

燃料電池の発展による電力産業の変革

- 既存電力会社への提言 -

高島 政信
日本大学大学院総合社会情報研究科

The Electric Power Industry Reform with the Development of Fuel Cells

- Proposition to Existing Electric Power Companies -

TAKASHIMA Masanobu
Nihon University, Graduate School of Social and Cultural Studies

The fuel cell utilizes the reverse process of electrolysis. Using hydrogen as fuel, electricity and hot water is supplied. Water is the only waste. Due to the absence of movable parts, the device is silent and is proportionately more efficient than an internal-combustion engine. As a mobile generating station, the way it disperses power is a threat to the electric power companies. Using highly advanced equipment necessary for highly regarded sources, such as fuel cells, is Japan's strong field.

There will be a new business model appearing in the electrical sales business due to the fuel cells. Similar to the deregulation of the telephone industry, when the fuel cell electric sales market becomes well underway, there will be other businesses unrelated to electricity participating in the industry allowing for more competition.

1. はじめに

電力業界は、電力自由化の中で大きな変化の時期を向かえている。しかし、新規事業者の新たな参入が見られるものの、電力事業が再編していくような変化はまだ見受けられない。

2003 年の東京モーターショー¹で燃料電池自動車を見学したが、この燃料電池こそが、電力再編の鍵を握っていると予感し、研究することとした。

燃料電池車はエンジンで動くのではなく、燃料電池 (Fuel Cell) という発電機を積載しモーターで動く電気自動車である(図1参照)。この燃料電池は、分散化電源であり電力会社の売電に対し脅威になる。

燃料電池は、新しいエネルギー・システムとして注目

されており、2005 年日本国際博覧会(愛知万博)では、エネルギー関連パビリオンの中に燃料電池を展示するとともに電力の供給²を実施し、トヨタ自動車では燃料電池ハイブリッドバスを会場での移動手段として導入している。

燃料電池は、イオン交換膜・セパレータ・触媒等が使用されている。このような高度な材料を使用し製造する機器の分野は、日本の得意分野であり、携帯電話が小型化多機能化したように、燃料電池は、早いスピードで低廉な価格のものが製造されるようになる可能性がある。

燃料電池は、水の電気分解と逆のプロセスを利用している。

¹ 2003 年 10 月 25 日～11 月 5 日、千葉県幕張・日本コンベンションセンター(幕張メッセ)で開催

² 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の新エネルギー等地域集中実証研究プロジェクトにて長久手日本館に電力を供給

図1 トヨタ自動車の燃料電池車模型³

燃料電池の燃料は水素であり、無尽蔵にあること、風力発電や太陽電池、水力発電等のエコエネルギーで発電した電気により水の電気分解で水素を発生させ貯蔵も可能となる。また、水素は、天然ガスを始め、廃棄物、廃材、動物の排泄物等から得ることができる。排気ガスは出さず、水のみ排出するだけである。石油等の資源が枯渇する中、クリーンな循環型エネルギーとして、人類の未来にとって明るいエネルギー源となる。燃料電池があれば、今まで電気を使用したことが無い世界のあらゆる地域で電気が使用できるようになる。また、燃料電池は、水素さえ与えれば、電気とお湯を供給できるため、震災や台風等の災害でも力を発揮する。

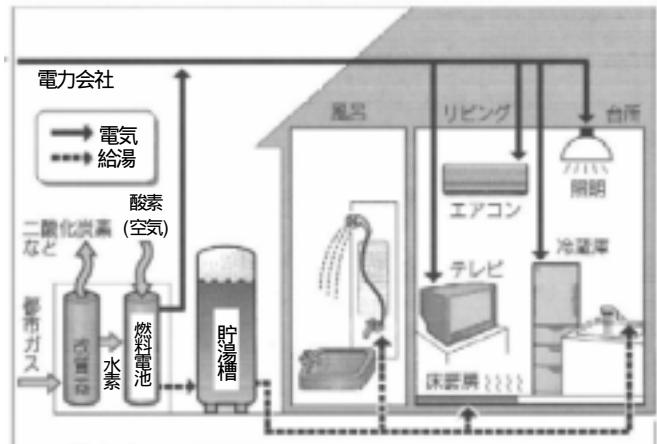
このように、燃料電池は、エネルギーの分野で人類の将来を担っていると言っても過言ではない。

日本は、燃料電池及び水素の製造技術の両方で世界をリードする可能性がある。そして、資源を持たない日本がエネルギーの発信基地になるかもしれない。

当論文では、燃料電池が発展する理由及び将来性を研究するとともに、燃料電池の発展にともなう新しいビジネスモデルを明らかにするとともに、分散化電源としての特徴に焦点をあて、電力業界に与える影響を新規参入企業との競争をもとに想定し、既存電力会社が勝利するための方策を検討する。

燃料電池は多種類あるが、現在商品化の一歩手前の状況にあり家庭用・自動車用・携帯型電気機器にもっとも利用される可能性の高い固体高分子形燃料電池(PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)を家庭用

電源(図2参照)として使用する分野を当論文の研究範囲とする。

図2 家庭用燃料電池の仕組み⁴

定義として、「燃料電池」とは、特に燃料電池の形式を記載しない場合、PEFCのことを言う。また、「既存電力会社」とは、電力自由化以前に電気を地域独占販売していた電力10社(北海道電力・東北電力・北陸電力・東京電力・中部電力・関西電力・中国電力・四国電力・九州電力・沖縄電力)を言う。「燃料電池による電力販売ビジネス」には、燃料電池での電気の販売及び燃料電池に供給する燃料(水素及び天然ガス等)も含める。

2. 燃料電池が普及する理由

燃料電池の開発は、過去にも行われてきたが、普及に至っていない。現在の燃料電池の開発は、それと違い本格的に普及することが予想できる。その理由としては、幾つか要因がある。電力自由化及び、燃料電池が分散化電源であることで、電力販売にあらゆる業種の会社が参入可能となった。燃料電池は、水素を使用するため、石油の早期の枯渇と高騰を抑える手段になる。燃料電池は、二酸化炭素による地球温暖化防止の役割を担うことができる。

