

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7018190号

(P7018190)

(45)発行日 令和4年2月10日(2022.2.10)

(24)登録日 令和4年2月2日(2022.2.2)

(51)国際特許分類

F I

F 1 6 L 11/12 (2006.01)

F 1 6 L 11/12

H

請求項の数 21 (全40頁)

(21)出願番号	特願2017-212471(P2017-212471)	(73)特許権者	501204525
(22)出願日	平成29年11月2日(2017.11.2)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技
(65)公開番号	特開2018-84327(P2018-84327A)		術研究所
(43)公開日	平成30年5月31日(2018.5.31)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
審査請求日	令和2年10月27日(2020.10.27)	(74)代理人	100098545
(31)優先権主張番号	特願2016-220870(P2016-220870)		弁理士 阿部 伸一
(32)優先日	平成28年11月11日(2016.11.11)	(74)代理人	100087745
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 清水 善廣
		(74)代理人	100106611
			弁理士 辻田 幸史
		(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
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 摩耗検知機能をもつ輸送管、摩耗検知方法、及び輸送管の運用方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

摩耗性物質と液体の混合したスラリー又は前記摩耗性物質の輸送に用いる輸送管であって、前記輸送管が内管と内管外層を有し、前記内管外層が管軸周りの角度範囲に応じて、又は長手方向の位置範囲に応じて前記内管の色と異なる複数の色により色分けされた構造を備えるとともに、前記内管外層は、前記複数の色により色分けされた帯状体又は線状体が螺旋状に巻回された構造であることを特徴とする摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項2】

摩耗性物質と液体の混合したスラリー又は前記摩耗性物質の輸送に用いる輸送管であって、前記輸送管が内管と内管外層を有し、前記内管外層が管軸周りの角度範囲に応じて、又は長手方向の位置範囲に応じて前記内管の色と異なる複数の色により色分けされた構造を備えるとともに、前記内管外層の外側に、さらに第2内管外層、第3内管外層を有し、前記第2内管外層の色が前記内管の色及び前記内管外層の前記複数の色と異なる色で形成され、前記第3内管外層の色が前記内管外層の前記複数の色と同色で、管軸周りの前記角度範囲に応じて、又は長手方向の前記位置範囲に応じて形成されていることを特徴とする摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項3】

前記内管の色を黒色又は暗色で形成し、前記内管外層の前記複数の色を前記内管の色よりも明るい色で形成したことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項 4】

前記内管外層を光学的に透過性の材料で形成したことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項 5】

前記内管外層の比重を、前記スラリーの前記液体の比重未満としたことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項 6】

前記内管外層の比重を、前記スラリーの前記液体の比重と同等にしたことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項 7】

前記内管外層の内面と外面とも前記複数の色が、同一の管軸周りの前記角度範囲又は長手方向の前記位置範囲に形成されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項 8】

前記内管外層の外側に、さらに第 2 内管外層を有し、前記第 2 内管外層の色が前記内管外層の前記複数の色と異なる色であることを特徴とする請求項 1、又は請求項 1 を引用する請求項 3 から請求項 7 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項 9】

前記輸送管が可撓性を有したホースであることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管。

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管を用いた摩耗検知方法であって、前記輸送管の内側から露出した前記内管外層の色を視覚的に識別する及び／又は前記内管外層の摩耗粉の色を視覚的に識別することにより、摩耗及び／又は摩耗箇所を検知することを特徴とする摩耗検知方法。

【請求項 11】

前記摩耗粉の濃度又は量を測定することにより前記摩耗箇所の摩耗量を推定することを特徴とする請求項 10 に記載の摩耗検知方法

【請求項 12】

露出した前記内管外層の色を前記輸送管の内側から視覚的に識別するに当り、前記輸送管の外側から光を当てることを特徴とする請求項 10 又は請求項 11 に記載の摩耗検知方法。

【請求項 13】

露出した前記内管外層の色を前記輸送管の外側から視覚的に識別するに当り、前記輸送管の内側から光を当てることを特徴とする請求項 4 を引用する請求項 10 又は請求項 11 に記載の摩耗検知方法。

【請求項 14】

前記輸送管の内側から当てる前記光を可動式の照明手段を用いて当てたことを特徴とする請求項 13 に記載の摩耗検知方法。

【請求項 15】

請求項 1 から請求項 9 のうちの 1 項に記載の摩耗検知機能をもつ輸送管を用いた摩耗検知方法であって、輸送系統の摩耗の想定される箇所にのみ摩耗検知機能をもつ前記輸送管を用いたことを特徴とする摩耗検知方法。

【請求項 16】

請求項 10 から請求項 15 のうちの 1 項に記載の摩耗検知方法を用いた輸送管の運用方法であって、管軸周りの前記角度範囲を検知した前記摩耗箇所を、異なった前記角度範囲に移動させることを特徴とする輸送管の運用方法。

【請求項 17】

異なった前記角度範囲に移動させるように、管軸周りに前記輸送管を回転させることを特徴とする請求項 16 に記載の輸送管の運用方法。

【請求項 18】

異なった前記角度範囲に移動させるように、前記輸送管を可撓性を持たせて構成し、前記輸送管に外力を加えて変形させることを特徴とする請求項 1 6 に記載の輸送管の運用方法。

【請求項 1 9】

前記外力は、浮力発生手段による浮力であることを特徴とする請求項 1 8 に記載の輸送管の運用方法。

【請求項 2 0】

前記外力は、懸吊機、架台を含む機構手段による機構的外力であることを特徴とする請求項 1 8 に記載の輸送管の運用方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 0 から請求項 1 5 のうちの 1 項に記載の摩耗検知方法を用いた輸送管の運用方法であって、長手方向の前記位置範囲を検知した前記摩耗箇所の前記輸送管の部品を新しい部品に交換する、又は前記摩耗箇所を局所的に補修することを特徴とする輸送管の運用方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、固形物等の摩耗性物質と液体の混合物であるスラリー、又は粉体若しくはペレット等の摩耗性物質の輸送に用いる輸送管の摩耗検知及び運用方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

20

海底で掘削した鉱石等の海上の船舶への輸送や、各種プラントにおけるスラリー、粉体又はペレット等の輸送には、輸送管が用いられる。

図 3 2 は輸送管の一部透過図であり、図 3 2 (a) は曲がり部を有する可撓性の輸送管を示し、図 3 2 (b) は曲がり部を有さない輸送管を示している。

図 3 2 に示すように、輸送管（耐摩耗ホース）1 0 は、一方の端部 1 0 a と他方の端部 1 0 b が、それぞれ継手 3 0 を介して配管 2 に接続されている。輸送管 1 0 の内管 1 1 には、一方の端部 1 0 a から他方の端部 1 0 b に向かって、粉体又はペレット等の摩耗性物質 1 と液体の混合したスラリー、又は摩耗性物質 1 が流れている。

図 3 2 (a) に示す輸送管（耐摩耗ホース）1 0 は、一方の端部 1 0 a から他方の端部 1 0 b に至るまでに 4 カ所の曲がり部を有する。また、図 3 2 (b) に示す輸送管 1 0 は、一方の端部 1 0 a から他方の端部 1 0 b に至るまでに曲がり部を有さない。

30

図 3 2 (a) に示すように、輸送管の一種である耐摩耗ホース 1 0 をスラリー又は摩耗性物質 1 の輸送に使用すると、耐摩耗ホース 1 0 のうち曲率が大きくなっている部分の曲がり外側部分（耐摩耗ホース 1 0 のカーブしている流路の外寄りの部分）の内管 1 1 が、摩耗性物質 1 の衝突により局所的に著しい摩耗損傷を受けやすい。したがって、内管 1 1 の曲がり外側部分が、その他の部分よりも摩耗の進行が速い摩耗進行領域 X となる（内管 1 1 のうち図 3 2 (a) の長円で囲まれた部分）。そして、内管 1 1 のどこか 1 カ所でも摩耗限界に達した場合には、たとえ耐摩耗ホース 1 0 の他の部分にはまったく摩耗損傷がなくても、耐摩耗ホース 1 0 全体としては短時間で使用不能となり交換を余儀なくされる。耐摩耗ホース 1 0 の交換作業は、それ自体煩雑であるのと同時に、作業中の全体システム停止に伴う時間的、経済的損失も甚大となる。

40

図 3 2 (b) に示すように、耐摩耗ホース以外の輸送管 1 0 においても、液相に比べて固相の比重が大きいスラリーや、ペレットなどの摩耗性物質 1 を輸送する場合には、曲がりのない直管部においても重力の影響により摩耗の進行が内管 1 1 の鉛直下側に偏る。したがって、内管 1 1 の鉛直下側の部分が、その他の部分よりも摩耗の進行が速い摩耗進行領域 X となる（内管 1 1 のうち図 3 2 (b) の長円で囲まれた部分）。そして、内管 1 1 のどこか 1 カ所でも摩耗限界に達した場合には、たとえ鉛直上側や側面にはまったく摩耗損傷がなくても、鉛直下側の部分の摩耗が限界に達した時点で輸送管 1 0 全体が使用不能になってしまう。

このように、摩耗性物質 1 の衝突により生ずる内管 1 1 の摩耗損傷は、内管 1 1 全体で一

50

様に進行するのではなく、部分によって進行の度合いに程度の差がある。

従って、耐摩耗ホースなどの輸送管 10 をスラリー又は摩耗性物質 1 の輸送に用いる場合には、内管 11 の局所的摩耗による破損を避けて輸送管 10 全体としての稼働性をできるだけ長く維持し、輸送管 10 の寿命を延伸させるような対策をとることが望まれる。そして、適切な対策をとるためには、摩耗が進行した部分の管軸周りの角度範囲を的確に検知することが必要である。

【0003】

ここで、特許文献 1 には、黄色透明の外側層と、青色透明又は赤色透明の内側層と、無色透明の中間層とを積層してなる合成樹脂製のホース壁を備え、中間層に無色透明の合成樹脂製の補強芯が埋設されており、外側層の摩耗度合及び内管層の摩耗度合に応じてホース壁の色が変化する輸送用ホースが開示されている。

10

また、特許文献 2 には、管外側層、中間層及び管内側層からなり、管外側層及び管内側層の色調を中間層と異ならせることで、管に発生した傷が規格の深さ以上であるかを判定可能な樹脂管が開示されている。

また、特許文献 3 には、管状壁の外壁面の摩耗貫通を検出するカラー層を有し、目視検査によって管状壁の一部等が摩耗したことを検出する摩耗検出装置が開示されている。

また、特許文献 4 には、中間層の内外周面に積層された FRP 層に、管の軸方向に連続する色相の異なる複数の着色強化プラスチック層を、隣接する着色強化プラスチック層とその色相が異なるように管の半径方向に積層して形成してなり、FRP 層に摩耗等が発生したことを、FRP 層の表面の色を視認することで発見できる複合管が開示されている。

20

また、特許文献 5 には、ホース体 (24) の内側に、外部層 (28) と、外部層 (28) よりも高耐摩耗性の内部層 (26) を管状に配置し、外部層 (28) と内部層 (26) の色を異ならせることで、内部層 (26) の摩耗進行を検知できるホースが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2011-64305 号公報

特開 2003-247668 号公報

特表平 4-503850 号公報

特表平 9-273668 号公報

30

米国特許第 4474217 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 から 5 に記載の発明は、いずれも、ホース等のうち摩耗が進行した部分の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲を検知しようとするものではない。従って、ホース等の内管の局所的摩耗による破損を避けた運用を行うことは困難である。

また、特許文献 3 に記載の発明は、摩耗箇所を目視で検出しようとするときには配管の外側から見る必要があり、また、ペレット等の搬送材料への着色も必要となる。

【0006】

40

そこで本発明は、摩耗性物質輸送用の輸送管に関し、輸送管の摩耗が進行した部分の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲を検知する摩耗検知機能をもつ輸送管、摩耗検知方法、及び輸送管の運用方法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 記載に対応した摩耗検知機能をもつ輸送管においては、摩耗性物質と液体の混合したスラリー又は摩耗性物質の輸送に用いる輸送管であって、輸送管が内管と内管外層を有し、内管外層が管軸周りの角度範囲に応じて、又は長手方向の位置範囲に応じて内管の色と異なる複数の色により色分けされた構造を備えるとともに、内管外層は、複数の色により色分けされた帯状体又は線状体が螺旋状に巻回された構造であることを特徴とする。

50

請求項1に記載の本発明によれば、輸送管のうち摩耗が進行した部分の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲を色に基づいて検知することができる。また、内管の外側に設けた螺旋状の補強層を内管外層としたり、輸送管が可撓性を有する場合には内管外層の付与による過度の曲げ剛性増大を抑制して輸送管の可撓性を適切に保つことができる。

【0008】

請求項2記載に対応した摩耗検知機能をもつ輸送管においては、摩耗性物質と液体の混合したスラリー又は摩耗性物質の輸送に用いる輸送管であって、輸送管が内管と内管外層を有し、内管外層が管軸周りの角度範囲に応じて、又は長手方向の位置範囲に応じて内管の色と異なる複数の色により色分けされた構造を備えるとともに、内管外層の外側に、さらに第2内管外層、第3内管外層を有し、第2内管外層の色が内管の色及び内管外層の複数の色と異なる色で形成され、第3内管外層の色が内管外層の複数の色と同色で、管軸周りの角度範囲に応じて、又は長手方向の位置範囲に応じて形成されていることを特徴とする。

10

請求項2に記載の本発明によれば、輸送管のうち摩耗が進行した内管及び内管外層の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲を検知することができる。また、内管又は内管外層の摩耗が検知された場合、当該摩耗箇所の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲を輸送管の外側からでも対応付けて視覚的に容易に把握することができる。

【0009】

請求項3記載の本発明は、内管の色を黒色又は暗色で形成し、内管外層の複数の色を内管の色よりも明るい色で形成したことを特徴とする。

請求項3に記載の本発明によれば、内管と内管外層とのコントラストが高まり、視認性が向上する。

20

【0010】

請求項4記載の本発明は、内管外層を光学的に透過性の材料で形成したことを特徴とする。

請求項4に記載の本発明によれば、輸送管の外側から光を当てることにより、内管の内側から見たときに内管摩滅部分がその角度範囲又は位置範囲の内管外層の色に光って見えるため、さらに識別性が向上する。

なお、本発明において「透過性」とは、光が透過する性質のことをいい、透明と、透明よりは透過率が低い半透明の両方を含む。

【0011】

請求項5記載の本発明は、内管外層の比重を、スラリーの液体の比重未満としたことを特徴とする。

30

請求項5に記載の本発明によれば、摩耗により内管外層から発生してスラリーに混入した摩耗粉がスラリーの液相上面に浮き上がるため、適当な箇所では液相上面を観察することにより、内管外層から発生した摩耗粉の色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲の検知が容易になる。

【0012】

請求項6記載の本発明は、内管外層の比重を、スラリーの液体の比重と同等にしたことを特徴とする。

請求項6に記載の本発明によれば、摩耗により内管外層から発生してスラリーに混入した摩耗粉がスラリーの液相中に分散浮遊するため、適当な箇所では液相を観察することにより、内管外層から発生した摩耗粉の色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲の検知が容易となる。

40

【0013】

請求項7記載の本発明は、内管外層の内面と外面とも複数の色が、同一の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲に形成されていることを特徴とする。

請求項7に記載の本発明によれば、内管や内管外層の摩耗が検知された場合、当該摩耗箇所の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲を輸送管の外側からでも視覚的に容易に把握することができる。

【0014】

請求項8記載の本発明は、内管外層の外側に、さらに第2内管外層を有し、第2内管外層

50

の色が内管外層の複数の色と異なる色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、内管外層の局所的摩滅を検知することができる。

【 0 0 1 5 】

請求項 9 に記載の本発明は、輸送管が可撓性を有したホース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、剛体管だけでなく可撓性を有したホースにも適用できる。

【 0 0 1 6 】

請求項 10 に記載に対応した摩耗検知方法においては、摩耗検知機能をもつ輸送管を用いた摩耗検知方法であって、輸送管の内側から露出した内管外層の色を視覚的に識別する及び／又は内管外層の摩耗粉の色を視覚的に識別することにより、摩耗及び／又は摩耗箇所を検知することを特徴とする。

請求項 10 に記載の本発明によれば、輸送管のうち摩耗が進行した部分の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲を検知することができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 11 に記載の本発明は、摩耗粉の濃度又は量を測定することにより摩耗箇所の摩耗量を推定することを特徴とする。

請求項 11 に記載の本発明によれば、濃度又は量の測定値に基づいて摩耗箇所の摩耗度を把握することができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 12 に記載の本発明は、露出した内管外層の色を輸送管の内側から視覚的に識別するに当り、輸送管の外側から光を当てることを特徴とする。

請求項 12 に記載の本発明によれば、輸送管の外側から光を当てることにより、内管の内側から見たときに内管摩滅部分の角度範囲又は位置範囲を識別しやすくなる。

【 0 0 1 9 】

請求項 13 に記載の本発明は、露出した内管外層の色を輸送管の外側から視覚的に識別するに当り、輸送管の内側から光を当てることを特徴とする。

請求項 13 に記載の本発明によれば、輸送管の内側から光を当てることにより、輸送管の外側から見たときに内管摩滅部分とその角度範囲の内管外層の色に光って見えるため、輸送管の外側から内管摩滅部分を識別することができる。

【 0 0 2 0 】

請求項 14 に記載の本発明は、輸送管の内側から当てる光を可動式の照明手段を用いて当てたことを特徴とする。

請求項 14 に記載の本発明によれば、光を当てる角度や位置を変えやすくなるため、輸送管の外側から見たときに内管摩滅部分の角度範囲又は位置範囲を識別しやすくなる。

【 0 0 2 1 】

請求項 15 に記載に対応した摩耗検知方法においては、摩耗検知機能をもつ輸送管を用いた摩耗検知方法であって、輸送系統の摩耗の想定される箇所にのみ摩耗検知機能をもつ輸送管を用いたことを特徴とする。

請求項 15 に記載の本発明によれば、摩耗検知に用いる輸送管の総長を節約してコストを削減することができる。

【 0 0 2 2 】

請求項 16 に記載に対応した輸送管の運用方法においては、摩耗検知方法を用いた輸送管の運用方法であって、管軸周りの角度範囲の検知した摩耗箇所を、異なった角度範囲に移動させることを特徴とする。

