

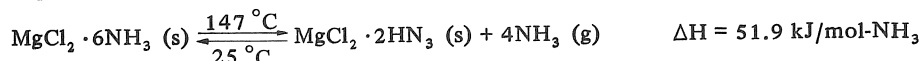
MgCl₂-NH₃-NH₄NO₃系ケミカル ヒートポンプによる蓄熱

伊 藤 滋* 三 浦 俊 信**
Shigeru ITO Toshinobu MIURA
斉 藤 浩 之*** 米 田 登****
Hiroyuki SAITO Noboru YONEDA

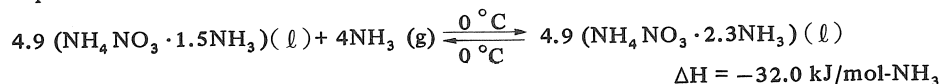
Abstract

Chemical heat pump for thermal energy storage was investigated. MgCl₂·6NH₃ was selected as a high temperature material to reduce the storage temperature compared to the system using NiCl₂·6NH₃ previously reported. Liquid ammoniate NH₄NO₃·nNH₃ was also selected as a low temperature material, because the dissociation of liquid ammoniate is relatively fast even at low temperatures. The present chemical heat pump system uses the following reactions;

High-temperature reaction:



Low-temperature reaction:



A bench scale system with the reasonable capacity of 700 kJ was built up, considering the results of small scale experiments. NH₄NO₃ (1325 g), charged in a low-temperature vessel made of Pyrex glass, was ammoniated at 0 °C until formation of NH₄NO₃·2.3NH₃. The low temperature vessel was connected to high-temperature one (280 mm in length and 50 mm diameter, made of SUS 304) holding MgCl₂·6NH₃ (480 g in total weight in 5 vessels). At the heat storage stage, NH₃ gas generated from the high-temperature vessels by heating at 147 °C in a silicone oil bath was successfully absorbed by the liquid ammoniate within 8 hours. At the heat-releasing stage, the reaction of MgCl₂·2NH₃ with NH₃ proceeded in the high-temperature vessels, which were immersed in a water bath, whereas the NH₃ was generated from NH₄NO₃·nNH₃ at 0 °C. The flow rate of NH₃ gas was well suited for NH₃ absorption with Mg salt, and the reaction was completed in 2 hours. The amount of released heat was calculated from the temperature increase of the water bath. The recovered thermal energy was 440 kJ amounting to 63% of the ideal value 700 kJ. Similar results were obtained even after 20 cycles of operation.

Key Words: Solar energy storage, thermal storage, chemical heat pump, ammoniates, magnesium chloride, ammonium nitrate

1. はじめに

ケミカルヒートポンプは化学反応を利用して、増熱、冷凍、昇温、蓄熱等を行なおうとするヒートポンプである¹⁾。このケミカルヒートポンプは最近では太陽エネルギー、工場廃熱等の蓄熱装置としての可能性が注目されている。これは、熱エネルギーが化学エネルギーの形で物質中に蓄えられるので、蓄えられたエネルギーが時間とともに減少して行くことがなく、長期間保存されるためである。また、コンプレッサー等の動力部分がないので、太陽エネルギー等を利用すれば動作コストは原理的には全くかからない。しかしながら、数多くのケミカルヒートポンプの反応系が提案^{2~14)}さ

* 東京理科大学; 理工学部工業化学科, 講師

Dept. of Industrial Chemistry, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, Lecturer

** 同上, 大学院生

Dept. of Industrial Chemistry, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, Graduate

*** 同上, 卒研究生

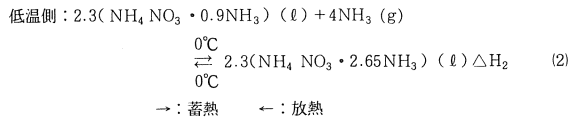
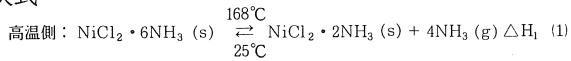
Dept. of Industrial Chemistry, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, Undergraduate

**** 同上, 教授

Dept. of Industrial Chemistry, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, Professor

