

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2009年8月13日(13.08.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/099057 A1

- (51) 国際特許分類:  
F28D 15/06 (2006.01) F28D 15/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/051773
- (22) 国際出願日: 2009年2月3日(03.02.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-029713 2008年2月8日(08.02.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人横浜国立大学(National University Corporation Yokohama National University) [JP/JP]; 〒2408501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 奥山 邦人 (OKUYAMA, Kunito) [JP/JP]; 〒2408501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内 Kanagawa (JP). 森 昌司 (MORI, Shouji) [JP/JP]; 〒2408501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

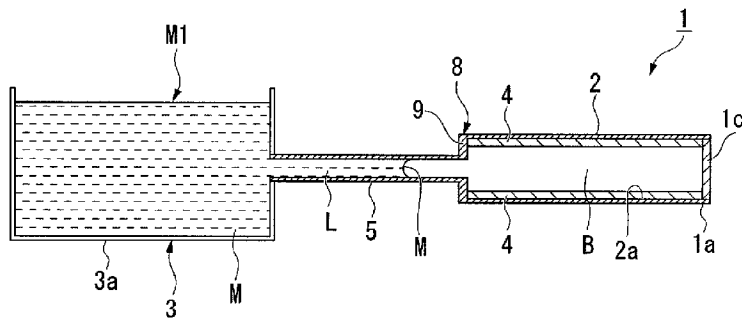
添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SELF-OSCILLATING HEAT PIPE

(54) 発明の名称: 自励振動型ヒートパイプ

[図1A]



(57) Abstract: A self-oscillating heat pipe includes: a heating unit having a wick inside; a cooling unit filled with a work fluid; a connection channel which has a smaller channel cross section area than that of the heating unit and rectilinearly connects the heating unit to the cooling unit; a liquid plug protruding from the cooling unit into the connection channel and containing the work fluid; and a vapor plug in the heating unit containing the vaporized work fluid. The fluid plug oscillates by itself in the connection channel.

(57) 要約: 内部にウイックを持つ加熱部と; 作動流体が満たされた冷却部と; 前記加熱部及び前記冷却部を直線状に連結し、前記加熱部の流路断面積よりも小さな流路断面積を有する連結流路と; 前記冷却部から前記連結流路内に突出し、前記作動流体を含む液プラグと; 気化した前記作動流体を含む前記加熱部内の蒸気プラグと; を備え、前記液プラグが前記連結流路内で自励振動することを特徴とする自励振動型ヒートパイプ。



WO 2009/099057 A1

## 明 細 書

### 自励振動型ヒートパイプ

#### 技術分野

[0001] 本発明は、自励振動型ヒートパイプに関する。

本願は、2008年2月8日に、日本に出願された特願2008-029713号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

#### 背景技術

[0002] 近年、電子機器の小型化、高集積化に伴って、半導体素子等の発熱密度が急増しており、効率的な熱除去手法の確立が急務となっている。しかし、例えばノート型のパーソナルコンピュータ等の電子機器の小型化が進むと、熱源である中央演算装置(CPU)の直上に大型のヒートシンクを設置するスペースが確保できなくなる。このような場合には、ヒートシンクを設置可能な場所まで発生した熱を輸送する輸送する必要が生じる。このようなことから、現状ではウイック式ヒートパイプが熱輸送手段として利用されている。

[0003] 最近のノート型のパーソナルコンピュータの約90%には、ウイック式ヒートパイプが内蔵されている。このようなヒートパイプは、外径約3mm、水平に設置した場合の最大熱輸送量は12W程度のものである。しかし、ウイック式ヒートパイプは、管径をマイクロ化(小径化)すると急激に熱輸送能力が低下するという問題がある。

[0004] そこで、マイクロ化しても高い熱輸送能力を有す相変化を利用した自励振動型のヒートパイプが最近注目されている。しかし、その代表例である蛇行ループ式の自励振動型ヒートパイプ(内径0.5mm~2mm程度)は、多くの管を蛇行させる必要があること、水平設置すると作動しにくいなどの問題がある(非特許文献1参照)。

非特許文献1:長崎孝夫、「自励振動ヒートパイプの熱輸送特性に関するレビュー」、伝熱、Vol. 44、No. 186、p. 13-17

#### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、管を蛇行させることなく、水平

設置しても高い熱輸送能力を発揮することが可能な自励振動型ヒートパイプを提供することを一つの目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。

(1) 内部にウイックを持つ加熱部と;作動流体が満たされた冷却部と;前記加熱部及び前記冷却部を直線状に連結し、前記加熱部の流路断面積よりも小さな流路断面積を有する連結流路と;前記冷却部から前記連結流路内に突出し、前記作動流体を含む液プラグと;気化した前記作動流体を含む前記加熱部内の蒸気プラグと;を備え、前記液プラグが前記連結流路内で自励振動することを特徴とする自励振動型ヒートパイプ。

(2) 上記の自励振動型ヒートパイプは、以下のように構成してもよい:前記冷却部に満たされた前記作動流体が、内圧に束縛されない自由液面を持つ。

(3) 上記の自励振動型ヒートパイプは、以下のように構成してもよい:前記冷却部が開口部を持ち、前記開口部には前記冷却部の内容積を調整する調整部が設けられている。

(4) 上記の自励振動型ヒートパイプは、以下のように構成してもよい:前記加熱部の断面積と、前記連結流路の断面積との比が、10:1~2:1である。

#### 発明の効果

[0007] 本発明の自励振動型ヒートパイプによれば、管を蛇行させることなく、水平設置しても高い熱輸送能力を発揮することが可能な自励振動型ヒートパイプを提供できる。