請求項 16 に記載の本発明によれば、内管が摩耗性物質の衝突により局所的な摩耗を受けるとしても、摩耗が生じた部分を異なる角度範囲に移動させることで、内管に生ずる摩耗を管軸周りの各角度範囲に分散させることができる。よって、摩耗限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管全体としての寿命を大きく延伸することができる。

【 0 0 2 3 】

請求項 17 に記載の本発明は、異なった角度範囲に移動させるように、管軸周りに輸送管を

10

20

30

40

50

回転させることを特徴とする。

請求項 17 に記載の本発明によれば、管軸周りに輸送管を回転させて摩耗が生じた部分を異なる角度範囲に移動させることで、内管に生ずる摩耗を管軸周りの各角度範囲に分散させることができる。

【0024】

請求項 18 に記載の本発明は、異なった角度範囲に移動させるように、輸送管を可撓性を持たせて構成し、輸送管に外力を加えて変形させることを特徴とする。

請求項 18 に記載の本発明によれば、輸送管に外力を加えて変形させ摩耗が生じた部分を異なる角度範囲に移動させることで、内管に生ずる摩耗を管軸周りの各角度範囲に分散させることができる。

【0025】

請求項 19 に記載の本発明は、外力は、浮力発生手段による浮力であることを特徴とする。

請求項 19 に記載の本発明によれば、特に水中において、浮力により輸送管に外力を加えることが容易となる。

【0026】

請求項 20 に記載の本発明は、外力は、懸吊機、架台を含む機構手段による機構的外力であることを特徴とする。

請求項 20 に記載の本発明によれば、機構的外力により輸送管に外力を加えることが容易となる。

【0027】

請求項 21 に記載に対応した輸送管の運用方法においては、摩耗検知方法を用いた輸送管の運用方法であって、長手方向の位置範囲の検知した摩耗箇所の輸送管の部品を新しい部品に交換する、又は摩耗箇所を局所的に補修することを特徴とする。

請求項 21 に記載の本発明によれば、内管が摩耗性物質の衝突により局所的な摩耗を受けるとしても、摩耗が生じた部分を交換又は補修することで、摩耗限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管全体としての寿命を大きく延伸することができる。

【発明の効果】

【0028】

本発明の摩耗検知機能をもつ輸送管によれば、輸送管のうち摩耗が進行した部分の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲を色に基づいて検知することができる。また、内管の外側に設けた螺旋状の補強層を内管外層としたり、輸送管が可撓性を有する場合には内管外層の付与による過度の曲げ剛性増大を抑制して輸送管の可撓性を適切に保つことができる。

【0029】

また、本発明の摩耗検知機能をもつ輸送管によれば、内管外層の外側に、さらに第2内管外層、第3内管外層を有し、第2内管外層の色が内管の色及び内管外層の複数の色と異なる色で形成され、第3内管外層の色が内管外層の複数の色と同色で、管軸周りの角度範囲に応じて、又は長手方向の位置範囲に応じて形成されていることで、輸送管のうち摩耗が進行した内管及び内管外層の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲を検知することができる。また、内管又は内管外層の摩耗が検知された場合、当該摩耗箇所の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲を輸送管の外側からでも対応付けて視覚的に容易に把握することができる。

【0030】

また、内管の色を黒色又は暗色で形成し、内管外層の複数の色を内管の色よりも明るい色で形成した場合には、内管と内管外層とのコントラストが高まり、視認性が向上する。

【0031】

また、内管外層を光学的に透過性の材料で形成した場合には、輸送管の外側から光を当てることにより、内管の内側から見たときに内管摩滅部分とその角度範囲又は位置範囲の内管外層の色に光って見えるため、さらに識別性が向上する。

【0032】

10

20

30

40

50

また、内管外層の比重を、スラリーの液体の比重未満とした場合には、摩耗により内管外層から発生してスラリーに混入した摩耗粉がスラリーの液相上面に浮き上がるため、適当な箇所では液相上面を観察することにより、内管外層から発生した摩耗粉の色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲の検知が容易になる。

【0033】

また、内管外層の比重を、スラリーの液体の比重と同等にした場合には、摩耗により内管外層から発生してスラリーに混入した摩耗粉がスラリーの液相中に分散浮遊するため、適当な箇所では液相を観察することにより、内管外層から発生した摩耗粉の色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲の検知が容易となる。

【0034】

また、内管外層の内面と外面とも複数の色が、同一の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲に形成されている場合には、内管や内管外層の摩耗が検知された場合、当該摩耗箇所の管軸周りの角度範囲又は長手方向の位置範囲を輸送管の外側からでも視覚的に容易に把握することができる。

【0035】

また、内管外層の外側に、さらに第2内管外層を有し、第2内管外層の色が内管外層の複数の色と異なる色である場合には、内管外層の局所的摩滅を検知することができる。

【0036】

また、輸送管が可撓性を有したホースである場合には、剛体管だけでなく可撓性を有したホースにも適用できる。

【0037】

本発明の摩耗検知方法によれば、輸送管のうち摩耗が進行した部分の管軸周りの角度範囲、又は長手方向の位置範囲を検知することができる。

【0038】

また、摩耗粉の濃度又は量を測定することにより摩耗箇所の摩耗量を推定する場合には、濃度又は量の測定値に基づいて摩耗箇所の摩耗度を把握することができる。

【0039】

また、露出した内管外層の色を輸送管の内側から視覚的に識別するに当たり、輸送管の外側から光を当てる場合には、輸送管の外側から光を当てることにより、内管の内側から見たときに内管摩滅部分の角度範囲又は位置範囲を識別しやすくなる。

【0040】

また、露出した内管外層の色を輸送管の外側から視覚的に識別するに当たり、輸送管の内側から光を当てる場合には、輸送管の内側から光を当てることにより、輸送管の外側から見たときに内管摩滅部分とその角度範囲の内管外層の色に光って見えるため、輸送管の外側から内管摩滅部分を識別することができる。

【0041】

また、輸送管の内側から当てる光を可動式の照明手段を用いて当てた場合には、光を当てる角度や位置を変えやすくなるため、輸送管の外側から見たときに内管摩滅部分の角度範囲又は位置範囲を識別しやすくなる。

【0042】

また、輸送システムの摩耗の想定される箇所にのみ摩耗検知機能をもつ輸送管を用いた場合には、摩耗検知に用いる輸送管の総長を節約してコストを削減することができる。

【0043】

本発明の輸送管の運用方法によれば、内管が摩耗性物質の衝突により局所的な摩耗を受けるとしても、摩耗が生じた部分を異なる角度範囲に移動させることで、内管に生ずる摩耗を管軸周りの各角度範囲に分散させることができる。よって、摩耗限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管全体としての寿命を大きく延伸することができる。

【0044】

また、異なった角度範囲に移動させるように、管軸周りに輸送管を回転させる場合には、管軸周りに輸送管を回転させて摩耗が生じた部分を異なる角度範囲に移動させることで、

10

20

30

40

50

内管に生ずる摩耗を管軸周りの各角度範囲に分散させることができる。

【0045】

また、異なった角度範囲に移動させるように、輸送管を可撓性を持たせて構成し、輸送管に外力を加えて変形させる場合には、輸送管に外力を加えて変形させ摩耗が生じた部分を異なる角度範囲に移動させることで、内管に生ずる摩耗を管軸周りの各角度範囲に分散させることができる。

【0046】

また、外力は、浮力発生手段による浮力である場合には、特に水中において、浮力により輸送管に外力を加えることが容易となる。

【0047】

また、外力は、懸吊機、架台を含む機構手段による機構的外力である場合には、機構的外力により輸送管に外力を加えることが容易となる。

【0048】

また、長手方向の位置範囲を検知した摩耗箇所の輸送管の部品を新しい部品に交換する、又は摩耗箇所を局所的に補修する場合には、内管が摩耗性物質の衝突により局所的な摩耗を受けるとしても、摩耗が生じた部分を交換又は補修することで、摩耗限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管全体としての寿命を大きく延伸することができる。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明の一実施形態による輸送管の第1実施例における内管及び外層の断面図

【図2】同輸送管の第2実施例における内管及び外層の断面図

【図3】同輸送管の第2実施例における内管及び外層の断面図

【図4】同輸送管の第3実施例における輸送管の設置例を示す図

【図5】同輸送管の第3実施例における内管及び外層の断面図

【図6】本発明の一実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管の配置例を示す図

【図7】本発明の一実施形態による輸送管の第一実施例による運用方法のフローチャート

【図8】同輸送管の第二実施例による運用方法のフローチャート

【図9】同輸送管の第三実施例による運用方法のフローチャート

【図10】同輸送管の輸送管回転機構の一例を示す図

【図11】同輸送管の輸送管回転機構の他の例を示す図

【図12】同輸送管の輸送管回転機構のさらに他の例を示す図

【図13】同輸送管の輸送管変形機構の一例を示す図

【図14】第一の実証試験に用いたホースを示す図

【図15】同ホースを上流側から見た断面写真

【図16】同スラリー循環式摩耗試験装置の概観写真

【図17】同模擬鉱石の概観写真

【図18】同ホースの損傷部分の観察写真

【図19】同ホースの損傷部分の観察写真

【図20】同ホースの損傷部分の観察写真

【図21】同ホースの損傷部分の観察写真

【図22】同ホースの損傷部分の観察写真

【図23】同ホースの損傷部分の観察写真

【図24】同ホースの損傷部分の観察写真

【図25】同ホースの損傷部分の観察写真

【図26】第二の実証試験に用いた螺旋状ライナー付き耐摩耗ホースの内部の概観写真

【図27】同螺旋状ライナーの近接写真

【図28】同スラリー循環式摩耗試験装置の概観写真

【図29】同螺旋状ライナーの破断箇所の観察写真

【図30】同耐摩耗ホースの管軸周りの角度位置を示す図

【図31】同螺旋状ライナーの破断箇所の観察写真

10

20

30

40

50

【図 3 2】 輸送管の一部透過図

【図 3 3】 輸送管の従来の運用方法のフローチャート

【発明を実施するための形態】

【0050】

以下に、本発明の実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管、摩耗検知方法、及び輸送管の運用方法について説明する。

【0051】

まず、本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管、及び摩耗検知方法について説明する。

【0052】

図 1 は本実施形態のうち第 1 実施例における内管及び外層の断面図である。

輸送管 10 の内管 11 の色は、黒色又は暗色で形成されている。内管 11 の外側には内管外層 12 が設けられている。内管外層 12 は、管軸周りの角度範囲に応じて、4 色（オレンジ色領域 12 A、緑色領域 12 B、赤色領域 12 C、青色領域 12 D）に 90 度ごとに色分けされている。着色は板厚内部までされており、内管外層 12 の内面と外面とも着色されている。

なお、内管外層 12 は、内管 11 と材質の異なる層が内管 11 の外側に積層されていてもよいし、内管 11 と同じ材質の層が内管 11 の外側に内管 11 と一体に形成されていてもよい。内管 11 又は内管外層 12 の材質としては、ゴム、樹脂、FRP、金属、ガラス、又はセラミックスを用いることができる。

内管 11 が摩耗する前の状態を図 1（a）に示す。鉱石等の摩耗性物質 1 の衝突等により、黒色又は暗色の内管 11 の摩耗が進行して局所的に摩滅すると、図 1（b）に示すように、内管 11 の外側の内管外層 12 のうち例えば緑色領域 12 B が露出する。従って、内管 11 の内側から露出した色を視覚的に識別することによって、内管 11 に摩耗が生じたことを検知すると共に、摩耗が生じた箇所の管軸周りの角度範囲を検知することができる。

【0053】

なお、内管外層 12 を光学的に透過性の材料で形成しておくこと、図 1（c）に示すように、輸送管 10 の外側から照明手段 20 等で強い光を当てることにより、内管 11 の内側から見たときに内管摩滅部分はその角度範囲の内管外層 12 の色（図 1（c）では緑色）に光って見えるため、さらに識別性が向上する。また、図 1（d）に示すように、輸送管 10 の内側から照明手段 20 等で強い光を当てることにより、輸送管 10 の外側から見たときに内管摩滅部分はその角度範囲の内管外層 12 の色（図 1（d）では緑色）に光って見えるため、輸送管 10 の外側から内管摩滅部分を識別することができる。

ここで、内管外層 12 を光学的に透過性の材料で形成するにあたって、当該材料をゴムとする場合には、ウレタンゴム、EPTゴム、又はシリコンゴムなど、比較的透明化が容易なものを選択することが好ましい。

【0054】

また、摩耗性物質 1 の衝突等により内管外層 12 が摩耗すると、図 1（e）に示すように、内管外層 12 と同色（図 1（e）では緑色）の内管外層 12 の摩耗粉 12 a が発生してスラリーや粉体中に混入するため、下流側の適当な箇所ですラリーや粉体中の摩耗粉 12 a の色を識別することにより、内管外層 12 の摩耗箇所の管軸周りの角度範囲が検知できると共に、摩耗粉 12 a の量や濃度を測定することにより当該摩耗箇所の摩耗度を推定できる。

【0055】

また、内管外層 12 の外面も内面と同じ色で色分けされているため、上記方法により内管 11 の摩耗や内管外層 12 の摩耗が検知された場合、内側から光を当てると当該摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を輸送管 10 の外側からでも視覚的に容易に把握することができる。

【0056】

なお、本実施例では、内管外層 12 の色を管軸周りの角度範囲 90 度ごとに 4 色で色分けしたが、色分けする角度範囲は、輸送管 10 の用途や使用条件によって適宜選択することが望ましい。例えば、輸送管 10 の用途や使用条件に応じて、内管外層 12 の色を管軸周

10

20

30

40

50

りの角度範囲180度ごとに2色で色分けしたり、内管外層12の色を管軸周りの角度範囲60度ごとに6色で色分けしたりすることができる。

【0057】

また、内管外層12の色分けに際しては、目視により容易に識別できるような色の組み合わせを選択することが好ましい。また、黒色または暗色を呈する内管11とのコントラストを高めるため、内管外層12にはなるべく明るい色を用いることが更に好ましい。

【0058】

また、本実施例では、内管11の内側から露出した色を視覚的に識別したが、内管11の摩耗部分に露出した内管外層12の色の識別には、工業用内視鏡やカメラ付き水中口ロボット等を利用することができる。また、色の視覚的な識別は、計測器やセンサ等を用いた数値的な識別に置き換えることも可能である。

【0059】

また、光源である照明手段20には、図1に示すような懐中電灯の他、ハロゲンランプやLED照明等を用いることができる。また、輸送管10の内側から光を当てる場合には、水中口ロボットや管内移動装置等に搭載した可動式の照明手段20を用いると、光を当てる角度や位置を変えやすくなるため、輸送管10の外側から見たときに内管摩減部分の角度範囲を識別しやすくなる。

【0060】

また、輸送管10がスラリー輸送管の場合は、内管外層12の比重を、スラリーの液相の比重未満にしておくと、図1(e)に示す内管外層12の摩耗粉12aがスラリーの液相上面に浮き上がるため、適当な箇所では液相上面を観察することにより、摩耗粉12aの色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲検知や、摩耗粉の量や濃度による摩耗箇所の摩耗度推定が容易になる。

【0061】

また、同様に輸送管10がスラリー輸送管の場合は、内管外層12の比重を、スラリーの液相の比重と同等にしておくと、図1(e)に示す内管外層12の摩耗粉12aがスラリーの液相中に分散浮遊するため、適当な箇所では液相を観察することにより、摩耗粉12aの色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲検知や、摩耗粉12aの量や濃度による摩耗箇所の摩耗度推定が容易になる。

【0062】

なお、本実施例では、摩耗粉12aの識別に摩耗粉の色を用いるが、予め内管外層12に管軸周りの角度範囲に応じて、マーカーとなるような物質（樹脂、金属、化学物質、マイクロカプセル等）を混入させて分けしておき、これを下流側で検出して摩耗粉12aの管軸周りの角度範囲の識別に用いてもよい。

【0063】

また、本実施例では、内管外層12の形状を管状としているが、複数の色により色分けされた帯状体又は線状体が比較的密に螺旋状に巻回された構造としてもよい。これにより、内管11の外側に設けた螺旋状の補強層を内管外層12としたり、輸送管10が可撓性を有する場合には内管外層12の付与による過度の曲げ剛性増大を抑制して輸送管10の可撓性を適切に保ったりすることができる。

【0064】

また、本実施例では、内管11の内管外層12を管軸周りの角度範囲に応じて色分けすることにより内管11の摩耗を検知しているが、輸送管10の最外層の内側の層を管軸周りの角度範囲に応じて色分けしておき、外部と擦れ合う最外層の摩耗を検知することもできる。

【0065】

図2及び図3は本実施形態のうち第2実施例における内管及び外層の断面図である。輸送管10の内管11の色は、黒色又は暗色で形成されている。内管11の外側には内管外層12が設けられている。内管外層12の外側にはさらに第2内管外層13が設けられている。第2内管外層13の外側にはさらに第3内管外層14が設けられている。

内管外層 1 2 は、管軸周りの角度範囲に応じて、4 色（オレンジ色領域 1 2 A、緑色領域 1 2 B、赤色領域 1 2 C、青色領域 1 2 D）に 90 度ごとに色分けされている。着色は板厚内部までされており、内管外層 1 2 の内面と外面とも着色されている。

第 2 内管外層 1 3 は、内管外層 1 2 の複数の色のいずれとも異なる単一の色を呈する（図 2 及び図 3 では黄色）。着色は板厚内部までされている。

第 3 内管外層 1 4 は、対応する管軸周りの角度範囲 90 度ごとに、内管外層 1 2 と同色で色分けされている（オレンジ色領域 1 4 A、緑色領域 1 4 B、赤色領域 1 4 C、青色領域 1 4 D）。第 3 内管外層 1 4 は、一定の板厚を持った管部材でもよいし、主として色分けの機能だけを有する塗膜のような膜体であってもよい。

