

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4269060号
(P4269060)

(45) 発行日 平成21年5月27日(2009.5.27)

(24) 登録日 平成21年3月6日(2009.3.6)

(51) Int. Cl.	F I
H05K 7/20 (2006.01)	H05K 7/20 Q
H01L 23/427 (2006.01)	H01L 23/46 A
F28D 15/02 (2006.01)	F28D 15/02 L

請求項の数 18 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2008-505028 (P2008-505028)	(73) 特許権者 504145342 国立大学法人九州大学 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号
(86) (22) 出願日 平成19年2月22日(2007.2.22)	(74) 代理人 100094053 弁理士 佐藤 隆久
(86) 国際出願番号 PCT/JP2007/053297	(72) 発明者 大田 治彦 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内
(87) 国際公開番号 W02007/105450	(72) 発明者 新本 康久 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号内 国立大学法人九州大学内
(87) 国際公開日 平成19年9月20日(2007.9.20)	審査官 川内野 真介
審査請求日 平成20年7月28日(2008.7.28)	
(31) 優先権主張番号 特願2006-45558 (P2006-45558)	
(32) 優先日 平成18年2月22日(2006.2.22)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	
早期審査対象出願	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 除熱方法及び除熱装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

除熱対象物に沿って延びるように設けられた、前記除熱対象物に沿う面の幅よりも流路長さが大きい除熱用流路の流路方向の所定範囲において、前記除熱用流路の前記除熱対象物に沿う面を構成するとともに前記除熱対象物に当接する板状部の側方の、前記除熱用流路の側壁において前記除熱用流路内へ開口する開口部から、前記除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、前記板状部の内側面に前記所定範囲に亘って前記冷媒の液膜を形成し、当該液膜を前記除熱対象物からの熱により蒸発させ、蒸発させた前記冷媒を前記除熱用流路から排出することにより、前記除熱対象物を除熱する除熱方法。

【請求項2】

前記所定範囲に亘る複数位置において前記液状の冷媒を供給する
請求項1に記載の除熱方法。

【請求項3】

除熱対象物に隣接して設けられた除熱用流路の流路方向の所定範囲において前記除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、前記除熱用流路を形成するとともに前記除熱対象物に当接する板状部の内側面に前記所定範囲に亘って前記冷媒の液膜を形成し、当該液膜を前記除熱対象物からの熱により蒸発させ、蒸発させた前記冷媒を前記除熱用流路から排出することにより、前記除熱対象物を除熱し、

前記除熱用流路内への液状の冷媒の供給を、前記除熱用流路に沿って延び、外周面が前記板状部に向かって前記除熱用流路内に突出する液体供給用流路の、前記外周面に形成さ

れた前記板状部の内側面に向かって開口する開口部から行う
除熱方法。

【請求項 4】

除熱対象物に沿って延びるように設けられる、前記除熱対象物に沿う面の幅よりも流路長さが大きい除熱用流路と、

前記除熱用流路の流路方向の所定範囲において、前記除熱用流路の前記除熱対象物に沿う面を構成するとともに前記除熱対象物に当接する板状部の側方の、前記除熱用流路の側壁において前記除熱用流路内へ開口する開口部から、前記除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、前記板状部の内側面に前記所定範囲に亘って前記冷媒の液膜を形成するように構成された液体供給部と、

を備える除熱装置。

【請求項 5】

前記開口部は、前記除熱用流路の前記板状部に対向する面に対してよりも、前記板状部に対して、近い位置にて開口している

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 6】

前記開口部は、互いに対向する 2 つの前記側壁にそれぞれ設けられており、

前記液体供給部は、前記 2 つの側壁の間において、前記除熱用流路の前記板状部に対向する面から、前記板状部に向かって突出する突出部の、前記板状部に向かって開口する第 2 の開口部からも液状の冷媒を供給可能である

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 7】

前記除熱用流路における前記冷媒の全流量に対する蒸発させた前記冷媒の流量の質量割合が 0.2 以上である

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 8】

前記除熱用流路への液状の冷媒の供給量を、前記質量割合が 0.2 以上となるように設定された目標値に近づくように制御する制御器を備える

請求項 7 に記載の除熱装置。

【請求項 9】

前記液体供給部は、前記所定範囲に亘る複数位置において前記液状の冷媒を供給する

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 10】

前記液体供給部は、前記板状部の側方において前記除熱用流路に沿って延び、前記側壁によって隔てられた液体供給用流路を有し、前記開口部は、前記液体供給用流路から前記除熱用流路への液状の前記冷媒の通過を許容するように構成されている

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 11】

前記除熱用流路は、流路方向において複数の区画に仕切られ、当該複数の区画には、気体状の前記冷媒を排出する排出口がそれぞれ設けられている

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 12】

前記除熱用流路は、流路方向の両端に前記冷媒の排出口が設けられている

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 13】

前記板状部の内側面には、前記液状の冷媒を表面張力により張り付かせて前記冷媒の液膜を前記内側面に広げる溝部が設けられている

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 14】

前記溝部は前記除熱用流路を横切る方向に延びる

10

20

30

40

50

請求項 13 に記載の除熱装置。

【請求項 15】

前記溝部は前記除熱用流路に沿う方向に延びる

請求項 13 に記載の除熱装置。

【請求項 16】

前記板状部の内側面には、液状の前記冷媒を浸透させて前記冷媒の液膜を前記内側面に広げるシートが張られている

請求項 4 に記載の除熱装置。

【請求項 17】

前記板状部の内側面は、粗面加工されている

請求項 4 に記載の除熱装置。

10

【請求項 18】

除熱対象物に隣接して設けられる除熱用流路と、

前記除熱用流路の流路方向の所定範囲において前記除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、前記除熱用流路を形成するとともに前記除熱対象物に当接する板状部の内側面に前記所定範囲に亘って前記冷媒の液膜を形成するように構成された液体供給部と、

を備え、

前記液体供給部は、前記除熱用流路に沿って延び、外周面が前記板状部に向かって前記除熱用流路内に突出し、前記外周面に前記板状部に向かって開口する開口部が形成され、前記開口部から前記除熱用流路に液状の前記冷媒を供給する液体供給用流路を有する

除熱装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、除熱方法及び除熱装置に関する。

【背景技術】

【0002】

除熱対象物に隣接する流路に液状の冷媒を流し、除熱対象物と冷媒との間の熱交換により除熱対象物を冷却する技術が知られている。当該技術は、電子機器の発熱密度の飛躍的増大、電力変換用の大型半導体の普及などにより、一層、大面積からの高熱流束での除熱が要求されている。

30

【0003】

図 14 は、従来の除熱用流路 501 について、大面積からの除熱を行うために流路を長くした場合等に生じる問題を説明する図である。図 14 では、平面図を紙面左側に示し、平面図の y 501 ~ y 504 の位置における断面図を、y 501 ~ y 504 の位置の紙面右側に示している。

【0004】

除熱用流路 501 は、図 14 の紙面左側の平面図に示すように、y 方向へ延び、矢印 A 501 で示すように、端部 501 a から液状の冷媒 RL が流し込まれる。除熱対象物（不図示）は、例えば除熱用流路 501 の z 方向の負側に配置され、図 14 の紙面右側の断面図の矢印 A 502 で示すように、除熱用流路 501 の底面 501 b を加熱している。換言すれば、除熱用流路 501 は底面 501 b により除熱対象物を除熱している。

40

【0005】

y 501 の位置では、液状の冷媒 RL は除熱用流路 501 を満たしている。y 502 の位置では、液状の冷媒 RL のうち一部が蒸発し、気体状の冷媒 RG により気泡が生じている。なお、気泡は、除熱用流路 501 のうち、加熱されている底面 501 b 側に生じる。y 503 の位置では気泡が拡大、結合しており、底面 501 b 側における液状の冷媒 RL は少量になっている。そして、y 504 の位置では、底面 501 b 側には気体状の冷媒 RG のみが存在し、底面 501 b の対向面である上面 501 c のみに液状の冷媒 RL が液膜状に存在している。

50

【0006】

すなわち、除熱用流路501を長くすると、y504の位置において示すように、いわゆるバーンアウト現象が生じ、除熱対象物は液状の冷媒RLと熱交換を十分に行うことができず、冷却能力が著しく低下する。従って、図14に示す除熱用流路501では、除熱用流路501の上流側から下流側に亘って液状の冷媒RLが満たされるようにすることが前提とされている。

【0007】

特許文献1では、除熱用流路としての主流路よりも除熱対象物から離れた位置に、主流路に沿って延びる副流路を設け、主流路と副流路とを連通する複数の連通孔を介して副流路から主流路へ液状の冷媒を供給することにより、主流路の上流側から下流側までの液状の冷媒の温度の均一化を図る技術が開示されている。また、特許文献1では、主流路に生じた気泡を破碎するための破碎装置を設けてバーンアウト現象を防止している。

10

【特許文献1】特開2005-79337号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

図14に示した従来技術や特許文献1の技術は、除熱用流路(主流路)に満たされた液状の冷媒を流すことを基本としていることから、種々の問題を生じるおそれがある。例えば、除熱に潜熱が利用される冷媒は、主流路を流れる冷媒のうちごく一部に限られる。このため、熱流束は小さくならざるを得ない。除熱対象物から所要の熱量を除熱するためには除熱面積に対して大量の冷媒を流さなければならず、除熱装置が大型化したり、必要なポンプ動力が増大する。また仮にそうしても下流方向に伸びた大面積からの除熱では下流において図14のy504の位置のようなバーンアウトに至ることも十分に予測される。これらの理由から大面積からの除熱が困難になる等の問題が生じるおそれがある。この他にも、副流路の冷媒の流れが主流路の冷媒の流れに合流することから、主流路の流れに圧力損失や脈動が生じる、主流路に生じた気泡を破碎するための部材や装置を設けなければならない等の問題が生じるおそれもある。

20

【0009】

大面積からの高熱流束での除熱が可能な除熱方法及び除熱装置が提供されることが望ましい。

30

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の第1の観点の除熱方法は、除熱対象物に隣接して設けられた除熱用流路の所定方向の複数位置において前記除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、前記除熱用流路の内周面に前記複数位置に亘って前記冷媒の液膜を形成し、当該液膜を前記除熱対象物からの熱により蒸発させ、蒸発させた前記冷媒を前記除熱用流路から排出することにより、前記除熱対象物を除熱する。

【0011】

好適には、前記所定方向は前記除熱用流路の流路方向である。

【0012】

本発明の第2の観点の除熱方法は、除熱対象物に隣接して設けられた除熱用流路の流路方向の所定範囲において前記除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、前記除熱用流路の内周面に前記所定範囲に亘って前記冷媒の液膜を形成し、当該液膜を前記除熱対象物からの熱により蒸発させ、蒸発させた前記冷媒を前記除熱用流路から排出することにより、前記除熱対象物を除熱する。

40

【0013】

本発明の第3の観点の除熱装置は、除熱対象物に隣接して設けられる除熱用流路と、前記除熱用流路の所定方向の複数位置において前記除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、前記除熱用流路の内周面に前記複数位置に亘って前記冷媒の液膜を形成するように構成された液体供給部と、を備える。

50

【 0 0 1 4 】

好適には、前記所定方向は前記除熱用流路の流路方向である。

【 0 0 1 5 】

好適には、前記液体供給部は、前記除熱用流路に隣接し、液状の前記冷媒が流れる液体供給用流路を備え、前記除熱用流路と前記液体供給用流路とを隔てる壁部には、前記液体供給用流路から前記除熱用流路への液状の前記冷媒の通過を許容するように構成された冷媒通過部が前記複数位置に設けられている。

