

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6682107号
(P6682107)

(45) 発行日 令和2年4月15日(2020.4.15)

(24) 登録日 令和2年3月27日(2020.3.27)

(51) Int. Cl.	F 1					
G 2 1 F	9/30	(2006.01)	G 2 1 F	9/30	5 3 1 E	
B 2 4 C	1/00	(2006.01)	G 2 1 F	9/30	5 3 1 J	
B 2 4 C	5/02	(2006.01)	G 2 1 F	9/30	5 3 5 A	
B 2 6 F	3/00	(2006.01)	G 2 1 F	9/30	5 3 5 E	
			B 2 4 C	1/00	Z	

請求項の数 9 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-13403 (P2016-13403)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成28年1月27日(2016.1.27)		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2017-133916 (P2017-133916A)		茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地
(43) 公開日	平成29年8月3日(2017.8.3)		1
審査請求日	平成30年11月2日(2018.11.2)	(73) 特許権者	000174943
			三井住友建設株式会社
			東京都中央区佃二丁目1番6号
		(74) 代理人	110000442
			特許業務法人 武和国際特許事務所
		(72) 発明者	中村 保之
			福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発
			法人日本原子力研究開発機構 原子炉廃止
			措置研究開発センター内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 堆積物回収工法及び堆積物回収装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置を用いて構造物中に堆積した堆積物の一部を切断する切断工程と、前記切断工程により前記堆積物から切り出された回収片を前記構造物外に回収する回収工程とを繰り返す堆積物回収工法であって、

前記切断工程は、前記堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して傾斜する第1の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置に備えられたジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れる第1の切断工程と、前記仮想の垂直線を介して前記第1の方向とは反対側の第2の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れる第2の切断工程とを含み、
前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置に作用する操作反力を検出し、前記第1の切れ込みの先端に前記第2の切れ込みの先端が到達したか否かを判定することを特徴とする堆積物回収工法。

【請求項2】

アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置を用いて構造物中に堆積した堆積物の一部を切断する切断工程と、前記切断工程により前記堆積物から切り出された回収片を前記構造物外に回収する回収工程とを繰り返す堆積物回収工法であって、

前記切断工程は、前記堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して傾斜する第1の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置に備えら

10

20

れたジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れる第1の切断工程と、前記仮想の垂直線を介して前記第1の方向とは反対側の第2の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れる第2の切断工程とを含み、
前記第1の切断工程を実行する際及び前記第2の切断工程を実行する際に、前記ジェットノズルを切断方向に距離xだけ移送する切断動作と、前記ジェットノズルを前記切断方向と逆向きに距離x/2だけ移送する戻し動作とを繰り返して、所要の切断長さについての切断工程を実行することを特徴とする堆積物回収工法。

【請求項3】

前記第1の切断工程を実行する際の前記仮想の垂直線に対する前記ジェット噴流の噴射角度と、前記第2の切断工程を実行する際の前記仮想の垂直線に対する前記ジェット噴流の噴射角度とを同角度にすることを特徴とする請求項1または2に記載の堆積物回収工法。

【請求項4】

前記切断工程を実行しようとする前記堆積物の表面から前記ジェット噴流の噴射方向における前記構造物までの距離に応じて、前記ジェットノズルの先端から前記堆積物の表面までの距離であるスタンドオフ量を変更することを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の堆積物回収工法。

【請求項5】

前記第1の切断工程を実行する際及び前記第2の切断工程を実行する際に、前記ジェットノズルの先端を前記ジェットノズルの後端よりも、前記ジェットノズルの移送方向の前方側に傾斜させることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の堆積物回収工法。

【請求項6】

アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置と、
 前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置に備えられたジェットノズルを、切断対象物である堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して、第1の方向及び前記第1の方向とは反対側の第2の方向に傾斜させるマニピュレータと、
 前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより、前記堆積物の一部から切り取られた回収片を回収して外部に搬送する回収物搬送装置と、
 を備え、
前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置は、
前記マニピュレータによって前記第1の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れ、
前記マニピュレータによって前記第2の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れ、
前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置に作用する操作反力を検出し、前記第1の切れ込みの先端に前記第2の切れ込みの先端が到達したか否かを判定することを特徴とする堆積物回収装置。

【請求項7】

アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置と、
 前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置に備えられたジェットノズルを、切断対象物である堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して、第1の方向及び前記第1の方向とは反対側の第2の方向に傾斜させるマニピュレータと、
 前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより、前記堆積物の一部から切り取られた回収片を回収して外部に搬送する回収物搬送装置と、
 を備え、
前記アブレイシブ・ウォーター・ジェット切断装置は、
前記マニピュレータによって前記第1の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れ、

前記マニピュレータによって前記第2の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れ、前記第1の切れ込み及び前記第2の切れ込みを入れる際に、前記ジェットノズルを切断方向に距離xだけ移送する切断動作と、前記ジェットノズルを前記切断方向と逆向きに距離x/2だけ移送する戻し動作とを繰り返すことを特徴とする堆積物回収装置。

【請求項8】

前記回収物搬送装置は、前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより前記堆積物の一部に形成される切れ込み内に挿し込んで前記回収片を支えるアーム部材を備えていることを特徴とする請求項6または7に記載の堆積物回収装置。

【請求項9】

前記回収物搬送装置は、前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより前記堆積物の一部から切り出された前記回収片に密着して真空吸着する真空吸着部材を備えていることを特徴とする請求項6または7に記載の堆積物回収装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、堆積物回収工法に係り、特に、構造物を貫通することなく構造物内に堆積した硬質の堆積物を切断して回収する工法と、当該工法を実行する堆積物回収装置とに関する。

【背景技術】

【0002】

東日本大震災により炉心溶融した東京電力福島第一原子力発電所の1号機から3号機（以下、これらの号機を総称して「1F」と言う。）については、廃炉に向けて、原子炉圧力容器内に堆積したり、原子炉圧力容器から溶出して格納容器内に堆積した溶融燃料と炉内構造物等を撤去することが急務になっている。然るに、1Fの原子炉圧力容器内及び格納容器内に堆積した溶融燃料と炉内構造物等は、原形を留めておらず、溶融燃料が炉内構造物等と混在した状態で再凝固した燃料デブリとなっているために、その回収は容易ではない。

【0003】

本願の発明者らは、先にアブレイシブ・ウォーター・ジェット（以下、「AWJ」と略称する。）切断装置を用いた燃料デブリの切断と回収の可能性について検討し、成果報告書で報告した（非特許文献1参照。）。実験によると、AWJ切断装置を用いれば1Fの炉内構造物に主に使用されているステンレス鋼材（SUS304）を切断でき、回収可能であることが実証された。

