発電用大容量燃料電池

解説

望 月 國 春 (東京電力(株) 開発研究所 燃料電池研究室)
長 妻 宏 ((株)東芝 燃料電池事業推進部)

1. はじめに^{(1)~(3)}

送電端で出力 11 MW、効率 41.1% を目標とした実証用発電プラントが現在東京電力五井火力発電所構内で建設中であり、実証運転を平成 3 年に開始する予定である。近年代替発電形態として燃料電池発電プラントは良好な環境性や小規模プラントでも高効率なことなどから関心が高まりつつあり、同時にこの関心に応えるためより大容量化・高性能化そして高信頼度化のための開発と、建設・運転を通じた評価が内外で続けられている。

本解説ではこのような努力の一端と、現在建設中の大容量燃料電池発電プラントの一例として 11 MW プラントについて概要を紹介する。

2. 大容量燃料電池発電プラント開発の歩み

大容量燃料電池発電プラントの開発はアメリカ・ユナイテッドテクノロジーズ社により開発・試験された 1 MW プラント (1976 年) に端を発する。その後、より大容量の 4.5 MW プラントが同社で開発され、実系統に接続し発電実証を行うため、アメリカでは Con-Solidated Edison 社 (New York 市) 発電所構内に、続いて我が国では東京電力五井火力発電所構内に設置された。後者では発電試験に成功すると共に運転時間 2,423 時間、発電電力量 540 万 kWh の実績を得た。

4.5 MW プラントは高度にコンパクト化されたプラントで (図 1 の写真右上のユニットが DC モジュールと呼ばれる直流電力発電部である)、ユニークなモジュール化思想を設計の基本としたものであったが、建設、運転の過程で各コンポーネントの高信頼度化や

図 1 4.5 MW プラント (1983 年) (東京電力五井発電所構内)

保守性改善ならびにプラントの高効率化に資する多くのデータを取得した。そして、このたびこれらの知見・経験と実証運転終了後実施した解体研究成果を反映した 11 MW プラントを建設し、商用機レベルのプラントとしての機能を実証することにした。

11 MW プラントは東芝と IFC 社 (インターナショナル・フュエルセルズ社) がアメリカ市場向標準機として設計した PC-23 を基本としているが、導入に先立ち東電-東芝-IFC の共同で設計研究を実施し、4.5 MW プラントで蓄積した技術、培った経験を基に日本国内立地に適合するようプラント仕様を設定したものである。

今回の実証試験では、

- (1) 適切な電熱併給システムの実証
- (2) プラント運転性能の検証
- (3) 電池本体、改質器など、主要構成機器の性能検証
- (4) 自動運転を指向した高信頼度運転技術の確立
- (5) 良好な環境性の確認

をとおして、燃料電池の都市分散形電源としての適性を検証することになっている。主要な目標性能は表 1 のとおりである。また五井 11 MW プラントの完成予想

Fuel Cell Power Plant for Utility Applications. By Kuniharu Mochizuki, Non-member (Tokyo Electric Power Company) & Hiroshi Nagatsuma, Non-member (Toshiba Corporation).

キーワード：大容量燃料電池、燃料電池発電プラント、地域供給用燃料電池、都市分散形燃料電池

表 1 11 MW プラント目標性能

定格出力	11 MW (交流送電端)
出力電圧	66 kV 50 Hz
最低出力	0 MW (待機運転)
出力調整範囲	30~100%
無効電力調整範囲	±11 MVAR
発電効率	41.1% (HHV 基準)
使用燃料	天然ガス
排ガス中 NO _x 濃度	10 ppm 以下

図 2 11 MW プラント (1989 年建設開始) 完成予想図 (東京電力五井火力発電所構内)

11 MW フルスケール工場実証試験

図 3 改質器工場実証試験

図を図 2 に示す。

なお電池本体、改質器、ターボコンプレッサ、直交変換装置など、大幅に改良技術を採用した主要機器については、実スケールのものを試作し、事前に単体試験を行い、その性能と信頼性を検証し、不具合箇所については更に改良を加えて設計に反映した。図 3 に改質器の単体試験時の写真を掲げる。

