

(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  
2017年3月9日(09.03.2017)

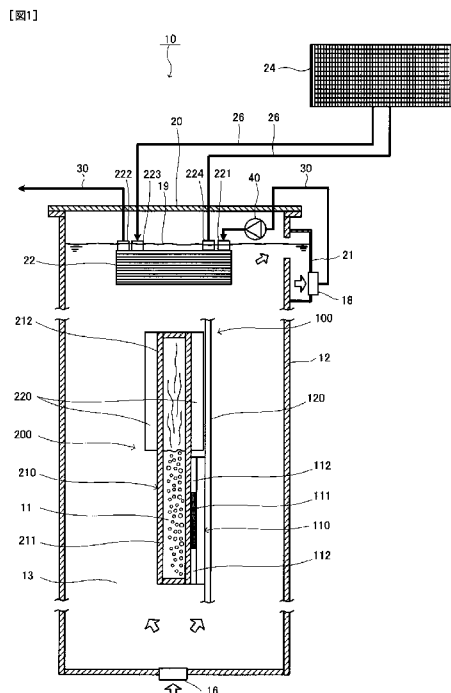


(10) 国際公開番号  
WO 2017/037860 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 23/473 (2006.01) H05K 7/20 (2006.01)  
G06F 1/20 (2006.01)
  - (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/074814
  - (22) 国際出願日: 2015年8月31日(31.08.2015)
  - (25) 国際出願の言語: 日本語
  - (26) 国際公開の言語: 日本語
  - (71) 出願人: 株式会社 ExaScaler (EXASCALER INC.) [JP/JP]; 〒1010052 東京都千代田区神田小川町2丁目1番地 Tokyo (JP).
  - (72) 発明者: 稲葉 賢一(INABA, Kenichi); 〒1010052 東京都千代田区神田小川町2-4 レジディア新御茶ノ水805号室 Tokyo (JP). 齊藤 元章(SAITO, Motoaki); 〒1010062 東京都千代田区神田駿河台4-2-5 ロイヤルパインレジデンス1404 Tokyo (JP).
  - (74) 代理人: 黒田 健二, 外(KURODA, Kenji et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門3丁目6番2号 第2秋山ビル4階・5階 黒田特許事務所 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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:  
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: COOLING SYSTEM FOR ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 電子機器の冷却システム



(57) Abstract: A cooling system 10 has a cooling tank 12, a second cooling liquid 13 that has a boiling point  $T_2$  being placed inside the open space of the cooling tank 12. An electronic device 100 in which a processor 110 is mounted as a heat-emitting body on a board 120 is stored inside the open space of the cooling tank 12 and is immersed in the second cooling liquid 13 (boiling point  $T_2$ ). An ebullient cooling device 200 is thermally connected to the processor 110, a first cooling liquid 11 that has a boiling point  $T_1$  (where  $T_1 = T_2$  or  $T_1 < T_2$ ) being sealed in the ebullient cooling device 200. A first heat exchanger 22 is provided with: high-temperature-side flow channels for letting pass the second cooling liquid, the high-temperature-side flow channels comprising an aggregate of narrow gaps or minute flow channels; and low-temperature-side flow channels for letting pass a third cooling medium having a boiling point  $T_3$  (where  $T_3 = T_2$  or  $T_3 < T_2$ ), the low-temperature-side flow channels comprising an aggregate of narrow gaps or minute flow channels. The high-temperature-side flow channels and the low-temperature-side flow channels are provided alternately and are separated by walls. A pump 40 pressure-feeds the second cooling liquid 13, which is heated inside the cooling tank 12, toward the inlet to the high-temperature-side flow channels of the first heat exchanger 22.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/037860 A1

冷却システム10は冷却槽12を有し、冷却槽12の開放空間内には沸点 $T_2$ を有する第2の冷却液13が入れている。冷却槽12の開放空間内には、プロセッサ110を発熱体としてボード120上に搭載した電子機器100が収納され、第2の冷却液13（沸点 $T_2$ ）に浸漬されている。沸騰冷却装置200は、プロセッサ110に熱的に接続されている冷却装置であって、沸点 $T_1$ （ただし、 $T_1 = T_2$ 又は $T_1 < T_2$ ）を有する第1の冷却液11が封入されている。第1の熱交換器22は、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり第2の冷却液が通る高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり沸点 $T_3$ （ $T_3 = T_2$ 又は $T_3 < T_2$ ）を有する第3の冷媒が通る低温側流路とが、壁を隔てて交互に設けられている。ポンプ40は、冷却槽12内で暖められた第2の冷却液13を、第1の熱交換器22の高温側流路の入口に向けて圧送する。

## 明 細 書

発明の名称：電子機器の冷却システム

### 技術分野

[0001] 本発明は電子機器の冷却システムに係り、特に、スーパーコンピュータやデータセンター等の超高性能動作や安定動作が要求され、かつそれ自体からの発熱量が大きな電子機器を、効率的に冷却するための電子機器の冷却システムに関するものである。

### 背景技術

[0002] 近年のスーパーコンピュータの性能の限界を決定する最大の課題の一つは消費電力であり、スーパーコンピュータの省電力性に関する研究の重要性は、既に広く認識されている。すなわち、消費電力当たりの速度性能（Flops/W）が、スーパーコンピュータを評価する一つの指標となっている。また、データセンターにおいては、データセンター全体の消費電力の45%程度を冷却に費やしているとされ、冷却効率の向上による消費電力の削減の要請が大きくなっている。

[0003] スーパーコンピュータやデータセンターの冷却には、従来から空冷式と液冷式が用いられている。液冷式は、空気より格段に熱伝達性能の優れる液体を用いるため、一般的に冷却効率がよいとされている。例えば、東京工業大学が構築した「TSUBAME-KFC」では、合成油を用いた液浸冷却システムが適用されている。しかし、冷却液に粘性の高い合成油を用いているため、油浸ラックから取り出した電子機器から、そこに付着した油を完全に除去することが困難であり、電子機器のメンテナンス（具体的には、例えば調整、点検、修理、交換、増設。以下同様）が極めて困難であるという問題がある。更には、使用する合成油が、冷却系を構成するパッキン等を短期間に腐食させて漏えいするなどし、運用に支障を来す問題の発生も報告されている。

[0004] 他方、上記のような問題を生ずる合成油ではなく、フッ化炭素系冷却液を

用いる液浸冷却システムが提案されている。具体的には、フッ化炭素系の冷却液（3M社の商品名「Novec（3M社の商標。以下同様）7100」、「Novec7200」、「Novec7300」で知られる、ハイドロフルオロエーテル（HFE）化合物）を用いる例である（例えば、特許文献1、特許文献2）。

[0005] また、本出願人は、小規模液浸冷却スーパーコンピュータ向けの、小型で冷却効率の優れた液浸冷却システムをすでに開発している。当該システムは、完全フッ素化物からなるフッ化炭素系冷却液を用いており、高エネルギー加速器研究機構に設置されている小型スーパーコンピュータ「Suirén」に適用され、運用されている（非特許文献1）。

[0006] ところで、CPUなど特に大量の熱を発生する発熱体を局所的に冷却するために、冷却液の気化と凝縮のサイクルによって熱の輸送・放熱を行う沸騰冷却方式を用いる冷却装置の例が、いくつか提案されている。一つは、プロセッサの発熱表面に接続した蒸発部と、空冷ファンもしくは水冷配管に接続した凝縮部とを、2本の配管で接続して、気液平衡を利用した冷媒循環を行う、冷却モジュールの例である（非特許文献2）。もう一つは、特別な流路壁を内部に形成した平板状容器に、冷却液を封入し、平板状容器の受熱領域を発熱体と熱的に接続し、平板状容器の放熱領域を放熱フィンなどの放熱部と接続し、放熱領域は、放熱領域における冷却液の流路を形成する例である（例えば、特許文献3）。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0007] 特許文献1：特開2013-187251号公報

特許文献2：特表2012-527109号公報

特許文献3：特開2013-69740号公報

非特許文献1：「液浸冷却小型スーパーコンピュータ「ExaScaler-1」が、25%を超える性能改善により最新のスパコン消費電力性能ランキング「Green500」の世界第一位相当の値を計測」、2015年3月31日、プレスリリース

、株式会社ExaScaler他、URL:<http://www.exascalr.co.jp/wp-content/uploads/2015/03/20150331.pdf>

非特許文献2：グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト「集熱沸騰冷却システムの研究開発（2008年度～2012年度 5年間）」 8-9、11頁、2013年7月17日 URL：<http://www.nedo.go.jp/content/100532511.pdf>

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0008] 特許文献1が開示する冷却システムは、電子機器の冷却に気化熱（潜熱）を使用するため、沸点が100℃以下のフッ化炭素系冷却液を用いている。そして、電子機器に搭載された素子の発熱で冷却液が蒸発するときの気化熱（潜熱）により素子の熱を奪い取り、当該素子を冷却している。従って、高温の素子表面で、局所的にフッ化炭素系冷却液が沸騰して気泡が断熱膜を形成することがあるため、冷却液が本来有している高い熱伝導能力が損なわれてしまうという問題がある。また、最近のスーパーコンピュータやデータセンター等で使用される電子機器には、冷却すべき対象がCPU（Central Processing Unit）以外にも、GPU（Graphics Processing Unit）、高速メモリ、チップセット、ネットワークユニット、PCI Expressバスや、バススイッチユニット、SSD（Solid State Drive）、パワーユニット（交流-直流変換器、直流-直流電圧変換器等）等、多数存在しており、気化する温度が異なるこれらの対象物全てを等しく冷却することは困難であり、表面の冷媒が気化しない対象物では冷却効率が極めて低くなってしまふ。

[0009] また、特許文献2が開示する冷却システムは、1つ又はそれ以上の発熱する電子機器を収容する密封型モジュールの構成を採用している。このため、個々の密封型モジュールに冷却液を流通させるための機構全体が複雑となり、また、密封型モジュールから電子機器全体を簡単に取り出すことができないため、電子機器のメンテナンス性に劣るという問題がある。

[0010] グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクトが提案する冷却モジュールは、プロセッサ上の蒸発部とそこから離れたところに設置される凝縮部とを接続する2本の配管を別途設けることが必要となるため、冷却モジュール全体の構成が大型かつ複雑となるという問題がある。加えて、これら配管の存在が、空冷に頼らなければならない周辺の電子部品の冷却の妨げになるため、また、冷却ファンもしくは配管を使用した二次冷却では、特に配管を使用する場合には配管内の流量の制約から冷却効率が低く制約されてしまうため、電子機器全体としての冷却性能が制限されてしまうという問題がある。他方、特許文献3が開示する冷却装置は、局所的な一次冷却用の、小型の沸騰冷却装置を提供できるので有利であるものの、従来の、冷却効率の低い二次冷却技術を適用することによっては、電子機器全体の冷却性能の向上を図ることができないという問題がある。

[0011] 他方、本出願人は、非特許文献1が開示するような、小型で冷却効率の優れた液浸冷却システムにおいて、さらに冷却効率を向上させ、体積当たりのプロセッサ密度を最大化させるための構成例の一つとして、冷却槽内の冷却液中の表層部に熱交換器を浸漬する構成を提案している（PCT/JP2015/069205）。しかし、熱交換器の種類によっては、所望の熱量を冷却槽外に輸送するために、大型の熱交換器を用いなければならない場合がある。そのような場合、熱交換器を設置するための比較的大きな空間を、冷却槽の上部に形成しなければならず、システムの小型化によるメリットが損なわれてしまうという問題がある。また、冷却槽に入れられる冷却液、熱交換器に封入される冷媒には、比較的高価な完全フッ素化物を用いるため、熱交換器の大型化は、必要とされる冷却液及び冷媒の量を増やすことにつながり、コストが増大するという問題がある。

[0012] 以上のように、従来の液浸冷却方式においては、密封型モジュールに冷却液を流通させるための機構全体が複雑となり、電子機器のメンテナンス性に劣るという問題がある。また、従来の沸騰冷却方式は、電子機器の局所的冷却に適しているものの、機構全体が大型かつ複雑となるおそれがあり、また

二次冷却の冷却効率が低いため電子機器全体の冷却性能の向上を図ることができないという問題がある。

[0013] また、小型で冷却効率の優れた液浸冷却システムにおいて、さらに冷却効率を向上させ、体積当たりのプロセッサ密度を最大化させるために、上記するような解決すべき課題がある。

[0014] 従って、本発明の目的は、上記した問題点を解決し、電子機器の冷却性能をより向上させた、簡単かつ効率的な冷却システムを提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0015] 上記の課題を解決するために、本発明の一局面によれば、電子機器を冷却液中に浸漬して直接冷却する、冷却システムであって、少なくとも1つの発熱体を有する電子機器の前記発熱体に熱的に接続される沸騰冷却装置であって、沸点 $T_1$ を有する第1の冷却液が封入されている沸騰冷却装置と、前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ と同じ又は前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$  ( $T_2 = T_1$  又は  $T_2 > T_1$ ) を有する第2の冷却液が入れられた冷却槽であって、前記沸騰冷却装置及び前記電子機器が前記第2の冷却液中に浸漬されて直接冷却される冷却槽と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第2の冷却液が通る高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ と同じ又は前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ よりも低い沸点 $T_3$  ( $T_3 = T_2$  又は  $T_3 < T_2$ ) を有する第3の冷媒が通る低温側流路とが、壁を隔てて交互に設けられている第1の熱交換器であって、前記第2の冷却液から前記第3の冷媒に熱を伝える第1の熱交換器と、前記冷却槽内で暖められた前記第2の冷却液を、前記第1の熱交換器の前記高温側流路の入口に向けて圧送するポンプと、を含む冷却システムが提供される。