れているにもかかわらず、商業ベースで動いている例は非常に少ないのが現状である。¹⁵⁻¹⁷⁾

既に報告したように¹⁸⁾、著者らは蓄熱¹⁹⁾を目的とし、次式



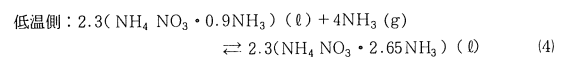
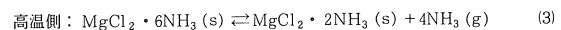
で示される反応を組み合わせたケミカルヒートポンプを考案し、これが高温側、低温側の温度差とそれともなうNH₃ガスの圧力差のみで作動することを示した。このケミカルヒートポンプは、ベンチスケールの装置（理論蓄熱量520 kJ）においても、マグネティックスターラー以外の補助動力を必要とせず、現実的な時間内に（蓄熱に8時間、放熱に2時間）動作を完了した。また、このときの蓄熱量は388 kJで、20回のくり返し動作後もこの値は変化しなかった。このシステムの特徴は低温側に液状のアンモニア化物を用いていることにあった。一般に低温側は低温ゆえに反応速度が遅いという欠点がある。反応速度が遅ければ蓄熱、放熱に膨大な時間がかかり、現実の装置としての意味はなくなる。特に放熱の際の反応が遅いと高温側物質の反応熱による温度上昇はほとんどなく、温度差を利用した熱の取り出しは不可能となる。これに対して、NH₄NO₃・2.65NH₃は放熱時、スムーズにNH₃ガスを解離させ、このNH₃ガスとNiCl₂・2NH₃との発熱反応をすばやく起こして、熱の回収を可能にした。これは、このアンモニア化物が液体であるため熱の伝導がよく、NH₃の解離に必要な熱をすばやく外部から伝達したためと考えられた。しかしながら、このシステムの実際の蓄熱温度は190℃と高く、集光型の集熱器を用いるとしても、太陽エネルギーの蓄積には少々高すぎると考えられる。そこで、本研究ではこの低温側に液体のアンモニア化物を用いるという長所を生かしながら、高温側の蓄熱温度を下げるため、NiCl₂・6NH₃以外的高温側物質を見出すことを目的とした。すなわち、90℃～150℃の比較的低い温度における

蓄熱が期待される物質として、²⁰⁾ 予備実験よりMgCl₂、NiSO₄、CuCl₂、MnCl₂のアンモニア化物が選定された。そこで、まずこれらをそれぞれNH₄NO₃・nNH₃と組み合わせて小型のシステムを作り、ケミカルヒートポンプとしての反応特性について調べた。その結果、最も現実的で有望と判断されたのはMgCl₂・6NH₃（蓄熱温度：147℃）であったので、これを用いてベンチスケールの装置（理論蓄熱量700 kJ）を作製し、その蓄熱、放熱特性を調べた。なお、このような液状のアンモニア化物と固体のアンモニア化物を組み合わせたケミカルヒートポンプは著者らが既に報告したNiCl₂・6NH₃を用いたものを除いて他には見当たらない。

2. 小型装置による高温側物質の選択

2.1 小型装置の設計

表1に、高温側物質の候補として選択した4種のアンモニア化物の反応と1気圧下における分解温度および解離熱を示す。これらのアンモニア化物をそれぞれ液状アンモニア化物NH₄NO₃・nNH₃^{21),22)}と組み合わせてケミカルヒートポンプを構成したとき、これが補助動力なしに、系の圧力差のみで、十分な反応速度をもって作動するかを調べるため、前報¹⁸⁾で使用したものと同一小型のケミカルヒートポンプ装置を用いて実験を行なった。この装置の低温側の温度を0℃とし、系内の圧力の上限を1気圧とすると、前報に示したようにNH₄NO₃・nNH₃のnは2.65から0.90まで変化させることができる。そこで、反応式の組み合わせを、高温側にMgCl₂・6NH₃を用いた場合について示すと、次のようになる。



→: 蓄熱 ←: 放熱

2.2 各種高温側物質の反応性

高温側物質としてMgCl₂を9×10⁻³ kg, NiSO₄を1.5×10⁻² kg, CuCl₂を1.3×10⁻² kg, MnCl₂を1.2×

表1 高温側物質の反応

Reaction	T (°C) at 1 atm	ΔH (kJ/mol-NH ₃)
MgCl ₂ ・6NH ₃ ⇌ MgCl ₂ ・2NH ₃ + 4NH ₃	135	51.9
NiSO ₄ ・6NH ₃ ⇌ NiSO ₄ ・4NH ₃ + 2NH ₃	129	61.1
CuCl ₂ ・6NH ₃ ⇌ CuCl ₂ ・2NH ₃ + 4NH ₃	124	56.9
MnCl ₂ ・6NH ₃ ⇌ MnCl ₂ ・2NH ₃ + 4NH ₃	87	49.0

