

WE-NETプロジェクトの現況

エネルギー総合工学研究所

WE-NETセンター

福田 健三

1. はじめに

地球規模での環境問題が焦眉の人類課題として提起されるなかで、エネルギー技術開発についての考え方も再構築すべき局面にある。日本政府は、平成2年10月に、「地球温暖化防止行動計画」を策定し、例えば二酸化炭素については、先進諸国がその排出抑制のために共通の努力を行うことを前提に、次のような目標を定め、現在さまざまな政策努力を展開しているところである。

(1) 二酸化炭素の排出抑制のため、官民あげての最大限の努力により、本行動計画に盛り込まれた広範な対策を実施可能なものから着実に推進し、一人当たり二酸化炭素排出量について2000年以降概ね1990年レベルでの安定化を図る。

(2) 上記(1)の諸措置と相俟って、さらに、太陽光、水素等の新エネルギー、二酸化炭素の固定化等の革新的技術開発が、現在予測される以上に早期に大幅に進展することにより、二酸化炭素排出量が2000年以降概ね1990年レベルで安定化するよう努める。

ここでとりわけ重要な点は、第2項で言う二酸化炭素の総排出量抑制の目標達成のためには、太陽エネルギー等の非化石燃料型の再生可能自然エネルギー技術の重要性が従来よりは格段に高まっているということである。

かかる状況を背景とし、一方サンシャイン計画、ムーンライト計画の実績および地球環境産業技術開発への先駆的取組を踏まえて、通産省では、これら三分野の研究開発努力を一体化し、持続的成長とエネルギー・環境問題の同時解決を目指した、「ニューサンシャイン計画」を策定した。その中核的技術開発の一つが「水素利用国際クリーンエネルギーシステム構想—通称WE-NET(World Energy Network)構想—」である。これは太陽光や水力等の再生可能エネルギーを水素に変換(化学エネルギーに変換)してエネルギー需要地域に輸送し、利用するための技術開発を国際的な共同研究体制のもとで、総合的に推進しようというものである。図1はこの構想を図式的に示したものである。

2. 未利用水力資源

「再生可能一次エネルギー賦存国」と「需要地」間のクリーンエネルギー輸送システムを図2に示す。図中「再生可能一次エネルギー賦存国」とあるのは、当面の計画では、利用可能な水力資源を豊富にもつ海外地点を想定しており、当該地点での水力発電で得られた電力で水を電解し水素を製造し、さらに、その水素を長距離海上輸送に適した何らかの化学媒体にもう一度変換して需要地に輸送し、需要地で水素を再生して利用する、というスキームである。表1に示すように、アジア、旧ソ連、中南米、アフリカを中心に豊富な未利用水力資源が残されており、既開発量は開発可能量のわづか26%強にすぎない⁽¹⁾。また、現在の技術レベルで見ても、水力発電における水力エネルギーの電力エネルギーへの変換効率は80%以上ときわめて高く、かつ水力資源の豊富な地域—例えばカナダ—では発電コストはkWh当たり2-3円ときわめて安価であることが知られている

。輸入石油による重火力発電を主体とするわが国ではkWh当り10~11円と評価されているのに比べ約1/5のコストである。このようなエネルギーコスト差がある限り、安価な電力を水素エネルギーに変換して長距離輸送し、水素を再生し、これを燃料として発電するというシステムを採用しても、エネルギー需要地での経済性が確保出来る可能性はある。もち論そのためには水電解におけるエネルギー変換効率や、エネルギー輸送効率あるいはエネルギー利用効率を格段に高めるための諸々の技術開発が必要であることは言をまたない。これこそがWE-NET構想における技術開発課題となるものであり、本稿最後に、現在すすめている第一期計画の研究開発計画を引用する形で研究課題をまとめて提示することとする。水力は技術的完成度、経済性、資源量いずれの面からも有利な特質を備えており、ただ資源の局在性に難点があったわけであるが、この点も世界的なエネルギーネットワークを構築することで克服できる可能性がある。もちろん、ダム建設等に伴う環境への影響については十分検討を加えるべきことは言をまたない。

3. 化学媒体を用いるエネルギー輸送

豊富で安価な水力発電資源と水電解技術を利用して水素を製造し、それを海上輸送に適した媒体に転換した後、エネルギー需要地まで海上輸送しようとするのが、本システムの基本的構想である。エネルギー需要地に輸入された水素は、燃料電池や熱機関の燃料として用いられ、電力等有効なエネルギーに変換される。

問題は海上輸送を含むシステムの選択であり、高効率でかつ経済的に有利な輸送媒体およびそれを用いる輸送サイクルの選定である。電力を化学媒体（化学エネルギー）に変換するという事は、電力を単に輸送に適した形に変換するだけでなく、貯蔵可能な形に変換するという事でもあり、この点は世界的エネルギーネットワークを構築する上できわめて重要な要素である。

