

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第4739366号
(P4739366)

(45) 発行日 平成23年8月3日(2011.8.3)

(24) 登録日 平成23年5月13日(2011.5.13)

(51) Int.Cl.
G 2 1 C 15/25 (2006.01)

F I
G 2 1 C 15/25 G D B

請求項の数 12 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-114996 (P2008-114996)	(73) 特許権者	507250427
(22) 出願日	平成20年4月25日 (2008. 4. 25)		日立GEニュークリア・エナジー株式会社
(65) 公開番号	特開2009-264931 (P2009-264931A)		茨城県日立市幸町三丁目1番1号
(43) 公開日	平成21年11月12日 (2009. 11. 12)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成22年4月28日 (2010. 4. 28)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	井上 久道
			茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
			式会社日立製作所 電力・電機開発研究所
			内
		(72) 発明者	石田 直行
			茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株
			式会社日立製作所 電力・電機開発研究所
			内
		審査官	青木 洋平
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ジェットポンプ及び原子炉

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

駆動流体を噴出するノズル装置と、前記駆動流体の噴出によって吸い込まれる前記ノズル装置の周囲に存在する被駆動流体及び前記駆動流体を混合し、混合した流体を排出する排出口を有するジェットポンプ本体とを備え、

前記ノズル装置は、第1筒状部材と、前記第1筒状部材と間隔を置いて前記第1筒状部材の内側に配置される第2筒状部材と、前記第1筒状部材の内側に配置され前記第2筒状部材の上端部に取り付けられる流路形成部材と、前記第1筒状部材及び前記第2筒状部材に両端部が取り付けられて前記ノズル装置の周方向に配置される複数の通路部材とを有し、

それぞれの前記通路部材内に形成されて外側から内側に前記被駆動流体を導く吸引通路が、前記前記第2筒状部材の内側に形成される内部領域に連絡され、

前記駆動流体が流れてそれぞれの前記通路部材が横切る環状の駆動流体流路が、前記第1筒状部材と前記第2筒状部材及び前記流路形成部材の間に形成されて環状の噴出口に連絡され、

前記駆動流体流路の前記噴出口側の部分が、内側を向いており、かつ前記ノズル装置の下端に向かって傾斜していることを特徴とするジェットポンプ。

【請求項2】

駆動流体を噴出するノズル装置と、前記駆動流体の噴出によって吸い込まれる前記ノズル装置の周囲に存在する被駆動流体及び前記駆動流体を混合し、混合した流体を排出する

排出口を有するジェットポンプ本体とを備え、

前記ノズル装置はノズル部及び吸引通路部を有しており、

前記ノズル部は、第1筒状部材、及び前記第1筒状部材の内側に配置されて前記第1筒状部材との間に前記駆動流体が流れる環状の噴出通路を形成する第2筒状部材を有し、内側を向いた前記噴出通路が、前記ノズル部の下端に向かって傾斜しかつ先端に環状の噴出口を形成しており、

前記吸引通路部は、前記第1筒状部材の上端に設けられる第3筒状部材と、前記第3筒状部材内に配置されて前記第3筒状部材との間に前記噴出通路に連絡される環状の駆動流体流路を形成する流路形成部材と、外側から内側に前記被駆動流体を導く吸引通路を内部に形成して前記ノズル装置の周方向に配置される複数の通路部材とを有し、それぞれの前記通路部材は、前記駆動流体流路を横切って配置されて前記第2筒状部材の内側に形成される内部領域に連絡されることを特徴とするジェットポンプ。

10

【請求項3】

前記通路部材が、前記内部領域に向かうに従って前記ノズル装置の下端に向かって傾斜している請求項1または2に記載のジェットポンプ。

【請求項4】

前記通路部材は前記通路部材の軸心に垂直な断面が楕円形状をしている請求項1ないし3のいずれか1項に記載のジェットポンプ。

【請求項5】

前記通路部材は前記楕円形状の長径が前記ノズル装置の軸方向に配置される請求項4に記載のジェットポンプ。

20

【請求項6】

前記流路形成部材の前記内部領域に面する表面が、前記吸引通路の吐出口から前記流路形成部材の下端に向かって曲面になっている請求項1ないし5のいずれか1項に記載のジェットポンプ。

【請求項7】

前記流路形成部材の前記曲面が形成される部分の横断面積が、前記流路形成部材の下端に向かって小さくなっている請求項6に記載のジェットポンプ。

【請求項8】

横断面が上方に向かって減少する錐体部材が、前記流路形成部材の上端に配置されている請求項1ないし6のいずれか1項に記載のジェットポンプ。

30

【請求項9】

全ての前記吸引通路の流路断面積の合計が、前記内部領域の下端での横断面積よりも大きくなっている請求項1ないし8のいずれか1項に記載のジェットポンプ。

【請求項10】

前記吸引通路の吸込み側の開口部を取り囲み前記被駆動流体を前記吸引通路に導くロート部材を、前記開口部ごとに配置し、これらのロート部材を前記ノズル装置の外壁を形成する前記筒状部材に設け、隣り合う前記ロート部材の外面間にギャップが形成される請求項1ないし9のいずれか1項に記載のジェットポンプ。

【請求項11】

40

前記複数の吸引通路の吸込み側のそれぞれの開口部を取り囲み前記被駆動流体を前記吸引通路に導く環状のロート部材を、前記ノズル装置の外壁を形成する前記筒状部材に設けた請求項1ないし9のいずれか1項に記載のジェットポンプ。

【請求項12】

原子炉容器と、前記原子炉容器内に設置され、前記原子炉容器内に形成される炉心に冷却材を供給する複数のジェットポンプとを備え、

前記ジェットポンプが、請求項1ないし請求項11のいずれか1項に記載されたジェットポンプであることを特徴とする原子炉。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、ジェットポンプ及び原子炉に係り、特に、沸騰水型原子炉に適用するのに好適なジェットポンプ及び原子炉に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の沸騰水型原子炉（BWR）は、再循環系配管が接続された原子炉圧力容器（以下、RPVという）内にジェットポンプを設置している。ジェットポンプは、ノズル、ベルマウス、スロート及びディフューザを備える。スロート及びディフューザは混合器を構成する。再循環系配管に設けられた再循環ポンプの駆動によってRPV内から吸引されて昇圧された冷却水は、再循環系配管を通り、駆動水としてノズルからベルマウス内に噴出される。ノズルは駆動水の速度を増加させる。噴出された駆動水的作用によって、RPV内でノズルの周囲に存在する冷却水が、被駆動水としてベルマウス及びスロートを経てディフューザ内に流入する。ディフューザから排出された冷却水は、RPV内の下部プレナムを経て炉心に供給される（例えば、特開2005-233152号公報参照）。

