

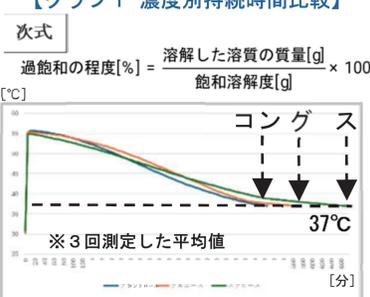
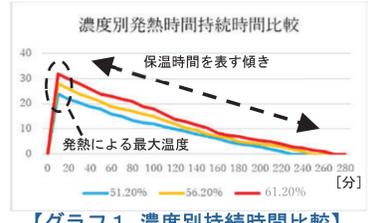
1 研究の背景・目的

「エコカイロ（通称）」について、保温時間や発熱量が低いといった実用化に向けた問題を解決するために添加物と保温時間の関係、相関を調べる。また添加物添加による比熱の変化や粘性土の変化を保温時間と比較する。

2 先行研究 [1] ～1 コントロールの濃度変化による保温時間の比較～

保温時間延長を目的として酢酸ナトリウム水溶液の濃度の変化と発熱時間との相関を調べた。各水溶液の濃度は①51.20%、②56.20%、③61.20%とする。

- ①濃度を大きくするほど保温時間は長くなった。
- ②各実験における温度変化から発熱量 ($Q=mc\Delta T$) を算出すると、**発熱量が大きいほど保温時間が長くなる傾向がある。**
- ③次式によって各温度における「過飽和の程度」を比較すると、「過飽和の程度」の数値が上がれば発熱量も上がり、**過飽和の程度の割合が大きいものほど保温時間が長くなる傾向があった。**



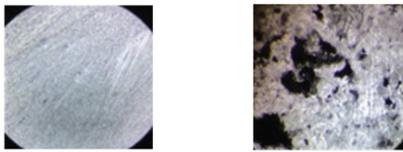
～2 添加物による保温時間の影響の比較～

60%の CH_3COONa aq (コントロール) に 5.0 g の添加物を添加した場合、グルコース添加とスクロース添加の場合は、コントロールと比べてそれぞれ 70 分と 170 分の延長が見られた。これより **添加物の添加により、保温時間の延長が確認できた。** また傾きの値が小さくなるほど保温効果が上がっていることがわかった。

粒子の数、大きさどちらも違いため物質を統一して同様の実験したところ、**粒子の大きさが大きいものほど保温時間が延長していた。** このことから **粒子の大きさが保温時間に影響していると結論づけた。**

3 仮説

①添加物の粒子のサイズには保温のための適切な大きさがあり、その適切な粒子を選択することで、発熱による保温時間を延ばすことができる。

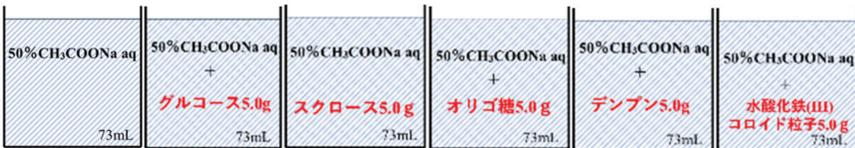


②エタノールによる水溶液の粘性度の増加や、イオン強度調整剤によるイオン強度の変化によって保温時間に影響を与えることができる。

4 方法 (1)