10⁻²kg用い、それぞれ高温側反応容器（パイレックスガラス製、外径28mm、長さ200mm）中に充填した。また、低温側反応容器（パイレックスガラス製300ml平底フラスコ）中には NH₄NO₃ を1.8×10⁻²kg充填した。低温側反応容器を0℃に保ち、真空ポンプで脱気したのち、NH₃を導入して NH₄NO₃ をアンモニア化し、液状アンモニア化物とした。

蓄熱反応*の際には熱源として仮定した小型の電気炉を用いて高温側を加熱し、脱離する NH₃ を圧力差により低温側に移動させて液状アンモニア化物に0℃で吸収させた。放熱反応では逆に、低温側（0℃）から NH₃ を脱離させ、室温まで冷却しておいた高温側物質と反応させた。そして、蓄熱、放熱時の反応率を高温側反応管の重量変化から求めた。なお、この場合には反応物質の量が少ないので熱量測定は行なわなかった。

図1に蓄熱反応における各種高温側アンモニア化物の分解の様子を示す。なお、図ではこれらのアンモニア化物の化学式中のアンモニア数（例えば MgCl₂・nNH₃ の n の値）と時間との関係を示してある。各高温側物質の加熱温度については、系の圧力が蓄熱時間全体を通してほぼ1気圧を保てる温度（MgCl₂・6NH₃：145℃、NiSO₄・6NH₃：140℃、CuCl₂・6NH₃：110℃、MnCl₂・6NH₃：100℃）に定めた。すなわち、これらより高い温度では低温側が高温側から供給される NH₃ を吸収しきれなくなり、系の圧力は1気圧以上になる。図1に示したように、MgCl₂・6NH₃ は4時間で83%が分解したが、5時間以降、分解率は88%（MgCl₂・3.5NH₃に相当）となり、分解はこれ以上進まなかった。次に NiSO₄・6NH₃ では3時間ですでに97%が分解した。しかし、この物質は100%分解しても他の物質に比べて半分の NH₃ しか放出せず、この点がこの物質の短所である。また、CuCl₂・6NH₃ では4時間で77%が分解したが、5時間以降の分解率は82%程度でこれ以上分解は進まなかった。これに対して MnCl₂・6NH₃ は4時間で93%が分解し、5時間で分解率はほぼ100%に達した。しかもこの時の分解温度は100℃と他の物質の分解温度に比べて低かった。以上のことから、分解反応を見る限りでは MnCl₂・6NH₃ が最も高温側物質としてすぐれていたといえる。

次に図2には放熱過程における高温側物質と NH₃ との反応の様子を示す。なお、各高温側物質の反応開始前の温度は25℃である。また、低温側の液状アンモニア化物からの NH₃ の供給速度は以前の研究¹⁸⁾ から十分速いので、これらの結果はそれぞれの塩のアンモ