【0004】

また、AWJ切断装置は一般に、金属やセラミックなどの硬質材料を切断できるほか、多様な加工が可能である、加工時に熱を発生しない、機械的応力が発生しない、水中の堆積物を加工できる、切断ヘッドを位置決めするためのプログラミングが容易である等の特徴を有しているので、原子炉圧力容器内及び格納容器内に堆積した燃料デブリの回収に有効な手段であると期待できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【非特許文献1】JAEA-Technology 2014年4月 日本原子力研究開発機構 敦賀本部 原子炉廃止措置研究開発センター 岩井紘基、中村保之、手塚将志、佐野一哉

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、原子炉圧力容器内及び格納容器内からの燃料デブリの回収に際しては、貫通

10

20

30

40

50

孔が形成されるほどの損傷を原子炉圧力容器及び格納容器に与えないことが強く求められる。その理由は、燃料デブリの切断・回収作業中に原子炉圧力容器及び格納容器に貫通孔が生じると、原子炉圧力容器内及び格納容器内に溜まった汚染水が外部に流出する虞を生じるからである。

【0007】

A W J切断装置は、切断ヘッドに設けられた噴射ノズルから高圧水により加速された粒状又は粉状のアブレイシブ（研削剤）を被加工物に当て、アブレイシブの切削作用により被加工物を切断する加工機であるので、切断ヘッドから噴射されたアブレイシブが原子炉圧力容器及び格納容器の壁面（バウンダリ）を貫通しないように、工法を工夫する必要がある。

10

【0008】

その一工法としては、燃料デブリの切断箇所に応じて、切断ヘッドから噴射される高圧水の吐出圧力を調整することが考えられる。例えば、燃料デブリの厚みが大きい切断箇所では吐出圧力を高くし、燃料デブリの厚みが小さい切断箇所では吐出圧力を低くして使用するという具合である。

【0009】

しかしながら、原子炉圧力容器内及び格納容器内に堆積した燃料デブリは、位置により厚みが大きく異なっているため、このような工法を採用すると、切断箇所毎に吐出圧力の調整を繰り返し行わなくてはならず、燃料デブリの回収効率が著しく悪いものになる。このような問題は、原子炉圧力容器内及び格納容器内から燃料デブリを回収する場合だけでなく、構造物中の堆積物を切断して回収する全ての現場において同様に生じる。

20

【0010】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、構造物を貫通することなく、構造物内に堆積した硬質の堆積物のみを安価かつ確実に切断して回収する工法と、当該工法を実行する堆積物回収装置とを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一形態は、上記の課題を解決するため、堆積物回収工法に関しては、A W J切断装置を用いて構造物中に堆積した堆積物の一部を切断する切断工程と、前記切断工程により前記堆積物から切り出された回収片を前記構造物外に回収する回収工程とを繰り返す堆積物回収工法であって、前記切断工程は、前記堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して傾斜する第1の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記A W J切断装置に備えられたジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れる第1の切断工程と、前記仮想の垂直線を介して前記第1の方向とは反対側の第2の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れる第2の切断工程とを含み、前記A W J切断装置に作用する操作反力を検出し、前記第1の切れ込みの先端に前記第2の切れ込みの先端が到達したか否かを判定することを特徴とする。

30

本発明の他の形態は、上記の課題を解決するため、堆積物回収工法に関しては、A W J切断装置を用いて構造物中に堆積した堆積物の一部を切断する切断工程と、前記切断工程により前記堆積物から切り出された回収片を前記構造物外に回収する回収工程とを繰り返す堆積物回収工法であって、前記切断工程は、前記堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して傾斜する第1の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記A W J切断装置に備えられたジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れる第1の切断工程と、前記仮想の垂直線を介して前記第1の方向とは反対側の第2の方向から前記仮想の垂直線に向けて前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れる第2の切断工程とを含み、前記第1の切断工程を実行する際及び前記第2の切断工程を実行する際に、前記ジェットノズルを切断方向に距離xだけ移送する切断動作と、前記ジェットノズルを前記切断方向と逆向きに距離x/2だけ移送する戻し動作とを繰り返して、所要の切断長さについての切断工

40

50

程を実行することを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

本構成によると、堆積物の表面から、三角板形状、円錐形状、三角錐形状、四角錐形状等の回収片を少しずつ切り出して、原子炉圧力容器及び格納容器の壁面に達する位置まで堆積物を掘り進めることができる。よって、堆積物を垂直に切り込む場合のように、堆積物の最大厚み部分を切断可能な大型のAWJ切断装置を備える必要がなく、堆積物の回収を安価かつ容易に行うことができる。即ち、本構成によると、使用するAWJ切断装置が有する切断能力以上の厚みを有する堆積物の切断、回収が可能となる。また、本構成によると、堆積物の回収作業前或いは回収作業中に随時行われる試料の取り出しも容易に行うことができる。

10

また、ジェットノズルからアブレイシブと高圧水を噴射すると、AWJ切断装置には、被切断物である堆積物からの反力が作用する。この反力は、第1の切れ込みの先端に第2の切れ込みの先端が達した場合、被切断物である堆積物が失われるので、急激に低下する。従って、本構成によると、この反力の低下をひずみゲージなどで検出することにより、回収片の切り出しが行われたか否かを確実に検知できる。

また、本構成によれば、切断遅れを小さくできるので、回収片の切断を確実に行うことができる。

【 0 0 1 3 】

また本発明は、前記堆積物回収工法において、前記第1の切断工程を実行する際の前記仮想の垂直線に対する前記ジェット噴流の噴射角度と、前記第2の切断工程を実行する際の前記仮想の垂直線に対する前記ジェット噴流の噴射角度とを同角度にすることを特徴とする。

20

【 0 0 1 4 】

本構成によると、堆積物の切断作業中に、第1の切れ込みを入れるためのジェットノズルの傾斜角度と、第2の切れ込みを入れるためのジェットノズルの傾斜角度とを固定できるので、ジェットノズルの傾斜角度の調整に要する時間を省略できて、堆積物回収工法の作業性を高めることができる。

【 0 0 1 5 】

また本発明は、前記堆積物回収工法において、前記切断工程を実行しようとする前記堆積物の表面から前記ジェット噴流の噴射方向における前記構造物までの距離に応じて、前記ジェットノズルの先端から前記堆積物の表面までの距離であるスタンドオフ量を変更することを特徴とする。

