力および熱供給を行うため、CGS からみた負荷は時間的に平均化されると考えられる。これに対し、戸建住宅のように非常に小規模な需要家では、負荷の発生源が限られているため、負荷の発生時間や発生量が変動しやすいと考えられる。特に、給湯負荷は大規模な負荷が離散的に発生する。現在、一般的に用いられているガス給湯器やボイラの場合には、このような急激な給湯負荷の変動に対して比較的良好に対応できる。しかし、ガスエンジン等を原動機とするマイクロコジェネの場合、機器の特性から、このような急激に発生する給湯負荷に応じた熱供給は困難であり、蓄熱槽の設置が必要である。ただし、住宅の場合、

機器の設置スペースが限定されているため、システム全体の容積がマイクロコジェネ導入に大きく影響すると考えられる。このため、システムを設計する場合には、負荷の分オーダーでの発生パターンを十分考慮し、適切なマイクロコジェネ設備容量や蓄熱容量を決定する必要がある。そこで、本論文では、戸建住宅を対象に、分単位で記述された給湯負荷データを用いて、マイクロコジェネを導入する場合の運転方法・蓄熱容量に関する検討を試みた。

2. 評価モデル

〈2・1〉 システムの構成

マイクロコジェネ導入評価モデルとして、延床面積 133m² の戸建住宅を想定した。評価モデル内でのエネルギー供給の概念図を図 1 に示す。マイクロコジェネのシステムを構築する場合、ガス給湯器等の補助熱源を併せて設置することも考えられる。しかし、設備の二重投資となり、従来のガス給湯器と比較して、普及に不利となる。また、マイクロコジェネに補助熱源を併設することは、設置スペースが限られる住宅においては好ましくない。そこで、本モデルでは、マイクロコジェネを従来の給湯器の代替と位置づけ、補助熱源は設置されないものとした。したがって、給湯負荷はマイクロコジェネからの回収熱のみで賄われる。ただ

し、蓄熱槽の導入を想定し、マイクロコジェネが運転されていない時間帯にも温水の供給ができるものとした。冷房負荷および暖房負荷は電力負荷として取り扱い、マイクロコジェネからの供給電力と系統からの買電力とによって賄われると想定した。なお、厨房で消費されるエネルギー⁽³⁾は、全て都市ガスで供給されると想定し、マイクロコジェネからの直接的なエネルギー供給は行われないものとした。

マイクロコジェネとしては、現在の機器開発状況を考慮して、ガスエンジン型(発電効率 22.5 %、熱回収効率 45 %)、燃料電池型(発電効率 35 %、熱回収効率 40 %)の2種類を想定した⁽¹⁾⁽²⁾。省エネルギー性や機器の部分負荷特性から、ガスエンジンの最低出力を定格出力の 40 %、燃料電池の最低出力を定格出力の 33 %と設定した⁽²⁾。また、蓄熱槽では、マイクロコジェネからの回収熱が 80℃の温水として蓄熱されると想定し、名古屋市内における月別の市水温度⁽⁴⁾を考慮して蓄熱量を算定した。さらに、マイクロコ

図1 評価モデル
Fig. 1. Simulation model.

(a) 6時～10時

(b) 19時～23時

図2 1日の給湯負荷の時間変化(冬期)
Fig. 2. Hot water load pattern.

コジェネからの余剰電力については、系統へ逆潮流できる場合とできない場合を想定した。

省エネルギー性の比較ケースとして、冷房負荷、暖房負荷および照明動力負荷を系統からの買電力(発電効率: 40 %、所内率: 4 %、送電ロス: 5 %)、給湯負荷をガス給湯器(効率: 80 %)で賄う場合を想定した。比較ケースにおける年間一次エネルギー消費量は 30.2Gcal であった。

