

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2021-162578
(P2021-162578A)

(43) 公開日 令和3年10月11日(2021. 10. 11)

(51) Int. Cl.
GO 1 N 17/00 (2006.01)

F I
GO 1 N 17/00

テーマコード (参考)
2 GO 5 0

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2021-36709 (P2021-36709)	(71) 出願人	501204525
(22) 出願日	令和3年3月8日 (2021. 3. 8)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(31) 優先権主張番号	特願2020-61915 (P2020-61915)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(32) 優先日	令和2年3月31日 (2020. 3. 31)	(74) 代理人	100098545
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		弁理士 阿部 伸一
		(74) 代理人	100189717
			弁理士 太田 貴章
		(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

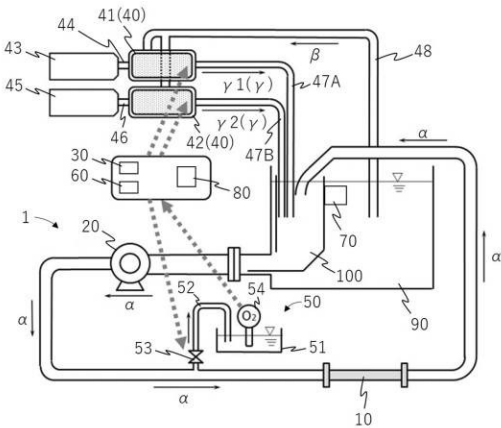
(54) 【発明の名称】 配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム

(57) 【要約】

【課題】 実機に即した条件で配管等の腐食摩耗データを取得することができる配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システムを提供すること。

【解決手段】 流体を輸送する配管の内部の腐食と摩耗を、試験配管10に試験流体αを循環させて試験する方法においては、配管の実際の使用条件及び／又は使用環境に応じて変化する流体の中に含まれる実機溶存酸素量を考慮して試験流体αの溶存酸素量を設定する溶存酸素量設定ステップS1と、試験流体αに酸素及び／又は不活性ガスを含有する気体含有流体γを供給する気体含有流体供給ステップS2と、溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測ステップS3と、設定された溶存酸素量と計測された溶存酸素量とに基づいて気体含有流体γの供給量を制御する制御ステップS4とを備えた。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

流体を輸送する配管の内部の腐食と摩耗を、試験配管に試験流体を循環させて試験する方法であって、
前記配管の実際の使用条件及び／又は使用環境に応じて変化する前記流体の中に含まれる実機溶存酸素量を考慮して前記試験流体の溶存酸素量を設定する溶存酸素量設定ステップと、
前記試験流体に酸素及び／又は不活性ガスを含有する気体含有流体を供給する気体含有流体供給ステップと、
前記溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測ステップと、
設定された前記溶存酸素量と計測された前記溶存酸素量とに基づいて前記気体含有流体の供給量を制御する制御ステップとを備えたことを特徴とする配管の腐食摩耗試験方法。

10

【請求項 2】

前記使用条件には、実際の前記配管を使用する前記流体の種類、圧力、及び輸送方式の少なくとも一つ、前記使用環境には、水域、及び水深の少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の配管の腐食摩耗試験方法。

【請求項 3】

前記試験を実行する前に、前記試験流体を循環させながら前記気体含有流体供給ステップと、前記溶存酸素量計測ステップと、前記制御ステップとを溶存酸素量調整ループとして実行することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の配管の腐食摩耗試験方法。

20

【請求項 4】

前記溶存酸素量調整ループで設定された前記溶存酸素量が得られた後、所定の腐食試験時間、前記循環を継続する腐食試験ループをさらに備えたことを特徴とする請求項 3 に記載の腐食摩耗試験方法。

【請求項 5】

前記試験流体が、鉍石スラリーであることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の配管の腐食摩耗試験方法。

【請求項 6】

鉍石を投入し、前記溶存酸素量調整ループで設定された前記溶存酸素量が得られた後、所定の摩耗試験時間、前記循環を継続する摩耗試験ループをさらに備えたことを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 を引用する請求項 5 に記載の腐食摩耗試験方法。

30

【請求項 7】

前記腐食試験ループの後に前記摩耗試験ループを実行することを特徴とする請求項 4 を引用する請求項 6 に記載の腐食摩耗試験方法。

【請求項 8】

前記摩耗試験ループにおいては、前記溶存酸素量を計測する前記溶存酸素量計測ステップを行わないことを特徴とする請求項 6 又は請求項 7 に記載の腐食摩耗試験方法。

【請求項 9】

前記気体含有流体は、前記酸素及び／又は前記不活性ガスをファインバブルとして含有したファインバブル水であることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の腐食摩耗試験方法。

40

【請求項 10】

流体を輸送する配管の内部の腐食と摩耗を、試験配管に試験流体を循環させて試験するシステムであって、
前記試験配管を一部に有する循環経路と、
前記試験流体を循環させる循環手段と、
前記配管の実際の使用条件及び／又は使用環境に応じて変化する前記流体の中に含まれる実機溶存酸素量を考慮して前記試験流体の溶存酸素量を設定する溶存酸素量設定手段と、
前記試験流体に酸素及び／又は不活性ガスを含有する気体含有流体を供給する気体含有流体供給手段と、

50

前記溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測手段と、
設定された前記溶存酸素量と計測された前記溶存酸素量とに基づいて前記気体含有流体の供給量を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする配管の腐食摩耗試験システム。

【請求項 1 1】

前記試験流体が鉍石スラリーであり、前記循環経路に鉍石供給手段を備えたことを特徴とする請求項 1 0 に記載の配管の腐食摩耗試験システム。

【請求項 1 2】

前記気体含有流体供給手段から供給される前記気体含有流体は、前記酸素及び／又は前記不活性ガスをファインバブルとして含有したファインバブル水であることを特徴とする請求項 1 0 又は請求項 1 1 に記載の腐食摩耗試験システム。

10

【請求項 1 3】

前記気体含有流体供給手段は、酸素供給源から供給される前記酸素を水中で気泡化させて酸素ファインバブル水とする及び／又は不活性ガス供給源から供給される前記不活性ガスを水中で気泡化させて不活性ガスファインバブル水とする、前記循環経路に接続される酸素／不活性ガスファインバブル発生装置であることを特徴とする請求項 1 2 に記載の腐食摩耗試験システム。

【請求項 1 4】

前記制御手段は、前記酸素ファインバブル水と前記不活性ガスファインバブル水の各々の供給量を制御して前記試験流体に供給することを特徴とする請求項 1 3 に記載の腐食摩耗試験システム。

20

【請求項 1 5】

前記気体含有流体供給手段は、酸素供給源から供給される前記酸素及び／又は不活性ガス供給源から供給される前記不活性ガスを水中で気泡化させて前記ファインバブル水とする、前記循環経路に接続される酸素／不活性ガスファインバブル発生装置であることを特徴とする請求項 1 2 に記載の腐食摩耗試験システム。

【請求項 1 6】

前記制御手段は、前記酸素と前記不活性ガスの各々の供給量を制御して前記酸素／不活性ガスファインバブル発生装置に供給することを特徴とする請求項 1 5 に記載の腐食摩耗試験システム。

【請求項 1 7】

前記溶存酸素量計測手段が、前記循環経路の前記試験配管の近傍に設けられていることを特徴とする請求項 1 0 から請求項 1 6 のいずれか 1 項に記載の腐食摩耗試験システム。

30

【請求項 1 8】

前記循環経路に取り付けた取出管にバルブを介して接続された計測用容器を有した前記溶存酸素量計測手段の溶存酸素計が、前記計測用容器に臨んで設けられることを特徴とする請求項 1 7 に記載の腐食摩耗試験システム。

【請求項 1 9】

前記溶存酸素量計測手段が、前記循環経路に着脱可能に設けられることを特徴とする請求項 1 7 に記載の腐食摩耗試験システム。

【請求項 2 0】

前記溶存酸素量計測手段が、前記循環経路に設けたフランジ部に着脱可能に取り付けられ、前記溶存酸素量計測手段の溶存酸素計が前記循環経路中に臨んで設けられることを特徴とする請求項 1 9 に記載の腐食摩耗試験システム。

40

【請求項 2 1】

少なくとも前記溶存酸素量計測手段の計測結果と、前記制御手段の制御状態を表示する表示手段を備えたことを特徴とする請求項 1 0 から請求項 2 0 のいずれか 1 項に記載の腐食摩耗試験システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

50

本発明は、流体を輸送する配管の内部の腐食と摩耗を、試験配管に試験流体を循環させて試験する配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、熱水鉱床やマンガン団塊、コバルトリッチクラストに代表される海底鉱物資源の開発機運が国内外で高まっており、関連技術の確立や使用機器及び材料に関するデータの蓄積が急務となっている。

海底で採取された鉱石の輸送には金属製の配管（ポンプ等の機器も含む）を用いることが多いが、配管の材質が鋼等の腐食しやすい金属である場合、輸送中に生じる配管の摩耗には輸送流体（主に海水）による腐食が大きく影響すると考えられる。配管の腐食は輸送流体中の溶存酸素量（Dissolved Oxygen, 以下「DO」とも表記する）に大きく依存する。

10

【0003】

また、粒径が100 μm 以下の液中気泡のことを総称してファインバブルと呼ぶが、このファインバブルは通常の大サイズの気泡と比較して種々の特殊な性質を有していることから、近年、多様な適用研究が行われ、産業上の応用範囲は多岐に及んでいる。

例えば、水中もしくは海水中にファインバブルを生成する気体として酸素を用いた場合、液中のDO値を顕著に高めることが可能であり、養殖する魚の生育を飛躍的に促進させる効果を有することが知られている。

一方、水中もしくは海水中にファインバブルを生成する気体として窒素を用いた場合、窒素ファインバブルの作用により酸素が放出されてDO値が減少し、いわゆる脱気作用が生じるため、漁獲された魚の鮮度低下や腐敗を顕著に防止する効果を有することが報告されている。

20

【0004】

ここで、特許文献1には、試験スラリー流体が流体流動手段により一定方向に循環される循環路の一部に、一定方向に沿って縮径する段差部を有する昇圧部が形成され、テストピースが昇圧部の出口に臨ませられて着脱自在に装着されるとともに、昇圧部の出口には出口よりさらに縮径された流路を持つノズルが着脱自在に装着された摩耗試験装置が開示されている。

また、特許文献2には、試験片を腐食液中にさらす腐食液槽と、腐食液槽に腐食液を供給する液タンクと、液タンク及び腐食液槽の間に腐食液を循環させる循環機構と、腐食液中の溶存酸素量を減少させるため液タンク内の腐食液中に窒素ガスをバブリングさせるバブリング機構と、内部に窒素ガスを封入した隔離室と、腐食液を採集する採集堰とを備えた腐食試験装置が開示されている。

30

また、特許文献3には、高濃度溶存酸素水が貯溜される貯水槽と、貯水槽内の高濃度溶存酸素水の溶存酸素濃度を調整する溶存酸素濃度調整手段と、高濃度塩水が貯溜されると共に高濃度塩水に試験片が沈められるオートクレーブと、高濃度溶存酸素水をオートクレーブ内に送給する送給手段と、オートクレーブ内を真空引きする真空排気手段と、高濃度塩水の溶存酸素濃度を測定する溶存酸素濃度測定手段と、オートクレーブを加熱する加熱手段とを備えた腐食試験装置が開示されている。

40

また、特許文献4には、水が充填された耐圧容器と、耐圧容器内に配置された少なくとも1基のマイクロノズルと、ガス供給管路を介してマイクロノズルに接続されたガス供給源とを備え、マイクロノズルが、金属パイプの一方の端部を圧縮して平板状の閉鎖端にし、閉鎖端を研磨して、金属パイプの内部と連通する複数の微小孔を有するように形成されており、耐圧容器内に、マイクロノズルの微小孔を介して、ガス供給源内の高圧ガスを噴射することによりファインバブル水を製造するファインバブル水製造装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

