

燃料電池の分野で当社は、1985年から米国 IFC 社との国際的協調体制を築き、燃料電池の技術開発と実用化を加速してきた。その成果は着実に実を結びつつあり、特にリン酸型 200 kW 燃料電池プラントについてはいよいよ本格的な商用化の段階に達した。ここでは、当社の製品シリーズである分散電源用 11 MW、オンサイト用 1 MW および 200 kW の各プラントの開発経緯に触れた後、今後の主力製品である PC25_{TM}C 型 200 kW プラントのコスト低減化方針と市場拡大のための幅広い適用形態について提案し、さらに当社が計画している保証・保守サポートの考えかたを示すことで、ユーザの協力を得た本格的商用化への活動を紹介する。

Since 1985, Toshiba and IFC have been collaborating in the development and manufacturing of various fuel cell power plants. This cooperative effort has resulted in successful achievements in both technical and business terms. In particular, the 200 kW PAFC (phosphoric acid fuel cell) is now considered to be at the stage of actual commercialization. This paper presents the development status of Toshiba's production series of 11 MW, 1 MW, and 200 kW fuel cells. Also described are our strategic considerations for cost reductions and various applications for the PC25_{TM}C type 200 kW power plant, the delivery of which has recently commenced. It is believed that cost reductions together with our output guarantee approach and maintenance support program will encourage our customers and contribute to the full-fledged commercialization of these fuel cells.

1 まえがき

当社は、1996年1月に燃料電池商品に対する ISO9001 (国際品質規格) 認証を取得した。この分野で先駆的なことであり、本格的な商用化時代を念頭に置いたものである。

燃料電池発電システムは、①環境性に優れている、②小容量機であっても高い電気効率が得られる、③熱併給により高い総合効率が得られるため省エネルギーと CO₂ 排出量削減に寄与できるなど多くの特徴をもち、都市分散立地型・需要地近接型のエネルギー供給源として、まさにふさわしい発電方式である。このため、地球環境時代のただなかにある現在、燃料電池の早期普及促進に向けて、国、ユーザ、メーカーなど広いレベルでの社会的な期待がますます高まりつつある。この期待にこたえるため、当社は精力的に開発と商用化の努力を続けている。

特にリン酸型燃料電池について言えば、かつての開発品と記録品による技術コンテストの時代を終え、今や本格的な商用化を開始している。商用化の過程において当社は、米国 IFC 社および ONSI 社との共同技術開発および生産協調という、世界経済時代にふさわしい効果的な活動で、ユーザの期待にこたえる製品を提供している。

当社はリン酸型燃料電池を、分散電源用 11 MW、オンサイト用 1 MW、同 200 kW とシリーズ化している。ここでは、これらの各プラントの開発経緯に触れるとともに、そのなかでもっとも早期にコストダウンが進み、今後の普及がお

おいに期待される PC25_{TM}C 型オンサイト用 200 kW 燃料電池の商用化計画について述べる。

2 分散電源用 11MW 燃料電池プラントの実用化

2.1 分散電源用燃料電池開発の経緯

当社のリン酸型燃料電池開発への本格的な取組みは、1978年の 35 kW 電池スタック開発にさかのぼるが、これ以降、特に加圧型の分散電源用の開発に注力し、自主開発、電力会社との共同開発、国のムーンライト計画への参画な

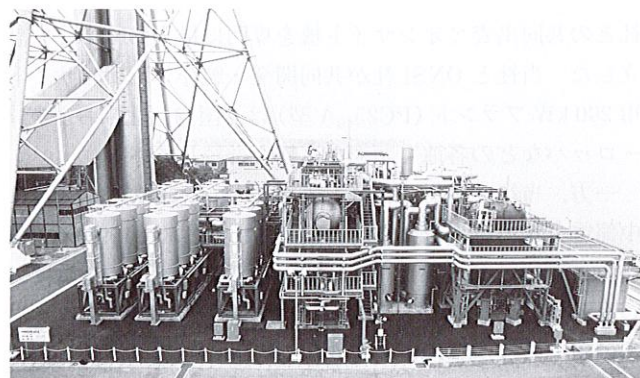


図1. 五井 11 MW 燃料電池プラント 世界最大のリン酸型燃料電池発電プラント。左側が電池群。1996年3月末で累積1万8,000時間を超える運転検証を継続中。

