

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5594680号
(P5594680)

(45) 発行日 平成26年9月24日(2014.9.24)

(24) 登録日 平成26年8月15日(2014.8.15)

(51) Int. Cl.		F I			
G 2 1 K	5/08	(2006.01)	G 2 1 K	5/08	N
B 0 1 F	5/00	(2006.01)	B 0 1 F	5/00	G
B 0 1 F	3/04	(2006.01)	B 0 1 F	3/04	C
H 0 5 H	6/00	(2006.01)	H 0 5 H	6/00	

請求項の数 7 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2010-15204 (P2010-15204)	(73) 特許権者	504171134 国立大学法人 筑波大学
(22) 出願日	平成22年1月27日(2010.1.27)		茨城県つくば市天王台一丁目1番1
(65) 公開番号	特開2011-153894 (P2011-153894A)	(73) 特許権者	505374783 独立行政法人日本原子力研究開発機構
(43) 公開日	平成23年8月11日(2011.8.11)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
審査請求日	平成25年1月25日(2013.1.25)	(73) 特許権者	507090764 株式会社 エール・オー
			長野県岡谷市神明町2丁目9-7
		(74) 代理人	100120640 弁理士 森 幸一
		(72) 発明者	阿部 敏達 茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立 大学法人筑波大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置および流体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

液体金属が流される管路に上記管路を閉塞するように設けられる閉塞部材と、
上記閉塞部材の複数箇所上記閉塞部材を貫通して設けられた複数の旋回流型マイクロバブル発生器とを有する液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置。

【請求項2】

上記複数の旋回流型マイクロバブル発生器により発生される旋回流の旋回方向が互いに逆である請求項1記載の液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置。

【請求項3】

上記複数の旋回流型マイクロバブル発生器により発生される旋回流の旋回方向が互いに同じである請求項1記載の液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置。

【請求項4】

上記複数の旋回流型マイクロバブル発生器が互いに大きさが同一の一種類の旋回流型マイクロバブル発生器からなる請求項1～3のいずれか一項記載の液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置。

【請求項5】

上記複数の旋回流型マイクロバブル発生器が互いに大きさが異なる二種類以上の旋回流型マイクロバブル発生器からなる請求項1～3のいずれか一項記載の液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置。

【請求項6】

10

20

上記管路の断面形状および上記閉塞部材の形状が矩形である請求項 1 ~ 5 のいずれか一項記載の液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置。

【請求項 7】

液体が流される一本の管路と、

上記管路の途中に上記管路を閉塞するように設けられる閉塞部材と、

上記閉塞部材の複数箇所上記閉塞部材を貫通して設けられた複数の旋回流型マイクロバブル発生器とを有し、

上記複数の旋回流型マイクロバブル発生器により、上記複数の旋回流型マイクロバブル発生器の下流における上記管路内を流れる上記液体中にマイクロバブルを発生させるようにした流体装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置および流体装置に関し、特に、液体金属ターゲットの管路に流される液体水銀などの液体金属中にマイクロバブルを発生させる場合に用いて好適な液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置および管路に流される各種の液体中にマイクロバブルを発生させる場合に用いて好適な流体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

20

近年、中性子線利用研究の重要性が急速に増加しつつあり、数 MW 級の陽子ビームを用いた次世代核破砕中性子源の建設が日本、米国、EU でそれぞれ進められ、日本、米国では運転が開始された。日本では、日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構との共同組織である J - P A R C (Japan Proton Accelerator Research Complex) センターによりこの次世代核破砕中性子源がすでに茨城県の東海村に建設され、低出力での運転が開始された。

【0003】

この次世代核破砕中性子源では、大強度の中性子束を得るために、数 MW 級の陽子ビームをターゲットに入射させる予定で、そのときの陽子ビームのエネルギーは 1 ~ 3 GeV である。一般に数 MW 級の陽子ビームをターゲットに入射させると、ターゲット内の発熱量のピークが数百 MW / m³ に達するため、この次世代核破砕中性子源では、固体金属を水冷する従来の方式の代わりに、冷却材としての機能を併用することができる液体水銀をターゲットに用いる方式が採用されている。

30

【0004】

図 15 に液体水銀ターゲットが陽子ビームに曝される状況を模式的に示す。図 15 に示すように、この液体水銀ターゲットにおいては、水銀容器 101 内を循環するように液体水銀 102 が流され、水銀容器 101 の先端部に MW 級で周波数が 25 Hz のパルス陽子ビーム 103 が照射され、水銀容器 101 の壁を通過して液体水銀 102 に入射する。こうして、陽子が水銀原子の原子核と衝突して原子核を破砕し、原子核を構成していた中性子が高速で水銀容器 101 の外部に放出される。こうして放出された中性子はベリリウムや鉄などからなる反射体で反射され、超臨界水素からなるモデレーターに集められる。中性子はこのモデレーター内の水素と衝突を繰り返して次第に減速され、最終的に所望の中性子ビームが取り出される。

40

【0005】

しかしながら、この液体水銀ターゲットにおいては、水銀容器 101 にパルス陽子ビーム 103 が照射されると、液体水銀 102 の水銀原子の原子核の破砕に伴う急激な発熱が生じ、これに伴い液体水銀 102 が急激に熱膨張する。この急激な熱膨張により液体水銀 102 内に圧力波 104 が発生する。この圧力波 104 は液体水銀 102 中を音速で伝播し、水銀容器 101 の内壁面に到達して衝撃を加える結果、水銀容器 101 が損傷を受ける。

50

【 0 0 0 6 】

以上のような理由により、液体水銀ターゲットにおいては、パルス陽子ビーム 1 0 3 の入射により液体水銀 1 0 2 内に発生する圧力波 1 0 4 の低減を図ることが重要であり、種々の方策が考えられてきた。その中で、1 9 9 0 年台より、液体水銀 1 0 2 中にマイクロバブルを発生させ、このマイクロバブルにより圧力波 1 0 4 を吸収することで圧力波 1 0 4 の低減を図ることができることが予見され（非特許文献 1 参照。）、水中において、その有効性が確認されている。

【 0 0 0 7 】

従来、液体水銀 1 0 2 中にマイクロバブルを発生させるために、焼結によって拡散または揮発する、焼結金属の融点未満の融点の中空用素材を焼結金属粉体中でプレスし、その中空用素材を焼結によって除去し、2 個以上の中空穴をプレス、焼結の過程で形成することにより得られる中空金属焼結体をバブラーとして、水銀容器 1 0 1 中の所定位置に設置することが提案されている（特許文献 1 参照。）。 10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 9 - 2 0 9 4 3 7 号公報