[0016] 本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記沸騰冷却装置は、受熱側と放熱側を有する密閉容器と、前記放熱側に設けられた放熱部材とを有し、前記沸騰冷却装置及び前記電子機器が前記第2の冷却液中に浸漬されるとき、前記放熱側が前記受熱側より上に位置するように前記発熱体に熱的に接続されているよう構成してよい。

- [0017] また、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記第1の冷却液の沸点が100℃以下であり、前記第2の冷却液の沸点が150℃以上であり、前記第3の冷媒の沸点が50℃以下であるよう構成してよい。
- [0018] さらに、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記第1の冷却液及び／又は前記第3の冷媒が、主成分としてフッ化炭素化合物を含むよう構成してよい。
- [0019] また、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記第2の冷却液が、主成分として完全フッ素化物を含むよう構成してよい。
- [0020] さらに、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記第1の熱交換器が、プレート式熱交換器、又はマイクロチャネル熱交換器であるとよい。
- [0021] また、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記冷却システムが前記冷却槽の外部に置かれた、前記第3の冷媒を冷やす第2の熱交換器をさらに有し、前記第1の熱交換器の前記低温側流路の入口及び出口と、前記第2の熱交換器とは、第1の流通路により連結されていてよい。
- [0022] さらに、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記冷却槽の外部に置かれた、前記第2の冷却液を冷やす第3の熱交換器をさらに有し、前記冷却槽の前記第2の冷却液の入口及び出口と、前記第1の熱交換器の前記高温側流路の入口及び出口と、前記ポンプと、前記第3の熱交換器とは、第2の流通路により連結されていてよい。
- [0023] また、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態において、前記冷却槽が、前記冷却槽の上部開口に対して着脱可能又は開閉可能に取り付けられた天板を有し、該天板が前記第1の熱交換器を保持してよい。
- [0024] 加えて、本発明のもう一つの局面によれば、複数の電子機器を冷却液中に浸漬して直接冷却する冷却システムであって、底壁及び側壁によって形成される開放空間を有する冷却槽と、前記冷却槽内に複数の内部隔壁を設けることにより前記開放空間を分割して形成される、配列された複数の収納部であ



って、各収納部に少なくとも1つの電子機器を収納するための収納部と、前記複数の収納部の各々に形成される、冷却液の流入開口及び流出開口と、を有し、前記流入開口は、各収納部の底部又は側面に形成され、前記流出開口は、各収納部を流通する前記冷却液の液面近傍に形成されており、前記冷却システムはさらに、前記少なくとも1つの電子機器が有する少なくとも1つの発熱体に熱的に接続される沸騰冷却装置であって、沸点 $T_1$ を有する第1の冷却液が封入されている沸騰冷却装置と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ と同じ又は前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$  ( $T_2 = T_1$ 又は $T_2 > T_1$ )を有する第2の冷却液が通る高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ と同じ又は前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ よりも低い沸点 $T_3$  ( $T_3 = T_2$ 又は $T_3 < T_2$ )を有する第3の冷媒が通る低温側流路とが、壁を隔てて交互に設けられている第1の熱交換器であって、前記第2の冷却液から前記第3の冷媒に熱を伝える第1の熱交換器と、前記冷却槽内で暖められた前記第2の冷却液を、前記第1の熱交換器の前記高温側流路の入口に向けて圧送するポンプと、を有し、前記複数の収納部の各々において、前記沸騰冷却装置及び前記少なくとも1つの電子機器が各収納部内の前記第2の冷却液中に浸漬されて直接冷却される、冷却システムが提供される。

## 発明の効果

[0025] 本発明に係る冷却システムによれば、発熱体に熱的に接続されている沸騰冷却装置に封入された第1の冷却液が気化することにより、沸騰冷却装置が、発熱体から局所的にかつ強力的に熱を奪い取ると同時に、第1の冷却液の沸点 $T_1$ と同じ又は第1の冷却液の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$ を有する第2の冷却液が、その熱を沸騰冷却装置から完全に奪い取ることにより、電子機器を全体的に冷却する。このとき、第1の冷却液と沸点が同じ又は第1の冷却液より沸点が高い第2の冷却液が、電子機器に搭載される周辺の電子部品を、有効かつ強力的に冷却する。すなわち、主要な発熱源であるプロセッサの沸騰冷却に対する二次冷却用の冷媒（第2の冷却液）が、周辺の電子部品に対し

て、有効な一次冷却用の冷媒としても機能する。また、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり第1の冷却液の沸点 $T_1$ と同じ又は第1の冷却液の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$  ( $T_2 = T_1$ 又は $T_2 > T_1$ ) を有する第2の冷却液が通る高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり第2の冷却液の沸点 $T_2$ と同じ又は第2の冷却液の沸点 $T_2$ よりも低い沸点 $T_3$  ( $T_3 = T_2$ 又は $T_3 < T_2$ ) を有する第3の冷媒が通る低温側流路とが、壁を隔てて交互に設けられている第1の熱交換器が、第2の冷却液から第3の冷媒に熱を伝えるので、第2の冷却液中から効率よく熱を奪う。このようにして、沸騰冷却装置による主要な発熱源の局所冷却、二次冷却用の冷媒（第2の冷却液）による沸騰冷却装置と周辺の電子部品全体の液浸冷却、及び第1の熱交換器による二次冷却用の冷媒からの奪熱を含む三重の冷却が行われることにより、電子機器の冷却性能を、著しく向上させることができる。また、第2の冷却液として沸点が比較的高い冷却液を使用できるので、第2の冷却液が蒸発しにくく、第2の冷却液を入れる冷却槽が非密閉の開放空間になっていてもよく、複雑で高価な密封構造を採る必要がない。加えて、第1の熱交換器は、狭い隙間又は微小流路の集合体からなる高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなる低温側流路とが壁を隔てて交互に設けられている。かかる構成を有する熱交換器（典型的にはプレート式熱交換器又はマイクロチャネル熱交換器）は、一般的な熱交換器（例えば、シェルアンドチューブ式熱交換器等の多管形熱交換器）に比べて圧力損失が大きい一方、コンパクトな寸法で高い伝熱性能が得られる。つまり、小型の第1の熱交換器と、その圧力損失に打ち勝って冷媒を圧送するための小型のポンプがあれば、第3の冷媒と二次冷却用の冷媒（第2の冷却液）との熱交換により、二次冷却用の冷媒から有効に奪熱することが可能であり、必要最小限の構成部品が占める体積が小さくて済む。従って、冷却システムの簡素化及び小型化が実現される。また、第1の熱交換器は、狭い隙間又は微小流路の集合体からなる流路に冷媒を通す、小型の熱交換器であるため、高価な冷媒を大量に必要とせず、コストを抑制できる。

[0026] さらに、従来の沸騰冷却方式では、主要な発熱源であるプロセッサを冷却するために、複雑な配管や大型のヒートシンクなどの機構を要し、これらの存在が、空冷に頼らなくてはならない周辺の電子部品の冷却を妨げる結果にもなっていた。このような従来技術に対して、本発明によれば、複雑な配管や大型のヒートシンクが不要となって周辺の電子部品の冷却に有利であることに加えて、二次冷却用の冷媒（第2の冷却液）が、遍く電子機器のボード全体に行き渡ることによって、高い効率で周辺の電子部品の冷却することが可能となる。なお、本明細書における「開放空間」を有する冷却槽には、電子機器の保守性を損なわない程度の簡素な密閉構造を有する冷却槽も含まれるものである。例えば、冷却槽の開口部に、パッキン等を介して天板を着脱可能又は開閉可能に取り付ける構造は、簡素な密閉構造といえる。特に、第1の熱交換器は小型かつ軽量のものでよいため、第1の熱交換器を当該天板に機械的に保持させることが可能である。

[0027] 上記した本発明の目的及び利点並びに他の目的及び利点は、以下の実施の形態の説明を通じてより明確に理解される。もっとも、以下に記述する実施の形態は例示であって、本発明はこれに限定されるものではない。

### 図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明の一実施形態に係る冷却システムの要部の構成を示す、部分拡大縦断面図である。

[図2A]沸騰冷却装置の一例を示す斜視図である。

[図2B]沸騰冷却装置の他の例を示す斜視図である。

[図2C]沸騰冷却装置の他の例を示す斜視図である。

[図3]第1の熱交換器の一例を示す分解斜視図である。

[図4]第1の熱交換器の他の例を示す断面図である。

[図5]本発明の一実施形態に係る冷却システムの模式図である。

[図6]本発明の一実施形態の変形例に係る冷却システムの模式図である。

[図7]本発明の他の実施形態に係る高密度冷却システムの構成を示す、部分断面を示す斜視図である。

[図8]本発明の他の実施形態に係る高密度冷却システムにおける要部を示す斜視図である。

[図9]本発明の他の実施形態に係る高密度冷却システムにおける、第1の熱交換器の設置例を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0029] 以下、本発明に係る冷却システムの好ましい実施の形態を、図面に基づいて詳細に説明する。本実施形態の説明では、最初に、好ましい一実施形態について、図1、図2A、図2B及び図2Cを参照して、ダイ（半導体チップ）とダイを取り囲むヒートスプレッドとからなるプロセッサを、発熱体としてボード上に搭載した電子機器を、冷却槽内に収納して冷却する、冷却システムの要部の構成を説明する。次に、図3及び図4を参照して、第1の熱交換器の好ましい構成例を説明する。続いて、好ましい一実施形態について、図5を参照して、電子機器として、複数個のプロセッサを搭載したボードを含む1ユニットのみを簡略的に示しながら、当該電子機器を冷却槽内に収納して冷却する冷却システムの全体構成を説明し、また、当該一実施形態の変形例について、図6を参照して説明する。次に、他の好ましい実施形態について、図7から図9を参照して、冷却槽内に形成された複数の収納部の各々に電子機器を収納して冷却する、高密度冷却システムの構成を説明する。なお、これは例示であって、ボード当たりのプロセッサの数や種類（CPU又はGPU）は任意であり、また、冷却システムにおける電子機器のユニット数も任意であり、本発明における電子機器の構成を限定するものではない。

[0030] 図1を参照して、一実施形態に係る冷却システム10は冷却槽12を有し、冷却槽12の開放空間内には沸点 $T_2$ を有する第2の冷却液13が入れられている。冷却槽12の開放空間内には、プロセッサ110を発熱体としてボード120上に搭載した電子機器100が収納され、第2の冷却液13に浸漬されている。プロセッサ110は、ダイ111とダイを取り囲むヒートスプレッド112とを含む。なお、ヒートスプレッドの使用は任意であり、省略してよい。電子機器100のボード120上には、プロセッサ110以外

に、他の複数のプロセッサ及び周辺の電子部品が当然に搭載されているが、これら他の複数のプロセッサ及び電子部品については図示を省略している。沸騰冷却装置200は、発熱体としてのプロセッサ110に熱的に接続されている冷却装置であって、沸点 $T_1$ （ただし、 $T_1 = T_2$ 又は $T_1 < T_2$ ）を有する第1の冷却液11が封入されている。

[0031] 図1及び図2Aに示すように、沸騰冷却装置200は、受熱側211と放熱側212を有する密閉容器210と、放熱側212に設けられた放熱部材220とを有している。図示する例では、密閉容器210は、6つの平板によって構成された薄い箱形を有しており、これにより断面矩形状の空間が形成されている。なお、密閉容器210の外形及び内部構造については任意であり、冷却する対象の放熱表面の面積や発生する熱量を考慮して、寸法及び形状を適宜に決定してよい。本実施形態では、便宜上、箱形の密閉容器210の下半分を受熱側211、上半分を放熱側212と呼ぶこととする。もっとも、後述するように、プロセッサ110の発熱表面に接続されるのは、密閉容器210の下半分の一つの面に過ぎないことに留意されたい。密閉容器210の材料としては、アルミニウム、銅、銀などの熱伝導性のよい金属を使用できるが、これらに限定されるものではない。

[0032] 密閉容器210内には、受熱側211の空間を充たす程度の量の第1の冷却液11が封入されている。第1の冷却液としては、3M社の商品名「Novec（3M社の商標。以下同様）7000」（沸点34℃）、「Novec 7100」（沸点61℃）、「Novec 7200」（沸点76℃）、「Novec 7300」（沸点98℃）として知られるハイドロフルオロエーテル（HFE）化合物を、好適に使用することができるが、これらに限定されるものではない。通常、プロセッサの動作温度を100℃以下に管理することが望ましいと考えられることから、沸騰冷却装置200の沸騰冷却機能が失われないよう、100℃以下の沸点を有する冷却液を使用することが好ましい。なお、密閉容器210内に第1の冷却液を封入する方法には、公知の方法を適用できるので、ここでの詳しい説明を省略する。