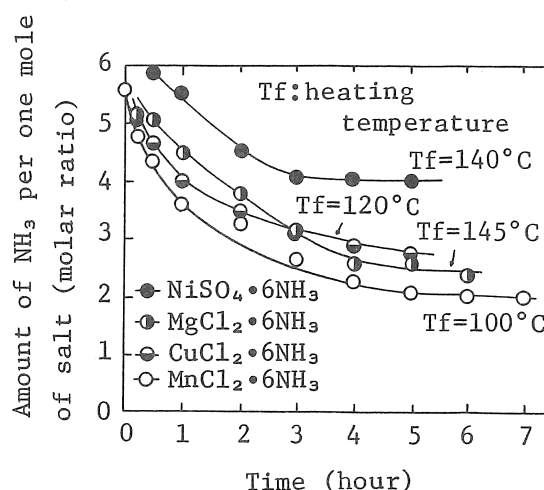


図1 各種高温側アンモニア化物からのアンモニアの解離（蓄熱反応）

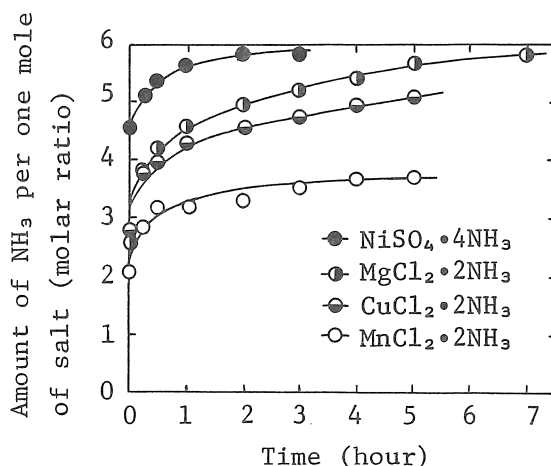


図2 各種高温側アンモニア化物のアンモニア化（放熱反応）

ニアの吸収能を示していると考えられる。先の分解反応においてすぐれていた MnCl₂・2NH₃ の反応率は4時間以降42%と非常に低いまま一定となり、これ以上反応は進行しなかった。このことから、MnCl₂・2NH₃ は高温側物質としては使えないことがわかった。さらに、CuCl₂・2NH₃ においても、5時間の反応率は77%と比較的低く、反応率が100%近くなるにはかなりの時間を要すると予想された。これに対して、MgCl₂・2NH₃ は4時間で86%、7時間で96%反応し、比較的反応性はよかった。また、NiSO₄・4NH₃ は2時間という短時間に93%反応し、非常によい反応性を示した。しかしながら、同じ2時間で比較すると NiSO₄・2NH₃ と反応した NH₃ の量**は1.9で MnCl₂・2NH₃ の1.2よりは多いが、CuCl₂・

* 操作上は放熱反応が先であったが、ここでは蓄熱反応を先に述べる。

** 図2の2時間におけるたて軸の値から時間0におけるたて軸の値をさし引いた値。

2 NH₃ の2.6, MgCl₂・2 NH₃ の3.0に比べると少ない。したがって、NiSO₄・4 NH₃ の発熱量は比較的小さいと予想される。

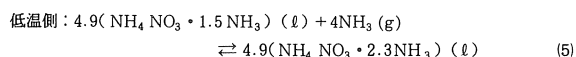
以上の小型装置を用いた NH₃ の放出(蓄熱)および吸収(放熱)反応の結果、高温側物質として両反応共すぐれた反応性を示したのは、NiSO₄・6 NH₃ と MgCl₂・6 NH₃ であった。これらの物質の分解温度(蓄熱温度)はそれぞれ140℃、145℃とほぼ同じであったが、NiSO₄・6 NH₃ は吸・発熱量、コストの点で MgCl₂・6 NH₃ より劣っている。そこで、高温側物質としては MgCl₂・6 NH₃ を採用するのがよいと結論された。

3. 高温側に MgCl₂・6 NH₃ を用いたベンチスケールシステムによる蓄熱・放熱特性

3.1 ベンチスケールシステムの設計

上述のように MgCl₂・6 NH₃ が高温側物質として適していると結論された。しかし、小型の装置では熱量の測定ができなかった。そこで、MgCl₂・6 NH₃ を用いたシステムの熱量、物質移動速度などの基礎データを取得するため前報と同じく大型化した装置(装置図については前報¹⁸⁾を参照)を用いて実験を行なった。

まず、前報と同様、大型化したことにより低温側に温度分布が生ずる等の理由で低温側には(4)式の代わりに(5)式を用いた。すなわち、nの範囲を小型装置の場合よりせばめた。



MgCl₂・6 NH₃ 321 g (3.37モル、理論発熱量 700kJ) を高温側反応管(外径50mm、長さ280mm、SUS 304製) 5本に分けて充填し、中心に反応性向上のため、直径8mmのステンレススチールメッシュ管(325メッシュ)を挿入した²³⁾ 他方、低温側の反応容器(容積 $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 、パイレックスガラス製平底フラスコ)には NH₄NO₃ 1325 g (16.6モル)を充填した。この低温側容器の周囲を0℃にたもち、容器内を排気した後、NH₃ガスを導入して液体状態のアンモニア化物とした。

蓄熱時には高温側反応管を約5ℓのシリコンオイル(信越化学 KF-54)を入れた容器に入れ、投げ込みヒーターによってオイルを140℃~180℃に加熱して MgCl₂・6 NH₃ を分解させた。このとき発生した NH₃ガスを流量計を通して低温側容器に導き、液体アンモニア化物に吸収させて貯蔵した。系内の圧力が