【 特許文献 2 】 国際公開第 0 6 / 0 7 5 4 5 2 号パンフレット

【 特許文献 3 】 特許第 4 0 1 9 1 5 4 号明細書

【 特許文献 4 】 特開 2 0 0 9 - 2 4 7 9 5 0 号公報 20

【 非特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 非特許文献 1 】 K.Skala and G. Bauer, "ON THE PRESSURE WAVE PROBLEM IN LIQUID METAL TARGETS FOR PULSED SPALLATION NEUTRON SOURCES", PSI Proceedings 95-02, Vol.1 I, pp.559-571(1995cc)

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

しかしながら、特許文献 1 で提案されたバブラーでは、水銀容器 1 0 1 内の液体水銀 1 0 2 中にバブル径が十分に小さいマイクロバブルを発生させることは困難であり、圧力波 1 0 4 の低減の効果は不十分であった。 30

【 0 0 1 1 】

そこで、この発明が解決しようとする課題は、液体金属ターゲットの液体水銀などの液体金属が流される容器内の液体金属中に所望の大きさのマイクロバブルを所望の濃度でしかも効率的に発生させることができ、パルス陽子ビームの入射により容器内の液体金属中に発生する圧力波の大幅な低減を図ることができる液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置を提供することである。

【 0 0 1 2 】

この発明が解決しようとする課題は、より一般的には、液体が流される管路内の液体中にバブル径が十分に小さいマイクロバブルを効率的に発生させることができる流体装置を提供することである。 40

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

本発明者らは、上記課題を解決すべく理論的研究および実験的研究を鋭意行った結果、液体金属ターゲットに液体金属を供給するための管路に複数の旋回流型マイクロバブル発生器を並列に設けることにより、液体金属中に所望の大きさのマイクロバブルを所望の濃度で効率的に発生させることができることを見出し、この発明を案出するに至った。また、管路に複数の旋回流型マイクロバブル発生器を並列に設ける技術は、液体金属ターゲットに限られることなく、より一般的には液体が流される管路に所望の大きさのマイクロバブルを所望の濃度で効率的に発生させる場合全般に有効である。 50

【 0 0 1 4 】

すなわち、上記課題を解決するために、この発明は、
液体金属が流される管路に上記管路を閉塞するように設けられる閉塞部材と、
上記閉塞部材の複数箇所上記閉塞部材を貫通して設けられた複数の旋回流型マイクロバブル発生器とを有する液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置である。

【 0 0 1 5 】

この発明においては、複数の旋回流型マイクロバブル発生器により発生される旋回流の旋回方向は互いに逆であっても互いに同じであってもよく、管路の断面形状などを考慮して必要に応じて選ばれる。複数の旋回流型マイクロバブル発生器により発生される旋回流の旋回方向を互いに逆にすることにより、管路内全体で見た場合に渦の消失が可能となるので、各旋回流型マイクロバブル発生器から噴出される液体金属中のマイクロバブル同士が合体してマイクロバブルの径が増大してしまうのを防止することができ、ひいてはバブル径が極めて小さいマイクロバブルを発生させることができる。また、複数の旋回流型マイクロバブル発生器により発生される旋回流の旋回方向を互いに同じにすることにより、これらの旋回流型マイクロバブル発生器のうちの互いに隣接する旋回流型マイクロバブル発生器同士でこれらの旋回流型マイクロバブル発生器から噴出される旋回流による流れを互いに打ち消すことができ、それによってマイクロバブルの合体を防止することができ、バブル径が極めて小さいマイクロバブルを発生させることができる。典型的には、これらの旋回流型マイクロバブル発生器は互いに大きさが同一の一種類の旋回流型マイクロバブル発生器からなるが、これに限定されるものではなく、必要に応じて、これらの旋回流型マイクロバブル発生器が互いに大きさが異なる二種類以上の旋回流型マイクロバブル発生器からなるようにしてもよい。

【 0 0 1 6 】

旋回流型マイクロバブル発生器としては、渦崩壊を利用してマイクロバブルを発生させる旋回流型マイクロバブル発生器が用いられる。この旋回流型マイクロバブル発生器の構成および動作の詳細は特許文献 2、3 に開示されている。この旋回流型マイクロバブル発生器の概要を説明すると、この旋回流型マイクロバブル発生器は、旋回流発生用翼体を管の内部に収容した旋回流発生用翼型ノズルと、この旋回流発生用翼型ノズルと同軸に結合された、縮流部と渦崩壊部とを有する渦崩壊用ノズルとを有し、上記の縮流部に中心に気体が導入された液体の旋回流を供給することにより上記の渦崩壊部からマイクロバブルを発生させるものである。旋回流の中心に供給する気体は、基本的にはどのようなものであってもよいが、具体的には、例えば、ヘリウム、アルゴンなどである。

【 0 0 1 7 】

液体金属ターゲットは、典型的には、外部から液体金属が供給される第 1 の管路および液体金属を外部に排出する第 2 の管路を有し、内部に液体金属が流される容器と、上記第 1 の管路に上記第 1 の管路を閉塞するように設けられる閉塞部材と、上記閉塞部材の複数箇所上記閉塞部材を貫通して設けられた複数の旋回流型マイクロバブル発生器とを有する。第 1 の管路および第 2 の管路の断面形状は特に限定されるものではなく、必要に応じて選ばれるが、典型的には、第 1 の管路の断面形状は矩形に選ばれ、このときこの第 1 の管路を閉塞する閉塞部材の形状も矩形である。液体金属としては各種のものを用いることができ、必要に応じて選ばれるが、例えば、液体水銀や液体鉛 - ビスマスなどを用いることができる。

【 0 0 1 8 】

また、この発明は、
液体が流される管路と、
上記管路に上記管路を閉塞するように設けられる閉塞部材と、
上記閉塞部材の複数箇所上記閉塞部材を貫通して設けられた複数の旋回流型マイクロバブル発生器とを有する流体装置である。

【 0 0 1 9 】

この流体装置においては、管路に流され、マイクロバブルを発生させる液体は、基本的

10

20

30

40

50

にはどのようなものであってもよく、具体的には、例えば、水（温水を含む）、各種の有機溶剤（アルコール、アセトン、トルエンなど）、石油、ガソリンなどの液体燃料などである。旋回流の中心に供給する気体は、基本的にはどのようなものであってもよいが、具体的には、例えば、空気、酸素、オゾン、水素、ヘリウム、アルゴンなどである。

