

燃料電池の新展開

Status of Development and Sales Strategy of Fuel Cell Systems

青木 信 AOKI, Makoto

堀内 義実 HORIUCHI, Yoshimi

富士電機は、りん酸形燃料電池（PAFC）の機能の高度化と用途の拡大に取り組んでいる。国内では、独立給電による災害対応機能を持つ機種とバイオガス発電に対応した機種を中心に納入を進めている。海外では、燃料電池の低酸素濃度の排ガスを利用する防火用途に適用し、納入を進めている。また、次世代の高効率コージェネレーションシステムとして、50%を超える発電効率を目標に固体酸化物形燃料電池（SOFC）についても開発に取り組み、実証機の設計・製作と性能評価を進めている。

Fuji Electric has been working to improve the functions of phosphoric acid fuel cells (PAFCs) and expand their applications. For the Japanese market, we are mainly offering models that have grid independent power supply mode for emergency and models that generate electricity from biogas. For the market outside Japan, we are providing the PAFCs for fire-prevention equipment that utilizes low oxygen concentration exhaust emitted from a fuel cell system. We have also been developing solid oxide fuel cells (SOFCs) for next-generation, high-efficiency cogeneration systems. We are designing, manufacturing and evaluating the performance of them to aim for a power generation efficiency exceeding 50%.

① まえがき

2015年7月に資源エネルギー庁から発表された「長期エネルギー需給見通し」では、エネルギー供給の安全性、安定供給、経済効率性および環境適合の観点から徹底した省エネルギーが必要とされており、燃料電池を含むコージェネレーションシステムの導入の加速が期待されている。燃料電池は他のコージェネレーションシステムと比較して、多様な燃料を利用できることに加えて、小容量でも発電効率が高くランニングコストやCO₂排出量を低減できること、環境性に優れていることなど、多くの特徴を持っている。中でも、りん酸形燃料電池（PAFC）は124,000時間（約15年）以上に及ぶ長期の商用での運用実績が豊富にあり、中小規模のコージェネレーションシステムとして実用的な選択肢となっている。また、りん酸形燃料電池よりもさらに発電効率が高い固体酸化物形燃料電池（SOFC）が、業務用として実用化が間近になってきた。

富士電機は、1998年に100kWりん酸形燃料電池の販売を開始した。エネルギーコストが比較的割高な中小規模の施設向けに、発電容量100kWのコージェネレーションシステムに特化して、調達や生産、エンジニアリングの効率化を図ってきた。燃料電池本体の長寿命化や設置性の向上にも取り組み、2010年から周辺設備を含めてオールインワンパッケージ化するとともに、寒冷地にも対応したりん酸形燃料電池「FP-100i」を販売している（図1）。

本稿では、FP-100iの仕様と用途展開を中心に、次世代の高効率コージェネレーションシステムとして開発中の固体酸化物形燃料電池についても述べる。

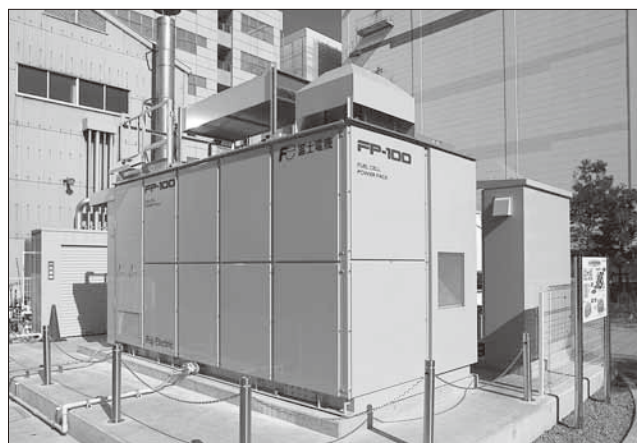


図1 りん酸形燃料電池「FP-100i」

② 「FP-100i」の仕様とオプション機能

表1にFP-100iの主な仕様を示す。燃料に関しては、改質系機器を自社で開発している強みを生かして、インフラが整備されている都市ガスのほか、再生可能エネルギーとして注目されているバイオガス（消化ガス）に対応した機種も展開している。さらに、次世代のインフラとして期待されている水素での発電が可能な機種もラインアップしており、48%という高い発電効率を実現している。

