

# 金属冷却への吸熱反応の適用可能性調査

化学反応における吸熱現象を冷却に利用できないか？

## Investigation into the Possibility of Using Endothermic Reactions to Cool Metal

Can the endothermic phenomenon from chemical reactions be used to cool metal?

(エネルギー応用研究所 生産技術G 次世代技術T)

(Next-generation Technology Team, Production Engineering Group, Energy Applications Research and Development Center)

鑄造、熱処理など生産工程には加熱を伴う工程が多く、加熱の後には冷却が必要である。

There are many production processes that require heat such as casting and heat treatments. After heating, cooling is necessary. In this study, the possibility of applying a method that uses the endothermic phenomenon from chemical reactions was studied as a new cooling method to replace air cooling, water cooling, and oil cooling, which are generally used.

本研究では、一般的に用いられる空冷、水冷、油冷に代わる新たな冷却方法として、化学反応における吸熱現象を利用して金属を冷却する方法の適用可能性を調査した。

### 1 研究の背景

鑄造、熱処理、乾燥などの加熱工程の後、冷却が必要となる工程は多い。現状では、簡易な設備で取り扱いが容易なブローを用いた空冷が最も一般的であり、急速冷却が必要な場合には水冷が用いられている。冷却技術に関する取り組みは、鉄鋼の製造工程において高温の熱間圧延鋼板を大量流水で急速冷却する技術開発などが行われているものの、それ以外ではあまり行われていない。

⑥脱ハロゲン反応 (例： $\text{MoCl}_6 \rightarrow \text{Mo} + 3\text{Cl}_2$ )

⑦脱アンモニア反応 (例： $\text{NaCl} \cdot 5\text{NH}_3 \rightarrow \text{NaCl} + 5\text{NH}_3$ )

各反応において、吸熱量(反応エンタルピー)と反応温度を、熱力学データ(原始物質と生成物質の標準生成エンタルピー、標準エントロピー)から計算した。

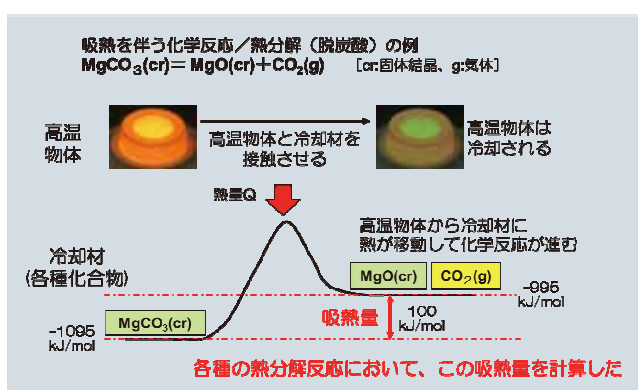
7つの分解反応の中で、脱水反応と脱水素反応の吸熱量は他の反応に比べて比較的大きく、中でも原始物質中の金属の分子量が小さいもの( $\text{LiOH} \rightarrow 0.5\text{Li}_2\text{O} + 0.5\text{H}_2\text{O}$ など)や水和物の反応モル数が多いもの( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + 10\text{H}_2\text{O}$ など)は、原始物質kgあたりの吸熱量が大きくなり、水の蒸発潜熱(2257kJ/kg)を上回る吸熱量の物質も存在した。

近年、輸送用機械業などでは生産性向上のため急速冷却技術の関心が高まっている。そこで、既存の空冷、水冷、油冷に代わる新たな冷却技術の創出を目的に、化学反応における物質の吸熱現象を利用して金属等の冷却を行う方法の適用可能性を調査した。

本調査では、ア) 吸熱量が比較的大きく(500kJ/kg以上)かつ反応温度が低い(500℃以下)、イ) 毒性・可燃性ガスが発生しない、ウ) 安全で取り扱い易く安価である、等を指標として、冷却材の候補物質をいくつか抽出した。

### 2 吸熱を伴う化学反応の抽出・調査

吸熱を伴う化学反応と高温物体の冷却のイメージを第1図に示す。冷却したい高温物体(加熱した金属等)を吸熱反応の熱源とすること、すなわち、吸熱反応を起こす物質(冷却材)を高温物体に接触させて熱を奪って冷却することを考えた。一般的に、結合を切る反応は吸熱反応、結合を新たに作る反応は発熱反応であることから、本研究では脱炭酸反応( $\text{MCO}_3 \rightarrow \text{MO} + \text{CO}_2$ ; Mは金属元素)など、既知の分解反応系において、金属元素Mを原子番号の小さい順に順次当てはめる形で網羅的に調査した。



第1図 吸熱(分解)反応と金属冷却のイメージ

#### (1) 無機化合物の調査

無機化合物に関しては、分解反応として次の7つの反応系を考えた。

#### (2) 有機化合物の調査

有機化合物については、官能基別(アルコール、エーテル、カルボン酸、ジカルボン酸、炭化水素)に、熱分解反応(加水分解、脱水、脱炭酸、脱水素、脱メタン)における500℃までの吸熱量をプロセスシミュレータ(VMGSim)にて計算した。

①脱水反応 (例： $\text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{MgO} + \text{H}_2\text{O}$ )

②脱炭酸反応 (例： $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ )

③脱水素反応 (例： $\text{MgH}_2 \rightarrow \text{Mg} + \text{H}_2$ )

④脱窒素反応 (例： $\text{Mn}_5\text{N}_2 \rightarrow 5\text{Mn} + \text{N}_2$ )

⑤脱酸素反応 (例： $\text{Mn}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{MnO} + 0.5\text{O}_2$ )

