

水素を利用するケミカルヒートポンプ

亀山秀雄

東京農工大学 小金井市中町2-24-16

Chemical Heat Pumps Using Hydrogen

Hideo Kameyama

Chemical heat pumps are processes which utilize the exo- and endo-thermic chemical reactions to store the industrial waste heat or the natural heat such as solar energy and to upgrade these heat by raising temperature or reducing it below the room temperature. The processes are useful because they enable us to use energy with high efficiency, to control working temperature easily and to store and transport energy in form of stable chemical substances without energy loss. This report includes principles and recent topics on research and development of chemical heat pumps using hydrogen.

1. はじめに

ヒートポンプ技術は、国際エネルギー機関(IEA)の勧告に見られるように、省エネルギー技術として大きな期待を寄せられている。今後、家庭用から業務用、産業用へと大型化するとともに、企業内から企業間そして地域社会とのエネルギー共同利用システムの中心的な技術として発展していくことが予想される。(財)ヒートポンプ技術開発センターの調査1)によれば、全国のヒートポンプ普及対象用途は、日本の全エネルギー消費の14%にも相当する。さらに、2000年までのヒートポンプ普及に伴う省エネルギー量は、全エネルギー消費の0.9~1.9%になると推定している。これは、全熱需要の8.8~16.2%をヒートポンプが負担することに相当する。図1に首都圏主要工場の排熱の状況を示す2)。この排熱を工場内でリサイクルする他に、比較的低い温度レベルの熱需要のある生活系で利用することができれば省エネルギー効果はより一層増大すると言える。

その中でヒートポンプ技術は、対応する熱源と利用先に対して柔軟性を持つことが必要とされる。すなわち、

- 1) 蓄熱機能による時間的ギャップへの対応
- 2) 排熱温度と利用熱温度のギャップへの対応
- 3) 数kwの小型から数万kwの大型まで設計できることによる規模的な対応
- 4) エネルギー輸送機能による熱の需要と供給の位置的ギャップへの対応
- 5) 高効率、高出力、コンパクトであることによる経済的評価への対応

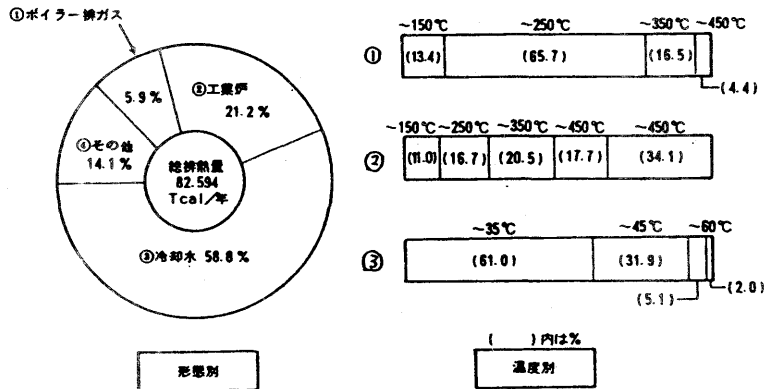


図1 首都圏主要工場の排熱状況

6) 出力調節が容易であることによる熱エネルギーの需給調節設備としての対応である。

ケミカルヒートポンプは、ヒートポンプに化学蓄熱が加わり、さらに吸熱・発熱現象に需要にあった種々の反応を利用できるのでヒートポンプの作動温度範囲を広げることができる。従って、従来のヒートポンプ技術をさらに発展させる上で今後の開発が望まれる技術と言える。ここでは、ケミカルヒートポンプの原理と開発状況を簡単に紹介してから、特に水素を使用する回分系（水素吸蔵合金系）と流体系（有機化学反応系）の特微的なケミカルヒートポンプの最近の研究動向について解説することにする。

2. ケミカルヒートポンプの作動原理

図2にヒートポンプのシステム構成を模式的に示す。ケミカルヒートポンプ（CHP）は、ヒートポンプに使われる可逆的な吸熱・発熱現象に化学的な種々の変化を利用している。化学的な変化としては、無機化学反応、有機化学反応、付加反応、吸着そして吸収などの現象を利用することが多い。そして、反応物質の濃度や圧力を変えて反応温度を制御することによりヒートポンプとしての機能を持たせるものである。濃度や圧力や反応温度の調節は、熱的な分離操作や反応操作または機械的な圧縮操作による外部仕事によって行う。仕事様式別に分類すると表1のようになる。

