

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-38302

(P2006-38302A)

(43) 公開日 平成18年2月9日(2006.2.9)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
F25D 9/00 (2006.01)	F25D 9/00 D	3LO44
F25D 17/02 (2006.01)	F25D 17/02 3O3	5E322
H05K 7/20 (2006.01)	H05K 7/20 M	5FO36
H01L 23/473 (2006.01)	H01L 23/46 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2004-216352 (P2004-216352)	(71) 出願人	000003609 株式会社豊田中央研究所 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1
(22) 出願日	平成16年7月23日 (2004.7.23)	(74) 代理人	100079049 弁理士 中島 淳
		(74) 代理人	100084995 弁理士 加藤 和詳
		(72) 発明者	長田 裕司 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内
		(72) 発明者	横井 豊 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

最終頁に続く

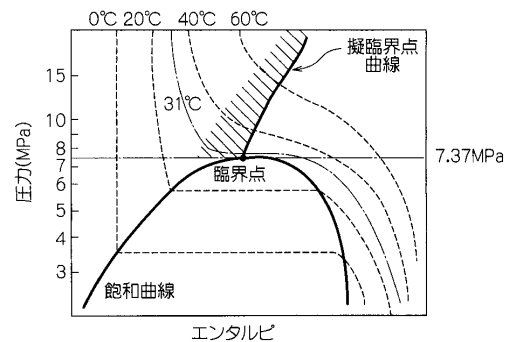
(54) 【発明の名称】 冷却装置及び冷却制御方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 被冷却体を効率的に冷却して高い冷却性能を得る。

【解決手段】 冷却器を流れる作動流体の上流および下流における圧力差または流速差に基づいて、冷却器を流れる作動流体の物性状態が斜線部領域になるように、すなわち、作動流体の圧力が臨界圧(7.37MPa)以上であり擬臨界点温度以下5の温度範囲内になるように、流体駆動装置や放熱器を制御することにより、高い冷却性能を得るとともに、被冷却体の温度の均一化を図る。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被冷却体と熱的に接続され、内部を作動流体が流れることにより前記被冷却体を冷却する冷却手段と、

前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する作動流体制御手段と、
を備えた冷却装置。

【請求項 2】

前記作動流体制御手段は、前記冷却手段を流れる作動流体の上流及び下流における圧力差または流速差に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

請求項 1 に記載の冷却装置。

10

【請求項 3】

前記作動流体圧力を計測する圧力計測手段と、

前記作動流体温度を計測する温度計測手段と、

前記冷却手段から流出した作動流体を循環駆動させて、前記冷却手段に前記作動流体を供給する前記流体駆動手段と、を更に備え、

前記作動流体制御手段は、圧力計測手段により計測された作動流体圧力と、温度計測手段により計測された作動流体温度と、に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

請求項 1 に記載の冷却装置。

【請求項 4】

前記作動流体温度を調整する温度調整手段を更に備え、

前記作動流体制御手段は、前記流体駆動手段、前記温度調整手段の少なくとも一方を制御することで、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

請求項 3 に記載の冷却装置。

20

【請求項 5】

前記作動流体制御手段は、前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下に制御する

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の冷却装置。

【請求項 6】

前記作動流体制御手段は、前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下 5 の範囲に制御する

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の冷却装置。

30

【請求項 7】

前記作動流体制御手段は、前記作動流体の物性値の変化、または前記作動流体の透過光量の変化に基づいて、前記前記作動流体が作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下か否かを判定し、判定結果を用いて前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下に制御する

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の冷却装置。

【請求項 8】

前記作動流体制御手段は、前記作動流体圧力を臨界圧力以上に制御する

請求項 5 または請求項 6 に記載の冷却装置。

40

【請求項 9】

被冷却体と熱的に接続され前記被冷却体を冷却する冷却手段の内部を流れる作動流体を、臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

冷却制御方法。

【請求項 10】

前記冷却手段を流れる作動流体の上流及び下流における圧力差または流速差に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

請求項 9 に記載の冷却制御方法。

【請求項 11】

50

作動流体圧力及び作動流体温度を計測し、

前記計測された作動流体圧力と、前記計測された作動流体温度と、に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

請求項 9 に記載の冷却制御方法。

【請求項 1 2】

前記冷却手段から流出した作動流体を循環駆動させて前記冷却手段に前記作動流体を供給する前記流体駆動手段、前記作動流体温度を調整する温度調整手段の少なくとも一方を制御することで、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

請求項 1 1 に記載の冷却制御方法。

【請求項 1 3】

前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下に制御する

請求項 9 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の冷却制御方法。

【請求項 1 4】

前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下 5 の範囲に制御する

請求項 9 から請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の冷却制御方法。

【請求項 1 5】

前記作動流体の物性値の変化、または前記作動流体の透過光量の変化に基づいて、前記前記作動流体が作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下か否かを判定し、判定結果を用いて前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下に制御する

請求項 9 から請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の冷却制御方法。

【請求項 1 6】

前記作動流体圧力を臨界圧力以上に制御する

請求項 1 3 または請求項 1 4 に記載の冷却制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、CPU、レーザーダイオード、インバータ用 IGBT 等の発熱密度が大きい電子機器等を冷却するのに用いて好適な冷却装置及び冷却制御方法に係り、特に、冷却器に流入する作動流体の物性状態を制御することで被冷却体を冷却する冷却装置及び冷却制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

冷却用作動流体としては、優れた熱物性をもつ水や、油、フロン系冷媒等が広く利用されている。

【0003】

超臨界流体を用いた冷却は、超臨界水による軽水炉冷却、超臨界ヘリウムによる超伝導マグネット冷却といった特定の環境場で実施されている。前者は超臨界流体が単相であるため気水分離機等の設備が不要であることや、密度大による蒸気流量低減によるタービン小型化を狙ったものであり、後者は極低温作動流体としての利用法であった。

【0004】

通常、場の冷却作動流体として超臨界流体を利用した例としては、自然循環型伝熱管に適用した例（例えば、特許文献 1 を参照。）や、強制循環方式で作動流体を駆動させる例（例えば、特許文献 2 を参照。）が挙げられる。

【0005】

特許文献 1 に記載された熱搬送装置は、超臨界流体の密度差に起因した浮力と低粘性特性を利用した自然循環方式である。上記熱搬送装置は、具体的には、外装の内部空間に超臨界領域で使用する熱媒体を封入し、受熱した部分と外装の他の部分との密度差により外装の他の部分へ熱を搬送し、放熱するものである。

【0006】

特許文献 2 に記載された伝熱装置は、特許文献 1 の問題点（作動流体を循環させるため

10

20

30

40

50

必要な駆動力が低下する点)を解決するため、作動流体を密閉流路内で移動させる流体駆動装置を備えたものである。

【特許文献1】特開2001-091170号公報

【特許文献2】特開2003-232596号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

超臨界流体は、圧力・温度状態により、物性値が大きく変化する。特に、比熱が極大値をとる擬臨界点近傍では、数度の温度範囲であっても物性値は数倍も変化する。

【0008】

しかし、特許文献1及び2に記載された装置は、熱負荷や環境温度の変動等に対応して、作動流体の物性値を管理していない。このため、安定した冷却性能確保が困難という問題があり、特に温度管理が厳しい電子機器では過熱・温度変動に伴う急激な温度上昇・温度不均一により性能低下や寿命低下をもたらした。