なお、内管外層 1 2、第 2 内管外層 1 3 及び第 3 内管外層 1 4 は、内管 1 1 と材質の異なる層が内管 1 1 の外側に積層されていてもよいし、内管 1 1 と同じ材質の層が内管 1 1 の外側に内管 1 1 と一体に成形されていてもよい。内管 1 1、内管外層 1 2 又は第 2 内管外層 1 3 の材質としては、ゴム、樹脂、FRP、金属、ガラス、又はセラミックスを用いることができ、第 3 内管外層 1 4 の材質としては、ゴム、樹脂（塗膜を含む）、FRP、金属、ガラス、又はセラミックスを用いることができる。

内管 1 1 が摩耗する前の状態を図 2（a）に示す。鉱石等の摩耗性物質 1 の衝突等により、黒色又は暗色の内管 1 1 の摩耗が進行して局所的に摩滅すると、図 2（b）に示すように、内管 1 1 の外側の内管外層 1 2 のうち例えば緑色領域 1 2 B が露出する。従って、内管 1 1 の内側から露出した色を視覚的に識別することによって、内管 1 1 に摩耗が生じたことを検知すると共に、摩耗が生じた箇所の管軸周りの角度範囲を検知することができる。

【0066】

なお、内管外層 1 2、第 2 内管外層 1 3 及び第 3 内管外層 1 4 を光学的に透過性の材料で形成しておくこと、図 2（c）に示すように、輸送管 1 0 の外側から照明手段 2 0 等で強い光を当てることにより、内管 1 1 の内側から見たときに内管摩滅部分はその角度範囲の内管外層 1 2 の色（図 2（c）では緑色）に光って見えるため、さらに識別性が向上する。また、図 2（d）に示すように、輸送管 1 0 の内側から照明手段 2 0 等で強い光を当てることにより、輸送管 1 0 の外側から見たときに内管摩滅部分はその角度範囲の内管外層 1 2 の色（図 2（d）では緑色）に光って見えるため、輸送管 1 0 の外側から内管摩滅部分を識別することができる。摩耗が摩滅にまで進行していない場合であっても、照明手段 2 0 等の光の強度、第 3 内管外層 1 4 の光の透過度によっては内管摩耗部分を識別することが可能であり、ここでは摩耗と摩滅は同義である。

ここで、内管外層 1 2、第 2 内管外層 1 3 及び第 3 内管外層 1 4 を光学的に透過性の材料で形成するにあたって、当該材料をゴムとする場合には、ウレタンゴム、EPT ゴム、又はシリコンゴムなど、比較的透明化が容易なものを選択することが好ましい。

【0067】

また、摩耗性物質 1 の衝突等により内管外層 1 2 が摩耗すると、内管外層 1 2 と同色（図 2（e）では緑色）の内管外層 1 2 の摩耗粉 1 2 a が発生してスラリーや粉体中に混入するため、下流側の適当な箇所でスラリーや粉体中の摩耗粉 1 2 a の色を識別することにより、内管外層 1 2 の摩耗箇所の管軸周りの角度範囲が検知できると共に、摩耗粉 1 2 a の量や濃度を測定することにより当該摩耗箇所の摩耗度を推定できる。

【0068】

また、最も外側にある第 3 内管外層 1 4 の外面も内管外層 1 2 と同じ色で色分けされているため、上記方法により内管 1 1 の摩耗や内管外層 1 2 の摩耗が検知された場合、当該摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を輸送管 1 0 の外側からでも対応付けて視覚的に容易に把握することができる。

【0069】

内管外層 1 2 の摩耗が更に進行してその一部が摩滅すると、今度は図 3（a）に示すように、内管外層 1 2 の外側の第 2 内管外層 1 3 が露出するため、内管外層 1 2 の局所的摩滅が検知される。

【0070】

なお、第2内管外層13及び第3内管外層14を光学的に透過性の材料で形成しておくこと、図3(b)に示すように、輸送管10の外側から照明手段20等で強い光を当てることにより、内管11の内側から見たときに内管11及び内管外層12の摩滅部分が第2内管外層13の色(図3(b)では黄色)に光って見えるため、さらに識別性が向上する。また、図3(c)に示すように、輸送管10の内側から照明手段20等で強い光を当てることにより、輸送管10の外側から見たときに内管11及び内管外層12の摩滅部分が第2内管外層13の色(図3(c)では黄色)に光って見えるため、輸送管10の外側から内管摩滅部分を識別することができる。

【0071】

また、更に第2内管外層13が摩耗すると、図3(d)に示すように、第2内管外層13と同色(図3(d)では黄色)の第2内管13の外層摩耗粉13aが発生してスラリーや粉体中に混入するため、下流側の適当な箇所でスラリーや粉体中の摩耗粉13aの色を識別することにより、内管外層12が局所的に摩滅して当該箇所の摩耗度が限界に達したことを検知できる。

【0072】

なお、本実施例では、内管外層12及び第3内管外層14の色を管軸周りの角度範囲90度ごとに4色で色分けしたが、色分けする角度範囲は、輸送管10の用途や使用条件によって適宜選択することが望ましい。例えば、輸送管10の用途や使用条件に応じて、内管外層12及び第3内管外層14の色を管軸周りの角度範囲180度ごとに2色で色分けしたり、内管外層12及び第3内管外層14の色を管軸周りの角度範囲60度ごとに6色で色分けしたりする。

【0073】

また、内管外層12(第3内管外層14も同じ配色)の色分けに際しては、目視により容易に識別できるような色の組み合わせを選択することが好ましい。また、黒色または暗色を呈する内管11とのコントラストを高めるため、内管外層12、第2内管外層13及び第3内管外層14にはなるべく明るい色を用いることが更に好ましい。

【0074】

また、本実施例では、内管11の内側から露出した色を視覚的に識別したが、内管11の摩耗部分に露出した内管外層12及び第2内管外層13の色の識別には、工業用内視鏡やカメラ付き水中ロボット等を利用することができる。

【0075】

また、光源である照明手段20には、図2及び図3に示すような懐中電灯の他、ハロゲンランプやLED照明等を用いることができる。また、輸送管10の内側から光を当てる場合には、水中ロボットや管内移動装置等に搭載した可動式の照明手段20を用いると、光を当てる角度や位置を変えやすくなるため、輸送管10の外側から見たときに内管摩滅部分の角度範囲を識別しやすくなる。

【0076】

また、輸送管10がスラリー輸送管の場合は、内管外層12及び第2内管外層13の比重を、スラリーの液相の比重未満にしておくこと、図2(e)又は図3(d)に示す内管外層12の摩耗粉12a又は第2内管外層13の摩耗粉13aがスラリーの液相上面に浮き上がるため、適当な箇所で液相上面を観察することにより、摩耗粉12a又は摩耗粉13aの色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲検知や、摩耗粉の量や濃度による摩耗箇所の摩耗度推定が容易になる。

【0077】

また、同様に輸送管10がスラリー輸送管の場合は、内管外層12及び第2内管外層13の比重を、スラリーの液相の比重と同等にしておくこと、図2(e)又は図3(d)に示す内管外層12の摩耗粉12a又は第2内管外層13の摩耗粉13aがスラリーの液相中に分散浮遊するため、適当な箇所で液相を観察することにより、摩耗粉12a又は摩耗粉13aの色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲検知や、摩耗粉の量や濃度による摩耗箇所の摩耗度推定が容易になる。

【0078】

なお、本実施例では、摩耗粉12a及び摩耗粉13aの識別に摩耗粉の色を用いるが、予め内管外層12及び第2内管外層13に管軸周りの角度範囲に応じて、マーカとなるような物質（樹脂、金属、化学物質、マイクロカプセル等）を混入させて分けしておき、これを下流側で検出して摩耗粉12a及び摩耗粉13aの識別に用いてもよい。

【0079】

また、本実施例では、内管外層12、第2内管外層13及び第3内管外層14の形状を管状としているが、複数の色により色分けされた帯状体又は線状体が比較的密に螺旋状に巻回された構造としてもよい。

これにより、内管11の外側に設けた螺旋状の補強層を内管外層12、第2内管外層13及び第3内管外層14としたり、輸送管10が可撓性を有する場合には内管外層12、第2内管外層13及び第3内管外層14の付与による過度の曲げ剛性増大を抑制して輸送管10の可撓性を適切に保ったりすることができる。

【0080】

また、本実施例では、内管11の内管外層12を管軸周りの角度範囲に応じて色分けすることにより内管11の摩耗を検知しているが、輸送管10の最外層の内側の層を管軸周りの角度範囲に応じて色分けしておき、外部と擦れ合う最外層の摩耗を検知することもできる。

【0081】

図4は本実施形態のうち第3実施例における輸送管の設置例を示す図であり、図5は図4のA-A断面図である。

図4に示すように、輸送管10の内管11の色は、黒色又は暗色で形成されている。内管11の外側には内管外層12が設けられている。内管外層12は、輸送管10の長手方向の位置範囲に応じて、6色（オレンジ色領域12A、緑色領域12B、赤色領域12C、青色領域12D、黄色領域12E、白色領域12F）に色分けされている。着色は板厚内部までされており、内管外層12の内面と外面とも着色されている。

なお、内管外層12は、内管11と材質の異なる層が内管11の外側に積層されていてもよいし、内管11と同じ材質の層が内管11の外側に内管11と一体に成形されていてもよい。内管11又は内管外層12の材質としては、ゴム、樹脂、FRP、金属、ガラス、又はセラミックスを用いることができる。

鉬石等の摩耗性物質1の衝突等により、黒色又は暗色の内管11の摩耗が進行して局所的に摩滅すると、図5(a)に示すように、内管11の外側の内管外層12のうち例えば赤色領域12Cが露出する。従って、内管11の内側から露出した色を視覚的に識別することによって、内管11に摩耗が生じたことを検知すると共に、摩耗が生じた箇所の輸送管長手方向の位置範囲を検知することができる。

【0082】

なお、内管外層12を光学的に透過性の材料で形成しておくこと、図5(b)に示すように、輸送管10の外側から照明手段20等で強い光を当てることにより、内管11の内側から見たときに内管摩滅部分がその輸送管長手方向の位置範囲の内管外層12の色（図5(b)では赤色）に光って見えるため、さらに識別性が向上する。また、図5(c)に示すように、輸送管10の内側から照明手段20等で強い光を当てることにより、輸送管10の外側から見たときに内管摩滅部分がその輸送管長手方向の位置範囲の内管外層12の色（図5(c)では赤色）に光って見えるため、輸送管10の外側から内管摩滅部分を識別することができる。

ここで、内管外層12を光学的に透過性の材料で形成するにあたって、当該材料をゴムとする場合には、ウレタンゴム、EPTゴム、又はシリコンゴムなど、比較的透明化が容易なものを選択することが好ましい。

【0083】

また、摩耗性物質1の衝突等により内管外層12が摩耗すると、図5(d)に示すように、内管外層12と同色（図5(d)では赤色）の内管外層12の摩耗粉12aが発生して

10

20

30

40

50

スラリーや粉体中に混入するため、下流側の適当な箇所ですラリーや粉体中の摩耗粉 1 2 a の色を識別することにより、内管外層 1 2 の摩耗箇所の輸送管長手方向の位置範囲が検知できると共に、摩耗粉 1 2 a の量や濃度を測定することにより当該摩耗箇所の摩耗度を推定できる。

【0084】

また、内管外層 1 2 の外面も内面と同じ色で色分けされているため、上記方法により内管 1 1 の摩耗や内管外層 1 2 の摩耗が検知された場合、当該摩耗箇所の輸送管長手方向の位置範囲を輸送管 1 0 の外側からでも視覚的に容易に把握することができる。

【0085】

なお、本実施例では、内管外層 1 2 の色を輸送管長手方向の位置範囲ごとに 6 色で色分けしたが、色分けする位置範囲、配色数、及び配色パターンは、輸送管 1 0 の用途や使用条件（曲率など）によって適宜選択することが望ましい。

【0086】

また、内管外層 1 2 の色分けに際しては、目視により容易に識別できるような色の組み合わせを選択することが好ましい。また、黒色または暗色を呈する内管 1 1 とのコントラストを高めるため、内管外層 1 2 にはなるべく明るい色を用いることが更に好ましい。

【0087】

また、本実施例では、内管 1 1 の内側から露出した色を視覚的に識別したが、内管 1 1 の摩耗部分に露出した内管外層 1 2 の色の識別には、工業用内視鏡やカメラ付き水中ロボット等を利用することができる。

【0088】

また、光源である照明手段 2 0 には、図 5 に示すような懐中電灯の他、ハロゲンランプや LED 照明等を用いることができる。また、輸送管 1 0 の内側から光を当てる場合には、水中ロボットや管内移動装置等に搭載した可動式の照明手段 2 0 を用いると、光を当てる角度や位置を変えやすくなるため、輸送管 1 0 の外側から見たときに内管摩減部分の輸送管長手方向の位置範囲を識別しやすくなる。

【0089】

また、輸送管 1 0 がスラリー輸送管の場合は、内管外層 1 2 の比重を、スラリーの液相の比重未満にしておくと、図 5（d）に示す内管外層 1 2 の摩耗粉 1 2 a がスラリーの液相上面に浮き上がるため、適当な箇所です液相上面を観察することにより、摩耗粉 1 2 a の色による摩耗箇所の輸送管長手方向の位置範囲検知や、摩耗粉の量や濃度による摩耗箇所の摩耗度推定が容易になる。

【0090】

また、同様に輸送管 1 0 がスラリー輸送管の場合は、内管外層 1 2 の比重を、スラリーの液相の比重と同等にしておくと、図 5（d）に示す内管外層 1 2 の摩耗粉 1 2 a がスラリーの液相中に分散浮遊するため、適当な箇所です液相を観察することにより、摩耗粉 1 2 a の色による摩耗箇所の輸送管長手方向の位置範囲検知や、摩耗粉の量や濃度による摩耗箇所の摩耗度推定が容易になる。

【0091】

なお、本実施例では、摩耗粉 1 2 a の識別に摩耗粉の色を用いるが、予め内管外層 1 2 に輸送管長手方向の位置範囲に応じて、マーカーとなるような物質（樹脂、金属、化学物質、マイクロカプセル等）を混入させて区分けしておき、これを下流側で検出して摩耗粉 1 2 a の識別に用いてもよい。

【0092】

また、本実施例では、内管外層 1 2 の形状を管状としているが、複数の色により色分けされた帯状体又は線状体が比較的密に螺旋状に巻回された構造としてもよい。

これにより、内管 1 1 の外側に設けた螺旋状の補強層を内管外層 1 2 としたり、輸送管 1 0 が可撓性を有する場合には内管外層 1 2 の付与による過度の曲げ剛性増大を抑制して輸送管 1 0 の可撓性を適切に保ったりすることができる。

【0093】

また、本実施例では、内管 11 の内管外層 12 を輸送管長手方向の位置範囲に応じて色分けすることにより内管 11 の摩耗を検知しているが、逆に輸送管 10 の最外層の内側の層を輸送管長手方向の位置範囲に応じて色分けしておき、外部と擦れ合う最外層の摩耗を検知することもできる。

【0094】

図 6 は、本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管の配置例を示す図である。

輸送管（耐摩耗ホース）10 は、一方の端部 10a と他方の端部 10b が、それぞれ継手 30 を介して配管 2 に接続されている。輸送管 10 の内管 11 には、一方の端部 10a から他方の端部 10b に向かって、摩耗性物質 1 と液体の混合したスラリー又は摩耗性物質 1 が流れている。摩耗性物質 1 の衝突により生ずる内管 11 の摩耗損傷は、内管 11 全体で一様に進行するのではなく、部分によって進行の度合いに程度の差がある。

したがって、摩耗検知機能をもつ輸送管 10A は、必ずしも輸送管 10 の全長に亘って配置する必要はなく、図 6 に斜線で示した部分のように輸送管 10 のなかでも曲率が大きい部分等、予め局所的な摩耗の進行が予想されるような部分にのみ配置することも可能である。なお、なお、図 6 に斜線で示した部分（摩耗検知機能をもつ輸送管 10A）以外の輸送管 10B には、摩耗検知機能を持たない通常の輸送管を用いる。

このように部分的に摩耗検知機能をもつ輸送管 10A を配置することにより、摩耗検知に用いる輸送管 10A の総長を節約してコストを削減することができる。

【0095】

また、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を検知した場合は、検知した摩耗箇所を、異なった角度範囲に移動させるように管軸周りに輸送管 10 を回転させることで、内管 11 に生ずる摩耗を管軸周りの各角度範囲に分散させることができる。よって、摩耗限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管全体としての寿命を大きく延伸することができる。

【0096】

また、摩耗箇所の長手方向の位置範囲を検知した場合は、検知した摩耗箇所の輸送管 10 の部品を新しい部品に交換するか、又は摩耗箇所を局所的に補修することで、摩耗限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管 10 全体としての寿命を大きく延伸することができる。

【0097】

次に、本実施形態による輸送管の運用方法について説明する。本実施形態による輸送管の運用方法には、上記した本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管、及び摩耗検知方法を用いることができる。

図 7 は本実施形態による輸送管の第一実施例による運用方法のフローチャート、図 8 は同輸送管の第二実施例による運用方法のフローチャート、図 9 は同輸送管の第三実施例による運用方法のフローチャートである。また、図 33 は輸送管の従来の運用方法のフローチャートである。

【0098】

図 33 の輸送管の従来の運用方法のフローチャートにおいて、輸送管（耐摩耗ホース）10 の両端をそれぞれ継手 30 を介して配管 2 に接続し、稼働を開始する（ステップ 100）。稼働開始すると、輸送管 10 の内管 11 にはスラリー又は摩耗性物質 1 が流れる。

ステップ 100 の後、輸送管 10 の稼働を継続する（ステップ 200）。

ステップ 200 における稼働が一定の時間を経過した後、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ 300）。摩耗限界は、内管 11 について目視検査や導通試験等を実施することにより判断する。

ステップ 300 において、内管 11 の摩耗が限界に達していないと判断した場合は、ステップ 200 に戻って稼働を継続する。

ステップ 300 において、内管 11 の摩耗が限界に達したと判断した場合は、輸送管 10 の稼働を停止し、輸送管 10 を交換する（ステップ 400）。

【0099】

このように従来の運用方法では、輸送管 10 は、ステップ 100 において稼働が開始され

た後は、その状態のまま稼働が継続される。そのため、内管 11 の摩耗進行領域 X に位置する部分は常に同じであり、その部分の摩耗損傷が著しく進んで摩耗限界に達するため、輸送管 10 の寿命が短くなってしまう。

