

# ヒートパイプとその省エネルギー技術への応用

## Heat Pipe and Its Application to Energy Saving

贅川 潤\*・古谷 修一\*\*・小泉 達也\*\*\*

June Niekawa

Shuichi Furuya

Tatsuya Koizumi

### 1. はじめに

ヒートパイプということばはすでに耳新しいものではなく、なっているように思う。動力を使わずにすばやく熱を一端から他方へと伝えることができるヒートパイプはその機能から、熱の発生に伴うさまざまな問題——例えば、過熱による機器の損傷や機能低下、エネルギーの無駄使いや効率低下等を解決するための利用がこれまで考えられてきた。もちろん一方ではヒートパイプそのものを解析しようとする試みや気液2相流などの物理現象の解明にヒートパイプを利用することなど、流体力学と伝熱学を基礎に発展してきている。本年5月には筑波において第5回の国際ヒートパイプ会議も開かれ各国の研究者達によって活発な討議がかわされた。ヒートパイプは1964年頃、米国ロスアラモス研究所のGrover達によって研究が開始されてからこのようにわずか20年の間に基礎研究から応用までかなり巾広く研究開発の手がゆき渡ってきている。

前述したようにヒートパイプは熱の発生するあらゆる場所で原理的にはその利用が考えられる。図-1に応用分野を樹木図で示す。この図以外にも原子炉への利用、温度の均一性を必要とする黒体炉としての利用、蓄冷システムへの利用、あるいはケミカルヒートパイプを用いた長距離熱輸送なども考えられ研究、実用化が進められている。ただし本図に示した利用すべてが経済的になり立つということではなくアイデアだおれのものも決して少なくない。これらのなかから省エネルギー分野への応用として実用化されていたり、価値のあると思われるものをいくつか選び以下に紹介しよう。

### 2. 排熱回収への応用

\* 古河電気工業(株) 中央研究所主任研究員

〒220 横浜市西区岡野2-5-28

\*\* 古河電気工業(株) 熱交換エンジニアリング部課長

\*\*\* 古河電気工業(株) 中央研究所首席研究員

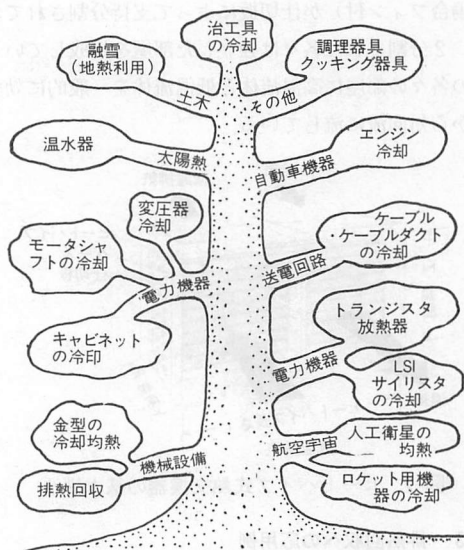


図-1 ヒートパイプの応用分野

### 2.1 排熱回収とヒートパイプ

いわゆるオイルショック以来、排熱回収は実に多種多様な範囲で行われるようになってきた。温度領域で言えば比較的採算の取れやすい高温領域の排熱から多量にはあるが経済的な回収のむずかしい中低温領域の排熱へと拡がってきた。ヒートパイプ式熱交換器はこの中低温領域の排熱回収に適しているため、数ある熱交換器のなかでも歴史が浅いにもかかわらずこの10年ほどで採用される例が急速にふえてきている。さらに省エネルギーの意識の高まりや技術の進歩とともにこれまで技術的に困難とされてきた分野の熱回収にも応用されつつある。

ヒートパイプ式熱交換器を歴史的にながめると、その原型は米国のF. W. Gayにより1929年に出された特許「Heat Transfer Means」で提案されている。その特許には今日のヒートパイプ式熱交換器の重要な技術項目が殆んど網羅されていたが、製造技術、応用ソフトなどが伴い実用化されるためには、その後約40年