2010年頃にパラード社の燃料電池の基本特許が効力を失い多くの企業が参入しやすくなる。

燃料電池は、このように時勢を得て、次の世代に繋

³ 2003年10月、第37回東京モーターショーにて撮影

⁴ 『日本経済新聞』2004年1月27日、第12版、第3面、「風呂やTV 燃料電池で」。

げるエネルギー発生装置としての夢を託されている。

2.1 電力自由化

燃料電池は、分散化電源であり、売電する方法もあるが、燃料電池本体の販売と天然ガスや水素の販売に力点をあければ、電力自由化の影響を受けず、早くから開発し燃料電池販売をすることができた。商社や重電メーカーなどは、顧客の既存電力会社に対しての配慮があり、日本国内での電力販売を表立って表明しなかった。しかし、国が電力自由化を表明したことや既設電力会社が設備投資を抑えたこと等も相まって、一気に参入できる環境が整った。

規制緩和の世界的な流れの中で、日本の高コスト構造、内外価格差の是正が課題となり、1993年、総務庁（当時）のエネルギーに関する規制緩和への提言を契機に、電気事業審議会での審議を経て、1995年4月に31年ぶりに電気事業法が改正され、電力会社（一般電気事業者）に電力を供給する事業に独立系発電事業者（IPP：Independent Power Producer）の参入が可能となり、電力自由化が開始された。1999年5月に再び電気事業法が改正され⁵、2000年3月から2000KW以上（自由化範囲約26%）の小売りの部分自由化が行われた。その後、2004年に500KW以上（自由化範囲約40%）、2005年に50KW以上自由化（同約63%）、2007年より全面自由化の議論開始という小売自由化スケジュールで実施されている。日本の電力自由化は、諸外国の一部に見られるような、急激な自由化ではなく、中立機関・電力取引所の設置等を踏まえながらの段階的なアプローチを採用された。

新規参入企業は、商社系のダイヤモンドパワー（三菱商事系）、丸紅、サミットエナジー（住友商事系）、ジーティーエフ研究所（三井物産系）、イーレックス（三井物産系・日立製作所）事業者系の新日本製鉄、エネット（NTTファシリティーズ、東京ガス株式会社、大阪ガス株式会社の3社合弁）、大王製紙、サニックス、新日本石油、大坂ガス、エネサーブ等である⁶。

燃料電池は、発電し需要家が電気を使用するとともに、電気が必要ない時には売電が可能となる。家

庭用燃料電池の市場は、2007年から自由化が検討される低圧・家庭用電源であり電力全体の37%を占める。この範囲での競争となるが、燃料電池での電力販売ビジネスが進めば、燃料電池が分散化電源であることから、この自由化のスケジュールは意味がなくなるとともに、既存電力会社のシェアは激減することになる。また、燃料電池の需要家は、卸電力取引所で電気の売り買いが可能になり、今までと違った電力販売ビジネスの形態が生まれる。また、将来的には、技術開発により、この影響が、水面に落ちた水滴の輪が広がるように高圧等の需要化まで影響することが予想される。

2.2 化石燃料の枯渇

石油埋蔵物のほとんどは、今から1億5千万年以上前のジュラ紀後期に赤道付近の熱帯地方で形成された。これまでに採掘された石油は8750億バレル、そのほとんどが工業時代に入ってからの過去140年間に掘りだされたということで、地質学者の見解は一致している。人類は、地球が長い年月をかけて作り出した大切な資源を一世紀あまりで使い果そりしている。

新油田発見数の減少と確認埋蔵量の枯渇は、この先20年間に予測される世界の石油需要の増加と合わせて考えると深刻である。世界人口は2020年までに現在の62億から75億に増えることが見込まれるので、石油埋蔵量を枯渇に向かわせる圧力は大きくなる。

中国やインドのような人口の多い国が、韓国と同じ水準まで一人当たりのエネルギー消費量を増やした場合、これら2カ国だけでも、日量で1億1900万バレルの石油が必要になる。これは、2000年の全世界の毎日の需要を50%近く上回る量となる。残る埋蔵量へのアクセスをめぐって、先進工業国との熾烈な争いにいやおうなく巻き込まれる。

現在の生産量であると何年採掘を続けられるかを表す可採年数（R/P）を見るとよくわかる。米国では、採掘可能な石油の6割以上がすでに生産されており、R/Pは10年となる。ノルウェーのR/Pも10年で、カナダは8年である。対照的に、イランのR/Pは53年、サウジアラビアでは55年、アラブ首長国連邦では75年、

⁵ 電気事業連合会、<<http://www.fepc.or.jp/dereg/index.html>>
2005年5月21日アクセス

⁶ 『中日新聞』2004年2月25日、第11版、第9面、「電力小売り参入進む」。

クウェートでは 116 年、イラクでは 526 年である⁷。

石油価格について、今後の行方を左右するのは中東の五大産油国であり、この五大産油国が世界の生産量のかなりの割合（およそ 3 分の 1）を支配し、価格を上げられるようになる。そして、10 年後の 2015 年ごろ、ペルシャ湾岸諸国の産油量がピークを迎えると予想されている。

最近の状況では、2004 年 9 月 27 日のニューヨーク・マーカンタイル取引所の原油先物相場で米国産標準油種（WTI）の 11 月渡しが 1 バーレル 50 ドルをつけ、過去最高値を更新しその後も値上がりしている。2003 年より 50% 近い値上がりである。

原油高騰は、ほぼ全量を輸入に頼る日本にとって切実である。2003 年度の日本の原油輸入先はアラブ首長国連邦（UAE）24.2%、サウジアラビア 22.8%、イラン 16.1% の順で、中東依存度は 88.5% にも達している。経済産業省によると、石油は日本の一次エネルギー供給の約 50% を占めている⁸。

このように石油依存は、世界及び日本の将来の大きな問題となっており、石油脱皮が重要な課題である。

燃料電池で水素を使用すれば、発電や自動車の燃料として石油を燃やす必要が無くなる。石油をプラスチック等の製品として活用することに限定し、再生資源として有効活用することで石油の枯渇の延命と高騰を避けることができる。小泉首相は、2005 年 4 月 15 日の首相官邸で実施された総合エネルギー対策推進閣僚会議で「太陽光や燃料電池、風力などの代替エネルギーの開発に力を入れ、石油依存度を低くすることに各省庁が取り組むように」と指示している。

