

データセンタ向け銅短繊維ヒートパイプの開発

Development of Copper Short fiber Wick Heat-pipe for Data Center

上久保将大*
Masahiro Uekubo

〈概要〉

データセンタで用いられるサーバは更なる高性能化が進み、その処理装置の高発熱密度・高発熱量化が進行している。当社では、ヒートパイプ内部の圧力損失の定量的な分析を行い、グルーブ管内部にカバー構造を設けることで飛躍的に最大熱輸送量が向上することを見出し、そのカバーとして銅短繊維を用いた構造のヒートパイプを開発した。本稿では銅短繊維ヒートパイプに関する技術について紹介する。

1. はじめに

近年、データセンタで用いられるサーバは更なる高性能化が進み、それに伴い処理装置の高発熱密度・高発熱量化が進行している。この高発熱密度・高発熱量化に対応したヒートシンクが求められており、当社ではヒートパイプ式ヒートシンクを開発し、この放熱性能要求の高いデータセンタ向けのヒートシンクとして採用されている。図1にデータセンタ用ヒートシンクの一例を示す。

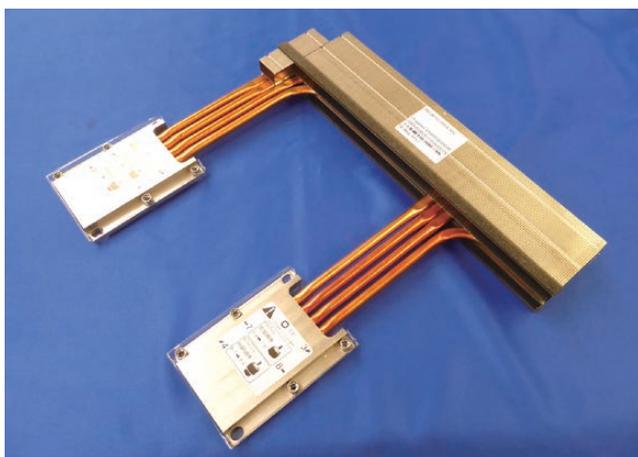


図1 データセンタ用ヒートシンクの外観図
External view of heat sink for data center.

今後もサーバの開発トレンドとして、筐体の形状は変わらないまま発熱量の増加が更に進むと予測され、ヒートパイプを設置出来るスペースが限られること、またコストの低減化を図る

ためにヒートパイプ1本あたりの最大熱輸送量の増加が必要であると考えている。

当社のデータセンタ向けのヒートパイプヒートシンクには、図2に示すような複合焼結ヒートパイプ(グルーブ管の受熱部に銅粉の焼結体を付けたヒートパイプ)が使用されている。複合焼結ヒートパイプは、凝縮部と断熱部のグルーブにより液流の圧力損失を抑えたうえで、蒸発部の銅粉焼結体の高い毛細管圧力により液の還流を良くしている。

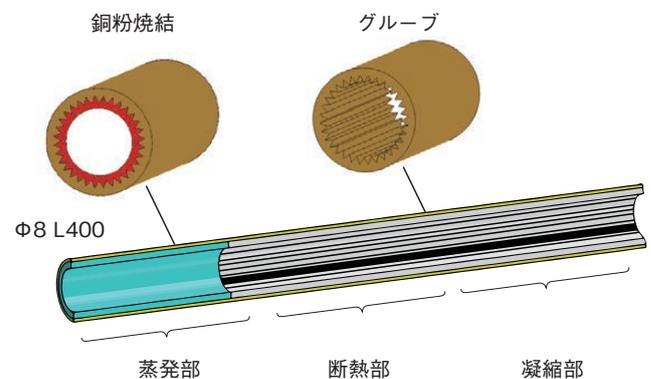


図2 複合焼結ヒートパイプの構造
Structure of a composite sintered heat pipe.

