業務用オンサイト燃料電池発電システムの現状と展望

武 哲 夫*

Current State and Future Prospects of Industrial On-Site Fuel Cell Systems

Tetsuo TAKE(NTT Energy and Environment Systems Laboratories, Nippon Telegraph and Telephone Corporation)

The current state, problems for practical use, and future prospects of industrial on-site fuel cell systems based on fuel cells of the several hundred kilo-watt class such as phosphoric acid fuel cells (PAFCs), molten carbonate fuel cells (MCFCs), and solid oxide fuel cells (SOFCs) are summarized. A 200 kW multi-fuel-type PAFC system, 250 kW MCFC co-generation system, 300-kW-class MCFC-micro-gas-turbine hybrid system, 100-kW-class SOFC co-generation system, and 220 kW SOFC-micro-gas-turbine hybrid system are investigated as examples of industrial one-site fuel cell systems. High efficiency in power generation and reductions of system and running costs are important prerequisites for the widespread use of industrial on-site fuel cell systems. The technology of PAFCs is already mature. However, their application is restricted by high system costs and low efficiency in power generation. Systems which are expected to find application in food factories, hotels, sewerage sites, and chemical factories are those that run on free fuel, such as biogas, digester gas, exhaust fuel (i.e. exhaust methanol), and byproduct hydrogen. Systems based on MCFCs and SOFCs are currently under development. They will enter widespread use in factories and other buildings in the near future because of their high efficiency in power generation.

Key Word : Industrial On-Site Fuel Cell System, Phosphoric Acid Fuel Cell, Molten Carbonate Fuel Cell, Solid Oxide Fuel Cell

1. は じ め に

二酸化炭素の削減による地球環境保護と限りあるエネルギー資源の有効利用の観点から、クリーンで高効率な発電システムである燃料電池発電システムが現在注目を浴びており、業務用、自動車用、家庭用およびモバイル機器用の各用途への適用を目指して研究開発が活発に進められている¹⁾。燃料電池の歴史は鉛蓄電池よりも古く、その起源は1839年に発明されたグローブ卿の燃料電池²⁾までさかのぼることができる。しかし、材料技術が未成熟なため、その後の100年間は燃料電池に関して目立った技術的進歩は見られなかった。燃料電池が実用化されたのは1965年のことであり、1 kWの固体高分子形燃料電池(PEFC)がアメリカのジェミニ5号に搭載されたのが最初であった³⁾。その後、燃料電池を地上用電源に適用するための検討が活発に行われた。

最初に势力的に研究開発が行われた燃料電池発電システムはりん酸形燃料電池(PAFC)を用いた業務用オンサイト燃料電池発電システム⁴⁾で、これまで300台以上の導入実績がある。このPAFCを用いた業務用オンサイト燃料電

池発電システムは技術的な完成度は高く実用化レベルにあるが、価格が50万円/kWと高いことと、発電効率(交流送電端効率)が40%(水蒸気の凝縮潜熱を含まない低発熱量(LHV)基準、以下同様)と低いことが理由で、市場に広く普及するまでには至っていない。現在は高発電効率を実現することによって普及を促進することを目的として、高温作動の溶融炭酸塩形燃料電池(MCFC)や固体酸化物形燃料電池(SOFC)を用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムの研究開発が積極的に進められている。

本稿では数百kWクラスの業務用オンサイト燃料電池発電システムに着目し、その開発状況を解説する。また、実用化に向けた課題を明らかにするとともに、将来展望についても簡単に触れることとする。

*日本電信電話(株)NTT環境エネルギー研究所(〒180-8585 武蔵野市緑町3-9-11)主任研究員。工博。昭和56年東北大学大学院工学研究科化学工学専攻博士前期課程修了。同年、日本電信電話公社入社、現在に至る。専門は、触媒、電池、燃料電池。