- [0033] 密閉容器 210 の受熱側 211 において、箱形の密閉容器 210 の背面が、プロセッサ 110 の発熱表面に熱的に接続されている。この接続には、熱伝導性の優れた金属グリスなどの接着剤を用いることができるが、これに限定されるものではない。なお、沸騰冷却装置 200 をプロセッサ 110 の発熱表面に接続するときの向きについては、沸騰冷却装置 200 及び電子機器 100 が第 2 の冷却液 13 中に浸漬される時、放熱側 212 が受熱側 211 より上に位置するような向きとするとよい。
- [0034] 密閉容器 210 の放熱側 212 において、箱形の密閉容器 210 の正面と背面には、それぞれ放熱部材（放熱フィン）220 が設けられている。放熱部材 220 は、放熱側 212 の表面積を増減することで、第 2 の冷却液が奪い取る熱量を管理することができる。放熱部材 220 の材料としては、密閉容器 210 と同様の材料でよく、密閉容器への固定方法も、ろう付けなどの公知の方法を使用してよい。
- [0035] 図 2 B は、沸騰冷却装置の他の例を示しており、図 2 A と同様の部分には同様の符号を用いている。図 2 B に示す例において、沸騰冷却装置 300 は、放熱部材 220 のサイズを幅方向に拡大し、フィンを増やすことで、図 2 A に示す沸騰冷却装置 200 よりも放出される熱量を増やしている。逆に、将来の密閉容器 210 の素材技術の進歩により、放熱部材 220 の付設による表面積の増大をしなくても、所望の冷却性能を得られるときには、放熱部材 220 の付設を省略してよい。すなわち、図 2 C に示す他の例のように、沸騰冷却装置 400 を、放熱部材が付設されていない密閉容器 210 のみで構成してもよい。
- [0036] 図 1 に戻って、冷却槽 12 には、沸騰冷却装置 200 及び電子機器 100 の全体を浸漬するのに十分な量の第 2 の冷却液 13 が、液面 19 まで入れられている。第 2 の冷却液としては、3M 社の商品名「フロリナート（3M 社の商標、以下同様）FC-72」（沸点 56℃）、「フロリナート FC-770」（沸点 95℃）、「フロリナート FC-3283」（沸点 128℃）、「フロリナート FC-40」（沸点 155℃）、「フロリナート FC-4

3」(沸点 $174^{\circ}\text{C}$ )として知られる、完全フッ素化物(パーフルオロカーボン化合物)からなるフッ素系不活性液体を好適に使用することができるが、これらに限定されるものではない。ただし、本発明に従い、第2の冷却液13には、第1の冷却液11の沸点 $T_1$ と同じ又は第1の冷却液11の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$ を有する冷媒を選択することが重要である。一例として、第1の冷却液11に、「Novac7000」(沸点 $34^{\circ}\text{C}$ )又は「Novac7100」(沸点 $61^{\circ}\text{C}$ )を使用する場合、第2の冷却液13に、「フッリナートFC-43」(沸点 $174^{\circ}\text{C}$ )を好適に使用することができる。

[0037] 本出願人は、完全フッ素化物が、高い電気絶縁性と、高い熱伝達能力を有し、不活性で熱的・化学的に安定性が高く、不燃性で、かつ酸素を含まない化合物であるためオゾン破壊係数がゼロである等の優れた特性を有している点に着目し、そのような完全フッ素化物を主成分として含む冷却液を、高密度の電子機器の浸漬冷却用の冷媒として使用する冷却システムの発明を完成し、特許出願している(特願2014-170616)。この先行出願において開示しているように、特に、フッリナートFC-43又はFC-40を第2の冷却液に用いると、開放空間を有する冷却槽からの、第2の冷却液13の蒸発による損失を大幅に低減しながら、小さい体積の冷却槽内に高密度に設置された複数の電子機器を効率よく冷却することができ、極めて有利である。ただし、既に述べたように、本発明に従い、第2の冷却液13には、第1の冷却液11の沸点 $T_1$ と同じ又は第1の冷却液11の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$ を有する冷却液として、フッリナートFC-72、FC-770、FC-3283のいずれかを選択することを制限するものではないことは勿論である。

[0038] なお、フッリナートFC-43又はFC-40は、その沸点が $150^{\circ}\text{C}$ 以上であり、極めて蒸発しにくい性質を有するため、冷却槽12の上部開口に設けられる天板20は、電子機器100のメンテナンスを容易に行えるよう、上部開口に対して着脱可能又は開閉可能に取り付けられていてよい。例え

ば、天板 20 は、冷却槽 12 の上部開口の一方縁部に設けられた図示しないヒンジ部により、開閉自在に支持されていてよい。また、冷却槽 12 の底部には、第 2 の冷却液が流入する入口 16 が設けられており、冷却槽 12 の側部の上方には、導液板 21 を介して、第 2 の冷却液が流出する出口 18 が設けられている。これにより冷却槽 12 の開放空間内に収容された電子機器 100 が、冷却槽 12 の開放空間内を流通する第 2 の冷却液 13 中に浸漬されて直接冷却されるよう構成されている。なお、代替的に又は追加的に、第 2 の冷却液 13 が流入する入口 16 を、冷却槽 12 の側部の下方に設けてもよい。

[0039] 図 1 を参照して、一実施形態に係る冷却システム 10 は、天板 20 に機械的に保持されている第 1 の熱交換器 22 をさらに有する。ここでは、第 1 の熱交換器 22 が第 2 の冷却液 13 中の表層部に浸漬されている例を示しているが、第 1 の熱交換器 22 が液面 19 上の空間に配置されるようにしてもよい。第 1 の熱交換器 22 の機械的な保持方法は、例えば天板 20 に固定された懸垂支持部材（図示せず）を使用することでよいが、これに限定されるものではない。

[0040] 本発明に従い、第 1 の熱交換器 22 には、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり沸点  $T_2$  ( $T_2 = T_1$  又は  $T_2 > T_1$ ) を有する第 2 の冷却液 13 が通る高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり第 2 の冷却液の沸点  $T_2$  と同じ又は第 2 の冷却液 13 の沸点  $T_2$  よりも低い沸点  $T_3$  ( $T_3 = T_2$  又は  $T_3 < T_2$ ) を有する第 3 の冷媒が通る低温側流路とが、壁を隔てて交互に設けられている。高温側流路の入口 221 から入った高温流体（本発明における第 2 の冷却液 13）は、高温側流路を通過して高温側流路の出口 222 から出る。他方、低温側流路の入口 223 から入った低温流体（本発明における第 3 の冷媒）は、低温側流路を通過して低温側流路の出口 224 から出る。このような構成を備える第 1 の熱交換器として、例えば、図 3 及び図 4 にそれぞれ示す、プレート式熱交換器及びマイクロチャンネル熱交換器が好適に適用できるが、これらに限定されるものではない。



[0041] 図3は、一例としてプレート式熱交換器を適用した第1の熱交換器500を示す。プレート式熱交換器は、表面に形成された凹凸パターン（一般的に、種々の突起又は溝を設けて形成される）が互いに異なっている2種類の伝熱プレート311、312を、交互に複数枚重ね合わせ、ろう材により一体化して（又はボルト締めして）構成されている。隣り合う2枚の伝熱プレート311、312の間に形成される狭い隙間からなる、高温側流路321と低温側流路322が、伝熱プレート311又は312の壁を隔てて交互に設けられている。高温側流路の入口301から入った高温流体（本発明における第2の冷却液）は、高温側流路321を通過して高温側流路の出口302から出る。他方、低温側流路の入口303から入った低温流体（本発明における第3の冷媒）は、低温側流路322を通過して低温側流路の出口304から出る。このような構成のプレート式熱交換器は、完全対向流で高温流体と低温流体の熱交換が行われるため、高性能で熱効率が極めて高い、小型かつ軽量であり、設置体積も小さくて済む等の利点を有する。

[0042] 図4は、他の例としてマイクロチャネル熱交換器を適用した第1の熱交換器600を示す。マイクロチャネル熱交換器は、幅方向に多数配列された微細流路の集合体を含む金属平板を、複数重ね合わせて一体化して構成されている。微細流路の各々は、例えば、断面矩形状のチャンネルでよく、その高さ及び幅の寸法は好ましくは1mm未満であるとよい。また、チャンネル内面に種々の突起又は溝が設けられていてよい。隣り合う微細流路の集合体421、422のうち一方421が高温側流路をなし、他方422が低温側流路をなし、これら高温側流路及び低温側流路が、金属平板の壁423を隔てて交互に設けられている。高温側流路の入口401から入った高温流体（本発明における第2の冷却液）は、高温側流路421を通過して高温側流路の出口402から出る。他方、低温側流路の入口403から入った低温流体（本発明における第3の冷媒）は、低温側流路422を通過して低温側流路の出口404から出る。このとき、高温流体と低温流体は金属平板の壁423を隔てて互いに反対方向に流れる。このような構成のマイクロチャネル熱交換器も、

完全対向流で高温流体と低温流体の熱交換が行われるため、高性能で熱効率が極めて高い、小型かつ軽量であり、設置体積も小さくて済む等、上記したプレート式熱交換器と同様の利点を有する。

[0043] 本発明において、第3の冷媒としては、第1の冷却液と同様、3M社の商品名「Novec 7000」（沸点34℃）、「Novec 7100」（沸点61℃）、「Novec 7200」（沸点76℃）、「Novec 7300」（沸点98℃）として知られるハイドロフルオロエーテル（HFE）化合物を好適に使用することができるが、これらに限定されるものではない。ただし、本発明に従い、第3の冷媒には、第2の冷却液13の沸点 $T_2$ と同じ又は第2の冷却液13の沸点 $T_2$ よりも低い沸点 $T_3$ を有する冷媒を選択することが重要である。一例として、第2の冷却液11に「フロリナートFC-40」（沸点155℃）又は「フロリナートFC-43」（沸点174℃）を使用する場合、第3の冷媒に「Novec 7000」（沸点34℃）又は「Novec 7100」（沸点61℃）を好適に使用することができる。

[0044] 図1及び図5に示すように、一実施形態に係る冷却システム10は、冷却槽12の外部に置かれた第2の熱交換器24をさらに有するとよい。第1の熱交換器22の低温側流路の入口223及び出口224と前記第2の熱交換器24は、第1の流路26により連結されており、第3の冷媒が、第1の流路26を通過して第1の熱交換器22と第2の熱交換器24の間を循環可能に構成されている。第2の熱交換器24は、第1の熱交換器22から第2の熱交換器24に移動する第3の冷媒を冷やす熱交換器であればよく、例えば、空冷式、水冷式、又は蒸発式の凝縮器を含む各種の熱交換器（いわゆるラジエータ、チラー、冷却塔等）でよい。例えば、第3の冷媒に「Novec 7000」（沸点34℃）を使用する場合、液冷媒は、第1の熱交換器22において、第2の冷却液から奪熱することにより気相冷媒に変化する。第1の熱交換器22の低温側流路の出口224を出た気相冷媒は、第1の流路26を通過して、第2の熱交換器24に入り、ここで冷やされて液化され（凝縮）、液冷媒が第1の流路26を通過して、第1の熱交換器22の低温側

流路の入口 2 2 3 に入る。これにより、第 2 の冷却液 1 3 から奪った熱が、第 1 の熱交換器 2 2 から第 2 の熱交換器 2 4 へ効率的に輸送される。

[0045] 図 1 及び図 5 を参照して、一実施形態に係る冷却システム 1 0 は、冷却槽 1 2 内で暖められた第 2 の冷却液 1 3 を、第 1 の熱交換器 2 2 の高温側流路の入口 2 2 1 に向けて圧送するポンプ 4 0 を有する。ポンプ 4 0 は、第 1 の熱交換器 2 2 の圧力損失に打ち勝って冷媒を圧送するための小型のポンプでよい。また、冷却システム 1 0 は、冷却槽 1 2 の外部に置かれた、第 2 の冷却液 1 3 を冷やす第 3 の熱交換器 9 0 をさらに有してよい。この場合、冷却槽 1 2 の入口 1 6 及び出口 1 8 と、ポンプ 4 0 と、第 1 の熱交換器 2 2 の高温側流路の入口 2 2 1 及び出口 2 2 2 と、第 3 の熱交換器 9 0 とが、第 2 の流通路 3 0 により連結される。なお、第 2 の流通路 3 0 を流れる第 2 の冷却液 1 3 の流量を調整するための流量調整バルブ 5 0 と流量計 7 0 も、第 2 の流通路 3 0 中に設けられている。

[0046] ポンプ 4 0 は、動粘度が比較的大きい（室温 2 5 °C における動粘度が 3 c S t を超える）液体を移動させる性能を備えていることが好ましい。例えば、第 2 の冷却液 1 3 として、フッリナート F C - 4 3 又は F C - 4 0 を使用する場合、F C - 4 3 の動粘度は 2 . 5 ~ 2 . 8 c S t 程度であり、F C - 4 0 の動粘度は 1 . 8 ~ 2 . 2 c S t 程度だからである。流量調整バルブ 5 0 は、手動で動作させるものでよく、また、流量計 7 0 の計測値に基づき流量を一定に保つような調整機構を備えたものでもよい。一方、第 3 の熱交換器 9 0 は、例えば、蒸気圧縮式冷凍機等の冷凍機と組み合わせて使用され、冷凍機が発生する大気温度よりも低い温度を、低温側から高温側へ熱を移動させ、高温側の第 2 の冷却液 1 3 を冷やすとよい。但し、これは一例であり、第 3 の熱交換器はこれに限定されるものではない。第 3 の熱交換器において、冷却システム 1 0 の運用中に常に冷凍機を動作させておかなくてよい。例えば、屋外に設置した温度センサーにより大気温度を監視し、大気温度が第 3 の冷媒の沸点（例えば、N o v e c 7 0 0 0 では沸点 3 4 °C）よりも高い場合に限り、冷凍機を動作させるよう構成することができる。これにより

、大気温度が第3の冷媒の沸点以下の場合、第3の熱交換器90における冷凍機を停止させ、大気温度が第3の冷媒の沸点より高くなると冷凍機を動作させて強制冷却を実行し、第1の熱交換器22における冷却を支援するという運用が可能となり、消費電力の削減効果が得られる。