待たなければならなかった。現在ではヒートパイプ式熱交換器は空調用のものからボイラー排熱用まで産業界の各レベルにおいて用いられている。

## 2.2 排熱回収用ヒートパイプ式熱交換器

ひとくちに排熱と言ってもその温度、量、流体種類、流体性状などいろいろな種類があるが、ヒートパイプ式熱交換器は前述したように中低温領域でしかもガス対ガスの熱交換に伝熱効率上のメリットが大きい。基本的な構造を図-2に示す。多数のヒートパイプ（多くの場合フィン付）が仕切板によって支持分割されており、2分割された各々は独立した部屋を構成している。その各々の部屋に高温流体と低温流体を一般的に効率上から対向流に流している。

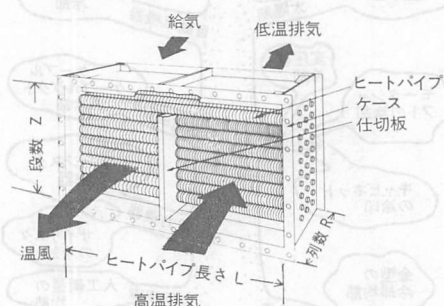


図-2 ヒートパイプ式熱交換器の基本構造

## 2.3 排熱回収への応用例

実際に使用される用途としては、ボイラーの燃焼空気の予熱、工業炉排熱の回収、ドライヤーでの熱回収、空調用、排煙脱硫装置の熱回収などがあり、いずれも省エネルギー、あるいはエネルギー効率の上昇を目的としている。これらの用途のなかでヒートパイプ式熱交換器が最も量的に多く使われているのは各種工業炉排熱の回収であろうと思われるが、特長を示すためにヒートパイプ式熱交換器の規模および使われ方として両極端にあるキノコ栽培用および排煙システム用の2例について述べる。

### (1) キノコ栽培の省エネルギー

キノコの効果的育成の為には室内を一定温度に保っておく必要があり、油を燃焼して室内を暖めているが、空気の汚れを防ぐため換気が必要である。キノコ栽培用のヒートパイプ式熱交換器として用いられているものはこの換気と熱交換を同時に行なう機能をもつ。したがってこの場合、ヒートパイプ式熱交換器が対象とする排熱は比較的クリーンな温室排ガスであり、その処理量も100~400 $\text{m}^3/\text{h}$ 程度と小規模なものである。しかし熱交換効率は70%に達し、しかも夏冬で換気の風

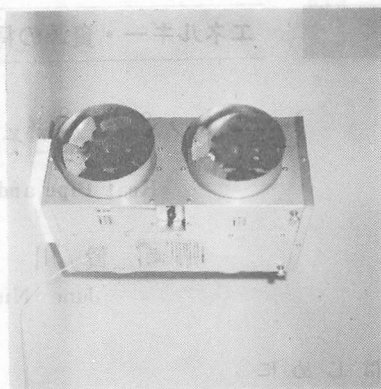


図-3 キノコ栽培用ヒートパイプ式熱交換器

向を逆転させることにより年間を通しての利用が出来る、メンテナンス性にも優れていることから、近年キノコ栽培をする長野県地方で著しく普及してきている(図-3)。

### (2) 排煙脱硫システム用ガス・ガスヒータ

重油や石炭だきの大型ボイラには環境を守るため多くの場合湿式の排煙脱硫装置が設けられる。この際、脱硫装置内でガスは150 $^{\circ}\text{C}$ ~160 $^{\circ}\text{C}$ から50 $^{\circ}\text{C}$ 程度まで冷却され水分飽和となる。このガスをそのまま大気中に放出すると白煙となり、日光遮断、煙突ダクトの腐食、拡散障害などが発生する。そのためこのガスをわざわざ良質の燃料をたいて加熱する、いわゆるアフターバーニングが実施される。このアフターバーニングの燃料費として、例えば排ガス量35万 $\text{N m}^3/\text{h}$ 規模のシステムでは年間1億7千万が消費されてしまう、このアフターバーナに変わるものとして脱硫前後のガスを熱交換するいわゆるガス・ガスヒータがある。図-4にガス・ガスヒータを組込んだ場合のシステムフローを示す。

