

## 燃料電池の開発動向と水素利用

(財) エンジニアリング振興協会  
WE-NET 研究開発推進室  
岡野一清

### はじめに

水素と酸素の化学反応を利用して発電する燃料電池は、クリーンで環境保全性が高い発電装置であることから、世界各国で実用化に向けて研究開発が進められている。しかしながら技術的難易度が高いことと、コストが高いことなどにより宇宙用など特殊なものを除いては未だに実用化されていない。

我が国では昭和30年代から研究開発が進められてきたが、昭和56年にムーンライト計画が始まってから急速に開発が進展した。その間アルカリ型(AFC)、リン酸型(PAFC)、熔融炭酸塩型(MCFC)、固体電解質型(SOFC)、固体高分子型(PEMFC)の順に研究開発が開始され、現在もアルカリ型以外の燃料電池の開発が続けられている。これらの燃料電池の燃料としては、天然ガス、メタノール、石油系燃料が主に使用されているが、水素時代が到来し、水素の供給ネットワークが確立されれば燃料電池発電システムが小型化されコストも安くなるほか、新しい用途開発が期待できるなど大きな変革が期待できる。

このような背景から、本稿では燃料電池の開発の動向、実用化が早い時期に期待できるリン酸型と固体高分子型についての技術課題、水素時代における燃料電池の発展と利用分野の展望について述べる。

### 1. 燃料電池の開発動向

燃料電池の開発は国と民間の各プロジェクトにより進められてきたが、国のプロジェクトが燃料電池開発に及ぼした影響は極めて大きく、わが国の燃料電池開発の動向を示すものとして、現在継続中のプロジェクトを表1に紹介する。

表1 国の燃料電池開発プロジェクト (H6年度計画及びそれ以降)

1. 工業技術院ニューサンシャイン計画本部/NEDOのプロジェクト	
熔融炭酸塩型 (MCFC)	1) 高性能大容量スタックの開発 2) 1000kW級発電システムの技術開発 3) スタック材料技術、石炭ガス対応技術の開発 ・H9年度までに 1000kW 級発電プラント技術を確立する。
固体電解質型 (SOFC)	1) モジュールの研究開発 (大面積セルスタックほか) 2) 材料・基礎技術の研究開発 (電極構造ほか) 3) システム研究 (最適システム, 周辺機器材料) ・H4-H7 年度に数kW級, H8-H9 年度までに数10kW級モジュールを開発する。

<p>固体高分子型 (PEMFC)</p>	<p>1) 要素技術開発 (電極構造設計に必要な基礎技術, 膜の基礎的物性測定ほか) 2) システム研究 (改質技術, CO除去技術, 全体システム最適構成の調査・研究) ・H4-H7 年度まで 1kW級モジュール基本構造, システム研究を行い, H8年度以降, 数10kW級発電システムを開発する。</p>
---------------------------	--

<p>2. 資源エネルギー庁技術課/NEDOのプロジェクト</p>	
<p>リン酸型 (PAFC)</p>	<p>1) 都市エネルギーセンター型 5000kW 級発電プラントの製作 2) オンサイト型 1000kW 級発電プラントの製作 ・H3-H8 年度までに製作, 運転研究を行う。</p>

<p>3. 資源エネルギー庁省エネルギー・代替エネルギー課/NEDOのプロジェクト</p>	
<p>リン酸型 (PAFC)</p>	<p>・燃料電池フィールドテスト事業 (H4-H11年度) 国が1/3 の補助金を出し試験的に市場導入し普及を促進する (50, 100, 200, 500kW各機種)。</p>

<p>4. 資源エネルギー庁石油・精製課/(財)石油産業活性化センターのプロジェクト</p>	
<p>リン酸型 (PAFC)</p>	<p>・高効率石油エネルギーシステム実証事業 (H3-H7 年度) 50kW 1件, 200kW 2 件の運転実証試験を行う。</p>

