

有機水素化物の形態での輸送

Hydrogen Transport System Using Organic Compounds

若 林 昇*

Noboru Wakabayashi

1. はじめに

太陽エネルギーから直接・間接に得られる水力発電・太陽光発電・風力発電等は、自然エネルギーであるのみならず、二酸化炭素や硫黄酸化物を排出しないクリーンなエネルギーであるため、その供給システムが構築されれば、エネルギー供給の安定確保のみならず地球規模の環境問題の解決にも寄与することが期待される。

地球上には、このような自然エネルギーを豊富に有しながら未開発のまま残されている地域が数多く存在する。たとえば、カナダや南米、東南アジア、CISなどの水力、中東やアフリカの砂漠などの太陽光エネルギー。これらのエネルギーを開発するとともに何らかの方法でエネルギーの長距離輸送が可能になれば、わが国がクリーンエネルギー調達先を確保できるのに加え、相手国の資源開発、クリーン電化や外貨獲得を助け、二酸化炭素などの発生量が比較的高い石油や石炭などの化石燃料の利用に走りすぎないように注意を促す可能性もある。

このような遠隔地からのエネルギー輸送に当たっては、送電ロスの問題を考慮して、電力よりも水素に変換して輸送した方が望ましいと言われている¹⁾。海外クリーンエネルギー輸送システムのイメージを図-1に示す。エネルギー媒体として水素を用いる場合、媒体が輸送・貯蔵時において液体であること、輸送効率が高いこと、技術が既に確立しているものが多いことなどの観点から以下のものが考えられる²⁾³⁾。

- ①液体水素にして低温タンカーで輸送する。
- ②メタノールにして輸送する。
- ③シクロヘキサンにして輸送する。
- ④アンモニアにして輸送する。

本報告では有機水素化物であるメタノール、シクロヘキサンについて述べる。

2. 水電解法による水素製造技術

本論に入る前に、電力から水素への変換技術である水電解法の現状について述べる。

現在の水電解プラントの多くは安価な電力が得られる水力発電所の近くに立地しており、世界最大のプラントは1980年に設備更新が終了したエジプトのアスワンにあるプラントで33,000Nm³/hの水素製造能力を有する。表1に大規模水電気解プラントの例を示す⁴⁾。代表的商業用電解槽は電解質として25~30% KOH溶液を用い、平均的性能は、電解温度80℃、電流密度20 A/dm²においてセル電圧1.8~2.1V、電力原単位は4.8KWh/Nm³程度である。エネルギー媒体としての水素を製造する方法として商業用水電解プラントを考えた場合、その性能では不十分であり、