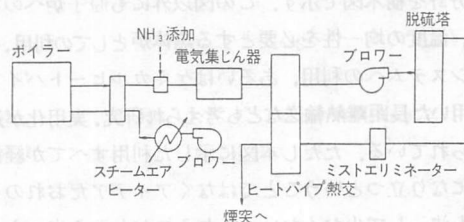


図-4 排煙脱硫システムへの応用

このガス・ガスヒータへのヒートパイプの応用は一般のヒートパイプ式熱交換器と異なり非常にダークなガスであり、露点腐食やダストに対する技術的困難さを克服していかなければならない。現在ヒートパイプ式のガス・ガスヒータは重油火力用が2基(図-5)<sup>1)</sup>、石炭火力用も10万 $\text{N m}^3/\text{h}$ の大型実証機が稼動中であり<sup>2)</sup>、今後省エネルギーと公害防止を兼ねた応用例とし

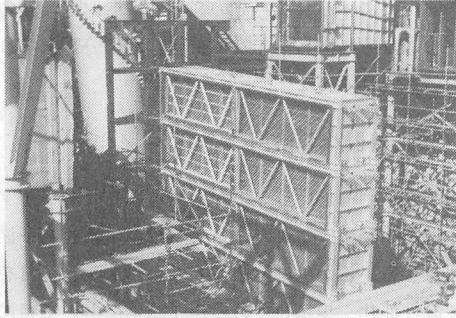


図-5 大容量ヒートパイプ式ガス・ガスヒータ

て実施例がふえるものと期待されている。

### 3. ロードヒーティング・融雪への利用

積雪期における北国の道路への雪の堆積は地元住民の生活への影響、物資輸送など産業効率へ与える影響など大きな問題である。そこで道路の融雪として従来電気ヒータを用いたり、温水を配管で通すことなどが行われてきた。ところが電気ヒータの場合であればその電力コストは無視できないものがあり、温水配管の場合であれば湯あかによる管内面腐食とか老朽化したときの維持管理のわずらわしさといった問題があった。これらの方式に代わるものとしてヒートパイプの等温性を利用して道路の融雪をする方法が提案され、各地での実証試験等も進められてきたが、最近かなり大規模の実用例がでてきたので紹介しよう。

融雪にヒートパイプを利用する場合でも熱源はどこからか確保しなければならぬ。熱源として考えられるものには地熱、地下水、そしてやや特殊な例として温泉水がある。地熱によるものは地表より深さ7m以上であればそこでの温度がその地方の年間平均温度に等しいことを利用して土壌のもつ熱エネルギーをヒートパイプによって地表に伝えようとするものである。この方法は実際には深さ10m近い多数のヒートパイプ埋め込み用穴を確保しなければならないことや、土壌そのものの熱伝導性の悪さおよび土壌熱エネルギーの回復力などに問題があることから大規模な実施例はまだない。

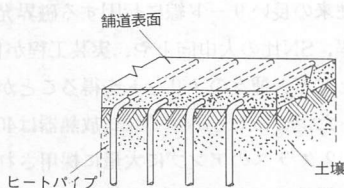


図-6 地熱による路面融雪

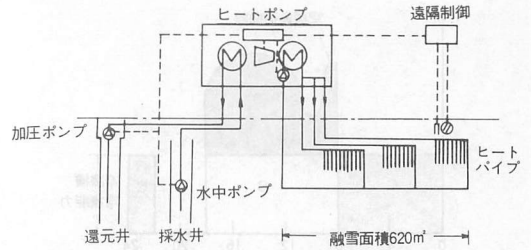


図-7 ヒートポンプとの組合せによる融雪システム

地下水によるもので注目される例では図-7に示すようにヒートポンプとヒートパイプを組み合わせた利用法がある<sup>3)</sup>。この方法では青森市民文化会館前の歩道約330mなど3つの実施例が報告されている。

温泉水の例としては北海道定山溪温泉における例がある。このシステムは道路の車道の境に温泉の湯を流す基幹のパイプを設置し、このパイプから枝分かれするかたちでヒートパイプを左右に魚の骨のように張りめぐらし、温泉の熱を循環させ路面全体を温めようとする方法である。この実施規模としては巾12.7m長さ650mの歩車道について工事が行われ、使用されたヒートパイプは約5,500本、総延長約17,000mとなっている。熱源の温泉は温度が60~85℃であり、この熱がヒートパイプによって効率よく地表に拡がり道路路面を約3℃に温めるため凍結、積雪を防ぐことができる。インシャルコストでは従来の温水配管方式よりも数倍高くなるが10年以上の耐用年数、ポンプ動力が少ないこと、メンテナンスフリーなどの効果によりこうした例は今後温泉地域を中心に普及していくことが考えられる。



