

蓄 熱 材 料

神 本 正 行^{*}, 小 沢 丈 夫^{*}

Thermal Energy Storage Materials

Masayuki Kamimoto^{*} and Takeo Ozawa^{*}

Roles of thermal energy storage in energy systems are described. Among four concepts of thermal energy storage, latent heat-thermal energy storage has a few advantages such as high energy density and heat storage of high quality at a constant temperature. Latent heat-thermal energy storage depends on storage materials. Comprehensively evaluated thermodynamic data as well as cost data are applied to screening the materials. It is shown from the screening that there is no suitable single component materials over a temperature range from 300°C to 440°C. Thermodynamic background to search for suitable multi-component materials in the temperature range is discussed. An example of applying thermal analyses to experimental evaluation is finally shown.

エネルギーの生産(変換)と消費の間に、時間的なずれがあるときは、何らかのエネルギー貯蔵手段が必要となる。たとえば、太陽エネルギーや波力風力などの間欠的な自然エネルギーの利用、一定の定格出力での運転に適した高効率大型発電機の運用、各種の工業工程で生ずる廃熱の有効利用などでは、需要変動とのずれを調整する手段が不可欠である。現在もっとも大きな規模の貯蔵は、揚水発電によって行なわれており、日間、週間、季節の変動に対処している。電力系統においては需要変動に即応して発電が行なわれなければ、周波数や電圧が変動し、電力の質が維持できないので、このような貯蔵が特に重要となる。その他の分野においても、新エネルギーの開発、エネルギー利用効率の向上のため、エネルギー貯蔵への要求が増している。

熱エネルギーの関与する分野、たとえば、太陽熱発電、廃熱利用、熱機関などの分野では、熱エネルギーの貯蔵が必要である。また、蓄熱装置と熱機関を組み合わせた自動車や人工心臓の研究なども行なわれている。このための蓄熱には四つの方式がある。そのうち、古くから用いられているのが、岩石、砂、れんが、水などの熱容量を利用する顕熱蓄熱であり、製鋼用の平炉や蓄熱暖房器などに応用されてきた。これは、最も容易な方法である

が、放熱中に温度がさがり、温度低下を少なくすると蓄熱密度が低下するのが欠点である。第二の方式は、相変化の潜熱を利用する潜熱蓄熱であり、本稿ではもっぱらこれを取扱うこととした。以上の熱運動の形で貯蔵に対し、化学エネルギーないし濃度差エネルギーの形で蓄熱がある。可逆的化学反应を利用すれば、蓄熱が可能であり、本誌に小野氏の詳しい解説がある。第四の方式は、溶液の濃縮と希釈により熱の貯蔵、放出を行なうもので、長期保存や輸送に適しているが、水溶液を使うため、作動温度が制約される。

1. 潜熱蓄熱について

相変化の潜熱を利用する蓄熱は、蓄熱密度も大きく、ほぼ一定温度の、したがって良質の熱エネルギーが放出される利点がある。これまで、太陽熱発電、太陽熱冷暖房および原子力発電の負荷平担化などへの応用を目標として、主として、わが国と米国でさかんに研究されてきた。

ここでは、その例を紹介しよう¹⁾。四国の仁尾町に建設される1000 kW電気出力の太陽熱発電パイロットプラントに、水蒸気アキュムレータによる蓄熱の他、KClとLiClの共融塩やKNO₃、NaNO₂、NaNO₃の混合塩(商品名Hitec)による潜熱蓄熱が研究された。米国Honeywell Inc.ではNaNO₃とNaOHの混合物の利用が試みられているが、伝熱面での固相析出が伝熱を妨げることが明らかになり、この付着物かき取り機構を付けた蓄熱装置が試作され、蓄熱材料も共融組成からずれたものが

^{*} 電子技術総合研究所エネルギー部：田無市向台町 〒188

Energy Division, Electrotechnical Laboratory,
5-4-1 Mukodaimachi, Tanashi, Tokyo, Japan 188