①セル電圧を低下させ、エネルギー変換効率と電力原単位の向上を図る。

②電流密度を大幅に増大させ、小型大容量化と固定費の低減を図る。

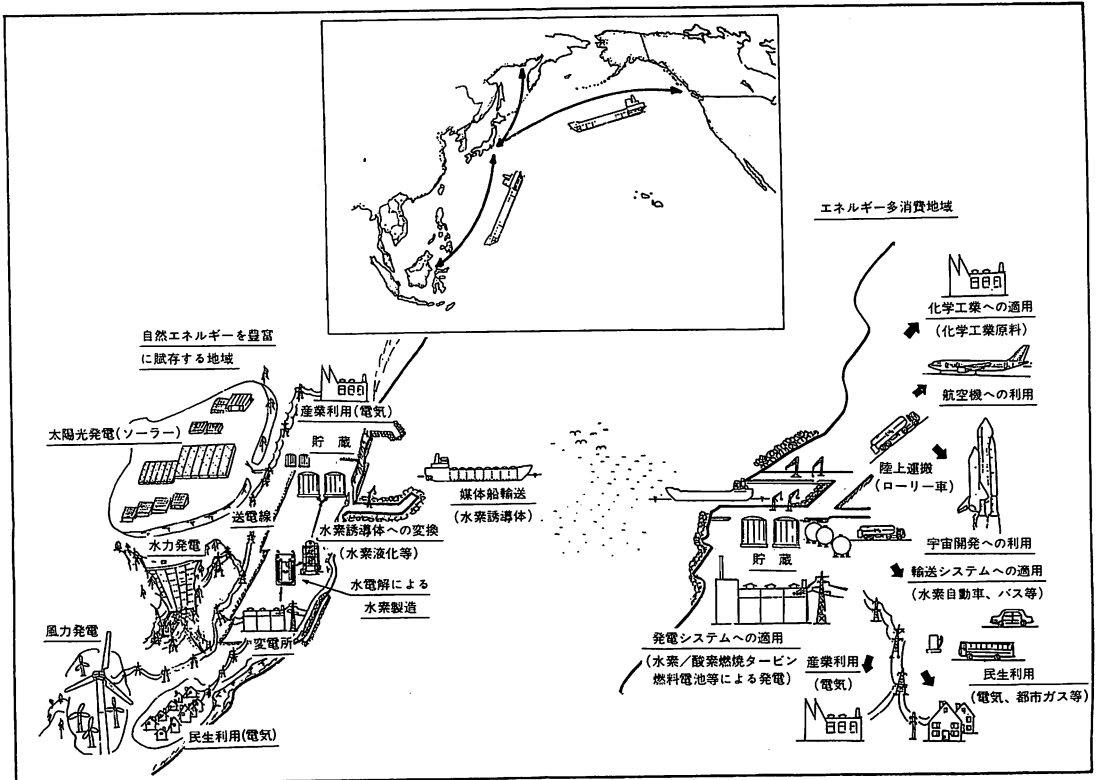
の2点を技術開発課題として新たな研究開発が進められている。

このような目的での新しい水電解法として、改良型アルカリ水電解法、固体高分子電解質水電解法及び高温水蒸気電解法が検討されている。

2.1 改良型アルカリ水電解

この水電解法の開発は欧州を中心に、米国、カナダ、ブラジルにおいて盛んであり、日本ではサンシャイン計画で「高温高圧アルカリ水電解のパイロットプラントの開発」が1974~1983年度までなされた⁵⁾。電解温度が高くなると理論分解電圧、過電圧、溶液と隔膜の抵抗が下がり、セル電圧を低下させることができる。しかし、高濃度アルカリ溶液による腐食性が著しく増加するため、耐食性の材料開発が重要な課題となる。筆者等大阪工業技術試験所は電極と隔膜の開発に携わり、電極として表面拡大電極、隔膜としてチタン酸カ

*大阪工業技術試験所 エネルギー技術研究調整官
〒563 池田市緑丘1-8-31



サイクル名称	各輸送サイクル		利用の主形態
	輸送媒体の形態		
	(海外→国内)	(国内→海外)	(国内)
①液体水素サイクル	LH ₂	-	LH ₂
②メタノール/CO ₂ サイクル	CH ₃ OH	CO ₂	CH ₃ OH
③メタノール/CO サイクル	CH ₃ OH	-	CH ₃ OH
④メタノール/ギサンメテルサイクル	CH ₃ OH	HCOOCH ₃	H ₂
⑤アンモニアサイクル	NH ₃	-	H ₂ , NH ₃
⑥シクロヘキサンサイクル	C ₆ H ₁₂	C ₆ H ₆	H ₂

図-1 海外クリーンエネルギー輸送システムイメージ³⁾

表1 大規模水電解プラントの例⁴⁾

場所(国名)	装置企業	水素製造能力(Nm ³ /h)	電解電力(MW)
Aswan (Egypt)	Brown Boveri	33,000	182
Nangal (India)	DeNora	30,000	165
Ryukin (Norway)	Norsk Hydro	27,900	153
Ghomfjord (Norway)	Norsk Hydro	27,100	149
Trail (Canada)	Trail	15,200	84

り含浸PTFE膜を開発し⁶⁾, 100KW規模で電解温度120°C, 圧力20気圧, 電流密度40A/dm²でセル電圧1.73~1.78Vと当時最高レベルの性能を実証した。

2.2 固体高分子電解質水電解

この電解のアルカリ水電解と比較した特徴は①腐食性の電解液が不要で, 装置材料の選択及び保守・保安

が容易でシステムが簡略化できる。②多孔質でない膜で両極室が隔てられているため差圧に耐え装置化が容易。③電極間に生成ガスが介在しないためガス抵抗がなく, 高電流密度電解が可能。④ガス純度が高いなどである。一方, セルが固体同志の接触から構成され, かつ, 周囲が非伝導性の純水であるため膜—電極—給

電体間で接触抵抗が生じやすい。膜が強酸性であるため電極が白金族金属系の耐酸性材料に限定されるなどの問題があり、膜—電極接合体の製造法や電極触媒量の低減、給電体の開発などを含めた電解槽構成技術が重要な開発課題になる。

この電解は、GE社の独占技術であったため比較的小さい研究機関でしか研究開発が行われていない。米国ではGE社から移行したUT社（Hamilton Standard部）で、スイスではBroun Boveri社等で行われている。日本ではサンシャイン計画の中で1975年から大阪工業技術試験所が基礎研究、5KW規模を経て、商業用電解槽の10倍の電流密度にあたる200A/dm²において十分な耐久性を持つ高電流密度電解技術の開発を継続的に行っている⁷⁾。

