

# オンサイト型燃料電池の開発

## On-site Fuel Cell System Development Activities

菊 池 謙 一 \*

Kenichi Kikuchi

### 1. はじめに

燃料電池は、高効率・無公害の発電装置として将来が高く期待され、現在、ナショナルプロジェクトであるムーンライト計画をはじめ国内外で積極的に実用化開発が推進されているものである。

オンサイト型燃料電池の開発は、1960年代から米国を中心に進められ、最近はこれらの開発成果として投入エネルギーの40%の発電が得られるのに加え、40%相当の熱が利用できる熱電併給タイプの燃料電池が製作され、フィールドにおいてテストされている状況にある。

当社は、これら米国技術の導入により、2ヶ所でフィールドテストを実施しているが、本稿では、これらのテストを中心にこれまでの開発経緯及び米国のオンサイト型燃料電池開発推進状況ならびに燃料電池の将来の市場性について検討されている例を紹介する。

### 2. オンサイト型燃料電池の開発概要

天然ガスを燃料とするオンサイト型燃料電池の開発は、1967年に米国で発足したTARGETプロジェクト及びこのプロジェクトを発展的に引き継ぎ現在も開発推進母体となっているガス研究所（以下、GRIという）プロジェクトの開発に代表される。

TARGETプロジェクトは、米国32社のガス会社より組織された純民間ベースのプロジェクトで1977年のプロジェクト終了まで約5,000万ドルの開発費を投入（ガス会社が2/3、開発担当のユナイテッド・テクノロジー社が1/3を負担）し、出力12.5kwのPC-11型燃料電池64基のフィールドテストとオンサイト型燃料電池に関する基礎的技術開発を行った。その後、TARGETは、具体的な商品化計画に移り、1978年から

開発組織もガス工業全般の研究開発を推進するGRIに移管され、必要な開発資金も民間ベースから公的資金ベースに移った。現在は、後述するGRI燃料電池フィールドテストプロジェクトを発足させ、PC-18型燃料電池のフィールドテストを中心にプロジェクトを推進している。

このように、米国において推進されているオンサイト型燃料電池の開発に対し、当社及び大阪ガスはTARGETプロジェクト及びGRIプロジェクトへ参加し、これに基づくPC-11型のフィールドテストやPC-18型のフィールドテストを実施し、オンサイトでの燃料電池の実用性の確認あるいは商品化の際に必要なとされる諸要件の把握をユーザの立場から行い、早期実用化開発に反映させてきている。

### 3. 当社における燃料電池のフィールドテスト

当社は、昭和57年3月以来、ユナイテッド・テクノロジー社（以下、UT社という）から購入したPC-18型燃料電池のプロトタイプ機でフィールドテストを実施している。

さらに、昨年12月に、GRIプロジェクトのもとで製作された49基のうちの1基を入手し、PC-18型燃料電池を国際科学技術博覧会場のガスパビリオンで展示運転するため、同場所での試運転を開始したところである。

ここでは、前者のテスト状況について紹介する。

#### 3.1 テスト概要

コジュネレーションシステムとしての機能を備えたPC-18型燃料電池を初めて運転するのにかんがみ、テストを2つの段階に分けて行った。すなわち

・当社技術研究所でのテスト（フェーズⅠ）

……燃料電池に関する総合的な性能の把握。

・スイミングクラブでのフィールドテスト（フェーズⅡ）

……実負荷接続による連続運転を行い、長期

\* 東京ガス(株)エネルギー変換技術開発プロジェクトチーム 課長

〒105 東京都港区芝浦 1-16-25

的使用に対する燃料電池の状態の変化を把握する。

### 3.2 フィールドテスト機について

本フィールドテストに用いた燃料電池は、GRIプロジェクトのもとで製作される49基に先がけて作られた6基のうちの1基で、PC-18型のプロトタイプの燃料電池である。ほかに大阪ガス、米国3社、メキシコ1社が同様の試験を行っているものである。