(2.2) 給湯負荷および電力負荷

戸建住宅での給湯負荷として、集合住宅を対象とした場合に用いられる時間オーダーの給湯負荷データを用いると、離散的な負荷の時間変化が蓄熱容量の算定に及ぼす影響を考慮できない。そこで、本論文では、給湯負荷として、分単位の時間変化を想定した⁽⁵⁾。文献(5)で区分されている5つの季節帯(冬期、中間期 A、中間期 B、中間期 C、夏期)のうち、冬期の1日の給湯負荷の時間変化を図2に示す。給湯の主な用途は、台所での食器洗い、洗濯、浴槽へのお湯張り、入浴時のシャワー・差し湯である。図2(b)に示すように、特に、19時～22時に発生している浴室でのお湯張りやシャワーにおいて、最も時間当たりの給湯量が大きい。

冷暖房負荷および照明動力負荷については、24時間帯×12ヶ月の時間変化を想定した。1ヶ月当たりの給湯負荷、冷房負荷、暖房負荷および照明動力負荷を図3に示す⁽³⁾⁻⁽⁶⁾。給湯負荷および冷暖房負荷は、季節帯によって大きく変化する。一方、照明動力負荷は、季節帯によらずほぼ一定である。なお、冷暖房負荷は、電力によって賄われるものとし、冷房負荷を電力で賄う場合の COP を 3.0、暖房負荷を電力で賄う場合の COP を 3.5 として電力負荷に換算した。

(2.3) 目的関数および評価方法

モデル内のエネルギー需給を混合整数計画問題として定式化した。モデルでは、月毎に1日のエネルギー需給を定

(a) 電力負荷

(b) 熱負荷

図3 1ヶ月当たりの熱負荷・電力負荷
Fig. 3. Monthly heat and electricity load.

式化し、最適化評価を行っている。定式化に用いた変数、定数、制約条件および目的関数、評価項目を以下に示す。なお、時刻を表す引数として $h(0 \sim 23)$ および $m(0 \sim 59)$ を用いた。

変数

- $s(h, m)$: h 時 m 分における蓄熱量 [kcal]
 $\delta(h)$: h 時におけるマイクロコジェネ運転状態を示す 0-1 変数 (0: 停止, 1: 運転)
 E : 1 日あたりの一次エネルギー消費量 [kcal]
 $q_{cgs}(h)$: h 時における 1 分当たりのマイクロコジェネ供給熱量 [kcal]
 $e_{cgs}(h)$: h 時における 1 時間当たりのマイクロコジェネ発電電力量 [kWh]
 $f(h)$: h 時における 1 時間当たりのマイクロコジェネ投入エネルギー量を定格運転時の投入エネルギー量で規格化した値

定数

- $q(h, m)$: h 時 m 分における給湯負荷 [kcal]
 $e(h)$: h 時における電力負荷 [kWh]
 K_{cgs} : マイクロコジェネ設備容量 [kW]
 α : マイクロコジェネの定格時発電効率 [%]
 β : マイクロコジェネの定格時熱回収効率 [%]
 γ : 1 分当たりの蓄熱効率 [%] (87 %/day に相当)
 η : 系統総合効率 (= $0.4 \times (1 - 0.04) \times (1 - 0.05)$)

目的関数

モデル内では、1 日の一次エネルギー消費量 E を目的関数とし、それが最小化されるようなマイクロコジェネ運転パターンを算定した。ただし、ガスエンジンの起動時には、金属の急激な熱膨張による機器の損傷を防ぐための暖管運転が必要であり、燃料電池の起動時には、改質器を加熱する必要がある。このため、マイクロコジェネは、ガス給湯器のように起動してすぐに給湯できないため、マイクロコジェネを短時間で起動・停止することは現実的ではない。また、1 分間あたりの給湯負荷はマイクロコジェネからの 1 分間あたりの熱供給量よりも大きく、マイクロコジェネの排熱は一旦蓄熱槽に蓄えられてから供給されることになる。このため、マイクロコジェネの運転時間を分オーダーで調整可能であると想定しても、システムの最適設計に及ぼす影響は小さい。そこで、本論文ではマイクロコジェネは、電力負荷の時間変化を考慮して、1 時間単位で起動・停止や出力調整が行われると想定した。

$$E = \frac{100}{\alpha} \times K_{cgs} \times \left(\sum_h f(h) \right) \times 860 + \frac{\sum_h (e(h) - e_{cgs}(h))}{\eta} \times 860 \rightarrow \min \dots (1)$$