約1気圧で、NH₃の流量が $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min}$ 以下になったとき、MgCl₂・6 NH₃の分解はほぼ終わったとして両反応容器間のバルブを閉じ、蓄熱の操作を終了した。

次に放熱操作について述べる。高温側反応管を室温まで冷却したのち、これらを5.5~6.6ℓの水を入れた断熱容器の中に入れ、バルブを開いて低温側から NH₃を脱離させ、高温側の MgCl₂・2 NH₃と反応させた。このとき得られた反応熱を断熱容器中の水温上昇から計算した。

3.2 蓄熱、放熱特性

はじめに NiCl₂・6 NH₃ の分解温度を140℃~180℃と変えて蓄熱を行なったところ、低温側の NH₃の吸収速度に見合うのは分解温度147℃のときであったので、以下この温度で実験した。

図3に蓄熱段階の結果の一例を示す。図にはオイルバスの温度、NH₃ガス流量および系の圧力をそれぞれ時間に対して示した。ここで油温は昇温速度が約120℃/hとゆるやかであるから、ほぼ MgCl₂・6 NH₃の温度と考えることができる。加熱をはじめて油温が147℃になると、MgCl₂・6 NH₃は急激に分解して NH₃を発生し、系の圧力が急激に増加した。その結果、低温側への NH₃流量(吸収速度)も増加し、さらに NH₄NO₃・nNH₃の NH₃吸収により低温側の温度もわずかに上昇した。その後、時間とともに高温側の分解はゆるやかになった。これは系が平衡に近くなったためである。NH₃の流量が $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min}$ 以下になったのは約8時間後で、このとき NH₃流量の積算値から計算すると MgCl₂・6 NH₃の70%が分解していた。これ以上の反応では時間が長くなること、また8時間という時間は1日のサイクルとして適当であるので、これをもって蓄熱終了とした。

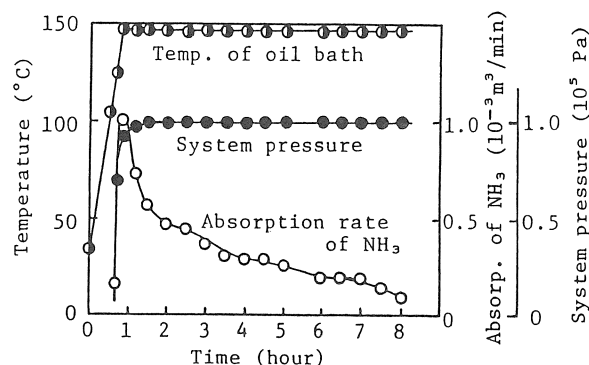


図3 ベンチスケールシステムにおける蓄熱(高温側: MgCl₂・nNH₃)

この蓄熱時間は先に述べた小型装置の場合 (145°C , 4時間で83%) より長かったが, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ を用いた同規模の装置¹⁸⁾のそれとほぼ一致していた. これは, 蓄熱反応が低温側の $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot n\text{NH}_3$ の NH_3 吸収速度に依存しているためである. また, 装置が大きくなるとそれだけ NH_3 の吸収速度はおそくなるようである. このようなことから, 蓄熱時間をより短くするためには, まず第一に低温側の温度を固相が析出しない程度に下げたり, かくはんをもっと激しくする等して NH_3 の吸収速度を上げることが考えられる. しかし, これにはかなりの補助エネルギーが必要とされる場合が多いと考えられる. むしろ, 高温側の加熱温度をより高くすれば, 系の圧力が1気圧以上になり, その圧力差で低温側の NH_3 吸収速度も速くなるので, 蓄熱時間の短縮にはこの方法の方がよいと思われる. しかしながら, 蓄熱には比較的長時間かかってよい場合が多いので, ここで得られた8時間という蓄熱時間は一つの基準的な時間と考えてよいであろう.

なお, 蓄熱速度を上げる方法として高温側反応管を細くしたり, 反応管にフィンを付けて伝熱速度を上げる等の試みも考えられるが, これらの点については以前の $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ を用いた場合の研究から, あまり効果がないことがわかっている. これは, 高温側のアンモニアの脱離が低温側のアンモニアの吸収速度に律速されているためである. さらに, 双方の場合とも高温側の体積増加はまぬがれず, 蓄熱密度が低下するという欠点の方が大きい. 同様な理由で, 低温側物質を多数のトレイ上に置いたり, 充填物を入れて接触面積を増加するといった試みも蓄熱時間の短縮にはなると思われるが, 低温側の体積増加という欠点の方が大きいであろう.