2.3 高温水蒸気電解

水電解に必要なエネルギーのうち、電気エネルギー分である理論分解電圧が高温ほど低下し（1,000℃で0.9V）直接利用できる熱エネルギー分が増える。その結果、熱→電気→水素の変換プロセスの総合効率を考慮すれば、熱を直接利用できる分だけ一般の水電解より総合効率が高くなる可能性がある。

この電解は、Dornier System-Lurgi社（ドイツ）⁸⁾とWestinghouse社（米国）⁹⁾で研究されており、前者では2KW規模の電解槽の試験を行い997℃、37A/dm²において1.32V、後者は単セルで試験を行い1,000℃、10A/dm²で1.05V、60A/dm²で1.55Vの性能を得ている。日本では原子力研究所¹⁰⁾およびサンシャイン計画において、大阪工業技術試験所¹¹⁾で基礎研究が進められている。このように高温水蒸気電解は最も高効率を期待できる電解法であるが、技術達成度が低く、いまだ基礎研究段階にあるといえる。

要素技術の達成度等から近未来に開発が可能という観点からは、改良型アルカリ水電解と固体高分子電解質水電解が候補になると思われる。

3. 有機水素化物の形態での輸送

先に挙げたメタノール、シクロヘキサンの輸送技術について、その概要を述べ、技術的成熟度及び経済性の比較評価結果についても述べる。

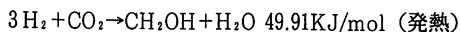
3.1 メタノールサイクル

メタノールサイクルとして図-2～図-4に示した3つのサイクルが考えられる。メタノール輸送については1981年～1985年度に亘って検討されたことがある¹²⁾。その時は、天然ガス、石炭等の多用な原料を輸送する

媒体として考えられており環境影響、化学物質毒性試験等についても検討された。しかし、水素の媒体としては検討されなかった。

(1) メタノール/CO₂サイクル

海外において、水電解で得られた水素と二酸化炭素を次式の反応式で合成し、貯蔵タンク基地に貯蔵された後、

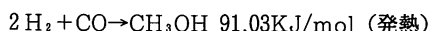


輸送タンカーで国内に輸送され、貯蔵タンクに一時貯蔵後、需要先へ送られる。そこで発生した二酸化炭素は回収、液化し海外のメタノール合成プラントに輸送される（図-2参照）。

メタノールは常温・常圧で液体であるため輸送貯蔵は容易で、そのハンドリング技術は確立されている。しかし、メタノール合成で、原料として一般に使用されているのは天然ガスの改質で得られる一酸化炭素と水素の混合ガスであって、二酸化炭素からのメタノール合成は実用化されてなく、今後の技術開発課題である。大阪工業技術試験所では二酸化炭素からのメタノール合成の触媒¹³⁾開発等基礎的研究を行っている。また、二酸化炭素の回収、液化、貯蔵にはかなりのコストを要する。

(2) メタノール/COサイクル

二酸化炭素の国内での回収を行わないで、海外で炭素資源を調達し（この場合炭素資源は石炭）、この石炭を水電解で得られる酸素を用い部分酸化による石炭のガス化を行い、一酸化炭素リッチなガス化ガスを得る。この一酸化炭素と水素を次式で反応させメタノールを合成する（図-3参照）。



一酸化炭素からのメタノール合成技術は既存の技術が適用できる。石炭ガス化による一酸化炭素の生成技術は古くから技術としては存在するが、効率の点など改善の余地が多く現在研究開発が進められている。石炭ガス化による一酸化炭素コストに若干不明瞭な点が残るとしても、二酸化炭素でなく一酸化炭素を発生させて電解水素を固定するため、メタノール製造時における水素コストが削減できたり、二酸化炭素の回収等のコストが大幅に低減できる等利点が多い。

(3) メタノール/ギ酸メチルサイクル

比較的ハンドリング特性のよいメタノールとギ酸メチルの形で海外と国内を結んだ輸送システムである。水電解で得られた水素を用いてギ酸メチルを次式に従い水添しメタノールにし国内へ輸送する。国内では次