制約条件

・蓄熱量に関する制約

h 時 m 分の給湯負荷 $q(h, m)$ は、蓄熱槽に蓄えられた熱と h 時 m 分のマイクロコジェネからの供給熱 $q_{cgs}(h) \times \delta(h)$ とによって賄われ、余った熱量が蓄熱槽に蓄熱される。

$$s(h, m) = q_{cgs}(h) \times \delta(h) + \frac{\gamma}{100} \times s(h, m - 1) - q(h, m) \dots (2)$$

1 日の最後の給湯負荷を賄った時点で蓄熱槽に残った熱量は、廃棄されず翌日の給湯負荷に利用される。実際の運用でも、マイクロコジェネの運用を開始する時点で前日の残りの熱量が蓄熱槽に存在する場合には、マイクロコジェネの運転開始時刻を変更することにより対応できる。また、モデルでは、蓄熱槽ができるだけ小さくなるように、1 日の最低蓄熱量を 0 に設定した。

・マイクロコジェネ出力制約

○ガスエンジン型

$$0.40 \times K_{cgs} \times \delta(h) \leq e_{cgs}(h) \leq K_{cgs} \times \delta(h) \quad (3)$$

○燃料電池型

$$0.33 \times K_{cgs} \times \delta(h) \leq e_{cgs}(h) \leq K_{cgs} \times \delta(h) \quad (4)$$

・マイクロコジェネ部分負荷特性 ($\delta(h)=1$ の場合)

○ガスエンジン型

$$q_{cgs}(h) = \frac{1}{60} \times \frac{\beta}{\alpha} \times 860 \times K_{cgs} \times (1.063 \times f(h) - 0.063) \dots (5)$$

$$e_{cgs}(h) = K_{cgs} \times (1.528 \times f(h) - 0.528) \quad (6)$$

○燃料電池型

$$q_{cgs}(h) = \frac{1}{60} \times \frac{\beta}{\alpha} \times 860 \times K_{cgs} \times f(h) \quad (7)$$

$$e_{cgs}(h) = K_{cgs} \times (1.063 \times f(h) - 0.063) \quad (8)$$

評価項目

・蓄熱容量

各月の h 時 m 分の蓄熱量 $s(h, m)$ と市水温度から、 h 時 m 分に蓄熱される温水量を月別に算定し、一年間での最大値を蓄熱容量とした。

・一次エネルギー削減率

$$\text{一次エネルギー削減率} [\%] = 100 \times \left(1 - \frac{\text{コジェネ導入後の年間一次エネルギー消費量}}{\text{コジェネ導入前の年間一次エネルギー消費量}} \right)$$

マイクロコジェネ導入後の年間一次エネルギー消費量は、最適化計算で得られた各月の 1 日あたりの一次エネルギー消費量に各月の日数を乗じて 1 年間で合計した値である。

・設備利用率

$$\text{設備利用率} [\%] = 100 \times \frac{\text{年間発電電力量}}{K_{cgs} \times 24 \times 365} \quad (9)$$

3. 逆潮流が可能な場合の最小蓄熱容量

(3-1) マイクロコジェネの導入評価

設備容量: 2.0kW の場合の 12 月におけるマイクロコジェネ出力および蓄熱量の時間変化をそれぞれ図 4 および図 5 に示す。図 4 から、ガスエンジン型、燃料電池型いずれの場合も、マイクロコジェネは給湯負荷の発生する朝や夕方から夜間の時間帯に集中的に運転されている。また、機器の熱電比から、ガスエンジンよりも燃料電池の方が熱供給能力が小さい。このため、1 日の給湯負荷を賄うために必要な稼働時間は、燃料電池の方が長くなる。