～添加物の大きさによる保温時間の比較～

1. 右図のように6種類の水溶液をつくる。

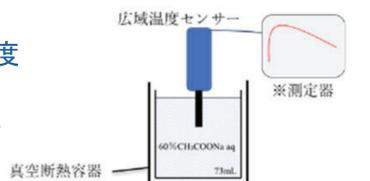


2. ガスバーナーで①のビーカーを溶液が透明になるまで温める。(この際液面に膜が張る。) ※溶液の体積が変わらないように、溶媒 (水) を追加する。

3. 透明になったら当日の室温付近になるまで (約 1 日) 放冷する。
4. 温度が下がったら、衝撃を加えて種結晶をつくり、結晶化させる。

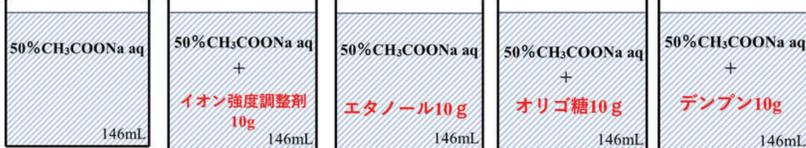
(発熱開始) ※棒状のものを液体に入れる。

5. 結晶が析出したことを確認し、発熱による温度をセンサー (※測定器: Graphical Analysis ソフトウェア (NaRiKa)) で、「測定開始時の温度 + 3℃」までの時間を保温時間として測定する。



4 方法 (2) ～粘性度による保温時間の比較～

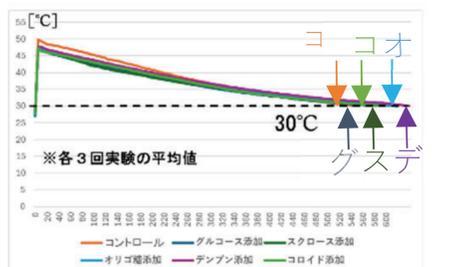
1. 下図のように5種類の水溶液をつくる。(粘性度測定のため体積と添加物の量を2倍にした水溶液を同じように5つ作る。)



2. 2～5 は方法 (1) と同じ。体積と添加物の量を2倍にした水溶液については、結晶をすり鉢ですりつぶし、一定の温度に達したら5分間粘性度を測定する。

5 結果と考察 (1)

グルコース添加の場合はコントロールと比べて 35 分の延長が見られ、コロイド添加の場合は、50 分、スクロース添加の場合は 55 分、オリゴ糖添加の場合は 70 分、デンプン添加の場合は 90 分の延長が見られた。



・グラフ3より、添加物別に保温時間を比較すると保温効果が高いものを順に「グルコース添加<スクロース添加=コロイド添加<オリゴ糖添加<デンプン添加」となる。

グラフ3よりデンプン添加の場合が保温時間の最大値を示し、これより大きいコロイド粒子では、保温時間は短くなった。このことから仮説の通り添加物の粒子のサイズには保温のための適切な大きさがあると考えられる。

・保温時間の延長の要因については次のように考察した。

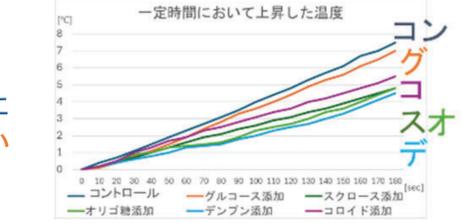
①固体構造の物理的変化により、粒子間に隙間が生じ、そこに熱が籠ることで保温できる。

②添加物の存在により、固体の比熱に変化が生じた。発熱による温度変化 Δt [°C] と保温時間 [min] の関係について、表1のようになった。

保温時間 (分)	コントロール	グルコース添加	スクロース添加
Δt (°C)	22.8	20.1	19.5
オリゴ糖添加	620	640	600
	19.4	19.3	19.5

加えて、比熱を測定するとグラフ4のようになった。

$\Delta t = \frac{Q}{mc}$ の式より、比熱 c (固体) が大きくなったことで Δt [K] が小さくなり、保温時間が延長したと考察する。また、比熱が変わった要因については糖類が持つ水素結合が熱を蓄えやすい性質を持っているためだと考察する。