2.3 地球温暖化防止と京都議定書

人類の歴史のほとんどを通して、主要エネルギー源として利用されてきた薪は、他の燃料と比べて炭素の割合がもっとも大きく、炭素と水素の原子数の比率は 10 対 1 である。化石燃料のなかでは石炭がいちばん炭素の比率が高く、水素原子 1 個に対し、炭素原子はおよそ 1、2 個。石油の場合は炭素対水素が 1 対 2、天然ガスでは 1 対 4 である。現在は、石炭や

石油から天然ガスへの切り替えが進んでいるため、単位量当たりの炭素排出量はさらに減ることが期待される。それでも、天然ガス使用量の増加にともない、二酸化炭素排出量が増え、地球の温暖化が進むことに変わりはない。

地球温暖化は、地球からの熱の放出を妨げるガスが、大気中に蓄積したために起きている。工業化時代に入るまでの一万年間、温室効果ガスのバランスは比較的安定しており、地球の気温に大きな変動はなかった。だが 19 世紀から 20 世紀にかけて、まず石炭が、続いて石油や天然ガスが大量に燃やされたことでその均衡が破られ、産業革命以降、二酸化炭素の濃度が急増した。産業革命以来増大してきた温室効果ガスのうち、二酸化炭素が全体の約 3 分の 2 を占めている

世界の二酸化炭素排出量（1998 年）は約 240 億トン（CO₂換算）だが、4 分の 1 は米国 1 国（人口は世界の 59 億人の 4.6%）で排出している。西側先進国（米国、日本、西欧などの OECD 加盟国。人口は世界の 14%）だけで世界の二酸化炭素の半分近くを排出、日本（人口は世界の 2%）は世界の二酸化炭素の約 5% を排出している（図 3 参照）。

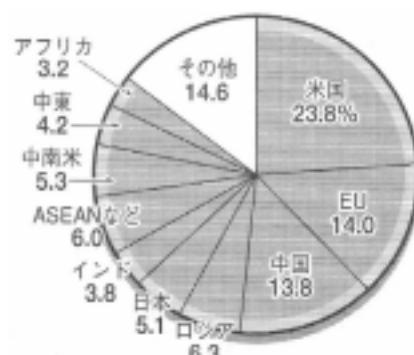


図 3 世界の国・地域別 CO₂ 排出量⁹

IPCC¹⁰によると、20 世紀中に地球の平均地上気温は 0.6 プラスマイナス 0.2 度上昇し、この上昇は、北半球において過去千年間のどの世紀よりも著しくなった。

⁷ ジェレミー・リフキン『水素エコノミー エネルギー・ウェブの時代』柴田裕之訳、日本放送出版協会、2003 年 4 月 25 日、50 頁。

⁸ 『中日新聞』2004 年 6 月 9 日、第 11 版、第 9 面、「中東依存度」。

⁹ 『中日新聞』2004 年 11 月 6 日、第 11 版、第 3 面、「世界の国・地域別 CO₂ 排出量」。

¹⁰ Intergovernmental Panel on Climate Change : 気候変動に関する政府間パネル。常設事務局は、ジュネーブの世界気象機関（WMO）本部内に設置されている。

い可能性が高い。コンピュータ・モデルの予測では、平均地上気温は、2100年までに1.4~5.8度上昇すると予想している。

気温変化は、地球の生物に質的な影響を与え、氷河期から今日までの間に気温が5度上昇したおかげで、北半球の広大な陸地が数千メートルという厚さの氷の下から姿を現し、アフリカの最高峰キリマンジャロは、20世紀の間に氷冠の4分の3を失っており、残りも15年以内に全てが無くなると予想される。 Dengue熱など熱帯性の病気が米国合衆国の南部を襲っているのも、これまでになかったことである。

米国科学アカデミー(NAS)の2002年の報告書では、今世紀中に化石燃料の燃焼により大気中に放出される二酸化炭素の量を倍増させると予測され、地球の温度はわずか2、3年のあいだに突然急上昇し、一夜にして新しい気候型が生まれる可能性があるとしている。

京都議定書は、地球温暖化防止のため、先進各国の温室効果ガス削減義務を定めた国際議定書である。1997年12月に京都で開かれた気候変動枠組み条約であり、2005年2月に発効された。二酸化炭素などの温室効果ガス排出量について2008年から2012年の間に、1990年の水準よりEU 8%、米国7%¹¹、日本6%などの削減を義務付けている。

燃料電池は、燃料が水素であり、排出するものは水のみであるため、二酸化炭素の排出防止の方法として期待されている。水素の製造で最も有効な手段とされる天然ガスからの水蒸気改質方法での抽出も炭素の割合が少ない天然ガスを使用するため二酸化炭素の排出が少ない。将来的にはエコエネルギーによる電気分解やバイオ技術の発展により化石燃料をまったく使用しない方法で水素を製造できれば、地球温暖化防止の有効な手段となる。

2.4 燃料電池の基本特許の期限

長い間、固体高分子型燃料電池(PEFC)は、出力当たりの体積や重量が大きく、動作が不安定でものにならないと考えられてきた。1980年代末に、ジェフリー・バラードが設立したカナダのバラード・パワー・システムズ社(以下バラード社という)が、カナダ政府からの資金を得て燃料電池の開発を行った。

¹¹ 現在、米国は本議定書より離脱している。

バラード社の若手研究陣はゼネラル・エレクトリック(GE)の行った過去の研究を調べた。GEの設計では、セルを両側からはさむセパレータは水素燃料と空気を流す平行線型の流路の溝がついおり、カバーを開けてみると反応するべき溝の部分が水でずぶ濡れになり、大部分が機能しないことが分かった。ここで発明が生まれた。「1本の一筆書きの蛇行する溝を掘り、水素や空気を吹き込んで反応でできた水を吹き飛ばす」というアイディアである。

この特許は日本にも登録されている。日本への出願は1990年8月30日、その元になった特許は米国に1年前の8月30日に出願されている。特許の内容は、「新規な流体流動フィールド」と呼ぶもので、セパレータに生じた水が燃料ガスや空気により押し出されて排除されるような流路構成である。

