

水素をエネルギー輸送媒体とする国のシステム化研究
— エコ・エネルギー都市システム等について —

佐藤 眞士

物質工学工業技術研究所

〒305 つくば市東1-1

Systematization Projects using Hydrogen for Energy Transportation

SATO Masahito

In the New Sunshine Program, systematization projects on an effective compound network system have been carried out for achieving reduction of fossil fuel consumption and protecting the global environment. Hydrogen technologies are developed as the key technologies, especially as the energy transportation media in these projects. The concept of the projects will be introduced with expectation of the comments from the hydrogen research experts.

1. はじめに

人類社会の「持続可能な発展」という命題が、エネルギー資源問題また、地球環境問題から発せられて久しい。社会の発展は経済の発展によって保障され、経済は生産活動によって、生産活動はエネルギーによって保障されると極めて単純化した図式が描ける。この図式から「持続可能な社会の発展」という命題には、これを保障する重要な要素として、発展に見合ったエネルギーの供給可能性が前提にされている。しかし、エネルギー資源側の問題意識からすると、むしろ「発展」どころではなく、「持続可能な社会」さえも保障するに足だけのエネルギーを、現在の地球環境問題をはじめとする諸問題を克服しつつ、将来に亘って供給できる見通しさえ明示し得ていず、その方策を探っているというのが現状である。

これに対応して通産省ではエネルギー分野の技術開発として、ニューサンシャイン計画を平成5年度に発足させ、これまで「サンシャイン計画」「ムーンライト計画」「地球環境対策技術」として個別対応技術開発であったものをエネルギー領域と環境領域とを総合的にとらえた技術開発を行う制度に装いを新たにした。そして、総合的技術開発の形態として新たに「システム化技術」開発分野を設け、そのプロジェクトとして「広域エネルギー利用ネットワークシステム（エコ・エネルギー都市システム）」と「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術（WE-NET）」とが取り挙げられた。この2つのプロジェクトはいずれもエネルギー輸送を重要研究開発課題にしており、水素がエネルギー輸送媒体として利用される内容を含んでいる。水素エネルギー研究者の皆さんの忌憚ないご意見をいただけることを期待し、この概要と物質研が関わっている研究部分とについて紹介する。

また、この水素エネルギー技術は地球温暖化対策技術としての「接触水素化反応利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発」にも共通するところが多く、これについてもその概要を紹介し、国のプロジェクトにおいて水素関連技術がエ

エネルギー・環境総合技術開発のキーテクノロジーとして極めて重要な位置にあることを示し、水素エネルギー研究会の皆さんの一層の協力を得られることを期待する。

2. 広域エネルギー利用ネットワークシステム（エコ・エネルギー都市システム）

2. 1 概要

図1にエコ・エネルギー都市システムで描いているネットワークシステムを示す。中央には都市内の熱利用ネットワークシステムが、いわゆる地域冷暖房システムで構成された熱のユーザーへの分散供給を主としたシステムとして置かれている。ここに熱を供給するネットワークシステムとして、各熱源ごとに、工場排熱に基づく工場地域ネットワークシステム、都市ごみ焼却熱等に基づく都市廃棄物利用ネットワークシステム、コジェネレーション等分散型発電システムに基づく都市エネルギー施設ネットワークシステムが階層的に結合している。これら個々のネットワークシステムはより小さな個々のネットワークシステムの熱ユーザーをもち、地域熱供給システムを構成している。そして、それらが全体として都市内ネットワークシステムへ熱を供給する構成をもって結合し、一大都市熱供給ネットワークシステムを形成している。これが、都市の未利用熱を徹底回収し、高効率に利用しようとするエコ・エネルギー都市システムの概念を示している。このようなシステムを実現していくためには一挙にネットワークを構成するのではなく、個々の熱源に基づくネットワークを構成しながら、それらを結合し、次第に全体のネットワークシステムに仕上げていく筋道が合理的である。ということは技術的に個々の熱源に基づいたネットワークシステムの構成を可能にすることが必要で、そのための技術開発を行う必要がある。

2. 2 水素系ネットワークシステム

以上のようなエコ・エネルギー都市システムを支える技術開発の例として熱回収、熱輸送、熱利用技術が一体化された水素系ネットワークシステムについてその概念を紹介する。

エコ・エネルギー都市システムの概念を実現するためには、都市内の様々な熱源を利用し、冷房、暖房等の様々な温度レベルの熱を供給しなければならない性格が、さらには、ネットワークとして結合していくことを可能にする技術システムであることが求められる。このためには熱輸送ラインの規格化が重要な技術的要点になる。これは電力の場合を例に考えると解り易い。電力は電圧と周波数が規格化されているので、これにさえ合わせれば、余剰電力のあるところでは送電線に逆潮流をかければ電力を供給できるし、利用は規格にあった機器なら自由に接続可能である。これと同様の規格化が熱利用システムでもできれば、適用性は極めて高くなる。

