

瞬間冷却剤に使用する無機塩の効果とその回収法

布浦博之* 伊藤健** 水流賢之郎*** 栗谷樹*
吉本隆光† 八木善彦‡ 大多喜重明‡ 福本晃造§

Effects and recycle methods of mineral salts used in a disposable coolant

Hiroyuki NUNOURA* Takeshi ITO** Kenshiro TSURU*** Itsuki KURITANI*
Takamitsu YOSHIMOTO† Yoshihiko YAGI‡
Shigeaki OHTAKI‡ and Kozo FUKUMOTO§

ABSTRACT

In the summer of 2012, the concern of electronic shortage caused the increase in demand of disposable coolant. To solve the problem, our group are tacking development of the sidposable coolant which is sustainable, cheap, usable and does not require electronicity. Here we report the chilling effects of cation and anion in salts, and the recycle method of salts. The high collecting rate of satls was attained using oven (over 90 %).

Keywords: mineral salt, cooling effect, recycle method

1. はじめに

2011年夏には東日本大震災に由来する原子力発電所の停止に伴って、電力不足が懸念された。しかし節電を意識し、エアコンなどをあまり使用せず、暑さを我慢したことにより、政府が求めている節電要請期間の7月2日から9月7日の間、電力不足が起こる事はなかった⁽¹⁾。

先進国である日本でさえ電力不足が起こりかけた中で、恒常的に電力を十分調達できない国は世界中に数多く存在している。特に、夏でも夜の気温が25℃を超えるような熱帯夜が続く、パキスタンのような国で停電が起こった場合、扇風機などの電化製品が使えないため、暑さに弱い子供たちが体調を崩すことも珍しくない⁽²⁾。そこで、我々は暑い日にも電力を使わずに快適な暮らしを実現するため、手軽で安価な再生可能

瞬間冷却材の開発を目指して研究を進めている。前回の実験では、瞬間冷却材に使用する、試薬や水の配分について検討を行い、またその結果をもとに冷却材の試作品の製作も行った⁽³⁾。

今回の実験では冷却効果を使用した後にできる水溶液から、もう一度試薬を回収し、再利用することに焦点を置いた。

2. 結果と考察

2.1 各種試薬の冷却効果について 今回の実験検討の対象とした瞬間冷却材は、試薬と水を混ぜた際に起こる溶解熱が吸熱的に反応する現象を利用している。この溶解熱がマイナスを示す試薬を数種類集め、それぞれの冷却効果を調べる実験を行った。この実験では試薬と水を均等かつ効率良く混ぜるために、自動かく拌機⁽⁴⁾を使用した。手順は以下の通りである。

①試薬を入れた発砲スチロール製カップに、かく拌子を入れ、かく拌機の上に乗せる。

②カップに水を加えると同時にかく拌機を回し、ストップウォッチをスタートさせ開始時から30秒ずつ10分間、水溶液の温度を測定する。この時、かく拌機のスピードは一定とする。

* 本科都市工学科
** 本科電気工学科
*** 本科機械工学科
† 機械工学科教授
‡ 一般科教授
§ 一般科講師

市販の瞬間冷却材では硝酸アンモニウムが使用されている。そこで、硝酸アンモニウムに加え、類似のイオンを有する試薬を用い、冷却効果について検討を行った。使った試薬は次の9種類である。①硝酸アンモニウム(80.04 g/mol) ②硫酸アンモニウム(132.14 g/mol) ③酢酸アンモニウム(77.09 g/mol) ④塩化アンモニウム(53.49 g/mol) ⑤炭酸アンモニウム(96.09 g/mol) ⑥硝酸ナトリウム(84.99 g/mol) ⑦硝酸カリウム(101.10 g/mol) ⑧硝酸カルシウム(236.16 g/mol) ⑨硝酸マグネシウム(256.43 g/mol)。それぞれの試薬 0.10 mol に対して水 20 g を用意し、2.1 の手順で実験を行った。その結果を図1に示す。