一般に反応速度を決める最大の要因を特定するのは難しい。反応速度の限度を決めている部分を特定できればそれを改善することに集中できる。だれでも普通は、イオン交換膜の性能が反応速度を決めていると考えやすい。しかし、この特許は、燃料電池の反応が、燃料(水素)と酸化剤(空気)の供給と反応後の除去によって支配されていたことを示している。できる限り多くの水素と酸素を電極に均一になるように供給し、反応が終わって不要な空気(酸素の割合が少なくなった空気)と水を早く取り除いてやれば反応速度が増大する¹²。

これは燃料電池の根幹を成す基本特許となっているが、2010年頃には効力を失うことになる。メーカー各社は本特許を意識することなく自由に燃料電池を製造できるようになり、燃料電池の開発スピードが飛躍的に向上することが予想される。

2.5 各国の動向

燃料電池を実際に実用化するには、国家レベルで推進する必要がある。主要な国々では、その重要性を認識し、燃料電池の開発への助成、燃料の水素の製造、インフラ整備等が進められている。

米国

米国のエネルギー省(DOE)は、水素プログラム

¹² 「燃料電池と水素エネルギー社会 バラード社の研究開発」システム技術研究所<<http://www.systemken.com/html/energy-frame2.htm>> 2004年9月18日アクセス

として、基礎研究から実証試験プロジェクトまで短期と長期の研究開発について、企業、大学、国立研究所に対し補助金を拠出し推進している。DOE水素プログラムのビジョンでは、2015年までに水素を利用する米国国内のインフラ整備のスケジュールにおいて、予算が毎年増額されている。1992年度は140万ドルであった研究開発費は2003年度は3990万ドル、2004年度要求は8800万ドルとなっている。ハワイは、エネルギーの自給自足を実現すべく、豊富な地熱エネルギーと太陽エネルギーを水素燃料に変換する計画を進めている。また、GMは、水素エコノミーの実現を経営の柱にすることを発表している。

カナダ

カナダは、水力による発電コストは大変安いため、あり余る水力発電を利用して水を電気分解し、水素と酸素を作り、それを外国に輸出する計画があり、すでに欧州同盟（EU）との間に「ユーロ・ケベック水力・水力パイロットプロジェクト」を展開し、水素エネルギー技術の開発を推進している。また、PEFCの開発で業界をリードするバラード社（カナダ企業）の技術を世界の標準にするよう働き掛けている。

欧州

欧州では、ドイツが最も活発な水素エネルギー技術開発を行っており、州政府やEU、産業界などの共同プロジェクトが開発を主導している。すでにミュンヘン空港プロジェクト等の多数のプロジェクトなどの実績があるが、EUにおける燃料電池車と水素インフラ関係の法令の見直しや標準化を主導するための欧州水素統合プロジェクト（EIHP）を9ヶ国企業と共同で立ち上げている。また、アイスランドが世界初の水素エコノミー国家を目指すという、長期計画を発表しており、いすれば水素を欧州に輸出するとしている。

日本

日本では、経済産業相の経済財政諮問会議で、燃料電池、情報家電、ロボットなど日本が世界最先端の技術を有する7分野を政策に総動員して支援し、現在2百兆円強の市場規模を2010年に3百兆円に育て上げる新産業創造戦略を打ち出した。

我が国の代表的な水素エネルギーのプロジェクトとしては、1993年より経済産業省主導で、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発（WE-NET）が進められており、水素の製造・輸送・貯蔵・利用に関する技術を確立するための研究開発が進められてきた。1999年度からの第2期計画では、小型分散型の利用技術開発にシフトし、特に2001年度からは燃料電池と一体となった開発を進めるプロジェクトに転換している。また、1999年に産官学で燃料電池実用化戦略研究会を設置し、2020年に燃料電池車500万台などの目標を掲げている。2002年には5人の副大臣が「燃料電池プロジェクトチーム」を結成、水素利用に関する規制緩和を提言した。日本は、燃料電池を温暖化対策の一つと位置付け、その上で産業政策として、新産業の創出も狙っている。試行錯誤で改良を重ねていく燃料電池の開発は、2次電池とともに日本メーカーの得意な分野であり、燃料電池車でトヨタとホンダは、欧米自動車メーカーを抑え、既に群を抜いてしまっている。日本企業が燃料電池技術で先行し真っ先に市場を立ち上げることができれば、燃料電池で世界市場を席巻できる可能性が大きい。

国際的な連携については、2004年11月に日米欧など15カ国が水素エネルギーの実用化に向けた初の閣僚会議をワシントンで開き、技術協力や政策協調で合意している。

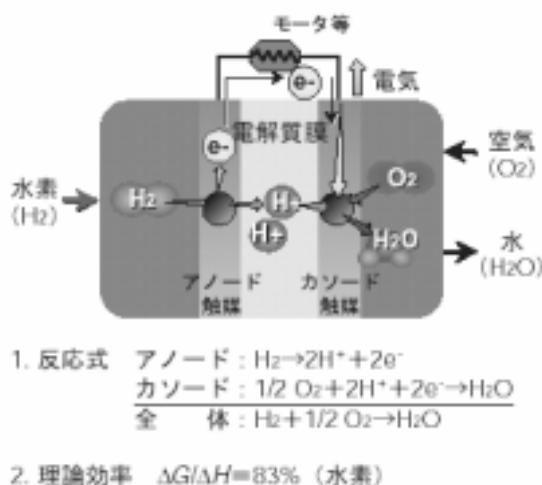
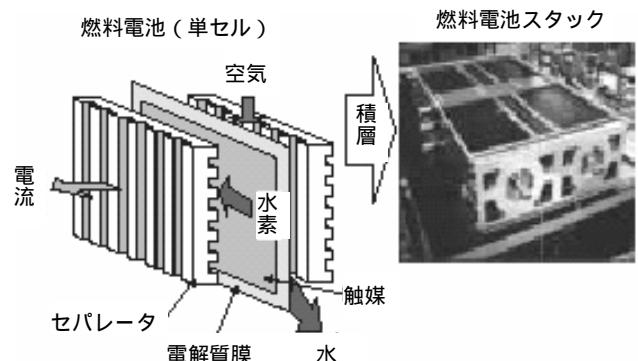
3. 燃料電池技術