著者は複合焼結ヒートパイプ内部に設置されるウィックの毛細管圧力と、ヒートパイプの作動液の循環時に生じる圧力損失の定量的な分析により、最大熱輸送量の向上にはカウンタフローの圧損の抑制が有効であることを見出し、現行の複合焼結ヒートパイプにその対策を行うことで最大熱輸送量の大きいヒートパイプを開発した。このカウンタフローの圧損の抑制には、グルーブ内側に銅短繊維をカバーとして配置することが有効であることを見出した。本報では、銅短繊維のウィックがカウンタフロー圧損に与える影響について報告する。

* 研究開発本部 自動車・エレクトロニクス研究所

2. 複合焼結ヒートパイプの内部構造

ヒートパイプ内部においては、図3に示すように①蒸発部(加熱部)で液から蒸気に相変化させられた作動流体は、②蒸発部から凝縮部(冷却部)に流れ、③凝縮部で蒸気から液に相変化させられ、④毛細管圧力により凝縮部から蒸発部に戻される。このようにして、蒸発部と凝縮部の間で作動流体の循環流れが形成されることによって、管状容器内の蒸発部と凝縮部の間で熱輸送を行っている。

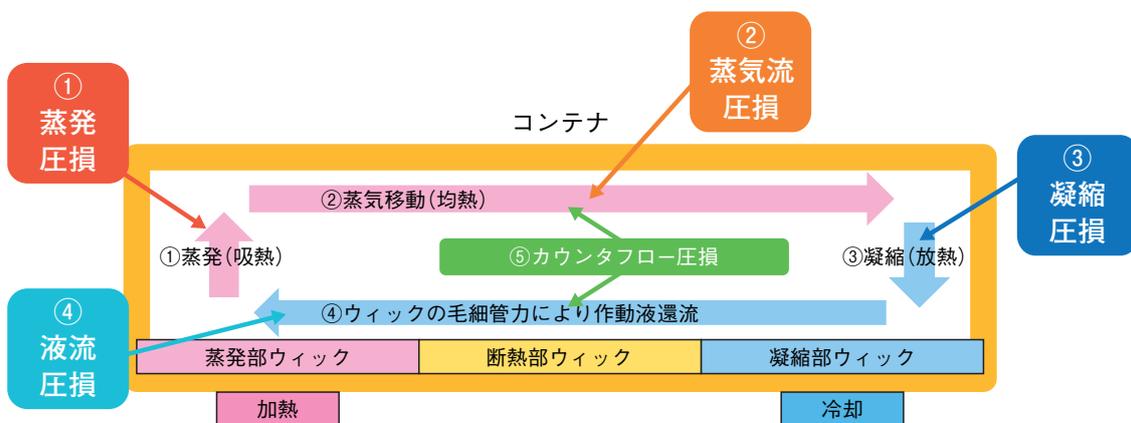
この熱輸送量の最大化を図るため、現行の複合焼結ヒートパイプにおける毛細管圧力と液の循環時に生じる蒸発、蒸気流、凝縮、液流それぞれの圧力損失の定量的な分析を行った。ヒートパイプの最大熱輸送量は、ウィックの毛細管圧力と液の循環時に生じる圧力損失との釣り合いの式で決定される。

計算の結果、現行の複合焼結ヒートパイプの性能は圧力の釣り合いの式で予測される性能に至っておらず、今回の計算には含まれていない圧力損失が存在している可能性があるものと考えられる。その圧力損失を、蒸気によるグループを流れる液の飛散による圧力損失(⑤カウンタフローによる圧力損失)であると仮定し最大熱輸送量を、

$$\text{毛細管力} = \text{①蒸発圧損} + \text{②蒸気流圧損} + \text{③凝縮圧損} + \text{④液流圧損} + \text{⑤カウンタフロー圧損}$$

の式に基づいて各圧力損失の影響度合いを評価した。その結果を図4に示す。

このカウンタフローの圧力損失を無くすことができれば、図5に示すように最大熱輸送量は2倍程度になると予測され、その方法を検討した。



最大熱輸送量の決定式

$$\text{毛細管力} = \text{①蒸発圧損} + \text{②蒸気流圧損} + \text{③凝縮圧損} + \text{④液流圧損} + \text{⑤カウンタフロー圧損}$$

図3 最大熱輸送量の決定式
Formula for determining maximum heat transfer rate.

