

12 ヒートパイプ

1. 目的

ヒートパイプとは、密閉した容器に水等の溶液（作動流体）を入れ、内部を真空状態にしたものである。この容器の下方を加熱すると、作動流体は沸騰、蒸発し上方に移動する。上方で冷却、凝結が生じ、凝結した作動流体は容器内壁を流下し再び下方にたまる。このようにして下方の熱を効率よく上方に伝える装置である。（図1）

ヒートパイプは、すでに多くの分野で実用化されている。

たとえば、地熱を効率よく利用して道路の融雪に利用したり、コンピュータの冷却等に利用されたりしている。

ヒートパイプの特性について研究してみる。



図1 ヒートパイプの原理

2. 仮説の設定

ヒートパイプの原理上、動流体の違いによって、熱を運ぶ効率が違ってくると考えられる。特に沸点の低いものほど効率がよいと考えられる。

3. 方法

[用具]

ヒートパイプ、放射温度計、黒体テープ、恒温水槽、スタンド、作動流体（水、エタノール、メタノール）

[方法]

身近にある物質で沸点の低い物質としてメチルアルコール（メタノール）、エチルアルコール（エタノール）を用いる。今回この2つの物質と水の3つの作動流体を用いて実験を行う。実験で用意したヒートパイプは長さ 1.4 m のパイレックスガラス製で、端にコックをとり付けたものを使用した。以下に実験の手順を述べる。

- ①ヒートパイプ内に作動流体 50ml を入れる。
- ②このままの状態ですぐに空気を抜くと、作動流体が沸騰・蒸発するため、作動流体を固体化させる必要がある。メタノール、エタノールそれぞれの融点は $-97.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-114.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ なので、液体窒素を用いて凝固させ、真空ポンプで内部の空気を抜き取る。（図2）

- ③恒温水槽で水温を $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ に保ち、先端部分を温水に付け、図3 放射温度計による表面温度測定ヒートパイプの各測定点の表面温度の時間変化を放射温度計で測定する。測定点として、ヒートパイプの先端から 25、50、75、100cm のところに黒体テープを巻いた。（図3）



図2 ヒートパイプ内の空気を抜く作業

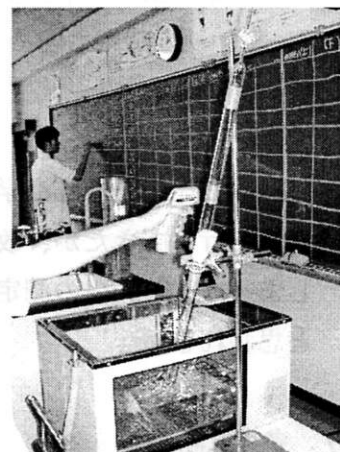


図3 放射温度計による表面温度測定

4. 検 証

実験は、最初ヒートパイプに作動流体を入れただけの状態（空気を抜かない状態）で行ったが、ほとんど温度変化が現れなかった。そこで、その後の実験はすべて空気を抜いて行った。

