

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4548943号  
(P4548943)

(45) 発行日 平成22年9月22日(2010.9.22)

(24) 登録日 平成22年7月16日(2010.7.16)

(51) Int.Cl.

F I

G 2 1 C 19/02 (2006.01)

G 2 1 C 19/02

V

請求項の数 48 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2000-611287 (P2000-611287)	(73) 特許権者	391013276
(86) (22) 出願日	平成12年4月7日(2000.4.7)		エレクトリック パワー リサーチ イン
(65) 公表番号	特表2002-541495 (P2002-541495A)		スチテュート インコーポレイテッド
(43) 公表日	平成14年12月3日(2002.12.3)		ELECTRIC POWER RESE
(86) 国際出願番号	PCT/US2000/009336		ARCH INSTITUTE, INCO
(87) 国際公開番号	W02000/062304		RPORATED
(87) 国際公開日	平成12年10月19日(2000.10.19)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
審査請求日	平成18年5月22日(2006.5.22)		304 パロ アルト ヒルビュー ア
(31) 優先権主張番号	60/128,391		ベニュー 3412
(32) 優先日	平成11年4月8日(1999.4.8)	(74) 代理人	100059959
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 中村 稔
		(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照射済核燃料集合体の超音波洗浄装置および方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ハウジングと、

該ハウジングに近接して配置される照射済核燃料集合体から堆積物を除去する、半径方向に放射される全方位超音波エネルギーを供給すべくハウジングに配置される複数の超音波トランスデューサとを有し、

前記複数の超音波トランスデューサの各々が第1端部および第2端部をもつロッドを含むように構成されており、第1端部には第1圧電トランスデューサが配置されかつ第2端部には第2圧電トランスデューサが配置されていることを特徴とする照射済核燃料集合体の洗浄装置。

## 【請求項 2】

前記複数の超音波トランスデューサは、第1反射面、エアギャップおよび外側面を備えた関連リフレクタを有していることを特徴とする請求項1記載の洗浄装置。

## 【請求項 3】

前記複数の超音波トランスデューサは、選択位置に最小変位節をもつ、半径方向に放射される第1組の全方位超音波エネルギー波を発生させるべく配置された第1トランスデューサと、前記選択位置に最大変位節をもつ、半径方向に放射される第2組の全方位超音波エネルギー波を発生させるべく配置された第2トランスデューサとを有することを特徴とする請求項1記載の洗浄装置。

## 【請求項 4】

前記ハウジングは、核燃料集合体をハウジング内に指向させるガイドを備えた第 1 端部を有することを特徴とする請求項 1 記載の洗浄装置。

【請求項 5】

前記ハウジングは、緊急冷却孔を形成する孔を備えた第 2 端部を有することを特徴とする請求項 1 記載の洗浄装置。

【請求項 6】

前記第 2 端部は濾過パイピングを受け入れるように構成されていることを特徴とする請求項 5 記載の洗浄装置。

【請求項 7】

前記濾過パイピングに連結されたポンプを更に有することを特徴とする請求項 6 記載の洗浄装置。

【請求項 8】

前記ポンプに連結されたフィルタを更に有することを特徴とする請求項 7 記載の洗浄装置。

【請求項 9】

前記照射済核燃料集合体をハウジング内に配置するホイスを更に有することを特徴とする請求項 1 記載の洗浄装置。

【請求項 10】

前記ホイスは、複数の超音波トランスデューサが付勢されている間に、核燃料集合体を、ハウジングの長手方向軸線に沿う一連の位置に再配置することを特徴とする請求項 9 記載の洗浄装置。

【請求項 11】

核燃料集合体をハウジングに隣接して配置する段階と、

核燃料集合体から堆積物を除去すべく、ハウジングに隣接して配置された複数の超音波トランスデューサからの、半径方向に放射される全方位超音波エネルギーを核燃料集合体に供給する段階とを有し、

前記複数の超音波トランスデューサの各々が第 1 端部および第 2 端部をもつロッドを含むように構成されており、第 1 端部には第 1 圧電トランスデューサが配置されかつ第 2 端部には第 2 圧電トランスデューサが配置されていることを特徴とする照射済核燃料集合体の洗浄方法。

【請求項 12】

前記供給段階は、半径方向に放射される全方位超音波エネルギーをハウジング内に選択的に反射させる段階を含むことを特徴とする請求項 11 記載の洗浄方法。

【請求項 13】

前記供給段階中に、ハウジングを通して液体を循環させる段階を更に有することを特徴とする請求項 11 記載の洗浄方法。

【請求項 14】

前記液体を濾過する段階を更に有することを特徴とする請求項 13 記載の洗浄方法。

【請求項 15】

前記液体中の放射線強度を測定する段階を更に有することを特徴とする請求項 13 記載の洗浄方法。

【請求項 16】

前記放射線強度が所定レベルに低下したときに前記供給段階を停止させる段階を更に有することを特徴とする請求項 15 記載の洗浄方法。

【請求項 17】

前記供給段階中に、核燃料集合体を、ハウジングの長手方向軸線に沿う一連の位置に再配置することを特徴とする請求項 11 記載の洗浄方法。

【請求項 18】

前記供給段階は、20～30kHzの周波数をもつ、半径方向に放射される全方位超音波エネルギーを1,000～1,500ワットのトランスデューサ出力で供給する段階を含

10

20

30

40

50

むことを特徴とする請求項 1 2 記載の洗浄方法。

【請求項 1 9】

前記供給段階は、選択位置に最小変位節をもつ、半径方向に放射される第 1 組の全方位超音波エネルギー波を供給する段階、および前記選択位置に最大変位節をもつ、半径方向に放射される第 2 組の全方位超音波エネルギー波を供給する段階を含むことを特徴とする請求項 1 1 記載の洗浄方法。

【請求項 2 0】

前記複数の超音波トランスデューサは、別個の 4 組の複数の超音波トランスデューサを含み、前記別個の 4 組の複数の超音波トランスデューサの各々の組は、前記ハウジングの異なる側に位置決めされていることを特徴とする請求項 1 記載の洗浄装置。

10

【請求項 2 1】

前記複数の超音波トランスデューサの各々は、一対の対向端によって定められる長さを有し、前記別個の 4 組の複数の超音波トランスデューサの各々の組の前記複数の超音波トランスデューサの各々は、前記超音波トランスデューサの各々の対向端の 1 つが、前記超音波トランスデューサの各々の前記対向端の少なくとも 1 つに隣接しているように列をなして位置決めされていることを特徴とする請求項 2 0 記載の洗浄装置。

【請求項 2 2】

前記複数の超音波トランスデューサは、別個の 2 組の複数の超音波トランスデューサを含み、前記別個の 2 組の複数の超音波トランスデューサの一方の組の第 1 の超音波トランスデューサは、該一方の組の前記複数の超音波トランスデューサの該第 1 の超音波トランスデューサから向かい側に位置決めされた前記別個の 2 組の複数の超音波トランスデューサの他方の組の前記複数の超音波トランスデューサの少なくとも第 1 の超音波トランスデューサの節から、前記ハウジングに対して、オフセットしていることを特徴とする請求項 2 0 記載の洗浄装置。

20

【請求項 2 3】

ハウジングと、

各々が半径方向に放射される全方位超音波エネルギーを供給することができる複数の超音波トランスデューサとを有し、

前記複数の超音波トランスデューサの各々が第 1 端部および第 2 端部をもつロッドを含むように構成されており、第 1 端部には第 1 圧電トランスデューサが配置されかつ第 2 端部には第 2 圧電トランスデューサが配置されており、

