

# 都市域の住宅における燃料電池と 水素エネルギーネットワークに関する研究

安芸裕久・前田哲彦・近藤潤次・石井格

独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門

305-8568 つくば市梅園1-1-1 中央第二事業所

山本重夫

株式会社KRI

600-8813 京都市下京区中堂寺南町134

A Study on Fuel Cells and Hydrogen Energy Networks in Urban Residential Dwellings

Hirohisa AKI, Junji KONDOH, Tetsuhiko MAEDA, Itaru ISHII

Energy Technology Research Institute,

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

AIST Central 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba 305-8568

Shigeo YAMAMOTO

KRI Inc.

134 Chudoji-minami-machi, Shimogyo-ku, Kyoto 600-8813

The introduction of residential fuel cells has just become a realistic option in Japan. Research and development is at the final stage before commercial market launch.

This paper presents the concept of the interconnection of homes with energy networks of electricity, heat (hot water) and hydrogen, and experimental systems and PC simulators for evaluating the advantages and disadvantages of the networks in providing more efficient use of fuel cells and more CO<sub>2</sub> mitigation. Homes can share their energy equipment via the networks. Sharing provides flexible and efficient operation of the equipment, and reduces partial load operation and start-stop operation, which damage the efficiency or the life time of fuel processors.

**Key words:** Fuel cell, Residential, Energy network, Energy interchange

## 1. はじめに

我が国では家庭用燃料電池の実用化が始まろうとしている。燃料電池は水素エネルギー社会における重要な技術の一つであるが、水素網、水素エネルギー社会、熱電併給時における燃料電池からの熱回収利用及び水素の製造と供給に関するさらなる議論が必要である。現在のところ将来の水素エネルギー社会に関する明確な青写真は存在しない[1]。また分散型電源の普及に当たっては、電力システムの安定化維持のために、協調かつ階層化された制御が必要

となる[2]。水素エネルギー社会への移行については既存のエネルギーネットワークとの整合性の確保も考慮しなければならない。

筆者らは、将来において、需要家や社会に経済的な負担を強いることなく、環境負荷低減を実現するようなエネルギーネットワークについて検討を行ってきた。

その一つとして、電力・熱(温水)・水素からなるエネルギーネットワークによって住宅を相互接続し、住宅の同士でエネルギー融通を可能とするようなシステムを提案

してきた[3]。さらに、燃料電池実機を用いた実験装置及びパソコンシミュレータを構築し、提案システムの定量的な評価を行っている。本稿では、それらの概要について述べる。

## 2. 家庭用燃料電池とエネルギーネットワーク

### 2.1 家庭用燃料電池の問題点

現在、各社が開発している一般住宅向け燃料電池設備（以下、家庭用燃料電池という）は固体高分子形燃料電池（PEFC）である。我が国では水素供給網が整備されていないためセルスタックと都市ガス（13A）から水素を製造する改質器とを組み合わせる改質器はセルスタックが必要とする水素を常に製造し続ける。

改質器には、部分負荷運転時の効率が定格運転時よりも低くなる、起動時には予熱が必要である、起動停止を繰り返すと寿命を縮めてしまう、負荷変動に速やかに追従できないといった問題がある。一方、セルスタックにはそのような問題はない。部分負荷運転時でも効率の低下はなく負荷追従も早い。つまり家庭用燃料電池ではセルスタックと改質器とを組み合わせ連携運用するために、システム全体の動きが改質器の性能によって制約を受ける。もしセルスタックと改質器を分離し独立に運用することができればそのような問題は解決される。

家庭用燃料電池の容量は1kW程度であるが一般的な日本の住宅の電力需要のベース分は250-500Wである。そのため余剰電力の配電網への逆潮流が認められない限り燃料電池の負荷率を十分上げることができない。さらに逆潮流が可能であったとしても、関東以西の太平洋側、四国及び九州地方では住宅のエネルギー需要における熱電比が小さく、冬季を除いて燃料電池からの回収熱量に見合うだけの熱需要が存在せず、熱の廃棄を避けるために燃料電池の運用を制限せざるを得ない。

### 2.2 提案システム

先に述べた問題を解決するだけでなく、より効率的で柔軟な運用を目指すため、筆者らは住宅地において局地的に住宅を電力・熱・水素からなるエネルギーネットワークによって接続しエネルギー融通を行うことを提案している。即ち、スタックと改質器を分離して独立に運用しそれらの間に生じる水素の需給アンバランスは他の住宅との融通と貯蔵によって解決を図り、スタックから熱回収した湯についても他の住宅との融通によって余剰になることを回