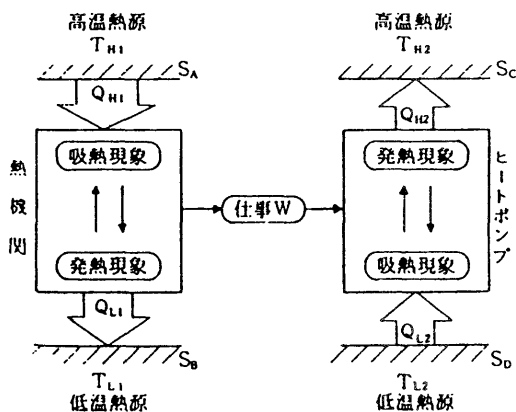


図2 熱機関とヒートポンプ

表1 ケミカルヒートポンプの仕事様式からみた分類

仕事様式	反応形態	例
圧縮	タイプI 1組の可逆反応と相変化の組み合わせ	LiBr水溶液の蒸気吸収
	タイプII 同一気体を反応生成物とする2組の可逆反応の組み合わせ	金属の水素吸収
分離	1組の可逆反応と混合生成物質の分離操作の組み合わせ	有機化合物の水素化
自由エネルギーサイクル)	3段の化学反応閉サイクルの構成 $\Delta G_1(T_H) = 0$ (発熱)、 $\Delta G_2(T_H) = 0$ (吸熱) $\Delta G_1(T_L) > 0$ (吸熱)、 $\Delta G_2(T_L) < 0$ (発熱) (熱化学 $\Delta G_1(T_L) + \Delta G_2(T_L) < 0$ (発熱) サイクル)	Δ -サイクル

作動モードは、3つに分類される。

昇温モード： $T_{H2} > T_{H1}$ 、 T_{L1} 、 $T_{L2} >$ 環境または冷却水温度
 増熱モード： $T_{H2} < T_{H1}$ 、 T_{L1} 、 $T_{L2} >$ 環境または冷却水温度
 冷凍モード： $T_{L2} <$ 環境または冷却水温度

ヒートポンプの作動気体の圧力と温度との関係を表現する時に $\ln P - 1/T$ 線図が使われる。ここでは、典型的な形を昇温モードの場合を例に図3に示す。2本の線図は、同じ作動気体についての2種類の可逆的な変化(気液平衡、反応平衡)を組み合わせたものである。中温 T_m の熱エネルギーを受けて、①で Q_1 の吸熱変化により圧力 P_1 の作動気体を発生し、温度 T_h まで熱交換されながら②の反応器側に移動する。②ではその気体と圧力 P_2 ($< P_1$) で反応平衡になる物質があり発熱反応が進行して高温 T_h の熱 Q_2 を放出する。反応生成物は、③の中温 T_m まで冷却され、そこで②と逆に熱 Q_2 を吸収して圧力 P_3 の作動気体を発生する。気体は、温度 T_1 まで熱交換されながら④の反応器に移動する。そこでは、作動気体と圧力 P_4 ($< P_3$) で平衡になる物質があり発熱変化が進行して熱 Q_1 を低温 T_1 で放出する。生成物は、①まで加熱および昇圧され、サイクルを終了する。以上の過程を繰り返すことにより、中温 T_m の熱エネルギー ($Q_1 + Q_2$) を吸収して、高温 T_h に Q_1 組み上げ、低温 T_1 に Q_2 放出する昇温モードのヒートポンプとなる。このサイクルを逆に回すと増熱モードや冷凍モードとなる。作動気体としてよく使用されるものは、水、アンモニア、水素、メタノール、メチルアミン、炭酸ガスなどである。これらの作動気体と可逆的に反応できる反応系が選ばれている。