【 0 0 1 6 】

好適には、前記除熱用流路は、流路方向において複数の区画に仕切られ、当該複数の区画には、気体状の前記冷媒を排出する排出口がそれぞれ設けられている。

10

【 0 0 1 7 】

好適には、前記除熱用流路は、流路方向の両端に前記冷媒の排出口が設けられている。

【 0 0 1 8 】

好適には、前記除熱用流路の内周面には、溝部が設けられている。

【 0 0 1 9 】

好適には、前記除熱用流路の内周面には、当該除熱用流路を横切る方向に延びる溝部が設けられている。

【 0 0 2 0 】

好適には、前記除熱用流路の内周面には、当該除熱用流路に沿う方向に延びる溝部が設けられている。

20

【 0 0 2 1 】

好適には、前記除熱用流路の内周面には、前記液状の冷媒が浸透するシートが張られている。

【 0 0 2 2 】

好適には、前記除熱用流路の内周面は、粗面加工されている。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、大面積から高熱流束で除熱ができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 本発明の実施形態の除熱装置の全体構成を示す図。

【 図 2 】 図 1 の除熱装置の除熱部の構成例を模式的に示す図。

【 図 3 】 図 2 A ~ 図 2 C の除熱部の構造例における除熱方法を説明する図。

【 図 4 】 図 1 の除熱装置の効果を別の観点から捉えて説明する図。

【 図 5 】 加熱長さの観点から除熱用流路への液体供給方法の変形例を説明する図。

【 図 6 】 除熱用流路への液体の供給方法の変形例を示す断面図。

【 図 7 】 液体供給用流路及び除熱用流路における流れのパターンを説明する図。

【 図 8 】 液体供給用流路及び除熱用流路における流れのパターンを 3 次的に拡張した変形例を示す図。

【 図 9 】 除熱用流路と液体供給用流路とを仕切る壁部や連通孔の変形例を示す斜視図。

40

【 図 1 0 】 除熱用流路の内周面のパターン例を説明する図。

【 図 1 1 】 除熱用流路を流路の幅方向へ拡大した変形例を示す図。

【 図 1 2 】 除熱用流路を流路方向へ拡大した変形例を示す図。

【 図 1 3 】 除熱装置の全体構成の変形例を示す図。

【 図 1 4 】 従来の除熱用流路を示す図。

【 図 1 5 】 液体供給用流路から除熱用流路への液状の冷媒の供給量を説明する図。

【 図 1 6 】 冷媒通過部の流動抵抗を液体供給用流路の上流部で小さく、下流部で大きくした例を示す図。

【 図 1 7 】 本発明の応用例を示す図。

【 図 1 8 】 本発明の他の応用例を示す図。

50

【図 19】本発明の効果を説明する図。

【符号の説明】

【0025】

1...除熱装置、12...除熱部、31...除熱用流路、32...液体供給用流路、38...連通孔、HO...除熱対象物。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

図1は、本発明の実施形態に係る除熱装置1の全体構成を示す図である。除熱装置1は、液状の冷媒RLを貯留する貯液槽3と、貯液槽3等の冷媒を送出するポンプ5と、ポンプ5から送出された冷媒により除熱対象物HO（図2A～図2C参照）を除熱する除熱部12と、除熱部12から流出した気体状の冷媒を凝縮する凝縮部14と、凝縮部14から流出した冷媒を気体状の冷媒と液状の冷媒とに分離する気液分相器19と、気液分相器19から流出した冷媒をポンプ5のキャビテーション防止のために過冷却する過冷却部21とを備える。過冷却部21により過冷却された冷媒は、ポンプ5により送出され、あるいは、貯液槽3に貯留される。

10

【0027】

貯液槽3は、例えばアキュムレータにより構成されており、除熱装置1の循環系の圧力を所定の圧力に保つほか、負荷変動に応じた流体温度微調整にも用いられる。ポンプ5は、モータ6により駆動され、モータ6の動作は制御器7により制御される。凝縮部14は、例えば空冷式であり、冷媒と熱交換を行う空気がファン15により送り込まれる。ファン15はモータ16により駆動され、モータ16の動作は制御器17により制御される。過冷却部21は、例えば空冷式であり、冷媒と熱交換を行う空気がファン22により送り込まれる。ファン22はモータ23により駆動され、モータ23の動作は制御器24により制御される。

20

【0028】

ポンプ5と除熱部12との間には、除熱部12に流入する液状の冷媒RLの流量を検出する流量センサ9と、除熱部12に流入する液状の冷媒RLの温度を検出する温度センサ10とが設けられている。制御器7は流量センサ9の検出結果に基づいてモータ6の動作を制御し、制御器17は温度センサ10の検出結果に基づいてモータ16の動作を制御し、制御器24は温度センサ10の検出結果に基づいてモータ23の動作を制御する。

30

【0029】

除熱部12では、除熱対象物HOから熱量Qの熱を冷媒に吸収させて除熱が行われ、凝縮部14及び過冷却部21では、冷媒により吸収された熱量Q1及びQ2の熱がそれぞれ放出される。なお、配管からの熱損失がないとすれば、 $Q = Q1 + Q2$ である。

【0030】

図2A～図2Cは、除熱部12の構成を模式的に示す図であり、図2Aは一部透視して示す斜視図、図2Bは図2AのIIb-IIb線矢視方向における断面図、図2Cは図2Aにおいて実線で囲んだ領域Eを拡大して示すx方向から見た断面図である。なお、便宜上、z方向を上下方向として表現する場合があるが、除熱部12は、その大きさ等の種々の条件によっては、x方向、y方向、z方向のいずれが上下方向になっても一定の除熱効果を発揮できるものである。

40

【0031】

除熱部12は、除熱対象物HOに隣接して設けられる除熱用流路31と、除熱用流路31に液状の冷媒を供給する液体供給用流路32とを備えている。なお、液体供給用流路32は、あるいは、液体供給用流路32に加え、ポンプ5等を含む冷媒送出系は、本発明の液体供給部の一例である。

【0032】

除熱用流路31は、例えば除熱対象物HOに当接して設けられた第1板状部34と、第1板状部34に対向配置される第2板状部35と、第1板状部34及び第2板状部35の間に配置され、除熱用流路31の流路方向（冷媒の流れ方向、流路の長さ方向、y方向）

50

に互いに平行に延びる 2 本のパイプ 3 6 とにより、これらの部材に囲まれた領域に形成されている。なお、第 1 板状部 3 4 側だけでなく、第 2 板状部 3 5 側にも除熱対象物を配置してもよい。また、パイプ 3 6 に代えて、矩形ダクト等、適宜な断面形状の中空体を用いてよい。除熱用流路 3 1 のうち、流路方向の一端 (y 方向の正側) は開口しており、凝縮部 1 4 に接続されている。流路方向の他端は、不図示の壁部によって塞がれている。

【 0 0 3 3 】

第 1 板状部 3 4、第 2 板状部 3 5、パイプ 3 6 は、金属や樹脂などの適宜な材料により形成してよい。第 1 板状部 3 4 及び第 2 板状部 3 5 と、パイプ 3 6 とは、接着剤や半田を用いて接合したり、溶接や融着により接合するなど、適宜に接合してよい。

【 0 0 3 4 】

液体供給用流路 3 2 は、パイプ 3 6 により、パイプ 3 6 の内部に形成されている。液体供給用流路 3 2 の位置は、z 方向に見て除熱対象物 H O に重なる位置でも重ならない位置でもよい。パイプ 3 6 の一方の端部 3 6 b は開口しており流入口 3 7 が形成されている。端部 3 6 b はポンプ 5 に接続されている。なお、パイプ 3 6 の他方の端部 3 6 c は塞がれている。また、パイプ 3 6 のうち、除熱用流路 3 1 と液体供給用流路 3 2 とを隔てる壁部 3 6 a には、除熱用流路 3 1 の流路方向 (y 方向) の複数位置に、除熱用流路 3 1 と液体供給用流路 3 2 とを連通する連通孔 3 8 が設けられている。連通孔 3 8 は本発明の冷媒通過部の一例である。複数の連通孔 3 8 は、例えば、互いに同じ径であり、また、等間隔で設けられている。

【 0 0 3 5 】

第 1 板状部 3 4 には、除熱用流路 3 1 の内周面を形成する面に、除熱用流路 3 1 の流路方向に直交する方向 (幅方向、x 方向) に延びる溝部 4 0 が形成されている。溝部 4 0 は、除熱用流路 3 1 の流路方向に複数設けられており、例えば、複数の連通孔 3 8 と同位置に複数の連通孔 3 8 と同数設けられている。

【 0 0 3 6 】

図 3 は、除熱部 1 2 における除熱方法を説明する図である。図 3 では、平面図を紙面左側に示し、平面図の y 1 ~ y 3 の位置における断面図を、y 1 ~ y 3 の位置の紙面右側に示している。

【 0 0 3 7 】

除熱部 1 2 では、図 2 A において矢印 A 1 で示すように、ポンプ 5 により送出された液状の冷媒 R L が流入口 3 7 から液体供給用流路 3 2 に流し込まれる。液体供給用流路 3 2 に流し込まれた液状の冷媒 R L は、図 2 A の矢印 A 2 及び図 3 の矢印 A 5 で示すように、連通孔 3 8 から除熱用流路 3 1 に流れ込む。

【 0 0 3 8 】

除熱用流路 3 1 に流れ込んだ液状の冷媒 R L は、図 3 の紙面右側の断面図に示すように、除熱用流路 3 1 の第 1 板状部 3 4 側の内周面に液膜を形成する。連通孔 3 8 が除熱用流路 3 1 の流路方向の複数位置に設けられていることから、冷媒 R L の液膜は、除熱用流路 3 1 の上流側から下流側まで、流路方向の全体に亘って形成される。

【 0 0 3 9 】

そして、図 3 の紙面右側の断面図において矢印 A 6 で示すように、第 1 板状部 3 4 には除熱対象物 H O からの熱が伝達され、冷媒 R L の液膜は蒸発して気体状の冷媒 R G となる。換言すれば、冷媒は略潜熱相当分の熱を除熱対象物 H O から吸収する。

【 0 0 4 0 】

除熱用流路 3 1 の気体状の冷媒 R G は、図 2 A の矢印 A 3 で示すように、開口端部から流出して凝縮部 1 4 に流れ込む。なお、気体状の冷媒 R G を排気するファン等の排気手段を流路内に設けてもよい。

【 0 0 4 1 】

除熱用流路 3 1 において液膜が形成されるようにするためには、以下のように各種パラメータの設定や制御を行えばよい。

【 0 0 4 2 】

10

20

30

40

50

除熱用流路 3 1 においては、以下の (1) 式が成立する。

$$\rho_l \times dV / dt \times (C_{p_l} \times (T_s - T_{i_n}) + h_{f_g} \times X_{o_u_t}) = Q \quad \dots (1)$$

ここで、

Q : 単位時間当たりの除熱量 (W)

ρ_l : 液状の冷媒の密度 (k g / m ³)

d V / d t : 液状の冷媒の単位時間当たりの除熱用流路への供給量 (m ³ / s)

C _{p l} : 液状の冷媒の定圧比熱 (J / k g K)

T _s : 除熱用流路における冷媒の飽和温度 (K)

T _{i n} : 液状の冷媒の除熱用流路への供給時における温度 (K)

h _{f g} : 冷媒の蒸発潜熱 (J / k g)

X _{o u t} : 除熱用流路の冷媒の全流量に対する蒸発流量の質量割合

である。

(1) 式より、下記の (2) 式が得られる。

$$X_{o_u_t} = ((Q / (\rho_l \times dV / dt) - C_{p_l} \times (T_s - T_{i_n})) / h_{f_g} \quad \dots$$

(2)

【 0 0 4 3 】

従って、除熱装置 1 では、X _{o u t} が所定値になるように各種パラメータを設定すれば、除熱用流路 3 1 に液膜を形成することができる。好適に液膜が形成される X _{o u t} の範囲の一例を示せば、0 . 2 以上かつ 1 以下である。