水力エネルギーを水素に変換して長距離輸送する場合でも、水素ガスでは単位エネルギー当りの容積が大きすぎるため、もう一度何らかの「変換」を行い、よりエネルギー密度の高い形に変えてやる必要がある（図2の媒体Bに相当）。

表2にWE-NET構想の中で検討を行ってきた輸送媒体の特性をまとめた。

水素吸蔵合金は液体水素よりも水素密度は大きい、吸蔵水素量が小さいため、吸蔵エネルギー当りの重量（船舶に対する重量負担）が大きくなり過ぎる欠点がある。代表的な合金、 LaNi_5H_6 （以下かさ密度 $\sim 3.5\text{g/ml}$ で評価）の場合でも、水素含有は最大1.4重量%であり、重量負担は 2100g/kcal となってしまう。さらに、かさ密度が比較的小さいため、単位エネルギー当りの容積（容積負担）も 600ml/kcal となり、他の媒体に比べてあまりメリットがない。その上固体のハンドリングという難点も含まれるため、水素吸蔵合金は水素の長距離海上輸送のための媒体としては当対象外とした。ただし、水素吸蔵合金は、WE-NETシステム内におけるローカルな水素輸送・貯蔵媒体としては依然有力な手段である。WE-NET構想には、この意味で水素吸蔵合金を用いる水素の輸送・貯蔵技術の開発も重要な研究開発課題としてとり入れられている。さらに、将来比較的低温で水素吸蔵量が3重量%を超えるような画期的合金が開発されれば、水素の長距離海上輸送媒体としての可能性も拓かれるであろう。候補となる媒体の重量負担は大きくとも 500g/kcal 以下、容積負担は液体水素レベル以下を目安とした。

これらの化学媒体を用いた水素輸送サイクルの概要を図3にまとめて示した。

4. 輸送サイクルの経済性評価

図3に示した各サイクルでは、海外発電地点での水電解までは共通するが、その後の現地プラント、輸送・貯蔵設備、需要地側の各種プラント、エネルギー輸送効率などは用いる媒体によって異なる。これら各種要因を加味して行った経済評価の結果を表3に示す。

表3に示されたエネルギー輸送効率とは、入力エネルギー（現地で水素製造に投入された電力エネルギー）に対する到着熱エネルギーの割合である。表4に示した発電方式を前提とする需要地発電コストの試算結果を図4に示す。

図4より、需要地での発電コストは発電現地電力コスト2円/kWhの場合で20～35円/kWh、5円/kWhの場合で25～45円/kWhであることがわかる。いずれもわが国現行の、輸入石油を用いる重火力発電の場合に比べて2～4倍のコストとなる。原子力発電の場合と比べても大差はないものと思われる。

さて、上の評価結果は必ずしも悲観的なものではない。原子力発電を別として、石油、LNG、石炭いずれを燃料としても、地球環境問題への対応からいずれ何らかのCO²排出抑制策をとらざるを得ないと仮定すると、そのために必要なコストを加味すれば、WE-NETシステムにもとずく水素燃料発電コストが石油重火力発電等と競合出来る水準になることは十分あり得る。もち論この場合、くり返しになるがWE-NETシステムの発電・輸送・利用各段階におけるエネルギー効率を格段に高めるための技術が開発されることが不可欠の前提である。

なお、評価結果によると、メタノール/COサイクルおよびアンモニアサイクルが相対的に有利であり、液体水素サイクルは必ずしも有利ではないことがわかる。これは液化のための投入エネルギーが大きいことが主たる原因である。しかし液体水素はサイクルが簡潔であり、かつシステムの青写真をつくり易い等の理由で、WE-NET構想ではシステム化に向けて最優先でとり組むことにしている。他の化学媒体についてはやや位相をづらしながら要素研究を推進する計画である。

5. WE-NETシステムの実現に向けて

「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術の研究開発」-WE-NETプロジェクト-は平成5年度よりスタートしているが、国内外の民間企業、団体、大学からの参加を得て本格的に展開されるのは平成6年度からである。NEDOは次に掲げる第I期4年間（平成5～8年度）の研究開発計画を提示し、国内のみならず、広く海外からも研究課題の提案を公募した（平成5年11月1日〆切）。

「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）」 （第I期）の研究開発計画

I. 研究開発の目的

水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)は、水力、太陽光、地熱、風力等の再生可能エネルギーを利用して、水素を製造し、輸送に適した形に転換した後、輸送・貯蔵し、発電・輸送用燃料・都市ガス等の広範な分野で利用する水素利用国際クリーンエネルギーネットワークの世界的導入を可能とし得る技術の確立を最終目標とするものであり、2020年までの28年間で3期に区分して実施する。

