

WE-NET プロジェクト模様替え

— 第 I 期研究開発成果と第 II 期計画 —

福田 健三

(財)エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-22-5

WE-NET Phase II Plan

Kenzo FUKYUDA

The Institute of Applied Energy

Nishi-shinbashi 1-22-5, Minato-ku, Tokyo 105-0003

Research and development activities of the WE-NET Phase I (FY1993-1998) finished successfully at the end of March, 1999 and the Phase II program (FY1999-2003) started from April in succession.

In the Phase II we will give higher priority to the R&D on technologies that we expect to be commercialized in the near-future (within 10 years) and in the mid-future (10-20 years from now). And we will continue the long-term R&D on which the research effort was focussed in the Phase I. The main results of the Phase I will be surveyed and the details of the Phase II plan will be introduced in this paper.

1. はじめに

1997年12月に京都で開催された気候変動枠組み条約第3回締約国会議(COP3)において、温室効果ガス(CO₂、メタン、亜酸化窒素、HFC、PFC、SF₆)を、2008年～2012年の間に基準年(1990年)に比べ、先進国全体で少なくとも5%、わが国の場合は6%削減するという内容の、拘束力のある数値目標を含む京都議定書が全会一致で採択された。「わが国の1990年比のCO₂排出量は欧州主要国に比較して高い伸び率(96年現在で、1990年比9%以上の伸び率)を示している。このため京都議定書の6%削減目標の達成に備え、早い段階からの準備が必要である。後送りすればする程、対策はドラスティックになるおそれがある(1998年3月6日、中央環境審議会答申)。」地球温暖化ガスの排出6%削減という目標値は従来わが国が「地球温暖化防止行動計画」(1990年10月23日地球環境保全に関する関係閣僚会議決定)で示してきた「一人当たりのCO₂排出量について、2000年以降概ね1990年レベルでの安定化を図る。」「CO₂総排出量が2000年以降概ね1990年レベルで安定化するよう努める。」という方針に比べても、はるかに厳しいものとなっている。

一方、世界のエネルギー消費は増大しつつあり、化石燃

料の枯渇ないし価格上昇が危惧される中、これに替わる新たなエネルギー源が求められている。このような期待に応えるには、世界に広くかつ豊富に賦存するクリーンな再生可能エネルギーの地球規模での導入を図ることが重要である。しかし、再生可能エネルギーは地域的に偏在しており、そのままでは長距離輸送、貯蔵が出来ないこと等により、限定的な利用に止まっている。これを地球規模で効率的に利用するためには、世界各地の様々な種類・形態の再生可能エネルギーを生産から流通、消費段階まで一貫して取り扱える二次エネルギー体系の確立が必要である。その媒体として、環境負荷が最も少ないといわれる水素エネルギーに対する期待は大きい。水素は、再生可能エネルギーの輸送・貯蔵を可能とすることにより、化石燃料と同様の国際市場による取り引きを可能とし、国際エネルギー供給の多様化・安定化に資するとともに、クリーンなエネルギーの大規模な導入を促進するものと考えられる。

WE-NETプロジェクトは、このようは考え方を基本として1993年度(平成5年度)より発足したプロジェクトであり、昨年度(1998年度)で第I期研究開発を終了し、本年度(1999年度)より第II期計画がスタートした。本稿では、WE-NET第I期で取り組んだ水素エネルギー技術開発がどこまで進んだかを報告させていただくとともに、第

Ⅱ期計画の概要を紹介させていただく。

2. WE-NET プロジェクトの概要

2.1 全体構想

(1)水素エネルギーへの期待

地球温暖化を始めとする地球環境問題の顕在化により、環境負荷の少ないエネルギーの世界的な規模による導入が期待されている。一方、世界のエネルギー消費は増大しつつあり、化石燃料の枯渇ないし価格上昇が危惧されるなか、これに替わる新たなエネルギー源が求められている。

このような期待に応えるには、世界に広くかつ豊富に賦存する、クリーンな再生可能エネルギーの地球規模での導入を図ることが重要である。しかし、再生可能エネルギーは地域的に偏在しており、そのままでは長距離輸送、貯蔵が出来ないことなどにより、限定的な利用に止まっている。これを地球規模で効率的に利用するには、世界各地に存在する様々な種類・形態の再生可能エネルギーを、生産から流通、消費段階まで一貫して取り扱える二次エネルギー体系として確立する必要がある。その媒体には、環境負荷が最少といわれる水素エネルギーに対する期待が大きい。

水素は、再生可能エネルギーの輸送・貯蔵を可能とすることにより、化石燃料と同様の国際市場における取り引きを可能とし、国際エネルギー供給の多様化・安定化に資するとともに、クリーンエネルギーの大規模導入を促進するものと考えられる。また、豊かな再生可能エネルギーが賦存する国にとっては、水素は、輸出エネルギーとして当該国の産業振興にも貢献し得るものと考えられる。

(2)WE-NET プロジェクトの目的

本プロジェクトは、このため、発展途上国等に未利用の形で豊富に存在する水力、太陽光、風力等の再生可能エネルギーを水素等の輸送可能な形に転換し、世界の需要地に輸送し、発電、輸送用燃料、都市ガス等の広範な分野で利用するネットワークの導入を可能とすることを目的とするものであり、そのために必要な中核的な要素技術の開発及びシステム設計等を総合的に推進する。これにより、世界的規模での温室効果ガスの排出削減、国際エネルギー需

給の緩和等エネルギー・環境問題の同時解決に資する。

(3)プロジェクトのタイムスケジュール

以上の構想を実現するために、表1のようなタイムスケジュールにより研究開発を進める計画である。ただし、現時点では、このうち第Ⅱ期計画までが「研究開発基本計画」として決定されており、第Ⅲ期以降の計画は、先行期の成果の評価を踏まえて、新たに基本計画が決定される。

2.2 第Ⅰ期研究開発基本計画

- ①研究開発期間 : 平成5～10年度 (6年間)
- ②研究開発費総額 : 約100億円
- ③研究開発項目および目標 : 表2

3. 第Ⅰ期研究開発全体の総括

3.1 プロジェクト設計、目的に関する総括

(1)長期目的 : 1997年末のCOP3における「京都議定書」の採決など、地球温暖化ガス排出削減の問題は益々厳しくなっている状況から、水素を二次エネルギーとする再生可能エネルギー供給・利用のネットワーク(WE-NETシステム)構築のための中核要素技術開発というプロジェクト目的は妥当なものであった。

(2)プロジェクト設計 : プロジェクトの全体構想が長期にわたるにも拘らず、WE-NETシステムの実用化に至るまでのプロセスを必ずしも明確に提示できなかった点でプロジェクト設計上問題があった。「現時点で最もあり得るであろう(水素)導入の道筋を描き、それに基づいて研究開発戦略を立てることが、水素エネルギーの実用化に向けた研究開発としては重要である。」(プレ最終評価報告書、1998年5月)。また「第Ⅰ期においては、本格的な実用化段階に至る道筋としてどのようなシナリオがあるか、といった時間的推移を伴う分析に(中略)不十分な面があり、更なる検討が必要である。」(同上)。

(3)長期構想の不確実性 : プロジェクト全体構想で描いたWE-NETシステムは、長期的将来に実現される可能性のある様々なエネルギーシステムの中の一つのオプションであり、WE-NETシステムのみが実現されるべき唯一のシステムとは言えない。長期将来における水素エネルギ

一の位置づけがどうなるか、についても不確定要因が多い。

このことから、プロジェクト構想としては、WE-NET システムを一つのモデルとして想定するに止め、水素エネルギーに係る重要な要素技術の開発に重点を置くべきである、との批判もあった。

プロジェクト全体構想は実際に、WE-NET システム構築という長期の戦略的目的に合わせて、水素製造・貯蔵・輸送・利用のそれぞれのプロセスに一つの代表的技術を割り振り、大規模輸送・大規模集中利用のシステムイメージに基づく技術開発という構想になっていた。そのため、例えば、水素利用技術については、水素燃焼タービンの開発に研究予算のおよそ半分が集中され、他の利用技術は調査研究に止めるという、やや硬直したプロジェクト設計であったことは否めない。