[0047] 次に、一実施形態に係る冷却システム10の動作について説明する。電子機器100の運用が開始された後、プロセッサ110の表面温度が上昇して第1の冷却液11の沸点（例えば、Novec7000において34℃）よりも高い温度に達すると、沸騰冷却装置200の密閉容器210内に封入された第1の冷却液11が、密閉容器210の受熱側211の内壁表面から気泡となって蒸発し始める。気化した第1の冷却液11は、密閉容器210の放熱側212の空間を上昇する。しかし、沸騰冷却装置200及び電子機器100の周囲にある第2の冷却液13（例えば、フロリナートFC-43）は、その温度が、例えば17℃-23℃と低く保たれているため、気化した第1の冷却液11は、密閉容器210の放熱側212の内壁表面において凝縮され、第1の冷却液11が液相状態にある受熱側211に向かって、内壁表面上を伝わって、重力で落下する。このような、沸騰冷却装置200における気相及び液相の冷媒循環により、沸騰冷却装置200が、プロセッサ110から局所的にかつ強力的に熱を奪い取ると同時に、その周囲にある第2の冷却液13が、その熱を沸騰冷却装置200から（主に、放熱部材220を通して）完全に奪い取ることにより、電子機器を全体的に冷却する。このとき、沸点が高い第2の冷却液13が、電子機器100のボード120上に搭載される周辺の電子部品（図示せず）を、有効かつ強力的に冷却する。すなわち、主要な発熱源であるプロセッサ110の沸騰冷却に対する二次冷却用の冷媒（第2の冷却液13）が、周辺の電子部品（図示せず）に対して、有効な一次冷却用の冷媒としても機能する。第1の熱交換器22において、高温側流路を通る第2の冷却液13から、低温側流路を通る第3の冷媒（例えば、Novec7000）に熱を伝えるので、第2の冷却液13中から効率よく熱を奪う。このようにして、沸騰冷却装置200による主要な発熱源の局

所冷却、二次冷却用の冷媒（第2の冷却液13）による沸騰冷却装置200と周辺の電子部品（図示せず）全体の液浸冷却、及び第1の熱交換器22による二次冷却用の冷媒からの奪熱を含む三重の冷却が行われることにより、電子機器100の冷却性能を、著しく向上させることができる。

[0048] また、第2の冷却液13として沸点が比較的高い冷却液（例えば、フロンナートFC-43又はFC-40は、その沸点が150℃以上である）を使用できるので、第2の冷却液13が蒸発しにくく、第2の冷却液13を入れる冷却槽12が非密閉の開放空間になっていてもよく、複雑で高価な密封構造を採る必要がない。加えて、第1の熱交換器22は、プレート式熱交換器500又はマイクロチャネル熱交換器600であり、狭い隙間又は微小流路の集合体からなる高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなる低温側流路とが壁を隔てて交互に設けられている。かかる構成を有する熱交換器は、一般的な熱交換器（例えば、シェルアンドチューブ式熱交換器等の多管形熱交換器）に比べて圧力損失が大きい一方、コンパクトな寸法で高い伝熱性能が得られる。つまり、小型の第1の熱交換器22と、その圧力損失に打ち勝って冷媒を圧送するための小型のポンプ40があれば、第3の冷媒と二次冷却用の冷媒（第2の冷却液13）との熱交換により、二次冷却用の冷媒から有効に奪熱することが可能であり、必要最小限の構成部品が占める体積が小さくて済む。従って、冷却システムの簡素化及び小型化が実現される。また、第1の熱交換器22は、狭い隙間又は微小流路の集合体からなる流路に冷媒を通す、小型の熱交換器であるため、高価な冷媒を大量に必要とせず、コストを抑制できる。さらに、従来の沸騰冷却方式では、主要な発熱源であるプロセッサを冷却するために、複雑な配管や大型のヒートシンクなどの機構を要し、これらの存在が、空冷に頼らなくてはならない周辺の電子部品の冷却を妨げる結果にもなっていた。このような従来技術に対して、本発明によれば、複雑な配管や大型のヒートシンクが不要となって周辺の電子部品（図示せず）の冷却に有利であることに加えて、二次冷却用の冷媒（第2の冷却液13）が、遍く電子機器100のボード120全体に行き渡ること

によって、高い効率で周辺の電子部品（図示せず）を冷却することが可能となる。なお、本実施形態において、沸騰冷却装置 200 に使用する第 1 の冷却液 11 として、その沸点  $T_1$  が、第 2 の冷却液 13 の沸点  $T_2$  と同じ冷却液を使用し、及び／又は第 1 の熱交換器 22 から第 2 の熱交換器 24 への熱輸送に使用する第 3 の冷媒として、その沸点が第 2 の冷却液 13 の沸点  $T_2$  と同じ冷却液を使用しても、従来の冷却システムにおける冷却効率を大幅に改善するという目的を達成することができることは勿論である。

[0049] システムの小型化に関する 1 つの試算によれば、大気温度（25℃とする）環境下において電子機器が発生する 32 kW の熱を、第 1 の熱交換器により外部に輸送すると仮定すると、フィンアンドチューブ式熱交換器を使用した場合、熱交換器の寸法は 99 cm × 99 cm × 98 cm、必要熱交換器体積は約 960000 cm<sup>3</sup> となるのに対して、プレート式熱交換器を使用した場合、30 cm × 50 cm × 40 cm、必要熱交換器体積は約 60000 cm<sup>3</sup> となることが分かった。つまり、本発明によれば、第 1 の熱交換器を設置するのに必要な体積を従来の約 1 / 16 に小さくすることができる。従って、例えば冷却槽 12 の内部に第 1 の熱交換器を配置する場合にも、システムの小型化によるメリットが損なわれることがない。

[0050] 図 1 及び図 5 に示す一実施形態に係る冷却システム 10 において、第 1 の熱交換器 22 を、冷却槽 12 の内部に配置する例を説明したが、第 1 の熱交換器 22 を、冷却槽 12 の外部に配置するよう構成してもよい。図 6 は、一実施形態の変形例に係る冷却システム 700 を示し、図 5 に示した冷却システム 10 と同様の部分には同様の符号を用い、詳しい説明を省略する。この変形例に係る冷却システム 700 において、第 1 の熱交換器 22 を設置する面積が小さくて済むことは勿論である。

[0051] 以上、一実施形態に係る冷却システムについて、図 1 から図 6 を参照しつつ、1 ユニットの電子機器を冷却槽に収納する例を説明したが、これは本発明の要部を説明するために簡略化したものであり、本発明はこれに限定されるものではない。本発明が、複数のユニットの電子機器を冷却槽に高密度に

収納して冷却する、高密度冷却システムに適用することができることは勿論である。以下、図7から図9を参照して、本発明の他の実施形態に係る高密度冷却システムの構成を説明する。なお、図1、図5及び図6に示した一実施形態に係る冷却システム及びその変形例に係る冷却システムと同様の部分には同様の符号を用い、詳しい説明を省略する。

[0052] 他の実施形態の説明では、電子機器として、プロセッサを複数搭載したボードを含む1ユニットを、合計16ユニット、冷却槽の各収納部に収納して冷却する、高密度冷却システムの構成を説明する。なお、これは例示であって、ボード当たりのプロセッサの数や種類（CPU又はGPU）は任意であり、また、高密度冷却システムにおける電子機器のユニット数も任意であり、本発明における電子機器の構成を限定するものではない。

[0053] 図7～図9を参照して、他の実施形態に係る冷却システム800は冷却槽12を有し、冷却槽12の底壁12a及び側壁12bによって開放空間10aが形成されている。冷却槽12内に、縦方向の内部隔壁13a、13b、13c、13d、13eと、横方向の内部隔壁14a、14b、14c、14d、14eを設けることにより、開放空間10aを均等に16分割して、配列された16個の収納部15aa、15ab、15ac、15ad、15ba、15bb、15bc、15bd、15ca、15cb、15cc、15cd、15da、15db、15dc、15dd（以下、まとめて「収納部15aa～15dd」と記載することがある。）が形成されている。そして、各収納部に少なくとも1つの電子機器100が収納される。冷却槽12の開放空間10a内には、第2の冷却液13が液面19まで入れられている。収納部15aa、15ab、15ac、15ad、15ba、15bb、15bc、15bd、15ca、15cb、15cc、15cd、15da、15db、15dc、15ddの底部には、第2の冷却液13の流入開口16aa、16ab、16ac、16ad、16ba、16bb、16bc、16bd、16ca、16cb、16cc、16cd、16da、16db、16dc、16dd（以下、まとめて「流入開口16aa～16dd」

と記載することがある。)が形成されている。

[0054] また、収納部15aa~15ddを流通する第2の冷却液13の液面19近傍には、流出開口17aa、17ab、17ac、17ad、17ae、17ba、17bb、17bc、17bd、17be、17ca、17cb、17cc、17cd、17ce、17da、17db、17dc、17dd、17de、17ea、17eb、17ec、17ed、17ee(以下、まとめて「流出開口17aa~17ee」と記載することがある。)が形成されている。

[0055] 他の実施形態に係る冷却システム800において、流出開口は、各収納部を形成している複数の内部隔壁が互いに交差する位置もしくはその近傍に形成されている。例えば、図7を参照すると、収納部15aaは、縦方向の内部隔壁13a、13bと、横方向の内部隔壁14a、14bによって形成されており、内部隔壁13aと内部隔壁14aが交差する点、内部隔壁13aと内部隔壁14bが交差する点、内部隔壁13bと内部隔壁14aが交差する点、及び内部隔壁13bと内部隔壁14bが交差する点にそれぞれ位置するように、流出開口17aa、17ba、17ab、17bbが形成されている。同様にして、図8を参照すると、収納部15bbは、縦方向の内部隔壁13b、13cと、横方向の内部隔壁14b、14cによって形成されており、内部隔壁13bと内部隔壁14bが交差する点、内部隔壁13bと内部隔壁14cが交差する点、内部隔壁13cと内部隔壁14bが交差する点、及び内部隔壁13cと内部隔壁14cが交差する点にそれぞれ位置するように、流出開口17bb、17cb、17bc、17ccが形成されている。

[0056] 他の実施形態に係る冷却システム800において、流出開口は、冷却槽12の底壁12aを貫通し液面19近傍まで延びる流出管170の一端に形成されている。例えば、図8を参照すると、収納部15bbに関し、流出開口17bb、17cb、17bc、17ccは、縦方向の内部隔壁13b、13cと、横方向の内部隔壁14b、14cによって形成されており、内部隔



壁13bと内部隔壁14bが交差する点、内部隔壁13bと内部隔壁14cが交差する点、内部隔壁13cと内部隔壁14bが交差する点、及び内部隔壁13cと内部隔壁14cが交差する点にそれぞれ位置する流出管170の一端に形成されている。なお、流出管の他端には、底部開口18aa、18ab、18ac、18ad、18ae、18ba、18bb、18bc、18bd、18be、18ca、18cb、18cc、18cd、18ce、18da、18db、18dc、18dd、18de、18ea、18eb、18ec、18ed、18ee（以下、まとめて「底部開口18aa～18ee」という場合がある。）が形成されている。

[0057] 流出開口が、各収納部を形成している複数の内部隔壁が互いに交差する位置に形成されている場合、各収納部に設けられる流出開口を、各収納部の四隅に分散して確保できるので有利である。例えば、収納部15bbでは、その四隅に配置される流出管170によって、流出開口17bb、17bc、17cb、及び17ccが形成されている。なお、このように流出開口が形成されている場合、1つの流出開口が複数の収納部にとっての共通の流出開口となりうる。例えば、流出開口17bbは、収納部15aaにとっての流出開口の一部であると同時に、収納部15ab、15ba、及び15bbにとっての流出開口の一部でもある。同様のことが、流出開口17bc、17cb、及び17ccについても当てはまる。ただし、各収納部について、流出管を設ける位置及び本数は任意であり、各収納部を形成している複数の内部隔壁が互いに交差する位置の近傍に流出管を1本又は複数本設けてよいことは勿論である。また、流出管は、内部隔壁と一体化されている必要はなく、内部隔壁から離れて配置された管であってもよい。

[0058] また、流出管170には、図8に示すように、流出管170の長手方向に1つ以上の小孔171が形成されていてよい。これら小孔171は、収納部の深さ方向の途中における第2の冷却液13の流通を促進する。一方、流入開口16aa～16ddは、図示のように円筒状の開口であることは必要でなく、例えば、複数のノズルを有するヘッダを円筒の一端に連結して、多数

のノズルによって流入開口を形成してもよい。

[0059] 各収納部 15 a a ~ 15 d d には、電子機器 100 が収納され、第 2 の冷却液 13 に浸漬されている。電子機器 100 は、先の一実施形態における電子機器と同様であり、ここでの詳しい説明を省略する。

[0060] 冷却槽 12 には、電子機器 100 の全体を浸漬するのに十分な量の第 2 の冷却液 13 が、液面 19 まで入れられている。第 2 の冷却液 13 は、先の一実施形態における第 2 の冷却液と同様であり、ここでの詳しい説明を省略する。

[0061] 冷却槽 12 には、各収納部 15 a a ~ 15 d d に設けられた流入開口 16 a a ~ 16 d d に向けて、分配管（図示せず）を介して第 2 の冷却液 13 を分配するための入口 16 と、各収納部 15 a a ~ 15 d d の流出開口 17 a a ~ 17 e e を通った第 2 の冷却液 13 を、集合管（図示せず）を介して集めるための出口 18 とが設けられている。