図-8 温泉熱利用の融雪 (定山溪温泉)

### 4. 蓄冷システムへの利用

蓄熱式の空調システムはエネルギーの効率使用という点からたいへん効果のある省エネルギーシステムであろう<sup>4)</sup>。基本的な考え方は図-9に示すように、変動す

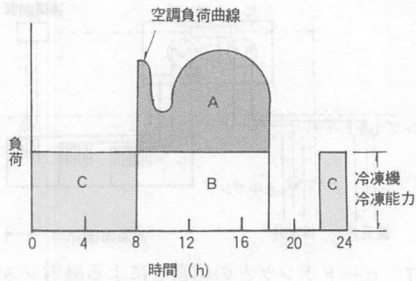


図-9 蓄熱式空調蓄熱システムの運転パターン

る空調負荷に対して効率的な冷凍機の連続一定運転を行うことにある。図中、Cで示した夜間運転の冷熱を昼間の需要に備えて蓄えることが必要となる。この蓄熱には冷水を用いる方法と氷蓄熱法があり、氷蓄熱は冷水の場合と比較して蓄熱槽の容積で $\frac{1}{6}$ ~ $\frac{1}{8}$ の超小型化がはかれるメリットがある。この氷蓄熱へヒートパイプを利用することによって更に効率化を図ったものがヒートパイプ氷蓄熱システムである。このシステムの原理を図-10に示す。ヒートパイプ

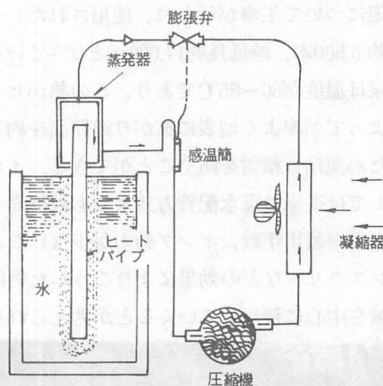


図-10 ヒートパイプ氷蓄熱システムフロー

は垂直に設置され上部の蒸発器で冷媒ガスとヒートパイプは熱交換され、蓄熱槽中のヒートパイプ下部で氷を生ずる。本方式とすることで次のような利点があると考えられている。

- ① ヒートパイプの等温性、高速熱伝達によって単位面積当たりの製氷量を増加し装置を小型化できる。
- ② 全体のシステムが簡単になる。
- ③ 製氷時に特別な自動制御が不要である。
- ④ ヒートパイプが損傷しても装置全体に支障を与えない。

この蓄冷システムへのヒートパイプの利用は始まったばかりであるが、他の応用例と同じく、無動力、等温性というヒートパイプの有する利点を活用したもので

であるだけに、これからその経済性、機器信頼性の評価がなされるに従って非常に有望な応用分野となると考えられる。

## 5. 電子機器への応用

省エネルギーという立場からするとヒートパイプを電子機器へ利用することが、どれほどエネルギー節減に寄与しているかははっきりしない。しかし、日を追って高性能化、集積化される電子機器において特に半導体から発生する熱をいかに効率良く除去するかは、電子機器のトータル性能、容量に大きく影響するため広義には省エネルギー、省資源といえるのではないだろうか。さらにヒートパイプの利用について語るとき数量的に最も多く生産されているであろうこの分野を抜きにすることは出来ない。次に民生用、産業用電子機器に分けて応用例を紹介しよう<sup>5)</sup>。

### 5.1 民生用電子機器

オーディオ機器、特にアンプの高出力、高性能に伴いパワートランジスタから発生する熱量は飛躍的に増大しつつある。これらの熱を処理する方法は従来、アルミダイカストや押出材などの固体熱伝導を利用した放熱器が一般的であったが、パワー増大に伴い放熱器は巨大になり実用的なものではなくなってしま