(4)水素自動車関連技術開発への取組みの遅れ：水素自動車関連技術への取組みに遅れを生じた。プロジェクト発足時においても、水素自動車が開用技術の中で重要な位置を占めるとの認識はあったものの、今日世界的に研究開発が急進展している状況については、十分予測し得なかった。

1995年度の基本計画改訂に当たって、水素の分散利用を重視するとの方針が立てられたが、具体的には自動車への適用を前提とした新規高性能水素吸蔵合金に関し、新たな目標設定を行い、研究開発に着手したに止まった。

3.2 全体構想の見直し

前項の総括に基づき、「WE-NET 第Ⅱ期研究開発基本計画(案)」を検討するに当たり全体構想の見直しを行った。その概要は以下の通りである。

(1)長期目的堅持：WE-NETシステム構築は、長期目的として第Ⅱ期以降においても堅持する。

(2)短・中期実用化構想の導入：長期に加えて短期及び中期の研究開発項目を設定し、時系列的に研究開発成果の実用化を図ることにより、水素エネルギーの社会への導入を促進する。

・短期研究開発項目：2010年頃までに成果の実用化が期待できるもの

(例)水素自動車関連技術、水素供給ステーション
新規高性能水素吸蔵合金

・中期研究開発項目：2010～2020年頃間に成果の

実用化が期待できるもの

(例)水素ディーゼルコージェネレーション、
・長期研究開発項目：2020～2030年頃間に成果の実用化が期待できるもの

(例)水素製造技術、液体水素輸送・貯蔵技術。

第Ⅰ期全体システムの中の水素導入予測の研究結果では、水素コストの低下等の条件のもとで、WE-NET システムによる水素エネルギーの導入は2030年～40年頃に始まり、2040年で、わが国のエネルギー供給の約3.5%を占めるであろうことが示された。しかし、水素エネルギーの導入は2030年～40年ごろ突如として始まるわけではなく、水素を用いることによる利点が見出される分野については近い将来、あるいは中期的将来における実用化をはかり、これらの時系列上の積み重ねの結果として、水素導入予測研究の結果にしめされたような水素導入が実現されるものと考えているのが合理的である。

(3)水素源の多様化：化石燃料等から製造される水素など、再生可能エネルギーによらない水素であっても、水素の製造から利用に至るまでの全体での環境負荷を考慮して水素の利点が見出される場合には、水素源として積極的に視野に入れる。

その例は、天然ガスの水蒸気改質、メタノールの水蒸気改質、オフピーク電力を用いる水電解、副生水素、等である。バイオマスについては、わが国の資源量、経済性の面で問題があるが、少なくともローカルなエネルギー源として考慮する必要がある。

(4)水素分散利用技術の重視：第Ⅰ期において、水素利用技術が水素燃焼タービンに集中していたのを改め、多様な分散利用技術の研究開発対象とする。特に、水素エネルギー技術開発をめぐる世界の動向は、21世紀初頭の10年間、水素燃料電池自動車を中心になると予測されること、及び、この分野の技術開発への国としてのとり組みの遅れをとり戻すために、水素供給ステーションの開発など水素燃料電池自動車関連の技術開発を重視する。

わが国自動車産業界は独自に水素燃料電池自動車の開発にとり組んでいるが、燃料水素の供給インフラ整備については、国の技術開発に対する期待が大きい。

(5)水素燃焼タービンの独立プロジェクト化：

第Ⅰ期研究開発過程で一貫して受けた批判の一つは

「水素燃焼タービンは本当に実用化の見通しがあるのか」というものであった。水素燃焼タービンは、水素エネルギーが本格的に社会導入される時期には、大規模・集中型発電技術の一つとして水素利用技術の重要な柱となるであろうが、実用化の時期を長期将来(2020~2030年ごろ)と見て、それまでの間延々と研究開発を継続するという考え方は説得力が弱かった。

第Ⅰ期における水素燃焼タービンの研究開発成果を出来るだけ早期に実用化するためには、水素燃焼タービンの基本要素(燃焼制御技術を除く)を活かしつつ、天然ガスを燃料とする天然ガス/純酸素燃焼ガスタービンを開発することが望ましい。この方式の場合、タービン作動媒体は水蒸気と炭酸ガスの混合ガスとなるため炭酸ガスの回収が容易となることから、炭酸ガス分離・回収装置を付加することにより炭酸ガス無排出ガスタービンとなる。このガスタービンは中期的見通しで実用化が図れる、との認識に基づき、水素燃焼タービンは第Ⅱ期の研究開発項目から一時切り離し、独立のプロジェクト「炭酸ガス回収対応高効率ガスタービンの開発」として継続することとした。同プロジェクトの成果は、天然ガス燃料の高効率ガスタービンとして実用化を図るとともに、WE-NETプロジェクトの第Ⅲ期以降の計画の中に再度移転し、水素燃焼タービンの開発につなげてゆく。

4. 第Ⅰ期研究開発の主な成果

4.1 全体システム

(1) 全体システム概念設計

水力資源等の豊富な海外で水力発電を行い、その電力を固体高分子電解質水電解法により水素に変換し、需要地に輸送・貯蔵し、最終的に水素燃焼タービンにより電力を再生・利用するシステムにおいて、水素の輸送媒体として液体水素、メタノール、アンモニアを用いるケースにつきシステム設計を行い、エネルギーバランスおよび水素燃焼タービン発電コストを指標とする経済性評価を行った。

各システムの構成を図1に、エネルギーバランスを表3に、また経済性試算結果を表4に示す。

アンモニアシステムの場合、アンモニア合成用の原料窒素は水素製造サイトで液体空気の分溜により製造する。メタノールシステムで必要な炭素源は石炭を想定し、水素製造サイトで石炭部分酸化により製造した一酸化炭素

と水電解で製造した水素とからメタノールを合成する。表3に示したとおり、メタノールシステムの場合、システム投入エネルギーの52.7%は水力発電電力、47.3%は石炭からのエネルギーより成る。またメタノールシステムでは、需要地で発生するCO₂を回収する場合と、未回収の場合について発電コストを評価した。

液体水素システムの場合、システム効率、すなわち最終的に需要地で再生・供給できる電力は、エネルギー供給側でのシステム受け入れ電力の38%である。これに対し、メタノールシステムの効率は、CO₂未回収として25%、アンモニアシステムでは23%である。一方発電コストはメタノールシステム(CO₂未回収)が最も安く、液体水素システムとアンモニアシステムがほぼ同等である。システム効率が悪く、かつ発電コストの高いアンモニアシステムはあまり有利ではない。システム効率の高い液体水素システムはコスト負担も大きい、という結果となった。

平成10年度における見直しのポイントは、研究開発の進捗こともなっており、水素製造装置や水素燃焼タービン用冷熱利用酸素製造装置等の設備費見積もりがより精度を増したことである。液体水素システムを例にとると、発電コストは25.5円/kWhとなり、第一次評価に比べ、約7円/kWhのコスト低下となった。

(まとめ)

- ①液体水素システム、CO₂回収メタノールシステム、アンモニアシステム間では、発電コストに大幅な差はない。
- ②メタノールシステムにおいて、CO₂を回収処理しない場合でも、メタノール合成に必要な水素は再生可能エネルギーを用いて製造するので、この分(エネルギーバランス上、石炭からのエネルギー47.3%、再生可能エネルギー52.7%)はCO₂排出削減に寄与する。CO₂未回収メタノールシステムは最も経済性が良い。
- ③いずれのシステムにおいても、要素技術の効率向上や、設備費の最適化により、コスト低減の可能性があるため、今後の研究開発により経済性の向上が期待できる。第一次経済評価(平成6~8年度)において液体水素システムの需要地発電コストが32.6円/kWhである点は、このシステム、ひいてはWE-NETシステムの実現性に多大の疑問を呼び起こしたことは否めない。新エネルギーは市場経済性の面のみからでは既存エネルギーと競合するのは困難であるとはいえ、過大な経済負担は実用化の障害となることも