【 0 0 4 4 】

Q は、除熱対象物 H O において必要とされる除熱量によって決定される。 ρ_l 、C _{p l}、h _{f g} は、冷媒の構成成分の選択や作動圧力の選択により調整できる。d V / d t、T _{i n}、T _s は、除熱装置 1 の設計時において各種手段の構造的態様により調整でき、また、除熱装置 1 の稼動時において各種手段の動作により調整できる。

【 0 0 4 5 】

除熱装置 1 の稼動時における X _{o u t} の制御は、例えば、以下のように行われる。

【 0 0 4 6 】

d V / d t は流量センサ 9 により検出される。制御器 7 は、流量センサ 9 の検出値に基づいて、d V / d t が所定の目標値に近づくように、モータ 6 を介してポンプ 5 の動作を制御する。すなわち、制御器 7 により d V / d t のフィードバック制御が行われ、ひいては X _{o u t} の制御が行われる。

【 0 0 4 7 】

T _{i n} は、温度センサ 1 0 により検出される。制御器 1 7 は温度センサ 1 0 の検出値に基づいて、T _{i n} が所定の目標値に近づくように、モータ 1 6 の動作を制御する。また、制御器 2 4 も温度センサ 1 0 の検出値に基づいて、T _{i n} が所定の目標値に近づくように、モータ 2 3 の動作を制御する。すなわち、制御器 1 7 及び制御器 2 4 により、T _{i n} はフィードバック制御され、ひいては X _{o u t} の制御が行われる。

【 0 0 4 8 】

なお、制御器 1 7 (凝縮部 1 4) と、制御器 2 4 (過冷却部 2 1) とは、T _{i n} の制御において適宜に役割分担してよい。例えば、稼動開始時には、凝縮部 1 4 において T _{i n} のフィードバック制御を行うとともに過冷却部 2 1 における冷却は停止することとし、冷媒の温度が所定の温度以上に上昇したときには、凝縮部 1 4 においてモータ 1 6 の回転を一定として冷却効率を一定とするとともに過冷却部 2 1 において T _{i n} のフィードバック制御を行うようにする。

【 0 0 4 9 】

T _s は除熱用流路 3 1 における圧力により決定される。従って、T _s はファン 1 5、2 2 による放熱量の影響を強く受ける。しかし、d V / d t の調整によって凝縮部 1 4 や過冷却部 2 1 での熱伝達を変化させれば、冷媒の膨張率等を制御し、間接的に T _s を制御することができる。また、例えば除熱用流路 3 1 に圧力センサを設けるとともに凝縮部 1 4 への流路に圧力調整弁を設け、圧力センサの検出結果に基づいて圧力調整弁の動作を制御

10

20

30

40

50

するようにしてもよい。

【0050】

以上の実施形態によれば、除熱対象物H Oに隣接して設けられた除熱用流路3 1の流路方向の複数位置に液状の冷媒R Lを供給し、除熱用流路3 1の内周面に複数位置に亘って冷媒R Lの液膜を形成することから、除熱用流路3 1の上流から下流に亘る広い範囲において液状の冷媒R Lを枯渇させることなく、かつ、効率的に冷媒を蒸発させることができる。従って、従来に比較して、顕熱による除熱量に対する潜熱による除熱量の割合が大幅に増加し、大面積からの高熱流束での除熱ができる。冷媒の流量(質量)も低減でき、除熱装置1や除熱用流路3 1の小型化も図られる。流量が低く抑えられ、また主流路が蒸気で貫通することにより圧損が特許文献1よりも小さく、両者の積で与えられるポンプ能力は大きく低減される。液状の冷媒R Lは潜熱により除熱することから、従来のように顕熱や沸騰により除熱する場合に比較して、非常に熱伝達が良く、冷媒R Lの温度は、除熱対象物H Oの許容温度(除熱後の目標温度)に対して、さほど低くなくてもよい。このため、凝縮部1 4や過冷却部2 1に要求される冷却能力を下げることができ、かつ、凝縮部1 4や過冷却部2 1においては、その内部を流れる冷媒と外気との温度差が大きくなり、効率的に冷媒の冷却を行うことができるようになることから、凝縮部1 4や過冷却部2 1の小型化が図られる。除熱用流路3 1に気体状の冷媒を流すことを基本としていることから、除熱用流路に液状の冷媒を流す場合に生じる種々の問題も生じない。例えば、特許文献1のように、主流路に副流路の流れが合流して主流路の流れが不安定になるといったことがない。主流路に生じた気泡を破碎するための部材や装置を設ける必要もない。

10

20

【0051】

除熱装置1は、除熱用流路3 1に沿って延び、液状の冷媒R Lが流れる液体供給用流路3 2を備え、除熱用流路3 1と液体供給用流路3 2とを隔てる壁部3 6 aに、除熱用流路3 1と液体供給用流路3 2とを連通する連通孔3 8が除熱用流路3 1の流路方向の複数位置に設けられていることから、構成が簡素でありながら、除熱用流路3 1の流路方向の複数位置に冷媒を供給して液膜を形成することができる。

【0052】

除熱用流路3 1の内周面には、除熱用流路3 1に直交する方向に延びる溝部4 0が設けられていることから、除熱用流路3 1に直交する方向において液膜が広がり易く、液体供給用流路3 2から離れた位置、すなわち、除熱用流路3 1の中央側位置における冷媒の枯渇が抑制される。なお、溝部4 0により液状の冷媒が広がる原理は以下のとおりである。液状の冷媒R Lは表面張力によって溝部4 0の側面(傾斜面)に張り付き、溝部4 0内の液状の冷媒R Lの表面は凹状になる。冷媒R Lの表面と溝部4 0の側面との接触角は、除熱用流路3 1の中央側と側部側(液体供給用流路3 2側)とで同等であるのに対し、中央側ほど枯渇して冷媒R Lの量が少ないから、中央側ほど凹状の表面の曲率は大きくなる。このため、中央側ほど冷媒R Lが縮まろうとする力が強くなり、高い気圧とバランスする状態となる。しかし、冷媒R Lの表面へかかる気体状の冷媒R Gの大きさは、中央側と側部側とで同等である。このため、液体の冷媒R Gは、側部側から中央側にかけて負の圧力勾配が生じるので中央側へ自動的に流れる。

30

【0053】

図4 A ~ Cは、本実施形態の除熱装置1の効果を、別の観点から捉えて説明する図である。

40

【0054】

図4 Aは従来の除熱用流路5 0 1における冷媒の様子を示している。従来の除熱用流路5 0 1では、液状の冷媒R Lは、除熱用流路5 0 1の一端から流し込まれ(矢印7 A)、他端に向かって流れる。従って、除熱用流路5 0 1の流路方向の長さL 5 0 1が、冷媒が加熱される加熱長さとなる。長さL 5 0 1が一定の長さを超えると、液状の冷媒R Lは蒸発して気体状の冷媒R Gになり除熱用流路5 0 1の下流側から排出される(矢印A 8)。すなわち、除熱用流路5 0 1の下流側においては、ドライアウト現象が生じて内周面は枯渇し、冷却能力が著しく低下する。

50

【 0 0 5 5 】

しかし、図 4 B に示すように、本実施形態の除熱用流路 3 1 では、除熱用流路 3 1 の両側から流路方向に直交する方向に液状の冷媒 R L が供給されることから、加熱長さは除熱用流路 3 1 の幅の半分の長さ L 1 となる。従って、長さ L 1 を流れる間だけ液状の冷媒 R L が枯渇しない量で冷媒 R L を供給すれば、除熱用流路 3 1 の全面に亘って冷却能力を発揮させることができる。換言すれば、除熱用流路 3 1 の流路方向の長さが冷媒 R L の枯渇に及ぼす影響は著しく低減され、流路方向の長さの設定の自由度が向上する。

【 0 0 5 6 】

なお、図 4 C に示すように、本実施形態の除熱用流路 3 1 においても、除熱用流路 3 1 の幅が大きくなり、液状の冷媒 R L の供給量に対して加熱長さ (L 2) が長くなれば、除熱用流路 3 1 の中央側において液状の冷媒 R L が枯渇することになる。従って、除熱用流路 3 1 の幅と液状の冷媒 R L の供給量は適宜に設定する必要がある。

【 0 0 5 7 】

図 5 A ~ 図 5 D は、図 4 A ~ 図 4 C を参照して説明した加熱長さの観点から、除熱用流路への液体供給方法の変形例を説明する図である。なお、図 5 A ~ 図 5 D では、図 5 A の矢印 A 9 で示すように、除熱用流路が紙面上下方向の両面 (除熱用流路 3 1 の第 1 板状部 3 4 側及び第 2 板状部 3 5 側に相当) から加熱される場合について例示する。

【 0 0 5 8 】

図 5 A は、断面矩形の除熱用流路 4 1 において、矢印 A 1 0 で示すように、矩形の両側から液体の冷媒が供給される変形例を示している。この変形例では、加熱長さは除熱用流路 4 1 の幅の半分の長さ L 4 となる。

【 0 0 5 9 】

図 5 B は、断面円形の除熱用流路 4 2 において、二股の矢印 A 1 1 で示すように、円形の対向する 2 点から液体の冷媒が供給される変形例を示している。この変形例では、加熱長さは除熱用流路 4 2 の円周の 1 / 4 の長さ L 5 となる。

【 0 0 6 0 】

図 5 C は、断面円形の除熱用流路 4 3 において、二股の矢印 A 1 2 で示すように、円形の 1 点から液体の冷媒が供給される変形例を示している。この変形例では、加熱長さは除熱用流路 4 3 の円周の 1 / 2 の長さ L 6 となる。

【 0 0 6 1 】

図 5 D は、断面円形の除熱用流路 4 4 において、二股の矢印 A 1 3 で示すように、円周上に均等に配置された 4 点から液体の冷媒が供給される変形例を示している。この変形例では、加熱長さは除熱用流路 4 3 の円周の 1 / 8 の長さ L 7 となる。

【 0 0 6 2 】

図 5 A ~ 図 5 D に示したように、液体の供給口を増加させれば加熱長さは短くなり、冷媒の枯渇防止に有利である。ただし、供給口が増加すれば、部品点数や製造工程が増大するおそれがある。従って、除熱用流路の断面形状、液状の冷媒の供給口の位置及び数は、冷媒の飽和温度、除熱対象物の大きさや発熱量等の種々の条件を考慮して設定されることが好ましい。なお、図 5 A ~ 図 5 D は、除熱用流路の断面形状、供給口の位置や数の組み合わせの例示であり、これ以外にも種々変形してよい。

【 0 0 6 3 】

図 6 A ~ 図 6 D は、除熱用流路への液体の供給方法の変形例を示す断面図である。なお、図 6 A ~ 図 6 D において、除熱対象物は、流路の z 方向の正側及び負側のうち少なくとも一方側に設けられ、また、除熱用流路の流路方向は y 方向である。

【 0 0 6 4 】

図 6 A は、断面矩形形状の流路に壁部 4 7 を設け、当該流路を除熱用流路 4 5 と、液体供給用流路 4 6 とに分割した変形例を示している。壁部 4 7 には除熱用流路 4 5 の流路方向 (y 方向) の複数位置に不図示の連通孔が設けられ、矢印 A 1 5 で示すように、液体供給用流路 4 6 から連通孔を介して除熱用流路 4 5 に液状の冷媒が供給される。なお、この変形例では、壁部 4 7 を設けることにより、簡単に除熱用流路 4 5 及び液体供給用流路 4 6

10

20

30

40

50

を構成することができる。

【 0 0 6 5 】

図 6 B は、除熱用流路 4 9 の両側にノズル 5 0 を設けた変形例を示している。ノズル 5 0 は、除熱用流路 4 9 の流路方向 (y 方向) の複数位置に設けられている。液状の冷媒は、矢印 A 1 7 で示すように、ノズル 5 0 により除熱用流路 4 9 に供給される。この変形例では、ノズル 5 0 の向きの調整により液体の供給方向を調整でき、ノズル 5 0 の先端 5 0 a の位置を、除熱用流路 4 9 の流路方向に直交する方向 (x 方向) において調整することにより液体の供給位置を調整できる。複数のノズル 5 0 の向き、位置、流量を互いに異なる設定にすることもできる。従って、除熱装置の使用環境等に応じた設定変更が容易である。