コージェネレーションシステムとしての用途に加え、オプション機能として、LPガスをバックアップ燃料として独立給電が可能な災害対応型、クリーンな低酸素濃度空気（1）の供給が可能な火災予防対応型などを用意している。FP-100iの主なオプションラインアップを表2に示す。

表1 「FP-100i」の主な仕様

項 目	仕 様		
燃 料	都市ガス	バイオガス	純水素
出 力	105kW（発電端）		
出力電圧/周波数	210V/50Hz または 60Hz		
発電効率（LHV）*	42%	40%	48%
熱出力	123kW	116kW	99kW
総合効率（LHV）	91%	84%	93%
排ガス	NOx：5 ppm 以下 SOx，ダスト：検出限界以下		NOx，SOx， ダスト：なし
外形寸法	W2.2 × D5.5 × H3.4（m）		
質 量	14t		13.5t

* LHV：ある一定の状態に置かれた単位量の燃料が断熱的に完全燃焼し、その燃焼ガスを元の温度まで冷却したときに放散される熱量を“発熱量”という。発熱量には、水蒸気の潜熱を含める高位発熱量（HHV：Higher Heating Value）と、これを含めない低位発熱量（LHV：Lower Heating Value）がある。

表2 「FP-100i」のオプションラインアップ

準拠基準	燃 料	機 能				備 考
		熱電 供給	独立 給電	燃料 切替	低酸素 空気供給	
JIS 適合	都市ガス	○	—	—	—	災害対応型
	消化ガス	○	—	—	—	
	純水素	○	—	—	—	
CE 適合	天然ガス	○	—	—	—	火災予防対応型
	—	○	—	—	○	
	純水素	○	—	—	—	

表3 災害対応時の運転切替動作

状 態	常用時	停電時	停電＋都市ガス遮断時
切替動作	系統に連系して運転する	系統から解列し、その後、特定負荷に給電する	系統から解列し、燃料切替を経て、特定負荷に給電する
出 力	105kW	100kVA	70kVA
燃 料	都市ガス	都市ガス	LPガス（50kg ボンベで3h）
運 転	系統連系運転	自立運転	自立運転
電力供給範囲			

③ 国内の納入状況と導入事例

国内におけるコージェネレーションシステムの導入量は、燃料価格高騰の影響により2004年をピークに減少傾向にあったが、2011年3月の東日本大震災以降はエネルギーセキュリティへの関心が高まり回復傾向にある。富士電機では、電気や都市ガスの供給が停止した場合でも燃料を瞬時にLPガスに切り替えて重要負荷への独立給電が可能な災害対応型を開発し、災害発生時の拠点となる病院や公共施設などに納入している。

表3に、災害対応時の運転切替の動作を模式的に示す。通常は商用の電力系統に連系して運転している。停電が発生した場合には、自動的に系統から解列し、^{（注）}いったん待機運転モードに移行した後、停電を検知してから約30秒で自立運転が開始できる。待機運転モードとは、燃料電池は単独で発電を継続し、発電した電力は燃料電池発電設備内で消費する運転モードである。自立運転状態で負荷に接続した場合には、過電流保護機能、負荷保護機能およびリミッタ機能により、突入電流が発生する回転機類の連続投入を可能にしている。都市ガスの供給が止まった後、LPガスでの運転時には出力は70kVAに制限されるが、50kgボンベで約3時間の給電が可能である。

常時の電気・熱の供給に加えて、非常時には太陽電池や蓄電池とも連動して重要負荷への独立給電を可能とした燃料電池設備を、2015年度に富士電機の東京工場に設置した。さらに、新たな用途展開として、燃料電池の排ガスがクリーンであることを生かし、CO₂濃度が大気の約150倍高い排ガスの一部を、併設した植物工場実験施設に供給して植物育成環境の制御に活用している（図2、図3）。

