りん酸形燃料電池「FP−100i」

Development of the FP−100i Phosphoric Acid Fuel Cell

長谷川 雅一 Masakazu Hasegawa　　堀内　義実 Yoshimi Horiuchi

富士電機は，1998 年から 100 kW りん酸形燃料電池の商品機を 25 台納入した。累積運転時間は，当初の開発目標の寿命（4 万時間）を超え，信頼性・耐久性が実証されている。2009 年度に新たに開発した普及型りん酸形燃料電池「FP−100i」の販売を開始した。FP−100i は周辺設備を一体化してユーザの利便性の向上と，装置の設置環境の拡大を図っている。今後の普及拡大へ向けた展開では，災害対応機能付き燃料電池や純水素や副生水素利用の燃料電池のほかに，電気自動車用の水素ステーションに水素を供給できる水素供給機能付き燃料電池などの用途開発を進めている。

Since 1998, Fuji Electric has delivered twenty-five 100 kW phosphoric acid fuel cell units. The cumulative operation time of these fuel cells has exceeded the lifespan targeted by the original development (40,000 hours), and their reliability and durability have been proven. In 2009, Fuji Electric began selling the “FP-100i,” a newly developed low-cost phosphoric acid fuel cell. Integrated with peripheral devices, the FP-100i features improved ease-of-use and is able to support installation in a wider range of environments. As part of future efforts to popularize and expand usage of the FP-100i, application development will be promoted for fuel cells equipped with disaster response capability, fuel cells that use pure hydrogen or by-product hydrogen, fuel cells equipped with hydrogen supply capability for supplying hydrogen stations for electric vehicles, and so on.

1　まえがき

燃料電池は，水素と酸素との化学反応から直接電気を発生させる発電装置であり，次世代エネルギーの一つとして大きな期待が寄せられている。

燃料電池のメリットは，燃料を化学反応させることにより直接電気を取り出すため，エンジンやガスタービンなどの従来の内燃機関のように燃料を燃焼反応させ，発電機にて電気を取り出す方式と比べロスが少なく，発電効率が高いことである。さらに，大規模発電所と比べ消費者の近くで発電する分散型電源として使用できるので，エネルギー損失が少なく，かつ，排熱利用ができることである。燃料電池は都市ガスなどを利用し，装置内で水素に改質（変換）したのち，その水素を燃料として発電する。つまり水素があれば発電ができ，その水素は広い範囲の燃料から改質ができるため燃料の多様性もメリットである。このため，燃料電池は地球温暖化防止に対する世界的な関心の高まりにより，温室効果ガス削減のツールの一つとして期待され，開発と実用化に向けた取組みが活発になっている。

富士電機は，100 kW りん酸形燃料電池を販売してきた。さらなる普及を目指し，新たにりん酸形燃料電池「FP−100i」を開発し 2009 年度から販売を開始した。本稿では，富士電機が納入したりん酸形燃料電池の現状と，最新型の FP−100i の特徴および今後の展開について述べる。

2　りん酸形燃料電池の現状

富士電機は，1973 年にりん酸形燃料電池の開発に着手した。オンサイト向けにはこれまで 50 kW，100 kW，500 kW を開発し，ガス会社および電力会社の協力の下 100 台を超えるフィールドテストを実施してきた。これらの経験とノウハウを反映した 100 kW 商品機の販売を 1998 年から開始し，現在までに 25 台を出荷している。

表 1 に 100 kW 商品機の納入実績とその累積運転時間および運転状況を示す。主な納入先は，病院，ホテル，オフィスビル，下水処理場などである。電気と温水を利用するコージェネレーションシステムとして使われている。

販売当初のオーバーホール周期（セルスタック，改質器などの主機の交換時間）が 40,000 時間の商品機は，現在運転中のすべてのサイトで，目標の 40,000 時間を達成した。その中でもホテルへ納入した装置はオーバーホールを実施し，富士電機の最長記録となる累積 91,568 時間を達成した。

2006 年からは，オーバーホール周期が 60,000 時間対応機を販売している。また，2006 年の「消防法」の改正により，燃料電池が非常電源として位置付けられるようになった。2008 年に，富士電機の 100 kW 商品機が消防法認定の第一号を取得した。常時はコージェネレーションとして運用し，災害発生時は非常電源として特定負荷への給電を継続できるようになっている。認定試験では，いかなる方向からの水の飛まつによっても不具合が発生しないという厳しい防噴流形防水試験に合格している。2009 年には FP−100i が国内で販売している製品やサービスを対象とし，特に優れた新製品，サービスを表彰する“日経優秀製品・サービス賞　優秀賞”を受賞した。