30

【 0 0 1 6 】

実験によると、ジェットノズルからの高圧水の吐出圧力及び堆積物の切断速度を一定とした場合、スタンドオフ量と堆積物の切断深さとの和は、ほぼ一定になる。また、切断工程を実行しようとする部分の堆積物の厚み（より正確には、堆積物の表面からジェット噴流の噴射方向における構造物までの距離は、予め求めておくことができる。従って、本構成によると、スタンドオフ量を変更することによって切断深さを適宜調整できるので、構造物を貫通することなく堆積物の切断を行うことができる。また、燃料デブリの厚みに応じて高圧水の吐出圧力を変更する必要がないので、堆積物回収工法の作業性を高めることができる。

40

【 0 0 1 9 】

また本発明は、前記堆積物回収工法において、前記第1の切断工程を実行する際及び前記第2の切断工程を実行する際に、前記ジェットノズルの先端を前記ジェットノズルの後端よりも、前記ジェットノズルの移送方向の前方側に傾斜させることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

ジェットノズルを所要の切断方向に移送して堆積物の切断を行う場合、切れ込みの深さ方向に至るほど、ジェットノズルの現在位置と実際の切断箇所との距離が大きくなって、

所謂切断遅れを生じる。ジェットノズルを堆積物に対して垂直に向けた状態で堆積物の切断を行うと、この切断遅れが大きくなるので、ジェットノズルを回収片の切断に必要な距離だけ移送しても、実際には所要の切断が行われられないという事態を生じ得る。これに対して、本構成によると、切断遅れを小さくできるので、回収片の切断を確実に行うことができる。

【0023】

一方、本発明の一形態は、堆積物回収装置に関して、AWJ切断装置と、前記AWJ切断装置に備えられたジェットノズルを、切断対象物である堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して、第1の方向及び前記第1の方向とは反対側の第2の方向に傾斜させるマニピュレータと、前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより、前記堆積物の一部から切り取られた回収片を回収して外部に搬送する回収物搬送装置と、を備え、前記AWJ切断装置は、前記マニピュレータによって前記第1の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れ、前記マニピュレータによって前記第2の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れ、前記AWJ切断装置に作用する操作反力を検出し、前記第1の切れ込みの先端に前記第2の切れ込みの先端が到達したか否かを判定することを特徴とする。

また、本発明の他の形態は、堆積物回収装置に関して、AWJ切断装置と、前記AWJ切断装置に備えられたジェットノズルを、切断対象物である堆積物に立てられた仮想の垂直線に対して、第1の方向及び前記第1の方向とは反対側の第2の方向に傾斜させるマニピュレータと、前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより、前記堆積物の一部から切り取られた回収片を回収して外部に搬送する回収物搬送装置と、を備え、前記AWJ切断装置は、前記マニピュレータによって前記第1の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、前記堆積物の一部に第1の切れ込みを入れ、前記マニピュレータによって前記第2の方向に傾斜された前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射し、先端が前記第1の切れ込みの先端に達する第2の切れ込みを入れ、前記第1の切れ込み及び前記第2の切れ込みを入れる際に、前記ジェットノズルを切断方向に距離 x だけ移送する切断動作と、前記ジェットノズルを前記切断方向と逆向きに距離 $x/2$ だけ移送する戻し動作とを繰り返すことを特徴とする。

【0024】

本構成によると、AWJ装置に備えられたジェットノズルを仮想の垂直線に対して第1及び第2の方向に傾斜させるマニピュレータを備えるので、堆積物の表面から、三角板形状、円錐形状、三角錐形状、四角錐形状等の回収片を少しずつ切り出して、原子炉圧力容器及び格納容器の壁面に達する位置まで堆積物を掘り進めることができる。よって、大型のAWJ切断装置を備える必要がなく、堆積物の回収を安価かつ容易に行うことができると共に、堆積物の回収作業前或いは回収作業中に随時行われる試料の取り出しも容易に行うことができる。

【0025】

また本発明は、前記堆積物回収装置において、前記回収物搬送装置は、前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより前記堆積物の一部に形成される切れ込み内に挿し込んで前記回収片を支えるアーム部材を備えていることを特徴とする。

【0026】

本構成によると、回収片の下部をアーム部材で支えることができるので、回収片の回収を迅速かつ確実に行うことができる。

【0027】

また本発明は、前記堆積物回収装置において、前記回収物搬送装置は、前記ジェットノズルからジェット噴流を噴射することにより前記堆積物の一部から切り出された前記回収片に密着して真空吸着する真空吸着部材を備えていることを特徴とする。

【0028】

10

20

30

40

50

本構成によると、堆積物の一部から切り出された回収片を吸着部材で吸着できるので、回収片の回収を迅速かつ確実に行うことができる。

【発明の効果】

【0029】

本発明に係る堆積物回収工法は、構造物を貫通することなく、構造物内に堆積した硬質の堆積物のみを安価かつ確実に切断して回収することができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】実施形態に係る堆積物回収工法に用いるAWJ切断装置の構成図である。

【図2】実施形態に係る堆積物回収工法を実行する制御装置のシステム構成図である。

10

【図3】実施形態に係る堆積物回収工法を用いて燃料デブリを切断する様子を模式的に示す図である。

【図4】実施形態に係る制御装置が実行する処理フローを示すフローチャートである。

【図5】実施形態に係るAWJ切断装置を用いた切断作業に生じる切断遅れとその防止策とを示す図である。

【図6】実施形態に係るAWJ切断装置に備えられたひずみゲージを用いた切断完了の確認方法を示すグラフ図である。

【図7】実施形態に係るAWJ切断装置のスタンドオフと切断深さとの関係を示す表図である。

【図8】実施形態に係る堆積物回収工法を実行する際の切断深さと切断角度との関係を示す図である。

20

【図9】実施形態に係る堆積物回収工法の切断工程を経時的に示す図である。

【図10】実施形態に係る堆積物回収装置に備えられる回収物搬送装置の第1例を示す図である。

【図11】実施形態に係る堆積物回収装置に備えられる回収物搬送装置の第2例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、実施形態に係る堆積物回収工法及び堆積物回収装置を、図面を用いて説明する。

【0032】

30

実施形態に係る堆積物回収装置には、図1に示すAWJ切断装置1が備えられる。本例のAWJ切断装置1は、図1に示すように、切断ヘッド10と、切断ヘッド10に高圧水を供給する高圧ポンプ20と、切断ヘッド10にアブレイシブを供給するアブレイシブ供給装置30とから構成されている。アブレイシブとしては、粒径が200 μ m~1000 μ mのガーネットを用いることができる。なお、図1の例では、高圧ポンプ20が1台のみ図示されているが、複数台の高圧ポンプ20を連結して備えることもできる。

