研究論文

住宅用燃料電池コジェネレーションの導入計画

Operational Planning of Small-scale Fuel Cell Co-generation System for Houses

小原伸哉*·工藤一彦**
Shin'ya Obara Kazuhiko Kudo

(原稿受付日2004年2月3日, 受理日2004年8月4日)

Abstract

The chromosome model showing system operation pattern is applied to GA (genetic algorithm), and the method of optimization operation planning of energy system is developed. The optimization method of this operation planning was applied to the compound system of methanol steam reforming type fuel cell, geo-thermal heat pump and the electrolysis tank of water. The operation planning was performed for the energy system using the energy demand pattern of the individual house of Sapporo city. The representation day in February of the ratio of the operation cost in case of the rainy weather to the time of fine weather is 1.12. And the fuel pipes, electric power line and exhaust heat output line of fuel cell co-generations for individual houses are connected, and cooperation operation is carried out. The energy demand pattern of the individual house in Tokyo was introduced, and the analysis method aiming at minimization of the operation cost by the genetic algorithm was described. Compared with the energy supply method of the conventional system, the amount curtailment of consumption of 9% of town gas estimated at the maximum by the energy supply of the fuel cell network system from the result of analysis.

1. はじめに

小型燃料電池コジェネレーション(以下, CGSと称する) の住宅への導入検討が行われており、住宅や集合住宅に導 入する小型分散型電源の有力候補として,都市ガス改質器 を用いる方式が検討されている^{1), 2)}. 住宅用燃料電池CGS の実用化については、特にそのイニシャルコストの問題が 多く議論されるものの, 研究機関や企業での技術開発によ る, 触媒材料及びイオン交換膜の低コスト化や, 徹底した システムのリサイクルなどが実現された後に、市場性のあ るエネルギー設備に発展することが予想される. さらに, イニシャルコストの問題に見通しがついたなら、次の段階 では, 導入先の需要パターンを考慮した運用計画を行って, これに基づくシステム仕様の最適設計が実施されるものと 考えられる. 例えば北海道のような寒冷地方へのシステム の導入については、住宅用の一般仕様とされる電力出力1 kW程度の燃料電池では熱出力が足りず、ボイラや寒冷地 仕様のヒートポンプといった補助熱源を要することとな る. また、寒冷地住宅へのCGSの導入で考慮すべき点とし ては、運用コストの最小化目的によりシステムの運転パタ ーンの最適化を行うと, 夏期は電主熱従の運転となるが, 冬期は熱需要の多さから熱に関する制御が運用コストに大 きく効くこととなり、熱主電従の運転を示唆する運用計画 になることである. 寒冷地住宅用燃料電池CGSでの熱不足

を補うための手段としては、ボイラや電動のヒートポンプ の利用が考えられるが、1戸の住宅に燃料電池のほかに、 改質器, ヒートポンプやボイラ, さらに蓄熱槽などの機器 を設けることは、費用対効果の点から大変困難である. そ こで筆者らは、複数の戸建て住宅に設置した燃料電池CGS をネットワークで結んで利用することを検討しており、燃 料電池を除く改質器、ヒートポンプ、ボイラ、蓄熱槽など については、ネットワーク上の任意の住宅の機械室に各1 台だけ設置して, 各戸のエネルギー需要に対応させること を想定している.エネルギープラントの分散配置の利点は, 需要者との距離をできるだけ短くして, エネルギーの輸送 ロスを最小にとどめることにある. したがって本稿で述べ る燃料電池CGSネットワークシステムの運用計画では、上 で述べた改質器などのエネルギー機器を設置する機械室 と, エネルギーを消費する住宅との距離に比例したエネル ギーロスを考慮した解析を実施する.

本稿では、住宅用燃料電池コジェネレーションの導入計画の例として、寒冷地住宅を対象としたエネルギー自立住宅の運用計画と、東京都の戸建て住宅を対象とした燃料電池CGSネットワークシステムの運用計画について述べる.