【0020】

この流体装置は、マイクロバブルを利用する装置であれば基本的にはどのようなものであってもよく、液体金属ターゲットも含む。

この流体装置の発明においては、その性質に反しない限り、上記の液体金属ターゲット用旋回流型マイクロバブル発生装置の発明に関連して説明したことが成立する。

【発明の効果】

10

【0021】

この発明によれば、液体金属あるいは液体が流される管路を閉塞する閉塞部材の複数箇所に複数の旋回流型マイクロバブル発生器を設けることにより、単一の旋回流型マイクロバブル発生器を設ける場合に比べて、この管路内における液体金属あるいは液体の流路断面積を大きくすることができ、液体金属あるいは液体の流量を大きくすることができる。また、バブル径が極めて小さいマイクロバブルを発生させることができる。また、複数の旋回流型マイクロバブル発生器を設けることにより、単一の旋回流型マイクロバブル発生器を設ける場合に比べて、各旋回流型マイクロバブル発生器の長さを小さくすることができ、旋回流型マイクロバブル発生器での圧力損失を低減することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

20

【0022】

【図1】この発明の第1の実施の形態によるJ-PARC次世代核破砕中性子源の液体水銀ターゲットを示す斜視図である。

【図2】この発明の第1の実施の形態によるJ-PARC次世代核破砕中性子源の液体水銀ターゲットを示す平面図である。

【図3】図2のX-X線に沿っての断面図である。

【図4】この発明の第1の実施の形態によるJ-PARC次世代核破砕中性子源の液体水銀ターゲットにおいて用いられる複数並列配置の旋回流型マイクロバブル発生器の一例および比較例としての単一の旋回流型マイクロバブル発生器を用いた例を示す略線図である。

30

【図5】この発明の第1の実施の形態によるJ-PARC次世代核破砕中性子源の液体水銀ターゲットにおいて用いられる複数並列配置の旋回流型マイクロバブル発生器の一例を示す断面図である。

【図6】液体水銀ターゲットの液体水銀中にバブルを注入する場合のバブル半径およびボイド率と液体水銀ターゲットへのパルス陽子ビームの入射により液体水銀中に発生する圧力波との関係を数値解析により求めた結果を示す略線図である。

【図7】この発明の第1の実施の形態によるJ-PARC次世代核破砕中性子源の液体水銀ターゲットの評価のために作製された容器を示す平面図である。

【図8】図7に示す容器を用いて行った実験により得られた結果を示す略線図である。

【図9】図7に示す容器を用いて行った実験により得られた結果を示す図面代用写真である。

40

【図10】図7に示す容器を用いて行った実験により得られた結果を示す略線図である。

【図11】図7に示す容器を用いて行った実験により得られた結果を示す略線図である。

【図12】図7に示す容器を用いて行った実験により得られた結果を示す略線図である。

【図13】図7に示す容器を用いて行った実験により得られた結果を示す略線図である。

【図14】この発明の第2の実施の形態による旋回流型マイクロバブル発生装置を示す縦断面図および横断面図である。

【図15】次世代核破砕中性子源にパルス陽子ビームが照射される場合の問題点を説明するための略線図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 2 3 】

以下、発明を実施するための形態（以下「実施の形態」という。）について説明する。

図 1 ~ 図 3 はこの発明の第 1 の実施の形態による J - P A R C 次世代核破砕中性子源の液体水銀ターゲットを示し、図 1 は斜視図、図 2 は平面図、図 3 は図 2 の X - X 線に沿っての断面図である。

【 0 0 2 4 】

図 1 ~ 図 3 に示すように、液体水銀ターゲットは前半部 1 0 と後半部 2 0 とからなる。前半部 1 0 は平たく、前端に向かって先すばまりの平面形状を有する中空容器からなる。前半部 1 0 の中心軸に対して垂直な断面形状は矩形である。前半部 1 0 の後端には前半部 1 0 の中心軸に対して対称な位置に往路の管路 1 2 および復路の管路 1 3 が設けられている。管路 1 2 は後半部 2 0 の管路 2 2 と接続され、管路 1 3 は後半部 2 0 の管路 2 3 と接続されている。そして、外部から後半部 2 0 の管路 2 2 を通って前半部 1 0 の管路 1 2 に液体水銀が供給され、前半部 1 0 の内部を通った後、前半部 1 0 の管路 1 3 および後半部 2 0 の管路 2 3 を通って外部に液体水銀が排出されるようになっている。前半部 1 0 の管路 1 2 の下流部には前半部 1 0 の側壁にほぼ平行に三枚の整流板 1 4 ~ 1 6 が設けられている。また、前半部 1 0 の管路 1 3 には前半部 1 0 の側壁にほぼ平行に三枚の整流板 1 7 ~ 1 9 が設けられている。整流板 1 4 ~ 1 6 と整流板 1 7 ~ 1 9 とは前半部 1 0 の中心軸に対して対称に設けられている。整流板 1 4 ~ 1 9 は液体水銀の流れを整流し、管路 1 2 から前半部 1 0 に供給され、管路 1 3 から外部に排出される液体水銀の流れを安定的に生成するためのものである。

【 0 0 2 5 】

前半部 1 0 の管路 1 2 に、この管路 1 2 を閉塞する閉塞部材 3 1 に、複数の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 をこの閉塞部材 3 1 を貫通して並列配置で設けた旋回流型マイクロバブル発生装置 3 3 が設けられている。閉塞部材 3 1 に設けられる旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の数および配置は必要に応じて選ばれるが、図 3 においては、一例として、閉塞部材 3 1 に旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 が上下二段かつ左右に三列、計 6 個設けられている例が示されている。これらの旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 は、これらの旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 により発生される旋回流の旋回方向が互いに同じ、あるいは互いに逆になるように設計される。これらの旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 により発生される旋回流の旋回方向を互いに同じにすることで、これらの旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 のうちの互いに隣接する一対の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の間の領域では旋回流による流れが互いに打ち消しあうため、マイクロバブルの合体を抑制することができ、マイクロバブルの径を小さくすることができる。一方、これらの旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 により発生される旋回流の旋回方向を互いに逆にすることで、管路 1 2 の内部の外周に沿う循環が 0 となり、旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の下流において、マイクロバブルの合体を抑制することができ、マイクロバブルの径を小さくすることができる。図 4 A に、閉塞部材 3 1 に 6 個の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 が上下二段、左右に三列、上下方向および左右方向に等間隔に設けられた例が示されている。図 4 B に比較例として、閉塞部材 3 1 の中心に単一の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 が設けられた例が示されている。