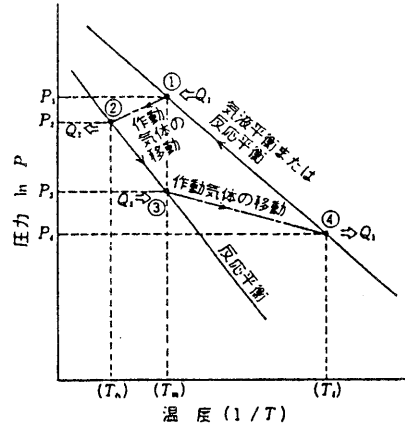


図3 昇温モードのケミカルヒートポンプの作動原理

3. 主な反応系と作動温度

現在提案されている反応系は、60種類を越えると言われている³⁾。表2に現在日本で開発中の主な反応系と開発主体を示す。企業と大学および研究所がほぼ同じ割合で行われていることから、CHPの技術はまだ研究開発途上にあるといえる。図4は、反応系の吸熱温度と発熱温度を反応別にプロットしたものである。企業の研究開発は冷凍モードに関心がある傾向にある。これらの中で実証もしくは商業レベルに達している例があるのは水素吸蔵合金系、吸着系、クラスレート系である。まだ研究開発中ではあるが、塩化カルシウム/メチルアミン系も夜間電力を活用する冷房用として実用化が期待されている。アセトン/水素/2-プロパノール系は、NEDOからの委託を受けて日揮(株)が大洗にある研究センターで昨年世界初の有機系CHPの連続運転に成功している。シクロヘキサン/水素/ベンゼン系は、UT-3熱化学水素製造プロセスの排熱回収プロセスとしての検討が進められている。従来のヒートポンプでは不可能な温度域である400℃以上の高温熱源を利用する系として無機系Ca(OH)₂/H₂O/CaO系やMgCO₃/CO₂/MgCO₃系も原子炉、製鉄、セメントや太陽炉などからの高温熱源の有効利用として期待されている技術である。これらの中から、水素が関与しているCHPとして、水素吸

表2 日本で現在研究開発中のケミカルヒートポンプ

分類	開発機関	反応系	反応系
企業	日揮	2-プロパノール/水素/アセトン	
企業	日立製作所	CaO/水	LiBr/CaCl ₂ /水
企業	三菱電機	CaCl ₂ /アセトン	
企業	ダイキン工業	アセトン/水	水/水
企業	蘭用製作所	アセトン/水	
企業	水素エネルギー研究	水素吸蔵合金	
企業	IHI	NiCl ₂ /NH ₃ /NiSCN	
企業	日立造船	CaBr ₂ /水	
企業	日本製鋼所	水素吸蔵合金	
企業	三菱重工	アセトン	
企業	三洋電機	水素吸蔵合金	
企業	東京電力	アセトン/水	
研究所	物工研	アセトン	
研究所	日本原子力研究所	水素吸蔵合金	
研究所	名古屋工業技術研究所	水/水	
大学	名古屋大学架谷研	アセトン/活性炭/水/Tk ₂	
大学	名古屋大学松田研	CaO/水	CaOBr/水
大学	明治大学藤井研	CaCl ₂ /水	CaO/水
大学	東工大神沢研	アセトン/水/アセトン/アセトン/アセトン/アセトン	
大学	東工大原力研	H ₂ O/水	
大学	芝罘工大楊志田研	LiCl/LiBr/水	
大学	九州工業大学小倉研	CaO/水	
大学	大阪大学基礎工学部	CaCl ₂ /アセトン	
大学	東京農工大柏木研	アセトン/水	アセトン/アセトン/水
大学	東京農工大亀山研	2-プロパノール/水素/アセトン	
大学	東京理科大学香藤研	2-プロパノール/水素/アセトン	
大学	東京大学白田研	NaOH/水	
大学	東大生研藤本研	アセトン/水	

蔵合金系と有機化学反応系を取り上げ、新しい水素の利用状況を見てみることにする。

4. 水素吸蔵合金の利用

水素吸蔵合金を利用したヒートポンプは、1977年に米国で太陽熱を利用する冷房装置として研究が開始されてから多くの研究が行われており、実証段階又は一部実用化されている系である。表3に日本での実施例を示す。

水素吸蔵合金によるヒートポンプとしての特徴は、

- 1) 化合物の種類が多く、その組み合わせにより数十℃から数百℃まで幅広い作動域をカバーできる、
- 2) 水素吸蔵合金容積あたりの発熱量(300-900kcal/l)が大きい、
- 3) 反応速度が速く、1サイクル10分以下の場合もあり、装置がコンパクトになる、と言われている。現在のところ、このような特徴を十分発揮させ、かつ低コストなものにするため次のような工夫が試みられている。

4.1 伝熱性の向上

水素吸蔵合金を粒子として充填した場合、水素との反応は早いにもかかわらず、充填層内部や管壁における伝熱抵抗が大きいため、装置としては伝熱律速となる。また、水素の吸収・放出を繰り返すと5~20 μ mの微粒子となるため、充填層内の有効熱伝導度がいっそう低下する。従って、コンパクト化と高効率化を進める上で伝熱性の向上が不可欠である。対策としては、充填層内部に伝熱フィンを入れる、金属水素化合物に伝熱性の良い銅やアルミニウムを混入させたりさらに混合物をペレット化する、水素吸蔵合金と伝熱構造体と一体化させるなどの方法が考えられている。

4.2 多段化、多重効用化

ヒートポンプの熱効率や成績係数を向上させたり、作動温度範囲を広げるために水素吸蔵合金のヒートポンプを組み合わせることで多段化したり、水素化反応での放出熱を回収利用して多重効用を図ったりしている。効率が向上する一方、装置が複雑になるためコンピューター制御の操作方式が必要となる。

