

鳥取県環境学術研究等振興事業費補助金研究実績報告書

研究期間（1年目/3年間）

研究者 又は 研究代表者	氏名	(ふりがな) もりた しんいち 森田 慎一
	所属研究機関 部局・職	国立高等専門学校機構米子工業高等専門学校機械工学科・教授 電話番号 0859-24-5095 電子メール <a href="mailto:s-morita@yonago-k.ac.jp">s-morita@yonago-k.ac.jp</a>
研究課題名	【環境創造部門】 環境に負荷の少なく高性能な地中加温・温調栽培用熱媒流体の研究開発	
研究結果	<p>研究計画</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>測定試料：カーボンナノチューブ（CNT），ナノサスペンション（NS，融点50℃）の熱物性値測定             <ol style="list-style-type: none"> <li>比熱，潜熱，融点・凝固点温度：示差走査熱量計による測定</li> <li>粘性：回転粘度計による測定</li> </ol> </li> <li>熱伝導率：細線加熱法装置の製作</li> <li>流動圧力損失：直円管実験装置の製作</li> </ol> <p>研究結果</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ナノサスペンション（NS，融点50℃）含有割合10～40mass%，温度範囲10～85℃の熱物性値測定を実施した。             <ol style="list-style-type: none"> <li>比熱，潜熱，見かけの融点・凝固点，過冷却熱量を測定し学術論文とした。</li> <li>粘性データ収集を完了し学術論文にまとめた。</li> </ol> </li> <li>熱伝導率測定装置製作と検定を完了し，予備実験を実施した。また，カーボンナノチューブ熱伝導率測定予備実験（CNT5mass%以下）を完了。</li> <li>流動圧力損失測定装置製作と検定を完了し，予備実験を実施した。</li> </ol>	
研究成果	本熱媒流体を用いる潜熱蓄熱システム設計に有用な設計データとしての熱物性データが得られ学術論文にまとめられた。本研究で対象とした潜熱蓄熱物質が，大きな固相転移熱を持つことを明らかにし，非常に大きな蓄熱量を見込める実用上の成果が得られた。	
次年度研究計画	<ol style="list-style-type: none"> <li>測定試料：CNT，ナノサスペンション（融点40，60℃）</li> <li>熱物性値測定             <ol style="list-style-type: none"> <li>比熱，潜熱，融点・凝固点温度：示差走査熱量計による測定</li> <li>粘性：回転粘度計による測定</li> <li>熱伝導率：細線加熱法による測定</li> <li>流動圧力損失：直円管流圧力損失測定</li> </ol> </li> </ol>	
報告責任者	所属・職 氏名	総務課 企画・社会連携係 福留のぞみ 電話番号 0859-24-5007 電子メール <a href="mailto:kikaku@yonago-k.ac.jp">kikaku@yonago-k.ac.jp</a>

注1) 表題には、環境創造部門、地域振興部門、北東アジア学術交流部門のいずれかを記載すること。

2) 「研究期間（ 年目/ 年間）」及び「次年度研究計画」は、環境創造部門及び地域振興部門において記載すること。

3) 研究者の知的財産権などに関する内容等で、非公開としたい部分は、罫線で囲うなど明確にし、その理由を記すこと。

4) 研究実績のサマリーを併せて提出すること。

1. 熱媒流体（ナノサスペンション）の熱物性値  
 1.1 比熱，潜熱，融点・凝固点，過冷却熱量

図1は，昇・降温速度5K/minでテトラコサンを繰り返し加熱（蓄熱）・冷却（放熱）したときの，示差熱量（DSC）曲線を20サイクルの平均値で示したものである。テトラコサン加熱・冷却過程の双方に現れる2つのピークは，それぞれ相転移熱および融解・凝固熱によるものと考えられる。

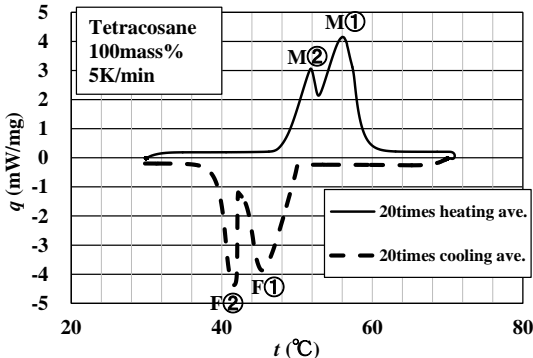


Fig.1 テトラコサンのDSC曲線 (5K/min)