30

前記複数の超音波トランスデューサは、前記複数の超音波トランスデューサの第 1 のトランスデューサの節が、該第 1 のトランスデューサに隣接した前記複数の超音波トランスデューサの第 2 のトランスデューサの節から、前記ハウジングに対して、オフセットするようにハウジングの 1 つの側に沿って実質的に列をなして位置決めされていることを特徴とする照射済核燃料集合体の洗浄装置。

【請求項 2 4】

前記複数の超音波トランスデューサは、第 1 反射面、エアギャップおよび外側面を備えた関連リフレクタを有していることを特徴とする請求項 2 3 記載の洗浄装置。

【請求項 2 5】

40

前記複数の超音波トランスデューサの前記第 1 のトランスデューサの前記節は、選択位置にあり、前記複数の超音波トランスデューサの前記第 2 のトランスデューサの最大変位の点は、前記選択位置に位置決めされることを特徴とする請求項 2 3 記載の洗浄装置。

【請求項 2 6】

前記複数の超音波トランスデューサは、

前記ハウジングの第 1 の側に沿って実質的に列をなして位置決めされた第 1 組の複数の超音波トランスデューサと、

前記第 1 の側と反対側の前記ハウジングの第 2 の側に沿って実質的に列をなして位置決めされた第 2 組の複数の超音波トランスデューサと、を有し、

前記第 1 組の複数の超音波トランスデューサの少なくとも 1 つは、前記第 2 組の複数の

50

超音波トランスデューサの少なくとも１つと軸線に沿って１つの方向にオフセットしていることを特徴とする請求項２３記載の洗浄装置。

【請求項２７】

前記複数の超音波トランスデューサは、別個の４組の複数の超音波トランスデューサを含み、前記別個の４組の複数の超音波トランスデューサの各々の組は、前記ハウジングの異なる側に位置決めされていることを特徴とする請求項２３記載の洗浄装置。

【請求項２８】

前記複数の超音波トランスデューサの各々は、一对の対向端によって定められる長さを有し、前記別個の４組の複数の超音波トランスデューサの各々の組の前記複数の超音波トランスデューサの各々は、前記超音波トランスデューサの各々の対向端の１つが、前記超音波トランスデューサの各々の前記対向端の少なくとも１つに隣接しているように列をなして位置決めされていることを特徴とする請求項２７記載の洗浄装置。

10

【請求項２９】

照射済核燃料集合体の洗浄装置であって、該照射済核燃料集合体の洗浄装置は、ハウジングと、

各々が半径方向に放射される全方位超音波エネルギーを供給することができる複数の超音波トランスデューサと、を有し、

前記複数の超音波トランスデューサの少なくとも１つは、前記照射済核燃料集合体の隣接した燃料棒の間の間隔にほぼ等しい節構造を有する超音波圧縮波を発生するように構成されており、

20

前記複数の超音波トランスデューサの各々が第１端部および第２端部をもつロッドを含むように構成されており、第１端部には第１圧電トランスデューサが配置されかつ第２端部には第２圧電トランスデューサが配置されていることを特徴とする照射済核燃料集合体の洗浄装置。

【請求項３０】

前記複数の超音波トランスデューサは、第１反射面、エアギャップおよび外側面を備えた関連リフレクタを有していることを特徴とする請求項２９記載の洗浄装置。

【請求項３１】

前記複数の超音波トランスデューサの前記第１のトランスデューサの前記節は、選択位置にあり、前記複数の超音波トランスデューサの前記第２のトランスデューサの最大変位の点は、前記選択位置に位置決めされることを特徴とする請求項２９記載の洗浄装置。

30

【請求項３２】

前記複数の超音波トランスデューサは、

前記ハウジングの第１の側に沿って実質的に列をなして位置決めされた第１組の複数の超音波トランスデューサと、

前記第１の側と反対側の前記ハウジングの第２の側に沿って実質的に列をなして位置決めされた第２組の複数の超音波トランスデューサと、を有し、

前記第１組の複数の超音波トランスデューサの少なくとも１つは、前記第２組の複数の超音波トランスデューサの少なくとも１つと軸線に沿って１つの方向にオフセットしていることを特徴とする請求項２９記載の洗浄装置。

40

【請求項３３】

多数の燃料棒を有する組み立てられた照射済核燃料集合体を洗浄するように構成された装置であって、該装置は、

第１端に設けられた開口部と、長さとを有する細長いハウジングを有し、前記開口部は、前記組み立てられた照射済核燃料集合体を受け入れるように構成されており、前記長さは、前記照射済核燃料集合体と少なくとも同じ長さに構成されており、

前記ハウジング上に位置決めされた複数の全方位超音波トランスデューサをさらに有し、各全方位超音波トランスデューサは、

第１端と、

第２端と、

50

前記第 1 端に配置された第 1 圧電トランスデューサと、  
前記第 2 端に配置された第 2 圧電トランスデューサと、  
前記第 1 端と前記第 2 端との間に配置されたロッドと、を有し、  
前記各全方位超音波トランスデューサは、前記細長いハウジングに取り付けられている  
ことを特徴とする装置。

【請求項 3 4】

前記複数の全方位超音波トランスデューサは、前記ハウジングの長さ全体に沿って位置決めされていることを特徴とする請求項 3 3 記載の装置。

【請求項 3 5】

前記複数の全方位超音波トランスデューサの各々のロッドは、前記ハウジングの長さ  
と実質的に平行に位置決めされた細長いロッドからなることを特徴とする請求項 3 3 記載の  
装置。

【請求項 3 6】

前記複数の全方位超音波トランスデューサは、前記ハウジングの長さ全体に沿って位置  
決めされていることを特徴とする請求項 3 5 記載の装置。

【請求項 3 7】

前記ハウジングは、照射済沸騰水型原子炉燃料集合体を受け入れるように構成されてい  
ることを特徴とする請求項 3 3 記載の装置。

【請求項 3 8】

前記細長いハウジングは、レフレクタをさらに有し、該レフレクタは、  
前記ハウジングの周囲のまわりに位置決めされた円筒状内側反射面と、  
前記円筒状内側反射面の周囲のまわりに位置決め、前記円筒状内側反射面との間にギャ  
ップを形成する円筒状外側反射面と、を有することを特徴とする請求項 3 3 記載の装置。

【請求項 3 9】

多数の燃料棒を有する組み立てられた照射済燃料集合体を洗浄するように構成された装  
置であって、該装置は、

第 1 端に設けられた開口部と、長さとを有する細長いハウジングを有し、前記開口部は  
、前記照射済燃料集合体を受け入れるように構成されており、前記長さは、前記照射済燃  
料集合体と少なくとも同じ長さに構成されており、

前記ハウジング上に位置決めされた複数の全方位超音波トランスデューサをさらに有し  
、各全方位超音波トランスデューサは、

第 1 端と、

第 2 端と、

前記第 1 端に配置された第 1 圧電トランスデューサと、

前記第 2 端に配置された第 2 圧電トランスデューサと、

前記第 1 端と前記第 2 端との間に配置されたロッドと、を有し、前記ロッドは、前記  
照射済燃料集合体の燃料棒間の間隔の倍数である節構造を有する全方位超音波エネルギー波  
を放射するように構成されており、