【 0 0 2 6 】

閉塞部材 3 1 に複数の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 を設けた場合には、閉塞部材 3 1 に単一の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 を設けた場合に比べて種々の利点を得ることができる。例えば、液体水銀が通る流路の断面積を効率的に確保することができる。具体的には、例えば、外径が 7 6 m m の単一の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 を設けた場合の流路の断面積（タービン翼型ノズルのリング状の流路の断面積。翼の断面積は無視。以下同様。）は $3 4 0 2 \text{ m m}^2$ であるのに対し、外径が 3 2 m m の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 を 6 個設けた場合の流路の合計の断面積は $3 6 1 9 \text{ m m}^2$ と大きくなる。また、1 個の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 を小口径化することができるとともに、長さを短くすることができる。例えば、外径が 7 6 m m の単一の旋回流型マイクロバ

ル発生器 3 2 を設けた場合の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の長さは 2 4 0 mm であるのに対し、外径が 3 2 mm の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 を 6 個設けた場合の各旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の長さは 6 0 mm と小さくすることができる。また、このように旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 を小口径化することができることにより、この旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 において旋回流の中心に入れる気柱の半径を小さくすることができるため、この旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 により発生されるマイクロバブルの径を小さくすることができる。また、旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の長さを短くすることができるため、液体水銀が通る流路における旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 での圧力損失の低減を図ることができる。また、流路の断面における旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の設置位置の自由度を高くすることができる。

10

【 0 0 2 7 】

図 5 は閉塞部材 3 1 に設けられた複数の旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の断面形状を示す。図 5 に示すように、旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 は、タービン翼型ノズル 3 4 および渦崩壊用ノズル 3 5 からなる。タービン翼型ノズル 3 4 は、円柱状の本体の前方（上流側）を半球状に成形し、この本体の外周面の長手方向に複数の、例えば 3 枚の翼 3 4 a をそれらの後方（下流側）が彎曲するように設け、背面に気体の噴射孔 3 4 b を設けたものである。渦崩壊用ノズル 3 5 は、テーパ状に成形した縮流部 3 5 a に管状の渦崩壊部 3 5 b を接続したものである。この旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 においては、上流から流れてくる液体水銀をタービン翼型ノズル 3 4 による円周方向に向けて旋回流を形成するとともに旋回流の中心に気柱を噴出させ、この旋回流を渦崩壊用ノズル 3 5 で縮流して渦崩壊させる。より詳細には、上流から流れてくる液体水銀は、タービン翼型ノズル 3 4 によって中心部が閉塞されるため、流速の増した液体水銀流となる。この液体水銀流は、タービン翼型ノズル 3 4 の外周面に存在する溝に沿って流れ、タービン翼型ノズル 3 4 の円周方向に向きを変えられることにより旋回流となって渦流部 3 5 c を進む。渦流部 3 5 c では、タービン翼型ノズル 3 4 の噴射孔 3 4 b から放出された気柱が旋回流とともに螺旋状に流れる。渦崩壊用ノズル 3 5 に入ると、旋回流は縮流され、循環に比べて流れが卓越することで渦崩壊が起きる。この渦崩壊により大きな気泡が細かく潰され、マイクロバブルとなって渦崩壊用ノズル 3 5 の出口から放出される。噴射孔 3 4 b はタービン翼型ノズル 3 4 の本体、翼 3 4 a および前半部 1 0 の上部の壁に設けられた通路 3 6 を通って給気孔 3 7 と連通している。旋回流型マイクロバブル発生器 3 2 の下流に旋回流抑止ノズル 3 8 が設置されることもある。旋回流抑止ノズル 3 8 としては、特許文献 4 に開示された圧力遮断用ノズル（例えば、同文献の図 4 7 に示すもの。）を用いることができる。

20

30

【 0 0 2 8 】

液体水銀ターゲットの液体水銀中にバブルを注入する場合のバブル半径およびポイド率と液体水銀ターゲットへのパルス陽子ビームの入射により液体水銀中に発生する圧力波との関係を数値解析により求めた結果を図 6 に示す。図 6 中、ポイド率は液体水銀の体積に占めるバブルの全体積の割合（％）、単相は液体水銀にバブルが含まれない場合を示す。図 6 の横軸はバブル半径、縦軸は規格化ピーク圧力（液体水銀にマイクロバブルが含まれる場合の圧力波のピーク値 P_v を液体水銀にマイクロバブルが含まれない場合の圧力波のピーク値 P_s で除した値（ P_v / P_s ））である。図 6 より明らかなように、バブルの直径 $D_b < 1 0 0 \mu m$ 、ポイド率 $> 0.1\%$ とすることにより、圧力波を $1 / 10$ 以下に低減することができる。

40

【 0 0 2 9 】

図 1 ~ 図 3 に示す液体水銀ターゲットの前半部 1 0 とほぼ同様な形状を有し、上面が透明アクリル板により構成された実験用の容器（液体水銀ターゲットの実機と同サイズの水銀容器（Target Test Facility, TTF））を作製した。図 7 にこの容器 4 0 を示す。この容器 4 0 の全長は約 1 0 0 0 mm、幅は約 5 0 0 mm、内部の空間の高さは 8 0 mm である。容器 4 0 の内部には図 1 に示す液体水銀ターゲットの前半部 1 0 の整流板 1 4 ~ 1 9 と同様な整流板 4 1 ~ 4 6 が設けられている。この容器 4 0 の入口には導入管 4 7 が設

50

けられ、出口には排出管 48 が設けられている。導入管 47 の途中に、閉塞部材に複数の旋回流型マイクロバブル発生器が設けられた旋回流型マイクロバブル発生装置 49 が設置されている。旋回流型マイクロバブル発生装置 49 としては、6 個の旋回流型マイクロバブル発生器を有するものを用意した。旋回流型マイクロバブル発生装置 49 とは別に、閉塞部材に単一の旋回流型マイクロバブル発生器を設けたものも用意した。また、旋回流型マイクロバブル発生装置 49 の各旋回流型マイクロバブル発生器の前面に旋回流抑止ノズルを設けたものと設けないものとの二種類を用意した。同様に、閉塞部材に単一の旋回流型マイクロバブル発生器を設けたものの前面に旋回流抑止ノズルを設けたものと設けないものとの二種類を用意した。