有機化合物においても、メタノールの脱水素反応 ( $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{HCHO} + \text{H}_2$ , 吸熱量: 3958kJ/kg) など、水 (蒸発潜熱) より吸熱量が大きい物質も存在したが、いずれも可燃性かつ水素ガスを発生するなど、安全面から有機化合物の利用は困難と判断した。

### 3 簡易冷却試験

冷却材による冷却速度を把握する目的で、500℃に加熱したアルミ円柱ブロックの片面に冷却材を浸漬してアルミブロックの温度変化を測定する簡易な冷却試験を実施した (第2・3図)。用いた冷却材を第1表に示す。上記調査で抽出した中で吸熱量が比較的大きかつ反応温度が低い、①硫酸ナトリウム水溶液 (10wt%)、②硫酸マグネシウム7水和物、③水酸化アルミニウムを用いた。また、比較のために、④水 (浸漬大)、⑤水 (浸漬小)、⑥液体窒素、⑦ドライアイス、⑧空気 (自然空冷) による試験も行った。

試験結果から以下のことが分かった (第4図)。なお、本試験は冷却材 (粉末や液体) の充填・取出しを手作業で行っており、結果は定性的な目安と考えたい。

- ア) 粉末状の固体冷却材である水酸化アルミニウム、硫酸マグネシウム7水和物は、吸熱の効果が若干見られるものの、冷却速度は遅く自然空冷に近かった。
- イ) 硫酸ナトリウム水溶液は200℃以上の高温域で水より冷却速度が速く、高温域での高速冷却の可能性を有している。これは、塩により表面張力が小さくなり水が高温物体と接触しやすくなる、沸騰の起点となる核 (無機塩粒子) の存在により核沸騰になりやすいことが理由と考えられる。
- ウ) ドライアイスや液体窒素は冷却材の温度が低いにも関わらず冷却速度は水より遅かった。これは、吸熱量が小さいこと以外に、冷却材が気化しやすく断熱効果を有する気体層が維持されて膜沸騰状態が継続したためと考えられる。
- エ) 冷却材と高温物体の熱伝達、すなわち接触状態 (冷却材の当て方、入れ替え方) が冷却速度に大きく影響するため、良好な接触状態を維持するための工夫が必要である。

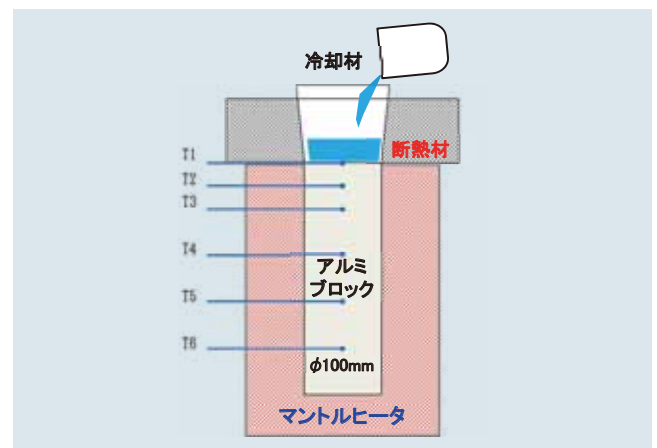
### 4 まとめ

化学反応における吸熱を利用した冷却方法を検討した。無機・有機化合物の中には吸熱量では水に優る物質も存在するが、安全かつ安価で水より吸熱量が大きい有用な物質は見当たらなかった。

今後は、お客様の冷却ニーズを把握して、水を用いない粉末による冷却、水冷よりも速い冷却など、得られた知見を活かす方策を探っていきたい。

第1表 冷却試験に用いた冷却材  
(①～③: 調査で抽出したもの、④～⑦: 比較用)

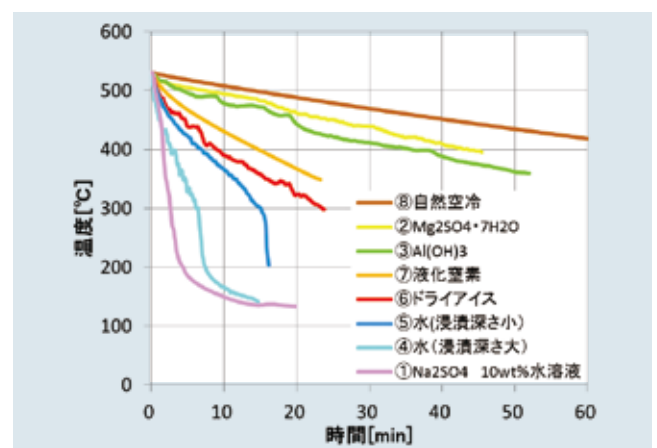
	反応式	反応温度	吸熱量 [KJ/kg]
①	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} (\text{cr}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 (\text{cr}) + 10\text{H}_2\text{O} (\text{g})$	100℃ (融解32℃)	反応熱1260 融解熱251
②	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} (\text{cr}) \rightarrow \text{MgSO}_4 (\text{cr}) + 7\text{H}_2\text{O} (\text{g})$	150~200℃ (融解67.5℃)	1654
③	$\text{Al} (\text{OH})_3 (\text{cr}) \rightarrow 0.5\text{Al}_2\text{O}_3 + 1.5\text{H}_2\text{O} (\text{g})$	200℃	937
参考	水 [蒸発] (④、⑤) $\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (\text{g})$	100℃	2257
	液体窒素 [蒸発] (⑥) $\text{N}_2 (\text{l}) \rightarrow \text{N}_2 (\text{g})$	-196℃	199
	ドライアイス [昇華] (⑦) $\text{CO}_2 (\text{cr}) \rightarrow \text{CO}_2 (\text{g})$	-79℃	573



第2図 冷却試験の模式図



第3図 試験時冷却材の状況 (水酸化アルミニウム)



第4図 アルミブロックの温度変化



執筆者 / 橋本英明