また、マイクロコジェネの 1 分当たりの熱供給量は、実際の給湯負荷の 1 分間あたりの熱量よりもはるかに小さい。そのため、マイクロコジェネは給湯負荷の時間変化に追従できず、マイクロコジェネのみで全ての熱負荷を賄うためには、あらかじめ必要な熱量を蓄熱槽に蓄えておく必要がある。特に、図 2(b) に示したように、19 時~22 時の時間帯は、住宅内では入浴が行われるため、浴槽へのお湯張り、シャワーなどの給湯負荷が集中的に発生する。その結果、図 5 のように、蓄熱量は給湯負荷の中で最も大規模な浴槽へのお湯張りが行われる 20 時前に最大となり、その直後に急激に減少している。さらに、燃料電池型の方がガスエンジン型よりも 1 分当たりの熱供給量が小さいため、最大蓄熱量は、燃料電池型の方が大きくなる。したがって、戸建住宅では、浴室での給湯負荷や機器の熱電比が蓄熱容量に大きく影響するといえる。

マイクロコジェネの設備容量が 1.0~3.0kW の各場合において必要な蓄熱容量を図 6、年間設備利用率を図 7 に示

図 4 12 月のマイクロコジェネ運転パターン
Fig. 4. Operational pattern of μ CGS in December.

す。設備容量が小さい場合には、マイクロコジェネの時間当たりの熱供給量が少なく、マイクロコジェネを長時間運転し、必要な熱量を前もって蓄熱させておく必要がある。そのため、マイクロコジェネの設備容量が大きくなるにつれて、蓄熱容量は小さくなり、設備容量が 3.0kW の場合の蓄熱容量は、ガスエンジン型で 97 リットル、燃料電池型で 148 リットルである。熱電比の関係から、ガスエンジン型の方が燃料電池型よりも蓄熱容量が小さくなっているが、設備利用率は低くなる。ただし、図 7 に示すように、マイクロコジェネの設備容量が 3.0kW になると、年間の設備利用率は、ガスエンジン型で 10 %、燃料電池型で 20 %にまで低下する。なお、現在実用化されている深夜電力を利用した戸建住宅向けの電気温水器の容量は約 400 リットルである。このため、実現可能な蓄熱容量の範囲内で、戸建住宅にマイクロコジェネを導入できるといえる。なお、燃料電池の設備容量が 1.0kW の場合、マイクロコジェネの熱供給能力が小さいため、給湯負荷が多い 1~3 月および 12 月にはマイクロコジェネ単独で 1 日の熱負荷が賄えないため、解は存在しなかった。

マイクロコジェネの各設備容量における一次エネルギー削減率を図 8 に示す。同図のように、ガスエンジン型、燃料電池型のいずれの場合も、マイクロコジェネの導入によって一次エネルギー消費量は 3~21 %削減される。ガスエンジン型と燃料電池型とを比較した場合、総合効率が低い燃料電池型の方がガスエンジン型よりも高い省エネルギー性を実現できる。なお、今後新技術の導入により、系統電力の発電効率が向上することが予想される。例えば、系統の発電効率が 50 %となると、一次エネルギー削減率は図 8 よ

図 5 12 月の蓄熱量の時間変化
Fig. 5. Daily heat storage pattern in December.

図6 マイクロコジェネの設備容量に対する蓄熱容量の推移

Fig. 6. Heat-storage capacity as a function of capacity of μ CGS.

図7 マイクロコジェネの設備容量に対する設備利用率の推移

Fig. 7. Capacity factor of μ -CGS as a function of capacity of μ CGS.

図8 マイクロコジェネの設備容量に対する一次エネルギー削減率の推移

Fig. 8. Reduction rate of primary energy consumption as a function of capacity of μ CGS.

りも約5~7ポイント低下することを別途確認している。ただし、系統内の発電機の数が多いので、高効率発電機への置き換えが進み、系統全体の発電効率が50%にまで向上するには、まだ多くの時間がかかる。したがって、本論文では系統の発電効率を40%として検討した。

(3・2) 給湯負荷を1時間の平均値とした場合の検討

本節では、戸建住宅へのマイクロコジェネ導入評価に対して、集合住宅を対象とした場合に使用されているような1時間オーダーで記述された給湯負荷パターンを利用した場合について検討する。そこで、給湯負荷として、分オーダーの給湯負荷データを1時間当たりで平均化した数値を使用し、前節と同様の計算機モデルによってマイクロコジェネの最適形態を検討した。

設備容量を変化させた場合の蓄熱容量の推移を図9に示す。同図からわかるように、設備容量が大きくなるにした

図9 マイクロコジェネの設備容量に対する蓄熱容量の推移 (給湯負荷として1時間の平均値を用いた場合)

Fig. 9. Heat-storage capacity as a function of capacity of μ CGS evaluated by using hourly averaged hot water load pattern.