表1 PAFC, MCFCおよびSOFCの特徴の比較

燃料電池の種類		PAFC	MCFC	SOFC
電 解 質	電解質	りん酸(H ₃ PO ₄)	炭酸リチウム(Li ₂ CO ₃) 炭酸ナトリウム(Na ₂ CO ₃)	安定化ジルコニア (Y ₂ O ₃) _x (ZrO ₂) _{1-x}
	イオン導電種	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
	比抵抗	~1 Ωcm	~1 Ωcm	~1 Ωcm
	作動温度	190~200℃	600~700℃	~1000℃
	腐食性	強	強	—
	使用形態	マトリックスに含侵	マトリックスに含侵 又はペーストタイプ	薄膜状
電 極	触媒	白金系	不要	不要
	燃料極反応	H ₂ →2H ⁺ +2e ⁻	H ₂ +CO ₃ ²⁻ →H ₂ O+CO ₂ +2e ⁻	H ₂ +O ²⁻ →H ₂ O+2e ⁻ CO+O ²⁻ →CO ₂ +2e ⁻
	空気極反応	1/2O ₂ +2H ⁺ +2e ⁻ →H ₂ O	1/2O ₂ +CO ₂ +2e ⁻ →CO ₃ ²⁻	1/2O ₂ +2e ⁻ →O ²⁻ CO+1/2O ₂ →CO ₂
電池反応		H ₂ +1/2O ₂ →H ₂ O	H ₂ +1/2O ₂ →H ₂ O	H ₂ +1/2O ₂ →H ₂ O CO+1/2O ₂ →CO ₂
燃料(反応物質)		水素(炭酸ガス含有可)	水素, 一酸化炭素	水素, 一酸化炭素
燃料源		天然ガス, ナフサまでの軽質油, メタノール	石油, 天然ガス, メタノール, 石炭	石油, 天然ガス, メタノール, 石炭
化石燃料を用いたときの 発電効率		40~45%	50~65%	55~70%

表2 200kW マルチ燃料型燃料電池の仕様

項 目	特 性
定格出力(送電端交流出力)	200kW
定格出力電圧	400V
出力周波数	50Hz
出力相数	3 相
燃料	都市ガス(天然ガス), LPG, 燃料切替 可能
起動時間	3 時間
負荷追従性	0 kW→200kW 20秒
交流送電端効率 (LHV基準, 定格出力時)	40%(都市ガス), 39%(LPG)
熱出力(定格出力時)	1.76×10 ⁵ kcal/h
熱利用効率 (LHV基準, 定格出力時)	41%(都市ガス), 40%(LPG)
寸法	幅5.5m×奥行3.1m×高さ3.1m
重量	18t
パッケージ	一体型

2. 開 発 状 況

業務用オンサイト燃料電池発電システムに用いられるPAFC, MCFCおよびSOFCの特徴の比較を表1に示す⁵⁾。各燃料電池は燃料極, 電解質および空気極からなる単セルを構成要素とし, 多数の単セルから構成されたセルスタックにより発電を行う。以下に, 各燃料電池を用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムの開発状況について述べる。

2.1 PAFCを用いたシステム

PAFCを用いた100kWおよび200kWの業務用オンサイト燃料電池発電システムはこれまで多くの運転実績を有している⁶⁾。大部分のシステムは燃料電池の発電電力と排熱を利用する天然ガスを燃料としたコージェネレーションシステムであるが, 燃料の多様化と資源の有効利用の観点から, 液化石油ガス(LPG), 下水処理場の汚泥消化ガス, 生ごみからつくられたバイオガス, 廃メタノール, ビール工場の排水からつくられたバイオガス, 化学工場の副生水素等を燃料としたシステム⁷⁻¹²⁾も開発されている。また, 用途開発も活発に行われており, 防災対応設備, 高品質電源, ガスタービンの吸気冷却と組み合わせたシステム, 浄水場の直流・交流並列供給システム等の用途への適用¹³⁻¹⁶⁾が試みられている。

本稿では, PAFCを用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムの一例として, 常用燃料の都市ガス(天然ガス)の供給が遮断された場合にも, 瞬時にあらかじめ備蓄した予備燃料のLPGへの自動燃料切替を行うことによって所定の出力で発電を継続することが可能で, 常用・非常用兼用の高信頼電源としての用途に適している200kWマルチ燃料型燃料電池¹⁷⁾について紹介する。200kWマルチ燃料