事実である。

この点で、平成10年度見直しにおいて、25.5円/kWhの値が得られたことは、液体水素システムの実現可能性を高めるものである。

④大電力の受け入れ、水素の大量輸送、大規模発電というスキームだけでは必ずしも効率的なエネルギー利用の仕方ではない。水素燃料の特性にベストフィットする多様な利用技術の開発も同時に促進すべきである。

(2)都市規模での水素導入予測評価

ロンドンを対象に、ハイタン® (Hythane、メタン/水素混合ガス、米国 Hydrogen Components Inc.の登録商標)の形で水素を導入することによる効果を次の3つのシナリオにもとづいて評価した。水素導入量は、市域一次エネルギー供給の10%を水素で代替することを前提にした。

①Targetted Hythane®シナリオ

都市における大気環境改善に最も効果があると見込まれる自動車用燃料としてハイタン®を利用するシナリオ

②ハイタン®シナリオ

ハイタン®を既存の天然ガス(都市ガス)分野において利用するシナリオ

③触媒コンバーターシナリオ(参照シナリオ)

自動車排ガスの環境負荷を抑制するために触媒コンバーターを用いるシナリオ。

このシナリオでは水素は導入されない。ハイタン®の有効性を評価するための参照シナリオである。

ここでハイタン®導入の効果を評価する尺度として、次式で定義される「プレミアム」の概念を用いた。

水素導入のプレミアム(ドル/GJ)

$$= \frac{\text{水素導入により削減される外部コスト(ドル)}}{\text{導入される水素量(GJ)}}$$

大ロンドン圏を3つのエリアに分け(都心部、市街部、郊外部)、自動車燃料にハイタン®を導入した場合のプレミアムを評価した結果は図2のようになり、外部コストを高く見積もった場合、都心部、市街部で水素導入のベネフィットが期待できることがわかった。このような分析をもとに、ロンドン各地域で、ハイタン®を導入する場合どのシナリオが優位であるかを評価した結果を表5に示す。

ついで、同様の手法を用い、ロンドンと東京におけるニッチマーケットの評価を行った。対象としたニッチマー

ケットは、集中型発電用タービン、分散型発電用リン酸型燃料電池、高分子電解質型燃料電池バスおよびエンジン車タクシーである。その結果、外部コストを高く見積もれば、ロンドン都心部ではタービン、東京都心部では、バスへの水素導入のプレミアムが相対的に大きいことが分かった。

4.2 水素製造技術

高分子電解質膜を用いる水電解技術(PEM 電解技術)に関する第1期計画(要素研究)の主要な研究課題は、電解質膜/触媒電極/給電体間の接触抵抗を下げ、電解セル内のエネルギー損失を小さくするような界面結合をつくり出すための技術開発である。このために、4つのセル製作技術について競争開発方式で研究を進めてきた。50cm²の研究室スケールの電解セルでの研究結果では、概ね、電流密度1A/cm²でエネルギー効率約90%の値が得られており、一部96%という驚異的高効率のデータも得られた。50cm²スケールでの結果をもとに、4種のセル作製技術を評価し、性能および将来の大型化の観点からポテンシャルの高い2種—無電解メッキ法(化学メッキ法)およびホットプレス法—を選定した。

第1期目標を達成する上で重要な点は、50cm²の実験室スケールで実現された性能を維持したまま2500cm²にスケールアップ出来るかどうかである。そのために、電極触媒層における触媒粒径や分散均一性の制御、陽極給電体の平滑化、給電体/触媒電極/電解質膜間の接合の均一性制御、循環水量の最適化等種々の課題につき研究を重ねた。

表6に2500cm²単セルについての代表的性能データを示す。全てのデータは電解電圧が定常状態に達してからのものである。圧力条件が異なるものの、ホットプレス法、無電解メッキ法、づれにおいても、第1期研究開発目標値である、電流密度1A/cm²においてエネルギー効率約90%を上回る性能の2500cm²セルを開発することができた。第1期においては、将来の30~50セルスタック開発への予備ステップとして、4~5セルスタックについても性能評価を行い、表4と同様の結果を得ている。

なお、電解技術開発においてはセルの長寿命化が非常に重要な課題である。第1期においては、50cm²の小型セルで寿命試験を実施した。今までに得られた成果の一例を図3に示す。ホットプレス法による50cm²セルの場合、80°C、電流密度1A/cm²の条件において、初期91.1%であったエネルギー効率が徐々に低下し、約20000時間後に84.0%まで低下した。この原因については、いくつかの要因について解析して改善策を構じつつある。

水素製造技術の研究開発においては、より一層の高効率固体高分子電解質水電解技術を可能とする新規な耐高温固体高分子電解質膜の研究開発も実施している。

第Ⅰ期では耐熱温度 200℃、同温度でのイオン伝導度 0.1S/cm(最終目標：1-2S/cm)を目標にこれまでに 10 種類以上の候補物質を合成し、熱安定性および電気伝導度の測定を行った結果、フッ素化芳香族スルホン酸ポリマーの中から有望な素材が見出された。このものは 200℃まで安定であり、かつナフィオンと同等に近いイオン伝導度約 0.06S/cm、を示した。

〈まとめ〉

①第Ⅰ期目標性能を有する 2500 cm²セルの開発に成功した。

②第Ⅰ期研究開発で得られたセル性能は、水電解セルとしては世界の最高水準のものであり、世界に誇れる成果である。

③第Ⅰ期において、セル作製の基礎技術及び電極面積 2500cm² までのセル大型化技術が確立された。この成果を基に、第Ⅱ期における積層化電解槽の開発段階に入ることが可能である。

④耐高温固体高分子膜の研究開発においては、200℃において 0.1S/cm の特性を有する素材で、50~200cm² の膜を作製し、電解セルを構成しセル性能を評価することを第Ⅰ期目標とした。第Ⅰ期終了までに、10cm² 程度の微小膜をもとに、上記特性を有する電解質膜の可能性を示すことが出来たが、電解セル用の成膜、電解セル作製、性能評価は達成できなかった。

⑤新規耐高温高分子膜の開発においては、目標設定に問題があった。すなわち、耐高温固体高分子電解質膜を用いる水電解技術の現実的な操作条件は 120~150℃、圧力 10 気圧以下であることを考慮すると、耐熱温度は 200℃としても、イオン伝導度は想定操作条件下で、既存材料を上回る必要がある。既存材料であるナフィオンが 80℃で 0.1~0.2S/cm 程度のイオン伝導度を有する以上、第Ⅱ期では 120~150℃においてナフィオンを上回る性能を目標とするとともに、成膜技術の開発を重視する必要がある。

新規耐高温高分子膜の開発は重要な研究開発課題であるため第Ⅱ期においても継続すべきであるが、以上の考え方にもとづき目標設定を再検討する必要がある。

4.3 水素輸送・貯蔵技術

(1)水素液化技術

大型で高効率な水素液化設備を検討するに当たり、液化設備容量を 300ton/day、プロセス効率を 40%に設定した。なお、現存の最大の液化設備容量は 30ton/day でプロセス効率は 30%程度である。

まず、各種液化プロセスの候補として、下記 5 方式に関する比較・検討を行い、プロセス効率、経済性等の点から、水素クロード及びヘリウムブレイトンの 2 つのサイクルに絞りこんだ。

(検討した水素液化プロセス) ()内は冷媒

- ・水素クロードサイクル (水素)
- ・混合冷媒サイクル (水素と炭化水素の混合物)
- ・ヘリウムブレイトンサイクル (ヘリウム)
- ・ネオンブレイトンサイクル (ネオン)
- ・ネリウムブレイトンサイクル (ネオンとヘリウムの混合物)

