

特集

水素エネルギー

水素エネルギー研究開発の現状と展望

Present Status and Prospect of Research and Development on Hydrogen Energy

斎藤 紘一*・上原 斎**
Kouichi Saito Itsuki Uehara

1. はじめに

水素エネルギーは、一次エネルギーである太陽、風力、海洋等の自然エネルギーや原子力エネルギーを用いて水を分解することにより造られる二次エネルギーである。そのため、技術開発によってエネルギー供給量が増加することはないが、以下のような種々の用途に適用することが可能であり、将来、クリーンで豊富なエネルギー媒体としての役割を果すものと期待されている。

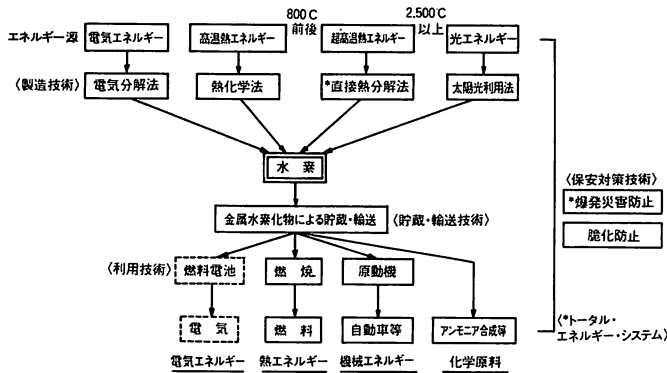
- ①多様なエネルギー需要を満たしている石油に替わる流体エネルギーとして、電力の形態では担うことのできない自動車、航空機などの燃料に使用しうる。
- ②電力需要の昼夜間格差、季節間格差を埋めるための電力貯蔵、また、太陽、風力等の間欠的な自然エネルギーの貯蔵等、エネルギー貯蔵あるいは輸送の媒体として使用しうる。
- ③発電用燃料、都市ガス等のエネルギー分野やアンモニア合成等の化学工業分野に使用しうる。

このような特徴をもつ水素エネルギーは、産、官、

学の各方面で、あるいは海外においても研究が行われているが、通省産業省では、サンシャイン計画¹⁾の一環として図-1で示される体系のもとで技術開発を進めている。

サンシャイン計画は発足以来10年を迎えようとしており、基礎的研究段階にあるものから、パイロット・プラント段階、実用化時期に入りつつあるものとさまざまなプロジェクトをかかえている。又、エネルギー事情も発足時代から変化している。このような新エネルギー技術開発の進捗状況及びエネルギー事情を踏まえ、産業技術審議会新エネルギー開発部会は、昭和57年8月に「サンシャイン計画の新たな展開について」²⁾と題する中間報告のとりまとめを行った。この中間報告には、サンシャイン計画の今後の推進にあたっての基本的視点及び各プロジェクトの開発の進め方が示されている。水素エネルギーに関しても、この中間報告をもとに、製造、輸送、貯蔵、利用等の多様な用途に対応すべく、長期点観点から技術開発が進められている。

本文では、サンシャイン計画における水素エネルギー



*は研究が終了したテーマ

* 通産省工技院サンシャイン計画推進本部研究開発官
〒100 東京都千代田区霞が関1-3-1

** 工技院大阪工業技術試験所第5部水素化学研究室研究員

図-1 サンシャイン計画における水素エネルギー技術開発体系

一技術開発の状況^{3,4,5)}を概略的に報告する。

2. 水素製造技術

水素はアンモニア合成、石油精製等における重要な化学原料であり、我が国ではナフサ、天然ガス等のスチーム・リフォーミングにより大量製造されている。又、製鉄ガスやエチレン・プラント等での副生水素を回収する技術が実用化されつつあり、化石燃料からの水素製造技術はほぼ確立された状態にある。一方、水素エネルギーの技術開発では、化石燃料に由来しない水素製造である水からの水素製造技術の確立を目標としている。水の分解には、電気、熱、光等のエネルギーが必要であり、エネルギー供給形態に応じた種々の方法がある。それらの中で、実用化段階にあるものは電気分解法のみであり、他については基礎研究を着実に積み重ねる必要がある。