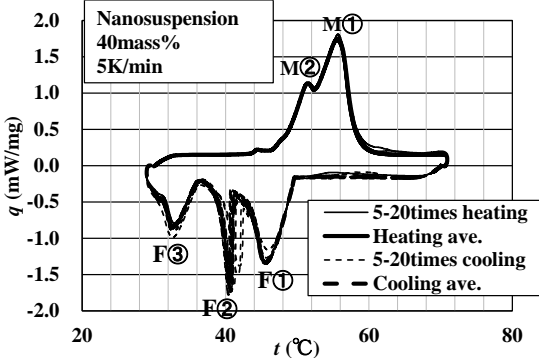


Fig.2 ナノサスペンションのDSC曲線(40mass%, 5K/min)

図2は，昇・降温速度を5K/minとし，テトラコサン濃度40mass% のナノサスペンションを20回繰り返し加熱・冷却したときのDSC曲線を示したものである。繰り返される加熱・冷却に伴うDSC曲線は，回数ごとのばらつきが小さくほぼ同じ軌跡を描いている。ナノサスペンションの冷却過程では，テトラコサン単体によるDSC曲線で見られた2つのピークに対して，3番目のピークが観察された。微細分散された潜熱蓄熱物質が，連続相中に存在していることによる影響と推察される。DSC曲線に見られるピークは，分散質の融解・凝固潜熱によるものをM①・F①，加熱・冷却時の相転移によるものをM②・F②とし，ナノサスペンションで観察される冷却時の3番目のピークをF③である。

図3は，それぞれ対応するピーク点の融点温度，凝固点温度の平均値と昇・降温速度の関係，分散質濃度ごとに示したものである。加熱過程においては，分散質濃度が高いほど，融点温度は高くなり，冷却過程においては，濃度が高いほど低い凝固点温度となる。また，昇温速度が高くなるにつれ，加熱過程におけるピーク点は，濃度によらず上昇していることがわかる。一方，冷却過程におけるピーク点は，降温速度が高くなるにつれ下降する傾向が観察される。

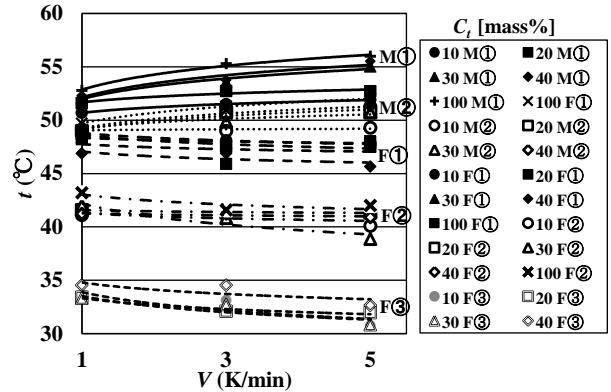


Fig.3 融・凝固点温度と昇降温速度の関係

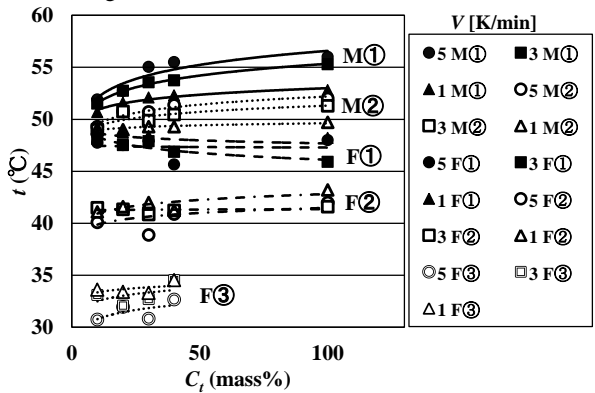


Fig.4 融・凝固点温度と分散質組成質量割合の関係

図4は，DSC曲線におけるピーク温度と分散質濃度の関係を，昇温・降温速度ごとに示したものである。加熱過程ピーク点M①，M②は，分散質濃度の増加に伴い，融点温度が高くなる傾向となる。一方，冷却過程ピーク点F①は，分散質濃度の増加により，温度が低下する傾向にある。加熱・冷却過程ピークM②・F②は，分散質濃度の増加と共に，わずかに高い値となる。冷却過程ピークF③は，分散質濃度に対して大きな変化は見られない。これらの傾向は，分散質であるテトラコサンの熱伝導率(0.37 W/(m・K):固体)が，連続相である水のよりも小さい(0.602 W/(m・K):20°C)ことによる影響が表れているものと推察される。