【0100】

これに対して図 7 は、本実施形態による輸送管の運用方法の第一実施例を示すフローチャートである。

可撓性を有する輸送管（耐摩耗ホース）10の両端をそれぞれ継手30を介して配管2に接続し、稼働を開始する（ステップ1）。稼働開始すると、輸送管10の内管11にはスラリー又は摩耗性物質1が流れる。

ステップ1の後、輸送管10の稼働を継続する（ステップ2）。

ステップ2における稼働が所定の時間を経過した後、内管11の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ3）。摩耗限界は、内管11について、上記した本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管及び摩耗検知方法を用いた目視検査や、導通試験等を実施することにより判断する。

ステップ3において、内管11の摩耗が限界に達したと判断した場合は、輸送管10の稼働を停止し、輸送管10を交換する（ステップ4）。

ステップ3において、内管11の摩耗が限界に達していないと判断した場合は、輸送管10が所定の稼働時間に達したか否かを判断する（ステップ5）。所定の稼働時間は、経験や予測等に基づいて予め設定する。

ステップ5において、輸送管10が所定の稼働時間に達していないと判断した場合は、ステップ2に戻って稼働を継続する。

ステップ5において、輸送管10が所定の稼働時間に達したと判断した場合は、輸送管10を管軸周りに所定の角度だけ回転させる（ステップ6）。所定の角度は、内管10のうち、それまで摩耗進行領域Xに配置されていた部分が、管軸周りの回転によって摩耗進行領域Xとは異なる角度範囲に移動するように、経験や予測等に基づいて予め設定する。ステップ6の後、ステップ2に戻って稼働を継続する。

【0101】

第一実施例による運用方法によれば、内管11のうち、摩耗進行領域Xに位置していた部分は、所定の稼働時間を経過した時点で管軸周りに輸送管10が回転することによって摩耗進行領域Xから外れ、それまで摩耗進行領域X以外に位置していた部分が新たに摩耗進行領域Xに位置して局所的摩耗を引き受けることになる。

このように、内管11が摩耗性物質1の衝突により局所的な摩耗を受けるとしても、内管11のうち摩耗進行領域Xに位置する部分をローテーションさせることで摩耗箇所が分散し、摩耗限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管10全体としての寿命（稼働可能な時間）を大きく延伸することができる。

なお、第一実施例では、所定の稼働時間ごとに輸送管10を離散的に回転する方式としているが、電動機等の駆動手段を有する輸送管回転機構を設け、輸送管回転機構による回転速度を所定の稼働時間ごとに所定の角度分輸送管10が管軸周りに回転するように設定し、稼働中は輸送管10を常時、低速で回転させてもよい。稼働中は輸送管10を常に低速で回転させることにより、内管11に生ずる摩耗を管軸周りに均一に分散させやすくなる。また、駆動手段を有する輸送管回転機構を設けることで、効率よく輸送管10の回転作業を行うことができる。

【0102】

なお、第一実施例による運用方法において、耐摩耗ホースのように輸送管10を可撓性を持たせて構成した場合には、ステップ6において、輸送管10を回転させることに代えて、輸送管10に外力を加えて輸送管10を変形させることにより、内管11のうち、それまで摩耗進行領域Xに配置されていた部分を摩耗進行領域Xとは異なる角度範囲に移動させることもできる。

【0103】

図8は、本実施形態による輸送管の運用方法の第二実施例を示すフローチャートである。

可撓性を有する輸送管（耐摩耗ホース）１０の両端をそれぞれ継手３０を介して配管２に接続し、稼働を開始する（ステップ１１）。稼働開始すると、輸送管１０の内管１１にはスラリー又は摩耗性物質１が流れる。

ステップ１１の後、輸送管１０の稼働を継続する（ステップ１２）。

ステップ１２における稼働が所定の時間を経過した後、内管１１の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ１３）。摩耗限界は、内管１１について、上記した本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管及び摩耗検知方法を用いた目視検査や、導通試験等を実施することにより判断する。

ステップ１３において、内管１１の摩耗が限界に達したと判断した場合は、輸送管１０の稼働を停止し、輸送管１０を交換する（ステップ１４）。 10

ステップ１３において、内管１１の摩耗が限界に達していないと判断した場合は、内管１１の摩耗量が所定の閾値に達したか否かを判断する（ステップ１５）。内管１１の摩耗量は、測定器等によって測定する。所定の閾値は、経験や予測等に基づいて予め設定する。ステップ１５において、内管１１の摩耗量が所定の閾値に達していないと判断した場合は、ステップ１２に戻って稼働を継続する。

ステップ１５において、内管１１の摩耗量が所定の閾値に達したと判断した場合は、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定する（ステップ１６）。角度範囲は、内管１１について、上記した本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管及び摩耗検知方法を用いた目視検査等を実施することにより特定する。

ステップ１６で摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定した後、輸送管１０を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能か否かを判断する（ステップ１７）。この判断は、それまでの輸送管１０の回転履歴（移動履歴）を考慮して行う。例えば、まだ一回も管軸周りに輸送管１０を回転させていない場合は、内管１１のうち摩耗進行領域Ｘ以外に位置していた部分は殆ど摩耗していないため、それらの部分を摩耗進行領域Ｘに新たに位置させて稼働を継続することが可能と判断し、何回か管軸周りに輸送管１０を回転させていて、内管１１のうち摩耗進行領域Ｘ以外に位置している部分全ての摩耗量が所定の閾値に達したことを検知している場合は、それらの部分を摩耗進行領域Ｘに新たに位置させて稼働を継続することは不可能と判断する。 20

ステップ１７において、管軸周りに輸送管１０を回転した場合に稼働を継続することが可能と判断した場合は、輸送管１０の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの回転角度を選定する（ステップ１８）。最も効果的な管軸周りの回転角度は、それまでの輸送管１０の回転履歴を考慮して選定する。例えば、内管１１のうち摩耗量が最も少ないか、摩耗進行領域Ｘに位置した回数が最も少ない場所が、回転後に摩耗進行領域Ｘに位置するように選定する。 30

ステップ１８で輸送管１０の最も効果的な管軸周りの回転角度を選定した後、輸送管１０を選定した回転角度、回転させる（ステップ１９）。これにより、ステップ１６で特定した摩耗箇所の管軸周りの角度範囲が、その角度範囲とは異なる角度範囲に移動する。ステップ１９の後、ステップ１２に戻って稼働を継続する。

ステップ１７において、管軸周りに輸送管１０を回転した場合に稼働を継続することが不可能と判断した場合は、輸送管１０を回転することなくステップ１２に戻って稼働を継続する。このように回転履歴を考慮しても移動先となる異なる角度範囲の選定ができない場合は、内管１１のうち摩耗進行領域Ｘに位置していた部分を元の角度範囲に留めることで、輸送管１０の不要な回転を防止することができる。 40

なお、内管１１の摩耗が限界に達したか否かを判断するステップ１３と、内管１１の摩耗量が所定の閾値に達したか否かを判断するステップ１５は、まとめて行ってもよい。

【０１０４】

第二実施例による運用方法によれば、内管１１のうち、摩耗性物質１の衝突により局所的に摩耗を受けて摩耗量が所定の閾値に達した部分の管軸周りの角度範囲が特定され、管軸周りに輸送管１０を回転して稼働を継続することが可能な場合は、輸送管１０の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの輸送管１０の回転角度を選定して、所定の閾値に達し 50

た部分の管軸周りの角度範囲を異なる角度範囲に移動させる。

よって、内管 11 のうち、それまで摩耗進行領域 X に位置していた部分以外の相対的に最も健全な部分が新たに摩耗進行領域 X に位置して局所的摩耗を引き受けることになるため、内管 11 の摩耗が局所的摩耗により限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管 10 全体としての寿命を大きく延伸することができる。

【0105】

なお、第二実施例による運用方法において、耐摩耗ホースのように輸送管 10 を可撓性を持たせて構成した場合には、ステップ 19 において、輸送管 10 を回転させることに代えて、輸送管 10 に外力を加えて輸送管 10 を変形させることにより、内管 11 のうち、それまで摩耗進行領域 X に配置されていた部分を摩耗進行領域 X とは異なる角度範囲に移動させることもできる。

輸送管 10 に外力を加えて変形させる場合は、ステップ 17 において、輸送管 10 を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能か否かの判断に代えて、輸送管 10 に外力を加えて変形させた場合に稼働を継続することが可能か否かを判断する。この判断は、それまでの輸送管 10 に外力を加えた履歴（移動履歴）を考慮して行う。例えば、まだ一回も輸送管 10 に外力を加えて変形させていない場合は、内管 11 のうち摩耗進行領域 X 以外に位置していた部分は殆ど摩耗していないため、それらの部分を摩耗進行領域 X に新たに位置させて稼働を継続することが可能と判断し、何回か輸送管 10 に外力を加えて変形させていて、内管 11 のうち摩耗進行領域 X 以外に位置している部分全ての摩耗量が所定の閾値に達したことを検知している場合は、それらの部分を摩耗進行領域 X に新たに位置させて稼働を継続することは不可能と判断する。

また、輸送管 10 に外力を加えて変形させる場合は、ステップ 18 において、輸送管 10 の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの回転角度を選定することに代えて、輸送管 10 の寿命を延伸する上で最も効果的な変形後の状態を選定する。最も効果的な変形後の状態は、それまでの輸送管 10 に外力を加えた履歴を考慮して選定する。例えば、内管 11 のうち摩耗量が最も少ないか、摩耗進行領域 X に位置した回数が最も少ない場所が、外力による変形後に摩耗進行領域 X に位置するように選定する。

【0106】

図 9 は、本実施形態による輸送管の運用方法の第三実施例を示すフローチャートである。可撓性を有する輸送管（耐摩耗ホース）10 の両端をそれぞれ継手 30 を介して配管 2 に接続し、稼働を開始する（ステップ 21）。稼働開始すると、輸送管 10 の内管 11 にはスラリー又は摩耗性物質 1 が流れる。

ステップ 21 の後、輸送管 10 の稼働を継続する（ステップ 22）。

ステップ 22 における稼働が一定の時間を経過した後、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ 23）。摩耗限界は、内管 11 について、上記した本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管及び摩耗検知方法を用いた目視検査や、導通試験等を実施することにより判断する。

ステップ 23 において、内管 11 の摩耗が限界に達したと判断した場合は、輸送管 10 の稼働を停止し、輸送管 10 を交換する（ステップ 24）。

ステップ 23 において、内管 11 の摩耗が限界に達していないと判断した場合は、輸送管 10 が所定の稼働時間に達したか否かを判断する（ステップ 25）。所定の稼働時間は、経験や予測等に基づいて予め設定する。

ステップ 25 において、所定の稼働時間に達していないと判断した場合は、ステップ 22 に戻って稼働を継続する。

ステップ 25 において、所定の稼働時間に達したと判断した場合は、内管 11 の摩耗量が所定の閾値に達したか否かを判断する（ステップ 26）。内管 11 の摩耗量は、測定器等によって測定する。所定の閾値は、経験や予測等に基づいて予め設定する。

ステップ 26 において、内管 11 の摩耗量が所定の閾値に達していないと判断した場合は、輸送管 10 を管軸周りに所定の角度だけ回転させる（ステップ 27）。所定の角度は、内管 10 のうち、それまで摩耗進行領域 X に配置されていた部分が、管軸周りの回転によ

10

20

30

40

50

って摩耗進行領域Xとは異なる角度範囲に移動するように、経験や予測等に基づいて予め設定する。ステップ27の後、ステップ22に戻って稼働を継続する。

ステップ26において、内管11の摩耗量が所定の閾値に達したと判断した場合は、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定する(ステップ28)。角度範囲は、内管11について、上記した本実施形態による摩耗検知機能をもつ輸送管及び摩耗検知方法を用いた目視検査等を実施することにより特定する。

ステップ28で摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定した後、輸送管10を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能か否かを判断する(ステップ29)。この判断は、それまでの輸送管10の回転履歴(移動履歴)を考慮して行う。例えば、まだ一回も管軸周りに輸送管10を回転させていない場合は、内管11のうち摩耗進行領域X以外に位置していた部分は殆ど摩耗していないため、それらの部分を摩耗進行領域Xに新たに位置させて稼働を継続することが可能と判断し、何回か管軸周りに輸送管10を回転させていて、内管11のうち摩耗進行領域X以外に位置している部分全ての摩耗量が所定の閾値に達したことを検知している場合は、それらの部分を摩耗進行領域Xに新たに位置させて稼働を継続することは不可能と判断する。

ステップ29において、管軸周りに輸送管10を回転した場合に稼働を継続することが可能と判断した場合は、輸送管10の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの回転角度を選定する(ステップ30)。最も効果的な管軸周りの回転角度は、それまでの輸送管10の回転履歴を考慮して選定する。例えば、内管11のうち摩耗量が最も少ないか、摩耗進行領域Xに位置した回数が最も少ない場所が、回転後に摩耗進行領域Xに位置するように選定する。

ステップ30で輸送管10の最も効果的な管軸周りの回転角度を選定した後、輸送管10を選定した回転角度、回転させる(ステップ31)。これにより、ステップ28で特定した摩耗箇所の管軸周りの角度範囲が、その角度範囲とは異なる角度範囲に移動する。ステップ31の後、ステップ22に戻って稼働を継続する。

ステップ29において、管軸周りに輸送管10を回転した場合に稼働を継続することが不可能と判断した場合は、輸送管10を回転することなくステップ22に戻って稼働を継続する。このように回転履歴を考慮しても移動先となる異なる角度範囲の選定ができない場合は、内管11のうち摩耗進行領域Xに位置していた部分を元の角度範囲に留めることで、輸送管10の不要な回転を防止することができる。

なお、内管11の摩耗が限界に達したか否かを判断するステップ23と、内管11の摩耗量が所定の閾値に達したか否かを判断するステップ26は、まとめて行ってもよい。

【0107】

第三実施例による運用方法によれば、内管11のうち、摩耗進行領域Xに位置していた部分は、所定の稼働時間が経過した時点で管軸周りに輸送管10が回転することによって摩耗進行領域Xから外れ、それまで摩耗進行領域X以外に位置していた部分が新たに摩耗進行領域Xに位置して局所的摩耗を引き受けることになる。また、内管11のうち、摩耗性物質1の衝突により局所的に摩耗を受けて摩耗量が所定の閾値に達した部分の管軸周りの角度範囲が特定され、管軸周りに輸送管10を回転して稼働を継続することが可能な場合は、輸送管10の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの輸送管10の回転角度を選定して、所定の閾値に達した部分の管軸周りの角度範囲を異なる角度範囲に移動させることにより、内管11のうち、それまで摩耗進行領域Xに位置していた部分以外の相対的に最も健全な部分が新たに摩耗進行領域Xに位置して局所的摩耗を引き受けることになる。したがって、内管11の摩耗が局所的摩耗により限界に達するまでの時間が大幅に長くなり、輸送管10全体としての寿命を大きく延伸することができる。

なお、第三実施例では、内管11の摩耗量が所定の閾値に達していない場合は所定の稼働時間ごとに輸送管10を離散的に回転する方式としているが、電動機等の駆動手段を有する輸送管回転機構を設け、輸送管回転機構による回転速度を所定の稼働時間ごとに所定の角度分輸送管10が管軸周りに回転するように設定し、稼働中は輸送管10を常時、低速で回転させてもよい。稼働中は輸送管10を常に低速で回転させることにより、内管11

に生ずる摩耗を管軸周りに均一に分散させやすくなる。また、駆動手段を有する輸送管回転機構を設けることで、効率よく輸送管１０の回転作業を行うことができる。

【０１０８】

なお、第三実施例による運用方法において、耐摩耗ホースのように輸送管１０を可撓性を持たせて構成した場合には、ステップ２７及びステップ３１において、輸送管１０を回転させることに代えて、輸送管１０に外力を加えて輸送管１０を変形させることにより、内管１１のうち、それまで摩耗進行領域Ｘに配置されていた部分を摩耗進行領域Ｘとは異なる角度範囲に移動させることもできる。

輸送管１０に外力を加えて変形させる場合は、ステップ２９において、輸送管１０を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能か否かの判断に代えて、輸送管１０に外力を加えて変形させた場合に稼働を継続することが可能か否かを判断する。この判断は、それまでの輸送管１０に外力を加えた履歴（移動履歴）を考慮して行う。例えば、まだ一回も輸送管１０に外力を加えて変形させていない場合は、内管１１のうち摩耗進行領域Ｘ以外に位置していた部分は殆ど摩耗していないため、それらの部分を摩耗進行領域Ｘに新たに位置させて稼働を継続することが可能と判断し、何回か輸送管１０に外力を加えて変形させていて、内管１１のうち摩耗進行領域Ｘ以外に位置している部分全ての摩耗量が所定の閾値に達したことを検知している場合は、それらの部分を摩耗進行領域Ｘに新たに位置させて稼働を継続することは不可能と判断する。

また、輸送管１０に外力を加えて変形させる場合は、ステップ３０において、輸送管１０の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの回転角度を選定することに代えて、輸送管１０の寿命を延伸する上で最も効果的な変形後の状態を選定する。最も効果的な変形後の状態は、それまでの輸送管１０に外力を加えた履歴を考慮して選定する。例えば、内管１１のうち摩耗量が最も少ないか、摩耗進行領域Ｘに位置した回数が最も少ない場所が、外力による変形後に摩耗進行領域Ｘに位置するように選定する。

なお、輸送管１０を可撓性を持たせて構成し、回転させることと外力を加えることを組み合わせる異なる角度範囲に移動させることも可能である。

【０１０９】

図１０は、上述した第一から第三実施例による輸送管の運用方法に用いることができる輸送管回転機構の一例を示す図であり、図１０（ａ）は曲がり部を有する輸送管を管軸周りに回転させる状態を示し、図１０（ｂ）は曲がり部を有さない輸送管を管軸周りに回転させる状態を示している。輸送管回転機構は、輸送管１０と、それを接続する配管２との間にボルト・ナット締結式のフランジ継手３０を設け、接合するフランジのボルト穴を相対的に輸送管１０の管軸周りに適宜ずらしてボルト・ナット締結することにより、輸送管１０を管軸周りに（ボルト穴の角度間隔の整数倍分だけ）段階的に回転できるようにしたものであり、後述するスラリー循環式摩耗試験の第三実施による運用方法で用いた回転方法である。