50

【特許文献１】実公昭６２－１７７０３号公報

【特許文献２】特開昭５３－９９９９５号公報

【特許文献３】特開２０１３－１２７３８９号公報

【特許文献４】特開２０１９－１３６６３８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

鉱石スラリーを輸送する配管等の摩耗特性を把握する場合、通常、模擬鉱石と水又は人工海水を混合した鉱石スラリーを用いた循環式摩耗試験が行われることが多い。配管等の摩耗データを循環式摩耗試験により実験的に取得する際には、試験に用いる輸送流体中の溶存酸素量や、配管等で腐食が進行するまでの時間を実機の場合と概ね揃える必要がある。しかし、実機における溶存酸素量は水深（水圧）、水域、輸送方式（スラリー式、ガスリフト式など）、稼働時期等により大きく変化するため、これらに合わせて摩耗試験装置内を循環する流体中の溶存酸素量を定量的に制御することは困難であった。また、鉱石スラリーを用いた循環式摩耗試験では、鉱石による物理的衝突や破砕された鉱石粉による循環水の懸濁等が生じるため、試験中の溶存酸素量を正確に計測すること自体が困難であった。更に、摩耗試験中に配管等の腐食が進行すると、腐食現象に伴う溶存酸素量の消費量が増大し、輸送流体中の溶存酸素量が徐々に低下していくが、摩耗試験は比較的短時間で終了してしまうため、試験部の腐食が進行するのに必要な時間を経過させるのは困難であった。

10

20

また、特許文献１から特許文献４は、鉱石スラリー等の試験流体を用いた循環式摩耗試験において、循環水中の溶存酸素量を実機条件に合わせて定量的に制御するものではない。

そこで本発明は、実機に即した条件で配管等の腐食摩耗データを取得することができる配管の腐食摩耗試験方法及び配管の腐食摩耗試験システム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】

【０００７】

請求項１記載に対応した配管の腐食摩耗試験方法においては、流体を輸送する配管の内部の腐食と摩耗を、試験配管に試験流体を循環させて試験する方法であって、配管の実際の使用条件及び／又は使用環境に応じて変化する流体の中に含まれる実機溶存酸素量を考慮して試験流体の溶存酸素量を設定する溶存酸素量設定ステップと、試験流体に酸素及び／又は不活性ガスを含有する気体含有流体を供給する気体含有流体供給ステップと、溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測ステップと、設定された溶存酸素量と計測された溶存酸素量とに基づいて気体含有流体の供給量を制御する制御ステップとを備えたことを特徴とする。

30

請求項１に記載の本発明によれば、配管の実機溶存酸素量を考慮して試験流体の溶存酸素量を設定したうえで、試験配管が設けられた循環経路を循環する試験流体における溶存酸素量を定量的に制御した状態で腐食摩耗試験を行い、実機に即した条件で配管の腐食摩耗データを取得することができる。

【０００８】

40

請求項２記載の本発明は、使用条件には、実際の配管を使用する流体の種類、圧力、及び輸送方式の少なくとも一つ、使用環境には、水域、及び水深の少なくとも一つを含むことを特徴とする。

請求項２に記載の本発明によれば、配管の実際の使用条件や使用環境により大きく異なる溶存酸素量を具体的に考慮し、溶存酸素量設定ステップにおいて溶存酸素量をより適切に設定することができる。

【０００９】

請求項３記載の本発明は、試験を実行する前に、試験流体を循環させながら気体含有流体供給ステップと、溶存酸素量計測ステップと、制御ステップとを溶存酸素量調整ループとして実行することを特徴とする。

50

請求項 3 に記載の本発明によれば、摩耗試験による試験流体の懸濁等の影響を避け、試験流体の溶存酸素量を設定した溶存酸素量に調整することができる。

【0010】

請求項 4 に記載の本発明は、溶存酸素量調整ループで設定された溶存酸素量が得られた後、所定の腐食試験時間、循環を継続する腐食試験ループをさらに備えたことを特徴とする。

請求項 4 に記載の本発明によれば、設定された試験流体の溶存酸素量に制御した状態で腐食試験を行い、試験配管の腐食進行の度合いを実機の条件に近づけることができる。

【0011】

請求項 5 に記載の本発明は、試験流体が、鉱石スラリーであることを特徴とする。

10

請求項 5 に記載の本発明によれば、鉱石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0012】

請求項 6 に記載の本発明は、鉱石を投入し、溶存酸素量調整ループで設定された溶存酸素量が得られた後、所定の摩耗試験時間、循環を継続する摩耗試験ループをさらに備えたことを特徴とする。

請求項 6 に記載の本発明によれば、設定された試験流体の溶存酸素量に制御した状態で循環を継続し、鉱石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0013】

請求項 7 に記載の本発明は、腐食試験ループの後に摩耗試験ループを実行することを特徴とする。

20

請求項 7 に記載の本発明によれば、試験配管の腐食進行の度合いが実機の条件に近い状態で腐食試験を行い、その後に摩耗試験を行うことで、試験流体の溶存酸素量を設定された溶存酸素量に制御した状態で、配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0014】

請求項 8 に記載の本発明は、摩耗試験ループにおいては、溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測ステップを行わないことを特徴とする。

請求項 8 に記載の本発明によれば、鉱石や破碎された鉱石粉の混じった試験流体に対して、溶存酸素量の計測機器を保全することができ、また試験流体の懸濁等の影響で溶存酸素量の計測が不正確となり制御性が悪化することを防止できる。

30

【0015】

請求項 9 に記載の本発明は、気体含有流体は、酸素及び／又は不活性ガスをファインバブルとして含有したファインバブル水であることを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、試験流体中の溶存酸素量を精度よく制御することができ、また実機の溶存酸素量に近づけることができる。

【0016】

請求項 10 に記載の本発明に対応した配管の腐食摩耗試験システムにおいては、流体を輸送する配管の内部の腐食と摩耗を、試験配管に試験流体を循環させて試験するシステムであって、試験配管を一部に有する循環経路と、試験流体を循環させる循環手段と、配管の実際の使用条件及び／又は使用環境に応じて変化する流体の中に含まれる実機溶存酸素量を考慮して試験流体の溶存酸素量を設定する溶存酸素量設定手段と、試験流体に酸素及び／又は不活性ガスを含有する気体含有流体を供給する気体含有流体供給手段と、溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測手段と、設定された溶存酸素量と計測された溶存酸素量とに基づいて気体含有流体の供給量を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする。

40

請求項 10 に記載の本発明によれば、配管の実機溶存酸素量を考慮して試験流体の溶存酸素量を溶存酸素量設定手段で設定したうえで、試験配管が設けられた循環経路を循環する試験流体における溶存酸素量を定量的に制御した状態で腐食摩耗試験を行い、実機に即した条件で配管の腐食摩耗データを取得することができる。

【0017】

請求項 11 に記載の本発明は、試験流体が鉱石スラリーであり、循環経路に鉱石供給手段

50

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、鉬石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0018】

請求項 1 2 に記載の本発明は、気体含有流体供給手段から供給される気体含有流体は、酸素及び／又は不活性ガスをファインバブルとして含有したファインバブル水であることを特徴とする。

請求項 1 2 に記載の本発明によれば、試験流体中の溶存酸素量を精度よく制御することができ、また実機の溶存酸素量に近づけることができる。

【0019】

請求項 1 3 に記載の本発明は、気体含有流体供給手段は、酸素供給源から供給される酸素を水中で気泡化させて酸素ファインバブル水とする及び／又は不活性ガス供給源から供給される不活性ガスを水中で気泡化させて不活性ガスファインバブル水とする、循環経路に接続される酸素／不活性ガスファインバブル発生装置であることを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、ファインバブル水を効率よく生成し、循環経路に供給することができる。

【0020】

請求項 1 4 に記載の本発明は、制御手段は、酸素ファインバブル水と不活性ガスファインバブル水の各々の供給量を制御して試験流体に供給することを特徴とする。

請求項 1 4 に記載の本発明によれば、酸素ファインバブル水と不活性ガスファインバブル水の各々の供給量を制御して適切な比率で試験流体に混合させ、設定した溶存酸素量に近づけることができる。

【0021】

請求項 1 5 に記載の本発明は、気体含有流体供給手段は、酸素供給源から供給される酸素及び／又は不活性ガス供給源から供給される不活性ガスを水中で気泡化させてファインバブル水とする、循環経路に接続される酸素／不活性ガスファインバブル発生装置であることを特徴とする。

請求項 1 5 に記載の本発明によれば、1 台のファインバブル発生装置で酸素と不活性ガスが混合したファインバブル水を生成し、循環経路に供給可能であるため、装置を小型化することができる。

【0022】

請求項 1 6 に記載の本発明は、制御手段は、酸素と不活性ガスの各々の供給量を制御して酸素／不活性ガスファインバブル発生装置に供給することを特徴とする。

請求項 1 6 に記載の本発明によれば、酸素と不活性ガスを適切な比率で混合してファインバブル水を生成して試験流体に供給し、設定した溶存酸素量に近づけることができる。

【0023】

請求項 1 7 に記載の本発明は、溶存酸素量計測手段が、循環経路の試験配管の近傍に設けられていることを特徴とする。

請求項 1 7 に記載の本発明によれば、試験配管での溶存酸素量を適切に把握して制御を行い、設定した溶存酸素量に近づけることができる。

【0024】

請求項 1 8 に記載の本発明は、循環経路に取り付けた取出管にバルブを介して接続された計測用容器を有した溶存酸素量計測手段の溶存酸素計が、計測用容器に臨んで設けられることを特徴とする。

請求項 1 8 に記載の本発明によれば、試験流体中の溶存酸素量を精度よく計測することができる。

【0025】

請求項 1 9 に記載の本発明は、溶存酸素量計測手段が、循環経路に着脱可能に設けられることを特徴とする。

請求項 1 9 に記載の本発明によれば、試験流体中の溶存酸素量を計測するための機器を

10

20

30

40

50

少なくして構成を簡素化することができる。

【0026】

請求項20記載の本発明は、溶存酸素量計測手段が、循環経路に設けたフランジ部に着脱可能に取り付けられ、溶存酸素量計測手段の溶存酸素計が循環経路中に臨んで設けられることを特徴とする。

請求項20に記載の本発明によれば、フランジ取り付けとすることで、溶存酸素量計測手段を循環経路からフランジごと簡単に取り外すことが可能となる等、溶存酸素量計測手段の着脱が容易となる。また、溶存酸素量計測手段の溶存酸素計を循環経路中に臨ませることにより、試験流体中の溶存酸素量をより直接的に計測できるため、計測値の応答や精度を向上させることができる。

10

【0027】

請求項21記載の本発明は、少なくとも溶存酸素量計測手段の計測結果と、制御手段の制御状態を表示する表示手段を備えたことを特徴とする。

請求項21に記載の本発明によれば、腐食摩耗試験の実施者等が、試験流体の溶存酸素量とその制御状況を的確に把握することができる。

【発明の効果】

【0028】

本発明の配管の腐食摩耗試験方法によれば、配管の実機溶存酸素量を考慮して試験流体の溶存酸素量を設定したうえで、試験配管が設けられた循環経路を循環する試験流体における溶存酸素量を定量的に制御した状態で腐食摩耗試験を行い、実機に即した条件で配管の腐食摩耗データを取得することができる。

20

【0029】

また、使用条件には、実際の配管を使用する流体の種類、圧力、及び輸送方式の少なくとも一つ、使用環境には、水域、及び水深の少なくとも一つを含む場合は、配管の実際の使用条件や使用環境により大きく異なる溶存酸素量を具体的に考慮し、溶存酸素量設定ステップにおいて溶存酸素量をより適切に設定することができる。

