

# 312 交流器をもつ開放型二重管サーモサイフォンによる蓄冷熱に関する基礎研究

## The Basic Study on the Store of Cold Thermal Energy using the Open type Thermosiphon with an Inner Pipe and a Flow Intersection

○学 神原 直人 (室工大)      正 媚山 政良 (室工大)  
 正 榎 清 (室工大)          学 藤本 健佑 (室工大)

KANBARA Naoto, Muroran institute of technology, Mizumototy27-1, Muroran, Hokkaido

KOBIYAMA Masayoshi, Muroran institute of technology

ENOKI Kiyoshi, Muroran institute of technology

FUJIMOTO Kensuke, Muroran institute of technology

Key word: Open type thermosiphon, Inner pipe, Flow intersection, Cold thermal energy, Ice, Heat transfer

### 1. 緒言

サーモサイフォンとは密度差により流体を作用させ熱を伝える装置である<sup>1)</sup>。本研究では交流器をもつ開放型二重管サーモサイフォンを用いて自然冷熱(冬の寒さ)を利用して凍土を造成することを目的としている<sup>2)</sup>。一般的に凍土の造成には密閉型ヒートパイプが用いられるが多数本が必要となるため、構造が簡単で製作、保守の費用の低いサーモサイフォンがより適していると考えられる。使用する装置は交流器と内部管を有した二重管で、これらにより作動流体を整流し性能の向上を図った。本実験では凍土造成の予備実験として製氷実験を行い、その性能について検討する。

### 2. 実験方法

#### 2-1. 実験装置

Fig.1 に実験装置概略図を示す。サーモサイフォンはSGP-50Aを使用し吸熱部0.9m、断熱部2.2m、放熱部1.5mとした。吸熱部は水で満たされた水槽(内側寸法 395×435×900mm)に入っており、下端から100mm毎に氷の外径を測る定規が取り付けられている。断熱部は交流器と冷熱輸送管からなる。吸熱部外側と放熱部内側、吸熱部内側と放熱部外側は交流器を介して連結しており、これにより作動流体が整流される。放熱部にはフィン(109×109mm, 120枚, ピッチ 10mm)が取り付けられている。内部管はVF40

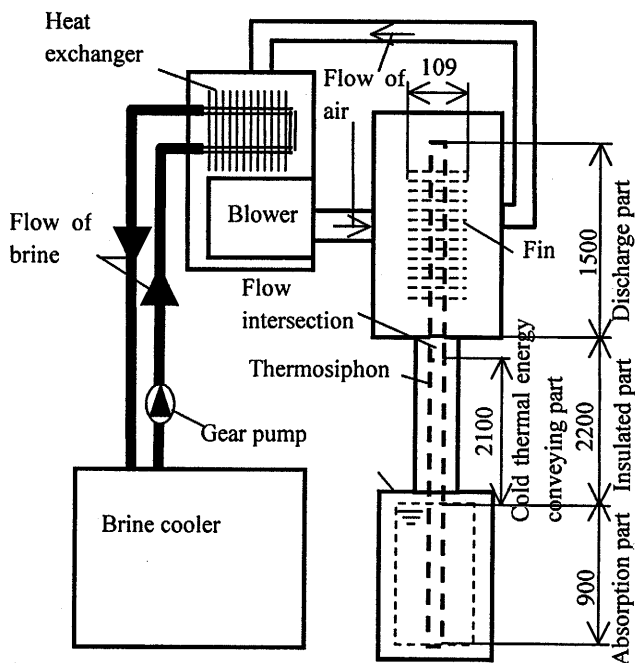


Fig.1 Experimental apparatus (unit:mm)

を使用し、交流器の上側を1.4m、下側を2.9mとした。作動流体はエチレングリコール40%水溶液を用いた。

#### 2-2. 実験目的

本研究では、自然冷熱の蓄熱方法として凍土造成を行う熱伝達素子に交流器をもつ開放型二重管サーモサイフォンを適用するための基礎的な性能の把握を目的としている。

本実験では放熱部周囲温度による影響を明らかにするため水槽内で製氷実験を行い、その性能について検討する。

#### 2-3. 実験手順

実験は以下の手順で行った。

- (1) 水槽に水を、サーモサイフォン内に作動流体を満たす。
- (2) ブラインクーラーで冷却された不凍液をギャポンプで熱交換器に通し、送風機で空気を送り放熱部を冷却する。放熱部周囲温度は不凍液温度とギャポンプの流量により調節する。
- (3) 1時間毎に吸熱部を観察し、氷の生成が確認された時間の30分前を実験開始時間とする。
- (4) 8時間毎に半径方向の氷の厚さと各部の温度を測定する。測定点は以下の通りである。  
 厚さ：サーモサイフォン下端から100mmごとに10点。  
 温度：サーモサイフォン表面(放熱部5点,断熱部7点,吸熱部4点),吸熱部管内3点,放熱部周囲,吸熱部周囲。
- (5) サーモサイフォン使用初期の能力を調べることを目的とし、48時間後に実験を終了する。