View of Goi 11 MW fuel cell power plant

どによって、着実に技術を蓄積してきた。

1985年には、燃料電池開発で世界最先端にあった米国 UTC 社と合併で IFC 社を設立し、この IFC 社と当社で、PC23 型と称する世界最大容量の 11 MW 燃料電池プラントの共同開発を行った。その成果は、東京電力(株)との共同研究を経て、東京電力(株)五井火力発電所に導入されている。この五井燃料電池は、非常に高度なプラント技術と電池技術の複合体であり、その経験が後のオンサイト用燃料電池の開発と実用化において最大限に生かされている。

2.2 五井 11 MW 燃料電池プラント

この 11 MW プラントは 1989 年に製作を開始、1991 年に運転が開始された。1996 年 3 月末で累積発電時間は 1 万 8,000 時間を超えて、現在も実証運転を継続中である。

図 1 にプラントの外観を示す。このプラントは定格運転で計画値を上回る発電効率(発電端 43.6%)を達成するなど、良好な性能が得られた。

一方、これまでの運転経過においては、電池圧力容器中のパージガス組成に起因するスタックコーナ部の腐食問題という、加圧型特有の未経験の技術課題に直面したが、空気中の窒素を濃縮するパージガス製造装置の導入により解決した。このほか長期間の運転を通じてプラント・機器の信頼性、耐久性、安全性、運転制御性について実証を重ねた。運転年度が進むに従ってプラント MTBF(平均故障間隔時間)と稼働率は着実に上昇し、現在では加圧型としてのプラント信頼性は確立されたといえる。

この実証運転と並行して、さらなる高効率化とコスト低減のための研究を推進中である。これらの開発成果を基に、分散電源用としての加圧型燃料電池実用機プラントの早期実現を図っていきたい。

3 オンサイト用 200 kW プラント

3.1 PC25_{TM}A 型 200 kW プラント

小型オンサイト燃料電池の分野で、当社は 1990 年に IFC 社との共同出資でオンサイト機を専門に扱う ONSI 社を設立した。当社と ONSI 社が共同開発・製作したオンサイト用 200 kW プラント(PC25_{TM}A 型)は、国内・北米およびヨーロッパなどの各地で順調な運転を継続している。

一方、当社が独自に製作した初号機は、1992 年 12 月に中部電力(株)川越火力発電所に設置されて以来、1996 年 3 月までに累積発電 2 万 1,000 時間と好調な運転実績を挙げている。当社はさらに、PC25_{TM}型の標準熟利用形態である“温水供給”のほか国内市場で要望の大きい“蒸気供給”機種を開発し、1994 年から出荷を開始した。図 2 に大阪ガス(株)のサイトで運転中の当社製 200 kW 燃料電池を示す。

当社と ONSI 社は全世界に 81 台の PC25_{TM}A 型(一部改良の B 型を含む)をベースとする 200 kW 燃料電池を出荷し

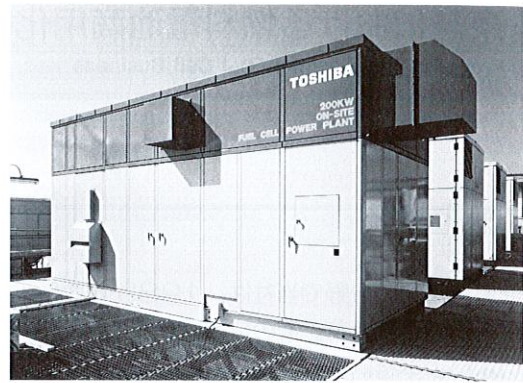


図 2. 大阪ガス株納入 200 kW 燃料電池プラント コンパクトなパッケージ型のオンサイト用燃料電池は、現地での据付け・調整がきわめて容易である。

View of 200 kW fuel cell power plant for Osaka Gas Co., Ltd.

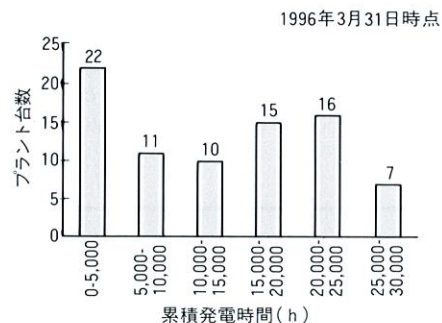


図 3. 200 kW プラントの累積運転時間分布 当社/ONSI 社製 200 kW 燃料電池は世界各地で運転時間を順調に伸ばしている。最長は 2 万 9,000 時間に至っている。