型燃料電池の仕様を表2に示す。定格出力200kWにおける交流送電端効率は都市ガスによる発電時は40%, LPGによる発電時は39%でほぼ等しい。また, 定格出力200kWにおける熱利用効率も, 都市ガスによる発電時は41%, LPGによる発電時は40%でほぼ等しい。

200kWマルチ燃料型燃料電池の構成を図1に示す。常時は都市ガスを燃料とし, 脱硫器で硫黄成分を除去した都市ガスと水蒸気を改質器で反応させることによって, 発電に必要な水素を含む改質ガスをつくる。この改質ガスと空気をPAFCセルスタックの各単セルの燃料極と空気極にそれぞれ供給し, 改質ガス中の水素と空気中の酸素の電気化学反応を起こさせることによって発電を行う。都市ガスの供給が遮断され, 都市ガスの供給圧力があらかじめ設定された値よりも低下した場合には, この圧力低下をマルチ燃料型燃料電池の直近に設置した圧力トランスミッタで検

表3 250kW MCFC コージェネレーションシステムの仕様

項 目	特 性
定格出力(送電端交流出力)	250kW
定格電圧	380V/480V
周波数	50Hz/60Hz
交流送電端効率 (LHV 基準, 定格出力時)	47%
燃料	天然ガス, 消化ガス
排気回収効率 (LHV 基準, 定格出力時)	約 25% (水蒸気)
排ガス温度	370℃～430℃
NO _x	1 ppm 以下
排出物 SO _x	0.1ppm 以下
CO	10ppm 以下
騒音(離隔 10m)	60dB
寸法	幅 3.2m × 奥行 8.5m × 高さ 3.4m
重量	約 40ton

表4 300kW級MCFC・マイクロガスタービンハイブリッドシステムの仕様

項 目	特 性
MCFCの定格出力 (交流出力)	330kW
マイクロガスタービンの 定格出力	40kW
燃料	都市ガス(天然ガス)
MCFCの運転条件 (定格出力時)	運転圧力: 0.24MPa 燃料利用率: 80% 燃料改質 S/C: 3.0
MCFCの性能 (定格出力時)	スタック電圧: 187V(セル電圧: 0.749V) 電池電流: 1876A(電流密度: 1820A/m ²)
システムの発電端効率 (LHV基準, 定格出力時)	55%
システムの総合効率 (LHV基準, 定格出力時)	75%

出し、ただちに、LPG供給系の燃料切替弁の開放と都市ガス供給系の燃料切替弁の閉止を行い、燃料をLPGに自動的に切り替える。燃料切替後は改質器でLPGと水蒸気を反応させることによって水素を含む改質ガスをつくり、所定の出力で発電を継続する。同一改質器で都市ガスとLPGを瞬時に切り替えて燃料電池の発電に必要な水素をつくる点が本システムのポイントである。

燃料電池の排熱は160℃、0.6MPaの水蒸気と60～90℃の温水として取り出すことができ、給湯や暖房だけではなく、吸収式冷凍機の熱源に用いることによって冷房に利用することも可能である。

2.2 MCFCを用いたシステム

MCFCを用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムとしては表3に仕様を示すアメリカのフューエルセル・エナジー社の常圧タイプの250kW MCFC コージェネレーションシステム¹⁸⁾と表4に仕様を示すトヨタ自動車の加圧タイプの300kW級MCFC・マイクロガスタービンハイブリットシステム¹⁹⁾が現在稼動中である。250 kW MCFC コージェネレーションシステムと300 kW級

図1 200kWマルチ燃料型燃料電池の構成

図2 250kW MCFC コージェネレーションシステムの構成

図3 300kW級MCFC・マイクロガスタービンハイブリッドシステムの構成

MCFC・マイクロガスタービンハイブリッドシステムの構成をそれぞれ図 2¹⁸⁾ および図 3²⁰⁾ に示す。250kW コージェネレーションシステムでは内部改質器を MCFC セルスタックの内部に設け、発電に伴う発熱を反応熱として利用して、脱硫器であらかじめ硫黄成分を除去した脱硫燃料ガスを水蒸気と反応させることによって、MCFC セルスタックによる発電に必要な水素と一酸化炭素をつくる。水蒸気は MCFC セルスタックの空気極排ガスの一部を加