がい、必要な蓄熱容量は前節の検討の場合(図6)よりも小さくなっている。設備容量が3.0kWの場合、1時間当たりで平均化された給湯負荷データを用いた場合に算定された蓄熱容量は、分オーダーの給湯負荷データを用いた場合と比較して、ガスエンジン型で53%、燃料電池型で15%小さい。この理由について図10に示す1時間当たりで平均化された給湯負荷データもしくは分オーダーの給湯負荷データを用いた場合の給湯負荷とマイクロコジェネ供給熱量との関係を表す概念図を用いて説明する。本システムではマイクロコジェネからの回収熱のみで給湯負荷を賄っている。このため、同図(b)のように給湯負荷の累積値よりもマイクロコジェネの供給熱量の累積値のほうが常に大きくなければならない。また、本論文では省エネルギー性を目的としているため、蓄熱槽での熱損失を小さくする必要がある。このため、同図(b)のように給湯負荷の累積値とマイクロコジェネの供給熱量の累積値とができるだけ近くなるようにマイクロコジェネの運転パターンが決定される。

図10からわかるように、1時間当たりで平均化された給湯負荷データを用いた場合には、各々の給湯負荷の時間変化が平均化されるため、マイクロコジェネからの供給熱量の累積値と給湯負荷の累積値との差が小さい。一方、分オーダーの給湯負荷データを用いた場合には、個々の給湯負荷の時間変化がマイクロコジェネの運転パターンの決定に直接的に影響する。このため、図10に示すように、マイクロコジェネからの供給熱量の累積値と比較して、給湯負荷の累積値の時間変化は大きくなる。この結果、1時間当たりで平均化された給湯負荷データを用いた場合のほうが分オーダーの給湯負荷データを用いた場合よりも最大蓄熱量が小さくなり、蓄熱容量も小さくなる。

なお、給湯負荷として1時間の平均値を使用した場合でも、一次エネルギー削減量は図8に示した結果とほぼ同様の結果となった。これは、本モデルの場合、補助熱源の導入を想定していないため、1日の給湯負荷の合計熱量でマイクロコジェネの運転時間が決定されてしまうためである。

このように、マイクロコジェネの導入を検討する場合、多

(a)給湯負荷の時間変化

(b)給湯負荷の累積値の時間変化

図10 給湯負荷とマイクロコジェネ供給熱量との相関

Fig.10. Relationship between hot water load pattern and hot water supply by μ CGS.

数の負荷発生源を有する集合住宅の給湯負荷パターンを比例換算し、負荷発生源が限定されている戸建住宅のモデル化に用いた場合には、蓄熱容量を過小評価することになる。

〈3・3〉 マイクロコジェネ導入の経済性

マイクロコジェネ導入の経済性を評価するため、マイクロコジェネ導入に関する年間総コストを算定する。本論文では、年間総コストを以下のように算定した。

年間総コスト =

$$(\text{年間の設備費}) + (\text{年間の電力・ガス料金}) - (\text{年間の売電額}) \dots\dots\dots (10)$$

設備費は、マイクロコジェネの導入にともなって必要となる設備 (マイクロコジェネおよび蓄熱槽) の費用を一年当りに換算した値である。本研究では、資本回収係数を0.103(回収年数15年、年利6%)として、一年当たりの設備費を算定した。なお、蓄熱槽を除くマイクロコジェネの設備単価は、現在の開発目標 (50万円/kW) を考慮して、20万円/kW~60万円/kWで変化させた。また、蓄熱槽の価格は、現在の価格状況を考慮して1リットルあたり600円とした。

年間の電力・ガス料金は、平成13年2月現在の東京電力の従量電灯B料金および東京ガスの住宅向け適用料金 (東

図11 蓄熱容量に対する年間の設備費の推移

Fig.11. Annual installation cost of μ CGS as a function of heat-storage capacity.