10

【 0 0 6 6 】

図 6 C は、矩形の流路の内部両端にパイプ 5 1 を設け、パイプ 5 1 の外側に除熱用流路 5 2 を、パイプ 5 1 の内部に液体供給用流路 5 3 を形成した変形例を示している。この変形例では、図 2 A に示した実施形態と同様に、パイプ 5 1 に形成された複数の連通孔から除熱用流路 5 2 に液体の冷媒が供給される (矢印 A 1 9) 。この変形例では、パイプ 5 1 を、矩形の流路に挿通するだけで除熱用流路 5 2 及び液体供給用流路 5 3 を構成することができる。また、パイプ 5 1 は矩形の流路の構造的な強度の補強に寄与している。

【 0 0 6 7 】

図 6 D は、矩形の流路に多孔質体からなる壁部 5 5 を設け、除熱用流路 5 6 、液体供給用流路 5 7 を形成した変形例を示している。多孔質体については後述する。

20

【 0 0 6 8 】

図 6 E は、除熱用流路 5 9 と同等の幅を有する液体供給用流路 6 0 を、除熱用流路 5 9 に重ねて並走させた変形例を示している。なお、図 6 E の変形例において、除熱対象物は除熱用流路 5 9 の紙面下方側に配置されている。除熱用流路 5 9 及び液体供給用流路 6 0 は、互いに連通する不図示の連通孔が流路両側に形成されている。連通孔は除熱用流路 5 9 の流路方向 (y 方向) に複数設けられている。液体供給用流路 6 0 の液状の冷媒は、矢印 A 2 1 で示すように、当該連通孔を介して除熱用流路 5 9 に供給される。この変形例では、除熱用流路 5 9 と液体供給用流路 6 0 を積層することから、幅の縮小、液体供給用流路 6 0 の流量確保、除熱用流路 5 9 と液体供給用流路 6 0 との温度差の縮小が図られる。

【 0 0 6 9 】

図 6 F は、図 6 B の変形例に加え、除熱用流路 4 9 の中央において除熱用流路 4 9 内へ突出するノズル 6 2 を設けた変形例を示している。この変形例において、除熱対象物は除熱用流路 4 9 の紙面下方側に設けられ、ノズル 6 2 は除熱用流路 4 9 の紙面上方側から除熱用流路 4 9 内へ突出している。ノズル 5 0 からの液状の冷媒は幅方向中央に到達するまでに枯渇する可能性がある。そこで、この変形例では、ノズル 6 2 により除熱用流路 4 9 の中央に液状の冷媒を供給することにより、除熱用流路 4 9 の幅方向中央の枯渇を防止している。また、中央への液状の冷媒の供給をノズル 6 2 により行っていることから、ノズル 6 2 の先端位置を除熱対象物に加熱されている側の面 (紙面下方側の面) に近づけることにより、当該面へ確実に液膜を形成することができる。

30

【 0 0 7 0 】

図 6 G は、図 6 E に示した変形例において、両側の連通孔に代えて、除熱用流路 5 9 の幅方向の複数位置に、液体供給用流路 6 0 から除熱用流路 5 9 内へ突出するノズル 6 5 を設けた変形例を示している。液体供給用流路 6 0 の液状の冷媒は、ノズル 6 5 を介して除熱用流路 5 9 へ供給される。この変形例では、加熱長さはノズル 6 5 間の距離になる。従って、加熱長さを除熱用流路 5 9 の幅よりも更に短くして液状の冷媒の枯渇を防止できる。換言すれば、除熱用流路 5 9 の幅方向への拡張が可能である。また、ノズル 6 5 の先端位置を除熱対象物に加熱されている側の面 (紙面下方側の面) に近づけることにより、当該面へ確実に液膜を形成することができる。

40

【 0 0 7 1 】

図 7 A ~ 図 7 D は、液体供給用流路及び除熱用流路における流れのパターンを説明する

50

図である。図 7 A ~ 図 7 D において、実線の矢印は液状の冷媒の流れ方向を示し、点線の矢印は気体状の冷媒の流れ方向を示している。

【 0 0 7 2 】

液体供給用流路は、図 7 A の液体供給用流路 7 4 のように、除熱用流路 7 3 の流路方向（y 方向）の一端 7 4 a から液状の冷媒が流入し、他端 7 4 b から液状の冷媒が流出してもよいし、図 7 B の液体供給用流路 6 8 や図 7 C の液体供給用流路 7 1 のように、他端 6 8 b、7 1 b は塞がれており、液状の冷媒の流出口として、除熱用流路 6 7、7 0 との連通路（不図示）のみが設けられていてもよい。さらに、図 7 D に示すように、除熱用流路 7 6 の流路方向の中途の適宜な位置に流入口 7 7 a が設けられ、当該流路方向の一端 7 7 b 及び他端 7 7 c に向かって液状の冷媒が流れるものでもよい。この場合、図 7 D に示すように、液体供給用流路 7 7 の一端 7 7 b 及び他端 7 7 c が塞がれて、冷媒の流出口として、除熱用流路 7 6 との連通路のみが設けられてもよいし、一端 7 7 b 及び他端 7 7 c の一方から冷媒が流出してもよい。また、図 7 A のように液体供給用流路の両端が開口している場合には、双方を流入口としてもよい。

10

【 0 0 7 3 】

除熱用流路は、図 7 A の除熱用流路 7 3 のように、一端 7 3 a から液状の流体が供給されてもよいし、図 7 B ~ 図 7 D の除熱用流路のように、液体供給用流路からのみ液状の冷媒が供給されてもよい。また、除熱用流路は、図 7 B の除熱用流路 6 7 のように、流路方向の一端側からのみ気体状の冷媒を流出させるものであってもよいし、図 7 C の除熱用流路 7 0 及び図 7 D の除熱用流路 7 6 のように流路方向の両側に気体状の冷媒を流出させるものでもよい。

20

【 0 0 7 4 】

図 7 C 及び図 7 D に示したように、除熱用流路の流路方向の両端側から冷媒を排出できるのは、除熱用流路に形成された液膜の蒸発により除熱し、除熱用流路からは気体状の冷媒が排出されるように構成したことによるものである。すなわち、従来のように、基本的に液状の冷媒の顕熱や通常の沸騰により除熱する技術では、除熱用流路に大量の液状の冷媒を流す必要があり、その結果、図 1 4 に示したように、除熱用流路の一端から他端へ液状の冷媒を流す構造が採用される。仮に、従来技術において図 7 C のように冷媒の流路を設定したとすれば、除熱用流路に十分な流量での流れを形成することができず、十分な除熱効果を得ることができない。しかし、本実施形態では、液膜を形成するのに十分な量の冷媒を供給すればよいだけであるので、除熱用流路の一端を液状の冷媒の流入口とする必要はなく、除熱用流路の両端を冷媒の流出口として利用できる。なお、両端を流出口とすることにより、除熱用流路からの排気が迅速になされ、また、排気速度の過度の増大を抑えることができる。

30

【 0 0 7 5 】

また、図 7 D に示したように、液体供給用流路の流入口を適宜な位置に設け、液状の冷媒を流路方向（y 方向）の両側へ向かわせることができるのも、除熱用流路に形成された液膜の蒸発により除熱し、除熱用流路からは気体状の冷媒が排出されるように構成したことによるものである。すなわち、従来は、液状の冷媒の流れを主流路と副流路に分流し、その後、合流させる構成であったことから、主流路の流れと副流路の流れとは同一方向にならざるを得なかった。しかし、本実施形態では、除熱用流路では気体状の冷媒が、液体供給用流路では液体状の冷媒が流れるものであることから、互いの流路方向は自由に設定することができる。

40

【 0 0 7 6 】

従って、本実施形態では、図 7 A ~ 図 7 D に示したような種々の流れのパターンが可能であり、設計の自由度が向上する。なお、図 7 A ~ 図 7 D は例示であり、その他にも種々のパターンで液状の冷媒及び気体状の冷媒を流してよい。

【 0 0 7 7 】

図 7 A ~ 図 7 D において説明したような、除熱用流路や液体供給用流路の設計の自由度の向上は、液体供給用流路及び除熱用流路における流れのパターンを 3 次元的に拡張する

50

ことも可能とする。図 8 A ~ 図 8 F は、液体供給用流路及び除熱用流路における流れのパターンを 3 次元的に拡張した変形例を示す図である。図 8 A ~ 図 8 F において、実線の矢印は液状の冷媒の流路方向を示し、点線の矢印は気体状の冷媒の流路方向を示している。

【 0 0 7 8 】

図 8 A は、図 7 D に示した変形例に加え、除熱対象物に直交する方向（z 方向）において液状の冷媒が供給される変形例を示す平面図であり、図 8 B は図 8 A の紙面下方から見た断面図である。この変形例では、図 8 B の紙面下方側に除熱対象物が設けられている。除熱用流路 7 6 の幅方向中央の位置には、除熱用流路 7 6 の流路方向に沿って延びる液体供給用流路 7 9 が設けられている。液体供給用流路 7 9 は、例えば液体供給用流路 7 7 と同様の形状で若干小さいものであり、紙面上方側に、液状の冷媒が供給される流入口 7 9 a が設けられるとともに、紙面下方側に、液状の冷媒を除熱用流路 7 6 に供給するための複数の連通孔（不図示）が除熱用流路 7 6 に沿って設けられている。当該変形例は、図 6 F に示した変形例と同様に、除熱用流路 7 6 の中央の枯渇防止に有効である。

【 0 0 7 9 】

図 8 C は、図 8 A に示した液体供給用流路 7 9 を、除熱用流路 8 1 の幅方向に複数配列した変形例であり、図 8 D は、図 8 C の紙面下方側から見た断面図である。この変形例では、図 6 G に示した変形例と同様に、除熱用流路 8 1 の幅方向への拡張を可能とするものである。なお、図 8 C から明らかなように、本発明の除熱用流路は、流路方向が長手方向でなくてもよい。

【 0 0 8 0 】

図 8 E は、除熱用流路 8 3 の長手方向及び幅方向に直交する方向に気体状の冷媒を排出する排出口 8 3 a を設けた変形例であり、図 8 F は、図 8 E の紙面下方側から見た断面図である。この変形例において、除熱対象物は図 8 F の紙面下方側に設けられ、排出口 8 3 a は、除熱用流路 8 3 の内周面のうち除熱対象物とは反対側に開口している。なお、除熱用流路 8 3 は、長手方向（液体供給用流路 8 4 の流れ方向）の両端が塞がれており、気体状の冷媒の流出口は、排出口 8 3 a のみである。排出口 8 3 a は、例えば液体供給用流路 8 4 の流れ方向に沿って複数設けられている。この変形例では、蒸発した冷媒を、除熱対象物に沿う面の他の領域へ流すことなく、即座に排出できる。なお、図 8 E では、流路の端面が除熱対象物に沿うように配置されているといえる。換言すれば、本発明の除熱用流路は、除熱対象物に沿う方向（y 方向）に気体状の冷媒が流れるものでなくてもよい。排出口 8 3 a から排出された気体状の冷媒は、例えばパイプや矩形ダクトに流れ込んで凝縮部や過冷却部へ流れる。

【 0 0 8 1 】

図 9 A ~ 図 9 E は、除熱用流路と液体供給用流路とを仕切る壁部（図 6 A の壁部 4 7 や図 6 D の壁部 5 5 等を参照）や連通孔の変形例を示す斜視図である。

【 0 0 8 2 】

図 9 A の変形例では、平板状の壁部 8 5 に複数の連通孔 8 6 が形成されている。例えば、金属板や樹脂板に打ち抜き加工を施すことにより形成されている。この変形例では、連通孔を有する壁部を簡単に形成でき、また、連通孔は、位置（例えば複数の連通孔の間隔）、大きさ、形状の設計変更が容易である。