湿器に供給し、空気極排ガスの排熱を利用して外部から供給した水を気化させて脱硫燃料ガスとともに内部改質器に供給する。図2には示されていないが、約400℃の排ガスを排熱回収ボイラに供給することによって、8 kg/cm²の飽和水蒸気による排熱回収が可能であり、定格出力250kWでの排熱回収量は約170kg/hである²¹⁾。

一方、300kW級ハイブリットシステムは定格出力330kW(交流出力)のMCFCと定格出力40 kWのマイクロガスタービンから構成され、MCFCセルスタックとあらかじめ脱硫器で脱硫した都市ガス(天然ガス)を水蒸気と反応させて、MCFCセルスタックによる発電に必要な水素と一酸化炭素をつくる改質器が別個に設けられている。改質器での反応に必要な反応熱は触媒燃焼器でMCFCセルスタックの空気極排ガスと燃料極排ガスを燃焼させることによって改質器に供給する。また、MCFCセルスタックの高温の空気極排ガスをマイクロガスタービンに供給し、MCFCセルスタックに供給する空気の圧縮とタービン発電機による動力回収を行う。更に、マイクロガスタービンの460℃の排ガスを排熱回収ボイラに供給し、排ガスの排熱を利用して外部から供給した水を気化させることによって、水蒸気による排熱回収を行う²⁰⁾。排熱回収ボイラで生成した水蒸気の一部は改質器に供給し、都市ガスから水素と一酸化炭素をつくるのに利用する。

250kW MCFC コージェネレーションシステムは2002年12月現在で、商用機がアメリカ、日本およびドイツで11台稼動中であり²¹⁾、ほぼ実用化レベルにあるといつてよい。燃料には主に天然ガスが用いられており、定格出力の250kWにおけるシステムの交流送電端効率は47%である²¹⁾。一方、300kW級ハイブリットシステムは現在実証試験が行われているが、定格出力において分散型電源としては世界最高の交流発電端効率56%を達成している²⁰⁾。

2.3 SOFCを用いたシステム

SOFCを用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムの開発に関しては、現在のところ、アメリカのシーメンス・ウエスチングハウス・パワー社の独走状態が続いている。同社はこれまでに常圧タイプの100kW級SOFCコージェネレーションシステムと加圧タイプの220kW SOFC・マイクロガスタービンハイブリットシステムの実証試験を実施している²²⁾。

100kW級SOFCコージェネレーションシステムの構成を図4に示す²³⁾。また、SOFCセルモジュール内のSOFCセルスタックの断面を図5に示す²⁴⁾。SOFCセルモジュールは外径22mm、有効長150mm、有効表面積834cm²の図6に示す円筒構造形SOFC単セル1152本からなるSOFCセルスタック、SOFCセルスタック内の96本の円筒構造形SOFC単セルからなるセルバンドル列の間に設けられたスタック改質器、およびSOFCセルスタックの周辺部に設

図4 100kW級SOFCコージェネレーションシステムの構成

図5 SOFCセルモジュール内のSOFCセルスタックの断面

図6 円筒構造形SOFC単セル

けられたプレ改質器から構成される。燃料の天然ガス中の硫黄成分は触媒被毒によるプレ改質器、スタック改質器およびSOFCセルスタックの性能低下を引き起こすので、あらかじめ脱硫器で除去する。硫黄成分を除去した脱硫天然ガスはSOFCセルモジュール内部でリサイクルされた水蒸気を含むSOFCセルスタックの燃料極排ガスと混合した後、プレ改質器を経てスタック改質器に供給する。プレ改質器ではコーク析出を防止するために主に天然ガス中の炭素数が二以上の炭化水素を水蒸気と反応させることによって水素と一酸化炭素をつくり、スタック改質器ではプレ改質器で反応しなかった天然ガス中のメタンを水蒸気と反応させることによって、水素と一酸化炭素をつくる。二種類の改質器での反応は吸熱反応であるが、反応に必要な反応熱はSOFCセルスタックの発電に伴って発生した熱ですべてまかなうことができるので、外部から熱を新たに加える必要はない。プレ改質器およびスタック改質器で生成した水素および一酸化炭素とSOFCセルスタックの燃料極排ガ