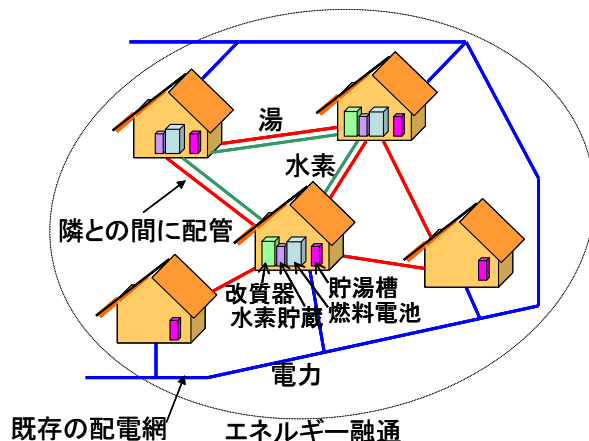


図1 住宅におけるエネルギーネットワーク

避しようとするものである。電気についてもネットワーク内で融通し有効利用を図る。

提案システムの概念を図1に示す。この例では5世帯のうち3世帯が燃料電池を保有しているがうち1世帯は改質器を保有していない。すべての住宅はエネルギーネットワークに接続されておりエネルギー融通が可能となっている。電力は既存の配電網を通じて融通される。

改質器はスタックと分離され効率の良い定格運転を行えばよく、部分負荷運転は最小限となる。水素は融通配管中にもある程度貯蔵できる（ラインパック）ので、各改質器の付近に小規模な貯蔵装置を設ければ、各燃料電池は融通配管から水素の供給を受けながら負荷に追従して運転を続けられれば良い。改質器は一定運転を続け、同じ住宅の燃料電池が消費しなかった余剰の水素は水素貯蔵に貯める。融通配管中の水素が不足してきたら任意の水素貯蔵から水素を放出して融通配管へ供給すれば良い。水素貯蔵にラインパックを併用することで、水素の融通に関して図1のような狭い範囲であれば、住宅の地理的な位置関係や距離は無視できる。

但し、住宅地における水素の融通・貯蔵については、過去に水素を主成分とする都市ガスが一般的に家庭へ供給されていた実績を考慮しても、社会に受容されるためには相応の手続きや制度作りが必要となろう。

提案システムは将来の水素エネルギー社会へも滑らかに移行できる。水素供給網が整備されてきた場合に、その水素供給網と自身の水素融通配管とを接続するだけで地域の水素網に参加できる。また隣接する住宅のグループも同じようなエネルギーネットワークを導入した場合も互いの水素融通網同士を接続すればより大きなネットワー

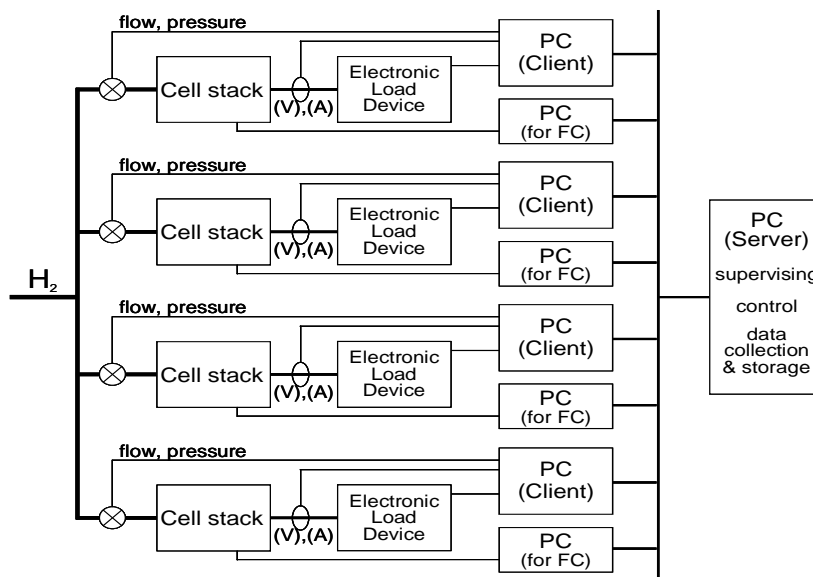


図2 実験装置系統図

クに拡張できる。

エネルギーネットワークによってスタックや改質器などの機器及び余剰電力と熱(温水)を参加者(住宅)で共有できる。エネルギーネットワークのために新たな配管の敷設が必要となるが、住宅密度の高い我が国では、隣接する住宅は敷地を接しており建屋同士も近いことから必要な配管は短くて済み既存住宅への追加も容易であると考えられる。