フィールドテスト機の仕様を表1に、特性を図-1、システムを図-2に<sup>1)</sup>、又内部機器配置を図-3に示す。

表1 PC-18型燃料電池の主な仕様

|        |                                  |
|--------|----------------------------------|
| 定格出力   | 40kw                             |
| 発電効率   | 40%                              |
| 総合熱効率  | 80%                              |
| 電圧     | 120/208V, 3相4線                   |
| 電圧変動   | ±5%                              |
| 周波数    | 50Hz                             |
| 周波数安定性 | ±0.0002%/年                       |
| 応答速度   | 0~全負荷まで瞬時(2サイクル以下)               |
| 高調波歪   | 8%以内                             |
| 起動時間   | 5時間                              |
| 燃料消費量  | 天然ガス(都市ガス) 8.6m <sup>3</sup> /時間 |
| 燃料圧力   | 水柱 100~300mm                     |
| 操作方式   | 自動                               |
| 設置場所   | 屋内, 屋外                           |

なお、初期に開発されたPC-11型との主な違いは下記の通りである。

- (1) 発電効率が28%から40%になった。
- (2) 排熱回収装置が新たについて、総合効率が80%になっている。
- (3) 水は外部補給方式から自給方式に変わった。
- (4) 全自動化され無人運転が可能となった。