本例の輸送管回転機構は、機構が簡素で安価である。殆どの場合、現行の配管設定のまま輸送管１０の回転が実現できる。

なお、フランジ継手３０は締結したままにしておき、フランジ付き金具と輸送管１０との間の相対的角度位置を適宜ずらす方式にしてもよい。

【０１１０】

図１１は、上述した第一から第三実施例による輸送管の運用方法に用いることができる輸送管回転機構の他の例を示している。輸送管回転機構は、輸送管１０と、それを接続する配管２との間に回転継手３０を設け、輸送管１０を管軸周りに自由に回転できるようにしたものである。

回転継手３０には、回転角度把握手段として、輸送管１０の管軸周りの一定角度ごと（例えば３０度ごと）にノッチを設けたり、回転角度を示す目盛を設けたりしておくと、回転作業時に輸送管１０の回転角度を把握しやすくなる。

回転継手３０の輸送管１０側フランジには、回転作業用の取っ手やハンドル４０などを適宜設けておくと、テコの原理により輸送管１０の回転が容易になる。輸送管１０がホー

スのような可撓管で長い場合には、輸送管 10 の捩れを防止するため、図 11 に示すように輸送管 10 の両端 10 a、10 b を同時かつ同方向に回すことが望ましいが、輸送管 10 が鋼管のような高剛性管である場合や可撓管であっても短い場合には、輸送管 10 の一方の端部 10 a（又は他方の端部 10 b）のみを回すことにより輸送管 10 全体を回転させてもよい。

本例の輸送管回転機構によれば、配管系を稼働したまま輸送管 10 を回転することができるので、輸送管 10 の回転に要する手間を減らし作業時間を大幅に短縮できる。

【0111】

図 12 は、上述した第一から第三実施例による輸送管の運用方法に用いることができる輸送管回転機構のさらに他の例を示している。輸送管回転機構は、輸送管 10 と、それを接続する配管 2 との間に回転管継手 30 を設け、輸送管 10 を管軸周りに自由に回転できるようにした上、回転管継手 30 の輸送管側フランジを電動回転機構 50 によって任意の角度だけ回転できるようにしたものである。

【0112】

図 13 は、上述した第一から第三実施例による輸送管の運用方法において、耐摩耗ホースのように輸送管 10 を可撓性を持たせて構成した場合に用いることができる輸送管変形機構の一例を示している。

輸送管変形機構は、輸送管 10 の一方の端部 10 a と他方の端部 10 b との中間部分に設けられた浮力発生手段 60 であり、外力としての浮力を輸送管 10 に加える。浮力発生手段 60 を用いることにより、特に水中にある輸送管 10 に外力を加えることが容易となる。

なお、大気中にある輸送管 10 に浮力発生手段 60 を用いることもできる。

浮力発生手段 60 は、空気やガス等の気体の出し入れによって膨張及び収縮する膨縮部 61 を有する。なお、気体の出し入れは外部からのオン／オフ操作等により行う。

図 13（a）に示すように、膨縮部 61 が内部に気体が充満しておらず収縮しているときには、輸送管 10 は、自重及び浮力発生手段 60 の重さによって垂れ下がった状態である。

また、図 13（b）に示すように、気体を入れて膨縮部 61 を膨張させると、浮力発生手段 60 に浮力が発生し、浮力発生手段 60 の浮力が輸送管 10 に加わり、輸送管 10 の中間部分が持ち上げられた状態に変形する。

このように浮力発生手段 60 に作用する浮力を制御し、輸送管 10 に浮力を加えて変形させることで、輸送管 10 の中間部分の位置を上下反転させることができる。このとき輸送管 10 は、管軸周りに回転せず、図 13（a）に示す状態から図 13（b）に示す状態へ、又は図 13（b）に示す状態から図 13（a）に示す状態へと変形することにより、一方の端部 10 a と他方の端部 10 b との間に形成された 4 力所の曲がり部のうち、摩耗性物質 2 の衝突により局所的に著しい摩耗損傷を受けやすい曲がり外側部分が上下で入れ替わる。これにより、内管 11 のうち、それまで摩耗進行領域 X に配置されていた部分が摩耗進行領域 X とは異なる角度範囲に移動することになり、輸送管 10 を管軸周りに 180 度回転させた場合と同様の効果を得ることができる。

【0113】

なお、輸送管 10 の両端 10 a、10 b の高さで中間部分の高さが同じとなるように、又は任意の高さとなるように浮力発生手段 60 の浮力を制御し、輸送管 10 に浮力を加えることで、曲がり部の曲率を緩やかにして内管 11 の摩耗を軽減させたり、内管 11 のうち、それまで摩耗進行領域 X に配置されていた部分を摩耗進行領域 X とは異なる角度範囲に移動させたりすることもできる。

また、輸送管変形機構は、浮力発生手段 60 に代えて、輸送管 10 の中間部分をワイヤー等の吊具を用いて牽引する懸吊機や、輸送管 10 の中間部分を載せて上下に動く架台等の機構手段を用いて構成することもできる。さらに、例えば輸送管 10 の中間部分を載せて動く架台を上下のみならず左右にも動くように構成し、架台を下→左→上→右の順に移動させれば、架台の動きに伴って輸送管 10 が変形し、中間部分の位置も下→左→上→右の順に変わるため、内管 11 のうち、摩耗進行領域 X に配置されている部分が順次移動し、輸送管 10 を管軸周りに 90 度ずつ回転した場合と同様の効果を得ることができる。

なお、輸送管 10 を可撓性を持たせて構成し、回転させることと外力を加えることを組み合わせる異なる角度範囲に移動させる場合には、例えば輸送管回転機構と輸送管変形機構を組み合わせる用いることができる。また、輸送管回転機構により可撓性を有した輸送管 10 を回転させることによる回転と、回転に伴う輸送管 10 の変形を利用して実現することもできる。

【0114】

次に、本実施形態による輸送管を用いた第一の実証試験について説明する。

本実施形態による輸送管の摩耗検知、及び運用方法の寿命延伸効果を検証するため、管軸周りの角度範囲に応じて色分けした内管外層を有するホース（輸送管）10 と模擬鉱石スラリーを用いたスラリー循環式摩耗試験を実施した。なお、輸送管の運用方法による寿命延伸効果は、上記した従来の運用方法（比較例）と第二実施例による運用方法の比較により検証した。

【0115】

図 14 は摩耗試験に供したホースを示す図であり、図 14 (a) は断面模式図、図 14 (b) は側面図である。図 15 は摩耗試験に供したホースを上流側から見た断面写真である。ホース（輸送管）10 は、内側から、内管 11、内管外層 12、及び第 2 内管外層 13 で構成されている。ホース 10 を構成する内管 11、内管外層 12 及び第 2 内管外層 13 の材質はいずれもゴムである。

内管 11 は、厚さ 1 mm の不透明の黒色ゴムを用いて形成した。

内管 11 を取り巻く内管外層 12 は、厚さ 1 mm の着色ゴムを 4 色（赤色、灰色、青色、白色）用いて、各色 90 度ずつの着色領域（赤色領域 12 C、青色領域 12 D、白色領域 12 F、灰色領域 12 G）に色分けして形成した。ここで、内管外層 12 のうち、赤色領域 12 C を形成する赤色のゴム及び青色領域 12 D を形成する青色のゴムは透明であり、白色領域 12 F を形成する白色のゴム及び灰色領域 12 G を形成する灰色のゴムは不透明である。

内管外層 12 よりも外側にある第 2 内管外層 13 は、厚さ 1 mm の透明の緑色ゴムを 2 層重ねて形成した。

また、内管 11 と内管外層 12 との接着、内管外層 12 と第 2 内管外層 13 との接着、及び第 2 内管外層 13 の 1 層目と 2 層目との接着には、ゴム用の接着剤を用いた。図 14 (a) では、青色領域 12 D が鉛直下側に位置した状態を示している。

ホース 10 の内径 ID は 76 mm、外径 OD は 84 mm である。なお、ホース 10 単体ではスラリー循環式摩耗試験に供する際の強度が不足するため、図 14 (b) に示すように、第 2 内管外層 13 に密着する板厚 4.2 mm の透明アクリルパイプ 70 によってホース 10 を外側から補強して摩耗試験に供した。ホース 10 の長さ B は 1 m であり、アクリルパイプ 70 の長さ C は 88 cm である。

【0116】

図 16 は実証試験に用いたスラリー循環式摩耗試験装置の概観写真であり、図 16 (a) は全体図、図 16 (b) はホース摩耗試験部を拡大した図である。本装置は、水を満たしたタンク 3 の上部から模擬鉱石を一定量投入してスラリーとし、これをスラリー循環用ポンプ 4 で配管 2 内を循環させることにより、途中に接続したホース 10 の摩耗試験を行うものである。なお、図 16 の白塗矢印は、スラリー循環方向を示している。

図 16 に示すように、上流側及び下流側の配管 2 にフランジ（継手）30 を介してホース 10 をフランジ接続し、曲がり部を有さない直管のホース摩耗試験部 α とした。また、摩耗試験部 α の下流側には流量計 5 を設けている。

【0117】

図 17 は同実証試験に用いた模擬鉱石の概観写真である。

スラリー中の模擬鉱石には、ある程度粒径の揃った市販の碎石（生產品名：単粒度碎石 S-20（5 号）（茨城県笠間産）、岩質：硬質砂岩（堆積岩）、絶乾密度：2.65 g/cm³、平均粒径：約 19 mm）を用いた。

試験時の模擬鉱石投入量（1 回分）は 19 kg とし、移送水は淡水を使用した。試験中、

10

20

30

40

50

スラリーの模擬鉱石濃度は約 5 %（体積濃度）であった。

【0118】

なお、第一の実証試験では、模擬鉱石の経時摩耗劣化を考慮して 1 回の連続試験時間を 1 時間とした。すなわち、新しい模擬鉱石を 19 kg 投入して 1 時間連続試験を行った後は使用した模擬鉱石をすべて回収し、改めて新しい模擬鉱石を 19 kg 投入してから次の連続試験を 1 時間行うこととし、このサイクルを所定の摩耗試験時間に達するまで繰り返した。スラリーの平均流速は平均約 3.5 m/sec であった。

【0119】

まず、従来の運用方法（比較例）の試験結果について説明する。

ホース 10 をホース摩耗試験部 α に装着し、図 33 に示すフローチャートに従って、ホース 10 の管軸周り角度を固定したままスラリー循環式摩耗試験を実施した。

10

なお、ホース 10 は、色分けした内管外層 12 のうち赤色領域が鉛直下側となった状態（ホース 10 を図 14（a）に示す状態から 180 度回転させた状態）とした。

図 33 に示すフローチャートでは、稼働が所定の時間を経過した後、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ 300）が、摩耗試験では、試験時間（稼働時間）が 7 時間、10 時間を経過したそれぞれの時点で、ホース 10 を取り外して内部観察を行い、ホース 10 の内管 11、内管外層 12 及び第 2 内管外層 13 の状態を調べた。最終的に内管 11 の摩耗が限界に達したと判断された時点（本試験の場合は色分けした内管外層 12 の摩滅が確認された時点）で摩耗試験は終了とし、それまでの試験時間をもってホース 10 の寿命と定義した。

20

図 33 に示すフローチャートに基づいた摩耗試験では、試験時間が 10 時間経過した時点で下流側のホース端から 60 cm 上流側に離れた位置の灰色領域 12 G の内管外層 12 が摩滅した。損傷部分の観察写真を図 18 に示す。図 18（a）はホース摩耗試験部 α から取り外したホース 10 を上流側から見たものであり、内部全体に光を当てている。図 18（b）はホース摩耗試験部 α から取り外したホース 10 を下流側から見たものであり、内部全体に光を当てている。図 18（c）はホース摩耗試験部 α から取り外したホース 10 を下流側から見たものであり、ホース 10 に外側から光を当てている。図 18（c）では、側面の灰色領域 12 G の内管外層 12 が摩滅した部分において、光が第 2 内管外層 13 を透過して緑色に見える。

【0120】

30

次に、第二実施例による運用方法の試験結果について説明する。

ホース 10 をホース摩耗試験部 α に装着し、図 8 に示すフローチャートに従って、管軸周りにホース 10 を適宜回転させながらスラリー循環式摩耗試験を実施した。

なお、試験開始時のホース 10 は、色分けした内管外層 12 のうち青色領域 12 D が鉛直下側に位置した状態（図 14（a）に示す状態）とした。

図 8 に示すフローチャートでは、稼働が所定の時間を経過した後、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ 13）が、摩耗試験では、試験時間（稼働時間）が 3 時間経過するごとに、ホース 10 を取り外して内部観察を行い、ホース 10 の内管 11、内管外層 12 及び第 2 内管外層 13 の状態を調べた。また、それと同時に、内管 11 の摩耗量が所定の閾値に達したか否かの判断を行った（ステップ 15）。すなわち本試験では、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断するステップ 13 と、内管 11 の摩耗量が所定の閾値に達したか否かを判断するステップ 15 とを、まとめて実施した。

40

【0121】

ステップ 15 において、黒色の内管 11 が摩耗し、内管 11 の外側にある色分けされた内管外層 12 の露出が確認された場合は、内管 11 の摩耗量が所定の閾値に達したと判断し、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定するステップ 16、ホース 10 を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能か否かを判断するステップ 17 へと進んだ。

また、ホース 10 の鉛直下側の部分が、その他の部分よりも摩耗の進行が速い摩耗進行領域となるため、ステップ 18 において、輸送管 10 の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの回転角度は、色分けした内管外層 12 の各色が以下の（1）→（2）→（3）→

50

(4) → (1) → . . . の順に鉛直下側に位置するように選定した。なお、上記の通り、試験開始時のホース10は、青色領域12Dが鉛直下側に位置した状態(図14(a)に示す状態)である。

(1) 赤色領域12C(青色領域12Dが鉛直下側に位置している状態から管軸周りに180度回転)。

(2) 灰色領域12G(赤色領域12Cが鉛直下側に位置している状態から管軸周りに90度回転(時計回り))。

(3) 白色領域12F(灰色領域12Gが鉛直下側に位置している状態から管軸周りに180度回転)

(4) 青色領域12D(白色領域12Fが鉛直下側に位置している状態から管軸周りに90度回転(反時計回り))

また、最終的に、ステップ13において内管11の摩耗が限界に達したと判断された時点(本試験の場合は色分けした内管外層12の摩滅が確認された時点)で摩耗試験は終了とし、それまでの摩耗試験経過時間をもってホース10の寿命と定義した。

【0122】

青色領域12Dが鉛直下側に位置した状態で試験を開始して6時間経過後にホース10を取り外して内部観察したところ、黒色ゴムで形成された内管11の鉛直下側近傍で部分的な剥離が生じ、内管外層12のうち青色領域12Dが露出していた。このときのホース10の内部の様子を図19に示す。図19はホース10の内部を下流側から見たものである。内部観察に基づき、内管11の摩耗は限界に達していないと判断し(ステップ13)、内管11の摩耗量が所定の閾値に達したと判断し(ステップ15)、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定し(ステップ16)、ホース10を管軸周りに回転させた場合に稼働を継続することが可能と判断し(ステップ17)、上記(1)の通り赤色領域12Cが鉛直下側となる管軸周りの回転角度を選定し(ステップ18)、ホース10を管軸周りに180度回転させ(ステップ19)、ステップ12に戻って試験を継続した。

【0123】

赤色領域12Cが鉛直下側に位置した状態で試験を継続して6時間経過後(試験開始から計12時間経過後)にホース10を取り外して内部観察したところ、黒色ゴムで形成された内管11の鉛直下側近傍で部分的な剥離が生じ、内管外層12のうち赤色領域12Cが露出していた。このときのホース10の内部の様子を図20に示す。図20は、ホース10の内部を下流側から見たものであり、ホース10の外側下方からLED懐中電灯(照明手段)20で照らしている。赤色領域12Cの内管外層12を透過した光は赤みをおびて見えており、視認性が向上していることが分かる。

内部観察に基づき、内管11の摩耗は限界に達していないと判断し(ステップ13)、内管11の摩耗量が所定の閾値に達したと判断し(ステップ15)、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定し(ステップ16)、ホース10を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能と判断し(ステップ17)、上記(2)の通り灰色領域12Gが鉛直下側となる管軸周りの回転角度を選定し(ステップ18)、ホース10を管軸周りに90度回転(時計回り)させ(ステップ19)、ステップ12に戻って試験を継続した。

【0124】

灰色領域12Gが鉛直下側に位置した状態で試験を継続して3時間経過後(試験開始から計15時間経過後)にホース10を取り外して内部観察したところ、黒色ゴムで形成された内管11の鉛直下側で剥離が生じ、内管外層12のうち灰色領域12Gが露出していた。また、内管11は、その下半分のうち、内管外層12が赤色領域12C又は青色領域12Dとなっている部分においても剥離及び摩耗が進行していた。

内部観察に基づき、内管11の摩耗は限界に達していないと判断し(ステップ13)、内管11の摩耗量が所定の閾値に達したと判断し(ステップ15)、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定し(ステップ16)、ホース10を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能と判断し(ステップ17)、上記(3)の通り白色領域12Fが鉛直下側となる管軸周りの回転角度を選定し(ステップ18)、ホース10を管軸周りに180度

10

20

30

40

50

回転させ（ステップ１９）、ステップ１２に戻って試験を継続した。

【０１２５】

白色領域１２Ｆが鉛直下側に位置した状態で試験を継続して３時間経過後（試験開始から計１８時間経過後）にホース１０を取り外して内部観察したところ、黒色ゴムで形成された内管１１の鉛直下側で大規模な剥離が生じ、内管外層１２のうち白色領域１２Ｆが露出していた。また、内管１１は、その下半分のうち、内管外層１２が赤色領域１２Ｃ又は青色領域１２Ｄとなっている部分においても剥離及び摩耗が更に進行していた。このときのホース１０の内部の様子を図２１に示す。図２１は、ホース１０の内部を下流側から見たものである。