【0030】

また、試験を実行する前に、試験流体を循環させながら気体含有流体供給ステップと、溶存酸素量計測ステップと、制御ステップとを溶存酸素量調整ループとして実行する場合は、摩耗試験による試験流体の懸濁等の影響を避け、試験流体の溶存酸素量を設定した溶存酸素量に調整することができる。

30

【0031】

また、溶存酸素量調整ループで設定された溶存酸素量が得られた後、所定の腐食試験時間、循環を継続する腐食試験ループをさらに備えた場合は、設定された試験流体の溶存酸素量に制御した状態で腐食試験を行い、試験配管の腐食進行の度合いを実機の条件に近づけることができる。

【0032】

また、試験流体が、鉍石スラリーである場合は、鉍石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0033】

また、鉍石を投入し、溶存酸素量調整ループで設定された溶存酸素量が得られた後、所定の摩耗試験時間、循環を継続する摩耗試験ループをさらに備えた場合は、設定された試験流体の溶存酸素量に制御した状態で循環を継続し、鉍石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

40

【0034】

また、腐食試験ループの後に摩耗試験ループを実行する場合は、試験配管の腐食進行の度合いが実機の条件に近い状態で腐食試験を行い、その後に摩耗試験を行うことで、試験流体の溶存酸素量を設定された溶存酸素量に制御した状態で、配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0035】

50

また、摩耗試験ループにおいては、溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測ステップを行わない場合は、鉱石や破砕された鉱石粉の混じった試験流体に対して、溶存酸素量の計測機器を保全することができ、また試験流体の懸濁等の影響で溶存酸素量の計測が不正確となり制御性が悪化することを防止できる。

【0036】

また、気体含有流体は、酸素及び／又は不活性ガスをファインバブルとして含有したファインバブル水である場合は、試験流体中の溶存酸素量を精度よく制御することができ、また実機の溶存酸素量に近づけることができる。

【0037】

また、本発明の配管の腐食摩耗試験システムによれば、配管の実機溶存酸素量を考慮して試験流体の溶存酸素量を溶存酸素量設定手段で設定したうえで、試験配管が設けられた循環経路を循環する試験流体における溶存酸素量を定量的に制御した状態で腐食摩耗試験を行い、実機に即した条件で配管の腐食摩耗データを取得することができる。

10

【0038】

また、試験流体が鉱石スラリーであり、循環経路に鉱石供給手段を備えた場合は、鉱石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0039】

また、気体含有流体供給手段から供給される気体含有流体は、酸素及び／又は不活性ガスをファインバブルとして含有したファインバブル水である場合は、試験流体中の溶存酸素量を精度よく制御することができ、また実機の溶存酸素量に近づけることができる。

20

【0040】

また、気体含有流体供給手段は、酸素供給源から供給される酸素を水中で気泡化させて酸素ファインバブル水とする及び／又は不活性ガス供給源から供給される不活性ガスを水中で気泡化させて不活性ガスファインバブル水とする、循環経路に接続される酸素／不活性ガスファインバブル発生装置である場合は、ファインバブル水を効率よく生成し、循環経路に供給することができる。

【0041】

また、制御手段は、酸素ファインバブル水と不活性ガスファインバブル水の各々の供給量を制御して試験流体に供給する場合は、酸素ファインバブル水と不活性ガスファインバブル水の各々の供給量を制御して適切な比率で試験流体に混合させ、設定した溶存酸素量に近づけることができる。

30

【0042】

また、気体含有流体供給手段は、酸素供給源から供給される酸素及び／又は不活性ガス供給源から供給される不活性ガスを水中で気泡化させてファインバブル水とする、循環経路に接続される酸素／不活性ガスファインバブル発生装置である場合は、1台のファインバブル発生装置で酸素と不活性ガスが混合したファインバブル水を生成し、循環経路に供給可能であるため、装置を小型化することができる。

【0043】

また、制御手段は、酸素と不活性ガスの各々の供給量を制御して酸素／不活性ガスファインバブル発生装置に供給する場合は、酸素と不活性ガスを適切な比率で混合してファインバブル水を生成して試験流体に供給し、設定した溶存酸素量に近づけることができる。

40

【0044】

また、溶存酸素量計測手段が、循環経路の試験配管の近傍に設けられている場合は、試験配管での溶存酸素量を適切に把握して制御を行い、設定した溶存酸素量に近づけることができる。

【0045】

また、循環経路に取り付けた取出管にバルブを介して接続された計測用容器を有した溶存酸素量計測手段の溶存酸素計が、計測用容器に臨んで設けられる場合は、試験流体中の溶存酸素量を精度よく計測することができる。

【0046】

50

また、溶存酸素量計測手段が、循環経路に着脱可能に設けられる場合は、試験流体中の溶存酸素量を計測するための機器を少なくして構成を簡素化することができる。

【0047】

また、溶存酸素量計測手段が、循環経路に設けたフランジ部に着脱可能に取り付けられ、溶存酸素量計測手段の溶存酸素計が循環経路中に臨んで設けられる場合は、フランジ取り付けとすることで、溶存酸素量計測手段を循環経路からフランジごと簡単に取り外すことが可能となる等、溶存酸素量計測手段の着脱が容易となる。また、溶存酸素量計測手段の溶存酸素計を循環経路中に臨ませることにより、試験流体中の溶存酸素量をより直接的に計測できるため、計測値の応答や精度を向上させることができる。

【0048】

また、少なくとも溶存酸素量計測手段の計測結果と、制御手段の制御状態を表示する表示手段を備えた場合は、腐食摩耗試験の実施者等が、試験流体の溶存酸素量とその制御状況を的確に把握することができる。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明の第一の実施形態による腐食摩耗試験システムの構成図

【図2】同腐食摩耗試験システムを用いた腐食摩耗試験方法のフロー

【図3】同溶存酸素量設定ステップの詳細フロー

【図4】同溶存酸素量設定ステップ後の詳細フロー

【図5】本発明の第二の実施形態による腐食摩耗試験システムの構成図

【図6】同溶存酸素量設定ステップ後の詳細フロー

【図7】本発明の第一の実施例における実験結果を示す、浸漬後4時間経過した状態における容器外側からの外観写真

【図8】同実施例1〜3における経過時間に伴う溶存酸素量の変化を示す図

【図9】同実施例4〜6における経過時間に伴う溶存酸素量の変化を示す図

【図10】本発明の第二の実施例の腐食摩耗試験システムの構成図

【図11】同腐食摩耗試験システムの概観写真

【図12】同循環経路からの溶存酸素量計測手段の取り外しを示す図

【図13】同気泡発生装置の外観写真

【図14】同比較例1において試験中に計測された試験流体中における溶存酸素量の経時変化の様子を示したグラフ

【図15】同実施例7において試験中に計測された試験流体中における溶存酸素量の経時変化の様子を示したグラフ

【図16】同実施例8において試験中に計測された試験流体中における溶存酸素量の経時変化の様子を示したグラフ

【発明を実施するための形態】

【0050】

本発明の第一の実施形態による配管の腐食摩耗試験方法、及び配管の腐食摩耗試験システムについて説明する。

【0051】

図1は第一の実施形態による腐食摩耗試験システムの構成図である。

腐食摩耗試験システムは、試験配管10を一部に有する循環経路1と、循環経路1に設けられ試験流体αを循環させる循環手段20と、試験流体αの溶存酸素量を設定する溶存酸素量設定手段30と、試験流体αに気体含有流体γを供給する気体含有流体供給手段40と、循環経路1を流れる試験流体αの溶存酸素量を計測する溶存酸素量計測手段50と、気体含有流体γの供給量を制御する制御手段60と、循環経路1に設けられ鉬石を供給する鉬石供給手段70と、表示手段80を備える。腐食摩耗試験システムの試験配管10に試験流体αを循環させて試験することで、実際の流体を輸送する配管の内部の腐食と摩耗を予測することができる。なお、配管にはポンプや継手等の配管に関連した全ての部品を含む。

10

20

30

40

50

試験配管 10 は、両端にフランジを備えており、循環経路 1 に脱着することができる。

循環経路 1 には、水タンク 90 とスラリータンク 100 が接続されている。水タンク 90 には、試験流体 α のベースとなる水道水又は海水等の水 β が貯留される。スラリータンク 100 には、鉱石供給手段 70 が接続されており、スラリータンク 100 内において水 β と鉱石が混合されることにより試験流体 α は鉱石スラリーとなる。これにより、鉱石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

循環手段 20 は、例えばスラリーポンプである。

【0052】

溶存酸素量設定手段 30 により試験流体 α の溶存酸素量を設定する際には、配管の実際の使用条件や使用環境に応じて変化する流体の中に含まれる実機溶存酸素量を考慮する。試験流体 α の目標とする溶存酸素量は、人が溶存酸素量設定手段 30 に入力して任意に設定することも、溶存酸素量設定手段 30 が自動的に設定することもできる。なお、以下では設定する溶存酸素量のことを「目標値 DO_{16} 」と表記する場合がある。

10

【0053】

気体含有流体供給手段 40 から供給される気体含有流体 γ は、酸素と不活性ガスの少なくとも一方を含有する。なお、酸素に代えて空気を用いることもできる。また、不活性ガスは窒素ガス等である。

本実施形態では気体含有流体 γ を、酸素と不活性ガスの少なくとも一方をファインバブルとして含有したファインバブル水としている。循環する試験流体 α の溶存酸素量の制御に酸素と不活性ガスにより生成したファインバブル水 γ を用いることで、試験流体 α 中の溶存酸素量を精度よく制御することができ、また実機の溶存酸素量に近づけることができる。なお、ファインバブル水に含まれる酸素の量と、実際の溶存酸素量との関係は予め確認がされていることが好ましい。

20

本実施形態における気体含有流体供給手段 40 は、酸素ファインバブル水 $\gamma 1$ と不活性ガスファインバブル水 $\gamma 2$ の少なくとも一方を発生させる酸素／不活性ガスファインバブル発生装置としている。酸素／不活性ガスファインバブル発生装置 40 は、2 台のファインバブル発生装置からなる。1 台は酸素ファインバブル水 $\gamma 1$ を発生させる酸素ファインバブル発生装置 41 であり、もう 1 台は不活性ガスファインバブル水 $\gamma 2$ を発生させる不活性ガスファインバブル発生装置 42 である。酸素ファインバブル発生装置 41 には圧縮ポンプ等の酸素供給源 43 が接続されており、不活性ガスファインバブル発生装置 42 には圧縮ポンプ等の不活性ガス供給源 45 が接続されている。また、酸素ファインバブル発生装置 41 と不活性ガスファインバブル発生装置 42 には、生成したファインバブル水 γ をスラリータンク 100 に導く酸素ファインバブル水供給管 47 A、不活性ガスファインバブル水供給管 47 B がそれぞれ接続されている。

30

酸素／不活性ガスファインバブル発生装置 40 には、水タンク 90 に貯留されている水 β がタンク水導入管 48 を通して流入する。酸素ファインバブル発生装置 41 は酸素供給源 43 から供給される酸素を水 β 中で気泡化させて酸素ファインバブル水 $\gamma 1$ を生成し、不活性ガスファインバブル発生装置 42 は不活性ガス供給源 45 から供給される不活性ガスを水 β 中で気泡化させて不活性ガスファインバブル水 $\gamma 2$ を生成する。酸素ファインバブル水 $\gamma 1$ は酸素ファインバブル水供給管 47 A を通して、不活性ガスファインバブル水 $\gamma 2$ は不活性ガスファインバブル水供給管 47 B を通して試験流体 α に供給される。酸素ファインバブル水 $\gamma 1$ と不活性ガスファインバブル水 $\gamma 2$ とを別々に生成することで、ファインバブル水 γ を効率よく生成し、循環経路 1 に供給することができる。

40

なお、ファインバブル生成用のガスとして空気を用いる場合には、必ずしも供給源に圧縮ポンプを用いる必要はなく、大気圧の空気をそのまま吸入する、又はコンプレッサーを用いて高圧空気とする等により、ファインバブルの生成が可能である。