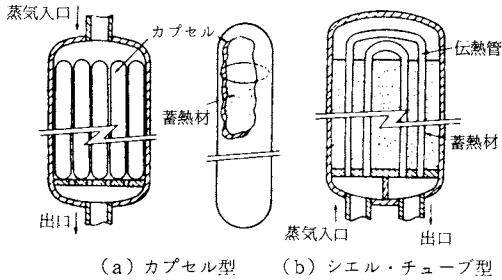


Fig. 1 Structures of latent heat-thermal energy storage system

用いられている。析出した固相が液相と共存し、スラリーを形成するため、かき取りやすいという。人工衛星用や自動車のスターリング・エンジンの熱源用などでは、経済性を犠牲にしても、蓄熱密度をあげ、軽量化をはかる必要があるため、それぞれ、LiHやLiFを用いる試みがなされている。

蓄熱装置の構造は、大別すると、Fig. 1 に示したように、カプセル型とシェル・チューブ型とがある。内部での伝熱、融解凝固時に生ずる圧力、溶融塩などによる腐食、製作の容易さ、コストなどを考慮して、いずれかの形式を採用することになるが、融解凝固時の装置内の伝熱を初め、蓄熱装置の設計工学の研究は、ほとんど緒についたばかりと言えよう。

2. 蓄熱材の選択の方法

潜熱蓄熱は、相変化を利用しているため、相変化を行なう蓄熱材に依存するところが大きい。その点を考察したのが、Fig. 2 である²⁾。この図では、蓄熱装置の性能などを左側に、蓄熱材の特性などを右側に挙げ、両者の関係を示した。ここで実線で結ばれた関係は、蓄熱材の特性などによって性能が規定される場合を示す。たとえば、蓄熱装置の蓄熱密度は、潜熱の大きさにより決定され、その限界を超えることはできない。これに対し、破線で結ばれている場合は、蓄熱装置の構成、構造、設計によ

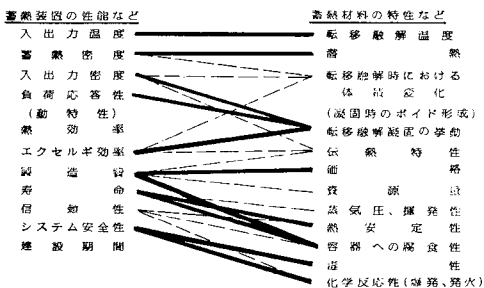


Fig. 2 Relations between system performances and material characteristics

っても性能が変えられることを示しており、たとえば、出力密度や負荷応答性は、蓄熱材の伝熱特性にも依存するが、蓄熱装置の伝熱面積を増すことによって向上できる（しかし、コストが増加する）。

これらの関係から、蓄熱材の選択の方法が導かれる。すなわち、実線で結ばれている特性などがすぐれた蓄熱材の探索を、潜熱蓄熱の研究開発において、最初に行なわなければならないから、それらの特性などによる選択から始めることである。なかでも、転移融解温度、潜熱、エントロピー変化は、広範なデータが熱力学データ集に収集されているので、選択の第一の手掛りとすることができる。これに続いて、毒性、資源量、熱安定性、化学反応性などの化学的記述的知識にもとづく粗いふるい分けができよう。さらに価格についても調査ができ、これも選択のための項目とすることができる。これに対し、過冷却、ガラス化などの転移、融解、凝固の挙動やその速度論などは、実験的に評価しなければならない。以下に、蓄熱装置の蓄熱密度や経済性を支配する潜熱を中心に、蓄熱材の熱力学量について考察しよう。

3. 単一物質の融解

前節で、潜熱蓄熱材の重要な特性として、融点 T_m 、融解のエントロピー変化 ΔS_m 、体積変化 ΔV_m を挙げた。純金属および単純塩については、融解現象を特徴づけるこれらの値にある相関の現れることが、これまでの研究から明らかにされている。

たとえば、融解温度 T_m を臨界温度 T_{crit} で割った値をアルカリ金属、アルカリ土類金属、そしてハロゲン化アルカリについて求めると Table 1 のようになる³⁾。イオンの大きさが増すと T_m/T_{crit} の値もやや増大する傾向があるが、金属とハロゲン化物を分けてみれば、それぞれで相似則がほぼ成立しているといつてよいであろう。