Cumulative operating time of 200 kW plants worldwide

ているが、日本向け 31 台の中には当社が独自に製作・出荷した 7 台を含む。これらの 200 kW 燃料電池は世界各地で良好な運転成績を挙げている。図 3 は横軸に累積運転時間を取りプラント台数の分布を示しているが、1996 年 3 月末の時点で 2 万時間以上運転しているものが 23 台に及んでいる。また、最長記録としては南カリフォルニアガス 1 号機が 2 万 9,000 時間に至っている。さらに PC25_{TM}A 型機の平均稼働率は 95% ときわめて高く、プラントの信頼性がすでに十分に実用・商用のレベルに達していることがわかる。

3.2 PC25_{TM}C 型 200 kW プラント

当社と ONSI 社は本格的商用機種として、小型化とコストダウンを図った改良機種の 200 kW 燃料電池プラント PC25_{TM}C 型の出荷を 1995 年 11 月から開始した。この PC25_{TM}C 型は、評価の高い PC25_{TM}A 型の優れた設計思想を継承しつつ、機器の小型化と部品点数の合理化による削減を図った結果、容積と質量が約 30% も小さくなった。また、量産によるコスト低減効果を最大限に引き出すために、標準設計仕様での製作を前提とした計画的な仕込み生産体制

を整えている。表1にこのプラントの標準仕様を示す。

図4はPC25_{TM}C型の外観である。同機とPC25_{TM}A型機とのサイズの比較を図5に示したが、PC25_{TM}C型のコンパクト性がよくわかる。

ONSI社構内に設置されたPC25_{TM}C型のプロトタイプ機はすでに8,600時間を超える実証試験を経過し、この間にAGA(米国ガス協会)の形式認証も取得している。

表1. PC25_{TM}C型200kW燃料電池プラントの標準仕様
Standard specifications of PC25_{TM}C 200 kW plant

定格出力(交流送電端)	200 kW
目標総合効率(LHV)	81 %
目標発電効率(LHV)	40 %
寸法	5.5 m(W) × 3.0 m(D) × 3.0 m(H)
設置面積と質量	0.08 m ² /kW, 18 t
起動時間	約3時間
排熱利用	温水取出(60°C : 41 % : LHV)

LHV : 低位発熱量ベース

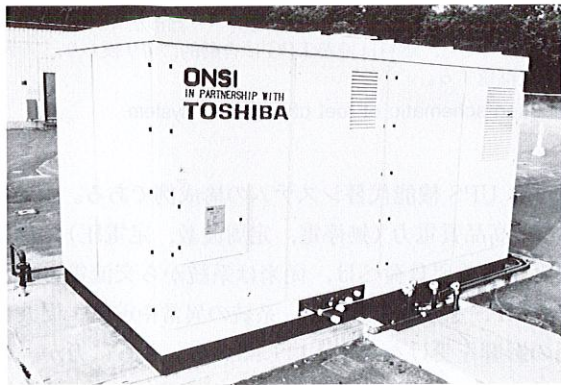


図4. PC25_{TM}C型200kW燃料電池プラント 本格的商用化に向け製作を開始した改良機種であり、大幅なコンパクト化とコストダウンを行っている。

View of PC25_{TM}C 200 kW fuel cell power plant

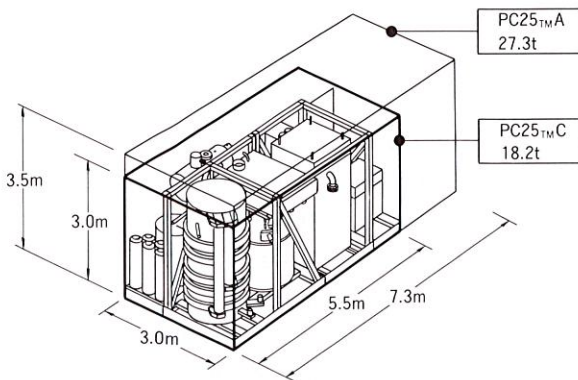


図5. PC25_{TM}C型とPC25_{TM}A型のサイズ比較 PC25_{TM}C型は、容積・質量ともPC25_{TM}A型に比べ約30%も小さくなった。

Compact design of PC25_{TM}C 200 kW plant

4 オンサイト用1MWプラント

世界最大容量の常圧型プラントである、オンサイト用1MW燃料電池プラントは、新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)とリン酸型燃料電池発電技術研究組合が共同で進めている“都市エネルギーセンター等燃料電池技術開発プロジェクト”の一環として、当社が設計・製作を担当したものである。実証運転サイトである東京ガス(株)基礎技術研究所の構内への据付けと調整試験を1995年5月に完了し、運転を開始した。1996年3月末までに累積発電は5,400時間を超え、順調に運転検証が続いている。