4.3 圧縮器の導入

熱駆動型の場合、ヒートポンプシステムとして最低4基の反応器と2種類の合金を必要とする。それに対して、システムを単純化するため、また熱源や水素吸蔵合金の選択

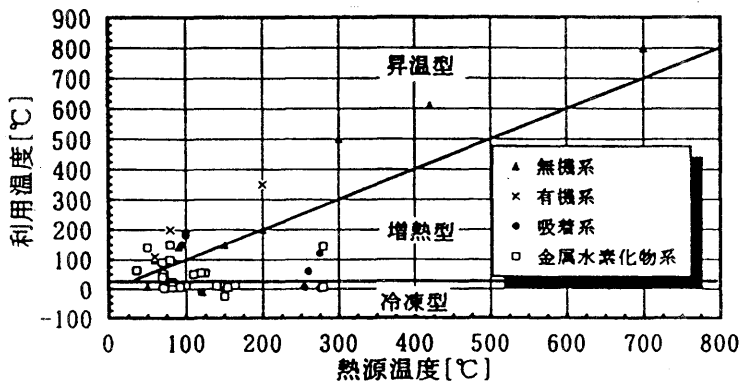


図4 ケミカルヒートポンプの熱源温度と利用温度

表3 日本の水素吸蔵合金ヒートポンプの実施例

出力 (kW)	使用合金 (kg)	開発主体	作動温度	COP	備考
11 (冷房) 17 (暖房)	希土類系 90	積水化学工業	熱源(92~110℃) 暖房(30℃)、冷房(15℃)	1.4 (暖房) 0.9 (冷房)	
1.7 (冷凍)	希土類系 38	中央電気工業	熱源(140℃)冷凍(10℃)	0.4	
4.6 (冷凍)	希土類系 48	日本重化学工業学院大学	熱源(150℃)冷凍(10℃)	1.7	二重効用
3.5 (加熱)	希土類系 46	久保田鉄工東洋粉	熱源(70℃)昇温(90℃)	0.38	
7 (冷暖房)	チタン系 180	松下電器産業	熱源(280℃) 増熱(144℃)冷房(5℃)	1.7 (暖房) 0.8 (冷房)	二重効用
15 (冷暖房)	カルシウム系 800	日本製鋼所	熱源(72℃) 増熱(50℃)冷房(2~5℃)		
74 (冷暖房)	カルシウム 4000	日本製鋼所 北海道電力	熱源(暖房時60℃ 冷房時30℃)	6~7	圧縮式
407 (冷暖房)	カルシウム 3600	日本製鋼所 千代田化工	熱源(80~85℃) 暖房(65℃)冷房(5℃)		中間型熱交換器
77 (加熱)	希土類系 2600	積水化学 日本化学技術 中央電気工業	熱源(80℃)昇温(150℃)		二重効用
21 (冷房) 49 (暖房)	チタン系 ジルコニウム系 600	日本冶金	熱源(140℃) 暖房(43℃)冷房(15.5℃)	1.1 (暖房) 0.45 (冷房)	
3.5 (昇温)	カルシウム系 12.3	日本製鋼所	熱源(60℃)昇温(80℃)	5	気筒型圧縮式

上の制限を緩和するために、電動の水素圧縮器を組み込む工夫も行われている。現在は稼動していないが、1985年に日本製鋼所が北海道電力と共同して定山溪保養所に設置した174kWのCHPがこの方式を採用している。また、金属水素化物による圧縮ガスをさらに圧縮器で昇圧させる方式により従来の圧縮式ヒートポンプのCOPを約倍にする性能を持たせる研究も行われている。

4.4 粒子飛散防止対策

水素の吸収・放出のくり返しにより微粉化した粒子が飛散しないようにフィルターを設置したり、ゴム状物質に埋めこんだり、有機溶媒中に分散させたり、カプセル化したり種々の工夫が行われている。

4.5 高エネルギー密度化対策

従来は、単位重量あたりの水素吸蔵量は劣るが、常温近くで水素と反応し、反応速度が早いとされる希土類金属が使用されることが多かった。最近では、低コスト化志向からミッシュメタル系を利用する傾向にある。しかし、希土類系に比べて3~5倍も重量あたりの水素吸蔵量が多いマグネシウム系にも関心が寄せられている。問題は作動温度が300℃近くあるため、低温で活性をもたせる工夫を必要としている。

4.6 軽重量化

反応が高圧で進行するため、反応装置が圧力容器となり、構造や材料の点で装置重量が過大になる。そのことは、容器の顕熱損出とコスト高につながるため、装置の軽量化を工夫する必要がある。

4.7 低コスト化

水素吸蔵合金の値段が1000円/kg前後になり、kW熱出力あたりの装置費が10万円以下になれば、従来のヒートポンプと価格競争で優位に立てると思われる。現在は、その数倍の値段であると言われている。

