

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6864908号
(P6864908)

(45) 発行日 令和3年4月28日(2021.4.28)

(24) 登録日 令和3年4月7日(2021.4.7)

(51) Int. Cl.	F 1		
GO 1 N 3/56 (2006.01)	GO 1 N	3/56	H
GO 1 N 15/04 (2006.01)	GO 1 N	15/04	Z

請求項の数 24 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2017-45161 (P2017-45161)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	平成29年3月9日(2017.3.9)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(65) 公開番号	特開2017-181498 (P2017-181498A)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(43) 公開日	平成29年10月5日(2017.10.5)	(74) 代理人	100098545
審査請求日	令和2年3月2日(2020.3.2)		弁理士 阿部 伸一
(31) 優先権主張番号	特願2016-64573 (P2016-64573)	(74) 代理人	100087745
(32) 優先日	平成28年3月28日(2016.3.28)		弁理士 清水 善廣
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74) 代理人	100106611
			弁理士 辻田 幸史
		(72) 発明者	高橋 一比古
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉍石の摩耗度評価方法及び鉍石の摩耗度測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

鉍石スラリー循環式摩耗試験における配管類の内壁の摩耗特性に影響する鉍石の摩耗度を評価する方法であって、前記摩耗試験前の複数の前記鉍石の中から無作為に試験前評価用鉍石を抽出するステップ1と、前記試験前評価用鉍石の流体的特性を測定し前記摩耗試験前のデータを得るステップ2と、前記鉍石を用いて前記配管類の前記摩耗試験を行うステップ3と、前記摩耗試験後の複数の前記鉍石の中から無作為に試験後評価用鉍石を抽出するステップ4と、前記試験後評価用鉍石の前記流体的特性を測定し前記摩耗試験後のデータを得るステップ5と、前記摩耗試験前の前記データと前記摩耗試験後の前記データを比較し比較結果を得るステップ6とを備えたことを特徴とする鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項2】

前記ステップ2及び前記ステップ5における前記流体的特性の測定は、前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を流体中に沈めた場合の、それぞれの沈降時間又は沈降速度を計測する測定であることを特徴とする請求項1に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項3】

前記ステップ6における前記比較結果は、それぞれの前記沈降時間の比又は前記沈降速度の比であることを特徴とする請求項2に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項4】

前記ステップ2及び前記ステップ5における前記流体的特性の測定は、回転式流体抵抗計に前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を載置して流体中に臨ませ、それぞ

れの流体抵抗を計測する測定であることを特徴とする請求項 1 に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 5】

前記ステップ 6 における前記比較結果は、それぞれの前記流体抵抗の比であることを特徴とする請求項 4 に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 6】

前記ステップ 2 及び前記ステップ 5 における前記流体的特性の測定は、配管の中を流れる流体中に前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を投入し、それぞれの移動速度を計測する測定であることを特徴とする請求項 1 に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 7】

前記移動速度の測定に当たっては、前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石が、前記配管の内面に接触することなく前記流体中を浮遊して移動する行程のみから前記移動速度を算出したことを特徴とする請求項 6 に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 8】

前記ステップ 6 における前記比較結果は、それぞれの前記移動速度としての比であることを特徴とする請求項 6 又は請求項 7 に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 9】

前記ステップ 6 における前記比較結果を、予め定めた閾値とさらに比較し、前記鉍石を次の前記摩耗試験に用いるか否かを判定するステップ 7 を備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 10】

前記ステップ 1 で無作為に抽出した前記試験前評価用鉍石及び前記ステップ 4 で無作為に抽出した前記試験後評価用鉍石のそれぞれの重量及び / 又は粒度を測定し、前記ステップ 7 での判定に役立てることを特徴とする請求項 9 に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 11】

前記ステップ 6 の前記比較結果を、予め定めた前記配管類の摩耗率と前記鉍石の摩耗度との関係に適用し、前記配管類の前記摩耗率を推定するステップ 8 を備えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度評価方法。

【請求項 12】

請求項 2 又は請求項 3 に記載の鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置であって、内部に前記流体を収納する鉛直カラムと、前記流体中に前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を沈めた場合の、それぞれの前記沈降時間を計測する計時手段又は前記沈降速度を検出する速度検出手段を備えたことを特徴とする鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 13】

請求項 4 又は請求項 5 に記載の鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置であって、前記流体を収納する流体収納容器と、前記流体収納容器に臨んだ前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石のそれぞれの前記流体抵抗を計測する前記回転式流体抵抗計を備えたことを特徴とする鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 14】

前記回転式流体抵抗計として回転式粘度計を用い、前記回転式粘度計は、前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を載置するための円盤及び軸部を有するスピンドルと、前記スピンドルを駆動するモーターと、前記スピンドルにかかるトルクを測定するトルク測定手段を備えたことを特徴とする請求項 13 に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 15】

前記円盤に前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石の略重量に対応して設定したカウンターウェイトを有したことを特徴とする請求項 14 に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 16】

前記円盤に前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を載せるターンテーブルを

10

20

30

40

50

有したことを特徴とする請求項 1 4 又は請求項 1 5 に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 1 7】

前記ターンテーブルを前記スピンドルの回転軸に関して軸対称の位置に 2 個有したことを特徴とする請求項 1 6 に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 1 8】

前記スピンドルの前記軸部を支持する軸部支持手段を備え、前記軸部支持手段が前記円盤の上部の前記軸部と前記円盤の下部の前記軸部を支持するものであることを特徴とする請求項 1 4 から請求項 1 7 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 1 9】

前記流体収納容器の前記流体中に設けた前記スピンドルの前記円盤を下部から前記軸部が支え、前記流体収納容器の底面を貫いて前記軸部が設けられていることを特徴とする請求項 1 4 から請求項 1 7 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 2 0】

請求項 6 から請求項 8 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置であって、前記配管として透明撮影配管と、前記透明撮影配管の中を移動する前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を撮影して前記移動速度を計測するための高速度カメラとを備えたことを特徴とする鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 2 1】

前記高速度カメラを所定の距離を隔てて 2 台設けたことを特徴とする請求項 2 0 に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 2 2】

2 台の前記高速度カメラは、同期をとって前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を撮影することを特徴とする請求項 2 1 に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 2 3】

前記透明撮影配管にスケールを、前記高速度カメラの撮影範囲内に入るように併設したことを特徴とする請求項 2 0 から請求項 2 2 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【請求項 2 4】

前記透明撮影配管の上流側に、前記試験前評価用鉍石又は前記試験後評価用鉍石を投入するバッファタンクをさらに備えたことを特徴とする請求項 2 0 から請求項 2 3 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鉍石スラリー循環式摩耗試験に用いる鉍石の摩耗度を評価する、鉍石の摩耗度評価方法及び鉍石の摩耗度測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

海底熱水鉍床などで採掘された鉍石を海上の母船あるいは採掘基地まで輸送（揚鉍）する場合、鉍石を海水と混合して鉍石スラリーとし、これを樹脂製のホースや金属製の配管及びポンプを用いて揚鉍する方法が提案されている（非特許文献 1）。

採掘された直後の鉍石は比較的鋭い角部を有しており、スラリー輸送中はその鋭い角部を有した鉍石が管内水流によってホースや配管等の配管類の内壁に衝突するため、内壁は次第に摩耗していく。従って、採掘・揚鉍システムの稼働期間中に配管類の内壁が摩耗により破損して使用不能に陥ることのないよう、配管類の内壁の摩耗特性を把握しておくことが重要となる。

通常、このような配管類の内壁の摩耗特性は、図 1 8 に示すような模擬鉍石を用いたスラリー循環式摩耗試験装置によって評価される（非特許文献 2）。図 1 8 に示すスラリー循環式摩耗試験装置 8 0 0 は、水を満たしたタンク 8 0 1 の上部から模擬鉍石を一定量投入してスラリーとし、このスラリーをスラリーポンプ 8 0 2 で配管内を循環させることに

より、途中に接続した摩耗量計測部 803 において配管類の内壁の摩耗試験を行うものである。なお、図 18 において、矢印はスラリーの循環方向を示す。また、摩耗量計測部 803 の下流側に電磁流量計 804 が設けられている。

模擬鉱石は、スラリー循環式摩耗試験装置 800 の配管内を循環するため、摩耗試験の開始後、時間の経過に伴って模擬鉱石が配管類の内壁等との多数回の衝突により摩耗し、角が取れて丸くなったり粒径が小さくなったりする。従って、摩耗量計測部 803 を摩耗量計測配管とした場合、図 19 に示すように、摩耗量計測配管の摩耗率（単位時間当たりの摩耗量）が顕著に低下することが明らかとなっている（非特許文献 2）。なお、図 19 は、鉱石スラリー循環時間と配管摩耗率との関係を示す図であり、縦軸が配管摩耗率（g / hour）、横軸が鉱石スラリー循環時間（hour）である。

10

一方、実際の揚鉱現場では、配管類を通過するスラリー中の鉱石は採掘直後の摩耗していない鋭い角部を有したものが殆どであり、摩耗試験時のように循環することもないので、揚鉱時間が経過しても鉱石の摩耗によって配管類の摩耗率が変化することはない。

従って、模擬鉱石を交換せずに連続的に行うスラリー循環式摩耗試験で得られる配管類の摩耗率は、実際の配管類における摩耗率よりも試験時間の経過と共に次第に小さくなり、結果的に危険側の評価となってしまふ。この問題を避けるためには、スラリー循環式摩耗試験に用いるスラリー中の鉱石の摩耗度（円磨度、角部の取れ具合）を簡便かつ定量的に評価し、これを考慮した上で実際の配管類の摩耗特性を把握する必要がある。

【0003】

これまでに、石又は粒子の形状や円磨度を分類・評価する方法として以下のようなものが提案されている。

20

非特許文献 3 には、石の長径（a 軸）と中間径（b 軸）との比（ b/a ）、及び中間径と短径（c 軸）との比（ c/b ）をもとに、石の形状を球状（ $b/a > 2/3$ and $c/b > 2/3$ ）、円盤状（ $b/a > 2/3$ and $c/b < 2/3$ ）、棒状（ $b/a < 2/3$ and $c/b > 2/3$ ）、又は小判状（ $b/a < 2/3$ and $c/b < 2/3$ ）に分類することが記載されている。

また、非特許文献 4 には、円磨度印象図との比較により、円磨度を 0.1 ~ 0.9 までの 9 段階に分類することが記載されている。

また、非特許文献 5 においては、マンガング塊を中心に粗大非球形粒子の水力学的物性について、単一粒子の自由・干渉沈降速度、粒群の浮遊速度等を実験的に検討している。

30

【0004】

また、特許文献 1 には、3 個の光電検知器を用いて、スラリーの沈降速度を測定するスラリー平均粒子径測定装置が開示されている。

また、特許文献 2 には、試料セルの下部にレーザー光を照射し、その散乱光の空間強度分布から粒度分布を測定する粒度分布測定装置が開示されている。

また、特許文献 3 には、粘度検出部を試料中で回転させ、試料から受けるトルクを歪みゲージで感知し、歪みゲージの抵抗変化をデジタル表示する回転式粘度計が開示されている。

また、特許文献 4 には、内筒の回転駆動系の従動軸をエアベアリング装置で軸支し、トーションばねのねじれ角を測定するロータリエンコーダのディスクを駆動軸及び従動軸に直接取り付けられた回転式粘度計が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特公平 7 - 81941 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 98212 号公報

【特許文献 3】特開昭 61 - 66143 号公報

【特許文献 4】特開平 8 - 5541 号公報

【非特許文献】

【0006】

50

【非特許文献1】海底熱水鉱床開発計画 第1期 最終評価報告書、経済産業省資源エネルギー庁、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）、海底熱水鉱床開発委員会（平成25年7月5日）

【非特許文献2】高野慧他：スラリー移送時の鉱石劣化が配管摩耗に及ぼす影響に関する実験的研究、日本船舶海洋工学会平成27年度春季講演会論文集（2015）

【非特許文献3】Zingg, Th. (1935): Beitrage zur Schotteranalyse. Min. Peterog. Mitt. Schweiz., 15, 39-140

【非特許文献4】Krumbein, W. C.: Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. J. Sed. Petrol., 11, 64-72 (1941).