Table 1 Similitude Ratios for T_m/T_{crit} of Crystals

T_m : melting temperature
 T_{crit} : critical temperature

Alkali halides				
Cation	Anion	Cl	Br	I
Li	F	0.28	0.27	0.22
Na		0.29	0.32	0.32
K		0.34	0.33	0.33
Rb		0.32	0.32	0.30
Cs		0.33	0.31	0.30
metals				
Li		0.13	Ca	0.15
Na		0.13	Sr	0.15
K		0.14	Ba	0.15
Rb		0.14		
Cs		0.14		

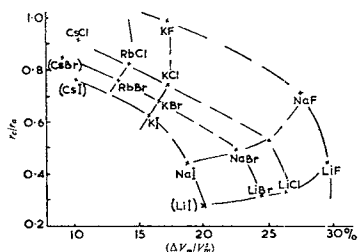


Fig. 3 (a) The volume change on fusion against the ionic radius ratio for the alkali halides.

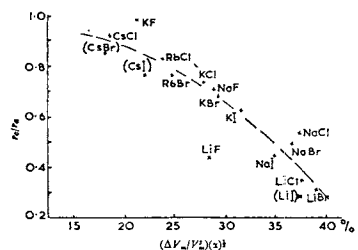


Fig. 3 (b) The relationship among the volume change on fusion, the electronic polarizability and the ionic radius ratio for the alkali halides.

ハロゲン化アルカリの ΔV_m については、以下に示すような規則性がある⁴⁾。Fig. 3 (a) は、陽イオン半径 r_c と陰イオン半径 r_a との比 r_c/r_a と、 $\Delta V_m/V_m^s$ (V_m^s は融点における固相の体積) との関係である。 r_c/r_a の小さい方が不規則な液体状態になるのに多くの空間を必要とするため、 r_c/r_a が小さくなるにつれて $\Delta V_m/V_m^s$ は大きくなる傾向にある。しかし、 r_c/r_a だけでは $\Delta V_m/V_m^s$ を完全に説明するには不十分であることもまた明らかであろう。イオンの変形し易さを考えに入れば、分極率 α の大きいほど $\Delta V_m/V_m^s$ の小さくなることが予想される。Fig. 3 (b) は r_c/r_a を $(\Delta V_m/V_m^s) \alpha^{1/3}$ に対してプロットしたもので、LiF を除いて、極めてきれいに一本の曲線ののることがわかる。

一方、 ΔS_m については、固相および液相の構造が大きく影響を与えるため、 ΔV_m ほどすっきりした相関は得られていない。しかし、結晶構造や結晶状態での配位数でグループ分けをすれば、ある程度の規則性の得られることがわかっている。

金属の場合について、結晶状態における配位数と ΔS_m との関係を示すと Table 2³⁾ のようであり、両者の対応がいくらか見られるが、ばらつきは大きい。

イオン結晶ではアルカリ土類金属のハロゲン化物が興味深い (Table 3)⁵⁾。CaCl₂ 型の CaCl₂、CaBr₂ と PbCl₂ 型の BaBr₂ は融解に伴い電導度に大きなとびが

Table 2 Coordination Numbers and Entropies of Melting of Some Metals

	CN in crystal	S_m (e.u.)
Li	8	1.53
Na	8	1.70
K	8	1.70
Rb	8	1.68
Cs	8	1.65
Be	—	—
Mg	12	2.25
Al	12	2.70
*Ga ^c	1+6	4.42
In	4+8	1.82
Si ^b	4	6.47
Ge ^b	4	5.93
Ti	12	1.79
Sn ^b	—	3.32
Pb	12	1.98
*Bi ^c	3+3	4.78
Sb	3+3	5.25
Zn	6+6	2.48
Cd	6+6	2.57
Hg	6+6	2.37
Fe	12	2.01
Co ^b	12	2.12
Ni	12	2.45
Cu	12	2.29
Ag	12	2.22
Au	12	2.29

Table 3 Classification of Alkaline Earth Halides by Transition Type and Entropies of Transition and Melting (in JK⁻¹ mol⁻¹)

