

(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
2020年5月22日(22.05.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/100816 A1

(51) 国際特許分類:

F25D 9/00 (2006.01) *G06F 1/20* (2006.01)
H01L 23/44 (2006.01) *H05K 7/20* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/044149

(22) 国際出願日: 2019年11月11日(11.11.2019)

(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 2018-213141 2018年11月13日(13.11.2018) JP

(71) 出願人: 国立大学法人大阪大学 (OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 松岡 茂登 (MATSUOKA, Morito); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人アスフィ国際特許事務所 (USFI PATENT ATTORNEYS INTERNATIONAL OFFICE); 〒5300003 大阪府大阪市北区堂島2丁目1番16号 フジタ東洋紡ビル9階 Osaka (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

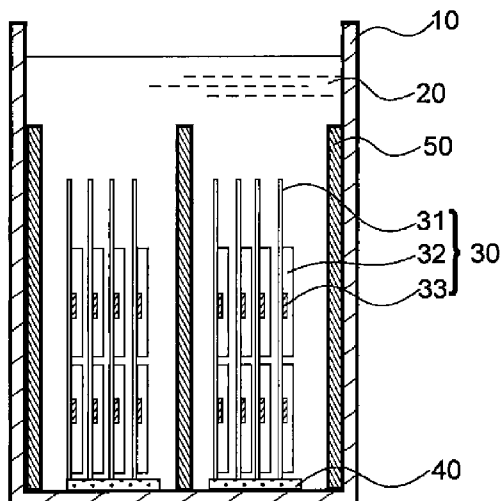
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: ELECTRONIC APPARATUS INCLUDING BUBBLE DISCHARGE DEVICE

(54) 発明の名称: 気泡放出装置を備えた電子機器



(57) Abstract: Provided is an electronic apparatus which is capable of efficiently cooling an electronic component including a heating element such as a CPU. In the electronic apparatus (1) in which a refrigerant (20), an electronic component (30) immersed in the refrigerant (20), and a bubble discharge device (40) disposed below the electronic component (30) are accommodated in a housing (10), the average long diameter of bubbles discharged from the bubble discharge device (40) is equal to or greater than 0.1 mm.

(57) 要約: CPUなどの発熱体を含む電子部品を効率的に冷却することが可能な電子機器を提供する。冷媒(20)と、冷媒(20)に浸漬している電子部品(30)と、電子部品(30)の下方に配置されている気泡放出装置(40)とが筐体(10)に収められた電子機器(1)であって、気泡放出装置(40)から放出された気泡の平均長径が0.1mm以上である。

WO 2020/100816 A1

明 細 書

発明の名称： 気泡放出装置を備えた電子機器

技術分野

[0001] 本発明は、ＣＰＵなどの発熱体を含む電子部品を効率的に冷却することが可能な電子機器に関するものである。

背景技術

[0002] スパコンを含むデータセンターでは、近年急速に高密度化が進んでいる。従来、データセンターのサーバー機器の冷却には空調技術が主に用いられてきたが、空調だけではそのような発熱量の大きな高密度サーバーの熱を効率的に取り去ることは困難である。そのため、高密度サーバーの適用に起因する高発熱の問題を解決できる冷却技術が提案されている。

[0003] その代表例が液体湿潤方式である。冷媒に高発熱ボードを直接湿潤させ、冷媒をポンプやファンで強制的に対流させ、ＣＰＵをはじめとする高い発熱を冷却する方式（強制対流方式）が知られている（非特許文献１）。しかし、冷媒を強制対流させるためにはポンプやファンなどが必要となり、そのための電力がシステム全体の使用電力を上昇させてしまうという欠点があった。

[0004] その点を解決する方法として、ファンやポンプを使わない自然対流方式が提案されている。この方式では、ＣＰＵなどの発熱だけを起源とする自然対流によって冷媒を循環させるため、システム全体の使用電力が小さいという利点があるものの、冷却できる熱の上限が制限されるという欠点があった。

[0005] これに対して、冷媒をＣＰＵなどの発熱部分にのみ滴下して冷却する方法も提案されている。しかし、この方式では、冷媒を落下地点から上に持ち上げるためのポンプが必要となり、システム全体の電力効率に限界がある。

[0006] 一方で、冷媒の気化を利用した沸騰式冷却方式も提案されている（特許文献１）。これは、沸点がＣＰＵなどの発熱温度以下である冷媒を選択することにより、その気化熱でＣＰＵなどの表面を冷却する方式である。しかし、

この方式では、冷媒の沸騰現象を利用しているため、沸騰気化した冷媒を冷却して液相に戻す必要があり、冷却装置のみならず容器の厳密な密閉が必要であるなど大掛かりな構成が必要となる。さらには、沸騰現象に伴い超音波が発生し電子機器に悪影響を及ぼすこと、複数のCPUが配置された場合の冷却性能にばらつきがあることなど、実用的な観点で解決すべき課題が多い。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2017-150715号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：富士通株式会社発行 Webマガジン「FUJITSU JOURNAL」2016年8月15日

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、CPUなどの発熱体を含む電子部品を効率的に冷却することが可能な電子機器を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明者は、上記課題を解決するために鋭意研究を重ねた結果、冷媒と、冷媒に浸漬している電子部品と、冷媒に浸漬している気泡放出装置とを有し、該気泡放出装置から放出される気泡が平均長径0.1mm以上である電子機器によれば効率的な冷却が可能であることを見出して、本発明を完成した。

[0011] 上記課題を達成し得た本発明の気泡放出装置を備えた電子機器は、以下の点に要旨を有する。

[1] 冷媒と、該冷媒に浸漬している電子部品と、該冷媒に浸漬している気泡放出装置とが筐体に収められた電子機器であって、

前記気泡放出装置から放出された気泡の以下の測定方法で測定した平均長径が 0.1 mm 以上であることを特徴とする電子機器。

＜測定方法＞

前記気泡放出装置の気泡放出口から上方 30 mm の地点を中心として $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ の領域をカメラで撮影して得られた画像において、合焦の範囲内にある 10 個の気泡（長径が 0.05 mm 未満のものを除く）の長径を測定し、その平均値を平均長径とする。

〔２〕前記冷媒の沸点が 70°C 以上である〔１〕に記載の電子機器。

〔３〕前記冷媒の 25°C における粘度が $0.0008\text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 以上 $0.05\text{ kg/m}\cdot\text{s}$ 以下である〔１〕又は〔２〕に記載の電子機器。

〔４〕前記気泡放出装置から放出された気泡は前記冷媒の液面まで到達し、前記気泡放出装置から前記冷媒の液面までの距離が 200 mm 以上である〔１〕～〔３〕のいずれかに記載の電子機器。

〔５〕前記筐体の上部に配置された気体回収口と、前記気体回収口より回収された気体を前記気泡放出装置まで循環させる経路と前記気体を循環させるポンプとを有し、前記冷媒を循環させるポンプは有さない〔１〕～〔４〕のいずれかに記載の電子機器。

〔６〕前記筐体の底部には前記気泡放出装置の設置領域と非設置領域とがある〔１〕～〔５〕のいずれかに記載の電子機器。

〔７〕前記気泡放出装置が、孔を有する管状体又は多孔質体を含む〔１〕～〔６〕のいずれかに記載の電子機器。

〔８〕内部に水が循環している冷却盤が前記筐体に収められている〔１〕～〔７〕のいずれかに記載の電子機器。

〔９〕前記電子機器がCPUパッケージを有するボードを含む〔１〕～〔８〕のいずれかに記載の電子機器。

発明の効果

[0012] 本発明は、従来技術の欠点を解消し、高い発熱に対して高効率な冷却能力を有した電子機器を提供するものであり、強制対流方式の高い発熱対応と、

自然対流方式の高い電力使用効率とを実現できる。

[0013] 本発明の電子機器は、気泡発生装置から発生した所定の大きさの気泡の上昇を利用して冷媒の対流を促進させること（泡流支援）によって、発熱したCPUなどを効率的に冷却する。この泡流支援方式によれば、自然対流に加えて、気泡発生装置に空気を送る簡便な機構を追加するだけで、強制対流方式と同等レベルの冷却性能を実現できる上に、空気を送るための機構に必要な電力は冷媒を循環させるためのポンプやファンに比べて極めて小さいことから、冷却効率及び電力効率ともに優れた電子機器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]気泡の平均長径とCPUパッケージの表面温度との関係を示すグラフである。

[図2]本発明の一実施形態に係る電子機器の上面図である。

[図3]図2に示した電子機器のx-x断面図である。

[図4]図2に示した電子機器のy-y断面図である。

[図5]図2に示した電子機器のx-x断面図の他の一例を示す断面図である。

[図6]気泡流量とCPUパッケージの表面温度との関係を示すグラフである。

[図7]図7(a)～図7(d)はそれぞれ別の実施形態に係る電子機器の模式図である。

[図8]CPUパッケージ表面における冷媒流速とPUEとの関係を示すグラフである。

[図9]CPUパッケージの表面温度とPUEとの関係を示すグラフである。

[図10]冷却水温度とCPU接合温度との関係を示すグラフである。

[図11]冷却水温度とCPU接合温度との関係を示すグラフである。

[図12]CPU投入電力とCPU接合温度との関係を示すグラフである。

[図13]CPU投入電力とシステム総電力との関係を示すグラフである。

[図14]気泡流量とCPU接合温度との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、実施の形態に基づき本発明を説明するが、本発明はもとより下記実施の形態によって制限を受けるものではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適当に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。なお、各図面において、便宜上、ハッチングや部材符号等を省略する場合もあるが、かかる場合、明細書や他の図面を参照するものとする。また、図面における種々部材の寸法は、本発明の特徴の理解に資することを優先しているため、実際の寸法とは異なる場合がある。