図6にプラントの全景を示す。この開発計画は、都市ガスを燃料として都市中心部のビルや地域に電気と熱エネルギーを高い効率で供給するコージェネ用大容量オンサイト型プラントの実用化を目的としている。表2に示すように計画を上回る発電効率と優れた環境性が実証されている。今後、都市環境保全の観点から要求される厳しい条件に適合した高効率のクリーン電源として、広く普及していくことを期待したい。

5 オンサイト用燃料電池の商用化

5.1 商用化の条件とコスト低減計画

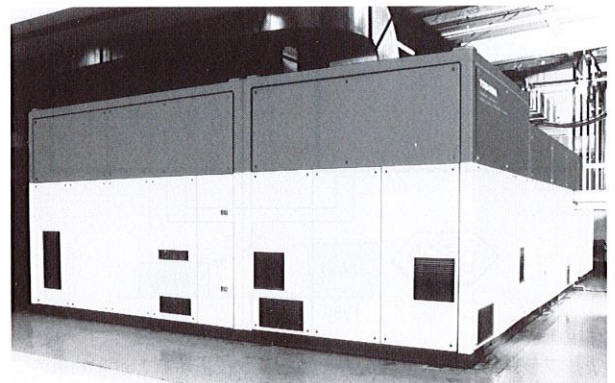


図6. オンサイト用1MW燃料電池プラント 輸送や据付けの容易性を重視して分割パッケージ方式で製作し、サイトでパッケージ間配管を接続して完成させた。

View of on-site 1 MW fuel cell power plant

表2. オンサイト用1MW燃料電池プラント性能(定格時)

Comparison of design performance and measured results for on-site 1 MW plant operation

項目	計画性能	実績性能
定格出力(AC送電端)	1 MW	1 MW
送電端効率(HHV)	36 %	38 %
高温蒸気熱回収効率(HHV)	20 %	20 %
総合熱効率(HHV)	71 %	72 %
排ガス中 NO _x	10 ppm 以下	2 ppm 以下

HHV : 高位発熱量ベース

前述したように、オンサイト用燃料電池の技術の進展は目覚ましく、多くの実績が積み重ねられてきた。今後燃料電池が商用機としてさらに広く世の中で使われていくための必要条件は、下記の二つに集約されよう。

- (1) プラントの高い信頼性の実現
- (2) 低コスト化の実現

ここでいう信頼性とは、長時間にわたる安定した運転性能と、高い利用率の実現である。これらは前述の 200 kW 機の実績で示したとおり着実に達成されつつある。一方、低コスト化の実現の重要な要素には、図 7 に示すように、“技術革新によるコスト低減”と“量産効果によるコスト低減”があるが、比重からいえば後者が非常に大きい。

量産の効果は同図に示すように、習熟効果や部品の一括購入、ライン自動化による合理化などから成り、過去の産業製品の歩みをも、量産効果がコスト低減に大きく寄与することは明らかである。

当社は、1996 年の 200 kW 標準機（温水供給型）の車上渡し条件で販売価格を kW 当たり 40 万円に設定し、この 5 年間でこれを 60% に下げることが可能と考えている。早い時期に年産 100 台以上の販売規模が得られれば価格低減が加速でき、日本市場、米国市場はもとより全世界で PC25_{TM} C 型 200 kW が普及することが期待できる。国内の燃料電池の初期市場の形成と導入促進のために、ユーザ各位の協力・支援と、公的サイドからの導入助成・優遇制度の導入が切望される。

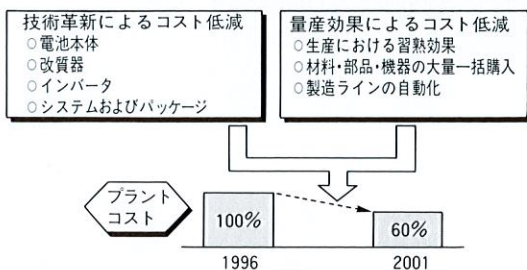


図 7. プラントコスト低減の考えかた 技術革新と量産効果の二つの要素が融合してはじめて大幅なコスト低減を実現できる。

Concept of plant cost reduction approach

5.2 燃料電池の多様な適用形態

オンサイト用燃料電池市場のいっそうの拡大のために、下記のような燃料電池の特長を生かした多彩な適用形態をユーザに提案している。いずれも標準型 200 kW システムのオプションとして提供できるものである。

