

太陽熱を使った熱交換器を作ろう！！

松下 将¹，足立 俊介²，清水 龍希²

¹ 玉川大学大学院工学研究科機械工学専攻

² 玉川大学工学部機械情報システム学科

1. はじめに

現在の日本では、石油等の化石燃料の高騰によるエネルギー問題や地球温暖化による環境問題が深刻化している。そのため、環境問題を念頭に入れた環境負荷の少ないエネルギー源として天然ガス、自然エネルギー等による新エネルギー利用、そして省エネルギー指向へと変革しつつある。さらに、エネルギー供給の多様化に向け、規制緩和策として電力・ガス事業の自由化により大規模集中型の電力・ガス供給体制から小規模分散型の電力・ガス供給への展開に結びつくコージェネレーションシステム（熱電併給システム）が注目されている。日本各地で日常生活において欠かすことのできない電力の不足やエネルギー問題が深刻化しているなか、熱を扱う工場や廃棄物処理場などでは 100℃から 200℃の温度が排熱として放出されている。この熱を蓄熱材で蓄え、熱エネルギーとして有効活用することが検討されている。また、電気および熱エネルギーの輸送、貯蔵および利用技術の開発は、期待が膨らむとともに、ますます高度化および複合化が要求されている。

以上のような背景から、本研究では、自然物質で構成される二成分混合物質を選定し、冷却時に発生する結晶の連続生成について実験的に検討した。また、パラボラ鏡を用いて太陽光の集熱実験を行い、温度履歴を記録した。

2. 目的

本研究は、パラボラ鏡を用いて太陽エネルギーを集光・集熱し、蓄熱材に熱エネルギーを吸熱させ、温められた蓄熱材を利用して、外から取り入れた冷風を温風に変えるシステムを製作することを目的とした。なお、今回は「太陽エネルギーの集熱実験」および太陽エネルギーをホットプレートに置き換えた「結晶の連続生成実験」を行った。

実験では、以下のことに着目した。

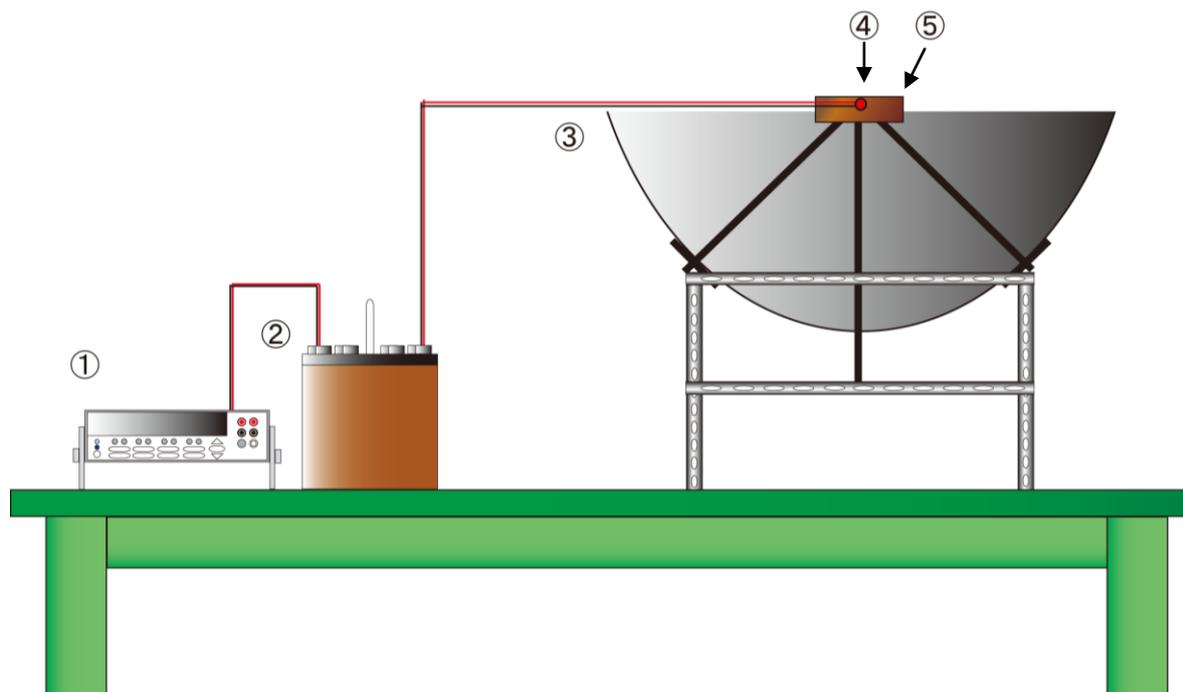
- (1) パラボラ鏡を用いて太陽光を集光・集熱し、温度履歴を記録する。
- (2) これまでに無かった新しい結晶の連続生成装置を提案し、この装置の有効性を確認する。
- (3) 二成分混合物質を用いた熱交換システムにより生じる蓄熱槽内の温度の変化を観察し、考察する。

3. 実験装置および方法

本研究は暖房に利用できる蓄熱材として、マンニトール - 水混合物質および尿素 - 水混合物質の二種類の二成分混合物質を選定し、示差走査熱量分析（DSC：Differential scanning calorimetry）によって液相線温度、固相線温度および融解潜熱量の測定を行った。