前記各全方位超音波トランスデューサは、前記細長いハウジングに取り付けられている  
ことを特徴とする装置。

【請求項 4 0】

前記倍数は、1 倍であることを特徴とする請求項 3 9 記載の装置。

【請求項 4 1】

前記細長いハウジングは、レフレクタをさらに有し、該レフレクタは、  
前記ハウジングの周囲のまわりに位置決めされた円筒状内側反射面と、  
前記円筒状内側反射面の周囲のまわりに位置決め、前記円筒状内側反射面との間にギャ  
ップを形成する円筒状外側反射面と、を有することを特徴とする請求項 3 9 記載の装置。

【請求項 4 2】

前記複数の全方位超音波トランスデューサの各々は、前記照射済燃料集合体の燃料棒間  
の間隔の倍数であるに等しい周期をもつ超音波エネルギー波を放射するように構成されてい

10

20

30

40

50

ることを特徴とする請求項 39 記載の装置。

【請求項 43】

多数の燃料棒を有する組み立てられた 4 面照射済燃料集合体を洗浄するように構成された装置であって、該装置は、

前記組み立てられた照射済燃料集合体を受け入れる細長いハウジングと、

複数の全方位超音波トランスデューサ、とを有し、各全方位超音波トランスデューサは第 1 端と、第 2 端と、前記第 1 端に配置された第 1 圧電トランスデューサと、前記第 2 端に配置された第 2 圧電トランスデューサと、前記第 1 端と前記第 2 端との間に配置されたロッドと、を有し、前記各全方位超音波トランスデューサは、前記細長いハウジングに取り付けられており、前記装置は、

10

第 1 組の前記複数の全方位超音波トランスデューサが前記細長いハウジング上に位置決めされ、前記組み立てられた照射済燃料集合体の第 1 の面に隣接するように構成され、

第 2 組の前記複数の全方位超音波トランスデューサが前記細長いハウジング上に位置決めされ、前記組み立てられた照射済燃料集合体の第 2 の面に隣接するように構成され、

第 3 組の前記複数の全方位超音波トランスデューサが前記細長いハウジング上に位置決めされ、前記組み立てられた照射済燃料集合体の第 3 の面に隣接するように構成され、

第 4 組の前記複数の全方位超音波トランスデューサが前記細長いハウジング上に位置決めされ、前記組み立てられた照射済燃料集合体の第 4 の面に隣接するように構成され、

前記細長いハウジングの周囲のまわりに位置決めされた円筒状内側反射面と、

前記円筒状内側反射面の周囲のまわりに位置決め、前記円筒状内側反射面との間にギャップを形成する円筒状外側反射面と、をさらに有することを特徴とする装置。

20

【請求項 44】

前記ハウジングの長さは、第 1 の方向に延びており、前記複数の全方位超音波トランスデューサの各々は、前記第 1 の方向と実質的に平行に位置決めされていることを特徴とする請求項 43 記載の装置。

【請求項 45】

多数の燃料棒を有する照射済燃料集合体を洗浄するように構成された装置であって、該装置は、

第 1 端に設けられた開口部と、長さとを有する細長いハウジングを有し、前記開口部は、前記組み立てられた照射済燃料集合体を受け入れるように構成されており、前記長さは、前記照射済燃料集合体と少なくとも同じ長さに構成されており、

30

前記ハウジング上に位置決めされた複数の全方位超音波トランスデューサをさらに有し、各全方位超音波トランスデューサは、第 1 端部および第 2 端部をもつロッドを含むように構成されており、第 1 端部には第 1 圧電トランスデューサが配置されかつ第 2 端部には第 2 圧電トランスデューサが配置されており、前記ロッドは、前記照射済燃料集合体の燃料棒間の間隔の倍数である節構造を有する全方位超音波エネルギー波を放射するように構成されており、前記各全方位超音波トランスデューサは、前記細長いハウジングに取り付けられていることを特徴とする装置。

【請求項 46】

前記複数の全方位超音波トランスデューサは、前記ハウジングの前記長さ全体に沿って位置決めされていることを特徴とする請求項 45 記載の装置。

40

【請求項 47】

前記倍数は、1 倍であることを特徴とする請求項 45 記載の装置。

【請求項 48】

前記細長いハウジングは、レフレクタをさらに有し、該レフレクタは、

前記ハウジングの周囲のまわりに位置決めされた円筒状内側反射面と、

前記円筒状内側反射面の周囲のまわりに位置決めされ、前記円筒状内側反射面との間にエアギャップを形成する円筒状外側反射面と、を有することを特徴とする請求項 45 記載の装置。

【発明の詳細な説明】

50

## 【 0 0 0 1 】

本願は、「照射済核燃料集合体の超音波洗浄装置および方法 (Apparatus and Method for Ultrasonically Cleaning Irradiated Nuclear Fuel Assemblies)」という名称に係る 1999 年 4 月 8 日付米国仮特許出願第 60/128,391 号の優先権を主張する。

## 【 0 0 0 2 】

(技術分野)

本発明は、広くは原子力発電所のメンテナンスに関し、より詳しくは、原子力発電所の照射済核燃料集合体の超音波洗浄技術に関する。

## 【 0 0 0 3 】

(背景技術)

原子炉の作動中に、原子炉冷却材の不純物および生成物が核燃料集合体上に堆積する。これらの堆積物は、次のような多くの態様で原子力発電所の作動およびメンテナンスに影響を与える。すなわち、(a) 堆積物の中性子特性が原子炉の核性能に悪影響を与えること、(b) 堆積物の熱抵抗により、燃料棒の材料破壊を生じさせる虞れのある高い表面温度が燃料棒に引き起こされること、(c) 堆積物の放射線崩壊により、特に出力過渡変動時に、堆積物が原子炉冷却システムの全体に亘って分散されると、作業時放射線被曝を引き起こすこと、(d) 堆積物は、視覚法および渦電流法の両方法により、照射済核燃料集合体の完全な検査を複雑化させること、(e) 燃料棒から放出される堆積物は使用済燃料プール中の視認性を低下させ、これにより燃料交換による休止時の燃料プール中での他の作業が大幅に遅延されること、および (f) 第 2 回目または第 3 回目に照射される燃料集合体がひとたび原子炉内に再装入されると、堆積物は有害な態様で新しい燃料集合体上に再分散される物質のインベントリー (在庫物質) を形成すること等の影響を与える。現在のところ、照射済核燃料集合体からこのような堆積物を効率的かつコスト有効的に除去する方法は、緩慢な手作業による技術以外にない。

## 【 0 0 0 4 】

最近では、加圧水型原子炉 (PWR) においてアキシャルオフセット異常 (axial offset anomaly: AOA) が報告されている。AOA は、堆積物が、原子炉および 1 次系の局部的熱 - 流体状態と 1 次側流体不純特性との結合により、燃料棒上にクラディングを形成する現象である。これらの堆積物は、核にとって有害でありかつ炉心の軸線に沿う異常な出力分布を引き起こし、或る作動条件下での有効限界を低下させる。AOA は、幾つかの発電所において、原子炉出力レベルを長期間に亘って低下させている。

## 【 0 0 0 5 】

AOA の問題は、PWR 燃料堆積物を除去するための効率的でコスト有効性に優れた機構を開発する必要性を増大させている。また、このような機構は、全堆積物インベントリーを低減させて発電所作業員に与える線量率を低下させること、燃料査察性を向上させること、長期間乾燥貯蔵できる燃料を用意すること、および分析用の沈殿試料の収集が容易であることが望まれる。

## 【 0 0 0 6 】

PWR 燃料堆積物を除去するための幾つかのアプローチが提案されている。1 つの方法は、原子炉内の現場で、または燃料集合体を別の洗浄セルに運んだ後に、燃料集合体を化学的に浄化する方法である。このアプローチには、コスト、洗浄薬品による腐食の潜在的可能性、洗浄により発生する高度に汚染された薬品の廃棄の困難性等の幾つかの問題がある。この化学的アプローチの最大の欠点は、恐らく、単一の燃料集合体の浄化に数時間を要するということに手間がかかることである。