【0009】

また、特許文献1及び2に記載された装置は、システム内圧力・温度の適正な制御を行っていないため、超臨界流体において最大熱伝達率を発現できる擬臨界点において十分な冷却性能を得ることができなかった。そこで、作動流体の流量を増大させて冷却性能を確保しようとする、圧損の増大を引き起こし、システム動力の増大、および流体駆動装置の高容量化やコスト増が不可避となってしまった。

【0010】

さらに、近年では、冷却装置の伝熱性能を向上させるために、冷却流路の微細化が図られている。このため、作動流体の流量を増大させることによって冷却性能を確保しようとする、圧損増大(動力増大)の点から、効率低下を招いてしまう。

【0011】

本発明は、上記問題点を鑑みて提案されたものであり、被冷却体を効率的に冷却して高い冷却性能を得る冷却装置及び冷却制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、冷却装置で用いる作動流体の次のような特性に着目したものである。

【0013】

超臨界流体は、擬臨界点近傍で比熱が急激に増加する。その結果、熱伝達寄与への物性値指標となるプラントル数も急激に増加(プラントルオベリスク)するため、熱伝達率が著しく上昇し、冷却性能が向上する。また、超臨界状態では密度が大きく、粘性が小さいため圧力損失が小さくなり、その結果、流体駆動装置の動力(=圧力損失*流量)の低減が図れる。すなわち、冷却システムとして圧損同等で比較した場合、より多くの作動流体を循環させることができるため熱伝達率が向上し、冷却性能が向上する。

【0014】

擬臨界点(=比熱が極大値をとる点)では、比熱が著しく高い値をとる。従って、冷却に際して作動流体温度の上昇が抑えられ、冷却器内の作動流体温度が流入温度で維持される。その結果、冷却器の作動流体流れ方向に対する被冷却体-作動流体温度分布がなくなり被冷却体の温度均一化が図れる。

【0015】

作動流体温度が擬臨界点温度より高くなると、急激な密度低下に伴う流速増加により、圧力損失が増大して流量が低下し、冷却性能の低下を招く。従って、作動流体の温度を擬臨界点以下に制御することで低圧損・高冷却性能を維持できる。また、制御の際、この圧損増大や体積流量、物性値の急激な変化を擬臨界点温度超過の判定基準とすることができる。

【0016】

よって、請求項1に記載の冷却装置は、被冷却体と熱的に接続され、内部を作動流体が

10

20

30

40

50

流れることにより前記被冷却体を冷却する冷却手段と、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する作動流体制御手段と、を備えている。

【0017】

請求項9に記載の冷却制御方法は、被冷却体と熱的に接続され前記被冷却体を冷却する冷却手段の内部を流れる作動流体を、臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する。

【0018】

冷却手段の内部に作動流体が流れことによって、被冷却体と熱的に接続され前記被冷却体を冷却する。このとき、作動流体を何ら管理しないと、作動流体の物性値が変化してしまい、冷却手段が効率的に被冷却体を冷却できなくなる。

【0019】

したがって、上記発明は、冷却手段を流れる作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御することにより、高い冷却性能を得ると共に被冷却体の温度分布の均一化を図ることができる。

【0020】

請求項2に記載の冷却装置は、請求項1に記載の発明であって、前記作動流体制御手段は、前記冷却手段を流れる作動流体の上流及び下流における圧力差または流速差に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する。

【0021】

請求項10に記載の冷却制御方法は、請求項9に記載の発明であって、前記冷却手段を流れる作動流体の上流及び下流における圧力差または流速差に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する。

【0022】

圧力が一定の場合に作動流体温度が擬臨界点温度 T_{pc} 以上になると、密度の急激な減少にともなう流速増加に起因して、冷却手段での圧損が急激に増大し、流量低下による性能低下がおこる。すなわち、このように物性が大きく変化することで、作動流体温度が擬臨界点温度 T_{pc} 以上になったか否かが分かる。

【0023】

そこで、上記発明は、前記冷却手段を流れる作動流体の上流及び下流における圧力差または流速差に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御することで、高い冷却性能を得ると共に被冷却体の温度分布の均一化を図ることができる。

【0024】

請求項3に記載の冷却装置は、請求項1に記載の発明であって、前記作動流体圧力を計測する圧力計測手段と、前記作動流体温度を計測する温度計測手段と、前記冷却手段から流出した作動流体を循環駆動させて、前記冷却手段に前記作動流体を供給する前記流体駆動手段と、を更に備え、前記作動流体制御手段は、圧力計測手段により計測された作動流体圧力と、温度計測手段により計測された作動流体温度と、に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する

請求項11に記載の冷却制御方法は、請求項9に記載の発明において、作動流体圧力及び作動流体温度を計測し、前記計測された作動流体圧力と、前記計測された作動流体温度と、に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する。

【0025】

擬臨界点か否かを判定するために、作動流体圧力及び作動流体温度を用いることができる。そこで、上記発明は、前記計測された作動流体圧力と、前記計測された作動流体温度と、に基づいて、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御する。

【0026】

ここで、作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御するためには、作動流体の温度、圧力、流量のいずれかを制御すればよい。

【0027】

そこで、請求項4に記載の冷却装置は、請求項3に記載の発明であって、前記作動流体温度を調整する温度調整手段を更に備え、前記作動流体制御手段は、前記流体駆動手段、

10

20

30

40

50

前記温度調整手段の少なくとも一方を制御することで、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御している。

【0028】

請求項12に記載の冷却制御方法は、請求項11に記載の発明であって、前記冷却手段から流出した作動流体を循環駆動させて前記冷却手段に前記作動流体を供給する前記流体駆動手段、前記作動流体温度を調整する温度調整手段の少なくとも一方を制御することで、前記作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御している。

【0029】

前記作動流体制御手段は、請求項5及び請求項13に記載のように、作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下に制御するとよい。

10

【0030】

また、前記作動流体制御手段は、請求項6及び請求項14に記載のように、前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下5の範囲に制御するとよい。

【0031】

さらに、前記作動流体制御手段は、請求項7及び請求項15に記載のように、前記作動流体の物性値の変化、または前記作動流体の透過光量の変化に基づいて、前記前記作動流体が作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下か否かを判定し、判定結果を用いて前記作動流体を作動流体圧力に対する擬臨界点温度以下に制御してもよい。

【0032】

前記作動流体制御手段は、請求項8及び請求項16に記載のように、前記作動流体圧力を臨界圧力以上に制御してもよい。

20

【発明の効果】

【0033】

本発明に係る冷却装置及び冷却制御方法によれば、冷却手段を流れる作動流体を臨界点もしくは擬臨界点近傍に制御することにより、高い冷却性能を得ると共に被冷却体の温度分布の均一化を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