【 0 0 8 3 】

図 9 B の変形例では、多孔質体によって壁部 8 8 が形成されている。多孔質体は、例えば焼結金属である。多孔質体の濾過径は、除熱用流路への供給量等により適宜に設定してよいが、例えば、1 μ から 200 μ である。なお、従来の除熱用流路に液状の冷媒を流す技術では、多孔質体によって主流路と副流路とを仕切っても、副流路から主流路へ十分な量の液状の冷媒を供給することはできない。なお、多孔質体の孔部は、本発明の冷媒通過部の一例である。

【 0 0 8 4 】

図 9 C の変形例では、壁部 8 9 の長手方向に沿って延びる一のスリット 9 0 が設けられている。この変形例では、スリット 9 0 により除熱用流路の流路方向の所定範囲において

10

20

30

40

50

除熱用流路内に液状の冷媒を供給し、当該所定範囲に亘って液膜を形成することにより、複数位置に液状の冷媒を供給する場合と同様の効果を得られる。

【 0 0 8 5 】

図 9 A に示すように、打ち抜き加工等により連通孔を配置する場合には、連通孔の大きさ、形状、配置位置は適宜に変更してよい。例えば、連通孔の大きさ、形状、位置は不均一、不均等としてよい。連通孔と、除熱用流路の内周面に形成される流路直交方向の溝とは、同位置や同数でなくてもよい。図 9 D に示す変形例では、液体供給用流路 9 1 は、液状の冷媒が流し込まれる一端 9 1 a から他端 9 1 b へ複数の連通孔 9 2 が設けられており、連通孔 9 2 は、他端 9 1 b 側ほど径が大きくなるように形成されている。これにより、液体供給用流路 9 1 の上流側から下流側までの全体に亘って、一様な流量で除熱用流路に液状の冷媒を供給できる場合がある。

10

【 0 0 8 6 】

また、図 9 E に示す変形例では、液体供給用流路 9 4 の端部 9 4 a 及び端部 9 4 b 側ほど連通孔 9 5 のピッチが小さくなるように、連通孔 9 5 が形成されている。これにより、液体供給用流路 9 4 の上流側から下流側までの全体に亘って、一様な流量で除熱用流路に液状の冷媒を供給できる場合がある。

【 0 0 8 7 】

図 1 5 A 及び図 1 5 B は、液体供給用流路から除熱用流路への液状の冷媒の供給量を説明する図である。

【 0 0 8 8 】

図 1 5 A の上方側の図は、図 2 A ~ 図 2 C、図 7 A、図 7 B に示した除熱用流路 3 1、7 3、6 7 を一般化した平面図である。図 1 5 A の下方側の図は、図 1 5 A の上方側の図における、流路方向の各位置における液体供給用流路の圧力 P 1 及び除熱用流路の圧力 P 2 を示す図である。図 1 5 B の上方側の図は、図 7 D に示した除熱用流路 7 6 を一般化した平面図である。図 1 5 B の下方側の図は、図 1 5 B の上方側の図における、流路方向の各位置における液体供給用流路の圧力 P 1 及び除熱用流路の圧力 P 2 を示す図である。

20

【 0 0 8 9 】

液体供給用流路 (3 2、7 7 等) から除熱用流路 (3 1、7 6 等) への液状の冷媒の供給は、両者を連通する流路 (冷媒通過部。例えば、連通孔 (8 6、図 9 A)、焼結金属等の多孔質体により構成された壁部 (8 8、図 9 B) の孔部、スリット (9 0、図 9 C)、ノズル (6 5、図 6 G) など) の流動抵抗が除熱用流路に沿って一様であると仮定すれば、液体供給用流路と除熱用流路との 2 つの流路間の圧力差 P により、冷媒通過部を流れる液体供給量が定まる。すなわち、液体供給用流路から除熱用流路へ液体が流入するためには、液体供給用流路の圧力が除熱用流路の圧力よりも高いことが必須であり、また、液体供給用流路から除熱用流路への流量の分布は、液体供給用流路及び除熱用流路それぞれの圧力分布によって決定される。

30

【 0 0 9 0 】

液体供給用流路 (3 2、7 7 等) における圧力勾配は、除熱用流路 (3 1、7 6 等) への液体流入により、液体供給用流路における流量が減ってゆくの、徐々に低下する。一方、除熱用流路では、流量は増加の一途を辿るうえに、加熱により液単相から気液二相へと変化する、圧力勾配は逆に増加してゆく。

40

【 0 0 9 1 】

従って、液体供給用流路 (3 2、7 7 等) 及び除熱用流路 (3 1、7 6 等) の圧力差 P は、並行流路を想定した場合、除熱用流路の上流部で小さく、下流部で大きくなるため、上流部での液体供給用流路から除熱用流路への供給量が小さくなって、上流部でドライアウトが発生りやすくなることもある。

【 0 0 9 2 】

これを解消するためには、液体供給用流路 (3 2、7 7 等) 及び除熱用流路 (3 1、7 6 等) を連通する流路 (冷媒通過部) の流動抵抗に関して、開口部の寸法やピッチなどを変化させて、除熱用流路の上流部で小さく、下流部で大きくして、除熱用流路への液体供

50

給量を一様にするのが考えられる。

【 0 0 9 3 】

図 1 6 A ~ 図 1 6 F は、上記のように、液体供給用流路と除熱用流路との境界に位置する冷媒通過部の流動抵抗を除熱用流路の上流部で小さく、下流部で大きくした例を示している。

【 0 0 9 4 】

図 1 6 A は、図 1 5 A の液体供給用流路と除熱用流路とを連通孔 1 3 1 により連通した場合を示している。連通孔 1 3 1 は、液体供給用流路及び除熱用流路の上流側（紙面右側）ほど径が大きく設定されており、上流側ほど流動抵抗が小さくなっている。

【 0 0 9 5 】

図 1 6 B は、図 1 5 A の液体供給用流路と除熱用流路とを連通孔 1 3 3 により連通した場合を示している。連通孔 1 3 3 は、液体供給用流路及び除熱用流路の上流側（紙面右側）ほどピッチが小さく設定されており、上流側ほど流動抵抗が小さくなっている。

【 0 0 9 6 】

図 1 6 C は、図 1 5 A の液体供給用流路と除熱用流路とをスリット 1 3 5 により連通した場合を示している。スリット 1 3 5 は、液体供給用流路及び除熱用流路の上流側（紙面右側）ほど幅が大きく設定されており、上流側ほど流動抵抗が小さくなっている。

【 0 0 9 7 】

図 1 6 D は、図 1 5 B の液体供給用流路と除熱用流路とを連通孔 1 3 7 により連通した場合を示している。連通孔 1 3 7 は、液体供給用流路及び除熱用流路の上流側（液体供給用流路 7 7 の中央側）ほど径が大きく設定されており、上流側ほど流動抵抗が小さくなっている。

【 0 0 9 8 】

図 1 6 E は、図 1 5 B の液体供給用流路と除熱用流路とを連通孔 1 3 9 により連通した場合を示している。連通孔 1 3 9 は、液体供給用流路及び除熱用流路の上流側（液体供給用流路 7 7 の中央側）ほどピッチが小さく設定されており、上流側ほど流動抵抗が小さくなっている。

【 0 0 9 9 】

図 1 6 F は、図 1 5 B の液体供給用流路と除熱用流路とをスリット 1 4 1 により連通した場合を示している。スリット 1 4 1 は、液体供給用流路及び除熱用流路の上流側（液体供給用流路 7 7 の中央側）ほど幅が大きく設定されており、上流側ほど流動抵抗が小さくなっている。ただし、流入液体の衝突により局所的に液体供給用流路の圧力が高くなる中央部は流動抵抗を相対的にやや大きくしている。

【 0 1 0 0 】

なお、発生蒸気の通過量が多い下流部でドライアウトを発生する場合もある。この場合には、図 9 D や図 9 E に示したような、下流部での流量を増大させる方法が有効になる。

【 0 1 0 1 】

図 1 0 A ~ 図 1 0 F は、除熱用流路の内周面のパターンを説明する図である。図 1 0 A ~ 図 1 0 D においては、液状の冷媒は、液体供給用流路等から紙面左右方向（x 方向）へ供給される。なお、図 1 0 A は、図 2 A ~ 図 2 C に示した実施形態に対応する図である。

【 0 1 0 2 】

図 1 0 B の変形例では、溝部 4 0 に加えて、溝部 4 0 に直交する方向に延びる溝部 9 6 が複数設けられている。溝部 9 6 により、液状の冷媒は溝部 9 6 の延びる方向にも広がり易くなり、液膜が除熱用流路の全体に亘って形成されやすくなる。特に、液体供給用流路に形成された連通孔から液状の冷媒が供給される場合など、液状の冷媒の供給位置が互いに離間している場合には、供給位置間が枯渇しやすいが、溝部 9 6 により当該供給位置間にも液状の冷媒が広がるから、枯渇が防止される。

【 0 1 0 3 】

なお、溝部 4 0 を設けずに溝部 9 6 のみを設けてもよいし、流路方向に斜めに延びる溝部を設け、当該溝部により流路方向及び流路に直交する方向の双方に液状の冷媒を広げて

10

20

30

40

50

もよい。ジグザグに蛇行する溝部を設けてもよい。なお、溝部 40 や流路に斜めに延びる溝部は、流路を横切る溝部の一例である。流路を横切る溝部は、流路の一方の側方端から他方の側方端まで延びるものでもよいし、側方端間の中途の適宜な範囲において延びるものであってもよい。

【0104】

図 10C の変形例では、網状のシート 98 が除熱用流路の内周面に張られる。シート 98 は、本発明の液状の冷媒が浸透するシートの一例である。シート 98 は例えば金属、セラミック、樹脂、繊維等により形成されている。メッシュの大きさや編み込み形式は冷媒の種類等に応じて適宜に選択してよい。この変形例では、冷媒はシート 98 に吸い込まれて除熱用流路の内周面に広がる。これにより内周面全体に満遍なく液膜が形成される。

10

【0105】

図 10D の変形例では、多孔質体により形成されたシート 100 が除熱用流路の内周面に張られる。シート 100 は、本発明の液状の冷媒が浸透するシートの一例である。シート 100 は、例えば焼結金属により構成される。シート 100 においても、シート 98 と同様の効果が得られる。

【0106】

シート 100 の配置に代えて、除熱用流路の内周面にコーティングや研磨等の粗面加工を施すことにより、内周面を粗状とし、液膜保持機能を持たせてもよい。

【0107】

図 10E 及び図 10F は、溝部 40 や溝部 96 の断面形状の例を示している。図 10E に示す溝部 102 は断面 V 字であり、図 10F に示す溝部 103 は断面矩形である。図 10E 及び図 10F は例示であり、溝部 40 や溝部 96 は U 字等の種々の形状にしてよい。

20

【0108】

図 11A ~ 図 11C は、除熱用流路を流路の幅方向へ拡大した変形例を示しており、図 11A は除熱部 105 の外観斜視図、図 11B は図 11A の X I b - X I b 線矢視方向の断面図、図 11C は図 11A の X I c - X I c 線矢視方向の断面図である。

【0109】

図 11A ~ 図 11C の除熱部 105 は、断面矩形の中空体 106 の両側部及び中央に、分岐部を有するパイプ 107A、107B、107C (以下、単に「パイプ 107」といい、これらを区別しないことがある。) が挿通されて区画され、2つの除熱用流路 109A、109B (以下、単に「除熱用流路 109」といい、両者を区別しないことがある。) が形成されている。また、パイプ 107A、107B、107C には、それぞれ内部に液体供給用流路 110A、110B、110C (以下、単に「液体供給用流路 110」といい、これらを区別しないことがある。) が形成されている。パイプ 107 には、除熱用流路 109 と、液体供給用流路 110 とを連通する不図示の連通孔が除熱用流路 109 の流路方向に沿って複数設けられている。