【0033】

切断ヘッド10は、高圧水導入部11と、アブレイシブ導入部12と、ジェットノズル13とを有している。高圧ポンプ20と高圧水導入部11とは、高圧水供給配管14を介して接続される。また、アブレイシブ供給装置30とアブレイシブ導入部12とは、アブレイシブ供給配管15を介して接続される。アブレイシブ供給装置30から切断ヘッド内に導入されたアブレイシブは、高圧ポンプ20から供給される高圧水によって加速されてジェットノズル13から噴射される。

40

【0034】

なお、切断ヘッド10は、ヘッド取付治具16に取り付けられており、ヘッド取付治具16は、ジェットノズル13から噴射されるジェット噴流の向きを互いに直交する3軸方向に自在に変更するための図示しないマニピュレータに取り付けられている。また、マニピュレータは、ガイドレールに沿ってマニピュレータを移送するヘッド移送装置に搭載されている。マニピュレータ及びヘッド移送装置の可動部は、電動モータ等のアクチュエータにより駆動される。マニピュレータ及びヘッド移送装置は、ジェットノズル13を所要

50

の方向に向けた状態で切断ヘッド10を所要の位置まで移送する切断ヘッド駆動機構を構成する。

【0035】

ヘッド取付治具16には、ひずみゲージ17が貼り付けられており、切断ヘッド10に作用する反力を検出できるようになっている。また、マニピュレータ及びヘッド移送装置に備えられたアクチュエータには、エンコーダが備えられており、切断ヘッド10の位置及び姿勢を検出できるようになっている。

【0036】

次に、AWJ切断装置1の駆動を制御する制御装置のシステム構成を、図2に従って説明する。

【0037】

図2に示すように、実施形態に係るAWJ切断装置1の制御装置40は、一般的なサーバやパーソナルコンピュータ等と同様に、CPU41、RAM42、ROM43、HDD44及び外部インタフェースである入力部45並びに出力部46を含んで構成されている。

【0038】

CPU41には、実施形態に係る堆積物回収工法を実施するために必要な各種のデータが格納されたデータベース51が接続される。図2の例では、各種のデータとして、切断パラメータと位置情報がデータベース51に格納されている。切断パラメータとしては、ジェットノズル13から噴射されるジェット噴流の吐出圧力、堆積物の切断速度、アブレイシブ供給装置30切断ヘッド10へのアブレイシブの供給量、及び、ジェットノズル13の先端から堆積物の表面までの距離であるスタンドオフ量を挙げることができる。

【0039】

また、位置情報としては、構造物と構造物内に堆積した堆積物とのバウンダリの座標及び堆積物の表面の座標を挙げることができる。バウンダリの座標は、例えば構造物の設計図や、レーザ測距機等を用いた座標測定で得られたデータを格納できる。また、堆積物の表面の座標は、カメラが撮像した撮像データや、レーザ測距機等を用いた座標測定で得られたデータを画像変換して得られる2次元又は3次元の画像データを格納できる。

【0040】

入力部45には、キーボード入力装置、タッチパネル入力装置及びマウスなどの入力装置61、マニピュレータ及びヘッド移送装置に備えられたロータリエンコーダ62、ヘッド取付治具16に貼り付けられたひずみゲージ17、及び、構造物内の様子を撮像するカメラ又はレーザ測距機63が接続される。

【0041】

出力部46には、液晶表示装置等の表示装置64、マニピュレータを介して切断ヘッド10を駆動するヘッド駆動モータ65、ヘッド移送装置を介して切断ヘッド10を移送するヘッド移送モータ66、高圧ポンプ20及びアブレイシブ供給装置30が接続される。なお、図2の例では、ヘッド駆動モータ65及びヘッド移送モータ66が備えられているが、電動モータに代えて他のアクチュエータを備えることも可能である。

【0042】

CPU10は演算手段であり、AWJ切断装置1の駆動全体を制御する。

【0043】

RAM20は、情報の高速な読み書きが可能な揮発性の記憶媒体であり、CPU10が情報を処理する際の作業領域として用いられる。

【0044】

ROM30は、読み出し専用の不揮発性記憶媒体であり、ファームウェア等のプログラムのほか、切断ヘッド10を用いた堆積物回収工法を実施する際に用いる各種の設定値及び計算式等が格納されている。各種の設定値には、切断ヘッド10の仕様や型式が含まれる。また、各種の計算式には、ロータリエンコーダ63の出力からジェット噴流の噴射角度を算出する計算式や、データベース51から読み出された切断パラメータ及び位置情報

10

20

30

40

50

とロータリエンコーダ 63 の出力とからスタンドオフ値を算出する計算式が含まれる。

【0045】

HDD40 は、情報の読み書きが可能な不揮発性の記憶媒体であり、基本ソフトウェア (OS) や各種の制御プログラム、アプリケーション・プログラム等が格納される。

【0046】

このようなハードウェア構成において、ROM43 や HDD44 に格納されたプログラムが RAM42 に読み出され、CPU41 が RAM42 にロードされたプログラムに従って演算を行うことにより、ソフトウェア制御部が構成される。このようにして構成されたソフトウェア制御部とハードウェアとの組み合わせによって、実施形態に係る堆積物回収工法を実現する機能ブロックが構成される。

10

【0047】

なお、上述した制御装置 40 は、実施の一例を説明したものに過ぎず、本発明の要旨がこれに限定されるものではない。例えば、AWJ 切断装置 1 の制御装置 40 としては、一般的なパーソナルコンピュータやタブレットコンピュータを用いることもできる。また、各種の設定値及び計算式等を格納するメモリは、制御装置 40 内に組み込まれた ROM に限定されるものではなく、例えば USB メモリなどの外付けタイプの記憶装置を用いることもできる。

【0048】

実施形態に係る堆積物回収工法は、図 3 に示すように、構造物 C と堆積物 S との境界面であるバウンダリ B に対して切断ヘッド 10 のジェットノズル 13 を斜め方向に向けて、構造物 C 内の堆積物 S を切断する工程を含むことを特徴とする。構造物 C としては、1F の原子炉圧力容器が想定され、堆積物 S としては、燃料デブリが想定されている。

20

【0049】

なお、図 3 の例では、対向する 2 辺を垂直に切断した後、これと直交する他の 2 辺を斜めに切断して三角形の回収片 P を切り出す状態を示しているが、本発明の要旨はこれに限定されるものではなく、切断ヘッド 10 の駆動を制御することによって、円錐形状、三角錐形状、四角錐形状等の他の形状の回収片 P を切り出すこともできる。