一方、2012年7月に施行された「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（FIT）が追い風となり、下水処理

〈注〉 解列：電力系統から発電設備などを切り離すこと

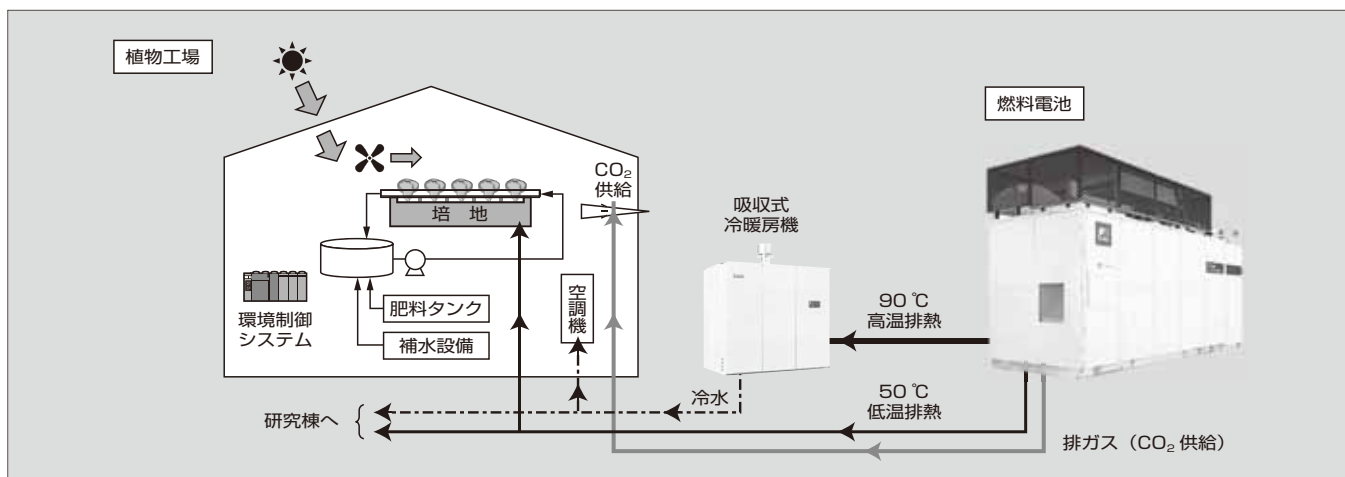
図2 東京工場におけるコージェネレーションシステムと植物工場へのCO₂の供給

図3 東京工場に設置した燃料電池

場への導入が進んでいる。カーボンニュートラルである下水消化ガスで発電した場合、発電した電力を1kWh当たり39円で20年間売電することができる。発電効率が高い燃料電池は、同規模の他方式の発電装置と比較して、より多くの電力を発生させることができるので、ライフサイクルでのメリットの観点から燃料電池が選択される事例が増えている。2014年度は4か所に合計10台を、2015年度は1か所に8台を納入しており、引き続き活発な引き合いが見込まれる。

④ 海外の納入状況と導入事例

海外では、家庭用に先行して業務用燃料電池の導入が進んでいる。富士電機は2010年に海外向けに出荷を開始し、これまでドイツを中心に、韓国、米国、南アフリカの4か国に合計11台を納入した。

ドイツは、2022年までに国内の原子力発電所17基を全て停止することを決定した。しかし、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などの再生可能エネルギーの導入が進むにつれ、電力系統の不安定化が問題となってきた。これを緩和する手段として、出力調整が容易なコージェネレーションシステムに期待が寄せられている。富士電機で