比較対照として、作動流体を入れないで真空状態にしたもの（基準パイプと呼ぶ）を使用した。

また熱源の恒温水槽の温度は、安全を考慮してすべて 50℃で行った。

実験の結果を、図4、5、6、7に示す。

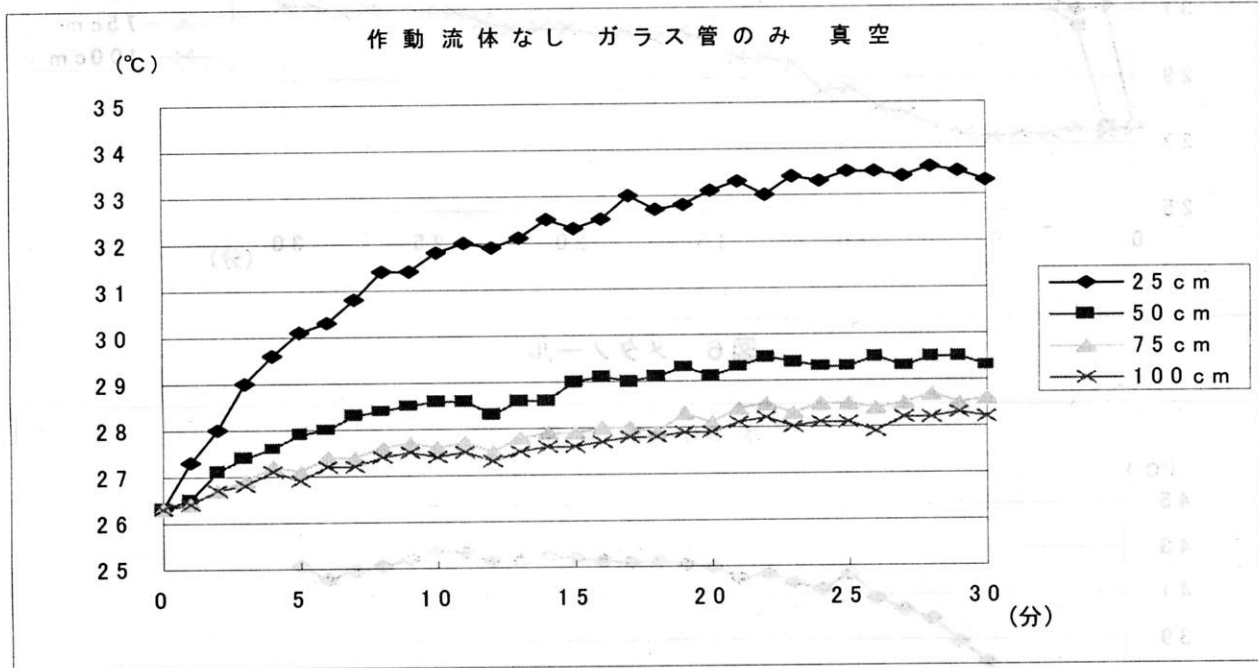


図4 基準パイプ

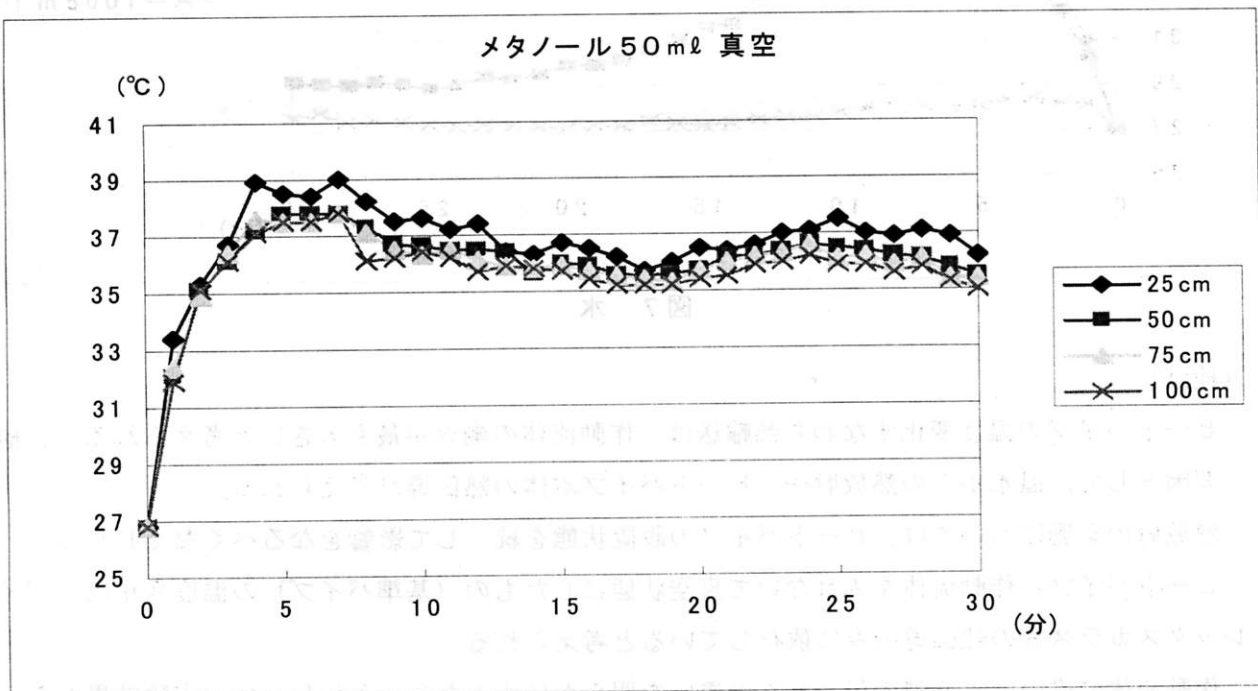


図5 エタノール