2 つのサイクルをさらに運動性、経済性、構成機器等の観点から詳細に検討し、最終的に水素クロードサイクルを選定した。液化設備の構成機器の技術的問題点を検討した結果、大容量、高効率の圧縮機は現存の設備で使用されているレシプロ式ではなく、直径 1m を超える大型のインペラ(動翼)を有する遠心式である必要があることが明らかとなった。第Ⅰ期では、この大型の遠心式圧縮機の開発のために必要なインペラの要素試験を実施し、第Ⅱ期に予定している最適設計のためのデータを整備した。

(2)液体水素タンカーおよび貯蔵タンク

下記仕様の実用規模液体水素タンカーおよび貯蔵タンクの概念設計を完了した。

<液体水素タンカー>

- ・積載容量 : 200,000m³(液体水素)
- ・船速 : 37-46km/時(20-25 ノット)
- ・航海日数 : 20 日
- ・航続距離 : 11,000km (6,000 海里)
- ・ボイルオフ率 : 0.2-0.4%/日
- ・貯蔵圧力 : 1.26×10⁵Pa (ゲージ圧、0.25 気圧)
- ・タンク型式 : (a)自立角型 2 タンク方式
(b)ダブルスキン球形 4 タンク方式
- ・船型 : (a)単胴船
(b)双胴船

(液体水素貯蔵タンク)

- ・貯蔵容量 : 50,000m³ (液体水素)

- ・ボイルオフ率： 0.1%/日
- ・貯蔵圧力： 1.2×10⁶Pa (ゲージ圧、0.2 気圧)
- ・タンク型式：
 - (a)粉末真空断熱による平底円筒貯槽及び球形貯槽
 - (b)粉末常圧断熱による平底円筒貯槽及び球形貯槽
 - (c)固体真空断熱による平底円筒貯槽及び横置円筒貯槽
 - (d)積層真空断熱及び粉末真空断熱のメンブレン形式貯槽

概念設計にもとづき、技術開発課題の抽出を行った結果、タンカー、貯蔵タンク共通の要素技術として最適断熱構造の開発が最も基本的かつ重要な課題であるとの結論を得た。第Ⅰ期においては、液体水素貯蔵用断熱構造性能試験装置の設計、製作を終了し、各種断熱材についての基礎断熱特性および断熱構造体(断熱材と支持材が複合した構造体)の断熱性能評価試験を実施した。本研究は第Ⅱ期に引き継がれる計画である。

(3)低温材料

液体水素輸送・貯蔵設備用候補材料として、SUS304L、SUS316L および A5083 の三種を選定し、液体ヘリウム雰囲気下での試験および水素脆化試験を行った結果、母材よりも溶接部において脆化が顕著に生じ、溶接部の制御が重要であることが明らかとなった。試験結果の解析より、ステンレス鋼の溶接の場合、溶接部におけるδ-フェライト量が最も重要な制御因子であることが見出された。フェライトは溶接施行欠陥(凝固時の割れ)を防ぐために必要であるが、一方で低温脆化の要因になると考えられている。

第Ⅰ期では、液体水素雰囲気下材料試験装置を用い、液体水素雰囲気下での引張試験、破壊靱性試験、疲労試験を実施しこれらの試験結果にもとづき、溶接部の最適フェライト量および最適溶接法の検討を行なった。

(まとめ)

- ①上記 3 種の既存材料の液体水素雰囲気下での機械的性質の評価技術を確立するとともに、データベースを作成した。
- ②既存材料の常温及び液体水素温度域での水素脆化感受性に関する評価技術を確立するとともに、データベースを作成した。
- ③上記評価の結果、3 種の既存材料は、母材としては液体水素雰囲気下で十分に耐えるが、溶接部については母材に比べ格段に低温靱性が劣化し、また SUS304L、

SUS316L 溶接部については水素チャージにより水素脆化が起こることが確認された。

このため、溶接材料および溶接法の改善あるいは開発が必要であることが明らかとなった。

④液体水素雰囲気下での材料評価技術は、実施できる研究機関が海外でもほとんど無く、本研究で世界最先端の評価技術を確立したことは世界的評価を得ている。

⑤長期的課題として位置づけられる研究開発項目であり、将来、液体水素の大量輸送・貯蔵技術の実用化が課題となり、貯蔵タンク等からの要求条件が明確になった時点で、材料工学的研究に移行することを前提に、当面は材料基礎特性の把握、及びデータベース拡充を継続するのが望ましい。

(4)水素分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金

平成 5~8 年度においては水素自動車用燃料タンクへの適用を前提とした有効水素

吸蔵量 3 重量%以上、水素放出温度 100°C 以下の性能を有する新規合金開発の方向性を決めるための調査研究を主な内容とした。調査研究の結果、潜在的に高い水素吸蔵能力を有する Mg 系合金について、高い水素吸蔵能力を維持しつつ、現状では 300°C 程度の高い水素放出温度を低下させる技術的可能性が示されたため、平成 9-10 年度において、以下の考え方にもとづき新規 Mg 系合金の開発に着手した。

①結晶質 Mg₂Ni のナノ構造化

- ・構造の乱れた(非晶質的な)粒界構造：吸放出特性向上
- ・ナノ結晶化：粒界体積増大による吸放出特性向上

②バルクの非晶質化

- ・結晶質 Mg₂Ni+結晶質 Ni のメカニカルグラインディングによる非晶質 Mg-Ni 合金相合成
- ・急冷凝固法による非晶質 Mg-Ni 合成

③非晶質相を出発点とした複合構造化、新規構造化

- ・非晶質 Mg-Ni への置換元素導入による複合構造 (Mg·Mx)-(Ni·My)の合成

(まとめ)

①Mg-Ni 合金の Ni を一部 Cr、Fe で置換した、ナノ構造非晶質合金を合成し、Ar 流通下 150°C で水素放出を確認した。

②Mg-Ni の Mg を一部 Ca で置換した(Mg、Ca)-Ni 非晶質合金を合成し、Ar 気流中 125°C で水素放出及び放出

水素量料 1.9 重量%を確認した。

③溶湯急冷凝固法により、各種比率の Mg-Mg₂Ni 合金を創製した。

④反応焼結法による新規合金 LaMg₂Cu₂ を創製し、水素圧、2MPa で Mg より低温での水素放出を確認した。

⑤これらの成果を基に Mg 系合金については目標性能を有する合金開発の方向づけを行うことができ、第 I 期目標(新規合金探索)を達成した。しかし、この方向だけでは必ずしも目標合金開発の決め手あるいは見通しにつながらない。第 II 期の出来るだけ早い時期に、他の合金系も含めて、開発の方向を定め、目標合金開発の見通しをつける必要がある。

4.4 水素燃焼タービン

水素を燃料とする発電技術は、高効率・無環境負荷発電技術と特徴づけることができ、内容的には燃料電池発電と水素燃焼タービン発電に大別できる(図 4)。第 I 期においては、このうち水素燃焼タービンの研究開発に重点を置き、次の性能を有する水素燃焼タービンの開発を目的とし、5つの要素技術に分けて研究開発を推進した。

- ・プラント規模 500MW
- ・タービン入口温度 1,700°C
- ・タービン入口圧力 50ata
- ・発電端効率 > 60%

- ①最適システムの評価・選定
- ②燃焼制御技術の開発
- ③主要構成機器の開発(動・静翼)
- ④主要補機類の開発(高温熱交換器、冷熱利用)
- ⑤超高温材料の開発

このうち①については、1996 年度に 3 方式を 1 方式(トッピング再生サイクル、図 5)に絞り込み、研究開発を終了した。

②については、小型モデルバーナーによる保炎技術等の基礎検討を経て、現在、3 種類の燃焼器につき、大型燃焼試験装置を用いる、実機(500MW)の 10 分の 1 スケールの 1 管分相当バーナーの性能評価試験を終了し、最適燃焼器を選定した。