[0016] 本発明の実施形態に係る電子機器は、稼働時に発熱する発熱体を含んだ電子部品と気泡放出装置とが冷媒に浸漬され筐体に収められている。該気泡放出装置から放出された気泡の平均長径は0.1 mm以上である。平均長径は以下に記載の方法で測定する。

[0017] <測定方法>

気泡放出装置の気泡放出口から上方30 mmの地点を中心として、50 mm×50 mmの領域を高速度カメラなどの撮像装置で撮影する。得られた画像において、合焦の範囲内にある気泡のうち、長径が0.05 mm未満のものを除いた10個の長径を測定し、その平均値を平均長径とする。

[0018] 気泡放出装置から気泡が放出されると、冷媒中に上昇方向の泡流が生じ、この泡流によって冷媒自体も上昇方向に流動する。電子部品に含まれる発熱体が発熱した際には、その熱による冷媒の自然対流に加えて泡流に支援された冷媒の上昇対流が生じる。この泡流支援の対流により、効率的に電子部品を冷却することができる。

[0019] 本発明者の試算による気泡の平均長径とCPUパッケージの表面温度との関係を図1に示す。

[0020] 図1より、気泡放出装置から放出される気泡の平均長径が0.1 mm以上であれば、冷媒中に発生する泡流により冷媒が対流し、CPUパッケージを冷却することができる。気泡の平均長径は、0.3 mm以上が好ましく、0.6 mm以上がより好ましい。さらに気泡の平均長径は、0.8 mm以上で

あってもよく、1.0 mm以上であってもよい。気泡が小さすぎると上昇流を生じないため、泡流によって冷媒を対流させることができない。また、気泡の平均長径は、2.0 mm以下が好ましく、1.5 mm以下がより好ましく、1.0 mm以下が特に好ましい。気泡が大きすぎると、冷媒の対流支援効果が低下するだけでなく、熱伝導率の低い空気の体積が増えるために好ましくない。上記範囲の平均長径を有する気泡であれば、冷媒中に発生する泡流が冷媒を対流させることができ、CPUパッケージ表面を冷却するために有効である。

[0021] 本発明の実施形態に係る電子機器に含まれる気泡放出装置は、気体を液体中に放出する機構を有する。気泡放出が可能なものであれば構成は特に制限されないが、例えば小さな孔を設けた管状体又は多孔質体に空気などの気体を送るポンプを接続した構成を用いることができる。

[0022] 本発明の実施形態に係る電子機器に含まれる冷媒は液体であり、気泡を含む構成を有する。冷媒の種類は電気絶縁性及び熱的・化学的安定性に優れた不活性液体であれば特に制限されないが、シリコンオイル、フッ素系不活性液体、エチレングリコール水溶液などが好適に用いられる。一般に、フッ素系不活性液体であるフロリナートFC3283等は高い冷却効果を有し、KF-96A-6cs等のシリコンオイルは比較的低い冷却効果を有しているが、本発明の泡流支援方式によれば、気泡長径や気泡流量等を調節することにより、冷却効果の低い冷媒であっても冷却効果の高い冷媒と同等の冷却を行うことが可能となる。

[0023] 本発明の実施形態に係る電子機器に含まれる冷媒に浸漬している電子部品は、通電による所定の動作をする部品を総称するものであり、筐体内において冷媒に浸漬し得る大きさのものであればどのような部品でも該当する。例えば、電子部品の例としてCPUチップが挙げられるが、CPUチップ自体、樹脂等でモールドしたCPUチップ、CPUチップがパッケージ内に納められたCPUパッケージ、CPUパッケージを搭載したマザーボード、またCPUのほか、メモリーチップ、ハードディスクなど、筐体内において冷媒に

浸漬し得る限りあらゆる部品が該当し得る。

[0024] このような本発明の実施形態に係る電子機器であれば、近年電力密度が上昇している高発熱の高密度サーバーやスーパーコンピュータにおいても、冷却効率及びエネルギー効率ともに効率的に動作させることができる。また、本発明の実施形態に係る電子機器は、気泡放出装置を加える簡便な構成であることから、その設置に必要とされるスペースは空調を基本としたシステムに比べて極めて小さくてすみ、電子機器を含むデータセンターの省スペース化が実現可能である。

[0025] 以下、本発明の一実施形態に係る電子機器を、図2～図5を参照しつつ詳細に説明する。

[0026] 本発明の一実施形態に係る電子機器1は、図2～図5に示すように、冷媒20と、冷媒20に浸漬している電子部品30と、冷媒20に浸漬している気泡放出装置40とが筐体10に収められている。気泡放出装置40は電子部品30の下方に配置されていてもよく、電子部品30は、CPUパッケージ33とメモリー32とを有するボード31であってもよい。電子機器1は複数のボード31を有することができ、複数のボード31はそれぞれ平行に直立させて筐体10に収めることができる。また、電子機器1は、気泡放出装置40から発生した気泡が上昇して生じる泡流を妨げないように配置される冷却盤50を備えていてもよい。

[0027] 筐体10は、密閉できてもよいし、密閉できなくてもよい。冷媒20が気化によって消失するロスを防ぐという観点からは密閉してもかまわないが、従来の沸騰式冷却方式のように沸騰した冷媒が漏れ出さないようにするための厳密な密閉はする必要がない。したがって、電子部品30として例えばCPUパッケージ33を有するボード31を複数枚筐体10に収める場合、一枚のボード31に取り換えやケーブルの交換などのメンテナンスが必要になった際、槽全体を停止して厳密な密閉を解除する必要はなく、一枚ずつのボード31を容易に取り出してメンテナンスを施すことができる。

[0028] 電子機器1は、従来の沸騰式冷却方式でみられる沸騰現象に伴う超音波の

発生が抑えられるため、電子部品 30 に対する悪影響がない上に、例えば一枚のボード 31 上に二個の CPU パッケージ 33 が縦に配置された場合に、下の CPU の動作状態が上の CPU の冷却性能に影響を及ぼすこともない。そのため、図 3～図 5 に示したように、CPU パッケージ 33 を縦に並べて配置することもできるなど高い配置の自由度を有する。

[0029] 気泡放出装置 40 からは上記測定方法で測定した平均長径が 0.1 mm 以上の気泡が放出され、該気泡の泡流により冷媒 20 が上方に対流する。これにより冷媒 20 には、電子部品 30 が発熱した際に生じる自然対流に加えて、泡流に支援された上方への対流が生じ、電子部品 30 表面の熱が取り去られる。

[0030] 電子機器 1 は、気泡放出装置 40 から発生した気泡が上昇して生じる泡流を妨げないように配置される冷却盤 50 を備えていてもよく、例えば冷却盤 50 内に水が循環していてもよい。冷媒 20 と冷却盤 50 との間の熱交換で電子部品 30 を冷却することができる。冷却盤 50 は、図 2～図 5 に示すようにボード 31 と平行に配置されてもよい。或いは図示していないが、例えば筐体 10 が外側壁と内側壁を有しており該外側壁と該内側壁との間に形成される空間に水が循環している構成など、筐体 10 が冷却盤 50 を兼ねる形態であってもよい。冷却盤 50 内に循環する水の温度は低いほど冷却効果が高くなるが、本発明の泡流支援によれば、泡流支援がない場合に比べて、冷却盤 50 内に循環する水の温度が高くても同等の冷却効果を実現することが可能となる。

[0031] 本発明者の試算による各種冷媒を用いたときの CPU パッケージの表面温度を、各種冷媒の沸点や粘度などの物性と併せて表 1 に示す。CPU 1 個当たりの投入電力は 90 W（以降、CPU 投入電力と記載する場合の投入電力は、CPU 1 個当たりの投入電力を指す）、冷却盤に流す冷却水の温度は 20 °C として試算した。

[0032]

[表1]

冷媒の種類	冷媒の名称	CPUパッケージ 表面温度[°C]	沸点 [°C]	粘度 [kg/(m・s)]	密度 [kg/m³]	比熱 [J/(kg・K)]	熱伝導率 [W/(m・K)]	体膨張率 [1/K]
シリコンオイル	KF-96-35cs	54.9	>200	0.0335	955	1550	0.15	0.001
シリコンオイル	KF-96A-6cs	47.7	>200	0.00555	925	1800	0.12	0.00109
フッ素系不活性液体	フロンートFC-3283	45.0	128	0.00137	1830	1050	0.067	0.0014
フッ素系不活性液体	フロンートFC-43	46.0	174	0.00504	1880	1050	0.067	0.0012

[0033] 冷媒20は、電子部品30の表面で沸騰しないように、また、気化することによって消失するロスが抑えられるよう、電子部品30の表面温度よりも高い沸点を有していることが好ましく、具体的には沸点が70℃以上であることが好ましい。より好ましくは90℃以上、さらに好ましくは110℃以上である。