このように富士電機のりん酸形燃料電池の信頼性や耐久性は，実サイトで実証されている。

3　りん酸形燃料電池の特徴

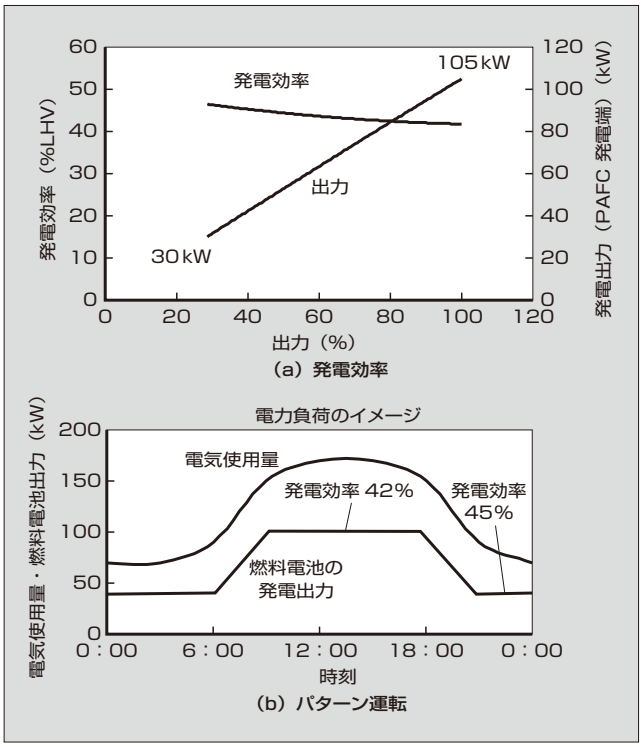
燃料電池は，使用する電解質の種類によって，アルカリ形，固体高分子形，りん酸形，溶融炭酸塩形，固体酸化物

表 1　100 kW りん酸形燃料電池商品機の納入実績と稼動状況[(1)]*

納入先	燃　料	オーバーホール周期時間（h）	納入時期	累積運転時間（h）	運転状況	オーバーホール実施状況
病　院	都市ガス（13 A）	40,000	1998 年 8 月	44,265	終　了	
ホテル			1999 年 3 月	91,568	終　了	実施済
大　学			2000 年 4 月	41,735	終　了	
オフィスビル			2001 年 3 月	42,666	終　了	
オフィスビル			2001 年 3 月	48,734	終　了	
オフィスビル			2000 年 7 月	64,117	運転中	実施済
オフィスビル			2000 年 7 月	48,269	運転中	
実証施設	バイオガス		2001 年 7 月	10,952	終　了	
研修施設	都市ガス（13 A）		2001 年 12 月	66,442	運転中	実施済
下水処理場	消化ガス		2002 年 3 月	68,157	運転中	実施済
			2002 年 3 月	68,391	運転中	実施済
病　院	都市ガス（13 A）		2003 年 7 月	58,160	運転中	実施済
大　学			2003 年 10 月	49,731	運転中	実施済
展示施設			2003 年 11 月	53,199	運転中	実施済
オフィスビル			2004 年 1 月	51,486	運転中	実施済
病　院			2004 年 3 月	48,825	運転中	
展示施設		60,000	2006 年 3 月	34,646	運転中	
病　院			2006 年 3 月	32,155	運転中	
病　院			2006 年 3 月	32,377	運転中	
下水処理場	消化ガス		2006 年 12 月	29,680	運転中	
			2006 年 12 月	29,181	運転中	
			2006 年 12 月	29,068	運転中	
			2006 年 12 月	29,198	運転中	
庁　舎	都市ガス（13 A）		2007 年 9 月	20,633	運転中	
オフィスビル			2009 年 1 月	10,700	運転中	

＊稼動状況は 2010 年 4 月 1 日現在

図 1　りん酸形燃料電池の発電効率とパターン運転のイメージ



形があり，動作温度，規模，用途などが異なる。この中で，最も早く商用化されたのはりん酸形である。富士電機の 100 kW りん酸形燃料電池商品機の主な特徴を次に示す。

(1)　低出力から高出力まで発電効率が高い

図 1 に示すように，部分負荷でも高い発電効率を維持して出力調整運転ができる。昼間は 100 kW の定格で運転し，夜間など電気使用量が低減する場合は出力を下げる部分負荷運転といったパターン運転が可能である。