は、コージェネレーションシステムの新たな付加価値として、ドイツで普及しつつある室内の酸素濃度を低減することで火災を予防する防火システムに、燃料電池から排出されるクリーンな低酸素濃度の空気を適用する取り組みを行い、倉庫やデータセンターへ納入した。燃料と空気を燃焼させて発電するエンジン発電機とは異なり、燃料電池では電解質によって隔てられた燃料と空気を電気化学反応で発電する。このため、空気に関しては、発電の過程で酸素だけが選択的に消費され、排出される空気は有害な燃焼排ガスを含まない低酸素濃度の空気となる。数千mの高地レベルの低酸素分圧下では、建材や紙などに着火しないことに加え、人体に直ちに影響は及ぼさない効果が得られる。図4に示すとおり、従来の膜分離・吸着分離を利用して空気から窒素を作り供給することで室内の酸素濃度を低減するシステムに比べ、コンプレッサによるエネルギー消費（ランニングコスト）や騒音・振動を抑え、環境性が高く高効率なシステム構成を実現している。図5にドイツでの実証機の設置状況を示す。

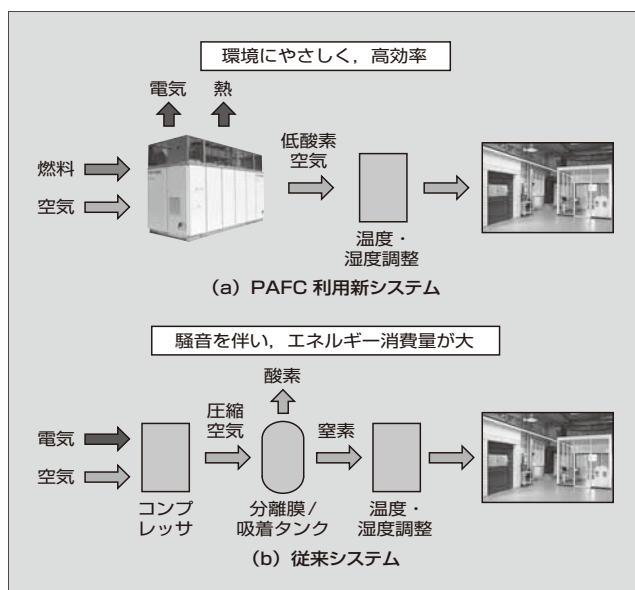


図4 室内の酸素濃度を低減するシステムの比較

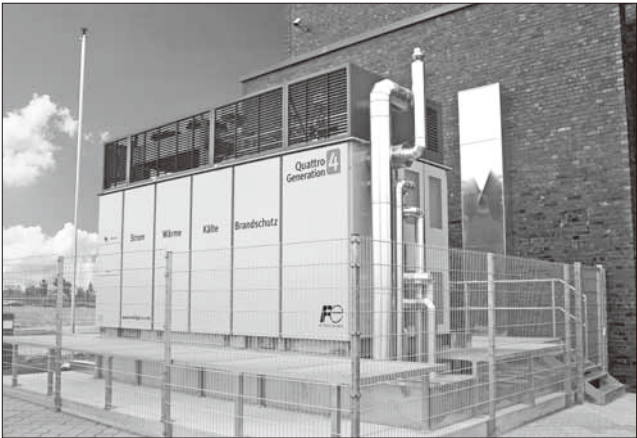


図5 ドイツ・ヴィスマールに設置した防火用実証機

2016年1月には、低酸素防火システムのパートナーとしてドイツでの拡販を進めてきたN₂telligence社を買収した。同社の特許と販売網を活用して、ドイツをはじめ欧州での拡販を加速していく。EUで販売される製品にはCEマークの貼付が義務付けられる。燃料電池は、電気と機械が一体となった一種の化学プラントで、対象となるEU指令も多岐にわたる。国内の燃料電池でCEマーク適合の前例がなかったが、装置の改造を含めて対処を進め、第三者認証機関から適合証明を得た。また、ドイツの系統連系規格VDE 4105についても、第三者認証機関による適合認証を取得済みである。