2. 燃料電池CGSによるエネルギー自立住宅

2.1 住宅用エネルギー自立システムの概要

住宅のエネルギー需要を自立して賄うような、メタノール水蒸気改質型燃料電池CGSの運用計画について、運用コストの最小化を目的としたときの運転パターンについて調査する. 北海道地方などで普及している灯油タンクなどにメタノールを充填して用いることで、都市ガス配管が未整

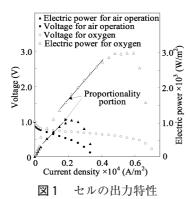
^{**}苫小牧工業高等専門学校機械工学科助教授

E-mail: shinya@me.tomakomai-ct.ac.jp

^{〒059-1275} 北海道苫小牧市錦岡443

^{***}北海道大学大学院工学研究科機械科学専攻教授

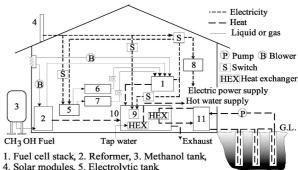
^{〒060-8628} 札幌市北区北13条西8



備である地方の都市部や僻地の住宅でも、インフラ整備を 要さない分散型電源を実現することが可能となる.図1は、 A社で開発中の燃料電池セルの性能測定の結果である. 住 宅や集合住宅での電力需要の特徴として、その変動幅が大 きく、しかも予測が困難であることが挙げられる. このよ うな負荷パターンにシステムを追従するように運転制御を 行うと、部分負荷運転が頻繁に生じることとなる. 燃料電 池のアノード及びカソードのそれぞれに水素と酸素を加圧 して供給する場合には、水素と空気を供給する場合に比べ て触媒反応が効率良く進む. したがって空気供給による発 電では、図1中に示すように、酸素を供給して発電する場 合に比べて相対的に電圧は低下し、電力出力についても低 下する. この結果、図中に示すように、負荷と電力出力の 関係が比例する部分 (図中の直線で示す部分) は、カソー ドに酸素もしくは大気を供給する場合で異なる.一方、部 分負荷運転の多発による効率低下を防ぐ対策としては, 運 転動作点が部分負荷とならないように負荷を増すか、電力 貯蔵装置によるエネルギー供給の時間シフトが有効であ り、本稿によるシステムでは電力貯蔵の手段として、水電 気分解槽と水素及び酸素貯蔵用ボンベを導入する.

2.2 住宅用エネルギー自立システムの概要

図2に、本稿で取り上げる住宅用エネルギー自立システムの系統図を示す。メタノールタンク(3:番号は図2での表記に対応)に充填したメタノール燃料を改質器(2)に供給するが、このときの改質器の熱源はメタノールの触媒燃焼で得ることとする。固体高分子膜型燃料電池(1)での発電は、改質器で生成した水素リッチな改質ガスをアノードに送り、カソードにはブロワで空気を導入して行う。図3には、図2のシステムによるエネルギーの供給経路を示す。燃料電池で発電した電力は、①DC/ACコンバータ(8)を介して需要側に供給する、②電気分解槽(5)に供給して水素・酸素ガスを生成して、これらを水素タンク(6)と酸素タンク(7)に貯蔵する、③蓄熱槽(10)内に設置したヒータ(9)に供給して熱に変換する、ことを選択できるものとする。また、水素及び酸素タンクに貯蔵したガスは、任意な時間に燃料電池へ供給して発電することが可能であり、ヒート



4. Solar modules, 5. Electrolytic tank, 6. Hydrogen tank, 7. Oxygen tank, 8. DC/AC converter, 9. Heater, 10. Thermal storage tank, 11. Geo-thermal heat pump

図2 メタノール水蒸気改質型燃料電池による エネルギー自立住宅

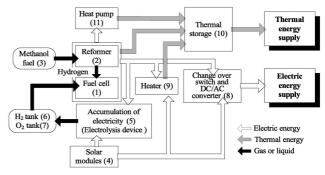


図3 エネルギーフロー

ポンプの運転に要する電力については、相当量を燃料電池 で発電して供給することとする.