京地区等)に基づいて算定した。また、売電による収入の算定にあたっては、売電を行う時間帯に関わらずkWh当たりの売電価格を一定と想定し、年間の売電電力量にkWh当たりの売電価格を乗じて、年間の売電額を算定した。

比較ケースでは、ガス給湯器 (1台あたり30万円) の設備費、および各月の電力・ガス消費量を考慮して、総コストを算定した。

蓄熱容量の規模の変化が年間の設備コストに及ぼす影響を評価した。その結果を図11に示す。マイクロコジェネの設備コストと比較して、蓄熱槽の設備コストの変化は小さい。さらに、蓄熱容量の大きさが小さくなるにつれて、マイクロコジェネの設備容量が大きくなり、設備費コストに占める蓄熱槽のコストの割合が小さくなる。したがって、マイクロコジェネの設備費よりも蓄熱槽の設備費の方が安価であるために、マイクロコジェネの設備容量が小さいほど蓄熱容量が大きくなるものの、年間設備費は小さくなり、経済的に有利となる。ただし、蓄熱槽の規模が大きくなるので、実際に導入する場合には、設置スペースについても考慮する必要がある。

年間の電力・ガス料金を図12に示す。系統への売電単価は、現在の各電力会社の余剰電力の買い取り単価および一般住宅における電力量料金を考慮して、5円/kWhもしくは15円/kWhの2通りとした。マイクロコジェネによる電力供給のため、同図に示すように比較ケースよりも買電

図 12 年間の電力料金・ガス料金および売電額

Fig. 12. Annual electric and gas charge and annual sales of electricity.

量は減少し、購入ガス量は増加する。ガスエンジン型よりも燃料電池型の方が機器の総合効率が高いため、燃料電池型の電力・ガス料金の削減額はガスエンジン型よりも大きくなる。また、ガスエンジン型、燃料電池型のいずれの場合も、給湯負荷の規模でマイクロコジェネの運転時間が決定されるため、設備容量に関わらずマイクロコジェネからの発電量は等しい。そのため、設備容量の変化に関わらず、電力・ガス料金はほぼ等しくなる。さらに、燃料電池型の方がガスエンジン型よりも機器の熱電比が小さいため、設備利用率が高く、逆潮流する電力量は多い。そのため、燃料電池型の方がガスエンジン型よりも売電収入額が多くなる。また、売電単価が高いほど収入が多くなるため、売電単価が 5 円/kWh の場合よりも 15 円/kWh の場合の方が総コストは小さくなる。

設備費と電力料金・ガス料金および売電額とを含めた年間の総コストを図 13 に示す。図 11 および図 12 に示したように、設備費は設備容量の増加とともに大きくなるものの、電力・ガス料金はほとんど変化しない。このため、設備容量の増加とともに年間の総コストは大きくなる。また、ガスエンジン型と比較して、燃料電池型の方が電力・ガス料金の削減額が大きく、売電収入も多い。したがって、ガスエンジン型と燃料電池型の双方の kW あたりの設備コストが等しい場合には、総合効率の高い燃料電池の方が経済的なメリットが大きいといえる。今後、マイクロコジェネの設備コストが安価になり、かつ売電単価が一般住宅の電力量料金と同水準であるならば、比較システムよりも年間総コストが小さくなり、省エネルギー性に加え経済性も有利なシステムとなる。

4. 逆潮流が不可能な場合のマイクロコジェネ導入可能性

逆潮流が不可能な場合、電力負荷によってマイクロコジェネの出力が制限される。しかも、電力負荷がマイクロコジェネの最低出力より小さい場合には、マイクロコジェネを運

図 13 年間の総コスト

Fig. 13. Annual cost in order to operate μ CGS in house.

