

固体高分子形燃料電池による家庭用コージェネレーション

Residential Use PEFC Co-generation System

伊中秀樹*

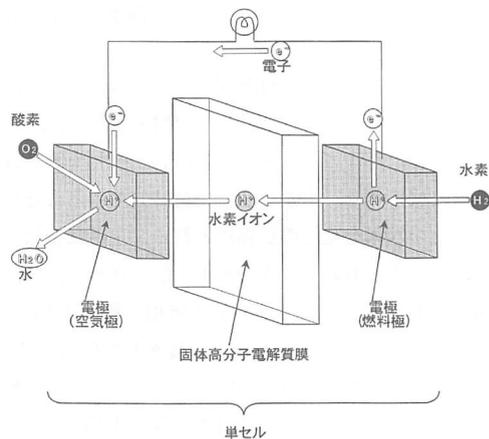
Hideki Inaka

1. はじめに

燃料電池は、最近その高効率・低環境負荷特性から、環境にやさしい新エネルギーとして、注目されている。中でもここ数年、自動車業界において燃料電池自動車の動力源として開発が促進されている固体高分子形燃料電池 (PEFC) が話題となっている。

PEFCは、低温域 (70~90℃) で作動可能なうえ、小型軽量化が容易であり、量産効果による低コスト化も期待できることから、都市ガス業界でも、家庭用および小型業務用分野でのコージェネレーションとしての期待が高まっている。

ここでは、家庭用でのPEFC開発の現状および動向について紹介する。



2. PEFCの特徴

2.1 原理と特長

燃料電池は、水の電気分解の逆の反応を利用し、水素と酸素を電解質を介して反応させることにより、直流の電気を取り出すもので、従来の機械式の回転型発電機と違い、燃料から直接化学的に発電するため小型でも高発電効率、低騒音となる。また、燃焼部分もほとんどないためNO_xやSO_xの発生しないクリーンな発電機である。

PEFCは、電解質が高分子膜 (プロトン交換膜) であり、低温で作動することから、材料面で低コスト化できる可能性がある。また、電流密度が高くとれるため、リン酸型燃料電池 (PAFC) 等従来の燃料電池に比して、小型化が容易であり、また電解質が固体であることから、スタック構造が横置きにでき、狭いスペースにも有効に配置できるなど、優れた特徴を有する。(図1)

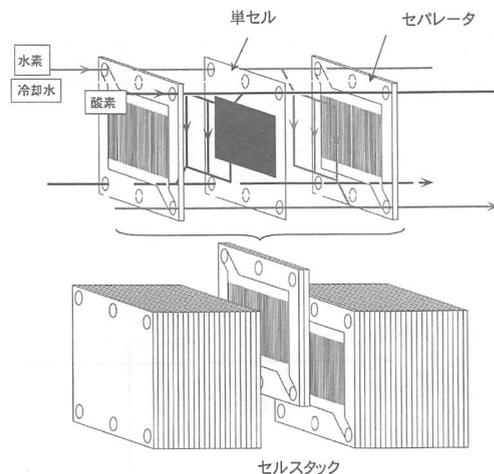


図1 PEFC構成図

2.2 定置用PEFCシステム

定置用PEFCシステムは、都市ガスに付臭剤として添加されている硫黄分などを取り除く脱硫器、燃料を水素に変える改質器、改質ガス中の一酸化炭素を取り除くCO除去器、改質ガス中の水素と空気中の酸素で発電する燃料電池部、発電した電力を交流の使用できる電力に変換するインバータ、そして発電時や改質時

* (株)日本ガス協会 燃料電池・水素プロジェクト部課長
〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-15-12