3. 燃料電池本体の原理と構成

ここで燃料電池の原理に立ち戻って述べてみる。電池では水素と酸素が触媒の存在のもとで下記の反応式

図 4 燃料電池の原理図

表 2 燃料電池の種類

	リン酸形 (PAFC)	溶融炭酸塩形 (MCFC)	高温固体電解質形 (SOFC)
一次燃料	天然ガス ナフサ メタノール	石油 天然ガス 石炭ガス メタノール	石油 天然ガス 石炭ガス メタノール
酸化剤	空気	空気	空気
構成材料	電解質 触媒	電解質 触媒	電解質 触媒
動作温度 (°C)	150~約220	650	1,000
主な用途	電力用 オンサイト用	電力用	電力用 オンサイト用

で水を生成し、発生するギブス自由エネルギー変化 (ΔG) を直流電力エネルギーとして取出し利用する。

酸素は空気中から、水素は炭化水素系の燃料をリフォーミング (改質) して得られ、図 4 に示すように各々片面がすの子状のガス通路をもち、他の片面は平面で触媒を塗布した多孔質炭素板である空気極・燃料極に供給される。これらの極板の内側の触媒層を介してマトリックスと呼ばれる電解質保持構造に含浸された電解質層をはさみ、両極板の外側から多孔質極板を通過しイオン化した水素と酸素間で反応が生じる。生成水は水素イオンの高拡散性などのため空気極付近で生じ、主として空気極排気にキャリーオーバーされる。

上記に述べた組合せを単セルと呼び、実際には抵抗分を低減するため各部厚さは極めて薄くなっている。電解質の種類により表 2 のとおり燃料電池形式が分類できるが、現在実用レベルに最も近いのはリン酸形燃料電池で、五井 11 MW プラントもこの形式の燃料電池である。

大容量出力を得るには単セルが多数組必要であり、輸送上の制約を考慮してこれらを数百組ごとに積層し

図 5 セルの積層構造

た構造（スタックと呼んでいる）とし、容器内に入れたものの複数本で必要な出力を得ている（五井 11 MW プラントでは 700 kW 級のスタックの 18 本構成）。

図 5 はスタックの構成概要を示す。上述した単セルの他、セパレータ、冷却板などを積層する。

4. 大容量燃料電池発電プラントのシステム構成

現在東京電力(株)五井火力発電所構内で建設中の送電端出力 11 MW の燃料電池発電プラントシステム構成概要を図 6 に示す（実際の系統は温度調節、熱再生、流量調節などのため熱交換器、調節弁などが多数付設されるが単純化してある）。

数十 kW～300 kW 程度の小形パッケージ形発電ユニット（オンサイト形）では、電池本体圧力を常圧とすることが考えられているが、大容量発電プラントで

はセルにおける効率向上やプラントのコンパクト化のためシステムを昇圧して運転しており、空気供給および燃料供給のためターボコンプレッサ、天然ガスコンプレッサを使用している。

燃料系統は改質触媒、電池本体触媒の被毒防止のため脱硫（水添脱硫塔）および一酸化炭素低減（一酸化炭素変成器により二酸化炭素へ変成）を行っている。触媒では見かけ上何も変化がないが、実際には活性サイトと呼ばれる触媒中の表面で反応分子・原子の吸着、結合、脱着などが生じており、活性サイトが不純物などで被われ減少（被毒）するのを防止する考慮が必要。改質蒸気は電池本体冷却水が電池排熱（反応熱 ΔH のうち ΔG として直流電力として取り出されなかった残りの分）を除去し、高温化し蒸気分を有するため燃料の重量流量に対し、改質触媒の性質から定まる比（S/C または O/C）から得られる蒸気量を改質器入口に注入しており、改質器の下流側に設置された一酸化炭素変成器では改質器を出た余剰の水蒸気により変成（シフト）反応が生じる。反応式は特に改質器では単純ではないが、代表例として示すと以下のとおりである。

改質器では H_2 だけでなく CO も生成されて出て行くが、 CO は下流側で CO_2 に変成されるときに、 H_2 を生じるため有効に使用できる。また燃料として CH_4 を代表的に示したが C_2H_6 他についても同様の反応が

図 6 大容量燃料電池発電プラントシステム構成例

生じる。

プラント内での水の回収は、燃料系統へ注入した水蒸気の余剰分と電池の空気極出口流にキャリーオーバーされた生成水を各々回収しており、水処理装置で処理した後、電池本体冷却水系統に補給している。

なお電池本体で消費されなかった H_2 分を含む出口燃料は、吸熱反応が行われる改質器での燃焼燃料として使用し、特に五井 11 MW プラントでは空気極を出た酸素分の少ない空気 (depleted air) をターボコンプレッサからの外空気と混合して、燃焼空気として用いて燃焼温度の低減による構造材熱応力環境の緩和を考慮している。