水素吸蔵合金を利用したCHPは、多くの利点を持ちながら同時に解決すべき技術的な課題も多く内包している。近年、電池への実用化に始まり、冷房・冷凍用CHPや有機物質の脱水素反応と組んで反応分離材料として再び水素吸蔵合金が注目されて来ており、技術開発も新しいフェーズを迎えようとしている。

5. 有機化学反応の利用

この系は、おもに触媒を使用する流体系であり連続運転や大規模プラントに適している。反応流体を触媒から離せば反応は停止し、化学物質として容易に貯蔵でき、パイプ輸送も可能である。反応系として表4に示す系が候補とされている⁴⁾。現在、反応系として研究されているものは、2-プロパノール/アセトン系とシクロヘキサン/ベンゼン系である。このうち2-プロパノール/アセトン系は、今まで文部省の援助で大学を中心に行われてきたが、中部電力や電子総合研究所が地球環境対策の一環として取り上げ、さらにNEDOの委託を受けて、日揮(株)が大洗研究センターにパイロットプラントを建設し、昨年より運転を開始している。シクロヘキサン/ベンゼン系は、平成6年度から文部省のエネルギー重点領域研究の中で開発が行われる予定である。ここでは、この2つの水素を利用する有機系ヒートポンプについて紹介する。

5.1 2-プロパノール/アセトン系ケミカルヒートポンプ

有機化学反応を用いて太陽エネルギーを低温で効率的に集熱し、これを昇温するとともに、熱の貯蔵を行うことで熱源の変動性にも対応が可能となるヒートポンプシステムを工業技術院サンシャイン計画の一環として新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)より日揮(株)が委託を受けて開発している。ケミカルヒートポンプを利用した太陽エネルギー利用システムの実用化を図るため、

1) 全天日射の集熱が可能なコレクターを利用して得られる80℃程度の熱を、ケミカルヒートポンプを用いて、工業用等に広く利用できる150～200℃の熱に昇温するシステムの実用化を図る。

2) 太陽エネルギーの欠点であるところの非定常性等の問題を、ケミカルヒートポンプを用いて、熱エネルギーを化学エネルギー（化学物質）の形に変換させ、それを貯蔵することにより解決し、定常性を有する太陽エネルギー供給システムの実用化を図る。日揮では、図5に示す東大の斉藤泰和教授ら⁵⁾の提案をもとに幾つかの基本システムを検討している。

本ヒートポンプは、次の3つの工程から構成される。

- 1) 脱水素反応：2-プロパノールをアセトンと水素に分解する。
 - 2) 蒸留分離操作：2-プロパノールとアセトンとを分離し、2-プロパノールは脱水素反応へ、アセトンは水素とともに、水素化反応器へ供給する。
 - 3) 水素化反応器：水素化反応器では、熱交換したアセトンと水素を反応させ、2-プロパノールを生成し、その反応熱を回収する。反応生成ガスは、熱交換した後、蒸留塔へ戻す。
- このシステムの残された主要な技術開発の課題は、次のことが上げられる。

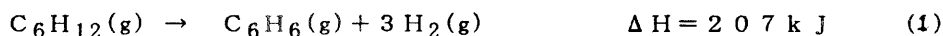
- 1) 脱水素反応の転化率の向上。
- 2) 分離効率の向上。
- 3) 脱水素及び水素化反応における副反応の抑制。
- 4) 伝熱性の良い触媒材料（例えばプレート状触媒）の開発。

気相反応における2-プロパノールの脱水素反応の80℃付近での平衡転化率は10%程度であるため、1)のためには、液膜方式の反応や分離膜や水素吸蔵合金と組み合わせた反応分離方式を採用する必要がある。2)のためには、従来の蒸留塔に換えて段間熱交換方式の新型蒸留塔の採用や吸着剤を使用した分離装置の採用が検討されている。3)のためには、触媒担体に活性炭やα-アルミナを使用し、脱水素反応用に白金/ルテニウム系合金触媒を、水素化反応用にニッケル/銅触媒を使用することが提案されている。4)のためには、陽極酸化方を応用した新しいプレート状触媒の調製法が提案されている。

本システムは、太陽熱利用の他に工場排熱や燃料電池排熱にも応用でき、さらにケミカルヒートパイプとして熱の化学物質による長距離輸送技術にも転用できるなど幅広い応用分野をもっている。

