

Techno Scope

普及が期待される

家庭用燃料電池

家庭用の燃料電池開発が活発に進められている。すでに大規模実証試験が行われており、実用化が早いのではないかと期待が高まっている。本格普及は2020～2030年頃と言われているが、現在では普及をめざして、鍵となるコスト低減、耐久性向上が進められている。



写真提供:新日本石油(株)

家庭でのCO₂削減に期待される燃料電池コージェネ

2007年2月、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 気候変動に関する政府間パネル)はパリで第4次報告書を発表し、化石燃料に頼って経済成長を続けた場合、今世紀末までに平均気温が最大で6.4℃、海面水位が最大で59cm上昇する恐れがあると指摘した。海面上昇などで移動を余儀なくされる人は今世紀末には2億人に達すると予測している。また温暖化の原因は、人間の活動で排出されたCO₂などの温室効果ガスであると強調し、6年前の第3次報告書より踏み込んだ内容となった。

CO₂削減が緊急を要する世界的な課題となるなか、我が国では京都議定書の温室効果ガス1990年度比6%減を目指し取り組みが進められている。しかし実際には、2004年度の温室効果ガス総排出量は1990年度比8.0%増となっている。部門別では産業部門が最も多くCO₂を排出しているが、1990年度比は3.4%減となっている。一方、家庭部門は31.5%増となっており、家庭での省エネルギー、CO₂削減が重要な課題となっている。

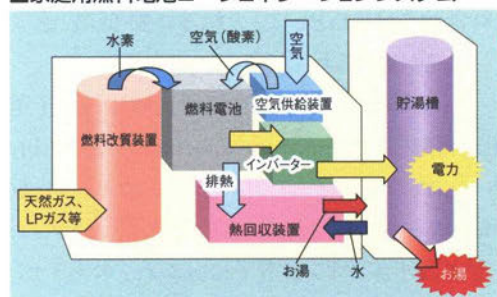
家庭用の省エネルギー機器の切り札として期待されているのが燃料電池コージェネレーションシステムである。このシステム

■定置用燃料電池大規模実証事業

2005年度より本格的な大規模実証事業が始まり、2006年度には、累計1,257件の設置数に達している。



■家庭用燃料電池コージェネレーションシステム



■NEDOによるPEFC（定置用）技術開発のロードマップ

	現在	2007年頃 (初期導入機)	2010年頃 (改良機)	2015年頃 (普及機)	2020～30年頃 (本格普及機)
発電効率	約32% (35%)	32% (35%)	32% (35%)	34% (37%)	36% (40%) <
耐久性	約1万時間	4万時間見通し	4万時間	4～9万時間	9万時間
作動温度	約70℃	約70℃	約70℃	70～90℃	約90℃
システム 価格	数百万円/kw 以上	120万/kw (2008年) (想定生産数1万台/ 年数千台/年/社相当)	約70万円/kw (10万台/年想定 2万台/年/社相当)	50万円/kw (50万台/年想定 10万台/年/社相当)	40万円/kw未満 (>50万台/年想定)

発電効率：HHV (LHV)

■燃料電池の種類と特徴

	PEFC (固体高分子形)	PAFC (リン酸形)	MCFC (熔融炭酸塩形)	SOFC (固体酸化物形)
電解質	固体高分子膜	リン酸水溶液	Li・Na系炭酸塩 Li・Ca系炭酸塩	ジルコニア系 セラミックス等
作動温度	70℃～90℃	200℃	650℃～700℃	800℃～1000℃
燃料	水素、天然ガス・ メタノール(改質)	天然ガス・ メタノール(改質)	天然ガス(改質) 石炭ガス化ガス	天然ガス(改質) 石炭ガス化ガス
拡散種(イオン)	水素イオン H ⁺	水素イオン H ⁺	炭酸イオン CO ₃ ²⁻	酸素イオン O ²⁻
発電効率(HHV)	30%～40%	35%～42%	40%～60%	40%～65%
出力規模(kw)	1～数十	数十～数百	数百～数十万	1～数十万
特徴	低温作動、小型、 携帯電源、 移動体電源に適用	分散型電源(商用化)	貴金属不要 高効率発電	貴金属不要、高効率発電、 ガスタービンなどの コンバインド発電(効率70%)

は燃料電池で発電するとともに排熱を利用して給湯を行う。燃料電池は水素と酸素の化学反応で発電するため、NO_xやSO_xをほとんど発生しない。燃料から水素を取り出す改質時にCO₂は発生するが、エネルギー効率が高いためCO₂排出量は抑えられる。