### 3.3 技術研究所におけるテスト結果

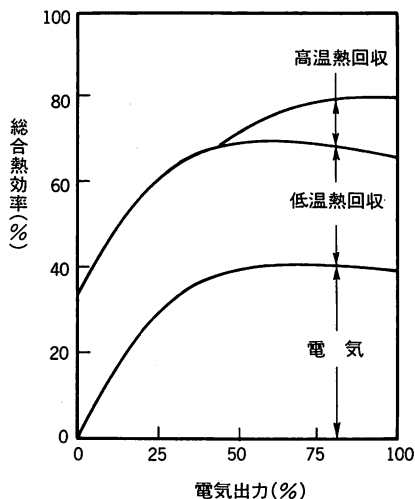


図-1 PC-18型燃料電池特性

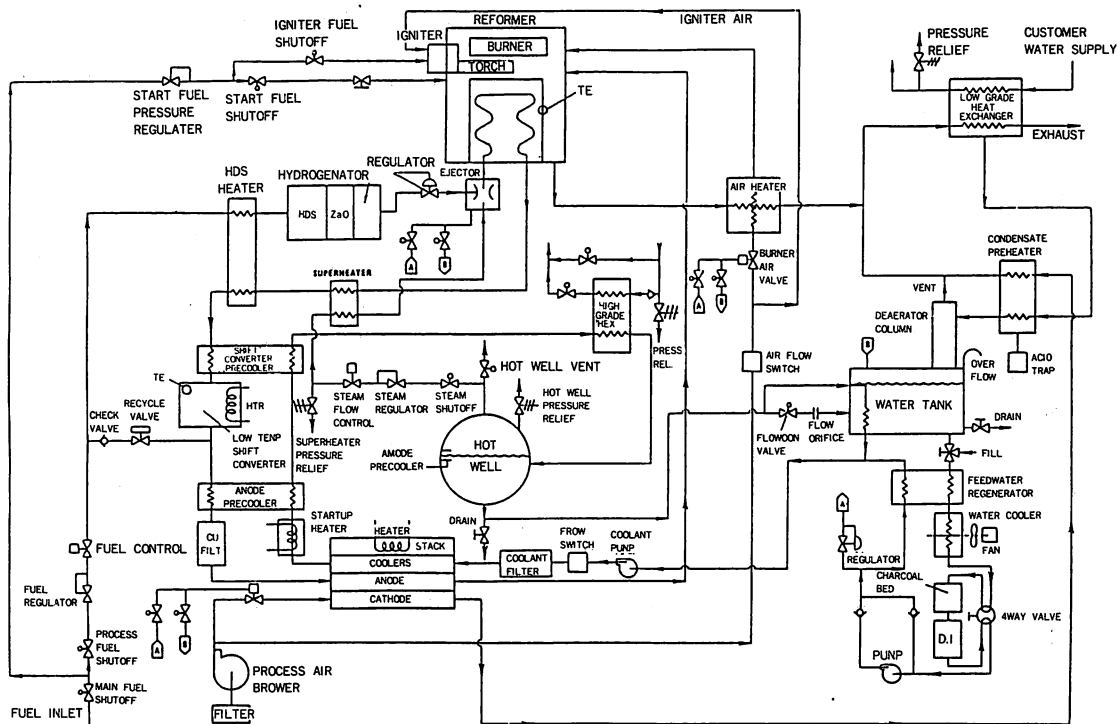


図-2 PC-18型燃料電池システムフロー

表2 技術研究所におけるPC-18型燃料電池の確認事項

| 区分       | 項目       | 内 容   | 区分         | 項目  | 内 容  |
|----------|----------|---|------------|---|--|
| 運転に係わるもの | 輸送及び初運転時 | 1.輸送時の温度管理, 衝撃力, 最大傾斜の許容値<br>2.電解質凍結防止の為の加湿処理及び始運転時のドライアウト手順<br>3.冷却水計の不凍液による凍結防止方法及び不凍液除去方法                              | 構成機器に係わるもの | 改質装置  | 1.改質効率(CH <sub>4</sub> 転化率)改質組成など小型改質装置の性能<br>2.温度, 圧力, スチーム比, リサイクル比等の運転条件<br>3.スタート及び昇温時の諸条件<br>4.負荷変動応答性  |
|          | 起動・停止    | 1.ヒートアップ時及び停止時の各部(リフォーマ, COコンバータ, 冷却水系等)の時間と温度との相関々係<br>2.長期停止時のセル管理(N2シール及びスタック内の温度維持)<br>3.電圧発生～送電までの各部の挙動              |            | 発電部   | 1.VI特性, 効率, 電流密度など電池特性<br>2.燃料利用率, 空気利用率<br>3.セルの温度制御条件<br>4.セル特性のバラツキ<br>5.リン酸保持量と逸失量の推定及び寿命の推定<br>6.長期停止時のセルスタックの温度管理条件<br>7.運転時の電池管理条件<br>8.負荷変動応答性 |
|          | 運 転      | 1.負荷率に対する発電効率, 排熱回収効率の把握<br>2.低負荷時におけるリフォーマ, 電池の作動方法<br>3.0~100%負荷急変時の各部の作動<br>4.システム全体の制御方法及び各部の作動状況<br>5.プロセスの物質エネルギー収支 |            | 排熱回収装置  | 1.排熱回収熱交換器の特性  |
|          | そ の 他    | 1.出力電圧波形歪の確認<br>2.排気, 排水成分の把握<br>3.騒音, 振動及びその発生源の確認<br>4.防水, 防滴性の確認   |            | インバータ   | 1.インバータの諸特性把握  |
|          |          |   | そ の 他      | 1.補修に伴い分解あるいは開放した部品の構造<br>(ex, 熱交換器, 水タンク, カソードバルブ, ポンプ, フロートスイッチ等) |  |

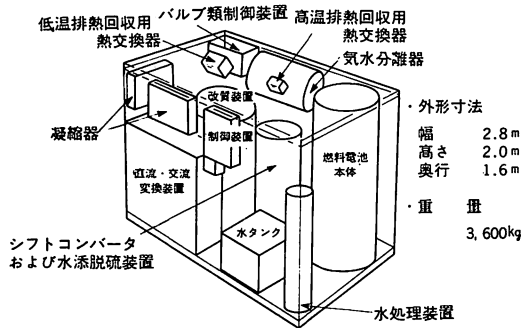


図-3 PC-18型燃料電池内部機器配置図

技術研究所においては, 表1に示すような仕様, および図-1の効率特性の確認を行うとともに, 電池本体の性能やシステムの熱収支, 物質収支など表2に示すようなオンサイト型燃料電池の技術的知見を得た。主な性能, 結果を表3に示すが, ほぼ仕様通りの結果が得られている。

