

## ■ 展 望 ■

## '85燃料電池セミナーの概要報告

## Brief Report on '85 Fuel Cell Seminar

伊 藤 登\*

Noboru Itoh



去る5月19日から22日の4日間、米国アリゾナ州ツーソンのSheraton El Conquistador Hotelにて、National Fuel Cell Coordinating Group主催の1985燃料電池セミナーが開催された。米国、日本を中心に14カ国から約340名の参加があった。我が国から65名の参加があり、前回のセミナー（フロリダ州オーランド）は38名であったのではほぼ倍増しており、日本の関係者の関心が高まっていることを示すものである。この時期に合わせて、新エネルギー財団の燃料電池等ミッション、関西燃料電池研究会のミッションなどが参加し、ユティリティ、メーカー、研究所、素材メーカー、ジェネコンなど幅広い業種からの人々が会議にのぞんだことと特記される。南ア連邦から前回に続き白金業界有力2社からの参加者があり、将来市場に熱いまなざしを向けていた。

今回は、主催側の要請により、日本の燃料電池関係会社共催によるレセプション（NEDOを幹事会社とし、NEDO委託会社を中心に14社参画）を開催し、米国DOE、EPRI、ユーザー、メーカーなど300名以上の人々の参加を得て、燃料電池関係の情報交換を活発に展開したことは極めて有意義であった。

セミナーでのセッション名と提出論文数は次の通りである。カッコ内は日本からの提出論文数である。

開会セッション（一般）	3（1）
オンサイトPAFCセッション	7（1）
技術ベースセッション	7（3）
電力向けPAFCセッション	7（3）
固体電解質電池セッション	7（0）
輸送用FCセッション	3（0）
特別応用利用セッション	3（0）
熔融炭酸塩型FCセッション	10（2）
工業用FCセッション	4（1）
商用計画セッション	3（0）

\* 新エネルギー総合開発機構燃料・貯蔵技術開発室室長代理  
〒170 東京都豊島区東池袋3-1-1 サンシャイン60



図-1 セミナー会場のSheraton El Conquistador Hotel中庭（FCセミナージャパニーズナイトを開催した場所）

総論文数54件、うち日本からの論文11件であった。上記のほか、ランチタイム（12.00～14.00）にポスターセッションが開かれ、延べ27件、うち日本から6件の展示があり、それぞれの展示ブースでは熱心な討論が行われた。また、Occidental社が5kwアルカリ型燃料電池のデモ運転を会期中屋外テントのなかで実施し、多数の見学者があった。

リン酸型燃料電池（PAFC）に関しては、商用化計画、実証運転の計画或はその成果であって、既に研究開発段階から次のステップに入りつつあることを印象づけている。熔融炭酸塩型燃料電池（MCFC）は、数kw級スタッキングテスト段階に入るとともに電極材料の研究が極めて熱心に展開されていることを印象づけた。固体電解質型燃料電池（SOFC）についてはWH社がここ1年間余で極めて大きな仕事をしてMCFC開発レベルに接近していること、発電と云う観点から最も質の良い熱及び電気エネルギーを得る見通しが立ちつつあることを印象づけた。FC技術の応用及びSOFCに関して、我が国からの論文発表がなく、この面での活動が今後必要になる。

表1 Twenty year Progress in Fuel Cell Technology  
[Order-of-magnitude numbers]

	Early 1960's		Present Time	
	Largest Stack, kw	Stack Life hrs.	Largest Stack, kw	Stack Life, hrs.
Solid Polymer	$10^{-1}$	$10^2$	10	$10^4$
Alkaline	10	$10^3$	10	$10^4$
Phosphoric Acid	1	$10^3$	$10^2$	$10^4$
Carbonate	$10^{-1}$	$10^2$	1	$10^3$
Solid Oxide	$10^{-2}$	$10^2$	$10^{-1}$	$10^3$

### 一般事項

King氏 (Cambridge Research Co.) より石油価格動向予測が過去多くの人々から報告されているが、必ずしも実勢価格は予測通りになっていない。経済的、社会的情勢により左右されるのが自由社会の実体で、Opec側で価格コントロールすれば、Non-Opecでの生産が増え (1979~1987)、石油価格安定になる、又天然ガスシフトが行われ、石油価格安定化に寄与する。などの基調報告があり、これらの情勢から次の様に結んでいる。(1) 米国の電力事業におけるガス使用は大きな市場になりうる。(2) カナダ産の天然ガスを輸入し、マーケットを形成させる。カナダ政府は輸出促進のため値下げ攻勢にでるかどうにかかっている。(3) 天然ガスを利用する燃料電池は1990年以降、PURPA法のもとで市場性が増大していくと予測。そのコストは通常、習熟曲線にそってコストダウンがあるが、燃料電池についてはそれなりの技術開発、管理努力が必要になる。