現在、ほとんどの電気は発電効率を上げるため大規模発電所で集中的につくり送電しているが、長距離送電ではロスが大きくなる。燃料電池は小さな出力規模でも一定の効率が得られるため、分散配置することが可能だ。また現在では発電時に発生した熱は海などに捨てられているが、分散配置により排熱利用が図れ、総合エネルギー効率を向上させることができる。

現在、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)助成による家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの大規模実証試験が行われている。2006年度第1四半期運転データ(2006年7～9月)によると、火力発電と従来の給湯器で電力と熱をつくった場合に比べ、エネルギー量は平均17.5%減、CO₂排出量は平均32.5%減と報告されている。機器の需要端発電効率は平均30.1%(HHV^{*1})で、火力発電による需要端発電効率(35～40%)に比べればやや劣るものの、排熱の利用が図れるため、熱回収効率(平均41.1%)を合わせた総合効率は70%を超えている。

*1 HHV: Higher Heating Value, 高位発熱量。燃料ガスを完全に燃焼させたときの発熱量。水蒸気の凝縮潜熱を含み、燃料の発熱量が大きくなるため、LHV^{*2}に比べ発電効率は低くなる。

*2 LHV: Lower Heating Value, 低位発熱量。燃料ガスを完全に燃焼させたときの発熱量から水蒸気の凝縮潜熱を差し引いた値。

実用化が期待される家庭用PEFC

家庭用燃料電池コージェネレーションシステムは、主に燃料電池、燃料改質装置、空気供給装置、インバータ、熱回収装置、貯湯槽等で構成される。

システムの心臓部となる燃料電池は、使用する電解質の種類に応じて、PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell, 固体高分子形)、PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell, リン酸形)、MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell, 熔融炭酸塩形)、SOFC (Solid Oxide Fuel Cell, 固体酸化物形)に分かれる。このうち家庭用にはPEFCやSOFCが有望といわれている。

現在、家庭用として最も開発が進んでいるのはPEFCである。燃料電池は種類によって作動温度が異なるが、PEFCは最も作動温度が低く、そのため起動に要する時間が短く、運転、停止が頻繁に繰り返される家庭用に適している。そのため早くから家庭での実用化が期待されていたが、コストが膨大にかかり実用化は難しいと考えられていた。しかし近年の自動車メーカー及びシステムメーカーによるPEFCの活発な研究開発や国家的な施策によって、家庭用PEFCの実用化が現実味を帯びてきた。現在、CO₂排出量や光熱費などを考慮し、家庭用の最適な発電容量は

0.5~1.0kWとされ、1kW級PEFCが多く開発されている。

家庭用PEFCは、自動車ほど小型化のニーズが高くはなく、設置環境も安定している。また燃料となる水素は、天然ガス(都市ガス)やLPガス、灯油などから改質することができるため既存のインフラが活用可能だ。自動車のように新たに水素ステーションの整備を必要としないのである。このようなことから家庭用(定置用)PEFCは、より実用化が早いのではないかと期待されている。

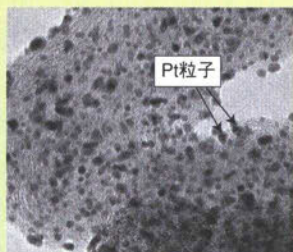
コスト低減、耐久性向上をめざした材料の検討

現在、家庭用PEFCの開発課題は普及を目指したコスト低減となっている。NEDOのロードマップ(3ページ参照)によると、現在のシステム価格は1基あたり数百万円だが本格的な普及にはこれを50万円未満に抑える必要がある。さらに、耐久性向上も重要な課題だ。現在は約1万時間の耐久性が認められているが、家庭で使用されるには耐久年数は10年以上、運転時間は9万時間以上が要求される。

希少金属である白金使用量を低減する試み

PEFCスタックの電極には、カーボン担体に白金主体の触媒が使用されているが、現在のところ高活性で溶解し難く、毒性が問題にならない触媒は白金に限られている。希少金属である白金使用量の低減や白金触媒の活性向上が望まれており、さまざまな開発が進められている。例えば白金触媒の粒径を2~3nm程度に微細化し、カーボン担体上に分散担持させることで表面積を上げたり、白金触媒層を薄くし反応性を向上させる等が行われている。

