

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年9月22日(22.09.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/147483 A1

- (51) 国際特許分類:
F04B 49/10 (2006.01) F04D 27/00 (2006.01)
E21B 43/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/082232
- (22) 国際出願日: 2015年11月17日(17.11.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-055941 2015年3月19日(19.03.2015) JP
特願 2015-055942 2015年3月19日(19.03.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中庭 彰宏 (NAKANIWA, Akihiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 松尾 実 (MATSUO, Minoru); 〒1088215 東京都港区港南二丁目

16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 貝漕 高明 (KAIKOGI, Takaaki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

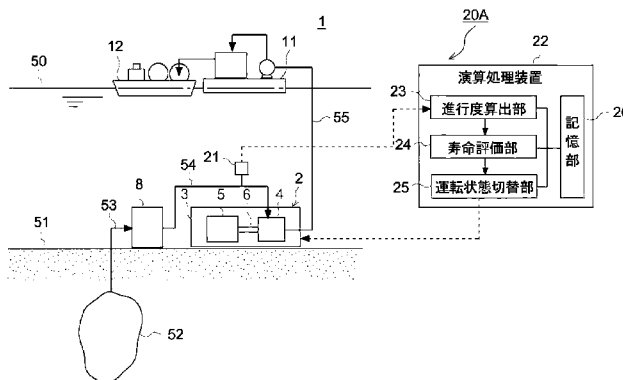
(74) 代理人: 誠真 I P 特許業務法人 (SEISHIN IP PATENT FIRM, P.C.); 〒1080073 東京都港区三田三丁目13番16号 三田43MTビル13階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: STATE MONITORING DEVICE AND STATE MONITORING METHOD FOR MINING GAS COMPRESSION SYSTEM, AND MINING GAS COMPRESSION SYSTEM

(54) 発明の名称: 採掘ガス圧縮システムの状態監視装置及び状態監視方法、並びに、採掘ガス圧縮システム



(57) Abstract: A state monitoring device for a mining gas compression system that has a compressor, which raises the pressure of a mining gas, is provided with: a sensor for detecting the state quantity of the mining gas flowing into the compressor; an erosion advance-angle calculation unit for calculating the erosion advance-angle of the compressor on the basis of the state quantity of the mining gas; a lifetime evaluation unit for evaluating the lifetime of the compressor on the basis of the erosion advance-angle of the compressor.

(57) 要約: 採掘ガスを昇圧する圧縮機を有する採掘ガス圧縮システムの状態監視装置は、前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出するためのセンサと、前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機のエロージョン進行度を算出するためのエロージョン進行度算出部と、前記圧縮機の前記エロージョン進行度に基づいて、前記圧縮機の寿命を評価するための寿命評価部と、備える。

- 22 Computation processing device
23 Advance-angle calculation unit
24 Lifetime evaluation unit
25 Operation state switching unit
26 Storage unit

WO 2016/147483 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

採掘ガス圧縮システムの状態監視装置及び状態監視方法、並びに、採掘ガス圧縮システム

技術分野

[0001] 本開示は、採掘ガス圧縮システムの状態監視装置及び状態監視方法、並びに、採掘ガス圧縮システムに関する。

背景技術

[0002] 石油や天然ガス等の海底資源の採掘において、採掘された資源に含まれる気体成分を昇圧させて陸上設備や海上の浮体式設備に圧送するために圧縮機が用いられる。

例えば、非特許文献1には、海底のガス井から気液混合状態で採掘される天然ガスを海底にて気液分離して気体成分と液体成分に分離した後、気体成分を圧縮機で昇圧させて、陸上設備に送ることが記載されている。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：Turbomachinery International, September/October 2014, p. 18-24

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、圧縮機の仕様は、圧縮機の運転範囲（使用条件）を考慮して決定されている。具体的には、圧縮機に流入するガスの種類、流速、圧縮機回転数等に関する所定の使用条件を想定し、設計寿命に応じて圧縮機の仕様が決まる。