【非特許文献5】斉藤隆之他：粗大非球形粒子の水力学的物性に関する研究、『採鉱と保安』、第31巻、3号、pp.137-145（1985）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、非特許文献3では、球状や円盤状と表記されているが、石の形状は円磨度と関係がなく、例えば鋭い角部を有する石であっても形状が立方体に近ければ球状と分類されてしまう。

また、非特許文献4は、分類者の主観が入ってしまい、再現性に乏しい。

また、非特許文献5は、粒子の沈降実験から、粒子の抗力係数や沈降速度とAlbartsenの形状係数 $S_f = c / (a \cdot b)$ の関係を導いているが、非特許文献3に記載の方法と同様に、形状係数 S_f と粒子の円磨度とは関係がなく、粒子の摩耗度は考慮されていない。

【0008】

また、特許文献1の測定装置は、平均粒子径を測定するものであり、鉱石の摩耗度（円磨度、角部の取れ具合）を測定及び評価するものではない。

また、特許文献2の測定装置は、粒度分布を測定するものであり、鉱石の摩耗度を測定及び評価するものではない。

また、特許文献3及び4は回転式粘度計に関するものであるが、流体の粘度を用いて鉱石の摩耗度を測定及び評価することについては何ら記載されていない。

このように、配管類の摩耗に大きく影響する鉱石の摩耗度を簡便に評価している従来技術は見当たらない。

【0009】

そこで本発明は、ホースや配管等の配管類の摩耗に大きく影響する鉱石の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる、鉱石の摩耗度評価方法及び鉱石の摩耗度測定装置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】

【0010】

請求項1記載に対応した鉱石の摩耗度評価方法においては、鉱石スラリー循環式摩耗試験における配管類の内壁の摩耗特性に影響する鉱石の摩耗度を評価する方法であって、摩耗試験前の複数の鉱石の中から無作為に試験前評価用鉱石を抽出するステップ1と、試験前評価用鉱石の流体的特性を測定し摩耗試験前のデータを得るステップ2と、鉱石を用いて配管類の摩耗試験を行うステップ3と、摩耗試験後の複数の鉱石の中から無作為に試験後評価用鉱石を抽出するステップ4と、試験後評価用鉱石の流体的特性を測定し摩耗試験後のデータを得るステップ5と、摩耗試験前のデータと摩耗試験後のデータとを比較し比較結果を得るステップ6とを備えたことを特徴とする。

請求項1に記載の本発明によれば、鉱石は摩耗度によって流体的特性が変化するため、試験前評価用鉱石及び試験後評価用鉱石の流体的特性を測定し、その比較結果を得ることによって、鉱石の摩耗度を定量的に評価できる。そのため、鉱石スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

【0011】

請求項2記載の本発明は、ステップ2及びステップ5における流体的特性の測定は、試

験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を流体中に沈めた場合の、それぞれの沈降時間又は沈降速度を計測する測定であることを特徴とする。

請求項 2 に記載の本発明によれば、摩耗試験前後の鉍石のデータを簡便な測定方法で取得することができる。

【 0 0 1 2 】

請求項 3 に記載の本発明は、ステップ 6 における比較結果は、それぞれの沈降時間の比又は沈降速度の比であることを特徴とする。

請求項 3 に記載の本発明によれば、鉍石の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる。

【 0 0 1 3 】

請求項 4 に記載の本発明は、ステップ 2 及びステップ 5 における流体的特性の測定は、回転式流体抵抗計に試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を載置して流体中に臨ませ、それぞれの流体抵抗を計測する測定であることを特徴とする。

請求項 4 に記載の本発明によれば、摩耗試験前後の鉍石のデータを簡便な測定方法で取得することができる。

【 0 0 1 4 】

請求項 5 に記載の本発明は、ステップ 6 における比較結果は、それぞれの流体抵抗の比であることを特徴とする。

請求項 5 に記載の本発明によれば、鉍石の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる。

【 0 0 1 5 】

請求項 6 に記載の本発明は、ステップ 2 及びステップ 5 における流体的特性の測定は、配管の中を流れる流体中に試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を投入し、それぞれの移動速度を計測する測定であることを特徴とする。

請求項 6 に記載の本発明によれば、摩耗試験前後の鉍石のデータを簡便な測定方法で取得することができる。

【 0 0 1 6 】

請求項 7 に記載の本発明は、移動速度の測定に当たっては、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石が、配管の内面に接触することなく流体中を浮遊して移動する行程のみから移動速度を算出したことを特徴とする。

請求項 7 に記載の本発明によれば、鉍石の摩耗度をより適切に評価・分類することができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 8 に記載の本発明は、ステップ 6 における比較結果は、それぞれの移動速度としての比であることを特徴とする。

請求項 8 に記載の本発明によれば、鉍石の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 9 に記載の本発明は、ステップ 6 における比較結果を、予め定めた閾値とさらに比較し、鉍石を次の摩耗試験に用いるか否かを判定するステップ 7 を備えたことを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、角が取れて丸くなった鉍石を除外して、摩耗試験に用いる鉍石と揚鉍現場等で採掘される実際の鉍石との乖離を極力少なくできる。従って、実際の使用状況に近い条件下で配管類の摩耗試験を実施できる。

【 0 0 1 9 】

請求項 10 に記載の本発明は、ステップ 1 で無作為に抽出した試験前評価用鉍石及びステップ 4 で無作為に抽出した試験後評価用鉍石のそれぞれの重量及びノ又は粒度を測定し、ステップ 7 での判定に役立てることを特徴とする。

請求項 10 に記載の本発明によれば、摩耗試験に用いる鉍石の継続使用可否をより正確に判定することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

請求項 1 1 記載の本発明は、ステップ 6 の比較結果を、予め定めた配管類の摩耗率と鉍石の摩耗度との関係に適用し、配管類の摩耗率を推定するステップ 8 を備えたことを特徴とする。

請求項 1 1 に記載の本発明によれば、摩耗試験に用いる鉍石の摩耗度を考慮したうえで配管類の摩耗特性を把握できる。従って、鉍石スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

【 0 0 2 1 】

請求項 1 2 記載に対応した鉍石の摩耗度測定装置においては、請求項 2 又は請求項 3 に記載の鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置であって、内部に流体を収納する鉛直カラムと、流体中に試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を沈めた場合の、それぞれの沈降時間を計測する計時手段又は沈降速度を検出する速度検出手段を備えたことを特徴とする。

請求項 1 2 に記載の本発明によれば、摩耗試験前後の鉍石のデータを簡便に取得することができる。

【 0 0 2 2 】

請求項 1 3 記載に対応した鉍石の摩耗度測定装置においては、請求項 4 又は請求項 5 に記載の鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置であって、流体を収納する流体収納容器と、流体収納容器に臨んだ試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石のそれぞれの流体抵抗を計測する回転式流体抵抗計を備えたことを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、試験前評価用鉍石及び試験後評価用鉍石の流体的特性を測定することにより、摩耗試験前後の鉍石のデータを簡便に取得することができる。

【 0 0 2 3 】

請求項 1 4 記載の本発明は、回転式流体抵抗計として回転式粘度計を用い、回転式粘度計は、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を載置するための円盤及び軸部を有するスピンドルと、スピンドルを駆動するモーターと、スピンドルにかかるトルクを測定するトルク測定手段を備えたことを特徴とする。

請求項 1 4 に記載の本発明によれば、摩耗試験前後の鉍石のデータを、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を回転式粘度計の円盤に載せて回転させトルクを測定することによって取得できる。

【 0 0 2 4 】

請求項 1 5 に記載の本発明は、円盤に試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石の略重量に対応して設定したカウンターウェイトを有したことを特徴とする。

請求項 1 5 に記載の本発明によれば、軸部に関する重量や慣性モーメントのバランスを取り、スピンドルの偏心や回転ムラを防止できる。

【 0 0 2 5 】

請求項 1 6 に記載の本発明は、円盤に試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を載せるターンテーブルを有したことを特徴とする。

請求項 1 6 に記載の本発明によれば、ターンテーブルに載置された試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石は、周囲の流体から受ける流体力によって、抗力係数なるべく小さくなるような向きに自ずと回転するため、流体中を自由沈降する場合に近い条件で流体抵抗を測定できる。

【 0 0 2 6 】

請求項 1 7 に記載の本発明は、ターンテーブルをスピンドルの回転軸に関して軸対称の位置に 2 個有したことを特徴とする。

請求項 1 7 に記載の本発明によれば、2 個の試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石について、平均的な流体抵抗を同時に測定することができる。また、スピンドルの偏心や回転ムラを防止できる。

【 0 0 2 7 】

請求項 18 記載の本発明は、スピンドルの軸部を支持する軸部支持手段を備え、軸部支持手段が円盤の上部の軸部と円盤の下部の軸部を支持するものであることを特徴とする。

請求項 18 に記載の本発明によれば、スピンドルが偏心することを無くし、スピンドルの支持機構やトルク測定手段の破損を防止できる。

【0028】

請求項 19 記載の本発明は、流体収納容器の流体中に設けたスピンドルの円盤を下部から軸部が支え、流体収納容器の底面を貫いて軸部が設けられていることを特徴とする。

請求項 19 に記載の本発明によれば、鉍石を円盤の中央に載せることができるため、鉍石の並進運動による流体抵抗を除き、鉍石の回転運動による流体抵抗のみを測定することができる。

【0029】

請求項 20 記載に対応した鉍石の摩耗度測定装置においては、請求項 6 から請求項 8 のうちの 1 項に記載の鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置であって、配管として透明撮影配管と、透明撮影配管の中を移動する試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を撮影して移動速度を計測するための高速度カメラとを備えたことを特徴とする。

請求項 20 に記載の本発明によれば、試験前評価用鉍石及び試験後評価用鉍石の流体的特性を測定することにより、摩耗試験前後の鉍石のデータを簡便に取得することができる。

【0030】

請求項 21 記載の本発明は、高速度カメラを所定の距離を隔てて 2 台設けたことを特徴とする。

請求項 21 に記載の本発明によれば、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石が一方の高速度カメラに対応する位置から他方の高速度カメラに対応する位置に至る全移動行程に基づいて鉍石の速度を算出することができる。また、一方の高速度カメラ又は他方の高速度カメラの画角内における試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石の移動行程に基づいて鉍石の速度を算出することができる。

【0031】

請求項 22 記載の本発明は、2 台の高速度カメラは、同期をとって試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を撮影することを特徴とする。

請求項 22 に記載の本発明によれば、2 台の高速度カメラの撮影タイミングを合わせることができる。

【0032】

請求項 23 記載の本発明は、透明撮影配管にスケールを、高速度カメラの撮影範囲内に入るように併設したことを特徴とする。

請求項 23 に記載の本発明によれば、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石の移動距離の把握が容易となる。

【0033】

請求項 24 記載の本発明は、透明撮影配管の上流側に、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を投入するバッファタンクをさらに備えたことを特徴とする。

請求項 24 に記載の本発明によれば、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を円滑に配管に投入することができる。

【発明の効果】

【0034】

本発明の鉍石の摩耗度評価方法によれば、鉍石は摩耗度によって流体的特性が変化するため、試験前評価用鉍石及び試験後評価用鉍石の流体的特性を測定し、その比較結果を得ることで、鉍石の摩耗度を定量的に評価できる。そのため、鉍石スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

【0035】

また、ステップ 2 及びステップ 5 における流体的特性の測定は、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を流体中に沈めた場合の、それぞれの沈降時間又は沈降速度を計測する

10

20

30

40

50

測定である場合には、摩耗試験前後の鉱石のデータを簡便な測定方法で取得することができる。

【0036】

また、ステップ6における比較結果は、それぞれの沈降時間の比又は沈降速度の比である場合には、鉱石の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる。

【0037】

また、ステップ2及びステップ5における流体的特性の測定は、回転式流体抵抗計に試験前評価用鉱石又は試験後評価用鉱石を載置して流体中に臨ませ、それぞれの流体抵抗を計測する測定である場合には、摩耗試験前後の鉱石のデータを簡便な測定方法で取得することができる。

10

【0038】

また、ステップ6における比較結果は、それぞれの流体抵抗の比である場合には、鉱石の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる。

【0039】

また、ステップ2及びステップ5における流体的特性の測定は、配管の中を流れる流体中に試験前評価用鉱石又は試験後評価用鉱石を投入し、それぞれの移動速度を計測する測定である場合には、摩耗試験前後の鉱石のデータを簡便な測定方法で取得することができる。

【0040】

また、移動速度の測定に当たっては、試験前評価用鉱石又は試験後評価用鉱石が、配管の内面に接触することなく流体中を浮遊して移動する行程のみから移動速度を算出した場合には、鉱石の摩耗度をより適切に評価・分類することができる。

20

【0041】

また、ステップ6における比較結果は、それぞれの移動速度としての比である場合には、鉱石の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる。

【0042】

また、ステップ6における比較結果を、予め定めた閾値とさらに比較し、鉱石を次の摩耗試験に用いるか否かを判定するステップ7を備えた場合には、角が取れて丸くなった鉱石を除外して、摩耗試験に用いる鉱石と揚鉱現場等で採掘される実際の鉱石との乖離を極力少なくできる。従って、実際の使用状況に近い条件下で配管類の摩耗試験を実施できる。

30

【0043】

また、ステップ1で無作為に抽出した試験前評価用鉱石及びステップ4で無作為に抽出した試験後評価用鉱石のそれぞれの重量及び/又は粒度を測定し、ステップ7での判定に役立てる場合には、摩耗試験に用いる鉱石の継続使用可否をより正確に判定することができる。

【0044】

また、ステップ6の比較結果を、予め定めた配管類の摩耗率と鉱石の摩耗度との関係に適用し、配管類の摩耗率を推定するステップ8を備えた場合には、摩耗試験に用いる鉱石の摩耗度を考慮したうえで配管類の摩耗特性を把握できる。従って、鉱石スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

40

【0045】

本発明の鉱石の摩耗度測定装置によれば、試験前評価用鉱石及び試験後評価用鉱石の流体的特性を測定することにより、摩耗試験前後の鉱石のデータを簡便に取得することができる。