#### 2-4. 実験条件

- ・管長さ：放熱部1.5m,断熱部2.2m,吸熱部0.9m
- ・作動流体：エチレングリコール40%水溶液
- ・放熱部平均風速：0.25m/s

上記条件の下、放熱部周囲(冷風)温度を(1)-6℃, (2)-7℃, (3)-8℃と変えて氷の生成量を測定し熱輸送量から性能を評価する。

### 3. 計算式

#### 3-1. 熱輸送量

熱輸送量  $Q$  は単位時間当たりの吸熱量で、生成した氷の体積から算出する。氷の体積は生成した氷を測定点で水平に分割し、水平断面を円形、垂直断面を台形とみなし体積を算出しこれらを足し合わせることで求めた。吸熱量の算出式を式(1)に示す。

$$Q = \rho V_{ice} L / t_{exp} \dots \dots \dots (1)$$

ここで  $Q$  : 吸熱量[W],  $\rho$  : 氷の密度(=917[kg/m<sup>3</sup>]),  $V_{ice}$  : 氷の体積[m<sup>3</sup>],  $L$  : 水の凝固熱(=334×10<sup>3</sup>[J/kg]),  $t_{exp}$  : 実験時間(=48×3600[s]).

### 3-2.熱伝達率

サーモサイフオンの性能を放熱部熱伝達率  $h_D$ , 吸熱部熱伝達率  $h_A$  により評価する.  $h_D, h_A$  はそれぞれ式(2), (3)により求める.

$$h_D = \frac{Q}{(T_A - T_D)A_D} \dots\dots\dots(2)$$

$$h_A = \frac{Q}{(T_A - T_D)A_A} \dots\dots\dots(3)$$

ここで  $h_D, h_A$  :それぞれ放熱部, 吸熱部熱伝達率[W/m<sup>2</sup>K].  
 $R$  : 熱抵抗[K/W].  $T_D, T_A$  :それぞれ放熱部, 吸熱部平均温度[K].  $A_D, A_A$  :それぞれ放熱部, 吸熱部表面積(=1.37, 0.17[m<sup>2</sup>]).

### 4.実験結果及び考察

#### 4-1.実験結果

Table1 に実験結果を示す. ここで  $T_{air}$  は放熱部周囲の空気の温度,  $T_A, T_I, T_D$  はそれぞれ吸熱部, 断熱部, 放熱部平均温度である.

吸熱部と断熱部の温度差が極めて小さく, 断熱部と放熱部の温度差が大きいのは交流器による整流の効果である. 断熱部は交流器の下側にあるため表面温度は吸熱部から上昇する作動流体の影響が大きく, 吸熱部に近い温度となる. 放熱部で冷却された作動流体は交流器を通ると内部管の内側へ流れるため断熱部の表面温度への影響は小さい.

Table1 Average temperature of each part and  $V_{ice}$

	Temperature[°C]				$V_{ice}$ [L]
	$T_{air}$	$T_A$	$T_I$	$T_D$	
(1)	-6	-0.2	-0.1	-3.6	2.2
(2)	-7	-0.3	-0.3	-4.1	3.0
(3)	-8	-0.5	-0.6	-4.7	4.0

#### 4-2.氷の生成

氷の体積の変化を Fig.2 に示す. 放熱部周囲温度が低いほど生成する氷の体積は大きくなっている. これは放熱部周囲温度が低い場合, 作動流体の温度も低くなるため吸熱量が増加するためである.

本実験範囲ではどの放熱部周囲温度においても氷の体積はほぼ直線的に増加している. 時間の経過とともに氷の半径方向の厚さは増加し, 熱伝導に対する抵抗を増加する. 一方, 氷は成長により表面積が増加するため伝熱面積が大きくなる. これらより, 氷の厚さによる熱伝導の抵抗の増加を表面積の増加で打ち消すこととなり, その結果一定の熱流が得られ氷の生成速度が一定になったと考えられる.