<p>5. 資源エネルギー庁石油・流通課/(財)エルピガス振興センターのプロジェクト</p>	
<p>リン酸型 (PAFC)</p>	<p>・水素製造装置の開発 (H3-H6年度) ブタンガスを燃料とする燃料電池発電システムに適合する水素製造改質装置を製作し運転実証試験を行う。</p>

<p>6. 運輸省海上技術安全局/(財)造船業基盤整備事業協会のプロジェクト</p>	
<p>固体高分子型 (PEMFC)</p>	<p>・新形式船用電気推進システムの研究開発 (H6-H9年度) 燃料電池, 燃料改質系, 制御系のほか駆動系など機関まわりのシステムの研究開発を行う。</p>

以上現在継続中の国のプロジェクト全てを紹介したが、各種燃料電池の世界の開発状況の概要を表2で紹介する。

表2 各種燃料電池の世界の開発状況

型式	開発状況
リン酸型 (PAFC)	日本以外には米国のIFC/ONSIのみが開発を行っている。ONSIは数10台の200kW オフサイト用のフィールドテストを実施中で商品化は数年後。国内のテスト機製作実績は約100台。
固体高分子型 (PEMFC)	ドイツ、カナダ、米国が先行している。ドイツは潜水艦用、カナダ、米国は自動車用を開発している。1スタック単位の容量は5kW から30kWである。発電装置としての運転実績は数例しかなく実用化はリン酸型より後になる。
熔融炭酸塩型 (MCFC)	日本以外には米国で MC-POWER が 250kW, ERC が2MW のテストプラントを開発中である。日本では 100kW級電池スタックの運転実験を終了した。電池本体にはまだ技術課題が多い。
固体電解質型 (SOFC)	日本、米国、EC各国で開発が行われているが、米国 WH が円筒型で 25kW 発電装置を製作した。他は 1kW程度。平板型と円筒型があるが、セラムクスに関する難しい技術的課題が多い。

## 2. リン酸型燃料電池と固体高分子型燃料電池の特徴比較

これらの燃料電池はいずれも固有の特徴があるため、いずれが優れているかの評価はできないが、それぞれの特性を生かす使い方をすることが必要である。両者の特徴の比較を表3に示す。

表3 リン酸型と固体高分子型の特徴比較

	リン酸型 (PAFC)	固体高分子型 (PEMFC)
出力密度	・ 実用レベルではMax. 0.2W/cm <sup>2</sup> (電流密度 300mA/cm <sup>2</sup> 程度)	・ PAFCの約3倍 (電流密度 1A/cm <sup>2</sup> 程度)
電池サイズ	・ 大面積化が容易。 1-1.2m角の電極が製作可能	・ 大面積化が難しい。実績は30-40cm角程度
電池構造	・ カーボン材主体でセルスタック構造がやや複雑、積層体のガスシールに工夫を要する	・ 酸による腐食の心配がなく金属セパレータが使用できるので、小型で耐震強度の大きい電池が製作し易い