30

【0035】

[本発明の概要]

本発明は、超臨界流体による高性能冷却法として、擬臨界点近傍の物性値に着目したものである。

【0036】

図1は、CO₂の超臨界域物性値の温度特性を示す図である。

【0037】

超臨界流体には、各圧力において比熱が極大値をとる擬臨界点が存在する。この擬臨界点では、著しく比熱が増大することにより、プラントル数(物質の熱伝達寄与の指標となる無次元数： $Pr = C_p \cdot \mu / \lambda$ ； C_p 比熱、 μ 粘性係数、 λ 熱伝導率)も急増する(プラントルオベリスクという)。このため、熱伝達率($Pr^{0.4}$)が著しく上昇し、冷却性能が向上する。

40

【0038】

図2は、CO₂の熱伝達率及び比熱特性を示す図である。このように、熱伝達率は比熱の挙動に対応する。

【0039】

さらに、この擬臨界点では比熱が大きいことにより、作動流体は熱交換においても温度変化が極めて小さくなる。作動流体が擬臨界点から離れた場合や、汎用の水冷方式では、比熱レベルが小さい。このため、冷却とともに顕熱変化分の作動流体温度上昇がおり、流れ方向に向かって冷却器温度も上昇していく。

50

【0040】

これに対して、擬臨界点近傍で用いた場合は、冷却器内で流体温度がほぼ一定となるため、冷却器と熱的に接続された被冷却体の温度分布が均一化される。

【0041】

そこで、本発明は、冷却器へ流入する超臨界作動流体を擬臨界点及びその近傍に制御することにより、高い冷却性能（熱伝達率）と被冷却体の均一温度化を図っている。

【0042】

図3は、擬臨界点近傍におけるCO₂の冷却器内の圧力損失を示す図である。

【0043】

圧力が一定の場合に作動流体温度が擬臨界点温度 T_{pc} 以上になると、密度の急激な減少ともなう流速増加に起因して、図3に示すように、冷却器での圧損が急激に増大し、流量低下による性能低下がおこる。従って、実用上、流入温度条件としては擬臨界点温度以下が好ましい。

【0044】

このように、本発明は、冷却器へ流入する超臨界作動流体の流入条件を擬臨界点温度以下に制御することにより、低圧損・高熱伝達性能を高くすることができる。この擬臨界点の判定法としては、作動流体の圧力や温度から直接演算するだけでなく、それ以外に、擬臨界点における冷却器前後での圧損・流速の急激な増加の他、密度・粘性係数・熱伝導率といった物性値の急激な変化率、作動流体の透過光量の低下といった光学的特性も利用できる。

【0045】

作動流体の擬臨界点の制御としては、冷却器前後の圧力・温度を検出し、冷却器内の作動流体が擬臨界点温度以下になるようにすればよい。例えば、流体駆動装置、放熱器、圧力調整装置で流量・放熱量・圧力を制御する方法の他、冷却器での圧損等をモニターし、その変化の割合から擬臨界点温度を超過しているか否か判定し、流体駆動装置、放熱器、圧力調整装置により、擬臨界点温度以下へ復帰させてもよい。また、冷却器前後の圧力差に応じて弁開度が変化する機構を設けた自己制御型流量調整装置も有効である。

【0046】

[第1の実施形態]

図4は、本発明の第1の実施形態に係る冷却装置の構成を示す図である。

【0047】

第1の実施形態に係る冷却装置は、作動流体を強制循環させるための流体駆動装置11と、流体駆動装置11によって循環させられた作動流体によって被冷却体12を冷却すべく当該被冷却体12と熱的に接続された冷却器13と、冷却器13に対する作動流体の流動方向上流（以下単に「上流」という。）に配置された圧力計14及び温度計15と、を備えている。

【0048】

また、冷却装置は、冷却器13に対する作動流体の流動方向下流（以下単に「下流」という。）に配置された温度計16と、冷却器13の入口及び出口における作動流体の差圧を計測する差圧計17と、冷却器13から流出された作動流体の温度を所定の温度まで冷却するための放熱器18と、を備えている。なお、放熱器18によって冷却された作動流体は再び流動駆動装置11に供給され、作動流体に関する閉ループ回路が構成されている。

【0049】

さらに、冷却装置は、圧力計14、温度計15、16、差圧計17の計測結果に基づいて、流体駆動装置11及び放熱器18を制御するコントロールユニット19を備えている。つまり、流体駆動装置11から吐出される作動流体のCO₂供給量、及び放熱器18によって冷却された後の作動流体の温度は、コントロールユニット19によって制御される。

【0050】

作動流体としてはCO₂が用いられ、超臨界圧状態で閉ループ回路内に封入されている。流体駆動装置11としては、例えばダイヤフラム式、ギヤ式、ファン式の任意のポンプでよい。放熱器18としては、フィン・チューブ式、シェルアンドチューブ式、もしくは二重管式熱交換器が用いられる。

【0051】

以上のように構成された冷却装置において、流体駆動装置11から吐出されたCO₂は、冷却器13において加熱されながら熱交換を行い、その後、放熱器18で所定の温度まで冷却され、流体駆動装置11に戻される。このとき、コントロールユニット19は、圧力計14、温度計15、16、差圧計17において検出された信号を用いて、予め設定されたプログラムに従って、放熱器18で設定される温度、流体駆動装置11からのCO₂供給流量を制御する。

10

【0052】

最初に、コントロールユニット19は、放熱器18の出口温度が、CO₂の冷却器13流入圧力（圧力計14の計測値）に対する擬臨界点温度以下（擬臨界点温度以下5以内が望ましい。）になるように、放熱器18を制御する。例えば、圧力計14の計測値が8.91MPaの場合、コントロールユニット19は、CO₂の温度が35～40になるように（後述の図5によると、8.9MPaの場合、擬臨界点温度は40）、放熱器18を制御する。

【0053】

次に、コントロールユニット19は、冷却器13の出口温度（温度計16の計測値）が、擬臨界点温度を超えて上昇する場合、冷却器13の出口温度が擬臨界点温度以下になるように、流体駆動装置11にCO₂供給流量を増加させる。

20

【0054】

コントロールユニット19は、以上のように流体駆動装置11及び放熱器18を制御することによって、冷却器13内のCO₂温度が常に擬臨界点温度以下約5の温度範囲内（後述する図5の斜線部領域）になるようにすることができる。

【0055】

図5は、CO₂のモリエル線上での冷却器の圧力及び温度設定領域を示す図である。コントロールユニット19は、CO₂の物性状態が同図斜線部領域になるように、すなわち、作動流体の臨界圧力が7.37MPa以上であり擬臨界点温度以下5の温度範囲内になるように、流体駆動装置11及び放熱器18を制御する。

30

【0056】

以上のように、第1の実施形態に係る冷却装置は、常時、冷却器13内でのCO₂状態を擬臨界点温度以下約5以内に制御することにより、擬臨界点温度以上になってCO₂圧損が増大してしまうことを回避して、擬臨界点近傍の大きな熱伝達率による高性能冷却が可能となる。同時に、擬臨界点近傍の大きな比熱による被冷却体の均一冷却が達成される。