[0005] しかしながら、採掘ガス圧縮システムの場合、採掘ガスの特性が変化し得るため、圧縮機の運転範囲が不確定である。例えば、採掘ガス中の異物の粒

径および硬度が、運転時間の経過とともに変化することが考えられる。このため、採掘ガス圧縮システムの場合、圧縮機の寿命が設計寿命よりも短くなってしまう可能性がある。

[0006] 採掘ガス圧縮システムは、海洋向けプラントに適用されることが多い。海洋向けプラントでは圧縮機が故障しても、代替機の準備に時間を要し、その間プラントの運転停止を余儀なくされる。特に、採掘現場が海底に存在する場合、圧縮機の外し、据付け作業に多大な時間を要するため、プラントの運転停止期間がさらに延びてしまう。

[0007] この点、非特許文献 1 には、採掘ガス圧縮システムにおける圧縮機の寿命評価手法について記載がない。

[0008] 本発明の少なくとも幾つかの実施形態の目的は、採掘ガスの状態量の変動を考慮して圧縮機の状態を監視することができる採掘ガス圧縮システムの状態監視装置及び状態監視方法、並びに、採掘ガス圧縮システムを提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] (1) 本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの状態監視装置は、

採掘ガスを昇圧する圧縮機を有する採掘ガス圧縮システムの状態監視装置であって、

前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出するためのセンサと、
前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機のエロージョン進行度を算出するためのエロージョン進行度算出部と、

前記圧縮機の前記エロージョン進行度に基づいて、前記圧縮機の寿命を評価するための寿命評価部と、
を備える。

[0010] 上記 (1) の構成によれば、採掘ガスの状態量に基づいて算出した圧縮機のエロージョン進行度を考慮して圧縮機の寿命評価を行うようにしたので、採掘ガスの状態量の変化しても、採掘ガス圧縮システムの状態監視の一環と

して圧縮機の寿命評価を適切に行うことができる。

なお、こうして得られた圧縮機の寿命評価結果を用いれば、圧縮機のメンテナンス計画を適切に立案でき、プラントの運転停止期間を短縮してプラント全体としての収益を改善することができる。

[0011] (2) 幾つかの実施形態では、上記(1)の構成において、

前記状態量は、前記採掘ガス中の異物の粒径、該異物の前記採掘ガス中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを含む。

[0012] 上記(2)の構成によれば、採掘ガス中の異物の粒径、濃度、硬度等の採掘ガスの状態量を考慮して、圧縮機の寿命評価を適切に行うことができる。

[0013] (3) 幾つかの実施形態では、上記(1)又は(2)の構成において、

前記エロージョン進行度算出部は、前記採掘ガスの前記状態量に加えて、前記採掘ガスの流速に基づいて、前記エロージョン進行度を算出するように構成される。

[0014] 上記(3)の構成によれば、採掘ガスの状態量だけでなく、圧縮機に流入する採掘ガスの流速を考慮することで、圧縮機の寿命評価をより適切に行うことができる。

[0015] (4) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(3)の何れかの構成において、

採掘ガス圧縮システムの状態監視装置が、

前記寿命評価部による評価結果に基づいて、定格運転状態と、該定格運転状態よりも前記圧縮機におけるエロージョン進行が遅い延命運転状態との間で前記圧縮機の運転状態を切り替えるように構成された運転状態切替部をさらに備える。

[0016] 上記(4)の構成によれば、定格運転状態と延命運転状態との間で圧縮機の運転状態を切り替えるようにしたので、圧縮機の寿命評価結果に基づいて、圧縮機の寿命を制御することができる。

[0017] (5) 幾つかの実施形態では、上記(4)の構成において、

前記延命運転状態は、前記圧縮機の回転数が前記定格運転状態よりも小さ

い。

[0018] 圧縮機のエロージョン進行速度は、採掘ガスの流速の N 乗（ $N > 1$ ）に比例するから、圧縮機の回転数（即ち採掘ガスの流速）に対する感度が大きい。