また触媒の材料開発も積極的に進められている。これまでにさまざまな材料の検討が行われてきたが、白金と異種金属との合金化が、触媒の高活性化と安定性向上に有効な方法の一つと考えられている。アノード、カソードともに種々の合金触媒が検討されており、アノード触媒の代表的なものに白金-ルテニウム(Pt-Ru)合金がある。特に家庭用PEFCでは天然ガス等からの改質時に一酸化炭素(CO)が混入すると、触媒活性を低下(被毒)させることが問題となっており、Pt-Ru合金は耐被毒性を持つため、アノード触媒として適用されている。

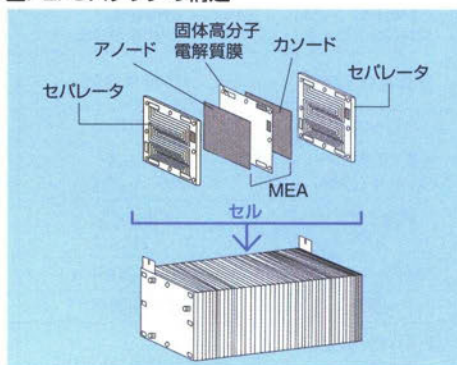


カーボン担持Pt触媒の電子顕微鏡写真。Pt粒径は2~3nmに微細化されている。写真提供:田中貴金属工業(株)

そのため、燃料電池をはじめとして、大幅なコスト低減、耐久性向上をめざした開発が進められている。

PEFCは、アノード(燃料極)、カソード(空気極)、固体高分子電解質膜が一体化したMEA(Membrane Electrode Assembly、膜・電極接合体)を2枚のセパレータではさみ込んだセルが、数十枚積層した構成となっている。これはスタックと呼ばれる。アノードに供給された水素は水素イオンと電子に分かれ、水素イオン

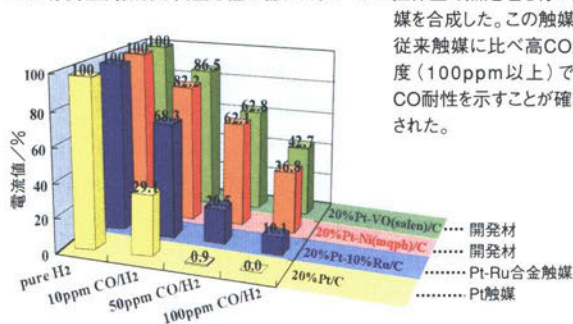
■PEFCスタックの構造



ただこの合金でも高CO濃度(100ppm以上)には耐えられないため、CO濃度が高くとも十分な活性を持つ材料が求められている。さらにRuも希少金属であるため、白金とニッケル、白金とコバルト、白金と鉄などの組み合わせが検討されるなど、さまざまな合金触媒が研究されている。

合金触媒の他にも、酸化物、炭化物、窒化物、炭素、硫化物、金属錯体など、多様な化合物が触媒として提案されている。いずれも現在は基礎研究が進められている段階で、実用に耐えうるレベルには達していないが、今後の活発な研究により高性能な触媒の実現が期待されている。

(独)産業技術総合研究所は、国内では事例の少ない有機金属錯体に着目し、Ruを使用せずに耐CO被毒性を持つ触媒の開発を行っている。原料となる有機金属錯体は、salenやmqphと呼ばれる2個ないし3個の窒素配位子を含む化合物の中心に、ニッケル、バナジウム、鉄などの金属を配位したものである。この有機金属錯体と白金を組み合わせ、カーボン担体上で熱処理を行い触媒を合成した。この触媒は従来触媒に比べ高CO濃度(100ppm以上)でもCO耐性を示すことが確認された。

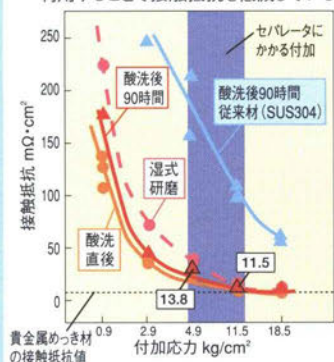


は電解質膜を通りカソードの酸素と反応し水となるが、電子は電解質膜を通れないためセパレータなどを介して集電され外部回路へ流れる。このような反応で発電が行われるが、PEFCは作動温度が低く反応がおこりにくいため、電極には白金主体の触媒が使用されている。特にこの白金触媒が高価であり、近年、白金の使用量低減等が進められている。またセパレータはスタックのコストの大半を占めるといわれ、セパレータのコスト低減が望まれている。