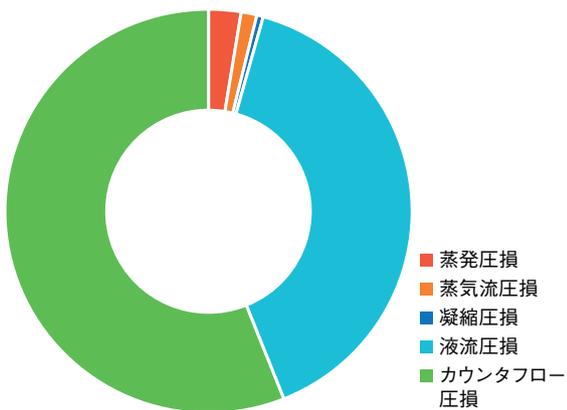


図4 圧力損失の計算結果
Calculation result of pressure loss.

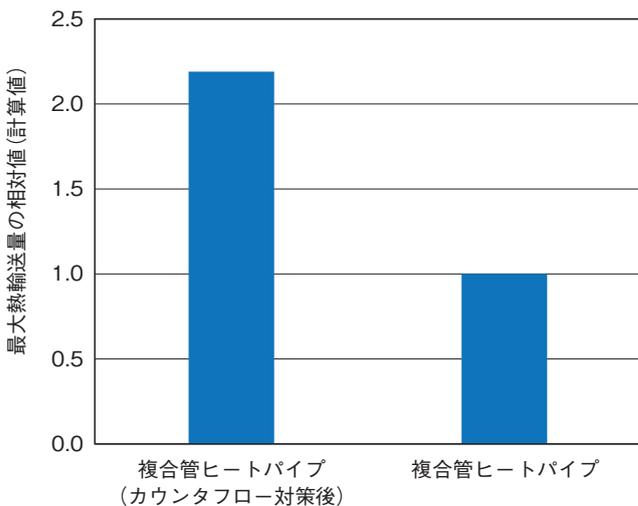


図5 カウンタフロー対策後の最大熱輸送量子測
Prediction of the maximum heat transfer rate based on the counter flow solution.

ここで再度カウンタフローの圧力損失について説明する。複合焼結ヒートパイプでは、グループ部が凝縮部から蒸発部に液を戻す役割を担っているが、その際の液流の向きが蒸気流の向きと対向しているため、液が蒸気に弾かれ戻りづらくなる。これをカウンタフローの圧力損失とした。

そこでグループ部の開口部にカバー構造を付けることで、蒸気と液の気液分離を促進してカウンタフローの発生を抑えることを考えた。今回は銅短繊維をグループの開口部に付けることでカバーとして機能させる事を検討した。

3. 実験方法

3.1 実験用ヒートパイプの作製

外形φ8 mm全長400 mmの銅製のグループ管の内部に、グループに入らない大きさの銅短繊維の焼結体を図6に示すように装填し蒸発部及び断熱部とした。作動液として水を注入して実験用のヒートパイプを作製した。

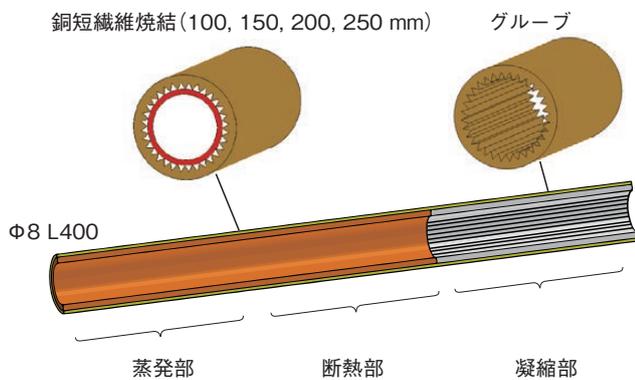


図6 銅短繊維ヒートパイプの構造
Structure of a copper short fiber heat pipe.