第I期においては、必要な調査研究、基礎的研究及び要素研究等を行

うことにより、水素製造技術、水素輸送・貯蔵技術、水素利用技術に関する基礎的技術の確立を図り、全体システムの最適化設計に必要な情報を得るとともに、パイロットプラントの設計・製造に必要な技術を確立することとする。また、将来的に採用可能となる技術についての調査を併行して行うことにより、各研究開発項目に適宜反映させることとする。

なお、第Ⅰ期計画の実施期間中に生じた結果を十分に折り込みつつ、第Ⅱ期の計画を具体化することとする。

Ⅱ. 研究開発項目及び目標

研究開発は以下の9つのサブタスクに分けて実施することとする。

サブタスク 1 . 総合評価と開発計画のための調査・研究

WE-NETの水素製造、水素輸送・貯蔵技術、水素タービンを含む水素利用技術等の各システムを構成する個別サブタスクについてプロジェクト全体の恒常的な総合調整、開発成果の総合評価及び開発計画最適化のための検討を行う。合わせて内外の技術開発動向を調査し、今後のプロジェクトに反映させる。

サブタスク 2 . 国際協力推進のための調査・検討

世界的規模のシステムを目指して国際機関、関係各国との定期的情報交換を目指して国際機関、関係各国との定期的情報交換等を行うと共に、国際的共同研究として発展させていくための進め方・方策等の検討を行う。

サブタスク 3 . 全体システム概念設計

再生可能エネルギー利用発電設備、水素製造設備、輸送媒体製造設備、貯蔵設備、輸送設備、水素利用設備から構成される全体システム概念設計を行い、技術的・経済的評価を実施する。また、世界的規模および一国規模での水素エネルギー導入による効果を推定する。さらにWE-NETシステム全体からみた安全対策・安全評価技術の開発を行う。

サブタスク 4 . 水素製造技術の開発

高効率化・高電流密度化が期待できる固体分子電解質法について、大規模化、長寿命化を達成させるために必要な調査を行い、固体高分子電解質（イオン交換膜）、陽・陰極触媒、電解槽部品の材質等の要素技術開発並びにベンチスケールテストを行い、パイロットプラント開発のために必要な技術を確立する。

第Ⅰ期の目標としては、電極面積 6000cm²程度、電流密度 1～3A/cm²程度、エネルギー交換効率80～90%を達成させる。

サブタスク 5 . 水素輸送・貯蔵技術の開発

液体水素製造技術、輸送・貯蔵技術等に関する以下の項目について必要な調査、基礎的研究及び要素技術開発等を行い、長距離海上輸送及び分散貯蔵・輸送のための最適システム決定に必要な知見を得る。

- (1) 大型水素液化設備の開発
- (2) 液体水素輸送タンカーの開発
- (3) 液体水素貯蔵設備の開発
 - ①大量液体水素貯蔵設備の開発
 - ②分散型液体水素貯蔵設備の開発
- (4) 各種共通機器類の開発
 - ①大型液体水素ポンプの開発
 - ②断熱配管の開発
 - ③液体水素弁の開発
 - ④計装設備の開発
- (5) 分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金の開発

サブタスク 6. 低温材料の開発

既存材料について液体水素温度領域での靱性、疲労およびセレーションに関する基礎データの取得を行うとともに、水素脆性に対する特性のよい材料の選定もしくは必要に応じ新規材料開発を行うことにより、液体水素条件で使用できる構造材料の開発およびその適正溶接法に関する開発の見通しを得る。また、上記5項の水素輸送・貯蔵技術の開発に関する材料側からの要求条件を決定する。

サブタスク 7. 水素利用技術に関する調査・検討

将来における水素エネルギーの利用技術及び需要量について、電力用、産業用、輸送用、民生用の分野毎に、水素ガス、液体水素、メタノール等の化学媒体等の各利用形態別に調査・検討、利用技術の提案を行い、各技術の得失を明確にするとともに、水素利用技術の開発課題を抽出する。また、液体水素の冷熱利用技術に関する調査を行い、冷熱利用技術に関する評価を行う。

サブタスク 8. 水素燃焼タービンの開発

水素利用技術のひとつとして、画期的高効率期待できる水素燃焼タービンについて、以下の項目について必要な調査、要素技術開発等を行い、パイロットプラント開発のための必要な基礎技術を確立する。

- (1) 水素燃焼タービン最適システムの評価
- (2) 燃焼制御技術開発
- (3) タービン翼、ロータ等主要構成機器の開発
- (4) 主要補機類の開発
- (5) 超高温材料の開発