10

【0003】

特開平7-119700号公報に記載されたジェットポンプは、駆動水を噴出する複数（例えば、4個及び5個等）のノズルを有している。

【0004】

特開2002-89499号公報は、被搬送物（雨水、沈砂池に流入した下水及び固形物等）を吸引する吸引管及び吸引管を取囲む筒状部材を有するジェットポンプに記載する。更に、このジェットポンプは、吸引管を取囲んで設けられて筒状部材と吸引管の間に高圧水供給室を形成している。高圧水供給室に開口する複数の噴射口が、吸引管を取囲んで配置されている。高圧水供給室内に供給された高圧水がそれらの噴射口から噴出されることによって、吸引管から被搬送物を吸引する。

20

【0005】

特開2008-82752号公報は、BWRに適用されるジェットポンプに記載している。このジェットポンプは、軸心に形成される被駆動水吸引通路を取り囲んで駆動水が供給されるリングヘッダー、及びその被駆動水吸引通路を取り囲んでリングヘッダーの下端に取り付けられ、リングヘッダーに供給される駆動水を噴出する複数の噴出口を環状に形成しているノズル部を有している。

30

【0006】

【特許文献1】特開2005-233152号公報

【特許文献2】特開平7-119700号公報

【特許文献3】特開2002-89499号公報

【特許文献4】特開2008-82752号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ジェットポンプの性能は、以下に示すようなM比、N比、効率によって表される。M比は、駆動水（再循環水）の流量 Q_a に対する、被駆動水（冷却水）の流量 Q_b の比であり、（1）式で表される。

40

【0008】

$$M \text{ 比} = Q_b / Q_a \quad \dots\dots (1)$$

N比は、駆動水に対する被駆動水の全水頭比であり、（2）式で表される。

【0009】

$$N \text{ 比} = (H_c - H_b) / (H_a - H_c) \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 H_a はノズルの駆動水入口における全水頭、 H_b はジェットポンプの被駆動水入口における全水頭、 H_c はジェットポンプ出口における全水頭である。効率は、駆動水に対する被駆動水のエネルギーの比であり、（3）式に示すように、M比とN比の積で表される。

50

【0010】

$$\text{効率} = \text{M比} \times \text{N比} \dots\dots (3)$$

ジェットポンプとしては、M比、N比及び効率がより高いことが望ましい。小さい容量の再循環ポンプを用いて、ジェットポンプから吐出される冷却水流量を効率良く増加させることができれば、再循環系をコンパクト化することができ、再循環系の設置スペースを低減できる。

【0011】

例えば、既設の原子炉（例えば、BWR）で出力向上を行う場合には、炉心流量を増加して炉心の冷却能力を高めることにより、原子炉出力の増大幅を拡大することができる。また、BWRの運転中における炉心流量の制御幅を拡大することによって、炉心内のボイド率の変化幅が増大し、燃料経済性を高めることができる。このように炉心流量を増加させるためには、再循環ポンプ、給水ポンプ及びジェットポンプを改良することが考えられる。発明者らは、出力向上を目的とした既設の原子炉の改造においては、再循環ポンプ及び給水ポンプなどの大型機器の改造、交換に比べて、ジェットポンプの改良の方が期間的に有効であることを見出した。ジェットポンプの性能は駆動水と被駆動水の混合部の形状に大きく依存するため、駆動水を噴出するノズル装置を改良することにより、その性能を向上できる可能性がある。

10

【0012】

被搬送物を吸引する吸引管、及び吸引管を取囲み内部に駆動水が供給される筒状部材を有する、特開2002-89499号公報に記載されたジェットポンプは、冷却水を炉心に供給する、原子炉のジェットポンプに用いることはできない。もし、特開2002-89499号公報に記載されたジェットポンプをRPV内のオープンエリアであるダウンカム内に設置した場合には、吸引部での圧力損失が大きくなり、M比を大きくすることができない。また、吸引部での圧力損失を小さくし、M比を大きくするために吸引管の口径を大きくすると、環状部である高圧水供給室が大きくなり、現状のBWRで2台1セットのジェットポンプ上部の狭いダウンカム領域に設置できなくなる。

20

【0013】

特開2008-82752号公報に記述されたジェットポンプは、ノズル装置から噴出される駆動水の噴出流によって、ノズル装置の周囲に存在する被駆動水を、第1冷却水吸引流路及び第2冷却水吸引流路をそれぞれ通してベルマウス内に流入させる。特開2008-82752号公報に記載されたジェットポンプでは、分岐管から水平方向においてリングヘッダーの環状空間内に流入した駆動水が、リングヘッダー内において向きを変えて鉛直方向で下方に向かって流れる。このように、駆動水の流れがリングヘッダー内で直角に曲げられるので、リングヘッダー内の駆動水が流れる流路の圧力損失が大きくなる。また、特開2008-82752号公報のジェットポンプのノズル装置は大きくなるので、BWRに用いられている現行のジェットポンプのノズル装置を特開2008-82752号公報に記載されたノズル装置に交換するために要する時間が長くなる。ノズル装置の交換に要する時間の短縮が望まれる。

30

【0014】

効率をさらに向上させたジェットポンプの実現が望まれている。

40

【0015】

本発明の目的は、効率をさらに増大することができるジェットポンプ及び原子炉を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記した目的を達成する本発明の特徴は、ノズル装置が、第1筒状部材と、第1筒状部材と間隔を置いて第1筒状部材の内側に配置される第2筒状部材と、第1筒状部材の内側に配置され第2筒状部材の上端部に取り付けられる流路形成部材と、第1筒状部材及び第2筒状部材に両端部が取り付けられてノズル装置の周方向に配置される複数の通路部材とを有し、