この点、上記（４）の構成によれば、延命運転状態において、圧縮機の回転数を定格運転状態よりも小さくすることで、圧縮機のエロージョン進行速度を効果的に抑制し、圧縮機の寿命を効果的に延ばすことができる。

[0019] （６）幾つかの実施形態では、上記（４）又は（５）の構成において、

前記運転状態切替部は、現時点での前記エロージョン進行度および前記エロージョン進行度の許容値の偏差と、現時点から次回の定期点検までの残時間と、に基づいて、前記延命運転状態における運転条件を決定するように構成される。

[0020] 上記（６）の構成によれば、次回の定期点検までの残時間を考慮して、延命運転状態における運転条件を決定するようにしたので、次回の圧縮機の寿命を延ばして、圧縮機の運転停止を回避しながら、メンテナンス回数を減らすことができる。

[0021] （７）幾つかの実施形態では、

前記採掘ガス圧縮システムは、前記圧縮機を駆動するためのモータをさらに有し、

採掘ガス圧縮システムの状態監視装置が、

既知の基準状態量を有するサンプルガスに関する前記モータへの供給電力と前記圧縮機の実出力との既知の基準相関関係を取得するための基準相関関係取得部と、

前記センサによって検出された前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機の実出力を補正し、前記採掘ガスが前記基準状態量を有する場合における前記モータへの供給電力に対応する前記圧縮機の実出力補正值を算出するための出力補正部と、

前記モータへの供給電力と前記出力補正值との関係と前記基準相関関係と

の比較結果に基づいて、前記採掘ガス圧縮システムの異常を検出するための異常検出部と、
をさらに備える。

[0022] (7') 本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの状態監視装置は、

上記(1)で述べた構成の有無にかかわらず、

採掘ガスを昇圧する圧縮機と、該圧縮機を駆動するモータと、を有する採掘ガス圧縮システムの状態監視装置であって、

前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出するためのセンサと、

既知の基準状態量を有するサンプルガスに関する前記モータへの供給電力(モータ入力)と前記圧縮機の出力との既知の基準相関関係を取得するための基準相関関係取得部と、

前記センサによって検出された前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機の実際出力を補正し、前記採掘ガスが前記基準状態量を有する場合における前記モータへの供給電力に対応する前記圧縮機の出力補正值を算出するための出力補正部と、

前記モータへの供給電力と前記出力補正值との関係と前記基準相関関係との比較結果に基づいて、前記採掘ガス圧縮システムの異常を検出するための異常検出部と、
を備える。

[0023] 上記(7)又は(7')の構成では、採掘ガスの状態量の検出結果に基づいて圧縮機の実際出力を補正することで、採掘ガスが基準状態量(サンプルガスの既知の状態量)を有する場合におけるモータ供給電力に対応する圧縮機の出力補正值を算出している。こうして得られた圧縮機の出力補正值は、サンプルガスと同一の状態量(基準状態量)を前提としているため、採掘ガスの状態量の変動の影響を受けずに、モータ供給電力と出力補正值との関係を基準相関関係と適切に比較することができる。よって、採掘ガスの状態量の変動によって圧縮機の運転範囲が不確定であっても、採掘ガ

ス圧縮システムの故障の前兆としての異常を検知することができる。

[0024] (8) 幾つかの実施形態では、上記(7)又は(7')の構成において、

採掘ガス圧縮システムの状態監視装置が、

前記異常検出部により前記採掘ガス圧縮システムの異常が検出されたとき、前記モータへの供給電力に対応する前記モータの実際出力および設計出力値の比較結果に基づいて、前記異常の発生箇所が前記圧縮機又は前記モータの何れであるかを特定するように構成された異常箇所特定部をさらに備える。