【0057】

（比較例）

図6は、圧力7.38MPaのCO₂と同一質量流量での水による冷却器（水力直径1mm以下の微細多穴型ヒートシンク）性能の一例を示す図である。

40

【0058】

ここで、

流体駆動力 $P_w = \text{冷却器圧損} \times \text{流量}$

熱抵抗 $R_t = \{ (\text{被加熱体温度} - \text{作動流体温度}) / \text{被加熱体熱流束} \}$

である。

【0059】

同図によると、擬臨界点近傍の特性を利用した超臨界流体冷却は、従来の水冷方式より冷却性能で上回っており、作動流体の流入温度が擬臨界点に近いほど冷却性能が向上している。

50

【0060】

図7は、図6と同一条件で実験した場合における冷却器（ヒートシンク）の温度分布を示す図である。水冷方式の場合、冷却に伴う顕熱増加により、流れ方向に向かって流体温度が上昇する。その結果、冷却器温度分布が不均一になる。

【0061】

これに対して、CO₂冷却方式の場合、大きな比熱の効果により冷却器温度が比較的均一に保たれる。例えば、被冷却体がレーザーダイオードの場合、超臨界流体冷却では高い熱伝達率と均一冷却効果により、高効率かつ安定した発振が達成され、素子の寿命も格段に延長できる。

【0062】

（変形例1）

上記実施形態では、コントロールユニット19は、冷却器13の出口温度を測定することにより擬臨界点温度を判定した。ここでは、コントロールユニット19は、図1及び図3に示したような擬臨界点での物性値やそれに起因した圧損、流速の急激な変化に基づいて、擬臨界点温度を判定する。

【0063】

図8は、擬臨界点温度 T_{pc} 近傍での物性値 X の温度変化、及び変化割合を示す図であり、(A)は温度に対する X の変化、(B)は温度に対する X の一次微分、(C)は温度に対する X の二次微分である。ここでは、 X として、密度、粘性係数 μ 、熱伝導率、圧損 P 、流速 V を挙げた。

【0064】

圧損 P を例にとると、 P は擬臨界点で急激に増加する。温度に対する変化割合をみると、温度に対する P の一次微分は擬臨界点で極大値をとり、 P の二次微分は擬臨界点を境に符号が変わる。このように、 P は擬臨界点温度以上になると倍以上の値になる。一方、密度、粘性係数 μ 、熱伝導率の物性値 X は、擬臨界点温度以上になると1/2以下の値になる。

【0065】

この特性を利用し、図4に示すコントロールユニット19は、冷却器13前後の圧損（又は流速）を差圧計17でモニタリングし、冷却器13の入口側から微小な操作量（流量等）の変化が与えられたときに、その圧損の変化割合（極大値または符号変化）から擬臨

【0066】

（変形例2）

光学的手法によって擬臨界点温度を判定することもできる。

【0067】

図9は、冷却器（微細多穴型ヒートシンク）出口におけるCO₂の流れ場を撮影した図であり、(A)はCO₂の温度 T_{CO_2} が26の場合、(B)はCO₂の温度 T_{CO_2} が31の場合である。但し、CO₂の圧力 P は7.38MPaとした。

【0068】

冷却器の出口温度が臨界点温度より数低い（もしくは高い）場合、CO₂はほぼ透明であるが（同図(A)を参照）、臨界点に近づくと白濁化する（同図(B)を参照）。これは、臨界点極近傍の密度の急激な変化にともなう「密度ゆらぎ」に起因した光の散乱現象（「臨界タンパク光」と呼ばれる。）による。

【0069】

この現象を利用して、図4に示す冷却器13の出口部の配管に光源及び受光部を設置すればよい。このとき、コントロールユニット19は、受光部で検出される透過光量の低下に基づいて、臨界点温度を判定すればよい。

【0070】

（変形例3）

本実施形態では、冷却器は1個であったが、複数個の冷却器を並列に接地してもよい。

10

20

30

40

50

【0071】

図10は、第1の実施の形態に係る冷却器の他の構成を示す図である。なお、図4と同一の部位には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0072】

同図に示すように、冷却器13、その下流側に配置された温度計16、新たに追加された流量調整バルブ20が直列に配置されている。そして、これらと同じ組合せのもの（例えば、冷却器13a、温度計16a、流量調整バルブ20a）が複数個並列に接続されている。なお、冷却器13、13a、13b、13cの上流には、共通して、圧力計14及び温度計15が設けられている。

【0073】

この場合、コントロールユニット19は、各冷却器13、13a、13b、13cの出口温度、もしくは圧力損失等を各々検出して、流体駆動装置11及び放熱器18だけでなく、各並列流路の流量調整バルブ20、20a、20b、20cの開度を制御すればよい。

【0074】

また、作動流体としては、CO₂以外に、エタン・エチレン等のハイドロカーボンやフロン12・23等のフロン系冷媒であってもよい。

【0075】

（変形例4）

冷却器としては、次のように様々なものを用いることができる。

【0076】

図11は、冷却器13の斜視図である。図12は、図11に示した冷却器13をA-A断面からみたときの流路断面形状を示す図であり、（A）は矩形、（B）は半円、（C）は円形、（D）は三角（流路密度が疎）、（E）は三角（流路密度が密）、（F）は台形（流路密度が疎）、（G）は台形（流路密度が密）の場合である。

【0077】

冷却器内の作動流体流路は、複数の溝または穴が並列に配置されたのもであり、図12（A）から（G）に示すように、各流路断面が矩形・台形・三角・半円のいずれの形状であってもよい。

【0078】

また、冷却器としては、次の図13及び図14のような構成でもよい。

【0079】

図13は、円柱状の伝熱促進体21が配置された冷却器13の要部斜視図である。伝熱促進体21は、その軸方向が作動流体の流動方向に直交するように配置されている。なお、伝熱促進体21の形状は、図13に示したのものに限定されず、例えばピンフィン、突起のようなものでもよい。図14は、衝突噴流から構成される冷却器13の流路を示す断面図である。この冷却器13内では、作動流体は噴流化されている。

【0080】

なお、上述した変形例1、2、4については、後述する第3の実施形態においても同様に適用することができる。

【0081】

[第2の実施形態]

つぎに、本発明の第2の実施形態について説明する。なお、第1の実施形態と同一の部位には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0082】

図15は、本発明の第2の実施形態に係る冷却装置の構成を示す図である。第2の実施形態に係る冷却装置は、擬臨界点温度での急激な圧損の増加特性を利用して作動流体の流量を調整するものである。

【0083】

上記冷却装置は、被冷却体12を冷却するために当該被冷却体12と熱的に接続された

10

20

30

40

50

冷却器 13 と、冷却器 13 に対する作動流体上流側及び下流側で生じる圧力差によって変位するダイヤフラム 31 と、ダイヤフラム 31 に接続された流量調整弁 32 と、流量調整弁 32 に所定の力を加えるバネ 33 と、バネ 33 に加える力を調整するアジャスタ 34 と、を備えている。