2.1 電気分解法

サンシャイン計画発足時の商用水電解槽は70~90°C、常圧~数気圧、20A/dm²かそれ以下の電流密度条件で運転されていた。電力効率は60%程度であるため電力損失が大きく、かつ、電解槽が大きい広い床面積を必要とする欠点を有していた。そのため、水素エネルギー時代に対応できる水電解技術の確立、具体的には、電力効率の大巾な向上、電解槽の小型化と大電流密度電解による設備のコンパクト化を目指して、アルカリ水電解法の高温高圧化による改良、及び新しい技術である固体高分子電解質水電解法の開発の二つの研究を実施してきた。

後に述べるように、高温高圧アルカリ水電解法は、20Nm³/hr級パイロット・プラントの建設及び運転を経て、昭和58年度で研究を終了した。固体高分子電解質水電解法については、テスト・プラント規模での研究にまで進んでいる。

水電解による水素価格は、電解性能、プラント建設価格、とりわけ電力料金に依存するため、現状での国内電力を用いるかぎり、化石燃料からの水素にコスト的に及ばない。そのため、この技術開発成果がすぐに実用化に結びつく環境にないのが現状である。しかし、油脂工場、半導体工場等の水素需要地に設置された小規模プラントがポンペ買い水素に競合できる可能性を有しており、小規模の場合には、太陽、水力等の自然エネルギーを電力源に利用することも考えられる。このような特殊用途での実用化が進み、運転実績が積み重ねられたならば、水電解技術が一層向上するであろう。

一方、ブラジルやカナダあるいはフランスなどの水力や原子力による電力が安価に得られる国においては、大規模な水電解プラントの実用化が比較的早い時期になると予想され、サンシャイン計画における技術開発の成果が海外において活用されることもありうる。ただし、その場合も、製造された水素は主として化学原料用で使用され、エネルギー媒体としての水素の利用の実現はかなり先になると思われる。

(1) 高温高圧アルカリ水電解法

電解温度を高温にすると電解反応速度が大きくなるため過電圧が低下するとともに電解液抵抗も低下し、大電流密度条件でも槽電圧が低くなる利点がある。高圧にすると貯蔵に便利な高圧で水素を取り出すことができる等の利点を有する。その反面、従来の材料が使用できない。高圧の水素と酸素とを安全に取り扱わなければならない等の技術開発課題の解決が必要とされる。

これらの課題を解決し、より高効率かつコンパクトなアルカリ水電解プラントを開発するため、電極、隔膜、装置材料、電解システム等の要素技術の研究をプラント開発に先だてて行った。その成果をもとに、4 Nm³/hrテスト・プラント、さらにスケール・アップした20Nm³/hr級パイロット・プラントを建設し、運転研究を実施した。両プラントは120°C、20気圧、電流密度が40A/dm²の条件で運転され、槽電圧は1.8V以下であった。この運転成績は当初の開発目標を達成しており、諸外国の技術と比較しても優れている。

各要素技術の総まとめと大容量水電解プラントの概念設計とを行い、技術的・経済的観点から総合評価し、本技術開発は58年度に終了したが、パイロット・プラントの運転研究により、高温高圧アルカリ水電解法の高効率性、安全性、耐久性等が実証され、実用プラントへのスケール・アップの技術的見通しが得られた。

(2) 固体高分子電解質水電解法

これはイオン交換膜を隔膜として用いる方法であり、そのイオン導電性を活用する新しい水電解技術である。電解液に純水を使用できる酸型とアルカリ水溶液を用いるアルカリ型との研究を実施している。

SPE(Solid Polymer Electrolyte)法とも称せられている酸型では、電極一膜接合体作製法として貴金属触媒電極を膜に直接メッキする技術を開発し、接合体の性能向上や耐久試験を中心に研究を行っている。さらに、テスト・プラントによる運転研究も進めている。その運転実績は120°C、5気圧、電流密度が100A/dm²

の条件で、1.8V以下の槽電圧であり、99.999%の水素純度が得られることを含めて、極めて高性能な成績となっている。

アルカリ型は食塩電解用に旭硝子(株)で開発されたAZEC法を水電解に適用したもので、電極面積が 5dm^2 の中型セル規模の研究段階にある。70A/ dm^2 、110°C、15wt% KOH水溶液の条件で、槽電圧は1.8V以下であり、水素純度は99.99%以上となっており、これも良好な結果が得られている。