#### 図面の簡単な説明

[0008] [図1A]図1Aは、本発明の一実施形態に係る自励振動型ヒートパイプの断面模式図である。

[図1B]図1Bは、上記自励振動型ヒートパイプの変形例の断面模式図である。

[図1C]図1Cは、上記自励振動型ヒートパイプの変形例の断面模式図である。

[図2]図2は、自励振動型ヒートパイプの実験方法を説明する図であって、実験装置を示す模式図である。

[図3]図3は、実施例1の自励振動型ヒートパイプにおける自励振動の発生状況を示

す図であって、自励振動型ヒートパイプの特定箇所における温度の経時変化を示すグラフである。

[図4]図4は、図3の拡大図である。

[図5]図5は、実施例1～2及び比較例1～3の自励振動型ヒートパイプにおける熱輸送速度 $Q$ と有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を示すグラフである。

[図6]図6は、実施例1の自励振動型ヒートパイプにおける熱輸送速度 $Q$ と有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を示すグラフである。図6は、また、従来技術のヒートパイプの熱伝導率の理論値も示す。

### 符号の説明

- [0009] 1 ヒートパイプ(自励振動型ヒートパイプ)  
2 加熱部  
3, 33, 43 冷却部  
4 ウィック  
5 連結流路  
33b, 43b 開口部  
34, 44 調整部  
B 蒸気プラグ  
L 液プラグ  
M 作動流体  
M1 自由液面

### 発明を実施するための最良の形態

[0010] 以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1A～Cは、本実施形態の自励振動型ヒートパイプの断面模式図である。尚、図1A～Cは自励振動型ヒートパイプの構造を説明するための図であり、図示される各部の大きさや厚さや寸法等は、実際の自励振動型ヒートパイプとは異なる場合がある。

[0011] 図1Aに示す自励振動型ヒートパイプ1(以下、ヒートパイプ1という場合がある)は、作動流体Mと、加熱部2及び冷却部3と、加熱部2に内蔵されたウィック4と、加熱部2及び冷却部3を連結する連結流路5とから概略構成されている。

このヒートパイプ1では、連結流路5内に冷却部3から作動流体Mが流入して液プラグLが形成される。また、加熱部2において、作動流体Mが気化されて蒸気プラグBが形成される。液プラグLが連結流路5内を自励振動することによって熱伝導が行われる。

なお、本実施形態のヒートパイプ1は、どのような姿勢でも作動可能だが、長手方向に沿って水平に設置して使用することが有効熱伝導率を高くできる点で好ましい。

[0012] 加熱部2には、連結流路5に連通された中空部2aが設けられている。この中空部2aの内壁面にウイック4が配置されている。また、冷却部3は、図1Aに示す例では作動流体Mを満たす容器3aである。この容器3aに作動流体Mが満たされる。また作動流体Mはヒートパイプ1の外部に面し、ヒートパイプ1の内圧に束縛されない、自由液面M1を形成する。また、容器3aの側壁に連結流路5が取り付けられる。連結流路5の容器3a側の端部は開放端である。この開放端により容器3aと連結流路5とが連通されている。

[0013] 加熱部2及び連結流路5は、セラミックス、ガラスまたは金属で構成された中空円筒状の管である。加熱部2の一端部1aには、セラミックス、ガラスまたは金属で構成された封止部材1cが備えられている。特に、本実施形態では、加熱部2及び連結流路5をそれぞれ、ホウケイ酸ガラスで構成するとよい。

[0014] 連結流路5の流路断面積は、加熱部2の中空部2aの流路断面積よりも小さい。図1A～Cに示す例では、連結流路5及び加熱部2の中空部2aの断面形状が略円形であり、連結流路5の内径が、加熱部2の中空部2aの内径よりも小さい。これにより、連結流路5の流路断面積が加熱部2の中空部2aよりも小さい。

[0015] 加熱部の中空部2aの流路断面積と、連結流路5の流路断面積との比は、例えば、加熱部:連結流路=10:1～2:1の範囲が好ましい。

より具体的にパソコンのCPUの水冷に適用する場合で説明すると、加熱部の中空部2aの内径は3mm～6mmの範囲が好ましく、また、連結流路5の内径は0.5mm～3mmの範囲が好ましい。

[0016] 加熱部2の流路断面積比、内径比または内径が上記の範囲よりも小さくなると、加熱部2の蒸発量が十分に得られず、あるいは加熱部2の液保持能力が低いために空

だき状態になるので好ましくない。また、加熱部2の流路断面積比、内径比または内径が上記の範囲を超えると、加熱部2内の流体の保有量が多くなり、加熱を開始してから蒸発が生じるまでの時間が長くなり、また、冷却部3から低温の作動流体が流れこんだ場合に蒸発が停止し、それにより自励振動が停止して、再度加熱により蒸発が開始するまでの時間が長くなるので好ましくない。

[0017] また、加熱部2と連結流路5は、内径が相互に異なり、各肉厚がほぼ等しくなっているために外径も異なっている。このため、加熱部2と連結流路5との接合部8にはフランジ部9が形成される。このフランジ部9を介して加熱部2と連結流路5とが相互に接合されている。但し、この構成はあくまで一例である。別の例として、例えば、加熱部2及び連結流路5の内径を相互に異ならしめ、連結流路5の肉厚を厚くして両方の外径をほぼ等しくし、連結流路5の端面に加熱部2の端面を接合させてもよい。

[0018] また、図1A～Cに示す例では、接合部8を境にして加熱部2と連結流路5との内径が急に変化するが、本発明はこれに限らず、加熱部2及び連結流路5の内径を接合部8の近辺において漸次変化させるようにしてもよい。

[0019] 連結流路5は、図1A～Cに示すように、加熱部2と冷却部3との間において直線状に形成されている。また、本発明に係る連結流路5は、ループ状にする必要はなく、ヒートパイプ1の作動時に作動流体Mが直線状の連結流路5内を往復振動できればよい。ここで直線状とは、従来のようなループ状に屈曲させるものではなく単管構造であることを意味する。連結流路5は、ほぼ直線状であることが好ましいが、自励振動が生じる範囲であれば、多少の湾曲などがあってもよい。