[0025] 上記(7)又は(7')の構成において、異常検出部により採掘ガス圧縮システムの異常が検出されると、異常発生箇所として主に考えられるのはモータ又は圧縮機の何れかである。

そこで、上記(8)の構成では、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の比較結果に基づいて、異常の発生箇所が圧縮機又はモータの何れであるかを特定するようになっている。

例えば、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の差が許容範囲内である場合、異常発生箇所はモータではなく圧縮機であると考えられる。一方、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の差が許容範囲を超えている場合、異常発生箇所は圧縮機ではなくモータであると考えられる。こうして、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の比較結果に基づき、異常発生箇所を特定することができる。

[0026] (9) 幾つかの実施形態では、上記(7)、(7')又は(8)の構成において、

前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力と、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值との差が第1閾値を超えたとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成される。

[0027] 上記(9)の構成によれば、基準相関関係に基づいて定まるモータ供給電

力に対応した圧縮機の基準出力と、出力補正部によって算出された出力補正值との差を第1閾値と比較することで、採掘ガスの状態量の変動によって圧縮機の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システムの異常の有無を高精度に判定することができる。

[0028] (10) 幾つかの実施形態では、上記(7)、(7')又は(8)の構成において、

前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力に対する、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值の乖離率が第2閾値を超えたとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成される。

[0029] 上記(10)の構成によれば、基準相関関係に基づいて定まるモータ供給電力に対応した圧縮機の基準出力に対する、出力補正部によって算出された出力補正值の乖離率を第2閾値と比較することで、採掘ガスの状態量の変動によって圧縮機の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システムの異常の有無を高精度に判定することができる。

[0030] (11) 幾つかの実施形態では、上記(7)、(7')又は(8)の構成において、

前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力と、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值との差、または、前記基準出力に対する前記出力補正值の乖離率が第3閾値を超える期間が規定時間以上継続したとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成される。

[0031] 上記(11)の構成によれば、圧縮機の基準出力と出力補正值との差、または、基準出力に対する出力補正值の乖離率が第3閾値を超えた期間が規定時間以上であるか否かに基づいて、採掘ガスの状態量の変動によって圧縮機の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システムの異常の有無を高精度に判定することができる。

[0032] (12) 幾つかの実施形態では、上記(7)、(7')又は(8)の構成に

において、

前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力と、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值との差、または、前記基準出力に対する前記出力補正值の乖離率の増大速度が第4 閾値を超えたとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成される。

[0033] 上記（1 2）の構成によれば、圧縮機の基準出力と出力補正值との差、または、基準出力に対する出力補正值の乖離率の増大速度を第4 閾値と比較することで、採掘ガスの状態量の変動によって圧縮機の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システムの異常の有無を高精度に判定することができる。

[0034] （1 3）本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る採掘ガス圧縮システムは、

採掘ガスを昇圧するための圧縮機と、

上記（1）乃至（1 2）の何れかの状態監視装置と、を備える。

[0035] 上記（1 3）の構成によれば、上記（1）乃至（1 2）の何れかの状態監視装置を備えるので、上述したように、圧縮機の寿命評価を適切に行うことができ、採掘ガス圧縮システムを効率的に稼働させることができる。

[0036] （1 4）本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの状態監視方法は、

採掘ガスを昇圧する圧縮機を有する採掘ガス圧縮システムの状態監視方法であって、

前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出する状態量検出ステップと、

前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機のエロージョン進行度を算出するエロージョン進行度算出ステップと、

前記圧縮機の前記エロージョン進行度に基づいて、前記圧縮機の寿命を評価するための寿命評価ステップと、

を備える。

[0037] 上記（１４）の方法によれば、採掘ガスの状態量に基づいて算出した圧縮機のエロージョン進行度を考慮して圧縮機の寿命評価を行うようにしたので、採掘ガスの状態量が変化しても、採掘ガス圧縮システムの状態監視の一環として圧縮機の寿命評価を適切に行うことができる。