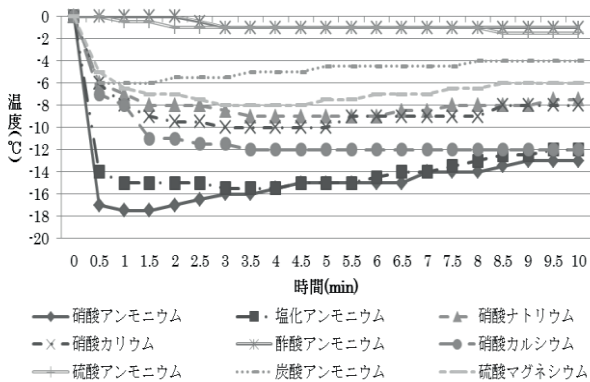


図1 9種類の試薬の温度変化

全ての水溶液において冷却効果がみられた。図1から、カップに水を入れてから1分が経過した時点で、硝酸アンモニウムは最初の温度より-17.5℃となっており、硝酸アンモニウムの次に温度が低かった塩化アンモニウムの-15.0℃よりも2.5℃も下回っている。

この実験を行った10分間の間ずっと、硝酸アンモニウムが最低温度を維持し続けた。これらより硝酸アンモニウムが、実験を行った9種類の試薬の中で、冷却効果と持続時間ともに最も優れている。

また試薬のイオンと冷却効果の関係についても注目してみた。アンモニウムに結合しているイオンの違いで冷却効果に違いが出ている。図1より炭酸アンモニウムと硫酸アンモニウムと酢酸アンモニウムで比べてみる。カップに水を入れてから1分が経過した時点で炭酸アンモニウムは最初の温度より6℃下がっているが、硫酸アンモニウムは0.5℃しか下がらず、酢酸アンモニウムは温度下がらないという結果が読み取れる。これらの結果を元にアンモニウムに結合しているイオンを比べてみると、冷却効果が大きい順に $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{CH}_3\text{COO}^-$ という傾向がみられる。

同様に陽イオンについても調べたところ、冷却効果の大きい順に $\text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ のであることが明らかとなった。

2.2 試薬の回収 使用した後にできる水溶液から試薬を回収方法についてである。方法はガスバーナーを使った方法(以下A法とする)、オープンを使う方法(以下B法とする)、集光器を使う方法(以下C法とする)、の三つで実験を行った。なお、この実験で使う水溶液は硝酸アンモニウム 20 g と水 20 ml を混ぜ、溶かしきったものを使う。

2.2.1 ガスバーナーを用いた試薬の回収(A法) 次の手順に従い、ガスバーナーを用いた試薬の回収を行った。

- ①水溶液を蒸発皿に入れ、ろ紙をかぶせる。
- ②①を三脚あみにのせて、ガスバーナーであぶる。
- ③蒸発乾固後、蒸発皿を濡れ雑巾の上に置いて冷ます。
- ④冷ました蒸発皿とかぶせていたろ紙にこびりついている試薬を、スプーンで取り、重さを測る。

表1の火力強①、火力強②、火力強③、火力弱①、火力弱②は、2.4.1を5つ同時に行ったものである。なお火力弱①、火力弱②は火炎の強さを火力強①、火力強②、火力強③に比べて火力を弱くして実験を行った。

表1 硝酸アンモニウムの回収率

	火力強①	火力強②	火力強③	火力弱①	火力弱②	平均
回収量	9.572g	4.400g	8.231g	12.30g	13.07g	9.514g
回収率	47.64%	22.00%	41.16%	61.48%	65.35%	47.52%

数値にばらつきがある理由として考えられる原因として、まず火炎で熱したことにより急激に水溶液の温度が上昇し、水泡とともに蒸発皿とろ紙のすき間から外部へと出ていったと考えられる。次にかぶせたろ紙がこびりついていることから、熱せられ蒸発した試薬がろ紙に接触した際にろ紙が試薬とともにこびりついて、回収できなくなってしまった。またガスバーナーでは火炎の量を均一に揃える事が出来ないため、熱した水溶液の温度上昇のしかたが変わり、それにより回収量に違いが出たと考えている。