[0062] 各収納部 15 a a ~ 15 d d に収納された電子機器 100 が、動作中に所定の温度以下に保たれるよう、所望の温度に冷やされた第 2 の冷却液 13 が連続的に各収納部 15 a a ~ 15 d d 内を流通するようにするために、冷却槽 12 の出口 18 から出た第 2 の冷却液 13 を、第 3 の熱交換器で冷やし、冷えた冷却液を冷却槽 12 の入口 16 に戻す第 2 の流通路を構成するとよい。かかる流通路及び付随する設備の一例は、既に図 5 及び図 6 を参照して詳しく説明したので、ここでの説明を省略する。

[0063] 図 9 を参照して、他の実施形態に係る冷却システム 800 は、分散型の第 1 の熱交換器 22 a a、22 a b、22 a c、22 a d、22 b a、22 b b、22 b c、22 b d、22 c a、22 c b、22 c c、22 c d、22 d a、22 d b、22 d c、22 d d（以下、まとめて「分散型の第 1 の熱交換器 22 a a ~ 22 d d」と記載することがある。）を有している。分散型の第 1 の熱交換器 22 a a ~ 22 d d の各々が、各収納部 15 a a ~ 15 d d の上部に配置されている。分散型の第 1 の熱交換器 22 a a ~ 22 d d の各々は、一実施形態における第 1 の熱交換器と同様に、天板（図示せず）

に機械的に保持されていてよい。また、分散型の第1の熱交換器22aa～22ddの各々は、図1及び図5に示す例と同様に、高温側流路の入口及び出口と、低温側流路の入口及び出口とを有している。低温側流路の入口及び出口と、冷却槽12の外部に置かれた第2の熱交換器とが、第1の流通路（図示せず）により連結されていてよい。この連結は、分散型の第1の熱交換器22aa～22ddと同数の第2の熱交換器を用意して個別に連結する方法、分散型の第1の熱交換器22aa～22ddを、1つのグループがいくつか（例えば4つ）の熱交換器からなる複数（例えば4つ）のグループに分け、当該グループの数だけ第2の熱交換器を用意して個別に連結する方法、又は、分散型の第1の熱交換器22aa～22dd全部に対して1つの第2の熱交換器を連結する方法のいずれでもよい。また、高温側流路の入口と出口と、ポンプ（図示せず）と、冷却槽の入口及び出口とが、第2の流通路（図示せず）により連結されていてよい。

[0064] 次に、他の実施形態に係る冷却システム800の動作について説明する。入口16から入った第2の冷却液13は、図示しない分配管を介して、収納部15aa～15ddの底部に形成された流入開口16aa～16ddに向けて分配される。第2の冷却液13は、流入開口16aa～16ddから上方に吹き上がり、電子機器100のボード120上に搭載された、プロセッサに熱的に接続された沸騰冷却装置200及び周辺の電子部品（図示せず）を直接冷却する。例えば、第2の冷却液13は、流入開口16bbから吹き上がると、プロセッサに熱的に接続された沸騰冷却装置200並びに周辺の電子部品（図示せず）の表面から熱を奪い取りながら液面19に向けて上昇し、さらには流出開口17bb、17bc、17cb、17ccに向けて移動する。このとき、収納部15aa～15ddの体積は、冷却槽12の開放空間10aの体積の約1/16の体積と小さく、そこに収納される電子機器100も、冷却槽12の幅の約1/4の幅と小さいため、第2の冷却液13による電子機器100の冷却効率が極めてよく、また、電子機器100の周囲で第2の冷却液13が滞留するのを有効に防ぐことができる。

- [0065] 加えて、各収納部 15 a a ~ 15 d d において、分散型の第 1 の熱交換器 22 a a ~ 22 d d の各々は、第 2 の冷却液 13 から効率よく熱を奪う。このようにして、沸騰冷却装置 200 による主要な発熱源の局所冷却、二次冷却用の冷媒（第 2 の冷却液 13）による沸騰冷却装置 200 と周辺の電子部品（図示せず）全体の液浸冷却、及び分散型の第 1 の熱交換器 22 a a ~ 22 d d による二次冷却用の冷媒からの奪熱を含む三重の冷却が行われる。
- [0066] 上記の他の実施形態では、流入開口を各収納部の底部に形成する例を説明したが、流入開口を各収納部の側面に形成してもよい。
- [0067] 上記した他の実施形態に係る高密度冷却システムによれば、冷却槽の開放空間の体積の約  $1/4$  の体積か、約  $1/4$  よりも小さい体積（例えば、開放空間の体積の約  $1/9$ （縦  $3 \times$  横  $3$  に分割する場合）、 $1/12$ （縦  $3 \times$  横  $4$  に分割する場合）、 $1/16$ （縦  $4 \times$  横  $4$  に分割する場合））の収納部に、従来よりも小さい幅（例えば、約  $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ ）の電子機器を収納して、冷却液を個別に流通させることにより、複数の電子機器を、個別に効率よく冷却することができる。換言すると、他の実施形態に係る高密度冷却システムにおいては、温められた冷却液を冷却槽の中央部からも流出させることができるので、温められた冷却液を冷却槽の側面から流出させる従来技術におけるように、冷却液が冷却槽の中央付近に滞留して、冷却槽内の電子機器の収納位置によって冷却性能に差が生じるのを避けることができる。従って、複数の電子機器の冷却性能を向上させ、かつ冷却性能のばらつきを無くして安定化させることができる。また、収納部に収納する電子機器のサイズを小さくできるので、電子機器の取り扱い性及びメンテナンス性を向上させることができる。
- [0068] 図 7 ~ 図 9 に示す他の実施形態に係る高密度冷却システム 800 において、分散型の第 1 の熱交換器 22 a a ~ 22 d d を使用する例を説明したが、一実施形態に係る冷却システム 10 に関して図 1 及び図 5 に示したのと同様に、1 つの冷却槽 12 に対して、単一の第 1 の熱交換器及び単一の第 2 の熱交換器を使用してもよい。また、単一の第 1 の熱交換器 22 の設置場所は任

意であり、一実施形態に係る冷却システム10とその変形例に関して図1、図5及び図6に示したのと同様に、冷却槽12の内部でかつ液面19の上又は下のいずれに配置してもよく、冷却槽12の外部に配置してもよい。単一の第1の熱交換器及び単一の第2の熱交換器を使用する場合、第1の流路及び第2の流路をなす配管本数を最少化でき、二次冷却系の構成を最も簡素化できる。

[0069] 上記の一実施形態とその変形例、及び他の実施形態において、電子機器100のボード上に搭載されるプロセッサはCPU又はGPUのいずれか又は両方を含んでよく、また、図示しない高速メモリ、チップセット、ネットワークユニット、PCI Expressバスや、バススイッチユニット、SSD、パワーユニット（交流-直流変換器、直流-直流電圧変換器等）を含んでよい。また、電子機器100は、ブレードサーバを含むサーバ、ルータ、SSD等の記憶装置等の電子機器であってもよい。ただし、既に述べたように、他の実施形態においては、従来の一般的な幅よりも小さい幅（例えば、約1/2、1/3、1/4）の電子機器でよいことは勿論である。

[0070] また、上記の一実施形態とその変形例、及び他の実施形態において、沸騰冷却装置200における密閉容器210として、縦長の薄い箱形を有する例を図示しているが、これを横置きに、横長の箱形を有するものとして使用してもよい。また、密閉容器210の受熱側と放熱側とを、便宜上、縦長の箱形の密閉容器210の上半分と下半分に分けて説明したが、受熱側と放熱側が上下方向で共通化されていてもよい（ただし、プロセッサ110の発熱表面と熱的に接続される面側が受熱側となる）。

[0071] また、上記の一実施形態とその変形例、及び他の実施形態において、沸騰冷却装置200が、電子機器100に含まれる主要な発熱体であるプロセッサに熱的に接続される例を説明したが、本発明は、電子機器に含まれるすべての発熱体に対して、個別に沸騰冷却装置が熱的に接続されることを要求するものではなく、また、電子機器が例えばサーバ、ルータ、SSD等の記憶装置等の機器である場合に、当該電子機器全体を1つの発熱体として、1つ

又は複数の沸騰冷却装置が熱的に接続されることを要求するものでもない。電子機器に含まれる複数の発熱体のうちどの発熱体に対して、沸騰冷却装置をどのように熱的に接続するか、また、電子機器全体を1つの発熱体として1つ又は複数の沸騰冷却装置を熱的に接続するかは、電子機器の構造、特性、使用状態等に応じて当業者が任意に決定してよい。

### 産業上の利用可能性

[0072] 本発明は、電子機器を効率よく冷却する、冷却システムに広く適用することができる。

### 符号の説明

- [0073] 10、700、800 冷却システム
- 100 電子機器
  - 110 プロセッサ
  - 111 ダイ (チップ)
  - 112 ヒートスプレッド
  - 120 ボード
  - 200、300、400 沸騰冷却装置
  - 210 密閉容器
  - 211 受熱側
  - 212 放熱側
  - 220 放熱部材 (放熱フィン)
  - 10a 開放空間
  - 11 第1の冷却液
  - 12 冷却槽
  - 12a 底壁
  - 12b 側壁
  - 13 第2の冷却液
  - 13a、13b、13c、13d、13e 内部隔壁
  - 14a、14b、14c、14d、14e 内部隔壁

15aa、15ab、15ac、15ad、15ba、15bb、15bc、15bd、15ca、15cb、15cc、15cd、15da、15db、15dc、15dd 収納部

16 入口

16aa、16ab、16ac、16ad、16ba、16bb、16bc、16bd、16ca、16cb、16cc、16cd、16da、16db、16dc、16dd 流入開口

17aa、17ab、17ac、17ad、17ae、17ba、17bb、17bc、17bd、17be、17ca、17cb、17cc、17cd、17ce、17da、17db、17dc、17dd、17de、17ea、17eb、17ec、17ed、17ee 流出開口

170 流出管

171 小孔

18 出口

18aa、18ab、18ac、18ad、18ae、18ba、18bb、18bc、18bd、18be、18ca、18cb、18cc、18cd、18ce、18da、18db、18dc、18dd、18de、18ea、18eb、18ec、18ed、18ee 底部開口

19 液面

20 天板

21 導液板

22、500、600 第1の熱交換器

22aa、22ab、22ac、22ad、22ba、22bb、22bc、22bd、22ca、22cb、22cc、22cd、22da、22db、22dc、22dd 分散型の第1の熱交換器

311、312 伝熱プレート

321、421 高温側流路

322、422 低温側流路

|                   |          |
|-------------------|----------|
| 2 2 1、3 0 1、4 0 1 | 高温側流路の入口 |
| 2 2 2、3 0 2、4 0 2 | 高温側流路の出口 |
| 2 2 3、3 0 3、4 0 3 | 低温側流路の入口 |
| 2 2 4、3 0 4、4 0 4 | 低温側流路の出口 |
| 4 2 3             | 金属平板の壁   |
| 2 4               | 第2の熱交換器  |
| 2 6               | 第1の流通路   |
| 3 0               | 第2の流通路   |
| 4 0               | ポンプ      |
| 5 0               | 流量調整バルブ  |
| 7 0               | 流量計      |
| 9 0               | 第3の熱交換器  |



## 請求の範囲

- [請求項1] 電子機器を冷却液中に浸漬して直接冷却する、冷却システムであって、
- 少なくとも1つの発熱体を有する電子機器の前記発熱体に熱的に接続される沸騰冷却装置であって、沸点 $T_1$ を有する第1の冷却液が封入されている沸騰冷却装置と、
- 前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ と同じ又は前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$  ( $T_2 = T_1$ 又は $T_2 > T_1$ )を有する第2の冷却液が入れられた冷却槽であって、前記沸騰冷却装置及び前記電子機器が前記第2の冷却液中に浸漬されて直接冷却される冷却槽と、
- 狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第2の冷却液が通る高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ と同じ又は前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ よりも低い沸点 $T_3$  ( $T_3 = T_2$ 又は $T_3 < T_2$ )を有する第3の冷媒が通る低温側流路とが、壁を隔てて交互に設けられている第1の熱交換器であって、前記第2の冷却液から前記第3の冷媒に熱を伝える第1の熱交換器と、
- 前記冷却槽内で暖められた前記第2の冷却液を、前記第1の熱交換器の前記高温側流路の入口に向けて圧送するポンプと、
- を含む冷却システム。
- [請求項2] 前記沸騰冷却装置は、受熱側と放熱側を有する密閉容器と、前記放熱側に設けられた放熱部材とを有し、前記沸騰冷却装置及び前記電子機器が前記第2の冷却液中に浸漬されるとき、前記放熱側が前記受熱側より上に位置するように前記発熱体に熱的に接続されている、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項3] 前記第1の冷却液の沸点が $100^{\circ}\text{C}$ 以下であり、前記第2の冷却液の沸点が $150^{\circ}\text{C}$ 以上であり、前記第3の冷媒の沸点が $50^{\circ}\text{C}$ 以下である、請求項1又は2に記載の冷却システム。
- [請求項4] 前記第1の冷却液及び／又は前記第3の冷媒が、主成分としてフッ

化炭素化合物を含む、請求項3に記載の冷却システム。

[請求項5] 前記第2の冷却液が、主成分として完全フッ素化物を含む、請求項3に記載の冷却システム。

[請求項6] 前記第1の熱交換器が、プレート式熱交換器、又はマイクロチャネル熱交換器である、請求項1に記載の冷却システム。

[請求項7] 前記冷却槽の外部に置かれた、前記第3の冷媒を冷やす第2の熱交換器をさらに有し、前記第1の熱交換器の前記低温側流路の入口及び出口と、前記第2の熱交換器とは、第1の流通路により連結されている、請求項1に記載の冷却システム。