【0030】

導入管 47 から旋回流型マイクロバブル発生装置 49 を通して容器 40 内に水を流し、容器 40 の先端付近の位置 A の水中に発生するバブルの半径 R_b ($D_b / 2$) を容器 40 の内部の底面からの高さ z の関数として測定した。その結果を図 8 に示す。水の流量 $Q_{H_2O} = 5 \text{ L/s}$ である。図 8 中、 \bar{R}_b はバブル半径 R_b の測定値の平均値を示す。図 8 より、単一の旋回流型マイクロバブル発生器を用いた場合には旋回流抑止ノズルを用いないとマイクロバブルの径を小さくすることができないのに対し、複数の旋回流型マイクロバブル発生器を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 49 では、旋回流抑止ノズルを用いなくてもバブルの径を小さくすることができる事が分かる。これは、旋回流によるバブルの合体を防止することができるためである。

【0031】

複数の旋回流型マイクロバブル発生器を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 49 で旋回流抑止ノズルを用いない場合に、図 7 の位置 B において水中に発生するバブルの様子を観察した。その結果を図 9 A に示す。図 9 A に示すように、旋回流抑止ノズルを用いた場合と同様な径および濃度のマイクロバブルが発生していることが分かる。比較のために、単一の旋回流型マイクロバブル発生器において旋回流抑止ノズルを用いない場合に、図 7 の位置 B において水中に発生するバブルの様子を観察した結果を図 9 B に示す。図 9 B に示すように、旋回流によりバブルが合体することにより、バブルの径が大きく、かつ濃度が小さいことが分かる。

【0032】

次に、旋回流型マイクロバブル発生装置 49 を設置した場合の水中の圧力損失を測定した結果について説明する。図 10 は、単一の旋回流型マイクロバブル発生器を設置した場合に、旋回流抑止ノズルを用いた場合と用いない場合とについて旋回流型マイクロバブル発生器の入口における等価速度 V_{in} に対して水中の圧力損失 P_{H_2O} を測定した結果を示す(図 10 の左の縦軸)。図 10 中、 Q_L は流量を示す。図 10 には、水の代わりに液体水銀を用いた場合の液体水銀中の圧力損失 P_{Hg} も併せて示す(図 10 の右の縦軸)。 P_{Hg} は液体水銀の比重 13.5 を P_{H_2O} に掛けることで得られるものである。図 10 に示すように、旋回流抑止ノズルを用いた場合に比べて旋回流抑止ノズルを用いない場合の方が P_{H_2O} および P_{Hg} は小さい。旋回流抑止ノズルを用いた場合の抵抗係数 $C_d = 47.774$ 、旋回流抑止ノズルを用いない場合の抵抗係数 $C_d = 34.307$ である。図 11 は、複数の旋回流型マイクロバブル発生器を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 49 を設置した場合に、旋回流抑止ノズルを用いた場合と用いない場合とについて旋回流型マイクロバブル発生装置 49 の入口における等価速度 V_{in} に対して水中の圧力損失 P_{H_2O} を測定した結果を示す(図 11 の左の縦軸)。図 11 中、 Q_L は流量を示す。図 11 には、水の代わりに液体水銀を用いた場合の液体水銀中の圧力損失 P_{Hg} も併せて示す(図 11 の右の縦軸)。 P_{Hg} は液体水銀の比重 13.5 を P_{H_2O} に掛けることで得られるものである。図 11 に示すように、旋回流抑止ノズルを用いた場合に比べて旋回流抑止ノズルを用いない場合の方が P_{H_2O} および P_{Hg} は小さいが、 P_{H_2O} および P_{Hg} とも、単一の旋回流型マイクロバブル発生器を用いた場合に比べて小さくなっている。旋回流抑止ノズルを用いた場合の抵抗係数 $C_d = 33.06$ 、旋回流抑止ノズルを用いない場合の抵抗係数 $C_d = 16.956$ である。図 10 および図 11 の結果より、複数の旋回流

10

20

30

40

50

型マイクロバブル発生器を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 49 を用いた場合には、旋回流抑止ノズルを用いなくても、 P_{H_2O} および P_{Hg} を十分に小さくすることができる。また、旋回流抑止ノズルを用いなくてもよいので、旋回流抑止ノズルの設置位置の検討が不要である。

【 0 0 3 3 】

次に、複数の旋回流型マイクロバブル発生器を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 49 を用いた場合において、図 7 の位置 P、Q、R、S、T における液体水銀中のバブル分布を旋回流抑止ノズルを用いた場合と用いない場合とについて調べた結果について説明する。ただし、液体水銀の流量は 7.5 L/s とし、旋回流型マイクロバブル発生器における注入ガスとしてはヘリウム (He) を用い、ガス注入量を 0.1 vol. \% とした。図 7 の位置 P、Q、R、S、T における液体水銀中のバブル分布の測定結果を図 12 A ~ E に示す。図 12 A ~ E より、旋回流抑止ノズルを用いた場合には、容器 40 の先端部よりも上流でバブルが多く浮上するのに対し、旋回流抑止ノズルを用いない場合には、容器 40 の先端部でバブルが多く浮上する傾向があることが分かる。また、複数の旋回流型マイクロバブル発生器を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 49 を用い、しかも各旋回流型マイクロバブル発生器により発生させる旋回流の旋回方向を同じにすることにより、旋回流型マイクロバブル発生装置 49 から遠く離れた所までマイクロバブルを輸送することが可能であることが分かる。

【 0 0 3 4 】

図 13 は旋回流型マイクロバブル発生装置 49 の入口における液体水銀の速度 V_{in} に対する液体水銀中の圧力損失 P の変化を測定した結果を示す。図 13 より、複数の旋回流型マイクロバブル発生器を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 49 を用い、しかも各旋回流型マイクロバブル発生器により発生させる旋回流の旋回方向を同じにすることにより、単一の旋回流型マイクロバブル発生器を用いる場合に比べて液体水銀中の圧力損失を小さくすることができることが分かる。また、旋回流抑止ノズルを用いた場合に比べて、旋回流抑止ノズルを用いない場合の方が液体水銀中の圧力損失を小さくすることができることも分かる。

【 0 0 3 5 】

以上のように、この第 1 の実施の形態によれば、液体水銀ターゲットの前半部 10 の管路 12 に複数の旋回流型マイクロバブル発生装置 32 を有する旋回流型マイクロバブル発生装置 33 が設けられていることにより、液体水銀中に、取り分けパルス陽子ビームが入射する前半部 10 の先端部の液体水銀中に、十分に小さいマイクロバブルを所望の濃度でしかも効率的に発生させることができる。例えば、バブルの直径 $D_b < 100 \mu\text{m}$ 、ポイド率 $> 0.1 \%$ とすることができる。このため、この液体水銀ターゲットを用いた次世代核破砕中性子源においては、この液体水銀ターゲットへのパルス陽子ビームの入射により液体水銀中に発生する圧力波の大幅な低減を図ることができる。具体的には、例えば圧力波を $1/10$ 以下に低減することができる。これによって、液体水銀ターゲットの損傷を防止することができ、液体水銀ターゲットの寿命の大幅な向上を図ることができる。