5.2 ベンゼン/シクロヘキサン系ケミカルヒートポンプ

本システムは、次の脱水素(200℃程度、常圧)/水素化(350℃程度、20気圧)の反応対を利用している。



両反応とも多くの研究がなされているが、ケミカルヒートポンプ用の反応として取り上げているのは、東京農工大学⁶⁾、物質工学工業研究所⁷⁾、イタリアのエネルギー輸送・貯蔵研究所⁸⁾などである。筆者らの提案するシステムを、図6に示す。圧縮仕事によってケミカルヒートポンプを駆動させようとするもので、容積変化の大きい両反応の平衡を圧力操作でずらし、発熱温度を吸熱温度より高めるところに提案のポイントがある。昇圧は、水素の機械的圧縮と排熱ボイラーによる高圧ベンゼン蒸気の発生を用いて

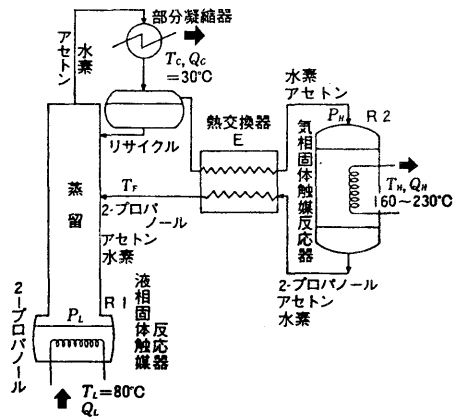


図5 アセトン-水素-2プロパノール系CHPの流れ図

いる。このシステムの成績係数は4~5と試算されている⁶⁾。このシステムの応用例として、熱化学水素製造プロセス内の排熱回収技術としての利用がある。

5.2.1 熱化学水素製造プロセス内の熱リサイクルシステムとしてのCHP

地上で太陽熱をエネルギー源とする場合、その間欠性を補うために蓄熱とヒートポンプの機能を持つシステムにする必要

がある。シクロヘキサンの吸熱脱水素反応とベンゼンの発熱水素化反応を利用したケミカルヒートポンプは、200℃前後の熱を350℃前後に汲み上げるとともに200℃の熱や水素をシクロヘキサンの形で化学貯蔵することができる。熱の汲み上げに必要な動力は常圧から20気圧に水素を昇圧するために必要であり、C.O.P.として4前後、熱効率として40%前後が期待できる。しかし、これを20気圧で作動させるUT-3サイクルと組み合わせれば、サイクルからの20気圧の水素をそのまま利用できるため、圧縮動力の削減となり熱効率が約85%前後のヒートポンプとして作動できる。熱出力25KW (21500 kcal/hr)の太陽集熱器からの熱で毎時3Nm³の水素を製造する場合の簡単なプロセスフローを図7に示す。