この方法では白煙が出るので、換気をしっかりと行わないと危険であり回収率も低いと判断した。

2.2.2 オープンを用いた試薬の回収(B法) 次の手順に従い、オープンを用いた試薬の回収を行った。

- ①水溶液を発砲スチロール製のコップに入れ、そのコップをオープンに入れる。
- ②オープン内の温度は70℃に設定し、24時間置く。
- ③翌日にオープン内のコップを取り出して、コップ内の試薬を回収し、重さを測る。
- ④採取した試薬をもう一度水に溶かしきる。(試薬と水の割合は1:1とする。)

- ⑤もう一度溶かした水溶液をオープンに入れる。
- ⑥②から⑤を四回繰り返す。

回収率を求めたところ 93 % の回収率を得ることができたため、A 法よりも優れていると判断した。そこで、回収した試薬をもう一度水に溶かし(試薬と水の割合は 1:1 とする)、それをオープンに入れて 2.4.3 を繰り返した。その結果を図 2 に示す。いずれも 90 % 以上の回収率が示されている。次に回収した試薬が、毎回、同じ冷却効果を示すかを確認するため、2.1 の手順に従い、温度変化を測定した(図 3)。

冷却効果、持続時間ともに多少違いはあるが、平均をとると一回目のグラフと類似しており、回収した後も問題なく使用できることが明らかとなった。

また B 法に限り 2.1 で行った、イオンの違う 9 種類の試薬についても実験をした。硝酸ナトリウム、塩化アンモニウム、硝酸カリウムを使用した実験では、右上の図 4 より硝酸アンモニウムと類似の結果が得られた。また、酢酸アンモニウム、硝酸カルシウム、硫酸アンモニウム、硫酸マグネシウムでは、水和物を形成してしまい、無水和物の回収を行うことはできなかった。また炭酸アンモニウムは完全に蒸発しており、容器内には何も残っていなかった。