【0054】

溶存酸素量計測手段 50 は、循環経路 1 から取り出した試験流体 α を貯留する計測用容器 51 と、計測用容器 51 と循環経路 1 とを結ぶ取出管 52 と、取出管 52 に設けられたバルブ 53 と、計測用容器 51 に設けられた溶存酸素計 54 を有する。計測用容器 51 は

50

、循環経路 1 に取り付けられた取出管 5 2 にバルブ 5 3 を介して接続されている。

溶存酸素量計測手段 5 0 は、試験配管 1 0 の近傍に設けられている。試験配管 1 0 の近傍とは、試験配管 1 0 の入口又は出口から概ね試験配管 1 0 の長さの 2 倍までの範囲をいう。循環する試験流体 α 中の溶存酸素量を試験配管 1 0 の近傍で計測し、計測値を主要なフィードバック信号とすることで、試験配管 1 0 での溶存酸素量を適切に把握して制御を行い、目標値 DO_{T6} に近づけることができる。

また、溶存酸素量計測手段 5 0 の溶存酸素計 5 4 は、図 1 に示すように計測用容器 5 1 に臨ませて設けることが好ましい。これにより、試験流体 α 中の溶存酸素量を精度よく計測することができる。

【0055】

なお、溶存酸素量計測手段 5 0 の溶存酸素計 5 4 は、循環経路 1 に着脱可能に設けることもできる。この場合は、計測用容器 5 1 や取出管 5 2 等を設ける必要が無いため、試験流体 α 中の溶存酸素量を計測するための機器を少なくして構成を簡素化することができる。

また、溶存酸素量計測手段 5 0 を循環経路 1 に着脱可能に設ける場合は、循環経路 1 に設けたフランジ部にパッキンを介して取り付けるものとし、取り付けたときに溶存酸素量計測手段 5 0 の溶存酸素計 5 4 が循環経路 1 中に臨むことが好ましい。フランジ取り付けとすることで、溶存酸素量計測手段 5 0 を循環経路 1 のフランジ部からフランジごと簡単に取り外すことが可能となる等、溶存酸素量計測手段 5 0 の着脱が容易となる。また、溶存酸素量計測手段 5 0 の溶存酸素計 5 4 を循環経路 1 中に臨ませることにより、試験流体 α 中の溶存酸素量をより直接的に計測できるため、計測値の応答や精度を向上させることができる。なお、鉍石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行う際は、使用しない溶存酸素量計測手段 5 0 を取り外して、スラリーによる溶存酸素量計測手段 5 0 の破損や汚損を防止する。また、溶存酸素量計測手段 5 0 を循環経路 1 に着脱可能に設ける構成は、フランジ式の他にねじ込み式や O リング装着式等、各種の構成が採用可能である。

【0056】

制御手段 6 0 は、設定された溶存酸素量（目標値 DO_{T6} ）と測定された溶存酸素量に基づいて、気体含有流体 γ の供給量を制御する。

本実施形態では、制御手段 6 0 が、試験流体 α の溶存酸素量が目標値 DO_{T6} に一致するように、酸素ファインバブル発生装置 4 1 から供給される酸素ファインバブル水 $\gamma 1$ と、不活性ガスファインバブル発生装置 4 2 から供給される不活性ガスファインバブル水 $\gamma 2$ の、各々の供給量を制御する。これにより酸素ファインバブル水 $\gamma 1$ と不活性ガスファインバブル水 $\gamma 2$ の各々の供給量を制御して適切な比率で試験流体 α に混合させ、試験流体 α の溶存酸素量を目標値 DO_{T6} に近づけることができる。

【0057】

表示手段 8 0 は、例えばモニタであり、溶存酸素量計測手段 5 0 の計測結果と、制御手段 6 0 の制御状態を表示する。これにより、腐食摩耗試験の実施者等が、試験流体 α の溶存酸素量とその制御状況を的確に把握することができる。

なお、表示手段 8 0 には、計測した溶存酸素量をリアルタイムに表示すると共に、気体含有流体供給手段 4 0 の動作状況や、試験流体 α の流量等も併せて表示することが好ましい。

【0058】

図 2 は腐食摩耗試験システムを用いた腐食摩耗試験方法のフローである。

まず、溶存酸素量設定手段 3 0 を用いて、実際の流体の中に含まれる実機溶存酸素量を考慮して試験流体 α の溶存酸素量を設定する（S 1：溶存酸素量設定ステップ）。溶存酸素量設定ステップ S 1 で目標値 DO_{T6} を設定するにあたって考慮する実機溶存酸素量は、配管の実際の使用条件と使用環境の少なくとも一方に応じて変化する。そのため、使用条件及び使用環境を考慮した実機溶存酸素量を基に設定することで、目標値 DO_{T6} を適切なものとすることができる。

なお、2020年3月30日時点における気象庁ホームページ（<https://www.data.jma>

10

20

30

40

50

.go.jp/gmd/kaiyou/db/mar_env/knowledge/koyusui/yozonox.html) には、500m以深の深層の溶存酸素量を比較すると、日本海（日本海固有水）の溶存酸素量は北赤道海流域や親潮域と比較して非常に高いこと等が記載されている。

また、日本海のみならず北赤道海流域や親潮域の溶存酸素量は水深によっても異なってくる場合が多い。このため、例えば海底資源の揚鉦で使用する配管では、実機溶存酸素量が使用環境としての水域や水深等で大きく異なるため、腐食摩耗試験においても、少なくとも水域や水深により異なる実機溶存酸素量を考慮した溶存酸素量を設定することが必要である。

また、使用条件では、実際の配管で使用する流体の種類、圧力、及び輸送方式（揚鉦方法）によって実機溶存酸素量は異なってくる。海水、水、油といった実際に使用される流体の種類や、配管内の圧力や流体の温度等により実機溶存酸素量は変化する。また、輸送方式の揚鉦方法として、例えばガスリフト式を用いる場合、使用されるガスの種類（空気、窒素ガス等）によって実機溶存酸素量は大きく異なってくる。

従って、使用条件としては、実際の配管で使用する流体の種類、圧力、及び輸送方式の少なくとも一つを考慮し、使用環境では、水域及び水深の少なくとも一方を考慮することが好ましい。これにより、配管の実際の使用条件や使用環境により大きく異なる溶存酸素量を具体的に考慮し、目標値 DO_{16} をより適切に設定することができる。

【0059】

溶存酸素量設定ステップS1の後、気体含有流体供給手段40を用いて試験流体 α に気体含有流体 γ を供給する（S2：気体含有流体供給ステップ）。

気体含有流体供給ステップS2の後、溶存酸素量計測手段50で溶存酸素量を計測する（S3：溶存酸素量計測ステップ）。

溶存酸素量計測ステップS3の後、設定された溶存酸素量と計測された溶存酸素量とに基づいて、制御手段60を用いて気体含有流体 γ の供給量を制御する（S4：制御ステップ）。

気体含有流体供給ステップS2、溶存酸素量計測ステップS3、及び制御ステップS4は、摩耗試験を開始する前に、溶存酸素量調整ループL1として実行される。スラリータンク100に鉦石（模擬鉦石）を投入して摩耗試験を開始する前に、試験流体 α 中の溶存酸素量を計測及び制御して目標値 DO_{16} 付近に安定させるための溶存酸素量調整ループL1を備えることで、摩耗試験による鉦石粉による試験流体 α の懸濁等の影響を避け、試験流体 α の溶存酸素量を目標値 DO_{16} に調整することができる。

溶存酸素量調整ループL1で設定された溶存酸素量を得られた後、所定の腐食試験時間、循環を継続する（L2：腐食試験ループ）。これにより、設定された試験流体 α の溶存酸素量に制御した状態で腐食試験を行い、試験配管10の腐食進行の度合いを実機の条件に近づけることができる。

【0060】

腐食試験ループL2の後、摩耗試験ループL3を実行する。試験配管10の腐食進行の度合いが実機の条件に近い状態で腐食試験を行い、その後に摩耗試験を行うことで、試験流体 α の溶存酸素量を目標値 DO_{16} に制御した状態で、配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

なお、溶存酸素量調整ループL1の後、腐食試験ループL2を挟まず摩耗試験ループL3を実行することもできる。この場合は、鉦石を投入し、溶存酸素量調整ループL1で設定された溶存酸素量を得られた後、所定の摩耗試験時間、循環を継続する摩耗試験ループL3を実行することで、設定された試験流体 α の溶存酸素量に制御した状態で循環を継続し、鉦石スラリーを用いた配管の腐食摩耗試験を行うことができる。

【0061】

図3は溶存酸素量設定ステップの詳細フローである。

溶存酸素量設定手段30では、目標値 DO_{16} を設定するにあたり、まず、輸送方式（揚鉦方法）はガスリフト式か否かを判定する（S10：輸送方式判定ステップ）。ガスリフト式以外の輸送方式としては、例えばスラリー式、ポンプ圧送式、ウォータージェット式が

10

20

30

40

50

ある。

輸送方式判定ステップS 1 0において輸送方式がガスリフト式でないと判定された場合は、配管等（実機）を稼働する水域又は水深における溶存酸素量のデータがあるか否かをさらに判定する（S 1 1：DOデータ有無判定ステップ）。

DOデータ有無判定ステップS 1 1において水域又は水深における溶存酸素量のデータがないと判定された場合は、目標値 DO_{T6} を、配管等（実機）を稼働する水域での水深（水圧）における最大値（飽和状態）に設定する。

一方、DOデータ有無判定ステップS 1 1において水域又は水深における溶存酸素量のデータがあると判定された場合は、当該溶存酸素量のデータに基づいて目標値 DO_{T6} を設定する。

また、輸送方式判定ステップS 1 0において輸送方式がガスリフト式であると判定された場合は、そのガスの種類が酸素か不活性ガスかをさらに判定する（S 1 2：ガス種類判定ステップ）。

ガス種類判定ステップS 1 2においてガスの種類が酸素であると判定された場合は、目標値 DO_{T6} を最大値（飽和状態）に設定する。

一方、ガス種類判定ステップS 1 2においてガスの種類が不活性ガスであると判定された場合は、目標値 DO_{T6} を最小値（脱気状態）に設定する。

なお、目標値 DO_{T6} は、必要に応じて最大値（飽和状態）と最小値（脱気状態）の間の中間的な値に設定することもできる。

また、加速試験等を行う場合は、目標値 DO_{T6} を実機の溶存酸素量と異ならせることもできる。この場合、予め目標値 DO_{T6} のレベルと試験時間との関係を、実機の溶存酸素量と使用時間との関係と対応付けておき、対応関係に従って目標値 DO_{T6} を定め、試験時間を設定することが好ましい。

【0062】

図4は溶存酸素量設定ステップ後の詳細フローである。

配管の腐食摩耗試験を開始すると、まず、循環経路1に設けられた水タンク90及び配管に新しい水 β を満たし、循環手段20で水 β を循環させる（S 2 0：水循環ステップ）。

また、酸素ファインバブル水 γ 1と不活性ガスファインバブル水 γ 2の混合比に関する制御変数Xを初期値 X_1 に設定する（S 2 1：制御変数初期値設定ステップ）。

【0063】

制御変数初期値設定ステップS 2 1の後は、溶存酸素量調整ループL 1となる。

溶存酸素量調整ループL 1では、まず気体含有流体供給ステップS 2を行う。気体含有流体供給ステップS 2では、2台のファインバブル発生装置からなる酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40により酸素ファインバブル水 γ 1と不活性ガスファインバブル水 γ 2を生成し、混合比X：（1－X）で試験流体 α に混合されるようにスラリータンク100に注入する。なお、ファインバブル水 γ は継続的に注入する。

気体含有流体供給ステップS 2の後の溶存酸素量計測ステップS 3では、取出管52に設けられたバルブ53を開いて試験流体 α を計測用容器51に取出し、溶存酸素計54で試験流体 α の溶存酸素量を計測する。