サブタスク 9. 革新的・先導的技術に関する調査・研究

WE-NETは2020年までに、実用化に必要な基盤技術を確立することを目指した超長期プロジェクトであり、将来的には有望であるものの当面の開発対象技術から外れる革新的・先導的技術が成熟して行く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、必要に応じて要素研究を行うことにより、有望技術をWE-NETプロジェクトに反映させる。

現在、水素燃焼タービン、水素自動車、液体水素燃料航空機、燃料電池など、水素をキーマテリアルとする産業・民生技術の研究が世界的に上昇気運にある。一方地球環境問題とのからみで、CO₂の水素還元処理による再資源化技術の開発も精力的に展開されつつある。これらの研究開発に対して必然的に問われる、「安価な水素を大量に確保する方策はあるのか」という問題に、本構想は現実性のある回答を出せるのではないかと考えている。砂漠や南太平洋上で太陽光発電を行ない、水素に転換して輸送するという構想は古くから提唱されており^(2, 3)、太陽電池技術の進歩はこの構想の実現性を少しずつ増大させつつあることも事実である。WE-NET構想は、長期的には太陽熱・光発電までも視野に入れており、同時並行的に必要な要素技術開発はすすめるとしても、少なくとも現時点では、一次エネルギー側の技術成熟度から見て、水力を前提としたシステムの方がより現実的であると言える。人類は、究極的には太陽熱・光発電を核とした世界的エネルギーネットワークに依存することになる。本稿の構想はそこに到達する中継と位置づけることもできる。

最後に、本稿で扱ったほぼ同じシステム構想のフィージビリティスタディーがカナダとECとの間ですすめられている。EQHHPP(Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project)と呼ばれるもので、カナダ・ケベック州の水力エネルギーを水素に変換し、液体水素ないしメチルシクロヘキサンの形でドイツのハンブルグ港に運ぶ、という構想である。経済性評価の結果では、液体水素の場合で、EC側での発電コストは約15セント/kWhとなる。現行の化石燃料発電のコストは5.5セント/kWh(環境保全費+発電コスト)なので、EQHHPPの場合は現状の2.7倍の発電コストである。この値は本稿で示した評価結果と大変良い一致をしている。EC側はこの評価結果をポジティブに受け止め、次の実証プラント階段に入る計画である。

いずれにしても、EQHHPPの進捗状況はわれわれの計画の進め方に貴重な参考となるので今後情報交換をより密にしていこう必要がある。

本稿の大部分は筆者も加わって行われた調査研究の結果に依拠している。詳細はこれらの報告を参照されたい^(4, 5, 6)

文献

- (1) Water Power Handbook 1993
- (2) 太田時男、「水素エネルギー」、森北出版(1987)
- (3) 桑野幸徳、サンシャインジャーナル、11(1), 1(1990)
- (4) 「石油代替エネルギー等の輸送技術に関する調査」、NEDO, 1991年3月
- (5) 「地球環境のクリーンエネルギー・ネットワーク最適システムに関する調査」NEDO 1992年3月
- (6) 「水素燃焼タービンの調査」、サンシャイン計画委託調査研究成果報告書、1993年3月、エンジニアリング振興協会