ドイツでは、都市ガス中に10%程度の窒素を含む低カロリーガスが流通している地域も多い。燃料電池内では、燃料ガスを燃料処理装置により水素を多く含むガスに変換した後、燃料電池本体に供給し発電を行っている。従来の燃料処理装置では、窒素が多い燃料ガスを使うと、副生成物として燃料電池本体にとって有害なアンモニアを生成していた。そこで、新規触媒の選定などの改良を行い、窒素が多い燃料ガスでもアンモニアを発生させることなく水素を多く含むガスに転換可能な燃料処理装置を開発した。今後、低カロリーガスが流通している地域への普及が期待できる。

韓国では、「再生可能エネルギー義務割当制度」(RPS)や新規建屋への再生可能エネルギーの導入義務化などの政策が追い風となり、業務用燃料電池の導入が拡大している。富士電機は、2014年に韓国向けに出荷を開始し、これまでに商業ビルとデータセンターに納入した。

南アフリカは、“BRICS”の一角として成長が期待される一方、発電施設の老朽化などで電力不足が深刻化している。企業では、防衛手段として自家発電の導入を積極的に進めている。富士電機は、2014年に南アフリカのオフィスビルに燃料電池を納入した。平常時は系統に連系してビル内に送電し、計画停電時には重要負荷に電力を供給する独立給電機能を持っている。

富士電機では、これらの海外納入機に対してインターネットを用いたクラウド型燃料電池遠隔監視システムやメンテナンスシステムを開発し、日本から状態監視やソフ

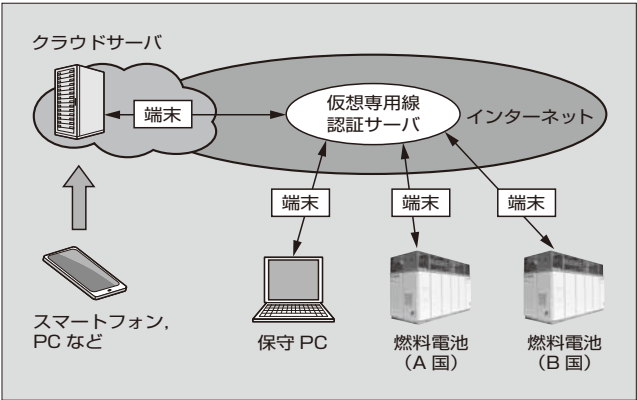


図6 クラウド型燃料電池遠隔監視システムとメンテナンスシステム

トウェアの変更などを行っている(図6)。クラウドサーバへの稼働データの保存と、保守PCから燃料電池ソフトウェアの遠隔更新を同時に実現し、携帯端末からクラウドサーバにログオンすれば、いつでもどこでも稼働データの監視が可能である。本システムを活用し、燃料電池の安定稼働を実現している。

⑤ 固体酸化物形燃料電池

りん酸形燃料電池に加え、固体酸化物形燃料電池の開発を進めている(図7)。高い発電効率が得られることが最大の特徴であり、表4に示す実証機の目標仕様から数十kW規模の業務用コージェネレーションシステムを想定し、2014年度から国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術



図7 固体酸化物形燃料電池実証機の外観イメージ

表4 固体酸化物形燃料電池実証機の目標仕様

項目	目標仕様
発電出力	50kW級
発電効率(LHV)	50%以上
排熱回収効率(LHV)	30%以上(温水出力)
総合効率	80%以上
装置寸法	W5.0×D2.2×H2.8(m)

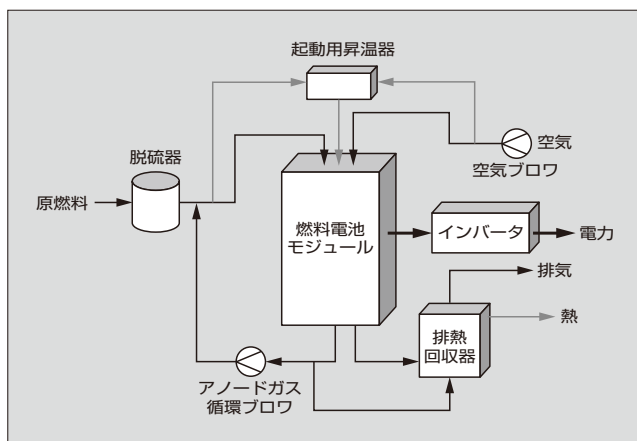


図8 固体酸化物形燃料電池の機器構成

総合開発機構（NEDO）の支援を受けて開発を進めている。回収した熱を全て利用した際の総合効率はいん酸形と同等であるが、熱に比べて電気の出力割合が大きい。そのため、熱利用がそれほど多くない設置サイトでも経済的で効率的な運用が可能である。