水素系ネットワークシステムは規格化された圧力にある高圧、低圧の一对の水素パイプラインと金属水素化物とを組み合わせたもので、熱・水素圧変換を行う金属水素化物を選択しさえすれば、温度レベルの選択が可能になる。ということは様々な熱源のヒートシンクとして対応できるし、様々な熱供給を行うことも可能になる。

図2は水素系ネットワークを示した。複数の熱源をもち、また、複数の熱利用システムをもつシステムが、従来型の水蓄熱システムを接続して、給湯用の80～60℃、暖房用の45～40℃、冷房用7℃、冷凍あるいは水蓄熱用の-20℃、特殊冷凍用の-60℃といった各種の温度レベルの利用に対応している概念

図である。これはこのような大きなシステムではなく、ビルへの熱供給から地域冷暖房システム、工場地域等の各熱源対応のネットワークシステムなどスケールに応じてシステムに柔軟に対応可能なものである。

さらに将来的には、こうした水素パイプラインが都市内にあれば、分散型高効率発電システムとして期待されている燃料電池、あるいは都市内交通機関としての水素自動車への燃料供給、天然ガス枯渇後の都市ガスとして各家庭への燃料としての水素供給が可能になり、将来のまさに水素エネルギー社会における熱と燃料ガス供給のための都市エネルギー供給インフラストラクチャーとなることが想定されるものである。このためには今から工場地域内、あるいは地域冷暖房においてまず使われることを想定した、安全性を含めての技術開発が行われ、十分な実証的経験を積んでいくことが必要と思われる。とりわけ高性能な金属水素化物の開発が本システムの最も基本的な命題であり、ここに力点をおいた技術開発が実施されている。

3. 水素利用国際クリーンエネルギーシステム (WE-NET)

3. 1 概要

はじめに、本研究会で過去に本プロジェクトについてはプロジェクトの立案者であり、プロジェクトリーダーを努めておられる福田氏によって詳細に報告された経緯があるとのことで、物質研化学システム部が関わっているエネルギー輸送に関する極く概要を紹介するととどめることをお断りしておく。

太陽光や水力など世界的に見た場合に未利用な再生可能エネルギーを利用して、効率的な水電解技術によって水素を製造、輸送し、エネルギー需要地で利用するための技術開発を総合的に実施しようとするものである。その概念を水素の化学媒体輸送技術を中心にして図3に示した。人類社会の持続可能性を保証する技術システムとしての地球規模でのエネルギーネットワークの構築を目指すもので、水電解技術の高効率化、エネルギー輸送技術開発とその高効率化、水素エネルギー利用技術開発とその高効率化など、幅広い技術開発をその課題とするものである。なかでも、エネルギー輸送が特に問題で、電力を如何にして効率よく経済性をもって、数千キロも送りうるかということが、本技術開発の基本的問題設定の一つになっている。すなわち、エネルギー輸送は船舶による海上輸送にあるとされ、電力変換の特性、輸送・貯蔵特性、利用特性等を総合し、その第一候補としての水素利用が浮かび上がったものである。

このエネルギー輸送媒体を液化水素とした場合のシステム解析がなされている。それによると水力発電によりシステムに投入された電力に対して、1万km離れた需要地に約70%のエネルギー効率で供給できること、これを水素燃焼タービン発電(1000MW)によって電力に変換すると得られるものが約38%となる³⁾ことが試算され、この目標を達成するための技術開発が鋭意進められている。

3. 2 水素エネルギーの輸送媒体

水素輸送媒体との候補物質の特性を表1に示した。このうちシクロヘキサン、メタノールは大気圧条件で液体であり、輸送、貯蔵に適している。むしろ、この場合には水素を化学媒体から取り出す過程が問題で、物質研では図3中に示したようにシクロヘキサンについてパラジウム系水素分離膜で構成したメンブレンリアクターを用いて、反応平衡の制約を受けない反応システムを構築するための研究を実施している。

図4は水素をパラジウム系金属膜で分離した場合の反応転化率を示す。20%

の転化率のところに反応平衡がある本反応が、メンブレンリアクターの採用によって、100%の脱水素反応も可能になることが示されている。

この研究の焦点は如何に高性能な水素透過膜を開発するかである。物質研では膜の耐久性を高めるためにパラジウム膜のアモルファス化、パラジウム合金膜の開発を試みている。また、水素透過性能を高めるために薄膜化が重要な要素であり、多孔質体表面への薄膜形成法等についても試みている。

4. 接触水素化反応利用二酸化炭素固定化・有効利用技術 (CO₂の化学的固定・利用)