3.1 太陽光の集光実験

今回行った太陽光の集熱実験では、ソーラークッカーを用いて温度測定を行った。図 1 に実験装置の概略図を示した。ソーラークッカーの集光する焦点のところに熱電対をつけた無酸素銅製板を設置し、野外にて一定時間保持し、銅板の温度履歴を測定した。



- ① デジタルマルチメーター ② 零接点
③ ソーラークッカー ④ 熱電対 ⑤ 無酸素銅製板

図1 太陽光の集光実験装置概略図

3.2 結晶の連続生成実験

結晶の連続生成実験は、昨年度マンニトール - 水混合物質用いて行った実験の発展として行う。昨年度行った実験は、トルビーカー上部に取り付けた風車を熱交換に用いる風によって回すことにより、液面付近に同軸に取り付けた結晶破壊棒にその動力を伝え界面に生成された結晶膜を破壊し、結晶の沈水を促す。装置内に空気を流すと試料液面の温度のみが下がり、外部液相の温度より低温になり、結晶の生成する。試料液中の温度は高温に保たれ、結晶が沈水することにより溶解し結晶の連続生成がされる。結晶破壊ありと破壊なしの場合の温度分布（図3、図5）を測定し、その観察結果（図2、図4）を示す。

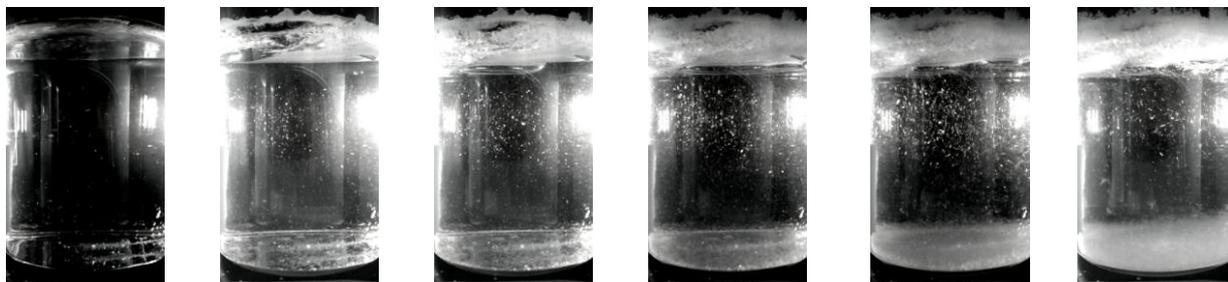


図2 結晶破壊なし 観察結果

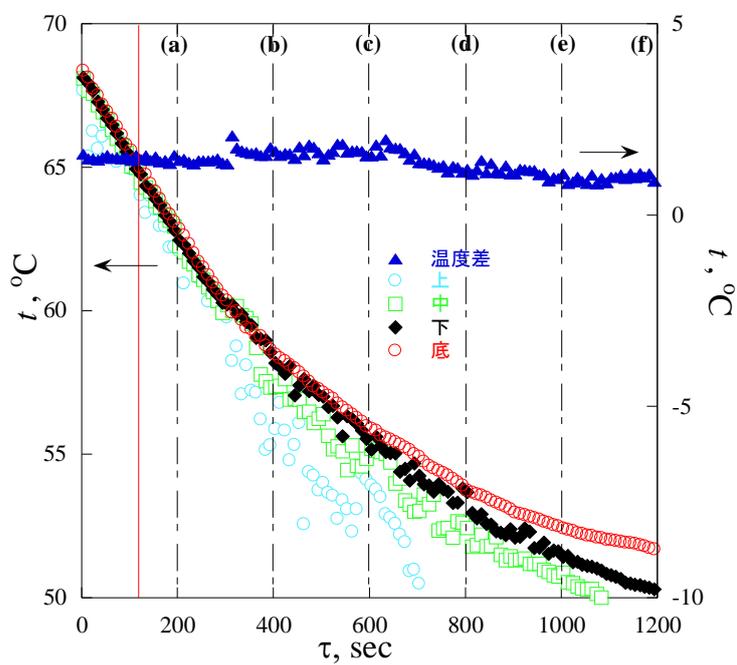


図3 結晶破壊なし 温度分布測定結果

$$\text{温度差} = \text{出口温度} - \text{入口温度}$$

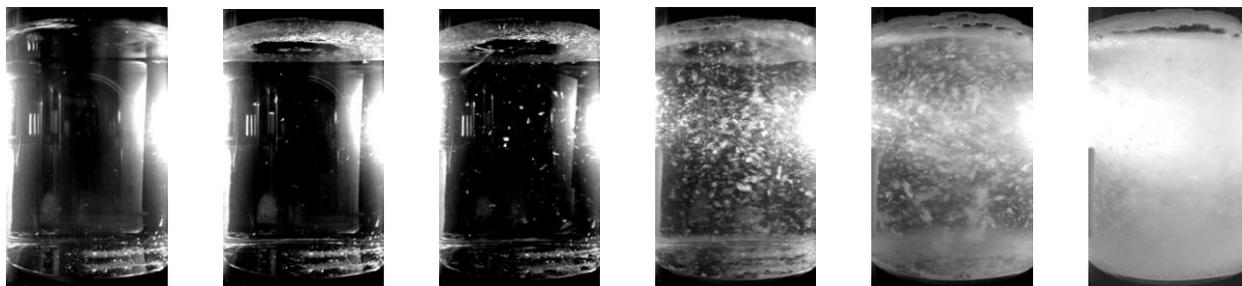


図4 結晶破壊あり 観察結果

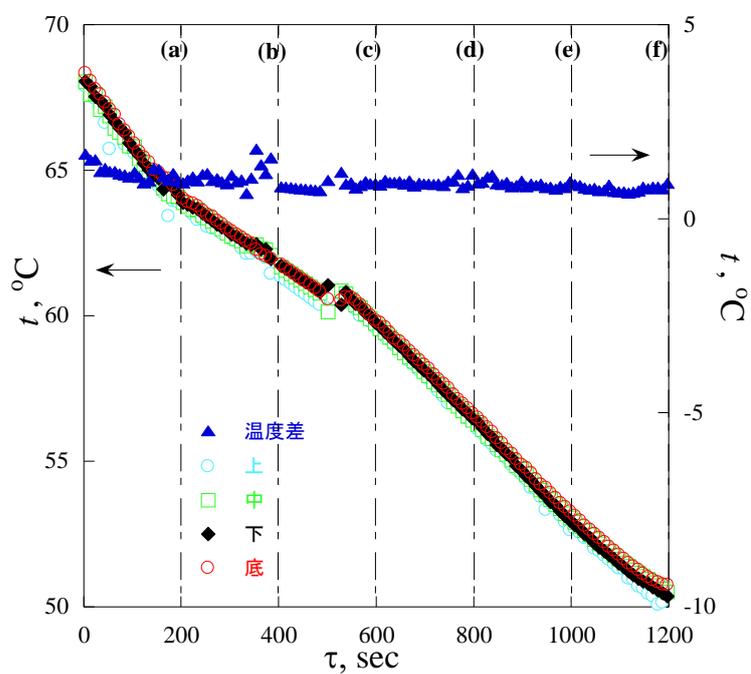
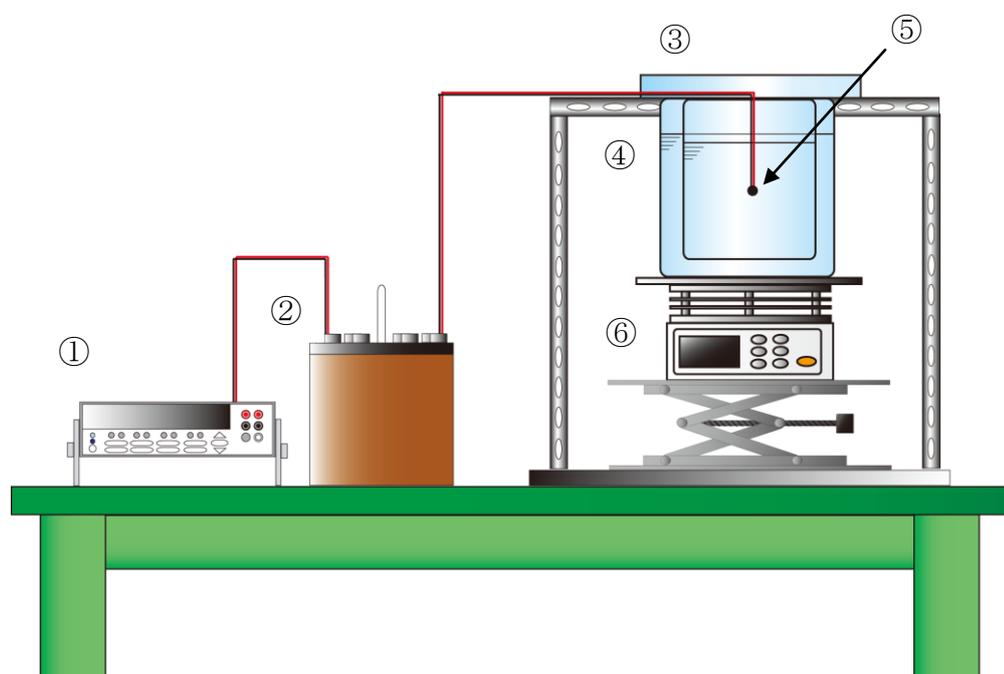