【0046】

また、回転式流体抵抗計として回転式粘度計を用い、回転式粘度計は、試験前評価用鉱石又は試験後評価用鉱石を載置するための円盤及び軸部を有するスピンドルと、スピンドルを駆動するモーターと、スピンドルにかかるトルクを測定するトルク測定手段とを備えた場合には、摩耗試験前後の鉱石のデータを、試験前評価用鉱石又は試験後評価用鉱石を

50

回転式粘度計の円盤に載せて回転させトルクを測定することによって取得できる。

【0047】

また、円盤に試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石の略重量に対応して設定したカウンターウェイトを有した場合には、軸部に関する重量や慣性モーメントのバランスを取り、スピンドルの偏心や回転ムラを防止できる。

【0048】

また、円盤に試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を載せるターンテーブルを有した場合には、ターンテーブルに載置された試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石は、周囲の流体から受ける流体力によって、抗力係数になるべく小さくなるような向きに自ずと回転するため、流体中を自由沈降する場合に近い条件で流体抵抗を測定できる。

10

【0049】

また、ターンテーブルをスピンドルの回転軸に関して軸対称の位置に2個有した場合には、2個の試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石について、平均的な流体抵抗を同時に測定することができる。また、スピンドルの偏心や回転ムラを防止できる。

【0050】

また、スピンドルの軸部を支持する軸部支持手段を備え、軸部支持手段が円盤の上部の軸部と円盤の下部の軸部を支持するものである場合には、スピンドルが偏心することを無くし、スピンドルの支持機構やトルク測定手段の破損を防止できる。

【0051】

また、流体収納容器の流体中に設けたスピンドルの円盤を下部から軸部が支え、流体収納容器の底面を貫いて軸部が設けられている場合には、鉍石を円盤の中央に載せることができるため、鉍石の並進運動による流体抵抗を除き、鉍石の回転運動による流体抵抗のみを測定することができる。

20

【0052】

配管として透明撮影配管と、透明撮影配管の中を移動する試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を撮影して移動速度を計測するための高速度カメラとを備えた本発明の鉍石の摩耗度測定装置によれば、試験前評価用鉍石及び試験後評価用鉍石の流体的特性を測定することにより、摩耗試験前後の鉍石のデータを簡便に取得することができる。

【0053】

また、高速度カメラを所定の距離を隔てて2台設けた場合には、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石が一方の高速度カメラに対応する位置から他方の高速度カメラに対応する位置に至る全移動行程に基づいて鉍石の速度を算出することができる。また、一方の高速度カメラ又は他方の高速度カメラの画角内における試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石の移動行程に基づいて鉍石の速度を算出することができる。

30

【0054】

また、2台の高速度カメラは、同期をとって試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を撮影する場合には、2台の高速度カメラの撮影タイミングを合わせることができる。

【0055】

また、透明撮影配管にスケールを、高速度カメラの撮影範囲内に入るように併設した場合には、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石の移動距離の把握が容易となる。

40

【0056】

また、透明撮影配管の上流側に、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を投入するバッファタンクをさらに備えた場合には、試験前評価用鉍石又は試験後評価用鉍石を円滑に配管に投入することができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】本発明の一実施形態による鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置の概略図

【図2】同鉍石の摩耗度評価方法のフローチャート

【図3】同鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の外観写真

50

【図 4】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【図 5】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【図 6】同鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の他の実施形態を示す概略図

【図 7】本発明の他の実施形態による鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第一実施形態を示す概略図

【図 8】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【図 9】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【図 10】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【図 11】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【図 12】同鉱石の摩耗度評価方法で測定した指示粘度比とスラリー循環式摩耗試験で測定した配管摩耗率との関係図

【図 13】同鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第二実施形態を示す概略図

【図 14】同鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第三実施形態に係るスピンドル部分を示す概略図

【図 15】同鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第四実施形態に係るスピンドル部分を示す概略図

【図 16】同鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第五実施形態に係るスピンドル部分を示す概略図

【図 17】同鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第六実施形態を示す概略図

【図 18】スラリー循環式摩耗試験装置の外観写真

【図 19】同スラリー循環式摩耗試験装置を使用した摩耗試験における鉱石スラリー循環時間と配管摩耗率との関係を示す図

【図 20】本発明のさらに他の実施形態による鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の概略図

【図 21】同鉱石の摩耗度測定装置の一部上面図

【図 22】同鉱石の摩耗度測定装置の透明撮影配管を高速カメラで撮影した図

【図 23】同鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の外観写真

【図 24】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【図 25】同鉱石の摩耗度評価方法による比較結果の例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0058】

以下に、本発明の一実施形態による鉱石の摩耗度評価方法及び鉱石の摩耗度測定装置について説明する。

【0059】

図 1 は本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の概略図である。

鉱石の摩耗度測定装置 20 は、内部に水やオイル等の流体 30 を収納する鉛直カラム 21 を備える。

鉛直カラム 21 は、例えば、外径 35.4 mm、内径 31.4 mm (板厚 2 mm)、長さ 1000 mm の透明アクリルパイプである。鉛直カラム 21 (透明アクリルパイプ) の下端は栓により塞がれている。流体 30 は、鉛直カラム 21 の上端近傍まで満たされており、上面 30A から底面 30B までの深さを有する。

【0060】

図 2 は本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法のフローチャートである。

本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法は、まず、鉱石スラリー循環式摩耗試験に用いる前の複数の鉱石 10 の中から、無作為に試験前評価用鉱石 10a を抽出する (ステップ 1)。抽出した試験前評価用鉱石 10a の集合をグループ A とする。

10

20

30

40

50

図3は本実施形態による鉍石の摩耗度評価方法に用いる(模擬)鉍石10の外観写真である。鉍石10の大きさは、碎石5号(兵庫県姫路市家島町西島産)、粒径約10~20mmであり、岩種は、流紋岩である。

図3(a)は、試験前評価用鉍石10a(グループA)を撮影したものである。試験前評価用鉍石10aは、鋭い角部を有していることが分かる。

【0061】

ステップ1で抽出した試験前評価用鉍石10aのそれぞれを、鉛直カラム21に満たされた流体30中に静かに自由沈降させ、流体30の上面30Aから底面30Bに達するまでの沈降時間を計測する。この沈降時間を、鉍石10の摩耗試験前のデータとして記録する(ステップ2)。

また、試験前評価用鉍石10aの重量と粒度の少なくとも一方を計測し、その計測結果を鉍石10の摩耗試験前のデータに含めることが好ましい。

なお、沈降時間に代えて、試験前評価用鉍石10aの沈降速度を計測し、その沈降速度を、鉍石10の摩耗試験前のデータとしてもよい。

【0062】

次に、鉍石10を用いて配管類の摩耗試験を行う(ステップ3)。

配管類は、例えば、ホース、配管、継手、又はポンプである。

摩耗試験は、水を満たしたタンクに鉍石10を一定量投入してスラリーとし、スラリーを所定時間循環させて配管類の内壁の摩耗率を計測し、配管類の摩耗特性を把握するものであり、例えば、図18に示すスラリー循環式摩耗試験装置800によって行う。

【0063】

次に、摩耗試験に用いた後の複数の鉍石10の中から、無作為に試験後評価用鉍石10bを抽出する(ステップ4)。抽出した試験後評価用鉍石10bの集合をグループBとする。

図3(b)は、摩耗試験を90分間行った後の複数の鉍石10の中から抽出した試験後評価用鉍石10b(グループB)を撮影したものである。試験後評価用鉍石10bは、摩耗試験中の衝突により角部が取れて丸みを帯びている(円磨度が増している)ことが分かる。

【0064】

ステップ4で抽出した試験後評価用鉍石10bのそれぞれを、鉛直カラム21に満たされた流体30中に静かに自由沈降させ、流体30の上面30Aから底面30Bに達するまでの沈降時間を計測する。この沈降時間を、鉍石10の摩耗試験後のデータとして記録する(ステップ5)。

また、試験後評価用鉍石10bの重量と粒度の少なくとも一方を計測し、その計測結果を鉍石10の摩耗試験後のデータに含めることが好ましい。

なお、沈降時間に代えて、試験後評価用鉍石10bの沈降速度を計測し、その沈降速度を、鉍石10の摩耗試験後のデータとしてもよい。

【0065】

次に、ステップ2で得られた摩耗試験前のデータとステップ5で得られた摩耗試験後のデータとを比較し、摩耗試験の前後における鉍石10についての比較結果を得る(ステップ6)。

比較結果は、例えば、試験前評価用鉍石10a(グループA)の沈降時間と試験後評価用鉍石10b(グループB)の沈降時間との差、又は試験前評価用鉍石10a(グループA)の沈降時間に対する試験後評価用鉍石10b(グループB)の沈降時間の比である。

鉍石10は摩耗度(主に角部の鋭さ)によって流体抵抗が変化するため、本実施形態のように試験前評価用鉍石10a又は試験後評価用鉍石10bを流体30中に自由沈降させて両者の流体的特性を測定し、その比較結果を得ることで、鉍石10の摩耗度を簡便かつ定量的に評価できる。

【0066】

次に、ステップ6で得られた比較結果を、予め定めた閾値と比較し、摩耗試験に使用し

10

20

30

40

50

た鉬石 10 を次の摩耗試験に用いるか否かを判定する（ステップ 7）。

閾値は、次の摩耗試験に鉬石 10 を引き続き使用できるか否かの判定基準となる摩耗度である。比較結果（鉬石 10 の摩耗度）が基準となる摩耗度に適合しないと判定した場合には、鉬石 10 を新品に交換し、ステップ 1 に戻る。比較結果（鉬石 10 の摩耗度）が基準となる摩耗度に適合すると判定した場合には、ステップ 3 に戻る。これにより、角が取れて丸くなった鉬石 10 を除外して、摩耗試験に用いる鉬石 10 と揚鉬現場等で採掘される実際の鉬石との乖離を極力少なくできる。従って、実際の使用状況に近い条件下で摩耗試験を実施できる。

なお、摩耗試験前のデータ及び摩耗試験後のデータに、試験前評価用鉬石 10 a 及び試験後評価用鉬石 10 b の重量と粒度の少なくとも一方が含まれている場合には、摩耗試験の前後における鉬石 10 の重量又は粒度の変化を判定の材料に用いて役立てることができる。これにより、摩耗試験に使用した鉬石 10 を次の摩耗試験に用いるか否かの判定の精度が向上する。例えば、重量の測定は電子天秤を用いて、粒度の測定はふるいを用いて行う。重量及び粒度にもそれぞれの閾値を定めて、流体的特性の比較結果に加え重量及び／又は粒度の比較結果を加味して判定を行う。

【 0 0 6 7 】

また、ステップ 6 で得られた比較結果を、予め定めた配管類の摩耗率と鉬石 10 の摩耗度との関係に適用し、配管類の摩耗率を推定する（ステップ 8）。

例えば、試験前評価用鉬石 10 a（グループ A）の沈降時間に対する試験後評価用鉬石 10 b（グループ B）の沈降時間の比と、図 19 に示される配管摩耗率との相関図を作成し、作成した相関図の傾向に基づいて配管類の摩耗率を推定する。

これにより、摩耗試験に用いる鉬石 10 の摩耗度を考慮したうえで配管類の摩耗特性を把握できる。従って、鉬石スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

【 0 0 6 8 】

図 4 及び図 5 は、ステップ 6 の比較結果の例を示す図である。

図 4 は流体 30 に水を用いた実験により得られた比較結果であり、図 5 は流体 30 にシリコンオイルを用いた実験により得られた比較結果である。用いたシリコンオイルの動粘度は、25 において $3,000 \text{ mm}^2 / \text{sec}$ である。

流体 30 に水を用いた場合、シリコンオイルを用いた場合のいずれにおいても、図 1 に示す鉬石の摩耗度測定装置 20 を用いて、鉛直カラム 21 に満たされた流体 30 に試験前評価用鉬石 10 a 又は試験後評価用鉬石 10 b を自由沈降させ、上面 30 A から底面 30 B に達するまでの沈降時間をストップウォッチにより測定した。また、試験前評価用鉬石 10 a 又は試験後評価用鉬石 10 b の重量を一つずつ測定した。なお、試験後評価用鉬石 10 b は、ステップ 3 における摩耗試験を 90 分間行った後の複数の鉬石 10 の中から抽出した。

図 4 及び図 5 では、試験前評価用鉬石 10 a 及び試験後評価用鉬石 10 b の双方について、沈降時間と重量の測定結果をプロットしている。横軸は重量（g）、縦軸は沈降時間（sec）であり、四角（ \square ）は、試験前評価用鉬石 10 a の測定結果、丸（ \circ ）は、試験後評価用鉬石 10 b の測定結果を示す。また、点線 A は、試験前評価用鉬石 10 a の沈降時間の平均値を示し、点線 B は、試験後評価用鉬石 10 b の沈降時間の平均値を示す。

【 0 0 6 9 】

図 4 及び図 5 に示すように、試験前評価用鉬石 10 a と試験後評価用鉬石 10 b とでは明らかに沈降時間に差があり、鉬石 10 の摩耗度と沈降時間との間には強い相関が有ることが分かる。

ここで、流体 30 を水とした場合（図 4）には、グループ A の平均沈降時間は 3.1 秒、グループ B の平均沈降時間は 2.4 秒であり、平均沈降時間の比は、グループ A : グループ B = 100 : 77 であった。