50

それぞれの通路部材内に形成されて外側から内側に被駆動流体を導く吸引通路が、第2筒状部材の内側に形成される内部領域に連絡され、

駆動流体が流れてそれぞれの通路部材が横切る環状の駆動流体流路が、第1筒状部材と第2筒状部材及び流路形成部材の間に形成されて環状の噴出口に連絡され、

駆動流体流路の噴出口側の部分が、内側を向いており、かつノズル装置の下端に向かって傾斜していることにある。

【0017】

駆動流体流路の噴出口側の部分が、内側を向いており、かつノズル装置の下端に向かって傾斜しているため、内部領域の負圧の度合いが増大し、吸引通路を通して内部領域に流入する被駆動水の流量が増大する。さらに、駆動流体流路の噴出口側の部分が、内側を向いており、かつノズル装置の下端に向かって傾斜しているため、ノズル装置の外周部の下端とジェットポンプ本体の上端との間の間隙の幅が増大する。このため、この間隙を通してジェットポンプ本体内に流入する被駆動水の流量が増大する。これらの流量の増大によって、ジェットポンプの効率がさらに向上する。

10

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、ジェットポンプの効率をさらに増大させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

本発明の実施例を、図面を用いて説明する。

20

【実施例1】

【0020】

本発明の好適な一実施例である実施例1のジェットポンプを、以下に説明する。本実施例のジェットポンプの構造を説明する前に、このジェットポンプが適用される沸騰水型原子炉の概略の構造を、図1及び図2を用いて以下に説明する。

【0021】

沸騰水型原子炉（BWR）は、原子炉圧力容器（原子炉容器）1を有し、原子炉圧力容器1内に炉心シュラウド3を設置している。原子炉圧力容器は、以下、RPVと称する。複数の燃料集合体（図示せず）が装荷された炉心2が、炉心シュラウド3内に配置される。気水分離器4及び蒸気乾燥器5がRPV1内で炉心2の上方に配置される。ジェットポンプ10が、RPV1と炉心シュラウド3の間に形成される環状のダウンカマ6内に配置される。RPV1に設けられる再循環系は、再循環系配管7及び再循環系配管7に設置された再循環ポンプ8を有する。再循環系配管7の一端はRPV1に形成されたノズル（図示せず）に接続されてダウンカマ6に連絡される。再循環系配管7の他端は、ダウンカマ6内に配置されたライザ管9の下端に接続される。ライザ管9の上端は分岐管16に接続され、分岐管16はジェットポンプ10のノズル装置12に接続される。給水配管17及び主蒸気配管50がRPV1に接続される。

30

【0022】

ノズル装置12は、ベルマウス13の上部開口に対向して配置され、複数の支持板42を介してベルマウス13に取り付けられる。これらの支持板42は、ベルマウス13の周方向に等間隔に配置され、ベルマウス13の半径方向においてベルマウス13の周辺から中心に向かって伸びている。支持板42の相互間でノズル装置12とベルマウス13の間には、ノズル装置12の周囲に存在する冷却水39をベルマウス13内に導く冷却水吸引流路（被駆動流体流路）43（図3参照）が形成されている。

40

【0023】

RPV1内の上部に存在する被駆動水である冷却水（被駆動流体、冷却材）39は、給水配管17からRPV1に供給された給水と混合されてダウンカマ6内を下降する。冷却水39は、再循環ポンプ8の駆動によって再循環系配管7内に吸引され、再循環ポンプ8によって昇圧される。この昇圧された冷却水40を、便宜的に、駆動水（駆動流体）という。この駆動水40は、再循環系配管7、ライザ管9及び分岐管16を介してジェットポ

50

ンプ10のノズル装置12から噴出される。ノズル装置12の周囲に存在する冷却水39は、駆動水40の噴出によって、ベルマウス13からスロート14内に吸い込まれる。その冷却水39は、駆動水40と共にスロート14内を下降し、ディフューザ15の下端から吐出される。ディフューザ15から吐出された冷却水（被駆動水39及び駆動水40を含む）を、便宜的に冷却水41と称する。冷却水41は、下部プレナム51を経て炉心2に供給される。冷却水41は、炉心2を通過する際に加熱されて水及び蒸気を含む気液二相流となる。気水分離器4は気液二相流を蒸気と水に分離する。分離された蒸気は、更に蒸気乾燥器5で湿分を除去されて主蒸気配管50に排出される。この蒸気は、蒸気タービン（図示せず）に導かれ、蒸気タービンを回転させる。蒸気タービンに連結された発電機が回転し、電力が発生する。蒸気タービンから排出された蒸気は、復水器（図示せず）で凝縮されて水となる。この凝縮水は、給水として給水配管17によりRPV1内に供給される。気水分離器4及び蒸気乾燥器5で分離された水は、落下して冷却水39としてダウンカマ6内に達する。

10

【0024】

ノズル装置12、ベルマウス13、スロート14及びディフューザ15を主要な構成要素とするジェットポンプ10は、再循環ポンプ8の動力を駆動水40から冷却水39に効果的に伝え、ジェットポンプ10から吐出される冷却水41の流量を駆動水40の流量よりも増大させる。具体的には、駆動水40は、炉心2に供給する冷却水41の流量を増加するために用いられる。再循環ポンプ8によって与えられた駆動水40の運動エネルギーが冷却水39に有効に作用すると、冷却水39が駆動されて冷却水41の流量が更に増加する。そのため、駆動水40の運動エネルギーが増加するようにノズル装置12の出口における駆動水40の流速を増加させると共に、スロート13の流路断面積をベルマウス13のそれよりも小さくすることにより冷却水39の速度を増加して静圧を減圧させる。これにより、冷却水39をスロート13に吸い込むことができ、少ない動力で必要な炉心流量を確保することができる。