[0034] 冷媒20は、25℃における粘度が0.0008kg/m・s以上であることが好ましく、より好ましくは0.001kg/m・s以上、さらに好ましくは0.0012kg/m・s以上である。粘度が低すぎるとCPU表面から熱を取り去る効果が低下する。また、0.05kg/m・s以下であることが好ましく、より好ましくは0.045kg/m・s以下、さらに好ましくは0.04kg/m・s以下である。粘度が高すぎると、泡流が生じにくく、熱伝導が悪くなるため好ましくない。冷媒20の粘度の上限及び下限が上記の範囲であれば、気泡放出装置40から放出された気泡による泡流支援により冷媒20が対流し、効果的に電子部品30を冷却することができる。

[0035] 気泡放出装置40から放出された気泡は、泡流となって上昇し、冷媒20の液面まで到達する。気泡放出装置40から冷媒20の液面までの距離は200mm以上であることが好ましい。200mm以上であれば、上昇する気泡による泡流が冷媒を対流させることができる。

[0036] 冷媒20は、1種類のみを用いてもよいし、2種類以上を用いてもよい。例えば、図5に示すように、CPU等の高発熱部位が浸潤する部分までは、蒸気圧が高く、比重が高い、冷却効率の高い第1冷媒21を充填し、高発熱部位がない部分には、蒸気圧が低く、比重が低い第2冷媒22を重ねて充填することも可能である。その場合、第1冷媒21と第2冷媒22は、水と油のように相互に混ざらないことが好ましい。このように第1冷媒21と第2冷媒22とを使用すれば、第1冷媒21として使用される冷却効率の高い冷媒は一般に沸点が低く、蒸発損が高く、かつコストも高い場合が多いが、そのような第1冷媒21の上に蒸気圧の低い第2冷媒22が充填されるため、

冷媒の蒸発（損失）を防ぎつつより少ない泡流でより高い冷却能力を低コストで実現することが可能となる。上記の例としては、第1冷媒21としてFC-3283等のフロリナートを、第2冷媒22としてKF-96A-6cs等のシリコンオイルを選択することができ、冷媒20がFC-3283等のフロリナートだけの場合と比べて冷媒コストは1/2で、また冷媒20がKF-96A-6cs等のシリコンオイルだけの場合と比べて泡流は1/10で同等の冷却効果を達成することができる。また、第1冷媒21と第2冷媒22とを使用する態様では、第1冷媒21として地球温暖化係数の高い冷媒を用いた場合でも、蒸発の割合を劇的に抑制することができるため好ましい。

[0037] 図示していないが、冷媒20の液面まで到達した気泡は、閉じた筐体10の上部に配置された気体回収口から回収されてもよい。回収された気体は、ポンプによって気体回収口から気泡放出装置40までの経路を通して循環されてもよい。筐体10を閉じることで気化による冷媒20の消失を防ぐことができ、回収した気体を気体放出装置に供給できる。このように、本発明の実施形態に係る電子機器は、回収された気体を循環させるポンプを有していてもよいが、冷媒20を循環させるポンプは有さなくてもよい。冷媒を循環させるポンプに比べて、気体を循環させるポンプの消費電力は少ないため、気泡放出装置40に空気を送り込むためのポンプを考慮に入れても、従来の冷媒自体を循環させるポンプを有する強制対流方式に比べて高エネルギー効率を実現できる。気泡放出装置40に空気を送り込むためのポンプ及び気泡が冷媒20の液面まで到達して回収された気体を循環させるポンプには、例えばマイクロDCモーターのような小型モーターを用いることができる。

[0038] 気泡放出装置40は、一つ以上配置されていてもよく、図3～図5に示すように筐体10の底部に配置されていてもよい。この場合、図3及び図5に示すように、筐体10の底部には気泡放出装置40の設置領域と非設置領域とがあることが好ましい。設置領域の上方には泡流が生じて冷媒20が上方に対流し、非設置領域の上方では冷媒20が下方に対流することで冷媒が循

環し、効率的に電子部品30を冷却することができる。

[0039] 気泡放出装置40は孔を有する管状体又は多孔質体を含んでいてもよいが、気泡放出装置40が孔を有する管状体である場合、孔は単一であってもよく複数であってもよい。各孔の長径は、平均長径が0.1mm以上の気泡を放出できればよく、例えば0.05mm以上が好ましく、0.07mm以上がより好ましい。また、各孔の長径は、0.3mm以上であってもよく、0.5mm以上であってもよい。また、気泡の平均長径の上限を20mm以下、より好ましくは15mm以下、特に好ましくは10mm以下とするために、気泡放出装置の各孔の長径は15mm以下が好ましく、10mm以下がより好ましく、8mm以下が特に好ましい。気泡放出装置40から放出される気泡の長径は、気泡放出装置40に送り込まれる空気の流量にもよるが一般に気泡放出装置40が有する孔の長径よりも大きく、一旦放出された気泡は上昇するにしたがって合体して大きくなる傾向があるため、気泡放出装置40の有する孔の長径は、望ましい気泡の長径よりも小さいことが好ましい。

[0040] 気泡を構成する気体の種類は特に限定されず、空気以外の気体でもかまわないが、環境に通常存在する空気が好ましく、その流量の好ましい下限は、例えば0.05L/分以上、0.07L/分以上、0.09L/分以上、0.1L/分以上、0.5L/分以上、1L/分以上、及び1.2L/分以上である。気泡流量が少なすぎると十分な泡流を得ることができない。一方、気泡流量が多くなり過ぎると、冷媒中に熱伝導率の低い気泡が増え過ぎて冷却効率が落ちるため、流量の上限は12L/分が好ましく、10L/分がより好ましく、9L/分がさらに好ましく、8L/分が特に好ましい。また、冷媒自体が有する冷却効果によって、気泡流量を選択することができる。例えば、冷却効果の高いフッ化炭素FC3283のような冷媒を用いる場合は気泡流量を0.1L/分とし、冷却効果が比較的低いシリコンオイルKF-96A-6csのような冷媒を用いる場合は気泡流量を1L/分、2L/分、4L/分、又は7L/分とするなど、冷媒によって気泡流量を調節することが可能である。

[0041] 本発明の実施形態に係る電子機器を使用しているデータセンターにおいて、電子機器のうちＩＣＴ機器の使用電力（ＩＣＴ機器の電力）とデータセンターが全体で使用する電力（全体の電力）の比ＰＵＥ（Power Usage Effectiveness）が１．１未満である（全体の電力／ＩＣＴ機器の電力＜１．１）ことが好ましい。ＰＵＥは、データセンターにおけるＩＣＴ機器の稼働効率を表す指標である。冷却電力はＩＣＴ機器の電力ではなく全体の電力に含まれるので、ＰＵＥが１．０に近づくほど全体の電力に占める冷却電力の割合が低いことを意味している。本発明の実施形態に係る電子機器は、使用電力の少ない泡流支援によって冷媒が対流するため、高効率の指標とされてきた $PU E = 1.1$ 未満を達成できる。また、 1.05 以下、さらには 1.02 以下の低いＰＵＥも実現可能である。

[0042] 電子部品３０に例えばＣＰＵパッケージ３３が含まれている場合、ＣＰＵの可動制限温度以上になってしまうと素子として正常に動作しなくなるため、可動制限温度以下となるよう投入電力を抑える必要がある。例えばＣＰＵでは、ＣＰＵ接合温度 T_j が一定温度以下である必要がある。このように、電子部品３０に投入できる電力は可動制限温度によって制限されるが、本発明の実施形態に係る電子機器は、電子部品３０に含まれるＣＰＵパッケージ３３などの発熱体を効率的に冷却できるので、同じ投入電力であっても発熱体の温度を低く抑えることができる。したがって、自然対流方式に比べて本発明の実施形態に係る電子機器は投入電力の上限を引き上げることが可能となり、高電力密度の電子機器を実現できる。また、本発明の実施形態に係る電子機器と強制対流方式とを比べると、電子部品３０への最大投入電力は同等であるが、その際のＰＵＥ値が本発明の実施形態に係る電子機器では小さくなり、エネルギー効率の観点で優れている。本発明の実施形態に係る電子機器（泡流支援方式）と、強制対流方式及び自然対流方式の電子機器において、ＣＰＵに最大投入できる電力とその投入電力における最良ＰＵＥの値を表２に示す。強制対流方式は本発明と同等のＣＰＵ最大投入電力を投入できるがＰＵＥは高くなる。一方で、自然対流方式は本発明と同等のＰＵＥを実現

できるが、CPUに投入できる最大投入電力は小さくなる。

[0043] さらに、本発明の泡流支援方式によれば、冷媒20の冷却効果が異なっても気泡長径や気泡流量等を調節することにより同等の冷却効果が期待できるため、例えば冷却効果の比較的低いKF-96A-6cs等のシリコンオイルを冷媒20として使用した場合であっても、冷却効果の高いフロリナートFC3283等を冷媒20として使用した場合とほぼ同様にCPU接合温度 T_j を一定以下の温度とすることができる。その結果、冷媒20の種類にかかわらずCPU投入電力を高くすることができ、低いPUE値を保ちつつシステム総電力も高くすることが可能となる。

[0044] [表2]