I: no transition, II: 1st order transition, III: diffuse transition
(s): solid-solid transition, (m): melting

	F	Cl	Br
Ca	III 17.6(m)	I 27.2(m)	I 28.7(m)
Sr	III	III 14.2(m)	II 13.3(s) 11.3(m)
Ba	III	II 14.4(s) 13.3(m)	I 28.2(m)

見られ、 ΔS_m はおよそ 28 JK⁻¹ mol⁻¹ である。これに対し、他の化合物の ΔS_m はその約半分の値にすぎない。さらに、BaCl₂、SrBr₂ では融点以下にある一次転移に伴い電導度が飛躍的に増大し、融解によってはほとんど変化しないこと、CaF₂ 型の化合物では diffuse transition に伴い連続した電導度の増大がおり、融解による電導度の変化はほとんどないことが特徴である。アルカリ土類金属のハロゲン化物では、電気を運ぶのは陰イオンなので、これらの事実は結晶が融解する前に陰イオン副格子の融解が起ることを示しており、このため融解のエントロピー変化が通常の値の半分程度に減少

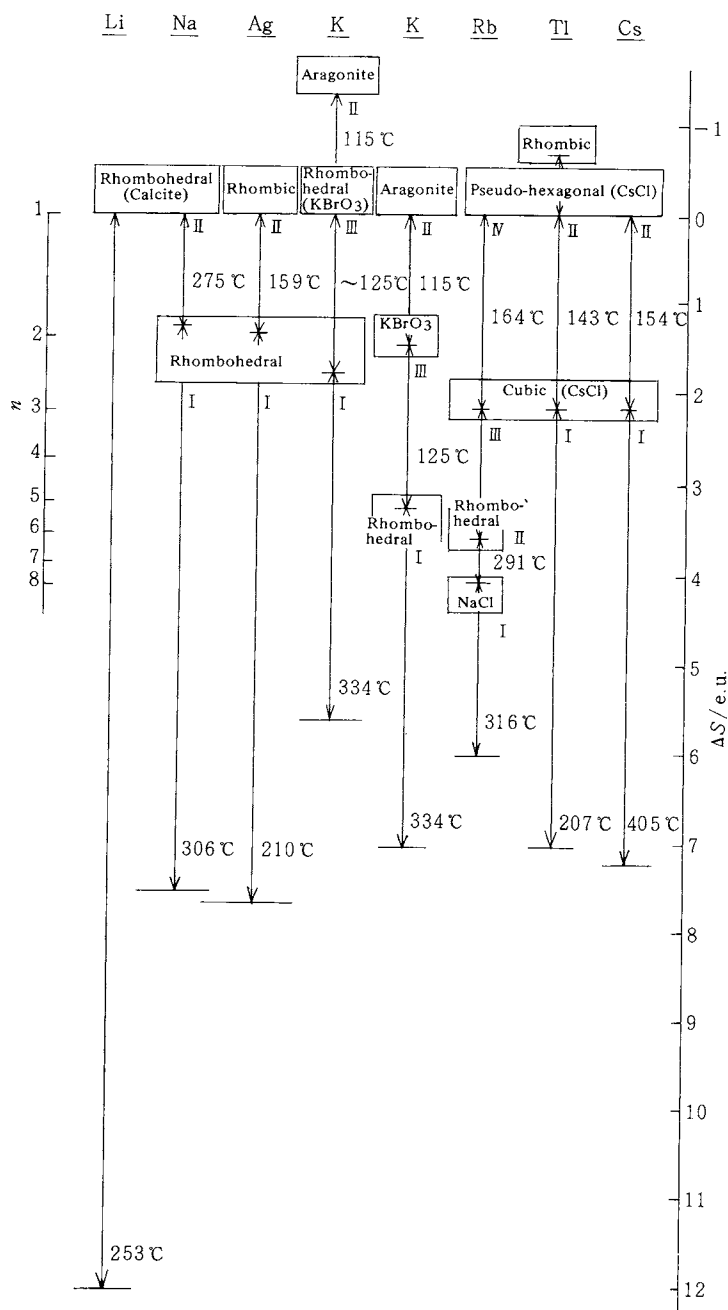


Fig. 4 Entropies of Monovalent Metal Nitrates

The zero of ΔS is the phase which is considered to have zero configurational entropy. Two possible interpretations are shown for potassium nitrate