20

【0025】

本実施例のジェットポンプの構造を、図3～図6を用いて詳細に説明する。ジェットポンプ10は、図2に示すように、ノズル装置12、ベルマウス13、スロート14及びディフューザ15を有する。ベルマウス13、スロート14及びディフューザ15をジェットポンプ本体と称する。スロート14は、ジェットポンプ本体において最も流路断面積が小さくなっており、ディフューザ15の上端部に取り付けられる。すなわち、熱膨張を吸収するために、スロート14の下端部は、ディフューザ15の上端に設けられたスリップジョイント部46に差し込まれている。ディフューザ15は、下端に向かうに従って流路断面積が徐々に増大している。スロート14の上端に取り付けられるベルマウス13は、上方に向かって末広がりになっている。ノズル装置12は、ベルマウス13の上部開口に対向して配置され、複数の支持板42を介してベルマウス13に取り付けられる。これらの支持板42は、ベルマウス13の周方向に等間隔に配置され、ベルマウス13の半径方向においてベルマウス13の周辺から中心に向かって伸びている。支持板42の相互間でノズル装置12とベルマウス13との間には、ノズル装置12の周囲に存在する冷却水39をベルマウス13内に導く冷却水吸引流路（被駆動流体流路）43（図3参照）が形成されている。

30

40

【0026】

水平方向に伸びる2本の分岐管16が、1本のライザ管9の上端部に接続される。ライザ管9は再循環系配管7に接続されている。ライザ管9は2つのジェットポンプ10の間に配置される。2本の分岐管16はそれらのジェットポンプ10の各ノズル装置12に別々に接続される。なお、図2には、ジェットポンプ10の性能を評価する上で必要となる前述の(1)式及び(2)式に用いられる変数を該当する部位に併せて記した。

【0027】

ノズル装置12は、図3に示すように、ノズル部17、吸引通路部21及びノズルホルダ34を備えている。吸引通路部21は、ノズル部17の上方に配置されてノズル部17

50

の上端に設置される。ノズルホルダ 3 4 は、吸引通路部 2 1 の上方に配置され、吸引通路部 2 1 の上端に設置される。

【0028】

吸引通路部 2 1 は、円筒部材（第 3 筒状部材）2 2、流路形成部材 2 3 及び通路部材 2 8 を有する。流路形成部材 2 3 は、円筒部材 2 2 内で円筒部材 2 2 の中心に配置される。6 個の通路部材 2 8 が円筒部材 2 2 の中心軸から放射状に周方向に 60° 間隔配置される（図 4 参照）。通路部材 2 8 の外側の端部は円筒部材 2 2 に溶接にて接合され、通路部材 2 8 の内側の端部は流路形成部材 2 3 に溶接にて接合されている。各通路部材 2 8 は、内側に向って（流路形成部材 2 3 に向って）下向きに傾斜しており、横断面が楕円形をしている（図 6 参照）。開口部 3 0 が通路部材 2 8 の外側の端部に形成される。円筒部材 2 2 と流路形成部材 2 3 の間に、環状の駆動水流路 3 2 が形成されている。各通路部材 2 8 はこの駆動水流路 3 2 を横切っている。開口部 3 0 を介してダウンカマ 6 に連絡される吸引通路 2 9 が各通路部材 2 8 内に形成される。各吸引通路 2 9 の入口及び出口では、各通路部材 2 8 の内面に曲面が形成されている。全ての吸引通路 2 9 の流路断面積の合計値は、減圧室（内部領域）3 3 の、ノズル部 1 7 の下端での横断面積よりも大きくなっている。各通路部材 2 8 は、駆動水流路 3 2 の圧力損失を低減するために、上流に向かって横断面積が減少する流線型部材 3 1（図 6 参照）を設けている。

10

【0029】

流路形成部材 2 3 は、軸方向のどの位置においても横断面が円形になっており、軸方向に横断面積が異なる上部領域 2 4、中央領域 2 5 及び下部領域 2 6 を有している。上部領域 2 4 は円柱状であり、上部領域 2 4 の下端につながる中央領域 2 5 は円錐台状をしている。中央領域 2 5 の下端につながる下部領域 2 6 は逆円錐状をしている。中央領域 2 5 では横断面積が下方に向かうにしたがって増大する。このため、駆動水流路 3 2 の流路断面積は、円筒部材 2 2 と中央領域 2 5 の外面の間では、下方に向かって減少している。下部領域 2 6 では、横断面積が下方に向かって減少しており、外面が軸方向に向かう曲面 2 7 になっている。

20

【0030】

ノズル部 1 7 は、外部円筒部材（第 1 筒状部材）1 8 及び外部円筒部材 1 8 の内側に配置された内部円筒部材（第 2 筒状部材）1 9 を有する。外部円筒部材 1 8 は円筒部材 2 2 の下端に溶接にて接合されており、内部円筒部材 1 9 は上端が流路形成部材 2 3 に溶接にて接合されている。外部円筒部材 1 8 は、上端よりも下端の外径が小さくなっており、内側に向って傾斜している。内部円筒部材 1 9 は、中央部で外径が最も大きく上端及び下端の外径が中央部よりも小さくなっている。通路部材 2 8 の内側の端部は、内部円筒部材 1 9 の中央部よりも上方の部分に溶接にて接合されている。このため、内部円筒部材 1 9 の周方向において、隣り合う通路部材 2 8 の間には、内部円筒部材 1 9 が存在する。環状の噴出通路 2 0 が外部円筒部材 1 8 と内部円筒部材 1 9 の間に形成される。環状の噴出通路 2 0 は内側に向って傾斜しており、噴出通路 2 0 の流路断面積は下方に向かうほど小さくなっている。噴出通路 2 0 は駆動水流路 3 2 に連絡される。噴出通路 2 0 は、駆動水流路の一部でもある。環状の噴出口 4 5 が噴出通路 2 0 の先端に形成される。減圧室 3 3 が内部円筒部材 1 9 の内側に形成され、吸引通路 2 9 が減圧室 3 3 に連絡される。流路形成部材 2 3 の下部領域 2 6 の曲面 2 7 は減圧室 3 3 に面している。内部円筒部材 1 9 は、駆動水流路 3 2 と減圧室 3 3 を隔離する。