4. 1 概要

化石燃料の消費により必然的に排出される地球温暖化ガスとしての二酸化炭素を太陽エネルギー等の再生可能エネルギーを用いて水素を製造し、これによって化学的に固定し、それを再利用しようとするものである。その概念を図5に示す。化石燃料を消費する火力発電所の排出ガスからCO₂を分離回収する一方、太陽エネルギーが豊富な砂漠地域では太陽電池による電力で水素を製造し、この水素とCO₂とからメタノールを合成して利用しようとするもので、水素輸送媒体をメタノールとするWE-NET構想と類似した概念をもつものである。

本プロジェクトがプロジェクト終了時の2000年時点の実用化技術開発を目指すものであるとするならば、WE-NETは、さらに高い目標をもった技術開発を、場合によっては基礎にまで立ち戻ることともいわず、実施しているものである。

4. 2 水素製造とCO₂からのメタノール合成

水の電気分解による水素製造は、電解性能に優れ、アルカリ型のように濃度差や気泡による抵抗因子がなく大電流による操作が可能とされる固体高分子型水電解法についての技術開発が実施されている。固体高分子であるイオン交換膜に耐食性と活性で優れた白金とイリジウムを化学メッキする技術や給電体開発により、電解性能が中間目標値(1995年度)の電流密度100A/dm²でエネルギー効率85%以上をほぼ満足する成果を挙げている。

CO₂の接触水素化によるメタノール合成については、活性の高い優れた触媒開発が決めてであり、COに較べて図6に示すように低温で活性があり、水も生成するためこの影響を受けにくい触媒開発が重要になる。触媒探索をCu系、貴金属系を中心に実施し、開発された触媒による性能を表2に示す。この触媒は反応温度250°C、圧力50atm、SV=10,000h⁻¹において、初期メタノール生成速度440~680g/(1・h)以上(2,000時間後500g/(1・h))で、メタノール選択率が99.8%以上である。

5. おわりに

以上見てきたように、人類社会の持続可能性を達成するためにはエネルギーと環境とを総合的にとらえた「システム化技術」開発が極めて重要であり、そうした国のプロジェクトにはいずれも水素が中核物質となっており、水素関連技術がキーテクノロジーであることを示してきたつもりである。

水素エネルギーに関心をもつ皆様の一層の強力なご協力をお願いしたい。

謝辞；この講演をするに当たり、発表者が直接的に関与していない技術開発については多くの方々の協力を得た。WE-NETに関しては福田健三氏(横国大教授、エネルギー総合工学研究所、プロジェクトマネージャー)、伊藤直次氏(物

質研主任研究官)に資料、OHPの提供を受けたことによって、また、CO₂の化学的固定に関しては丸山忠氏(RITE CO₂固定化等プロジェクト室技術部長)に全面的な資料、OHPの提供を受けたことによって可能になったものであり、ここに記し感謝の意を表するものである。

引用文献

- 1) ニューサンシャイン計画推進本部、「新しい都市エネルギーシステムの構築に向けて」(平成7年7月)
- 2) 福田健三、日本エネルギー学会誌、第73巻 2号 p.86(1994)
- 3) 福田健三、エネルギーレビュー(1995年7月号別刷)、p.12
- 4) 伊藤直次、高压ガス、Vol.32 (No.6)、478(1995)
- 5) RITE、RITE NOW、14、11(1995)
- 6) NEDO、「接触水素化反応利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発」中間評価報告書(公開用資料)(1995)

表1. 水素輸送媒体の特性²⁾

	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。

表2. メタノール合成反応ガス組成と選択率⁶⁾

組成	出口ガス組成(%)	選択率(mol%)
H ₂	70.6	-
CO ₂	17.2	-
CO	3.2	-
CH ₃ OH	4.5	99.88
CH ₄	0.0009	0.020
C ₂ H ₆	0.0018	0.040
CH ₃ OCH ₃	0.0027	0.060
H ₂ O	4.5	-
ガス副生成物合計		0.120