【0084】

ダイヤフラム 31 の一方側には、冷却器 13 に接続された上流側配管 40 の作動流体の圧力がかかる。ダイヤフラム 31 の他方側には、冷却器 13 に接続された下流側配管 41 の作動流体の圧力がかかる。また、ダイヤフラム 31 は、流量調整弁 32 に接続している。

【0085】

流量調整弁 32 は、下流側配管 41 を流れる作動流体の流量を調整するものであり、作動流体の流動方向に直交する方向に移動可能に構成されている。また、流量調整弁 32 は、ダイヤフラム 31 の変位に応じて、作動流体の流動方向に直交する方向に移動する。さらに、流量調整弁 32 は、バネ 33 によって、下流側配管 41 を流れる作動流体の流量が小さくなるような方向に付勢されている。

【0086】

これにより、例えば、ダイヤフラム 31 が流量調整弁 32 を押圧すると、流量調整弁 32 はバネ 33 の弾性力に抗して下流側配管 41 を開くようになる。

【0087】

以上のように構成された冷却装置において、被冷却体 12 の熱量が増加して、冷却器 13 から出た作動流体の温度が擬臨界点温度に達すると、冷却器 13 内の圧損が急増する。そして、冷却器 13 の出口圧力は低下して、上流との圧力差によりダイヤフラム 31 が変位する。その結果、ダイヤフラム 31 に接続された流量調整弁 32 が下方に移動することによって、弁開度が大きくなって流量が増加する。これにより、冷却器 13 の冷却能力が増加して、冷却器 13 の出口温度は擬臨界点温度以下へと自動的に復帰する。

【0088】

なお、冷却器 13 の出口温度が擬臨界点温度以下へと自動的に復帰するような弁開度になるように、バネ 33 のバネ定数や、ねじ込み式アジャスタ 34 の送り位置を設定しておく。

【0089】

以上のように、第 2 の実施形態に係る冷却装置は、冷却器 13 に対する作動流体の上流側及び下流側の差圧に応じて下流側配管 41 の弁開度を調整することにより、作動流体の温度を常時擬臨界点温度以下に制御することができる。

【0090】

また、上記冷却装置は、擬臨界点温度における超臨界流体の特性を利用した自己制御型であるため、第 1 の実施形態で用いたようなコントロールユニットが不要になり、例えば図 10 に示したような冷却器が複数個設置された系でのシステム制御の簡素化に特に有効である。

【0091】

[第 3 の実施形態]

つぎに、本発明の第 3 の実施形態について説明する。ここでは、第 1 の実施形態と異なる部位について主に説明するものとし、第 1 の実施形態と同一の部位には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0092】

図 16 は、本発明の第 3 の実施形態に係る冷却装置の構成を示す図である。第 3 の実施形態に係る冷却装置は、同図に示す各構成要素による閉ループ系冷凍サイクルを構成している。

【0093】

第 3 の実施形態に係る冷却装置は、冷却器 13 の下流側に配置されて作動流体を減圧するための圧力調整器（膨張弁）50 と、減圧された作動流体を単相蒸気まで加熱するため

10

20

30

40

50

の蒸発器 5 1 と、高圧側流体と低圧側流体を熱交換させるための内部熱交換器 5 2 と、を備えている。

【0094】

圧力調整器 5 0 の弁開度は、コントロールユニット 1 9 の予め設定されたプログラムによって調整される。内部熱交換器 5 2 は、蒸発器 5 1 から供給される低圧側作動流体と流体駆動装置 1 1 で昇圧された高圧側作動流体との熱交換を行う。そして、低圧側作動流体は流体駆動装置 1 1 に供給され、高圧側作動流体は放熱器 1 8 に供給される。

【0095】

放熱器 1 8 は、昇圧後の作動流体を所定温度まで冷却して、冷却した作動流体を冷却器 1 3 に供給する。なお、圧力計 1 4 及び温度計 1 5 は、冷却器 1 3 と放熱器 1 8 の間の配管に設けられている。作動流体としては CO_2 が用いられ、閉ループ回路内に封入されている。

10

【0096】

流体の昇圧・駆動装置である流体駆動装置 1 1 (ダイアフラム式、斜板式、スクロール式、ロータリー式、スクリュウ式のいずれでもよい。) から吐出された CO_2 は、放熱器 1 8 (フィン・チューブ式、シェルアンドチューブ式、もしくは二重管式熱交換器のいずれでもよい。) により所定温度まで冷却され、冷却器 1 3 へ導かれる。

【0097】

CO_2 は、冷却器 1 3 において加熱されながら熱交換を行い、そのあとで圧力調整器 5 0 で減圧され低圧・低温の二相状態となり、蒸発器 5 1 および内部熱交換器 5 2 で加熱され単相状態で流体駆動装置 1 1 へ戻される。

20

【0098】

以上のように構成された冷却装置において、最初に、コントロールユニット 1 9 は、放熱器 1 8 の出口温度が、 CO_2 の冷却器 1 3 流入圧力 (圧力計 1 4 の計測値) に対する擬臨界点温度以下 (擬臨界点温度以下 5 以内が望ましい。) になるように、放熱器 1 8 を制御する。次に、コントロールユニット 1 9 は、冷却器 1 3 の出口温度 (温度計 1 6 の計測値) が、擬臨界点温度を超えて上昇する場合、冷却器 1 3 の出口温度が擬臨界点温度以下になるように、流体駆動装置 1 1 に CO_2 供給流量を増加させる。

【0099】

コントロールユニット 1 9 は、以上のように流体駆動装置 1 1 及び放熱器 1 8 を制御することによって、冷却器 1 3 内の CO_2 温度が常に擬臨界点温度以下約 5 の温度範囲内 (後述する図 5 の斜線部領域) になるようにすることができる。

30

【0100】

なお、冷却器 1 3 の出口温度を測定して擬臨界点温度を判定する方法以外に、冷却器 1 3 内での圧損や物性値変化等に基づいて判断してもよい。

【0101】

図 1 7 は、冷却器 1 3 に流入する流体温度を各圧力における擬臨界温度に設定した場合の被冷却体温度特性を示す図である。ここでは、作動流体の流量を固定して、圧力調整器 5 0 の弁開度により高圧側の圧力を変化させている。

【0102】

同図によると、被冷却体温度は、流体圧力の増加とともに徐々に増加していく。これは、作動流体の圧力増加とともに擬臨界点温度における熱伝達率ピーク値が低下すること (図 2 参照) と、擬臨界点温度自体も高温側にシフトしていくこと (図 1 参照) による。従って、冷却性能上の目標設定圧力としては、臨界圧が最適といえる。

40

【0103】

但し、被冷却体の発熱量が大きくなり、冷却器の出口温度を擬臨界温度以下に抑えきれなくなった場合等では、冷却性能の急激な低下・圧損の急上昇を回避させるべく、高圧側圧力を上昇させて擬臨界点温度を高温側にシフトさせるのが有効である。