30

40

【0031】

ノズルホルダ 3 4 は、円筒部材 4 4、流線型補強板 3 5 及び円錐部材 3 6 を有する。円筒部材 4 4 は吸引通路部 2 1 の円筒部材 2 2 の上端に取り付けられる。円錐部材 3 6 は、上方に向って横断面が減少しており、円筒部材 4 4 の中心に配置される。6 本の流線型補強板（図 5 参照）3 5 が、円筒部材 4 4 の中心軸から放射状に周方向に 60° 間隔に配置され、通路部材 2 8 と重なる位置に配置されている。各流線型補強板 3 5 の両端が円筒部材 4 4 及び円錐部材 3 6 に取り付けられる。円錐部材 3 6 の下端部は流路形成部材 2 3 の上端部に嵌合される。円筒部材 4 4 の上端は分岐管 1 6 に接続される。

50

【0032】

ノズル部17及び吸引通路部21を一体にしたとき、外部円筒部材18及び円筒部材22が第1筒状部材を構成し、内部円筒部材19が第2筒状部材であるとも言える。これらの第1筒状部材と第2筒状部材の間に、噴出通路20を含む駆動水流路が形成される。

【0033】

再循環ポンプ8で昇圧された駆動水40は、分岐管16を経て円筒部材44内に流入し、さらに、駆動水流路32を経て噴出通路20に到達する。この駆動水40は、噴出通路20の先端に位置する噴出口45からベルマウス13内に噴出流37となって噴出される。噴出流37の作用により、ノズル装置12の周囲に存在する冷却水39の一部である被駆動水39aが、冷却水吸引流路43を通してベルマウス13内に流入する。この被駆動水39aは、ベルマウス13と噴出流37の間を通してスロート14内に導かれる。

10

【0034】

噴出流37は、噴出通路20が傾斜しているので、スロート14の中心軸に向って噴出口45から斜めに噴出される。このため、この噴出流の作用によって減圧室33の圧力が負圧になり、ダウンカマ6内を下降する冷却水39の一部である被駆動水39bが吸引通路29内に流入し減圧室33に達する。この被駆動水39bは、さらに、ベルマウス13内の、噴出流37の内側に形成される減圧領域38内に流入する。

【0035】

ベルマウス13内に流入した被駆動水39a、39b及び駆動水40は、スロート14内で混合され、ディフューザ15（図2参照）から排出される。ディフューザ15から排出されたこれらの水、すなわち、冷却水41は炉心2に供給される。

20

【0036】

以上に述べた本実施例のジェットポンプ10は、以下に示す(a)～(c)の特徴的な構成を有する。

(a) ノズル部21の噴出通路20が内側に向って傾斜している。

(b) 吸引通路29が内側に向って傾斜している。

(c) 吸引通路29を形成する通路部材28の横断面が楕円形状になっている。

【0037】

(a)～(c)の特徴的な構成により得られる作用効果を詳細に説明する。まず、(a)の特徴的な構成によって得られる作用効果について説明する。ノズル部21の噴出通路20が、内側に向って傾斜している、すなわち、スロート14の中心軸に向いかつ下方に向かって傾斜するように、形成されているので、噴出口45から噴射される噴出流37がスロート14の中心軸に向い、かつ下方に向かって傾斜するように噴出される。このような噴出流37によって、流路形成部材23の下方で噴出流37の内側に形成される逆円錐形の減圧領域38の体積が小さくなる。減圧領域38の体積の低減によって減圧度合いが相対的に大きくなり、減圧室33内の負圧の度合いが増大する。この結果、吸引通路29を通してベルマウス13内に吸込まれる被駆動水39bの流量 Q_b2 が増加する。

30

【0038】

さらに、本実施例は、ノズル部21の噴出通路20が内側に向って傾斜しているので、ベルマウス13とノズル部17の外部円筒部材18の先端との間の距離 L_1 を大きくすることができる。この結果、スロート14の内面と噴出流37の間の距離 L_2 も増大し、冷却水吸引流路43を通してベルマウス13と噴出流37の間に流入する被駆動水39aの流量 Q_b1 が増加する。

40

【0039】

被駆動水39aの流量 Q_b1 及び被駆動水39bの流量 Q_b2 の増加は、ディフューザ15から排出される冷却水41の流量を増加させる。すなわち、ジェットポンプ10の効率がさらに向上する。

【0040】

(b)の特徴的な構成によって得られる作用効果について説明する。吸引通路29が内側に向って傾斜しているので、ダウンカマ6内を下降する冷却水39が流れの向きを少し

50

変えるだけで、吸引通路 29 内に流入することができる。このため、被駆動水 39b が吸引通路 29 内に吸込まれやすくなる。また、吸引通路 29 が内側に向かって傾斜しているので、ダウンカマ 6 内における冷却水 39 の下降流の流力（流速約 2 M/s）を有効に利用することができ、被駆動水 39b が吸引通路 29 内に吸込まれやすくなる。これらの作用によって、被駆動水 39b の流量 Q_{b2} がさらに増加し、冷却水 41 の流量もさらに増加する。

【0041】

(c) の特徴的な構成によって得られる作用効果について説明する。吸引通路 29 を形成する通路部材 28 の横断面が楕円形状になっているので、吸引通路 29 の横断面積を大きくすることができる。したがって、吸引通路 29 の圧力損失を低減することができ、被駆動水 39b の流量 Q_{b2} を増加させることができる。特に、通路部材 28 は、長径がノズル装置 12 の軸方向を向いて短径がノズル装置 12 の周方向を向くように配置されているので、駆動水流路 32 の圧力損失を低減して吸引通路 29 の横断面積を大きくすることができる。また、そのような長径及び短径の配置は、ノズル装置 12 の周方向に配置する通路部材 28 の個数を増大することができる。このため、全ての吸引通路 29 の流路断面積の合計値を増加することができる。これは、被駆動水 39b の流量 Q_{b2} の増加に大きく貢献する。