ソーラーモジュール (4) で発電した電力についても、上で述べた①~③の供給方法の選択が可能であるものとする。ただし需要側への電力供給については、①メタノール燃料を改質器に送って改質ガスを得て、これを燃料電池に供給して得る電力、②ソーラーモジュールで得る電力、③タンク内の水素・酸素ガスを燃料電池に送って得る電力、のいずれか1つの系統で供給することとし、複数系統による電力供給は行わない。

蓄熱槽に蓄熱する熱は、①燃料電池と改質装置の排熱、 ②燃料電池およびソーラーモジュールで発電した電力を熱 に変換したもの、③土壌熱源ヒートポンプ (11) で生成し た熱、の3系統である。ただし、蓄熱の総量が蓄熱容量を 超えるときには、相当分を大気に放出することとし、蓄熱 槽からの出熱は、市水を蓄熱槽内部の熱媒体と熱交換して 温水とし、これを需要側に供給して行う。

2.3 機器特性と関係式

(1) 燃料電池モデル

図4と図5は、図1と同じ燃料電池セル(電極の有効面積は約1 m²)を用いて、それぞれカソードに空気及び酸素を供給したときの、負荷率と発電端効率の関係と、水素供給量と電力及び熱出力の関係を整理したものである。また、図6は図1の燃料電池セルで水電解運転を行ったときの、電力消費量と生成する水素量の関係を示したものであ

Vol. 26 No. 1 (2005) 67

る. ただし、燃料電池の水電解運転については本章では扱わず、次章のシステムで導入する.

(2) 改質器モデル

図7にB社で開発中の都市ガス改質器の出力特性を示す。 図7の上の図は負荷率と改質率の関係を示したもので、負荷率がおよそ25%以下では部分負荷となり効率は定格時よりも低くなるが、これを超えると安定した定格出力に達する。図7の下の図は、都市ガス(本稿ではメタンガスを想定)の消費量と水素生成量の関係を示したものである。

(3) 水素及び酸素の貯蔵

水電解で生成した水素及び酸素を,ボンベに加圧して貯蔵するための圧縮機の仕事を,理想気体の圧縮仕事と考えて計算する.この際の圧縮機の全体効率を,インバータ制御器及び電動機での電力消費量,動力の伝達損失,空気漏れや冷却不足の損失,その他の機械損失を含むものとして0.5で与える.また,水素及び酸素の各ガスは,それぞれの圧縮機により1.0MPaまで加圧してボンベに貯蔵するものとする.

(4) ソーラーモジュールのモデル

ソーラーモジュールについては、冬季に冠雪がないようにパネルを垂直に設置した、屋根設置型ソーラーモジュールの札幌市での試験結果®を用いる。ただし、ソーラーモジュールでの発電量は天候により容易に変化することから、本稿では晴天時の発電量を100%として、これに対する発電割合を変数として運用計画を行う。

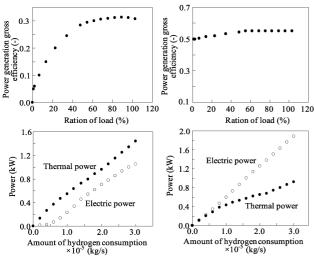
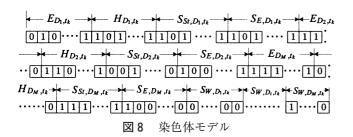


図4 空気・水素燃料電池の特性 図5 酸素・水素燃料電池の特性



(5) 土壌熱源ヒートポンプのモデル

機械室に設けた土壌熱源ヒートポンプの2次エネルギー 基準でのCOPを、本解析では簡単のために一律3.0で与え る. また、次章の東京都の住宅に適用するエアコンの2次 エネルギー基準でのCOPについても3.0で与える.

2.4 染色体モデルと解析パラメータ

本稿による運用計画の解析演算は、非線形で多変数の問 題を扱うことが可能である遺伝的アルゴリズムを導入して 行う.図8は、遺伝的アルゴリズムに導入する染色体モデ ルであり、図中に示すように、染色体モデル中の遺伝子を グループ分けして、サンプリング時刻tk毎にシステムを構 成する機器 (Di, 添え字iは機器番号を表す) ごとの電力 出力量 $E_{Di,\,tk}$, 熱出力量 $H_{Di,\,tk}$, 電力及び熱貯蔵量 $(S_{E,\,Di,\,tk},\,S_{St,\,Di,\,tk})$, そして機器の選択スイッチSw. Di. Aを加えた各情報を, 0, 1で記す遺伝子モデルのグループで表現する.このうちの Sw. Di, tkについては、例えば異なる複数の機器で同時のエネ ルギー供給を行わない場合に、どの機器からエネルギー供 給を行うのかを選択するために用いる. このようにして決 定した染色体モデルは、tkからtk+1での機器の運転動作 を表し、**図9**に示すように、 $k=0,1,2,\Lambda,R$ までの各 サンプリング時刻での染色体モデルを与えると, 運転期間 での全運転パターンが決まる.