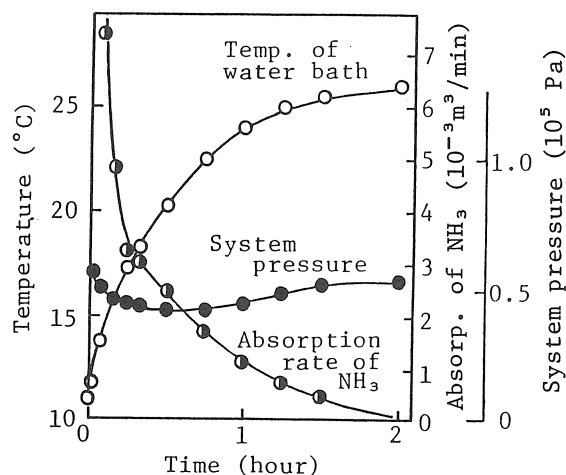


図4 ベンチスケールシステムにおける放熱 (高温側: $\text{MgCl}_2 \cdot n\text{NH}_3$)

図4に放熱段階の結果を示す. 図には NH_3 流量, 系の圧力および高温側容器の入った水浴の温度をそれぞれ時間に対して示した. 高温側と低温側を隔てたバルブを開けた瞬間に, 系の圧力差 ($\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$ は 25°C で約 10^2 Pa , $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 2.3\text{NH}_3$ は 0°C で約 $9 \times 10^4\text{ Pa}$) により急激な NH_3 の移動が起こった. これにともない, 系の圧力は急に低下し, さらに低温側からの NH_3 の脱離によって低温側の温度は急激に -10°C 近くまで降下した. 系の圧力は $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$ が急激に NH_3 を吸収するため, 1時間程度までは $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 1.5\text{NH}_3$ の平衡圧 $5 \times 10^4\text{ Pa}$ より幾分低くなったが, その後はほぼ平衡圧となった. さらに, 発熱量を示す水浴の温度はほぼ2時間で最高温度に達し, このとき NH_3 の吸収は非常におそくなった. したがって, この系は2時間という短時間で反応を終了し, 熱利用のためには十分な反応速度をもっていたといえる. また, 水温上昇から求めた発熱量は 440 kJ となった. これは高温側に用いた $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ をすべて分解させるのに要する計算上の熱量の63%に相当する. 蓄熱時には高温側は70%しか分解させていないので, 放熱反応による熱量のほとんどを回収できたことになる.

図5には, 図3, 4の条件にしたがって蓄熱, 放熱サイクルを20回までくり返した場合の熱量を示す. 20回のくり返しを行なっても得られた熱量はほぼ同じで, 特性の劣化は認められなかった.

4. 結 語

低温側に液体状態のアンモニア化物 $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot n\text{NH}_3$ を用いたケミカルヒートポンプにおいて, 高温側の蓄熱温度をさらに低くするため, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ に代わる高温側物質の選択を行なった. 小型装置を用いた実験により, 高温側物質として候補にあげられた物質 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{NH}_3$, $\text{CuCl}_2 \cdot 6$

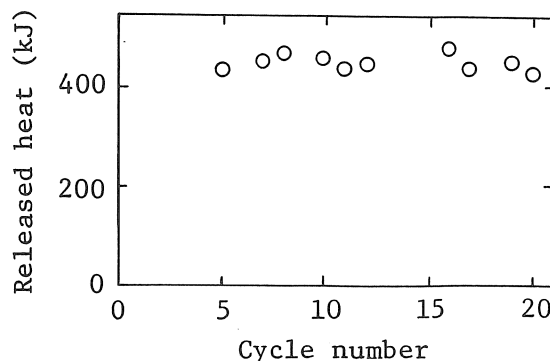


図5 繰り返し操作 (ベンチスケールシステム)

NH₃, MnCl₂ · 6 NH₃ のうち, MgCl₂ · 6 NH₃ が最も適していると判断された. この MgCl₂ · 6 NH₃ を高温側に用いて, 理論発熱量 700 kJ のベンチスケールシステムを作製した所, マグネティックスターラーの補助動力を必要としたものの, はば系の圧力差のみで蓄熱, 放熱のサイクルをくり返し行なうことができた. この際の蓄熱温度は 147°C で NiCl₂ · 6 NH₃ を用いた場合の 190°C に比べて約 40°C 蓄熱温度を下げることもできた. さらに, 蓄熱時間は 8 時間, 放熱時間は 2 時間で, これらは NiCl₂ · 6 NH₃ を用いた同規模のシステムと同じであった. これらの時間は蓄熱システムの作動時間として現実的な時間といえるであろう. また, 現実に取り出せた熱量は約 400 kJ で, 理論熱量の 60% 程度であったが, この値は NiCl₂ · 6 NH₃ を用いたシステムの 390 kJ より幾分か大きかった.