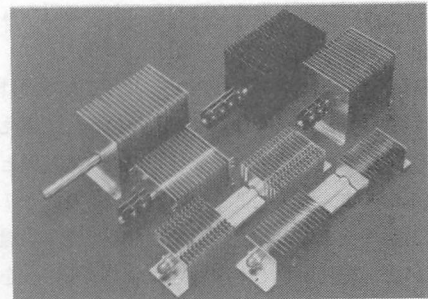


図-11 ヒートパイプ式放熱器外観

この放熱器を図-11に示すようなヒートパイプを応用した放熱器とすることで放熱性能の向上はもちろん、小型軽量化することもできる。さらに熱伝達速度の速いことを利用してトランジスタを集散的に配置できるため、従来の長いリード線に起因する磁界発生がなくなり歪率、SN比の大巾向上や、実装工程が簡略化できることなど、種々のメリットを得ることができるようになった。このヒートパイプ式放熱器は40W×2~500W×2クラスのアンプに大量に採用されており、国内外で累積400万台はを超えていると言われている。

## 5.2 産業用電子機器

産業用電子機器へのヒートパイプの適用例としてはサイリスタ、ダイオード、パワーモジュールなどのいわゆる電子半導体素子の冷却器がある。例えばインバータ、コンバータなどの電力制御装置にはその内部でこれらの素子が多く使用されており、その効率的な冷却システムを用いることが重要な課題であった。

これまでの冷却システムとしては発生熱量250 W以下と少ないものでは自然空冷、1,000 W程度までは強制空冷、それ以上になると水冷やフロン沸騰冷却が採用されることが一般的であった。

一方、ヒートパイプを用いた冷却法は機器の軽量、小型化を達成し、素子の電気的安全性を確保できる等の効果があり、空冷にて従来の水冷に匹敵する冷却能力を有している。図-12にヒートパイプ式サイリスタ冷却器を示す。サイリスタはヒートシンクのブロック間に挟圧固定され、素子からの発生熱はヒートパイプにより効率良くフィン部に輸送され、自然または強制空冷によって外気中に放散される。

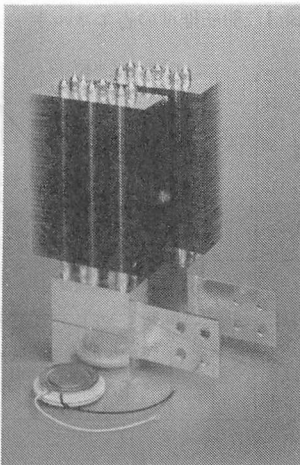


図-12 ヒートパイプ式サイリスタ冷却器

## 6. おわりに

ヒートパイプのエネルギー関連の利用法として、まさに省エネルギーそのものである熱回収への応用、熱エネルギーの有効利用と言えるロードヒーティングシステム、エネルギーの効率化ができる蓄冷システムへの応用、および省資源と機器の効率化をはかった電子機器への応用について説明を行なった。このほかにもモータの冷却に使うヒートパイプシャフト、地下電力ケーブルの冷却用ヒートパイプなどのユニークでしかも効果的な用いられたかたがあり実用化している。

ヒートパイプの地上での発展をふりかえると、やはり省エネルギー意識の高まりがその原動力の一つとなっている気がする。その利用範囲も着々と拡がり、一部では熱移動素子として不可欠なものとなりつつある。経済的に価値のない利用法はやがて棄てられていくことになるであろうが、熱流束の変換機能や、熱のみを移動する安全性などに着目してさらに新しい利用法を検討していくことは意味があると考えている。

## 参 考 文 献

- 1) 松本他; 排煙脱硫システムへのヒートエアコンの応用, 古河電工時報 第71号 (1981) 9~12
- 2) Niekawa etc; LARGE SCALE HEAT PIPE HEAT EXCHANGER FOR FLUE GAS DESULFURIZING SYSTEMS. 5th International Heat pipe Conference, Pre-Prints II (1984) 157~162
- 3) 佐藤幸三郎; ヒートパイプ方式による積雪寒冷地における融雪及び室内暖房, '83新テクノロジーシンポジウム PART 6 日本能率協会編 (1983)
- 4) 吉田正三, 川上司郎; ヒートパイプ氷蓄熱による省エネルギー空調システムの開発, 技術研究発表会論文集, (株) 鴻池組 (1984) 55~71
- 5) 村瀬高志他; ヒートパイプ式半導体放熱器「ヒートキッカー」, 古河電工時報 第71号 (1981) 19~28