また、流体 30 をシリコンオイルとした場合（図 5）には、グループ A の平均沈降時間は 86.0 秒、グループ B の平均沈降時間は 75.5 秒であり、平均沈降時間の比は、

グループ A : グループ B = 100 : 88 であった。

このように、鉱石 10 は摩耗度（主に角部の鋭さ）によって流体抵抗が変化するため、グループ A とグループ B との平均沈降時間の比較、又はグループ A に対するグループ B の平均沈降時間比を算出することで、鉱石 10 の摩耗度を定量的かつ簡便に評価することができる。

なお、流体 30 に水を用いた場合には、流体 30 に水よりも粘度の高いシリコンオイルを用いた場合に比較して試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b の沈降時間が短いため、鉱石 10 の摩耗度を評価する時間を短縮できる。一方、流体 30 にシリコンオイルなどの水よりも粘度の高い流体を用いた場合には、流体 30 に水を用いた場合に比較して試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b の沈降時間が長いため、沈降時間または沈降速度の測定が容易になる。

【0070】

図 6 は、本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の他の実施形態を示す概略図である。

図 6 に示す鉱石の摩耗度測定装置 120 は、沈降時間を計測する計時手段 122 を有する。計時手段 122 を有することにより、沈降時間を自動計測して省力化できる。

計時手段 122 は、流体 30 に自由沈降させる試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b が、高位置点 Y1 から低位置点 Y2 に沈降するまでの沈降時間を計測する。

高位置点 Y1 は、試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b の沈降開始点（上面 30 A）に設定されている。低位置点 Y2 は、鉱石 10 の沈降終了点（底面 30 B）に設定されている。なお、高位置点 Y1 又は低位置点 Y2 は、試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b の沈降途中となる位置に設定しても良い。

計時手段 122 は、上部レーザー変位計 122 A と、上部レーザー変位計 122 A よりも下方に配置される下部レーザー変位計 122 B とからなる。

上部レーザー変位計 122 A は、高位置点 Y1 の位置に設けられている。下部レーザー変位計 122 B は、低位置点 Y2 に設けられている。上部レーザー変位計 122 A 及び下部レーザー変位計 122 B は、それぞれ、レーザー光が鉛直カラム 21 を水平に横切る向きとなるように設けられている。上部レーザー変位計 122 A 及び下部レーザー変位計 122 B の出力の変化により、試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b が高位置点 Y1 及び低位置点 Y2 を通過した時刻を計測することができる。二地点の通過時刻に基づいて高位置点 Y1 から低位置点 Y2 までの沈降時間を算出する。この沈降時間を、試験前評価用鉱石 10 a の摩耗試験前のデータ又は試験後評価用鉱石 10 b の摩耗試験後のデータとして記録する。

なお、図 6 のように試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b の沈降終了点（底面 30 B）を低位置点 Y2 に設定する場合には、下部レーザー変位計 122 B の代わりに圧力センサーを用い、試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b が低位置点 Y2 に達したことを圧力により検知してもよい。また、圧力センサーだけを用いて、上面 30 A（Y1）に試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b を投入したときの圧力変化と、底面 30 B（Y2）に達したときの圧力変化から、上面 30 A から底面 30 B に到達するまでの沈降時間を求めてもよい。

また、試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b の沈降速度を計測し、その沈降速度を、鉱石 10 の摩耗試験前のデータ又は鉱石 10 の摩耗試験後のデータとする場合には、計時手段 122 に代えて、速度センサー等の速度検出手段を設ければよい。

【0071】

また、計時手段 122 に撮像手段を用いてもよい。この場合は、高速度ビデオカメラ等を用いて、試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b が高位置点 Y1 から低位置点 Y2 に沈降する鉛直カラム 21 内の様子を収めた動画を撮影する。動画には 0.1 秒、0.01 秒など、1 秒未満の位まで表示する時刻表示を含めておくことで、撮影後に画像を解析して高位置点 Y1 から低位置点 Y2 までの沈降時間を算出できる。

なお、画像解析において PIV（Particle Image Velocimetry = 粒子イメージ流速計測

10

20

30

40

50

法)を用いた場合には、沈降時間又は沈降速度の定量的評価や、複数の試験前評価用鉱石 10 a 又は試験後評価用鉱石 10 b の同時評価も可能となる。

【0072】

次に、本発明の他の実施形態による鉱石の摩耗度評価方法及び鉱石の摩耗度測定装置について説明する。なお、上記した実施形態と同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

【0073】

図7は本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第一実施形態を示す概略図である。

鉱石の摩耗度測定装置220は、水やオイル等の流体30を収納するピーカー等の流体 10 収納容器221と、試験前評価用鉱石10 a 又は試験後評価用鉱石10 b の流体抵抗を計測する回転式流体抵抗計222を備える。円筒形の流体収納容器221には流体30が満たされている。

回転式流体抵抗計222は回転式粘度計であり、スピンドル223と、スピンドル223を駆動するモーター224と、スピンドル223にかかるトルクを測定するトルクセンサー等のトルク測定手段225とを備える。

スピンドル223は、試験前評価用鉱石10 a 又は試験後評価用鉱石10 b が載置される円盤223 A と、円盤223 A に接続された軸部223 B を有する。

円盤223 A は流体30中に水平に配置されており、軸部223 B との接続部分を中心として回転する。

鉛直に立設した軸部223 B は、円盤223 A の中心を貫通しており、下端が円盤223 A の下面と流体収納容器221の底面30 B との間に配置され、上端が流体30外に配置されている。軸部223 B の上端側には上から順にモーター224、トルク測定手段225、ジョイント226が設けられている。

【0074】

本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法を図2を用いて説明する。

本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法は、まず、鉱石スラリー循環式摩耗試験に用いる前の複数の鉱石10の中から、無作為に試験前評価用鉱石10 a を抽出する(ステップ1)。抽出した試験前評価用鉱石10 a の集合をグループAとする。

【0075】

ステップ1で抽出した試験前評価用鉱石10 a のそれぞれを、流体30中に配置された円盤223 A に一つずつ載せ、モーター224を制御してスピンドル223の回転数を段階的に変化させながら、トルク測定手段225の出力を用いて指示粘度値を計測する。この指示粘度値を、鉱石10の摩耗試験前のデータとして記録する(ステップ2)。

なお、円盤223 A には、試験前評価用鉱石10 a の抗力係数なるべく小さくなるように、図7に示す試験前評価用鉱石10 a の円盤223 A 周方向の投影面積が最も小さくなる向きに、試験前評価用鉱石10 a を載せることが好ましい。

また、試験前評価用鉱石10 a の重量と粒度の少なくとも一方を計測し、その計測結果を鉱石10の摩耗試験前のデータに含めることが好ましい。

【0076】

次に、鉱石10を用いて配管類の摩耗試験を行う(ステップ3)。

配管類は、例えば、ホース、配管、継手、又はポンプである。

摩耗試験は、水を満たしたタンクに鉱石10を一定量投入してスラリーとし、スラリーを所定時間循環させて配管類の内壁の摩耗率を計測し、配管類の摩耗特性を把握するものであり、例えば、図18に示すスラリー循環式摩耗試験装置800によって行う。

【0077】

次に、摩耗試験に用いた後の複数の鉱石10の中から、無作為に試験後評価用鉱石10 b を抽出する(ステップ4)。抽出した試験後評価用鉱石10 b の集合をグループBとする。

【0078】

10

20

30

40

50

ステップ4で抽出した試験後評価用鉍石10bのそれぞれを、流体30中に配置された円盤223Aに一つずつ載せ、モーター224を制御してスピンドル223の回転数を段階的に変化させながら、トルク測定手段225の出力を用いて指示粘度値を計測する。この指示粘度値を、鉍石10の摩耗試験後のデータとして記録する(ステップ5)。

なお、円盤223Aには、試験後評価用鉍石10bの抗力係数なるべく小さくなるように、図7に示す試験後評価用鉍石10bの円盤223A周方向の投影面積が最も小さくなる向きに、試験後評価用鉍石10bを載せることが好ましい。

また、試験後評価用鉍石10bの重量と粒度の少なくとも一方を計測し、その計測結果を鉍石10の摩耗試験後のデータに含めることが好ましい。

【0079】

次に、ステップ2で得られた摩耗試験前のデータとステップ5で得られた摩耗試験後のデータとを比較し、摩耗試験の前後における鉍石10についての比較結果を得る(ステップ6)。

比較結果は、例えば、試験前評価用鉍石10a(グループA)の指示粘度値と試験後評価用鉍石10b(グループB)の指示粘度値との比もしくは差、又はスピンドル223のみの場合の指示粘度値に対する試験前評価用鉍石10a(グループA)又は試験後評価用鉍石10b(グループB)の指示粘度値の比である。

鉍石10は摩耗度(主に角部の鋭さ)によって流体抵抗が変化するため、本実施形態のように試験前評価用鉍石10a又は試験後評価用鉍石10bを流体30中で回転させて両者の流体的特性を測定し、その比較結果を得ることで、鉍石10の摩耗度を簡便かつ定量的に評価できる。

【0080】

次に、ステップ6で得られた比較結果を、予め定めた閾値と比較し、摩耗試験に使用した鉍石10を次の摩耗試験に用いるか否かを判定する(ステップ7)。

閾値は、次の摩耗試験に鉍石10を引き続き使用できるか否かの判定基準となる摩耗度である。比較結果(鉍石10の摩耗度)が基準となる摩耗度に適合しないと判定した場合には、鉍石10を新品に交換し、ステップ1に戻る。比較結果(鉍石10の摩耗度)が基準となる摩耗度に適合すると判定した場合には、ステップ3に戻る。これにより、角が取れて丸くなった鉍石10を除外して、摩耗試験に用いる鉍石10と揚鉍現場等で採掘される実際の鉍石との乖離を極力少なくできる。従って、実際の使用状況に近い条件下で配管類の摩耗試験を実施できる。

なお、摩耗試験前のデータ及び摩耗試験後のデータに、試験前評価用鉍石10a及び試験後評価用鉍石10bの重量と粒度の少なくとも一方が含まれている場合には、摩耗試験の前後における鉍石10の重量又は粒度の変化を判定の材料に用いて役立てることができる。これにより、摩耗試験に使用した鉍石10を次の摩耗試験に用いるか否かの判定の精度が向上する。

【0081】

また、ステップ6で得られた比較結果を、予め定めた配管類の摩耗率と鉍石10の摩耗度の関係に適用し、配管類の摩耗率を推定する(ステップ8)。

例えば、スピンドル223のみの場合の指示粘度値に対する試験前評価用鉍石10a(グループA)又は試験後評価用鉍石10b(グループB)の指示粘度値の比と、図19に示される配管摩耗率との相関図を作成し、作成した相関図の傾向に基づいて配管類の摩耗率を推定する。

これにより、摩耗試験に用いる鉍石10の摩耗度を考慮したうえで配管類の摩耗特性を把握できる。従って、鉍石スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

【0082】

図8から図11は、ステップ6の比較結果の例を示す図である。

図8はスピンドル223の回転数を10rpmとした場合の比較結果であり、図9はスピンドル223の回転数を12rpmとした場合の比較結果であり、図10はスピンドル

10

20

30

40

50

223の回転数を20rpmとした場合の比較結果であり、図11はスピンドル223の回転数を30rpmとした場合の比較結果である。

いずれの場合においても、図7に示す鉱石の摩耗度測定装置220を用いて計測した。なお、鉱石の摩耗度測定装置220を構成するにあたっては、B型回転式粘度計(Fungilab社製Viscolead one)にスピンドル(スピンドルタイプR2)を装着した。また、流体30には水を用いた。また、試験前評価用鉱石10a又は試験後評価用鉱石10bの重量を一つずつ測定した。なお、試験後評価用鉱石10bは、摩耗試験を90分間行った後の複数の鉱石10の中から抽出した。

図8から図11では、試験前評価用鉱石10a及び試験後評価用鉱石10bの双方について、スピンドル223のみ(試験前評価用鉱石10a及び試験後評価用鉱石10b無し)の場合の指示粘度に対する指示粘度比と、重量の測定結果をプロットしている。横軸は重量(g)、縦軸は指示粘度比であり、四角()は、グループAの測定結果、丸()は、グループBの測定結果を示す。また、点線Aは、グループAの指示粘度比の平均値を示し、点線Bは、グループBの指示粘度比の平均値を示す。

【0083】

図8から図11に示すように、スピンドル223の回転数がいずれの場合においても、試験前評価用鉱石10aと試験後評価用鉱石10bとでは明らかに指示粘度比に差があり、鉱石10の摩耗度と指示粘度比との間には強い相関が有ることが分かる。

ここで、各回転数におけるグループAとグループBの指示粘度比の平均値を下表1に示す。

【0084】

【表1】

スピンドル回転数 (rpm)	グループA (摩耗試験前)	グループB (摩耗試験90分後)	A:B
10	1.51	0.80	100:53
12	1.39	0.78	100:56
20	1.28	0.85	100:67
30	1.35	0.70	100:52