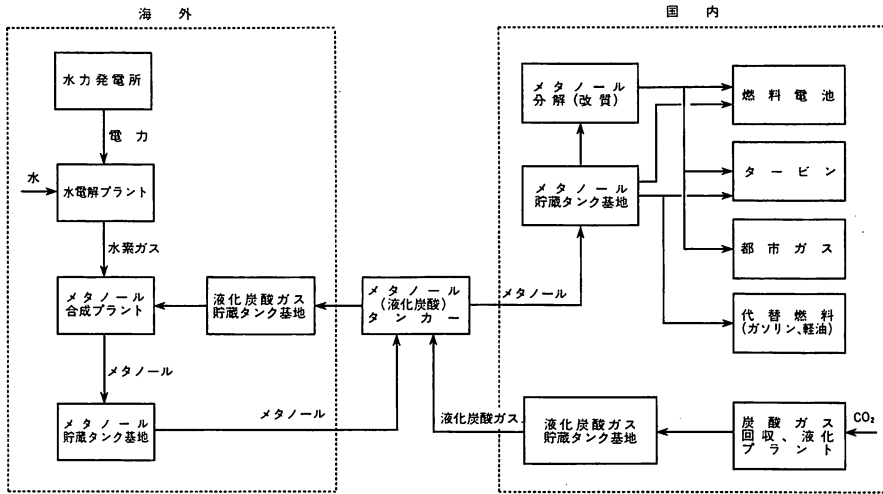


図-2 メタノール/CO₂サイクルの輸送システム³⁾

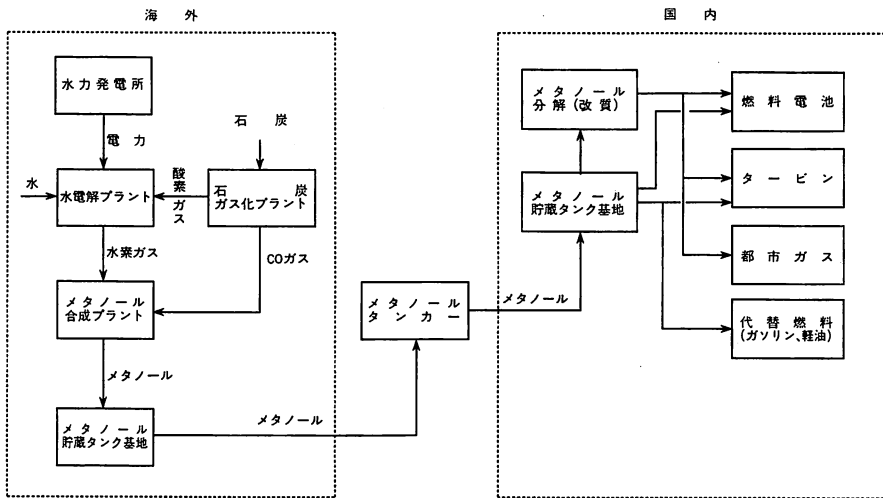


図-3 メタノール/COサイクルの輸送システム³⁾

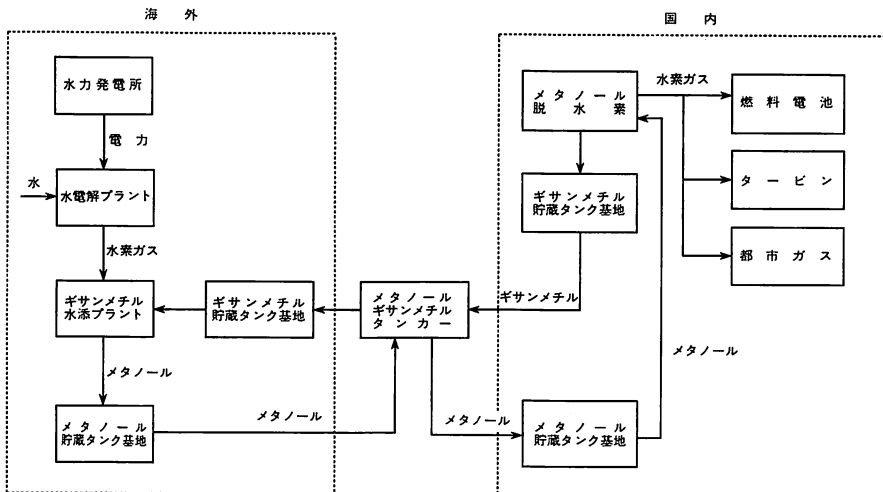
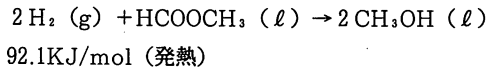
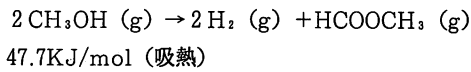