図7 220kW SOFC・マイクロガスタービンハイブリッドシステムの構成

スおよび空気極排ガスを燃焼させることによって生成させた高温の燃焼排ガスとを低温再生器および高温再生器で熱交換させることによって、予熱した空気をSOFCセルスタックの各単セルに供給し、SOFCセルスタックによる発電を行う。また、空気の予熱を行った後の燃焼排ガスの排熱を利用して、温水による排熱回収を行う。

100kW SOFC コージェネレーションシステムは2万時間を越える累積発電時間を達成している²²⁾。実証試験では105～110kWの送電端交流出力で発電して電力系統に電力を供給するとともに、65kWに相当する温水を地域暖房システムに供給した²⁴⁾。直流発電端効率は53%と高かったが、7～8kWの補機電力と92.5%のインバータ効率のために、交流送電端効率は設計値の47%より低い46%であった²⁴⁾。

220kW SOFC・マイクロガスタービンハイブリットシステムの構成と設計値をそれぞれ図7と表5に示す²⁵⁾。前述した常圧タイプの100kW級SOFCコージェネレーションシステムと同じ1152本の円筒構造形単セルからなるSOFCセルスタックと定格出力47kWのマイクロガスタービンを組み合わせることによってハイブリットシステムを構成する。図7に示したように、脱硫器で脱硫された加圧天然ガスとマイクロガスタービンの圧縮機で0.30MPaに加圧した後に再生器でタービン排ガスと熱交換することによって予熱した加圧空気とをSOFCセルスタックの各単セルに供給し、0.30MPaの加圧条件下で、SOFCセルスタックによる発電を行う。発電に必要な水素と一酸化炭素は100kW級SOFCコージェネレーションシステムと同様に、SOFCセルモジュール内部に設けたブレ改質器およびスタック改質器で天然ガスと水蒸気を反応させることによって生成させる。また、0.30MPa、850℃のSOFCセルスタック

表5 220kW SOFC・マイクロガスタービンハイブリッドシステムの仕様

項 目	特 性
セル電流	267A
セル電圧	0.610V
燃料	天然ガス
圧縮比	2.9 : 1
空気の吸込み速度	0.58kg/s
マイクロガスタービン入口ガス温度	780℃
SOFCの定格出力(直流出力)	187kW
SOFCの定格出力(交流出力)	176kW
マイクロガスタービンの定格出力	47kW
システムの定格出力(送電端交流出力)	217kW
交流送電端効率(LHV基準, 定格出力時)	57%

クの燃焼排ガスをダブルシャフトのマイクロガスタービンに供給し、マイクロガスタービンによる発電を行う。実証試験ではSOFCの直流出力で170kW、マイクロガスタービンの交流出力で20kWの発電を行い、システムの交流送電端効率52%を達成している²²⁾。実証試験結果が設計値よりかなり低くなっているが、これはSOFCとマイクロガスタービンのマッチングが悪いことに起因するものと考えられ、機器選定の見直し、制御方法の最適化等により、今後改善されていくものと思われる。

3. 実用化に向けた課題

3.1 PAFCを用いたシステム

PAFCを用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムの課題としてはシステムの低価格化や高効率化の余地が少ないことから、システム全体として経済性を満足するトータルシステムの開発が挙げられる。工場排液および生ゴミからつくられたバイオガス、下水汚泥からつくられた消化ガス、排燃料、副生水素等の未利用燃料を用いたコンパクトで高効率なシステムの開発を今後重点的に進めていくことが導入促進のために必要である。

3.2 MCFCを用いたシステム

MCFCを用いた業務用オンサイト燃料電池システムの課題としてはMCFCセルスタックの長寿命化が挙げられる。MCFCセルスタックの空気極は酸化ニッケルをベースとしているため、作動雰囲気中で酸化ニッケルが二酸化炭素と反応し、ニッケルがイオン化して電解質中に溶出する。このニッケルイオンが電解質中で還元され、ニッケルとして析出することによって、最悪の場合にはニッケル短絡を引き起こす。ニッケルの溶出量は空気極の二酸化炭素分圧に比例するので、加圧システムでは特に重要な問題である。