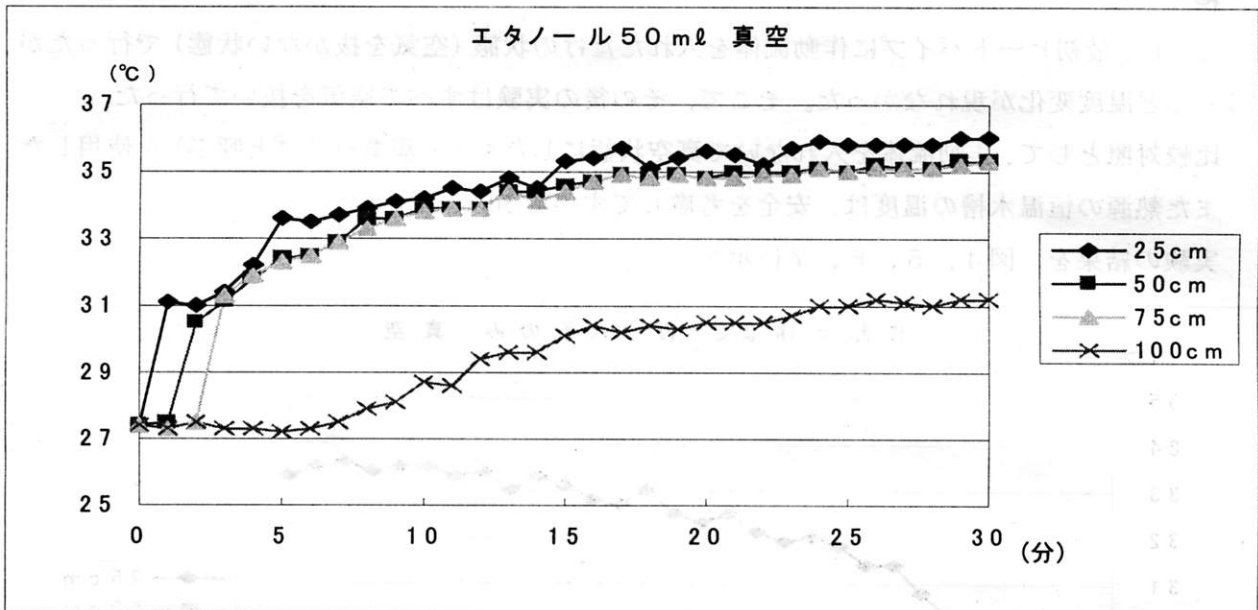


図6 メタノール

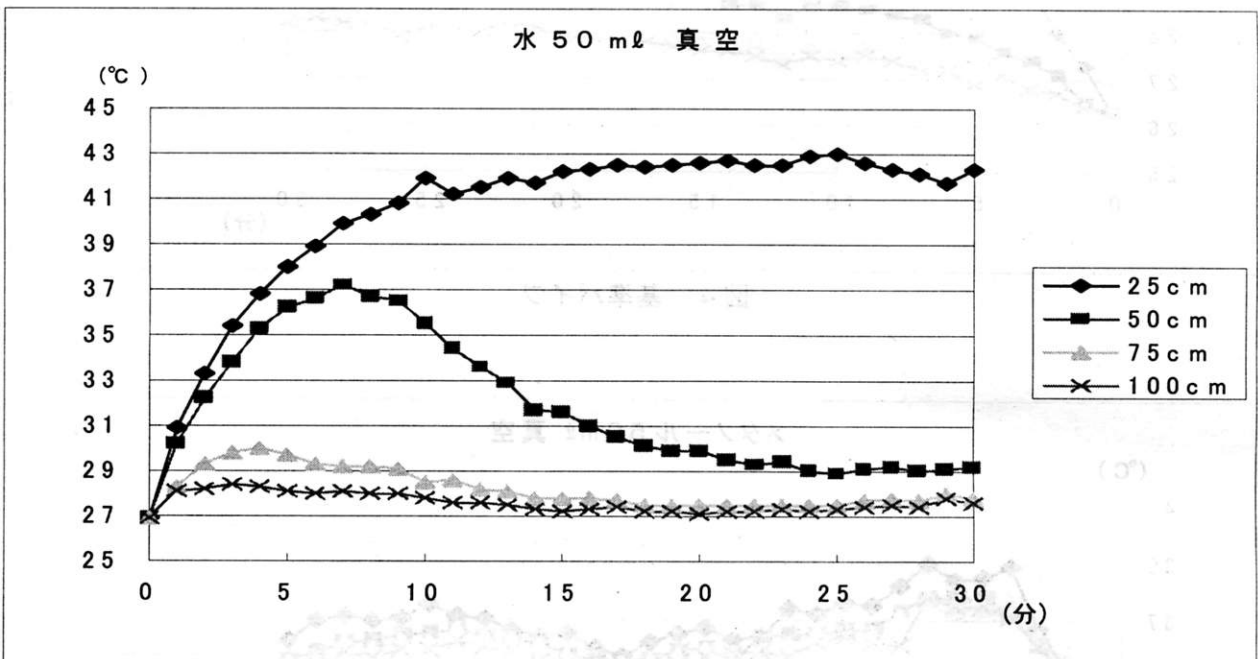


図7 水

[検証]