するものと理解されている。このグループの化合物の中で、 CaCl_2 の $\Delta V_m/V_m^s$ は 0.9% であり、 SrCl_2 や BaCl_2 の場合に比べて小さい。結晶状態での配位数が小さいためであると考えられている。

ルカリ土類金属の塩の融解エントロピー（融解エンタルピー）は一応求められており、理論的な検討も成されている。その他の単一物質についても、いくつかのよく知られたハンドブックやデータ集に潜熱データが集められ

結晶構造によって相転移の起こり方に違いが生じ、そのために ΔS_m が異なった値をとることは、アルカリ金属の硝酸塩でより多様性を帯びて現れている⁶⁾。Fig. 4 はこれらの硝酸塩と AgNO_3 および TlNO_3 の転移、融解のエントロピー変化を縦軸にとって比較したものである。 NO_3^- イオンの回転の自由度が転移、融解によって増大し、それに伴うエントロピー変化が主要なものと考えられる。縦軸に付記した n は、配置のエントロピー $\Delta S = R \ln n$ に相当する n である。ところで、回転が完全に自由になれば約 25 e.u. のエントロピーが開放されるはずであるが、どの硝酸塩をとってみてもこれよりずっと小さい値にしかならない。NaNO₃ の液体構造は Na^+ も NO_3^- もある束縛を受けていることを示しており、 ΔV_m の値も、回転が完全に自由になったときに予想される値より小さい。

硝酸塩以外の酸素酸塩で、同様にし転移点で大きなエントロピーの変化を伴う化合物がいくつか知られている。なかでも Li_2SO_4 、 Na_2MoO_4 では、融解のエントロピー変化より転移のエントロピー変化の方が大きく、コストの点で難があるが、潜熱蓄熱材として一つの可能性を与えるものであろう。

つぎに簡単にハロゲン化アルカリについて触れると、この場合は極めて規則性がない。CsCl と RbCl を除けばすべてが NaCl 型化合物であるが、その ΔS_m は 3.5~6.7 e.u. の範囲に広く分布している。

4. 有望な単一物質の選択

蓄熱材の選定に当たっては、蓄熱密度、つまり単位質量あるいは単位体積当りの潜熱量を調べる必要がある。これまでに述べたように、潜熱蓄熱材の候補として考えられるアルカリ金属およびアル

ている。われわれはこれらのデータを収集し、単位質量当りの潜熱を計算し、温度順に整理した¹⁾。つぎにこの表をもとに大きな潜熱を持つ物質を選び出した²⁾。融解潜熱の選択基準としては、代表的なエネルギー貯蔵手段である改良型鉛蓄電池の蓄エネルギー密度に匹敵する200 kJ/kgをとり、扱いの容易な転移の選択基準は100 kJ/kgとした。さらに、Fig. 2に挙げた資源量などの蓄熱材の特性の中で、何か著しく劣るものがある場合にはその材料を除くと、100℃から1000℃の間で約90種が残る。

それらは、主に、アルカリ金属およびアルカリ土類金属の塩化物、フッ化物、硫酸塩、炭酸塩である。100℃から500℃の間で、転移点、融点に対し、これらの物質の潜熱を図示すると、Fig. 5のようになる。図から、300～440℃では、優れた転移、融解をもつ単一物質が存在しないことがわかるであろう。この温度範囲は、太陽熱発電などで必要とされる温度と一致しているので、共融混合物などの多成分系材料の探索が必要となる。