	リン酸型 (PAFC)	固体高分子型 (PEMFC)
電解質	<ul style="list-style-type: none"> <li>リン酸水溶液なので、移動しやすい、腐食性があるなどの難点がある。またリン酸は常温で固体になるので保温が必要である。</li> <li>シリコンカーバイドのリン酸電解質層は機械的強度が弱く、精密な差圧制御が必要。(0.05 気圧以下)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高分子膜は安定しているが、適切な水分の管理が必要、また膜は乾燥すると収縮する。使用材料は水に対する腐食性を考慮すればよいので容易。</li> <li>高分子膜の強度が強いので差圧制御が容易。(1気圧以下)</li> <li>金属イオンに対する感受性が強い(Cu イオン等)</li> </ul>
作動温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>約 200℃である。</li> <li>温度が高いため CO の許容濃度は 1% 程度。</li> <li>排熱利用ができる。(160℃の蒸気, 50-90℃ 温水が冷暖房に利用可)</li> <li>起動時間が長い(150℃以上の昇温が必要)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>約70-80℃である。</li> <li>低温のため CO 許容濃度は 20ppm 程度 (改質ガス使用時に問題となり, CO除去反応器が必要)</li> <li>排熱利用が難しい。</li> <li>常温から起動できる。</li> </ul>
起動停止	<ul style="list-style-type: none"> <li>電圧低下に影響する。(特に非常停止の場合)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電圧低下に影響なし。</li> </ul>
発電装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>MW級大容量発電プラントが製作できる。</li> <li>各種発電装置の実績が豊富で、問題点がほぼ明確。</li> <li>各種燃料への適応性大。</li> <li>排気系にリン酸トラップが必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在では比較的小容量 (将来大容量の可能性もある)</li> <li>発電装置の実績が少なく、問題点の把握が不十分。</li> <li>水素燃料に向いている。改質ガス使用時は改質用蒸気の供給方法を考慮する必要がある</li> <li>改質ガスの場合はリン酸型とシステムがほぼ同じで, CO 除去反応器を追加する。</li> <li>高分子膜の加湿装置が必要。</li> </ul>
発電効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>化石燃料の改質ガスの場合 36-43% (AC送電端, HHV)</li> <li>純水素-Air燃料の場合 45-47% (AC送電端, HHV)</li> <li>純水素-酸素燃料の場合 約 50% (AC送電端, HHV)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電池電圧を高く取れるので効率面では有利であるが、発電システムの効率は設計思想により変わる。</li> <li>リン酸型より高くできる可能性がある。</li> </ul>
コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>電池本体のコストは PEMFC の方が安価になるが、発電装置としては大差はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電池構造が量産向き、電流密度が高くコンパクトなので、将来はリン酸型より安価になる可能性がある。</li> </ul>

### 3. 燃料電池の今後の技術開発課題

各種燃料電池の中で実用化が近いと思われるリン酸型と固体高分子型について今後の技術開発の課題を述べる。

#### 1) リン酸型燃料電池

わが国ではすでに約100台の各種発電装置が作られて、フィールドで運転されたが、その経験によって抽出された実用化への技術課題は表4の通りである。

表4 リン酸型燃料電池の実用化への技術課題

項目	実用化への課題
電池スタック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信頼性の高い電池開発と長期寿命の検証 (現在までのフィールドでの運転実績は約2万時間)</li> <li>・信頼性と保守性の向上 高温での運転に起因する故障の低減と寿命の検証 保守性の向上(触媒交換を容易にするための改良)</li> <li>・冷却水循環ポンプ, 制御弁, 熱交換器, 配管系, センサー類などの信頼性向上</li> <li>・インバータ, 制御機器の信頼性向上</li> <li>・保守性の向上, コンパクト化, 信頼性向上, コスト低減 (最終目標: 年一回の点検整備で無故障運転)</li> </ul>
燃料改質系	
補機, 配管系	
電気, 制御系 発電装置全体	

これらの課題は年々改良が進んでおり、数年のうちに実用レベルに達するであろう。しかしながら信頼性や耐久性向上のための設計上の余裕とコストとのバランス、コンパクト性と保守性のバランスをとること、また、量産化によるコスト低減を念頭に置いた設計、製造技術の確立が必要である。

#### 2) 固体高分子型燃料電池

リン酸型燃料電池に比べて実績が少なく、世界でも発電装置のテスト機をフィールドで長期間運転した例はない。従って電池本体の長期寿命や信頼性ほかの実用化への課題の抽出が十分行われていないが、項目としてはリン酸型と同じである。また固体高分子型固有の問題で、将来解決されれば実用面で一層有利になると思われる技術課題を表5に示す。

表5 固体高分子型燃料電池の技術開発課題

項目	開発課題
セル電極 電解質膜 大容量化対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電池触媒の対CO許容値の増大(現在20ppmを1%に)</li> <li>・高分子膜の耐熱性向上(100℃以上)とコスト低減</li> <li>・セルの大面积化(数1000cm<sup>2</sup>)</li> <li>・大容量加湿方式の開発</li> </ul>
燃料改質系	