なお、こうして得られた圧縮機の寿命評価結果を用いれば、圧縮機のメンテナンス計画を適切に立案でき、プラントの運転停止期間を短縮してプラント全体としての収益を改善することができる。

[0038] （１５）幾つかの実施形態では、上記（１４）の方法において、

前記状態量は、前記採掘ガス中の異物の粒径、該異物の前記採掘ガス中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを含む。

[0039] 上記（１５）の方法によれば、採掘ガス中の異物の粒径、濃度、硬度等の採掘ガスの状態量を考慮して、圧縮機の寿命評価を適切に行うことができる。

[0040] （１６）幾つかの実施形態では、上記（１４）又は（１５）の方法において、

前記エロージョン進行度算出ステップでは、前記採掘ガスの前記状態量に加えて、前記採掘ガスの流速に基づいて、前記エロージョン進行度を算出する。

[0041] 上記（１６）の方法によれば、採掘ガスの状態量だけでなく、圧縮機に流入する採掘ガスの流速を考慮することで、圧縮機の寿命評価をより適切に行うことができる。

[0042] （１７）幾つかの実施形態では、上記（１４）乃至（１６）の何れかの方法において、

採掘ガス圧縮システムの状態監視方法は、

前記寿命評価ステップにおける評価結果に基づいて、定格運転状態と、該定格運転状態よりも前記圧縮機におけるエロージョン進行が遅い延命運転状態との間で前記圧縮機の運転状態を切り替える運転状態切替ステップをさら

に備える。

[0043] 上記（１７）の方法によれば、定格運転状態と延命運転状態との間で圧縮機の運転状態を切り替えるようにしたので、圧縮機の寿命評価結果に基づいて、圧縮機の寿命を制御することができる。

[0044] （１８）幾つかの実施形態では、上記（１７）の方法において、前記延命運転状態は、前記圧縮機の回転数が前記定格運転状態よりも小さい。

[0045] 上記（１８）の方法によれば、延命運転状態において、圧縮機の回転数を定格運転状態よりも小さくすることで、圧縮機のエロージョン進行速度を効果的に抑制し、圧縮機の寿命を効果的に延ばすことができる。

[0046] （１９）幾つかの実施形態では、上記（１７）又は（１８）の方法において、

前記運転状態切替ステップでは、現時点での前記エロージョン進行度および前記エロージョン進行度の許容値の偏差と、現時点から次回の定期点検までの残時間と、に基づいて、前記延命運転条件を決定する。

[0047] 上記（１９）の方法によれば、次回の定期点検までの残時間を考慮して、延命運転状態における運転条件を決定するようにしたので、次回の圧縮機の寿命を延ばして、圧縮機の運転停止を回避しながら、メンテナンス回数を減らすことができる。

[0048] （２０）幾つかの実施形態では、上記（１４）乃至（１９）の何れかの方法において、

前記採掘ガス圧縮システムは、前記圧縮機を駆動するためのモータをさらに有し、

採掘ガス圧縮システムの状態監視方法は、

前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出する状態量検出ステップと、

既知の基準状態量を有するサンプルガスに関する前記モータへの供給電力と前記圧縮機の出力との既知の基準相関関係を取得する基準相関関係取得ス

テップと、

前記状態量検出ステップにおいて検出された前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機の実際出力を補正し、前記採掘ガスが前記基準状態量を有する場合における前記モータへの供給電力に対応する前記圧縮機の実出力補正値を算出する出力補正ステップと、

