新エネルギー・水素エネルギーへの期待 —エネルギーを蓄える時代に—

釜 崎 清 治*

*東京都立大学大学院 工学研究科(〒192-0364 東京都八王子市南大沢 1-1)

Expectation to New Energy and Hydrogen Energy —In the Age which Stores the Energy Source—

Seiji KAMASAKI*

*Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University (1-1, Minami-ohsawa, Hachioji-shi, Tokyo 192-0364)

Key Words : New Energy and Technology, Renewable Energy, Storage of Energy, Hydrogen Energy, Fuel Cell System

1. はじめに

「エネルギー」という言葉を聞いて、「石油ショック(Oil Shock)」と「トイレットペーパー」を思い出すのは私だけであろうか。1973年10月、第4次中東戦争が勃発。アラブ石油輸出国機構(OAPEC)は石油の減産・禁輸を行い、石油輸出機構(OPEC)は原油価格を一挙に約4倍に引き上げた。第一次石油ショックである。1974年春、原油価格の上昇は留まるところを知らず、73年末の約5倍にまで値上がりし、世界経済は大打撃を受ける。そして1979年2月、イラン革命を契機にイランでの石油生産が中断、需給は逼迫し原油価格は再び高騰する。第2次石油ショックである。エネルギーの大部分を原油に依存し、しかもそのほとんどを輸入に頼っている我国は、国際収支の悪化、異常なインフレーション、経済成長の急激な鈍化など、大きな影響を受けることになる。

他方、石油をはじめとする化石燃料をエネルギー源として大量に使用してきた結果、地球温暖化、酸性雨、そして海洋汚染の問題など、地球環境の悪化は深刻なものとなっていた。1992年6月、環境問題の解決と経済の発展の両立を意味する「持続可能な発展」を推進するため、ブラジル・リオデジャネイロで「地球サミット」が開かれ、「アジェンタ21」が採択される。日本は、国内の行動計画「アジェンタ21行動計画」を翌1993年12月に決定、その姿勢は、「気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議(1997.12, COP3)」での「京都議定書」採択へと引き継がれていくことになる。

「化石燃料枯渇」の問題とあいまって、「持続可能な発展を可能とする新たなエネルギー対応」が求められる中、私達は21世紀を迎えた。本稿では、「持続可能な発展」が最優先されるべき21世紀にあって、エネルギーの隠れた主役として期待される「新エネルギー」^{1)~3)}、そして化石燃料に代わり、自然界の循環の原理にしたがった再生が期待され、蓄え必要ときに必要な場所に輸送し、求めに応じて分割配分できる

クリーンな燃料・水素、この水素に託される「水素エネルギー」⁴⁾に注目してみたい。

2. 新エネルギーへの期待

図1に、我国の一次エネルギー供給の推移および発電電力量の推移を示す⁵⁾。第一次石油ショックの1973年に、一次エネルギー総供給の約77%を占めていた石油は、2000年度には約52%にまで減少している。同時に、石油など火力による発電電力量も大きく減少しているが、これを補填しているのは、LNG火力、石炭火力そして原子力発電で、「新エネルギー」の分担はわずかに0.2%程度、一次エネルギー供給量も1%にすぎないのが現状である。

さて、「新エネルギー」は、エネルギー源の性質によって、大きく3形態に分類されている。「自然エネルギー(再生可能エネルギー)」、「リサイクル・エネルギー」および「従来型エネルギーの新利用形態」である(図2)¹⁾。なお、我国では「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(1997年施行)」において、「技術的に実用化段階に達しつつあるが、経済性の面での制約から普及が十分でないもので、石油代替エネルギーの導入を図るために特に必要なもの」と「新エネルギー」を位置づけており、このため、実用化段階に達した水力発電・地熱発電、研究開発段階にある波力発電・海洋温度差発電は、自然エネルギーの活用ではあるが「新エネルギー」には指定されていない。「新エネルギー」の特長は、環境負荷が小さく、資源的な制限が少ない(エネルギー源を国内でまかなえる)点にあり、石油へのエネルギー依存率の低減、エネルギー安定供給の確保など、魅力は大きい。持続可能な経済社会の構築に加え、新規産業・雇用の創出も期待される。いくつかを例に、現況と展開をみていこう。