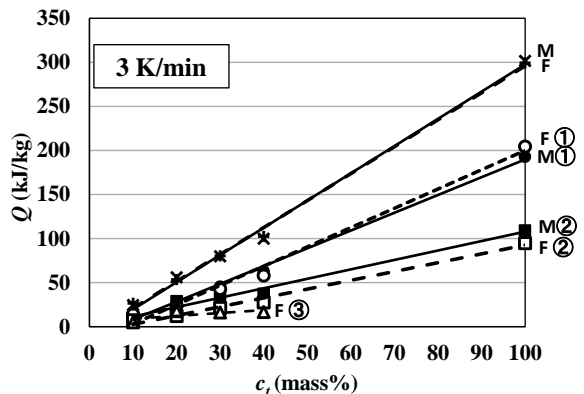


Fig.5 相変化・固相転移熱量と分散質組成質量割合の関係(3K/min).

図5は，相変化に要される熱量と分散質濃度の関係を示し

たものである。図中のMは加熱時の融解相変化の総熱量を示すものであり、Fは冷却時の凝固相変化による総熱量である。相変化総熱量M・Fは、分散質組成質量割合の増加に応じて大きな値を示す。加熱・冷却過程におけるDSC曲線の第一ピークM①、F①に大きさ差は見られないが、第二ピークではM②の値がF②の値を上回る。第三ピークは、冷却過程のF③のみであり、第一二ピークの値に比較して小さい。

図6は、相変化熱量M・Fに対するM①、M②、F①、F②、F③の比 ( $w = \frac{Q_{F①, F②, F③}}{Q_F} \times 100 [\%]$ ) と昇・降温速度の関係を示したものである。降温(凝固)時に観察される3番目の凝固熱量ピークF③は、過冷却解放による放熱と考えられ、その平均の割合は総潜熱量M・Fの30%以下である。

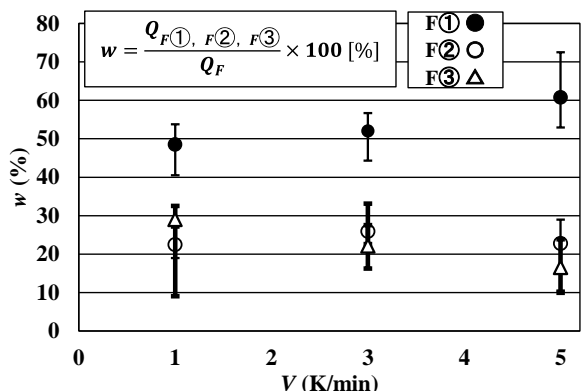


Fig.6 相変化熱量と昇降温速度の関係

## 1.2 粘性

粘性は、回転粘度計(ThermoScientific製, HAAKE Viscotester550)を用いて測定された。ナノサスペンションなどの分散質混合水は、一般に非ニュートン性を示すため、濃度、温度ごとに次式のせん断速度 $\dot{\gamma}$ のべき乗 $n$ を用いたせん断応力 $\tau$ の評価を行った。

$$\tau = \eta \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

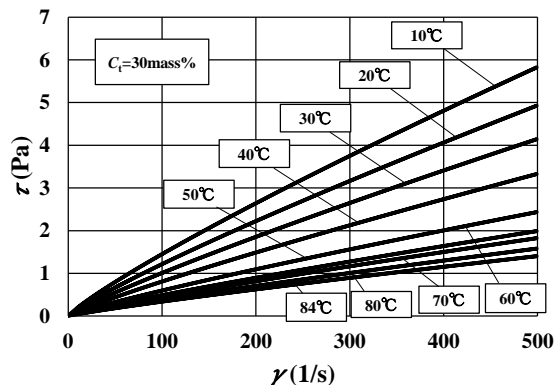


Fig.7 ナノサスペンションのせん断応力とせん断速度の関係(30 mass%, 10-84 °C)