3.4 スイミングクラブでのフィールドテスト

燃料電池をスイミングクラブ敷地の一角に設置し, 電気と同時に熱をも供給する熱電併給のシステムを構成した。燃料電池のみではサイトの建物が必要とする全電力および全熱量がまかないきれないので, 燃料電池のシャットダウン時も考慮して既設設備からのバックアップをはかるシステムとした。発生電力は動力や照明用に使用し, 回収排熱は蓄熱槽に貯蔵してから,

表3 主な性能, 結果

|        |                           |                   |
|--------|---------------------------|-------------------|
| 送電端効率  | 40% (LHV)                 | (部分負荷効率はほぼ図-1の通り) |
| 排熱回収効率 | 38%                       |                   |
| 起動時間   | 4.5~5時間                   |                   |
| 全高調波   | 9%                        |                   |
| 騒音     | 60ホン (15フィート離れて)          |                   |
| NOx    | 8 ppm (O <sub>2</sub> 5%) |                   |

主として給湯用(シャワー)に使用し, 熱が余剰の場合には暖房用や冷暖用(吸気式冷温水機の熱源)に使用することで計画した。図-4に電気および熱利用の系統図を示す。運転は無人運転となっている。テスト状況を図-5に示す。

これまでの運転では, 主として実負荷(電動機, 照明)の変動に燃料電池が問題なく追従するかどうかを確認してきたが, 今後は熱利用の面からデータを蓄積して行く予定である。

3.5 テスト概括

技術研究所およびスイミングクラブのテストを合計して, 現在運転時間約2,000時間, 発電電力量約39,000 kWhの実績を得ている。

その間, 燃料電池技術の核である電池本体およびリフォーマーにはトラブルはなく, UT社の高い技術水準を確認することができた。反面, 既存技術分野と考えられるポンプ類, バルブ類, 制御機器, インバータおよび冷却水質等で小型ゆえに生じたと思われるトラ

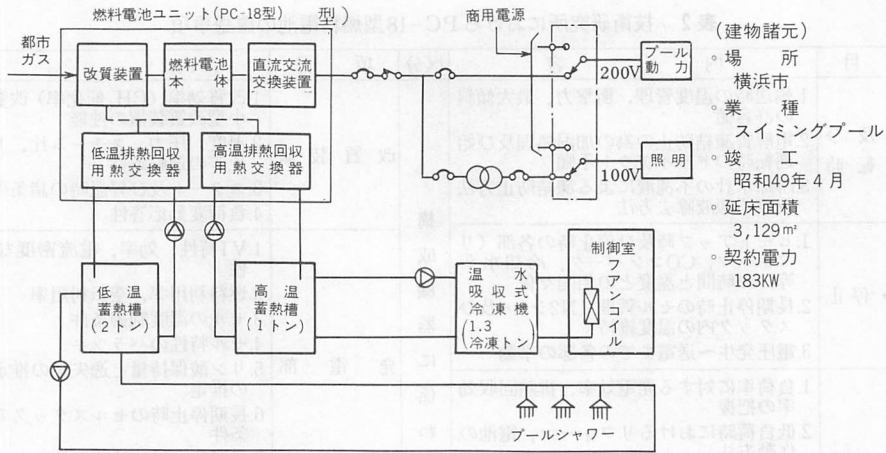


図-4 フィールドテストにおける電気及び熱利用系統

- (建物諸元)
- ・場所 横浜市
  - ・業種 スイミングプール
  - ・竣工 昭和49年4月
  - ・延床面積 3,129㎡
  - ・契約電力 183KW