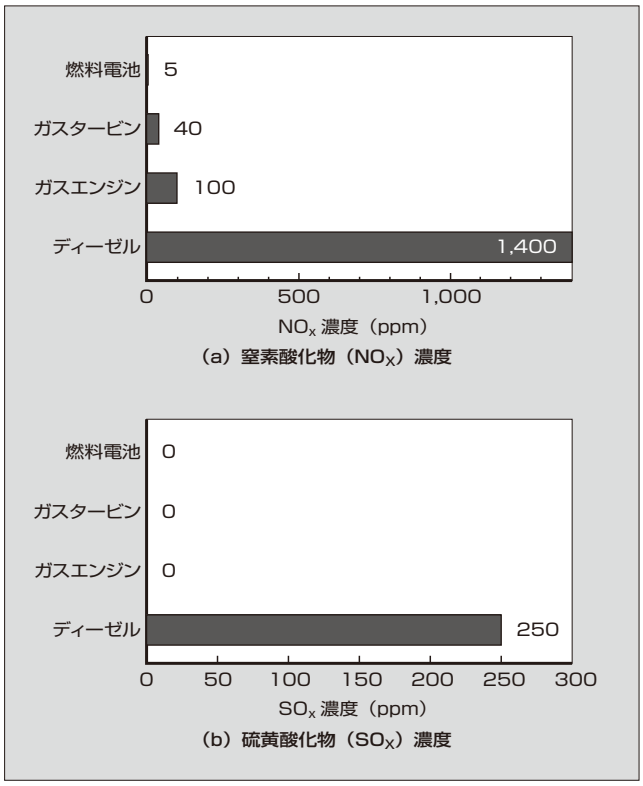
(2)　多様な燃料が利用可能

発熱量の異なる LP ガス，都市ガス，消化ガス，水素などさまざまな燃料ガスに対応できる。この特長を生かして燃料の切替えができ，災害時に都市ガスなどのライフラインが停止しても，備蓄してある LP ガスなどへ切り替えて運転が継続できる。

(3)　優れた環境性

装置から排出されるガス中の窒素酸化物，硫黄酸化物は **図 2** に示すようにほかの発電機よりも非常に少ない。また，化学反応で発電するため発電部に回転体がなく，さらにパッケージ内配置とパネル構造を工夫し，騒音を機側 1 m で 65 dB(A) 以下に抑えている。病院，ホテルなどの静けさが要求される施設にも容易に設置ができる。

図 2　各種発電機の排ガス分析値



(4)　年間連続運転が可能

安定的な運転を継続するために，停止点検は年 1 回，それ以外にフィルタ交換などの定期的なメンテナンスは運転中に交換できるように設計しているので，1 年間の連続運転が可能である。

4　普及型りん酸形燃料電池「FP-100i」の開発

りん酸形燃料電池を普及拡大させるためには，ユーザの利便性の向上，設置可能な環境条件の拡大などが必要であった。FP-100i の仕様を**表 2** に示す。外観の特徴は，燃料電池導入による環境貢献や企業の社会的責任（CSR）向上の PR 効果を狙い，一般の人たちにも見てもらえる場所に設置できるように，装置外周は吸気ダクトや排気ダクトの凹凸はなく，屋根上に設置された機器はフェンスで覆い，装置全体を直線的なデザインで仕上げている。色は茶系とホワイト系のツートンカラーとし，従来の発電装置の硬いイメージと異なり，周囲の建物や自然と調和できるようにやさしいイメージに仕上げた。FP-100i の外観を**図 3** に示し，次に特徴を記す。

4.1　設置面積の削減と現地工事の簡素化

燃料電池は周辺設備として，排熱処理設備，窒素設備，水処理装置，熱利用設備，電気盤，中和器が必要である。従来それらはサイトで据付け工事と配管，配線接続が行われていた。FP-100i ではそれらを一体化し，設置面積の削減と現地工事の簡素化をした。メンテナンススペースを含めた必要な設置面積は 75 m^2 から 43 m^2 に削減した（**図 4**）。