これらの方法は高電流密度での高効率な水電解が可能であることから、開発成果が内外で注目されており、安価材料の開発によるプラント建設価格の低下が図られるならば、将来有望な技術といえる。尚、本研究の波及効果として、簡易型水素発生器が商品化されており、食塩電解、有機電解、ガスセンサー等への展開も考えられるなど、水電解以外の分野への応用の面からも今後の発展が期待される場所である。

2.2 熱化学法

熱化学法は複数の熱化学反応を組み合わせ、反応物質を循環使用しながら水を分解する方法である¹⁾。新規熱化学サイクルの探索により見出されたいくつかの方法の中から、ヨウ素系や臭素系サイクルを中心に、それらの構成反応の検討及び反応物分離操作、装置材料等の化学工学的研究を進め、サイクル化を目指した研究を実施してきた。又、反応の一部を電解反応等で置き換えるハイブリッド法についても研究を行っている。

熱化学法は、熱から化学エネルギーへの一段階のエネルギー変換技術であるため総合エネルギー効率が高くなる可能性を有し、又、三次元的な反応装置を使用できる製造法であるため大規模操業に適している。これらの点からは電気分解法に比べて優れた方法と考えられる。しかし、プロセス全体が複雑化すること、腐食性物質をきびしい条件で使用すること等の問題点を有しており、熱化学サイクルを確立させるために要求される技術的課題は多い。これらの課題を克服していくことが本方法の可能性を追求する上で必要であるが、高温熱源とプロセスとの適合性、総合エネルギー効率等も実用化への重要な条件である。

2.3 高温直接熱分解法

2,000°C以上の高温では、水蒸気が水素と酸素に部分的に解離している。この水素を選択的に分離するという水素製造法であり、熱力学的解析及び実験的検討を進めてきた。本方法は、耐熱性かつ耐食性を有する水

素分離材料の開発等の材料分野における技術開発を待つ必要がある。

2.4 光分解法

太陽エネルギーと水とから水素を大量に製造することが可能になれば、エネルギー問題に大きな変革を与えるであろうし、理想的な水素製造技術が確立されたことになる。その一方法として、水の光分解法があり、新しい研究分野でもあることから多数の研究が行われている。サンシャイン計画では、太陽光利用効率を高めるため、有機物をなかだちとする光化学反応二段による水素製造法⁶⁾の研究を行っている。いくつかの有望な光触媒及びなかだちとなる有機物を見出ししており、光変換効率の向上を図るための研究を進めている。

3. 水素の輸送及び貯蔵技術

水素は、大量にはパイプラインで、小量には高圧ボンベで輸送されており、大容量タンクあるいは高圧ボンベで貯蔵されている。又、ロケット等の特殊用途には液体状態で水素が貯蔵されている。しかし、水素が社会に広く利用されることを考えた場合、これらは安全性や効率性で必ずしも適当な方法とはいえず、利用目的に合致する輸送及び貯蔵法が要求される。

ある種の金属や合金は水素と反応し、金属水素化物を生成する。この性質を利用すれば、水素を固形化することができ、輸送や貯蔵に応用できる。サンシャイン計画では、この金属水素化物による水素の輸送及び貯蔵技術の開発を進めている。金属の水素化反応機構や金属水素化物の物性等についての研究をもとに、マグネシウム系、希土類系、チタン-鉄系等のいくつかの有望な合金を見出ししてきた。これらの合金開発とともに、大量かつ効率的な水素輸送システムや貯蔵システムの研究も進めており、その実証例として、16N m^3 水素容量の定置式水素貯蔵装置⁷⁾あるいは自動車用燃料タンク等を開発した。

金属水素化物を用いると、貯蔵設備が気体や液体水素に比べてコンパクト化する、安全性が増すという利点を有する。そのため、研究の今後の進展や用途に応じては、現行の高圧ボンベや大容量タンクに替わる貯蔵法となる可能性があり、民間でも活発な技術開発が行われている状況となっている⁸⁾。金属水素化物は蓄熱システム、ヒート・ポンプ、化学昇圧機、水素の分離精製等への応用も可能であるため、新しい材料としても注目されている。種々の分野において技術開発が展開され、実用化の道を徐々に歩むものと予想される。