30

【0110】

各除熱用流路 109 においては、図 2A 等にした除熱用流路と同様に、その両側に配置された液体供給用流路 110 から、不図示の連通孔を介して液状の冷媒が供給され、冷媒の液膜が形成される。ただし、中央の液体供給用流路 110B は、その両側の除熱用流路 109A 及び 109B の双方に液状の冷媒を供給する。各除熱用流路 109 において蒸発した気体状の冷媒は、各除熱用流路 109 から排出された後に合流する。

40

【0111】

図 11A ~ 図 11C の変形例では、除熱用流路が流路の幅方向において複数の除熱用流路 109 に分割されることになるから、幅方向の加熱長さが短くなり、液状の冷媒の枯渇が防止される。換言すれば、除熱用流路を幅方向に拡張することが可能になる。二つの除熱用流路 109A 及び 109B において液体供給用流路 110B が共用されており、部品点数の削減が図られる。二つの除熱用流路 109A 及び 109B は液体供給用流路 110B に隔てられており、除熱用流路 109A 及び 109B の相互影響が緩和される。

【0112】

50

図12A～図12Cは、除熱用流路を流路方向へ拡大した変形例を示しており、図12Aは除熱部112の外観斜視図、図12Bは図12AのXIIb-XIIb線矢視方向の断面図、図12Cは図12AのXIIc-XIIc線矢視方向の断面図である。

【0113】

図12A～図12Cの除熱部112は、断面矩形の中空体114の両側部及び中央に、複数の分岐部を有するパイプ115A、115B、115C（以下、単に「パイプ115」といい、これらを区別しないことがある。）が挿通されて区画され、2つの除熱用流路116A、116B（以下、単に「除熱用流路116」といい、両者を区別しないことがある。）が形成されている。また、パイプ115A、115B、115Cには、それぞれ内部に液体供給用流路117A、117B、117C（以下、単に「液体供給用流路117」といい、これらを区別しないことがある。）が形成されている。パイプ115には、除熱用流路116と、液体供給用流路117とを連通する不図示の連通孔が除熱用流路116の流路方向に沿って複数設けられている。

10

【0114】

除熱用流路116は、流路方向（y方向）において、複数の区画D1、D2、D3に仕切られている。複数の区画D1～D3には、流路側方、例えば、除熱対象物HOの反対側へ開口して気体状の前記冷媒を排出する排出口119A、119B、119Cがそれぞれ設けられている。各区画においては、液体供給路117から供給された冷媒により液膜が形成され、蒸発した冷媒は排出口119A～119Cから排出される。なお、液体供給路117は、図12Bに示すように、液体供給路117は全区画D1～D3に亘って連通していてもよいし、除熱用流路116と同様に複数に仕切られていてもよい。

20

【0115】

この変形例では、除熱用流路116を流路方向において区画することにより、蒸発した冷媒を早期に排出可能として各区画D1～D3の除熱効率を高めるとともに区画同士の相互影響を緩和できる。換言すれば、除熱用流路すなわち除熱面を限りなく長くすることができる。しかも、液体供給用流路117は区画D1～D3に合わせて仕切る必要はなく、設計変更を要しない。なお、従来のように液状の冷媒を流す技術では、除熱用流路を流路方向において区画すると圧力損失が大きく、ポンプの負担が増大し、冷却効率の低下をも生じることから、流路方向への拡張が困難であった。

【0116】

図13は、除熱装置の全体構成の変形例を示す図である。なお、図1の除熱装置1と共通部分については同一符号を付している。図13の除熱装置では、気液分相器19及び過冷却部21が省略されている。従って、蒸発冷媒は完全に凝縮部14内部で液体に戻り、除熱対象物からの熱量Qは、全て凝縮部14において大気へ放出されることになる。

30

【0117】

図17は、本発明の応用例を示す図である。

【0118】

自動車151は、除熱対象物としてのパワーコントローラ153と、除熱装置155とを有している。

【0119】

除熱装置155は、上述した除熱装置1と類似した構成を有している。具体的には、除熱装置155は、液状の冷媒を貯留する補助液体タンク157（貯液槽3に対応）と、液状の冷媒を送出するポンプ159（ポンプ5に対応）と、ポンプ159により送出された液状の冷媒によりパワーコントローラ153を除熱する除熱部161（除熱部12に対応）と、除熱部161から流出した気体状の冷媒を凝縮するラジエータ163（凝縮部14に対応）と、ラジエータ163から流出した冷媒を気体状の冷媒と液状の冷媒とに分離する気液分相器165（気液分相器19に対応）とを有している。気液分相器165により分離された液状の冷媒は、ポンプ159により送出される。ポンプ159により送出された液状の冷媒は、流量コントロールユニット160により、補助液体タンク157や除熱部161への流量が制御される。

40

50

【0120】

除熱部161は、特に図示しないが、除熱部12と同様に、パワーコントローラ153に隣接して設けられた除熱用流路を有している。除熱用流路の所定方向の複数位置(所定範囲)において除熱用流路内に液状の冷媒が供給され、除熱用流路の内周面には複数位置(所定範囲)に亘って冷媒の液膜が形成される。液膜の蒸発により、パワーコントローラ153は冷却される。

【0121】

自動車への適用に際し、パワーコントローラの許容温度(100°C程度)と廃熱を放出する外気温度(30°C程度)の間の温度差が小さく、液膜蒸発により除熱部の所要温度差を通常の沸騰冷却よりも小さく抑えることができるので、冷却システム全体の除熱能力を高めることができる。

10

【0122】

図18は、本発明の他の応用例を示す図である。

【0123】

電力変換システム171は、例えば、発電所や工場などに設けられ、電圧等を変換するシステムである。電力変換システム171は、除熱対象物としての複数のパワー素子173と、除熱装置175とを有している。

【0124】

除熱装置175は、上述した除熱装置121と類似した構成を有している。具体的には、除熱装置175は、液状の冷媒を送出するポンプ177(ポンプ5に対応)と、ポンプ177により送された液状の冷媒により複数のパワー素子173を除熱する複数の除熱部179(除熱部12に対応)と、除熱部179から流出した気体状の冷媒を凝縮する空冷ユニット181(凝縮部14に対応)とを有している。空冷ユニット181から流出した冷媒は、ポンプ177により送される。

20

【0125】

複数のパワー素子173及び複数の除熱部179は、1つの除熱部179及び2つのパワー素子173が交互に積層されることにより、パワー素子冷却列183を構成している。パワー素子冷却列183は、複数列設けられている。各パワー素子冷却列183では、1つの除熱部179の両側にパワー素子173が配置され、1つの除熱部179により2つのパワー素子173を除熱可能となっている。

30

【0126】

複数のパワー素子冷却列183及び各パワー素子冷却列183内の複数の除熱部179は、互いに並列に接続されている。すなわち、ポンプ177から送された液状の冷媒は、分流して各パワー素子冷却列183に流入し、さらに、各パワー素子冷却列183において分流して各除熱部179に流入するように構成されている。

【0127】

各除熱部179は、特に図示しないが、除熱部12と同様に、パワー素子173に隣接して設けられた除熱用流路を有している。除熱用流路の所定方向の複数位置(所定範囲)において除熱用流路内に液状の冷媒が供給され、除熱用流路の内周面には複数位置(所定範囲)に亘って冷媒の液膜が形成される。液膜の蒸発により、パワー素子173は冷却される。

40

【0128】

図19A及び図19Bは、本発明の効果を説明する図である。図19Aは、本発明の一例の除熱装置における、実験により得られた熱伝達特性を示す図である。図19Bは、図19Aの熱伝達特性を、従来技術における熱伝達特性と比較して示す図である。図19A及び図19Bにおいて、横軸は、除熱対象物の除熱対象面(除熱用流路を構成する一つの面)と除熱用流路に流入する液状の冷媒との温度差 $T(K)$ を、縦軸は、除熱対象物の除熱対象面における熱流束 $q(W/cm^2)$ を示している。また、図中には、熱伝達率 $a(W/m^2K)$ が示されている。

【0129】

50

図19A及び図19Bにおいて、円形のマークM1は、本発明の一例の除熱装置における、除熱用流路の流路方向の上流且つ幅方向の中央の位置における値を、矩形のマークM2は、本発明の一例の除熱装置における、除熱用流路の流路方向の中央且つ幅方向の中央の位置における値を、三角形のマークM3は、本発明の一例の除熱装置における、除熱用流路の流路方向の下流且つ幅方向の中央の位置における値を示している。

【0130】

本発明の一例の除熱装置の除熱用流路は、内周面に溝が形成されているものである。また、ヒートスプレッドは設けられていない。除熱用流路入口における液体の過冷度（飽和温度からの差）は、15Kである。液体冷媒の体積流量は、4.5リットル/分である。液体供給用流路の片側は、閉じられている。除熱用流路の間隙幅（除熱対象面と対向する断熱面との間隙）は、5mmである。除熱対象面の幅×長さ（流路方向）は、30mm×150mmである。

10

【0131】

図19A及び図19Bから理解されるように、本発明の一例の除熱装置では、ヒートスプレッドが設けられていない場合であっても、ヒートスプレッド付きの水冷方式よりも1オクタード高い熱流束での冷却を実現している。しかも、冷却可能な発熱面積は2オクタード大きく、液膜蒸発により高い熱伝達率が得られるので、除熱対象面と流体との温度差は十分に小さい。

【0132】

本発明は以上の実施形態や変形例に限定されず、種々の態様で実施してよい。

20

【0133】

除熱対象物は、冷媒の飽和温度よりも高温であればよく、パワー素子、モータ、バッテリー等の熱を放出する発熱物であってもよいし、ヒートスプレッド等の発熱物の熱を伝達する伝熱物であってもよい。気体、液体、固体のいずれであるかも問わない。

【0134】

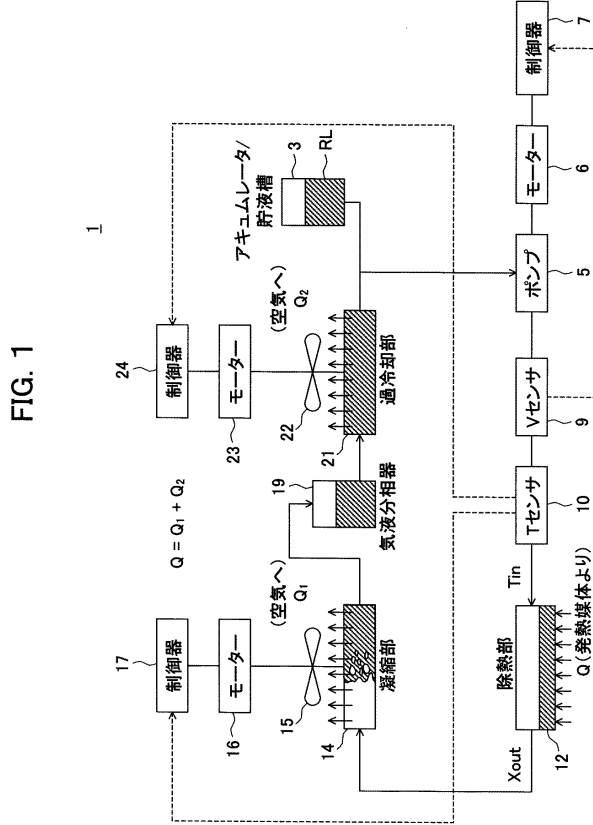
除熱用流路は、除熱対象物に隣接して設けられれば、適宜な材質、形状、寸法で形成してよい。いずれにせよ、除熱用流路は、除熱対象物に隣接していれば、除熱対象物から熱が伝達されるから、除熱対象物に熱的に接続されることになる。