燃料電池の歴史は古く、1839年のイギリスのグループが行なった実験で始まった。実用化は宇宙開発とともに始まった。その理由は、ロケットの燃料が水素と酸素を使用しており、燃料電池も同じであることから、ロケット推進用と発電用の燃料を宇宙船に別々に積み込む必要がなかったからである。

1990年代に入って、バラード社は米国ダウ・ケミカル社の開発した高分子膜を採用することで高い出力密度をもつPEFC技術を発表した。また、米国ロス・アラモス国立研究所で貴金属である白金の使用量を低減させた電極触媒が開発され、PEFCの大きな課題であったコスト面でも大幅な前進がなされ、燃料電

池の実用化が大きく前進した。さらに、PEFC 技術の急速な進歩は、それまで燃料電池の応用分野としてあまり考えられていなかった自動車などの移動体用、住宅用、さらには携帯端末用の分野にまで広がりを見せている。電力、ガス、電機メーカーに加えて、自動車、情報機器、素材メーカーまで巻き込んだ燃料電池開発の取組みは、大変な熱を帯び、実用化間近であることを感じさせるものとなっている。

燃料電池の基本単位である「セル」は、陰極と陽極で電解質をはさんだ構造になっている。電解質にはアルカリ性または酸性の水溶液や、高分子膜等が使われ、これが水素イオンを陰極から陽極に移動させる働きをもつ。商品化された燃料電池は、セルをいくつも重ねた構造をしている。水素を陰極側から送り込むと、化学反応によって水素原子が陽子と電子に分かれ。自由になった電子は、外部回路を通って出ていき、直流電流となる。水素イオン（陽子）は電解質層を通り陽極に移動する。電子は外部回路経由で陽極に達し、そこで水素イオンおよび空気中の酸素と反応して水ができる。水素の連続した供給と、発生した水の除去を即座に実施することで、持続した電気を発生させることができる（図4、図5 参照）。

図4 燃料電池の作動原理図¹³図5 燃料電池の構造¹⁴

PEFC は、80 度の低い運転温度と、50% ~ 60% の高いエネルギー変換効率を持っている。効率の良さは、内燃機関よりロス分が少ないからである。

PEFC は、この温変域で活性を示す触媒は貴金属の白金（Pt）しかないのが実情である。有限の資源である Pt を使っている限り、コストダウンにおいて問題がある。脱 Pt をどう進めるかが研究課題である。

米国では、バラード社の成功に刺激されて 1990 年代の後半にはいくつもの PEFC のベンチャー企業が誕生した。定置用燃料電池は、自動車用に求められる耐久性、約 5 千時間に比較して格段に長い 10 万時間程度の耐久性が必要とされ、各社とも市場投入には慎重な姿勢を示していたが、プラグパワー社は 2001 年末までにニューヨーク州のロングアイランド電力公社に、5 KW 一般家庭用 75 台を供給し、系統電源と連結した試験に入った。もう一つの有力ベンチャー企業、H パワー社は米国の中小電力会社約 300 社で構成される協同組合（ECO）への大量供給契約を結び量産を開始した。4.5 KW コージェネレーションの機能付での小売目標価格は 8000 ドル、約 100 万円が予定されている。この PEFC の分野には、全部で約 10 社がひしめいているが、そこに突如 2001 年 9 月、GM が参入すると発表した。激烈な競争がさらに開発を加速することが期待される。

日本のメーカーが PEFC の開発に着手したのが 1996 年頃であり、世界の流れから大幅に出遅れての出発となった。しかし、次世代の自動車や有力家電商品として、日本のメーカーも懸命に追撃を開始し、トヨタ自動車は独自で燃料電池と水素ボンベを開発、東京ガスと共同で開発した松下電器産業、荏原バラ

¹³ 中村徳彦「燃料電池車の開発状況」富士通テン技報、Vol.20 No.2<http://www.fujitsu-ten.co.jp/gihoujp_pdf40in.pdf> 2004 年 10 月 2 日アクセス

ードは、2005年4月8日、新首相公邸に家庭用燃料電池世界初商用第1号機を導入した。

4. 水素の生産及び供給

今日、全世界でおよそ4000億Nm³の水素が製造されている。この水素の生産方法は多様であり、供給方法は実績があるが金属の脆性問題を抱えており技術の確立が望まれている。

4.1 水素の生産方式

水素の代表的な製造方法として、副生水素ガスの利用、天然ガスの水蒸気改質法、電気分解法、原子力利用、有機物からの製造がある。

副生水素ガスの利用

製鉄業でのコークス製造プロセス、塩素や苛性ソーダの生産のための食塩電解プロセス、石油化学プロセスなどでは水素が副生している。このプロセスにより、世界全体で年間約200億Nm³の水素が副生している。高純度の水素が得られ、外販用にも用いられている。

製鉄所で石炭を1000～1100程度で乾留してコークスを生成する際、一酸化炭素と水素を主成分とするコークス炉ガスが生成する。世界全体のコークス炉から理論的には約600億Nm³の水素が回収可能とされる。日本における副生水素の供給可能な量は92.7億Nm³/年と評価されている。これは2010年の水素需要を上回る量であるが、2020年における水素需要量を満たすことはできない。

天然ガスの水蒸気改質法による水素生産

世界の水素生産の約97%は天然ガス（メタン）やナフサなどの化石資源から製造されている。特に天然ガスの水蒸気改質が世界的に広く実用化されており、全水素生産の約50%を占めている。天然ガスの水蒸気改質の水素製造の流れは以下のようになる。

天然ガス 脱硫工程 改質工程 CO 变成工程 精製工程 水素

今日、世界最大級の水蒸気改質プラントの水素製造能力は10万Nm³/h程度である。

電気分解法による水素生産

水に電流を流すと陽極側からは酸素、陰極側か

らは水素が発生する。工業的水電解法の主な方法として、アルカリ水電解法、固体高分子電解質水分解法、高温水蒸気電解法があるが、実用化されているのはアルカリ水電解法である。生成される水素の純度が高く外販用として用いられる。装置の構造がシンプルであるが、エネルギー消費が大きく、1Nm³の水素を製造するには、約4kWhの電力を必要とする。水電解法は電力を水分解装置に供給することになるが、水力、新エネルギーによる電力を用いれば、化石資源の消費や温室効果ガスの排出は実質的にゼロとなる。