2014～2015年度に常圧型電池モジュールなどの要素技術開発を行い、2016～2017年度にコージェネレーションシステムの実証機的设计・製作と性能評価を進めている。開発中の固体酸化物形燃料電池の機器構成を図8に示す。本システムは、内部改質型のセルスタックを採用している。そのため、機器数が少なくシンプルな構成で、主要機器は、脱硫器、燃料電池モジュール、排熱回収器およびアノードガス循環ブロウである。燃料電池モジュールの燃料側の排ガス（アノードガス）を循環させることにより、電池反応によって生成した水を循環し、燃料ガスの改質反応に必要なスチームを供給する。これにより、運転中に外部からの水の補給を不要とする水の自立を図るとともに、システム全体での燃料の利用率を高めることが可能となり、高い発電効率を実現している。水の自立は、水処理装置のメンテナンス間隔を長くし、メンテナンスコストを抑制する上で必要であり、実用化には必須な技術である。また、燃料電池モジュールの最適設計と3レベルインバータの採用による高効率化や、3Dモデルを使った熱流体解析に基づくパッケージ内の機器配置設計など、高い発電効率を目指し開発を進めている。

6 あとがき

りん酸形燃料電池については、電源セキュリティ機能や低酸素濃度の空気を供給する防火機能などの付加価値を生

かすとともに、バイオガスや水素など多様な燃料への対応を強みに拡販していく。一般のコージェネレーションシステムの市場には、りん酸形に加え、発電効率の高い固体酸化物形燃料電池を投入していく。

長年培った燃料電池技術を活用し、燃料電池の特長を生かした各種アプリケーションの開発と適用拡大を進め、日本だけでなく世界に向けて、地球温暖化防止および環境保護、持続可能な社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 千田仁人ほか. PAFCのポテンシャルと導入実績. 燃料電池. 2010, vol.9, no.4, p.11-17.
- (2) 堀内義実, 吉岡浩. 停電時対応燃料電池について. クリーンエネルギー. 2012, vol.21, no.1, p.21-25.
- (3) 岡嘉弘. 低酸素濃度空気供給燃料電池発電設備について. 電機. 2013, vol.760, p.41-44.
- (4) 腰一昭ほか. 新規ニーズに対応した燃料電池. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.2, p.134-138.
- (5) 吉岡浩. 富士電機のりん酸形燃料電池の開発. 日本エネルギー学会誌. 2013, vol.92, no.11, p.1065-1070.
- (6) 黒田健一, 吉岡浩. りん酸形燃料電池の稼働状況について. 燃料電池. 2015, vol.14, no.3, p.10-16.
- (7) 黒田健一. 燃料電池. 電設技術. 2015, vol.61, no.2.
- (8) 黒田健一. 富士電機の水素事業への取り組み. 電機. 2015, vol.778, p.32-35.
- (9) 大内崇ほか. りん酸形燃料電池の適用事例. 日本ガスタービン学会誌. 2016, vol.44, no.4, p.259-264.
- (10) 青木信ほか. 富士電機におけるりん酸形燃料電池の展開. 燃料電池. 2016, vol.16, no.1, p.42-48.
- (11) 大栗延章ほか. 業務用SOFCの開発状況. 第23回燃料電池シンポジウム講演予稿集. 2016, p.73-74.



青木 信

燃料電池および無機材料の開発、エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部新エネプラント事業部燃料電池技術部。工学博士。日本化学会会員。



堀内 義実

燃料電池および新エネルギーのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部新エネプラント事業部燃料電池技術部。電気学会会員。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。