【0042】

ノズル装置 12 は、(a) ~ (c) の特徴的な構成以外にも新たな作用効果を得ることができる。この作用効果について説明する。ノズル装置 12 は、駆動水 40 が流れる流路の圧力損失を低減するために、幾つかの工夫を行っている。通路部材 28 の横断面が楕円形状になっている構成以外でその圧力損失に貢献している構造を説明する。各通路部材 28 は、上流側に、上流に向かって横断面積が減少する流線型部材 31 を形成している。この流線型部材 31 の形成によって、駆動水流路 32 内を流れる駆動水 40 の乱れが少なくなり、駆動水流路 32 の圧力損失が低減される。流線型補強板 35 も、上流に向かって横断面積が減少する流線型をしている。このため、駆動水流路 32 の圧力損失が低減される。また、各流線型補強板 35 が、ノズル装置 12 の周方向において、下流に位置する通路部材 28 と同じ位置に配置されているので、駆動水流路 32 の圧力損失が低減される。噴出通路 20 の流路断面積が上流から噴出口 45 に向かって徐々に減少しているので、噴出通路 20 の圧力損失も低減される。上流から下流に向かって横断面積が増加する円錐部材 36 が流路形成部材 23 の上端に配置されているので、分岐管 16 内を流れる駆動水 40 を円滑に環状の駆動水流路 32 に導くことができる。このため、ノズル装置 12 内の駆動水 40 が流れる流路の圧力損失を低減することができる。さらに、本実施例は、ノズル装置 12 内に、特開 2008-82752 号公報の図 1 に示すノズル装置のように駆動水を直角に曲げるような流路を形成していないので、ノズル装置 12 内の圧力損失をさらに低減することができる。

【0043】

ノズル装置 12 は、被駆動水 39b が流れる流路の圧力損失を低減するための工夫を行っている。この圧力損失の低減は、前述したように、通路部材 28 が入口及び出口に曲面を形成していることによって得られる。全ての吸引通路 29 の流路断面積の合計値は、減圧室 33 の、ノズル部 17 の下端での横断面積よりも大きくなっているため、ノズル装置 12 内に形成される被駆動水 39b が流れる流路の圧力損失が低減される。通路部材 28 の横断面が楕円形状をしておりこの通路部材 28 がノズル装置 12 の軸心側で下方に向かって内側に向かって傾斜して配置されているので、吸引通路 29 の入口の開口面積を大きくすることができる。これによっても、吸引通路 29 の圧力損失を低減することができる。流路形成部材 23 の下部領域 26 の、減圧室 33 に面する表面が曲面 27 になっているので、吸引通路 29 から排出される駆動水 39b の流れが、曲面 27 に沿って円滑に減圧室 33 内を下向きに向きを変えることができる。このような機能を発揮する曲面 27 の形成によっても、ノズル装置 12 内に形成される被駆動水 39b が流れる流路の圧力損失を低減することができる。

【0044】

流路形成部材23の下部領域26は、通路部材28の出口側の上端よりも下方に突出している。このような形状の採用は、(a)の特徴的な構成によって増大した減圧室33の負圧を吸引通路29に有効に作用させ、吸引通路29に流入する被駆動水39bの流量 Q_{b2} を増加させることができる。すなわち、下部領域26は、吸引通路29から排出される被駆動水39bによって減圧室33内に減圧止水域が形成されることを防止している。下部領域26は、下部領域26が存在しない場合に減圧室33内に減圧止水域が形成される領域に配置されている。このため、減圧止水域で誘発されるキャビテーションの発生を回避することができ、被駆動水39bの流量 Q_{b2} が増加する。

【0045】

噴出口45が環状になっているので、本実施例は、噴出口45から噴射される噴出流37も環状になる。このため、噴出流37によって発生する渦が周方向に一様に分布するので、流力振動の原因となるランダムな渦の形成を抑えることができ、沸騰水型原子炉の構造物の振動を抑制できる。

【0046】

ノズル装置12が、駆動水40が流れる環状の流路及び噴出口45、及びこの流路を横切る被駆動水39bが流れる吸引通路29を有するので、ノズル装置12をコンパクト化することができる。したがって、従来のジェットポンプにおいてノズルをノズル装置12に替えることによって簡単にかつ短時間にそのジェットポンプをノズル効率が高いジェットポンプ10に改造することができる。

【0047】

ノズル装置12を備えた本実施例のジェットポンプ10の特性を、従来例のジェットポンプのそれと比較して図7及び図8に示す。ここで、従来例のジェットポンプは、特開平7-119700号公報の図2に示すように5本のノズルを有しているジェットポンプ、及び特開2008-82752号公報の図1に示すように軸心に冷却水吸引通路を形成しリングヘッダーを有するノズル装置を備えたジェットポンプである。特開平7-119700号公報及び特開2008-82752号公報のジェットポンプでは、いずれも噴出口がジェットポンプの軸心と平行に配置されて真下を向いている。

図7は、本実施例及びその従来例におけるM比に対するジェットポンプの効率の変化を示している。本実施例のジェットポンプ10は、前述したように、ノズル装置12の圧力損失の低減、及び被駆動水39a、39bの流量 Q_{b1} 、 Q_{b2} の増加、圧力損失の低減によって、どちらの従来例よりも効率が上昇する。この効率の上昇においては、本実施例のピークでの上昇はさほど大きくはないが、原子炉の出力向上のためにM比を大きくした場合には、図7に示すように本実施例のジェットポンプの効率が大きくなる。

【0048】

M比とスリップジョイント部46近傍での圧力変動(rMs :実効値)の関係を図8に示す。ノズル装置12を用いている本実施例のジェットポンプ10は、ジェットポンプの振動の原因となる流力振動としての圧力変動を、多数の噴出口を有する上記した各従来例のジェットポンプよりも低減することができる。これは、その従来例のジェットポンプでは、それぞれの噴出口から噴出する駆動水の各噴出流周辺でランダムな渦が形成されるのに対して、本実施例では、環状の噴出口45から環状の噴出流37が噴出されて一様な分布の渦が発生するからである。図8には特開2008-82752号公報に記載されたジェットポンプの圧力変動の特性が記載されていないが、特開2008-82752号公報に記載されたジェットポンプの圧力変動は、特開平7-119700号公報のジェットポンプのそれよりも小さくなるが、本実施例のそれよりも若干高くなるだけである。

【0049】

本実施例は、ジェットポンプの効率を増加させることができ、また、炉心に供給する冷却水の流量も増加することができる。ノズル装置12を有する本実施例のジェットポンプを備えたBWRは、炉心流量の増加幅の大きな出力向上にも容易に対応することができる。ノズル装置12を用いることによって、既設のBWRのジェットポンプのノズルを短時