2.1 自然エネルギー(再生可能エネルギー)利用の展開

IEAのデータ⁶⁾によると、2000年度末までに我国に導入された太陽光発電システムは、累計で317,500kWで第一位(図3a))、次いで第二位アメリカ138,800kW、第三位ドイ

図1 我国における一次エネルギー供給量(a)および発電電力量(b)の推移

図2 新エネルギーの分類

ツ 113,800 kW となっている。発電モジュール効率も世界最高水準にある。地域分散型を特徴とする太陽光発電は、電力輸送によるエネルギー損失の抑制が可能で、電力需要が最も多い昼間に発電量が多いことから、電力負荷の平準化(ピークカット効果)に効果的といえる。

太陽電池の世界市場の規模は、2002 年で約 560 MW。バルク Si 系太陽電池、薄膜(Si 系、CIS 系)太陽電池を対象に、2030 年を目途に、住宅用太陽光発電システムとして年間約 500 MW の導入を実現するための取り組みが進められている

(表1)^{7)~9)}。発電単価が既存の電源に比べ約 3 倍と高価格である点の克服が、広い需要層に受け入れられるためのポイントとなろう。太陽電池用材料の低コスト・量産化技術、先進太陽電池技術開発、さらには革新的次世代太陽光発電システム技術開発の進展に期待したい⁹⁾。

さて、東京都に風力発電施設があることをご存知だろうか。2003 年 3 月、中央防波堤内側埋立地東南端に設備容量 850 kW の 3 翼プロペラ形風車(羽根直径 52 m、タワー高さ 44 m) 2 基が設置された(図 4 a))。出力は予測をやや下回って

図3 我国における太陽光発電導入量(a)および風力発電導入量(b)の推移

表1 住宅用太陽光発電システム約500 MW/年の導入に向けた取り組み

実用化の時期		2010 年頃	～2020 年	～2030 年
モジュールの目標コスト		100 円/W	75 円/W	50～60 円/W
プランと規模の想定		100 MW/年	～250 MW/年	～500 MW/年
バルク Si 系	Si 基板厚	150～200 μm	100 μm 以下(例: 50 μm)	
	モジュール効率	①極薄型スライス基板: 17% ②スライスレス基板: 15%	③超薄型 Si 基板: 20%	
	取り組み方策	①②: 単結晶に迫る高品位化, 極薄型 Si 基板を用いたセル・モジュール工程の高生産性化・高歩留り化の実現 ③: 技術開発基本計画を策定するための調査研究		
薄膜 Si 系	モジュール効率	12%以上	13%以上	16%程度
	生産性向上	約 3 倍	約 10 倍	15 倍
	取り組み方策	・効率向上については材料の高品質化と構造の最適化		
薄膜 CIS 系	モジュール効率	13%以上	16%以上	18%程度
	生産技術確立	・モジュール材料の根本的な検討によるモジュール構造の確立 ・製法技術の確立・製造プロセスの完成と高生産性の実現		
	取り組み方策	・材料(CIS, 窓層, 透明電極など)の高品位化 ・高品質ワイドギャップ材料の開発・実用化 ・モジュール構造・製法の確立および量産に適した製造プロセスの完成		

いと聞くと、順調に稼働している。2003 年 8 月現在、我国における風力発電設備の設置容量は 250 基・約 57 万 kW、設置準備中あるいは調査開始施設の完成時期から、2005 年には約 88 万 kW に、その年度末には 100 万 kW に達すると予測される(図 3 b))^{10),11)}。現在、設置は 36 都道府県、北海道・約 21 万 kW、青森・約 16 万 kW、岩手・約 10 万 kW の 3 県が群を抜いている¹¹⁾。

