

〈一般研究課題〉 ループヒートパイプ式太陽熱利用システムの開発

助成研究者 豊橋技術科学大学 西川原 理仁



## ループヒートパイプ式太陽熱利用システムの開発

西川原 理仁  
(豊橋技術科学大学)

## Development of Solar Heat System with Loop Heat Pipe

Masahito Nishikawara  
(Toyohashi University of Technology)

### Abstract :

This work developed solar heat system with a loop heat pipe (LHP). The loop heat pipe can collect the solar heat with multiple evaporators connecting in parallel and can transfer the solar heat from top to bottom unlike thermosyphon utilizing buoyancy. This system can be used to utilize the solar energy as thermal energy without any mechanical pumps and electric power to drive the fluid inside because capillary pressure is developed in porous media inserted in the evaporators. 450 mm long six cylindrical evaporators and a 300 mm x 300 mm plate condenser were fabricated. Electric heaters were attached to the cylinder evaporators to simulate sunlight. The developed LHP demonstrated 75 W heat transfer with no height difference between the evaporator and the condenser. Experiment on the evaporator above the condenser will be done in the future. This system can be applied to thermal management of house and greenhouse and snow melting system.

### 1. はじめに

太陽熱温水器は熱効率が高く設備がシンプルであるため、家庭の給湯における省エネルギー化に貢献している。しかし温水を運ぶためのポンプ電力が必要である。そこで本研究では、多孔体内で働く毛細管力を流体の駆動力として利用する熱輸送デバイス、ループヒートパイプ(LHP)を応用することで太陽熱を電力無しで輸送して熱利用するシステムを提案している(図1)。本システムは家庭などにおける給湯、暖房での省エネルギー化に貢献できる。また、本システムは電力が不要であ

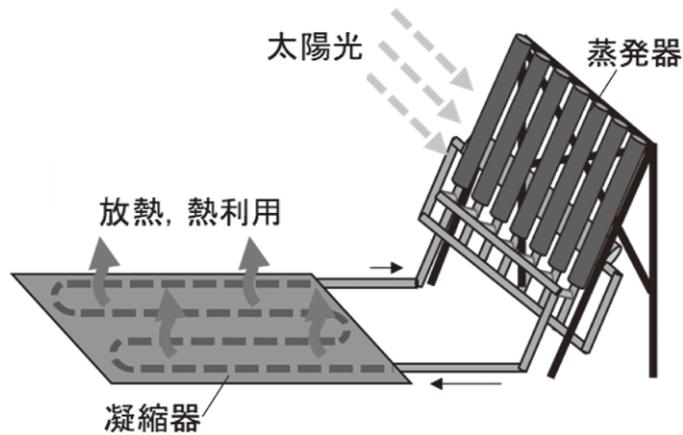


図1. ループヒートパイプ式太陽熱利用システムの概要

るので電気供給のない寒冷地での融雪や、農業における太陽熱利用などにも活躍するものと考えられる。

ループヒートパイプ(LHP)は蒸発器内のウィック(多孔体)の毛細管力によって作動流体を駆動する、大容量・長距離輸送が可能な熱輸送デバイスである。近年では、その特徴を生かした発展的な研究・開発が進められており、本研究では、LHPを利用した太陽熱の集熱と輸送を無電力で行うシステムの開発を目指し、その前段階としてヒータを用いたマルチエバポレータ型のLHPを設計・試作した。

## 2. 実験方法

LHPで太陽熱を効率的に得るためには、集熱部である蒸発器の位置を高くする必要があり、集熱部は大面積化する必要がある。これらの設計要求を基に、図2に示すような複数の蒸発器部を持つ実験装置を構築した。各部寸法を表1に示す。集熱を行う蒸発器を複数、太陽光を受けやすい高