A. Fickett氏 (EPRI) より燃料電池技術の現状と題するOverviewがあった。

25年以上に亘る5種の燃料電池の開発で、それぞれのもつ特徴が明確化され、市場性も刺激をうけつつある。ちなみに1960年代の技術レベルと現状とでは大きな進展があり、スタックサイズ、寿命などについてみると表1の通りで、いずれも1~2けたの進歩となっている。寿命が $10^4$ 時間に至ってきたものは実用領域に達したと云えよう。現状の各種電池の特性について概説したのち、将来の開発について、アルカリ燃料電池は寿命を4倍に延ばす、価格を1けた下げる開発、PAFCは、価格を現状の半分にすること、MCFCはスタック数10倍、スタック寿命10倍にすること、SOFCはスケールアップ100倍、スタック寿命10倍とする開発が当面必要とされる。と報告があった。

K. Matson氏 (PSE&G社) より、電力およびガスを供給しているユティリティの立場から燃料電池の導入利得紹介があった。ガスのオフピーク時に、オンピーク電力を発生しうること、熱併給が出来ることが大きな魅力となっている。よく云われることだが、環境適合性が良く、需要地近傍に設置しうること。小容量でも高効率発電で、運転範囲が広いこと。モジュラー構造で工場生産による部分が多いのでリードタイムが短いことなど特にオンサイト型としての燃料電池に興味を示している。その為、PSE&Gでは40kwのフィールド試験に参加したし、又商用プロトタイプ200kw、或いは7.5~11 MWのテストをユティリティが積極的に参加すべきだと述べている。

### リン酸型燃料電池

このタイプの燃料電池に関するセッションでは、プラントの運転実績、オンサイト型電池の長期運転経験、商用化計画あるいは実証運転計画、成果報告が主流であって、既にR&D段階から次の商用化への段階に入りつつあることを印象づけている。その中であって、ムーンライト計画に基づく要素技術を日立がセル特性の改善、寿命試験及び燃料利用率と電圧降下、電流密度特性等に関して、三菱が電池スタックの特性改善結果を年順に示し、3,520cm<sup>2</sup>セルで285セルを積層して130kw (190°C, 4 kg/cm<sup>2</sup>G) モジュールとした成果に関し報告があった。東芝から天然ガスを燃料とする50kw (205°C, 5 ata) プラントの詳細報告、BNL~205°Cにおけるリン酸特性、WHの電解質特性、電池特性向上研究の発表があり、着実な技術進歩のあとがうかがえる。

NEDOから、低温低圧型及び高温高圧型各々1 MW発電プラントの最近の進捗状況を報告した。特に前者では、プラントの仕様詳細と要素技術開発として実施している複合電極の製法と特性について、後者では、

リホーム及び空気供給システムの検討状況とパワーコンデショニングを含む制御サブシステムについて紹介した。

米国における発電プラント関連では、WH社のSo-cal Edison向け空冷式7.5MW設計の報告とWH社/SE社の分担についての報告があり、設計上の特徴としてエネルギーを回収し効率を上げるために、ガスエキスパンダはFCカソード排ガス及びリホーム燃焼ガスのエネルギー回収を行い、スチームタービンは、スチーム発生システムからの低圧スチームを使用し、コンプレッサと冷却空気循環を行うようにした。

IFC社(UT社と東芝の合弁会社)の11MWプラント用のセル触媒の評価は極めて良好な特性を示したことで、 $10\text{ft}^2$ 、28セルショートスタックテストは $120\text{psia}$ 、 $405\text{F}$  200AsFのもとで1,500時間実施、 $3.7\text{ft}^2$  30セルの寿命テストは15,000時間を越したが良好であること、リホーム反応管(2,300mmチューブ)の試験を1,000時間実施し、燃料転化率89.5%、効率82%を得たことなどの報告があった。