[請求項8] 前記冷却槽の外部に置かれた、前記第2の冷却液を冷やす第3の熱交換器をさらに有し、前記冷却槽の前記第2の冷却液の入口及び出口と、前記第1の熱交換器の前記高温側流路の入口及び出口と、前記ポンプと、前記第3の熱交換器とは、第2の流通路により連結されている、請求項1に記載の冷却システム。

[請求項9] 前記冷却槽が、前記冷却槽の上部開口に対して着脱可能又は開閉可能に取り付けられた天板を有し、該天板が前記第1の熱交換器を保持している、請求項1に記載の冷却システム。

[請求項10] 複数の電子機器を冷却液中に浸漬して直接冷却する冷却システムであって、

底壁及び側壁によって形成される開放空間を有する冷却槽と、

前記冷却槽内に複数の内部隔壁を設けることにより前記開放空間を分割して形成される、配列された複数の収納部であって、各収納部に少なくとも1つの電子機器を収納するための収納部と、

前記複数の収納部の各々に形成される、冷却液の流入開口及び流出開口と、

を有し、

前記流入開口は、各収納部の底部又は側面に形成され、前記流出開口は、各収納部を流通する前記冷却液の液面近傍に形成されており、

前記冷却システムはさらに、

前記少なくとも1つの電子機器が有する少なくとも1つの発熱体に熱的に接続される沸騰冷却装置であって、沸点 $T_1$ を有する第1の冷却液が封入されている沸騰冷却装置と、

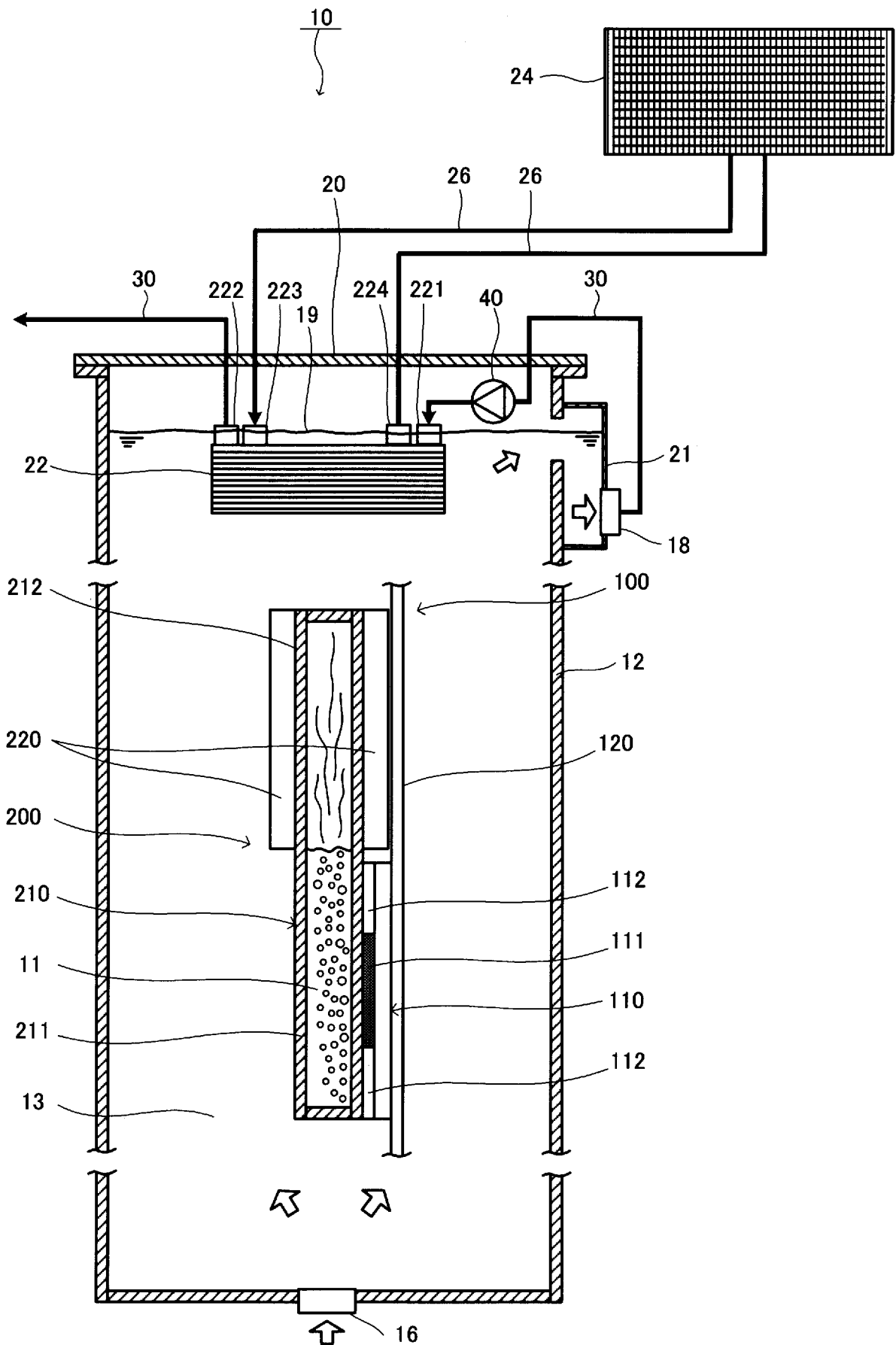
狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ と同じ又は前記第1の冷却液の沸点 $T_1$ よりも高い沸点 $T_2$  ( $T_2 = T_1$ 又は $T_2 > T_1$ )を有する第2の冷却液が通る高温側流路と、狭い隙間又は微小流路の集合体からなり前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ と同じ又は前記第2の冷却液の沸点 $T_2$ よりも低い沸点 $T_3$  ( $T_3 = T_2$ 又は $T_3 < T_2$ )を有する第3の冷媒が通る低温側流路とが、壁を隔てて交互に設けられている第1の熱交換器であって、前記第2の冷却液から前記第3の冷媒に熱を伝える第1の熱交換器と、

前記冷却槽内で暖められた前記第2の冷却液を、前記第1の熱交換器の前記高温側流路の入口に向けて圧送するポンプと、を有し、

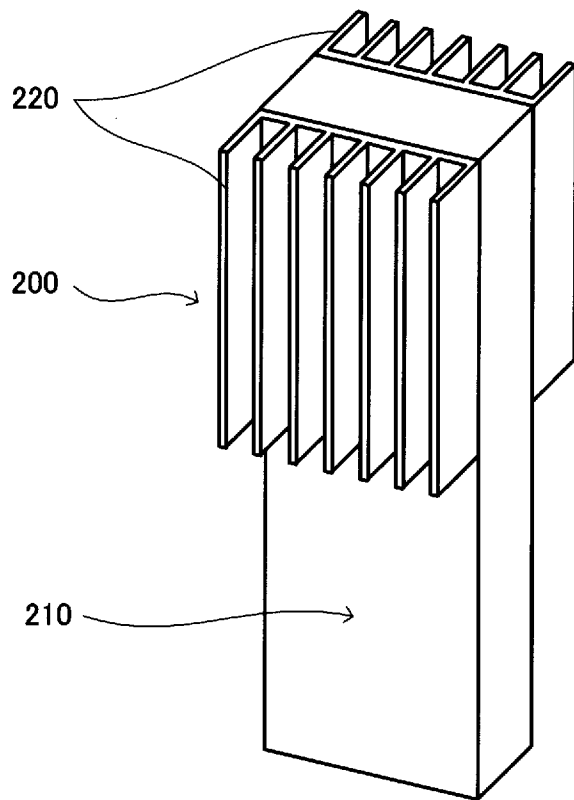
前記複数の収納部の各々において、前記沸騰冷却装置及び前記少なくとも1つの電子機器が各収納部内の前記第2の冷却液中に浸漬されて直接冷却される、

冷却システム。

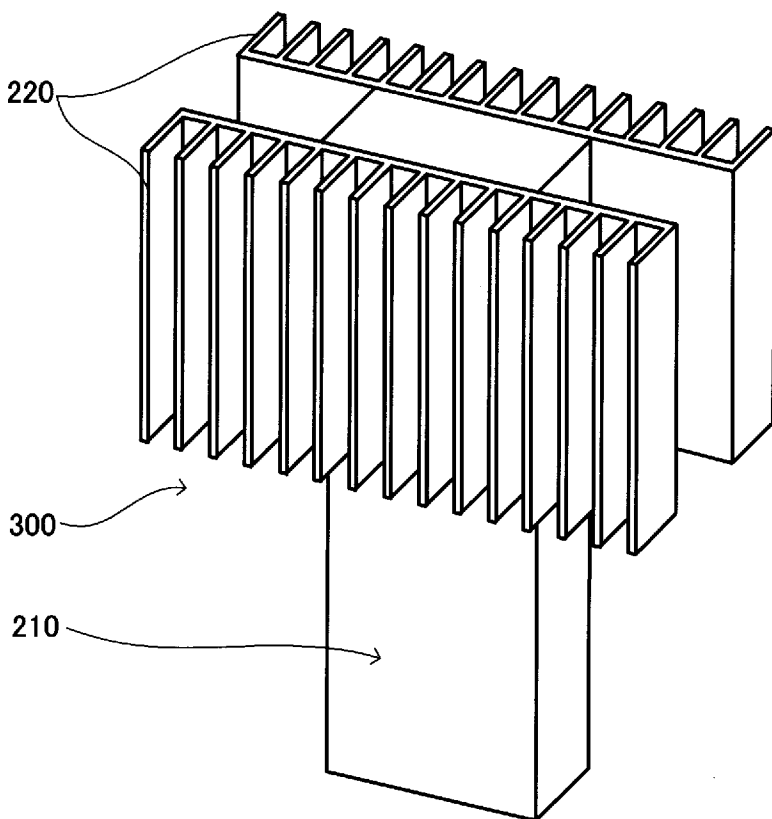
[図1]



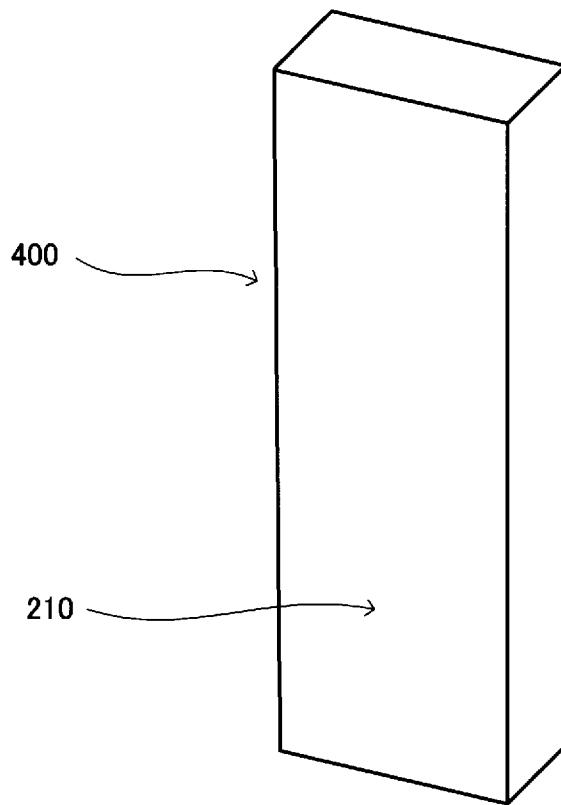
[図2A]



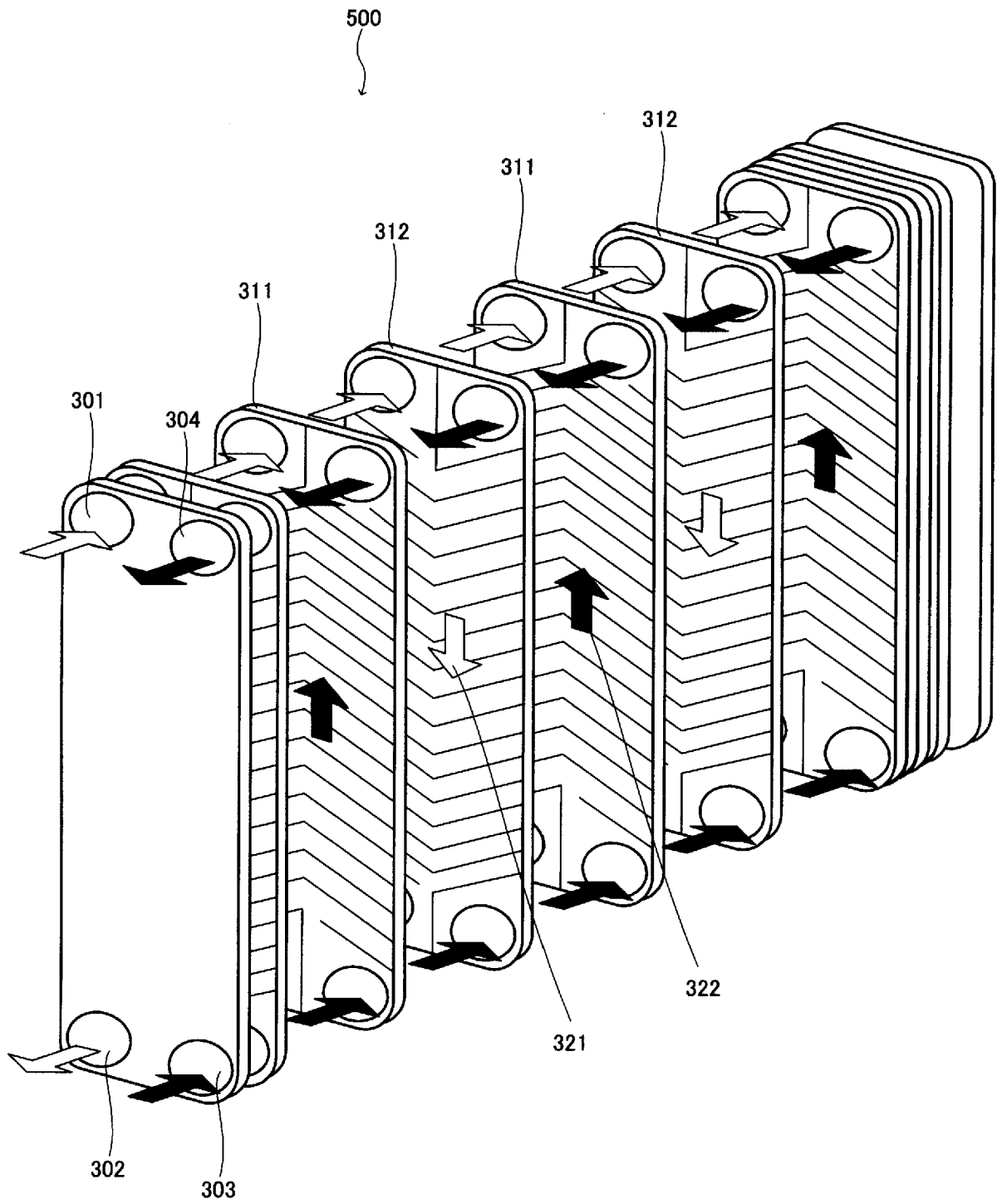
[図2B]



