

燃料電池の船舶への適用へ向けて

渦潮電機株式会社

開発部 技術開発課 宮本尚明

1. はじめに

近年、世界規模で環境問題が取り上げられ、その対策についての議論が活発となっている。中でも地球温暖化の原因とされる二酸化炭素（CO₂）や、大気汚染物質である窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）、粒子状物質（PM）などは、排出量が厳しく制限される傾向にある。船舶業界においても、国内外において排気ガスに関する規定が定められているが、近い将来においては更に厳しい規制が行われることも予想される。現にヨーロッパでは、EU内を通過する船舶に対して、温暖化ガスの排出規制を導入する動きにある。また、日本においても、停泊中の船舶からの排気ガス低減を目的とした船舶版アイドリング停止の実験が行われている。このような状況から、環境に配慮した製品を提供することは非常に重要であると考え。そこで、当社が注目したのは燃料電池である。燃料電池は排気ガスを排出することなく発電を行うことができるクリーンな技術であり、環境問題に対応するために非常に重要な役割を担っていると考えている。

2. 燃料電池とは

2-1. 燃料電池の特徴と種類

燃料電池とは、水（H₂O）の電気分解とは逆の反応、すなわち水素と酸素が化合して水ができるときの反応を利用し、発生する電流を外部に取り出して利用する仕組みである。普通の電池とは異なり電池の交換や充電が不要で、燃料が無くなるまで安定した発電が可能である。燃料電池は電気を作り出す過程で水を排出するが、それ以外は何も出さないため、クリーンエネルギーとして世界中で研究開発が盛んに行われている。燃料電池は、1839年に英国の物理学者ウィリアム・グローブ卿によって発明され、1965年には、小型でバッテリーよりも長時間の使用が可能であり、排出物である水が飲料水に利用できることから、米国のジェミニ宇宙船に搭載された。また、燃料電池は化学エネルギーを利用して燃料から電気エネルギーに直接変換できるため、機械的なロスがなく、小規模になっても発電効率が落ちないのが特長である。発電出力が10kW以下でも燃料電池は最大50%の発電効率を得ることが可能である。

この燃料電池は、電気化学反応や電解質の種類によって、リン酸形（PAFC）、熔融炭酸塩形（MCFC）、固体酸化物形（SOFC）、固体高分子形（PEFC）の4つに大別される。それぞれ動作温度が大きく異なり、一番低いPEFCは20～80℃、一番高いSOFCでは600～1000℃となっている。高温型の燃料電池は大型化することにより発電効率が上がるため工場などで使用されることが多く、動作温度が低いものは小型化しやすいため家庭用燃料電池システムや燃料電池自動車向けに開発が盛んに行われている。

燃料電池の基本構造は、燃料極（負極）、固体高分子膜（電解質膜）、空気極（正極）を張り合わせてサンドイッチ状にした接合体（MEA：Membrane Electrode Assembly）を、燃料ガスの供給流路が掘り込まれたセパレータまたはバイポーラプレート（bipolar plate）と呼ばれる伝導板で挟み込み基本単位を構成している。これを単セル（single cell）と呼ぶ。単セルでは運転時に約0.7Vの電圧を発生することができ、この単セルを積層したものをセルスタック（fuel cell stack）と呼ぶ。燃料電池