図5 結晶破壊あり 温度分布測定結果

本実験では、以上の既存研究結果¹⁾を元にして、界面のみで熱交換を行ってきたものを液相内でバブルを用いて直接的に熱交換を行うことで、効率化を目指す。

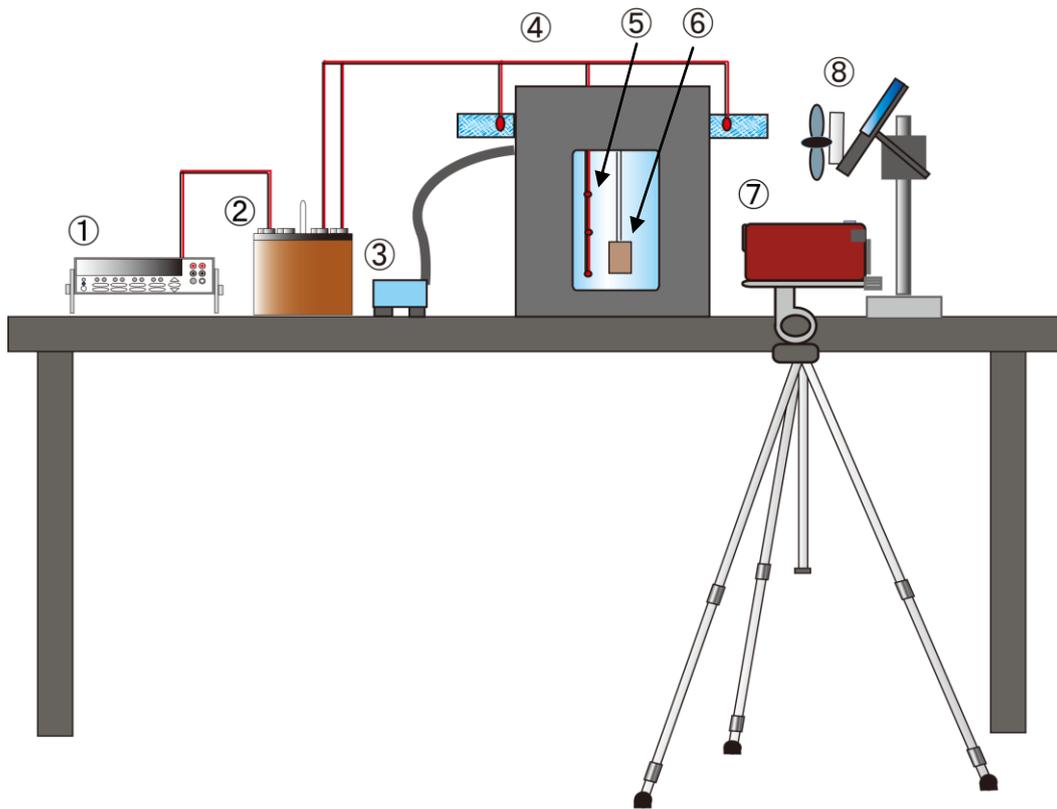
蓄熱材として、家庭用の暖房への利用が期待できる融点を有する尿素 - 水混合物質を選定し、尿素 - 水混合物質の結晶成長の観察を行うとともに、蓄熱材の温度履歴の測定を行った。図 6 に実験装置の概略図を示した。尿素 - 水混合物質を耐熱ガラス製トールビーカー (300ml) 内に入れ、このトールビーカーを純水が入った耐熱性ビーカー (500ml) 内に設置し、2 層構造とした。ビーカー内の温度をホットプレートによって液相線温度以上となる所定の温度まで昇温した後、一定時間保持した。試料を液相の状態に保った後、図 6 に示す断熱材に液槽を移し、実験を開始した。温度の測定箇所を図 8 に示す。空気の入口、出口温度および試料内の温度分布はクロメル - アルメル熱電対 (素線径 0.1mm) で測定した。試料の温度分布は、試料液面から鉛直下方 5, 30, 55mm の位置の計 3 箇所を設置し、測定した。

本実験は、図 7 の断熱材に囲まれた観察用の装置に試料が入ったトールビーカーを入れ、太陽光に充電された送風機で試料温度よりも低い温度の風を当てると同時に試料液面から鉛直下方 55mm に取り付けた。



- ① デジタルマルチメーター ② 零接点 ③ 断熱材(スタイロフォーム)
④ ビーカー ⑤ 熱電対 ⑥ ホットプレート

図 6 太陽光の集光実験装置概略図



- ① デジタルボルトメーター ② 零接点 ③ ポンプ ④ 結晶の連続生成装置
 ⑤ 熱電対 ⑥ バブル発生器 ⑦ ビデオカメラ ⑧ 送風機

図7 結晶の連続生成観察装置図

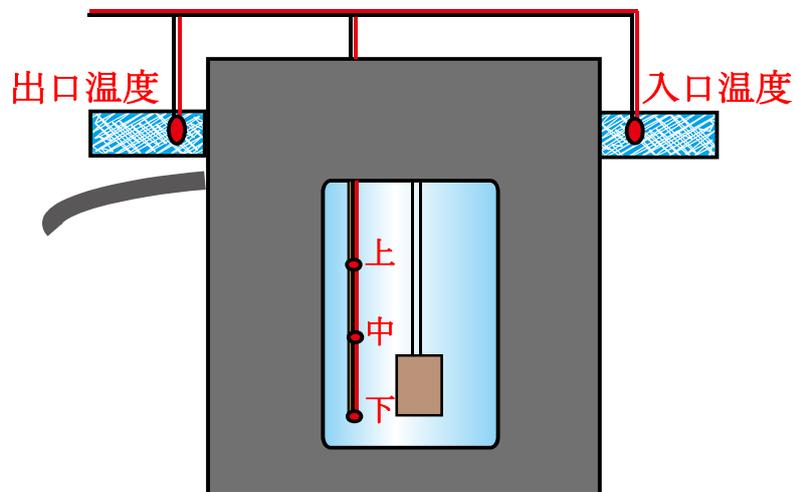


図8 温度の測定箇所

4. 実験結果および考察

4.1 蓄熱材の選定

マンニトール - 水混合物質および尿素 - 水混合物質の熱物性の把握をするため、示差走査熱量分析 (DSC : Differential Scanning Calorimetry) によって液相線温度、固相線温度および融解潜熱量の測定を行った。まず、尿素 - 水混合物質およびマンニトール - 水混合物質の DSC 曲線を測定した。実験結果の代表例を図 7, 図 8 にそれぞれ示した。これらの DSC 曲線および既存研究結果から図 9, 10 に示した相平衡状態図 (融点図) を作成した。これらの図から、尿素 - 水混合物質は、尿素が約 60°C 以上で熱分解することを考慮し、暖房および冷房用の蓄熱および蓄冷材として利用することを考えた。また、マンニトール - 水混合物質は、100°C 以上の蓄熱も可能であることから、蒸気を発生させる利用が可能であると判断した。