表 2　「FP-100i」の仕様

定格出力	100 kW AC
出力電圧	3φ3W，210 V/220 V
周波数	50 Hz/60 Hz
発電効率	42%（LHV）* 発電端（消化ガス：40%）
熱出力（右欄の①または②のどちらかを選択）	①高温排熱回収タイプ 50 kW（90 ℃） 総合効率：62%（LHV）*
	②中温排熱回収タイプ 123 kW（60 ℃） 総合効率：92%（LHV）*
排ガス	NOx：5 ppm 以下（O_2 0%） SOx，dust：検出下限界
燃料消費量	都市ガス：22 m^3(Normal)/h [消化ガス：44 m^3(Normal)/h]
運転方法	全自動運転，系統連系，単独運転
寸　法	W2.2 × L5.6 × H3.4（m）
質　量	15 t（消化ガス 16 t）

＊低位発熱量（LHV：Lower Heating Value）：240 ページ「解説 1」参照

図 3　「FP-100i」の外観

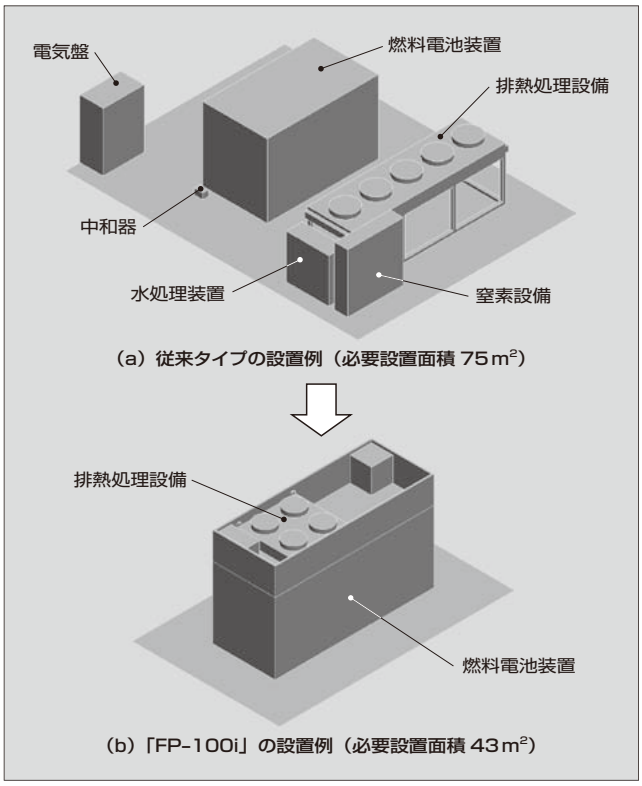
なお，装置の屋根に載せる排熱処理設備は，輸送制限から現地にて組立を行うが，配線接続のコネクタ化と，配管施工を 2 本に削減し現地工事の簡素化を図った。また，周辺設備を装置へ搭載するためには，各機器の小型，軽量化も図っている。その主な内容を次に記す。

(1)　排熱処理設備の軽量化

従来，排熱処理設備冷却器の冷却水は，装置内を循環するりん酸を若干含んだ冷却水であった。途中に熱交換器を設け，排熱処理設備の冷却水を装置内の冷却水と分離して，冷却水による腐食を防いだ。その結果，冷却器のチューブ材質をステンレス製から銅製へ変更でき，熱伝導率が向上した。さらに，冷却フィンのピッチの縮小化や筐体（きょうたい）構造に薄板板金構造を採用するなどし，冷却器質量を 1,350 kg から 600 kg（約 1/2）に削減した。軽量化により冷却器を装置の屋根上に設置でき，一体化を実現した。

(2)　窒素ボンベの削減

図 4　設置面積の削減と現地工事の簡素化



燃料電池は，装置の停止時に安全のために配管と機器内の可燃性ガスを窒素ガスにより置換する必要があるので，窒素設備を設けている。窒素ボンベ（7 m^3/本）は従来，1系列を3本とし，2系列計6本を設けていたが，可燃性ガスの置換時間の最適化により1系列を2本，2系列で計4本に削減し一体化した。削減のためには実機を用いて検証試験を行い，配管と機器内が窒素ガスに置換され十分に安全なガス濃度まで低下できることを確認している。

4. 2　低温への対応

装置を設置する周囲温度条件は，従来－5℃から＋40℃であった。FP-100i は装置内の換気方法と機器配置を見直し，－20℃から＋40℃まで対応可能とした。これにより寒冷地での屋外設置が可能となった。