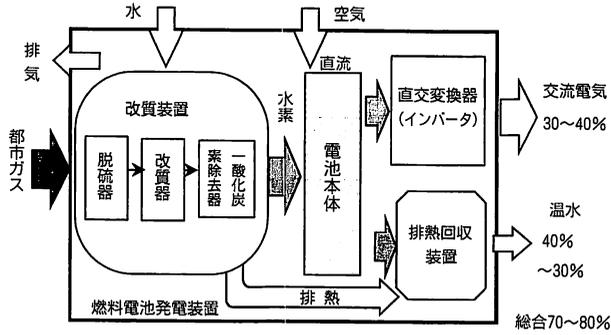


図2 燃料電池コージェネレーション

に発生する熱を回収する排熱回収部からなっている。

都市ガス用（またはLPG用）の燃料電池では、燃料の水素は、都市ガス（またはLPG）と水蒸気を改質装置で反応させ、水素とCO₂に分解して得ることができ、その水素を電池の負極に入れる。正極に空気を通し、その中の酸素と負極の水素と反応させて、直流の電気を取り出し、インバータで単相3線式200Vの交流（または単相100Vの交流）に変換して使用する。熱は電池の反応熱と改質器の排気ガスから熱交換器を介して回収し、温水として利用できる。（図2）

灯油などの液体燃料の場合は、前段に燃料を気化させる工程を入れれば同様となる。

PEFCでは、発電効率で30~40%、排熱を60度以上の温水として30~40%の総合効率70~80%が期待される。

3. 家庭用PEFCコージェネレーションの構成と課題

3.1 PEFC構成と実証課題

家庭でのエネルギーは、主に冷蔵庫、照明、空調機TVやオーディオ等の電気エネルギーと風呂、湯沸かし器、床暖房、浴室乾燥機等の熱エネルギーである。この電気と熱のエネルギーを燃料電池で発電した電力と排熱である程度まかなおうというのが家庭用燃料電池コージェネレーションである。（図3）

家庭では、住居人数、家族構成、住居の大きさ、および生活様式でエネルギーの使用法および使用量など様々であり、PEFCの最適な容量や運転方式などの検討は、今後の実証試験等に待たれる。

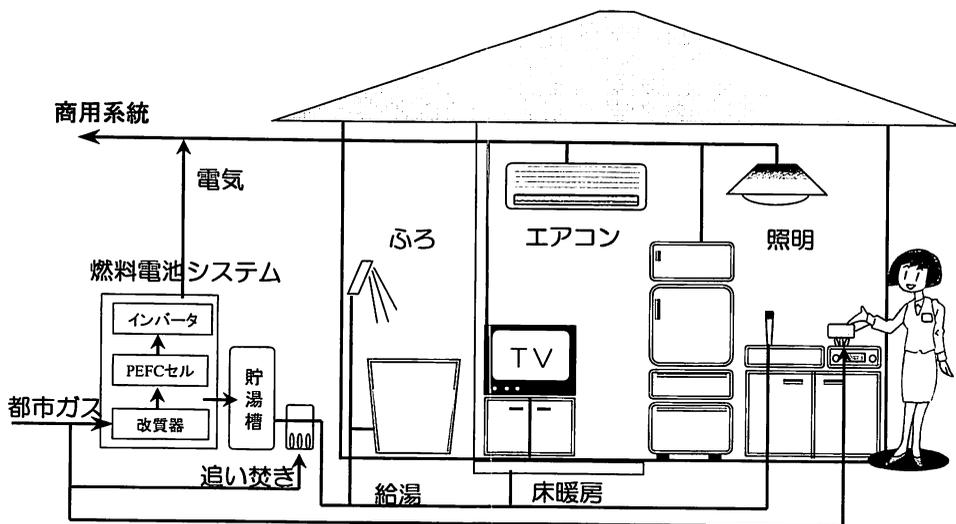
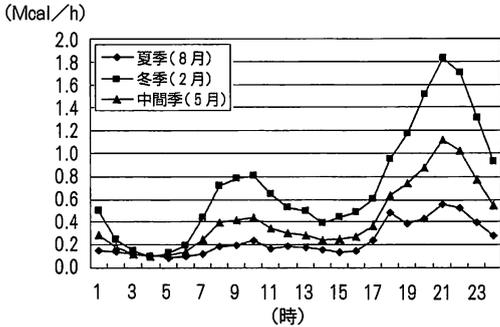
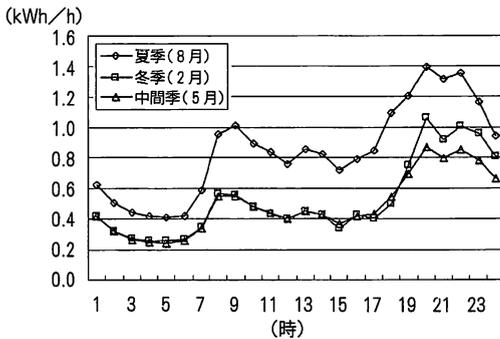