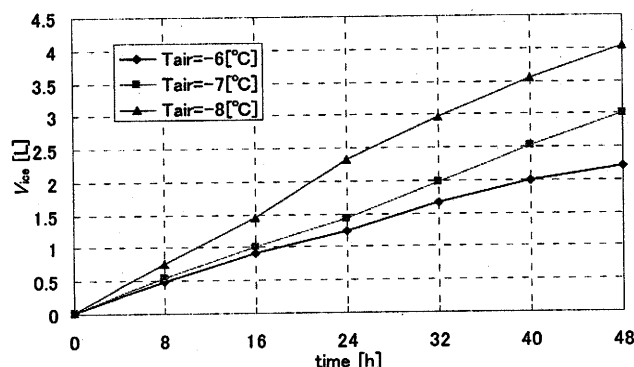


Fig.2 Change in time of  $V_{ice}$

### 4-3.放熱部周囲温度による影響

放熱部周囲温度に対する熱伝達率を Fig.3 に示す. 放熱部周囲温度が低いほど放熱部, 吸熱部熱伝達率は大きくなっている.

放熱部周囲の温度が低ければ放熱部の作動流体の温度も低くなる. それに対し, 吸熱部の周囲は水であるため吸熱部表面温度は常に-1~0°C程度になっているため放熱部周囲温度が低いほど放熱部と吸熱部の作動流体の温度差が大きくなり, 自然対流が強くなり各部での熱伝達率が大きくなったと考えられる. また, 放熱部周囲温度の低下により吸熱部表面温度が低くなることから生成した氷の温度も低下している. 氷の熱伝導率はおよそ-266~0°Cの範囲では温度の低下とともに増加する<sup>3)</sup>ため放熱部周囲温度が低いほど熱輸送量が大きくなったと考えられる. 作動流体の温度の低下は粘性の増加につながり, 管内では自然対流の抵抗になる可能性があるが, 本実験範囲では高温差による対流熱伝達率の増加と氷の熱伝導率の増加のほうが支配的であるため放熱部周囲温度が低いほど熱輸送量が大きくなり, 性能がよくなったと考えられる.

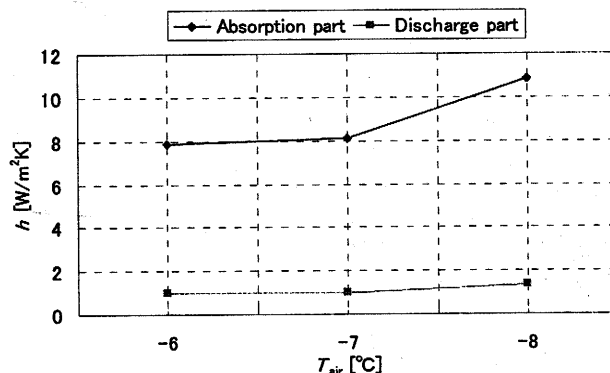


Fig.3 Relation between  $T_{air}$  and  $h$

### 5.結言

本実験により以下のことがわかった.

- (1) 氷の体積は実験初期にはほぼ直線的に増加し, 放熱部周囲温度が低いほど生成速度は大きい.
- (2) 放熱部周囲温度が低いほど熱伝達率は大きくなり性能が向上する. ただし, その割合に関しては本実験では不明確であり, これは温度範囲を広くすることで明らかになると考えられる.

本実験で上記のことが確認されたが, 実際に使用する場合放熱部での空気の流速が熱輸送量に影響を及ぼすと考えられるため, 今後風速による影響について検討する必要がある. また, 内部管による性能の向上を定量的に測定するため内部管の有無による比較を行い検討することが必要である.

### 6.参考文献

- 1) ヒートパイプ, P.D.Dunn and D.A.Reay, 伊藤謹司訳, 学献社, 1978, pp.1-2.
- 2) 交流器をもつ二重管サーモサイフオンによる寒冷エネルギーの固定に関する基礎研究-製氷実験における二重管による効果と適正ライン濃度-, 伊藤勲, 眉山政良, 川村昌彦, 第10回環境工学総合シンポジウム講演論文集, 1997, pp125-130.
- 3) 低温環境下の伝熱現象とその応用, 福迫尚一郎・稲葉英男, 養賢堂, 1996, pp13-14.