③については、タービン翼冷却構造の設計・評価研究の結果、既存の単結晶合金材料で設計可能であるとの見通

しが得られている。翼冷却構造としては、タービン入口温度 1700°C、発電端効率(高位発熱量基準)60%以上を達成する上で可能性ある 3 種類の翼冷却構造を選定し、翼列試験により性能を評価した。

- ・回収式内部(対流)冷却(動・静翼)、冷却媒：スチーム
- ・ハイブリッド冷却(フィルム冷却+回収式内部冷却)(動・静翼)、冷却媒：スチーム
- ・水冷却(静翼)/回収式内部冷却(動翼)、冷却媒：水(静翼)、スチーム(動翼)。

試作した翼(翼高さ約 40mm で実機(500MW)用の約 2 分の 1 サイズ)について、冷却性能評価を行った結果、3 方式がほぼ同等の性能であるとの評価結果となった。最終的に最適冷却構造を決定するのは第 II 期の前半になる予定である。

⑤タービン入口温度が 1700°C を越えるレベルのタービンの場合は新規材料の開発が必要となる。⑤のタスクでは、次の 5 種類の候補材料につき、超高温下での機械的強度等を評価し、1700°C を越える高温域で用いるタービン部材への適用可能性を評価した結果、いずれも試験ピースレベルでは超高温域への適用が可能であることが明らかになった。

- ・単結晶合金+FRC ハイブリッド冷却翼材料、
- ・単結晶合金翼用新規 TBC、
- ・弱冷却部品用セラミックス系複合材料(CMC/長繊維)、
- ・弱冷却部品用セラミックス系多重構造材料(CMC)、
- ・無冷却部品用 C/C 及び弱冷却部品用 CMC の 3 次元繊維複合材料

(まとめ)

①最適システムの評価・選定は、500MW 級実規模システムの設計ベースでの評価の結果、効率 61.8%の値を示したトッピング再生サイクルを選定し、目標を達成したので、1996 年度をもって終了した。

②燃焼制御技術については、3 種類の燃焼器より最適技術を選定し、目標を達成した。

③主要構成機器の開発においては、3 種類の翼冷却構造についての第一次翼列試験の結果を基に、3 方式とも優れた技術であり、優劣の差をつけ難いとの結論が得られた。

本項目は、次の 2 点で画期的成果を収めた。

- ・1700°C のスチームという、実ガスによる翼列試験を

実施し、所定のデータを取得し、技術評価に供することができた。

・いづれの冷却方式による翼も、短時間での耐久性には問題がないことが明らかになった。

④長時間の耐久性については冷却技術と遮熱コーティング、母材の高温耐久性の課題とを組み合わせた総合的な検討が必要である。この意味で最適翼冷却技術の選定のためには、第Ⅱ期に継続予定の第二次、第三次の翼列試験に基づく評価のサイクルが必要である。

⑤超高温材料については、候補材料のすべてについて、素材試験片レベルでいづれも耐食・遮熱コーティングを含めて1700°Cを越える超高温条件への適用可能性を明らかにし、第Ⅰ期目標を達成した。

4.5 その他の利用技術

第Ⅰ期においては、水素利用技術については、大規模・集中型利用技術の一つとして水素燃焼タービンの研究開発に重点を置き、分散型利用技術についてはプロジェクトで取り組むべき課題を明らかにするための調査研究を行なった。その結果次の4つの課題を抽出し、それぞれの項目について研究開発課題等詳細な検討を行った。

①動力発生技術(水素ディーゼル・コージェネレーションシステム)

②水素自動車(燃料電池車)

③純水素供給固体高分子型燃料電池

④水素供給システム(水素供給ステーション)

水素ディーゼルエンジンを用いるコージェネレーションシステム(図6)については、1997年度(平成9年度)より水素噴射システム及びレーザー着火を含めた水素着火システムの要素試験を行った。第Ⅱ期において、100kW級の単筒エンジンの設計・試作・運転試験を行なう計画である。

水素自動車、純水素供給固体高分子型燃料電池及び水素供給ステーションについては、第Ⅱ期から研究開発をスタートさせることを前提に、研究開発課題の抽出、開発すべき設備等の仕様の検討を行なった。検討に当たったの基本的考え方は以下の通りである。

①水素自動車は水素吸蔵合金タンク搭載燃料電池車を対象とするが、自動車本体については、自動車メーカーが

国の資金援助無しに開発を進める段階にあるため、自動車本体の開発はWE-NETプロジェクトでは行なわない。

②水素吸蔵合金タンクには、可能な限り本プロジェクトで開発中の新規性能水素吸蔵合金を用いる。

③水素供給ステーションには、メタン(都市ガス)水蒸気改質型、水電解型、メタノール改質型などを検討対象とするが、このうち水電解型水素供給ステーションには、WE-NETプロジェクトで開発中の固体高分子電解質水電解法を適用する。このシステム例を図7に示す。

④水素供給ステーションと自動車とのインターフェースに係わる技術、例えば燃料タンク、燃料タンクへの水素急速充填法や安全評価などは自動車メーカーの協力を得てプロジェクトで推進する。

(まとめ)

①動力発生技術 WG においてはディーゼルエンジン、ガスエンジン、スターリングエンジン等、輸送機関 WG ではエンジン車、燃料電池車、ディーゼル車、ハイブリッド車等、供給 WG ではスタンドアロン水素供給ステーション、民生用ガス、液体水素輸送システム等、また燃料電池 WG では水素燃料を前提とした各種燃料電池等、非常に幅広く検討を加え、最終的に上記4項目を研究開発に着手すべき重点課題として選定した。

②選定された4項目の技術開発達成度は以下の通りである。

- ・動力発生技術(水素ディーゼルコージェネレーションシステム)：単原子ガス循環型による高効率水素ディーゼルシステムの成立の可能性を検討し第Ⅱ期の単筒機開発に必要なデータが取得出来た。

- ・水素自動車：水素自動車に特化した要素技術として水素貯蔵合金タンク、供給カップリング等の開発課題を提案できた。また水素自動車の優位性や導入シナリオ、導入のための課題を明らかにした。

- ・水素供給システム：中規模都市における水素導入の可能性と課題を明らかにしたほか、水素自動車用ステーション実用の可能性と課題を明確にした。

- ・燃料電池：固体高分子型燃料電池について概念設計を行い、水素利用のメリットを明確にしたほか開発提案をまとめた。

③上記4件の他に液体水素の冷熱を利用した酸素製造技術の調査も行い、深冷法及び低温VSA法についてシステ

ム構成を明らかにし、各水素利用設備に適用する場合の適用範囲と利用指針を明確にした。しかしこの技術は液体水素がある規模以上で供給されることを前提とするため、水素エネルギーの導入促進を図るための小規模・分散利用技術の開発とは必ずしも整合しない。したがって、本研究開発は第Ⅰ期で中断し、将来に備えるのが妥当である。

4.6 革新的・先導的技術

WE-NETは長期プロジェクトであり、これを推進していく上で、将来的には有望ではあるものの当面の開発対象技術から外れている革新的・先導的技術が成熟してくることも大いに考えられる。また、在来型技術についてもその技術改良等動向によっては、WE-NET構成技術のひとつ

として取り込みが必要となってくることもあり得る。このような革新的・先導的技術、在来型技術についての調査・検討・評価を行い、必要に応じて最小限度の要素研究も行うことにより、有望技術をプロジェクトに反映させることを目的に、常時、国内外からの提案に対して開かれた体制をとり、技術シーズの発掘を行った。

その結果、1993-1998年度の間34件の提案(国内29件、外国5件)を受けることが出来た。これを「革新的・先導的技術開発に関する調査・検討委員会」において評価し、有望と判断されたものについては、フィージビリティー研究を実施した。フィージビリティー研究を実施した課題は以下の通りである。