図-4 メタノール/ギサンメチル・サイクルの輸送システム³⁾



式のようなメタノールの脱水素反応を行い水素を得、



ギ酸メチルは海外へ輸送する (図-4参照)。

ギ酸メチルの水添反応は非常に容易な反応であって副反応もほとんどなくCu-Cr系触媒で140~185℃の液相で高選択率でメタノールが得られる。しかし、いまだ実用装置としての実施例はない。国内で行われるメタノールの脱水素反応は実用装置での実績がある。しかし、平衡上高温が望ましいため副反応が起りやすくなり、高活性かつ高選択率の触媒開発が課題とし

に残っている。

3.2 シクロヘキサン/ベンゼンサイクル

海外では水電解により得られた水素は、ベンゼンと反応しシクロヘキサンとし国内へ輸送する。国内ではシクロヘキサンの脱水素反応を行い水素を得、生成するベンゼンは海外へ輸送する (図-5参照)。

ベンゼン及びシクロヘキサンは大量貯蔵、輸送等の取扱いが容易で、実績もあり技術的にも安全面でもコンセンサスの得やすいサイクルである。ベンゼンの水素化プロセスはナイロン製造プロセスとして確立しており、既に多くの商用プラントが稼働している。しかし、脱水素反応プロセスについては吸熱反応で熱の供給が必要であり、工業化されたものはなく、化学技術研究所³⁾で基礎研究が行われている段階である。