MCFCセルスタックの長寿命化のためにはMCFCセルスタックの性能を維持しながら、ニッケルの溶出を抑えることが可能なニッケル粒子のコーティング技術の開発が必要である。また、ニッケルの溶出が酸性溶解を示すことから、電解質のアルカリ度を高めることによってMCFC

セルスタックの長寿命化が可能であり、リチウムとナトリウムの組成の最適化とアルカリ土類炭酸塩(炭酸バリウム、炭酸カルシウム等)の添加による炭酸塩組成の改良も必要である。更に、電解質保持板へのニッケルの析出形態がMCFCスタックの寿命に影響することから、電解質保持板の空隙率を増加させる改良もMCFCセルスタックの長寿命化に有効である。

3.3 SOFCを用いたシステム

SOFCを用いた業務用オンサイト燃料発電システムの課題としてはSOFC単セルの高効率化と低コスト化およびSOFCの低温作動化が挙げられる。SOFCセルスタックの性能は単セルの電流-電圧特性によって決まるが、現在、必ずしも満足できる性能を有しているとはいえない。特に、電解質には安定化ジルコニア(YSZ)が一般的に使用されているが、その酸素イオン導電性は高いとはいえない。SOFCセルスタックの高効率化のためにはYSZに代わる高酸素イオン導電性を有する電解質材料、電解質材料にあった燃料極材料および空気極材料の研究開発を行い、単セルの電流-電圧特性を向上させる必要がある。

単セルはシステムコストのうちの大きな部分を占めており、その低コスト化はシステムの導入促進のために不可欠である。このために、量産に適した安価な製造方法の確立と高価な希土類元素の空気極と単セル間を接続するインタコネクタへの使用量を低減することが必要である。

SOFCの低温作動化は金属等の安価な材料の使用によるシステムコストの低減を実現するうえで重要な課題である。高温排熱を必要としないコージェネレーション用の用途では、特に、低温作動化が効果的である。低温作動化により排熱温度も低下するので、排熱利用設備の簡略化が期待でき、排熱利用設備も含めたトータルシステムコストの低減が可能となる。しかし、SOFCセルスタックの高温排熱を利用してマイクロガスタービンで発電を行うことによって高効率発電の実現を目指す発電効率重視の用途には、低温作動化は必ずしも好ましいものであるとはいえない。低温作動化の目標温度は、燃料からSOFCセルスタックの発電に必要な水素や一酸化炭素をつくるのにSOFCセルスタックの排熱を利用することを考慮すると、800℃前後が妥当であるといえる。低温作動化の実現のためには低温で高酸素イオン導電性を有する電解質材料、低温で高性能な燃料極材料および空気極材料の研究開発が必要である。

4. 将来展望

業務用オンサイト燃料電池発電システムの普及には、高発電効率の実現とシステムコストおよびランニングコストの低減による経済性の向上がポイントとなると考えられる。

PAFCを用いた業務用オンサイト燃料電池発電システム

は技術的には実用化レベルに到達しているが、経済性の面でその用途は限定される。PAFCを用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムの主な用途先としては工場廃液、生ゴミ、下水汚泥等の廃棄物からつくられたバイオガスや消化ガス、排メタノールのような排燃料、副生水素等の燃料コストが不要な未利用燃料を使用することができる食品工場、ホテル、下水処理場、化学工場等が想定される。

MCFC又はSOFCを用いた業務用オンサイト燃料電池発電システムは発電効率が高いために発電効率重視の用途に適している。マイクロガスタービンと組み合わせて加圧タイプのハイブリッドシステムを構成することによって、55%以上の高い交流送電端効率が実現できれば、工場、ビル等の電源としての市場が広がっていくものと考えられる。

5. おわりに

業務用オンサイト燃料電池発電システムが地球環境保護とエネルギー資源の有効利用に貢献するためには、MCFCやSOFCを用いた発電効率の高いシステムの実現が不可欠であり、これらのシステムの早期実用化が待たれる。また、業務用オンサイト燃料電池発電システムを広く普及させるためには、トータルシステムコストの低減や高付加価値化のための用途開発に今後重点的に取り組んでいくことが必要である。