反応温度: 250°C 圧力: 50atm
触媒: 開発触媒 Cu/ZnO-ZrO₂-Al₂O₃-Ga₂O₃

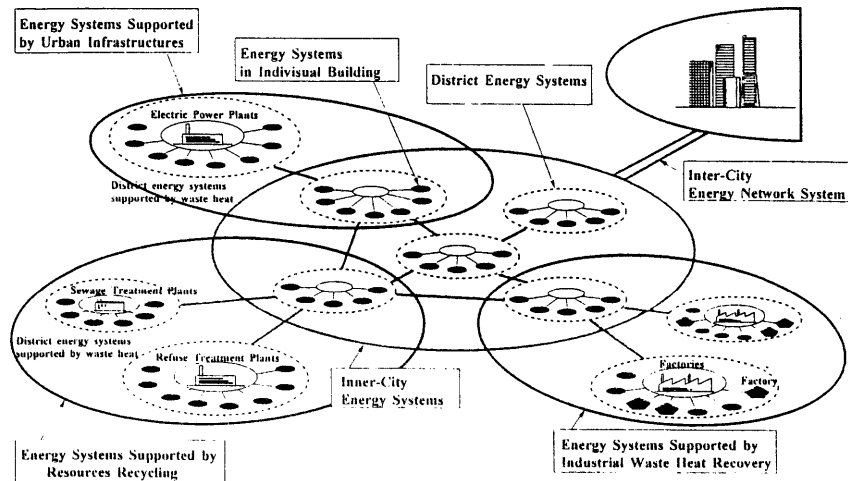


図1. エコ・エネルギー都市システムの概念図¹⁾

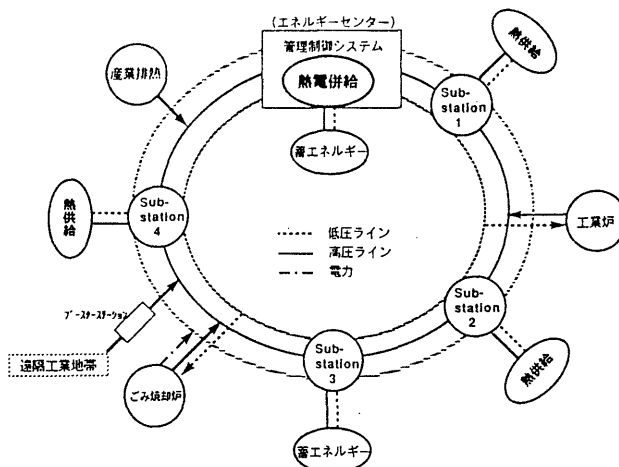


図 2. 水素ラインと金属水素化物による熱圧変換器で構成した熱利用ネットワークシステムの概念図

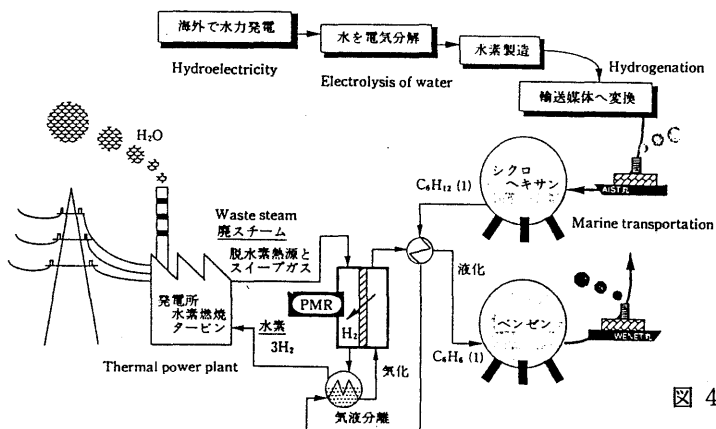


図 3. WE-NETシステムの概念図⁴⁾

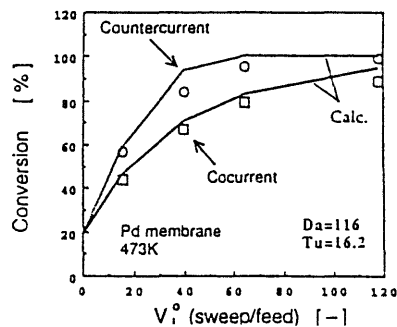


図 4. 水素透過膜反応器による反応転化率

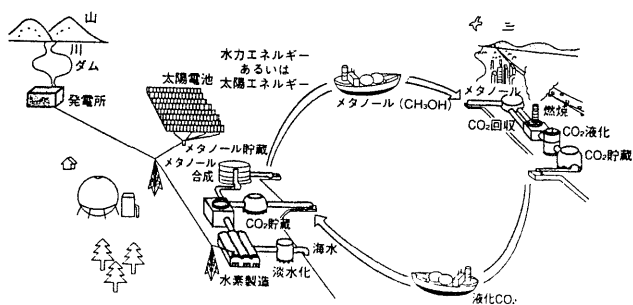


図 5. CO₂の化学的固定・利用システムの概念図⁵⁾

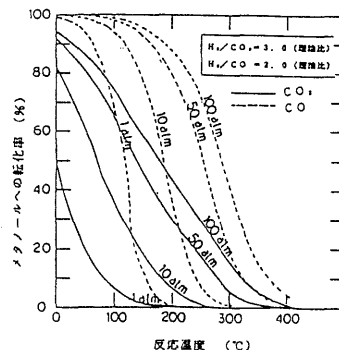


図 6. メタノール合成反応平衡図⁶⁾