前記モータへの供給電力と前記出力補正値との関係と前記基準相関関係との比較結果に基づいて、前記採掘ガス圧縮システムの異常を検出する異常検出ステップと、

をさらに備える。

[0049] (20') 本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの状態監視方法は、

上記(14)で述べたステップの有無にかかわらず、

採掘ガスを昇圧する圧縮機と、該圧縮機を駆動するモータと、を有する採掘ガス圧縮システムの状態監視方法であって、

前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出する状態量検出ステップと、

既知の基準状態量を有するサンプルガスに関する前記モータへの供給電力と前記圧縮機の実出力との既知の基準相関関係を取得する基準相関関係取得ステップと、

前記状態量検出ステップにおいて検出された前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機の実際出力を補正し、前記採掘ガスが前記基準状態量を有する場合における前記モータへの供給電力に対応する前記圧縮機の実出力補正値を算出する出力補正ステップと、

前記モータへの供給電力と前記出力補正値との関係と前記基準相関関係との比較結果に基づいて、前記採掘ガス圧縮システムの異常を検出する異常検出ステップと、

を備える。

[0050] 上記(20)又は(20')の方法では、採掘ガスの状態量の検出結果に

基づいて圧縮機の実際出力を補正することで、採掘ガスが基準状態量（サンプルガスの既知の状態量）を有する場合におけるモータ供給電力に対応する圧縮機の実際出力補正值を算出するようになっている。こうして得られた圧縮機の実際出力補正值は、サンプルガスと同一の状態量（基準状態量）を前提としているため、採掘ガスの状態量の変動の影響を受けずに、モータ供給電力と出力補正值との関係を基準相関関係と適切に比較することができる。よって、採掘ガスの状態量の変動によって圧縮機の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システムの故障の前兆としての異常を検知することができる。

[0051] (21) 幾つかの実施形態では、上記(20)又は(20')の方法において、

採掘ガス圧縮システムの状態監視方法は、

前記異常検出ステップにおいて前記採掘ガス圧縮システムの異常が検出されたとき、前記モータへの供給電力に対応する前記モータの実際出力および設計出力値の比較結果に基づいて、前記異常の発生箇所が前記圧縮機又は前記モータの何れであるかを特定する異常箇所特定ステップをさらに備える。

[0052] 上記(21)の方法では、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の比較結果に基づいて、異常の発生箇所が圧縮機又はモータの何れであるかを特定するようになっている。

例えば、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の差が許容範囲内である場合、異常発生箇所はモータではなく圧縮機であると考えられる。一方、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の差が許容範囲を超えている場合、異常発生箇所は圧縮機ではなくモータであると考えられる。こうして、モータ供給電力に対応するモータ実際出力および設計出力値の比較結果に基づき、異常発生箇所を特定することができる。

発明の効果

[0053] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、採掘ガスの状態量に基づいて算出した圧縮機のエロージョン進行度を考慮して圧縮機の寿命評価を行うよう

にしたので、採掘ガスの状態量が変化しても、採掘ガス圧縮システムの状態監視の一環として圧縮機の寿命評価を適切に行うことができる。

図面の簡単な説明

- [0054] [図1]一実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの概略構成を示す図である。
- [図2]エロージョン進行度の一例を示すグラフであり、設計寿命と実際の寿命を説明するための図である。
- [図3]エロージョン進行度の一例を示すグラフであり、推定寿命を説明するための図である。
- [図4]定格運転状態および延命運転状態を説明するためのグラフである。
- [図5]一実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの状態監視方法のフローチャートである。
- [図6]一実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの概略構成を示す図である。
- [図7]一実施形態に係るモータ及び圧縮機の入出力を説明するための図である。
- [図8]基準相関関係に対する実測値及び補正值の一例を示すグラフである。
- [図9]基準出力と出力補正值との差の時系列変化の一例を示すグラフである。
- [図10]基準出力に対する出力補正值の乖離率の時系列変化の一例を示すグラフである。
- [図11]他の実施形態に係るモータ及び圧縮機の入出力を説明するための図である。
- [図12]モータ入力とモータ出力の関係を示すグラフである。
- [図13]一実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの異常検出方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