## 【 0 0 0 7 】

行われている他のアプローチは、洗浄セル内で氷片を循環させ、燃料棒を通る氷の流れにより堆積物を緩やかに除去する方法である。このアプローチには、洗浄有効性、或る燃料支持構造を通る氷片の駆動の困難性、燃料棒の構造的な一体性に与える低温の作用、および使用済燃料プール中のホウ素の希釈化等の問題がある。

## 【 0 0 0 8 】

これまで、個々の燃料棒および燃料チャンネルは、製造過程での慣用的な超音波洗浄により浄化されてきた。しかしながら、慣用超音波洗浄は、発生できる単位体積当り出力密度が小さいため、照射済燃料集合体中の燃料棒の大きな束の洗浄には殆ど効果的でなかった。また、慣用の超音波洗浄トランスデューサは大形であるため、一般的な原子力発電所の燃料プールでの実施は困難である。

【 0 0 0 9 】

( 発明の開示 )

以上から、照射済核燃料集合体から堆積物を除去するための時間効率に優れ、有効かつ低コストな技術を提供することが強く望まれている。

【 0 0 1 0 】

本発明は、照射済核燃料集合体の洗浄装置を提供する。本発明の装置は、核燃料集合体と係合するハウジングを有している。ハウジング上には、半径方向に放射される全方位超音波エネルギーを供給して核燃料集合体から堆積物を除去するための 1 組の超音波トランスデューサが配置されている。

【 0 0 1 1 】

本発明の方法は、照射済核燃料集合体の洗浄に関する。本発明の方法は、核燃料集合体をハウジングに隣接して位置決めする段階を有している。次に、ハウジング上に配置されたトランスデューサから半径方向に放射される全方位超音波エネルギーが核燃料集合体に供給され、核燃料集合体から堆積物を除去する。

【 0 0 1 2 】

( 発明を実施するための最良の形態 )

本発明をより良く理解するため、添付図面を参照して本発明を以下に詳細に説明する。

【 0 0 1 3 】

尚、全図面に亘って、同じ構成部品には同一の参照番号を使用する。

【 0 0 1 4 】

図 1 は、本発明の一実施形態に従って構成された超音波洗浄装置 2 0 を示す。装置 2 0 は、ハウジング 2 4 上に取り付けられた超音波トランスデューサ 2 2 を有している。ハウジング 2 4 の頂部にはガイド 2 8 が配置されている。核燃料集合体 ( 図 1 には示されていない ) が、ガイド 2 8 からハウジング 2 4 内に通される。ひとたび核燃料集合体がハウジング 2 4 内に配置されると、核燃料集合体は、後述するように、超音波トランスデューサ 2 2 から超音波エネルギーを付与することにより浄化される。

【 0 0 1 5 】

ハウジング 2 4 を洗浄プールの壁に取り付けるのに、集合体リアクションサポート 2 6 を使用できる。或いは、ハウジング 2 4 は、クレーンまたはホイストにより支持することもできる。図 1 にはまた、濾過システムが故障した場合に使用するための濾過パイピング 3 2 および緊急冷却孔 3 0 が示されている。緊急冷却孔 3 0 は、機器の故障 ( 例えば、ポンプの損失 ) の場合に、自然対流による燃料チャンネルからの十分な崩壊熱の除去を行う。濾過パイピング 3 2 は、後述のように、除去した堆積物を含んだ水を濾過ユニットに送るのに使用される。

【 0 0 1 6 】

トランスデューサ 2 2 は、トランスデューサ取付け板 3 4 上に取り付けることができる。トランスデューサ取付け板 3 4 は、トランスデューサ 2 2 をハウジング 2 4 に連結するのに使用される。トランスデューサ 2 2 を適正位置で取付け板 3 4 に取り付けるのに、トランスデューサスペーサ 3 6 が使用される。

【 0 0 1 7 】

図 2 は、本発明に従って使用されるトランスデューサ 2 2 を示す。トランスデューサ 2 2 は、第 1 圧電トランスデューサすなわちトランスデューサ 4 0 のスタックと、ロッド 4 4 の反対側に取り付けられた第 2 圧電トランスデューサすなわちトランスデューサ 4 2 のスタックとを有している。トランスデューサ 2 2 は、ロッド 4 4 から半径方向全方位に圧力波を出すように構成されている。この半径方向に放射される圧力波を、全方位圧力波と呼

10

20

30

40

50



ぶことにする。

【 0 0 1 8 】

本発明に従って使用される全方位圧力波は、液体中に単方向圧力波を発生して液体を振動させる慣用の超音波トランスデューサとは異なる。単方向圧力波の波先は、トランスデューサが取り付けられる超音波浴の壁または底等の平構造の運動により形成される名目上の平面である。伝達されるエネルギーは、これが物理的対象物に出会うと消散する。かくして、燃料集合体の燃料棒の場合には慣用の超音波を使用することは困難である。なぜならば、慣用の超音波は、超音波エネルギーを常時燃料集合体の中央に作用させることは困難だからである。これを達成するのに必要なエネルギーは過大であり、燃料に損傷を与えることもある。

10

【 0 0 1 9 】

本発明のトランスデューサは、全方位圧力波を発生する。波先は、2つの圧電トランスデューサ40、42の位相ロック運動により形成される。バー軸線に沿う圧力波の節構造が燃料棒の間隔にほぼ等しくなるか、燃料棒間隔の倍数になるような間隔を隔てた、円筒状に形成された圧力波は、燃料棒の列を容易に貫通する。従って、燃料束内の内部燃料棒の洗浄は、慣用の超音波を用いてこのような内部洗浄を行わなくてはならない場合に必要とされるよりも非常に小さいエネルギー入力で行うことができる。換言すれば、トランスデューサ、オフセット位置決めおよびこれらのリフレクタの協働により、クラディング運動によって燃料ペレットに物理的な損傷が加えられるほど大きなエネルギーを燃料棒に伝達することなく、最も奥深く隠れている燃料棒から迅速に堆積物を洗浄するのに十分な燃料集合体内部のエネルギーを有する空間充填エネルギー界 (space-filling energy field) を発生する。

20

【 0 0 2 0 】

本発明は、Martin Walter Ultraschalltechnik, GMBH (ドイツ国、Staubenhardt) から市販されているPUSH-PULLトランスデューサを用いて実施された。これらのトランスデューサは、本願に援用する米国特許第5,200,666号に開示されている。20 ~ 30 kHz の超音波周波数および1,000 ~ 1,500ワットのトランスデューサ出力が適していることが証明されている。これにより20 ~ 30ワット/ガロンのエネルギー密度が形成され、このエネルギー密度は、照射済燃料集合体から堆積物を除去するのに特に有効なエネルギー密度である。このエネルギー密度は、慣用の超音波トランスデューサの使用中に実現されるエネルギー密度に比べて遥かに小さいものである。

30

【 0 0 2 1 】

本発明による半径方向に放射される全方位エネルギーを形成するのに使用できる他のトランスデューサとして、テルソニックラジエータ (チューブ) トランスデューサおよびソノトロードトランスデューサ (ロッドの一侧にトランスデューサを備えたもの) がある。