また、図２２（ａ）は、取り外したホース１０の両側に出力５００Ｗのハロゲン投光器（照明手段）２０を配置し、ホース１０の外側の両側面に光を当てた状態を示している。この状態でホース１０の内部を観察すると、図２２（ｂ）に示すように、内管外層１２の赤色領域１２Ｃと青色領域１２Ｄにおける内管摩耗部分で光が透過し、色による摩耗箇所の管軸周りの角度範囲の特定が容易であった。なお、青色領域１２Ｄの透過光は緑をおびて見えた。

内部観察に基づき、内管１１の摩耗は限界に達していないと判断し（ステップ１３）、内管１１の摩耗量が所定の閾値に達していないと判断し（ステップ１５）、ホース１０を管軸周りに回転させることなく、ステップ１２に戻って試験を継続した。

【０１２６】

白色領域１２Ｆが鉛直下側に位置した状態でさらに試験を継続して９時間経過後（試験開始から計２４時間経過後）にホース１０を取り外して内部観察したところ、入口付近を除き、ホース１０全体に亘って黒色ゴムで形成された内管１１がほぼ剥離した。青色領域１２Ｄ、赤色領域１２Ｃの表面は黒っぽく変色して見えた。このときのホース１０の内部の様子を図２３に示す。図２３は、ホース１０の内部を下流側から見たものである。

内部観察に基づき、内管１１の摩耗は限界に達していないと判断し（ステップ１３）、内管１１の摩耗量が所定の閾値に達したと判断し（ステップ１５）、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲を特定し（ステップ１６）、最終的なホース寿命を可能な限り延ばすため、ホース１０を管軸周りに回転した場合に稼働を継続することが可能と判断し（ステップ１７）、上記（４）の通り青色領域１２Ｄが鉛直下側となる管軸周りの回転角度を選定し（ステップ１８）、ホース１０を管軸周りに９０度回転（反時計回り）させ（ステップ１９）、ステップ１２に戻って試験を継続した。

【０１２７】

青色領域１２Ｄが鉛直下側に位置した状態で試験を継続して３時間経過後（試験開始から計２７時間経過後）にホース１０を取り外して内部観察したところ、色分けした内管外層１２は摩耗が進行して剥離し、緑色の第２内管外層１３が露出した箇所が認められた。このときのホース１０の内部の様子を図２４に示す。図２４は、ホース１０の内部を下流側から見たものであり、ホース１０の外側下方からＬＥＤ懐中電灯（照明手段）２０で照らしている。

特に、光学的に透過性のない不透明な白色のゴム及び灰色のゴムで形成された白色領域１２Ｆ及び灰色領域１２Ｇの摩耗箇所において、ホース１０の外側から当てられた光が緑色の第２内管外層１３を透過して緑色に見え、下流側のホース端から７０ｃｍ上流側に離れた位置の白色領域１２Ｆ、及び下流側のホース端から６０ｃｍ上流側に離れた位置の灰色領域１２Ｇにおいて内管外層１２の摩滅が確認されたため、この時点をもってホース１０の寿命と判断し、試験を中止した。

【０１２８】

また、ホース１０の内側から照明を当てた場合の摩耗検知の効果を確認するため、同じ状態のホース１０の内側を工業用内視鏡の先端に設けられた照明手段２０（ハロゲンランプの光を光ファイバーにより誘導したもの）で照らし、ホース１０の外側から観察した。図２５は内側から照明手段２０の光を当てたホース１０を外側から撮影した写真であり、図２５（ａ）は赤色領域１２Ｃが位置する側の写真、図２５（ｂ）は青色領域１２Ｄが位置

する側の写真である。

図 25 (a) では、内管外層 12 の赤色領域 12 C において黒色の内管 11 が摩滅した部分から光が透過し、赤みをおびた色で光って見える。また、図 25 (b) では、内管外層 12 の青色領域 12 D において黒色の内管 11 が摩滅した部分から光が透過し、緑をおびた色で光って見える。このことから、内管外層 12 を光学的に透過性の材料で形成することは、内管 11 が摩滅した箇所の管軸周りの角度範囲を特定するのに有効であることが分かる。

なお、本実証試験では第 2 内管外層 13 を透明の緑色にしたために、青色領域 12 D を透過した光が緑をおびて見えたが、第 2 内管外層 13 を無色透明にすることにより、内管外層 12 の青色をそのまま発色させることができる。

【0129】

上記した従来の運用方法（比較例）と第二実施例による運用方法の比較検証を行った。表 1 に、スラリー循環式摩耗試験結果の比較を示す。ホース 10 を固定したまま回転させない輸送管の運用方法（図 33 に示すフローチャート）に従って試験した比較例と、ホース 10 の摩耗を検知しながらホース 10 を管軸周りに適宜回転させる輸送管の運用方法（図 8 に示すフローチャート）に従って試験した第二実施例とでは、ホース 10 の内管外層 12 が摩滅するまでの摩耗試験時間は、比較例が 10 時間、第二実施例が 27 時間となり、第二実施例による輸送管の運用方法では、ホース 10 を管軸周りに適宜回転することによりホース 10 の寿命が比較例の 2.7 倍に延伸されることが判明した。

【表 1】

	輸送管の運用方法	ホースの回転	スラリーの平均流速 (m/sec)	内管外層の摩滅箇所	内管外層摩滅までの 摩耗試験時間
比較例	図33のフローチャート	なし	3.5	下流側のホース端から 60cm上流側の所 灰色領域	10時間
実施例	図8のフローチャート	あり	3.5	下流側のホース端から 70cm上流側の所 白色領域、及び 下流側のホース端から 60cm上流側の所 灰色領域	27時間

【0130】

次に、本実施形態による輸送管の運用方法を用いた第二の実証試験について説明する。本実施形態による輸送管の運用方法による寿命延伸効果を検証するため、輸送管の一種である耐摩耗ホースと模擬鉬石スラリーを用いたスラリー循環式摩耗試験を実施し、上記した従来の運用方法（比較例）と第三実施例による運用方法の比較検証を行った。

【0131】

摩耗試験に供した耐摩耗ホース 10 は、市販の工業用耐摩耗ホースであり、内径 76 mm、外径 100 mm である。耐摩耗ホース 10 の内管 11 は耐摩耗性ゴムであり、その外側には順次、補強繊維層、軟質 PVC 補強層及び螺旋状の硬質 PVC 補強材が設けられている。ここで、輸送管 10 の運用方法の比較検証を行うには、内管 11 の局所的摩耗が所定の閾値に達したかどうかを適宜検知する必要があるが、耐摩耗性ゴム製の内管 11 の局所的摩耗度を目視等、通常の方法により定量的に検知することは困難であるため、予め内管 11 の内側に鋼製の螺旋状ライナーを形成しておき、この螺旋状ライナーがスラリー中の模擬鉬石（摩耗性物質 1）の衝突によって摩滅し破断した時点をもって「輸送管 10 の内管 11 の局所的摩耗が限界に達した時点」と判断し、同様に螺旋状ライナーが破断した箇所をもって「輸送管 10 の内管 11 の局所的摩耗が限界に達した箇所」と判断した。螺旋状ライナーの形成方法としては、まず SUS 304 鋼製のテープ（断面寸法：厚さ 2 mm×幅 10 mm）を外径 70 mm の鋼製パイプに適当な張力をかけた状態で螺旋状に巻き付け、そのまま張力を保ってテープがパイプに密着した状態で工業用耐摩耗ホース 10 の内管 11 に挿入した後、テープ端の張力を解放して螺旋を径方向に膨らませ、内管 11

に密着させて螺旋状ライナーを形成した。ここで、最終的な螺旋状ライナーのホース管軸方向の隙間は約 2 mm であった。ホース端からホース管軸方向に撮影した螺旋状ライナー付き耐摩耗ホース 10 の内部の概観写真を図 26 に、工業用内視鏡を用いて撮影した螺旋状ライナーの近接写真を図 27 にそれぞれ示す。

【0132】

図 28 は実証試験に用いたスラリー循環式摩耗試験装置の概観写真であり、図 28 (a) は全体図、図 28 (b) はホース摩耗試験部を拡大した図である。本装置は、水を満たしたタンク 3 の上部から模擬鉱石を一定量投入してスラリーとし、これをスラリー循環用ポンプ 4 で配管 2 内を循環させることにより、途中に接続した耐摩耗ホース 10 の摩耗試験を行うものである。なお、図 28 の白塗矢印は、スラリー循環方向を示している。

図 28 に示すように、上流側の耐摩耗ホース（ライナーなし）2 にフランジ付き金具（継手）30 を介して螺旋状ライナー付き耐摩耗ホース 10 を連結してホース摩耗試験部 α とした。実際の使用状況を考慮してホース摩耗試験部 α には曲率を持たせており、ホース摩耗試験部 α における耐摩耗ホース 10 の最小曲率半径は 2.2 m とした。ホース摩耗試験部 α における耐摩耗ホース 10 の長さは、曲率含めて約 1 m である。なお、螺旋状ライナー付き耐摩耗ホース 10 を連結する際には、螺旋状ライナー端部を内管 11 と接続用のフランジ付き金具 30 の間に挟み、耐摩耗ホース 10 の外側から締め付け用器具で締め付けることにより螺旋状ライナー端部を固定した。また、摩耗試験部 α の下流側には流量計 5 を設けている。

【0133】

スラリー中の模擬鉱石には、上記した第一の実証試験と同じく、ある程度粒径の揃った市販の碎石（生産品名：単粒度碎石 S-20（5号）（茨城県笠間産）、岩質：硬質砂岩（堆積岩）、絶乾密度：2.65 g/cm³、平均粒径：約 19 mm）を用いた。

試験時の模擬鉱石投入量（1 回分）は 25 kg とし、移送水は淡水を使用した。試験中、スラリーの模擬鉱石濃度は約 5 %（体積濃度）であった。

【0134】

なお、第二の実証試験では、模擬鉱石の経時摩耗劣化を考慮して 1 回の連続試験時間を 1 時間とした。すなわち、新しい模擬鉱石を 25 kg 投入して 1 時間連続試験を行った後は使用した模擬鉱石をすべて回収し、改めて新しい模擬鉱石を 25 kg 投入してから次の連続試験を 1 時間行うこととし、このサイクルを所定の摩耗試験時間に達するまで繰り返した。

【0135】

まず、従来の運用方法（比較例）の試験結果について説明する。

螺旋状ライナー付き耐摩耗ホース 10 をホース摩耗試験部 α に装着し、図 33 に示すフローチャートに従って、耐摩耗ホース 10 の管軸周り角度を固定したままスラリー循環式摩耗試験を実施した。

図 33 に示すフローチャートでは、稼働が所定の時間を経過した後、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ 300）が、摩耗試験では、試験時間（稼働時間）が、10 時間、16 時間、18 時間を経過したそれぞれの時点で、耐摩耗ホース 10 を取り外して内部観察を行い、螺旋状ライナーの状態を調べた。最終的に内管 11 の摩耗が限界に達したと判断された時点（本試験の場合は螺旋状ライナーの破断が確認された時点）で摩耗試験は終了とし、それまでの試験時間をもって耐摩耗ホース 10 の寿命と定義した。

図 33 に示すフローチャートに基づいた摩耗試験では、試験時間が 18 時間経過した時点で上流側のホース端から 78.8 cm 下流側に離れた位置の鉛直下側（下面側）の螺旋状ライナーが破断した。工業用内視鏡による螺旋状ライナーの破断箇所の観察写真を図 29 に示す。

【0136】

次に、第三実施例による運用方法の試験結果について説明する。

螺旋状ライナー付き耐摩耗ホース 10 をホース摩耗試験部 α に装着し、図 9 に示すフロー

10

20

30

40

50

チャートに従って、管軸周りに耐摩耗ホース 10 を適宜回転させながらスラリー循環式摩耗試験を実施した。

図 9 に示すフローチャートでは、稼働が所定の時間を経過した後、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断する（ステップ 23）が、摩耗試験では、試験時間（稼働時間）が 4 時間を経過するごとに、耐摩耗ホース 10 を取り外して内部観察を行い、螺旋状ライナーの状態を調べた。また、それと同時に、内管 11 の摩耗量が所定の閾値に達したか否かの判断を行った（ステップ 26）。すなわち本試験では、内管 11 の摩耗が限界に達したか否かを判断するステップ 23 と、内管 11 の摩耗量が所定の閾値に達したか否かを判断するステップ 26 を、まとめて実施した。

【0137】

第三実施例による運用方法の試験において、図 9 に示すフローチャートのステップ 27 における、耐摩耗ホース 10 を管軸周りに「所定の角度」だけ回転させる方法としては、以下の方法を用いた。

1. 図 30 は耐摩耗ホースの管軸周りの角度位置を示す図である。配管 2 と耐摩耗ホース 10 との接続に使用しているフランジ付き金具（継手）30 を上流側から眺め、図 30 に示すように、耐摩耗ホース 10 の管軸周りのボルト穴の角度位置に応じて位置番号（1）～（8）を振る。これらの位置番号は、耐摩耗ホース 10 の回転に伴って耐摩耗ホース 10 と一緒に回転するものとする。

2. スラリー循環式摩耗試験では、試験の開始時に耐摩耗ホース 10 は角度位置（1）が鉛直上側、角度位置（2）が鉛直下側となるように装着しておき、試験時間が 4 時間経過するごとに、角度位置が（3）、（4）、（5）、（6）、（7）、（8）、（1）、（2）、・・・の順で鉛直上側となるように耐摩耗ホース 10 を管軸周りに回転していく。

【0138】

なお、第三実施例による運用方法の試験においては、鉛直上側にくる角度位置が上記順序となる回転方法としたが、実際の運用では、摩耗箇所の管軸周りの角度範囲の大小や、摩耗箇所に関する経験的な知見等に基づいて、鉛直上側にくる角度位置の順序を、（1）→（2）→（3）→（4）の繰り返しとしたり、（1）→（2）→（1）→（2）、（1）→（3）→（2）→（4）、又は（1）→（5）→（3）→（7）→（2）→（6）→（4）→（8）というように一定の角度分ずつ回転させていったりと、耐摩耗ホース 10 の稼働状況や摩耗形態に応じて最適な回転方法を選択することが好ましい。

【0139】

第三実施例による運用方法の試験においては、図 9 に示すフローチャートのステップ 26 及びステップ 28 として、試験時間が 4 時間経過するごとに耐摩耗ホース 10 を取り外して内部を観察し、局所的に螺旋状ライナーの摩耗や変形、浮きなどの異常が認められた場合には、耐摩耗ホース 10 を管軸周りに所定の角度だけ回転させるステップ 27 には移行せず、異常箇所を含む耐摩耗ホース 10 の管軸周りの角度範囲がなるべく鉛直下側の位置（模擬鉱石による摩耗が最も激しいと予測される摩耗進行領域 X）から外れるように耐摩耗ホース 10 の管軸周りの回転が可能かどうかを判断し（ステップ 29）、可能と判断した場合には、耐摩耗ホース 10 の寿命を延伸する上で最も効果的な管軸周りの回転角度を選定（ステップ 30）した後、輸送管 10 を選定した回転角度分だけ回転させ（ステップ 31）、ステップ 22 に戻って稼働を継続した。

他方、ステップ 29 において、管軸周りに耐摩耗ホース 10 を回転させた場合に試験の継続が不可能と判断した場合には、それ以上の耐摩耗ホース 10 の回転は行わず、そのままステップ 22 に戻って摩耗試験を継続することとした。最終的に、ステップ 23 において内管 11 の摩耗が限界に達したと判断された時点（本試験の場合は螺旋状ライナーの破断が確認された時点）で摩耗試験は終了とし、それまでの摩耗試験経過時間をもって耐摩耗ホース 10 の寿命と定義した。

【0140】

第三実施例による運用方法を用いた摩耗試験では、角度位置（7）を耐摩耗ホース 10 の鉛直上側とした試験が終了し、積算の試験時間が 28 時間となった時点における耐摩耗ホ

10

20

30

40

50

ース10の内部観察で、角度位置（5）及び（6）を含む角度範囲の螺旋状ライナーの変形、浮きが認められたが、耐摩耗ホース10を管軸周りに回転させて稼働を継続することはまだ可能と判断し（ステップ29）、角度位置（8）を鉛直上側にするのが耐摩耗ホース10の寿命を延伸する上で最も効果的と判断し（ステップ30）、管軸周りに耐摩耗ホース10を回転してから試験を継続した（ステップ31）。その後、角度位置（8）を鉛直上側にした試験が終了し、積算の試験時間が32時間となった時点における耐摩耗ホース10の内部観察で、角度位置（5）及び（6）を含む角度範囲に加え、その他の角度範囲でも螺旋状ライナーの変形、浮きが認められたが、耐摩耗ホース10を管軸周りに回転させて稼働を継続することはまだ可能と判断し（ステップ29）、角度位置（1）を鉛直上側にするのが耐摩耗ホース10の寿命を延伸する上で最も効果的と判断し（ステップ30）、管軸周りに耐摩耗ホース10を回転してから試験を継続した（ステップ31）。その後、積算の試験時間が36時間となった時点で、上流側のホース端から76.2cm下流側に離れた位置の鉛直下側（角度位置（2）付近）で螺旋状ライナーが破断した。工業用内視鏡による螺旋状ライナーの破断箇所の観察写真を図31に示す。

【0141】

上記した従来の運用方法（比較例）と第三実施例による運用方法の比較検証を行った。表2に、スラリー循環式摩耗試験結果の比較を示す。耐摩耗ホース10を固定したまま回転させない輸送管の運用方法（図33に示すフローチャート）に従って試験した比較例と、管軸周りに耐摩耗ホース10を適宜回転させる輸送管の運用方法（図9に示すフローチャート）に従って試験した第三実施例とでは、螺旋状ライナーが破断するまでの摩耗試験時間は、比較例が18時間、第三実施例が36時間となり、第三実施例による輸送管の運用方法では、耐摩耗ホース10の寿命が比較例の2倍に延伸されることが判明した。