東電からUT社製4.5MWプラントの運転研究結果をPACテスト時期から全出力発電に至るまでの詳細報告ならびにトラブル例とその対応についての報告があり、現在迄に世界最大級のプラントであるため、その運転成功はFC開発の大きなげみとして受けとられたと思う。Holder Topsoe社の高効率熱交をもつ改質器についての報告はWH社7.5MW用であり、向流型と並流型のハイブリッドにした単管モデル(1.25MW用)での成果が紹介された。この単管6基で7.5MWに使用することになる。

オンサイト型PAFCプログラムでは、UT社の供給した35のユティリティ及びいくつかの機関(例えばIBM)における40kw機のフィールドテスト(1984~1985)結果の報告、So-cal Gasの40kw FCの設置コストと商品機種種の目標設置コスト(40kw機1,025\$/kwの分析と200kw機予測300\$/kwの分析)、GRIのマーケット分析により、FCコストが1,000\$/kwの場合、連系として用いられる市場は7,000万kw、独立電源として2,000万kw(200kwユニットの市場は各々3,000万kw、400万kw)と想定されること、エンゲルハルト社のコージェネ及びフォークリフト用メタノール燃料の燃料電池開発状況報告、三洋電機の50kw空冷式燃料電池の開発結果の報告などがあった。

FC商用化計画に先だちIFC社Handly氏は、従来UT社として活躍していたが、米国人の形で東芝と

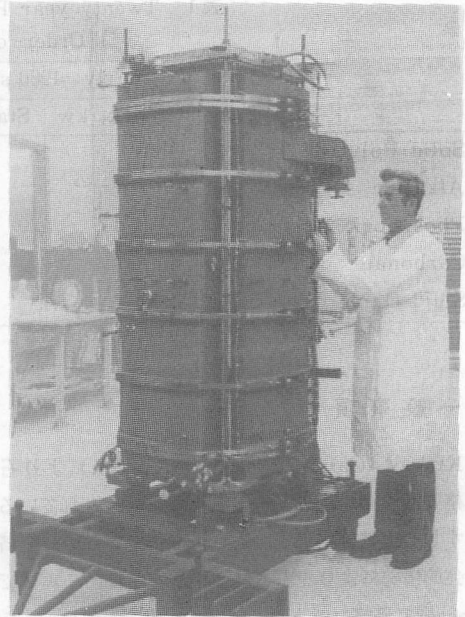


図-2 オンサイト用PC-18スタック(40kw)IFC提供

UT社がJVを作りInternational Fuel Cells社(IFC)となったことを報告したのち、新会社では1989年から11MW FCプラント(ヒートレートを現在の9,300Btu/kwhから8,300Btu/kwhに改良)を製造販売する予定で開発を続けていると述べた。これはPC-23の早期実用化に向けてプロトタイプ3台と商用機のためのデモプラント20台の製造販売であるが、当初3台における導入コストはkw当り\$2,000程度と見込まれるけれども、20台の導入を見込むことによってkw当り\$1,000を達成していこうとするものである。尚、WH社の報告は著者が急用の為参加ができなくなり、省略された。開発責任者のJ. Buggy氏は空冷式PAFC開発に忙殺されているが故というのがもっぱらのうわさであった。

### 溶融炭酸塩型燃料電池

MCFCに関するセッションでは、10件の論文が報告された。このセッションには約2倍の論文数がプロポーズされたと聞かすが、時間の関係で約半数がポスターセッションに回った。

Flour, ERC社は内部改質型MCFCシステムのパラメトリックスタディについて報告、この目的は内部改質型MCFCシステムの分散発電電源としての可能性を技術面と経済面から調べ、今後の開発目標をさらに明確にすることで、2MW程度以下の、高効率で経

済的な分散発電設備として有利である。その為の条件は常圧、燃料利用率0.8~0.9、アノード入口における水蒸気/メタン比1.5~2.0で電流密度160~200mA/cm<sup>2</sup>における平均セル電圧が0.73Vであること、3年間の運転における電池スタックの劣化が5%以下、公称セル面積2~3ft<sup>2</sup>、1スタックが200~300セル、セル内温度勾配100°F、スタックの材料費及び製作費\$150~200/kwなどである。

日立からNEDOからの受託研究であるマトリクス型要素技術の開発と1kw電池試作について報告があった。カソードにはNiO-Ag及びNiO-CoOが高性能を示す。アノードは純NiよりもNi-COが優れている。リチウムアルミネート繊維とリチウムアルミネート微粉末からなるマトリクスを用いると良い結果が得られた。マトリクスは溶過成形法とドクターブレード法の2つの製法で作られたが、後者の方が薄いマトリクスを量産するのに適する。さらに900cm<sup>2</sup>セルを12セル積層して出力1kwの運転に成功したことを報告した。