- (1) 熱利用効果を高めた蒸気供給システム
- (2) 直流電力供給システム
- (3) 代替燃料（LPG、ナフサ、灯油）利用システム
- (4) 多種燃料切換えシステム
- (5) 下水汚泥消化ガス利用システム

(6) UPS（無停電電源）機能代替システム

例として、多種燃料切換えシステムの構成例を図 8 に示す。このタイプでは、非常時（都市ガス供給停止時）にも、備蓄している LPG に自動的に燃料が切り換わることでプラントは無瞬断で発電と熱供給を継続することができる。病院や公共設備、通信・メディアなど、災害時などにライフスポットとして重要となる施設への適用が推奨される。災害時には、燃料電池から生活用水が供給できることも大きな利点となろう。

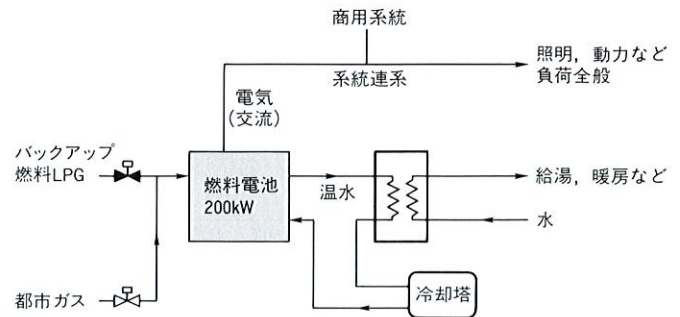


図 8. 多種燃料切換えシステムの構成例 都市ガスが供給停止するような非常時でも、燃料は備蓄 LPG に自動的に切り換わり、プラントは発電を継続する。

Application schematic of fuel changeover system

図 9 は UPS 機能代替システムの構成例である。コンピュータなど高品質電力（無停電、定周波数、定電圧）の供給を必要とする重要負荷へは、従来は系統から交流電力を得てこれを UPS を介して供給し、系統の異常や電圧・周波数の動揺の影響を受けないようにしている。さらに万が一の停電に備えてバッテリーによるバックアップに加え、非常用発電機が設置される場合もある。この UPS ・非常用発電機系全体を燃料電池プラントで代替すれば、燃料電池のインバータから、UPS 出力とまったく同様に定電圧・定周波数を維持する高品質電力を供給でき、電力系統の変動の影響もいっさい受けない。ガス料金 40 円/Nm³、電気料金 18 円/kWh で比較試算したところ、燃料電池を用いると、設備コストの差を考えても、年経費に直して 200 kW 当たりで 1,000 万円以上の利益が得られる結果になった。

5.3 保証の考えかた

過去の燃料電池の開発の課題がつねに耐久性と信頼性の向上であった経緯から、当社は、国内のユーザに安心して 200 kW プラントを使用していただくため、図 10 に示すような“出力保証”の提供を計画している。すなわち一定の保守契約の締結を条件に、プラント設置後数年間にわたる出力保証を行うもので、電池特性の低下が原因でプラント出力が所定のレベルを維持できなくなった場合に、“保証期間”では無償で、またこれに続く“優遇期間”では優遇価格で電池の交換または修理を行うものである。

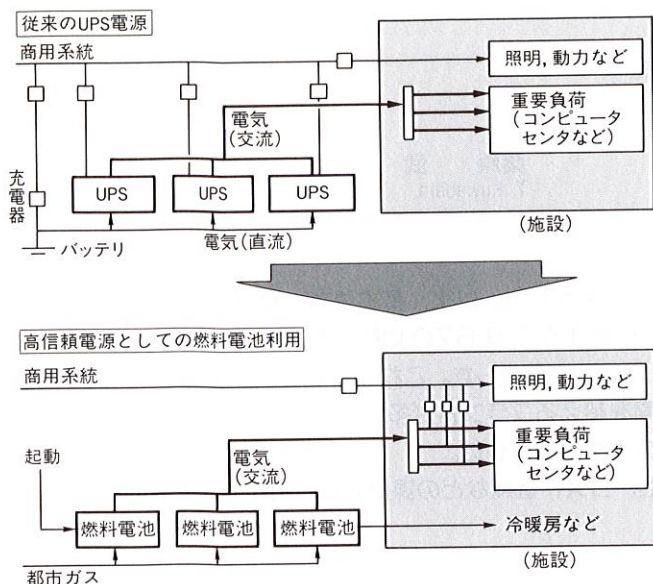
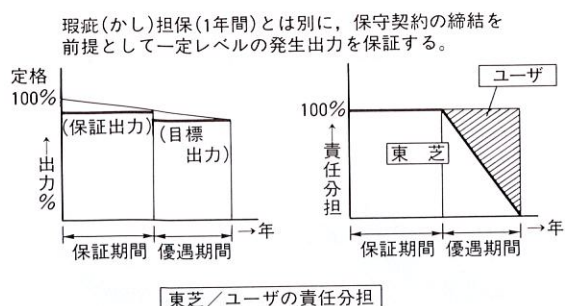