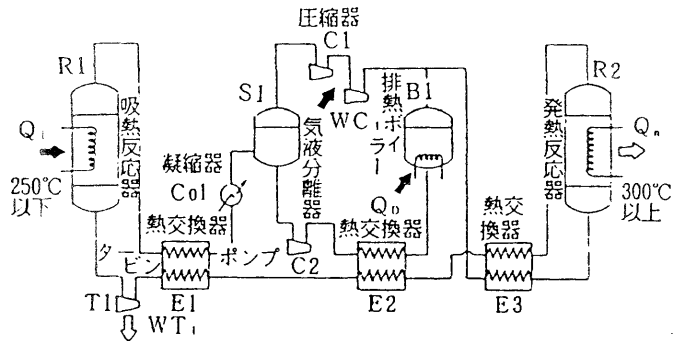


図6 機械圧縮型ケミカルヒートポンプのフローシート

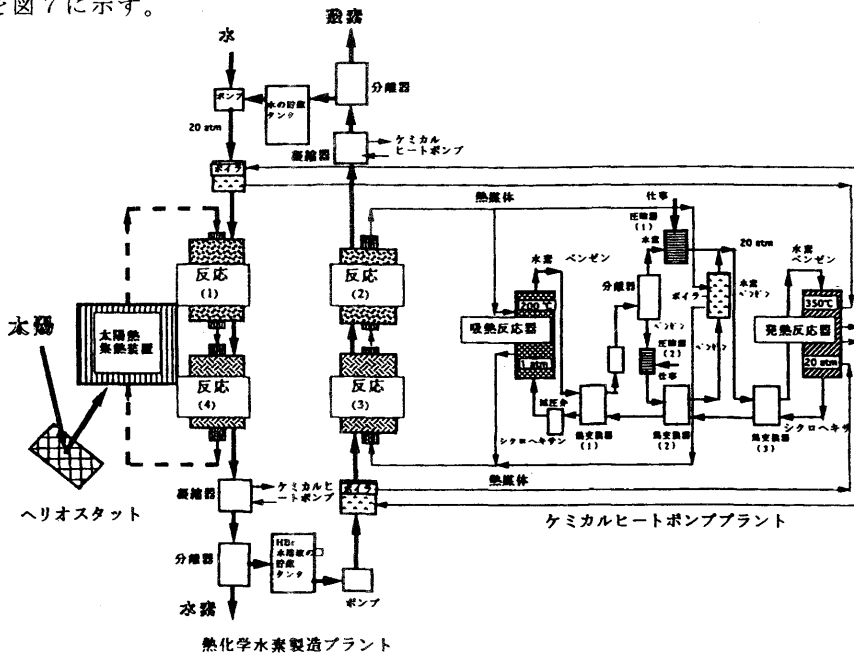


図7 太陽熱駆動熱化学水素製造プラント

反応器は、カルシウム系と鉄系に1基ずつの合計2基を必要とする。昼間は、高温水蒸気を発生させて吸熱の加水分解反応のみを行い、太陽熱をできるだけ利用するように努める。太陽熱は、吸熱反応に約40%使い、反応ガスの予熱に残り60%を使用する。プロセスとしては、250℃レベルの熱が約510kcal/hr不足し、凝縮潜熱の回収に蒸気圧縮を使用するため、1500kcal/hr相当の動力を必要とすることになる。この熱と動力を夜

間余剰となる熱を利用してケミカルヒートポンプで発生させることになる。すなわち、プロセスで発生する20気圧の水素の一部をケミカルヒートポンプ系に送り、ベンゼンの水素化反応を進行させて、350℃の熱を発生させ、水素製造プロセス内の動力発生と予熱に使用する。夜間は、昼間に反応で生成した酸化物を臭素化反応により再び臭化物に戻すことを行なう。この時、酸素が発生する。夜間のこの反応は、発熱反応であり、プロセス内から220℃レベルの余剰熱が約13800kcal/hr発生する。同時に蒸気圧縮用の動力として1500kcal/hrを必要とする。この余剰熱は、ケミカルヒートポンプに送られ、シクロヘキサンの吸熱脱水素反応の反応熱に利用される。この反応器は、おもに夜間に作動し、昼間使用するベンゼンもこのとき製造する。すなわち、化学蓄熱を行なう。発生する常圧の水素は、利用系に送られるが、ベンゼンはヒートポンプ系に残される。発熱系のベンゼンの水素化反応は、貯蔵してある高圧水素を用いて夜間も作動し、プロセスで必要な動力を発生させるための350℃の熱を発生させる。昼間と夜間と合わせて約11,700kcal/hrの熱発生を行うことになる。図8にCHP側のフローを示す。