本解析では、初期世代の染色体モデル群を3000個発生し、 再生後に操作する染色体数については2500個として、最終 世代を100世代とする、また、遺伝子モデルの多様性の維

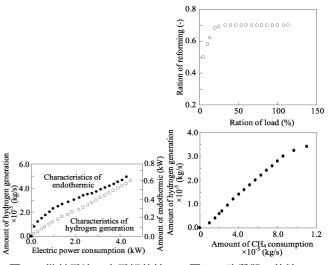


図6 燃料電池の水電解特性

図7 改質器の特性

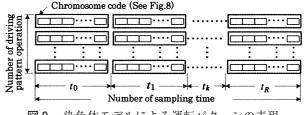


図9 染色体モデルによる運転パターンの表現

持を考慮して、交叉回数を乱数によって決める(1回の交叉で、最大で全染色体数の0.2%を親染色体として抽出する)。突然変異については、最大で1個の染色体中の遺伝子のおよそ4%が操作されるように、その回数を、乱数を使って決めることとした。

2.5 エネルギー需要パターン

図10は、本稿の運用計画に導入するエネルギーの需要パターンで、札幌市の個別住宅での2月と7月の代表日のパターンである⁴. 各月代表日の熱需要量と電力需要量の比は、2月で0.90対0.1であり、7月では0.5対0.5である。

2.6 解析結果

(1) 運用計画の結果

図11は、各月代表日でのエネルギー需要パターン(晴天 時) について運用計画を実施したときの, 時刻毎での機器 出力を整理した図である. ただし、燃料電池の出力につい ては、電力と熱の両方の出力を加算している。図11で、大 きな出力のある時間帯 (7月では0時と1時, 2月では0 ~9時と19及び21時)は、メタノール水蒸気改質により水 素を生成して、これを燃料電池に供給することで発電して いる.一方,上記以外の小さな出力である時間帯は,蓄電 装置に貯めた水の電気分解による水素・酸素を燃料電池に 供給して発電している. 7月の運用計画では、0から1時 にメタノール水蒸気改質を伴う燃料電池の運転を行い, そ の後は蓄電装置に貯めた水素・酸素を利用して燃料電池の 運転を行っている. このように、改質器の稼働率が低い理 由は、昼間のソーラーモジュールの運転による発電が大き く効いているからである. これに対して2月の運転計画で は、熱需要が大きいことからヒートポンプの稼働時間が長 くなり、メタノール水蒸気改質を伴う燃料電池の運転時間 は長くなる.

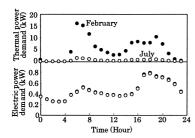


図10 エネルギー需要パターン (札幌市の個別住宅)

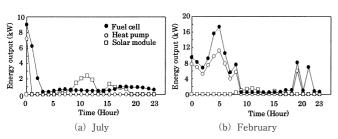


図11 運用計画の結果 (晴天を想定し, ソーラーモジュールの出力は100%)

(2) ソーラーモジュールの出力変動の影響

図12は、ソーラーモジュールの出力割合を 0%(降雪時)、同50%(曇天時)、同100%(晴天時)として、2月代表日の運用計画を実施した際の、蓄熱及び蓄電量の解析結果である。蓄熱量及び蓄電量の最大値は、ソーラーモジュールの出力割合が大きくなるほど増加することから、各機器の設計容量については晴天時の結果から見積もることとする。また、図13は、ソーラーモジュールの出力割合を100%として、各月代表日でのエネルギー需要パターンを用いて計算した、蓄熱量及び蓄電量の運用計画の結果である。この図から、蓄熱量の最大値は308MJ(2月)であり、蓄電量の最大値は23MJ(7月)であることがわかる。以上から、例えば水を熱媒体とする蓄熱槽で、蓄熱媒体と大気との温度差を60℃程度に設定すると、およそ1.2㎡の熱媒体容量を要することとなる。また、水素及び酸素の1気圧での貯蔵容積は、それぞれおよそ2㎡と1㎡3と見積もられる。