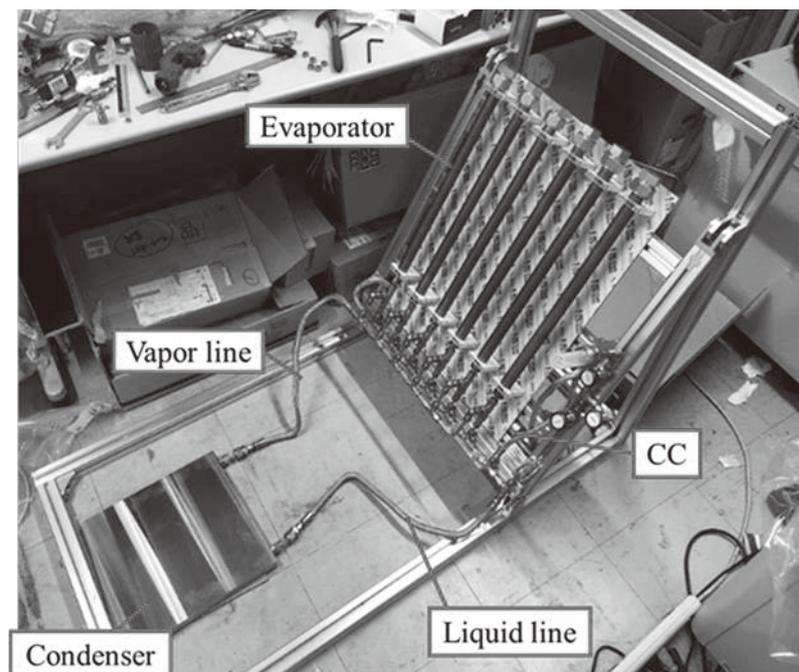


図2. 製作したループヒートパイプの写真

表1 LHP寸法(単位mm)

	Evaporator	Vapor line	Liquid line	CC
Length	620	500	500	350
Outer Diameter	25.4 or 10	6.4	6.4	40

位置に設置し、放熱を行う凝縮器を蒸発器よりも低位置に設置したものである。このとき液体の循環は毛細管力によって行われるため、高位置にある蒸発器に液体を供給することができ、またマルチエバポレータ型と呼ばれる蒸発器を複数使用したLHPにすることで、集熱部の大面積化と熱輸送量の増加を同時に行うことができる。装置は集熱に最適な傾斜角、作動流体を持ち上げることのできる高低差を検証するため、蒸発器が可動できるようになっている。本装置は蒸発器、凝縮器、液管、蒸気管、補償室(CC)から構成され、蒸発器に銅管を用い、カートリッジヒータによって加熱した。また、凝縮器には均熱化のため渦巻型の流路を持つ300 mm×300 mmの正方形形状のヒートシンクを使用した。

LHP内に封入する作動流体は蒸発器が凝縮器より上に位置することを考慮して重力水頭を基に選定した。LHPの駆動力は毛細管力であり、作動流体の表面張力 $\sigma$ に依存している。流体の表面張力によって持ち上げられる液柱高さ $H$ は毛細管力と高低差による圧力ヘッドの等式から次式で求められる。

$$H = \frac{2\sigma \cos\theta}{r_p \rho g} \quad (1)$$

$\theta$ はウィックと作動流体の接触角、 $r_p$ はウィックの細孔半径、 $\rho$ は液体の密度、 $g$ は重力加速度である。候補の作動流体の $H$ を図3に示す。それぞれ多孔体の細孔半径が1  $\mu\text{m}$ の場合で、接触角は0度としている。また太陽熱利用LHPは屋外に設置されるため、周囲温度が0°Cを下回ることも想定される。作動流体の凍結はLHPの駆動を停止させるため、流体の凝固点も選定に重要な条件の一つである。さらに民生分野での利用では有毒性が無い作動流体である必要がある。以上のような条件から本研究では水とメタノールを選定した。

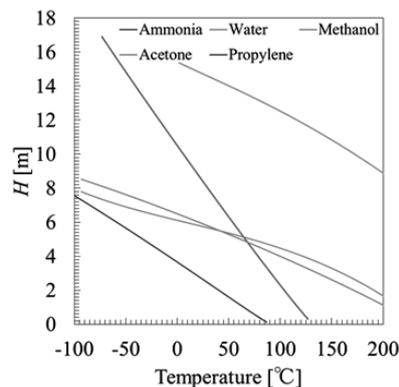


図3. 各作動流体における重力水頭比較

ウィックには細孔半径5~15  $\mu\text{m}$ を有する樹脂のスポンジを使用した。この細孔半径は発生できる毛細管力が想定される熱負荷時のループ全体の圧力損失下回らないように設計した。

製作したLHP内を真空引きし、作動流体を封入した。装置の傾斜角を0度に設定した後、蒸発器に取り付けられたヒータに電源装置を接続し熱負荷を与え実験を行った。高温におけるスポンジウィックの変形を懸念し、温度限界は80 $^{\circ}\text{C}$ とした。実験時には装置表面は凝縮器上面を残して断熱され、凝縮器上面以外から外部への放熱は存在しないものとみなされる。T型熱電対を各位置に設置し温度を測定した。各部温度は5秒おきにデータを取得した。