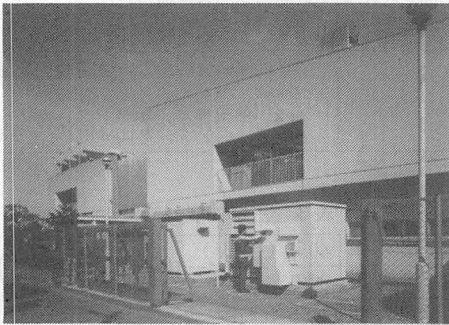


図-5 スイミングプールにおけるフィールドテスト状況

ブルが発生しており、実用化にはこれらの課題解決をはかる必要があることも明らかとなった。現在までの結果をまとめて表4に示す。

なお、大阪ガスはレストランをフィールドテストサイトとして、運転時間約1,800時間、発電電力量約28,000kWhの運転実績を得ている。

#### 4. GRIプロジェクト

##### 4.1 フィールドテストプロジェクト

1981年、エネルギー省（以下、DOEという）からの資金援助が決定したのに伴ないPC-18型49基のフィールドテストプロジェクトが発足した。燃料電池製作費4,000万ドルのうち2/3をGRIが、1/3をDOEが負担し、サイトでの建設・運転費を参加会社が負担するという官民共同のプロジェクトとして進められている。参加会社やテストサイトの決定、全体の技術的管理等プロジェクト全体の管理はGRI及びDOEの代理者であるNASAが行っている。参加者は米国国防省のほかガス会社14社（東京ガス、大阪ガスも含む）、電力会社

表4 フィールドテスト結果

|        |                            |    |        |    |
|--------|----------------------------|----|--------|----|
| 運転時間   | 約2,000時間（内フェーズⅡ試験約800時間）   |    |        |    |
| 発電量    | 約39,000kWh（内 " 約12,000kWh） |    |        |    |
| 最長運転時間 | 333時間                      |    |        |    |
| 起動停止回数 | 79回                        |    |        |    |
| 主なトラブル | 計66回 内訳は下記の通り              |    |        |    |
|        | 発電部                        | 0回 | 水処理系   | 4回 |
|        | リフォーマ部                     | 0  | 制御バルブ系 | 6  |
|        | インバータ及びロジックカード             | 41 | 空気供給系  | 1  |
|        | 冷却水系                       | 10 | その他    | 4  |

5社、ガス&電力会社11社、その他1社から成り、燃料電池の参加者への引渡しは1983年11月からはじめられ今年初めまでに順次全数が引渡される予定となっている。昨年10月までに21ヶ所のテスト場所へ24台が引渡され、20台が運転開始され、累計32,000時間の運転時間を達成していると伝えられている。参加条件の中には、このプロジェクト推進のために組織されたフィールドテストマネージャーズ委員会への出席、3ヶ所以上の建物で1年以上負荷調査をし定められたフォーマットでデータを提出する、テストを1年以上行いこの間の諸データを提出する、等が義務づけられているが、負荷調査データはフィールドテストデータと併せオンサイト型燃料電池の商品機種の仕様の検討基礎資料として活かされることになっている。