制御手段60は、溶存酸素量計測ステップS 3の後の制御ステップS 4において、溶存酸素量安定判定ステップS 4－1と、制御変数更新ステップS 4－2を実行し、試験流体 α の溶存酸素量を目標値 DO_{T6} に近づけるべく、酸素ファインバブル水 γ 1と不活性ガスファインバブル水 γ 2との混合比を最適化するフィードバック制御を行う。制御方式としてはPID制御が好適であるが、比例・積分・微分の各ゲインは予備試験等を通じて事前に設定しておくことが好ましく、本試験中も適宜最適化を行うことが更に好ましい。

なお、上述のように溶存酸素量計測手段50は試験配管10の近傍に設けられていることが好ましいが、試験配管10の近傍のみならず、必要に応じてスラリータンク100の開口部等における溶存酸素量を計測し、これを制御手段60へのフィードバック信号として追加してもよい。また、予備試験等によりこれら異なる計測箇所における溶存酸素量と

10

20

30

40

50

試験配管 10 の近傍における溶存酸素量との相関関係を予め把握しておき、異なる計測箇所における溶存酸素量の計測値によって試験配管 10 の近傍における溶存酸素量の計測値を代替させることも可能である。

また、必要に応じて、気温、試験流体 α の温度、試験流体 α の流速、試験流体 α 中の気泡濃度（気泡数や容積比）、各ガスの圧力／流量、ファインバブル水 γ の流入量、などをフィードバック信号として追加することができる。これにより、試験流体 α の溶存酸素量をよりの確に目標値 DO_{16} に近づけることができる。なお、これらのうち、試験流体 α の温度、流速、及び気泡濃度の計測機器については試験配管 10 の近傍に設けることが好ましい。

なお、フィードバック信号として追加することは、溶存酸素量の計測値を補正することであるともいえる。

溶存酸素量安定判定ステップ S 4-1 では、試験流体 α の溶存酸素量が目標値 DO_{16} 付近で安定したか否かを判定する。溶存酸素量安定判定ステップ S 4-1 において試験流体 α の溶存酸素量が目標値 DO_{16} 付近で安定していないと判定された場合は、制御変数更新ステップ S 4-2 において制御変数 X を更新（最適化）し、気体含有流体供給ステップ S 2 に戻る。

一方、溶存酸素量安定判定ステップ S 4-1 において試験流体 α の溶存酸素量が目標値 DO_{16} 付近で安定したと判定された場合は、所定の腐食試験時間に達したか否か、すなわち腐食試験ループ L 2 を終了するか否かをさらに判定する（S 2 2：腐食試験時間終了判定ステップ）。

【0064】

腐食試験時間終了判定ステップ S 2 2 において所定の腐食試験時間に達していないと判定された場合は、気体含有流体供給ステップ S 2 に戻る。

一方、腐食試験時間終了判定ステップ S 2 2 において所定の腐食試験時間に達したと判定された場合は、溶存酸素量調整ループ L 1（及び腐食試験ループ L 2）を終了する。このように溶存酸素量調整ループ L 1 は、所定時間行うことで、腐食試験ループ L 2 の役割を兼ねることができる。

溶存酸素量調整ループ L 1 が終了すると、制御手段 60 は、溶存酸素量調整ループ L 1 で得られた制御変数 X を、次に行う摩耗試験ループ L 3 における制御変数 X_i として設定する（S 2 3：制御変数設定ステップ）。

【0065】

次に行う摩耗試験ループ L 3 では、まず、取出管 5 2 に設けられているバルブ 5 3 を閉じ、スラリータンク 100 に鉍石を投入して鉍石スラリーを試験流体 α として循環させる（S 2 4：鉍石スラリー循環ステップ）。

また、酸素／不活性ガスファインバブル発生装置 40 により酸素ファインバブル水 γ_1 と不活性ガスファインバブル水 γ_2 を生成して混合比 X_i ：（ $1 - X_i$ ）で混合し、得られたファインバブル水 γ をスラリータンク 100 に注入する（S 2 5：摩耗試験気体含有流体供給ステップ）。なお、ファインバブル水 γ は継続的に注入する。これにより、試験流体 α の溶存酸素量を目標値 DO_{16} 近傍値に制御した状態で、配管の腐食摩耗試験を継続することができる。

摩耗試験ループ L 3 においては、溶存酸素量計測ステップ S 3 のように試験流体 α の溶存酸素量を計測するステップは設けず、溶存酸素量調整ループ L 1 で得られた制御変数 X から制御変数設定ステップ S 2 3 で設定した制御変数 X_i を用いて溶存酸素量の制御を行うことが好ましい。試験流体 α の溶存酸素量を計測するのは水 β を循環させる溶存酸素量調整ループ L 1 においてのみとし、鉍石やその破碎粉が水 β と共に循環する摩耗試験ループ L 3 では計測を行わないことで、鉍石や破碎された鉍石粉の混じった試験流体 α に対して、溶存酸素量計測手段 50 を保全することができ、また試験流体 α の懸濁等の影響で溶存酸素量の計測が不正確となり制御性が悪化することを防止できる。

【0066】

次に、所定の摩耗試験時間に達したか否かを判定する（S 2 6：摩耗試験終了判定ステ

10

20

30

40

50

ップ)。所定の摩耗試験時間は、鉬石が配管との衝突等によって殆どの角が取れて丸まった状態となるまでの予想時間や、試験流体 α の溶存酸素量が目標値 DO_{TC} から所定量外れるまでの予想時間等に基づいて設定される。

摩耗試験終了判定ステップS26において所定の摩耗試験時間に達していないと判定された場合は、摩耗試験を継続する。

一方、摩耗試験終了判定ステップS26において所定の摩耗試験時間に達したと判定された場合は、腐食摩耗試験を終了するか否かをさらに判定する（S27：腐食摩耗試験終了判定ステップ）。腐食摩耗試験を終了するか否かは、例えば、予定している配管の腐食摩耗試験時間に達したか否かにより判定する。

腐食摩耗試験終了判定ステップS27において腐食摩耗試験を終了すると判定された場合は、腐食摩耗試験を終了する。一方、腐食摩耗試験終了判定ステップS27において腐食摩耗試験を終了しないと判定された場合は、循環経路1内の鉬石と試験流体 α を排出し、水循環ステップS20に戻る。

このように、溶存酸素量調整ループL1と摩耗試験ループL3を必要なだけ交互に繰り返すことにより、試験配管10における腐食・摩耗の進行状況に応じた制御変数の最適化が成され、試験流体 α 中の溶存酸素量を目標値 DO_{TC} の近傍値に制御した状態での腐食摩耗試験が可能となる。配管の実機溶存酸素量を考慮して試験流体 α の溶存酸素量を溶存酸素量設定手段30で設定したうえで、試験配管10が設けられた循環経路1を循環する試験流体 α における溶存酸素量を定量的に制御した状態で腐食摩耗試験を行うことにより、実機に即した条件で配管（ポンプや継手等を含む）の腐食摩耗データを取得して設計や材料選定、稼働条件の設定等に反映させることができるため、実機での配管の安全性や信頼性が向上する。

【0067】

次に、本発明の第二の実施形態による配管の腐食摩耗試験方法、及び配管の腐食摩耗試験システムについて説明する。第二の実施形態は、気体含有流体 γ であるファインバブル水を、酸素と不活性ガスを適切な比率で混合したガスを用いて生成する点において上記した第一の実施形態と異なる。なお、第一の実施形態と同一機能部材等には同符号を付して説明を省略する。

【0068】

図5は第二の実施形態による腐食摩耗試験システムの構成図である。

本実施形態の気体含有流体供給手段40は、酸素と不活性ガスの少なくとも一方を水 β 中で気泡化させてファインバブル水 γ を発生させる酸素／不活性ガスファインバブル発生装置である。酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40と酸素供給源43を接続する酸素供給管44、及び酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40と不活性ガス供給源45を接続する不活性ガス供給管46には、それぞれレギュレータ110が設けられている。酸素供給管44と不活性ガス供給管46は途中で1本の気体供給管49に合流しており、気体供給管49を流れる酸素、不活性ガス、又は酸素と不活性ガスとの混合気体は、所定の流量 Q 又は圧力 P で酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40に流入する。

酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40は、酸素供給源43から供給される酸素、不活性ガス供給源45から供給される不活性ガス、又は酸素と不活性ガスの混合気体を水中で気泡化させてファインバブル水 γ を生成し、循環経路1に接続されたファインバブル水供給管47を通して試験流体 α に供給する。

本実施形態の酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40は、ファインバブル発生装置が1台で済むため、ファインバブル発生装置を2台必要とする第一の実施形態よりも装置を小型化しやすい。

【0069】

図6は溶存酸素量設定ステップ後の詳細フローである。

溶存酸素量調整ループL1では、制御手段60による制御の下、2個のレギュレータ110により酸素と不活性ガスを混合比 $X : (1 - X)$ で混合し、適切な流量 Q 又は圧力 P で酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40に流入させ（S2-1：気体混合ステッ

プ)、酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40でファインバブル水 γ を生成し、スラリータンク100に注入する(S2-2:ファインバブル水生成ステップ)。これにより、酸素と不活性ガスを適切な比率で混合したファインバブル水 γ を試験流体 α に供給し、試験流体 α の溶存酸素量を目標値 DO_{16} に近づけることができる。気体混合ステップS2-1、及びファインバブル水生成ステップS2-2が気体含有流体供給ステップS2である。

摩耗試験ループL3では、鉱石スラリー循環ステップS24の後、制御手段60による制御の下、2個のレギュレータ110により酸素と不活性ガスを混合比 $X_1:(1-X_1)$ で混合し、酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40に流入させ(S25-1:摩耗試験気体混合ステップ)、酸素／不活性ガスファインバブル発生装置40でファインバブル水 γ を生成し、スラリータンク100に注入する(S25-2:摩耗試験ファインバブル水生成ステップ)。摩耗試験気体混合ステップS25-1、及び摩耗試験ファインバブル水生成ステップS25-2が摩耗試験気体含有流体供給ステップS25である。これにより、試験流体 α の溶存酸素量を目標値 DO_{16} 近傍値に制御した状態で、配管の腐食摩耗試験を継続することができる。

【実施例】

【0070】

[第一の実施例]

上記した第一の実施形態を対象に、基本となる流体を水道水又は人工海水として、空気ファインバブル及び窒素ファインバブルを用いて表1に示すような種々のファインバブル水 γ を生成した後、各々を透明な容器に充填し、これに溶存酸素消耗源となる鋼板を浸漬させた後、経時に伴う変化を観察した。観察に際しては、適当な時間間隔をあけて液中の溶存酸素量(DO)を計測すると共に、容器外側からの写真撮影を行った。

なお、下表1において「FB」はファインバブルの略である。また、空気ファインバブル水及び空気ファインバブル人工海水は酸素ファインバブル水 γ 1の一種、窒素ファインバブル水及び窒素ファインバブル人工海水は不活性ガスファインバブル水 γ 2の一種である。

【表1】

	流体	ファインバブル (FB) 水
実施例 1	水道水	空気FB水
実施例 2		空気FB水 + 窒素FB水 (1:1)
実施例 3		窒素FB水
実施例 4	人工海水	空気FB人工海水
実施例 5		空気FB人工海水 + 窒素FB人工海水 (1:1)
実施例 6		窒素FB人工海水

【0071】

ファインバブルの生成には、市販のファインバブル発生装置(リビングエナジー社製、FU5型)を用いた。メーカー仕様によれば、同装置はウルトラファインバブル(直径 $1\mu\text{m}$ 以下)とマイクロバブル(直径 $1\sim 60\mu\text{m}$)が混合されたファインバブルを発生させることができる。また、複数の微細気泡生成手法(剪断方式+旋回流方式)を組み合わせたハイブリッド生成方式を採用しており、高濃度かつ微小均一な気泡を安定的に生成することができる。基本仕様としては、 1mL あたり約 1.9 億個のファインバブルを発生させることができ、処理能力は $15\sim 20\text{L/分}$ である。