【 0 0 2 2 】

一実施形態では、トランスデューサ本体44がチタンで形成され、ステンレス鋼の端キャップが使用されている。この装置に関連するガasket、ケーブリングおよびコネクタは、使用済燃料プール内で作動できるように構成するか、さもなければ、原子力発電所で慣例のあらゆる一般的な相容性条件および安全条件 (例えば、核燃料取扱い領域でのFME (Foreign Material Exclusion: 異物禁制)) に適合しなければならない。

40

【 0 0 2 3 】

図3は、図2の超音波洗浄装置20の側面図である。図3には、燃料チャンネルすなわちハウジング24と、集合体リアクションサポート26と、ガイド28と、濾過パイピング32と、リフレクタ50と、集合体取付け梁52とが示されている。リフレクタ50は、燃料集合体に供給される超音波エネルギーの量を増大させるのに使用される。すなわち、リフレクタ50は、超音波エネルギーを燃料集合体内に反射すべく機能する。集合体取付け梁52は、トランスデューサ取付け板34を集合体リアクションサポート26に連結するのに使用される。集合体リアクションサポート26は、後述のように、洗浄が行われる燃料プールの壁54に対して押し付けられる。

50

## 【 0 0 2 4 】

ハウジング 2 4、取付け板 3 4、スペーサ 3 6 および、リフレクタ 5 0 はステンレス鋼で作ることができる。原子力発電所の運転にとって一般的な安全性および材料相容性の条件に適合するならば他の材料を使用することもできる。より詳しくは、選択される材料は、使用済燃料プールおよびキャスク装入ピットを含む原子力発電所の燃料貯蔵領域および燃料取扱い領域での使用に相容性を有するものでなくてはならない。

## 【 0 0 2 5 】

ハウジング 2 4 の内面は、これらの表面上またはこれらの表面の窪みまたは裂け目に放射性粒子が堆積する機会を低減させるため電解研磨される。これにより、原子力発電所の作業者が放射線被曝を受けることなくハウジングを分解しかつ輸送することが可能になる。超音波トランスデューサ 2 2 は、ハウジング 2 4 の洗浄に使用できることに留意されたい。すなわち、トランスデューサ 2 2 は、ハウジング 2 4 の壁から堆積物を洗浄すべくハウジング 2 4 が空にされると付勢される。

10

## 【 0 0 2 6 】

図 4 は、超音波洗浄装置 2 0 の平面図である。図 4 には、これまでに説明された部品、すなわちトランスデューサ 2 2、ハウジング 2 4、トランスデューサ取付け板 3 4、トランスデューサスペーサ 3 6 およびリフレクタ 5 0 が明瞭に示されている。図 2 には更にハウジングスペーサ 6 0 が示されており、該ハウジングスペーサ 6 0 は、超音波エネルギーが、トランスデューサ配列に対面しない側の装置の 2 面を通ることができるようにする機能を有している。各リフレクタ 5 0 はその内側面 5 6 および外側面 5 4 を有し、これらの両面 5 4、5 6 はエアギャップ 5 6 により分離されている。この構造は、超音波エネルギーを反射させる上で特に有効であることが証明されている。

20

## 【 0 0 2 7 】

図 4 にはまた、ハウジング 2 4 内に配置された燃料集合体 7 0 が示されている。燃料集合体 7 0 は個々の燃料棒 7 2 を有し、該燃料棒 7 2 に付着した堆積物 7 4 が示されている。本発明により除去されるのはこの種類の堆積物である。

## 【 0 0 2 8 】

図 4 には、17 × 17 本の燃料集合体 7 0 が示されている。ハウジング 2 4 は、あらゆる設計の軽水炉燃料に適合するように構成できる。もちろん、ハウジングは、他の燃料源についても実施できる。

30

## 【 0 0 2 9 】

図 1 ~ 図 4 の装置は、強固に付着した堆積物を照射済核燃料集合体から除去するための高エネルギー密度超音波を発生する。より詳しくは、トランスデューサ 2 2 は、燃料束 7 0 の中心まで透過して、ここに位置する燃料棒のクラディングを洗浄する。トランスデューサ 2 2 は、例えば図 1 に示すように、燃料集合体の 2 つの面に沿う垂直方向配列（トランスデューサの軸線が水平になる配列）に配置されている。図 1 には、ハウジング 2 4 の頂部に配置されたトランスデューサ 2 2 が示されている。なぜならば、ハウジング 2 4 の頂部は、殆どの加圧水型原子炉での堆積物の位置に一致するからである。トランスデューサ 2 2 は、ハウジング 2 4 の全長に沿って配置するか、限定された戦略的位置に配置することもできる。

40

## 【 0 0 3 0 】

燃料集合体 7 0 内の燃料棒の数は一般に 200 本を超えかつ正方形のピッチ配列（例えば 17 × 17 本）に配置されている。洗浄候補の燃料集合体では、ペレットスタックを収容するクラディングが、除去すべき堆積物で覆われる。垂直配列の各トランスデューサでは、システムの作動中に、1 つのトランスデューサの節（すなわち、励振モード形状でゼロ変位を受ける位置）が隣接トランスデューサでの最大変位の位置と整合するように、隣接トランスデューサが横方向にオフセットしている。また、各トランスデューサは、この態様で、燃料集合体の反対側に位置するトランスデューサから軸線方向にオフセットしている。換言すれば、対面するトランスデューサの軸線に沿って半波オフセット（またはその倍数オフセット）させてトランスデューサを位置決めすることができる。

50

## 【0031】

図5は、燃料プール80内に配置された本発明の超音波洗浄装置20を示す。装置20は、集合体リアクションサポート26を用いて取り付けられる。装置20の支持体には、ケーブル82を使用することもできる。装置20は、これに関連するポンプ/濾過組立体90を有している。組立体90は、少なくとも1つのポンプ92と、1組のフィルタ94とを有している。ポンプ92の入口位置には、放射線センサ96が配置されている。放射線センサ96は、燃料集合体がきれいであるか否かを判断するのに使用される。より詳しくは、センサ96でのガンマ放射線強度が基線レベルまで低下したときは、これ以上の除去すべき燃料堆積物粒子は存在せず、従って洗浄が完了したことが判明する。

## 【0032】

図5にはまた、本発明の実施形態に関連する補助装置100が示されている。補助装置100は、超音波出力発生器102と、ポンプ/濾過制御回路106と、濾過/浄化システム108とを有している。

## 【0033】

図6(a)および図6(b)は、簡単化して示したハウジング24内への燃料集合体70の配置方法を示す。燃料集合体70は、ホイス110を用いて配置される。図6(a)では、燃料集合体70はハウジング24内にある。図6(b)では、燃料集合体70は、ハウジング24から一部が取り出されている。図6(c)では、燃料集合体70はハウジング24から取り出されている。図6(a)および図6(b)のホイス110は、燃料集合体70のプール80への挿入およびプール80からの取出しを行うため、図5のシステムに使用できる。ホイス110はまた、燃料集合体70の軸線方向長さに沿う異なる領域を洗浄すべく、超音波洗浄中に燃料集合体70を位置変更するのに使用できる。

## 【0034】

ひとたび燃料集合体70がハウジング24内に位置決めされたならば、超音波洗浄が開始される。約20~30kHzの周波数および1,000~1,500ワットのトランスデューサ出力で作動する半径方向全方位超音波の使用により優れた結果が得られた。図5を参照することにより理解されようが、ポンプ92は燃料集合体を通して水を吸い上げ、これにより、トランスデューサ22が発生した超音波エネルギーにより除去された堆積物をフラッシングする。ハウジング24を通る下方への流れを与えることにより、ハウジング24の頂部をシールする必要がなくなる。