転することができない。そのため、マイクロコジェネからの熱供給可能量は、マイクロコジェネの設備容量だけでなく、電力負荷の規模によっても変化する。特に、冷房・暖房負荷が存在せず、電力負荷が小さくなる中間期において、供給可能熱量が小さくなり、マイクロコジェネ単独では全ての給湯負荷を賄えない可能性がある。

そこで、マイクロコジェネからの 1 日の最大供給可能熱量を評価した。一例として、マイクロコジェネの設備容量を 0.5~3.0kW で変化させた場合について、5 月の 1 日の最大供給可能熱量の推移を図 14 に示す。なお、図の縦軸は、1 日の給湯負荷の合計値で規格化して表している。同図 (a)、(b) のように、逆潮流が可能である場合、電力負荷によってマイクロコジェネの運転が制限されないため、マイクロコジェネの熱供給可能熱量は、設備容量に比例して増加する。同図 (b) に示すように、熱供給能力の小さい燃料電池型であっても、設備容量が 1.0kW 以上であれば、マイクロコジェネからの供給可能熱量は、1 日の給湯負荷の合計値よりも大きくなる。一方、逆潮流が不可能な場合、電力負荷によってマイクロコジェネの運転可能な時間帯が制限されるため、マイクロコジェネからの 1 日の供給可能熱量は、1 日の給湯負荷の合計値よりも小さくなる。この場合、

(a) ガスエンジン型

(b) 燃料電池型

図 14 5月におけるマイクロコジェネからの最大供給可能熱量

Fig.14. Maximum value of heat supply from μ CGS in May.

マイクロコジェネ単独では給湯負荷を賄うことができないため、ガス給湯器等の補助熱源が必要となり、マイクロコジェネを「給湯機器の代替」として位置づけられなくなる。

次に、ガスエンジン型、燃料電池型それぞれの場合について、設備容量を0.2kWから1.0kWまで変化させ、逆潮流が不可能な場合にマイクロコジェネのみで熱負荷を賄うために必要な機器の熱電比の最小値を算出した。結果を図15に示す。比較のため、本論文で想定した熱電比も図中に示した。逆潮流が不可能な場合、マイクロコジェネのみで熱負荷を賄うためには、現在、一般にマイクロコジェネで想定されている熱電比よりも大きな熱電比の機器が必要となる。また、設備容量の変化と熱電比の最小値との相関をみると、設備容量が0.2kWから0.6kWの範囲では、設備容量が大きくなるにつれ、マイクロコジェネの時間当たりの熱回収量が大きくなるため、必要な熱電比が小さくなる。一方、設備容量が0.6kWよりも大きくなると、電力に関する最低出力制約により、マイクロコジェネを運転で

(a) ガスエンジン型

(b) 燃料電池型

図 15 マイクロコジェネの熱電比の最小値

Fig.15. Minimum value of heat-to-electricity ratio of μ CGS.

きない時間帯が多くなるため、必要な熱電比が大きくなる。なお、発電された電力でお湯を沸かし、給湯を行うことにより、等価的に図15に示したような熱電比をもつシステムを実現することが可能である。今後、このようなシステムについても評価を行う必要がある。

5. まとめ

本論文では、戸建住宅を対象として、分単位の給湯負荷データを用いて、蓄熱容量および省エネルギー性について評価した。本論文で得られた知見を以下にまとめる。

- 逆潮流が可能な場合、マイクロコジェネの導入によって一次エネルギー消費量を削減できる。また、マイクロコジェネの設備容量が3.0kWの場合、蓄熱容量は、ガスエンジン型の場合97リットル、燃料電池型の場合148リットルであり、実現可能な範囲内で、戸建住宅にマイクロコジェネを導入できることを確認した。
- 給湯負荷データとして1時間値を用いた場合、給湯負荷の急激な時間変化を考慮することができないため、必要な蓄熱容量を過小評価する可能性がある。設備容量が3.0kWの場合、1時間当たりで平均化された給湯負荷データを用いた場合に算定された蓄熱容量は、分オーダーの給湯負荷データを用いた場合と比較して、ガスエンジン型で53%、燃料電池型で15%小さい。
- 経済性の評価では、蓄熱容量の大きさが小さくなるにつれて、設備費コストに占める蓄熱槽のコストの割合が小さくなり、蓄熱槽の設備容量によるコストの違い