人工海水は、純水及び市販の人工海水調整キット「金属腐食試験用アクアマリン」(八洲薬品株式会社製)を用いて生成し、キット付属のpH調整液により弱アルカリ性($\text{pH}=8$)に調整した。

鋼板は、一般用構造用鋼JIS S400の酸洗い品(寸法 $71\text{mm}\times 150\text{mm}$ 、板厚 30mm)を用いた。鋼板表面はエメリー紙(#240)で研磨し、浸漬前にパーツクリーナーによる脱脂洗浄を行った。

10

20

40

50

液中の溶存酸素量の計測には、市販の小型溶存酸素計（アズワン A S 7 2 0、測定範囲：溶存酸素 0 ～ 2 0 . 0 0 m g / L、温度 0 ～ 4 5 ℃、精度：± 0 . 3 0 m g / L）を用いた。

【 0 0 7 2 】

図 7 は浸漬後 4 時間経過した状態における容器外側からの外観写真であり、図 7（a）は流体に水道水を用いた場合（実施例 1－3）、図 7（b）は流体に人工海水を用いた場合（実施例 4－6）である。銅板表面に生じた錆に起因する液体の着色状況を比較すると、空気ファインバブルを用いて溶存酸素量を高めた実施例 1 及び実施例 4 では液体の着色の程度が濃くなっており、他方、窒素ファインバブルを用いて脱気した実施例 3 及び実施例 6 では液体の着色が軽微であることがわかる。

10

【 0 0 7 3 】

図 8 は実施例 1－3 における経過時間に伴う溶存酸素量の変化を示す図、図 9 は実施例 4－6 における経過時間に伴う溶存酸素量の変化を示す図である。

図 8、図 9 においては、銅板浸漬後の溶存酸素量が経過時間と共にどのように変化したかを、流体に水道水を用いた場合（図 8）と、流体に人工海水を用いた場合（図 9）のそれぞれについて示している。

図 8 を見ると、空気ファインバブル水と窒素ファインバブル水を容積比 1：1 で混合した実施例 2 の結果は、溶存酸素量が最大の実施例 1 と、窒素ファインバブルで脱気した溶存酸素量が最小の実施例 3 との中間に位置しており、その大小関係は浸漬後 2 0 時間以上経過しても変わらないことがわかる。また、浸漬後数時間程度であれば、実施例 2 における溶存酸素量は、浸漬開始直後とほぼ同じレベルに保たれていることがわかる。

20

同様にして図 9 を見ると、空気ファインバブル人工海水と窒素ファインバブル人工海水を容積比 1：1 で混合した実施例 5 の結果は、溶存酸素量が最大の実施例 4 と、窒素ファインバブルで脱気した溶存酸素量が最小の実施例 6 との中間に位置しており、その大小関係は浸漬後 1 0 時間以上経過しても変わらないことがわかる。また、浸漬後数時間程度であれば、実施例 5 における溶存酸素量は、浸漬開始直後とほぼ同じレベルに保たれていることがわかる。

以上の結果から、数時間程度であれば、実施例 2 及び実施例 5 における、空気ファインバブル水又は空気ファインバブル人工海水と窒素ファインバブル水又は窒素ファインバブル人工海水との混合による溶存酸素量の定量的制御が特に好ましいといえる。

30

なお、上記の第一の実施形態及び第二の実施形態では、流体として鉱石スラリーを対象とする例を示したが、輸送する流体としては、例えば一般の水や海水、また懸濁液や泥漿等、実機の配管として溶存酸素が介在するあらゆる流体を対象とすることができる。

【 0 0 7 4 】

〔第二の実施例〕

上記した第一の実施形態を対象に、基本となる流体に水道水を用い、溶存酸素量調整ルーブル 1 の実施例として、腐食摩耗試験システムにおける試験流体 α 中の溶存酸素量を制御した。

図 1 0 は本実施例の腐食摩耗試験システムの構成図である。また、図 1 1 は腐食摩耗試験システムの概観写真であり、図 1 1（a）は全体、図 1 1（b）は気体含有流体供給手段の正面側、図 1 1（c）は気体含有流体の混合タンク、図 1 1（d）は溶存酸素量計測手段、図 1 1（e）は循環手段（スラリーポンプ）、図 1 1（f）はスラリータンク（混合流体供給部）、図 1 1（g）は供給ポンプを示している。

40

気体含有流体供給手段 4 0 から供給される気体含有流体 γ は、酸素ファインバブル水 γ 1（酸素含有流体、酸素飽和水）と不活性ガスファインバブル水 γ 2（不活性ガス含有流体、窒素脱気水）の二種類とした。酸素ファインバブル水 γ 1 は、酸素供給源 4 3 としてのコンプレッサー（図 1 0 では図示略）及び酸素ファインバブル発生装置 4 1 としての多孔質焼結金属フィルターを内蔵した気泡発生装置を用いて生成し、不活性ガスファインバブル水 γ 2 は、不活性ガス供給源 4 5 としての窒素ボンベ（図 1 0 では図示略）及び不活性ガスファインバブル発生装置 4 2 としてのファインバブル発生装置を用いて生成した。

50

なお、第一の実施形態においては、図 1 に示すように酸素ファインバブル水 γ 1 及び不活性ガスファインバブル水 γ 2 をそれぞれスラリータンク 100 に送って混合するが、本実施例では、酸素ファインバブル水供給管 47A と不活性ガスファインバブル水供給管 47B が途中の混合タンク 120 で合流しており、混合タンク 120 で酸素ファインバブル水 γ 1 と不活性ガスファインバブル水 γ 2 が混合された後、供給ポンプ 130 からスラリータンク 100 に送られる。

また、酸素ファインバブル水供給管 47A のうち混合タンク 120 内に位置する部分には酸素ファインバブル水供給バルブ 121 が設けられ、不活性ガスファインバブル水供給管 47B のうち混合タンク 120 内に位置する部分には不活性ガスファインバブル水供給バルブ 122 が設けられており、酸素ファインバブル水供給バルブ 121 と不活性ガスファインバブル水供給バルブ 122 の開閉により、酸素ファインバブル水 γ 1 と不活性ガスファインバブル水 γ 2 のどちらか一方のみをスラリータンク 100 へ供給することも可能である。

【0075】

腐食摩耗試験システムを構成する主な部材及び装置の詳細と仕様を以下に示す。

{主要な流路を構成する配管用ホース}

軟質塩化ビニール製ホース（透明） 内径32mm
（株）トヨックス製 トヨロンホース TR-32

{循環経路のうち、溶存酸素量計測手段を取り付ける管}

内径52mm（カタログ値）の塩化ビニール管（透明）

なお、この管は、溶存酸素計 54 を取り付けるため、上記の配管用ホースよりも内径を太くした。

ここで、図 12 は循環経路からの溶存酸素量計測手段の取り外しを示す図である。

溶存酸素量調整ループ L1 において溶存酸素量計測手段 50 は、図 11（d）に示すように、この管の内部（循環経路 1 中）に溶存酸素計 54 を突出させた状態で計測する。そして、腐食試験ループ L2 に移る前に、図 12 に示すように、管に設けられているフランジ部 2 との固定に用いるボルト 55（図 11（d）参照）を外して溶存酸素計 54 をフランジ 56 ごと引き抜き、管のフランジ部 2 の開口は閉止フランジで塞いでおく。

{溶存酸素計}

下記のコントローラーと電極を組み合わせて使用した（ハンナ インスツルメンツ社製）。

- ・パネル設置型溶存酸素コントローラー HI 8410
- ・DO 電極 HI76410/4

測定範囲：0.0～50.0mg/L、精度：測定値の±1%

{多孔質焼結金属フィルターを内蔵した気泡発生装置}

図 13 は気泡発生装置の外観写真である。

右側がコンプレッサー側である。左側の短い透明管を水中に沈め、両側の開口部から気泡を発生させる。

{ファインバブル発生装置}

第一の実施例と同様に、市販のファインバブル発生装置（リビングエナジー社製、FU5 型）を用いた。

{循環手段（主要なスラリーポンプ）}

（株）東洋電機工業所製 横型サンドポンプ VS4-7.5U

口径：80mm、揚程：15m、揚水量：0.5m³/min、出力：5.5kW

10

20

30

40

50

{供給ポンプ}

(株) 寺田ポンプ製作所製 MP2N-0021TR

全揚程：8.0/7.0/6.0m、吐出量：0.055/0.08/0.1 m³/min、出力：0.2kW

{デジタル I / O デバイス}

計測／計測機器と制御用 P C とのやり取りには、下記の I / O デバイスを使用した。

National Instruments社製 NI USB-6259

{酸素ファインバブル水供給バルブ、不活性ガスファインバブル水供給バルブ}

ファインバブル水の供給量制御には、以下を組み合わせ使用した（（株）コガネイ製）。

- ・ 比例制御弁 KFPV050-2-40-FM-S4-02-39
- ・ 比例制御弁用コントローラー KFPC1-F07-DN

【0076】

本実施例における試験方法は以下の通りである。

(1) 酸素含有流体用タンク 140 に水道水を溜め、コンプレッサーから供給される圧縮空気を水中に沈めた多孔質焼結金属フィルター内蔵の気泡発生装置に通して微細な気泡を発生させ、酸素ファインバブル水 γ 1（酸素含有流体、酸素飽和水）を生成する。同様に、不活性ガス含有流体用タンク 150 にも水道水を溜め、窒素ポンベとファインバブル発生装置を用いて水中で窒素ファインバブルを発生させて脱気を行い、不活性ガスファインバブル水 γ 2（不活性ガス含有流体、窒素脱気水）を生成する。

(2) スラリータンク 100（混合流体供給部）から水道水を供給し、循環手段 20（スラリーポンプ）を作動させて水を循環させる。

(3) 供給ポンプ 130 を作動させ、試験流体 α 中の溶存酸素量の計測、及び制御用 P C や比例制御弁等によって、酸素ファインバブル水 γ 1 及び不活性ガスファインバブル水 γ 2 の流量制御を開始する。

(4) 適当なタイミングでデータ収集と制御を終了して各ポンプを停止し、試験を終了する。

【0077】

本実施例における制御プログラムの概要について説明する。

試験流体 α 中の溶存酸素量の計測値に基づき、酸素ファインバブル水 γ 1 及び不活性ガスファインバブル水 γ 2 の供給量を制御用 P C で制御するため、以下のような P I D 制御の理論式及び制御プログラムを用いた。

まず、P I D 制御の理論式について説明する。

P I D 制御において、ある時刻 t における操作量を u(t)、計測値と目標値の偏差を e(t) とすると、操作量は下式（1）により導出される。

【数 1】

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad \dots (1)$$

ここで、K_p は比例ゲイン、K_i は積分ゲイン、K_d は微分ゲインをそれぞれ表す。

また、積分ゲイン K_i と微分ゲイン K_d は、比例ゲイン K_p と積分時間 T_i、微分時間 T_d を用いて、それぞれ下式（2）、（3）により表される。

【数 2】

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad \dots (2)$$

【数 3】

$$K_d = K_p \cdot T_d \quad \dots (3)$$

【0078】

次に、制御プログラムの詳細について説明する。

本実施例で用いたPID制御プログラムでは、上式(1)の時刻 t における計測値と目標値の偏差 $e(t)$ 、及び操作量 $u(t)$ を、それぞれ以下のように定義した。

偏差 $e(t) = \text{＜溶存酸素量の目標値＞} - \text{＜時刻 } t \text{ における溶存酸素量の計測値＞}$

操作量 $u(t) = \text{＜酸素ファインバブル水供給バルブ121の開度 } B \text{＞} - \text{＜不活性ガスファインバブル水供給バルブ122の開度 } A \text{＞}$