以上, このシステムにおいても低温側に液状のアモンニア化物 NH₄NO₃ · nNH₃ を用いたことの利点は大きく, その NH₃ の吸収および放出の速度は本蓄熱システムの低温側として最も適した速度をもっていたといえる. この意味でこの系は実際に動作し得る数少ないアモンニア系ケミカルヒートポンプの一つであると思われる. 今後, 蓄熱温度をさらに下げるには高温側に CaCl₂ · 8 NH₃ 等のより低温でアモンニアを放出させる物質を用い, 常圧より高い圧力下で操作を行なう必要があると思われる.

参考文献

- 1) 藤原一郎, 秋谷鷹二, 化学蓄熱とケミカルヒートポンプ, 化学工業資料, 18-1 (1983), 12-27
- 2) W. Supper, M. Groll, U. Mayer, Reaction kinetics in metal hydride reaction beds with improved heat and mass transfer, J. Less-Common Metals, 104-2 (1984), 279-286.
- 3) 駒崎良夫, 須田精二郎, 金属水素化物ヒートポンプ, 冷凍, 60-687 (1985), 16-23.
- 4) I. Fujii, K. Tsuchiya, M. Higano, J. Yamada, Studies of an energy storage system by use of the reversible chemical reaction: CaO + H₂O ⇌ Ca(OH)₂, Solar Energy, 34-4/5 (1985), 367-377
- 5) 新井紀男, 架谷昌信, CaO + H₂O ⇌ Ca(OH)₂ 可逆反応を利用する蓄熱型熱交換器, 化学工学, 46-7 (1982), 352
- 6) M.A. Stanish, D.D. Perlmutter, Salt hydrate as absorbents in heat pump cycles, Solar Energy, 26 (1981), 333-339
- 7) 李 寿珏, 松田仁樹, 架谷昌信, CaSO₄ (1/2) H₂O / CaSO₄ 系熱化学反応サイクルの化学蓄熱への応用に関する基礎研究, 化学工学論文集, 12-1 (1986), 75.
- 8) R. Hartoulari, L.C. Dufour, Affinity thermal machines and metallic salt - ammonia - ammoniates systems, Solar Energy, 33-6 (1984), 479-483.
- 9) S. Elberg, P. Mathonnet, Etude d'un système de pompe à chaleur thermochimique pour le stockage de l'énergie et la fourniture de chaleur et de froid, Revue Phys. Appl., 17 (1982), 585-590.
- 10) 藤原一郎, 佐藤真士, アンモニア系ヒートポンプ, 冷凍, 60-687 (1985), 24-31.
- 11) P.O'D. Offenhartz, F.C. Brown, R.W. Mar, R.W. Carlin, A heat pump and thermal storage system for Solar heating and cooling based on the reaction of calcium chloride and methanol vapor, J. Solar Energy Engineering, 102 (1980), 59-65.
- 12) D. Bodiot, G. Crozat, N. El Ghandour, S. Mauran, Development of a chemical heat pump for solar heating, Proc. Int. Sol. Energy Soc. Congress, Solar World Forum, 3 (1981) 2271-2278, Brighton, England.
- 13) 丹波修一, 有機反応系による蓄熱, ケミカル・エンジニアリング, 27-8 (1982), 58-62
- 14) 若尾法昭, 小笠原貞夫, 有機系ケミカルヒートポンプ, 冷凍, 60-687 (1985), 55-60.
- 15) M.T. Howerton, A thermochemical energy storage system and heat pump, Intersoc. Energy Conversion Engineering Conf., 13-2 (1978)
- 16) 松田仁樹, 石津貴, 李寿珏, 架谷昌信, Ca(OH)₂ / CaO 可逆熱化学反応を利用した化学蓄熱に関する化学速度論的研究, 化学工学論文集, 11-5 (1985), 542-548
- 17) 李寿珏, 松田仁樹, 架谷昌信, 減圧下における Ca(OH)₂ の熱分解脱水反応の促進, 化学工学論文集, 12-2 (1986), 165-170.
- 18) 伊藤 滋, 三浦俊信, 米田 登, NiCl₂ · 6 NH₃ を用いたケミカルヒートポンプによる蓄熱-低温側への液状 NH₄NO₃ · nNH₃ の使用-, 日本化学会誌, 1988-8 (1988), 1275-1281.