4. 水素の利用技術

我が国では年間160億N_m³ほどの水素が利用されていると推計されているが⁹⁾、大部分はアンモニア合成、石油精製等に使用され、油脂工業や半導体工業用等の外販水素量は1億N_m³程度にすぎない。水素をエネルギーとして有効利用している例は、ロケット燃料等一部特殊な用途に限られており、現在、水素は化学原料としてのみ使用されているといえる。しかし、水素は、燃やすと熱に、エンジンに利用すると機械エネルギーに、燃料電池を用いると電気に変換することができるため、水素の利点を活用する技術の開発が進めば、エネルギーとしての水素の利用が技術開発の達成度と経済的判断とに応じて順次拡大されていくであろう。サンシャイン計画では、水素の燃焼技術と水素原動機の研究を実施しており、燃料電池の研究はムーン・ライト計画¹⁰⁾に56年度から移行している。

4.1 燃焼技術

水素の炎燃焼は温度が高いためNO_xが発生し、燃焼速度が速いため逆火を起こし易い。他の燃料との混焼及び水素専焼について、これらの現象を防止する燃焼条件の解明や燃焼方法の研究を行ってきた。

水素は、適当な触媒を用いると、炎を出さずに燃える性質を有している。触媒の種類や水素供給量を変えるだけで、室温から500℃まで燃焼温度を自由に制御できるため、この触媒燃焼法は暖房用、厨房用への安全でクリーンな方法となる。燃焼用触媒として利用できる複合酸化物系触媒を開発し、それを用いた民生用バーナーを試作している。水素供給設備が存在するなどの周辺の条件が整えば本技術の実用性は高い。

4.2 水素原動機

火花点化機関への水素の適用性、エンジンへの水素供給方式等の水素の燃料特性に適合するエンジン製作のための基礎研究を行い、56年度からは、金属水素化物を燃料タンクに使用する自動車用エンジンの開発を進めてきた。4気筒2,000ccクラスのエンジンを試作し、金属水素化物タンクと結合し、自動車に搭載するために要求される諸性能を試験している。

水素自動車を試作した例はいくつかあるが、実用的なものはない。金属水素化物を燃料タンクに使用する場合は、燃料タンクの軽量化と小型化、金属水素化物の水素放出速度の向上、あるいは、エンジンと燃料タンクとの整合性等の課題が多く、実用的なものとなるためには、エンジンの改良とともに燃料タンクの開発も

重要である。

5. 水素の保安対策技術

水素は可燃性、爆発性物質であり、水素による事故を防止する技術と保安基準を確立する必要がある。そのため、気体、液体及び金属水素化物について、それらの流出や漏洩等の各種状況下での火災や爆発等の危険性についての研究を行った。実験室規模での実験であるが、水素の安全性と危険性に関する多数のデータが蓄積されており、水素を安全に取り扱うための有益な指針が得られた。

又、水素は金属に浸入し、金属をもろくする性質がある。水素関連プラントに関する事故の中で、この水素脆性が原因と考えられる事例は多い。そのため、金属の脆化挙動の究明や水素脆化防止技術の研究も実施している。種々の金属材料について水素中での力学的試験を行い、水素環境下で使用する材料の選択や信頼性評価基準の確立を目指している。

6. 国際研究協力

水素エネルギーの技術開発は海外でも活発に推進されている。国際エネルギー機関(IEA)において、「水からの水素製造に関する研究開発計画のための実施協定」が1977年10月に調印され、我が国も本協定に参加して国際研究協力に貢献している。本協定における研究協力の内容は、