図3 家庭用燃料電池コージェネレーションのイメージ



(a) 季節別時間別給湯負荷パターン



(b) 季節別時間別電力負荷パターン

(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調査報告書」(勸産業創造研究所))

図4 戸建住宅の平均的消費パターン

図4に平均的な戸建て住宅での電気と熱の使用量の例を示す。この規模では500Wから1.5kW程度の規模の発電容量が考えられる。

このため現在国内では、当面1kW程度のPEFC開発を先行させるメーカーが多い。

一方、家庭では、電気と熱の使用時間帯のズレが考えられ、PEFCの発電と排熱の利用方法も含めた最適な運転方式の検討が課題となる。例えば、電気は使用に合わせて発電し、熱はPEFCの排熱を温水として一旦貯湯槽に貯え使用する方法等が考えられる。

実際どのような運転方式が経済性、環境性、省エネ性に優れるかの実証が必要となる。

机上検討では、平均的な戸建て住宅でのエネルギー消費量で試算しており、運転方式にもよるが、約20~30%の省エネルギーと約28~40%の二酸化炭素削減、約63~90%のNOx削減となるという報告がある。

(日本電機工業会「平成11年度民生用小型分散型エネルギーシステムに関する調査」より)

3.2 技術面の課題

自動車用と定置用は使用する燃料電池は同じPEFC

表1 自動車用と定置用の要求仕様比較

項目	自動車用	定置用
発電出力	20kW~80kW程度	500W~30kW程度
燃料	水素、ガソリン、メタノール、LNG、LPG、ナフサ等	天然ガス、LPG、灯油等
起動停止	多	多
使用形態	発電用	発電用およびコージェネ用
耐久性	5千時間程度	数万時間
コスト目標	5000円/kW	20~50万円/kW

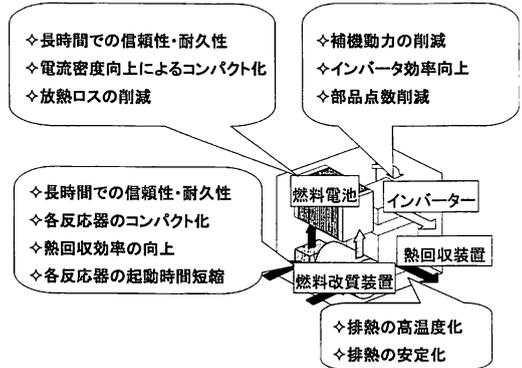


図5 技術課題

であるが、使用形態と要求仕様が異なる。(表1) 自動車用では起動停止が頻繁となり、部分負荷での使用が主体となる反面、耐久性の要求は5千時間程度である。定置用では連続的な運転が主となり、発電効率が重視され、長期の耐久性が重要なファクターとなる。

現在家庭用PEFCコージェネレーションは、試作機でのテストが開始された段階であり、実用化のための更なる技術開発が必要である。主な技術課題としては、1) 改質ガスによる電池の長期の耐久性、2) 信頼性の検証、3) 改質器の熱効率の向上、4) 電気補機やインバータの最適化、5) 排熱回収の高温度化・安定化、6) コスト低減のための技術開発や小型化のための開発などが挙げられる。(図5)

3.3 制度面の課題

PEFCは現在電気事業法で発電所の扱いとなっている。今後家庭での普及を考えた場合、一般消費者が安全に扱える基準の整備や、それに伴う法規の整備が必要となる。

また、国際的にはIEC(国際電気標準会議)での燃料電池の標準化が開始されており、日本の産業競争力強化の面で遅れをとらないようにする必要が出てきている。(表2)

表2 現在の主な定置用PEFCに関する法令

電気事業法	燃料電池発電設備 ・電気主任技術者の選任対象発電設備 ・保安規程の届け出が必要な発電所 ・常時監視発電所 ・不活性ガスによる置換が起動停止時に必要な発電
消防法 (東京消防庁)	・燃料電池発電設備設置届出 ・離隔距離の設定
その他 関係法令等	・騒音防止法 ・系統連系ガイドライン