ミネソタ大学・D.A. Shores氏から、MCFCではカソードの溶出が重大問題で、NiOは代る新材料の研究を進めており、各種カソード用材料の溶出について報告があった。ANLのG.H. Kucera氏から、NiOに代る新しいカソード材料の評価がANLの研究の主題であり、これまでの実験で、LiFeO<sub>2</sub>とLi<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>が、導電性を除いて、MCFCのカソードに対する全ての条件を満たしていることが明らかとなった。ある種の条件下ではこれらの材料の導電性は電池としての要求に応える。特に導電性は調製時のガス組成に依存する。そこで材料の物性に及ぼす合成と焼結雰囲気の影響、導電機構について検討した結果を報告した。

東芝からNEDO委託研究のベスト法による電解質板製造技術として、ソフトプレス法の開発、10ft<sup>2</sup>以上の大型セルに使える、炭酸塩(Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)と電解質保持材(LiAlO<sub>2</sub>の短繊維)と少量の有機バインダーを混合、モールドして約100kg/cm<sup>2</sup>で加圧成形する方法を報告した。これにより反応面積140cm<sup>2</sup>、600cm<sup>2</sup>のセルを組立て、1,000時間以上のテストを実施して、良好な性能を得ている。

Oak Ridge N. L. からMC中のCrとFeの腐食の熱ダイナミクスと題し、MCFCの電氣的安定性とライフ面から材料選定を考えるとセパレータ材料は未だ決っていない。310及び316ステンレス鋼がセパレータとして一般に使われているが、さらに他の材料を探索しているけれど、いずれもCr, Fe, Niを含んでいる。

650°CにおけるLi-Fe-C-O及びLi-Cr-C-O系の平衡状態図が作られたが、LiにさらにKを加えた系の状態図について検討した結果を述べた。

UTCからMCFC開発の現状について、1ft<sup>2</sup>20セルスタックによる5,000時間の試験結果、今後の計画として1985年に1ft<sup>2</sup>×20セル、1986年に8ft<sup>2</sup>×20セルスタックのテストを行う予定であるとの報告があった。

ノースウエスタン大学からMCFCのアノードとしてNiやCuの多孔体はOxideを分散添加するとクリープが低減するが、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を添加したCuならびにNi多孔体のクリープテストをし、シンタリングのActivation EnergyはNiもCuも等しいことを明らかにした。

IGTでは、H<sub>2</sub>Sを添加して小型MCFCセルの特性への影響を調べている。H<sub>2</sub>混入による性能低下は高電流密度ほど大きくShift Reactionが起こらない組成の燃料使用の場合には性能のRecoveryはないと報告していた。ERCからメタンを直接燃料として用いる内部改質FCの触媒と単セル特性について報告があった。改質触媒の寿命は25,000時間を目標としている。

MCFC技術開発の中心は依然としてカソード材料(現在NiO)の探索であり、セルを加圧燃料で使用した場合、CO<sub>2</sub>のPartial Pressureのセル寿命に与える影響は大きく、NiOに代わるカソード材を見出さないと高圧使用の長寿命セルはむずかしいとの意見も出されている。

### 固体電解質型燃料電池

SOFCに関するセッションでは、WH社から商用化計画を含めて5件、研究所等から3件、すべて米国側の報告である。

WH社の報告は、SOFCセルをSelf-Heating Generatorとして設計し、大量生産に適した構造をとっている。28セルを8本直列、3本並列にして、H<sub>2</sub>とCOの混合ガスで運転するもので、燃料利用率は70~85%にとっている。5kwセルは18S×18Pで達成しようと考え、大型SOFCのCritical Design Featureが判明したとしている。実際に生産した状況においては、バッチタイプの製造技術が、大量生産に適用できると報告している。

スタックの特性及びライフテストの報告では、セル長さ20.5cm、実効面積74cm<sup>2</sup>のもの3本並列にして76% H<sub>2</sub>, 22% CO, 11% H<sub>2</sub>O, 空気は理論量の4倍流して燃料利用率85%としたときの特性、寿命試験結果を示