##### 4.2 今後の実用化計画

オンサイト型燃料電池の商品化のために、電池性能の更なる向上やコストダウンを中心とした検討が進められている。GRIレポートからその一例を紹介する。

- ・現在のPC-18型は過剰スペックとなっているため

表5 オンサイト型燃料電池の仕様比較例

| 仕様    | 現プラント  | 初期導入用試作プラント   | 仕様     | 現プラント  | 初期導入用試作プラント  |   |
|-------|--|---|--------|--|--|---|
| 定格    | <ul style="list-style-type: none"> <li>40kw</li> <li>+40%過負荷</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>300kw</li> <li>過負荷不可</li> </ul>                                | 排熱     | <ul style="list-style-type: none"> <li>~135°C</li> <li>~71°C</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>温水暖房, 吸収式空調用として最大限に熱利用(リターン温度 82~104°C)</li> <li>71°C家庭用温水, 補助熱源, 温水貯蔵のための系統分離はオプション</li> </ul> |   |
| 運転形態  | <ul style="list-style-type: none"> <li>アイソレート及びグリッド接続</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>定負荷運転によるグリッド接続</li> <li>グリッド停電時アイソレート運転に自動切替</li> </ul>        |        | 燃料   | 種別   | <ul style="list-style-type: none"> <li>パイプライン天然ガス</li> <li>ピーリシェーブガス</li> </ul> |
| 出力範囲  | <ul style="list-style-type: none"> <li>0~140%負荷</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>グリッド接続時定負荷設定(0~100%負荷任意)</li> <li>アイソレート運転時25~75%負荷</li> </ul> | 供給圧力   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>102~356mmag</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>102~356mmag</li> </ul>                   |
| 負荷追従性 | <ul style="list-style-type: none"> <li>瞬時</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>グリッド接続時全負荷変動に対し10秒</li> <li>アイソレート運転時瞬時</li> </ul>             | 不純物    | <ul style="list-style-type: none"> <li>全硫黄 30ppm</li> <li>チオフェン 10ppm</li> <li>酸素 2.5vol%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>全硫黄 平均6ppm/最大30ppm</li> <li>チオフェン 4ppm</li> <li>酸素 0.2vol%</li> </ul>                           |   |
| 発電効率  | <ul style="list-style-type: none"> <li>1/2負荷において40%</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>定格時40%(85%燃料利用率, LHV)</li> </ul>                               | 設置     | <ul style="list-style-type: none"> <li>屋外(-32~49°C)</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>屋内またはシェルター内(2~49°C)</li> </ul>  |   |
| 電圧    | <ul style="list-style-type: none"> <li>120/208V</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>277/480V, 3相4線</li> </ul>                                      | 梱包     | <ul style="list-style-type: none"> <li>1個</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>複数個</li> <li>3.0m(W)×3.5m(H)</li> </ul>   |   |
| 電圧変動  | <ul style="list-style-type: none"> <li>±5%</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>±5%</li> </ul>   | メンテナンス | <ul style="list-style-type: none"> <li>年1回シャットダウン</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>年1回シャットダウン</li> </ul>   |   |
| 高調波   | <ul style="list-style-type: none"> <li>アイソレート: &lt; 8%</li> <li>グリッド接続: &lt; 4%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 5%</li> </ul>   |        |  |  |   |

表6 リン酸保持方法の検討例

| 方式    | 内容                          | 評価   |
|-------|-----------------------------|--|
| リザーバ有 | リブ形状変更<br>                  | △ 寿命50~60%増すが, 40,000hr不可<br><br>× 40,000hr達成するが, 高さ45%増<br>× 構成が複雑化         |
|       | Dual Porosity Electrode<br> | ○ リン酸貯蔵量25~50%増加するが, 高さ同じ<br>○ マル特性向上(10mV/cell)<br>○ 熱伝導度, 強度向上<br>○ 連続製造可能 |
| リザーバ無 | リン酸の再注入<br>注入口を設け, 外部より注入   | ○ 注入方式検討要するが, 40,000hr可能   |

\* 細孔径の小さいプレートor電極基質は毛細管現象によりリン酸を保持するため、リン酸のリザーバとして機能する。

- これを改善する<sup>1)</sup>。内容を表5に示す。
- リフォーマの改質性能を向上させ、図-6のような構造としてコストダウンをはかる<sup>2)</sup>。
  - 電池の冷却方法を図-7のように改善し<sup>1)</sup>、PC-18型では6セルごとの冷却ユニットを10セルごとにする。

電池のリン酸保持方法等を変え、73W/ft<sup>2</sup>から146W/ft<sup>2</sup>を目ざす。検討されている内容について表6に示す<sup>1)</sup>。