また、配管のほかに追加すべき設備はスタック、改質器、水素貯蔵及び貯湯槽であるが、スタックを設置しない住宅で小形の貯湯槽のみである。従って提案システムは既存の住宅へ容易に導入可能である。

このように複数の住宅の一部に燃料電池等の機器を導入し各住宅を電力・熱・水素のエネルギーネットワークで接続するという提案システムは、エネルギーと機器とについて共有と融通によってより柔軟・効率的な運用を可能にする。さらに、既存のシステムに導入可能で適宜拡張でき将来の水素エネルギー社会にも移行が容易である。

筆者らの試算では今後数十年間において単に個別住宅に家庭用燃料電池を導入する場合と比較して2-3倍の二酸化炭素削減が可能である[3]。

### 3. 実験装置とシミュレータ

提案システムの効果を評価するために、燃料電池の実機を用いた実験装置とパソコン上で動作するシミュレータを構築した。

### 3.1 実験装置

実験装置の構成を図2に示す。実験装置は、ボンベからの水素供給、単体システム4セット(燃料電池スタック(PEFC: 1.2kw)、電子負荷装置、各種計測器、クライアントパソコン及び燃料電池専用パソコン)及びサーバパソコンから構成される。パソコンはサーバクライアントシステムを構成しておりサーバ機が実験装置全体を統括している。

単体システムではクライアント機が電子負荷装置に負荷指令を与える。この指令は即ちスタックへの発電要求量となる。スタックは電子負荷装置によって作られた負荷に追従して電気出力を発生する。スタックと電子負荷装置の間に計測器を設け、計測した電流と電圧はクライアント機に入力される。スタックは発電に必要な水素を配管から供給を受ける。水素配管には圧力発信器と流量発信器があり、信号はクライアント機に入力される。スタックには専用のパソコンが接続されており、スタックの詳細な状態(スタックから電気出力(グロス値:補機動力を差し引く前の値)、