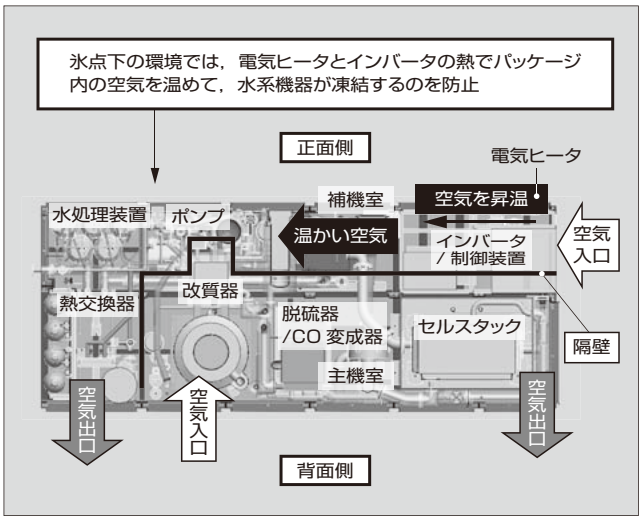
熱流体解析により，装置内の換気の流れと温度分布を解析し，換気流量と機器配置の最適化を図った。－20℃から＋40℃までの温度の範囲で，支障なく装置が運転継続可能なことを実機にて確認した。具体的には，**図 5** に示すようにインバータとポンプ，水処理装置，タンクなどの機器を設けた補機室と，セルスタックと改質系機器を設けた主機室を壁で分けた。さらに，補機室吸気口には，冬場の周囲温度が低いときのために電気ヒータを設け，電気品保護と水を扱う機器の凍結防止を図っている。

4. 3　輸送への対応

燃料電池の海外での普及を図るためには海上輸送が必要となるので，次の二つの開発を行った。

(1)　輸送時の保温電源削除

図 5　装置内配置と換気流れ



りん酸形燃料電池は，セルスタックの電解質にりん酸を使っている。高濃度のりん酸は常温にて凍結するため，従来，輸送中は発電機などにより電気を供給し電気ヒータで保温していた。船の輸送では保温が困難なため，保温を不要とする必要がある。そこで輸送中のりん酸濃度を下げることで凍結を防止する方法を開発した。この方法を実機にて検証し，保温なしの輸送を可能とした。

(2)　緩衝装置の開発

燃料電池装置は1Gの輸送振動に耐えるように，1Gで設計している。しかし，港湾で船へ積み込むクレーン作業などでは，1G以上の衝撃が加わる可能性がある。そのため，輸送中は装置下部に緩衝装置を取り付けることで，3Gまでの衝撃にも耐えられるようにした。

4. 4　耐震性の向上

耐震性の向上を図るため，計画段階から装置架台とスタックの強度解析を実施し設計へ反映させた。さらに，実機を振動試験機に搭載し，新潟中越地震相当の実際の地震波による振動試験を行い，振動試験完了後に装置は問題なく発電できることを確認した。

5　今後の展開

富士電機のりん酸形燃料電池は，従来，都市ガスを燃料とするコージェネレーション用途がほとんどであったが，燃料電池の燃料源が水素である特性を生かし，新たな用途開発を進めている。**図 6** に用途拡大の説明図を，その主な内容を次に記す。

5. 1　純水素，副生水素（製油所，化学工場副生ガス）利用燃料電池

純水素，副生水素利用燃料電池は，燃料の改質を必要とせず，水素を直接供給し発電する装置である。苛性（かせい）ソーダ工場などから発生する純水素（99.9% の高濃度水素）を燃料とする場合，より高い発電効率システムを構

図 6　りん酸形燃料電池の用途拡大[2]

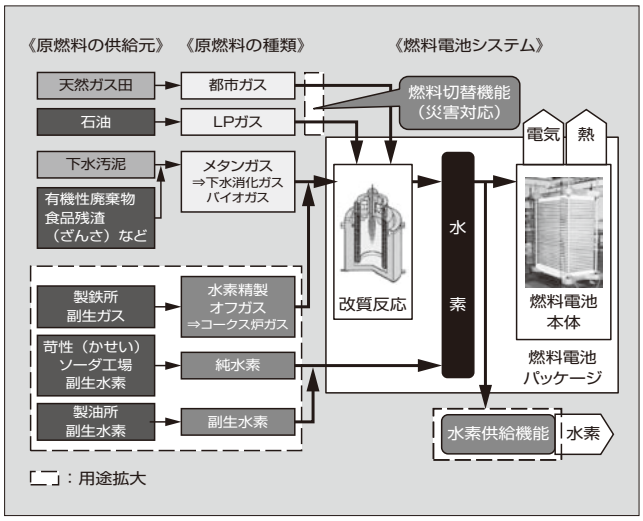
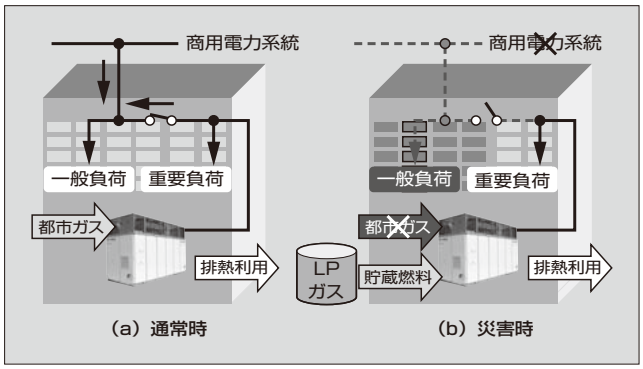