銅短繊維焼結体の長さはヒートパイプの長手方向に100, 150, 200, 250 mmとした。この焼結体の長さが250 mmのヒートパイプは凝縮部への影響をみるためのものである。

またカウンタフローの効果を明確化するため、銅短繊維をグループの隙間に入る銅粉に置き換えたヒートパイプも製造し

た。銅粉の焼結長さはヒートパイプ長手方向に60, 100, 150, 200 mmとした。

更に蒸発部構造を統一した効果を確認するため、図7に示すように銅粉と銅短繊維を組み合わせたヒートパイプも製造した。この際、銅粉の蒸発部の焼結長さは60 mm、銅短繊維の断熱部の焼結長さは190 mmとした。

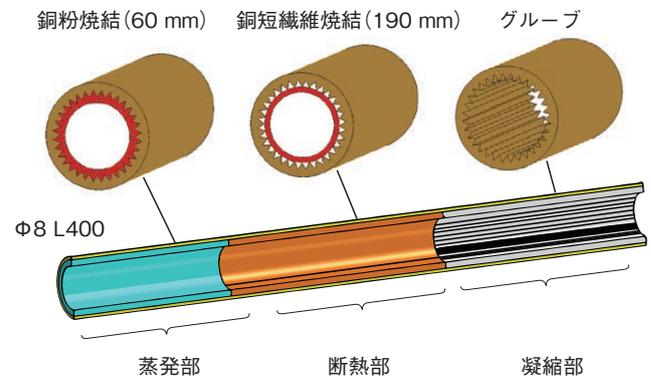


図7 銅粉+銅短繊維ヒートパイプの構造
Structure of a copper powder + copper short fiber heat pipe.

3.2 ヒートパイプ測定条件

図8に示すようにヒートパイプの蒸発部にグリスを塗布して、長手方向40 mmの半割りの銅製のヒータブロックに取り付けた。蒸発部側のヒートパイプ非作動部長さは15 mmとした。ヒータブロックの加熱はカートリッジヒータをヒータブロックにグリスで熱接触させて行った。

凝縮部側はヒートパイプにグリスを塗布したのち、長手方向100 mmのアルミ製の冷却ブロックに取り付けた。凝縮部側のヒートパイプ非作動部長さは蒸発部と同様に15 mmとした。冷却ブロックの冷却には、銅製の水冷ジャケットをグリスで熱接触させて行った。

設置姿勢は角度計を用いて水平を確認してから、作動温度50℃固定で測定した。最大熱輸送量は、ヒータブロックの温度とヒートパイプの断熱部の温度差から求めた熱抵抗が急激に上昇する直前の値の入熱量とした。

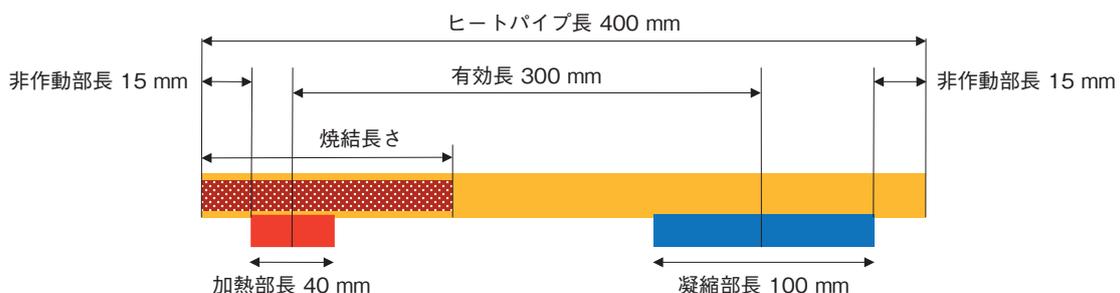


図8 ヒートパイプ測定系
Heat pipe measurement system.