(3) 自立エネルギーシステムの運用コスト

図14は、ソーラーモジュールの出力割合を変数として運用計画を行った際の、両月代表日でのシステム運用コストの結果である。出力100%の晴天時でのシステム運用コストに対して、発電が全く行われない降雪時での運用コストの比は、2月代表日では1.71倍となる。したがって夏季での本エネルギーシステムの運転については、天候により運用コストは大きく変動することとなる。

3. 燃料電池CGSネットワークシステム

3.1 ネットワークシステムのねらい

都市ガス改質器を伴う小型燃料電池CGSを住宅に分散配

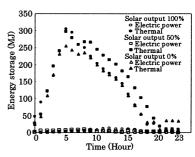


図12 ソーラーモジュールの出力を変数とした 蓄熱・蓄電の運用計画 (2月)

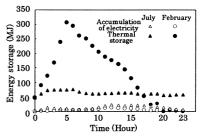
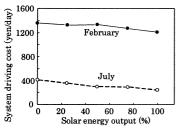
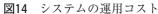


図13 蓄熱・蓄電の運用計画

Vol. 26 No. 1 (2005) 69





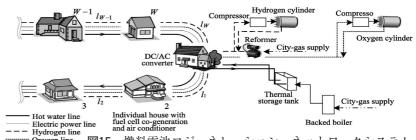


図15 燃料電池コジェネレーション・ネットワークシステム

置する従来のシステムでは,一般に,燃料電池と改質器で はそれぞれの構造や温度制御のレスポンスなどが大きく異 なり、2つを合わせた動的な運用計画は複雑になる50,60. 燃料電池CGSの試験を行った例では、燃料電池の負荷追従 特性に対して改質器での追従性は鈍く、特に改質器をコー ルドスタートするような場合には, 安定した水素の連続生 成を得るまでに、数十分から1時間余りを要するとの報告 がある7. さらに、改質器の運転開始と停止の準備にはエ ネルギー消費を伴うことから、エネルギー需要パターンが 断続的な場合には、水素の貯蔵手段を設けるなどして改質 器の発停回数を減らす工夫と、燃料電池と改質器を個別に 運用する計画を要する. そこで、燃料電池CGSを住宅に分 散配置することを想定する際の, 部分負荷運転によるシス テムの効率低下と, 改質器及び燃料電池の動特性の違いに より複雑な運用を要するという課題に、以下に述べるよう な燃料電池のネットワーク化で対応することとする. 本稿 による燃料電池のネットワーク化では、分散する複数の燃 料電池CGSの燃料系統(水素配管と酸素配管)及び出力系 統(電力線と温水配管)を結び、こうした燃料電池ネット ワークに接続した各機器を燃料コストの最小化目的で協調 運転することを考える. この際に、部分負荷状態で発電運 転する燃料電池の動作点を,発電量を増すことでより高効 率側の動作点にシフトするように計画して, これにより生 じる余剰電力を用いてその他の燃料電池による水電解運転 を行う. このときに生成した水素及び酸素は、ネットワー クを介してボンベに貯蔵し、時間シフトして任意の燃料電 池での発電に利用することとする. また, 都市ガス改質器 については、貯蔵用ボンベを設置した水素配管のネットワ ークに接続することで、燃料電池の運用から独立した運用 計画を行うことができる. 本稿で提案する燃料電池ネット ワークを,東京都の戸建住宅群に導入することを想定して, 運用コストの最小化目的で運用計画を行う.

3.2 燃料電池CGSネットワークモデル

本稿で想定する,戸建住宅に導入する燃料電池CGSネットワークモデルを図15に示す.ネットワークに接続した何れの燃料電池も,発電運転の他に水電解による水素及び酸素の生成運転が可能であるものとする.ここで,図15中の太い実線は温水系統を,細い実線は電力系統を,荒い破線

は水素系統を、細かい破線は酸素系統を示し、矢印はエネルギーまたは物質の流れ方向を示す.温水系統には、燃料電池の排熱回収と各棟への熱エネルギー供給を行うための 熱媒体を流すが、この流れ方向は図中に矢印で示すとおり 一方向とする.

