20世紀の熱技術

—ヒートパイプ—

Thermal Engineering in the 20 Century
—Heat Pipe—

1 はじめに

本稿では、20世紀の熱技術として、ヒートパイプ (heat pipe, HPと略記) を取り上げる。HPとは、同じ形状・寸法の固体伝導体に比べて、同じ温度差で大量の熱を運ぶ伝熱素子である。

HPを取り上げた理由は、以下のとおりである。まず、HPは、微小重力場で高い信頼性のもとで人工衛星の温度制御を行う伝熱素子として開発され、その成果が地上技術として応用されたという意味で20世紀にふさわしいと判断したことである。次に、20世紀における発見の一つとして超電導が挙げられるが、超伝導体の存在しない熱伝導において熱の擬似超伝導体として機能する伝熱素子であることである。最後に、熱交換器、半導体素子冷却、宇宙機器熱制御、あるいは自然工

ネルギーの利用など、多くの用途への展開が期待されることである。

紙面の都合上、HPの詳細については文献⁽¹⁾などを参照願いたい。

2 潜熱形ヒートパイプ

HPの典型は、wicked HP (WHPと略記) である。これは、図1のように、溝やメッシュなどの毛管力を発現する構造を内面に有する管の両端を閉じ、少量の液体を封入したものである。WHPでは、一端を加熱、他端を冷却すると、加熱端で封入液体が蒸発し、発生蒸気が圧力差により冷却端に流れ、凝縮する。凝縮液は、管内面の構造により発現する毛管力により加熱端に戻り、再び蒸発する。すなわち、WHPでは気液相変化による潜熱移動を利用して大量の熱を運ぶ。WHPでは、凝縮液の還流に重力作用を利用しないので、宇宙空間や加熱部が上部に

西尾 茂文

Shigefumi Nishio

1949年4月生まれ

1972年東京大学工学部産業機械工学科卒業

1977年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了

■主として行っている業務・研究

- ・液相の相変化現象の素過程と伝熱
- ・振動励起熱輸送現象の解明と応用
- ・超電導機器・電子機器・宇宙機器・素材製造システム・食料保存システムにおける熱制御
- ・排熱の有効利用、科学技術論

■所属学会および主な活動

日本機械学会第78期理事(広報担当)、日本伝熱学会企画担当理事(1997、98年度)、エネルギー・資源学会、低温工学会、日本鉄鋼協会、日本熱物性学会、日本冷凍空調学会

■勤務先

東京大学教授 生産技術研究所
(〒153-8505 東京都目黒区駒場
4-6-1 / E-mail: nishios@iis. u-
tokyo.ac.jp)

図1 ウィック式ヒートパイプ (WHP)

図2 ドリームパイプ (DP)

図3 蛇行流路 (CHP)

ある地上利用においても使用できる。最も狭義のHPは、WHPを指す。

HPはWHPに限らない。例えば、WHPの内面構造を除去しても、加熱端が冷却端より低部にあれば、凝縮液は重力により加熱端に戻るができる。これはWHPより歴史は古く、サーモサイフォン (thermosyphon, TSと略記) と呼ばれている。潜熱の授受を利用したWHPとTSとを総称してHPと呼ぶ場合がある。

3 振動流形ヒートパイプ

潜熱の授受を利用しないHPもある。例えば、図2は相変化を用いないHPであり、dream pipe (DPと略記) と呼ばれている。作動原理は、以下のように説明できる。軸方向に温度こう配を有する管 (図2では細管群) 内の液体に振動流を起こすと、液体が高温側に向かう位相では管壁より熱 Q をもらい、低温側に向かう位相では管壁に熱 Q を吐き出す。すなわち、1振動あたりに上記の顕熱授受により熱が管軸方向に振幅程度の距離だけ移動する。これを、振動流による拡散促進効果と呼ぶ。

図2の流路を図3のように隣接した

蛇行流路とすると、振動の位相は流路間で逆位相となり、さらに熱輸送量が增大する。これを、COSMOS HP (Counter-Stream-Mode Oscillating Flow HP, CHPと略記) と呼ぶ。

DPやCHPでは、振動流は強制駆動される。一方、図3の蛇行流路内にある割合しか液体を封入せず、他を蒸気により満たし、加熱・冷却端の温度差をある値以上にすると、封入液体と蒸気とが自発的に振動・循環運動を起こし、大量の熱を運ぶ。これを、SEMOS HP (Self-Exciting-Mode Oscillating Flow HP, SHPと略記) あるいはLCHPと呼ぶ。DP, CHP, SHPを振動流形HPと総称する。

4 各種ヒートパイプの棲 (すみ) 分け

HPには、① 熱輸送密度が高いこと、② 安定性が高いこと、③ 熱輸送限界が高いこと、④ 応答性が高いこと、⑤ 熱輸送量の制御性が高いこと、⑥ 細径化が容易なこと、⑦ フレキシブル化が容易なことなどが要求される場合がある。そのために、以上のほかにも多くの形式のHPが考案されているが、すべての要求を満たすHPは現存しない。

例えば、HPの典型であるWHPには熱輸送限界 (この値は細径化とともに急速に減少する) があり、また制御性を持たせたり、フキシブル化するためには工夫を用いる。さらに、内部に不凝縮性ガスが発生すると性能が劣化するので、作動液体と管材料の組合せは自由ではない。一方、実証範囲内でも銅の熱伝導率の200倍程度の実効熱伝導率を有するCHPは、熱輸送量を限定する特殊な機構は存在せず、細径化やフレキシブル化が可能であり、また振動条件により制御も容易であるが、加振機構を要する。加振機構を要さないSHPでは、銅の200倍程度の実効熱伝導率の実現できるが、熱輸送限界が存在するとともに、利用姿勢にも限定がある。

5 おわりに

20世紀の熱技術としてHPを取り上げたが、上記の条件を満足する万能HPやHPを利用した熱ダイオードなど次世紀の夢と課題も多い。

文 献

- (1) 日刊工業新聞社主催特別セミナー、新しいヒートパイプ理論と応用、(1998-3)。