【0050】

図 3 (a) に示すように、堆積物 S の切断及び回収片 P の回収は、堆積物 S の表面部分から開始する。そして、表面部分についての 1 段目の切断と回収片 P の回収が終了した後は、図 3 (b) に示すように、切断ヘッド 10 のノズル位置を一段階下げて、同様の作業を繰り返す。この作業は、ジェット噴流の先端が構造物 C の底面及び側面に達するまで一段ずつ行う。

30

【0051】

各段における堆積物 S の切断作業は、切断により形成される山形の突起部分の形状が左右対称形となるようにして行われる。即ち、図 3 (a) に示すように、堆積物 S に立てられた仮想の垂直線 Z-Z に対して傾斜する第 1 の方向から仮想の垂直線 Z-Z に向けてジェット噴流を噴射し、堆積物 S の一部に第 1 の切れ込み N1 を入れる第 1 の切断工程と、仮想の垂直線 Z-Z を介して第 1 の方向とは反対側の第 2 の方向から仮想の垂直線 Z-Z に向けてジェット噴流を噴射し、先端が第 1 の切れ込み N1 の先端に達する第 2 の切れ込み N2 を入れる第 2 の切断工程とを行うことによって、回収片 P を切り出す。

40

【0052】

このようにすると、1 つの回収片 P を切断する際の左斜めの切断量と右斜めの切断量を一定にできるので、1 つの回収片 P を切断する作業の途中で切断パラメータを変更する必要がなく、堆積物 S の切断・回収作業を高効率に行うことができる。また、このようにすると、堆積物 S の切断作業中に、第 1 の切れ込み N1 を入れるためのジェットノズル 13 の傾斜角度と、第 2 の切れ込み N2 を入れるためのジェットノズル 13 の傾斜角度とを固定できるので、ジェットノズル 13 の傾斜角度の調整に要する時間を省略できて、堆積物回収工法の作業性を高めることができる。

【0053】

50

次に、図4を用いて、実施形態に係る堆積物回収工法の処理フローを示す。

【0054】

オペレータによって回収作業の開始が指示されると(START)、CPU41は、データベース51から標準の切断パラメータ及び位置情報を読み出すと共に、エンコーダの出力から切断ヘッド10の現在位置を求める(ステップS1)。回収作業の開始指示は、オペレータが入力装置61を操作することによって行うことができる。

【0055】

次いで、CPU41は、オペレータからの指示に応じて、切断ヘッド10を所定の作業位置まで移送する(ステップS2)。作業位置の指示は、オペレータが入力装置61を操作することによって行うことができる。

【0056】

次いで、CPU41は、データベースから読み出されたバウンダリ座標と堆積物表面座標とから作業位置における堆積物Sの厚みを算出(ステップS3)し、しかる後に、標準の切断パラメータにて切断作業を実行した場合に、ジェットノズル13から噴射されるジェット噴流の先端がバウンダリに達しないか否かを判定する(ステップS4)。

【0057】

ステップS4で、ジェットノズル13から噴射されるジェット噴流の先端はバウンダリに達しない(Yes)と判定した場合は、ステップS5に移行する。CPU41は、AWJ切断装置1の駆動を制御し、ステップS5で、堆積物Sに垂直な2本の切れ込みを所要の間隔を隔てて形成し、ステップS6で、垂直に切断した2辺に直交する1辺を左斜め方向から切断し、さらにステップS7で、垂直に切断した2辺に直交する他の1辺を右斜め方向から切断する。

【0058】

ステップS5～ステップS7までの切断工程では、切れ込みN1、N2の深さ方向に生じる所謂切断遅れを解消又は抑制するため、図5(b)に示すように、ジェットノズル13の先端をジェットノズル13の後端よりも、ジェットノズル13の移送方向の前方側に傾斜させて斜め切断手法を実行するか、図5(c)に示すように、ジェットノズル13を切断方向に移送する切断動作と、ジェットノズル13を切断済み方向に移送する戻し動作とを繰り返す半ラップ切断手法を実行して、所要の切断長さについての切断工程を実行する。

【0059】

即ち、図5(a)に示すように、ジェットノズル13を堆積物Sに対して垂直に向けた状態で堆積物の切断を行うと、切れ込みN1、N2の深さ方向に至るほど、ジェットノズル13の現在位置と実際の切断箇所との距離が大きくなって、所謂切断遅れTを生じる。これに対して、図5(b)の斜め切断手法又は図5(c)の半ラップ切断手法を適用すると、ジェットノズル13を堆積物Sに対して垂直に向けた状態で堆積物の切断を行う場合に比べて切断遅れTを小さくできるので、回収片Pの切断を確実に行うことができる。

【0060】

次いで、ステップS8に移行し、CPU41は、ステップS5～ステップS7までの切断工程で、回収片Pが切り出せたか否かを判定する。回収片Pが切り出せたか否かの判定は、ひずみゲージ17の検出値を監視することにより行うことができる。

【0061】

即ち、ジェットノズル13からアブレイシブ及び高圧水を噴射すると、ヘッド取付治具16には、堆積物Sからの反力が作用する。この反力は、図6に示すように、堆積物Sの切断が進行すると共に徐々に低下し、第1の切れ込みN1の先端に第2の切れ込みN2の先端が達した段階で急激に低下する。従って、このひずみゲージ17の検出値の急激な変化を監視することにより、回収片Pの切り出しが行われたか否かを確実に検知できる。

【0062】

ステップS8で、回収片Pが切り出せたと判定した場合(Yes)は、ステップS9に移行して、切り出された回収片Pをクレーン等で撤去する。次いで、ステップS10に移

10

20

30

40

50

行して、回収片 P を切り出した後の堆積物 S の表面の座標をカメラ或いはレーザ測距器 63 で測定し、データベース 51 に格納する。

【0063】

ステップ S4 で、ジェットノズル 13 から噴射されるジェット噴流の先端はバウンダリに達すると判定した場合 (No) は、ステップ S11 に移行して、ジェットノズル 13 から噴射されるジェット噴流の先端がバウンダリに達しないように切断パラメータを変更して、ステップ S4 に戻る。

【0064】

切断パラメータの変更は、高圧ポンプ 20 の吐出圧力、切断速度及びアブレイシブ供給装置 30 からのアブレイシブ供給量を変更することによっても行うことができるが、切断深さの調整を容易かつ高精度に行えることから、ジェットノズル 13 の先端から堆積物 S の表面までの距離であるスタンドオフ量を変更することが望ましい。