年度	テーマ
H7 (1995)	太陽熱利用による水素製造の可能性
	夜間電力利用による水素製造の合理性
H8 (1996)	水素内燃スターリングエンジン調査研究
	高温水蒸気電解を利用したシステムの技術的・経済的検討
	太陽熱利用による水素関連技術の経済性の調査
H9 (1997)	光変換プロセスのシステム効率の比較
	波長帯域別に太陽エネルギーを有効利用する水素製造の検討
	磁気冷凍技術による大規模な水素液化の経済性検討
H10 (1998)	バイオマス水素の可能性検討
	メタノール発電システムに関する調査研究
	10GW/年の生産プロセスによる高変換効率太陽電池の高効率生産システムの概念設計
	太陽エネルギーを有効利用する水素製造の検討
	水素燃焼用触媒材料の調査と触媒燃焼システムの検討
	水溶液合成法による高温水蒸気電解/固体酸化物燃料電池セル作製の技術的・経済的評価

〈まとめ〉

- ①本研究開発では、外部からの提案に対して常時門戸を開き、革新的・先導的技術シーズの発掘に努めた。その結果合計34件の提案を受けたことは一つの成果である。
- ②新規提案を募る際の技術範囲をかなり広くとったため、提案内容が、要素技術からシステム技術まで多岐にわたり、同一尺度での評価を困難にした面がある。
- ③第Ⅰ期の結果は、水素エネルギー技術分野での“革新的・先導的技術シーズ”の発掘は容易ではないことを示している。これは、既に20年以上の研究の積み重ねの中で、出るべきアイデアは出されているという事情によるのであろう。

④今後はシーズ探索の範囲を、水素の分散利用技術にしぼることも検討すべきである。

⑤第Ⅰ期で実施した延べ14件のフィージビリティー研究の結果等を総合的に評価し、研究開発に着手すべき課題を選定し、第Ⅱ期において研究開発を実施することが望ましい。

5. 第Ⅱ期研究開発計画

5.1 第Ⅱ期計画の基本的考え方

WE-NET発足時のプロジェクト全体構想では、研究開発期間が平成5年(1992)~32年(2020年)とされ、第Ⅰ期

研究開発においては、海外で再生可能エネルギーから製造される水素を念頭に置く長期的な視点に立った技術開発を進めてきたが、WE-NET 研究開発を巡る情勢の変化及び研究開発の現状、並びに諸外国における技術開発の動向、さらに工業技術院による中間評価及びブレ最終評価を踏まえると、第Ⅱ期研究開発においては、水素が優位性を発揮できる可能性のある分野(ニッチマーケット)への早期導入も視野に入れることが重要であると考えられる。

これらの考え方を基にして、第Ⅱ期研究開発の進め方の検討に当たっての基本的考え方を以下の4項目とした。

(1)研究開発期間の設定と全体構想の關係の整理

ニューサンシャイン計画における制度改革(平成9年1月)に基づき、第Ⅱ期研究開発の期間を平成11年度～平成15年度(5年間)とする。ただし、本プロジェクトは長期視点に立った「全体構想」に基づくものであるから、第Ⅲ期以降(平成16年度～)の研究開発の存在を想定した上で、研究開発の内容を決定する。第Ⅲ期以降の実施の是非は、工業技術院による研究成果の評価等を踏まえて決定されるものである。

(2)実用化時期による研究開発項目の区分(「短期」及び「中期」)の概念の導入

水素を媒介とした再生可能エネルギーの地球規模での利用システム(いわゆる WE-NET)の導入に必要な要素技術を長期の研究開発項目とし、新たに短期及び中期の研究開発項目を追加し、WE-NETの実現までの間の過渡的な水素の導入を促進する。

具体的には、水素エネルギーに関する研究開発項目を、技術開発の見通し、経済性等の評価を行い成果の実用化時期を予測した上で、以下の3つに分類し、それぞれに応じた研究開発の目的、課題及び目標を設定する。

①短期の研究開発項目：2010年頃までに成果の実用化が期待できるもの

②中期の研究開発項目：2010～2020年の間に成果の実用化が期待できるもの

③長期の研究開発項目：2020～2030年の間に成果の実用化が期待できるもの

短期及び中期の研究開発項目とは、具体的には、水素吸蔵合金、水素自動車関連技術、水素供給ステーション等が該当する。

長期の研究開発項目とは、大規模な水の電気分解プラン

トや現在の化石燃料による火力発電を代替する水素燃焼タービンシステムを実現するための技術開発が該当する。

(3)水素の分散利用技術の開発の促進

第Ⅰ期研究開発基本計画においては、水素利用技術を水素燃焼タービンとその他の利用技術に分類しており、再生可能エネルギーの大規模利用としての水素燃焼タービンの研究開発に重点が置かれたものとなっていたが、第Ⅱ期においては、優れた特性を有する水素エネルギーの社会への導入を加速するため、分散利用技術に重点を置く。具体的には、CO₂排出量の約2割を占める運輸部門における水素エネルギーの導入を図るため、水素自動車システム及び水素供給ステーションに係る技術開発を開始する。

(4)水素の調達手段の多様化

再生可能エネルギーの水素による国際的な大量輸送は、第Ⅰ期研究開発の成果に基づくと、2030年頃から2040年頃にかけて実現すると見込まれる。したがって、短期及び中期については、原則として国内での水素調達を検討せざるを得ない。水素の国内での調達に当たっては、都市ガス(天然ガス)の改質、コークス炉副生水素やソーダ電解副生水素等のオフガス、オフピーク電力を利用する水電解、石炭のガス化等様々の方法が想定される。

5.2 第Ⅱ期研究開発の概要および目標(表7)

(1)水素利用技術

①動力発生技術(中期)

- ・環境影響物質無排出、送電端効率45%程度及び総合効率85%以上(高位発熱量基準)を達成しうるコージェネレーション用の、単筒機で100kW級水素ディーゼルエンジンを開発する。

- ・100kW級ディーゼル単筒機の開発・連続運転試験を実施し、実用化のための研究開発課題を抽出する。

②水素自動車システム(短期)

- ・水素供給ステーションからの供給を考慮した水素燃料電池自動車の燃料系システムの要素技術開発を行う。水素供給ステーションと組み合わせた水素自動車走行システムの技術実証を行うとともに、エネルギー効率等について評価を行う。

③純水素供給固体高分子型燃料電池(短期)

- ・送電端効率45%程度(高位発熱量基準、低位発熱量基準で50%程度)を達成しうる純水素燃料に適合した燃料電

池発電システムの要素技術を確立し、定置用 30~50kW 級発電システムの実証を行う。

④水素供給ステーション(短期)

・水素自動車への燃料供給を目的としたスタンドアロンタイプの水素供給ステーションの要素技術及びシステム化技術を確立するため、実用規模の水素供給能力の 10 分の 1 程度に相当する 30Nm³/時の小規模試験システムの開発、実証を行う。

(2)水素製造技術(短期、長期)

・固体高分子電解質水電解法に関する技術開発を行い、電流密度 1A/cm²以上、エネルギー変換効率 90%以上の性能を有する電極面積 2500cm²の積層化電解槽を実現する。また、既存材料と同等以上の性能を有する耐高温固体高分子電解質膜を開発する。

・水素供給ステーションの研究開発と連携して、小規模水素製造システム(電極面積 1000cm²、積層型)の開発を行う。

・長期的には、電極面積 1000cm²以上、電流密度 1~3A/cm²においてエネルギー効率 90%以上の積層化電解槽を開発する。

(3)水素輸送・貯蔵技術

①液体水素輸送・貯蔵技術(長期)

・液体水素の輸送及び貯蔵に共通する断熱構造の開発を行うとともに、液体水素ポンプの要素技術開発、液化用水素圧縮機等の概念設計を実施する。

②低温材料(長期)

・液体水素零気圧下での材料特性試験を行うとともに、最適溶接材料及び最適溶接法に係る要素技術開発を実施する。また、材料特性データベースの拡充を図る。

(4)水素分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金(短期)

・移動体及び定置式設備への適用を目的として、有効水素吸蔵量 3 重量%以上、放出温度 100℃以下、5,000 サイクル時の吸蔵能力が初期の 90%以上である水素吸蔵合金の開発を行う。