風力発電のエネルギー変換効率は約 40%、建設・管理コストなどに対するスケールメリットは大きく、大型化によって発電コストの低減が期待できる。青森県むつ市・六ヶ所村・東通村および北海道苫前町では、総出力 2～3.3 万 kW の発電設備が稼働し、電力会社と長期売買契約が締結されるなど、商業化への動きが進んでいる¹¹⁾。また、発電時の CO₂ 排出量が低いことも風力発電の魅力の一つで、石油火力発電で炭素換算約 200 g・C/kWh、「新エネルギー」の一つ太陽光発電で 52 g・C/kWh であるのに対し、20 g・C/kWh と算出さ

れている¹²⁾。

1999 年末、風力発電導入量の世界合計は 1,400 万 kW に達した(ドイツ 440 万 kW、米国 240 万、スペイン 180 万 kW など)¹¹⁾。地形が複雑な我国には、設備搬入路・送電線の確保に対する潜在的な制約があり、加えて立地規制の壁も高い。高信頼性設計技術(ブレード最適設計技術、ピッチ制御技術など)、出力安定化技術(可変速システム、ギアレス永久磁石同期発電機、ディーゼル発電機協調運転技術など)、建設性・整備性改善技術の確立¹⁰⁾、革新的大型機種の開発による発電コストの大幅な低減など、新たな展開を期待したい。現在進められている離島用風力発電システムの技術開発は、利用地域の電力事情の大いなる改善につながるもので、その意義はきわめて大きい。

2.2 リサイクル・エネルギー利用の展開

バイオマスエネルギーは、自然エネルギー、リサイクル・エネルギーの両者に関係する。本稿では、本節で一括して概

(a)

(b)

図4 東京都江東区に設置された風力発電設備「東京風ぐるま」(a)および東京・有明の「水素ステーション」と「燃料電池バス」(b)

覧したい。

バイオマス資源は未利用資源系と生産資源系に大別され、前者には、木質系バイオマス(森林バイオマス、製材・建設廃材など)、製紙系バイオマス、農業残渣、ふん尿・汚泥、食品廃棄物など、後者には、木質系バイオマス(短周期栽培木材)、草本系バイオマス(牧草、水草、海草など)、その他糖・でんぷん、植物油などが含まれる¹³⁾。国内のバイオマスエネルギー賦存量・利用可能料は、それぞれ1,667 PJ/y(原油換算4,334万kL, PJ/ペタジュール=1015J)、1,261 PJ/y(原油換算3,279万kL)で、2000年度の我が国の一次エネルギー総供給量(23,385 PJ/y, 石油換算60,801万kL)の7.1%, 5.4%にそれぞれ相当する。利用可能量は木質系バイオマスが最も多く3割近くを占め、次いで食品廃棄物、製紙系バイオマス(黒液を含む)となっている¹⁴⁾。2000年度、バイオマスエネルギー導入量は米国が最高水準(3,094 PJ)にあり、我が国では203 PJに留まっている。地球温暖化対策推進の一環として、2010年度バイオマス発電33万kW、熱利用67万kLが目標とされている¹³⁾。

CO₂ ニュートラルでかつ汚染物質の排出が少ないことがバイオマスの最大の特徴であろう。しかし、大規模なバイオマス利用は、エコシステムにとってプラス・マイナス両者の因子となり得る。化石燃料使用量の削減により、生態系への影響が緩和され、自然の生態系が保たれることから種の多様性が保全される一方、森林伐採の進行、森林地帯あるいは湿地帯のバイオマス農作物生産地への転換が進むと、種の多様性は損なわれかねない¹⁵⁾。森林保全などとの調和を基本とするバイオマス資源活用の進展に期待したい。

廃棄物発電は、1965年に我が国として初めて大阪で導入された後、政府の助成措置もあって普及が進み、供給出力は1999年には約90万kWに達し、導入実績は新エネルギーの中で最も高い。2010年度の導入見通しとして、設備容量417万kWが見込まれている。また廃棄物発電では、得られる累積発電量に対応する分だけ二酸化炭素排出が削減されることになり、その排出量は、単純埋め立ての約1/17、単純焼却の1/2と試算されている¹⁶⁾。