【0065】

即ち、図 7 に示すように、ジェットノズル 13 からの高圧水の吐出圧力及び堆積物 S の切断速度を一定とした場合、スタンドオフ量と堆積物 S の切断深さとの和は、ほぼ一定になる。従って、スタンドオフ量を変更することによって切断深さを適宜調整できるので、構造物 C を損傷することなく堆積物の切断を行うことができる。また、切断ヘッド 10 の交換が不要になるので、堆積物回収工法の作業性を高めることができる。

【0066】

以下、より具体的な堆積物 S の切断手順を、図 8 及び図 9 を用いて説明する。

【0067】

図 8 は、ジェット噴流の先端が最初に構造物 C の底面に達するまでの堆積物 S の切断手順を示している。堆積物 S の表面部分に対する 1 段目の切断は、図 8 に示すように、ジェット噴流の入射角度を θ とし、2 段目の切断は、1 段目で切り出した箇所に切断ヘッド 10 を挿入し、切断を進めることになるため、切断ヘッド 10 のサイズは切断幅 W 以下であることが必要になる。切断幅 W は、切断深さ L とジェット噴流の入射角度 θ により決まるため、ジェット噴流の入射角度 θ を調整することで、切断ヘッド 10 のサイズを柔軟に選ぶことが可能となる。切断幅 W と切断深さ L とジェット噴流の入射角度 θ の関係は、下記の式で表される。

$$W = 2 L \cos \theta$$

【0068】

ジェット噴流の先端が最初に構造物 C の底面に達した後は、図 9 (b) ~ (j) に示す手順で堆積物 S の切断と回収とを行う。まず、図 9 (b) に示すように、構造物 C の壁面に沿って縦方向に切断して回収し、次いで、縦方向の切れ込みの先端部にジェット噴流の先端が達するように右斜めの切断を行って 印を付した部分を回収するという作業を、構造物 C の底面に達するまで行う。

【0069】

次に、図 9 (c) に示すように、先の切断作業で形成された部分に左斜めの切断を行って 印を付した部分を回収するという作業を、構造物 C の底面に達するまで行う。次に、図 9 (d) に示すように、先の切断作業で形成された部分に右斜めの切断を行った後に、この右斜めの切断で形成された切れ込みの先端部にジェット噴流の先端が達するように水平方向の切断を行って、構造物 C の壁面に接する 印を付した部分を回収する。

【0070】

次に、図 9 (e) に示すように、先の切断作業で形成された部分に左斜めの切断を行って、構造物 C の隅部に残った 印を付した部分を回収する。次に、図 9 (f) に示すように、先の切断作業で形成された部分に右斜めの切断を行って、構造物 C の底面部分に残った 印を付した部分を切断して回収する。

【0071】

上記の切断・回収作業が終了した後は、図 9 (g) ~ (j) に示すように、切断ヘッド 10 を構造物 C の上方から下方に移送しつつ、上斜め切断及び下斜め切断を繰り返して、

構造物 C の壁面に残った堆積物 S を回収する。構造物 C の底面に残った堆積物 S を回収するに際しては、切断ヘッド 10 を構造物 C の左方から右方に移送しつつ、左斜め切断及び右斜め切断を繰り返す。

【 0 0 7 2 】

なお、上記の実施形態では、堆積物 S が大気中に露出している場合を例にとって説明したが、AWJ 切断装置 1 を用いれば堆積物 S が水中に没している場合にも、同様の手順で回収片 P の切り出しを行うことができる。

【 0 0 7 3 】

実施形態に係る堆積物回収装置には、切断ヘッド 10 によって切り出された回収片 P を回収して外部に搬送する回収物搬送装置が更に備えられる。

10

【 0 0 7 4 】

図 10 に、実施形態に係る回収物搬送装置の第 1 例を示す。第 1 例に係る回収物搬送装置 70 は、図 10 (a) ~ (d) に示すように、アーム駆動部 71 と、一端がアーム駆動部 71 に取り付けられた複数 (図 10 の例では 2 つ) のアーム部材 72 とを有している。アーム部材 72 の一端は、アーム駆動部 71 に回動可能に取り付けられる。また、アーム部材 72 は、互いに回動可能に連結された第 1 アーム 72 a と第 2 アーム 72 b とから構成されている。

【 0 0 7 5 】

回収片 P の回収に際しては、まず図 10 (a) に示すように、所要の切断箇所の上方に回収物搬送装置 70 を配置する。また、この状態で、切断ヘッド 10 からジェット噴流を噴射し、堆積物 S の一部に第 1 の切れ込み N1 を入れる。

20

【 0 0 7 6 】

次いで、図 10 (b) に示すように、アーム駆動部 70 を駆動して、第 1 の切れ込み N1 内に一方のアーム部材 72 の第 1 アーム 72 a を挿入する。また、切断ヘッド 10 を所要の位置まで移動した後に、切断ヘッド 10 からジェット噴流を噴射し、堆積物 S の一部に先端が第 1 の切れ込み N1 の先端に達する第 2 の切れ込み N2 を入れる。

【 0 0 7 7 】

次いで、図 10 (c) に示すように、アーム駆動部 71 を駆動して、第 2 の切れ込み N2 内に他方のアーム部材 72 の第 1 アーム 72 a を挿入する。これにより、切り出された回収片 P を 2 つのアーム部材 72 で抱え込むことができる。

30

【 0 0 7 8 】

しかる後に、図示しないクレーン等を駆動して、図 10 (d) に示すように、回収片 P を堆積物 S から吊り上げ、外部に設けられた所要の回収片集積部まで搬送する。第 1 例に係る回収物搬送装置 70 は、回収片 P の下部を複数のアーム部材 72 で支えることができるので、回収片 P の回収を迅速かつ確実にを行うことができる。

【 0 0 7 9 】

図 11 に、実施形態に係る回収物搬送装置の第 2 例を示す。第 2 例に係る回収物搬送装置 80 は、図 11 (a) ~ (d) に示すように、回収片 P に密着してこれを真空吸着する真空吸着部材 (サッカ) 81 を備えている。また、真空吸着部材 81 は、図示しない真空ポンプに連通されている。

40

【 0 0 8 0 】

回収片 P の回収に際しては、まず図 11 (a) に示すように、所要の切断箇所の上方に回収物搬送装置 80 を搬送し、真空吸着部材 81 を所要の切断箇所の上面に密着させる。また、この状態で、切断ヘッド 10 からジェット噴流を噴射し、堆積物 S の一部に第 1 の切れ込み N1 を入れる。

【 0 0 8 1 】

次いで、図 11 (b) に示すように、切断ヘッド 10 を所要の位置まで移動した後に、切断ヘッド 10 からジェット噴流を噴射し、堆積物 S の一部に先端が第 1 の切れ込み N1 の先端に達する第 2 の切れ込み N2 を入れる。