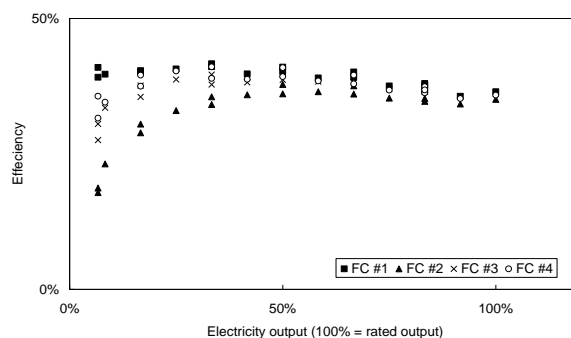


図3 スタックの部分負荷効率

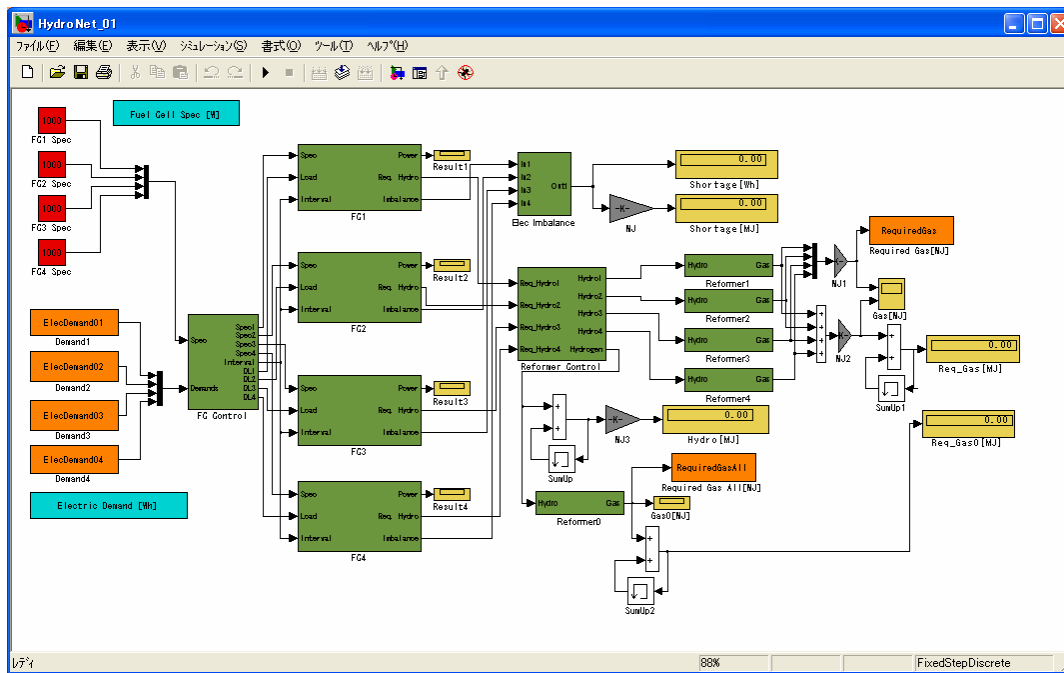


図4 シミュレータ

スタックの温度、水素弁の開閉、パージ弁の開閉及び冷却ファン出力などを監視できる。

検討対象需要家(住宅)の需要と各スタックの負荷配分(制御方式)とをサーバ機に与えると、サーバ機がクライアント機へ各スタックへの発電要求を送信し実験は自動的に実行される。

本実験装置には熱を扱う設備がないためスタックからの熱回収や貯蔵はパソコン上で模擬される。

図3に本実験装置で取得した各スタックの部分負荷効率(ネット値:補機動力を差し引いた後の値であり燃料電池の出力としては一般的にこちらがよく用いられる)を示す。スタックによっては若干のバラツキがあるが、概ね定格の30-60%で最も効率が高くなっていることがわかる。またスタックのグロス出力とネット出力の差は約15-20%であった。つまりスタックが発電したうちの約15-20%が冷却ファンなどの補機で消費されている。

### 3.2 シミュレータ

シミュレータは図4に示すようにMATLAB/Simulink上に構築されGUI(Graphical User Interface)を採用している。各機器はより小さなモジュールの組み合わせによって構成され、機器の特性はそのモジュールに組み込まれている。

例えばスタックは入力処理部、主演算部及び出力処理部の3つのモジュールから成る。入力処理部は需要(出力要

求)がスタックの定格以下であるかを確認し、また必要であれば遅れを付加する。主演算部は電気出力から水素消費量を計算する。この際、実験で得られた効率曲線を用いる。出力処理部では電気出力の電圧と電流を、実験で得られた電圧-電流特性に基づき決定する。改質器についても同様により小さなモジュールからなり、その中に特性を記述している。

モジュール構造を取ることで拡張が容易となる。図4に示すのは燃料電池が4台の場合であるが、さらにモジュールをコピー・ペーストし組み合わせることで10世帯や100世帯といった実験装置では扱えない大規模なモデルについてもシミュレーションを行える。

### 3.3 実験装置とシミュレータの相互活用

以上に述べた実験装置とシミュレータは個別に提案システムの評価を行えるが、相互に連携させることでより発展的な研究を展開できる。

例えばエネルギーネットワークに接続された住宅の需要のうち、各燃料電池への負荷配分方策について分析を行うこととしよう。シミュレータへ住宅の需要データと負荷配分方策を与えると、ほぼ瞬時に燃料電池の動き、必要エネルギーを算出する。条件を様々に変えながらシミュレーションを繰り返し、有望な方策を探る。次に実験装置で同様の実験を行う。最後に双方の結果を比較すれば、シミュレーションと実験に誤りのないことが確認できる。

#### 4. まとめ

本稿では電力・熱（温水）・水素からなるエネルギーネットワークによって住宅を相互接続し、住宅の同士でエネルギー融通を可能とする提案システムについて述べた。さらにその効果を評価するために燃料電池実機を用いた実験装置及びパソコンシミュレータを構築した。今後、様々な分析結果が得られるものと期待している。

#### 参考文献

1. DOE: National Hydrogen Energy Roadmap (2002)
2. H. Aki, J. Kondoh, A. Murata, I. Ishii, I. Sugimoto: Fundamental Studies on Penetration of Fuel Cells and Energy Transfer in Japan, Proceedings of IEEE PES General Meeting (2003)
3. 安芸、山本、近藤、村田、石井、前田: “住宅への燃料電池普及および費用低減と CO<sub>2</sub>排出削減に関する分析”電気学会論文誌、Vol.124-B、No.3、pp.431-438 (2003)