戸建住宅1の機械室には水素及び酸素を貯蔵するための ボンベを設置し、ネットワーク上にある燃料電池で水電解 運転して生成した水素及び酸素を貯めることができる. こ の際に、両ガスはそれぞれ圧縮機により1.0MPaまで加圧 して貯蔵するものとする. さらに、同機械室には都市ガス 改質器も設置し、任意な時刻に水素系統のネットワークへ 水素を供給することができる.一方,燃料電池1台と改質 器1台を組み合わせて発電する方式(従来方式)では、燃 料電池と改質器の運転を同期する必要があり、改質器の発 停準備に関わる待機時間や負荷変動時の追従性の悪さなど の,動特性の違いが問題となる.本稿によるネットワーク 方式では水素及び酸素の貯蔵手段を有しており、ネットワ ークを介して改質器と燃料電池を結ぶことで, 互いの動特 性によらない各々の運用計画を検討することができる. さ らに機械室には、蓄熱槽と補助ボイラも設置することとし、 温水系ネットワークを介して任意な時刻に各棟への熱供給 を行うことができる.

燃料電池の水電解運転で使用する電力については、他の 燃料電池で発電した電力を、送電線を介して供給する。ま た、発電運転する燃料電池で消費する水素・酸素について は、水電解運転中の燃料電池で生成するものとボンベに貯 めてあったものを供給して賄う。ただし改質器で水素の生 成を行う場合には、酸素の生成手段がないことから、大気 を燃料電池に送ることとする。カソードに酸素または空気 を供給するのでは、図1に示したように燃料電池の発電特 性は大きく異なることとなるが、本稿による解析ではこれ を考慮する。

3.3 システム運転パターンのモデル化

図16は、運用計画の最適化計算に用いる遺伝的アルゴリズムに導入する染色体モデルで、図中に示すようにモデル中の遺伝子をグループ分けして、サンプリング時間間隔での、

- (1) 発電する燃料電池と水電解する燃料電池の選択(Sw.i.k),
- (2) 発電する燃料電池の発電量 (E_{ℓ,i,tk}), (3) 水電解する燃

料電池の水素生成量 $(Q_{el,Lik})$, (4) 改質器で生成する水素量 $(Q_{el,Lik})$ に関する各情報を表記する。図の染色体モデルは予め決めたサンプリング時刻幅での各機器の運転動作を表すもので、2.4節と同様に、サンプリング時刻の集合である全運転期間について染色体モデルを列記することでシステムの全機器の動作パターンが決まる。

3.4 エネルギー・物質収支式と解析フローの概要

電力収支に関しては、消費者の電力需要量と、水電解運転する燃料電池及び水素・酸素ガス圧縮機で消費する電力量をエネルギー収支式に与えて、発電運転する燃料電池に要求される総発電量を決める。発電運転する燃料電池が1台の場合には、相当量を当該燃料電池で発電することとし、発電運転する燃料電池が複数の場合には、それぞれの燃料電池で発電する割合をランダムに割り当てて決定する。

熱に関しては、熱需要量と、発電運転する燃料電池及び蓄熱槽での熱出力量と、水電解運転する燃料電池での吸熱量、そして温水系配管での放熱量を熱収支式に導入して、このときの収支が不足するときには補助ボイラで相当分を追い炊き運転し、過剰の場合には蓄熱を行う。

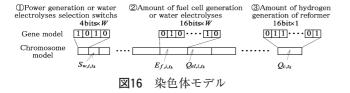
水素に関しては、改質器と水電解運転する燃料電池で生成する水素量と、発電運転する燃料電池での水素消費量を水素の収支式に与えて、水素が不足する際にはボンベで貯蔵している水素を放出し、過剰な場合にはボンベに水素を貯蔵する。ボンベに水素を貯蔵する際には、圧縮機で消費する電力量を計算して、この値を、上で述べた燃料電池に要求する発電量に加算する。また、ボンベに貯蔵している水素を供給しても水素の収支不足となる際には、改質器での水素生成量を増やして収支不足とならないようにする。

酸素については、水電解運転する燃料電池で生成した量と、発電運転する燃料電池で消費する量から収支を計算して、不足するようであればボンベから酸素を供給し、過剰となる場合にはボンベに貯蔵する。この際には水素と同様に、圧縮機で消費する電力量を計算して、この量を燃料電池での発電量に加算する。また、貯蔵した酸素を供給しても収支が不足する場合には、燃料電池のカソードに空気を供給して対応する。