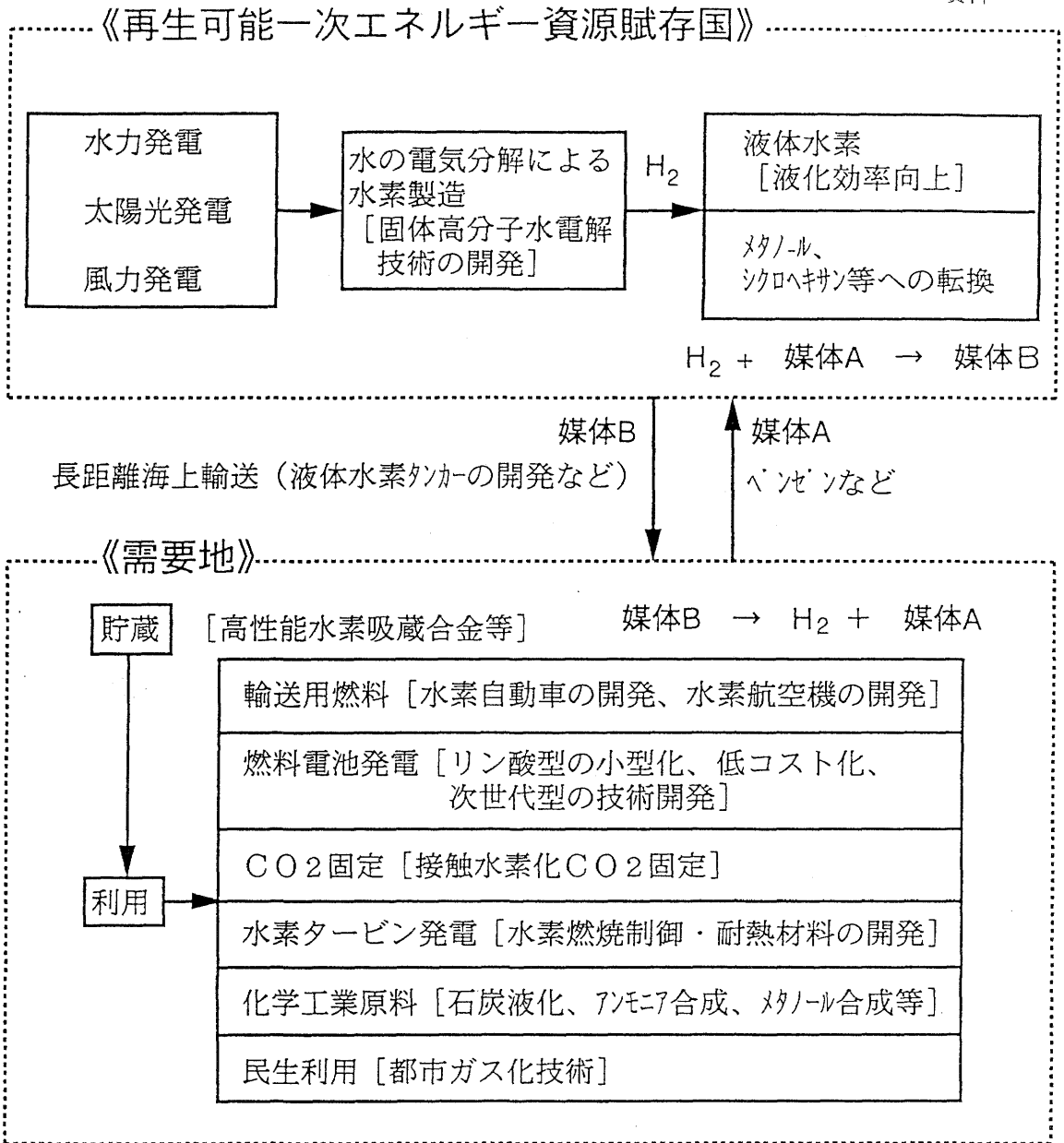


図1 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術
(World Energy Network System)
—— WE - NET 構想 ——

図2. 化学媒体を用いるクリーンエネルギー輸送システムの概念

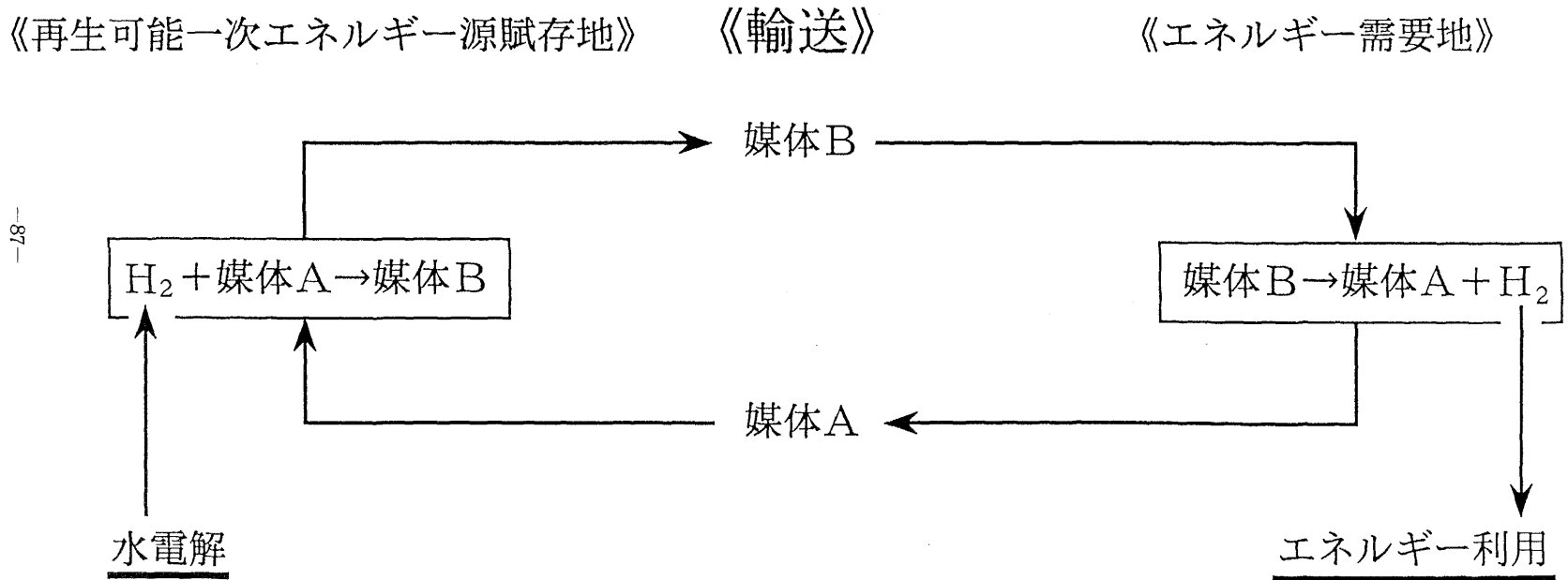


表1. 世界の水力資源 (GWh/年)