原子力利用による水素生産

政府は、次世代原子炉の一種である「高温ガス炉」を使って、将来の有力なエネルギー源と期待される燃料電池の原料になる水素を製造する検討を始めた。文部科学省傘下の日本原子力研究所が米エネルギー省(DOE)に対し、2005年以降に米アイダホ州に新設される高温ガス炉による水素製造に協力する。今後は、原子力の夜間電力を利用し、電気分解による効率的な水素製造の技術を確立するとともに、将来、発電と水素製造の併用ができる高温ガス炉を開発することで、化石燃料に頼らないエネルギー源の確立が可能となる。

有機物からの水素生産

産業技術総合研究所、西原環境テクノロジー、荏原製作所、鹿島建設、バイオインダストリー協会は、生ごみなどから水素とメタンを高速で分離回収できるバイオガス実験プラントを建設した。同プラントは微生物によって生ごみや紙ごみ、食品系廃棄物を分離処理し、2つの槽で水素とメタンを回収する。また、サッポロビール、島津製作所と広島大学は、パンの廃棄物から効率よく水素を生成することに成功したと発表した。このように、有機物からの水素の製造技術の開発が活発化してきた。画期的な方法が見つかれば、発展途上国や原生林が生い茂るアフリカや南米でも電気の利用が可能となる。

4.2 水素の移送方法

水素は、パイプラインで移送するか、又は、タンクローリーに高圧ガスか液体水素で積載し運搬する方法がある。各家庭には配管で水素は供給するか、

ボンベで供給する方法もある。

世界最長の水素パイプラインは延長 400km で、フランスとベルギー間に敷設されている。現在、世界で稼働中の水素パイプラインは、約 2,200km でこれらの水素ガスパイプラインに加えて、液体水素パイプラインが米国に敷設されている。この液体水素は、NASA の宇宙開発用燃料として利用されている。日本には、このような全国縦貫天然ガス・パイプラインが未整備なため、水素移送用のパイプラインを建設し、いつでもハイタン（天然ガスに 10% 程度の水素を混ぜたもの）や水素を輸送する態勢を整えておくことがきわめて重要となる。

4.3 水素の貯蔵方法

純水素の貯蔵方法としては、ガスを高圧にしてボンベに貯蔵する方法（高圧ガス貯蔵）、水素ガスをマイナス 253 以下の極低温に冷やし液体にして、魔法瓶のようなタンクに貯蔵する方法（液体水素貯蔵）、水素ガスを特殊な金属に吸わせて貯蔵する方法（水素吸蔵合金貯蔵）が一般的であり、燃料電池自動車にも採用されている。これらの他にカーボンナノチューブや有機ハイドライドの利用も研究されている。

4.4 水素製造コスト

プロトンエナジー社は、2001 年 11 月、東京で開かれた「アジアの水素時代」と題する国際会議で、10 円/KWh の電力が入手できれば、水の電気分解により自家用燃料電池自動車を 6 円/Km で走らせることができると発表した。もし夜間電力割引料金で 5 円/KWh 程度の電力が利用できれば、水素を売る業者は十分な経済的利潤を確保することができる。

5. 燃料電池の発展による電力産業の変革

燃料電池は、多様なビジネス要素を持っており、新しいビジネスモデルが想定できる。世界と日本の産業界では、企業の合併、提携、分割など合併連衡が繰り返され、新たな再編の時代に突入している。電力業界においても、燃料電池による電力販売ビジネスにより、再編が予想される。

5.1 新しいビジネスモデルの出現

燃料電池は、実用化段階の一つ手前まで来ている。開発が急激に伸びるのは家庭用電力が完全自由化に

なり、バラード社が特許の効力を失う 2010 年頃からと予想できるが、米国の DOE が計画しているインフラ整備の完了する 2015 年頃が普及期と予想される。しかし、燃料電池車と違い、家庭用燃料電池は、本体を需要家に設置しボンベで水素を供給すれば、直ぐにでも使用可能となる。問題はコストだけになる。例えば、コストについても、購入やリースの値段をある程度安くし、環境を配慮することをうたい文句にすることや燃料電池のデザインを良くしホビーナーのあるものにすれば、消費者は興味を持ち導入する可能性がある。また、太陽電池との組み合わせ等で、燃料電池の普及が予想より早くなる可能性がある。

燃料電池による電力販売ビジネスが本格化した場合の新しいビジネスモデルを想定する。

- ・水素の販売は、現在敷設が済んでいる天然ガスの配管により供給される方法と、プロパンガスのようにボンベによる販売がある。各家庭に 2 本のボンベを設置し、1 本の水素が無くなると自動的に無線で販売会社のコンピューターに連絡が行き、配達車の GPS に取替え先が表示され取替えに向かう。需要家の購入量は、配管での購入と同じように、使用した水素の量で支払う。ボンベの材質が、アルミのタンクにカーボンファイバーを巻きつけた軽いものとなっており、運搬作業員は賃金の安いアルバイトでもよくなるとともに、宅急便会社と提携して運搬及び設置を行うことが可能である。
- ・住宅街やマンションにタンクを設け、そこから配管で水素を供給することもできる。ガソリンスタンドのように、タンクローリーを横付けしタンクに水素を供給する。各家庭にはそこから配管で供給すれば、住宅街やマンション単位で購入先を決定することができる。何時も安いところから水素が購入できるようになる。
- ・ソフトバンクがヤフーでインターネットの顧客を拡張したように、燃料電池と水素を組み合わせた販売で販売範囲を拡張していくことが可能である。ガス会社は電力会社のように広範囲な販売地域でなく、市などの限られた範囲での販売地域である。これらの、企業を買収していくには、買収資金はそれほど高額でなくともよいので、資金能力に応じて無理なく計画的に買収を実施することができる。

- ・電力会社やソフトバンクが参入した場合は、水道以外の家庭のインフラをトータルで販売する可能性がある。電気、給湯、ネット接続、固定電話等の組み合わせで、格安パッケージ料金で提供することも可能となる。
- ・燃料電池は、発電機であるから余剰電力を売電することが可能となる。顧客であった一般家庭や低電圧需要家が、住宅街やマンション・団地単位で、卸電力取引所に売電する可能性もある。
- ・企業は、団地を発電所と見なし、水素販売を低価格にし、その代わり一括売電の権利を購入するという契約形態が現れることが予想される。