図9. UPS機能代替燃料電池システムの構成例 高品質電源を必要とする重要負荷へ無瞬断で交流電力を供給するUPSの機能を、燃料電池により経済的に代替できる。

Application schematic of fuel cell with UPS function



- 保証期間内に保証出力が未達となった場合、電池本体を無償で修理または交換する。
- 優遇期間内に目標出力が未達となった場合、電池本体を優遇価格で修理または交換する。

図10. 200 kW 燃料電池の保守契約における出力保証 電池特性の低下が原因でプラント出力が所定の条件を下回れば、期間に応じて電池の交換を無償または優遇価格で行う。

Power output guarantee under service contract for 200 kW plant

5.4 保守サポート体制

200 kW 燃料電池のユーザのために、地域別に保守サポート体制を整備していく計画である。一定区域内の複数台のプラントに対し専任のサービスマンを配置するという形で、電話回線を駆使したデータ収集・分析、およびトラブル時の呼出しに対する迅速な対応を系統的に実施していく考えである。図11に保守サポート体制の概念を示す。このようにユーザに十分なサービスを提供できるようにメーカーとしての努力を続けていく考えである。

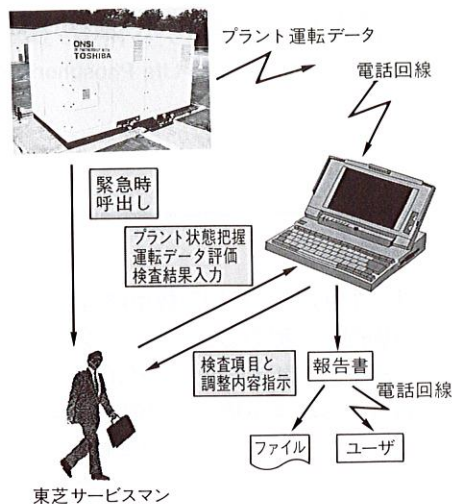


図11. 保守サポート体制 地域ごとにサービスマンが電話回線を駆使したプラントデータ収集・分析と、緊急の呼出しに対する迅速な対応を行う。

Maintenance support system

6 あとがき

燃料電池のコスト低減と商用化を促進するためのキープアクタは下記のようにまとめられる。

- (1) メーカーとしての技術革新努力、意欲的な価格提示と保証条件の明示、サービス体制の整備
- (2) ユーザ各位のご協力を得た幅広い市場開拓
- (3) 公的サイドからの導入助成・優遇制度により期待される初期市場の形成

これらの結果として市場拡大が加速されると量産効果によるさらなるコスト低減が果たされ、燃料電池の商用化がいつそう進展していくものと考えられる。

世の大きな期待を背負いつつ優れた技術で発展してきた燃料電池を本格的な商用化の舞台に乗せるため、メーカーの努力はもちろんのことであるが、ユーザ各位および公的機関サイドのいつそうのご協力を改めてお願いしたい。



池田 紳一 Shin'ichi Ikeda

燃料電池事業推進部システム技術担当グループ長。
燃料電池プラントの技術総括および事業化推進業務に従事。
電気学会、日本機械学会会員。
Fuel Cell Systems Div.



尾園 次郎 Jiro Ozono

京浜事業所燃料電池担当グループ長。
燃料電池プラント開発・設計・製造業務に従事。日本機械学会会員。
Keihin Product Operations



木村 正 Tadashi Kimura

燃料電池事業推進部システム技術担当副参事。
燃料電池プラントの技術取りまとめ業務に従事。日本機械学会会員。
Fuel Cell Systems Div.