ここで、バルブ開度 A 及び B はそれぞれ0～10の連続した値をとり、そのまま各バルブ（比例制御弁）の制御電圧0～10Vに対応している。

また、酸素ファインバブル水 γ_1 と不活性ガスファインバブル水 γ_2 を混合した流体の供給量を一定とするため、 $A + B = 10$ （一定）とした。

10

【0079】

次に、制御プログラムの作成に使用したソフトウェアについて説明する。

National Instruments社製のLabVIEW 2016 ver16.0f2を用いて制御プログラムを作成した。また、PID制御に関する部分はLabVIEWに予めインストールされているPIDモジュールを用いた。当該モジュールの主な機能として、目標値（本実施例では溶存酸素量の目標値）とプロセス変数（本実施例では計測している溶存酸素量）、PIDゲインを設定することができ、それに応じたPID制御の出力が得られるものである。

【0080】

本実施例の試験結果について説明する。

20

比較例1、実施例7及び実施例8として、試験流体 α 中の溶存酸素量の制御試験を実施した。

流量について、各試験における実際の吐出重量と吐出時間を計測することにより流量を算出したところ、平均流量は $3.01\text{m}^3/\text{h}$ であった。

各例に共通して、試験流体 α 中における溶存酸素量の目標値 $DO_{TG} = 6\text{mg/L}$ と設定した。各例の試験条件と、実施例7及び実施例8のPID制御パラメータを下表2にまとめて示す。

【表2】

	供給する流体の溶存酸素量 (mg/L)		試験流体中における溶存酸素量の目標値 DO_{TG} (mg/L)	PID制御パラメータ		
	酸素ファインバブル水	不活性ガスファインバブル水		K_p	T_i (min)	T_d (min)
比較例1		0.56	6			
実施例7	11.40	0.40		5.0	0.01	0.004
実施例8	12.32	0.71		5.0	0.01	0.004

【0081】

実施例7及び実施例8では、比例ゲインを $K_p = 5.0$ として事前の制御テストを行い、 T_i 、 T_d についてはデフォルトの設定値から若干変更して、溶存酸素量の目標値と計測値の乖離が大きい場合（試験の初期段階）には不活性ガスファインバブル水 γ_2 のみが供給されるように調整した。各例における試験の詳細について以下に説明する。

40

【0082】

{比較例1}

比較例1では上述したようなPID制御は行わず、不活性ガスファインバブル水供給バルブ122の開度 A のマニュアル操作により不活性ガスファインバブル水 γ_2 のみを試験流体 α に供給し、試験流体 α 中の溶存酸素量が低下して目標値 $DO_{TG} = 6\text{mg/L}$ を若干下回った時点で不活性ガスファインバブル水供給バルブ122の開度 A をゼロとし、不活性ガスファインバブル水 γ_2 の供給を止めた。即ち、この例は、マニュアル操作による不活性ガスファインバブル水 γ_2 の供給停止のタイミングが遅れ、溶存酸素量が目標値以下にまでオーバーシュートしてしまった場合を意図的に模擬したものである。なお、予め生成し

50

ておいた不活性ガスファインバブル水 γ 2 の溶存酸素量は、表 2 に示す通り、0.56mg/L であった。

図 1 4 は比較例 1 において試験中に計測された試験流体中における溶存酸素量の経時変化の様子を示したグラフである。

不活性ガスファインバブル水 γ 2 の供給開始後、溶存酸素量は直線的に低下しており、目標値 $DO_{TC} = 6\text{mg/L}$ をやや下回ったところ（経過時間にして約 6 分 40 秒）で不活性ガスファインバブル水 γ 2 のバルブ開度 A をゼロにすると、溶存酸素量はそのまま目標値以下の値を維持し続け、自然に上昇して目標値に近づくことはなかった。この例では酸素ファインバブル水 γ 1 を供給していないため、一旦目標値を下回ってしまった溶存酸素量の値を意図的に目標値まで上昇させて戻すことはできない。即ち、この例では、試験流体 α 中の溶存酸素量を良好に制御することはできなかった。

10

【0083】

{実施例 7}

実施例 7 は、酸素ファインバブル水 γ 1 と不活性ガスファインバブル水 γ 2 との混合流体を供給して制御したものである。

図 1 5 は実施例 7 において試験中に計測された試験流体中における溶存酸素量の経時変化の様子を示したグラフである。

試験開始時には 9.5mg/L 程度であった溶存酸素量は、制御開始と共に目標値 6mg/L に向かって直線的に低下し、大凡 5 分 40 秒経過した辺りで若干オーバーシュートして目標値を下回るが、その後は酸素ファインバブル水 γ 1 の供給を増加させることによって目標値付近まで上昇し、略安定していることが見てとれる。即ち、この例では、酸素ファインバブル水 γ 1 及び不活性ガスファインバブル水 γ 2 の混合具合を制御しながら供給することにより、試験流体 α 中の溶存酸素量を良好に制御することができた。

20

【0084】

{実施例 8}

実施例 8 は、実施例 7 と同様に、酸素ファインバブル水 γ 1 と不活性ガスファインバブル水 γ 2 との混合流体を供給して制御したものである。

図 1 6 は実施例 8 において試験中に計測された試験流体中における溶存酸素量の経時変化の様子を示したグラフである。

試験開始時には 8.3mg/L 程度であった溶存酸素量は、制御開始と共に目標値 6mg/L に向かって直線的に低下し、大凡 9 分経過した辺りで若干オーバーシュートして目標値を下回るが、その後は酸素ファインバブル水 γ 1 の供給を増加させることによって目標値付近まで上昇し、略安定していることが見てとれる。即ち、この例でも、実施例 7 と同様に、酸素ファインバブル水 γ 1 及び不活性ガスファインバブル水 γ 2 の混合具合を制御しながら供給することにより、試験流体 α 中の溶存酸素量を良好に制御することができた。

30

【産業上の利用可能性】

【0085】

本発明は、実機に即した条件で配管等の腐食摩耗データを取得して設計や、材料選定、稼働条件の設定等に反映させることができるため、配管等の安全性及び信頼性が向上する。

40

【符号の説明】

【0086】

1 循環経路

2 フランジ部

10 試験配管

20 循環手段

30 溶存酸素量設定手段

40 気体含有流体供給手段（酸素／不活性ガスファインバブル発生装置）

43 酸素供給源

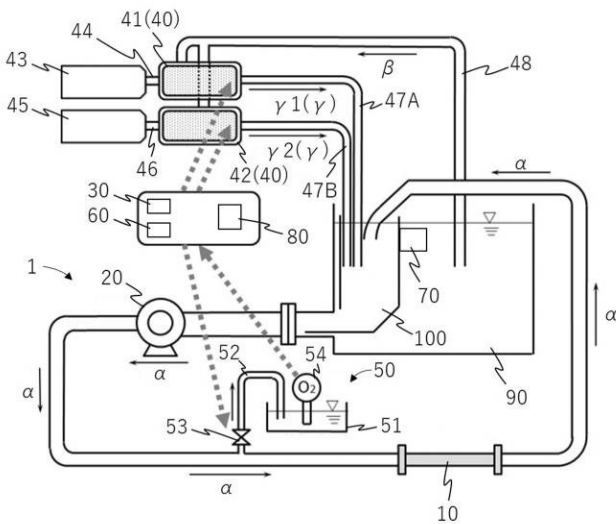
45 不活性ガス供給源

50

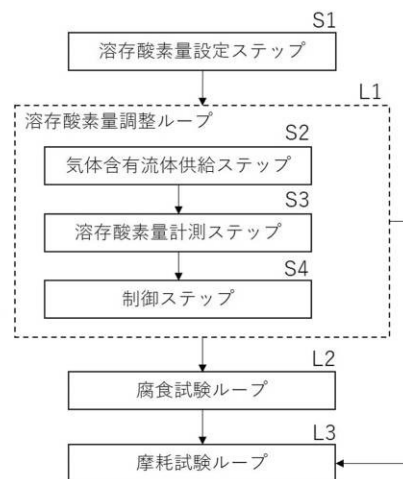
- 50 溶存酸素量計測手段
- 54 溶存酸素計
- 60 制御手段
- 70 鉱石供給手段
- 80 表示手段
- S1 溶存酸素量設定ステップ
- S2 気体含有流体供給ステップ
- S3 溶存酸素量計測ステップ
- S4 制御ステップ
- L1 溶存酸素量調整ループ
- L2 腐食試験ループ
- L3 摩耗試験ループ
- α 試験流体
- γ 気体含有流体（ファインバブル水）
- $\gamma 1$ 酸素ファインバブル水
- $\gamma 2$ 不活性ガスファインバブル水