作動流体Mの自励振動時の振動振幅は、連結流路5の形状や大きさによるが、例えば、加熱部2の内径を5mmとし、連結流路5の内径を2mmとし、連結流路4の長さを150mmとして加熱部2を加熱した場合の振動振幅は、 $\pm 25 \sim \pm 50$ mm程度と非常に大きくなる。加熱部2及び連結流路5の長さは、上記の振動振幅に合わせて適宜設計すればよい。

[0020] ウイック4は、毛細管現象によって液状の作動流体を輸送できるものであれば従来公知のウイックでよい。ウイック4は、例えば銅などの熱伝導性に優れた金属網、グラスウール、脱脂綿等の綿状体等でよい。また、ウイック4は、加熱部2の長手方向全部

の領域に充填されていてもよい。あるいは、ウイック4の一端が加熱部2と連結流路5との接合部8に一致するようにしてウイック4が加熱部2の長手方向の一部(例えば長手方向全長の2/3程度)にのみ充填されていてもよい。

[0021] 作動流体Mは、ヒートパイプ1の作動温度に合わせて適宜選択すればよい。作動流体Mは、例えば、純水、エタノールなどの有機液体、フロンなどの冷媒、アンモニアなどの液化ガス等が好ましい。

ヒートパイプ1の作動前には、連結流路5及び加熱部2に、予め脱気された作動流体を完全に満たしておくことが好ましい。ヒートパイプ1の加熱部2を加熱することにより、加熱部2に満たされた作動流体Mが気化して蒸気プラグBが形成される。この蒸気プラグBによって作動流体Mが加熱部2から押し出される。作動流体Mは、連結流路5に残って液プラグLを形成する。その後、定常状態に至ると、液プラグLの先端のメニスカスMにおいて、作動流体Mの蒸発と凝縮とが交互に起こる。このため、連結流路5内で液プラグLが自励振動する。連結流路5を目視すると、蒸気プラグBと液プラグLとの気液界面となるメニスカスMが、連結流路5内を往復振動していることが確認でき、これによって自励振動の有無を判定できる。

また、蒸気プラグBの形成時及び自励振動の発生時において、液プラグLの一部が冷却部3(容器3a)に押し出されるが、容器3aに満たされた作動流体Mは自由液面M1を有するので、押し出された液プラグLを吸収できる。

[0022] 上記のヒートパイプ1は、作動流体Mと、加熱部2と冷却部3との間に配されて作動流体Mが流通する直線状の連結流路5を備える。連結流路5の流路断面積が、加熱部2の流路断面積より小さく、更に加熱部2にウイック4が備えられている。このため、有効熱伝導率及び最大熱輸送量を従来の自励振動型ヒートパイプに比べて格段に高めることができる。

特に、加熱部2にウイック4が備えられることで、加熱部2において作動流体Mの蒸発を安定して起こすことができ、結果として有効熱伝導率及び最大熱輸送量を更に格段に高めることができる。

また、上記のヒートパイプ1は、水平設置した場合に自励振動を安定して持続させることができる。

更に、上記のヒートパイプ1によれば、加熱部2と連結流路5とを相互に直接に連通させている。このため、液プラグLの先端のメニスカスMが、加熱部2と連結流路5との接合部8に来るごとに、液体の一部が加熱部2に供給される。従って、加熱部2に作動流体を保持させて常に蒸発を起こすことができる。これにより作動流体を安定して自励振動させることができ、有効熱伝導率及び最大熱輸送量を高くできる。

[0023] 上記のヒートパイプ1は、1本だけでも十分高性能であるが、熱輸送量を多くしたい場合には必要に応じてパイプの本数を増やせばよく、熱設計が容易となる。

また、従来の蛇行ループ型のヒートパイプでは、多数回に渡って蛇行させなければ所用の性能を発揮することができなかったが、上記のヒートパイプによれば、蛇行させることなく直線状とすることで有効熱伝導率及び最大熱輸送量を高くできる。

また、上記のヒートパイプ1は、CPU等の電子素子の冷却に好適に用いることができる。

[0024] 次に、図1Bには、ヒートパイプの別の例を示す。このヒートパイプ31と図1Aに示すヒートパイプ1の相違点は、冷却部の構成である。

図1Bに示すヒートパイプ31の冷却部33は、ホウケイ酸ガラスからなる中空円柱状のガラス管33aである。冷却部33の内径は、連結流路5よりも大きい。このガラス管33aの一端には開口部33bが設けられており、この開口部33bは、ゴム製の膜(調整部)34によって封止されている。そして、冷却部33に作動流体が満たされている。

また、冷却部33の外周には、放熱用のフィン35が備えられている。

[0025] このヒートパイプ31によれば、蒸気プラグBの形成時及び自励振動の発生時において、液プラグLの一部が冷却部33に押し出されるが、冷却部33に備えられたゴム製の膜34が変形することによって、冷却部の内容積が実質的に増大し、押し出された液プラグLの容積を吸収できる。本例では、調整部としてゴム製の膜を用いたが、これに代えてダイヤフラムを用いても良い。

[0026] 次に、図1Cには、ヒートパイプの更に別の例を示す。このヒートパイプ41と図1Bに示すヒートパイプ31の相違点は、冷却部に備えた調整部の位置である。

図1Cに示すヒートパイプ41の冷却部43は、ホウケイ酸ガラスからなる一端が閉塞された中空円柱状のガラス管43aである。冷却部43の内径は、連結流路5よりも大きい



。このガラス管43aの側面には開口部43bが設けられている。この開口部43bは、ゴム製の膜(調整部)44によって封止されている。そして、冷却部43に作動流体が満たされている。