【0135】

除熱用流路への液状の冷媒の供給がなされる複数位置は、流路方向に配列されたものに限定されない。複数位置に液状の冷媒が供給され、当該複数位置に亘って液膜が形成されれば、流路に直交する方向などでもよい。なお、複数位置に亘る範囲には、枯渇する箇所が生じないことが望ましいが、一部に枯渇する箇所が生じたとしても、複数位置に液体の冷媒が供給されており、かつ、従来の液状の冷媒を流す技術のように、複数位置に亘る範囲に液状の冷媒が充填されている（液状の冷媒が除熱用流路に満たされている）状態となっていなければ、複数位置に亘って液膜が形成されているといえる。

30

【 図 1 】



【 図 2 】

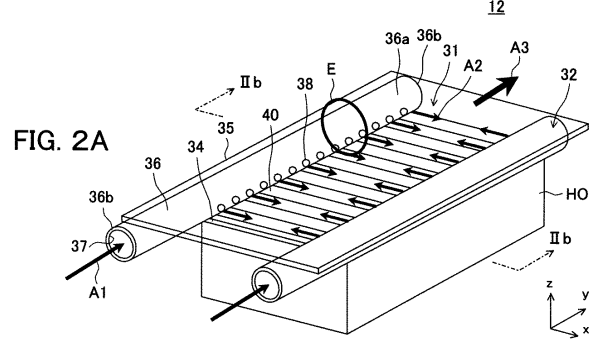


FIG. 2B

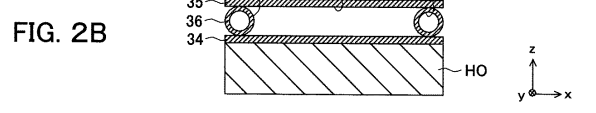
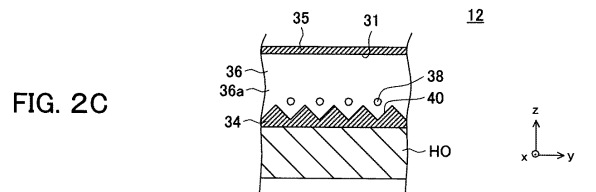
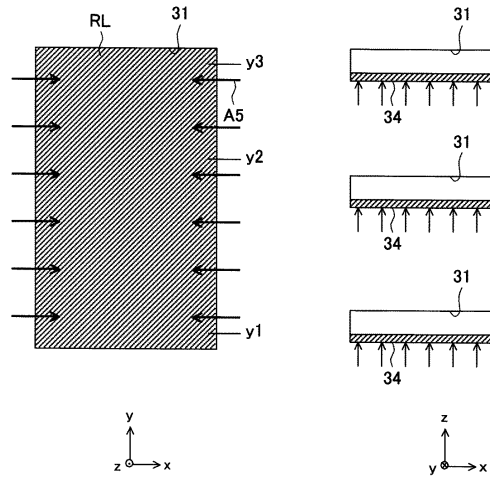


FIG. 2C



【 図 3 】

FIG. 3

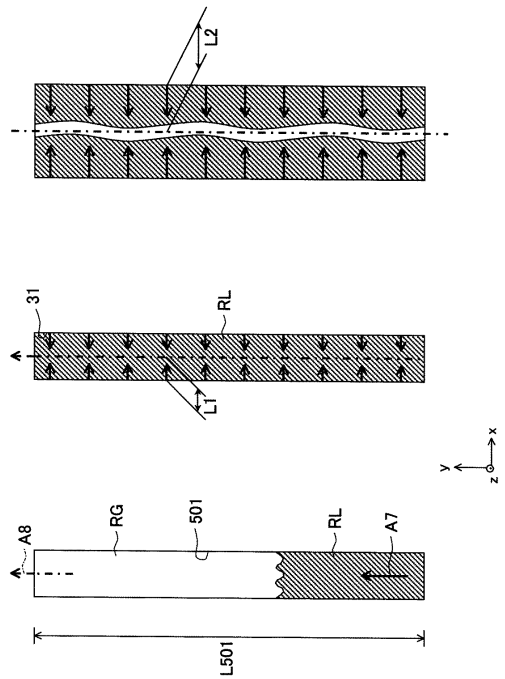


【 図 4 】

FIG. 4C

FIG. 4B

FIG. 4A



【 図 5 】

FIG. 5A

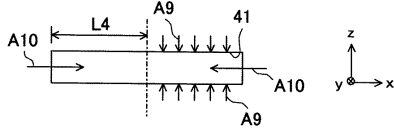


FIG. 5B

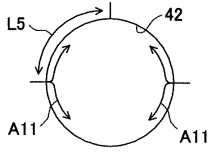


FIG. 5C

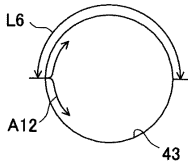
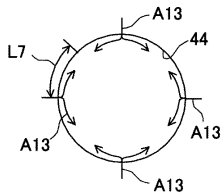


FIG. 5D



【 図 6 】

FIG. 6A

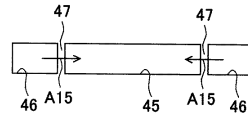


FIG. 6B

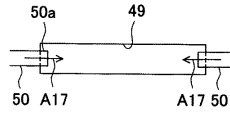


FIG. 6C

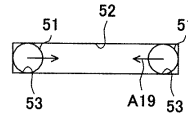


FIG. 6D

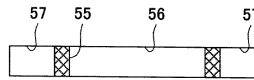


FIG. 6E

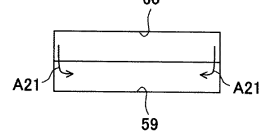


FIG. 6F

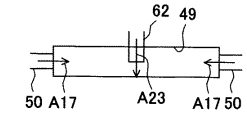
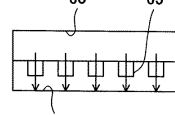


FIG. 6G



【 図 7 】

FIG. 7A

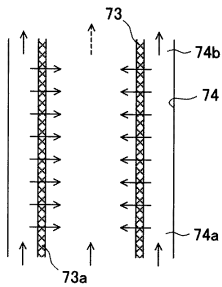


FIG. 7B

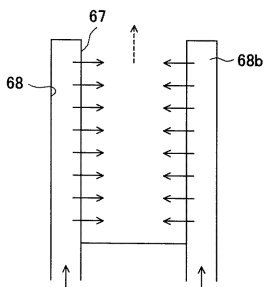


FIG. 7C

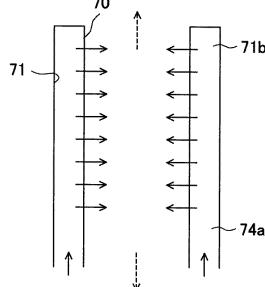
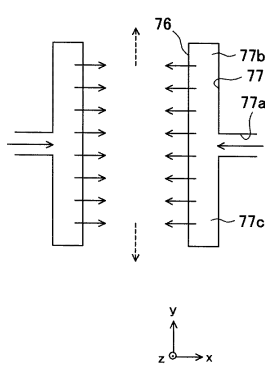


FIG. 7D



【 図 8 】

FIG. 8A

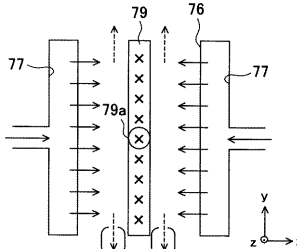


FIG. 8B

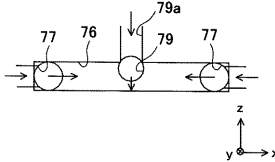


FIG. 8C

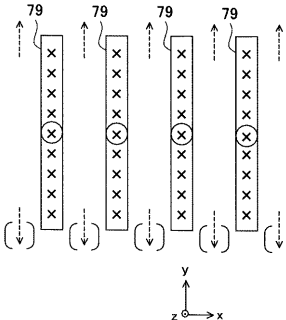


FIG. 8D

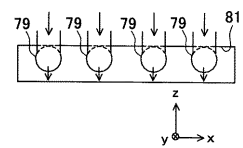


FIG. 8E

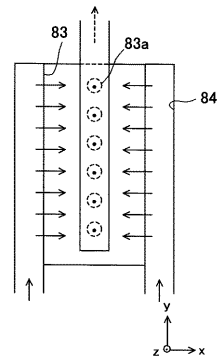
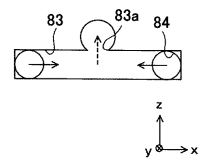
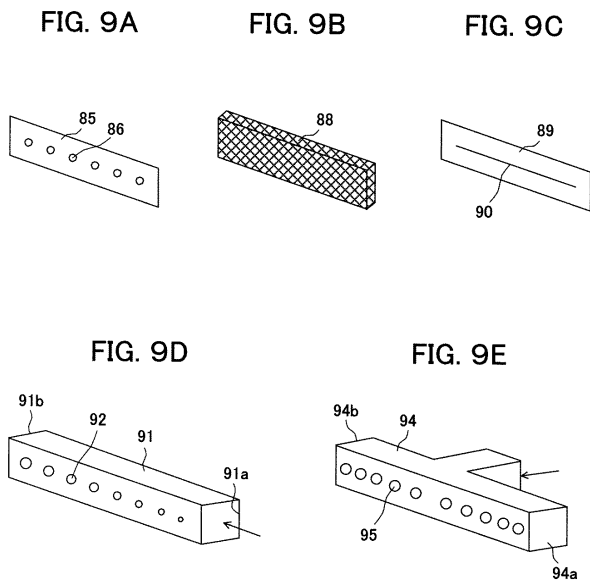