我が国だけでなく、欧州とカナダの間でも水素を媒

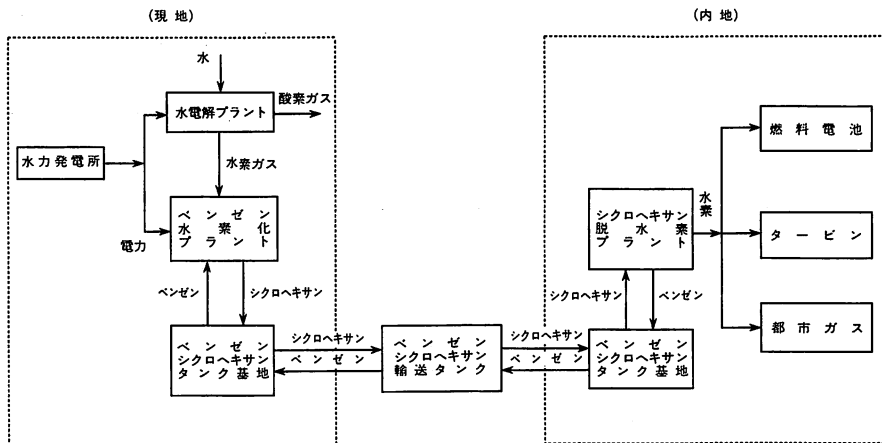


図-5 シクロヘキサンサイクルの概念図³⁾

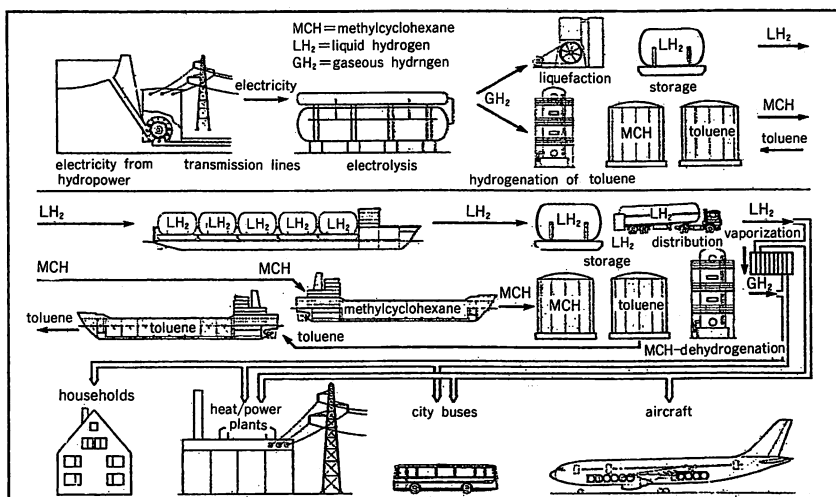


図-6 Project diagram showing two transport systems and various applications¹⁴⁾

方式	サイクル (海外) (国内)	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	<p>メタノール (CO₂回収) - メタノール/炭酸ガス 兼用船 (CH₃OH)</p> <p>電 → 水電解 → H₂ → メタノール製造 → タンク → タンク → メタノール分解 → H₂, CO₂, CO → 利用技術 → CO₂ → CO₂回収 → 液化CO₂ → タンク → タンク → (L-CO₂) → タンク → メタノール製造</p>	<p>メタノール (CH₃OH) 常温、常圧</p> <p>液体CO₂ (L-CO₂) -50° C、 7atm</p>	<p>68% (81%) *2</p>	<p>現地 3H₂ + CO₂ → CH₃OH + H₂O</p> <p>国内 CH₃OH + H₂O → 3H₂ + CO₂ ↓ 回収</p>	<p>(1) 輸送・貯蔵が安全・容易</p> <p>(2) 海外・国内ともCO₂の発生がない。(CO₂全量回収時)</p>	<p>(1) 炭素源としてCO₂回収、リサイクル技術が必要</p> <p>(2) CO₂からのメタノール製造技術開発要</p>
2	<p>メタノール (石炭ガス化) - メタノール船 (CH₃OH)</p> <p>電 → 水電解 → H₂ → メタノール製造 → タンク → タンク → メタノール分解 → H₂, CO₂, CO → 利用技術 → CO₂</p> <p>石炭 → 石炭ガス化 → CO, H₂ → メタノール製造</p>	<p>メタノール (CH₃OH) 常温、常圧</p>	<p>66% (78%) *2</p>	<p>現地 2H₂ + CO → CH₃OH</p> <p>国内 CH₃OH + H₂O → 3H₂ + CO₂</p>	<p>(1) 輸送・貯蔵が安全・容易</p> <p>(2) メタノール生産の実用規模プラント実績あり。</p>	<p>(1) 炭素源として化石燃料 (石炭ガス化の技術) が必要</p> <p>(2) 国内でCO₂の発生がある</p>
3	<p>メタノール・蟻酸メチル - メタノール/蟻酸メチル 兼用船 (CH₃OH)</p> <p>電 → 水電解 → H₂ → メタノール製造 → タンク → タンク → メタノール脱水素 → H₂ → 利用技術</p> <p>メタノール製造 → タンク → タンク → (HCOOCH₃) → タンク → タンク → メタノール脱水素 → H₂ → 利用技術</p>	<p>メタノール 常温、常圧</p> <p>蟻酸メチル 常温、常圧</p>	<p>69% (82%) *2</p>	<p>現地 2H₂ + HCOOCH₃ → 2CH₃OH</p> <p>国内 2CH₃OH → 2H₂ + HCOOCH₃</p>	<p>(1) 輸送・貯蔵が安全・容易</p> <p>(2) 輸送効率が高い</p> <p>(3) 国内でのメタノールから水素と蟻酸メチル製造技術は実績あり</p>	<p>(1) 海外での蟻酸メチルの水素添加技術の開発</p>
4	<p>シクロヘキサン - ベンゼン/シクロヘキサン 兼用船 (C₆H₁₂)</p> <p>電 → 水電解 → H₂ → シクロヘキサン製造 → タンク → タンク → シクロヘキサン脱水素 → H₂ → 利用技術</p> <p>シクロヘキサン製造 → タンク → タンク → (C₆H₆) → タンク → タンク → シクロヘキサン脱水素 → H₂ → 利用技術</p>	<p>シクロヘキサン (C₆H₁₂) 常温、常圧</p> <p>ベンゼン (C₆H₆) 常温、常圧</p>	<p>60% (79%) *2</p>	<p>現地 3H₂ + C₆H₆ → C₆H₁₂</p> <p>国内 C₆H₁₂ → 3H₂ + C₆H₆</p>	<p>(1) 媒体の大量輸送・貯蔵は実績あり安全</p> <p>(2) ベンゼンからのシロヘキサンの生産は実績あり</p> <p>(3) 発電発熱の利用により電力原単位向上</p>	<p>(1) シクロヘキサン脱水素反応器の開発</p> <p>(2) 脱水素/複合発電システムの開発</p>

* 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し引いた値)

* 2. 改質, 分解エネルギーを考慮せぬ値

図-7 技術内容比較検討³⁾

体とするエネルギー輸送計画がある¹⁰⁾。このプロジェクトは「Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project」(図-6)といい、カナダの豊富な水力で発電し、そのエネルギーを水電解により水素を大量生産し、液体水素あるいはメチルシクロヘキサンの形態で大西洋を越え欧州まで輸送するという計画である。カナダ州政府、EC 6ヶ国および企業20社(大半はドイツ企業)が参加し、カナダ、ケベック州、セントローレンス川沿いに100MW級の水力発電設備の建設、液体水素かメチルシクロヘキサンかの技術的選択などの第2期フィージビリティ・スタディーを終了した。その結果、①液体水素の需要が多く、メチルシクロヘキサンから脱水素してさらに液化したのでは経済性において不利である。②メチルシクロヘキサンからの脱水素に要するエネルギー割合が多く、その反応を輸入国側で行う事の不利益。③液体水素のboil offによるlossを発生しない海上輸送が考えられたことにより液体水素による形態で輸送することに決められた。しかし、メチルシクロヘキサンは長期保存に適していること及び気体水素が望ましい需要も存在していることから、commercial plant段階では液体水素とメチルシクロヘキサンの併用の可能性は大いに考えられる。