【0085】

また、図12は、グループA及びグループBの指示粘度比と図19に示したスラリー循環式摩耗試験における配管摩耗率との関係を示したものである。

図12に示すように、指示粘度比と配管摩耗率との間には明らかな正の相関が認められ、指示粘度比から配管摩耗率を推定することが可能なことが分かる。

【0086】

図13は、本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法に用いる鉱石の摩耗度測定装置の第二実施形態を示す概略図である。なお、上記した実施形態と同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第二実施形態による鉱石の摩耗度測定装置320の基本構造は、図7に示す第一実施形態による鉱石の摩耗度測定装置220と同じであるが、第二実施形態による鉱石の摩耗度測定装置320は、スピンドル223を支持する軸部支持手段321を備える。

軸部支持手段321は、軸部223Bのうち、円盤223Aよりも上部側を支持する上軸部支持手段321Aと、円盤223Aよりも下部側を支持する下軸部支持手段321Bとからなる。上軸部支持手段321Aは、円盤223Aとジョイント226との間の軸部223Bの外周部分に、軸部223Bを側方から支持するように配置される。また、下軸部支持手段321Bは、軸部223Bの下端に、軸部223Bを下方から支持するように配置される。

円盤223Aに試験前評価用鉱石10a又は試験後評価用鉱石10bを載せると、試験前評価用鉱石10a又は試験後評価用鉱石10bの重量によってスピンドル223が偏心

して、スピンドル 2 2 3 の支持機構やトルク測定手段 2 2 5 が破損してしまう可能性がある。そこで、スピンドル 2 2 3 を支える軸部支持手段 3 2 1 を設けることで、スピンドル 2 2 3 の偏心を防止できる。なお、上軸部支持手段 3 2 1 A 及び下軸部支持手段 3 2 1 B は、スピンドル 2 2 3 の回転を妨げてトルク計測値に有意な影響を及ぼすことのないようにスピンドル 2 2 3 を回転自由に支持する構造としている。

また、流体 3 0 に水よりも粘度の高いオイルなどを用いる場合にも対応できるように、モーター 2 2 4 のトルクと、トルク測定手段 2 2 5 の容量を、通常の B 形回転式粘度計よりも大きくしている。

【 0 0 8 7 】

また、第二実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 3 2 0 は、円盤 2 2 3 A 上に軸部 2 2 3 B を中心とする同心円状のマーク 3 2 2 を有する。測定時には試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b を入れ替えて測定するが、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の（軸部 2 2 3 B 方向に投影した場合の）重心が、常に同じ円上に概ね位置するように試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b を載せることで、スピンドル 2 2 3 の一定の回転数に対して、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b が回転して流体 3 0 中を移動する速度を一定とすることができる。

なお、円盤 2 2 3 A 上には、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の抗力係数なるべく小さくなるように、同心円状マークの 3 2 2 の周方向の投影面積が最も小さくなる向きに、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b を載せる。

【 0 0 8 8 】

また、第二実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 3 2 0 は、トルク表示部 3 2 3 を備える。トルク測定手段 2 2 5 で計測したトルクの測定値は粘度に換算されず、そのままトルク表示部 3 2 3 に表示される。これにより、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の流体抵抗値が計算しやすくなる。

【 0 0 8 9 】

図 1 4 及び図 1 5 は、本実施形態による鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置の第三実施形態及び第四実施形態に係るスピンドル部分を示す概略図であり、図 1 4 (a) は第三実施形態のスピンドル部分の正面図、図 1 4 (b) は同上面図、図 1 5 (a) は第四実施形態のスピンドル部分の正面図、図 1 5 (b) は同上面図である。なお、上記した実施形態と同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第三実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 4 2 0 及び第四実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 5 2 0 は、カウンターウェイト 4 2 1 を備える。

カウンターウェイト 4 2 1 の重量は、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の重量とほぼ等しい。カウンターウェイト 4 2 1 は、円盤 2 2 3 A に、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b が載置される位置と軸部 2 2 3 B に関して軸対称となる位置に設けられている。すなわち、カウンターウェイト 4 2 1 と試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b とは 1 8 0 ° 位置がずれており、円盤 2 2 3 A の中心から等距離にある。これにより、軸部 2 2 3 B に関する重量や慣性モーメントのバランスを取り、スピンドル 2 2 3 の偏心や回転ムラを防止できる。また、図 1 3 に示した軸部支持手段 3 2 1 を省略し、軸部支持手段 3 2 1 を設けることによるスピンドル 2 2 3 の回転抵抗を無くすることができる。

【 0 0 9 0 】

なお、カウンターウェイト 4 2 1 は、測定する試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の重量に基づいて適切な重さに設定することが望ましい。具体的には、カウンターウェイト 4 2 1 を図 1 4 のように埋め込み式として、カウンターウェイト 4 2 1 の比重又は大きさの異なるスピンドル 2 2 3 を複数用意するか、カウンターウェイト 4 2 1 を図 1 5 のように着脱式として、同形状で重さの異なるカウンターウェイト 4 2 1 を複数用意する。

また、カウンターウェイト 4 2 1 は、円盤 2 2 3 A 周りの流れ場を円滑にするためには、図 1 4 のように埋め込み式とすることが望ましいが、図 1 5 のように着脱式とする場合

であっても円盤 2 2 3 A 表面の凹凸を最小限に抑えればよい。

また、着脱式とする場合のカウンターウェイト 4 2 1 の位置は、円盤 2 2 3 A の上面側であっても下面側であってもよい。また、カウンターウェイト 4 2 1 が円盤 2 2 3 A の上下面を貫通していてもよい。更に、カウンターウェイト 4 2 1 を着脱式とする場合は、単純な嵌め込み構造としてもよいし、着脱が容易なようにカウンターウェイト 4 2 1 を円盤状としてその側面にねじを切ったねじ込み構造としてもよい。

【 0 0 9 1 】

また、第三実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 4 2 0 及び第四実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 5 2 0 は、円盤 2 2 3 A の試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b が載置される位置にターンテーブル 4 2 2 が設けられている。ターンテーブル 4 2 2 は、回転軸 4 2 3 を中心として回転する。これにより、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b は、周囲の流体 3 0 から受ける流体力によって、抗力係数なるべく小さくなるような向き（円盤 2 2 3 A 周方向の投影面積が最も小さくなる向き）に自ずと回転するため、流体 3 0 中を自由沈降する場合に近い条件で流体抵抗を測定することができる。

なお、円盤 2 2 3 A とターンテーブル 4 2 2 との間には可能な限り摩擦抵抗の小さい転がり軸受 4 2 4 を設け、ターンテーブル 4 2 2 が滑らかに回転できるようにすることが望ましい。また、円盤 2 2 3 A の上下面とターンテーブル 4 2 2 との隙間、段差、又は凹凸は可能な限り小さくして、近傍の流れ場に乱れが生じないようにすることが望ましい。

【 0 0 9 2 】

図 1 6 は、本実施形態による鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置の第五実施形態に係るスピンドル部分を示す概略図であり、図 1 6 (a) はスピンドル部分の正面図、図 1 6 (b) は同上面図である。なお、上記した実施形態と同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第五実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 6 2 0 は、円盤 2 2 3 A に試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b が載置されるターンテーブル 5 2 1 が設けられている。ターンテーブル 5 2 1 は、第一ターンテーブル 5 2 1 A と第二ターンテーブル 5 2 1 B とからなる。第一ターンテーブル 5 2 1 A と第二ターンテーブル 5 2 1 B とは、軸部 2 2 3 B に関して軸対称となる位置に設けられている。すなわち、第一ターンテーブル 5 2 1 A と第二ターンテーブル 5 2 1 B とは 1 8 0 ° 位置がずれており、円盤 2 2 3 A の中心から等距離にある。これにより、軸部 2 2 3 B に関する重量や慣性モーメントのバランスを取り、スピンドル 2 2 3 の偏心や回転ムラを防止できる。また、図 1 3 に示した軸部支持手段 3 2 1 を省略し、軸部支持手段 3 2 1 を設けることによるスピンドル 2 2 3 の回転抵抗を無くすることができる。1 個の試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b を測定する場合には、図 1 4 又は図 1 5 に示すように軸対称の位置にカウンターウェイト 4 2 1 を設けることが望ましいが、本実施形態のように、重さがほぼ同じ 2 個（又は 4 個、6 個などの偶数個）の試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b を載せるターンテーブル 5 2 1 を軸部 2 2 3 B に関して軸対称の位置に配することでバランスを取り、2 個（又は 4 個、6 個などの偶数個）の試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b について平均的な流体抵抗を同時に測定することができる。

また、ターンテーブル 5 2 1 に載置された試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b は、周囲の流体 3 0 から受ける流体力により回転軸 5 2 2 を中心として回転できる。これにより、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b は、その抗力係数なるべく小さくなるような向き（円盤 2 2 3 A 周方向の投影面積が最も小さくなる向き）に自ずと回転するため、流体 3 0 中を自由沈降する場合に近い条件で流体抵抗を測定することができる。

なお、円盤 2 2 3 A とターンテーブル 5 2 1 との間には可能な限り摩擦抵抗の小さい転がり軸受 4 2 4 を設け、ターンテーブル 5 2 1 が滑らかに回転できるようにすることが望ましい。また、円盤 2 2 3 A の上下面とターンテーブル 5 2 1 との隙間、段差、又は凹凸は可能な限り小さくして、近傍の流れ場に乱れが生じないようにすることが望ましい。

【 0 0 9 3 】

図 1 7 は、本実施形態による鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置の第六実施形態を示す概略図である。なお、上記した実施形態と同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第六実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 7 2 0 は、図 1 3 に示す第二実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 3 2 0 の構造を上下反転したような構造とし、円盤 7 2 3 A の上面を平坦にしたものである。

容器 7 2 1 を支持する容器支持構造 7 2 4 は、容器 7 2 1 の外面に配置されている。円筒形の容器 7 2 1 には流体 3 0 が満たされている。

スピンドル 7 2 3 は、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b が載置される円盤 7 2 3 A と、円盤 7 2 3 A に接続された軸部 7 2 3 B を有する。 10

円盤 7 2 3 A は流体 3 0 中に水平に配置されており、軸部 7 2 3 B との接続部分を中心として回転する。

鉛直に立設した軸部 7 2 3 B は、容器 7 2 1 の底面 3 0 B を貫通して上端が円盤 7 2 3 A の下面に接続されており、下端が流体 3 0 外に配置されている。軸部 7 2 3 B の下端側には下から順にモーター 2 2 4、トルク測定手段 2 2 5、ジョイント 2 2 6 が設けられている。

軸部 7 2 3 B が容器 7 2 1 の底面 3 0 B を貫通する部分には、軸部 7 2 3 B を軸支するとともに流体 3 0 の流出を防止する防水軸受構造 7 2 5 が配置されている。

軸部 7 2 3 B は円盤 7 2 3 A を貫通していないので、軸部 7 2 3 B の直上（円盤 7 2 3 A の中央）に試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b を載せることができる。従って、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b について、並進運動による流体抵抗を除き、回転運動による流体抵抗のみを測定することができる。 20

【 0 0 9 4 】

なお、本実施形態による鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置の第一実施形態から第六実施形態において、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の流体抵抗を測定する回転式流体抵抗計（回転式粘度計）2 2 2・7 2 2 を用い、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の載置によって変化する軸部 2 2 3 B・7 2 3 B のトルクをトルク測定手段 2 2 5 により計測するものであったが、回転式流体抵抗計 2 2 2・7 2 2 において計測する物理量（流体抵抗）は軸部 2 2 3 B・7 2 3 B のトルクに限定されるものではなく、軸部 2 2 3 B・7 2 3 B のトルクを一定にしてスピンドル 2 2 3・7 2 3 を回転させ、スピンドル 2 2 3・7 2 3 の回転速度又は単位時間当たりの回転数を計測する方法であってもよい。また、例えば、スピンドル 2 2 3・7 2 3 の回転によって試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b と円盤 2 2 3 A・7 2 3 A 面との間に発生する力を、円盤 2 2 3 A・7 2 3 A 上の試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b を載置する箇所に設けた高感度の歪センサー等により計測する方法によっても、試験前評価用鉍石 1 0 a 又は試験後評価用鉍石 1 0 b の流体抵抗を定量的に計測することが可能である。 30

【 0 0 9 5 】

次に、本発明のさらに他の実施形態による鉍石の摩耗度評価方法及び鉍石の摩耗度測定装置について説明する。なお、上記した実施形態と同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。 40

【 0 0 9 6 】

図 2 0 は本実施形態による鉍石の摩耗度評価方法に用いる鉍石の摩耗度測定装置の概略図であり、図 2 0 (a) は正面図、図 2 0 (b) は斜視図である。なお、太矢印は水の循環方向を示す。

本実施形態による鉍石の摩耗度測定装置 9 2 0 は、水平に設置した透明撮影配管 9 2 1 と、透明撮影配管 9 2 1 を撮影する高速度カメラ 9 2 2 と、流体 3 0 である水を満たしたバッファタンク 9 2 3 を備え、スラリー循環式摩耗試験装置 9 0 0 に適用されている。スラリー循環式摩耗試験装置 9 0 0 は、環状に配置された配管 9 0 1 と、配管 9 0 1 に接続 50