### 3. 実験結果

メタノール、水を用いた際の実験結果を図4に示す。メタノールの場合60分で蒸気管温度 $T_v$ が上昇し、続いて130分で凝縮器入口温度 $T_{cin}$ 、凝縮器温度 $T_{cl}$ 、 $T_{c2}$ が上昇、同時に蒸発器温度 $T_E$ が低下している。130分で蒸気が蒸気管を通過して凝縮器に入り、放熱を開始したということになるが、140分で蒸気管、凝縮器温度は低下に、蒸発器温度は上昇に転じている。その後、170分、230分と同じような上昇と低下を繰り返すような結果になった。最終的に、蒸発器温度が限界温度に達し実験を終了した。この結果から、LHPは起動したが、毛細管限界などによって動作を停止したと考えられる。水の場合130分で蒸気管温度が立ち上がり、200分で凝縮器入口温度とわずかに凝縮器温度が上昇、蒸発器温度が低下した。しかし205分には凝縮器温度が低下し、蒸発器温度は再び上昇傾向に戻っている。メタノールのときと違い蒸気管温度が最後まで低下していないため毛細管限界は発生していないと考えられるが、動作温度が限界に達したため、実験を終了した。水ではLHPの動作停止は発生しないものの、起動までに時間がかかりすぎるという課題が残った。

図4の結果では起動、つまり蒸気管の温度の立ち上がりまでに時間が1時間以上かかっていたため、起動時間短縮を目的として蒸発器の径10 mmに小さくした。作動流体を水とした時の温度結果を図5に示す。蒸気管の温度が15min程度で立ち上がり起動時間が短縮されていることが分かる。またすべての蒸発器が50 $^{\circ}\text{C}$ 程度で定常状態に達しLHPが正常に動作していることが分かる。

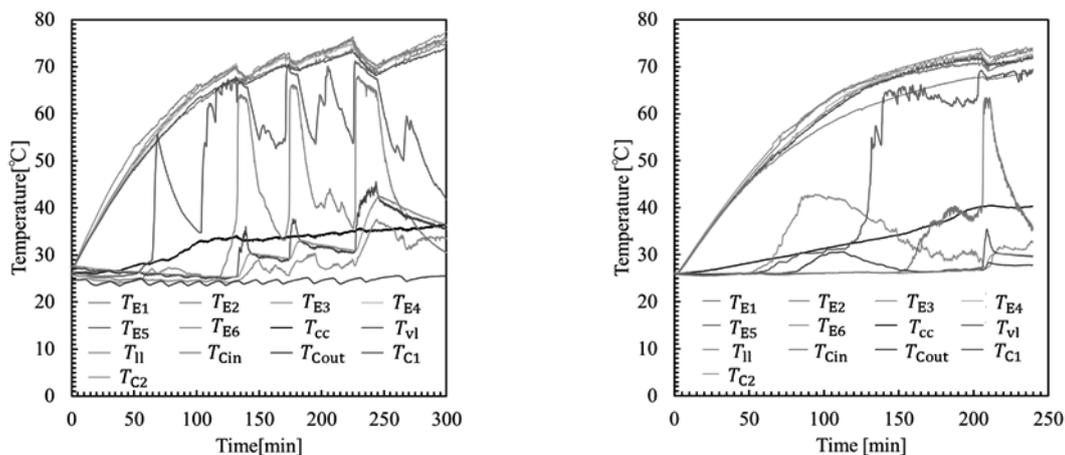


図4. 蒸発器直径25.4 mmでの実験結果(左メタノール、右水、熱負荷150 W)

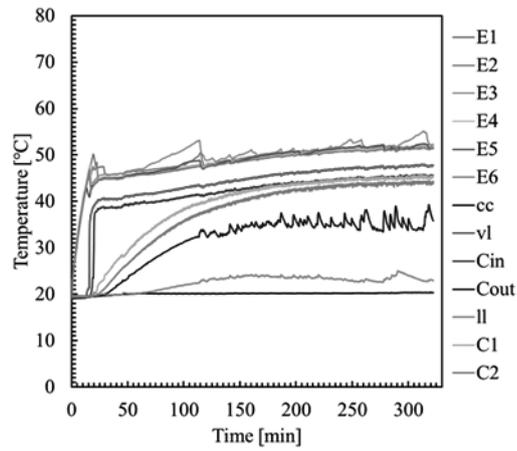


図5. 蒸発器直径10 mmでの実験結果(水, 熱負荷75 W)

#### 4. まとめ

太陽熱利用を目的としたマルチ蒸発器型LHPを設計製作した。蒸発器と凝縮器の高低差なしの条件ではあるが正常に動作することを確認できた。今後は実用を想定した条件での実験，屋外実証を行っていく予定である。