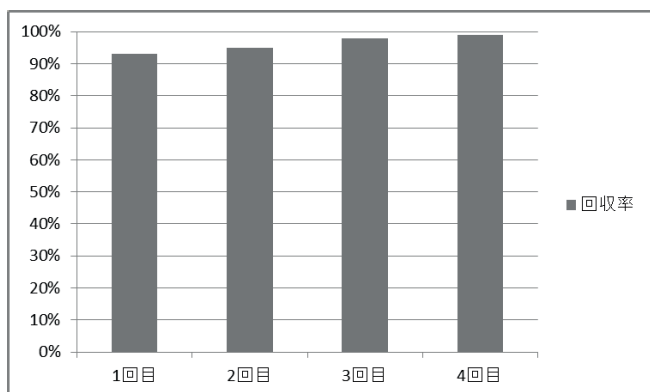


図 2 硝酸アンモニウムの回収率

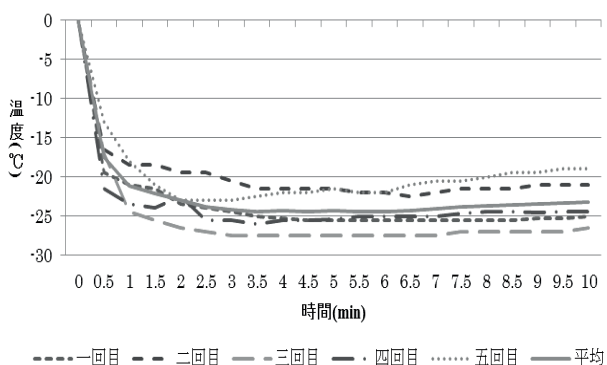


図 3 硝酸アンモニウムの温度変化

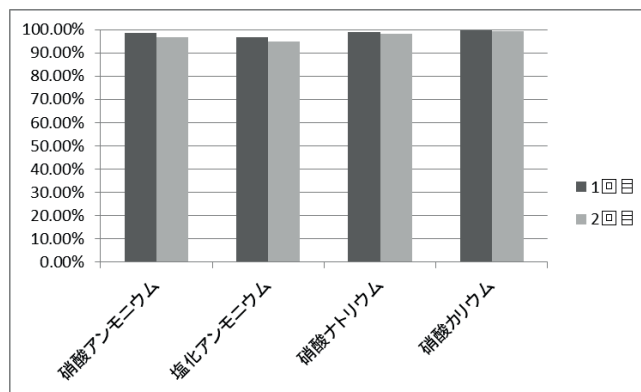


図 4 類似した回収率

B 法の硝酸アンモニウムの回収率が A 法の回収率を上回った結果について、A 法では発生した水泡によって、試薬が容易外部へと飛び散ったためと考えられる。A 法では火炎で容器の底を熱するため、底と水面で温度差ができるが、B 法では全体的に容器が熱され、緩やかに水が蒸発するため、水泡が発生しにくい。また温度が徐々に上がるため、突沸が起こらないことに起因すると考えている。

2.2.3 水和物の生成 B 法による試薬の回収を硫酸アンモニウム、硫酸マグネシウムに対して行ったところ、見かけ上の回収率が 100 % を超えた。一般に、硫酸アンモニウム、硫酸マグネシウムは十二水和物、七水和物を生成するため、ここでも水和物を形成していると考えられる。そこで、設定温度を 70 °C にしたオープンに 24 時間入れた後に重さを測定し、水和物の量を見積もった。

表 3 水和物の重さ

	硫酸アンモニウム12水和物	硫酸マグネシウム7水和物
理論値(十分の一モル)	33.21g	24.65g
オープンに入れた後の重さ	25.63g	13.41g
塩に付着した水の割合	60.80%	10.80%

表 3 よりオープンに入れた後の硫酸アンモニウム 12 水和物と硫酸マグネシウム 7 水和物は、それぞれ平均して 7.3 水和物と 0.76 水和物を形成していることが明らかとなった。

さらにこれらをもう一度、設定温度 70 °C のオープンに入れ、三か月放置したところ、酢酸アンモニウム 3 水和物は全て蒸発し、無水硫酸アンモニウムが 92 % で回収できた。しかし、硝酸カルシウムはゲル化してしまい、無水物を得ることはできなかった。

2.2.4 太陽光を用いた試薬の回収 (C 法) A 法, B 法は回収時のエネルギー源として化石エネルギーを利用している。C 法では、再生可能エネルギーである、太陽エネルギーを利用した試薬の回収を試みた。効率良く蒸発させるためには、たくさんの太陽エネルギーを集め、中の水溶液の温度を上昇させなければならな

い。そのために容器の素材の違いと集光能力の違いで、どれだけ中の水溶液の温度が変わるのかを調べるため、実験をした。容器の種類はペットボトルとアルミ缶を2本ずつ用意し、どの容器も黒のスプレーで外側を黒く塗った。なお容器の口はそのままと狭く水溶液を入れるのが難しいため、カッターで容器を切断し口径を広げた。口径はどれも同じようになっている。作り方は次の通りである。

- ① 段ボールを正八角形に1枚、等脚台形に8枚に切る。寸法は次の図4の通りである。なお、等脚台形の縦の高さは25cmとする。
- ② 等脚台形を4枚つづりで横につなげ、それを2組作り、アルミニウム箔をのりで貼る。
- ③ 2組の段ボールをつなげて、アルミニウム箔が貼られている面を内側にして、皿状の輪を作り、底に①で作っておいた正八角形の段ボールをガムテープでくっつけて完成。