【0104】

(変形例)

50

上記実施形態では、冷却器は1個であったが、冷却器は複数個並列に設置してもよい。

【0105】

図18は、第3の実施形態に係る冷却装置の他の構成を示す図である。

【0106】

冷却器13、その下流側に配置された温度計16、流量調整バルブ20が直列に配置されている。そして、これらと同じ組合せのもの（例えば、冷却器13a、温度計16a、流量調整バルブ20a）が複数個並列に接続されている。なお、冷却器13、13a、13b、13cの上流には圧力計14及び温度計15が設けられ、その下流には圧力調整器50が設けられている。

【0107】

この場合、コントロールユニット19は、各冷却器13、13a、13b、13cの出口温度もしくは圧力損失を各々の検出して、流体駆動装置11及び放熱器18だけでなく、各並列流路の流量調整バルブ20、20a、20b、20cの開度を制御すればよい。また、作動流体としては、CO₂以外に、エタン・エチレン等のハイドロカーボンやフロン12・23等のフロン系冷媒であってもよい。

【0108】

以上のように、上述した冷却装置は、被冷却体の冷却性能を向上させることにより、例えば発熱密度の高い電子機器部品（CPU、IGBT、レーザーダイオード等）を冷却する場合には、これらの高効率化、長寿命化を図ることができる。さらに、上記冷却装置は、被冷却体温度を均一化することができるので、例えば、温度依存性の高いレーザーダイオードを冷却する場合には、レーザーアレイ内の各エミッタ温度を1～2の温度差範囲内に維持することが可能になり、高い発光効率を達成することができる。

【0109】

なお、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された事項の範囲内で設計変更されたものにも適用可能である。

【0110】

例えば、擬臨界点温度以下5が望ましい作動流体として、CO₂を例に挙げて説明したが、他の作動流体、例えばハイドロカーボンとフロン系冷媒を用いることもできる。

【0111】

図19は、室温付近に臨界点を有する各作動流体の臨界圧近傍での熱伝達特性を示す比較図である。図20は、各作動流体の臨界圧及び臨界温度を示す図である。なお、ハイドロカーボンとしてC₂H₆（エタン）、フロン系冷媒としてR13（フロン13）、R23（フロン23）を用いた。熱伝達率は、各作動流体の臨界圧+0.1MPaの圧力条件下、質量流量400kg/m²sでヒートシンクに供給した場合の試算値（Dittus-Boelter式）である。

【0112】

図19及び図20によると、擬臨界温度近傍で高熱伝達率ピークを示す温度範囲は、各作動流体とも約10程度になった。すなわち、物質による差はあまりない。従って、擬臨界点を越えることなく高い熱伝達率を有する作動条件（低圧損・高熱伝達を達成するのに適正な温度範囲）としては、その半分の約5となる。

【0113】

したがって、CO₂に限らず、ハイドロカーボンとフロン系冷媒についても、擬臨界点温度以下5にするとよい。

【図面の簡単な説明】

【0114】

【図1】CO₂の超臨界域物性値の温度特性を示す図である。

【図2】CO₂の熱伝達率及び比熱特性を示す図である。

【図3】擬臨界点近傍におけるCO₂の冷却器内の圧力損失を示す図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る冷却装置の構成を示す図である。

【図5】CO₂のモリエル線上での冷却器の圧力及び温度設定領域を示す図である。

10

20

30

40

50

【図6】圧力7.38MPaのCO₂と同一質量流量での水による冷却器の性能の一例を示す図である。

【図7】図6と同一条件で実験した場合の冷却器の温度分布を示す図である。

【図8】擬臨界点温度 T_{pc} 近傍での物性値・状態量 X の温度変化、及び変化割合を示す図であり、(A)は温度に対する X の変化、(B)は温度に対する X の一次微分、(C)は温度に対する X の二次微分である。

【図9】冷却器出口におけるCO₂の流れ場を撮影した図であり、(A)はCO₂の温度 T_{CO_2} が26 の場合、(B)はCO₂の温度 T_{CO_2} が31 の場合である。

【図10】第1の実施の形態に係る冷却器の他の構成を示す図である。

【図11】冷却器の斜視図である。

【図12】冷却器13をA-A断面からみたときの流路断面形状を示す図であり、(A)は矩形、(B)は半円、(C)は円形、(D)は三角(流路密度が疎)、(E)は三角(流路密度が密)、(F)は台形(流路密度が疎)、(G)は台形(流路密度が密)の場合である。