されたスラリーポンプ902と、ホースの摩耗量計測部903を備える。

透明撮影配管921は、配管901の水平部分の一部を置き換えた形で接続されており、配管901の一部を成している。透明撮影配管921は、例えば、内径80mmの透明塩化ビニル管である。透明撮影配管921の下流側に摩耗量計測部903が設置されている。

高速度カメラ922は、透明撮影配管921に正対して設けられている。高速度カメラ922は、第1高速度カメラ922Aと第2高速度カメラ922Bの2台からなる。第1高速度カメラ922A及び第2高速度カメラ922Bのシャッタースピードは1/4000sec、フレームレートは150fpsである。

バッファタンク923は、透明撮影配管921の上流側に設置されている。水を満たしたバッファタンク923の上部から試験前評価用鉱石10a又は試験後評価用鉱石10bを投入してスラリーとし、このスラリーをスラリーポンプ902で送出することで配管901内及び透明撮影配管921内を循環させることができる。バッファタンク923を備えることで、試験前評価用鉱石10a又は試験後評価用鉱石10bを円滑に配管901に投入することができる。

また、透明撮影配管921を用いることで、配管内部を流れる試験前評価用鉱石10a又は試験後評価用鉱石10bの挙動を外部から視認・撮影することができる。

【0097】

図21は図20に示す鉱石の摩耗度測定装置の一部を上から見た図であり、透明撮影配管及び高速度カメラの配置を示している。なお、太矢印は水の循環方向を示している。また、図22は鉱石が透明撮影配管内を移動する様子を高速度カメラにより撮影した図であり、図22(a)は第1高速度カメラにより撮影した図、図22(b)は第2高速度カメラにより撮影した図である。

図21に示すように、第1高速度カメラ922Aを透明撮影配管921の上流端部921a側に設け、第2高速度カメラ922Bを透明撮影配管921の下流端部921b側に設けている。第1高速度カメラ922Aの撮影レンズ中心と第2高速度カメラ922Bの撮影レンズ中心との間隔Lは435mmとしている。このように高速度カメラ922を所定の距離を隔てて2台並設することで、鉱石10が第1高速度カメラ922Aに対応する位置から第2高速度カメラ922Bに対応する位置に至る全移動行程に基づいて鉱石10の速度を算出することができる。また、第1高速度カメラ922A又は第2高速度カメラ922Bの画角内における鉱石10の移動行程に基づいて鉱石10の速度を算出することができる。

透明撮影配管921には、例えばmm単位の目盛りが刻まれたスケール924が貼り付けられている。スケール924は、上流端部921a側から下流端部921b側にかけて高速度カメラ922の撮影範囲に位置するように貼り付けられている。これによって、図22に示すように鉱石10とスケール924を同一写真内に収めることができ、鉱石10の移動距離の把握が容易となる。なお、図22の鉱石10は、試験前評価用鉱石10aである。

【0098】

本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法を図2を用いて説明する。

本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法は、まず、鉱石スラリー循環式摩耗試験に用いる前の初期状態の複数の鉱石10の中から、無作為に試験前評価用鉱石10aを抽出する(ステップ1)。抽出した試験前評価用鉱石10aの集合をグループCとする。なお、グループC内には粒径範囲の異なる3種類(粒径大・粒径中・粒径小)が混在している。

図23は本実施形態による鉱石の摩耗度評価方法に用いる(模擬)鉱石10の外観写真である。上記した実施形態で用いたものと同様に、鉱石10の大きさは、碎石5号(兵庫県姫路市家島町西島産)、粒径約10~20mmであり、岩種は、流紋岩である。

図23(a)~(c)は、試験前評価用鉱石10a(グループC)を撮影したものである。図23(a)は粒径大(約19~22mm)の試験前評価用鉱石10aを示し、図23(b)は粒径中(約13~16mm)の試験前評価用鉱石10aを示し、図23(c)

は粒径小（約 8 ~ 11 mm）の試験前評価用鉱石 10 a を示している。試験前評価用鉱石 10 a は、いずれの粒径においても、鋭い角部を有していることが分かる。

なお、試験前評価用鉱石 10 a の表面に表示されているアルファベットは、グループ名とは無関係である。

【0099】

ステップ 1 で抽出した試験前評価用鉱石 10 a を、バッファタンク 923 に一度に投入し、試験前評価用鉱石 10 a が透明撮影配管 921 内を移動する様子を高速度カメラ 922 により撮影する。

第 1 高速度カメラ 922 A と第 2 高速度カメラ 922 B による撮影は同期をとり、撮影完了後にスケール 924 を利用して試験前評価用鉱石 10 a の配管軸方向移動距離と撮影コマ数から試験前評価用鉱石 10 a の配管軸方向移動速度を算出し、この配管軸方向移動速度を鉱石 10 の摩耗試験前のデータとして記録する（ステップ 2）。第 1 高速度カメラ 922 A と第 2 高速度カメラ 922 B の同期をとって撮影することで、2 台の高速度カメラ 922 の撮影タイミングを合わせることができる。なお、同期をとる方法は、第 1 高速度カメラ 922 A から同期信号を出し、第 2 高速度カメラ 922 B がこの同期信号に合わせて撮影を行うことにより実行される。

またステップ 2 では、試験前評価用鉱石 10 a の重量を計測し、その計測結果を鉱石 10 の摩耗試験前のデータに含める。

【0100】

次に、鉱石 10 を用いて配管類の摩耗試験を行う（ステップ 3）。

配管類は、例えば、ホース、配管、継手、又はポンプを採用できるが、本実施形態では、摩耗量計測部 903 にホースを用いている。

摩耗試験は、水を満たしたタンクに鉱石 10 を一定量投入してスラリーとし、スラリーを所定時間循環させて摩耗量計測部 903 のホース内壁の摩耗率を計測し、ホースの摩耗特性を把握する。

【0101】

次に、摩耗試験を 90 分間行った後の複数の鉱石 10 の中から、無作為に試験後評価用鉱石 10 b を抽出する（ステップ 4）。抽出した試験後評価用鉱石 10 b の集合をグループ D とする。なお、グループ D 内には粒径範囲の異なる 3 種類（粒径大・粒径中・粒径小）が混在している。

図 23 (d) ~ (f) は、試験後評価用鉱石 10 b（グループ D）を撮影したものである。図 23 (d) は粒径大（約 19 ~ 22 mm）の試験後評価用鉱石 10 b を示し、図 23 (e) は粒径中（約 13 ~ 16 mm）の試験後評価用鉱石 10 b を示し、図 23 (f) は粒径小（約 8 ~ 11 mm）の試験後評価用鉱石 10 b を示している。試験後評価用鉱石 10 b は、いずれの粒径においても、摩耗試験中の衝突により角部が取れて丸みを帯びている（円磨度が増している）ことが分かる。

なお、試験後評価用鉱石 10 b の表面に表示されているアルファベットは、グループ名とは無関係である。

【0102】

ステップ 4 で抽出した試験後評価用鉱石 10 b を、バッファタンク 923 に一度に投入し、試験後評価用鉱石 10 b が透明撮影配管 921 内を移動する様子を高速度カメラ 922 により撮影する。

第 1 高速度カメラ 922 A 及び第 2 高速度カメラ 922 B による撮影は同期をとり、撮影完了後にスケール 924 を利用して試験後評価用鉱石 10 b の配管軸方向移動距離と撮影コマ数から試験後評価用鉱石 10 b の配管軸方向移動速度を算出し、この配管軸方向移動速度を鉱石 10 の摩耗試験後のデータとして記録する（ステップ 5）。

またステップ 2 では、試験後評価用鉱石 10 b の重量を計測し、その計測結果を鉱石 10 の摩耗試験後のデータに含める。

【0103】

次に、ステップ 2 で得られた摩耗試験前のデータとステップ 5 で得られた摩耗試験後の

データとを比較し、摩耗試験の前後における鉬石 10 についての比較結果を得る（ステップ 6）。

比較結果は、例えば、試験前評価用鉬石 10 a（グループ C）の移動速度と試験後評価用鉬石 10 b（グループ D）の移動速度との比もしくは差とすることもできるが、試験前評価用鉬石 10 a のスラリー流速に対する相対速度と試験後評価用鉬石 10 b のスラリー流速に対する相対速度との比もしくは差とすることが好ましい。

鉬石 10 は摩耗度（主に角部の鋭さ）によって流体抵抗が変化するため、本実施形態のように試験前評価用鉬石 10 a 及び試験後評価用鉬石 10 b が流体 30 中を移動する速度を計測して両者の流体的特性を測定し、その比較結果を得ることで、鉬石 10 の摩耗度を簡便かつ定量的に評価できる。

【0104】

次に、ステップ 6 で得られた比較結果を、予め定めた閾値と比較し、摩耗試験に使用した鉬石 10 を次の摩耗試験に用いるか否かを判定する（ステップ 7）。

閾値は、次の摩耗試験に鉬石 10 を引き続き使用できるか否かの判定基準となる摩耗度である。比較結果（鉬石 10 の摩耗度）が基準となる摩耗度に適合しないと判定した場合には、鉬石 10 を初期状態の新品に交換し、ステップ 1 に戻る。比較結果（鉬石 10 の摩耗度）が基準となる摩耗度に適合すると判定した場合には、ステップ 3 に戻る。これにより、角が取れて丸くなった鉬石 10 を除外して、摩耗試験に用いる鉬石 10 と揚鉬現場等で採掘される実際の鉬石との乖離を極力少なくできる。従って、実際の使用状況に近い条件下で摩耗試験を実施できる。

【0105】

また、ステップ 6 で得られた比較結果を、予め定めた配管類の摩耗率と鉬石 10 の摩耗度との関係に適用し、配管類の摩耗率を推定する（ステップ 8）。

例えば、試験前評価用鉬石 10 a（グループ C）の移動速度と試験後評価用鉬石 10 b（グループ D）の移動速度の比と、図 19 に示される配管摩耗率との相関図を作成し、作成した相関図の傾向に基づいて配管類の摩耗率を推定する。

これにより、摩耗試験に用いる鉬石 10 の摩耗度を考慮したうえで配管類の摩耗特性を把握できる。従って、鉬石スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

【0106】

図 24 及び図 25 は、ステップ 6 の比較結果の例を示す図であり、鉬石 10 のスラリー流速に対する相対速度を鉬石 10 の重量で整理している。横軸は鉬石重量（g）、縦軸は鉬石の相対速度（m/sec）であり、白菱形（ ）は、粒径小の試験前評価用鉬石 10 a（グループ C）の測定結果、白丸（ ）は、粒径中の試験前評価用鉬石 10 a（グループ C）の測定結果、白四角（ ）は、粒径大の試験前評価用鉬石 10 a（グループ C）の測定結果、黒菱形（ ）は、粒径小の試験後評価用鉬石 10 b（グループ D）の測定結果、黒丸（ ）は、粒径中の試験後評価用鉬石 10 b（グループ D）の測定結果、黒四角（ ）は、粒径大の試験後評価用鉬石 10 b（グループ D）の測定結果を示す。なお、撮影時のスラリー流速は平均 3.09 m/sec であった。また、配管 901 内に投入した試験前評価用鉬石 10 a（グループ C）又は試験後評価用鉬石 10 b（グループ D）は、それぞれの撮影完了後に全て回収した。

図 24 は、鉬石 10 の相対速度を、第 1 高速度カメラ 922 A から第 2 高速度カメラ 922 B に至る全移動行程から算出した場合であり、この行程中には鉬石 10 が透明撮影配管 921 の内壁に衝突してバウンドしたり、内壁の底を擦るようして移動する場合が含まれている。

一方、図 25 は、第 1 高速度カメラ 922 A 又は第 2 高速度カメラ 922 B の画角内において、鉬石 10 が透明撮影配管 921 の内壁に衝突してバウンドしたり内壁の底を擦るようして移動することのなかった行程、すなわち鉬石 10 が流体 30 中に浮遊して移動する行程のみから鉬石 10 の移動速度を算出した場合を示している。

図 24 を見ると、粒径の小さい（軽い）鉬石 10 の場合を除き、鉬石 10 の相対速度と

10

20

30

40

50

鉍石 10 の摩耗度（グループ C と D の違い）との間には有意な相関は認められず、鉍石 10 の速度算出に用いる移動行程に、鉍石 10 が透明撮影配管 921 の内壁に衝突してバウンドしたり内壁の底を擦るようにして移動する場合が含まれていると、鉍石 10 の摩耗度をうまく評価できない場合があることがわかる。

一方、図 25 を見ると、粒径の小さい（軽い）鉍石 10 の結果に一点例外があるのを除き、いずれの粒径（重量）においてもグループ C（新品）の相対速度がグループ D（摩耗試験後）の相対速度を上回っており、鉍石 10 が流体 30 中に浮遊して移動する行程のみから鉍石 10 の移動速度を算出した場合には、鉍石 10 のスラリー流速に対する相対速度から鉍石 10 の摩耗度をより良好に評価・分類できることがわかる。

【0107】

本実施形態による鉍石の摩耗度評価方法によれば、摩耗試験に用いる鉍石 10 の摩耗度を、摩耗試験を停止することなく定量的に評価することができる。

なお、本実施形態では、鉍石の摩耗度測定装置 920 をスラリー循環式摩耗試験装置 900 に適用したが、鉍石の摩耗度測定装置 920 を、図 18 に示すスラリー循環式摩耗試験装置 800 など他のスラリー循環式摩耗試験装置に適用してもよい。