【 0 0 8 2 】

50

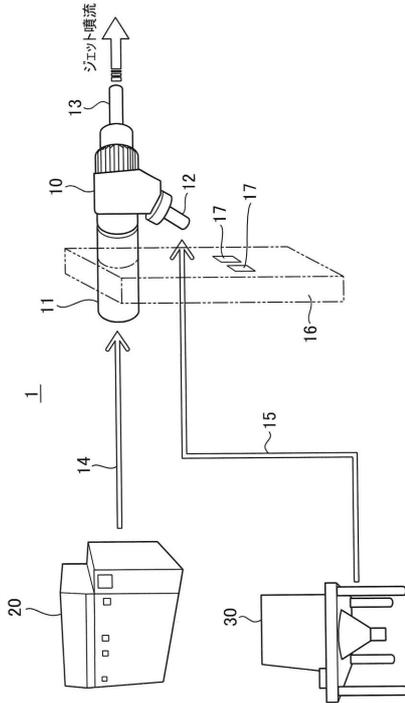
次いで、図10(c)に示すように、図示しない真空ポンプを用いて真空吸着部材81内の空気(水中で作業を行う場合には、水)を真空引きする。しかる後に、図示しないクレーン等を駆動して、図11(d)に示すように、回収片Pを堆積物Sから吊り上げ、外部に設けられた所要の回収片集積部まで搬送する。第2例に係る回収物搬送装置80によっても、回収片Pの回収を迅速かつ確実に行うことができる。

【符号の説明】

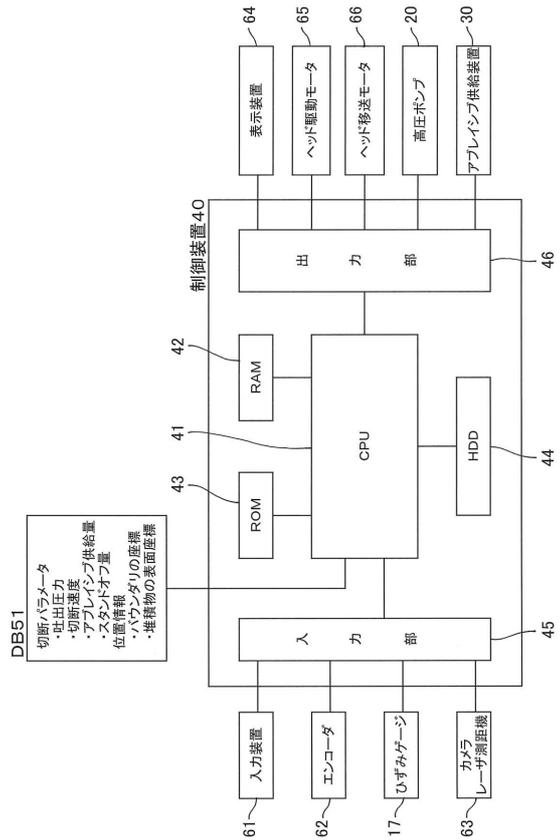
【0083】

1	A W J 切断装置	
10	切断ヘッド	
11	高圧水導入部	10
12	アブレイシブ導入部	
13	ジェットノズル	
14	高圧水供給配管	
15	アブレイシブ供給配管	
16	ヘッド取付治具	
17	ひずみゲージ	
20	高圧ポンプ	
30	アブレイシブ供給装置	
40	制御装置	
41	C P U	20
42	R A M	
43	R O M	
44	H D D	
45	入力部	
46	出力部	
51	データベース	
61	入力装置	
62	ロータリエンコーダ	
63	カメラ	
64	表示装置	30
65	ヘッド駆動モータ	
66	ヘッド移送モータ	
70	回収物搬送装置	
71	アーム駆動部	
72	アーム部材	
80	回収物搬送装置	
81	真空吸着部材(サッカ)	