5.2 電話業界を参考にした電力業界の変化予想

既存電力会社は、公共事業性の高い地域独占での電気の供給を行う事業として、原価に基づいて電気料金を決定することで収益を得ていた。既存電力会社が、競争せずに収益を得ていたことは、自由化になる前のNTTに非常に似ている。自由化で先行する電話業界は、携帯電話の出現により、料金及びサービスの競争が本格化し業界の再編に繋がった（図6参照）。

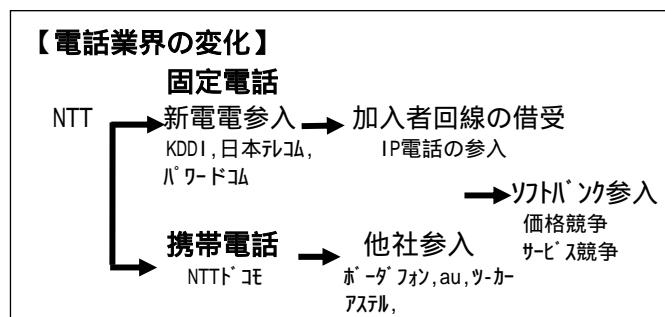


図6 電話業界の変化フロー

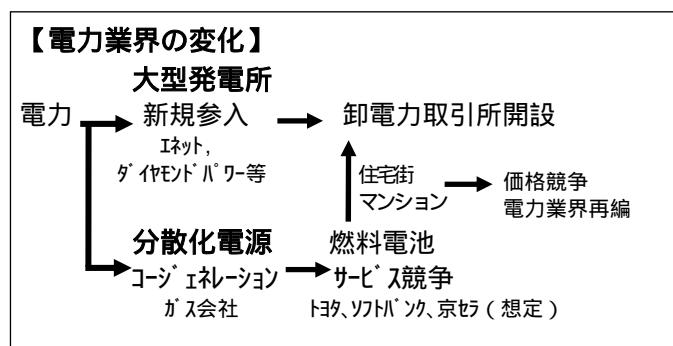


図7 電力業界の変化フロー（予想）

電力業界においては、燃料電池の出現が、この役割をするものと予想される。既存の電力会社には、地域独占で永年培った地の利、大型発電所とその運転・保守技術、配送電の敷設運用技術等があるが、燃料電池は分散化電源として、運転をコンピューターが自動で行い、発電所と需要家が同じ場所であるため、送電設備も基本的には必要なくなる。大型発電所対燃料電池（分散化電源）という構図が浮かび上がる。

燃料電池による電力販売ビジネスが本格化した場合、電話業界のように、今まで電力業界に関係のない新しい分野から参入する企業があり、壮絶な競争が予想される。トヨタ自動車やソフトバンク型企業の参入と燃料電池による各家庭からの売電が卸電力取引所で行なわれるようになり、価格破壊が起こることが予想される。電力業界の再編が起こり、迅速な経営判断やサービスの企画等ができる変化しなかった電力会社は競争に負けトヨタ自動車等の競争力がある企業の傘下に入る可能性がある。

電力業界の変化は今後どのように起こるのか、電話業界の変化をもとに検討したのが図7である。

2000年3月より電力小売部分自由化が開始された。2003年7月時点で新規参入者（特定規模電気事業：PPS）の販売電力量の市場シェアは全体で約1.8%と低い。この事は、電話業界が自由化になり新規事業者が参入した時に良く似ている。強大なNTTの前に、新規参入組は規模に圧倒され太刀打ちできなかった。しかし、携帯電話の登場で、その状況は一変する。

電力販売では、分散化電源である天然ガススタービンを利用したコージェネレーションシステムの工場等への導入で一部に影響が出ている。関西地域を例にすると、コージェネレーションシステムの大坂ガスの設置台数は約1800台で5年間に倍増している。その影響で、関西電力では、昼間の余剰電力が増え、料金体系まで見直した。

今後、最も影響を与えるのが燃料電池による電力販売ビジネスである。大型設備を必要とせず、設備は顧客が購入するかリースするため経費の負担は少なく、地域または、小さなブロック毎に販売も可能であるため、あらゆる企業が参入しやすい。顧客の

数を早く集める能力に優れた会社ほど優位なる可能性がある。ヤフーが、ADSL回線利用の顧客数でNTTと争い、NTTに匹敵するまでになり、一度利用先をヤフーと決めた顧客に対しては、多様なサービスで他に移らないように努力している。顧客は、他に乗り代える手間も相まって、ヤフーから他の会社へ変更しにくい。このように先に燃料電池による電力販売の顧客を勝ち取った企業に有意に働く可能性がある。

燃料電池は、自動車会社自ら研究開発及び製造をしており、電力販売ビジネスに参入する可能性が高い。トヨタ自動車が参入した場合、その圧倒的な販売力と自動車販売で養ってきた顧客へのサービスでこの分野を凌駕する可能性がある。またソフトバンクは、固定電話、携帯電話で市場で価格破壊に挑みNTTが脅威を感じている。電力業界においても、ソフトバンクなどの安値と早いスピードで新規サービスを次々に打ち出してくるベンチャー型の企業が参入する可能性があり、既存電力会社の常識を超えた価格破壊でその牙城を崩す可能性がある。

発電業者らが電力を融通し合う日本卸電力取引所が、2005年4月に開設した。電力の小売り自由化が進む中で余剰電力の取引が活発化し、電気料金の低下が期待されている。燃料電池は、余剰電力の売電も可能である。顧客であった一般家庭や低電圧需要家が、購入価格が安い電力会社に売るのではなく、団地単位、住宅街単位、マンション単位での電気を卸電力取引所で売電する可能性もある。卸電力取引所での売買は1000kW単位の現物取引であることから住宅が集合体になれば、この単位での売買が可能となる。そうなると、既存電力会社に対し、需要家であった顧客が競争相手に変身する。