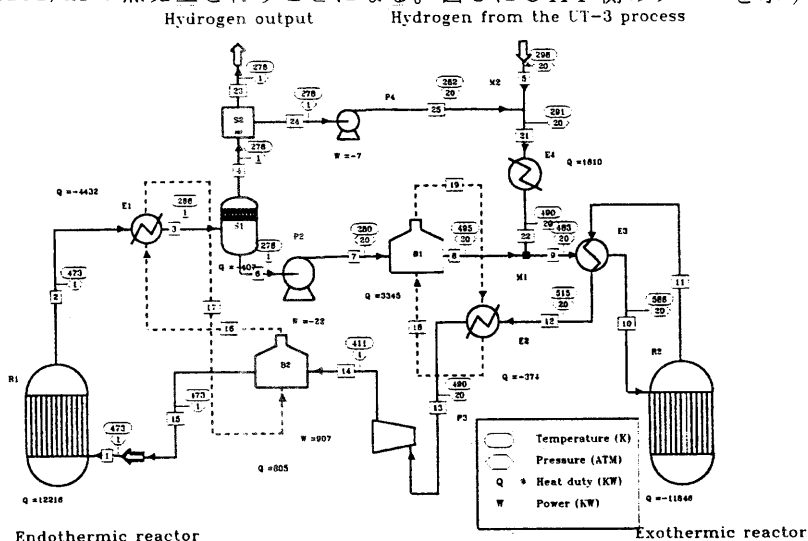


図8 太陽熱利用熱化学水素製造プロセスからの熱を回収するCHP

5.2.2 プロセスの効率

ここで紹介したプロセスは、昼間に水素を発生させ、夜間に酸素を発生させることになる。これは、化学反応サイクルの発想のもとになった植物の光合成に似たスタイルを持っている。太陽熱を化学反応でまず吸収させ、あとから自からの発熱反応で再生するこのプロセスは、化学蓄熱の機能を本来的に有したものである。したがって、日照量の時間的変動に追従できる可能性を持っているといえる。今後は、プロセス内外の種々の負荷変動を考慮した動的なプロセス制御の検討が進められていくことになる。現時点で、プロセスの熱効率を議論することは困難である。しかし、定常的なバランスでは、全体として熱出力25KWの太陽熱を利用して3Nm³/hrの水素を製造する場合に、プロセスに必要な熱や動力はケミカルヒートポンプとの結合で十分賄えることが分かっている。発生する水素は、高発熱量基準で9147kcal/hrの熱に相当するので、単純な計算では、42.5%の熱効率で水素が得られることになる。蓄熱式太陽熱発電のシステム効率が20%前後であり、電気分解のシステム効率を90%としても水素発生熱効率は、18%前後となる。太陽セルの場合は、システム効率が、10%前後であり、水素発生熱効率は、9%前後となる。負荷変動とサイクル運転を考慮にいたした熱効率が、いくらになるか今後の検討を待つことになるが、20%以上であれば、化学反応サイクルによる太陽熱からの水素製造も優位になるといえる。本プロセスが実用化される頃には、燃料電池技術が実用化しており、太陽からの水素を燃料としたコジェネレーションシステムも可能となる。さらに、宇宙開発において欠かせない水素が、このようなプロセスで製造できれば、地球に残された貴重な化石燃料を消費し、二酸化炭素を地球に放出して作る水

素をわざわざ宇宙に運ぶ必要もなく。宇宙ステーション内で太陽熱から水を原料にして水素を製造し、ロケットの燃料や所内の発電や熱供給用の燃料とすることも夢ではない。

6 ケミカルヒートポンプの将来

以上、水素を利用するケミカルヒートポンプ研究の動きを概観してみた。実用化は水素吸蔵合金で進み、有機系は、まだ研究室規模かパイロット規模での試験の段階である。しかし、有機系は大型化と熱輸送性に有利な系であるので、今後の研究成果が待たれる。開発の技術的な鍵は、いかにして熱移動速度と閉サイクルとしての反応の安定性を向上させ、繰り返し操作における粉化、凝集、劣化による出力の低下を抑え、コンパクトで高出力のシステムにするかにかかっており、各方面における研究成果を積極的に応用することで、開発の進捗が速まると思われる。例えば、図9に示すような伝熱面を触媒化する技術の開発

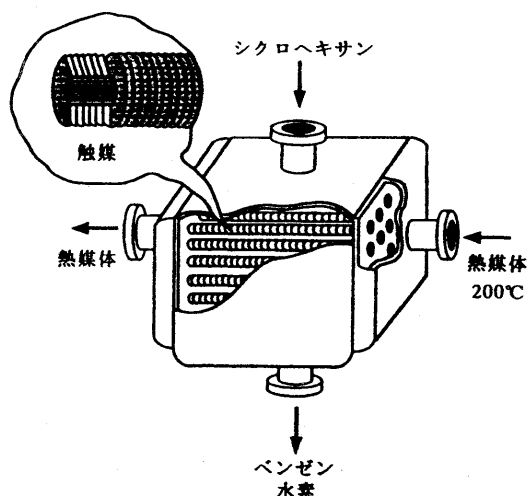


図9 フィンチューブ型熱交換式反応器の概念

など従来の触媒工学の最先端の成果に加えて新たな展開を必要としており、しばらくは大学や国立の研究所での基礎研究が続くと思われる。

参考文献

- 1) (財) ヒートポンプ技術開発センター「環境を中心としたヒートポンプ技術普及の総合的影響に関する調査」報告書、1990年3月
- 2) (財) ヒートポンプ技術開発センター「産業用ヒートポンプシステム運転実施調査」報告書、1988年3月
- 3) 亀山秀雄；ケミカルヒートポンプの現状と将来、エネルギー・資源、5巻、6号(1984)、551-560.
- 4) 亀山秀雄、山下 勝、斎藤 泰和；ヒートポンプにおける触媒の利用、触媒、Vol.31、No.5、2855-289(1989)
- 5) Saito, Y., H. Kameyama and K. Yoshida; Catalyst-assisted chemical heat pump with reaction couple of acetone hydrogenation/2-propanol dehydrogenation for upgrading low-level thermal energy, Int. J. of Energy Research, Vol. 11, 549-558(1987)
- 6) Kameyama, H. et al.; Study of catalyst-assisted chemical heat pump with reaction couple of benzene hydrogenation and cyclohexane dehydrogenation, World Congress III of Chem. Eng., 6d-107(1986)
- 7) Itoh, N., Y. Shindo, K. Haraya and T. Hakuta; A membrane reactor using microporous glass for shifting equilibrium of cyclohexane dehydrogenation, J. Chem Eng. Japan, Vol. 21, No. 4, 399-404(1988)
- 8) Cacciola, G., G. Restuccia, V. Recupero, and N. Giordano; Chemical heat pump using heat of reversible catalytic reactions, Int. J. of Energy Research, Vol. 11, 519-529(1987)