I 「熱化学法の化学工学的評価」

IV 「改良型アルカリ性及び固体高分子水電解」

VI 「光触媒水電解」

VII 「水素の貯蔵、エネルギー変換及び安全性」

の作業分野から構成されており、各作業分野への参加状態は表1のとおりである。具体的には、技術情報や

表1 IEA水素製造プログラム参加国

参加国	各タスクへの参加状態			
	I	IV	VII	VI
ベルギー		○	○	
カナダ		○	○	○
欧州共同体	○	○	○	
西ドイツ	○	○		○
イタリア				
日本	○	○		○
スウェーデン				○
スイス			○	○
英国		○		
米国	○	○	○	○

研究成果を提供しあう情報交換による活動が主として行われている。国内にエネルギー資源をほとんど持たない我が国が技術開発を通して世界に貢献していく意義は大きく、効率的な研究の推進や開発リストの分散を図る上でも国際的な研究協力は重要である。

7. おわりに

水素は重要な化学原料として大量使用されているとはいえ、化石燃料が容易に得られるうちは、エネルギーとして利用される余地が少ないといっても過言ではない。しかし、将来の国民生活を維持する上で新エネルギー技術開発は不可欠であり、技術は一朝一夕に進歩するものでもない。水素エネルギーは21世紀を目指した技術であり、長期的観点から地道で着実な研究を進めることが望まれるが、実用化し易い個々の技術の優先開発あるいは条件に恵まれた海外での展開を通して、徐々に実用化への道を歩んでいくと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 工業技術院サンシャイン計画推進本部; サンシャイン計画ニュース 昭和58年度版 (1983)。
- 2) 産業技術審議会新エネルギー技術開発部会; サンシャイン計画の新たな展開について 中間報告 (1982)。
- 3) 斯波忠夫; 水素エネルギー技術開発, 工業技術, Vol. 24, No. 12 (1983), 44~48。
- 4) 小林博行; 水素エネルギー, 化学工場, 26巻, 1号(1982), 41~43。
- 5) 工業技術院サンシャイン計画推進本部; 昭和57年度サンシャイン計画成果報告書概要集 (水素エネルギー)(1983)。
- 6) 塩島勲 他3名; 太陽光を用いた水素製造技術の研究, サンシャイン・ジャーナル, Vol. 4, No. 4 (1983), 7~13, 日本産業技術振興協会。
- 7) 鈴木博 他2名; 定置式水素貯蔵装置の運転試験, エネルギー・資源, Vol. 5, No. 1 (1984) 83~88。
- 8) Science & Technology Agency; Research & Development of Metal Hydrides in Japan, Science & Technology in Japan, Vol. 3, No.10 (1984), 31~33。
- 9) 新エネルギー財団; 水素エネルギーに関する調査研究 (1981)。
- 10) 日本産業技術振興協会; ムーンライト計画の概要と成果-昭和59年度版- (1984)。

海外行事案内

バイオマスエネルギーに関する第3回 EC研究会議

(Third EC Energy From Biomass Conference)

〈会 期〉 1985年3月25日(月)~29日(金)

〈会 場〉 ベニス市 (イタリア)

〈主 催〉 EC委員会

〈後 援〉 イタリア政府

〈論文締切〉1984年7月15日(日)

この研究会は、1984年夏にスタートするECバイオマス エネルギー R&Dに合わせて開催されます。研究会では、つぎのようなテーマが主として取上げられる予定です。

- (1) バイオマス資源(エネルギー用農作物・廃棄物)
- (2) 工業国における実施状況(固形バイオマス技術、環境および社会上の問題点)
- (3) 開発途上国における実施状況(燃料用木材、窯、ガス化装置、バイオガス、環境および社会上の問題点)

- (4) 液体燃料(メタノール, エタノール, 野菜油)
- (5) 開発研究(プラントの生産性, エネルギー用藻類, 生物学的・熱機械的エネルギー変換技術)

論文発表希望者は、英文で300語のアブストラクトを7月15日(日)までに、下記論文提出先へお送り下さい。9月に論文採択の可否が通知されます。なお、詳細は下記の事務局へお問合わせ下さい。

(論文発送先)

(照会先)

Dr. J. Coombs	Dr. G. Grassi
Scientific Secretary	Commission of the
King's College London	European Communities
68 Half Moon Lane	DG XII
London, SE2 49JF	rue de la Loi, 200
<u>UNITED KINGDOM</u>	B-1049 BRUSSELS
	<u>BELGIUM</u>