【 0 0 3 6 】

次に、この発明の第 2 の実施の形態による旋回流型マイクロバブル発生装置について説明する。この旋回流型マイクロバブル発生装置は水が流される管路に取り付けられる水栓品として用いられるものである。

図 15 A および B はこの旋回流型マイクロバブル発生装置を示し、図 15 A は縦断面図、図 15 B は図 15 A の B - B 線に沿っての横断面図である。

【 0 0 3 7 】

図 15 A および B に示すように、この旋回流型マイクロバブル発生装置においては、この旋回流型マイクロバブル発生装置が取り付けられる管路を閉塞する円柱状の閉塞部材 51 にこの閉塞部材 51 を貫通して 4 個の旋回流型マイクロバブル発生器 52 が設けられている。これらの旋回流型マイクロバブル発生器 52 は、閉塞部材 51 の中心軸の周りの一つの円周上に 90 度間隔で設けられている。

【 0 0 3 8 】

各旋回流型マイクロバブル発生器 5 2 は、前半部 5 3 a と後半部 5 3 b とからなる旋回流発生用翼体 5 3 とこの旋回流発生用翼体 5 3 と同軸に設けられた渦崩壊用ノズル 5 4 とを有する。前半部 5 3 a は後半の半分が円筒状になっており、後半部 5 3 b および渦崩壊用ノズル 5 4 はこの円筒状の部分の内部に收容されている。渦崩壊用ノズル 5 4 は、縮流部 5 4 a と渦崩壊部 5 4 b とを有する。前半部 5 3 a の内部には、図 1 4 B に示す断面において閉塞部材 5 1 の中心軸と各旋回流型マイクロバブル発生器 5 2 の中心軸とを結ぶ直線の両側に対称的にかつ各旋回流型マイクロバブル発生器 5 2 の中心軸の方向に延在して一対の水の通路 5 5 a、5 5 b が設けられている。また、前半部 5 3 a の前端には通路 5 5 a、5 5 b に水を案内するための凹部 5 6 が設けられている。後半部 5 3 b は 1 8 0 度

10

【 0 0 3 9 】

閉塞部材 5 1 の側面には金属スペーサ 6 1 が取り付けられている。この場合、金属スペーサ 6 1 の外周面には雄ねじ 6 1 a が設けられているとともに、閉塞部材 5 1 の側面には雌ねじ 5 1 a が設けられており、雌ねじ 5 1 a が雄ねじ 6 1 a にねじ込まれることにより金属スペーサ 6 1 が閉塞部材 5 1 の側面に取り付けられている。また、金属スペーサ 6 1

の内周面には雌ねじ 6 1 b が設けられている。そして、この金属スペーサ 6 1 の内周面の雌ねじ 6 1 b に給気用ねじ 6 2 の雄ねじ 6 2 a がねじ込まれている。金属スペーサ 6 1 の内周面の雌ねじ 6 1 b と給気用ねじ 6 2 の雄ねじ 6 2 a との間には隙間があり、この隙間および給気用ねじ 6 2 の先端部の下の空間を介して外部の空気と給気孔 6 0 とが連通し、さらに通路 5 9、5 8 を通って噴射孔 5 7 と連通している。閉塞部材 5 1 と旋回流発生用翼体 5 3 の前半部 5 3 a の外周面との間にはリング 6 3 が挟み込まれており、このリング 6 3 により、閉塞部材 5 1 と旋回流発生用翼体 5 3 の前半部 5 3 a の外周面との間の隙間から外部の空気が前半部 5 3 a の内部の通路 5 9 の内部に入るのを防止することができるようになっている。

20

【 0 0 4 0 】

この旋回流型マイクロバブル発生装置は、例えば、図 1 4 A において一点鎖線で示すように、管 7 1 と管 7 2 との間に挿入されて使用される。そして、この旋回流型マイクロバブル発生装置により、これらの管 7 1、7 2 に流される水中にマイクロバブルを効率的に発生させることができる。

30

この第 2 の実施の形態によれば、管 7 1、7 2 に流される水中に十分に小さいマイクロバブルを所望の濃度でしかも効率的に発生させることができる。

【 0 0 4 1 】

以上、この発明の実施の形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施の形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である

40

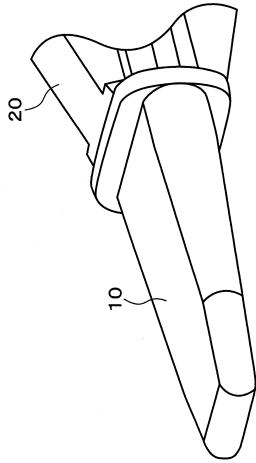
例えば、上述の実施の形態において挙げた数値、形状、構造、配置などはあくまでも例に過ぎず、必要に応じて、これらと異なる数値、形状、構造、配置などを用いてもよい。

【 符号の説明 】

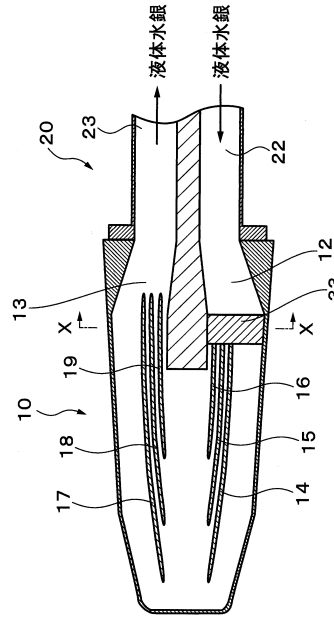
【 0 0 4 2 】

1 0 ... 前半部、1 2、1 3 ... 管路、1 4 ~ 1 9 ... 整流板、2 0 ... 後半部、2 2、2 3 ... 管路、3 1 ... 閉塞部材、3 2 ... 旋回流型マイクロバブル発生器、3 3 ... 旋回流型マイクロバブル発生装置、3 4 ... 旋回流発生用翼型ノズル、3 5 ... 渦崩壊用ノズル、3 5 a ... 縮流部、3 5 b ... 渦崩壊部、3 8 ... 旋回流抑止ノズル