図 11, 12 に示した固液共存領域で高温の未利用熱エネルギーを利用する場合、液体の状態で輸送した尿素 - 水混合物質を空気と熱交換することから、尿素 - 水混合物質は冷却され、液相線温度以下になると結晶の生成が発生する。伝熱面表面にマッシー層が生成および成長した場合、マッシー層が熱抵抗層になり、熱交換器の性能が低下する。

表 1 蓄熱材

名前	試薬価格	融点	潜熱量	密度
マンニトール($C_6H_{14}O_6$)	2900 円/500g	166~168°C	286J/g	1.52 g/cm ³
尿素(NH_2CONH_2)	1600 円/500g	132.7°C	240J/g	1.34 g/cm ³
水(H_2O)	—	0°C	539J/g	0.99 g/cm ³

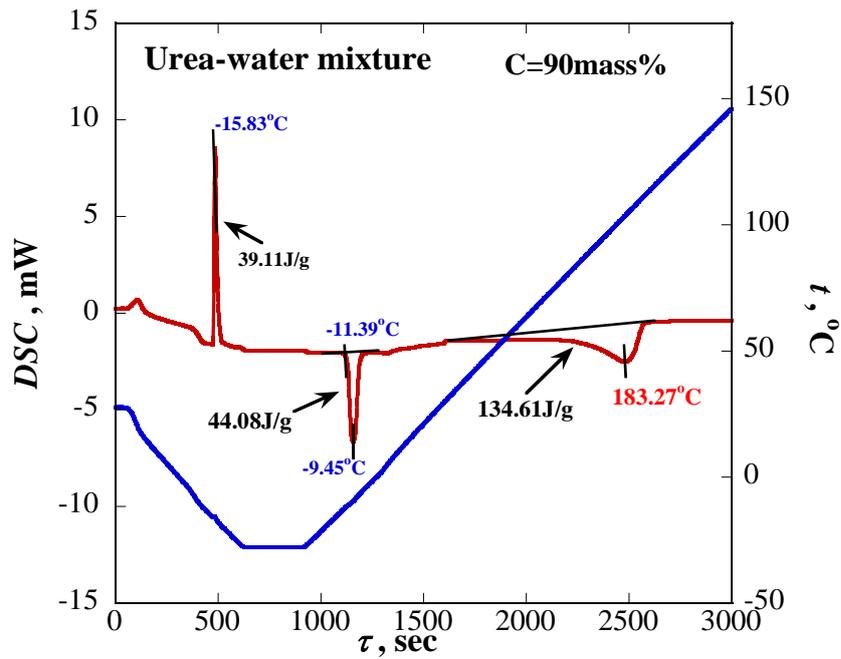


図9 尿素 - 水混合物質 DSC 曲線図