発電の方式は、ごみの焼却熱のみを利用するシステムと化石燃料を併用する結合システム(ガスタービンを併設する「スーパーごみ発電」)に大別され、前者には焼却炉からの焼却熱を利用する「高温・高圧ボイラー方式」と、廃棄物を熱分解し有機物を可燃ガスとして回収、その他を再利用可能な資源として取り出すガス化溶融炉を備えた「高効率発電方式」がある。安定した電力供給を実現するため、近年、廃棄物燃料製造(廃棄物固形燃料化/RDF Refuse Derived Fuel, 廃プラスチック油化など)で得られるRDFによる焼却発電施設も稼働している。RDFの熱量は石炭のおよそ1/2、燃焼も安定している¹⁶⁾。しかし、今年(2003年)8月19日に三重県のRDF燃料発電所・燃料貯蔵サイロで起きた爆発事故にみられるように、排煙、排水および主灰・飛灰の環境影響に対する対応とともに、RDF燃料の管理体制の確立が急務となっている。

廃棄物熱利用は、焼却熱の温水・地域冷暖房の熱源、あるいはセメント製造工程・製鉄工程の補助熱源として利用されているが、導入量は少ない^{2),3)}。

2. 3 新しい利用形態の展開

従来型エネルギーの新しい利用形態として、1981年、天然ガスコージェネレーションシステムが東京国立競技場に設置され、1990年前後にかけて導入が進んだ。1999年3月末の実績で、累計1,030件183万kW、過去3年間で導入量は約1.4倍に増加している^{1)~3)}。課題は、高効率機器設備の経済性向上にある。

電気自動車、ハイブリッド自動車、天然ガス自動車、メタノール自動車の4タイプがあるクリーン自動車の、我が国における導入台数は、1999年度末で約46,000台。価格、インフラ整備の問題解決が望まれる^{1)~3)}。

リン酸型に代わり注目されている固体高分子型燃料電池については、自動車用ならびに定置用システムの普及基盤整備、およびそれぞれの電池要素技術開発が進められ、高温運転に適し、かつ高耐久性を有する新規パーフルオロカーボン系高分子膜の開発、超少量白金系触媒担持ガス拡散電極の開発、燃料電池電極膜接合体量産化技術の開発などに成果をあげて

いる¹⁷⁾。

なお、1998年6月に改訂された「長期エネルギー需要見通し」では、新たな対策を加え、2010年度には新エネルギーの全エネルギー供給量に占めるシェア3.1%(原油換算で1,910万kL、1998年度は原油換算で約680万kLの導入)を目指すとしている¹⁸⁾。

3. 水素エネルギーへの期待

我国では、地球規模でのエネルギー・環境問題の解決にあたるため、再生可能エネルギーを水素に転換し、発電・輸送用燃料・都市ガスなどの広範な分野で利用を図る「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(International Clean Energy Network Using Hydrogen(WE-NET))」プロジェクトを1993年より進めてきた¹⁹⁾。1998年度までを第I期、引続き2003年度までを第II期としたが、2003年4月より「水素安全利用等基盤技術開発」として、燃料電池自動車・定置用燃料電池の導入促進に向けたNEDO新プログラムがスタートした(図5)¹⁹⁾。本節では、WE-NET第II期で進められた水素エネルギーの段階的導入を図るための短期・中期での実用化を目指す研究(水素自動車システム、自動車用水素吸蔵合金、水素供給ステーション、水素コージェネレーション、純水素供給固体高分子型燃料電池/定置用)、ならびに再生可能エネルギーのグローバルな大規模・有効利用を図るための実用化には長期を要する研究開発(大規模水素製造/固体高分子電解質水電解法、低温材料、液体水素輸送・貯蔵)の成果^{20),21)}を中心に、いくつかを紹介したい。

3.1 水素製造技術の展開

天然ガスを原料とした水素製造法としては、すでに水蒸気改質と水素精製装置(PSA Pressure Swing Adsorption)を組み合わせたシステムが実用化されている^{20),21)}。大規模水素