【図13】円柱状の伝熱促進体が配置された冷却器の要部斜視図である。

【図14】衝突噴流から構成される冷却器の流路を示す断面図である。

【図15】本発明の第2の実施形態に係る冷却装置の構成を示す図である。

【図16】本発明の第3の実施形態に係る冷却装置の構成を示す図である。

【図17】冷却器に流入する流体温度を各圧力における擬臨界温度に設定した場合の被冷却体温度特性を示す図である。

【図18】第3の実施形態に係る冷却装置の他の構成を示す図である。

【図19】室温付近に臨界点を有する各作動流体の臨界圧近傍での熱伝達特性を示す比較図である。

【図20】各作動流体の臨界圧及び臨界温度を示す図である。

【符号の説明】

【0115】

11 流体駆動装置

12 被冷却体

13 冷却器

14 圧力計

15、16 温度計

17 差圧計

18 放熱器

19 コントロールユニット

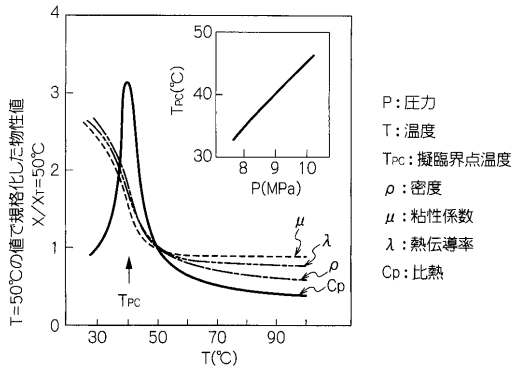
20 流量調整バルブ

10

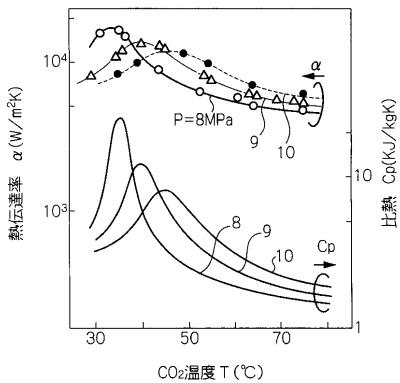
20

30

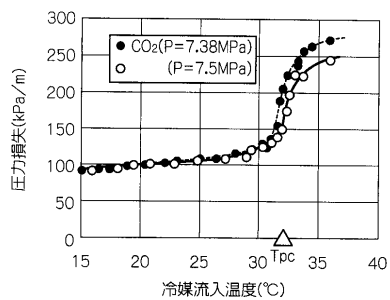
【 図 1 】



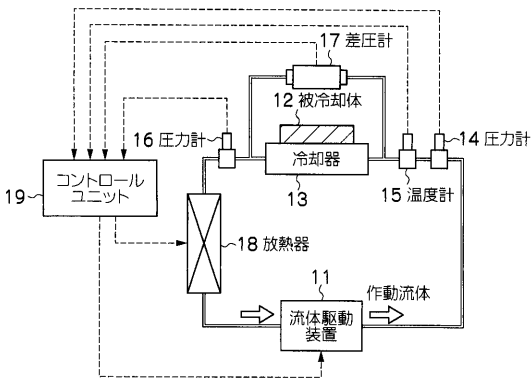
【 図 2 】



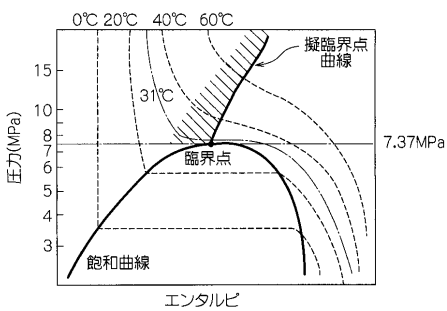
【 図 3 】



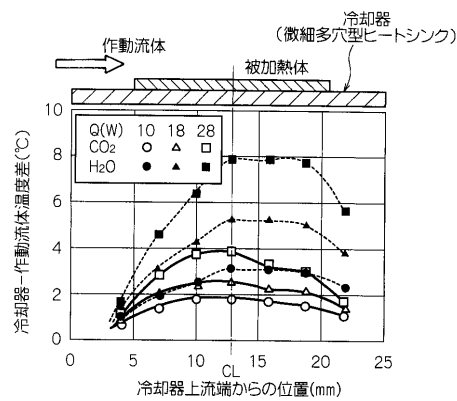
【 図 4 】



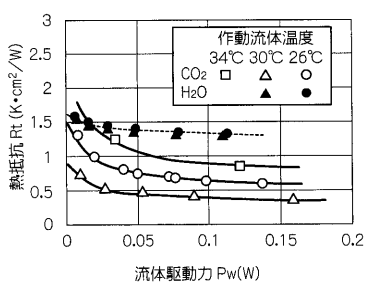
【 図 5 】



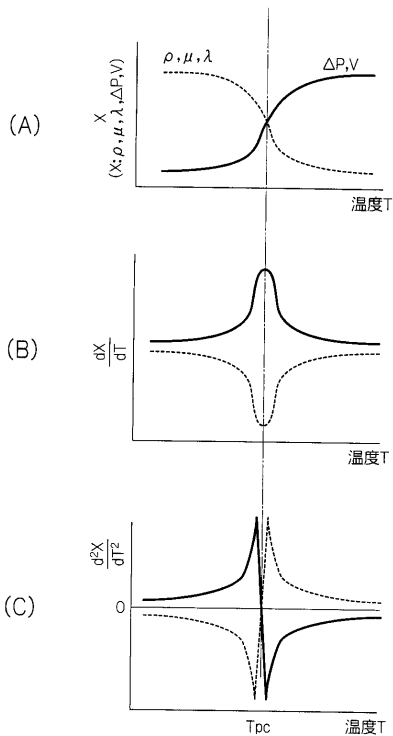
【 図 7 】



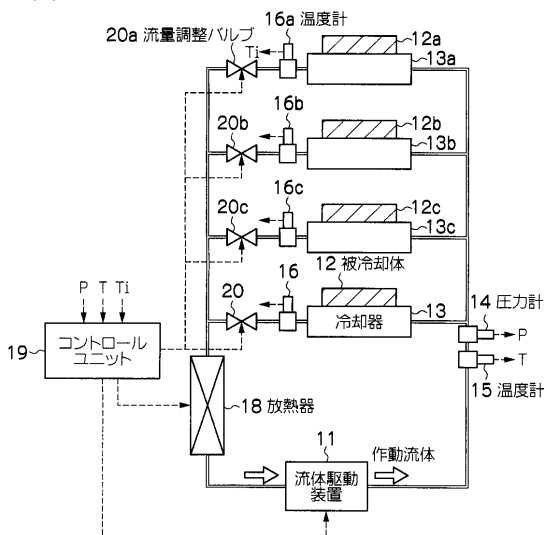
【 図 6 】