3.5 運用計画の解析事例

(1) 想定するネットワークシステム

東京都の戸建て住宅でのエネルギー需要モデル^{8)。9)} を用いて、図15に示した、戸建て住宅5棟による燃料電池ネットワークシステムの運用計画を行う、解析では、図17(a)



と(b)に示す東京都の戸建住宅に基づく2つのエネルギー需要パターンを導入する.需要パターンA(図17(a))は、戸建住宅の電力及び熱需要パターンを単純に5棟分加算したもので、各戸建住宅のエネルギー需要が同期した状態を想定している。もう一方の需要パターンB(図17(b))は、5棟分の戸建住宅のエネルギー需要が、均一に時間シフトする状態を想定したものである。需要パターンBは、戸建住宅での平均的な需要パターンについて、同じ需要パターンを1時間及び2時間早く時間シフトしたものと、1時間及び2時間遅く時間シフトしたものを加算して求めた。需要パターンAに比べてこのパターンでは、電力及び熱需要量は平均化されることから、それらの最大負荷の値は小さくなり、1日を通した需要変動幅は小さくなる。

燃料電池の発電運転及び水電解運転時の出力特性については、図4及び図5の下の図と、図6の横軸を複数分割して、各領域について4次項までの最小自乗法近似式を作成して与える。改質器の特性についても同様に、図7下の図の横軸を複数分割して、最小自乗法近似式を作成して与える。また、蓄熱槽及びガスボンベの容量については未知数として運用計画を行う。さらに、図15中に示すように、各住宅には1からW(本解析ではW=5)の番号を付与し、このうちの1番の住宅には機械室を設ける。温水系統のネットワークでの流れ方向は、図15中に示すように時計回りとする。

(2) 解析パラメータ

遺伝的アルゴリズムに導入する解析パラメータは、その設定値により解析効率と解析精度に影響を与える。そこで本解析では、世代数、個体数、交差確率及び突然変異確率を広い範囲で変えてそれぞれの値を決めることとし、この際の目安としては、最適解とする結果の適応度の値が2%以内に収束することとした。この結果、個体数が5500で世代数を20とし、交差確率と突然変異確率はそれぞれ0.9とした。本解析では同じ解析を10回実施して、各回最終世代

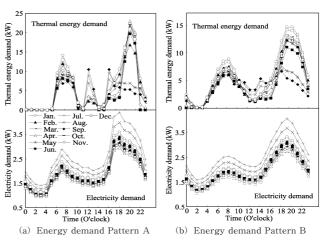


図17 エネルギー需要パターン

Vol. 26 No. 1 (2005) 71

での個体群の中で、最も適応度の値が高い個体を抽出して 最適解とする.

(3) ネットワークの効果

図18 (a) 及び (b) は、それぞれエネルギー需要パターン AとBを導入して行った, 各月代表日での都市ガス消費量 の解析結果である、図18による、従来方式での都市ガス消 費量に対して、燃料電池ネットワークシステムを導入した ときの消費量は、その年間削減率が、需要パターンAでお よそ7%, 需要パターンBでおよそ6%である. また、都 市ガス消費量が従来方式に比べて大きな削減となるのは, 両需要パターンともに5月から10月である。図19は、各月 代表日の各時刻での蓄熱に関する、運用計画の解析結果を プロットしたものである.この図から、5月から10月の各 月代表日での蓄熱量は、それ以外の各月代表日での蓄熱量 よりも多いという結果がわかる.このことから、5月から 10月での、各月代表日の都市ガス消費量の削減効果は、ネ ットワークに接続した蓄熱槽の働きによることが大きいも のと推察される.

本解析で用いたエネルギー需要パターンで、5月から10 月での電力需要に対する熱需要の比は1.5以下であり、こ の範囲のエネルギー需要量の出現頻度が多いようなエネル ギー需要パターンに適用することで、ネットワークシステ ムを導入する効果が大きくなる.