	技術的開発可能量 (1)	経済的開発可能量 (2)	既 開 発 量 (3) * 1	未 開 発 量 (4)=(2)-(3)	開発率 (3)/(2)
ア ジ ア	5,000,000 (33.3)	2,710,000 (29.0)	481,043 (19.6)	2,228,957 (32.3)	17.8%
アフリカ	1,400,000 (9.3)	700,000 (7.5)	61,436 (2.5)	638,564 (9.3)	8.8%
北 米	n/a (-)	800,000 (8.6)	587,337 (24.0)	212,663 (3.1)	73.4%
中 南 米	4,000,000 (26.7)	3,000,000 (32.2)	544,196 (22.2)	2,455,804 (35.6)	18.1%
ヨーロッパ	1,277,000 (8.2)	860,000 (9.2)	456,908 (18.7)	403,092 (5.9)	53.1%
旧 ソ 連	2,190,000 (14.6)	1,095,000 (11.7)	275,900 (11.3)	819,100 (11.9)	25.2%
オセアニア	n/a (-)	172,000 (1.8)	40,532 (1.7)	131,468 (1.9)	23.6%
合 計	15,000,000 (100)	9,337,000 (100)	2,447,352 (100)	6,889,648 (100)	26.2(16.3+2)

注) 技術的開発可能量: 現在の技術で開発可能な水力資源量

経済的開発可能量: 技術的開発可能量のうち、他の発電方式と比べて経済的にも開発可能な水力資源量

* 1: 工事中地点を含む。

* 2: 技術的開発可能量に対する比率。

出典: WATER POWER HANDBOOK 1993

表2. 水素輸送媒体の特性

	液体H ₂	液体NH ₃	メタノール*2	シクロヘキサン
分子式	H ₂	NH ₃	CH ₃ OH	C ₆ H ₁₂
密度 (g・ml ⁻¹)	0.07	0.7	0.795	0.78
沸点 (°C)	-253	-33.4	64.4	80.7
水素含有量 (wt%)	100	17.7	12.6	7.1
容積負担 *1 (ml・kcal ⁻¹)	430	240	290	530
重量負担 *1 (g・kcal ⁻¹)	30	170	230	420

* 1 水素の持つ単位エネルギー (1kcal) 当りの媒体容積および重量

* 2 メタノールを水素輸送媒体 (図1、媒体B) とする場合、発電現地で水素を固定する媒体 (図2、媒体A) としては、CO、CO₂、ギ酸メチル (HCOOCH₃) の3種類について検討を行った。