また、冷却部43の外周には、放熱用のフィン45が備えられている。

[0027] このヒートパイプ41によれば、先のヒートパイプ31と同様に、蒸気プラグBの形成時及び自励振動の発生時において、液プラグLの一部が冷却部43に押し出される。このとき、冷却部43に備えられたゴム製の膜44が変形することによって、冷却部43の内容積が実質的に増大し、押し出された液プラグLの容積を吸収できる。本例では、調整部としてゴム製の膜を用いたが、これに代えてダイヤフラムを用いても良い。

[0028] 以下、実施例により本発明を更に具体的に説明する。

[0029] (自励振動の観察:実施例1)

図2に示す実験装置によってヒートパイプの特性を評価した。

まず、内径2mm、長さ250mmのホウケイ酸ガラスからなる連結流路5となるガラス管13と、内径5mm、長さ150mmのホウケイ酸ガラスからなる加熱部2となるガラス管12を用意し、各ガラス管12, 13を融着させた。次いで、ガラス管12の内壁に、銅網からなるウイック14を装着した。ウイック14は、融着部から100mmの間にかけて装着した。ウイック14が装着された部分を加熱部2とした。次いで、一端部11aをホウケイ酸ガラスからなる封止部材11cによって封止した。次に、連結流路となるガラス管13の開放端11bをウオーターバス21浸漬させて、ガラス管12, 13の内部を作動流体20となる純水で満たした。このようにして、実施例1のヒートパイプ11を製造した。

[0030] 次に、ヒートパイプ11の加熱部2に50mmの長さLに渡ってヒータ22を装着し、ヒートパイプ11をほぼ水平に設置した。また、ウオーターバス21内に浸漬された部分をヒートパイプ11の冷却部3とした。そして、ウオーターバス21内の冷却水21aの温度を0°Cに維持した。一方、ヒータ22の発熱量を加熱部の温度が純水の沸点100°Cに保たれる程度に設定して、ヒートパイプ11を作動させた。

ヒートパイプ11が定常状態(最大熱輸送量50W)になった後に、ヒートパイプ11の各部の表面温度と、ウオーターバス21の冷却水21aの温度とを熱電対でそれぞれ測定した。結果を図3及び図4に示す。

[0031] 図2～図4において、測定箇所TC1の温度は、加熱部2の温度であってヒータ22の装着部分の一端部11a側の表面温度である。測定箇所TC2の温度は、加熱部2の温度であってヒータ22の装着部分の他端部11b側の表面温度である。測定箇所TC3の温度は冷却水22aの水温である。測定箇所TC4の温度は開放端11bの出口直後の水温である。

[0032] 図3～図4に示すように、TC1及びTC2は100℃程度を維持しており、TC3は0℃程度を維持していることがわかる。一方、TC4は、周期的にピークを持っていることがわかる。ピークの最大温度は約10℃であり、ピークの周波数は5Hzとなっている。また、作動流体20の振幅は最大で100mm(±50mm)となっている。このように、実施例1のヒートパイプ11は、定常状態において作動流体20の自励振動が観察された。

[0033] 「熱輸送速度 $Q$ 及び有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ の測定」

次に、実施例1のヒートパイプの熱輸送速度 $Q$ (熱輸送量)と、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を調べた。この実験では、冷却水の水温とヒータの加熱温度を適宜変更して測定した。また、熱輸送速度 $Q$ 及び有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ は、下記式(1)及び(2)により求めた。結果を図5に示す。

[0034] なお、式(1)において、 $\rho$ は作動流体20(純水)の密度であり、 $c_p$ は作動流体20(純水)の定圧比熱であり、 $V$ は作動流体20の封入量であり、 $\Delta T$ は冷却部の水温の時間 $\Delta t$ の間における上昇分である。

また、式(2)において、 $L_{\phi 2}$ は連結流路の全長と加熱部の全長の二分の一との合計の長さであり、 $T_H$ は加熱部の温度であり、 $T_L$ はウオーターバス内の冷却水の水温であり、 $d_{\phi 2}$ は連結流路の内径である。

[0035] [数1]

$$Q = (\rho \cdot c_p \cdot V)_{\text{water}} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

[数2]

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{Q \cdot L_{\phi 2}}{(T_H - T_L) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{\phi 2}^2} \quad (2)$$

## [0036] (実施例2)

次に、加熱側パイプ及び冷却側パイプの材質を石英ガラスとしたこと以外は実施例1と同様にして実施例2のヒートパイプを製造した。そして、実施例1と同様にして、実施例2のヒートパイプの熱輸送速度 $Q$ と、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を調べた。結果を図5に示す。

## [0037] (比較例1)

次に、加熱側パイプ及び冷却側パイプの材質を石英ガラスとし、ウイックを設置しなかったこと以外は実施例1と同様にして比較例1のヒートパイプを製造した。そして、実施例1と同様にして、比較例1のヒートパイプの熱輸送速度 $Q$ と、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を調べた。結果を図5に示す。

## [0038] (比較例2)

次に、内径5mm、長さ400mmの石英ガラスからなるガラス管を用意し、このガラス管の中空部の内壁面に銅網からなるウイックを装着した。次いで、パイプの一端部を封止部材によって封止した。そして、中空部を作動流体20(純水)で満たした。このようにして、比較例2のヒートパイプ11を製造した。

そして、実施例1と同様にして、比較例2のヒートパイプの熱輸送速度 $Q$ と、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を調べた。結果を図5に示す。

## [0039] (比較例3)

次に、ウイックを設置しなかったこと以外は比較例2と同様にして比較例3のヒートパイプを製造した。そして、実施例1と同様にして、比較例3のヒートパイプの熱輸送速度 $Q$ と、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を調べた。結果を図5に示す。

## [0040] (評価)

図5に示すように、実施例1のヒートパイプは、熱輸送速度が最大で33Wを示すとともに、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ が最大で36000W/(m・K)を示していることがわかる。

また、実施例2のヒートパイプは、実施例1と同じ熱輸送速度において同程度の有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ となっている。

一方、比較例1～3のヒートパイプは、熱輸送速度が最大で10W以下となり、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ は最大でも100W/(m・K)程度となり、実施例1～2に比べて熱輸送