4. 定置用PEFCの開発動向

上記のような背景を元に、世界規模で開発が促進されている。

4.1 海外の動向

自動車業界での開発促進に触発されて、規制緩和が進み、分散型電源に注目している米国にてDOE（米国エネルギー省）の補助等を受けながら、定置用PEFCの開発が1997年以降家庭用においても開発が活発してきている。代表的なメーカーとして、巴拉ードパワーシステムズ社、プラグパワー社、Hパワー社、IDA TECH社、アナリティックパワー社、IFC社等がある。

巴拉ードパワーシステムズ社のセルを利用して、国内では荏原巴拉ード社が東京ガスの改質技術の供与を受けて家庭用コージェネレーションの開発を実施している。

プラグパワー社は試作機を1年間ほど運転した実績があり、国内では㈱クボタが代理店となり、プレ商品機の検討を実施している。Hパワー社は、LPG仕様の一次試作機を今年度初頭から運転を開始しており、さらに天然ガス仕様機の検討を実施している。日本国内では三井物産が窓口である。

米国では、コージェネレーションというよりは、発電機としての開発が進んでいる。配電系統がない地域や停電のためのバックアップ電源として開発が進んで

いる。

また、家庭で使用する電力量も異なり、3～7kWの系統と独立した電源が主である。（表3）

4.2 日本の動向

4.2.1 NEDOの動向

日本では、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）が1992年度よりPEFCの開発プロジェクトを実施しており、東芝、三菱電機、三洋電機等による自動車用あるいは都市ガス用等の数kW～数十kWのPEFCシステム開発、旭化成、旭硝子、アイシン精機等によるPEFCに用いる高分子膜等の要素開発が進められている。

平成12年度でシステムの基本設計である第2フェーズが終了し、平成13年度からシステム開発あるいは要素技術開発の第3フェーズが期待されている。

また、平成12年度より国際的な開発の活性化を受けて、新規国家プロジェクトである「燃料電池普及基盤整備事業」「高効率燃料電池システム実用化等技術開発事業」を開始し、DOE並みの予算規模で、燃料電池の早期普及のための基準や標準の整備、実用化のための技術開発の事業をスタートさせようとしている。

4.2.2 メーカー各社の動向

国家プロジェクトだけでなくメーカー独自の開発も行われている。特に家庭用用途では、米国に比べて前述のように電力使用量が少ないこと、また電力網が安定していることから、系統連系で運転し、温水利用も考えた0.5kW～1.5kWクラスのコージェネレーションとしての開発が進んでいる。

まず、可搬用では水素ボンベ用として三洋電機1kW機が販売段階に来ており、また松下電工にて250Wのボタン仕様の携帯用電源の販売が予定されている。

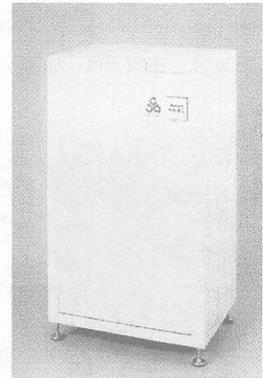
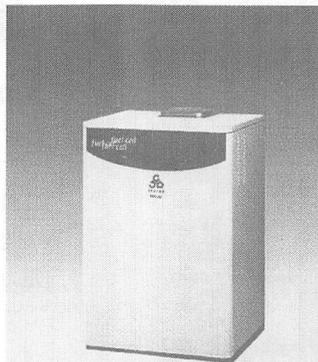
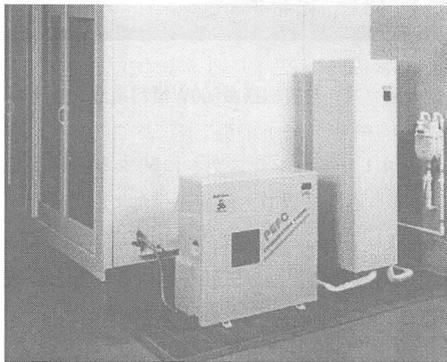
家庭用PEFCコージェネレーションとしては、松下電工や松下電器産業、三洋電機、荏原巴拉ードが天然ガス用の開発を進めている。最近トヨタ自動車がアイシン精機も含めたグループとして開発を進めることを