した。7,000時間を越してから性能がふらつき出したが、セルに使用している成分の相互反応は認められなかった。この点から10万時間以上のライフが可能と推定している。ライフテスト性能のふらつきは、セルの接触到問題があったようで本質的でない。高温時相互反応に関して、 $ZrO_2(Y_2O_3)$ と空気極であるSr-Doped  $La_2O_3$ との相互反応をReactivity StudiesとDiffusion Studiesを実施し、その結果を $1,000^\circ C \sim 1,400^\circ C$ の温度範囲での1,700時間反応を調べ報告した。

ANLのSOFCは、WH型のシームレスシステムの高圧化問題とMonolithic FCの報告と云う概念の異なった内容を同時に報告したのでややとまどった面がある。大気圧でSOFCを運転すると、Heatrateが5,600Btu/kwh(HHVベース)程度であるが、これを10気圧で運転するとNernstの電圧上昇65mV以外に、カソードのガス移動が良好となり35mVの電圧上昇がある。また、10気圧にすると圧縮機の損失が加わるが、ガスタービンの効率が向上するために、60%近い発電効率が得られる。

Monolithic FCは25~100 $\mu m$ の薄い層でセルを組むため、その強度を持たせるためにも、ハニカム構造となる。この様な構造とすると、一般のSOFCはセル本体だけを考えるとkgあたりの出力が97W程度にしかならないが、Monolithic FCになると8,080W/kgと高出力のもののが得られると報告した。

ZTEKのZirconia FC Power Systemは平板型のSOFCであり、高電力密度、熱管理が容易でストレスが小さい構造を目的としたものである。この平板SOFCは円柱状のセルを直接炉の中に入れ、SOFCの排熱を利用して燃料の改質、スチームタービン用スチームの発生によりスタックシステムができる。プロパンを燃料としたプロトタイプの試験(1,000 $^\circ C$ )により0.12W/cm<sup>2</sup>が得られた。次は1kwスタックをテストする予定であるとしている。

BNLからNovel Electrode Concepts, Thin Metal Oxide Filmの特性について学術的な報告があった。LaMnO<sub>2</sub>のアクチベーションデータのターヘルプロットから、電極YSZ, Airの3相における反応機構として、YSZ内にReduced Oxideの場所ができ、負に荷電されるとき、その場所が移動する。O<sub>2</sub>はこのReduced Oxideの所で電子を与えられO<sub>2</sub><sup>-</sup>イオンとなることを報告した。

商用化計画に関してWH社から、特性向上とコストダウンの研究開発に取り組んでいることを熱っぽく報

告。過去1年間にSOFC技術のアセスメント及び市場開発の戦略を検討した。その結果、1990年代の早い時期に商用SOFCを導入し得ること、SOFCが燃料電池市場の中で役割を確保できることを確認したとしている。

確かに前回のSOFCセッションに比較して、今回WH社の一連の発表は大きな進歩があったことを印象づけたが、FC関係者間ではそんなに早くに商用化はできないであろうとの見方が強いことも事実である。いづれにしても、今後競争相手(必ずしも同種類の別会社を意味しないが)があって互いに競い合った開発が進めば、自ずと商用時期が早まることはまちがいないと思われる。

### 応用セッション

燃料電池の応用分野として交通用、特殊用及び工業用のセッション合計で7件の論文が報告されたが、この分野でのFCは、ほとんどアルカリ型である。

Elenco社のバン搭載用アルカリFC(フォルクスワーゲン社のバンを利用)、LANLの20kw Indirect Methanol PAFCシステム試験と自動車用の改質装置、UTCの宇宙ステーション用アルカリFC(NASAの委託)、富士電機の7.5kwアルカリ型FCの開発、ERC社の小型メタノール改質燃料電池発電装置(DC3.9kw, AC3kw, メタノール改質型H<sub>2</sub>-Air)、NASA Lewis Research Centerの再生型燃料電池をNASAの宇宙ステーション用エネルギー貯蔵装置など幅広い利用が考えられている。

以上に述べたごとく、燃料電池は4種類ごとに開発段階、デモ段階、商用化段階にあり、ここ数年、国際間、企業間での開発競争が熾烈となる。特にMCFCについては米国と日本との技術格差は少なくなっていると思われる。従来ほど米国側から核心にふれた技術発表が少なくなっている傾向である。今後は互いに先生であり、生徒である関係が多くなると思われるので、企業エゴをできる限り抑え、競争的協調を計って共通ゴールに向けて進む必要があると思うのは一人著者だけであろうか。

尚、次回の燃料電池セミナーは、1986年11月頃、アメリカ東南部地域で開催される予定である。