方式	CPU 最大投入電力	最良 PUE
泡流支援方式（本発明）	285W	1.03
強制対流方式	285W	1.13
自然対流方式	235W	1.02

[0045] 本願は、2018年11月13日に出願された日本国特許出願第2018-213141号に基づく優先権の利益を主張するものである。2018年11月13日に出願された日本国特許出願第2018-213141号の明細書の全内容が、本願に参考のため援用される。

実施例

[0046] 以下に実施例を示し、本発明を具体的に説明する。

[0047] <実施例1：気泡流量とCPUパッケージ表面温度>

本発明の実施例に係る電子機器において、冷媒としてフッ素系不活性液体フロリナートFC-3283、CPUパッケージを含む電子機器を用い、CPU投入電力が145Wの時の気泡流量とCPUパッケージ表面温度との関係を調べた。冷却盤に流す水の温度を10℃及び25℃として測定した結果を図6に示す。図6において、気泡流量が0L/分とは、泡流支援なし、すなわち自然対流方式であることを意味する。泡流支援ありの場合は泡流支援なしの場合に比べてCPUパッケージの表面温度が低くなり、気泡流量が0

、1 L / 分～7 L / 分の範囲で増加すると、CPUパッケージの表面温度は単調減少することがわかった。

[0048] ＜実施例2：気泡放出装置の形状とCPUパッケージ表面温度＞

本発明の実施例に係る電子機器において、下記の条件で気泡放出装置が有する孔の直径と孔の個数を変えたときのCPUパッケージ表面温度を調べた。

CPU投入電力：90W

冷媒：フロリナートFC-3283

気泡流量：0.1 L / 分

冷却盤に流す冷却水の温度：25℃

電子機器の模式図を図7(a)～図7(d)に、結果を表3に示す。孔径が1 mmの場合、孔が1個（気泡放出装置a）、4個（気泡放出装置c）、及び多孔形状（気泡放出装置d）の場合それぞれ同様にCPUパッケージが冷却されていることがわかった。また、孔径が7 mmの場合（気泡放出装置b）も孔径が1 mmの場合と同様にCPUパッケージが冷却されていることがわかった。

[0049] [表3]

気泡放出装置	a	b	c	d
孔径 (mm)	1	7	1	1
孔の個数	1	1	4	多孔形状
CPUパッケージ表面温度(℃)	49.5	50.5	48.5	47.5

[0050] ＜実施例3：CPUパッケージ表面の冷媒流速とPUE＞

自然対流に加えて、本発明の実施例に係る電子機器を用いた泡流支援方式の場合と強制対流方式を用いた場合の対流において、CPUパッケージ表面の冷媒流速とPUEとの関係を調べた。CPU投入電力は90Wとし、冷媒はフッ素系不活性液体フロリナートFC-3283を用いた。結果を図8に示す。本発明の泡流支援方式では、強制対流方式と同等のCPUパッケージ表面の冷媒流速であっても自然対流方式と同等の低いPUEを実現している

ことがわかった。

[0051] <実施例4：CPUパッケージの表面温度とPUE>

本発明の実施例に係る電子機器を用いた泡流支援方式と、強制対流方式及び自然対流方式におけるCPUパッケージの表面温度とPUEとの関係を調べた。CPU投入電力は90Wとし、冷媒はフッ素系不活性液体フロリナートFC-3283を用いた。結果を図9に示す。本発明の泡流支援方式は、強制対流方式と同レベルまでCPUパッケージの表面温度を下げられる上に、自然対流方式と同等の低いPUEを実現していることがわかった。

[0052] <実施例5：冷媒の種類による冷却水温度とCPU接合温度>

冷却効果の高い冷媒としてフロリナートFC3283を、冷却効果の低い冷媒としてシリコンオイルKF-96A-6csを用いて、本発明の実施例に係る電子機器を用いた泡流支援方式（泡流支援あり）及び自然対流方式（泡流支援なし）における冷却水温度とCPU接合温度 T_j との関係を調べた。CPU投入電力は125Wとし、冷却水流量は39L／分とした。結果を図10及び図11に示す。図10より、冷却効果が高いフロリナートFC3283の場合は、泡流支援なしでは冷却水温度が46℃で、また泡流支援ありでは51℃で、CPU接合温度 T_j を93℃未満とできることがわかった。すなわち、泡流支援により、CPU接合温度 T_j を93℃未満とするための冷却水の温度を46℃から51℃にすることができた。一方で、図11より、冷却効果の低いシリコンオイルKF-96A-6csの場合は、泡流支援なしでは冷却水温度が34℃と低くなければCPU接合温度 T_j を93℃未満とすることはできなかったのに対し、泡流支援ありでは冷却水温度が49℃でもCPU接合温度 T_j を93℃未満とすることができることがわかった。すなわち、泡流支援により、CPU接合温度 T_j を93℃未満とするための冷却水の温度を34℃から49℃にすることができた。これは、泡流支援を行うことで、冷却水温度が高くてもCPU接合温度を一定以下にできることを示しているが、特に、冷却効果が低いシリコンオイルKF-96A-6csのような冷媒であっても、泡流支援を行えば、冷却効果が高いフロリナート

FC3283と同等まで冷却水温度の許容範囲を高くできることを意味している。

[0053] <実施例6：冷媒の種類によるCPU投入電力とCPU接合温度>

冷却効果の高い冷媒としてフッ化炭素FC3283を、冷却効果の低い冷媒としてシリコンオイルKF-96A-6csを用いて、本発明の実施例に係る電子機器を用いた泡流支援方式を用いた場合のCPU投入電力とCPU接合温度との関係を調べた。冷却水温度は20℃とし、冷却水流量は39L／分とした。結果を図12に示す。図12より、冷却効果の高いフッ化炭素FC3283では、泡流支援方式を用いればCPU投入電力を257Wまで上げてもCPU接合温度 T_j を93℃未満とできることがわかった。さらに、冷却効果の低いシリコンオイルKF-96A-6csであっても、泡流支援方式を用いればCPU投入電力を238Wまで上げられることがわかった。

[0054] <冷媒の種類によるCPU投入電力とシステム総電力>

実施例6におけるCPU投入電力とシステム総電力との関係を図13に示す。冷却効果の高いフッ化炭素FC3283では、泡流支援方式を用いればCPU投入電力を257Wまで上げられるため、システム総電力を16.6kWとすることができた。また、冷却効果の低いシリコンオイルKF-96A-6csであっても、泡流支援方式を用いればCPU投入電力を238Wまで上げられるため、システム総電力を16kWとすることができ、冷媒の冷却効果による違いを殆ど相殺することができた。これより、泡流支援方式を用いることにより、冷媒の選択肢を広げられることがわかった。

[0055] <実施例7：冷媒の種類による気泡流量とCPU接合温度>

冷却効果の高い冷媒としてフッ化炭素FC3283を、冷却効果の低い冷媒としてシリコンオイルKF-96A-6csを用いて、気泡流量とCPU接合温度 T_j との関係を調べた。CPU投入電力は125W、冷却水温度は20℃、冷却水流量は39L／分とした。結果を図14に示す。ここで気泡流量が0／分とは、泡流支援なし、すなわち自然対流方式であることを意

味し、それ以外は本発明の実施例に係る電子機器を用いて泡流支援を行ったことを意味する。図14より、冷却効果の高いフロリナートFC3283では、気泡流量が0.1 L／分から8 L／分の範囲でCPU接合温度が単調減少した。一方で、冷却効果の低いシリコンオイルKF-96A-6csでは、気泡流量が1 L／分以上になると、泡流支援なし及び気泡流量が1 L／分未満に比べてCPU接合温度が低く抑えられた。これより、泡流支援方式を用いて気泡流量を1 L／分以上とすることで、冷却効果の低いシリコンオイルKF-96A-6csを冷媒として用いてもCPU接合温度を低くできることがわかった。

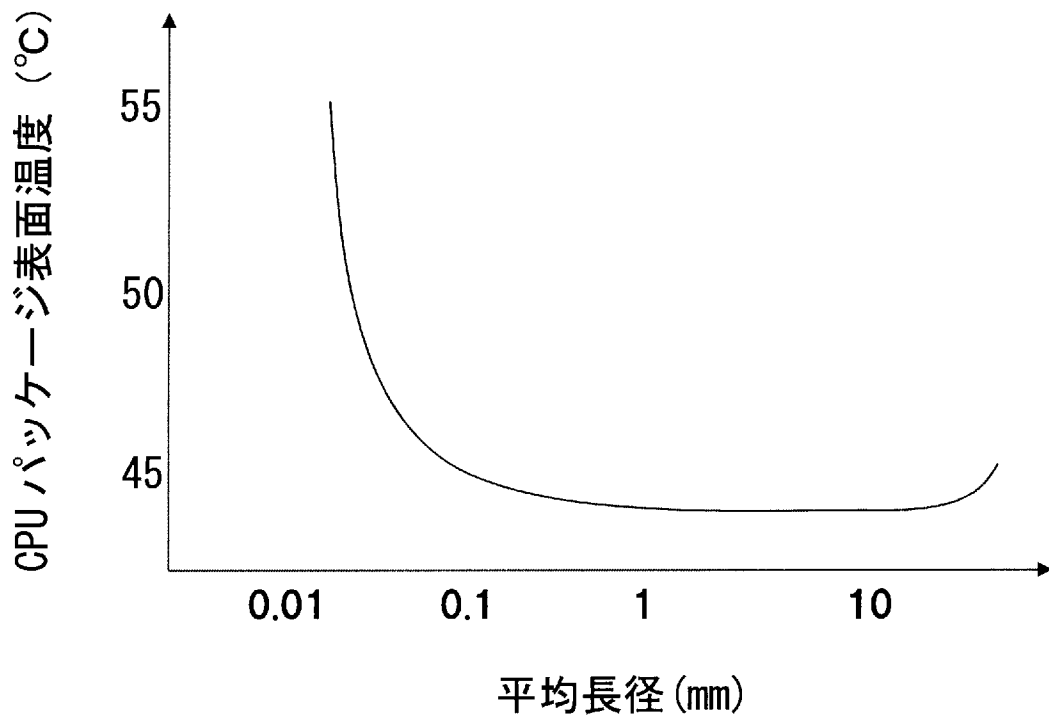
符号の説明

- [0056] 1 : 電子機器
- 10 : 筐体
 - 20 : 冷媒
 - 21 : 第1冷媒
 - 22 : 第2冷媒
 - 30 : 電子部品
 - 31 : ボード
 - 32 : メモリー
 - 33 : CPUパッケージ
 - 40 : 気泡放出装置
 - 50 : 冷却盤