10

20

30

40

50

間に交換することができる。さらに、ジェットポンプの振動を低く抑えることができる。

【実施例 2】

【0050】

本発明の他の実施例である実施例 2 のジェットポンプを、図 9 及び図 10 を用いて以下に説明する。本実施例のジェットポンプ 10 A は、BWR に適用され、前述のノズル装置 12 にロート部材 47 を設けたノズル装置 12 A を備えている。ジェットポンプ 10 A のロート部材 47 以外の構造は、ジェットポンプ 10 と同じである。複数のロート部材 47 は、それぞれの開口部 30 を取り囲むように円筒部材 22、44 の外面に取り付けられている。各ロート部材 47 の水平断面は楕円を長径方向で半分にした形状を有している。ロート部材 47 の上端は通路部材 28 の開口部 30 側の端面の上端よりも上方に位置し、ロート部材 47 の下端は通路部材 28 の開口部 30 側の端面の下端よりも下方に位置している。ロート部材 47 の内面は開口部 30 に向って傾斜しており、その内面と円筒部材 22 の間に開口部 30 に連絡されて上方に開放される冷却水通路 48 が形成されている。円筒部材 22 の外側で隣り合うロート部材 47 の間に、下降流路 49 が形成される。

10

【0051】

本実施例は、実施例 1 で生じる効果を得ることができる。さらに、ロート部材 47 を設置している本実施例は、以下に示す新たな作用効果を得ることができる。

【0052】

ロート部材 47 の設置によって、ダウンカム 6 内を下降する冷却水 39 は冷却水通路 48 内に流入して開口部 30 より吸引通路 29 内に達し、減圧室 33 に導かれる。上方が開放されたロート部材 47 が設置されているので、ダウンカム 6 内を下降する冷却水 39 の流力を被駆動水 39 b の吸引通路 29 内への流入に効率良く利用することができる。したがって、吸引通路 29 内への被駆動水 29 b の吸込み流量 Q_{b2} を増加させることができ、ベルマウス 13 内に吸引される被駆動水 39 b の流量 Q_{b2} が増大する。ロート部材 47 の相互間にギャップ 49 が形成されるので、ロート部材 47 の設置は、冷却水吸引流路 43 を通ってベルマウス 13 内に吸込まれる被駆動水 39 a の流量 Q_{b1} に影響しない。

20

【実施例 3】

【0053】

本発明の他の実施例である実施例 3 のジェットポンプを、図 11 及び図 12 を用いて以下に説明する。本実施例のジェットポンプ 10 B は、BWR に適用され、実施例 2 のジェットポンプ 10 A においてロート部材 47 をロート部材 47 A に替えた構成を有する。ジェットポンプ 10 B の他の構成は、ジェットポンプ 10 A と同じである。環状のロート部材 47 A が、円筒部材 22、44 を取り囲んでおり、円筒部材 22 の外面に取り付けられる。ロート部材 47 A の上端は通路部材 28 の開口部 30 側の端面の上端よりも上方に位置し、ロート部材 47 A の下端は通路部材 28 の開口部 30 側の端面の下端よりも下方に位置している。ロート部材 47 A の内面は開口部 30 に向って傾斜しており、その内面と円筒部材 22 の間に開口部 30 に連絡されて上方に開放される冷却水通路 48 が形成されている。

30

【0054】

本実施例は、実施例 1 で生じる効果を得ることができる。さらに、ロート部材 47 A を設置している本実施例は、実施例 2 と同様に、ロート部材 47 A によって、開口部 30 より吸引通路 29 内に導かれる被駆動水 39 b の流量 Q_{b2} が増大する。このため、ベルマウス 13 内に吸引される被駆動水 39 b の流量 Q_{b2} が増大する。本実施例は、実施例 2 のように、ロート部材 47 の相互間に形成されたギャップ 49 が存在しないので、ロート部材 47 A がロート部材 47 よりもダウンカム 6 内で下降する冷却水 39 に対して抵抗になる。したがって、ベルマウス 13 内に吸引される被駆動水 39 a の流量 Q_{b1} の若干の減少は避けられない。

40

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図 1】図 2 に示すジェットポンプが適用される沸騰水型原子炉 (BWR) の概略構成図

50

である。

【図 2】 本発明の好適な一実施例である実施例 1 のジェットポンプの構成図である。

【図 3】 図 2 に示すノズル装置付近の縦断面図である。

【図 4】 図 3 の IV－IV 断面図である。

【図 5】 図 3 の V－V 断面図である。

【図 6】 図 3 の VI－VI 断面図である。

【図 7】 図 2 に示すジェットポンプにおける M 比とジェットポンプの効率の関係を示す特性図である。

【図 8】 図 2 に示すジェットポンプにおける M 比と圧力変動の関係を示す特性図である。

【図 9】 本発明の他の実施例である実施例 2 のジェットポンプにおけるノズル装置付近の縦断面図である。

【図 10】 図 9 の X－X 断面図である。

【図 11】 本発明の他の実施例である実施例 3 のジェットポンプにおけるノズル装置付近の縦断面図である。

【図 12】 図 11 の XII－XII 断面図である。

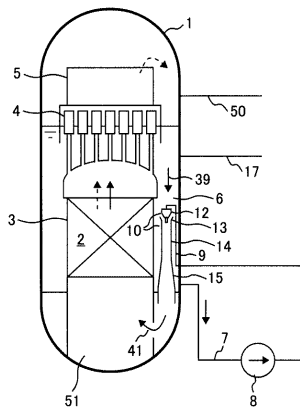
【符号の説明】

【0056】

1…原子炉圧力容器、2…炉心、3…炉心シュラウド、6…ダウンコマ、7…再循環系配管、8…再循環ポンプ、10, 10A, 10B…ジェットポンプ、12, 12A, 12B…ノズル装置、13…ベルマウス、14…スロート、15…ディフューザ、17…ノズル部、18…外部円筒部材、19…内部円筒部材、20…噴出通路、21…吸引通路部、22, 44…円筒部材、23…流路形成部材、26…下部領域、27…曲面、28…通路部材、29…吸引通路、30…開口部、33…減圧室、34…ノズルホルダ、35…流線型補強板、36…円錐部材、43…冷却水吸引通路、45…噴出口、47, 47A…ロータ部材。