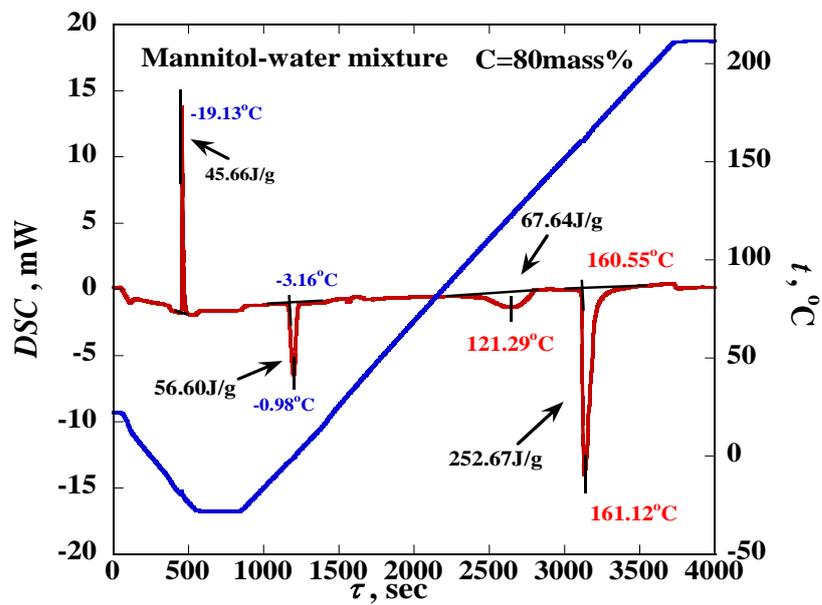


図10 マンニトール - 水混合物質 DSC 曲線図

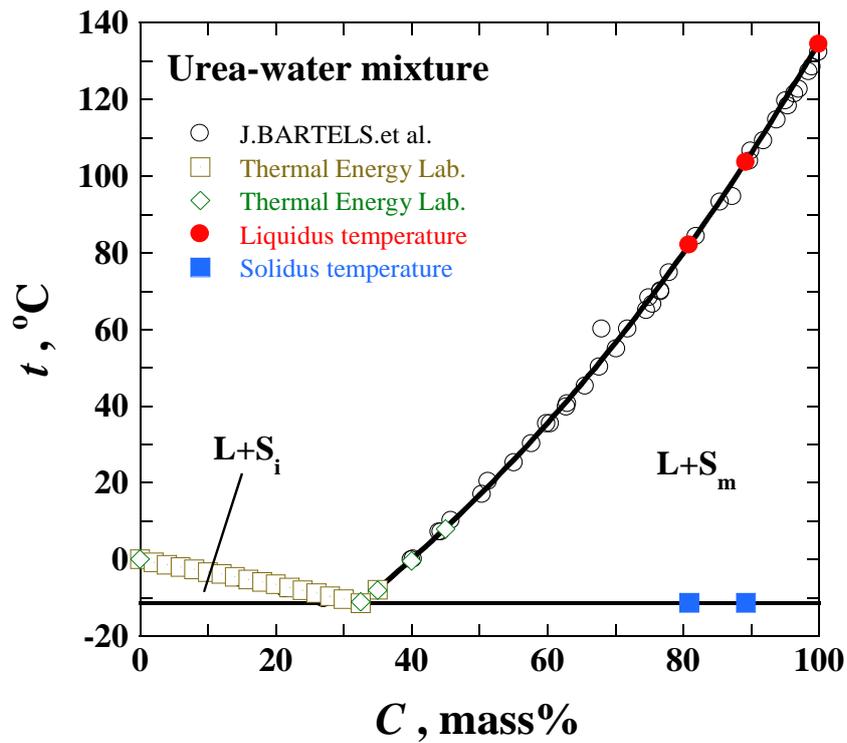


図 11 尿素 - 水混合物質の相平衡状態図(融点図)

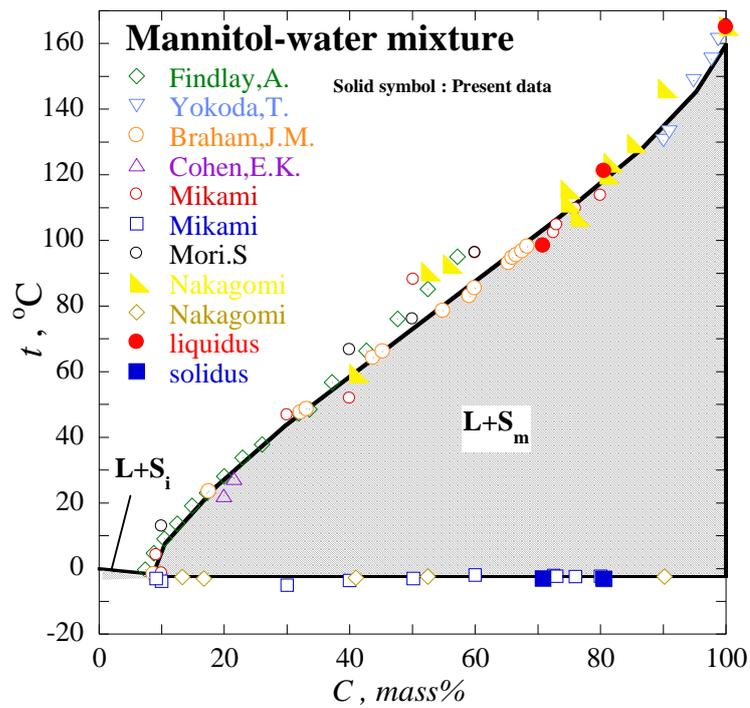


図 12 尿素 - 水混合物質 DSC 曲線図

4.2 太陽光の集光実験

尿素が約 60°Cで熱分解することおよび家庭用の暖房に利用することを考慮して、到達温度を 55°Cに設定した。

図 13 に太陽の集光実験の成功例を示した。ソーラークッカーによって集光された太陽光により銅板が暖められ、時間が経過するにつれて徐々に温度が上昇することが確認できた。なお、複数回行った実験では、天候によって上昇具合が変化したことを付記しておく。