## 【0035】

燃料集合体70はホイス110によって常時支持され、洗浄作業中に燃料集合体70の重量がハウジング24に作用しないようにするのが好ましい。前述のように、トランスデューサ22は、超音波エネルギーがハウジング壁を貫通するようにして、ハウジング24の外側に取り付けられる。試験により、介在ハウジング壁の主要効果が超音波信号の低周波部分の減衰にあることが証明されている。洗浄効果の大部分の役割を果たす超音波信号の高周波部分(すなわち、10kHz以上の周波数)は、適正に設計されたハウジングを殆ど減衰することなく透過する。

## 【0036】

本発明による一般的な洗浄シーケンスについて以下に説明する。ホイス110が、燃料貯蔵ラックから燃料集合体70をピックアップする。ホイス110に関連する可動機械が、燃料集合体70をプール80または他の何らかな洗浄ステーションに搬送する。燃料集合体70は、ハウジング24内に挿入されるときにビデオ撮影するのが好ましい。例えば、図6(b)には、ハウジング24の頂部に配置された、燃料集合体70をビデオ撮影するカメラ120が示されている。次に、トランスデューサ22が付勢される。ホイス110は、燃料集合体70を2分間隔で微動上昇および下降(すなわち、2分間上昇させかつ2分間下降)させるのに使用される。各微動距離は、数インチであるのが好ましい。

## 【0037】

ガンマ放射線強度は、センサ96によりモニタされる。放射性燃料堆積物粒子を含む水が、ポンプ92によりフィルタ94を通してポンピングされ、次にプール80に戻される。

10

20

30

40

50

センサ 96 により検出されるガンマ放射線強度がひとたび基線レベルに低下したならば、これ以上の燃料堆積物粒子は存在せず、従って洗浄が完了したことを知ることができる。一般的な洗浄シーケンスは 7 ~ 10 分間である。これは、数時間続けられる従来技術の化学的アプローチとは顕著な相違である。本発明に関連する洗浄シーケンス時間は、トランスデューサ出力を増大させることにより短縮される。存在する実験的証拠は、トランスデューサ出力の増大によって燃料ペレットが損傷を受けないことを示している。

#### 【0038】

洗浄後、燃料集合体 70 がハウジング 24 から取り出されるが、この間の状況はビデオ撮影される。洗浄前および洗浄後から撮影されたビデオ映像は、洗浄が首尾良く行われたかを確認するのに使用される。

10

#### 【0039】

次に、ホイスト 110 を駆動して、燃料集合体 70 を燃料貯蔵ラックに移動させる。ここで、洗浄システムは、次の燃料集合体 70 の洗浄を行う準備が整ったことになる。強力に支持されたハウジング 24 の場合には、単一のホイスト 110 を使用して 1 組の超音波洗浄装置 20 を装入できることに留意されたい。この構成により、全体的処理能力が高められる。

#### 【0040】

本発明の技術は、燃料交換による休止中に本発明により処理される 16 オンス照射済核燃料集合体に首尾良く適用できた。洗浄された燃料集合体は、次に、原子炉内で次の照射を行うために再装入された。燃料集合体は、ペレット完全性の劣化の兆候およびアキシャルオフセット異常 (AOA) を引き起こす燃料堆積物が未だ十分に浄化されていないことの兆候がモニタされた。ペレットに作用する最も重大な応力は、原子炉の始動ランプ (start-up ramp) 中に生じる。再始動時中には悪い効果は全く見られず、悪い効果は連続原子炉作動中にも全く観察されなかった。また、中性子束マップは、集合体格子の下のも最臨界状態にある領域の燃料堆積物は、集合体が異常な中性子束の減少を示すことなく新しい燃料のように機能するように十分に除去されたことを表示した。

20

#### 【0041】

当該分野で本発明の有効性を証明することに加え、本発明はまた、種々の実験室的試験にも首尾良く絶え得るものである。より詳しくは、空気酸化されたジルカロイ (Zircaloy) 燃料クラディングの試料について一連の試験を行った。より詳しくは、17 x 17 本の燃料棒集合体の実験室的実物大模型が試験された。この試験は、本発明による超音波洗浄への長期露出の結果としてクラディング酸化物に対していかなる金属学的損傷も生じないことを証明した。この試験は、燃料クラディング (燃料棒を構成する燃料ペレットを収容する円筒状金属壁) が、超音波洗浄過程への燃料集合体の露出により悪影響を受けないことを示している。

30

#### 【0042】

本発明の超音波洗浄技術は、燃料ペレットに損傷の危険性のある力を作用させることなく実施できる。本発明に従って使用される超音波は、ペレットとクラディングの内面との間に一般的に見られるガスギャップには透過しないため、ペレットに有害な振動エネルギーを伝達する唯一の原因は、ペレットに対するクラディング内面の移動である。実験結果は、クラディングの振動スペクトルは、作動中に燃料が受ける振動スペクトルに匹敵することを証明している。原子炉の一般的な作動条件に境界を接する有害な振動が、慣用超音波を有効にすることは期待できない。なぜならば、燃料束内の内部燃料棒を洗浄するのに要する非常に大きいエネルギー入力にはペレットに対して有害であると考えられるからである。

40

#### 【0043】

当業者ならば、本発明は種々の形態で実施できることが理解されよう。例えば、図 7 ~ 図 10 には他の実施形態が示されている。

#### 【0044】

図 7 は、トランスデューサ 22 が、前の実施形態におけるように水平ではなく、垂直平面

50

に対して45°に配向されているものを示している。トランスデューサ22は、取付けブラケット122の取付けブロック120内に配置される。例えば、図7の装置は、図6(a)~図6(c)のハウジング24の頂部に取り付けることができる。この実施形態では、燃料集合体70は、洗浄過程中、図6(a)~図6(c)に示すようにトランスデューサを通して上昇および下降される。

【0045】

本発明は、ハウジング24の全4面にトランスデューサを配置して実施することができる。このような実施形態では、各トランスデューサにリフレクタが設けられる。

【0046】

図8(a)は、燃料集合体70を静止させた状態で、洗浄過程の間に上昇および下降されるハウジング130上にトランスデューサ22が取り付けられた実施形態を示す。本発明のこの実施形態は、ハウジング130が燃料集合体を包囲する必要がないことを示している。図1~図5の実施形態では、ハウジング24は、燃料を保護し、濾過および冷却を向上させ、かつ除去した堆積物を収容すべく作動する。このハウジング130はまた、図8(a)に示すように、超音波トランスデューサを簡単に支持する作動をも行う。

【0047】

図8(a)のハウジング130は、リフトケーブル132に取り付けられる。ハウジング130の重量に釣合わせるため、カウンタウェイト134が使用される。カウンタウェイト134は、レベリングケーブル133に取り付けられる。リフトケーブル132は、支持梁138上に取り付けられたホイスト136により駆動される。ブレーキ140は、ハウジング130の運動を制御するのに使用される。

【0048】

図8(b)は、ハウジング130の詳細図である。この実施形態では、ハウジング130は、関連リフレクタ152を備えたガイド150内にトランスデューサ22を取り付ける。

【0049】

図9は、本発明の超音波洗浄装置を受け入れるチャンネル160と、これに関連する燃料集合体とを示している。チャンネル160は、一体ポンプ162および一体フィルタ164、166を有している。かくして、この実施形態では、単一の一体システムは、洗浄および濾過の両機能を提供する。フィルタ164は内部循環用の粗いフィルタ、一方フィルタ166は、最終洗浄中に燃料プール排出するための微細フィルタとして構成できる。ブロック168は、微細フィルタ166がひだ付きフィルタ(9個の2インチひだ付きフィルタ)のマトリックスに実施できることを示している。