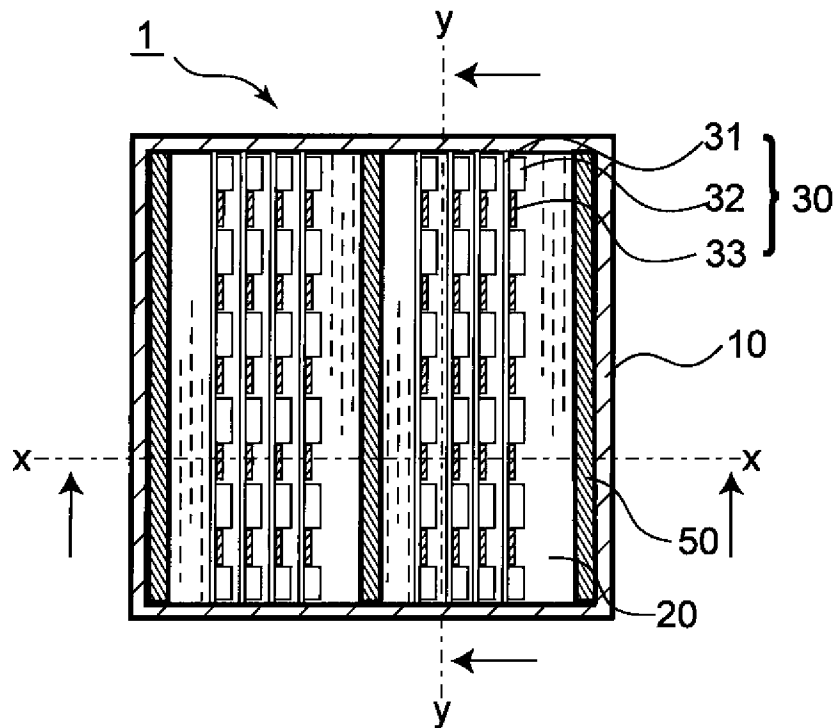
請求の範囲

- [請求項1] 冷媒と、該冷媒に浸漬している電子部品と、該冷媒に浸漬している気泡放出装置とが筐体に収められた電子機器であって、前記気泡放出装置から放出された気泡の以下の測定方法で測定した平均長径が0.1 mm以上であることを特徴とする電子機器。
- ＜測定方法＞
- 前記気泡放出装置の気泡放出口から上方30 mmの地点を中心として50 mm×50 mmの領域をカメラで撮影して得られた画像において、合焦の範囲内にある10個の気泡（長径が0.05 mm未満のものを除く）の長径を測定し、その平均値を平均長径とする。
- [請求項2] 前記冷媒の沸点が70℃以上である請求項1に記載の電子機器。
- [請求項3] 前記冷媒の25℃における粘度が0.0008 kg/m・s以上0.05 kg/m・s以下である請求項1又は2に記載の電子機器。
- [請求項4] 前記気泡放出装置から放出された気泡は前記冷媒の液面まで到達し、前記気泡放出装置から前記冷媒の液面までの距離が200 mm以上である請求項1～3のいずれかに記載の電子機器。
- [請求項5] 前記筐体の上部に配置された気体回収口と、前記気体回収口より回収された気体を前記気泡放出装置まで循環させる経路と前記気体を循環させるポンプとを有し、前記冷媒を循環させるポンプは有さない請求項1～4のいずれかに記載の電子機器。
- [請求項6] 前記筐体の底部には前記気泡放出装置の設置領域と非設置領域とがある請求項1～5のいずれかに記載の電子機器。
- [請求項7] 前記気泡放出装置が、孔を有する管状体又は多孔質体を含む請求項1～6のいずれかに記載の電子機器。
- [請求項8] 内部に水が循環している冷却盤が前記筐体に収められている請求項1～7のいずれかに記載の電子機器。
- [請求項9] 前記電子機器がCPUパッケージを有するボードを含む請求項1～8のいずれかに記載の電子機器。

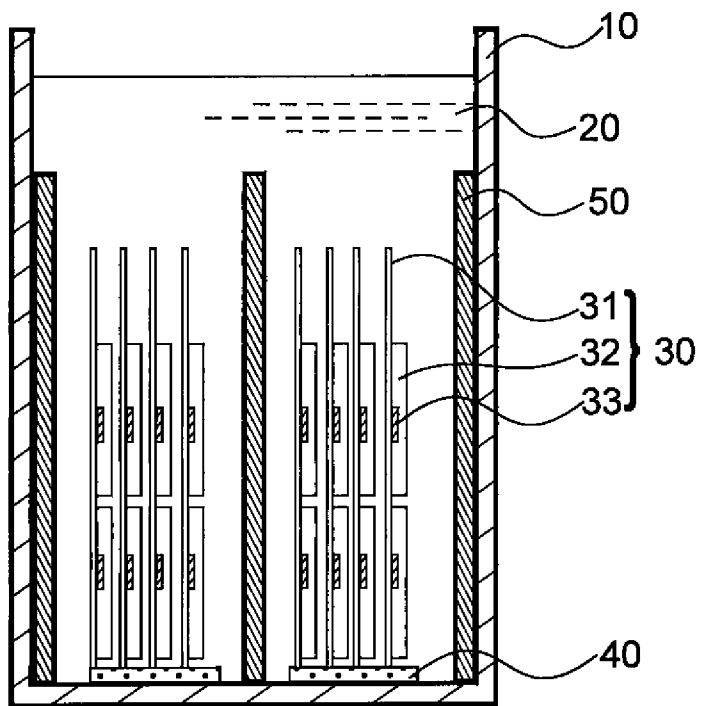
[図1]



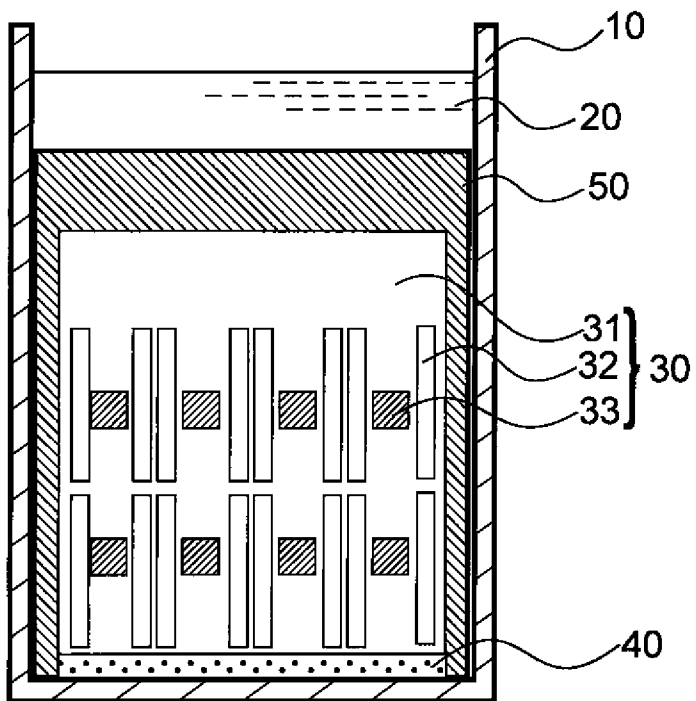
[図2]