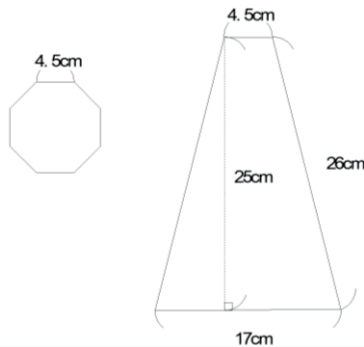


図5 集光器寸法



図6 完成写真

神戸高専校内に実験器具を設置し、2012年10月16日、午前9時から午後3時までの温度変化、および実験後の水の蒸発量を測定した。

6時間放置した後に回収したところ、完全に水が蒸発した水溶液は無かった。しかし、水分はある程度蒸発している事が考えられるため、どの程度蒸発しているかを、事前に量っておいた容器に水溶液を入れた重さと、回収した後の容器に水溶液が入ったままの重さの差で、比べたところ表2のようになった。

表2 C法による重さの変化

	全体の重さ	終了後重さ	全体の重さ-終了後重さの差	回収率
①缶	51.44g	40.60g	10.84g	27.10%
②缶+集光器	53.03g	43.87g	9.16g	22.92%
③ペットボトル	49.66g	40.73g	8.93g	22.34%
④ペットボトル+集光器	50.38g	43.43g	6.95g	17.39%

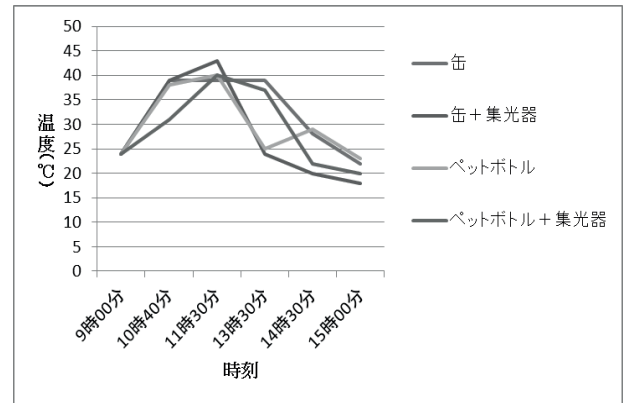


図7 C法による水溶液の温度変化

表2でまず注目すべき点はペットボトルとアルミ缶の容器の違いで蒸発量が変化する事である。図6より金属の方が、プラスチックより熱が伝わりやすいため、このような結果になっている。

次に注目すべき点は集光器に容器を入れた方より、容器単独で放置した方がたくさん蒸発した点である。上の図7を見るとわかるように、太陽高度がある程度低くなっている14時30分のところで、容器のみの温度は緩やかに下がっているが、集光器を使っている容器の温度は急激に下がっている事が分かる。これは太陽高度が低いときは集光器が容器の陰になってしまうため、そこで太陽が当たらなくなったため、温度が急激に下がったと考えている。

3. まとめ

本研究では、冷却材に使用する試薬について、構成するイオンと冷却効果の関係性について検討を行った。冷却効果の大きい陽イオンは順に、 $Mg^{2+} > NH_4^+ > Ca^{2+} > K^+ > Na^+$ であり、陰イオンは $NO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-} > SO_4^{2-} > CH_3COO^-$ であることを明らかにした。

また、再利用の方法としては、温度を安定させる事ができ、急激な温度上昇が発生しないオープンを使った方法が適している事が分かった。硫酸アンモニウム水溶液を70℃、24時間加熱を行っても、無水物は回収されず、約三か月という長い期間加熱を行うことで無水物が回収できることを明らかにした。

参考文献

- (1) 朝日新聞、2012年9月8日朝刊、「節電期間終了 電力不足なし」。
- (2) 朝日新聞、2012年7月30日朝刊、「パキスタン電力不足深刻」。

- (3) 難波真大, その他: 「手作り瞬間冷却材の製作」,
神戸高専研究紀要, 第 50 号, pp. 177-180, 2012.
- (4) 株式会社日伸理化, 超強磁カスターラーRS シリーズ,
SW-RS077.