(5)革新的・先導的技術

・水素利用、水素製造、水素輸送・貯蔵に係る技術のうち、上記(1)~(4)以外の革新的・先導的技術について並行的に調査及び基礎研究を行う。

(6)システム研究

①システム評価

・再生可能エネルギーとともに、化石燃料等から製造される水素も前提とした種々の水素利用システムのエネルギー効率、環境性及び経済性を評価し、水素導入のための戦略を検討する。

・上記の(1)~(6)の各研究開発項目間の調整等を行い、研究開発の統一的推進を図る。

②安全対策

・実験による検証を元に、安全評価手法を確立する。また、予備的な安全評価を実施し、結果に基づき、安全設計基準の検討を行う。

③その他

・本研究開発に関連する国際研究協力及び国際的情報交流を推進する。

表1 WE-NETプロジェクトのタイムスケジュール

	期間(年度)	研究開発の位置づけ
第Ⅰ期	1993-1998	調査研究、要素研究
第Ⅱ期	1999-2003	短期研究開発項目:システム実証 中・長期研究開発項目:システム要素技術開発
第Ⅲ期	2004-2008	中期研究開発項目:システム実証 長期研究開発項目:要素技術開発
第Ⅳ期以降	2009-	WE-NETモデルシステム実証

表2 第Ⅰ期研究開発項目および目標

項目	目標
1. 全体システム ・概念設計 ・安全対策	・各種水素輸送媒体について全体システム概念設計、経済性評価 ・水素導入予測評価 ・水素の安全性調査、安全確保のための技術開発課題抽出
2. 水素製造技術 (PEM水電解法)	電極面積: 2500cm ² 電流密度: 1A/cm ² エネルギー効率: ~90%
3. 水素液化技術	300t/dayプラントの概念設計
4. 水素大量貯蔵技術	5万m ³ 液体水素貯蔵タンクの概念設計
5. 水素大量輸送技術	20万m ³ 液体水素タンカーの概念設計
6. 低温材料	候補材料の液体水素零気圧下材料特性把握、データベース作成及び材料適性評価
7. 水素分散貯蔵輸送技術	有効水素吸蔵量3%以上、水素放出温度100℃以下、5000サイクル後、初期の90%以上の性能を有するM4(水素吸蔵合金)の探索
8. 水素燃焼タービン	タービン入口温度 1700℃ 発電効率 60%以上 を達成し得る最適サイクル、燃焼制御方式、及びタービン翼冷却構造の決定
9. その他利用技術	有望利用技術の抽出・要素技術開発
10. 革新的・先導的技術	有望技術の抽出・概念検討・要素研究

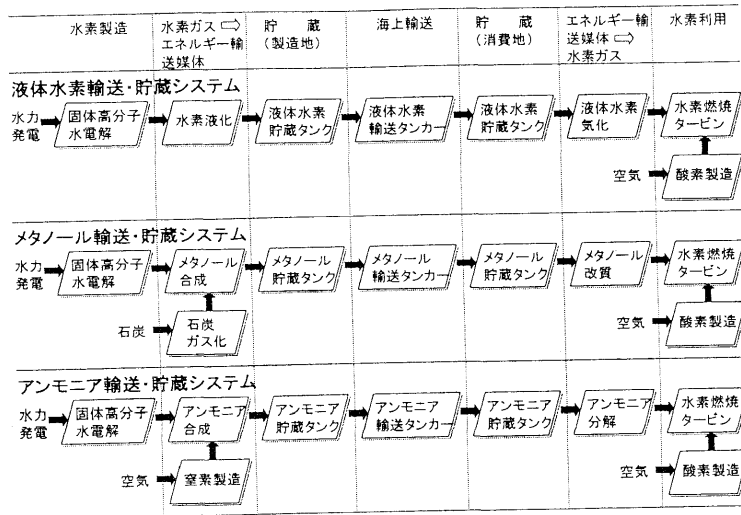


図1 液体水素、メタノール、アンモニアシステムの構成

表3 エネルギー収支の比較 単位: 10⁹kcal/年, (%)

項目		液体水素システム	メタノールシステム	アンモニアシステム
条件	タービン出力 (MW)	1,000	1,000	1,000
	輸送距離 (km)	5,000	5,000	5,000
	水電解効率 (%)	90	86	86
入力	水力発電エネルギー	12,477 (100)	9,041 (52.7)	16,256 (98.3)
	石炭エネルギー	—	8,123 (47.3)	—
	タンカー燃料 (C重油)	—	—	275 (1.7)
入力計		12,477 (100)	17,163 (100.0)	16,531 (100.0)
損失	水素製造損失	986 (7.9)	1,258 (7.3)	2,110 (12.8)
	石炭ガス化損失	—	1,044 (6.1)	—
	窒素製造損失	—	—	334 (2.0)
	液化損失	2,465 (19.8)	—	—
	合成損失	—	4,019 (23.4)	2,457 (14.9)
	輸送中損失	87 (0.7)	271 (1.6)	275 (1.7)
	その他損失	150 (1.2)	—	—
	小計	3,688 (29.6)	6,593 (38.4)	5,176 (31.3)
到着エネルギー		8,789 (70.4)	10,570 (61.6)	11,355 (68.7)
改質(分解)・精製損失		—	1,781 (10.4)	2,566 (15.5)
水素エネルギー		8,789 (70.4)	8,789 (51.2)	8,789 (53.2)
タービン熱損失		3,515 (28.2)	3,516 (20.5)	3,515 (21.3)
発電エネルギー(発電端)		5,274 (42.3)	5,274 (30.7)	5,274 (31.9)
所内電力損失		570 (4.5)	1,012 (5.9)	1,487 (9.0)
発電エネルギー(送電端)		4,704 (37.7)	4,262 (24.8)	3,787 (22.9)

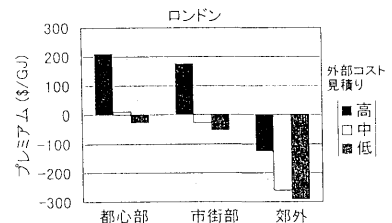


図2 水素導入によるプレミアム

表4 液体水素、メタノール、アンモニアを用いる WE-NETシステムの発電コスト比較

	液体水素	メタノール	アンモニア
前提条件	・水素燃焼タービン容量 1000MW ・水力発電電力価格 ¥2/kWh ・輸送距離 5000km		
発電コスト(円/kWh) H6~8年度試算	32.6	30.8 (24.7)	32.9
H10年度見直し	25.5	25.6 (19.5)	26.4
到着燃料コスト(円/Mcal) H6~8年度試算	10.6	6.0	6.9
H10年度見直し	9.2		
到着水素コスト(円/Nm ³) H6~8年度試算	32.2		
H10年度見直し	27.9		

()内: CO₂回収なし

表5 ロンドンの各地域で優位性を有するシナリオ

外部コスト	優位性を有するシナリオ		
	都心部	市街部	郊外
High	TH	TH	C
Median	H	H	H
Low	H	N	N

High : 環境に対する外部コストが高い場合
 Median : 環境に対する外部コストが中位の場合
 Low : 環境に対する外部コストが低い場合
 TH: ターゲットハイタン, H: ハイタン, C: 触媒コンバーター, N: 該当なし

表6 固体高分子電解質水電解法の代表的性能データ

	電極面積(cm ²)	膜厚(μm)	積層数(セル)	エネルギー効率(%)	セル電圧(V)	運転条件			備考
						温度(°C)	圧力	電流密度(A/cm ²)	
無電解メッキ法	2500	90	1	93.0	1.57	120	0.4Mpa	1	触媒担持量 陽極: 二酸化イリジウム 2~2.3mg/cm ² 白金黒 1mg/cm ² 陰極: 二酸化イリジウム 2~2.3mg/cm ² 白金黒 1mg/cm ²
	2500	90	4	92.6	1.57	120	0.4Mpa	1	
ホットプレス法	2500	52	1	96.5	1.553	80	常圧	1	触媒担持量 陽極: 二酸化イリジウム 3mg/cm ² 陰極: 白金黒 0.5mg/cm ²
	2500	52	5	94.4	1.563	80	常圧	1	