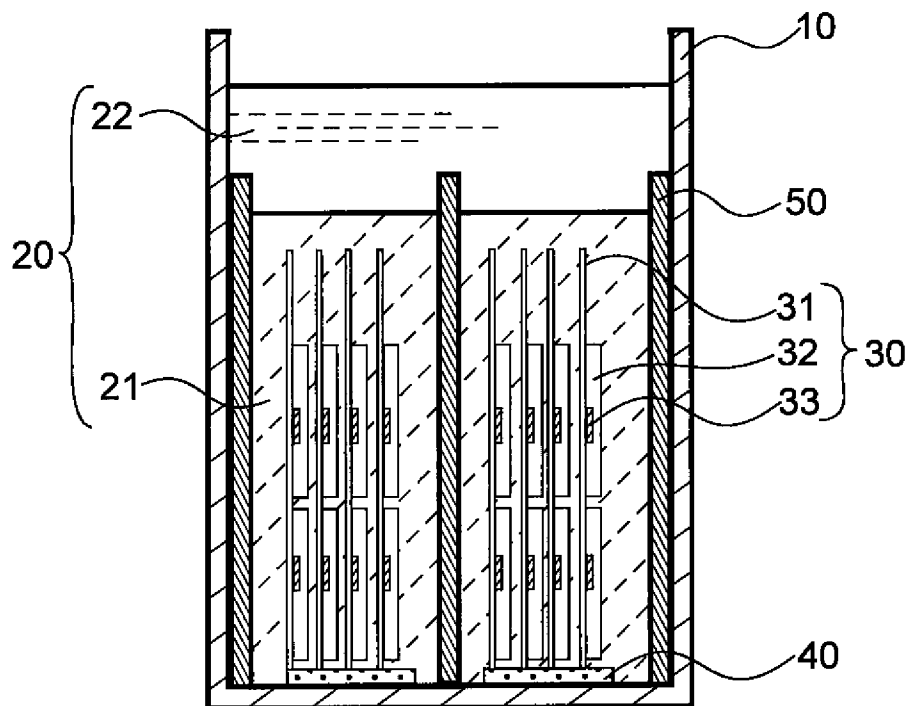
[図3]



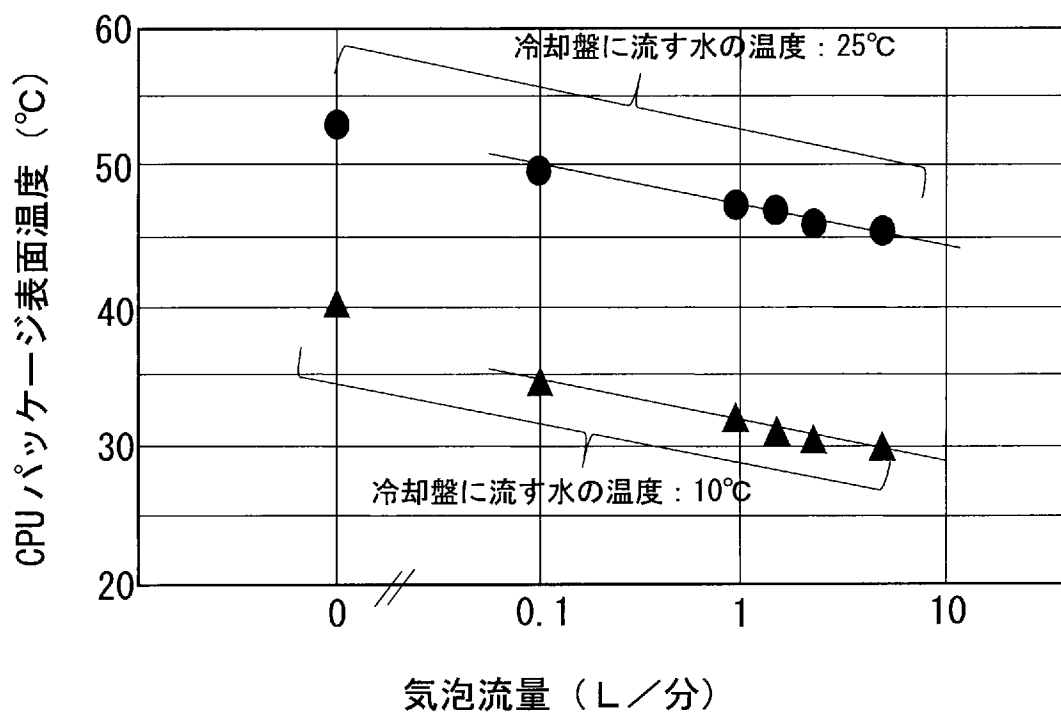
[図4]



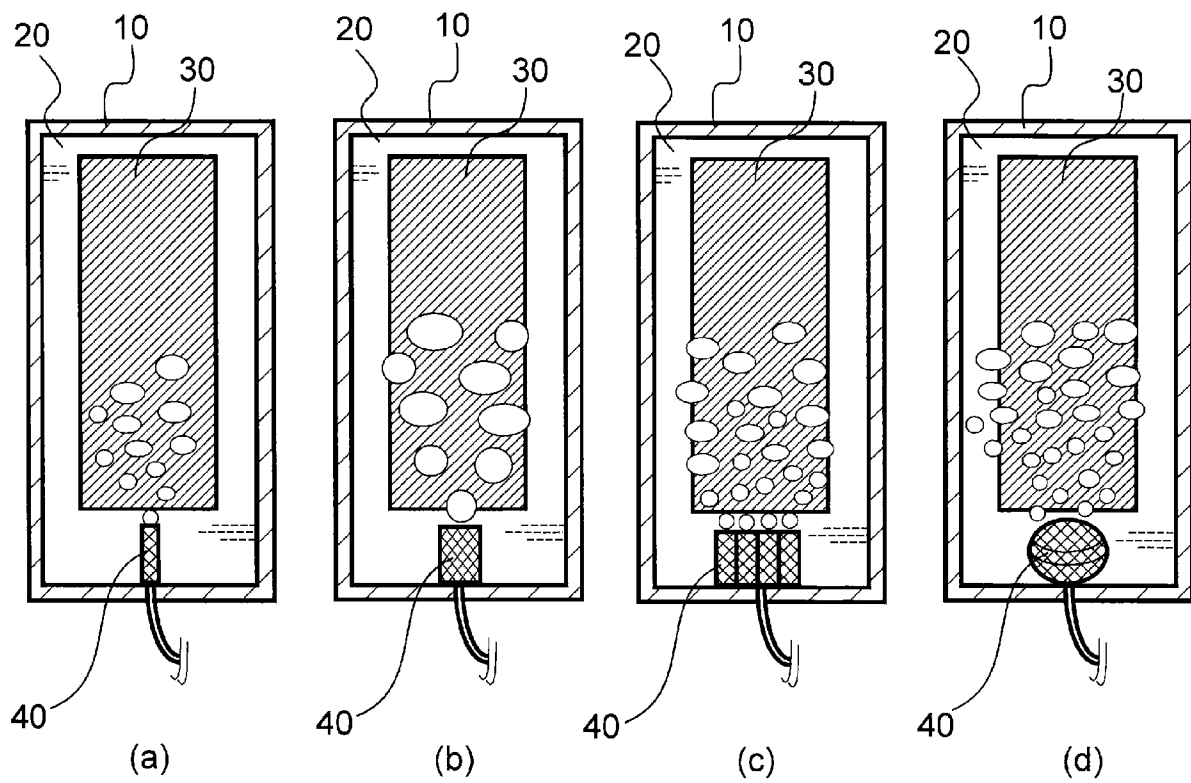
[図5]



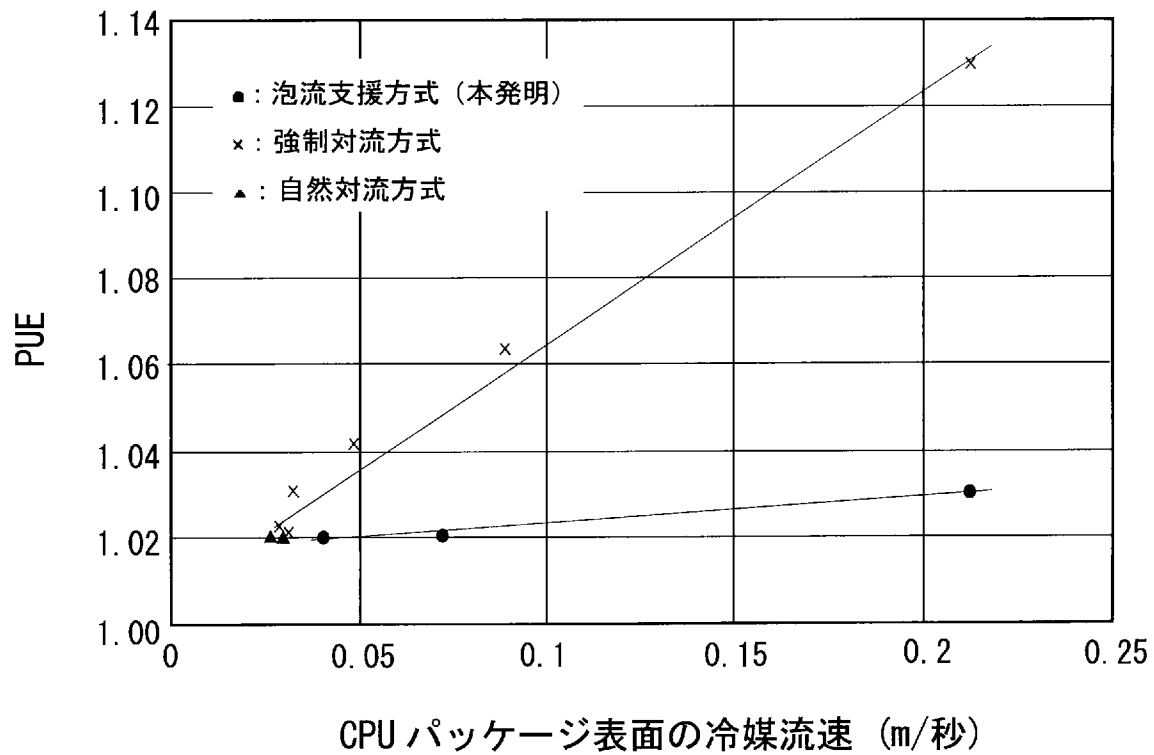
[図6]