表3 海外の定置型、携帯型PEFCの開発

メーカー	燃料	出力	備考
巴拉ードパワーシステムズ	天然ガス	250kW	荏原/GPUI/Alsthom合弁
同上	水素	50～500W	ポータブル用開発
プラグパワー社	水素/天然ガス/ メタノール	7kW	家庭用 2001年販売開始期待 価格2003年4000\$以下予定
Hパワー社	プロパン/天然ガス	2～5kW 家庭用	98年50W65台をNJ州に納入
IFC	水素	40～60W UPS等 150W開発中 携帯用	
EPRI/アナリティックパワー社	天然ガス	3kW	99年15台 アルファー機 2000年数百台程度テスト予定
SFCCG/IDA TECH社	天然ガス	2～2.5kW	2000年10台デモ予定
シーメンス	水素	5kW	

表4 国内の動向

メーカ	燃料	出力	備考
松下電器産業	天然ガス	1.5kW	
三洋電機	天然ガス/水素	1kW	水素はポータブル用
松下電工	ブタン/天然ガス	250W(ブタン) 0.5kW, 1kW	ブタンはポータブル用 0.5kWは大阪ガス改質器搭載
住原バロード	天然ガス	1kWクラス開発予定	改質技術は東京ガスが技術供与
トヨタ自動車/アイシン精機	天然ガス		
富士電機	天然ガス	1kWクラス開発予定	
東芝	LPG/天然ガス	1kWクラス, 30kW	LPGは自販機用
コロナ/IDA TECH社	灯油		



東京ガス分室設置 (松下電産製作)

大阪ガス分室設置 (三洋電機製作)

東邦ガス分室設置 (松下電工製作)

写真1 1kW固体高分子形燃料電池コージェネシステムの運転研究 (㈱日本ガス協会実施
(平成10年度補正NEDO補助事業))

公表した。LPG用としては、東芝の自動販売機への応用や灯油用でコロナ社と米国IDA TECH社との共同開発も公表されている。(表4)

4.2.3 都市ガス業界の取り組み

都市ガス業界でも、家庭用PEFCコージェネレーションへの期待はきわめて高く、大手都市ガス事業者は、独自の基礎研究や開発を行っている。

(㈱日本ガス協会では、国家プロジェクトを含め都市ガス業界全体で取り組んでいく技術開発の推進役を果たしている。最近では、NEDOの助成事業「固体高分子形燃料電池の高効率化・コスト低減のための運転研究」(事業期間：平成11年2月～平成12年2月)を実施した。この運転研究では、世界でも例の少ないパッケージ型の1kW級家庭用PEFCコージェネレーションシステムを3台試作し、東京ガス分室、大阪ガス分室、東邦ガス分室に各1台ずつを設置し、実験住宅と組合せた運転試験を行った。

平成12年1月より運転を開始し、朝起動・夕停止の運転試験を行った。本年6月15日現在、発電時間は長いもので320時間程度であるが、大きなトラブルもなく良好に稼動することを確認した。また、実験住宅において燃料電池からの電気・温水が実際に利用できる

ことも確認できた。(写真1)

東京ガス(株)では、燃料改質装置等の周辺技術に焦点を絞った技術開発を行い、それと並行してPEFC本体と組み合わせたシステムの評価・実証を行っている。

燃料処理装置に関しては水蒸気改質方式と部分燃焼改質方式という2方式の技術開発に取り組んでいる。平成11年度に試作した燃料処理装置は、PEFCの性能低下の要因となるCO濃度も10ppm未満を実現し、PEFCと組合せた試験においても安定して発電できることを確認している。(写真2参照)