ヒートパイプの温度変化すなわち熱輸送は、作動流体の働きが最も大きいと考えられるが、他の要因として、温水からの熱放射や、ヒートパイプ本体の熱伝導が考えられる。

熱放射の影響については、ヒートパイプの設置状態を統一して影響をなるべくなくした。

ヒートパイプに作動流体を入れないで真空状態にしたもの（基準パイプ）の温度変化は、パイプレックスガラス管の熱伝導のみに依存していると考えられる。

作動流体の違いによる熱の伝わり方の違いを明らかにするため、各作動流体の実験結果から、基準パイプの結果を差し引いて検証する。差し引いた結果を図8、9、10に示す。

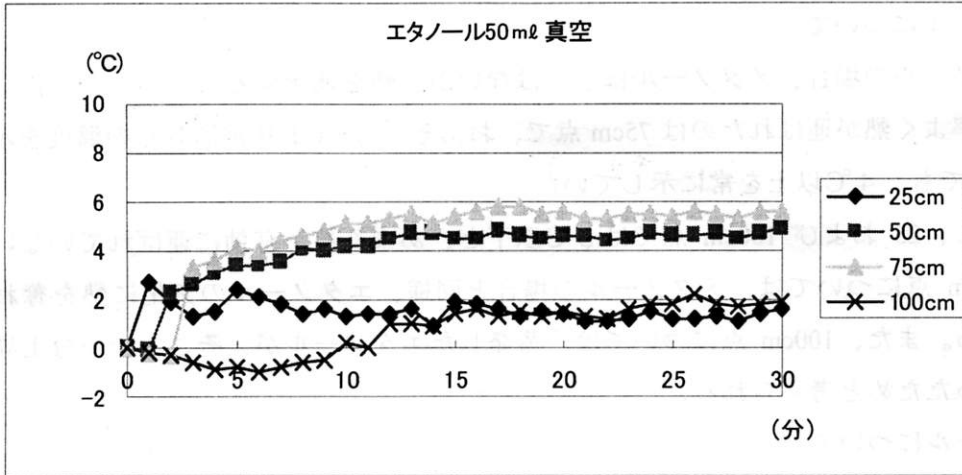


図8 エタノールー基準パイプ

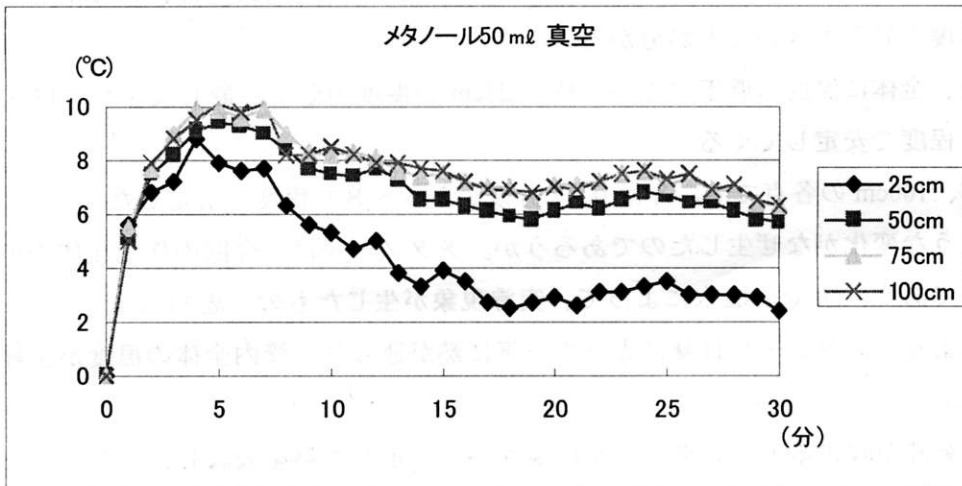


図9 メタノールー基準パイプ

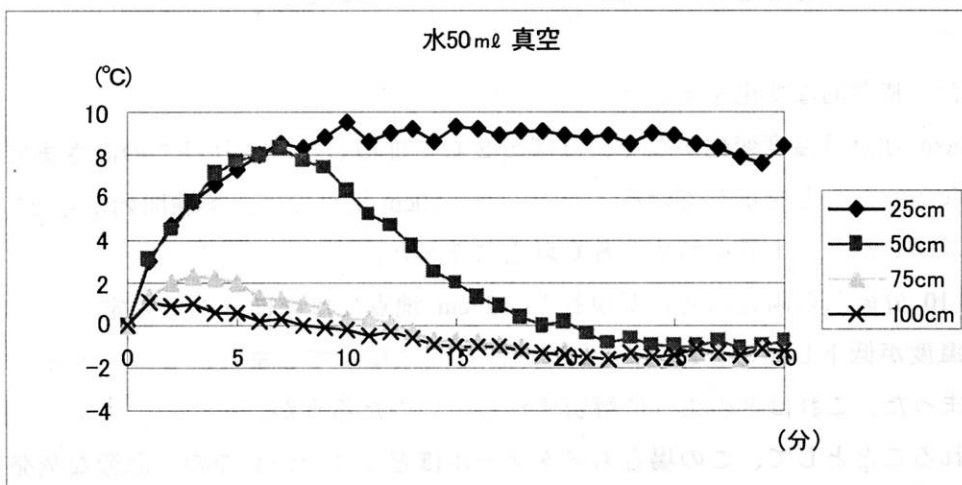


図10 水ー基準パイプ

以上の結果から、各作動流体について熱の運搬の特徴を述べる。

○エタノールについて

エタノールの場合、メタノールほどではないが、熱を運搬することがわかった。

最も効率よく熱が運ばれたのは 75cm 点で、およそ 15 分後より常に 5℃の温度を示した。また、50cm 点でも、4℃以上を常に示していた。

しかし、25 および 100cm 点では 2℃以下と、あまり熱が有効に運ばれていないことが分かった。25cm 点については、メタノールの場合と同様、エタノールの気化に熱を奪われたものと考えられる。また、100cm 点については、蒸発したエタノールが、そこまで十分上昇することができなかつたためと考えられる。