の構造を図1に示す。

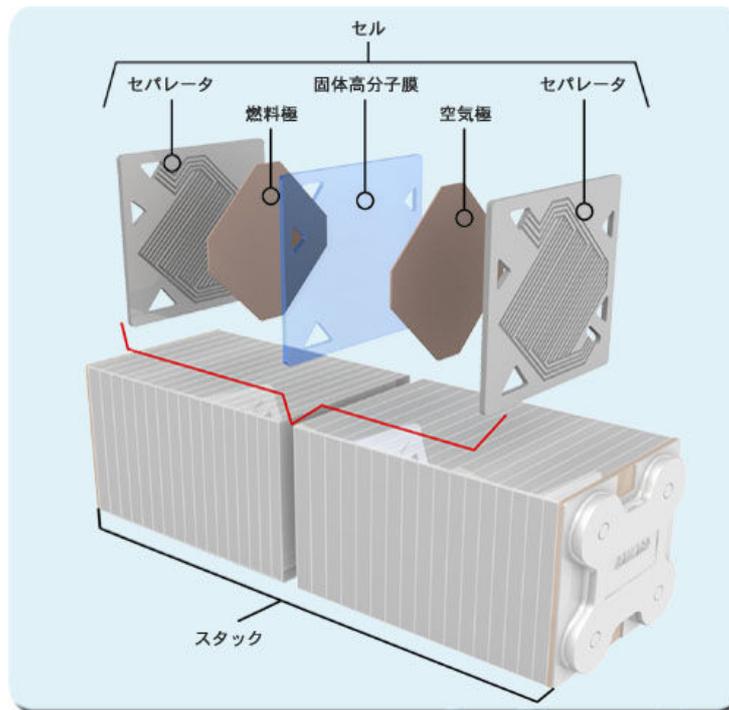


図1 燃料電池の内部構造

2-2. 燃料電池の水素燃料とその基本特性

燃料電池の燃料である水素は、単体では地球上にほとんど存在していないため人工的に作り出す必要がある。水素は石油や水、有機化合物などに多く化合しているため、それらの燃料から水素を取り出し利用することができる。水素は石油精製や鉄の精錬中に発生する副産物であり、しかも工場内でそのまま利用されることが多く、あまり販売網が整備されていないのが現状である。大量に使用する場合は、ユーザーの敷地内に水素発生装置を設置し、現場で水素を製造して供給するのが一般的である。そのようなオンサイトプラントでの水素製造方法には都市ガス分解法、LPガス分解法、メタノール分解法、水電解法などがある。表1にそれぞれの水素製造方法での水素価格を比較した。表1から分かるように水素は製造方法により大きく値段が変わる。今後、燃料電池が普及するにつれて、どのようにして水素を得るかということが重要な問題となる。

燃料電池の燃料である水素 (H_2) は、密度が $0.0899g/L$ 、比重が 0.0695 (空気を1とする) と、原子の中で最も軽く密度が低いのが特徴である。そのため高压で圧縮しても密度があまり上がらない。また、融点が $-259.1^{\circ}C$ 、沸点が $-252.8^{\circ}C$ となっているために、LPガスのように液体で保存することが難しい。そのために大量に保存するには大容量の高压タンクや大掛かりな設備が必要になる。

また、水素原子は原子の中で最も小さい原子のため、他物質の原子の間に容易に入り込んでしまう。例えば鉄製の容器内に水素を注入している場合、鉄原子間に水素原子が入り込む。また、鉄には強度を上げるために少量の炭素 (C) が混合されている。鉄中に含まれる炭素と鉄中に入り込んできた水素原子 (H) が反応してメタン (CH_4) に変化すると、体積膨張が発生し、鉄が内部から破壊される水素脆化 (ぜいか) と呼ばれる現象が起こる。そのため、現在の水素配管には金属中に含まれる炭素量が極めて少ない SUS316L が多く利用されている。

表1 水素製造方法と水素価格の比較

製造方法	水素価格の比率
コークス炉ガス（水素 57%）	0.55
ナフサ水蒸気改質	0.67
ソーダ電解副生水素	0.67
天然ガス水蒸気改質	1.0
プロパン水蒸気改質	1.0
メタノール水蒸気改質	1.0
石炭部分酸化	1.20
水の電気分解	1.67

（注：一例でありメーカーにより異なる。）

2-3. 船舶での水素燃料の確保

燃料電池システムの燃料として、水素を船舶で活用するには、水素燃料の供給、補給を確保する必要がある。しかしながら、水素供給施設が港湾施設側に整備されていない現状と、多量の水素を船舶に保管することを考え合わせると現段階では適切ではない。船舶へ燃料電池システムの燃料補給・供給を考えると、LNG、LPG、メタノール、エタノール、灯油、重油などの化石燃料を水素の原燃料として運用することが望ましいと考えられる。

ここで、これら化石燃料から水素を取り出すには、改質（Reforming）というプロセスが必要となるが、重要となるのは化石燃料の脱硫（Desulfurization）である。化石燃料に含まれる硫黄分は燃料電池システムの寿命を短くする原因となるためである。

船内での水素製造を考えると、最も都合が良いのは重油を改質し水素を得る方法である。しかしながら、重油には多数の物質が含まれているため、改質が難しく、重油から水素を得る方法は現在のところ確立されていない。よって、当面はLNGやLPガス、灯油の利用を考えなくてはならないと同時に、改質技術の開発動向にも注視する必要があると考えている。

3. 船舶用燃料電池システム開発の課題と商品化

3-1. 船舶特有の環境下における課題

安定した信頼のある燃料電池システムを継続的に稼働するためには、船舶特有の環境に配慮したシステム設計が必要である。例えば、機関室内へ設置する電気設備の場合、周囲温度0～45℃、相対湿度70%の環境条件が義務づけられている。燃料電池の反応は、水素と酸素が反応する際に発熱を伴う。よって、燃料電池の動作温度は、周囲温度より発熱分上昇する。一方、燃料電池は、動作温度が80℃以上に達すると固体高分子膜が劣化する傾向がある。このように、燃料電池セルの冷却と温度管理が信頼性を高める上で重要な要素である。