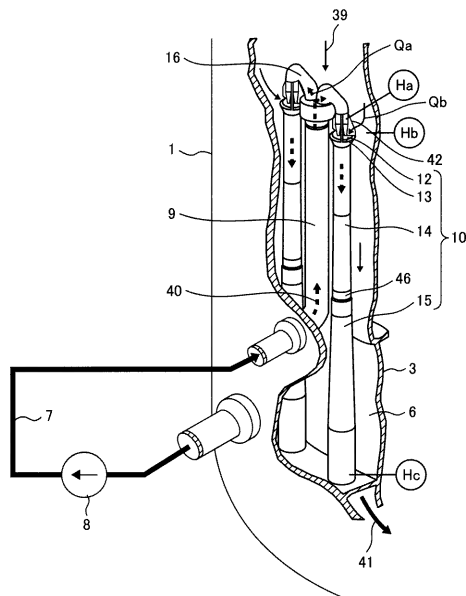
【図 1】

図 1



【図 2】

図 2

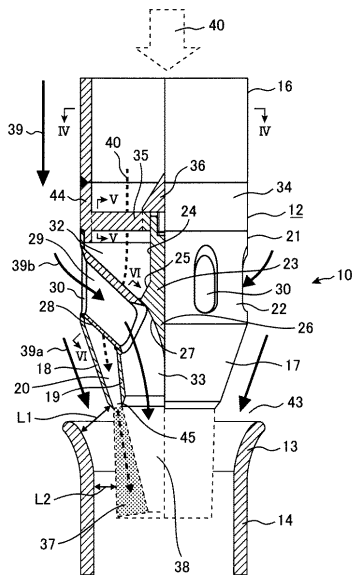


10

20

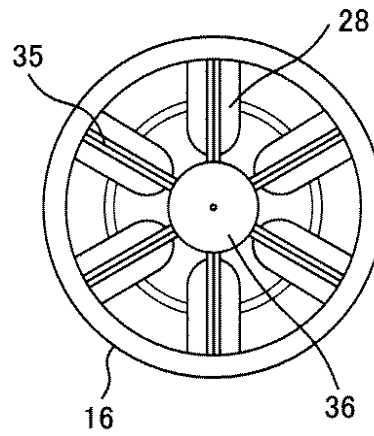
【図 3】

図 3



【図 4】

図 4



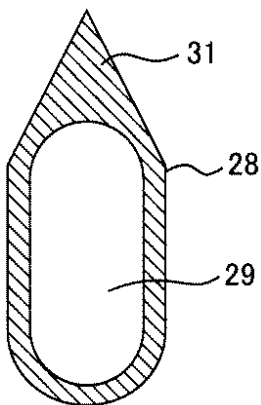
【図 5】

図 5



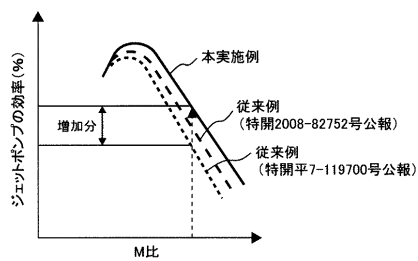
【図 6】

図 6



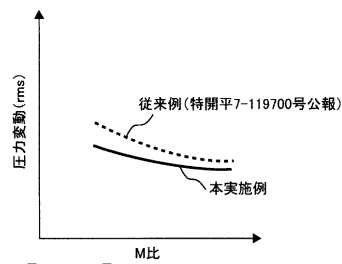
【図 7】

図 7



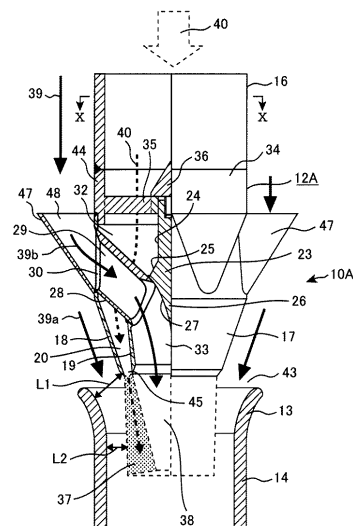
【図 8】

図 8



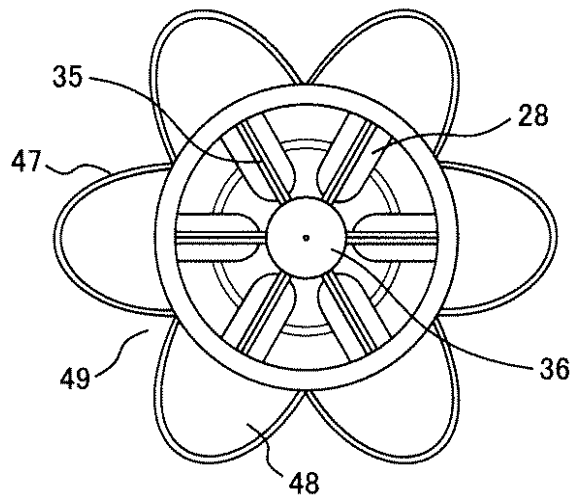
【図 9】

図 9



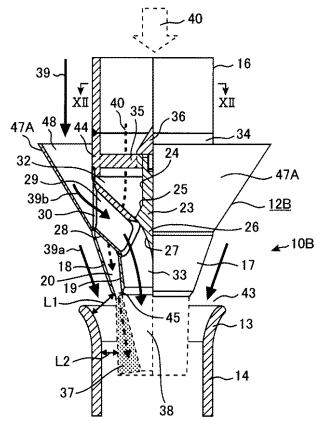
【図 10】

図 10



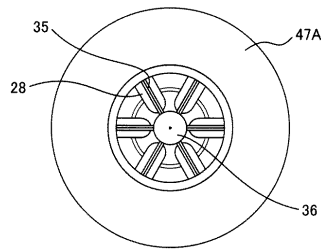
【図 11】

図 11



【図 12】

図 12



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-082752 (JP, A)
特開平07-119700 (JP, A)
特開2007-285165 (JP, A)
実開昭54-057296 (JP, U)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G21C 15/25
F04F 5/10
F04F 5/44
F04F 5/46