電力業界はこれまで変化が少ない業界であったが、デジタル家電業界並にドッグイヤーを経験することになるかもしれない。他社に劣らない、魅力あるサービスと顧客を引き付ける営業の能力、他社より安い価格とサービスの組み合わせによる収益の確保をスピーディーに打ちたてる体制が必要になる。電力自由化になる前の地域独占の時の社風、経営能力のままで、大きな変化に対応することが出来ない既存電力会社があれば、その時は銀行業界が再編したように、電力業界にも再編の波が押し寄せてくる可能

性がある。

5.3 既存電力会社への提言

燃料電池による電力販売ビジネスが本格化した場合に既存電力会社がどのように対応すれば良いか世界的な競争の中で勝ち残っているトヨタ自動車及びサムスンが参考となる。トヨタ自動車やサムスンと既存電力会社との大きな違いは、トヨタ自動車やサムスンが、まだ国内でのシェアがトップでないときから、世界のトップになることを目標としてきたが、それと比較し既存電力会社は他電力との横並びを意識してきた。

これからの競争で勝ち残る為に、発想の転換と積極姿勢が必要になる。既存電力会社は、燃料電池という世界で電力を販売できる装置を手に入れることから、独占時代に根を張った地域だけではなく、海外を含め供給エリアを拡大することが可能となる。

燃料電池による電力販売ビジネスで、燃料電池を製造する自動車メーカーと合弁会社を作ることも将来の電力業界の活路になる。インフラの構築でノウハウがある電力会社と大量製造販売する自動車会社が手を組めば、世界での新たなビジネス展開が可能となる。電力不足の中国に進出するのも一つの方法である。中国での経験は世界での競争に役に立つ。中国でのビジネスで発生する多様な問題に対処するための人脈の形成や組織作り、マーケティング技術のノウハウを身に付ければ世界の他の地域でも応用できる。

燃料電池による電力販売ビジネスは、今後大きな発展分野である。液化天然ガス(LNG)発電などで天然ガスの購入、取り扱いに既存電力会社は慣れており、水素の製造・販売もこれらを改質すれば優位に展開できる可能性がある。天然ガスの販売では、東京電力が新規事業の柱の一つとして積極に活動している。このように、家庭への天然ガス販売で本格的に参入する電力もあり、既存電力会社間で差異が発生する可能性がある。

既存電力会社が、世界で戦っていくためには、今後、メーカー並みに、産業財産権、ボランティア等の社会貢献を強化する必要がある。また、部門間移動を容易にし、発想提案行動型の従業員を新規事業やサービス部門に集中するとともに、既設大型発電

所を有効に活用するため、発電部門には堅実実務型の従業員を集中させ安全で効率的な運転を行う。トヨタ自動車の発展の原動力になっているのが改善提案制度であり、既存電力会社も同制度を充実し、社員の会社への愛着心と質の高いサービスの向上へと役に立てる必要がある。

燃料電池による電力販売ビジネスに勝ち抜くには、トヨタ自動車やサムスンのように「世界のトップ」になる目標を持ち、「価値を創造し会社を牽引していく部門の創設」と「堅実かつ効率的な発電所の運営」の2つの車輪により、電力独占時代の古い壁を取り去り、燃料電池で訪れる新しい電力販売ビジネス体系の中で勝ち残る組織になる必要がある。

6.おわりに

人類は、産業革命以降、石炭、石油、天然ガスの炭素を元素とした資源を主に使用してきた。しかし、それらの化石燃料は限りがあり、地球環境に対して温室効果ガスの排出という悪影響を与えてきた。燃料電池の開発は、太陽電池・風力等のエコエネルギー・や原子力に新たに水素を加えることができ、人類が使用するエネルギー源を化石燃料から移行することが可能となる。このことが、燃料電池を発展させる大きな理由となっている。

燃料電池の発展は、インターネットや携帯電話の出現で通信業界が変化したように、電力業界に大きな変化をもたらす可能性がある。本研究において、既存電力会社は、NTTが経験した通信分野の自由化と同様、今まで養ってきた能力だけでは競争には残れる可能性が少ないと結論に至った。

なお、当論文は、将来のことについては想定の部分が多いため、燃料電池の発展に合わせ実際の状況を今後検証する必要がある。

最後に、本研究が電力業界の発展に何らかの形で役に立つことができればと願っている。私は、永年電力会社に勤務し安定した生活が送れると感じながら過ごしていたが、予想もしない年功序列の廃止、能力主義の導入など社会の大きな変化を経験することとなった。

生命が進化してきたように、物事は、流転し障害

が訪れるたびにステップアップし変化するとともに変化できないものは淘汰される。人も企業も変化しなければならず、「良質の価値を創造し続ける」ことを求められている宇宙の道理のようなものがあるのではないかと当論文を作成しつつ感じている。今後も自己の質の向上と社会への良質な貢献をして行くことを誓い当論文を締めくくる。

[参考文献]

1. 気候ネットワーク『よくわかる地球温暖化問題』中央法規出版、2002年12月5日
2. 科学技術動向研究センター『図解水素エネルギー最前线』工業調査会、2003年7月25日
3. 山本寛『水素経済革命-燃料電池が世界を変える』新泉社、2002年12月10日
4. ジェレミー・リフキン『水素エコノミー エネルギー・ウェブの時代』柴田裕之訳、日本放送出版協会、2003年4月25日
5. 本間琢也『図解 燃料電池のすべて』工業調査会、2003年12月24日
6. 日経エレクトロニクス『燃料電池 2004』日経BP社、2003年10月7日
7. 山本寛『水素経済革命-燃料電池が世界を変える』新泉社、2002年12月10日
8. エネルギーフォーラム編集部『エネルギー・フォーラム』2月号、エネルギー・フォーラム、2004年1月1日
9. 八木勤『ソフトバンクの3年後を読む!』中経出版、2004年6月30日
10. 小島郁夫『図解でスッキリ! [最前線] 情報通信業界知りたいことがスグわかる!!』こう書房、2000年3月10日
11. 小尾哲也他4名「ケータイ大国が変わる!」『ダイヤモンド』第92巻4号、ダイヤモンド社、2004年1月24日
12. 高本敏行『トヨタ最強企業の哲学』実業之日本社、2003年6月18日
13. 李翼源・金成澤・丁芝瑛他3名『サムスン電子』福田恵介訳、東洋経済新報社2002年11月21日

(Received:May 31,2005)

(Issued in internet Edition:July 1,2005)