速度 $Q$ 及び有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ が大幅に低下していることが判る。

[0041] 実施例1～2の結果から、内径の異なる2本のパイプを接合し、パイプの中空部に作動流体を封入することで、自励振動型のヒートパイプを構成でき、このヒートパイプは水平に設置しても自励振動を発現できることがわかる。

内径の異なる2本のパイプを接合してヒートパイプを構成した場合(実施例1～2)には、熱輸送速度と有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との相関が高くなり、直線的に増加することが判る。また、実施例1では、有効熱伝導率が最大で約40000W/(m・K)程度まで増加したが、この値を、熱伝導率が比較的高い銅(熱伝導率400W/(m・K))と比べると、有効熱伝導率が100倍まで高まっていることがわかる。

また、図3～図4に示すように、加熱部の温度(TC1、TC2)が作動流体(純水)の沸点付近を維持していることが判る。今回は純水を用いたので、加熱部の温度が100°C近傍になったが、冷却対象物の許容温度に応じて適切な作動流体を選定すれば、効率的な熱伝導を実現できる。

なお、上記の実施例1では、有効熱伝導率の最大値が約40000W/(m・K)程度、熱輸送速度の最大値は約50Wであったが、これらの値は限界値ではなく、実験条件の変更によって、更に優れた結果が得られる可能性がある。

[0042] 図6は、実施例1のヒートパイプの熱輸送特性の実験値と、従来技術のヒートパイプ(ドリームパイプ)の熱輸送特性の理論値との比較図であり、各ヒートパイプについて、熱輸送速度 $Q$ と、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ との関係を示す。

この従来技術のヒートパイプは、パイプ内の液体を強制的に振動させることにより、軸方向に熱を輸送するタイプのヒートパイプ(ドリームパイプ)である。ドリームパイプの有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}$ は、下記の式(3)及び(4)から算出した。

[数3]

$$\lambda_{\text{eff}} = \lambda \left\{ 1 + \frac{2.12 + \alpha}{1.14(1 + \text{Pr}^{-1})(1 + \text{Pr}^{-1/2})} \left( \frac{S}{r} \right)^2 \right\} \quad \dots(3)$$

[数4]

$$\alpha = r \sqrt{\frac{2\pi f}{\nu}} \quad \dots(4)$$

ここで、 $\lambda$  : 流体の熱伝導率, Pr: プラントル数, r: 管内径,  $\nu$  : 水の動粘度, f : 振動数, S: 振幅である。この従来技術のドリームパイプは、加熱部2より小径の連結管路5を持たない単一径管式である。

図6に示されるように、実施例1のヒートパイプの有効熱伝導率は、従来技術のドリームパイプの約10倍と非常に大きい。この効果の原因の一つは、実施例1のヒートパイプでは、ガラス管13の開放端11bが水槽中に開放されているため、作動流体Mが振動する度にガラス管13内の作動流体Mがウオーターバス21中の低温の液と入れ替わることでありと考えられる。

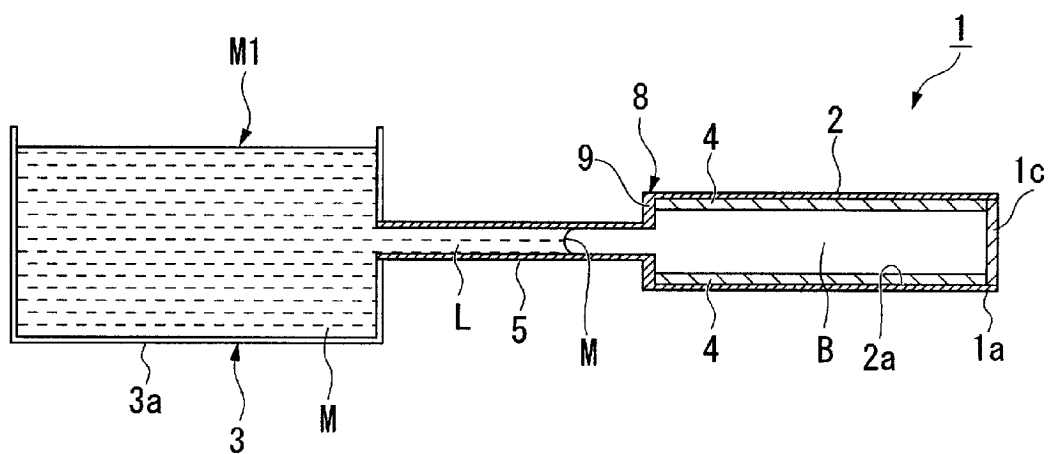
#### 産業上の利用可能性

[0043] 本発明の自励振動型ヒートパイプによれば、管を蛇行させることなく、水平設置しても高い熱輸送能力を発揮することが可能な自励振動型ヒートパイプを提供できる。