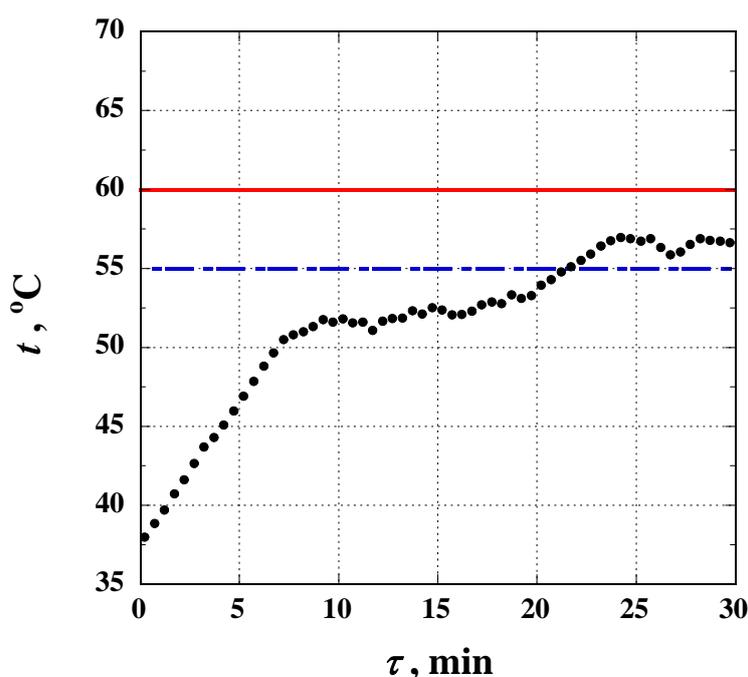


図 13 集光実験測定結果

4.3 尿素 - 水混合物質 (66mass%) の結晶連続生成実験

太陽エネルギーを利用して熱エネルギーを蓄熱材に蓄えることによって蓄熱材を液相状態に保ち、暖房用の熱交換器で空気と熱交換することを想定する。この場合、尿素 - 水混合物質が利用できることから、結晶の連続生成実験は尿素 - 水混合物質を用いて行った。

まず、熱交換器の気液界面に空気を流すことによって、空気を暖めることを検討した。この場合、尿素 - 水混合物質は相平衡状態図の液相から固液共存相の状態に移ることから、尿素の一部が結晶化する。

結晶の連続生成実験時の試料層内の温度履歴を測定した。測定の結果を図 15、図 17 に示した。また、結晶が連続的に生成している様子をビデオカメラで記録した。観察結果の一部を図 14、図 16 に示した。今回は、液相線温度が室温に近い 66mass% (液相線温度 50°C) で実験を行った。

実験では、バブルを発生させていない場合と、バブルを発生させた測定結果と比較した。バブルを発生させていない場合は、試料温度よりも低い温度の風を当てると、試料が冷却され試料中の温度が下がり結晶が生成される。界面に空気を流すと試料液面の温度のみが下がり、外部液相の温度より低温になり、結晶の生成を確認できた。バブルを発生させた場合、液相内でバブルと蓄熱材とが直接熱交換するため、その過程で結晶が生成され、熱交換されていることが確認できた(ビデオ参照)。