10

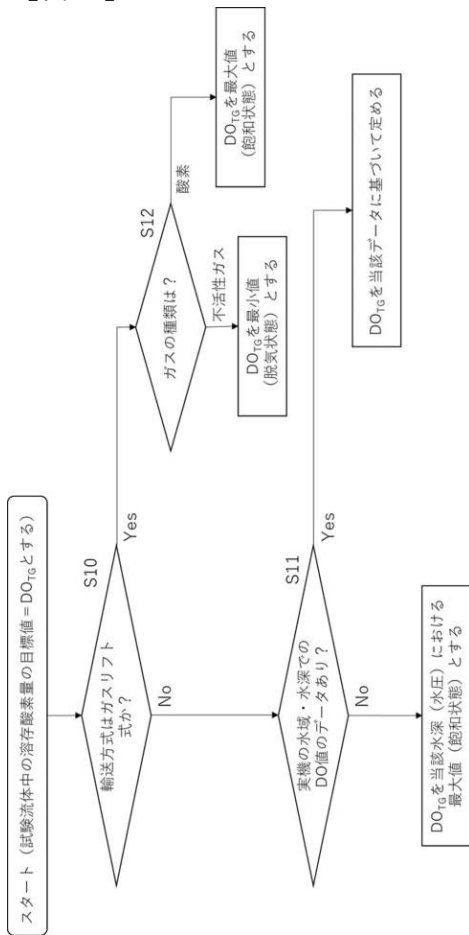
【図 1】



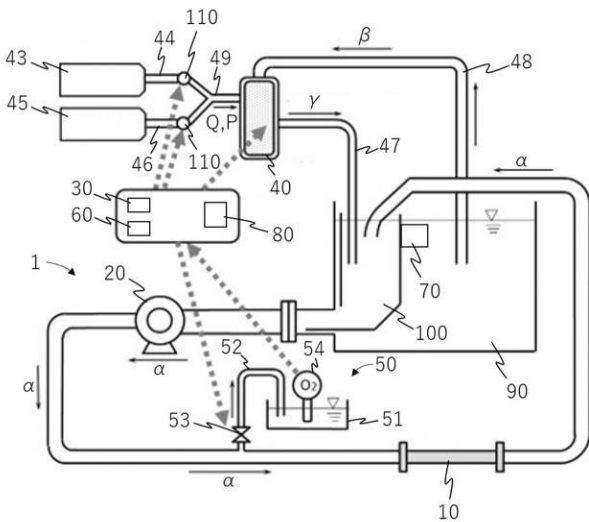
【図 2】



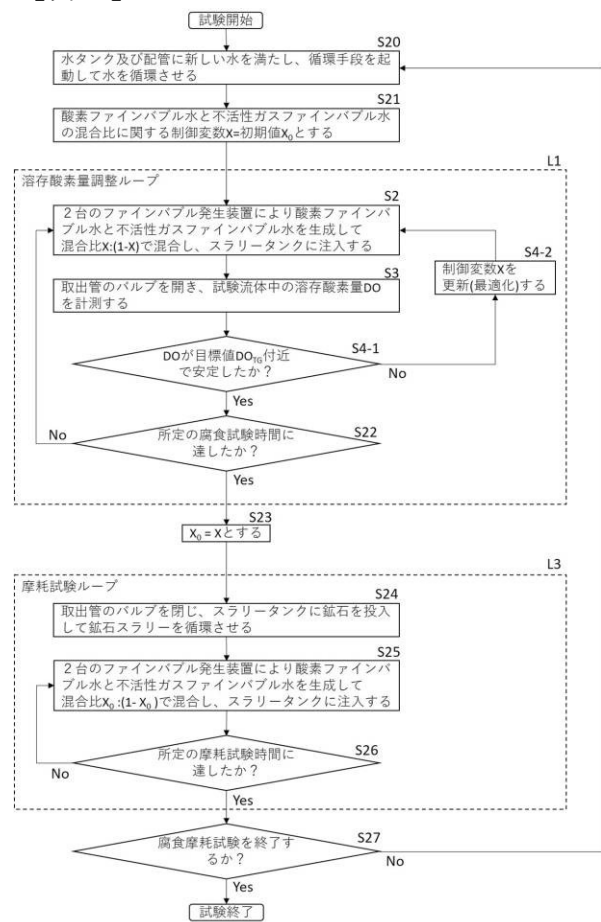
【図 3】



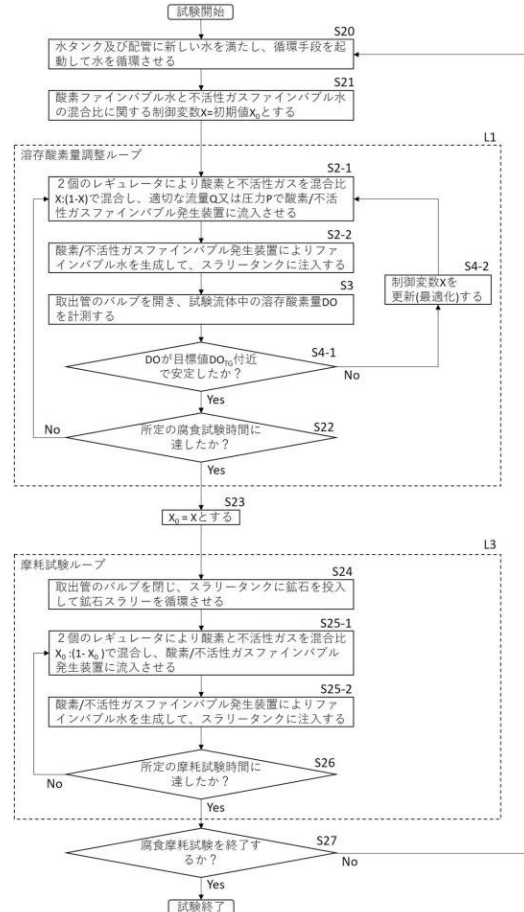
【図 5】



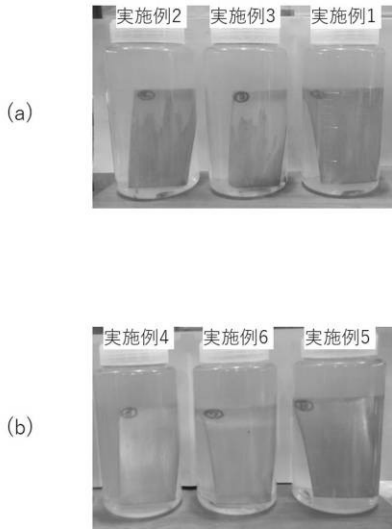
【図 4】



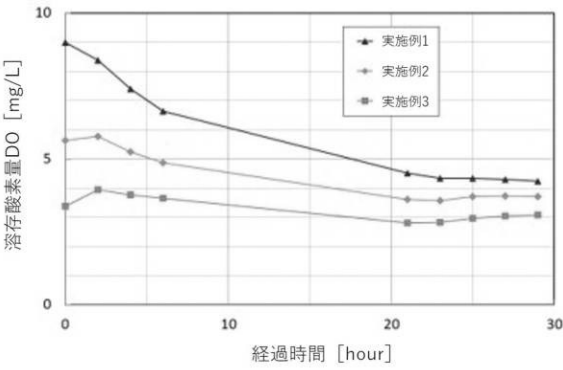
【図 6】



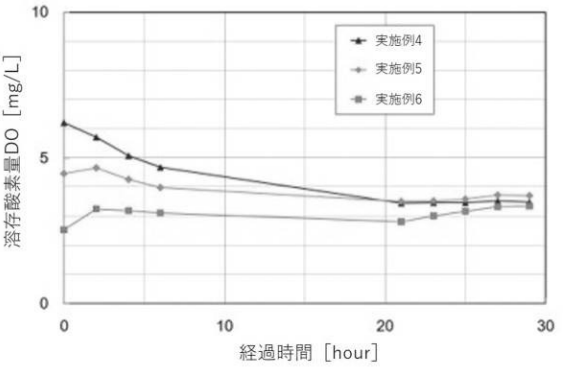
【図 7】



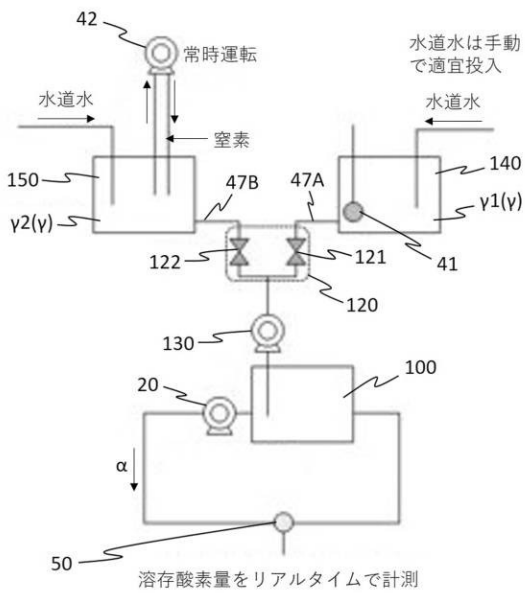
【図 8】



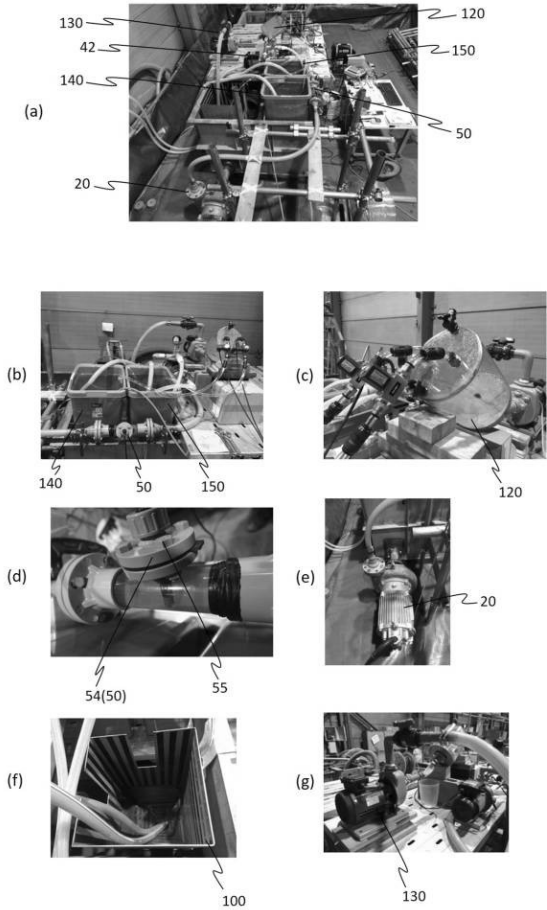
【図 9】



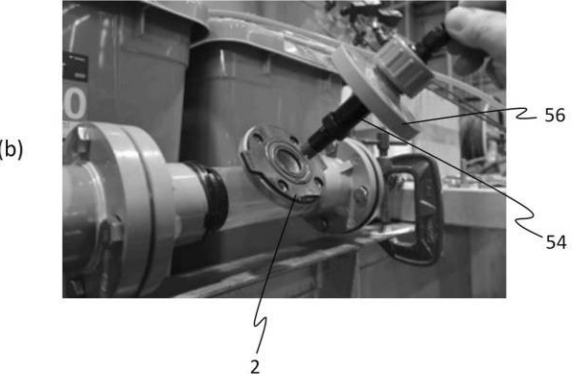
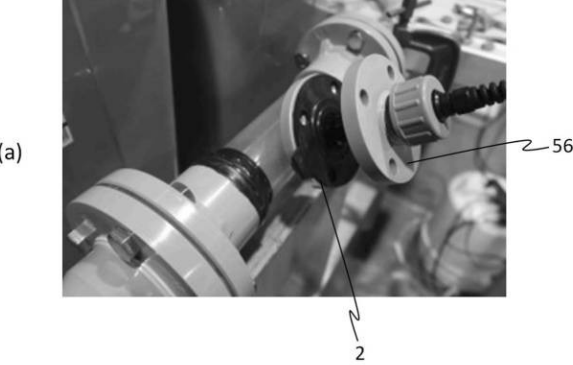
【図 10】



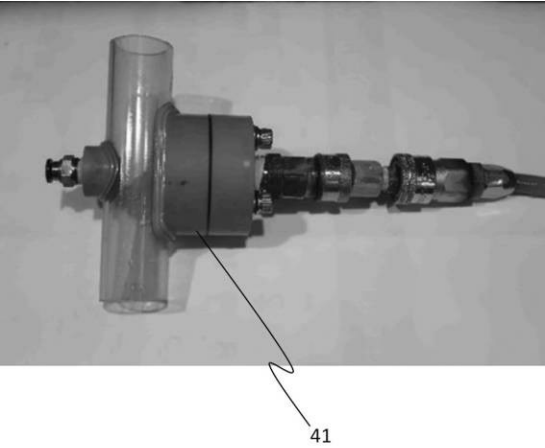
【図 11】



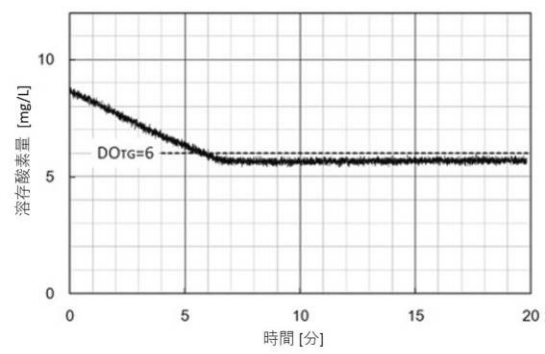
【図 1 2】



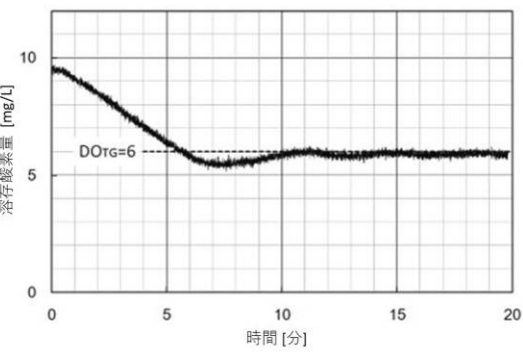
【図 1 3】



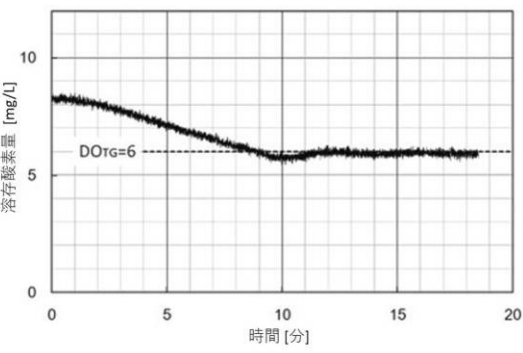
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



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 山本 譲司

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

Fターム(参考) 2G050 AA01 AA07 BA01 BA04 BA12 EA05 EA06 EB10 EC01 EC03