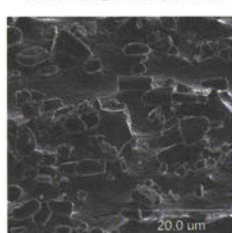
■導電処理ステンレス鋼

●開発材の接触抵抗

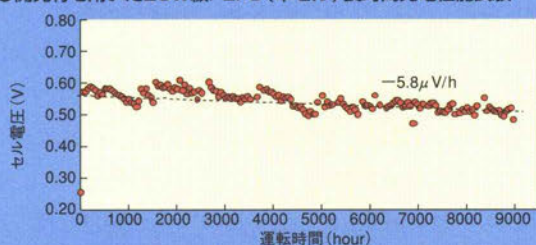
貴金属めっきを用いず、鋼中の析出物を利用することで接触抵抗を低減している



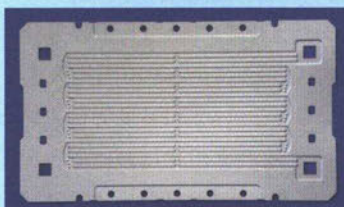
●開発材の表面SEM像
表面に突出して分散しているのが導電性金属析出物



●開発材を用いた20W級PEFC (単セル) 長時間発電性能試験



板厚:0.2mm、ガス流路面積:70×100mm、電流:0.5A/cm²、セル温度:70℃、ガス温度:72℃、アノード側ガス利用率:70%、カソード側ガス利用率:40%



開発材を用いて順送りプレス式で、板厚0.2mm、100cm²のセパレータが速度60枚/分で4000枚試作された。



プレス成形ステンレス製セパレータ200枚構成 (100セル-3kWPEFCスタック積層モデル)



積層組み立て状況 (締め付け前)

資料提供:住友金属工業(株)

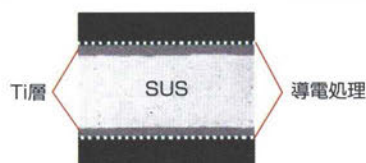
現在セパレータは、黒鉛材を使用したカーボンセパレータが主流となっている。カーボンセパレータは化学的に安定で耐食性に優れ、表裏で異なる向きのガス流路を形成できるという利点があるが、高精密切削加工のため高価であり、また機械的強度に劣る。そのため樹脂を混合し成形性を向上させたカーボン樹脂モールドセパレータが開発されている。樹脂の材質は熱硬化性、熱可塑性、焼成タイプがある。最近では成形技術の改良等により薄肉化が図られている。

一方、今後の量産化に向けてコスト低減が期待されているのがステンレス鋼やチタンを使用した金属セパレータである。金属セパレータは機械的強度が高く薄肉化が容易で、またプレス成形が可能で生産性が高い。熱伝導性に優れ低温始動時の加熱が少なくすむ等の利点もある。しかし材料表面に生成する不動態皮膜によって導電性が低下(接触抵抗が上昇)することや、溶出金属イオンによるMEAの性能低下、局部電池形成による腐食などが懸念されており、これらの課題解決を図る材料の開発が進められている。

量産化を視野に開発が進む金属セパレータ

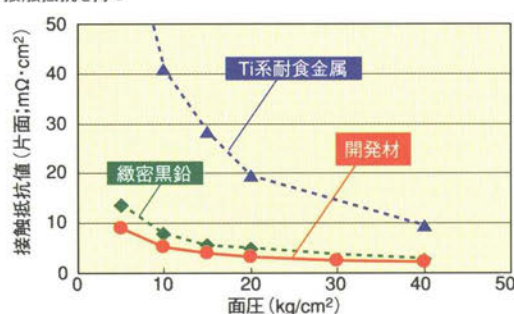
量産時のコスト低減への寄与が期待されている金属セパレータは、表面に生成する不動態皮膜による導電性低下が最も大きな課題となっている。これに対しては、一般的に金めっき等の貴金属めっきにより導電性の確保が行われている。また金属セパレー

■導電処理チタンクラッド材



●開発材の接触抵抗

表面の貴金属導電性膜により、カーボンセパレータと同等以下の接触抵抗を持つ



資料提供:日立電線(株)

次世代の燃料電池として注目されるSOFC

PEFCの開発が積極的に進められるなか、最近にわかに注目を集めているのがSOFC(固体酸化物形燃料電池)だ。SOFCは作動温度が800~1000℃と最も高い。この高温反応がさまざまな利点をもたらす。まず電極反応が活発に進むとともに、電解質のイオン伝導速度も向上するため、最も高い発電効率を発揮する。電極反応が活発なため高価な白金触媒を必要としない。白金触媒を用いないのでCO被毒とも無縁で、燃料中のCOを低減する必要もない。それどころかSOFCでは、COを燃料として使用することも可能で、幅広い燃料種が適用できる。また高温排熱を使用して内部改質を行うことができ、改質器が簡素化できる。