経済性についても化学商品の価格を調べることにより

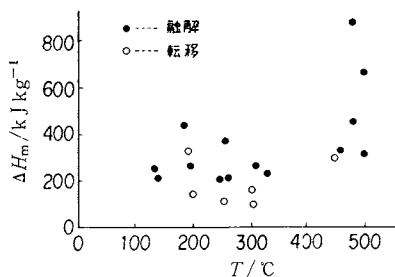


Fig. 5 Latent Heat per Unit Weight versus Temperature

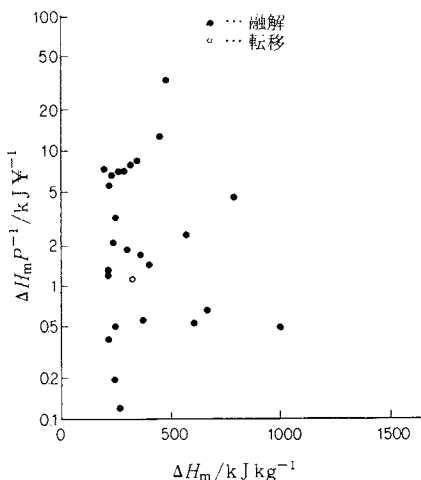


Fig. 6 Latent Heat per Unit Weight versus Material Cost

評価ができる。Fig. 6は蓄熱材1円当りの蓄熱可能量と単位重量当りの蓄熱密度との関係を示したものである。この図から、蓄熱材のコストおよび蓄熱密度のおよその限界が明らかとなろう。いま1円/kJの場合を考えると、発電効率を36%として1万円/kWhとなり、5時間の蓄熱を行なうとすれば5万円/kWとなる。現用の発電装置の建設費を考えれば、これは妥当な値とみなせるので、蓄熱材コストとして1円/kJを一応の目安とすることができよう。

これらの図から有望な蓄熱材、あるいは有望な混合塩の素材を選び出すことができる。代表的なものをいくつか挙げれば、NaCl, NaF, MgCl₂, Na₂CO₃, NaOH, 尿素などである。一般にリチウムの化合物は、蓄熱密度だけを考えれば極めて優れた蓄熱材であるが、経済性やや難点がある。

5. 混合塩の融解潜熱

多成分系材料としては普通共融塩を考えることが多いが、一般には共融塩の融解熱の測定は極めて稀にしか行なわれていない。

AとBの単純な共融混合物の共融潜熱 ΔH_{eu} を間接的に求める方法として、A, Bの融解熱 ΔH_A , ΔH_B のモル平均で ΔH_{eu} を与える方法、あるいはA, Bの融解のエントロピー変化のモル平均で $\Delta H_{eu}/T_{eu}$ (T_{eu} は共融温度) を与える方法が考えられるが、どちらも粗い推定法であり、実測値との一致は、よい場合も悪い場合もある。より厳密には、

$$\begin{aligned} \Delta H_{eu} = & x_A \{ \Delta H_A - (C_A^l - C_A^s) (T_A - T_{eu}) \} \\ & + x_B \{ \Delta H_B - (C_B^l - C_B^s) (T_B - T_{eu}) \} \\ & + \Delta H^{mix}(T=T_{eu}) \end{aligned}$$

から計算すればよい。ここで、 x_A , x_B は、A, Bのモル分率、 C_A^l , C_A^s はAの液相、固相での熱容量(Bについても同じ)、 T_A , T_B はA, Bの融点である。

溶融塩の混合熱 ΔH^{mix} はしばしば負になることが知られている。アルカリ金属の硝酸塩およびハロゲン化物の ΔH^{mix} は、 $\delta = (d_A - d_B)/(d_A + d_B)$ (d_A , d_B は塩A, Bにおける陽イオン半径と陰イオン半径との和)の関数として、それぞれ、

$$\Delta H^{mix} = -x_A x_B 140 \delta^2 \text{ kcal mol}^{-1},$$

$$\Delta H^{mix} = x_A x_B (U_0^{++} - 340 \delta^2) \text{ kcal mol}^{-1}$$

で表わされる⁷⁾。

アルカリ土類金属のハロゲン化物とアルカリ金属のハロゲン化物の ΔH^{mix} は、 $\delta_{AB} = (d_A - d_B)/d_A d_B$ の関数として、

$$\Delta H^{mix} = x_A x_B (A + B \delta_{AB}) \quad (B < 0)$$

のようになる⁸⁾。

これらの経験式の形は、Conformal Ionic Solution 理論から得られ、系による係数の違いも、定性的に説明されている。 ΔH^{mix} の絶対値は、一般に共融潜熱 ΔH_{eu} を著しく小さくするほど(エントロピー変化に加成性を仮定して計算した場合の値に比べ)大きくはない。したがって、前節で述べたようにして選出された潜熱の大きい有望な素材を混合して優れた蓄熱材を得ようとすることは、十分意味のあることであろう。