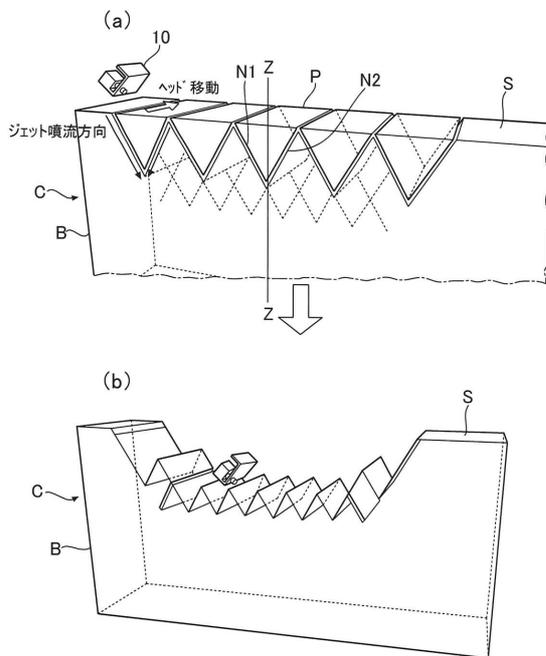
【図1】



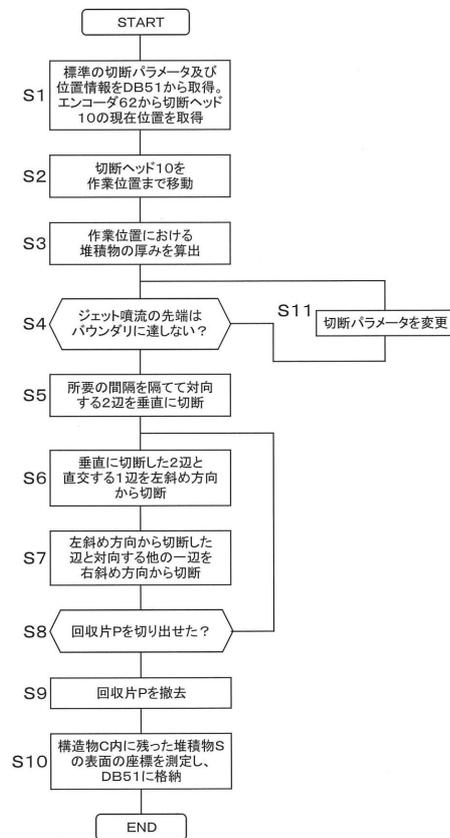
【図2】



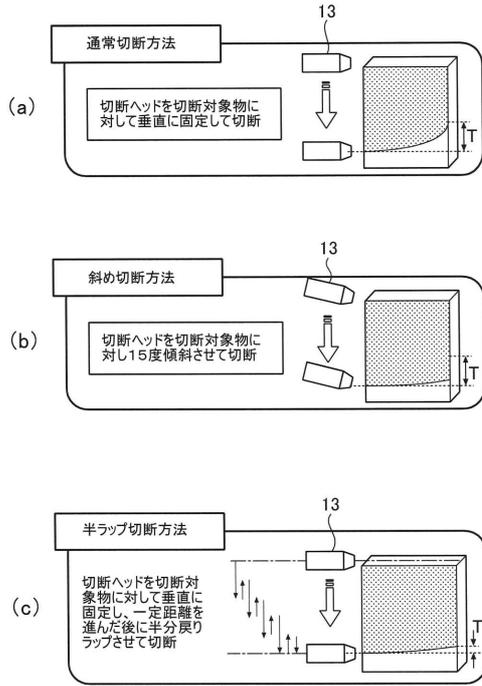
【図3】



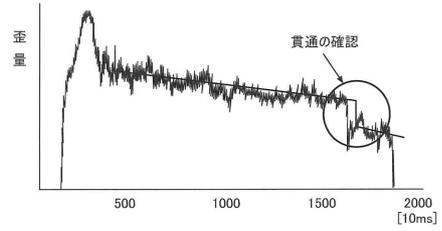
【図4】



【 図 5 】



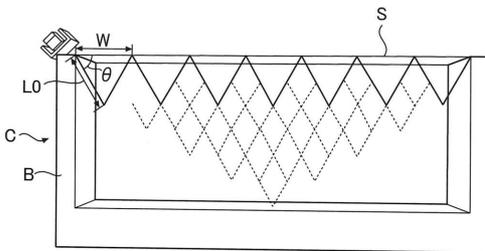
【 図 6 】



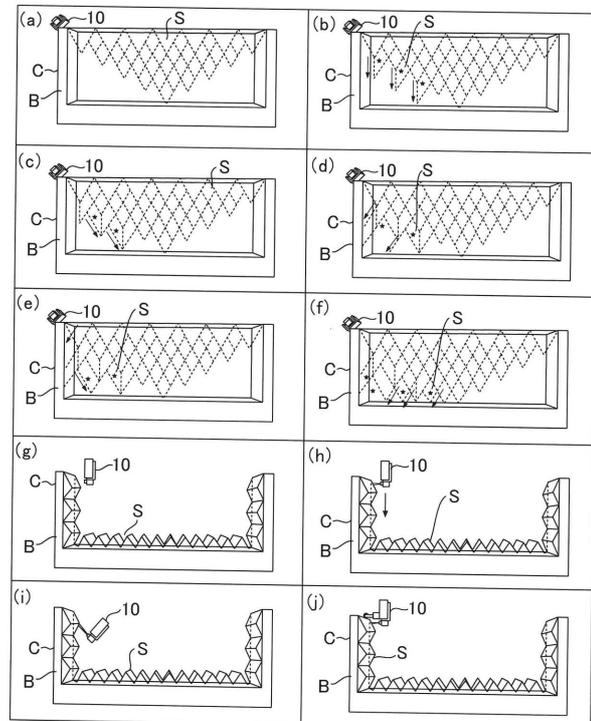
【 図 7 】

スタンドオフ量 (mm)	50	100	150	200
切断深さ (mm)	150	101	59	6
合計 (mm)	200	201	209	206

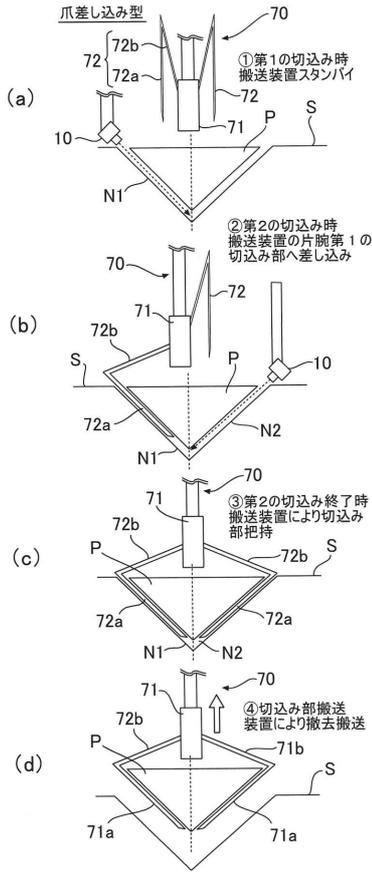
【 図 8 】



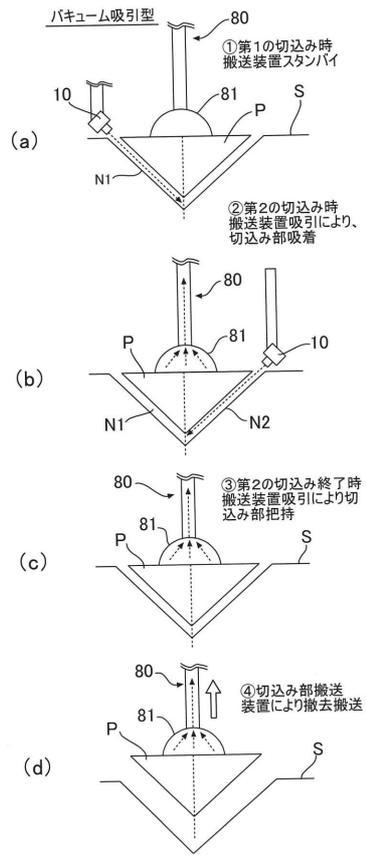
【 図 9 】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		
	B 2 4 C	5/02	C
	B 2 6 F	3/00	M
	B 2 6 F	3/00	S

(72)発明者 佐野 一哉
 福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子炉廃止措置研究開発センター内

(72)発明者 岩井 紘基
 福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子炉廃止措置研究開発センター内

(72)発明者 丸山 信一郎
 東京都中央区佃二丁目1番6号 三井住友建設株式会社内

(72)発明者 綿谷 聡
 東京都中央区佃二丁目1番6号 三井住友建設株式会社内

審査官 小野 健二

(56)参考文献 特開2015-194665(JP,A)
 特開昭60-238572(JP,A)
 特開平08-085063(JP,A)
 特開平04-063700(JP,A)
 特開平04-069198(JP,A)
 特開昭63-207594(JP,A)
 特開2015-215288(JP,A)
 実開昭63-098933(JP,U)
 国際公開第2005/035183(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 2 1 F	9 / 0 0 - 9 / 3 6
B 2 4 C	1 / 0 0 - 1 1 / 0 0
B 2 6 F	1 / 0 0 - 3 / 1 6