○メタノールについて

メタノールの場合、実験開始直後からヒートパイプ内で沸騰が生じ、20～30cm 程度噴き上がり現象が見られたが、7～8分後には沸騰は収まった。

温度変化を見ると、開始直後に各点とも温度が急上昇し、特に 75、100cm と、熱源から遠い位置の温度上昇が大きいことが分かる。

数分後、全体に温度は低下するが、特に 25cm の温度の低下が最も大きく、17分後あたりからほぼ 3℃程度で安定してくる。

50、75、100cm の各点でも、やはり 17分後から 6～8℃程度で安定した。

このような変化がなぜ生じたのであろうか。メタノールは、今回の作動流体の中で沸点が最も低い物質であり、50℃の温水によって、突沸現象が生じたものと思われる。

これにより、メタノール自身によって一気に熱が運ばれ、管内全体の温度が上昇したものと考えられる。

数分後突沸が収まると、メタノールは温水から安定して熱を吸収し、蒸発して上部に達し、潜熱を放出し凝結して下降するようになったものと思われる。

熱源に近い 25cm 付近は、熱源に近いにもかかわらずあまり温度が上昇しない。これは、メタノールが蒸発するとき熱を奪う作用が働くためと考えられる。

○水について

水の場合、特徴的な変化を示した。

75、100cm 地点は温度変化がなく、ほぼ ±2℃で推移した。これはこの高さまで熱がほとんど運搬されなかったことを示している。一方、25、50cm 地点では、実験開始から 25、50cm 地点で温度がほぼ同じ割合で上昇を始め、8℃以上に達した。

しかし 10 分後から両者に変化が現れた。25cm 地点ではほぼ 9℃で安定したのに対し、50cm 地点では温度が低下し始め、20 分後にはほぼ 0℃になってしまい、ヒートパイプの効果がなくなってしまった。これはどのように解釈すればよいのだろうか。

考えられることとして、この場合もメタノールほどではないものの、急激な蒸発が生じたものと考えられる。そのため 25、50cm 点で最初数分間温度上昇が生じたものと考えられる。しかし水蒸気は、メタノールやエタノールほど高くまで上昇することができず、50cm 以下の上昇にと

どまったものと考えられる。最初の急激な蒸発が収まると、50cm 点に熱の供給がなくなり 25cm 付近に効率よく熱が運ばれ続けたものと考えられる。その証拠として、メタノールやエタノールの時には見られなかった凝結した水滴が、30cm あたりの管内に確認された。これは、その高さにおいて水蒸気が熱を放出し、凝結したことを示している。

以上の結果を総合すると、もっとも長い距離に有効に熱を運ぶことができるヒートパイプは、作動流体にメタノールを用いた場合であり、次にエタノール、水の順であった。よって、沸点の小さいものほど効率がよいという仮説は正しいことが確かめられた。

しかし、今回実験して予想しなかったことがいくつかあった。一つは、ヒートパイプでは、作動流体に近いところほど熱の運搬が大きいと思っていたが、実際は作動流体の違いによって、ヒートパイプの部分部分で熱の運搬効率が異なり、場合によってはガラス管のみの場合とほとんど変わらないか、あるいは少し劣る場合もあることがわかった。次に、ほとんどの場合、実験開始直後の温度上昇が大きく、10分程度経過してから変化が落ち着いてくることがわかった。

5. まとめ

ここでは、ヒートパイプの作動流体の違いによる熱の運搬効率について調べてみた。

今回、沸点の低い作動流体ほど熱を効率よく運びやすいとの結論を得たが、いくつか予想外の結果も得られた。十分検証できないまま終わってしまったので、さらに研究する必要がある。

今回のヒートパイプはパイレックスガラス製のため、加熱時に破損しないかなど、万が一のことを考慮し、50℃以上での実験を控えた。50℃以上ではどうなのだろうか、さらに追求する必要がある。

作動流体についても、学校で手に入りやすい沸点の低い物質として、アセトンやアンモニアなどが考えられる。これらについても実験してみたい。

地熱の利用の場合、対象となる熱源は、地下深くにある高温岩体になるであろう。この場合、高熱に強く強度の大きい、長いヒートパイプが必要であろう。ヒートパイプの材質を金属にした場合など、どのような結果になるのであろうか。実際にヒートパイプを地面に埋設し、効率を調べてみたい。

6. 参考文献

日本ヒートパイプ協会編 『実用ヒートパイプ (第2版)』、2001年、日刊工業新聞社