【0050】

図10~図12は、沸騰水型原子炉に使用する本発明の実施形態を示す。より詳しくは、図10は、燃料集合体のチャンネル除去(デチャンネルリング)を行うことなく、沸騰水型原子炉に使用されるチャンネル形燃料を洗浄する装置を示す。図10は、垂直方向に取り付けられた1組のトランスデューサ22を支持するハウジング200を示す。図10には示されていないが、トランスデューサは、ハウジング200の軸線方向全長に亘って配置できる。

【0051】

図11は、図10の線11-11に沿う方向から見た平面図である。図11は、燃料集合体02を包囲する、垂直方向に取り付けられたトランスデューサ22を示す。ハウジング200は、リフレクタ204を有することが好ましい。図12には、内側反射面206および外側面を備えたリフレクタ204が示されている。内側反射面206と外側面208との間にはエアギャップ210が設けられている。

【0052】

当業者ならば、本発明が、核燃料集合体から堆積物を除去するための時間効率に優れ、有効かつコンパクトで低コストな技術を提供することが理解されよう。本発明の技術は、従来の化学的アプローチに比べて非常に迅速である。

## 【 0 0 5 3 】

また本発明は、燃料集合体を分解することなく燃料集合体を洗浄することを可能にする。本発明の技術は、照射済核燃料ペレットの物理的一体性を損なう原因となる、クラディングの好ましくない変位を引き起こすことがない。換言すれば、本発明は、次に原子炉を再始動させるときにいかなる問題をも引き起こすことなく、燃料集合体の内部堆積物を洗浄できる。

## 【 0 0 5 4 】

本発明により得られる他の重要な利益は、発電所作業者に関する放射線管理を改善しかつ放射線被曝を低減できることである。洗浄過程で除去される燃料堆積物粒子は、炉心での熱的 / 流体的過渡の結果として冷却材ループの回りに分散されるときに、休止中の最も重大な作業員被曝 (personnel does) を引き起こす放射性物質と実際に同じである。かくして、燃料を洗浄しかつフィルタ上に放射性粒子 (放射性物質自体は、これらの放射線強度が崩壊する間、長期間に亘って燃料プール中に安全に貯蔵される) を閉じ込めることにより、休止線量率 (outage dose rate) および作業員被曝の低減を達成できる。従って、線量制御および線量率低減方法としての燃料洗浄は、放射線管理コストを低減させる実行可能な新しい方法である。

## 【 0 0 5 5 】

説明のための上記記載には、本発明の完全な理解を与えるための特殊専門用語を使用した。しかしながら、当業者には、本発明の実施に特定の詳細は不要であることが明らかであろう。他の場合には、基本的発明からの不必要な混乱を避けるため、良く知られた回路および装置はブロック図の形態で示した。従って、本発明の特定実施形態についての上記記載は、例示および説明のためのものである。上記記載は排他的なものではなくかつ本発明を説明に係る正確な形態に限定するものでもなく、上記教示から種々の変更が可能である。実施形態は、本発明の原理およびその実用的用途を最も良く説明するために選択されかつ記載されたものであり、従って、当業者ならば、本発明および意図する特定用途に適合する種々の変更がなされた種々の実施形態を最も良く使用できるであろう。本発明の範囲は、特許請求の範囲の記載およびこれらの均等物により定められるものである。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一実施形態に従って構成された超音波洗浄装置を示す正面図である。