が年間の設備コストに及ぼす影響は小さくなる。また、燃料電池型の方がガスエンジン型よりも逆潮流する電力量は多いため、売電収入額が多くなり、総コストが小さくなる。

- 逆潮流が不可能な場合、電力負荷によってマイクロコジェネの運転可能な時間帯が制限され、必要な給湯負荷を賄えない可能性がある。このため、マイクロコジェネのみで熱負荷を賄うためには、現在、一般にマイクロコジェネで想定されている熱電比よりも大きな熱電比の機器が必要となる。

実際の戸建住宅の給湯負荷パターンは、本論文で想定したように、必ずしも時間的にも量的にも確定的ではなく、発生時刻や使用量は毎日変動すると考えられる。そこで、今後は、負荷の時間的、量的な変動を考慮した場合のシステムの設備規模や最適運用形態を検討する方針である。また、マイクロコジェネと補助熱源を組み合わせて導入した場合の導入形態や設備規模や、逆潮流が可能なマイクロコジェネが大規模に導入された場合にエネルギーシステム全体に及ぼす影響についても評価する方針である。

(平成 12 年 9 月 27 日受付, 平成 13 年 4 月 2 日再受付)

文 献

- (1) 「平成 9 年度家庭設置型小規模分散型エネルギーシステムに関する調査報告書」、(財)産業創造研究所、(1998)
- (2) 「平成 10 年度新エネルギー等導入促進調査 民生用小型分散型エネルギーシステムに関する研究成果報告書」、(社)日本電機工業会、(1999)
- (3) (財)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター、「EMDC/エネルギー・経済統計要覧(2000 年版)」、(財)省エネルギーセンター、p.73 (2000)
- (4) 中部電力株式会社電気利用技術研究所、「近未来住宅に関する調査研究」、p.60 (1993)
- (5) 「平成元年度 省エネルギー形ガス燃焼機器の燃焼性能の標準化に関する研究調査報告書」、(財)日本ガス機器検査協会、pp.8-11 (1991)
- (6) 尾島俊雄研究室、「建築の光熱水原単位[東京版]」、早稲田大学出版部、pp.153-158 (1995)

若 園 芳 嗣 (学生員) 1973 年 11 月 9 日生。98 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程修了。現在、名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程在学中。エネルギーシステムに関する研究に従事。

加 藤 丈 佳 (正員) 1968 年 5 月 7 日生。96 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程修了。同年 4 月名古屋大学理工学総合研究センター助手、現在に至る。工学博士。超電導電力システム、エネルギーシステムに関する研究に従事。エネルギー・資源学会会員。

ウ カ イ

横 水 康 伸

岡 本 達 希

鈴 置 保 雄

(正員) 1969 年 2 月 2 日生。98 年 4 月中国西安交通大学博士後期課程卒業。92 年 7 月～98 年 11 月中国西安交通大学電力設備電気絶縁国家重点実験室助手。98 年 11 月～2000 年 3 月名古屋大学理工学総合研究センター非常勤研究員。2000 年 4 月名古屋大学理工学総合研究センター助手、現在に至る。工学博士。電気絶縁材料、エネルギーシステムに関する研究に従事。

(正員) 1962 年 10 月 13 日生。90 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程満了。同年 4 月名古屋大学工学部助手、97 年 10 月同講師、00 年 2 月同助教授、名古屋大学理工学総合研究センター助教授併任、現在に至る。工学博士。高温および極低温環境下における大電流現象、環境調和型エネルギーシステムに関する研究に従事。IEEE、エネルギー・資源学会会員。

(正員) 1951 年 9 月 21 日生。76 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程前期課程修了。同年 4 月(財)電力中央研究所入所。98 年 4 月名古屋大学理工学総合研究センター客員教授、現在に至る。工学博士。主として、電気絶縁材料、エネルギーシステムに関する研究に従事。IEEE、エネルギー・資源学会会員。

(正員) 1950 年 5 月 26 日生。78 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程修了。同年 4 月名古屋大学工学部助手、87 年同講師、89 年同助教授、95 年 4 月名古屋大学理工学総合研究センター教授、現在に至る。工学博士。主として、電気電子材料、エネルギーシステムに関する研究に従事。IEEE、応用物理学会、高分子学会、エネルギー・資源学会会員。