- 19) 太陽エネルギー利用ハンドブック (1985), 210-213, 日本太陽エネルギー学会, 東京.
- 20) 米田 登, 萩原清二郎, ケミカルヒートポンプによる蓄熱システムの基礎研究, 太陽エネルギー, 5-4 (1979), 4-15.
- 21) H.W.Foote, S.R.Brinkley, Equilibrium in the system ammonia: ammonium nitrate: ammonium thiocyanate, J.Am.Chem.Soc., 43 (1921), 1018-1031.
- 22) F.A.Jaeger, C.A.Hall, Ammoniated salt

heat pump/thermal storage system, Proc. Int. Seminar on Thermochemical Energy Storage, (1980), 399-412, Stockholm.

- 23) N.Yoneda, S.Ito, H.Seguchi, Chemical heat pump system using NiCl_2 ammine compound, Proc. 8th Biennial Cong. ISES, Solar World Congress, (1983), 648-657, Perth, Australia.

(昭和63年9月6日 原稿受理)

関連行事案内

●第26回日本伝熱シンポジウム

平成元年5月31日(水)～6月2日(金)

会 場▷宮城第一ホテル

(〒980 仙台市宮城野区榴岡1-2-45,
電話 022-297-4411)

主 催▷日本学術会議熱工学研究連絡委員会, 日本伝熱研究会, 日本太陽エネルギー学会, ほか.

参加費▷事前申込5,000円, 当日申込6,000円, (学生, 大学院生事前申込2,500円, 当日申込3,000円)

講演会文集▷5,000円, (郵送の場合5,500円)

懇親会▷6月1日(木) 18:00～20:30,

於. 宮城第一ホテル, 参加費=事前申込6,000円, 当日申込7,000円, 同伴夫人は無料

申込要領▷郵便振替払込書の通信欄に, (1)氏名(ふりがな), (2)勤務先または学校名, (3)講演会文集冊数, (4)懇親会出欠(夫人同伴の方はその旨を明記)を記入し, 当該費用を送金する.

参加証は当日, 受付にて渡される. なお, 事務の簡素化と経費節減のため, 原則として, 領収書の発行は省略されるので, 郵便局で受取る郵便振替払込金受領書を保存すること.

郵便振込書は1人につき, 1枚の使用こと.

事前申込締切▷平成元年5月10日(水) 消印有効

申込先▷振替口座: 仙台 8-5670

第26回日本伝熱シンポジウム準備委員会

〒980 仙台市荒巻字青葉

東北大学工学部機械工学科内

TEL. 022-222-1800 ex 4105

FAX. 022-268-3695

プログラム▷既にできているので, 詳細希望の方は上記委員会へ間合わせてください.

●第10回日本熱物性シンポジウム

平成元年9月20日(水)～22日(金)

場 所▷北海道大学学術交流会館

〒160 札幌市北区北8条西5丁目(JR 札幌駅北より徒歩4分) 電話: 011-758-5426

主 催▷日本熱物性研究会

協 賛▷日本太陽エネルギー学会, ほか

講演申込締切▷平成元年6月5日(月)

論文原稿締切▷平成元年8月1日(火)

第2回アジア熱物性会議が同時期, 同場所にて開催される.

論文募集要項等詳細問合せ先▷

〒060 札幌市北区北13条西8 北海道大学工学部 機械工学第二学科 伝熱工学講座気付け第10回日本熱物性シンポジウム実行委員会
電 話: 011-716-2111 (内. 6424, 6427)

FAX: 011-717-4745

●IHTC 9: International Heat Transfer Conference*

1990年8月19日(日)～24日(金)

場 所▷Jerusalem, Israel

主 催▷AIHTC (Assembly For International Heat Transfer Conferences)

アブストラクト締切日▷1989年5月10日

詳細問合先▷〒101 東京都千代田区神田駿河台1-8

日本大学理工学部機械工学科 小竹 進教授

電話: 03-812-2111