【図 2】 本発明の一実施形態に従って使用される、半径方向放射全方位エネルギーを発生する超音波トランスデューサを示す図面である。

【図 3】 図 1 の超音波洗浄装置の側面図である。

【図 4】 図 1 の超音波洗浄装置の内部に核燃料集合体が配置された状態を示す平面図である。

【図 5】 本発明の一実施形態に従って使用される図 1 の超音波洗浄装置およびこれに関連するポンプおよび濾過装置を示す図面である。

【図 6 ( a )】 本発明のハウジング内に燃料集合体を位置決めする一段階を示す図面である。

【図 6 ( b )】 本発明のハウジング内に燃料集合体を位置決めする一段階を示す図面である。

【図 6 ( c )】 本発明のハウジング内に燃料集合体を位置決めする一段階を示す図面である。

【図 7】 斜めに配置された超音波トランスデューサを使用する本発明の一実施形態を示す図面である。

【図 8 ( a )】 本発明の一実施形態による可動超音波洗浄装置を示す図面である。

【図 8 ( b )】 本発明の一実施形態による可動超音波洗浄装置を示す図面である。

【図 9】 一体形ポンプ / 濾過システムを備えた本発明の超音波洗浄装置を示す図面である。

【図 10】 沸騰水型原子炉 ( B W R ) に関連して使用する超音波洗浄装置を示す図面である。

【図 1 1】 沸騰水型原子炉（BWR）に関連して使用する超音波洗浄装置を示す図面である。

【図 1 2】 沸騰水型原子炉（BWR）に関連して使用する超音波洗浄装置を示す図面である。

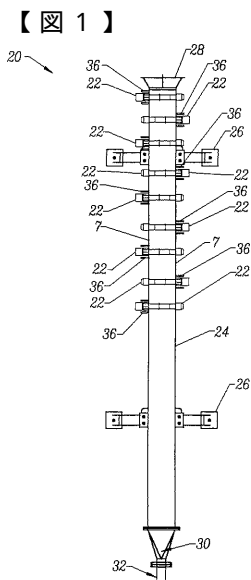


FIG. 1

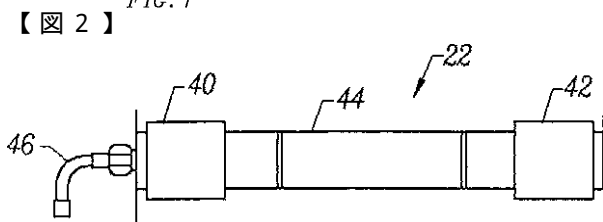


FIG. 2

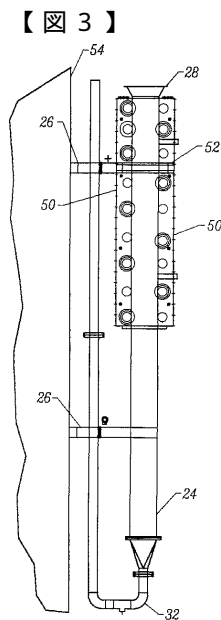


FIG. 3

【図 4】

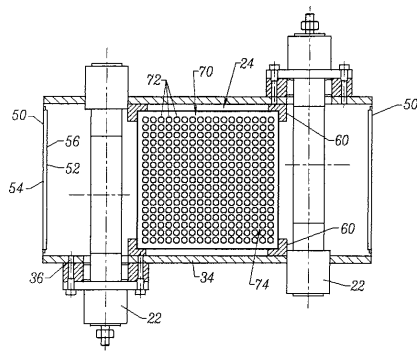


FIG. 4

【図 5】

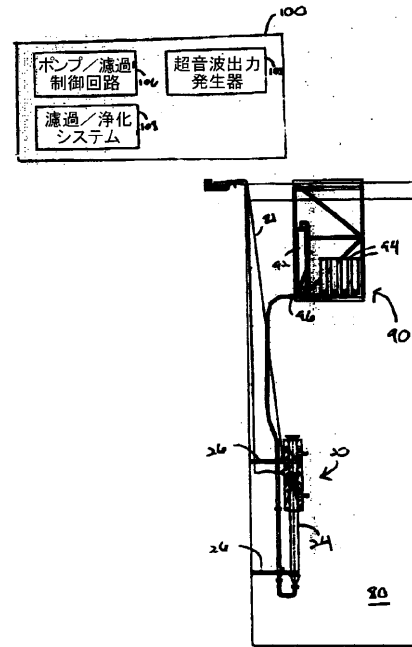


Fig. 5

【図 6 b】

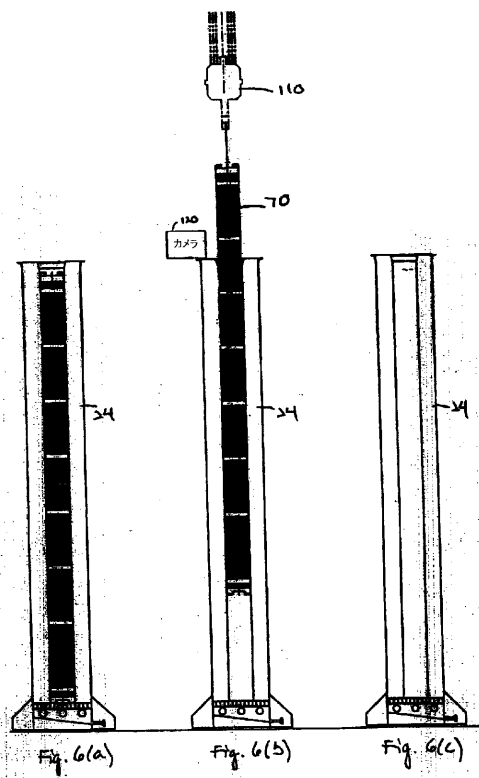


Fig. 6(a)

Fig. 6(b)

Fig. 6(c)

【図 7】

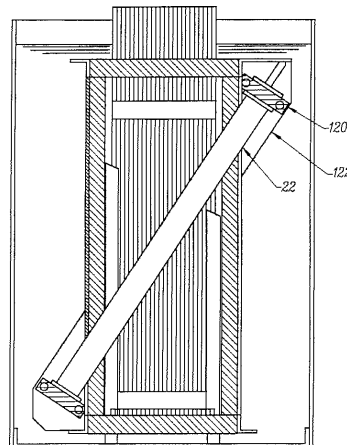


FIG. 7



【図 8 A】

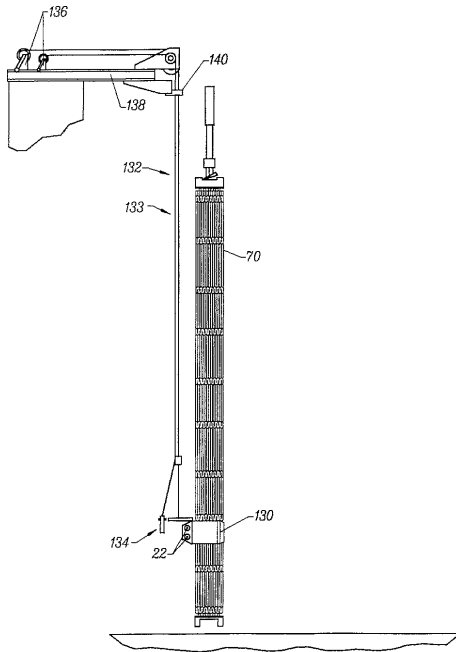


FIG. 8A

【図 8 B】

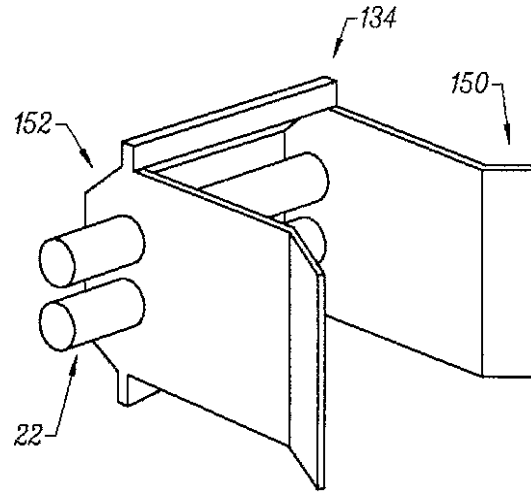


FIG. 8B

【図 9】

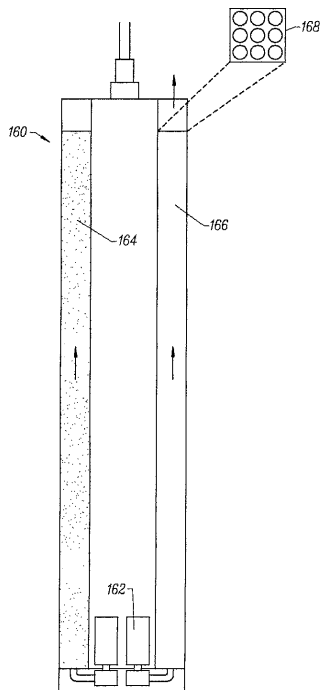


FIG. 9

【図 10】

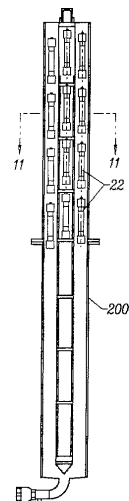


FIG. 10

【図 11】

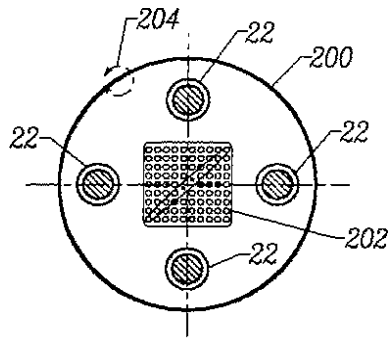


FIG. 11

【図 12】

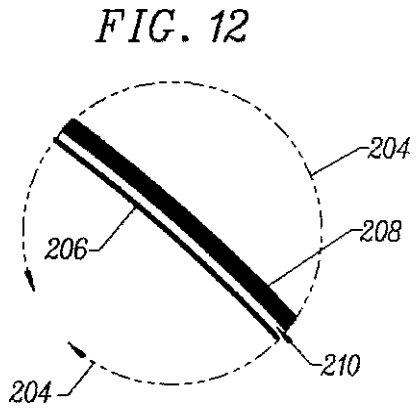


FIG. 12

## フロントページの続き

- (74)代理人 100065189  
弁理士 宍戸 嘉一
- (74)代理人 100096194  
弁理士 竹内 英人
- (74)代理人 100074228  
弁理士 今城 俊夫
- (74)代理人 100084009  
弁理士 小川 信夫
- (74)代理人 100082821  
弁理士 村社 厚夫
- (74)代理人 100086771  
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100084663  
弁理士 箱田 篤
- (72)発明者 フラティニ ポール エル  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 2 2 ロス アルトス ロス アルトス アヴェニュー  
ー 4 0 0
- (72)発明者 ヴァーリン ロバート エス  
アメリカ合衆国 ヴァージニア州 2 2 1 0 2 マクリーン リンカーン サークル 1 5 0 0
- (72)発明者 ハント エドウィン エス  
アメリカ合衆国 ヴァージニア州 2 2 2 0 7 アーリントン ナンバー サーティーフォース  
ロード 4 7 2 8

審査官 中塚 直樹

- (56)参考文献 特開昭59-077391(JP,A)  
特開平06-246249(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21C 19/02  
G21F 9/28  
B08B 3/00-14