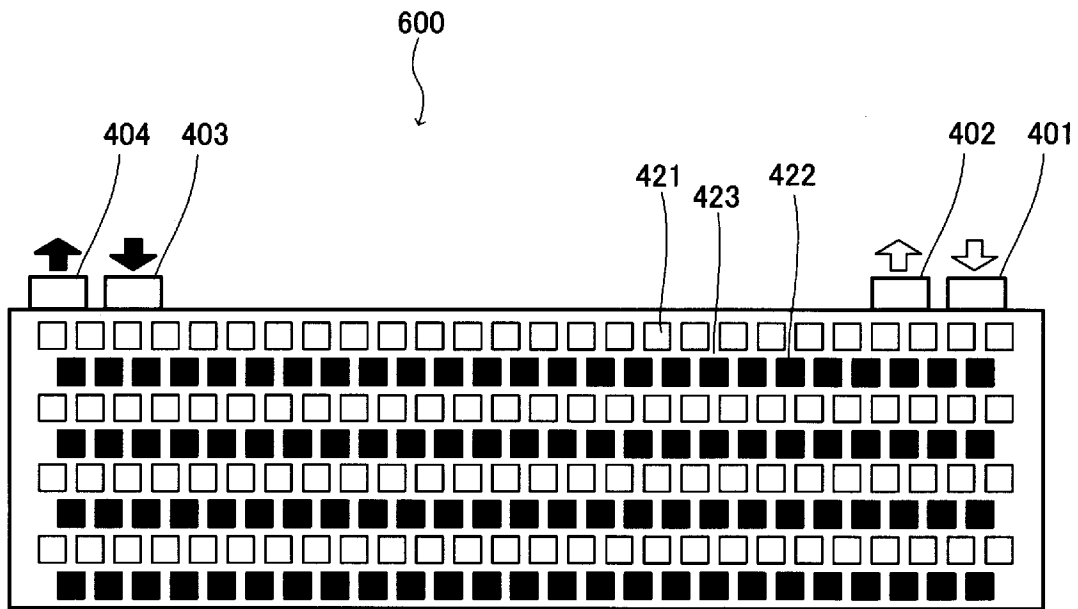
[図2C]



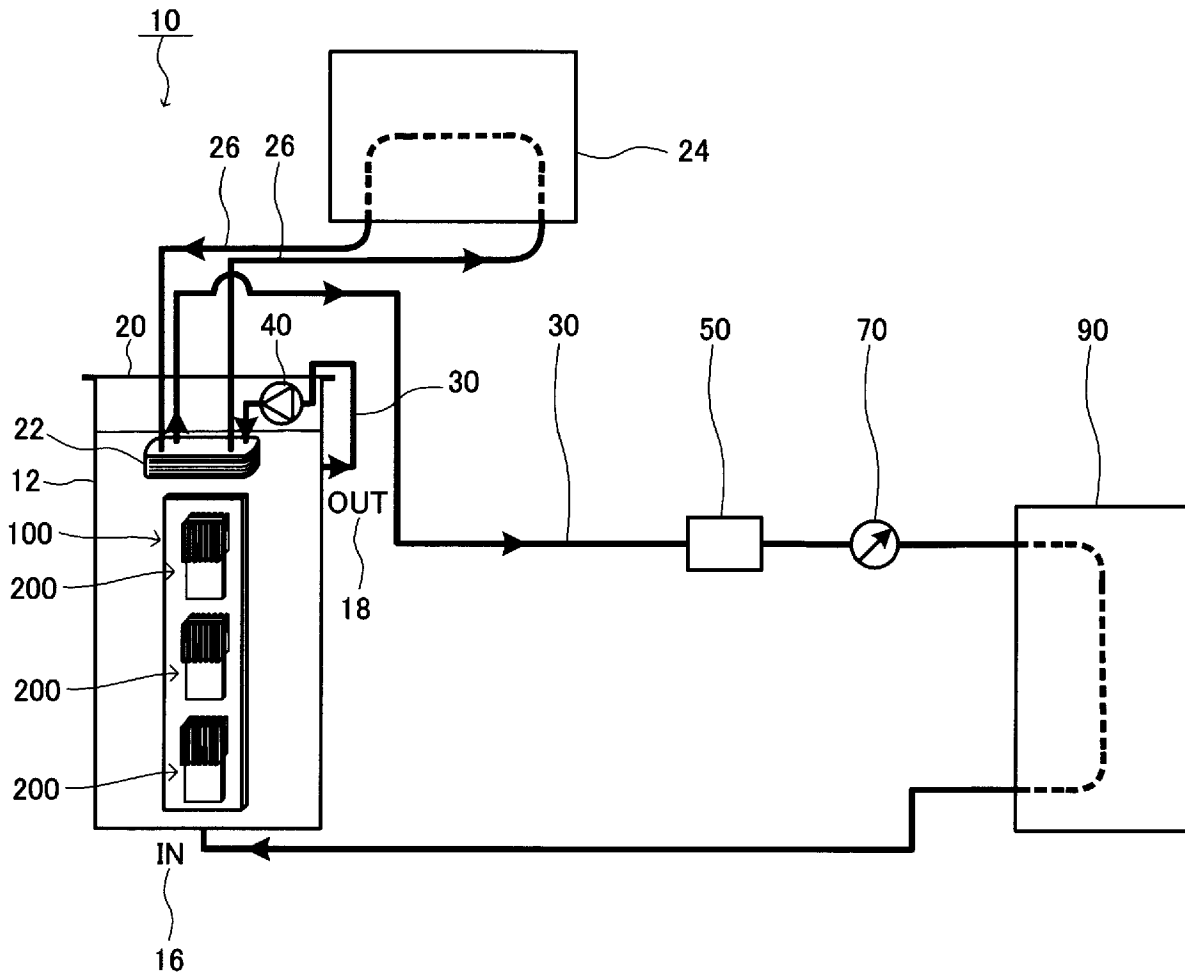
[図3]



[図4]

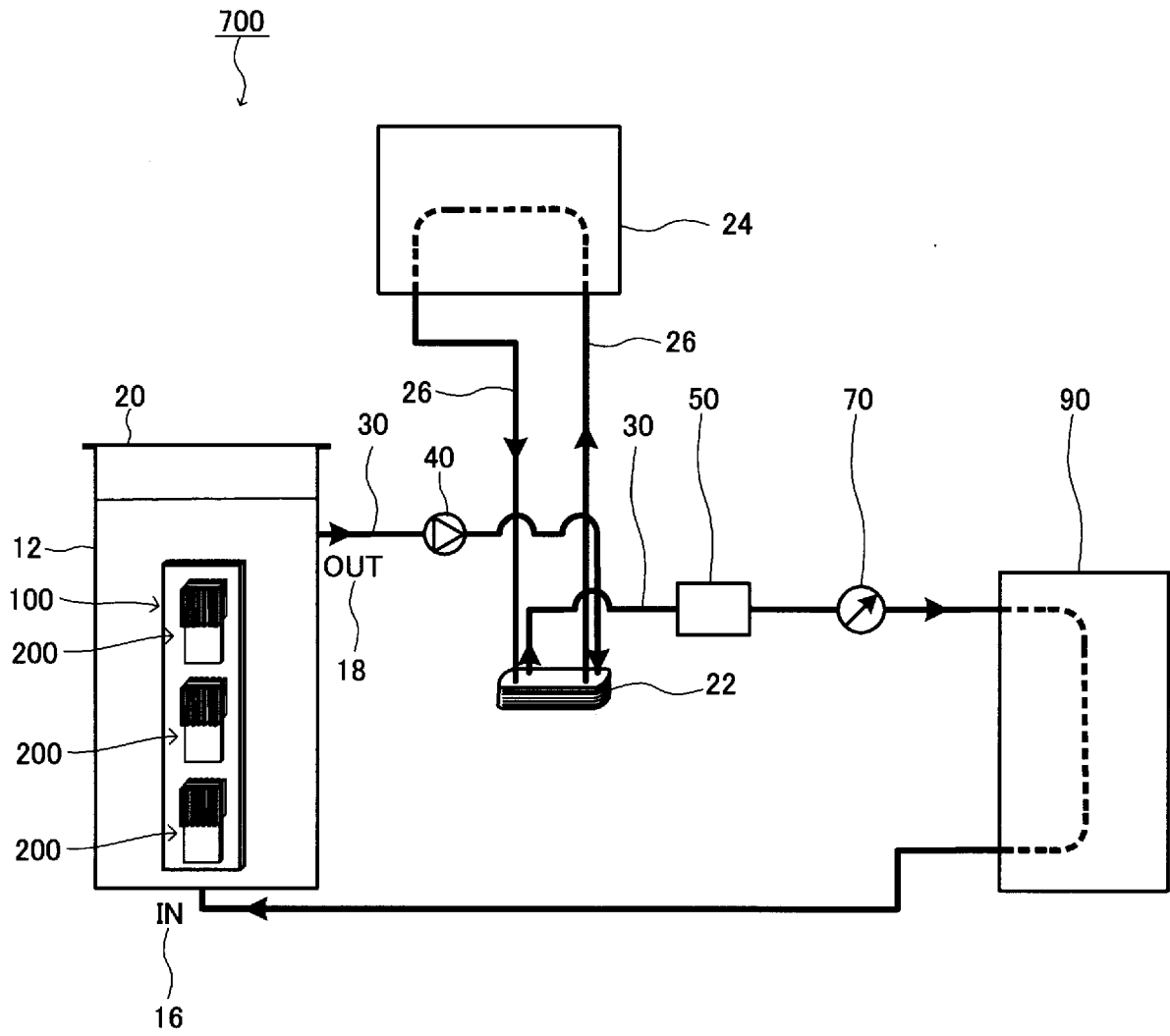


[図5]