【表2】

	輸送管の運用方法	ホースの回転	スラリーの平均流速 (m/sec)	螺旋状ライナーの 破断箇所	螺旋状ライナー破断までの 摩耗試験時間
比較例	図33のフローチャート	なし	3.5	上流側のホース端から 78.8cm下流側の所 下面側	18時間
実施例	図9のフローチャート	あり	3.7	上流側のホース端から 76.2cm下流側の所 下面側	36時間

【産業上の利用可能性】

【0142】

本発明を適用することで、海底で掘削した鉱石等を海上の船舶に輸送する輸送管や各種プラントにおいて粉体、ペレット等の摩耗性物質、又はスラリーの輸送に用いる輸送管等の摩耗の検知や寿命の延伸ができ、作業の効率化及び作業費の削減につながる。

【符号の説明】

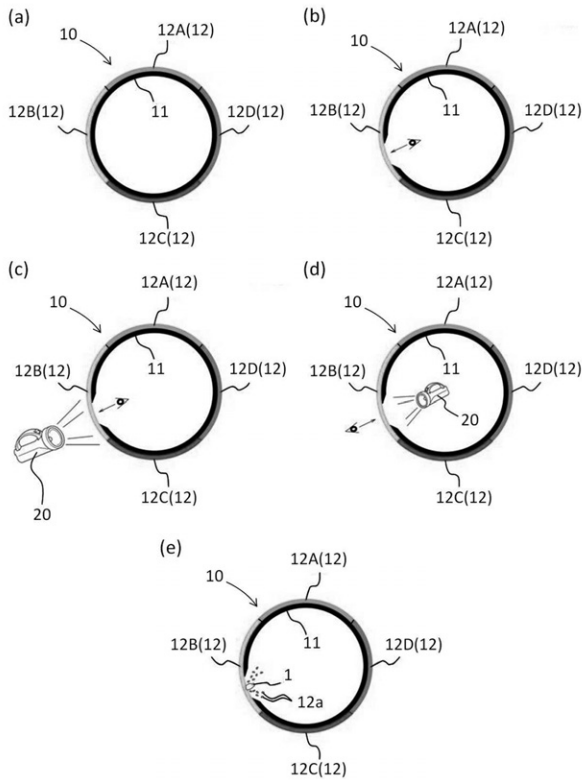
【0143】

- 1 摩耗性物質
- 10 輸送管
- 11 内管
- 12 内管外層
- 12A オレンジ色領域
- 12B 緑色領域
- 12C 赤色領域
- 12D 青色領域
- 12E 黄色領域
- 12F 白色領域
- 12G 灰色領域
- 12a、13a 摩耗粉

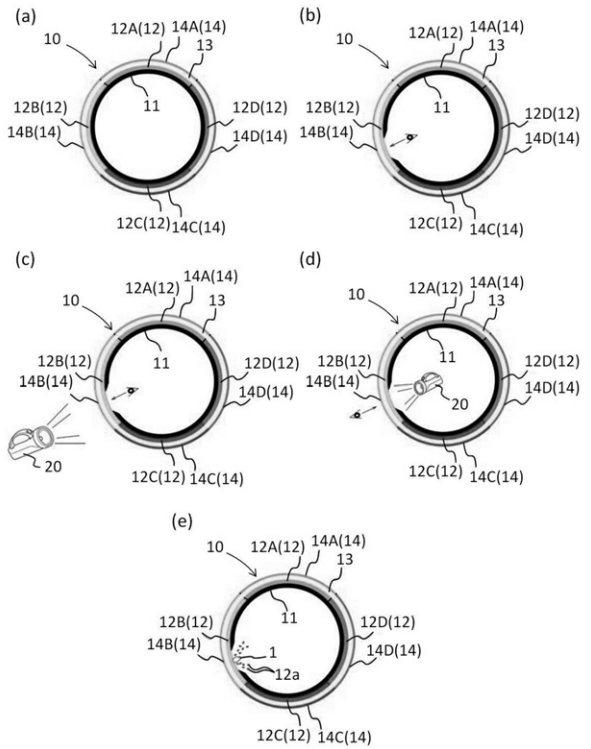
1 3 第 2 内管外層
 1 4 第 3 内管外層
 2 0 照明手段
 6 0 浮力発生手段

【図面】

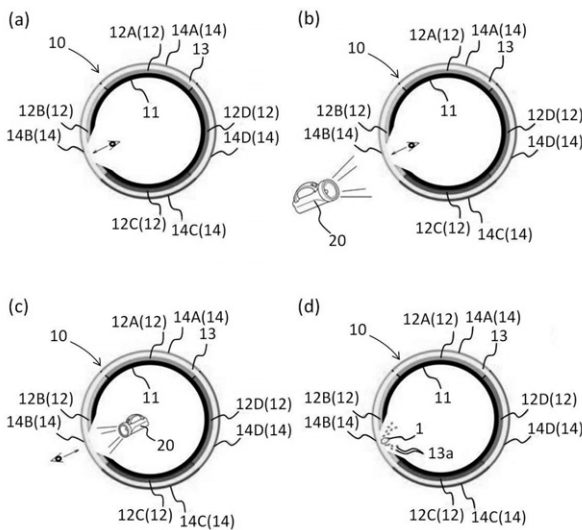
【図 1】



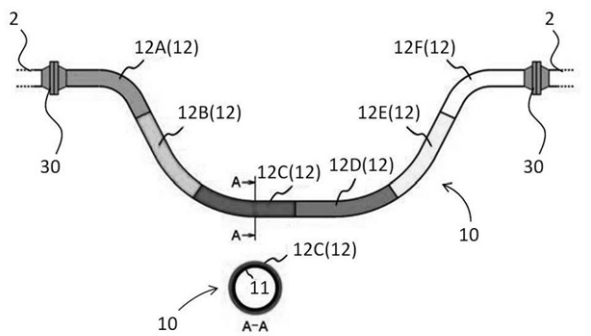
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

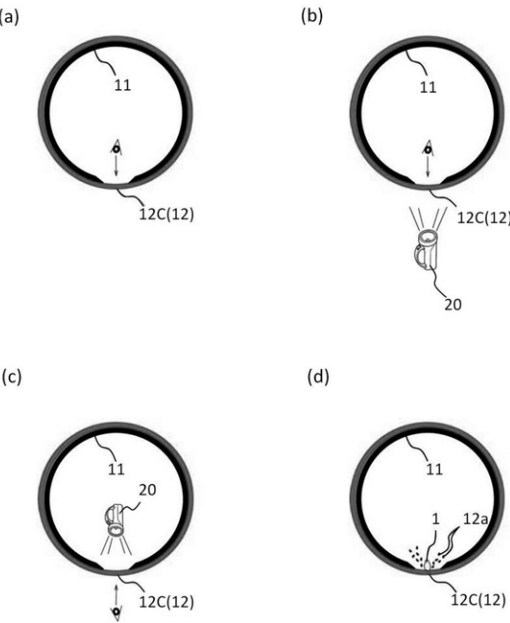
20

30

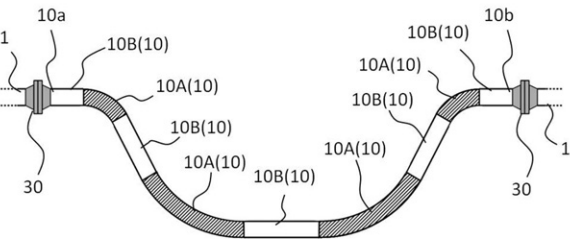
40

50

【図 5】

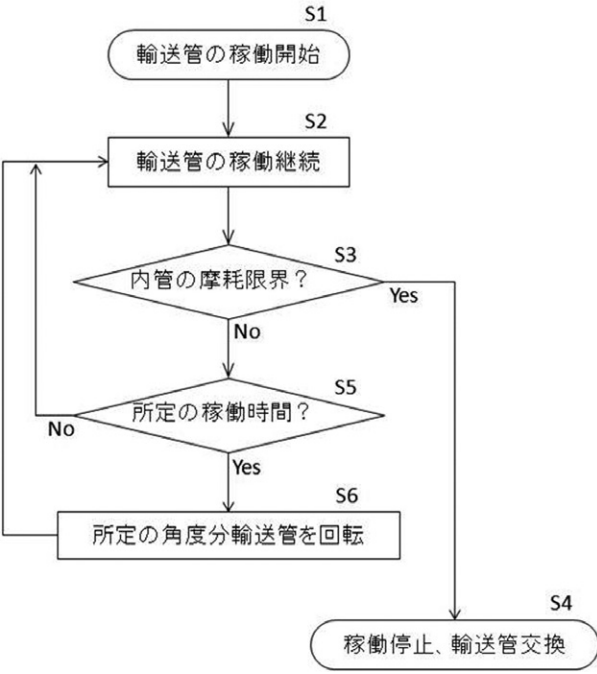


【図 6】

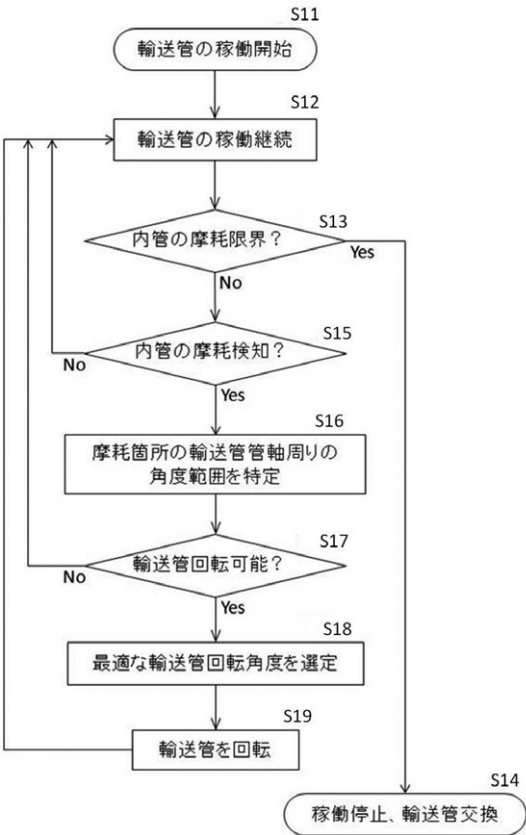


10

【図 7】



【図 8】



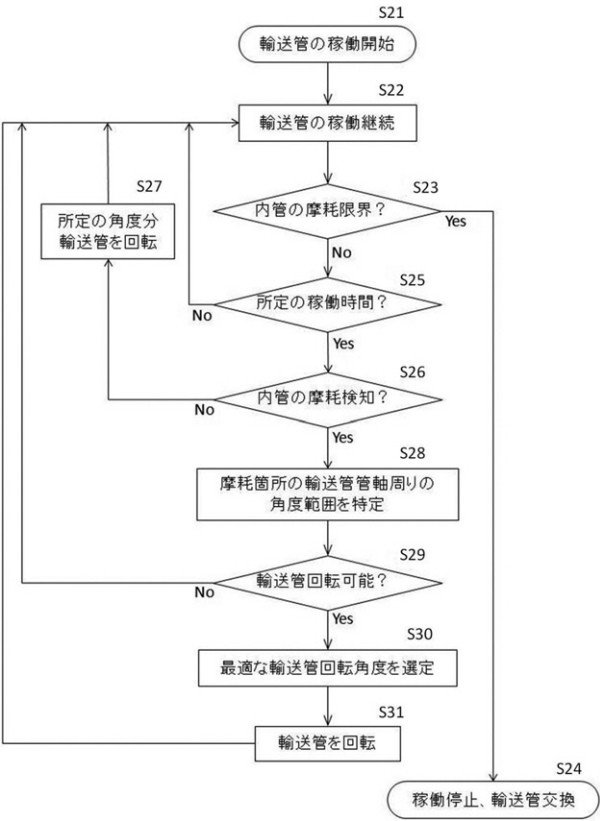
20

30

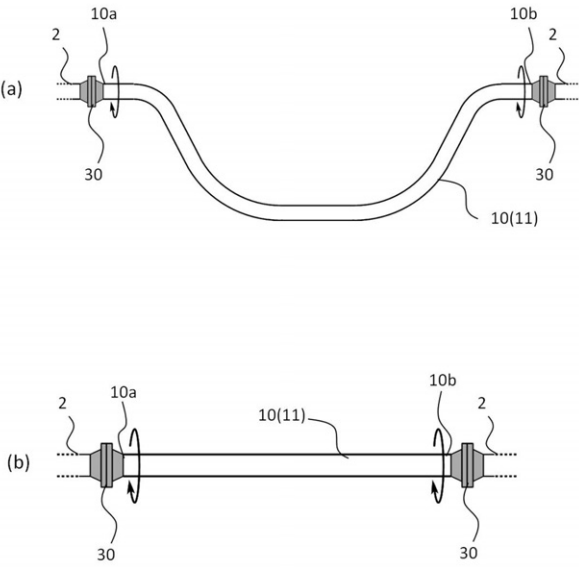
40

50

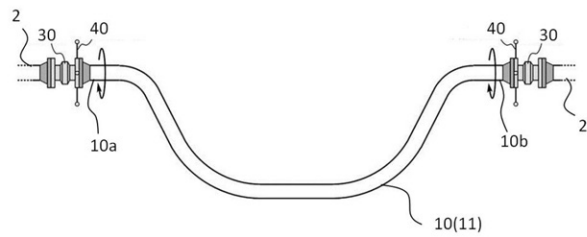
【図 9】



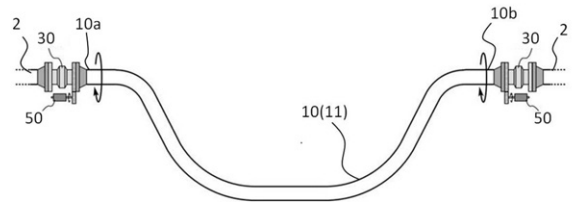
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