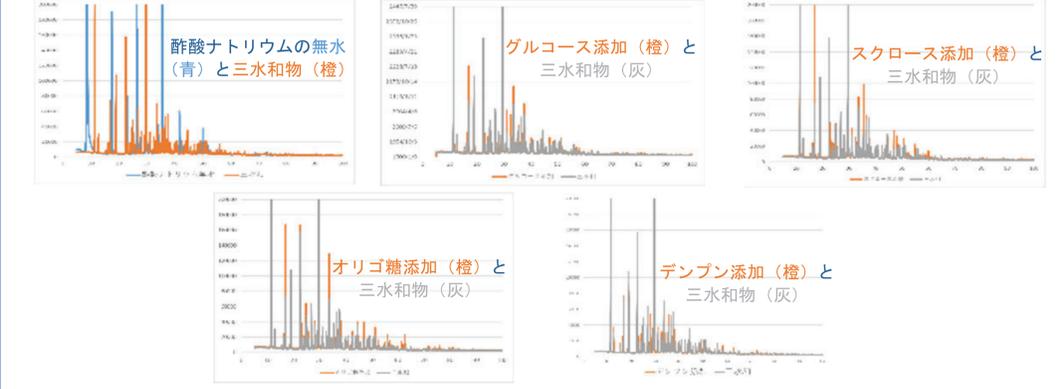


・発熱量がそれぞれ異なることについては以下のように考察した。

①結晶化の際に生成した酢酸ナトリウムの水和物が添加物によって、「三水和」の一部分が置き換わり、元と違う物質になったことで発熱量が変化したのではないかと考察する。

②図1より、添加物の存在により、部分的に酢酸ナトリウムの質量%が大きくなり、 CH_3COONa と $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ の混合物が生成し、発熱量が変化したのではないかと考察する。

①②の考察を確かめるため XRD を用いて解析を行ったところ、以下のグラフのようになった。



これらの結果より添加物を添加したものは酢酸ナトリウム三水和物のピークが一緒であるため同物質であると考えられ、①②の考察は否定されたことがわかる。

5 結果と考察 (2)

50%の CH_3COONa aq をコントロールとする。イオン強度調整剤添加の場合はコントロールと比べて5分の延長が見られ、エタノール添加の場合は35分、オリゴ糖添加の場合は、40分、デンプン添加の場合は125分の延長が見られた。

・粘性度の大きさの順が保温効果の高い順と同じであることから**粘性度が保温時間に影響を与えたのではないかと考察する。**

・添加したエタノールが占める体積は全体 146mL のうち 10mL であったが水溶液の約半分ほどの場所で界面が見られた。このことからエタノール分子が一方の層でより水和して酢酸ナトリウムの結晶化が促されたため、水分子が減少し、粘性度が測定できなかったのではないかと考察する。

①②の考察を確かめるため XRD を用いて解析を行ったところ、以下のグラフのようになった。

6 結論と今後の展望

添加物の粒子のサイズには保温のための適切な大きさがある。また添加物添加により比熱の増加が確認でき、加えて水溶液の粘性度増加、保温時間延長が確認できた。実用化の面から考えると、**添加物添加によって比熱の大きい物質となり、急激な温度上昇を抑制しつつ蓄えた熱を徐々に放出させることが新たに可能となった。**

7 参考文献

[1] 道上京香, 「エコカイロの改良～酢酸ナトリウムの結晶化熱の利用～」, 広島県科学セミナー (2024), 「エコカイロの改良～酢酸ナトリウムの結晶化熱の利用～」, 第 27 回化学工学会学生発表会 (2025), 第 49 回全国高等学校総合文化祭 (2025)

8 謝辞

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構との実施協定に基づき広島大学が実施する次世代科学技術チャレンジプログラム「持続可能な未来社会をけん引する次世代科学技術人材の育成～グローバルな視点で地方の発展に貢献する小中高一貫科学技術人材育成プログラムの構築～」の支援を受けて実施しました。貴重なご指導と多大なご助力をくださった西南学院大学網本喜一教授、広島大学竹田一彦教授をはじめ、本研究で用いたデータの取得に協力いただいた広島大学自然科学研究支援開発センター (N-BARD) の河田尚美氏など、多くの方々へ深く感謝申し上げます。