方式	サイクル (一次エネルギー貯蔵地) (エネルギー消費地)	輸送・貯蔵条件	エネルギー輸送効率*1	主要反応	特長	課題
1		液体水素 (L-H ₂) -253℃, 常圧	70%	現地(ベース反応, 以下略) $3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + 1.5\text{O}_2$ 国内(ベース反応, 以下略) $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	(1) 海外・国内ともCO ₂ の発生がない。 (2) 液水から冷熱エネルギーを回収することができる。 (3) エネルギー輸送効率が高い。	(1) 液化プラントの大型化 (2) 液水貯蔵タンクの大型化 (3) 液水タンカーの開発
2		メタノール (CH ₃ OH) 常温, 常圧 液体CO ₂ (L-CO ₂) -50℃, 7ata	68% (81%)*2	現地 $3\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ 国内 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$ ↓ 回収	(1) 輸送・貯蔵が安全・容易 (2) 海外・国内ともCO ₂ の発生がない。(CO ₂ 全量回収時)	(1) 炭素源としてCO ₂ 回収, リサイクル技術が必要 (2) CO ₂ からのメタノール製造技術開発
3		メタノール (CH ₃ OH) 常温, 常圧	66% (78%)*2	現地 $2\text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ 国内 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}_2$	(1) 輸送・貯蔵が安全・容易 (2) メタノール生産の実用規模プラント実績あり。	(1) 炭素源として化石燃料(石炭ガス化)の技術が必要 (2) 国内でCO ₂ の発生がある。
4		液体アンモニア (L-NH ₃) -34℃, 常圧	68% (77%)*2	現地 $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ 国内 $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$	(1) メタノールと異なり, 炭素源が不要。 (2) アンモニア生産は実用規模に実施され, 製造・輸送に信頼あり。 (3) 原料ガスの圧縮, 循環等, アンモニア合成の省エネ化 (4) アンモニア直接燃焼時に発生するNOx対策技術の研究	(1) アンモニアの分解(H ₂ , N ₂)技術の開発 (2) 大容量高効率窒素分離技術の開発 (3) 大量液安輸送技術の確立 (4) 原料ガスの圧縮, 循環等, アンモニア合成の省エネ化 (5) アンモニア直接燃焼時に発生するNOx対策技術の研究
5		シクロヘキサン (C ₆ H ₁₂) 常温, 常圧 ベンゼン (C ₆ H ₆) 常温, 常圧	60% (79%)*2	現地 $3\text{H}_2 + \text{C}_6\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}$ 国内 $\text{C}_6\text{H}_{12} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{C}_6\text{H}_6$	(1) 媒体の大量輸送・貯蔵は実績あり安全 (2) ベンゼンからのシクロヘキサンの生産は実績あり (3) 発電発熱の利用により電力原単位向上	(1) シクロヘキサン脱水素反応器の開発 (2) 脱水素/複合発電システムの開発
6		メタノール 常温, 常圧 醋酸メチル 常温, 常圧	69% (82%)*2	現地 $2\text{H}_2 + \text{HCOOCH}_3 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{OH}$ 国内 $2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{HCOOCH}_3$	(1) 輸送・貯蔵が安全・容易 (2) 輸送効率が高い (3) 国内でのメタノールから水素と醋酸メチル製造技術は実績あり	(1) 海外での醋酸メチルの水素添加技術の開発

*1 輸送効率=輸送エネルギー/現地電力エネルギー (改質・分解エネルギーを差引いた値) *2 改質・分解エネルギーを考慮せぬ値

図3 エネルギー輸送サイクルの概要

表3 エネルギー輸送サイクルの経済性評価

輸送サイクル	液体水素	メタノール/CO ₂	メタノール/CO	アンモニア	シクロヘキサン	メタノール/蟻酸メチル	
輸送媒体	LH ₂	CH ₃ OH/L・CO ₂	CH ₃ OH/-	NH ₃ /-	C ₆ H ₁₂ /C ₆ H ₆	CH ₃ OH/HCOOCH ₃	
現地 プラント	設備	水電解+水素液化	水電解+メタノール製造	水電解+石炭ガス化 +メタノール製造	水電解+N ₂ 分離 +アンモニア製造	水電解+ベンゼン水添	水電解+蟻酸メチル合成
	水素製造原単位	4 kWh/Nm ³ -H ₂	4 kWh/Nm ³ -H ₂	4 kWh/Nm ³ -H ₂	4 kWh/Nm ³ -H ₂	4 kWh/Nm ³ -H ₂	4 kWh/Nm ³ -H ₂
	媒体製造原単位	11300kWh/t-LH ₂	800kWh/t-MeOH	730kWh/t-MeOH	280kWh/t-NH ₃	50kWh/t-C ₆ H ₁₂	800kWh/t-MeOH
	水素製造量	80×10 ⁴ Nm ³ /h	91×10 ⁴ Nm ³ /h	89×10 ⁴ Nm ³ /h	86×10 ⁴ Nm ³ /h	98×10 ⁴ Nm ³ /h	93×10 ⁴ Nm ³ /h
	媒体製造量	1700t-LH ₂ /D	10400t-MeOH/D	15200t-MeOH/D	10500t-NH ₃ /D	29500t-C ₆ H ₁₂ /D	31900t-MeOH
	貯蔵設備条件	LH ₂ : -253℃×常圧	MeOH: 常温×常圧 LCO ₂ : -50℃×常圧	MeOH: 常温×常圧	NH ₃ : -34℃×常圧	C ₆ H ₁₂ : 常温×常圧 C ₆ H ₆ : -50℃×常圧	MeOH: 常温×常圧 蟻酸: 常温×数気圧
	タンク	LH ₂ : 19000m ³ ×9	MeOH: 94500m ³ ×1 LCO ₂ : 13500m ³ ×1	MeOH: 103000m ³ ×3	NH ₃ : 53000m ³ ×2	C ₆ H ₁₂ : 87500m ³ ×3 C ₆ H ₆ : 87500m ³ ×3	MeOH: 95000m ³ ×3 蟻酸: 111000m ³ ×2
	タンカー	LH ₂ 専用 110000m ³ ×4隻	MeOH-LCO ₂ 共用 63000m ³ ×4隻	MeOH専用 205000m ³ ×2隻	NH ₃ 専用 69000m ³ ×4隻	C ₆ H ₁₂ -C ₆ H ₆ 共用 175000m ³ ×4隻	MeOH-蟻酸共用 110000m ³ ×4隻
	需タンク	LH ₂ : 18600m ³ ×20	MeOH: 105000m ³ ×2 LCO ₂ : 99000m ³ ×2	MeOH: 112000m ³ ×3	NH ₃ : 76000m ³ ×3	C ₆ H ₁₂ : 114000m ³ ×5 C ₆ H ₆ : 117000m ³ ×4	MeOH: 120000m ³ ×5 蟻酸: 116000m ³ ×4
	要設備 製造原単位		CO ₂ 回収, 液化 CO ₂ 回収: 8000円/t-CO ₂ ◇ 液化: 200kWh/t-CO ₂		アンモニア分解 648×10 ³ kcal/t-NH ₃	C ₆ H ₁₂ 脱水素 586×10 ³ kcal/t-C ₆ H ₁₂	MeOH脱水素 50×10 ³ kcal/t-蟻酸
エネルギー輸送量 (Gcal/h)	2370	2350	3990	2360	2270	2380	
エネルギー輸送効率 (%)	70	68	66	68	60	69	
プラント建設費 (億円)	6610	5860	4790	2600	3010	3730	
エネルギー単価 (円/Mcal)	11.8~16.7	11.8~16.9	6.4~9.4	7.6~12.2	9.2~14.5	10.6~15.6	