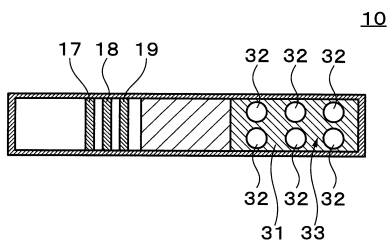
【図1】



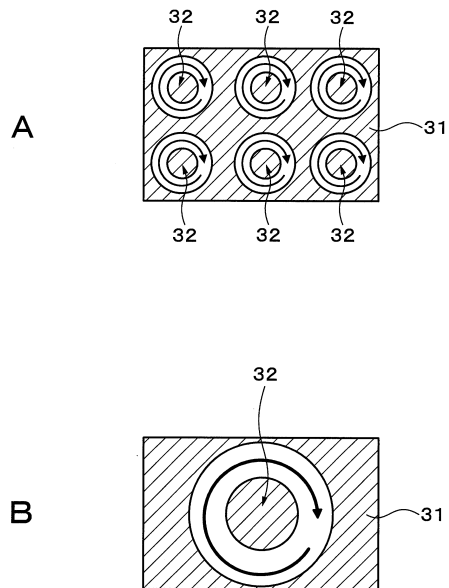
【図2】



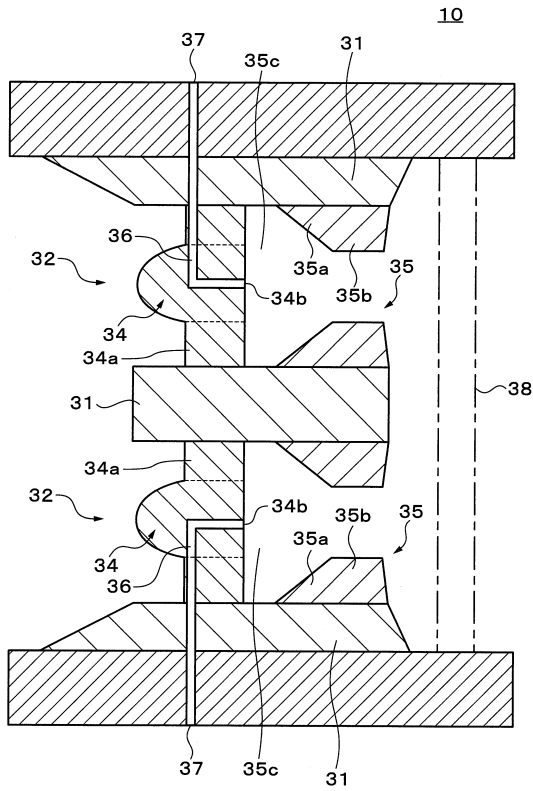
【図3】



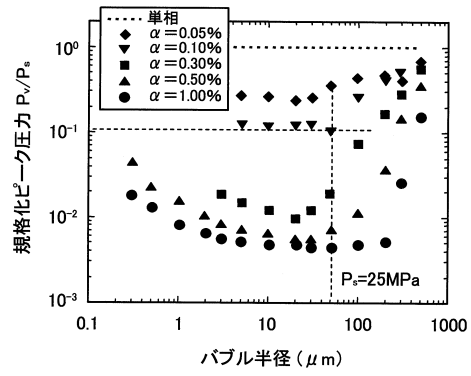
【図4】



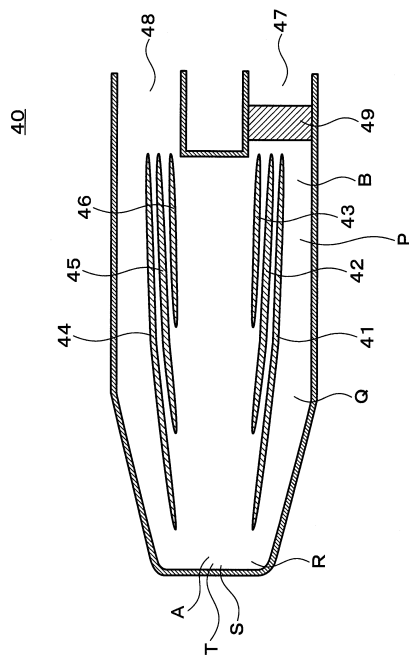
【図5】



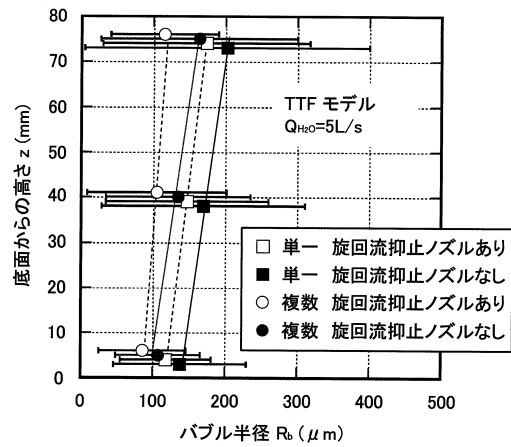
【図6】



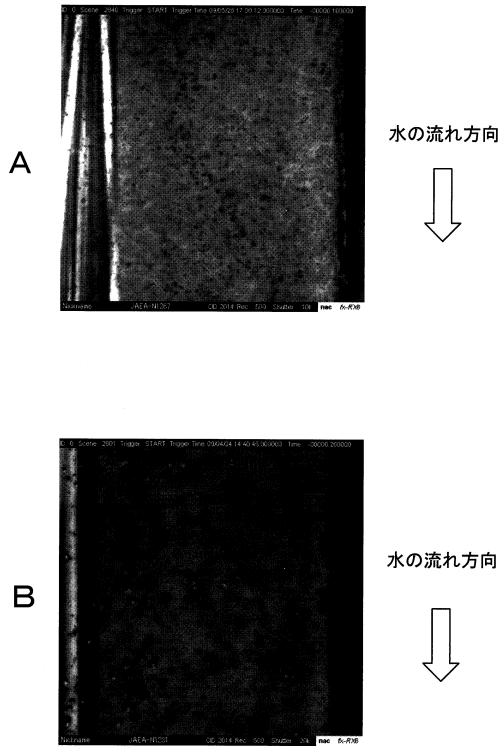
【図7】



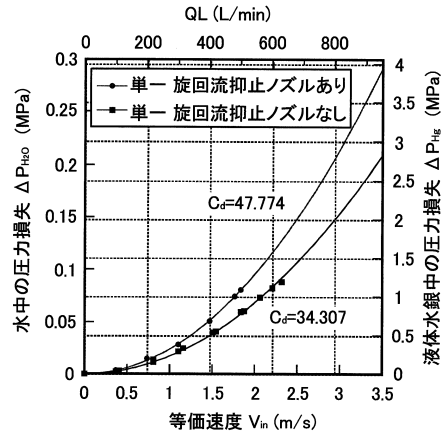
【図8】



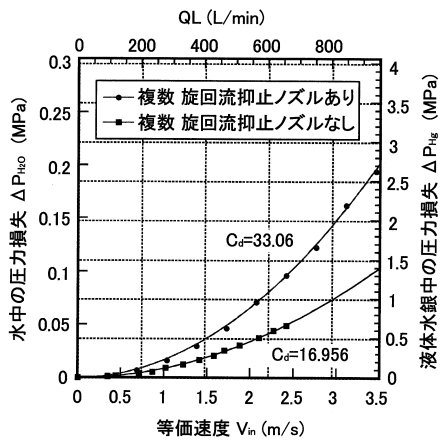
【図 9】



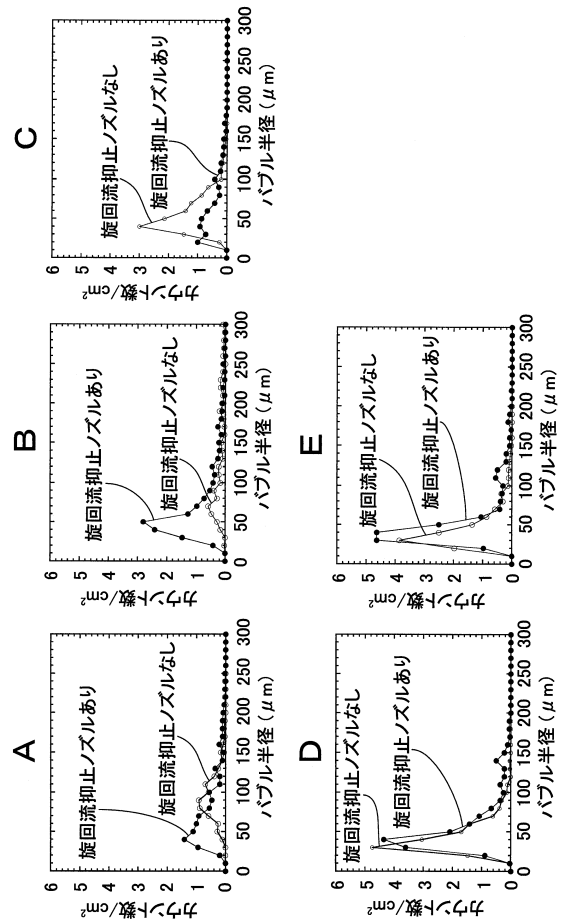
【図 10】



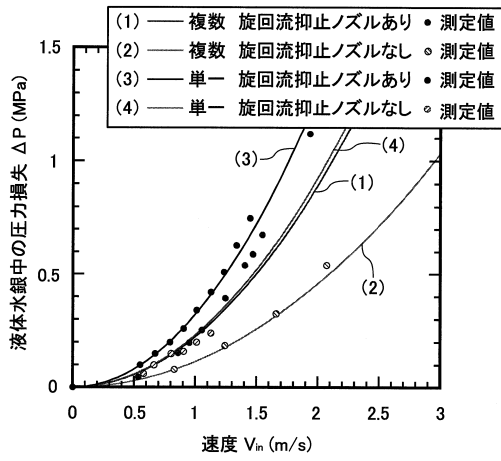
【図 11】



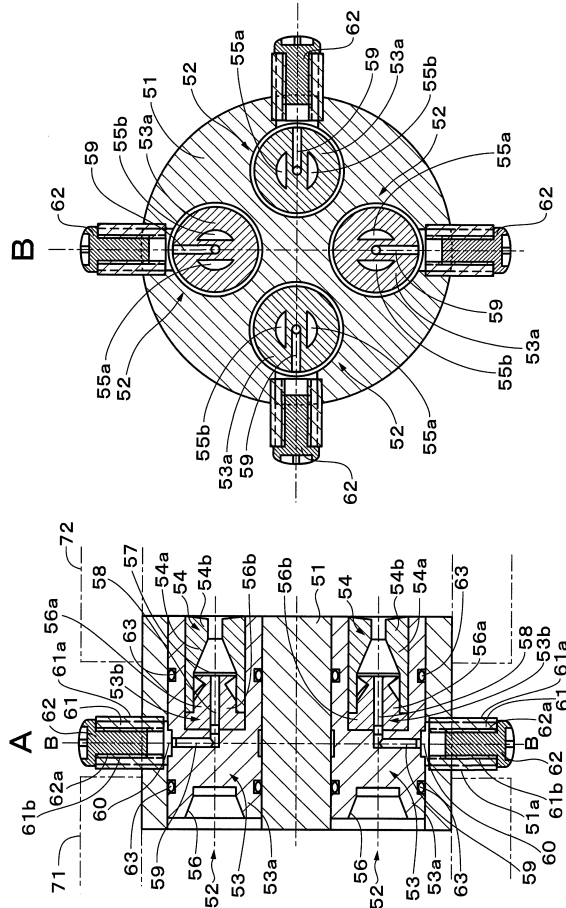
【図 12】



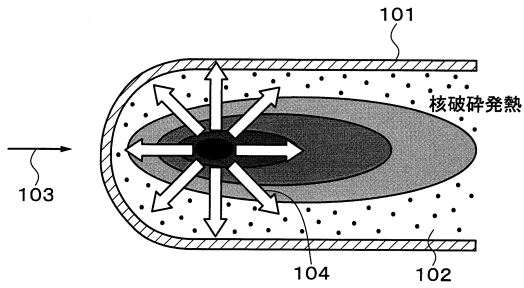
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 粉川 広行
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所内
- (72)発明者 二川 正敏
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所内
- (72)発明者 直江 崇
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所内
- (72)発明者 羽賀 勝洋
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所内
- (72)発明者 長谷川 勝一
茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所内
- (72)発明者 浦野 裕太
長野県岡谷市神明町2丁目9-7 株式会社 エール・オー内

審査官 鳥居 祐樹

- (56)参考文献 特開2006-150049(JP,A)
特開2009-209437(JP,A)
特開平11-224798(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B01F	1/00 - 5/26
G21K	1/00 - 3/00
G21K	5/00 - 7/00
H05H	3/00 - 15/00