我が国ではシクロヘキサンを検討しており、Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Projectではメチルシクロヘキサンを検討しているが、例えば人体への影響については、シクロヘキサンの方がメチルシクロヘキサンより影響が少ないなどその優劣を含めて特徴など検討すべき課題がある。

3.3 技術的内容比較

各サイクルの特長、課題等比較結果を図-7に示す。メタノール/CO₂サイクル以外は輸送・貯蔵条件が常温・常圧である点好ましいといえる。改質、分解エネルギーを差し引いたエネルギー輸送効率はシクロヘキサン/ベンゼンサイクルが60%と僅かに低いメタノール系はほぼ同程度の効率を示した。

技術的成熟度はメタノール/CO₂サイクルが最も高い。メタノール/CO₂サイクルの場合CO₂の分離・回収技術及びCO₂からのメタノール製造技術の開発が、メタノール/ギ酸メチルサイクルの場合メタノールの脱水素反応及びギ酸メチルの水素添加反応の両方に技術開発が、シクロヘキサン/ベンゼンサイクルではシクロヘキサンの脱水素反応の技術開発が必要である点技術的成熟度では低いと考えられる。

以上の比較結果から、短期的にはメタノール/CO₂サ

イクルが候補として考えられる。長期的にどのサイクルが候補として挙がるかは、技術的課題が解決されるかどうかにかかっており不明な点はまだ多くある。

4. まとめ

クリーンエネルギーを有機水素化合物の形態で輸送する技術について「平成元年度海外クリーンエネルギー輸送技術に関する調査研究報告書²⁾」及び「石油代替エネルギー等の輸送技術に関する調査³⁾」をもとに紹介した。

10年ほど前にも工業技術院では、水力発電潜在力が大きいブラジルから水素を輸入する「サザンクロス計画」を検討し、ブラジルへの現地調査及び水電解プラント建設の入札に応じるところまでいったが、実績不足で他国に敗れ“夢物語”に終わった経緯がある。

この時のことを反省材料にして、我が国だけの問題として考えるのではなく、先進国、途上国をとわず国際的な視点に立っての技術開発に取り組み、今こそ実現させねばならない段階にきたといえる。

文 献

- 1) D. P. Gregory, assisted by P. J. Anderson, R. J. Duffour, R. H. Elkins, W. J. D. Escher, R. B. Foster, G. M. Long, J. Wurm, G. G. Yie, "A Hydrogen-Energy System", prepared for the American Gas Association by the Institute of Gas Technology, Chicago, August (1972), P. X-22.
- 2) 「平成元年度海外クリーンエネルギー輸送技術に関する調査研究報告書」(財)エンジニアリング振興協会(平成2年3月)。
- 3) 「石油代替エネルギー等の輸送技術に関する調査」新エネルギー・産業技術総合開発機構, (財)エンジニアリング振興協会(平成3年3月)。
- 4) J. O. M. Bockris, B. E. Conway, E. Yeager, R. E. White, eds, "Comprehensive Treatise of Electrochemistry" Vol. 2, P. 1~104, Plenum Press (1981).
- 5) 「サンシャイン計画成果報告書概要集」工業技術院(昭和49年~58年)。
- 6) 若林 昇, 川見洋二, 竹中啓恭, 鳥養栄一, 大阪工業技術試験所報告 第364号(1984)。
- 7) 例えば竹中啓恭, 鳥養栄一, 川見洋二, 若林 昇, 境哲男, 電気化学 52, P. 351(1984)及び53, P. 261(1985); 竹中啓恭, 川見洋二, 若林 昇, 上原 斎, 元根正晴 第14回ソーダ工業技術討論会要旨集 P. 21(1990)。
- 8) W. Donitz, G. Dietrich, E. Erdle, R. Streicher, "Proc. the 6th WHEC" Vienna Vol. 1 P. 271(1986)。
- 9) N. J. Maskalik, D. Zuckerbrod, G. R. Folser, R. R. Jensen BNL 41002R (1988)。
- 10) 「高温工学試験研究の現状 1990年」日本原子力研究所平成2年11月 P. 134。