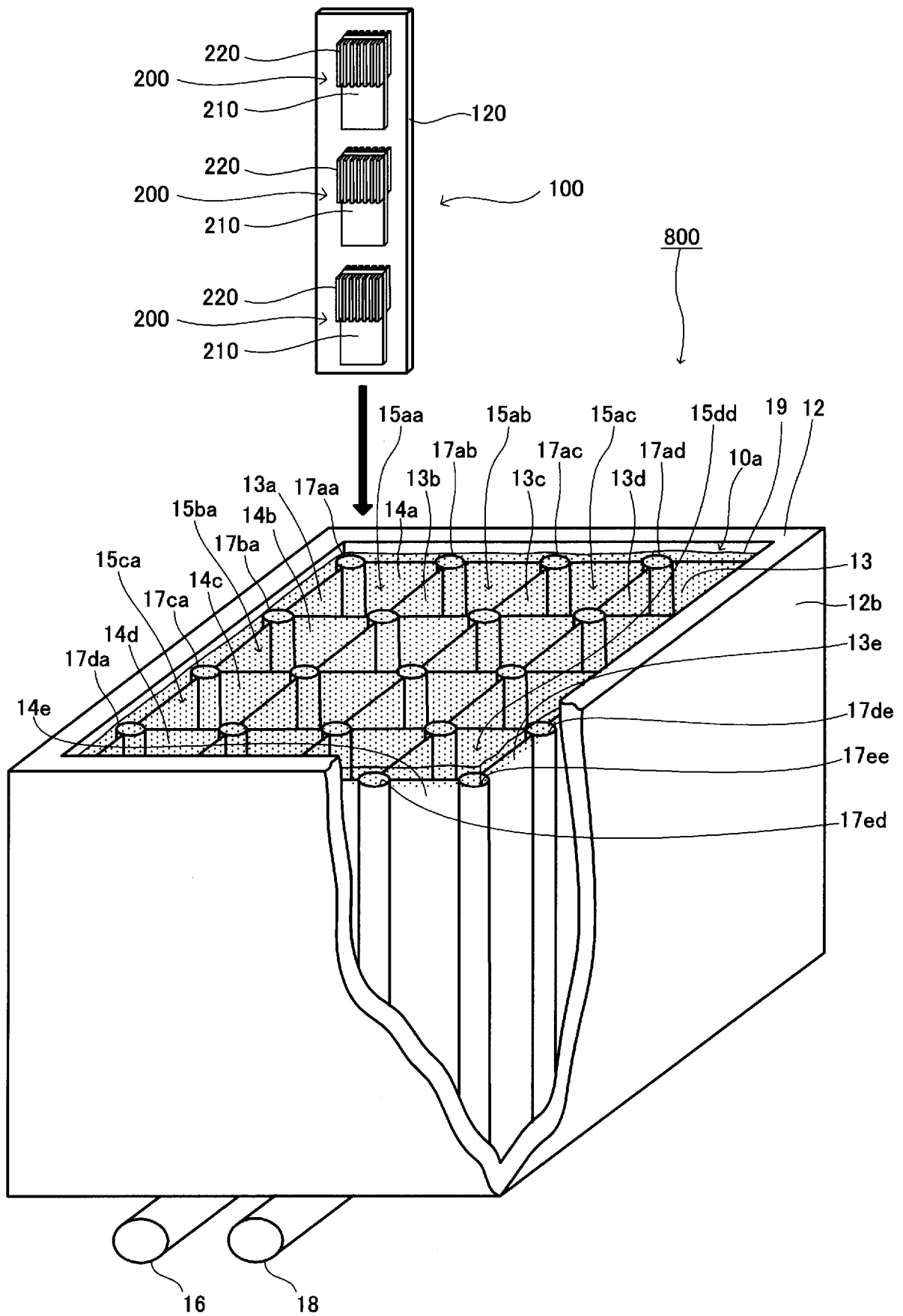




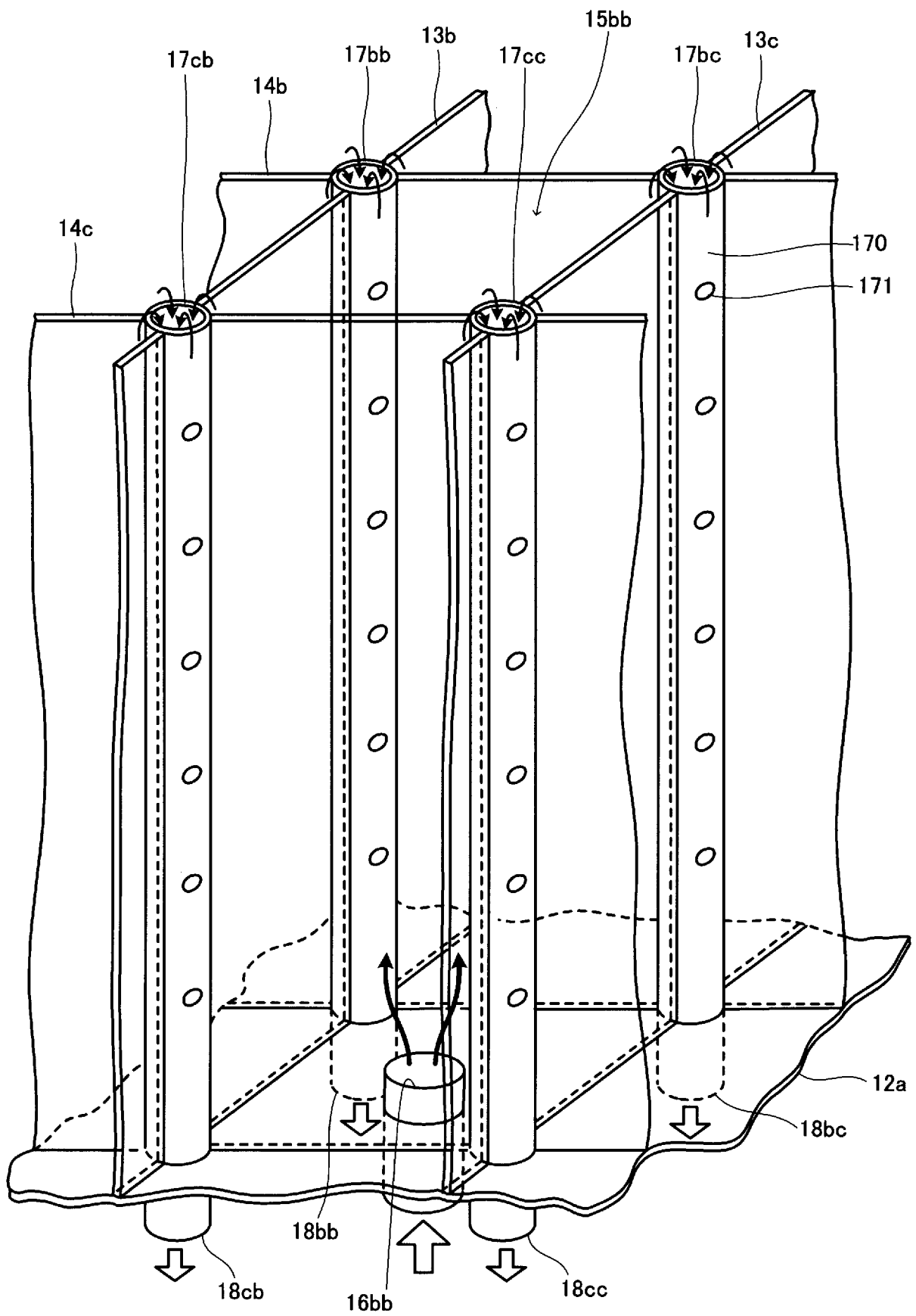
[図6]



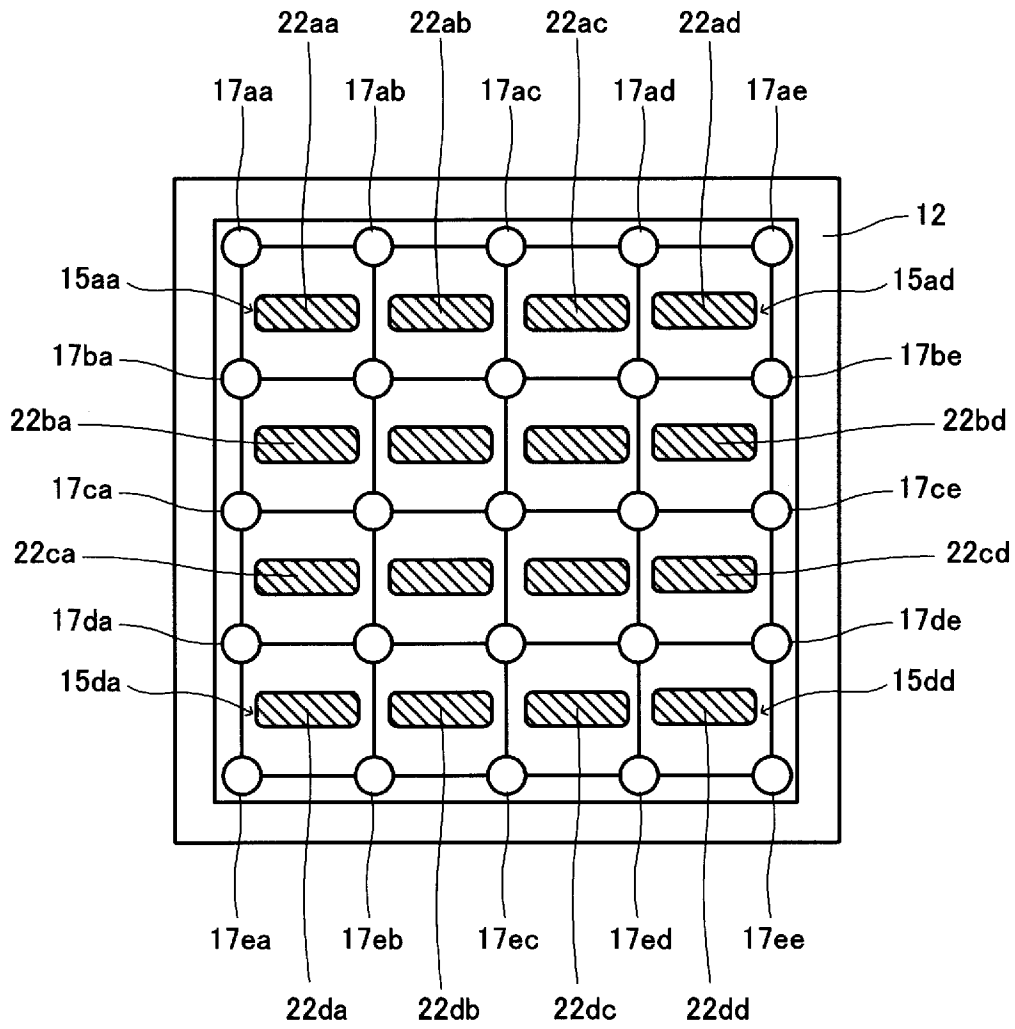
[図7]



[図8]



[図9]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/074814

| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER<br>H01L23/473(2006.01)i, G06F1/20(2006.01)i, H05K7/20(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)<br>H01L23/473, G06F1/20, H05K7/20   |  |                            |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched   |  |                            |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| <table border="0"> <tr> <td>Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1922-1996</td> <td>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td>1996-2015</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2015</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2015</td> </tr> </table>   |  |                            | Jitsuyo Shinan Koho                      | 1922-1996   | Jitsuyo Shinan Toroku Koho   | 1996-2015  | Kokai Jitsuyo Shinan Koho   | 1971-2015  | Toroku Jitsuyo Shinan Koho  | 1994-2015                                     |  |  |  |  |
| Jitsuyo Shinan Koho   | 1922-1996  | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2015                                |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho   | 1971-2015  | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2015                                |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| 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 2013-007501 A (NEC Corp.),<br>10 January 2013 (10.01.2013),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)  | 1-10                       |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| A   | JP 02-214147 A (Fujitsu Ltd.),<br>27 August 1990 (27.08.1990),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)  | 1-10                       |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| A   | JP 61-054654 A (Fujitsu Ltd.),<br>18 March 1986 (18.03.1986),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)   | 1-10                       |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.  |  |                            |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| <table border="0"> <tr> <td>* Special categories of cited documents:</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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)</td> <td>"&amp;" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </table> |  |                            | * 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 |  |
| * 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<br>26 October 2015 (26.10.15)   | Date of mailing of the international search report<br>02 November 2015 (02.11.15)  |                            |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |
| Name and mailing address of the ISA/<br>Japan Patent Office<br>3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,<br>Tokyo 100-8915, Japan  | Authorized officer<br><br>Telephone No.  |                            |  |   |  |  |   |  |   |   |  |  |  |  |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/074814

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A         | JP 04-226057 A (Fujitsu Ltd.),<br>14 August 1992 (14.08.1992),<br>entire text; all drawings<br>& US 5349499 A & US 6193905 B1<br>& EP 456508 A2 & CA 2042260 A<br>& KR 10-1995-0002271 B & CA 2042260 A1 | 1-10                  |
| A         | WO 2012/025981 A1 (Fujitsu Ltd.),<br>01 March 2012 (01.03.2012),<br>entire text; all drawings<br>& US 2013/0139998 A1  | 1-10                  |
| A         | JP 2008-025858 A (Toshiba Corp.),<br>07 February 2008 (07.02.2008),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)   | 1-10                  |
| A         | JP 04-207098 A (Fujitsu Ltd.),<br>29 July 1992 (29.07.1992),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)  | 1-10                  |

|   |   |                |
|---|---|----------------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>Int.Cl. H01L23/473(2006.01)i, G06F1/20(2006.01)i, H05K7/20(2006.01)i   |   |                |
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））<br>Int.Cl. H01L23/473, 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<br>日本国実用新案公報 1922-1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971-2015年<br>日本国実用新案登録公報 1996-2015年<br>日本国登録実用新案公報 1994-2015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<br>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<br>請求項の番号 |
| A   | JP 2013-007501 A（日本電気株式会社）2013.01.10, 全文, 全図（ファミリーなし） | 1-10           |
| A   | JP 02-214147 A（富士通株式会社）1990.08.27, 全文, 全図（ファミリーなし）    | 1-10           |
| A   | JP 61-054654 A（富士通株式会社）1986.03.18, 全文, 全図（ファミリーなし）    | 1-10           |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <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<br>「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<br>「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<br>「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）<br>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>「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<br>「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<br>「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<br>「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<br>「&」 同一パテントファミリー文献 |   |                |
| 国際調査を完了した日<br>26. 10. 2015  | 国際調査報告の発送日<br>02. 11. 2015                            |                |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁（ISA/J P）<br>郵便番号100-8915<br>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）<br>小山 和俊<br>電話番号 03-3581-1101 内線 3551 | 5D 9369        |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |   |                |
|-----------------------|---|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリ*        | 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<br>請求項の番号 |
| A                     | JP 04-226057 A (富士通株式会社) 1992. 08. 14, 全文, 全図 & US 5349499 A & US 6193905 B1 & EP 456508 A2 & CA 2042260 A & KR 10-1995-0002271 B & CA 2042260 A1 | 1-10           |
| A                     | WO 2012/025981 A1 (富士通株式会社) 2012. 03. 01, 全文, 全図 & US 2013/0139998 A1   | 1-10           |
| A                     | JP 2008-025858 A (株式会社東芝) 2008. 02. 07, 全文, 全図 (ファミリーなし)  | 1-10           |
| A                     | JP 04-207098 A (富士通株式会社) 1992. 07. 29, 全文, 全図 (ファミリーなし)   | 1-10           |