また、パラジウム合金膜を利用して都市ガスから純

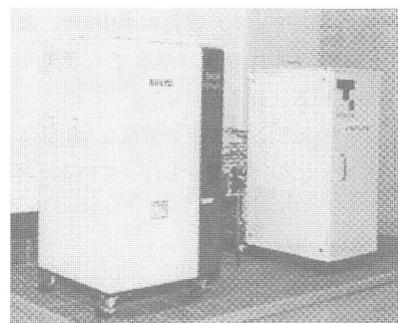


写真2 東京ガス燃料処理装置テスト

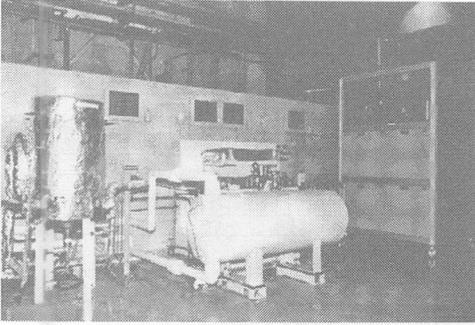


写真3 東京ガス 水素分離膜方式改質器開発

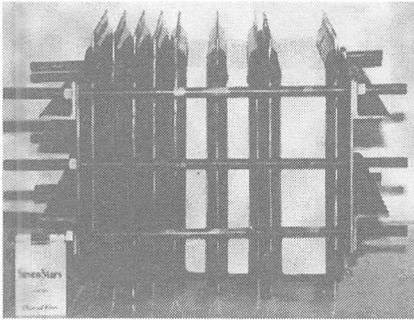


写真4 大阪ガス 燃料処理装置開発

水素を製造する水素分離型改質装置の開発にも取り組んでいる。水素分離型改質装置は、負荷応答性等に優れた純水素駆動型PEFCと組合せての利用（写真3）や、将来の燃料電池自動車用水素ステーションへの技術展開も期待できる。

大阪ガス^(株)では、りん酸形燃料電池の開発等で蓄積した改質プロセス技術、触媒技術等を活用し、小型、高性能、低コストを目指した1kW級PEFC用の天然ガス改質装置を開発している。（写真4参照）

この改質装置では、5つの反応器（脱硫器、改質器、CO変成器、CO除去器、蒸発発生器）を一体化することにより、各反応器からの放熱ロスを抑え、非常に高い熱効率を実現している。改質ガス中のCO濃度についてもPEFC電池本体の許容濃度である10ppm以下に抑えられている（表2参照）。

また、この自社製改質装置を搭載した0.5kWPEFCシステムについての実証運転も行っている（写真5参照）。

4.2.4 他業界の取り組み

PEFCは、電力、LPG、石油業界でも取り組まれている。まずLPG業界では、LPG振興センターで日本自転車振興会の補助金を得て平成12年度にPE

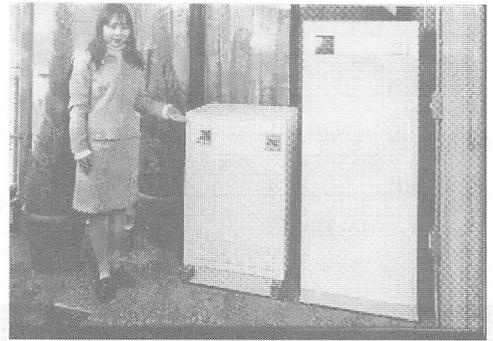


写真5 大阪ガス 改質器搭載500W燃料電池システム

FCコージェネレーションシステムに関する調査等を計画している。石油業界でも前節述べたように灯油用の開発を実施している。電力業界では東京電力、関西電力がEPRI等の燃料電池の試験を始めることを発表している。

5. 今後の展開への期待

家庭用PEFCコージェネレーションは自動車での開発促進を受け開発されている。しかしまだ解決する課題は多く、各社とも試作機の評価を開始したところである。

家庭用PEFCコージェネレーションを市場導入、普及まで持ち込むためには、構成する一つ一つの材料から電力・熱利用設備を含めた全体システムに至るあらゆる領域でのバランスのとれた技術開発が必要で、特にコストダウンについては、自動車でのコストダウンの進展が家庭用にも連動しており、自動車も含めた実用化技術開発が必要である。また家庭での使用を考えれば、耐久性・信頼性・安全性評価法も早急に標準化する必要がある。ユニットが小さいだけに、メーカ各社が量産化のための設備投資を決断するためには、多種多様な使用環境での実証試験やフィールドテストを実施し、最終商品仕様と市場規模を明確にしておかなければならない。これには素材メーカ、燃料電池メーカ、ハウスメーカ、エネルギー供給事業者等の多くの業界・メーカが一丸となった技術開発が不可欠であり、そのためにも国の強力なリーダーシップと厚く幅広い開発・導入補助施策に期待したい。