- 11) N. Wakabayashi, O. Yamamoto, Solid State Ionics., Vol. 28~30, P. 1510 (1988).
- 12) 例えば「メタノール燃料に関する調査研究—発電用燃料としての可能性について—」(勸エネルギー総合工学研究所(昭和56年3月)); 「米国と欧州におけるメタノールの発電利用等に関する海外調査」新エネルギー総合開発機構, (勸エネルギー総合工学研究所(昭和57年7月)); 「海外資源供給可能量調査」(勸日本エネルギー経済研究所, (勸エネルギー総合工学研究所(昭和57年8月)).
- 13) M. Fujiwara, Y. Souma, J. Chem. Soc., Chem. Commun., P. 767 (1992).
- 14) "Solar Hydrogen-Energy Carrier for the Future" Prepared by the German Aerospace Research Establishment (DLR), the Solar and Hydrogen Energy Research Center (ZSW) and the Ministry of Economic Affairs and Technology for the State of Baden-Württemberg, Stuttgart, March (1989) P. 29.

他団体ニュース

“地球環境問題の解決を目指して……”

決定「RITE 優秀研究企画」

(勸地球環境産業技術研究機構(RITE)では、平成4年度は二酸化炭素、メタン等の温室効果ガスに対象を絞り、内外の研究者から研究企画提案を募集しておりましたが、このほど、選定結果がまとまりましたので、お知らせいたします。

1. 選定経緯等

- 1) 提案募集……平成3年12月、学会誌、情報誌、通産省公報および新聞等に募集案内を掲載するとともに、大学、研究機関等には直接送付、外国には、英国科学雑誌「Nature」に掲載する一方、英文で在日大使館(約100ヶ所)に送付した。
- 2) 応募状況……国内外から92件(国内57件、国外35件)の応募があった。
- 3) 審査……RITE内に分野別専門家の技術評価分科会(17名、非公表)を設置し、評価・審査を実施。一次(書面)、二次(面接)審査を実施し、新規7件、継続8件の計15件の採択を決定。

2. RITE優秀研究企画

<新規分>

No.	分類	代表提案者氏名	提案テーマ名
1	化学	相田 卓三 (東大・工・助教授)	可視光のエネルギーを利用する二酸化炭素の高効率変換反応
2	バイオ	大森 正之 (東大・教養・教授)	効率的炭酸固定藻類の作出を旨としたc-AMP情報伝達系の研究
3	化学	菊地 英一 (早大・理工・教授)	高性能水素透過膜を組み込んだ新しい合成ガス製造プロセスの研究
4	化学	木村 尚史 (東大・工・教授)	量子化学計算による無機分離膜設計とその製膜に関する研究
5	バイオ	福澤 秀哉 (京大・農・助手)	無機炭素濃縮機構を用いた植物の炭素固定能の遺伝子工学的改良
6	システム等	Selwyn Tucker CSIRO Division of Building, Construction and Engineering	The Environmental Impact of Energy Embodied in Construction (建設に組み込まれたエネルギーの環境に及ぼす波及的影響)
7	システム等	Timothy M. Vogel The University of Michigan	Anaerobic/Aerobic Sequential Biodegradation of Tetrachloroethylene (テトラクロロエチレン(PCE)の嫌氣的または好氣的逐次生物分解)

<継続分>

8	バイオ	泉井 桂 (京大・理・助教授)	遺伝子操作による光合成生物の炭酸固定能の増強
9	バイオ	大山 莞爾 (京大・農・教授)	地球温暖化防止のための生物学的アプローチ ——光合成能の向上——
10	システム等	近藤 雅臣 (阪大・薬・教授)	バイオスフェア・システム開発のための基礎的研究 ——モデル生態系における物質循環——
11	化学	津田 鉄雄 (京大・工・助教授)	遷移金属錯体触媒を用いるアセチレン化合物への二酸化炭素固定による有用物質合成
12	バイオ	森 敏 (東大・農・助教授)	鉄欠乏耐性植物の創作と地球緑化
13	バイオ	森川 弘道 (広大・理・教授)	好大気汚染物質植物 (Air-Pollutant-Philic Plant) の開発による地球環境改善に関する研究
14	化学	山中千代衛 (勸レーザー技術総研・所長)	半導体クラスター及び錯体芳香環化合物による光合成的炭酸ガス固定システムの構築
15	システム等	S.C.Jarvis AFRC Institute of Grassland and Environmental Research (英国農業食糧研究会 草草地環境研究所)	Methane and the Environment : systems development to enhance the capacity of agricultural soils to provide sinks for methane (メタンと環境 : 農業用土壌のメタン吸収能を高めるためのシステム開発)