4. 測定結果

各ヒートパイプの測定結果を図9に示す。銅短繊維を焼結したヒートパイプは焼結長さが100 mmから200 mmの領域で、長さが長くなるにつれ最大熱輸送量が向上した。銅短繊維が想定通りカバーとしての役割を果たして、カウンタフローの圧力損失が低減されているものと考えられる。またカバーの長さが250 mmまで増加すると、凝縮部への影響が出て最大熱輸送量は向上しない傾向が見られた。

銅粉を焼結したヒートパイプは焼結長さが100 mmから200 mmの領域で、長さが長くなるにつれ最大熱輸送量は逆に減少することが分かった。銅粉焼結体はグループの中に焼結体が完全に入るため、焼結長さが長くなるにつれ焼結体を流れる液流の圧力損失が増加し、最大熱輸送量が減少したものと考えられる。

また焼結長さ60 mmと100 mmを比較すると、60 mmの最大熱輸送量の方が小さくなった。この領域では、銅粉の焼結長さが短くなったことによる液流の圧力損失の減少より、カウンタフローの圧力損失の増加の影響が大きいと考えられる。

また銅短繊維のみを焼結したヒートパイプは、低入力時の熱抵抗が特に大きく実用上は蒸発部構造に課題があることが分かった。そこで、銅粉(焼結長さ60 mm)と銅短繊維(焼結長さ190 mm)を組み合わせたヒートパイプの測定を行なった。その結果熱抵抗は銅粉のみと比べてほとんど変化がないまま、最大熱輸送量が図9に示したように焼結長さ250 mmの銅短繊維のみと同程度、焼結長さ60 mmの銅粉のみと比べて2倍程度まで向上することが分かった。この最大熱輸送量の大きさは、事前計算から想定される値と概ね一致した。

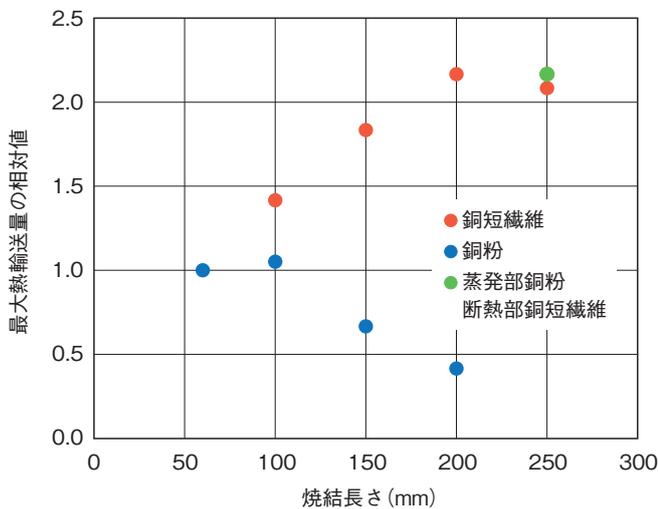


図9 焼結長さを変えたヒートパイプの熱輸送量測定結果
Heat pipe measurement results (sintering length change).

以上の結果から今回試作した短繊維のカバーはグループ部と銅短繊維の間に隙間があり、目論見通りカバーとして機能していることが分かった。

5. おわりに

複合焼結ヒートパイプ内部に設置されるウィックの毛細管圧力と、ヒートパイプの作動液の循環時に生じる圧力損失の定量的な分析を行い、最大熱輸送量の向上にはカウンタフローの圧損の抑制が有効であることを見出し、現行の複合焼結ヒートパイプにその対策を行うことで、最大熱輸送量の大きいヒートパイプを開発した。

カウンタフローの圧損の抑制には、グループ開口部に銅短繊維をカバーとして配置することが有効であることを見出し、このカバーには最低限必要な長さがあることが分かった。

今後、カバーの構造に関してカウンタフローの圧損の抑制機能を維持しながら、コストの低減や銅短繊維焼結体の装填時の作業性を改善するなどを行い、最適なものを目指してさらに検討する予定である。

これからますます高度化するニーズに応えるべくヒートパイプヒートシンクの性能をさらに向上させ、それらを用いる電子機器の発展に貢献していく所存である。