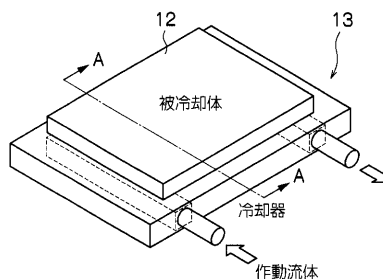
【 図 8 】



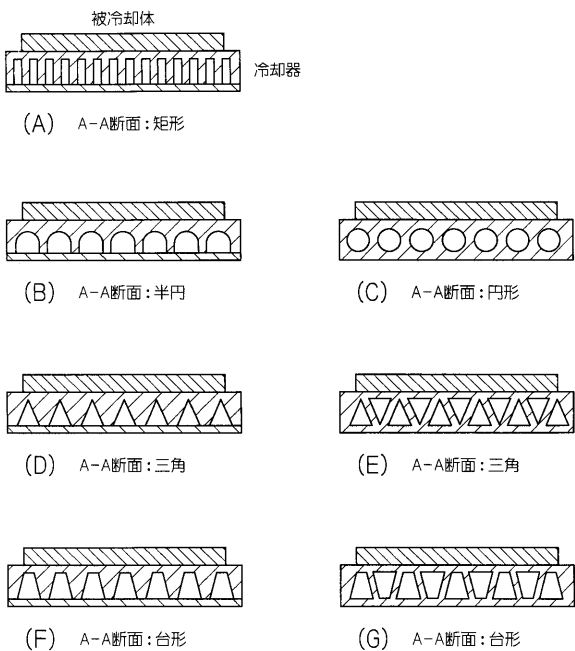
【 図 10 】



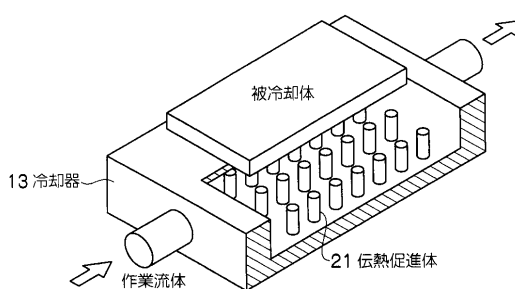
【 図 11 】



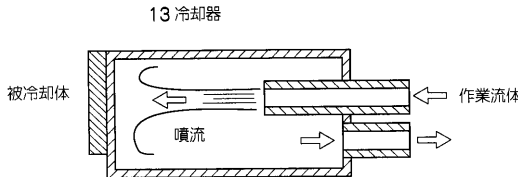
【 図 12 】



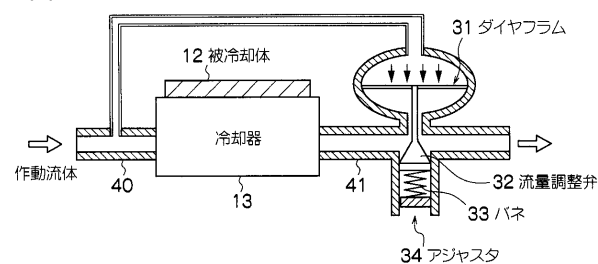
【 図 13 】



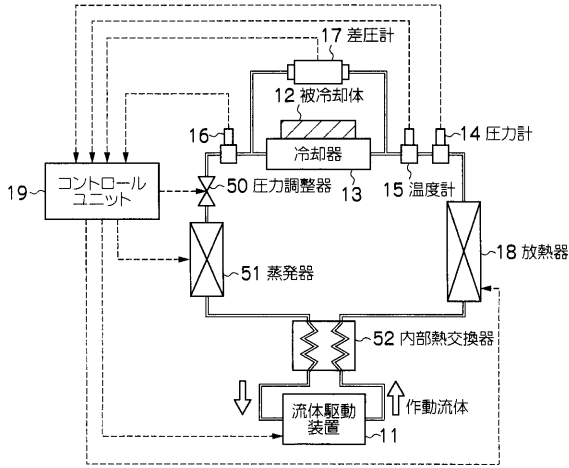
【 図 14 】



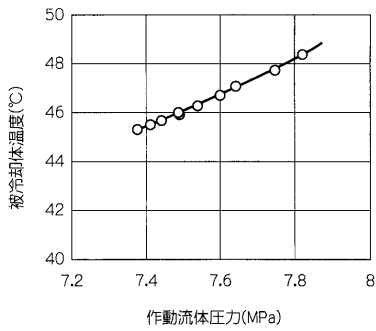
【 図 15 】



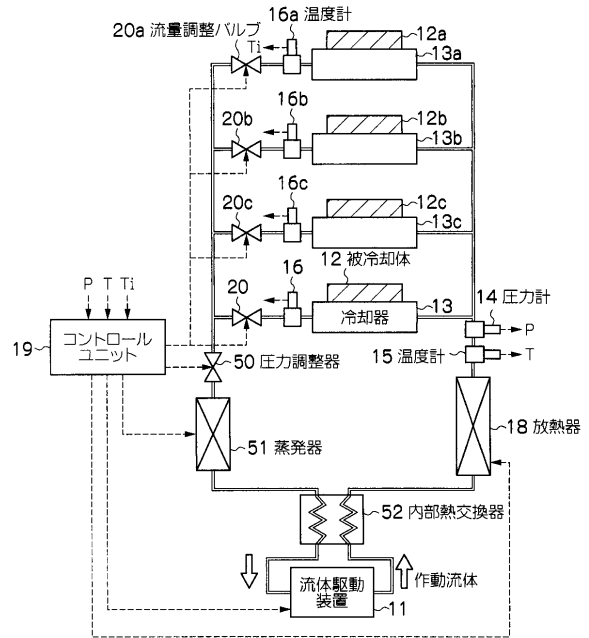
【 図 16 】



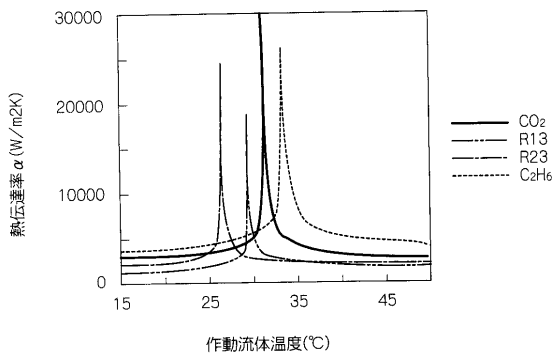
【 図 17 】



【 図 18 】



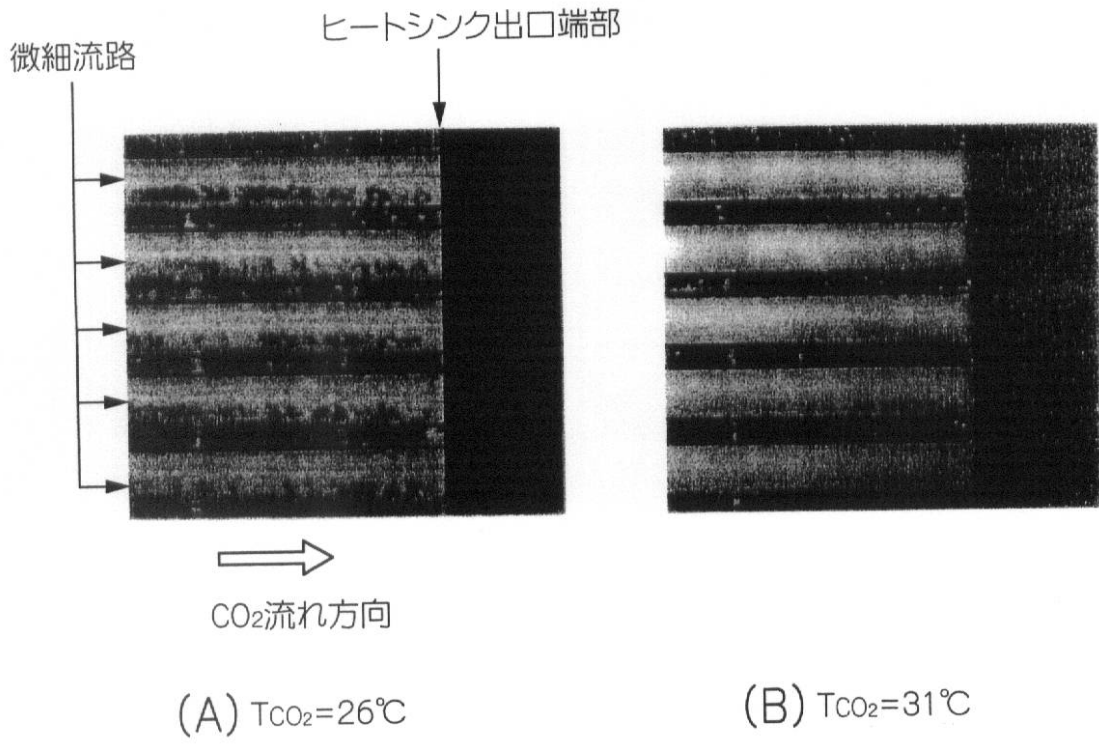
【 図 19 】



【 図 20 】

作動流体	臨界圧 (MPa)	臨界温度 (°C)
CO ₂	7.4	31.0
R13	3.9	28.8
R23	4.8	25.8
C ₂ H ₆	4.9	32.4

【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 青木 博史

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 高瀬 公宥

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

Fターム(参考) 3L044 CA13 DB02 EA03 JA01 JA03

5E322 AA05 AB10 DA01 DA02 FA01

5F036 AA01 BA01 BB53