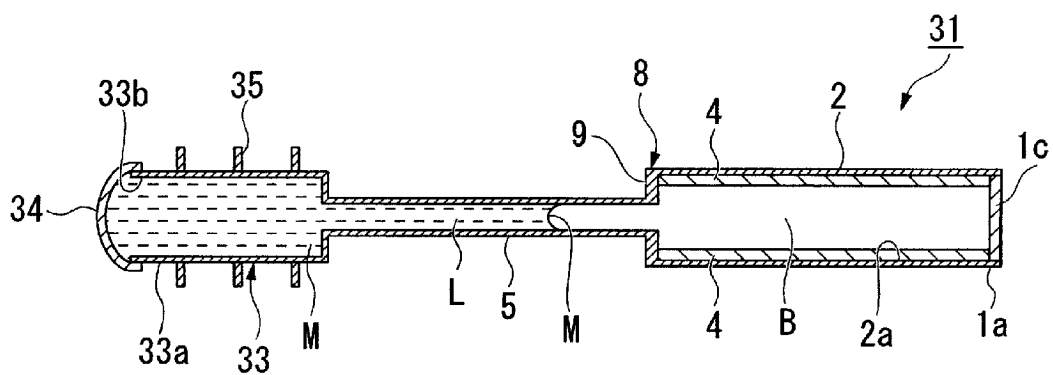
## 請求の範囲

- [1] 内部にウイックを持つ加熱部と;  
作動流体が満たされた冷却部と;  
前記加熱部及び前記冷却部を直線状に連結し、前記加熱部の流路断面積よりも小さな流路断面積を有する連結流路と;  
前記冷却部から前記連結流路内に突出し、前記作動流体を含む液プラグと;  
気化した前記作動流体を含む前記加熱部内の蒸気プラグと;を備え、  
前記液プラグが前記連結流路内で自励振動することを特徴とする自励振動型ヒートパイプ。
- [2] 前記冷却部に満たされた前記作動流体が、内圧に束縛されない自由液面を持つことを特徴とする請求項1に記載の自励振動型ヒートパイプ。
- [3] 前記冷却部が開口部を持ち、前記開口部には前記冷却部の内容積を調整する調整部が設けられていることを特徴とする請求項1に記載の自励振動型ヒートパイプ。
- [4] 前記加熱部の断面積と、前記連結流路の断面積との比が、10:1~2:1であることを特徴とする請求項1に記載の自励振動型ヒートパイプ。

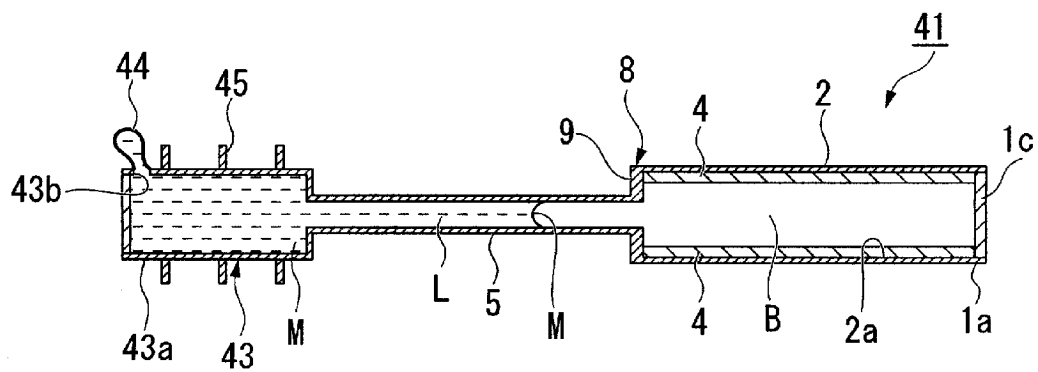
[図1A]



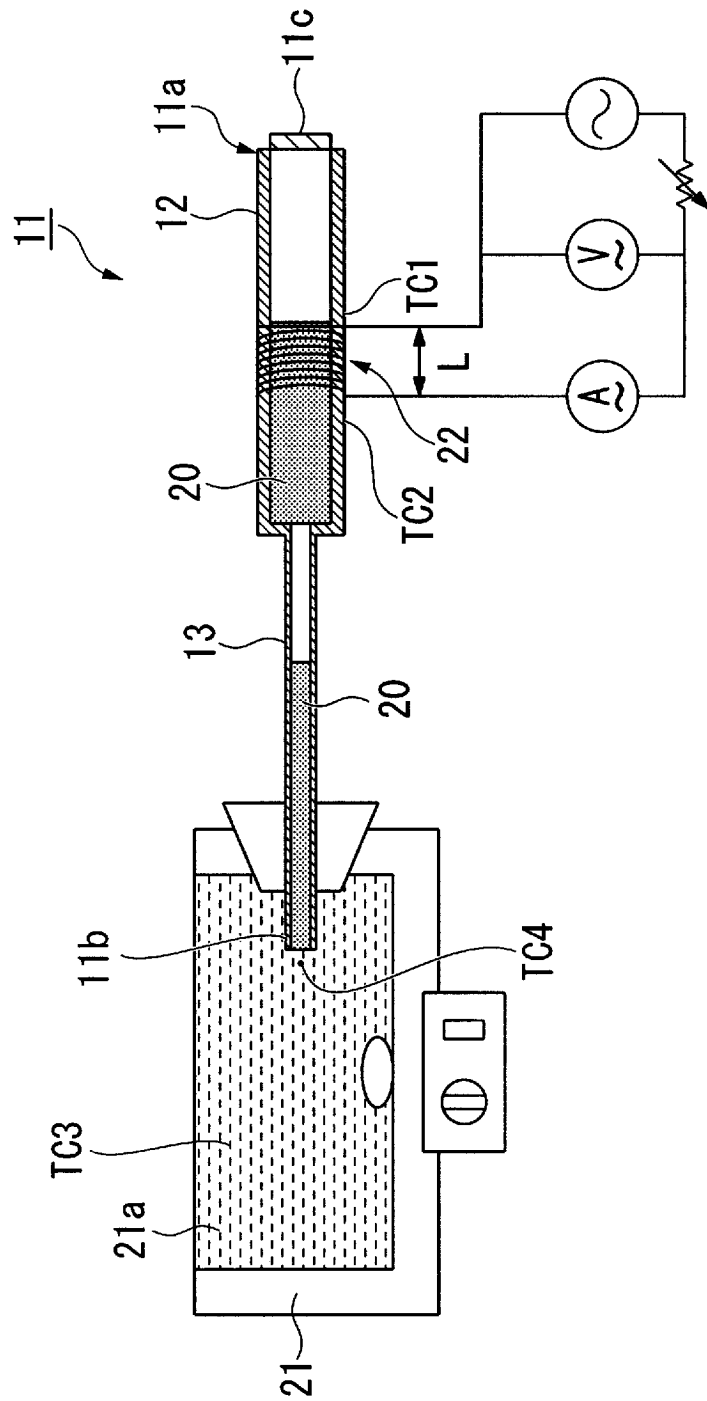
[図1B]