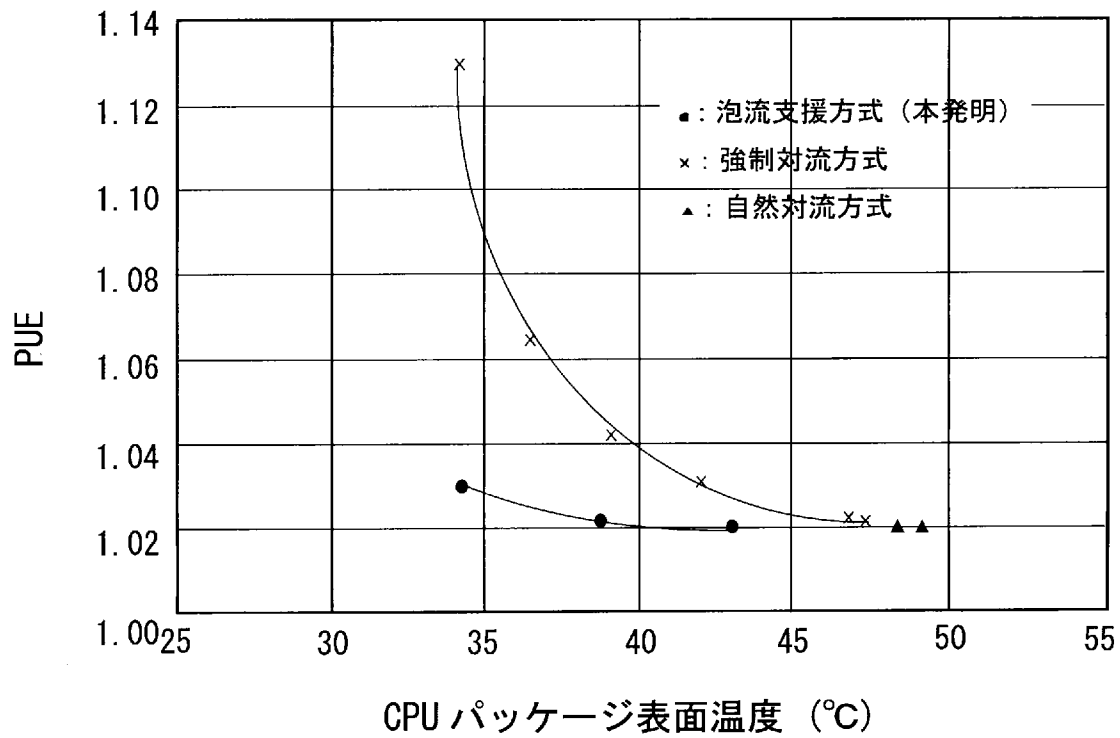
[図7]



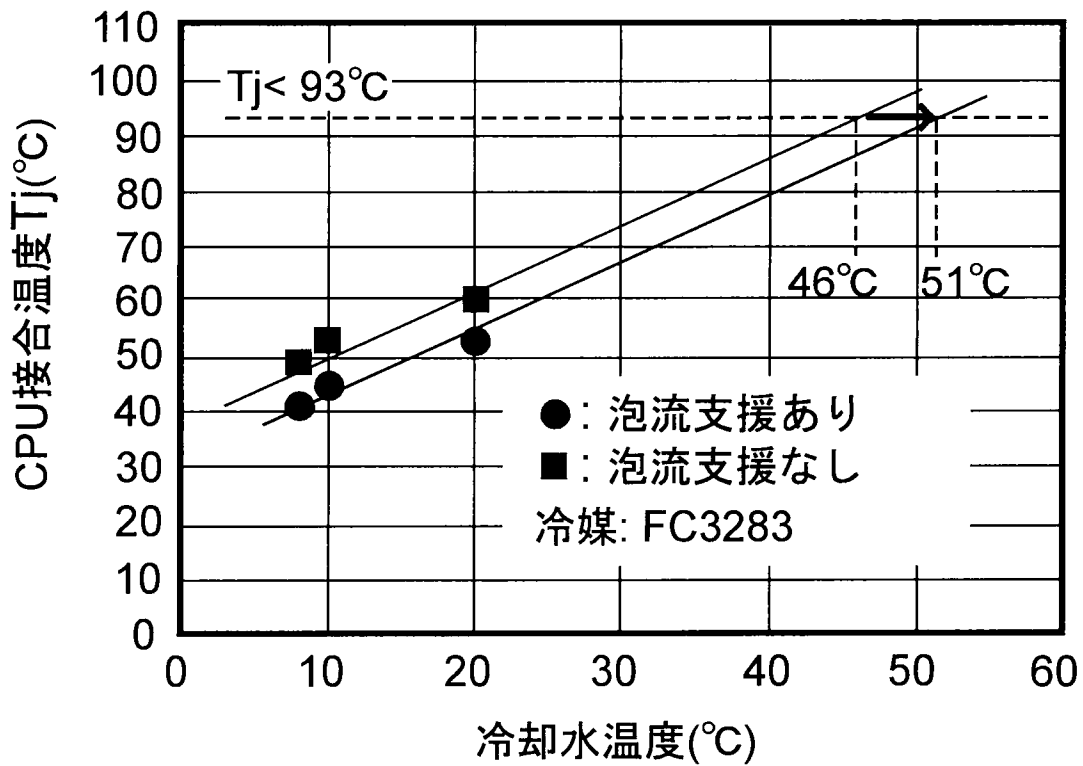
[図8]



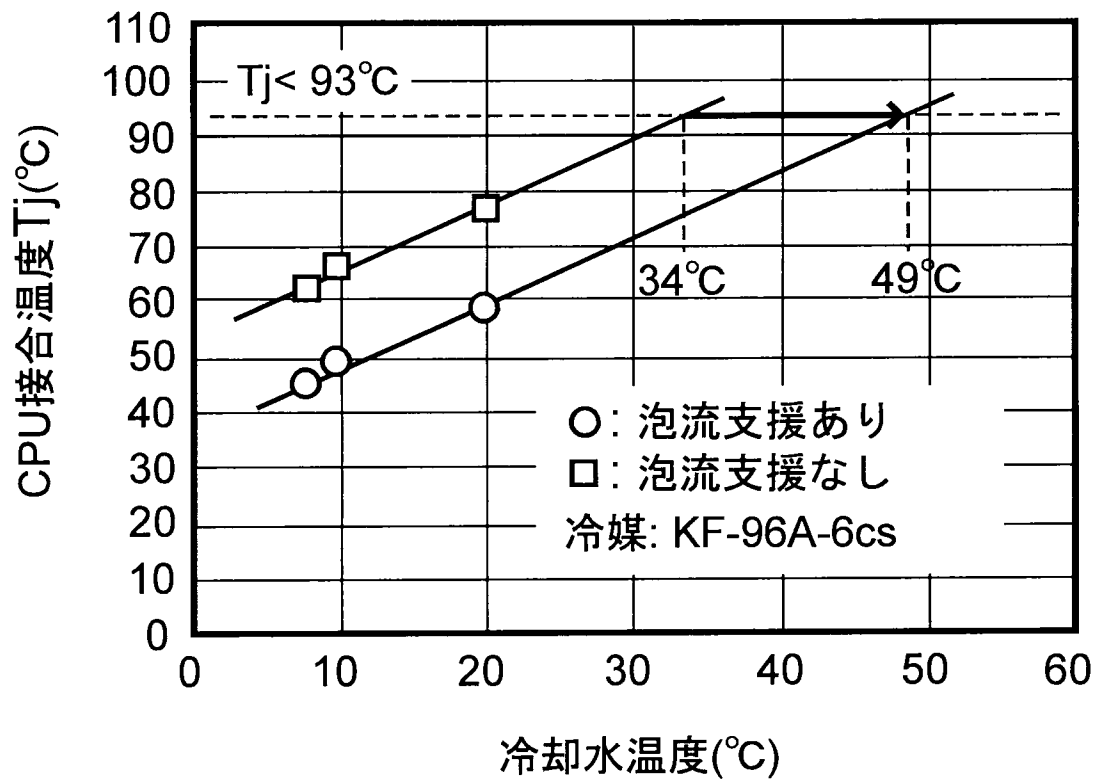
[図9]