これらの技術開発により、300kwレベルの製作コストは現状の1,900ドル/kwから1,250ドル/kwとなり、燃料電池コンポーネントのコスト比率は表7のように

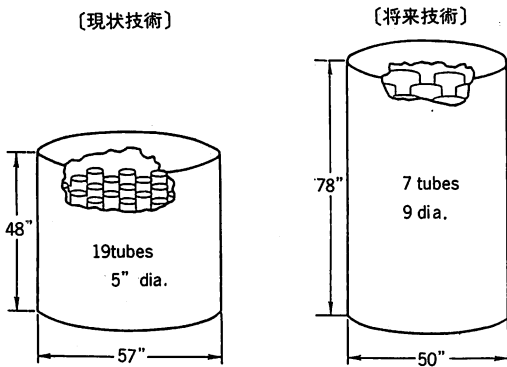


図-6 300kwの場合のリフォーマ

表7 燃料電池コンポーネントのコスト比率

| コンポーネント                 | 現状技術                | 将来技術                |
|-------------------------|---------------------|---------------------|
| Cell Stack Assembly     | 0.44                | 0.36                |
| Fuel Processors         | 0.15                | 0.14                |
| Heat Exchangers         | 0.04                | 0.06                |
| Controls/Components/Wts | 0.11                | 0.16                |
| Pallet Assembly         | 0.16                | 0.15                |
| Inverter                | 0.07                | 0.08                |
| Production Support      | 0.03                | 0.05                |
| Total                   | 1.0<br>(1,900ドル/kw) | 1.0<br>(1,250ドル/kw) |

なると評価されている<sup>1)</sup>。

オンサイト型燃料電池のスムーズな市場導入をはかるために、前記のような技術開発と併行して「オンサイト型燃料電池ユーザーズグループ」が組織され、マーケットの調査・分析、備えるべき仕様の検討、対外的なPR等の活動が展開されている。このグループの検討によれば、オンサイト型燃料電池の初期市場導入機は200~300kw程度のものが良いとされており、時期としては1987~88年頃と予測されている。

### 5. 日本における燃料電池の市場性

通商産業省工業技術院ムーンライト計画室の昨年末の報告書<sup>3)</sup>によると、電気事業用及びオンサイト用燃料電池の市場導入量は、昭和66~80年の15年間で約3,500万kwとなり、年平均の導入量は表8のようになっている。詳細は本報告書を参照されたい。

### 6. おわりに

省エネルギー性、環境性さらには適用の多様性など多くの特長をもつ燃料電池発電システムは、エネルギー資源の大半を輸入し、国土狭少であるわが国にとって高く評価されるべきものであり、将来のエネルギーシステムの中になくしてはならないものの一つであると

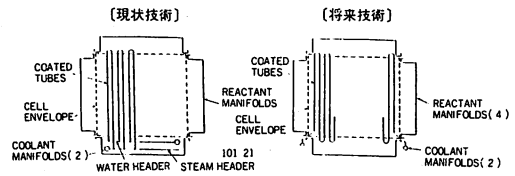


図-7 電池冷却方法の改善

表8 日本における燃料電池の年平均想定導入量 (単位: 万kw/年)

| 用途     | 期間    | 昭66~70年<br>(1990~1995年) | 昭71~75年<br>(1996~2000年) | 昭76~80年<br>(2001~2005年) |
|--------|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|        | 電気事業用 |                         | 70                      | 130                     |
| オンサイト型 | 業務用   | 8                       | 38                      | 71                      |
|        | 産業用   | 6                       | 30                      | 50                      |
| 計      |       | 84                      | 198                     | 421                     |

いっても過言ではない。

現状技術レベルでは高度に発達した在来の火力発電設備と比肩し得るものではなく、コスト、信頼性の面でまだまだ解決すべき課題も多い。又、新しいものが市場導入される場合の宿命としてかなりのハンディキャップを負うという社会的環境の問題もあろう。

したがって、今後はより積極的な技術開発はもとより、開発の進展に応じて燃料電池発電システムを受け入れる社会環境の条件整備や国の積極的な支援が強く望まれるところである。

### 参考文献

- 1) GRI; ON-SITE FUEL CELL POWER PLANT TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT PROGRAM, Annual Report, January 1981-December 1981.
- 2) GRI; ON-SITE FUEL CELL POWER PLANT TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT PROGRAM, Annual Report, January 1982-January 1983.
- 3) 通商産業省工業技術院ムーンライト計画推進室大型省エネルギー技術(燃料電池発電技術)研究開発推進会議・経済性評価ワーキンググループ; リン酸型燃料電池発電技術の将来展望(第1報), 昭和59年12月。