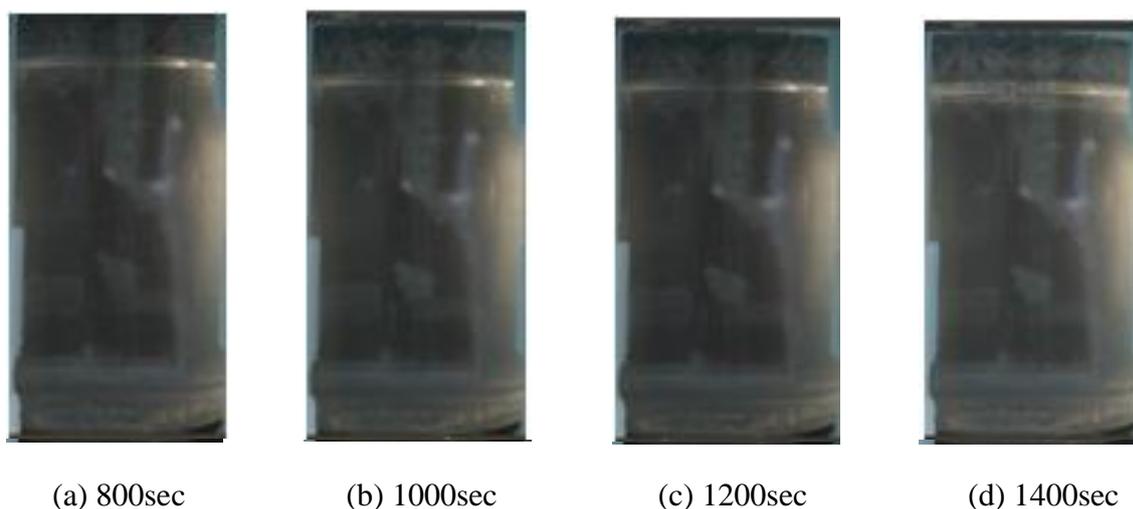


図 14 尿素 - 水混合物質 66% バブル発生なし

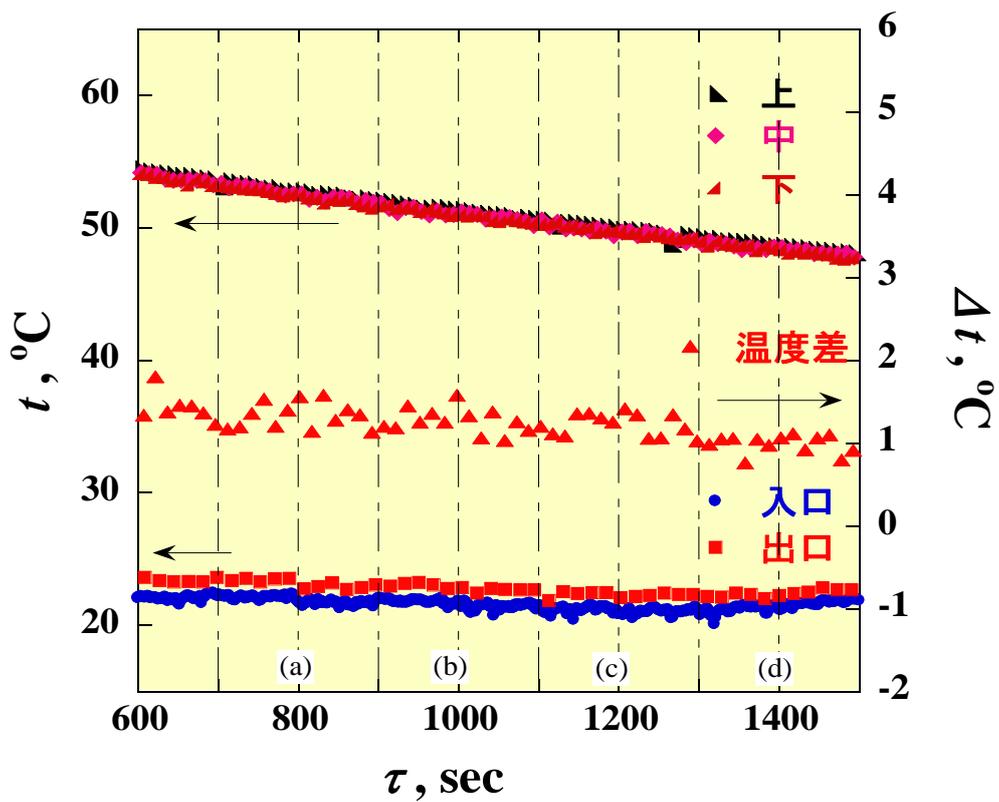


図 15 尿素 - 水混合物質 66% バブル発生なし



(a) 800sec

(b) 1000sec

(c) 1200sec

(d) 1400sec

図 16 観察結果 (尿素 - 水混合物質 C=66mass%, バブル発生)

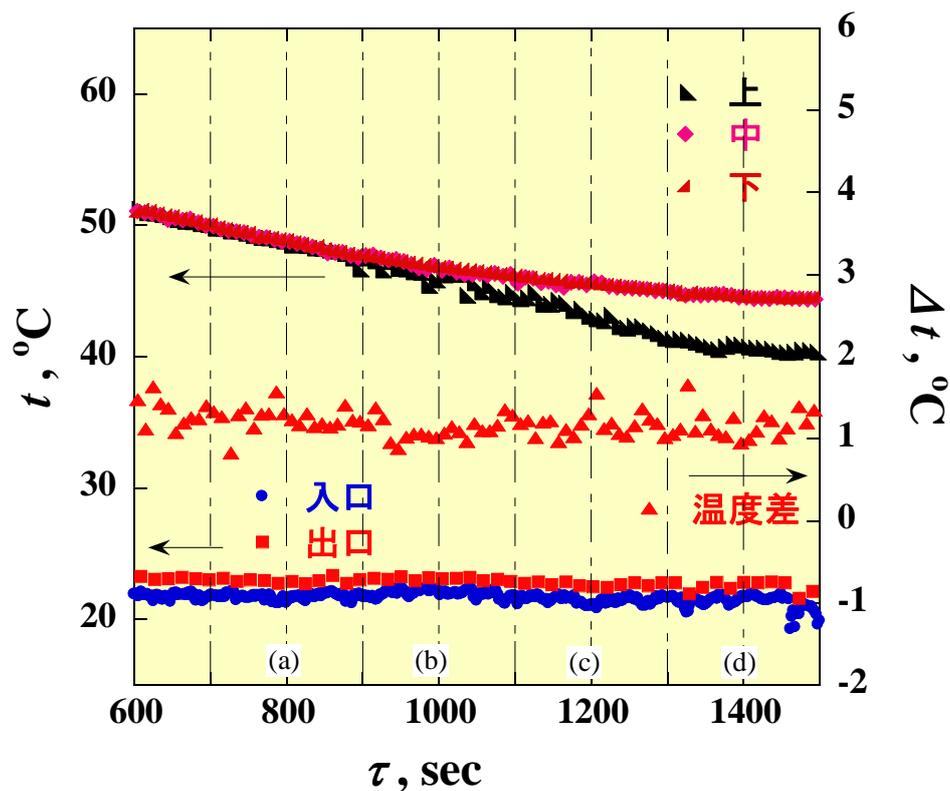


図 17 尿素 - 水混合物質 66% バブル発生なし

5. おわりに

太陽光の集光，マンニトール - 水混合物質および尿素 - 水混合物質の熱物性の把握，結晶の連続生成の 3 項目を目的として実験を行い，以下の知見が得られた。

- (1) ソーラークッカーによって集光することにより，時間が経過するにつれて徐々に目的の温度まで上昇することが確認できた。
- (2) 尿素 - 水混合物質の結晶の連続生成を試み，結晶の連続生成を確認した。
- (3) 尿素 - 水混合物質の結晶の連続生成の実験において温度記録を測定し，熱交換をしていることを確認した。

本実験では，観察時に上部壁面に結晶ができてしまった。その原因として上部壁面が冷やされていることが考えられる。今後，上部壁面が冷えないように実験装置を断熱性能を上げるなどして改良していきたいと考えている。

謝辞

本実験は，株式会社 八光電機 様より実験費の助成を受けたものです．このような機会を設けて頂いたことを感謝いたします．

参考文献

- 1) 松下 将，足立 俊介：第 6 回 新☆エネルギーコンテストポスター集，(2013)，25.