図 7　通常時と災害時の電源供給方法[2]



築することができる。その理由は，燃料電池から出てきた排水素はそのまま排気せず，燃料電池本体入口に戻して再利用（リサイクル方式）し，高い水素利用率を実現できるからである。最大 48%（発電端）の高発電効率システムを構築することができ，純水素をボイラ利用する場合と比較し CO_2 削減効果は 1.6 倍もある。

5. 2　災害対応機能付き燃料電池

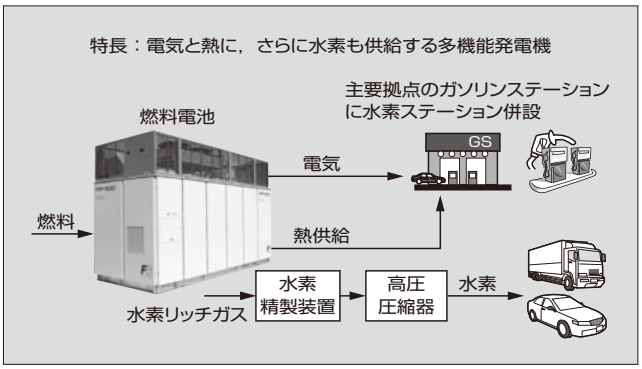
災害などで電気や都市ガスが遮断された場合，非常用発電機で電力を供給するのが一般的である。防災拠点などに災害対応機能付きりん酸形燃料電池を導入すれば，通常は電力と熱を供給し，災害時も燃料を都市ガスから備蓄 LP ガスに切り替えて発電が継続でき電力と熱の供給が可能である。

LP ガスの発熱量は都市ガスの発熱量の約 2 倍であるため，水素をつくる改質条件が異なるものの，りん酸形燃料電池は燃料改質系で，いったん水素に改質して発電するため，停止することなく発電を継続できる。なお，LP ガスの運転では，出力は 70 kW となり，50 kg ボンベで約 3 時間の給電が可能である。**図 7** に通常時と災害時の電源供給方法を示す。

5. 3　水素供給機能付き燃料電池

水素供給機能付き燃料電池は，電気と熱に加え，水素供給もできるトリジェネレーションが可能な装置である。昼間はコージェネレーションで電気と熱を利用し，負荷が少ない夜間には発電出力は下げ，余っている水素製造能力により水素ガスを取り出し，供給できる。燃料電池車に必要な水素ステーション，小容量の水素が必要な事業所などへ適用が可能である。**図 8** に概略図を示す。

図 8　水素供給機能付き燃料電池



6　あとがき

燃料電池は，地球温暖化防止と地球環境の保護に貢献する装置であるため，普及拡大させることが社会貢献へとつながる。本格的に普及させるためさらなる用途拡大とユーザメリットの向上を推進していく所存である。

これまでの関係機関およびユーザ各位のご指導，ご協力に感謝するとともに，今後ともなおいっそうのご理解とご支援をお願いするものである。

参考文献

(1)　腰一昭ほか. りん酸形燃料電池の現状と今後の展開. 富士時報. 2008, vol.81, no.3, p.198-202.

(2)　堀内義実ほか. “りん酸形燃料電池の普及について”. 第16回燃料電池シンポジウム講演予稿集. 燃料電池開発情報センター. 2009, p.163-166.

長谷川 雅一

燃料電池発電装置の装置開発および設計業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社環境ソリューション本部産業ソリューション事業部千葉工場燃料電池部。

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，富士電機システムズ株式会社環境ソリューション本部産業ソリューション事業部千葉工場燃料電池部課長。電気学会会員。

e-Front runners

＊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。