参考文献

- 1) Honma, T.: *Hyomengijutsu*, **53**, 566(2003)
- 2) Takehara, Z.: *Nenryo denchi to sono ouyou*, Tekunoshisutemu (2000), p. 11
- 3) *ibid.* p.12
- 4) *Nenryo denchi no gijutu*, Ohm sha(2002), p.129
- 5) *ibid.* p.10
- 6) *ibid.* p.132
- 7) Hashimoto, K., Tanaka, Y., Nakagawa, K., Kusama, N.: *Dai 9 kai nenryo denchi shinpojiumu kouenn yokoushu*(2002), p.317
- 8) Yago, K.: *Clean Energy*, **12**, No.6, 68(2003)
- 9) Akiyama, K.: *ibid.* **11**, No.2, 6(2002)
- 10) Araki, T.: *The Journal of Fuel Cell Technology*, **1**, No.1, 12(2001)
- 11) Koderia, S.: *ibid.*, **1**, No.1, 20(2001)
- 12) Miki, H., Yamamoto, H., Ganke, T., Satake, I., Yoshioka, H., Nogi, T.: *Dai 4 kai nenryo denchi shinpojiumu kouenn yokoushu* (1997), p.91
- 13) Ootsu, T.: *The Journal of Fuel Cell Technology*, **1**, No.1, 24(2001)
- 14) Itou, T.: *Clean Energy*, **9**, No.9, 10(2000)
- 15) Sone, T.: *Clean Energy*, **9**, No.8, 1(2000)
- 16) Nagata, Y., Kaneda, K., Watanabe, M.: *Dai 5 kai nenryo denchi shinpojiumu kouenn yokoushu*(1998), p.1
- 17) Take, T., Uekusa, T.: *Clean Energy*, **9**, No.8, 5(2000)
- 18) Nakata, T.: *The Journal of Fuel Cell Technology*, **1**, No.4, 39(2002)
- 19) Kondo, M.: *The Journal of Fuel Cell Technology*, **3**, No.1, 23(2003)
- 20) Kondo, M.: *Clean Energy*, **12**, No.5, 55(2003)
- 21) Nakada, T., Mizuta, T., Uematsu, H., Abe, S.: *The Journal of Fuel Cell Technology*, **3**, No.1, 27(2003)
- 22) George, R. A., Casanova, A. C., Veyo, S. E.: "Status of the

- 日本語表記参考文献

- 6) 電気学会・燃料電池発電次世代システム技術調査専門委員会編：燃料電池の技術，オーム社(2002)，p.132
- 7) 橋本一男，田中裕二，中川健，草間伸行：“病院におけるLPガス燃料電池システムの導入事例”，第9回燃料電池シンポジウム講演予稿集(2002)，p.317
- 8) 矢後賢次：クリーンエネルギー，**12**，No. 6，68(2003)
- 9) 秋山幸司：クリーンエネルギー，**11**，No.2，6(2002)
- 10) 荒木敏彦：燃料電池，**1**，No. 1，12(2001)
- 11) 小寺栄：燃料電池，**1**，No. 1，20(2001)
- 12) 三木啓史，山本博隆，願化敏彦，佐竹一郎，吉岡浩，野木俊秀：“副生水素有効利用による省エネシステム”，第4回燃料電池シンポジウム講演予稿集(1997)，p.91
- 13) 大津徹：燃料電池，**1**，No. 1，24(2001)
- 14) 伊藤俊之：クリーンエネルギー，**9**，No. 9，10(2000)
- 15) 曾根忠：クリーンエネルギー，**9**，No. 8，1(2000)
- 16) 永田裕二，金田研一，渡辺政人：“東芝におけるリン酸型燃料電池の商用化状況”，第5回燃料電池シンポジウム講演予稿集(1998)，p.1
- 17) 武哲夫，植草常雄：クリーンエネルギー，**9**，No.8，5(2000)
- 18) 中田武男：燃料電池，**1**，No. 4，39(2002)
- 19) 近藤元博：燃料電池，**3**，No. 1，23(2003)
- 20) 近藤元博：クリーンエネルギー，**12**，No. 5，55(2003)
- 21) 中田武男，水田時緒，上松宏吉，安部成一：燃料電池，**3**，No. 1，27(2003)

*

*

*

*

*

(消費税別)

送 料 (当方負担)

(34)