現地発電規模: 400MW, 輸送距離: 5000km
エネルギー単価の幅は, 現地電力コスト 2円/kWh~5円/kWh に対応する。

表4 発電原価試算条件

発電方式	送電端効率 (%)	建設費 (万円/kW)	実用化時期
① 水素ガスタービン複合発電	43	20	中頃
② 水素酸素燃焼	53	20	遅い
② 水素利用燃料電池	57	23	遅い
③ メタノール改質G/T複合発電	48	20	中頃
④ メタノール改質燃料電池複合発電	62	23	遅い

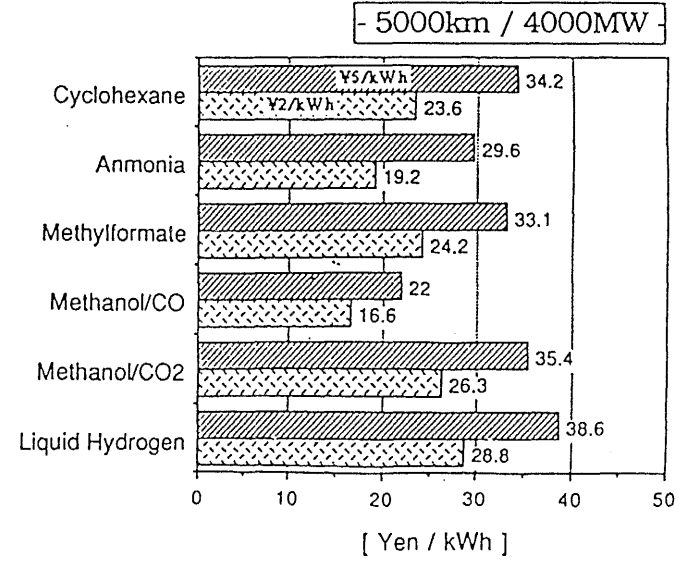
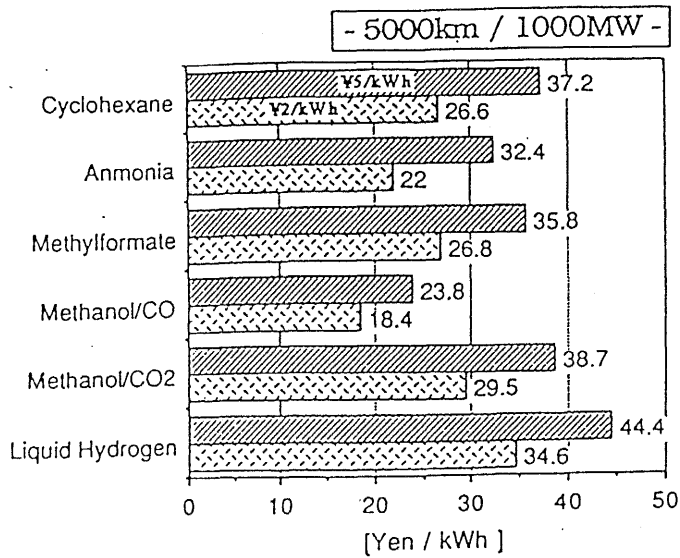


図4 発電コスト試算例

条件：発電方式	表4
発電規模	1000MW, 4000MW
水力発電コスト	2円/kWh, 5円/kWh
H ₂ 輸送距離	5000km