[図1C]

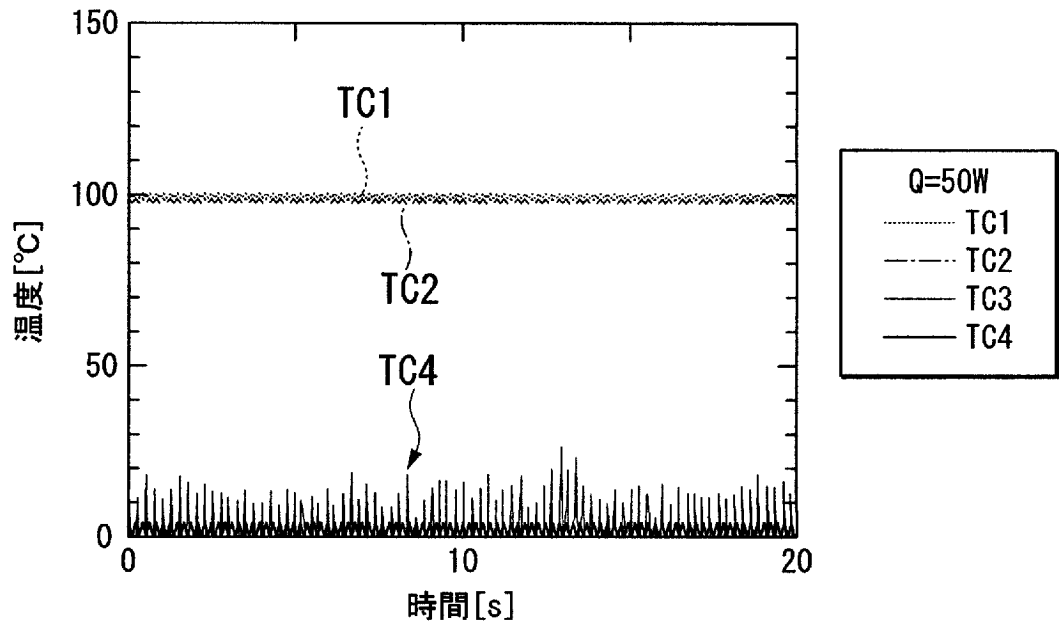


[図2]

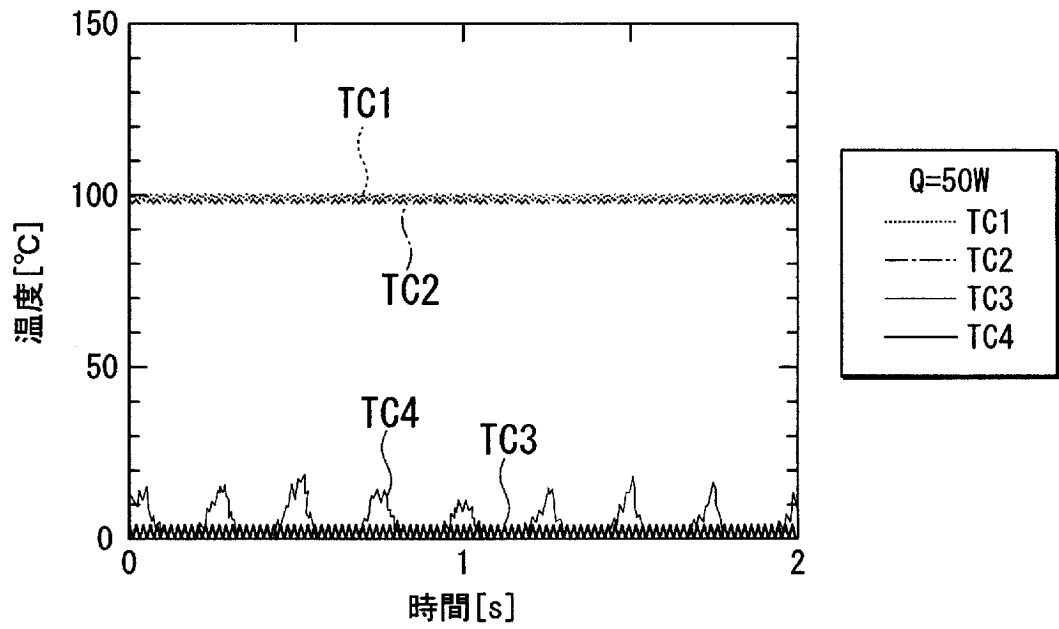




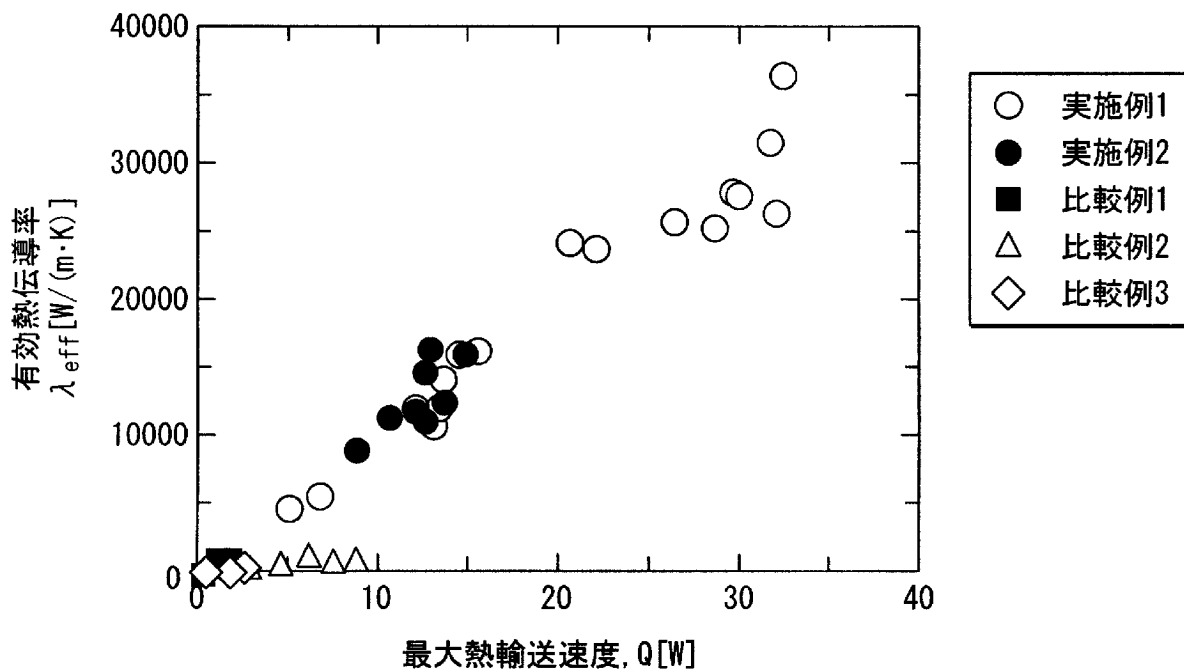
[図3]