図7は、分散質濃度30mass%における、せん断応力とせん断速度の関係を温度ごとに示したものである。せん断応力は、温度上昇と共に低下する傾向にある。

図8は、べき乗則による粘性係数と分散質濃度の関係を示したものである。粘性係数 $\eta$ は、温度によらず分散質濃度 $c_1$ の増加とともに大きな値となる。

図9は、べき乗則により得られた粘性係数 $\eta$ と温度 $t$ の関

係を、分散質濃度ごとに示したものである。図中には、分散質であるテトラコサンの融点50.6°Cを示してある。粘性係数は、融点を境とする急激な変化は観察されず、温度上昇と共に連続的な低下を示す。

図10は、べき乗指数 $n$ の温度 $t$ に対する依存性を示したものである。供試試料のべき乗指数は、全ての温度・濃度範囲において指数 $n < 1$ であり、非ニュートン流体であることが理解される。すなわち、ナノサスペンションは、せん断応力 $\tau$ とせん断速度 $\dot{\gamma}$ の関係が一次変化( $n=1$ )するニュートン流体とは異なり、せん断速度により粘性係数が変化する性質である。ナノサスペンションのべき乗指数は、温度の増加と共に1に近づき、非ニュートン性が低下する。一方、分散質濃度が高くなるほど、指数 $n$ は、1から遠ざかり、非ニュートン性が高まることが観察できる。

粘性特性を表す粘性係数 $\eta$ 、およびべき乗則指数 $n$ の実験整理式を以下のように導出した。

$$n = (2.58 \times 10^{-6} c_1 + 9.87 \times 10^{-5}) t + (-5.09 \times 10^{-3} c_1 + 1.02) \quad (2)$$

$$\eta = (4.54 \times 10^{-9} c_1^2 - 3.88 \times 10^{-8} c_1 + 4.60 \times 10^{-7}) t^2 + (-8.43 \times 10^{-7} c_1^2 + 8.44 \times 10^{-6} c_1 - 8.83 \times 10^{-5}) t + (5.35 \times 10^{-5} c_1^2 - 7.77 \times 10^{-4} c_1 + 7.65 \times 10^{-3}) \quad (3)$$

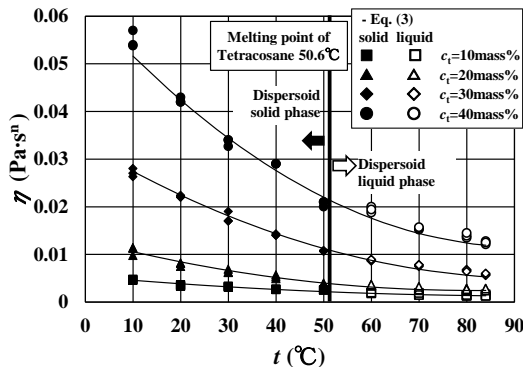


Fig.8 粘度と温度の関係(10-40 mass%).

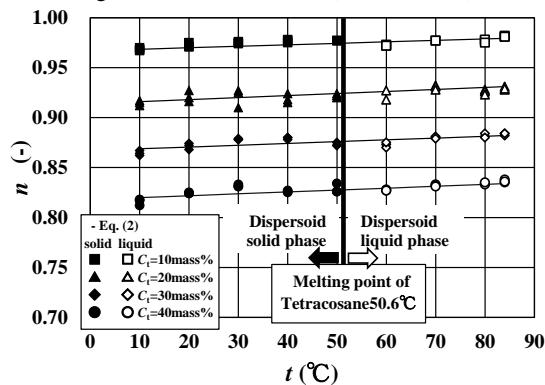


Fig.9 べき乗指数と温度の関係(10-40 mass%)

## 2. まとめ

熱媒流体の設計資料としての熱物性値測定が行われ、蓄・放熱および熱輸送解析に必要なデータが得られた。本研究で用いられた潜熱蓄熱材は、固相転移熱を潜熱に上乗せして利用可能であり、非常に大きな蓄熱が可能であるという知見が得られた。流動解析に必要な粘性測定においては、せん断速度により粘性が変化する非ニュートン性が観察された。べき乗法則による整理が行われ、熱輸送システム設計において有用なデータを収集した。