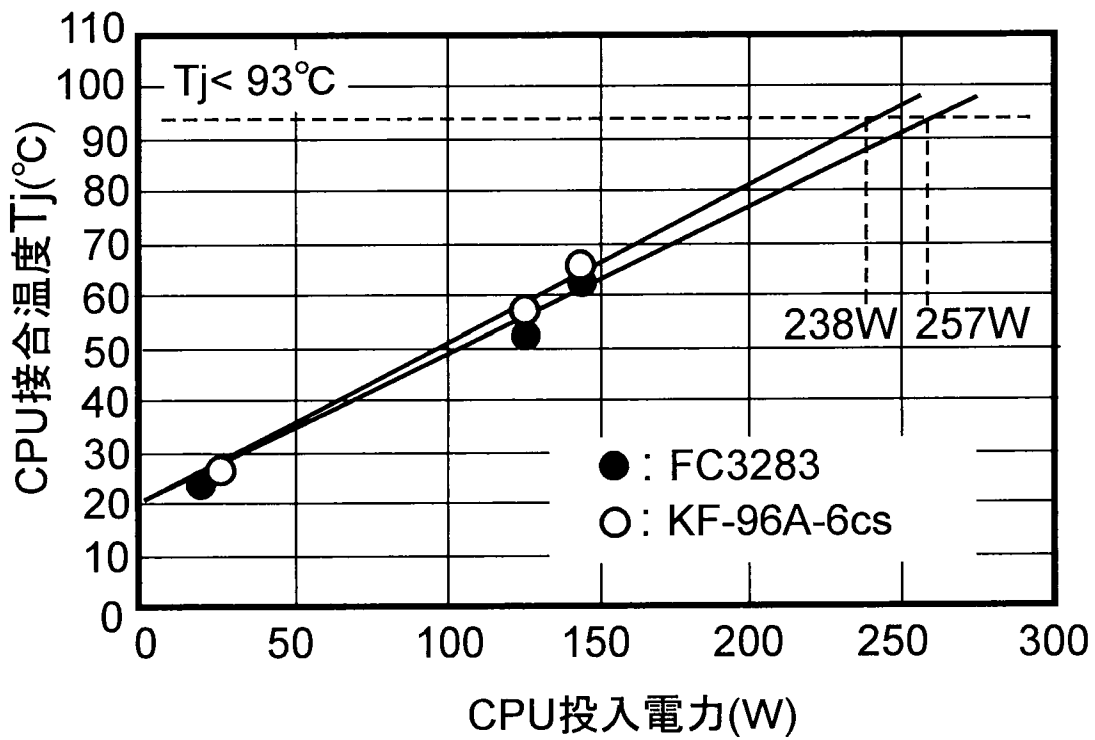
[図10]



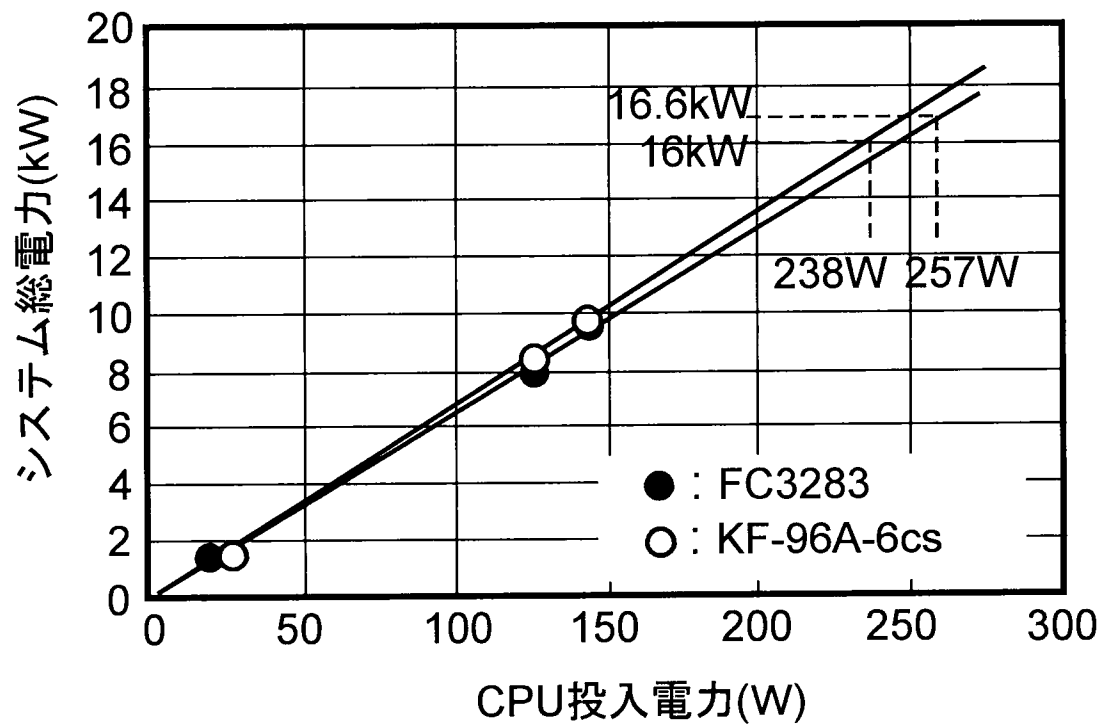
[図11]



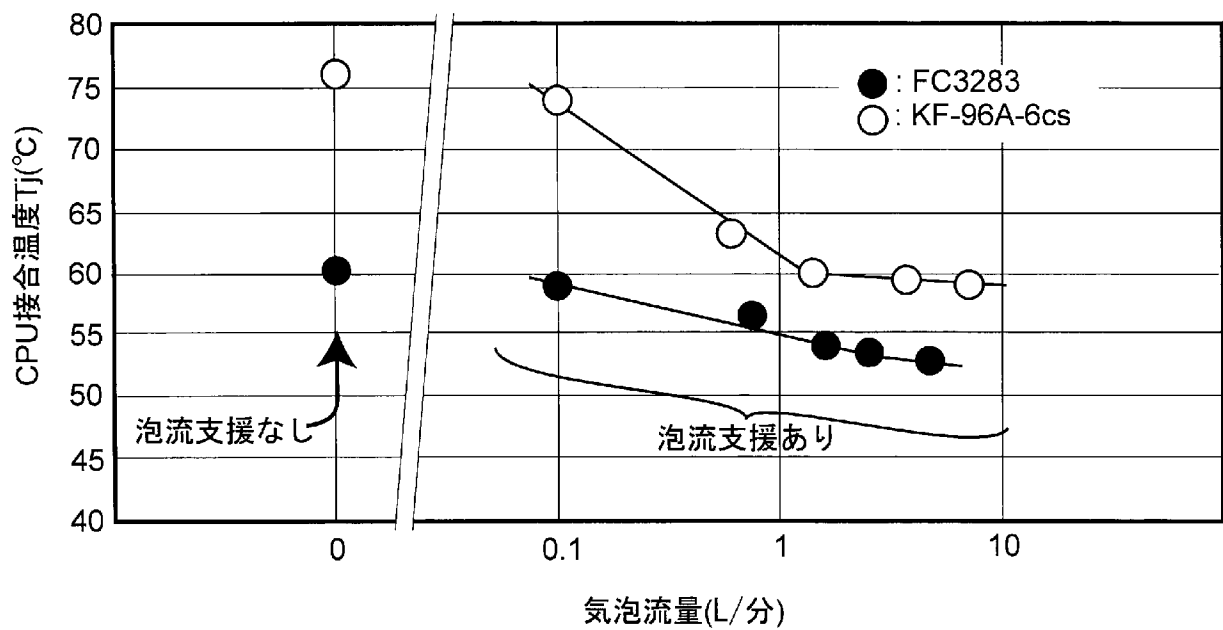
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/044149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F25D 9/00 (2006.01) i; H01L 23/44 (2006.01) i; G06F 1/20 (2006.01) i; H05K 7/20 (2006.01) i

FI: H01L23/44; H05K7/20 M; G06F1/20 A; F25D9/00 F

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)

F25D9/00; H01L23/44; G06F1/20; H05K7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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.
A	JP 5-3274 A (HITACHI, LTD.) 08.01.1993 (1993-01-08) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2003-250262 A (SONY CORP.) 05.09.2003 (2003-09-05) entire text, all drawings	1-9
A	JP 63-32275 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 10.02.1988 (1988-02-10) entire text, all drawings	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 January 2020 (20.01.2020)

Date of mailing of the international search report
04 February 2020 (04.02.2020)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/044149

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 5-3274 A	08 Jan. 1993	US 5270572 A entire text, all drawings	
JP 2003-250262 A	05 Sep. 2003	DE 4220732 A1 US 2003/0098588 A1 entire text, all drawings	
JP 63-32275 A	10 Feb. 1988	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） F25D 9/00(2006.01)i; H01L 23/44(2006.01)i; G06F 1/20(2006.01)i; H05K 7/20(2006.01)i FI: H01L23/44; H05K7/20 M; G06F1/20 A; F25D9/00 F														
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）） F25D9/00; H01L23/44; G06F1/20; H05K7/20 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
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												
A	JP 5-3274 A（株式会社日立製作所）08.01.1993（1993 - 01 - 08） 全文, 全図	1-9												
A	JP 2003-250262 A（ソニー株式会社）05.09.2003（2003 - 09 - 05） 全文, 全図	1-9												
A	JP 63-32275 A（富士電機株式会社）10.02.1988（1988 - 02 - 10） 全文, 全図	1-9												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 20.01.2020	国際調査報告の発送日 04.02.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 庄司 一隆 5F 1215 電話番号 03-3581-1101 内線 3516													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/044149

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	5-3274	A	08.01.1993	US	5270572	A	
				全文, 全図			
				DE	4220732	A1	
JP	2003-250262	A	05.09.2003	US	2003/0098588	A1	
				全文, 全図			
JP	63-32275	A	10.02.1988	(ファミリーなし)			