ところがMgや遷移金属のハロゲン化物と、アルカリ金属のハロゲン化物との混合熔融塩は、上述の理論で示されるよりも大きな負の混合熱を持っている。これについては、マグネシウムや遷移金属のハロゲン化物に共有結合性があるためと考えられている。MgCl₂とMCl(M:アルカリ金属)の混合塩中ではMgCl₄²⁻の、FeCl₃とMClの混合塩中ではFeCl₄⁻イオンの存在が蒸気圧測定から示唆されている。NaFeCl₄とKFeCl₄の融解熱が、NaCl, KCl, FeCl₃の融解熱から予想されるより相当小さくなる⁹⁾のは、このためであろう。

錯体の形成は動的な性質にも影響を与える。ZnCl₂は溶融状態で固相のネットワークが幾分保存され、Zn²⁺とZnCl₆⁴⁻が存在する。このため粘度が大きく容易にガラス化する、あるいは過冷却し易いという特徴がある。

このように、液相での錯体形成は、混合塩の融解熱を小さくし、過冷却のように動的挙動に悪影響を及ぼすという意味で、潜熱蓄熱材にとっては好ましくないものと言えよう。しかし、錯体形成の程度はものによってまちまちである。たとえばMgCl₂とKClとの ΔH^{mix} はMgCl₂とCsClやRbClとの ΔH^{mix} と比べて小さく¹⁰⁾、KMgCl₃, K₂MgCl₄の融解潜熱は大きな値を示す¹¹⁾。また、過冷却の度合も混合する物質によって異なるので、可能性のある混合塩については実験による評価が不可欠であろう。

6. 蓄熱材の実験的評価

以上によって既存の知識を使い系統的抱括的に蓄熱材の選択を行なう方法とその背景を示した。これらの理論は、潜熱の測定値の妥当性を検討するためにも使えるであろう。単一材料については、こうして予備的な選択が行なわれた²⁾。多成分系材料についても、融解熱あるいは融解のエントロピー変化の大きい材料(したがって単一材料として有望な材料)を素材として、その共融混合物などを探索することにより、粗い選択が可能となろう。

このように選択された材料について、次になされるべき評価は、実験的評価である。ここでは熱測定がきわめて有力かつ不可欠な手段となる。まず、潜熱の確認が必要である。文献に与えられている潜熱やエントロピー変

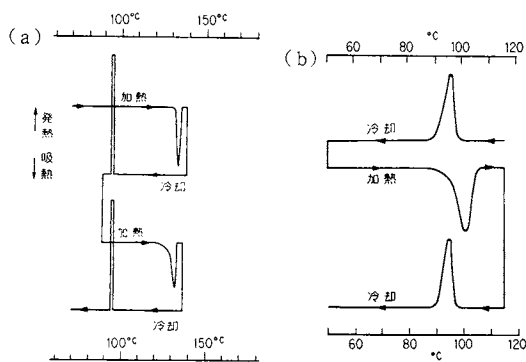


Fig. 7 DSC curves of urea (a) and eutectic mixture of urea and NH₄Cl (b)

化の値の中には、凝固点降下や融点の圧力依存性と融解の体積変化のような間接的方法で求めた値があり、熱量測定から求めた値と異なる場合がある。精密な熱量測定装置を扱い得ない蓄熱材の研究者の場合は、確度の高いDSCなどによる測定の方が望ましいであろう。DSCやDTAは、転移、融解、凝固の挙動を評価する上でも有効である。たとえば、Fig. 7は、尿素とその共融混合物のDSC曲線であり、共融混合物形成により過冷却が防止され、特性の改善が認められる。熱安定性や揮発性の評価には熱天秤を用いることができれば^{12,13)}。