5. プラントの特徴

11 MW 燃料電池発電プラントは以下のような特徴を有している。

(1) 高信頼度化 熱交換器として信頼性の高いシェル・チューブ形を採用するなど、できるだけ使用実績の高い機器を選択するほか、動的な状態も含むあらゆる運転状態についてシステム解析を行い、最も厳しい運転条件を得たうえで仕様決定を行い、運転条件から高信頼度化を図っている。

また稼働率・運転性の面でプラント信頼性の向上のため回転機、主要検出器、制御装置主要部などについて二重化や多重化を実施している。

(2) 保守性の向上 本プラントでは実証機という位置付けから、機器を点検、分解など保守する場合に容易に実施できるようアクセスが可能な方向を一方方向でなく複数方向とし、また各機器について具体的に保守点検時期を明確化した。

なお、五井 11 MW 燃料電池発電プラントはプラントの信頼性・性能の実証を主眼点としたので特に保守性を優先し、これらの実証が円滑に行えるよう配慮をしたが、将来は必要十分な保守性を考慮したプラントコンパクト化を行うことが望まれる。

(3) 主要機器の開発 主要機器である燃料電池本体、改質器、直交変換装置については大容量化に伴い開発されたものであるため、その信頼性・性能の検証のため実規模試験機を製作し、工場で可能な限り実運転状態に近い状態で実証試験を実施した。五井 11 MW 燃料電池発電プラント向けのために、これら工場試験の成果を反映して最終詳細設計・製作を実施している。

(4) モジュール化 現地工事範囲を可能な限り少なくして円滑化すると共に、工場における好環境下での組立てにより品質面の向上・員数の確認ができる

ようにするため、機器・配管・弁類・ケーブル・計装品・計装配管を含んだモジュール化 (パレットと呼んでいる) を行った。

6. 主要機器について

燃料電池本体、改質器、直交変換装置などの主要機器の要点を下記する。

(1) 燃料電池本体 1 m 角の大面积セルを採用し、より高い温度・圧力を運転条件として高効率化を図ると共に、アメリカ・IFC 社工場で累積 2,400 時間の実規模実証試験を行い信頼性を確認している。1 本あたりの直流出力は約 700 kW である。

(2) 改質器 改質器は二重管構造の改質管を多数本環状に配置し、外側で燃焼させる構造を有している。この形式の改質器の基本形は五井 4.5 MW で採用し、通常の常圧形改質器に比べて極めてコンパクトであることが特徴であるが、五井 4.5 MW では主として熱応力環境の緩和による高信頼度化の必要性が見出されたため、より耐熱性の向上した改質材の採用、燃焼温度の低減などを実施した。

(3) 直交変換装置 直交変換装置はインバータ、出力変圧器などを総称したもので、その主要部であるインバータには GTO (ゲートターンオフサイリスタ) を採用、制御用に光ファイバを使用するなどの方策により、転流回路の削除などの回路簡素化と高信頼度化を図った。本インバータの制御は PWM (パルス幅変調) によるものである。

7. 終りに

以上、11 MW 燃料電池発電プラントについて概説した。本プラントは今後プロセス制御の調整テストを経て、1991 年から約 2 年間の実証試験に入る予定である。

新しい技術が実用化されるには、技術的にも経済的にも社会に受容されることが必須条件であり、燃料電池の場合、プラントのコンパクトと建設コスト低減への一層の開発努力が今後とも不可欠であることを最後に述べて本解説を終りたい。

(平成元 2 年 2 月 8 日受付)

文 献

- (1) 飯野・坂本: 「10 MW 級 FC プラント」燃料電池シンポジウム東京 '88 予稿集
- (2) A. J. Appleby, et al.: Fuel Cell Handbook, van nostrand Reinhold, NY
- (3) K. Kinoshita, et al.: Fuel Cells-A Handbook, DOE/METC -88/6096 (DE 88010252)

望 月 國 春

昭和23年11月10日生。42年4月東京電力(株)入社。技術開発研究所にて火力技術の開発研究を担当。

60年3月より技術開発本部開発研究所にて燃料電池技術開発に従事し、現在に至る。

長 妻 宏

昭和26年12月9日生。51年4月(株)東芝入社。火力プラント技術部、電力企画室を経て59年4月より燃料電池事業推進部にて技術開発

に従事し、現在に至る。