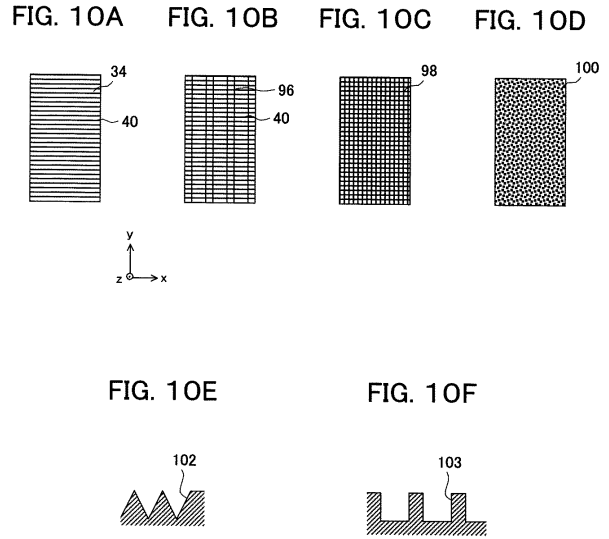
FIG. 8F



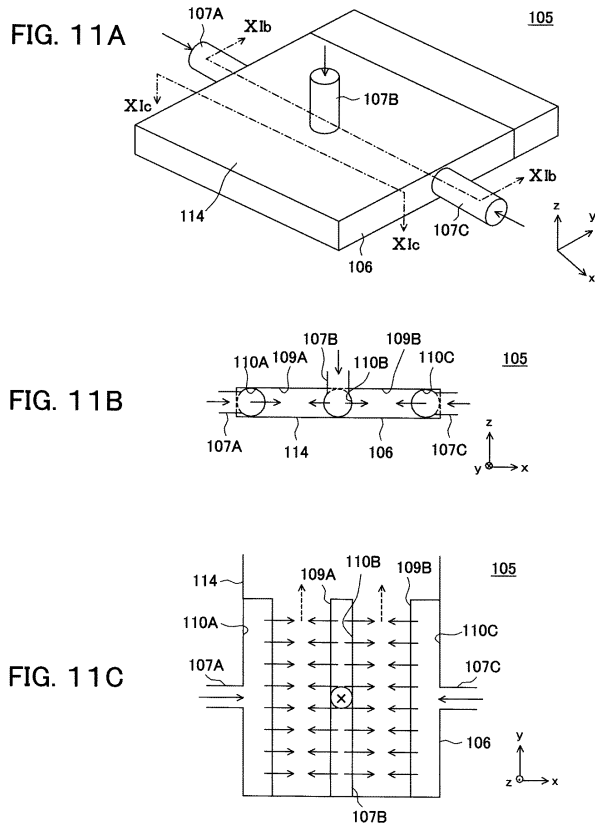
【 図 9 】



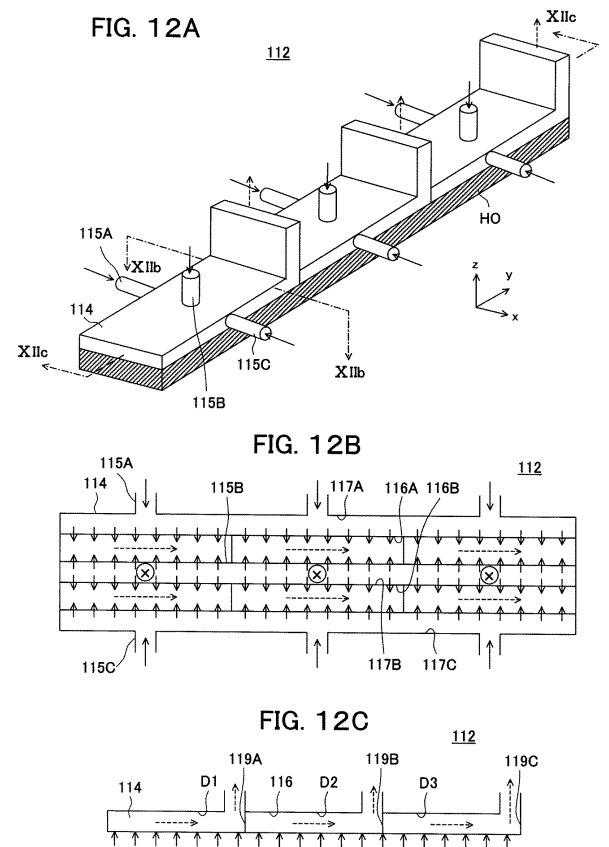
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



【図13】

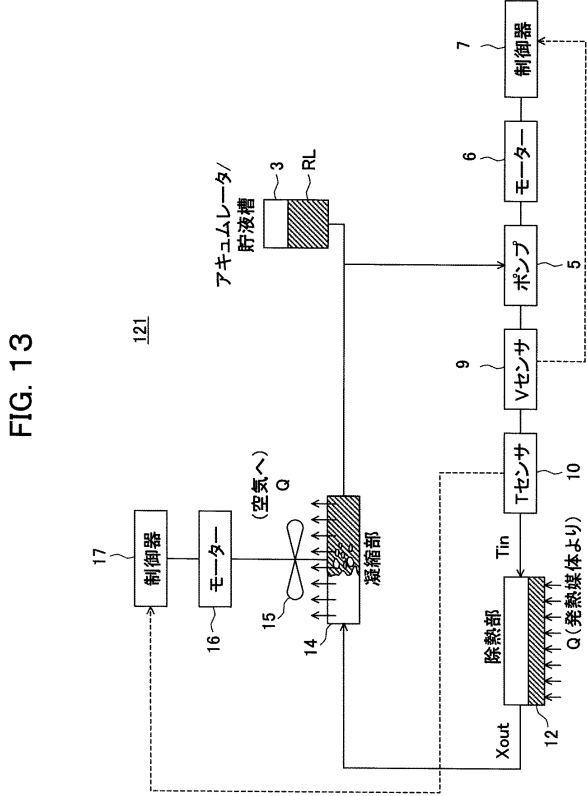


FIG. 13

【図14】

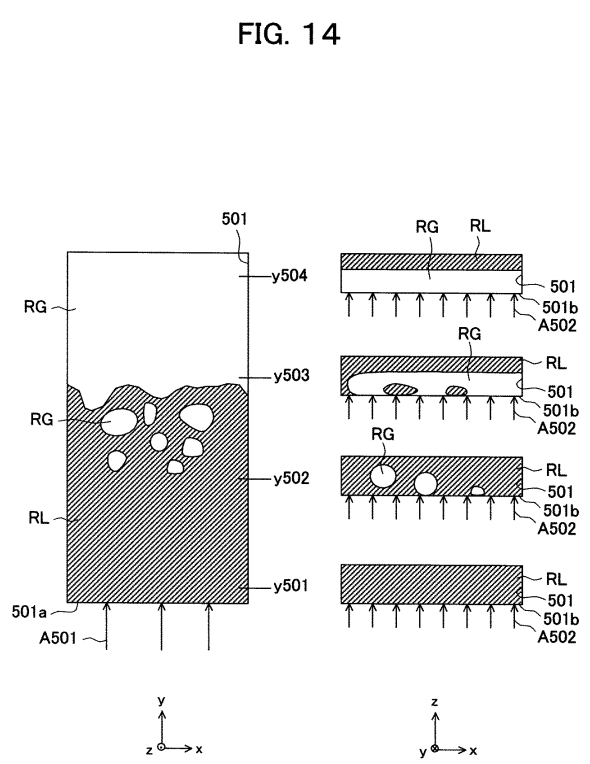
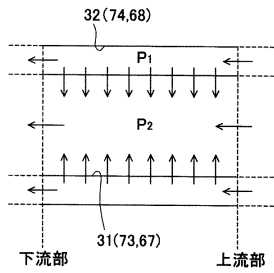


FIG. 14

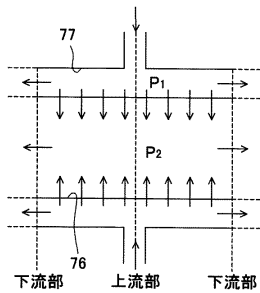
【図15】

FIG. 15A

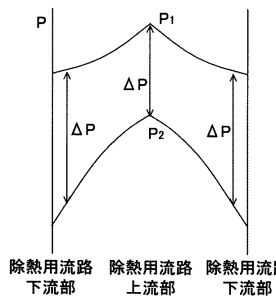
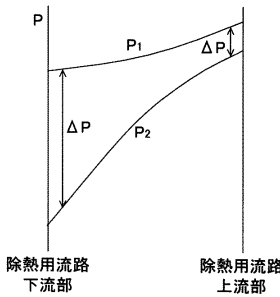


除熱用流路
下流部

FIG. 15B



除熱用流路
上流部



【図16】

FIG. 16A

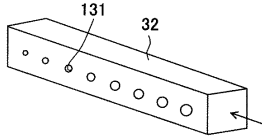


FIG. 16B

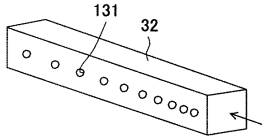


FIG. 16C

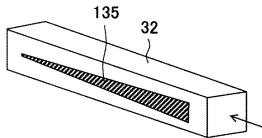


FIG. 16D

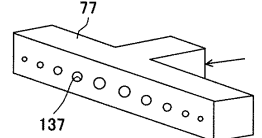


FIG. 16E

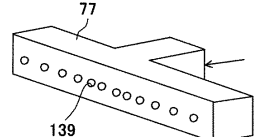
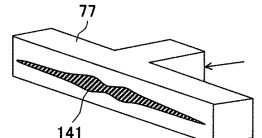
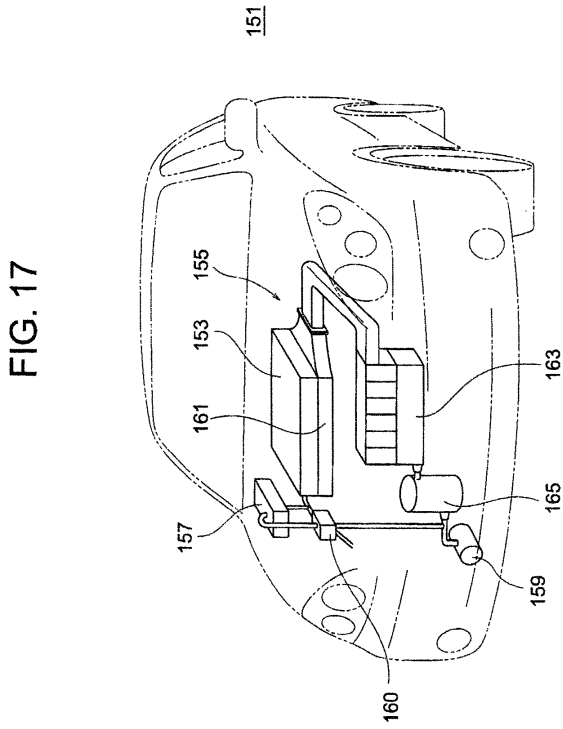


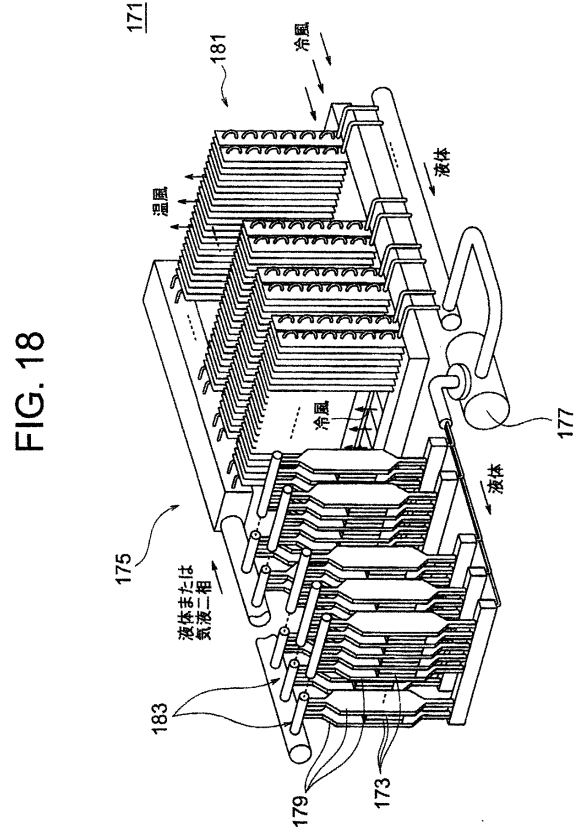
FIG. 16F



【 図 17 】



【 図 18 】



【 図 19 】

FIG. 19A

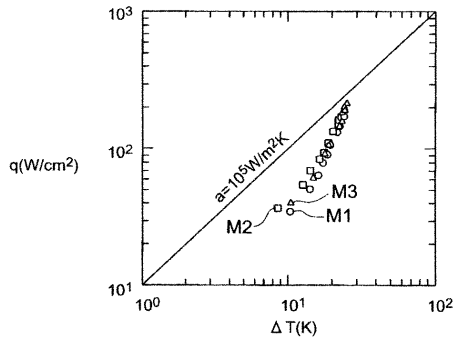
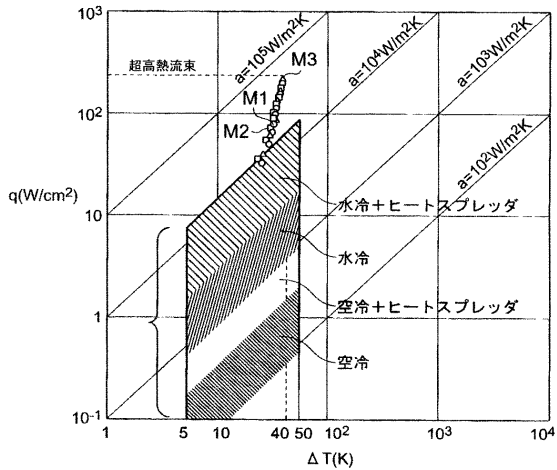


FIG. 19B



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-079337(JP,A)
特開2004-028444(JP,A)
特開2001-035980(JP,A)
特開2005-259747(JP,A)
特開2004-207737(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05K 7/20
F28D 15/02
H01L 23/34-23/473