【産業上の利用可能性】

【0108】

本発明の鉍石の摩耗度評価方法及び鉍石の摩耗度測定装置は、鉍石スラリーを輸送するホースや配管等の配管類の摩耗に大きく影響する鉍石の摩耗度（主として角部の取れ具合）を定量的かつ簡便に評価することができる。そのため、配管類の耐用時間を、輸送する鉍石の特性に応じてよりの確に推定することが可能となり、輸送システムの稼働性や信頼性が向上する。また、スラリー循環式摩耗試験による実際の配管類の摩耗特性評価の精度が向上する。

【符号の説明】

【0109】

- 10 （模擬）鉍石
- 10 a 試験前評価用鉍石
- 10 b 試験後評価用鉍石
- 20、120、220、320、420、520、620、720、920 鉍石の摩耗度測定装置
- 21 鉛直カラム
- 30 流体
- 122 計時手段
- 221、721 流体収納容器
- 222、722 回転式流体抵抗計（回転式粘度計）
- 223、723 スピンドル
- 223 A、723 A 円盤
- 223 B、723 B 軸部
- 224 モーター
- 225 トルク測定手段
- 321 軸部支持手段
- 421 カウンターウェイト
- 422、521 ターンテーブル
- 921 透明撮影配管
- 922 高速度カメラ
- 923 バッファタンク
- 924 スケール

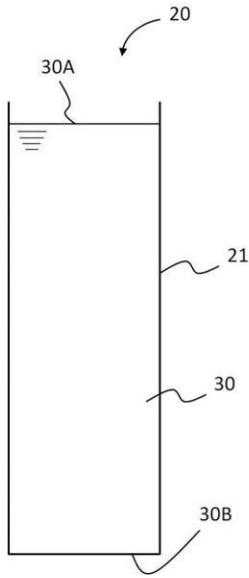
10

20

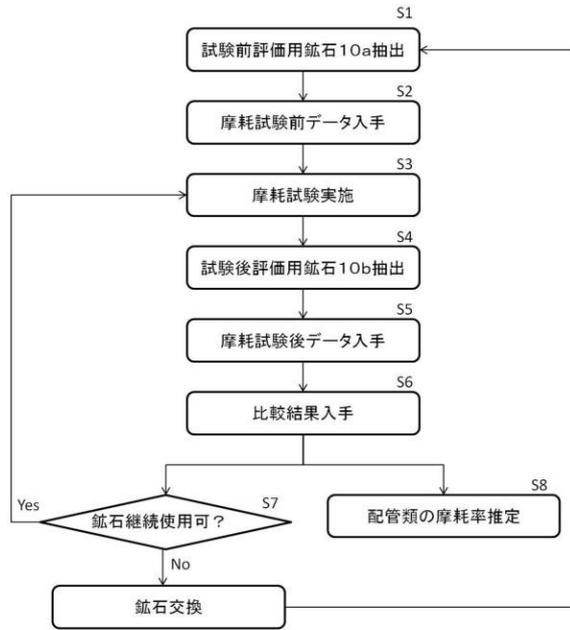
30

40

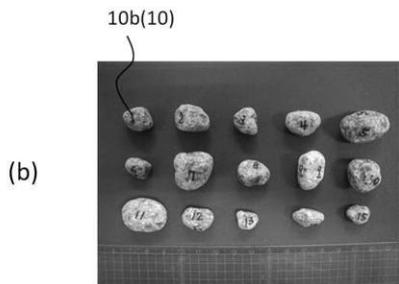
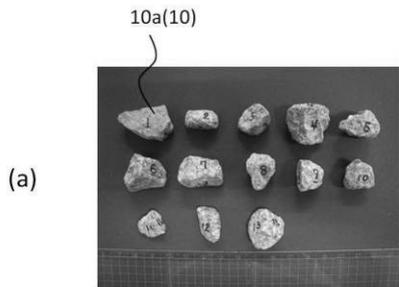
【図1】