しかし高温作動となるため、セラミックス系やニッケル系の耐熱材料を使用しなければならない。そのため熱ひずみに対し脆く、また高コストとなりがちである。従来は900~1000℃で作動するものが開発されていたが、近年では作動温度を800℃以下に低温化した、小型電源向けのSOFCの開発が行われている。



実験集合住宅「NEXT21」では、2007年4月から第3フェーズ居住実験を開始する予定で、700W級家庭用SOFCコージェネレーションシステムの実証試験も行われる。写真提供:大阪ガス(株)

2005年11月から大阪ガス(株)の実験集合住宅「NEXT21」では、1kW級家庭用SOFCコージェネレーションシステムの国内初となる居住住宅での運用試験が行われた。運転温度は750℃で、燃料は天然ガスが用いられた。約90日間(総発電時間約2,000時間)の運転で、定格出力での発電効率は49%(LHV)という高い発電効率を達成し話題を集めた。

SOFCは大規模発電から自動車用補助電源まで幅広い用途が検討されており、小型電源向けが先行して実用化されると考えられている。しかし基本的な電池材料の研究や耐久性向上など課題が多く残っており、実用化にはしばらくの時間を要すると考えられるが、最近になって開発が活発化しており、今後の研究開発動向が注目されている。

タは溶出金属イオンが電池内の過酸化水素と反応し電解質膜の分解を促進しMEAの性能低下をまねくことが知られており、金めっきはこの溶出金属イオン量を抑える働きもする。しかしめっきに使用される金は高価であることや、めっき欠陥からの腐食も問題となっている。

これらの課題を解決すべく各種セパレータの開発が行われている。例えば導電処理ステンレス鋼製セパレータは、鋼中の導電性金属析出物を利用することで、金めっきを施さず導電性を確保している。この開発鋼は、鋼中に分散析出する導電性金属析出物を不動態皮膜から露出させることで、無数の電気の通り道をつくり、接触抵抗を低減させている。不動態皮膜は数nm程度であるから、分散させる導電性金属析出物の粒径が数μm程度であれば不動態皮膜を貫通させることが可能だ。耐食性はステンレス鋼表面に形成される不動態皮膜により維持される。現在、開発材のプレス成形セパレータを用いた長時間運転試験が行われており、1万時間の耐久性が認められている。1万時間においてはセパレータからの金属イオン溶出がMEAの性能低下を促す挙動は確認されていない。今後は溶出金属イオンのさらなる低減やプレス成形性の改善などが進められる予定である。

また、チタンクラッド材によるセパレータも開発されている。この開発材は、ステンレス鋼を基板としたチタンクラッド材で、表面には貴金属導電性膜がnm単位で被覆され、導電性を付与している。チ

タンはイオン溶出がなく耐食性に優れているが、比較的高価であるためクラッド構成が考えられた。耐食性に優れたチタンにより導電性膜を極薄にすることができ、三層クラッド材の板厚は0.1mmまで薄肉化が可能だ。これによりスタックの小型化、低コスト化に貢献できるものと考えられている。開発材を用いたセパレータはカーボンセパレータと同等以下の接触抵抗を持つことが確認されている。またクラッド材の成形性については、プレス成形による溝成形部の厚み均一性を測定したところ、良好な成形精度を持つことがわかっている。現在は、長時間発電試験が行われており、1万5千時間以上の耐久性を有していることが確認されている。

現在我が国では、燃料に天然ガス、LPガス、灯油などを用いた家庭用燃料電池コージェネレーションシステムが市場投入され、それぞれの実証試験が行われている。いずれも世界に先駆けた市場投入である。家庭用燃料電池の実用化において我が国は他国をリードしており、今後の普及が大いに期待されている。いまだ課題は山積しているものの、将来性を見込んで装置メーカーや部品メーカー、材料メーカー各社が開発に着手し、セル、スタックはもちろんのこと周辺機器に至るまで徹底的な改善が行われている。このような開発競争から幾つかのブレイクスルーが生まれれば、我が家に燃料電池が届く日はそう遠い未来ではないかもしれない。

●取材協力 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、住友金属工業(株)、日立電線(株)
●取材、文 杉山香里