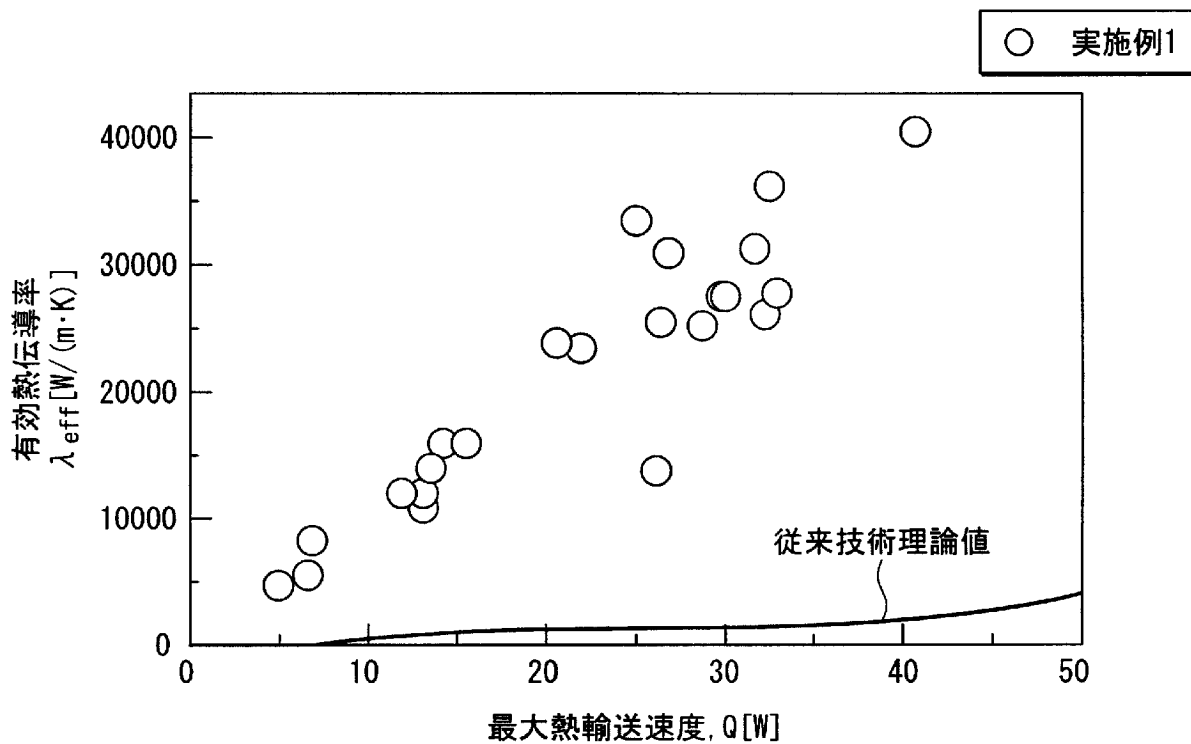
[図4]



[図5]



[図6]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2009/051773

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
F28D15/06(2006.01) i, F28D15/02(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
F28D15/06, F28D15/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2009  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 6-201281 A (Actronics Co., Ltd.), 19 July, 1994 (19.07.94), Par. Nos. [0002], [0007] to [0009], [0016] to [0018], [0021] to [0023], [0028] (Family: none)	1, 4 2, 3
Y A	JP 2003-302180 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 24 October, 2003 (24.10.03), Par. Nos. [0003], [0004]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1, 4 2, 3
A	JP 2003-287378 A (Mitsubishi Electric Corp.), 10 October, 2003 (10.10.03), Full text; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1-4

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
21 April, 2009 (21.04.09)

Date of mailing of the international search report  
12 May, 2009 (12.05.09)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. F28D15/06(2006.01)i, F28D15/02(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. F28D15/06, F28D15/02		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2009年 日本国実用新案登録公報 1996-2009年 日本国登録実用新案公報 1994-2009年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 6-201281 A (アクトロニクス株式会社) 1994.07.19, 段落【0002】、【0007】-【0009】、【0016】-【0018】、【0021】-【0023】、【0028】 (ファミリーなし)	1,4 2,3
Y A	JP 2003-302180 A (古河電気工業株式会社) 2003.10.24, 段落【0003】、【0004】、図1-4 (ファミリーなし)	1,4 2,3
A	JP 2003-287378 A (三菱電機株式会社) 2003.10.10, 全文、図1-7 (ファミリーなし)	1-4
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列举されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 21.04.2009	国際調査報告の発送日 12.05.2009	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 河野 俊二 電話番号 03-3581-1101 内線 3377	3M 3941