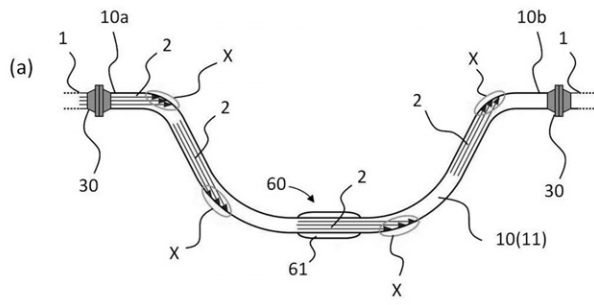
20

30

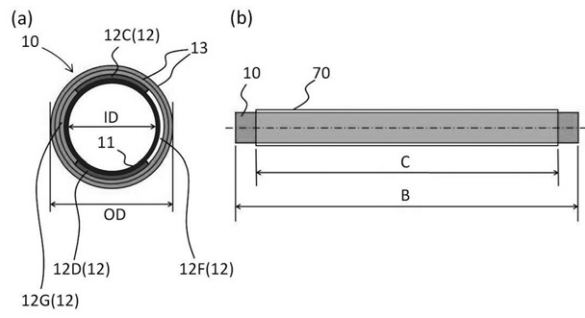
40

50

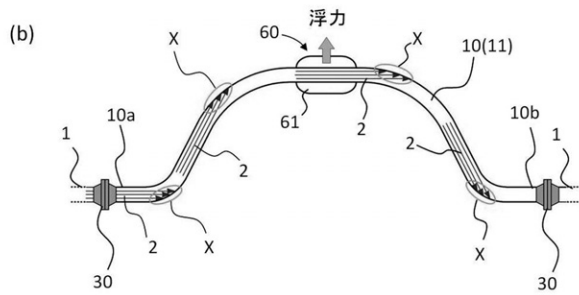
【図 13】



【図 14】

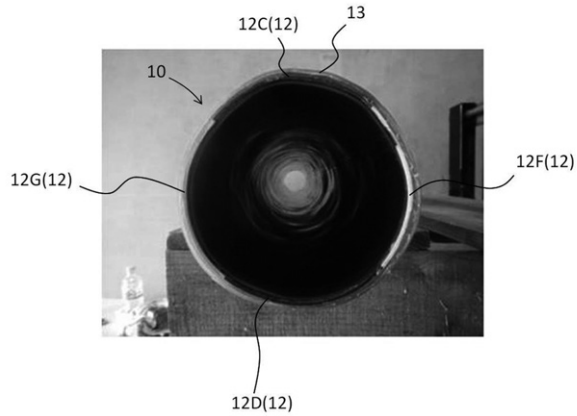


10

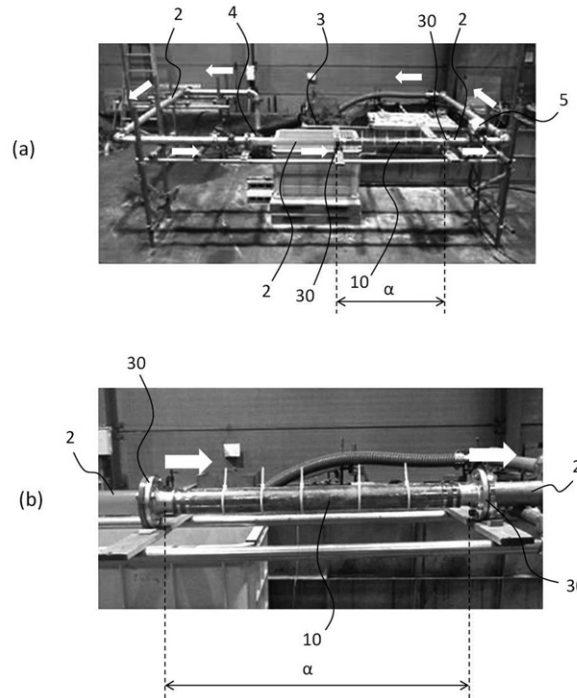


20

【図 15】



【図 16】

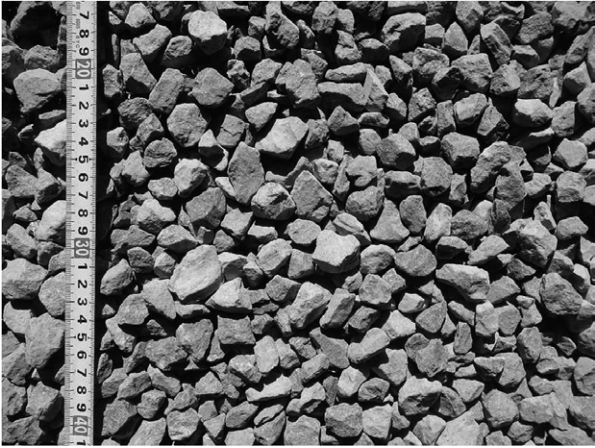


30

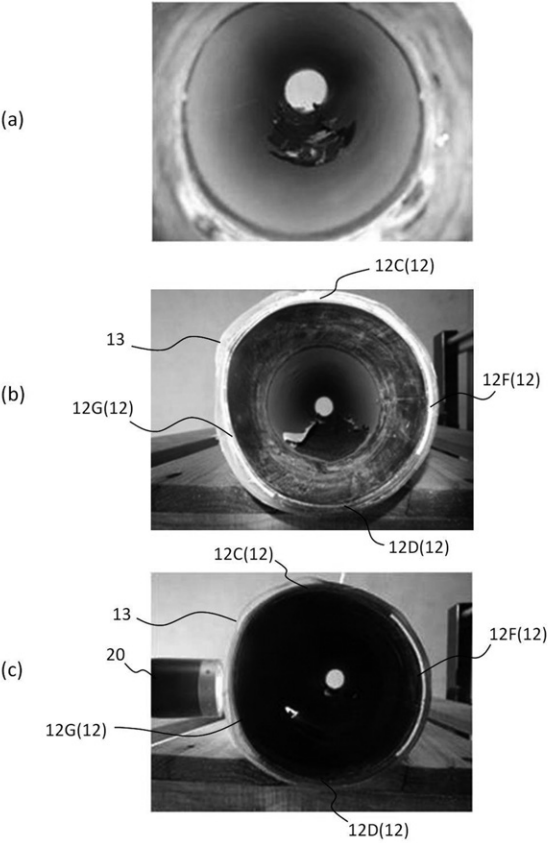
40

50

【図 17】



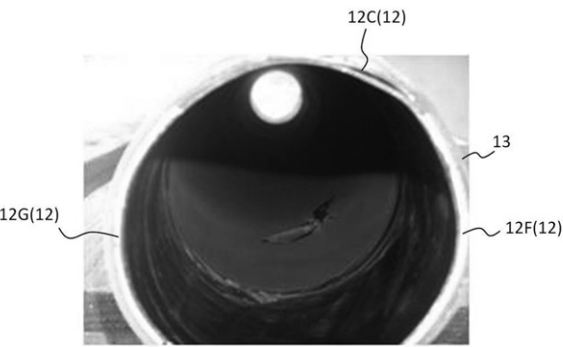
【図 18】



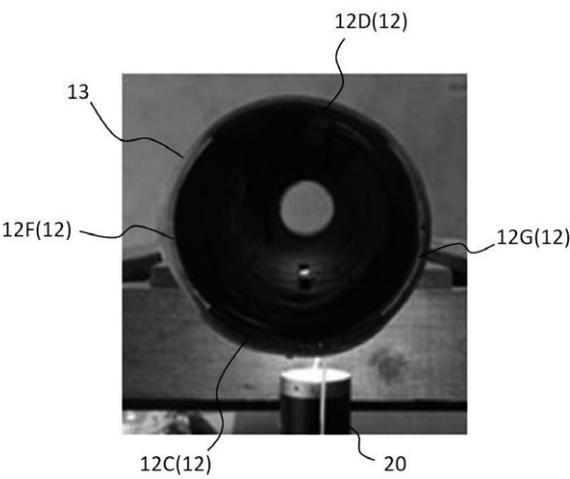
10

20

【図 19】



【図 20】

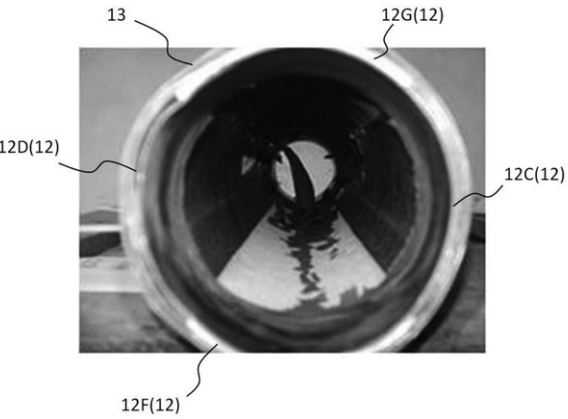


30

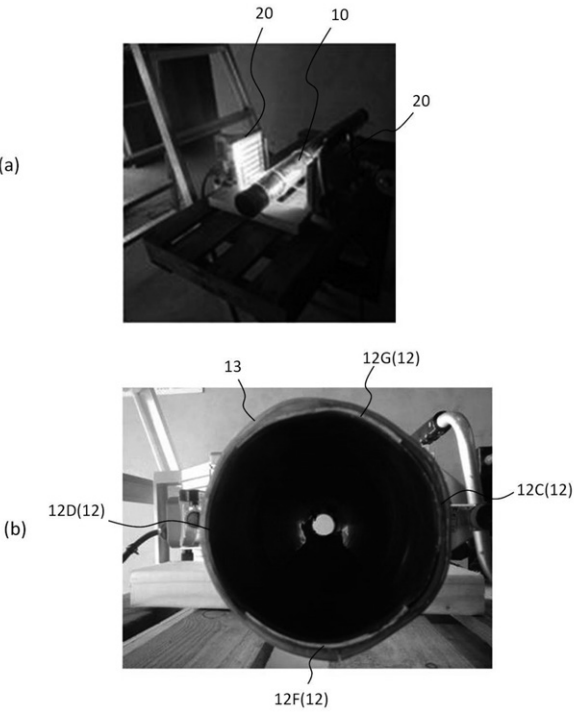
40

50

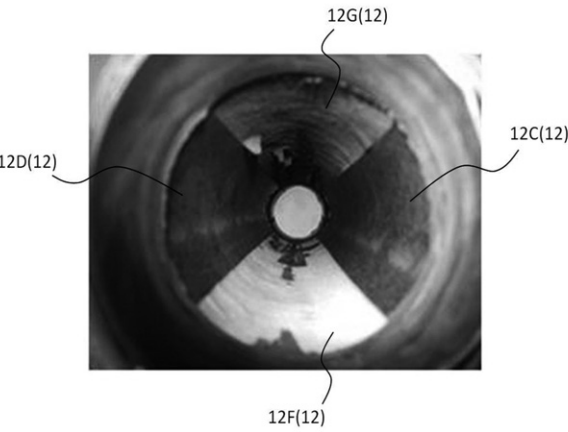
【図 2 1】



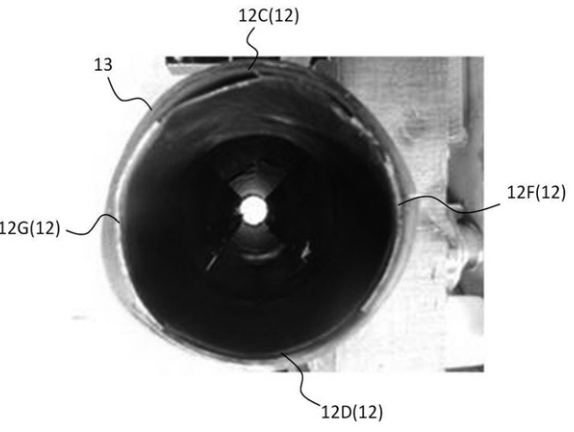
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

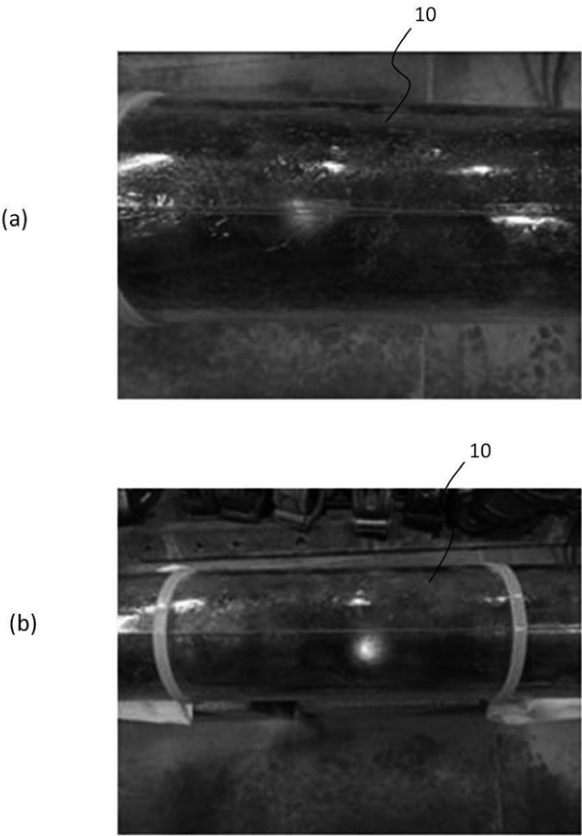
20

30

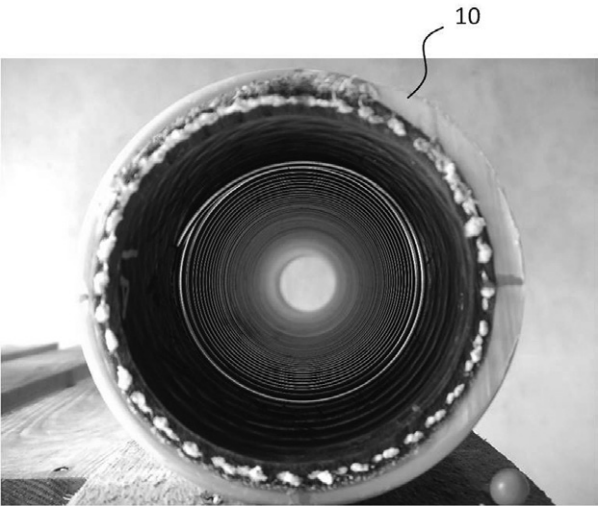
40

50

【図 2 5】



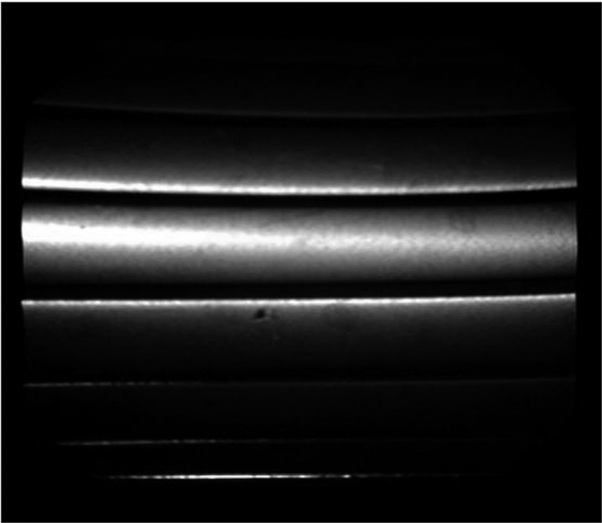
【図 2 6】



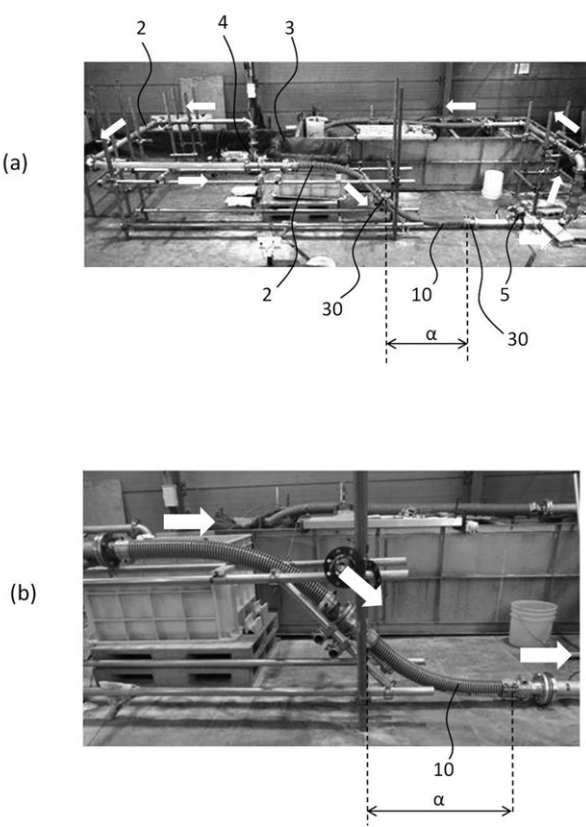
10

20

【図 2 7】



【図 2 8】

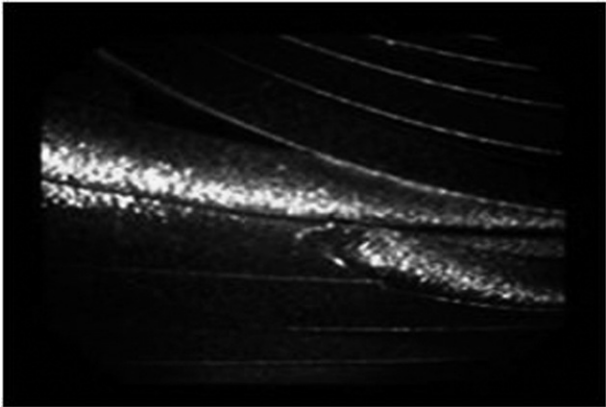


30

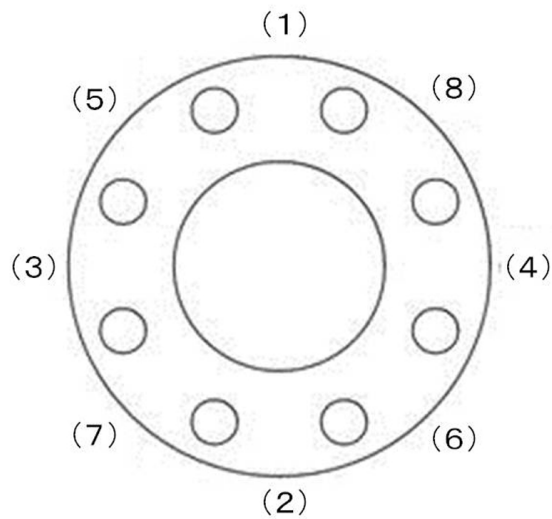
40

50

【図 29】

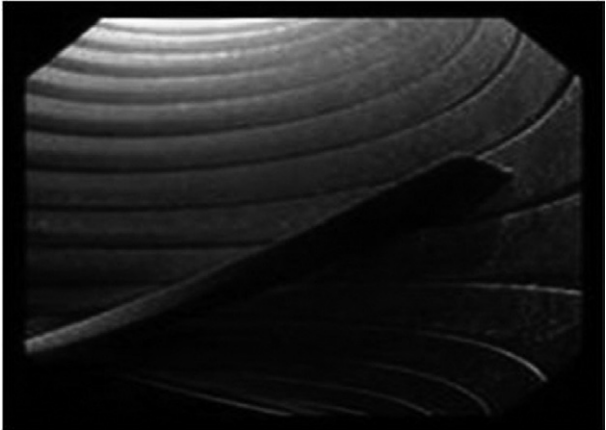


【図 30】

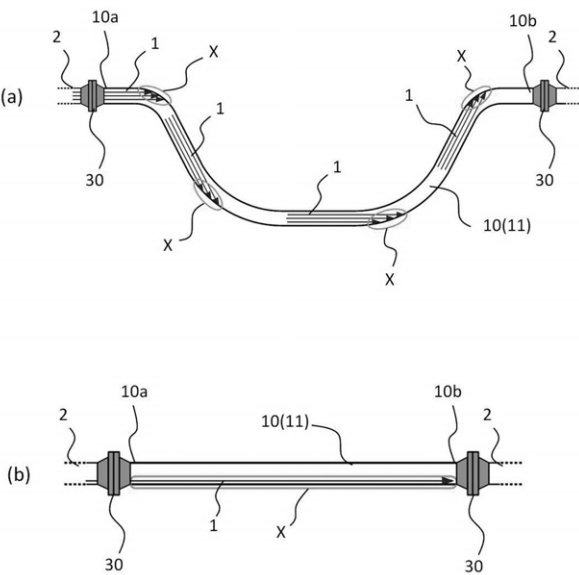


10

【図 31】



【図 32】



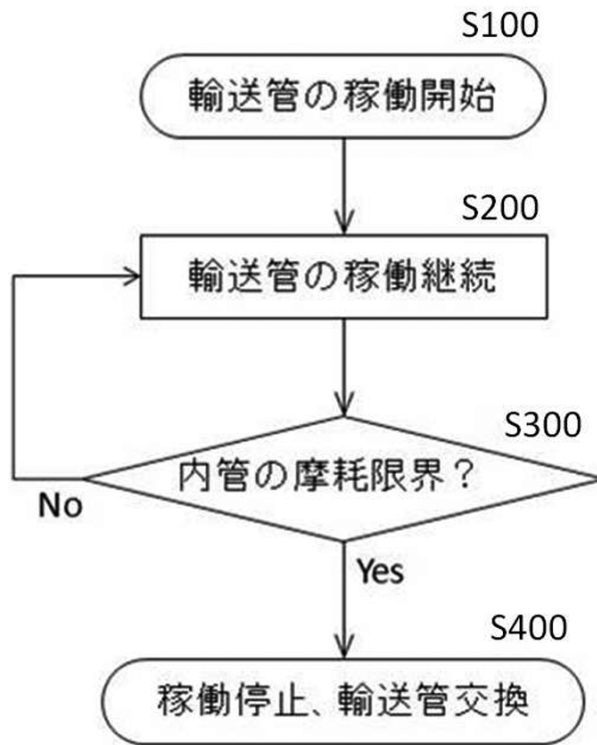
20

30

40

50

【図 3 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 研究所内
(72)発明者 小野 正夫
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
(72)発明者 高野 慧
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
(72)発明者 正信 聡太郎
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
審査官 ▲高▼藤 啓
(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0041943 (US, A1)
特開2007-146996 (JP, A)
国際公開第2015/037448 (WO, A1)
特開2012-047289 (JP, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F16L 9/00-11/26