このような熱測定による評価によって有望とみなされた材料については、さらに、伝熱特性の評価や実用条件を模擬して繰返し加熱冷却を行なったときの特性変化と寿命の評価(ここでもDSC, DTAを評価手段に使うことができる)がなされるべきであろう。

なお、本文中ではエントロピー変化の単位として、e.u.を用いたが、1 e.u.は4.184 J·K⁻¹mol⁻¹である。

文 献

- 1) 神本正行, 作田宏一, 坂本龍二, 小沢丈夫, 電総研調査報告, 196号(1978)
- 2) 小沢丈夫, 神本正行, 坂本龍二, 高橋義夫, 金成克彦, 電総研彙報(投稿中)
- 3) A. R. Ubbelohde, "The Molten State of Matter", John Wiley & Sons (1978)
- 4) K. Frukawa, *Discuss Faraday Soc.* **32**, 53 (1961)
- 5) C. E. Derrington, A. Lindner, M. O'Keefe, *J. Solid State Chem.* **15**, 171 (1975)
- 6) D. M. Newns, L. A. K. Staveley, *Chem. Rev.* **66**, 267 (1966)
- 7) L. S. Hersh, O. J. Kleppa, *J. Chem. Phys.* **42**, 1309 (1965)
- 8) T. Østvold, *J. Phys. Chem.* **76**, 1616 (1972)
- 9) C. M. Cook, Jr., W. E. Dunn, Jr., *J. Phys. Chem.* **65**, 1505 (1961)

- 10) O. J. Kleppa, F. G. McCarty, *J. Phys. Chem.* **70**, 1249 (1966)
- 11) J. L. Holm, B. J. Holm, B. Rinnan, F. Grønqvold, *J. Chem. Thermodyn.* **5**, 97 (1973)
- 12) 小沢丈夫, 熱測定 **1**, 2 (1974)
- 13) 佐多敏之, “新実験化学講座 2, 基礎技術 1, 熱・圧力” (日本化学会編) p. 371, 丸善(株), 東京 (1977)

第 4 回熱測定講習会テキスト
「高温における熱測定」 B 5, 78 頁 1 部 3000 円 (送料共)

内 容

1. 高温熱測定の基礎 (I) (東工大工教授) 谷 口 雅 男
実験室における高温の生成と測定, 相平衡, 高温物性
2. 高温熱測定の基礎 (II) (東工大工材研教授) 齊 藤 安 俊
熱分析 (TG, DTA など) の基礎, 熱分析用語と結果の表示法, 熱分析の応用
3. 既存装置の使いこなし方 (電総研 エネルギー貯蔵研究室長) 小 沢 丈 夫
熱分析における温度測定と標準物質, DTA および DSC, TG, EGA および EGD
4. 高温熱分析 — 熱分析とふん囲気 (東工大工助教授) 水 谷 惟 恭
高圧 DTA, 示差ガス熱分解, 熱分解反応, 自生ふん囲気
5. 高温材料の熱物性 (I) 機械的性質 (東芝総研主任研究員) 米 屋 勝 利
機械的性質の評価方法, 高温強度に関連した構造因子, 微構造と高温強度, ふん囲気および形状効果, 高温材料設計について
6. 高温材料の熱物性 (II) 金属材料の熱的性質測定法 (新日本製鉄基礎研副部長研究員) 吉 田 育 之
金属材料の高温熱物性, 熱伝導率, 熱拡散率, 熱分析, 比熱, 熱膨張
7. 高温非定常熱測定 — レーザーフラッシュ法など (東工大工助教授) 高 橋 洋 一
非定常熱測定の特長とその得失, レーザーフラッシュ法による熱拡散率の測定, レーザーフラッシュ法による熱容量の測定, その他の非定常法による高温熱測定, いくつかの測定例
8. 高温熱力学データの検索と使い方 (東工大工助教授) 山 内 繁
熱力学データはどのように役立つか, 熱力学データは何を見れば得られるか, データブックはどのように作られるか, データが得られないときどうするか

申込先: 日本熱測定学会事務局 113 東京都文京区湯島 1-5-31 (03-815-3988)