(4) 燃料電池による水電解運転の効果

図18(a)及び(b)の結果から、燃料電池の水電解運転が 可能なネットワークシステムでの都市ガス消費量は、水電 解運転を行わないシステムに比べて需要パターンAでおよ そ2%であり、需要パターンBではおよそ1%である. 需 要パターンAの結果が、需要パターンBの結果よりも、若 干ではあるものの良い理由は、電力需要に関する変動幅が、 需要パターンBでは時間シフトにより負荷の平準化が行わ れるのに対して、需要パターンAでは負荷変動が単純に加 算されているために変動幅が大きく、部分負荷となる状態 の出現回数が多いことによるものと考える. ただし、図4

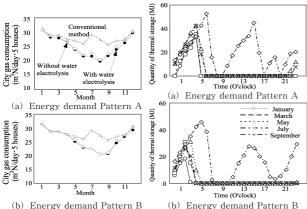


図18

運用コストの解析結果 図19 蓄熱の運用計画

及び図5に示されるように、燃料電池の効率は50%以下の 負荷にならないと減少しないので, 今回の解析では水電解 運転の効果は小さいものとなった. 燃料電池の容量が大き く、50%を大幅に下回る部分負荷での運転時間が長い場合 には、水電解運転による方法は有効になるものと考える.

6. まとめ

太陽光発電で水電気分解を行って水素を生成する燃料電 池コジェネレーションを用いた、住宅用エネルギー自立シ ステムの運用計画を, 札幌市での個別住宅のエネルギー需 要パターンを導入して解析し、システムの運用計画及び運 用コストを明らかにした. この結果、晴天時に対する降雪 時(太陽光発電が行われない場合)の運転コストの比は, 2月代表日では1.12,7月代表日では1.71となる.また,本 システムでの蓄電及び蓄熱容量の最適値は、運用計画の解 析結果からそれぞれ308MJと23MJと見積もられる.

さらに、東京都の平均的な住宅でのエネルギー需要パタ ーンを導入して,燃料電池ネットワークシステムによるエ ネルギー供給の導入計画を行うと、①従来方式である燃料 電池CGSと改質器の組合せでのエネルギー供給方法に比べ て、最大で9%の都市ガス消費量の削減となり、②このう ちの2%は、燃料電池による水電解運転で生成した水素及 び酸素をネットワークを介してボンベに貯蔵し、これらを 時間シフトして燃料電池の発電時に使うという方法によ り,部分負荷に対応するときの効果であることがわかった. また、③今回導入した燃料電池のネットワークシステムで は、熱需要量/電力需要量≤1.5でその燃料消費量が従来方 法よりも削減することから, このような条件の住宅に導入 することで有利となる. ただしこれらの結果は、システム に導入する機器特性で大きく異なることに注意を要する.

本研究は、平成15年度科学研究費補助金基盤研究(C)課 題番号15510078の助成金を得て行われた。紙面上にて感謝 の意を表する.

参考文献

- 1) 岡田治;燃料電池用水素の製造技術,エネルギー・資源,23-5 (2002), 345-348. 平田賢;"分散型
- "分散型エネルギーシステム"の展望,空気調和・
- 年田貢, が配望エネルギーシステム の展室, 空気調和・ 衛生工学, 75-8 (2001), 659-665. 長野克則, 持田徹, 嶋倉一實, 落藤澄, 濱田靖弘, 中村真人, 羽山広文, 伊藤雄三, 永坂茂之, 村下和紀, 伊藤興太郎, 国 崎清; 札幌における太陽光発電システムの基礎的実験, 空気 調和·衛生工学会北海道支部,第33回学術講演会論文集, (1999), 5-8.
- 成田樹昭;寒冷都市の未利用エネルギーと地域熱供給への活 用に関する研究、北海道大学大学院工学研究科衛生工学専攻 博士論文, (1996), 29-67
- 坂本滋, 上田雅敏, 藤生昭, 黄木丈俊; 小型燃料 小田勝也,
- 電池用改質装置, Sanyo technical review, 31-2 (1999), 99-106. 中村透,清三喜男;燃料電池用高効率改質装置,松下電工技報,3 (2002),49.
- 液田靖弘,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, 空気調和・衛生工学会論文集,90 (2003),19-27.
- 日本建築学会;平成13年度住宅内のエネルギー消費に関する 全国調查研究, 3 (2002), 3-6.
- 永瀬修, 伊香賀俊治, 近本智行; 住宅で消費されるエネルギ の定量化, 第19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, (2003), 461-466.