製造ニーズに対応したコンパクト化・高性能化の試みとして、PSA減容化の障害となるCO低減のためのCO選択酸化触媒をもつCO転化部門を設けることで、PSAを従来の50%に減容できることが確認されている²¹⁾。また、水素分離膜モジュールにパラジウム系合金触媒を、改質触媒にニッケル系合金を用いた水素分離型フォーマシステム、改質温度550℃によって、水素製造量約22Nm³/h、水素純度5N、水素製造効率70.3%(目標値;水素純度4N以上、製造効率70%以上)を達成している²¹⁾。

固体高分子電解質水電解法では、水素供給ステーションへの水素供給を念頭に、高効率・大面積セルおよびその積層化技術の開発が進められた。これまでのフッ素系ポリマーに代わる、耐高湿性・伝導性に優れた新しいスルホン化芳香族系ポリマー(150℃における導電率0.046S/cm)が開発され、2セル積層電解槽(電極面積200cm²)による評価の結果、150℃、0.6MPa、電解電流1A/cm²の作動条件下で、セル平均電圧1.552V、電圧効率95.4%(対1.48V)、電流効率99%の成果を得ている。また、チタン薄板型セパレータおよびこれを用いた大面積セルの積層化技術の開発が進められ、電解スタックの低コスト化、システム簡素化による水電解装置の低コスト化のための要素技術が確立された²¹⁾。耐久性・信頼性の向上、安全性の確保に向けた技術的検証の進展に期待したい。

3.2 水素貯蔵用水素吸蔵合金開発の展開

当初、有効水素量3mass%以上、放出温度373K以下の合金開発が進められた²⁰⁾。開発が進む平成14年、開発内容が一部見直され、移動体・定置用として上記特性の合金、自動車用として有効水素吸蔵量5.5mass%、放出温度150℃以下、累積走行寿命10万kmを可能とする水素貯蔵材料開発が目標となった²¹⁾。前者では、373K、3.3MPaの水素雰囲気

図5 燃料電池自動車・定置用燃料電池の導入促進に向けたNEDOの新プログラム

気で2.9mass%の水素吸蔵そして373K, 0.01MPaで2.6mass%の水素放出が可能なV-10at%Ti-12.5at%Cr-3at%Mn合金が、また高価なバナジウム量を低減したTi30Cr50V20~Ti24Cr36V40合金(帯溶融炉を用いた溶製などにより、293K, 4.0MPaでの水素吸収, 373K, 大気圧の水素放出で2.77mass%の有効水素量を実現)が開発された。後者では、5%級の水素吸蔵が期待される新規Mg-Ti系合金, Mg-Ca-Ni系合金について検討され、それぞれ5mass%を実現する手がかりを得ている。また、新たな合成パラメータとして圧力を加え、高圧下で高濃度水素含有化合物(Mg-Sc系, Mg-Ti系, Mg-V系など、水素含有量~8.5mass%)を合成する試みも進められている²¹⁾。本年度スタートしたNEDO新プロジェクトでは、合金の耐久性向上が重要課題の一つとして取り上げられており、表面改質法が注目されている²²⁾。

3. 3 水素供給ステーション関連技術の展開

水素燃料電池車への燃料供給を目的とした水素供給ステーションについての要素技術、システム化技術確立のため、小規模システム(実用の1/10の規模、水素製造能力30Nm³/h)が設置され、急ピッチで検討が進められている²¹⁾。大阪市此花区、香川県高松市の設備は、水素を現地生産するオンサイト方式のステーションで、前者は天然ガス改質、後者は固体高分子電解質水電解によって水素を製造している。高圧水素ガスによる貯蔵・高圧タンク搭載車両への水素供給に加え、水素吸蔵合金による貯蔵(低圧貯蔵)・合金タンク搭載車両への水素供給の両者への対応を念頭に、実証試験が続けられている。水素ステーション・システムフローの一例を図6に示す²¹⁾。なお、我国で実用化された燃料電池車には35MPaの高圧水素ガスがタンクに収められ、使用されている。