#### 4. 燃料電池の用途と水素利用

燃料電池の利用分野は下記のもの主流になるものと思われる。

- ・ 定置用（自家発電用，電力事業用）：100kW-MW 級
- ・ 移動体用（自動車，船舶，鉄道車両，移動用電源）：数kW-MW 級

現在これらの燃料電池の燃料は天然ガス，LPG，メタノールの改質ガスが利用されている。水素燃料を使用すれば改質装置が不要となるほか下記のように多くのメリットがある。両方の場合のPEMFC の基本発電システムを図1，図2に示す。

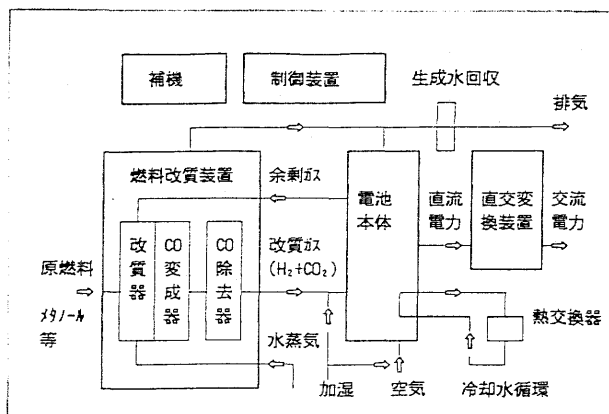


図1 メタノール改質発電システム

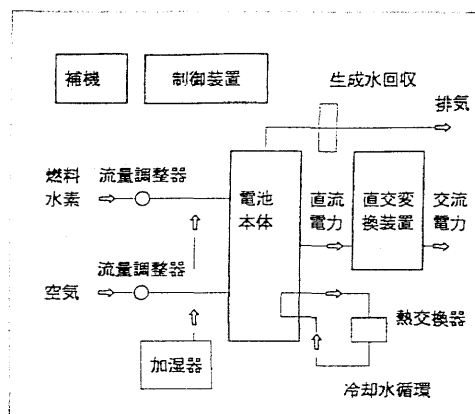


図2 水素燃料発電システム

#### 4. 1) 水素利用のメリット (PAFC又はPEMFC の場合)

- ・ 改質系機器が不要：設置面積の縮小（約20%），コスト低減（約25%）。  
プラントシステムの簡素化による信頼性向上。  
改質系触媒交換やセンサー類の保守が不要。
- ・ 発電効率の向上：天然ガス改質の場合約40%の効率が，水素-Air の場合約45-47%，水素-酸素燃料場合は約50%に向上する。
- ・ 起動時間の短縮：PEMFC の場合は瞬時に近い起動ができる。

#### 4. 2) 水素利用の課題

定置式の発電プラントでは，水素燃料の供給方法はどれでも問題ないが，自動車の場合は水素燃料の供給方法がその特性や利用価値に大きな影響を及ぼす。

現在，自動車用水素燃料には，ガスボンベ，液体水素タンク，水素吸蔵合金の3つの貯蔵方法が考えられるが，重量，体積，貯蔵容量についての要求を満足できず今後の改良が待たれている。この問題に大きな改善が図られれば，燃料電池自動車の実用化が可能になるであろう。

定置式発電プラントでは，ヨーロッパのように水素配管を通じて水素ガスが供給されるようになれば，自家発電用燃料電池が都市部にも数多く設置されるほか小型の家庭用発電装置も開発されるであろう。

#### おわりに

水素時代を展望すると，固体高分子型燃料電池の用途が広がる可能性があるが実用化までには多くの実証機での試験と改良開発が繰り返し必要となろう。実用機は，実証試験機の一段上のレベルが要求されるので，試験機で好結果を得た部分のみのデータに満足することなく，着実な開発努力が必要と思われる。