また、低湿度の状況下において、固体高分子膜が乾燥することにより膜内のイオン伝導度が低下し出力の低下が生じる。一方、高湿度状況下では燃料電池内に過度の水分が発生して出力低下が生じる。このように温湿度管理が性能を大きく左右する。

加えて、振動や塩害に対しても適切な対策が必要である。前項でも触れたように燃料電池は固体高分子膜や電極などを積み重ねたサンドイッチ構造となっている。この構造は出力効率が最も良くなる

ように計算されている。振動などの外圧により部材間のずれや歪みが生じると発電性能が低下する可能性がある。また、燃料電池へ供給される空気中の塩分が燃料電池内で結晶化し、空気の拡散能力の低下や内部抵抗の増大を引き起こし発電性能が低下することも考えられる。

3-2. 自社開発を目指している商品

燃料電池システムの船舶適用を考えたとき、環境汚染排出ガスの元凶である原動機エンジンの代替がまず思い浮かぶ。船内電源を供給する発電機エンジン、これは、停泊・運航にかかわらず24時間運転されているのが発電機エンジンである。これを仮に燃料電池システムに置き換える事ができれば、有害物質排出の削減に大きく寄与できる事が考えられる。そこで、当社は、PEFCを使用した燃料電池システムに焦点をあて船舶用途に開発を進めている。そして、PEFCの特長を活かした船舶用の船内補助発電機の商品化を目指している。将来、燃料電池システムが小型フェリー、小型内航船などの発電機として利用されることを期待している。一方、燃料電池システムを信頼ある安定した稼働をおこなうために、安全面、運用面などの新たなルール作りも必要である。

4. 終わりに

新興諸国の経済発展と共に地球環境問題解決が最重要課題となっている。現在、地球環境問題の解決策の一つとして、広く世界中で燃料電池に関する研究がなされ、実用化に向けて開発が進められている。たとえば、家庭向け燃料電池システムの開発においては、普及条件としての一台120万円の目途が立ち、いよいよ本格的な導入時期に入っていくものと予想される。船舶においても、欧州等では小型ボートでの実証実験などの兆しが見えている。商船へ本格的に燃料電池が応用されると、高効率、排出ガスゼロ、騒音・振動ゼロの発電機が実現し、その後、電気推進システムを駆動する動力として適用すれば、船舶の革命が起こり得る可能性を秘めている。

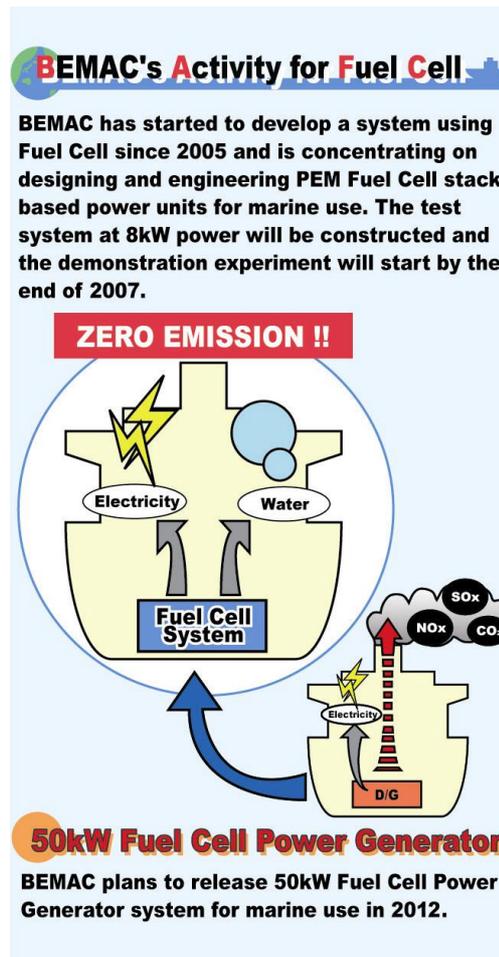


図2 Nor-shipping2007 燃料電池システム開発の取り組み紹介

参考文献：水素と金属 次世代への材料学 深井 有 田中一英 内田裕久 著
：触媒・光触媒の科学入門 山下弘巳 田中庸裕 三宅考典
西山 覚 古南 博 八尋秀典
窪田好浩 玉置 純 著

参考 URL：化石資源を用いない水素製造技術 大森良太

http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt019j/0210_04_feature_articles/200210_fa02/200210_fa02.html

：荏原バラード株式会社

<http://www.ebc.ebara.com/>

：消防学校 火災原因講演会

<http://www.fch.chuo.fukuoka.jp/fire/H16oil/H16oil00.htm>

：水素自動車の水素の値段。 9-25-2003

<http://www.microbes.jp/aimai/kurashi/fl332.htm>