外部から水素を運び入れ、これをステーションに貯蔵し燃料電池車へ供給するオフサイト方式を含め、平成15年度までに首都圏9ヶ所に設置が予定されている(図7)。また、水素ステーションからの水素供給を受けた燃料電池ハイブリッドノンステップ大型バスによる、路線(都営バス)での運行も始まっている(図4b))。「水素エネルギー」を身近に感じ取れる場となりそうだ。

4. おわりに

「持続ある発展」の実現には、「環境の保全」および「健全なエネルギーの供給」の両立とともに、国際的協調が不可欠である。2003年8月29日、ロシアが京都議定書批准に向けて議会審議を進めるとのニュースが報じられた。2001年に、自国経済への影響を理由に離脱した米国。EU各国および日本は批准を済ませている。批准国数と批准国の排出量をもとに発効の条件は定められており、排出量の多いロシアの批准によって、議定書は発効することになる。

化石燃料の枯渇が現実味を帯びた現在、「持続ある発展」のため、再生可能な「新エネルギー」の効果的な活用、そしてこれを用いた「水素の製造」と「貯蔵」に期待したい。21世紀は、「エネルギーを蓄える時代」といえるのではないだろうか。

(2003-10-17 受理)

文 献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁, 新エネルギー・産業技術総合

図7 首都圏の水素ステーション

図6 都市ガス改質による水素製造を基本とする水素ステーション・システムフローの一例

- 開発機構；地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定ガイドブック～地域における新エネルギー・省エネルギー導入の促進に向けて～(2003.7)
- 2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー導入促進部；平成15年度NEDOの新エネルギー導入促進事業(2003)
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構；新エネルギーガイドブック/概論編, 入門編, 導入編, 資料編(2003)
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構；水素利用技術国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)第II期研究開発(2000)
- 5) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課編；総合エネルギー統計(2001年版)
- 6) IEA；TASK 1 Report “Trends in Photovoltaic Application” (2001.9)
- 7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構；技術開発レポート vol.1「こんなに身近になっています太陽電池システム」(2003.2)
- 8) 太陽光発電協会；「太陽光発電産業自立に向けたビジョンの概要」, 光発電 No. 25 (2002.3)
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 太陽・風力技術開発室；太陽・風力エネルギー開発技術(2002.12)
- 10) 財新エネルギー財団；風力発電システム導入促進検討の手引き/改訂4A版(2001.11)
- 11) 風力発電ネットワーク；風力発電資料2003版「風力発電2005年に度末に100万kW突破か！」(2003)
- 12) 電力中央研究所；電力中央研究所報告書Y94009「発電システムのライフサイクル分析」(1994)
- 13) 新エネルギー・産業技術総合開発機構；バイオマスエネルギー導入ガイドブック(2003)
- 14) 三菱総合研究所；経済産業省委託 平成14年度新エネルギー等導入促進基礎調査「バイオマスエネルギー開発・利用戦略に関する調査研究」(2002.12)
- 15) J. COOK and J. BEYEA；*Biomass and Bioenergy*, No. 18, pp. 441-455 (2000)
- 16) 財新エネルギー財団編；「廃棄物発電導入促進検討の手引き」(2003.3)
- 17) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 水素エネルギー技術開発室；固体高分子型燃料電池/水素エネルギー利用成果報告会予稿集—固体高分子型燃料電池に関する技術開発—(2003.3)
- 18) 総合資源エネルギー調査会；新エネルギー部会報告書「今後の新エネルギー対策のあり方について」(2001.6)
- 19) 相原賢治；NEDO・合金系水素貯蔵材料の耐久性研究プロジェクト, 第一回WG資料(2003.8)
- 20) 新エネルギー・産業技術総合開発機構；水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)研究開発 平成10年度成果報告書概要集(1999.3)
- 21) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 水素エネルギー技術開発室；固体高分子型燃料電池/水素エネルギー利用成果報告会予稿集—水素エネルギー利用技術(WE-NET) 第II期研究開発—(2003.3)
- 22) 釜崎清治；NEDO・合金系水素貯蔵材料の耐久性研究プロジェクト, 第二回WG資料(2003.9)