図3 50cm²セル耐久性試験(ホットプレス法)

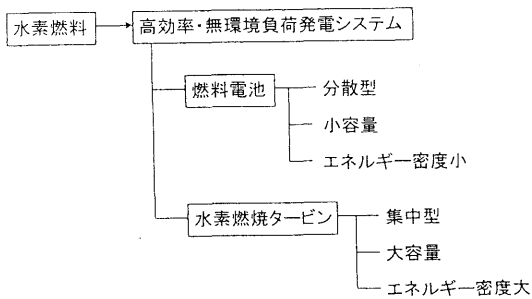
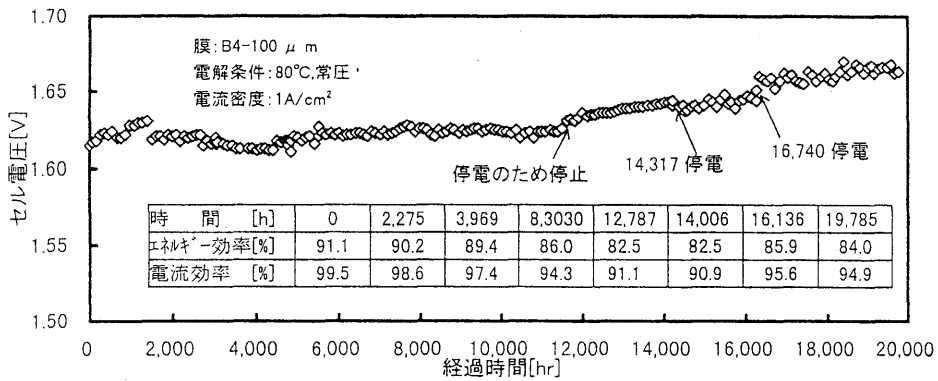


図4 水素燃焼タービンの位置づけ

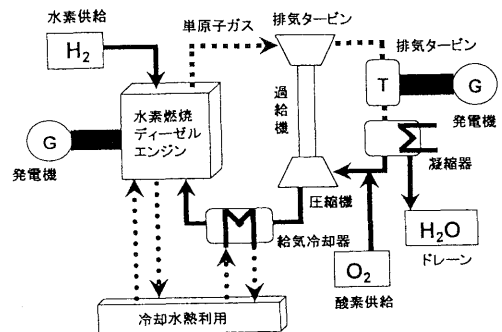
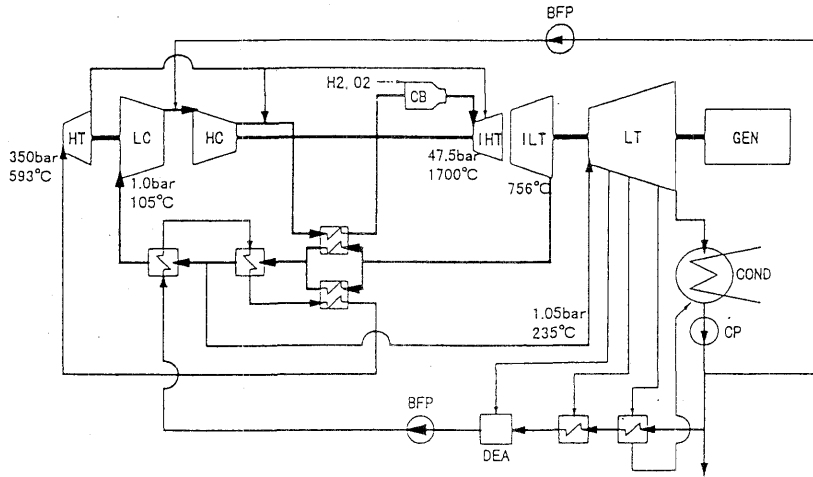


図6 単原子ガス循環型水素ディーゼルコージェネレーションシステム



略号

- HT: High Pressure Turbine(中高圧タービン)
- IT: Intermediate Pressure Turbine(中圧タービン)
- IHT: Intermediate High Pressure Turbine(中高圧タービン)
- ILT: Intermediate Low Pressure Turbine(中低圧タービン)
- LT: Low Pressure Turbine(低圧タービン)
- LC: Low Pressure Compressor(低圧圧縮機)
- HC: High Pressure Compressor(高圧圧縮機)
- GEN: Generator(発電機)
- HRBL: Heat Recovery Boiler(排熱回収ボイラ)
- COND: Condenser(復水器)
- CP: Condensate Pump(復水ポンプ)
- BFP: Boiler Feed Pump(加圧ポンプ)
- DEA: Deaerator(脱気器)
- CB: Combustor(燃焼器)
- HPCB: High Pressure Combustor(高圧燃焼器)
- LPCB: Low Pressure Combustor(低圧燃焼器)

図5 トッピング再生サイクル

タービン入口温度 1700°C、タービン入口圧力 47.5気圧
発電端効率 61.8%

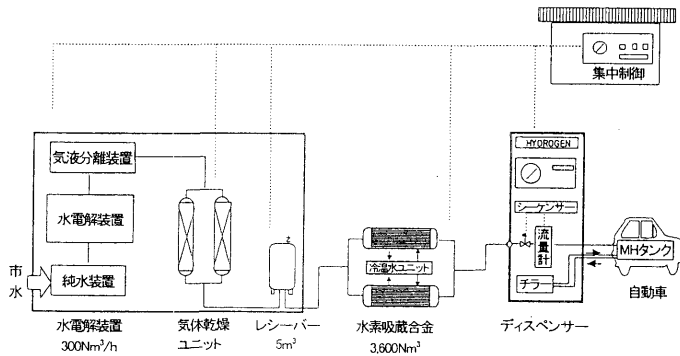


図7 水電解+水素吸蔵合金貯蔵設備型水素供給ステーションの概念図

表7 WE-NET第Ⅱ期研究開発項目および目標

研究開発項目	第Ⅱ期の目標	(参考)最終的な目標【実用化時期】
(1)水素利用技術 ①動力発生技術	水素ディーゼルエンジン(100kW級単筒機)技術の確立	水素ディーゼルエンジン(600kW級システム) 送電端効率(HHV基準): 約45% 総合効率(HHV基準): 85%以上【中期】
②水素自動車システム	・燃料系システムの要素技術開発 ・供給ステーションと組み合わせて技術実証	同左 【短期】
③純水素供給固体高分子型燃料電池	定置用30~50kW燃料電池 送電端効率: 約45% (HHV基準) (LHV基準で約50%)	同左 【短期】
④水素供給ステーション	供給能力: 30Nm ³ /h (実用規模はこの10倍)	同左 【短期】
(2)水素製造技術	・水素供給ステーション(電極面積1000ccm ² 、積層型)への応用 ・積層化電解槽 電極面積: 2500cm ² 電流密度: 1A/cm ² 効率: 90%以上	同左 【短期】 ・積層化電解槽 電極面積: 10000cm ² 以上 電流密度: 1~3A/cm ² 効率: 90%以上 【長期】
(3)水素輸送・貯蔵技術 ①液体水素輸送・貯蔵技術	(第Ⅱ期での内容) 要素技術開発	液体水素輸送・貯蔵技術の確立【長期】
②低温材料	(第Ⅱ期での内容) 低温材料データベースの拡充等	低温材料の開発 【長期】
(4)水素分散輸送・貯蔵用 水素吸蔵合金	有効水素吸蔵量: 3wt% 放出温度: 100℃以下 5000サイクル時の性能が初期の90%以上	同左 【短期】
(5)革新的・先導的技術	(第Ⅱ期での内容) 革新的・先導的水素製造、輸送・貯蔵、利用技術の調査	
(6)システム研究 ①システム評価	(第Ⅱ期での内容) 水素導入戦略の検討	
②安全対策	(第Ⅱ期での内容) 安全評価手法の確立	