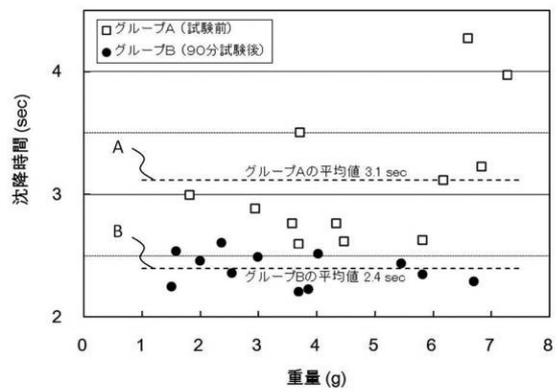
【図2】



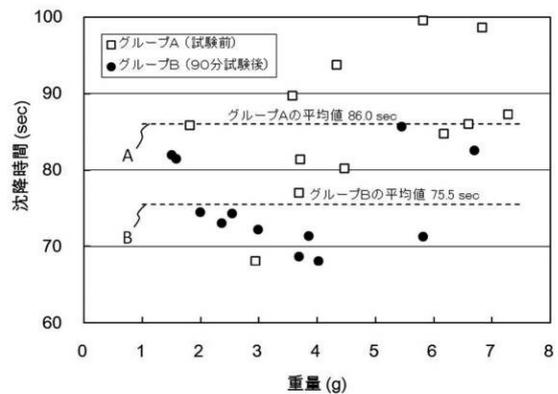
【図3】



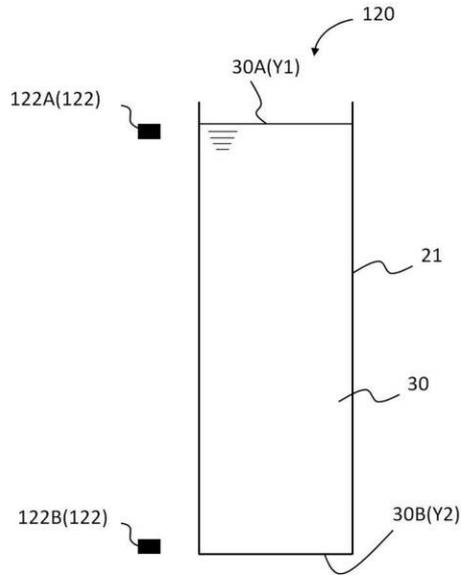
【図4】



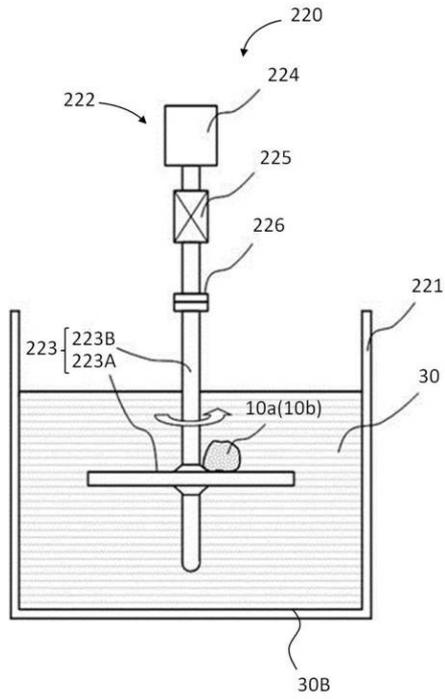
【図5】



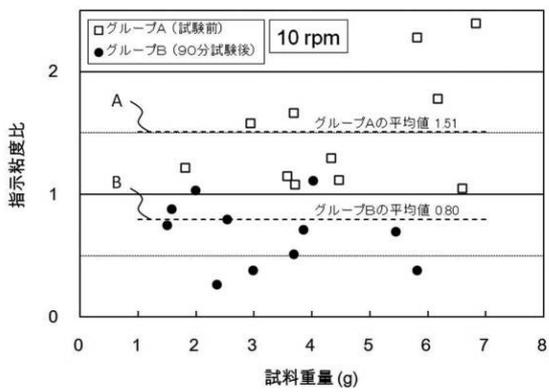
【図6】



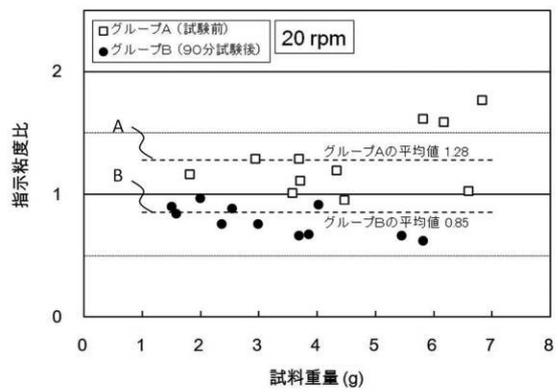
【図7】



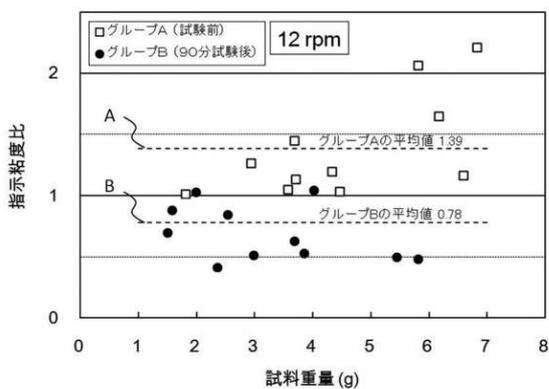
【図8】



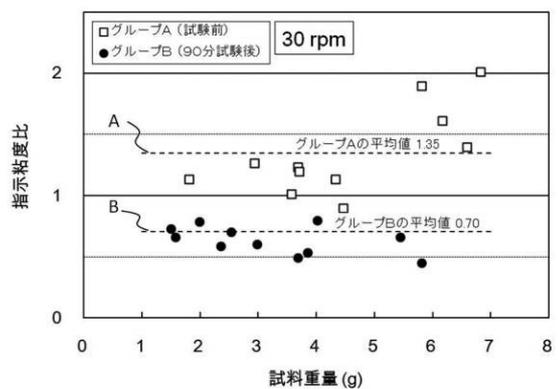
【図10】



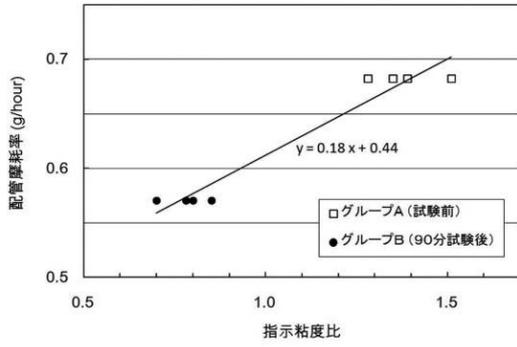
【図9】



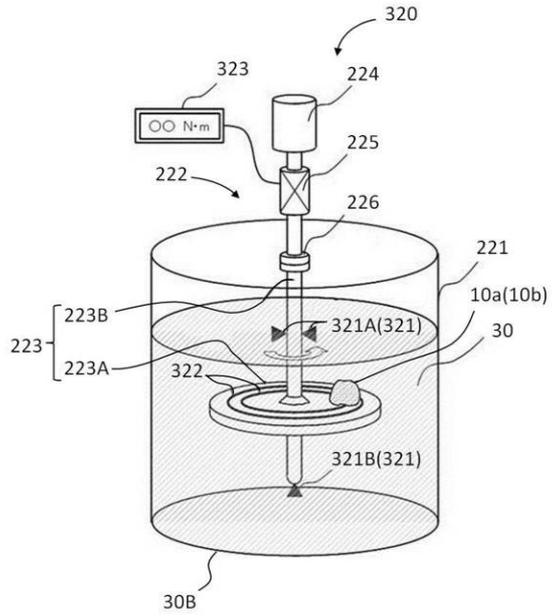
【図11】



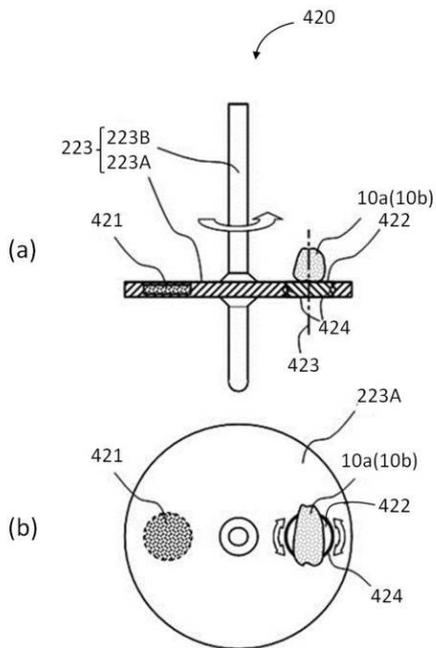
【図 1 2】



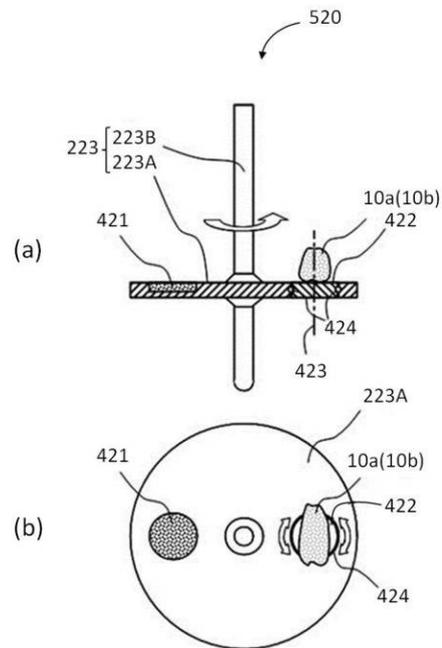
【図 1 3】



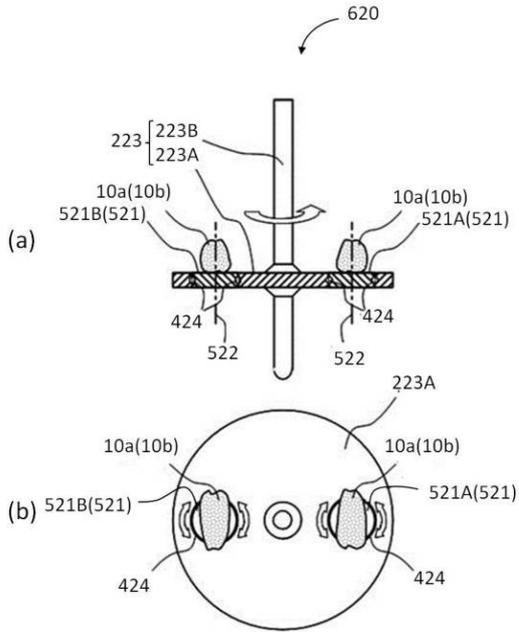
【図 1 4】



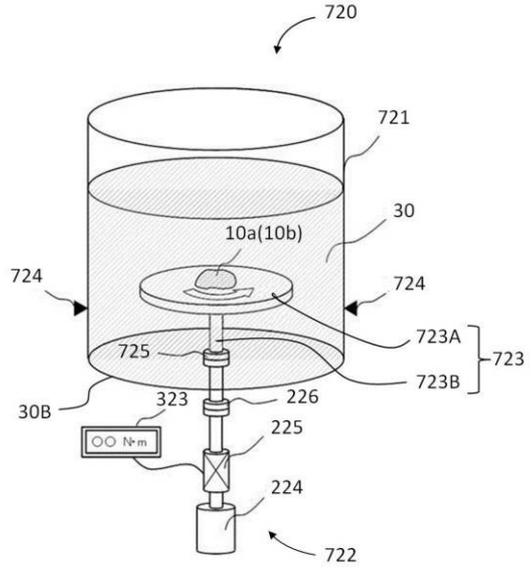
【図 1 5】



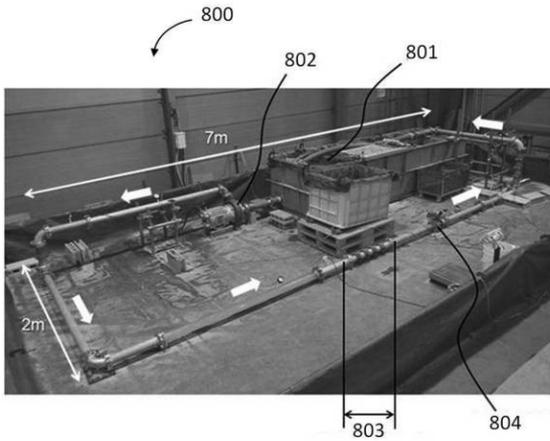
【 図 1 6 】



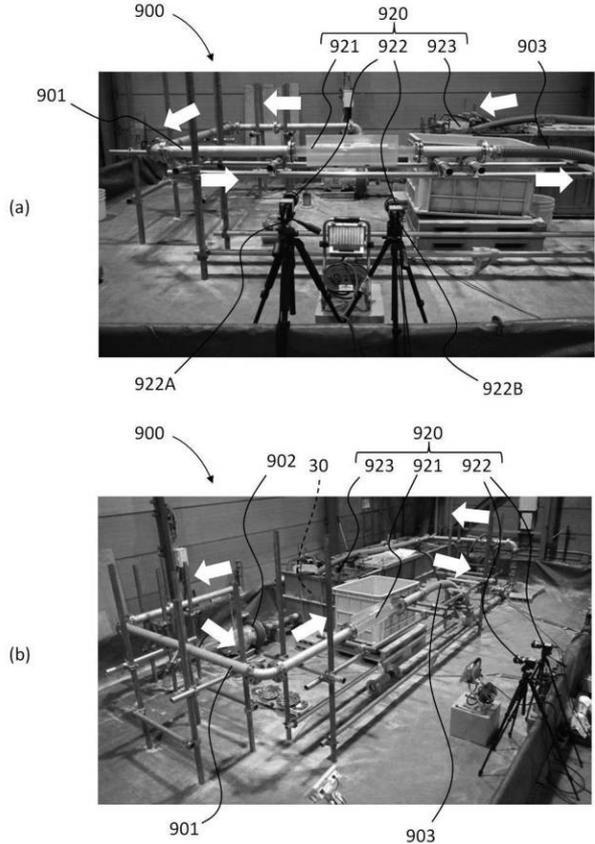
【 図 1 7 】



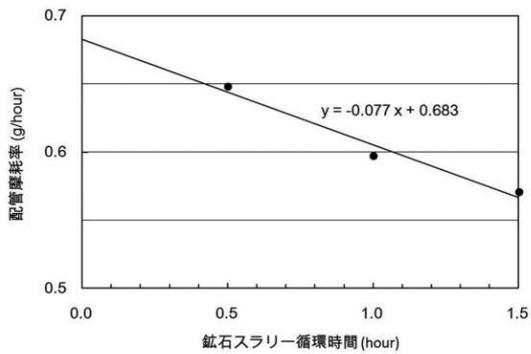
【 図 1 8 】



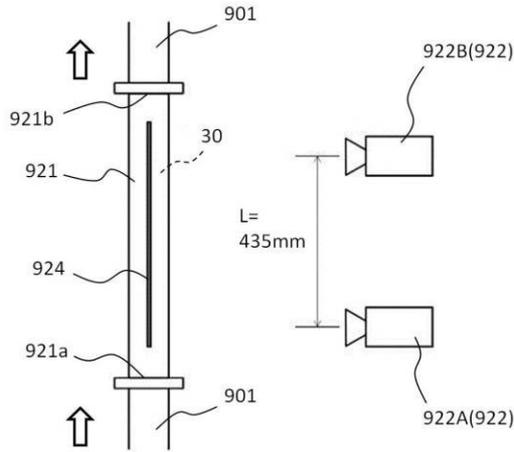
【 図 2 0 】



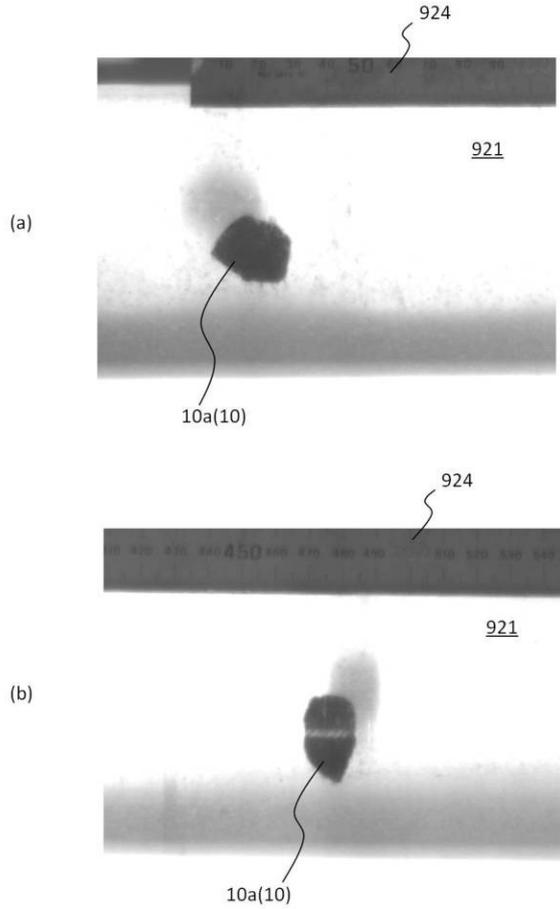
【 図 1 9 】



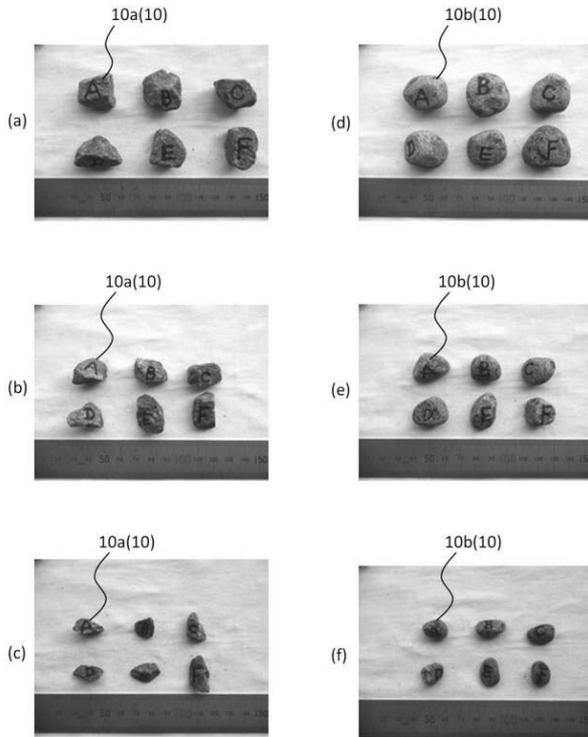
【図 2 1】



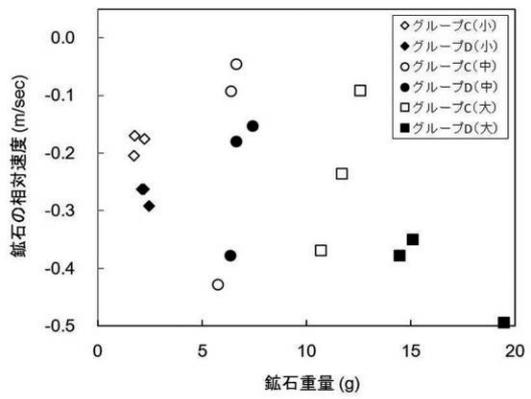
【図 2 2】



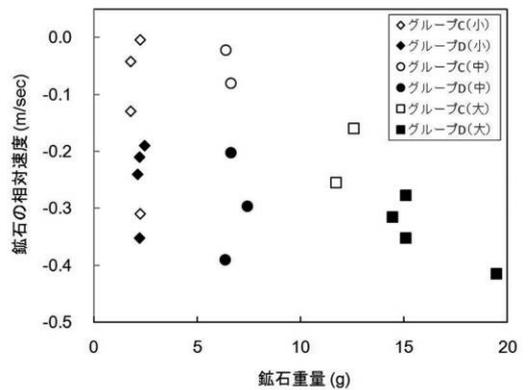
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



フロントページの続き

(72)発明者 小野 正夫

東京都三鷹市新川 6 丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 高野 慧

東京都三鷹市新川 6 丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 正信 聡太郎

東京都三鷹市新川 6 丁目 3 8 番 1 号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

審査官 佐野 浩樹

(56)参考文献 特開平 5 - 0 9 9 8 2 4 (J P , A)

特開平 8 - 0 6 2 1 1 3 (J P , A)

特開昭 6 2 - 1 0 2 1 3 7 (J P , A)

特開昭 6 1 - 0 6 6 1 4 3 (J P , A)

特開平 2 - 1 5 9 5 3 9 (J P , A)

特開 2 0 0 6 - 0 9 8 2 1 2 (J P , A)

特開平 9 - 1 2 6 9 7 0 (J P , A)

特開平 6 - 1 9 4 3 0 7 (J P , A)

特開平 1 0 - 2 5 3 6 2 1 (J P , A)

特開平 8 - 0 0 5 5 4 1 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 0 1 / 0 0 2 7 3 7 9 (U S , A 1)

米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 0 2 0 5 8 8 (U S , A 1)

韓国登録特許第 1 0 - 1 4 5 5 3 2 8 (K R , B 1)

米国特許第 5 5 3 1 1 0 4 (U S , A)

高野 慧、他、スラリー移送時の鉱石劣化が配管摩耗に及ぼす影響に関する実験的研究[online]
，日本船舶海洋工学会講演会論文集，日本，2 0 1 5 年，第 2 0 号，p. 545 548，[インターネット]
][検索日：2021/2/12]<URL:https://www.jstage.jst.go.jp/browse/conf/20/0/ contents/
char/ja?from=2> でダウンロード可能。<DOI:https://doi.org/10.14856/conf.20.0 545 >

(58)調査した分野(Int.Cl.，D B 名)

G 0 1 N 3 / 0 0 - 3 / 6 2

1 1 / 0 0 - 1 5 / 1 4