- [0055] 以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

[0056] 最初に、図 1 を参照して、一実施形態に係る採掘ガス圧縮システム 1 の概略構成について説明する。

図 1 に示すように、採掘ガス圧縮システム 1 は、主として、地下や海底に存在するガス田又は油田で採掘された資源に含まれる採掘ガス 5 4 を圧縮（昇圧）して、例えば外部の処理設備や貯蔵設備等に圧送するためのシステムである。図 1 に示す構成例では、採掘ガス圧縮システム 1 は海洋向けプラントに適用され、海底 5 1 のガス田 5 2 から採掘された採掘ガス 5 4 を圧縮対象としており、海底 5 1 に圧縮機 4 が設置された構成を例示している。

なお、図示しないが他の構成例では、採掘ガス圧縮システム 1 は、湖底や川底等の他の水底から採掘されたガスを圧縮対象としてもよいし、圧縮機 4 が海上や湖上等の水上、または陸上に設置された構成としてもよい。あるいは、採掘ガス圧縮システム 1 は、地下から採掘されたガスを圧縮対象としてもよい。

[0057] 一実施形態において、採掘ガス圧縮システム 1 は、気液分離器 8 と、気液分離器 8 に接続された圧縮機 4 と、圧縮機 4 を駆動するためのモータ 5 と、を備える。

[0058] 気液分離器 8 は、海底 5 1 に存在するガス田 5 2 から採掘された液分含有ガス（採掘ガス）5 3 から、液状成分を分離する構成となっている。通常、海底 5 1 に埋蔵されたガスは、液状成分を含有した状態で採掘されることが多く、その場合、気液分離器 8 において液分含有ガス 5 3 から液状成分を分離し、気体成分のみを含む液分分離ガス（採掘ガス）5 4 を圧縮機 4 に送るようになっている。なお、液分含有ガス 5 3 の性状によっては、気液分離器 8 を設置しない構成としてもよい。

[0059] 圧縮機 4 は、モータ 5 の出力軸 6 に接続され、モータ 5 によって駆動されて流体を昇圧させるように構成される。圧縮機 4 とモータ 5 とは、単一のケーシング 3 の内部に圧縮機 4 及びモータ 5 が収容されたモーター一体型圧縮機 2 を構成していてもよい。図示されるように海底 5 1 に圧縮機 4 が設置される場合、モーター一体型圧縮機 2 を採用すれば、ケーシング 3 を気密構造とす

ることで圧縮機４およびモータ５を海水による腐食から容易に保護できる。あるいは図示しないが、洋上のプラットフォーム１１上に圧縮機４が設置される場合、モーター一体型圧縮機２を採用すれば、圧縮機４およびモータ５の小型化が可能であるため、スペースの限られたプラットフォーム１１における省スペース化が図れる。

[0060] 上述の採掘ガス圧縮システム１では、海底５１のガス田５２から採掘された液分含有ガス（採掘ガス）５３は気液分離器８に導入され、気液分離器８において気体成分と液状成分とに分離される。

気液分離器８により液状成分が分離された液分分離ガス（採掘ガス）５４は、気液分離器８に接続された圧縮機４に導入されて、圧縮機４によって昇圧される。なお、気液分離器８により分離された採掘ガス５３の液状成分は、他の処理ラインに送られるため図示を省略している。

圧縮機４から排出された圧縮ガス５５は、採掘ガス圧縮システム１の外部に送られる。例えば、図示されるように、圧縮ガス５５は、海面５０に浮かぶプラットフォーム１１上に載置されたタンクに一旦貯留された後、タンカー１２によって輸送される。

[0061] ところで、通常、圧縮機４の仕様は、圧縮機４の運転範囲（使用条件）を考慮して決定されている。具体的には、圧縮機４に流入するガスの種類、流速、圧縮機回転数等に関する所定の使用条件を想定し、設計寿命に応じて圧縮機４の仕様が決まる。

しかしながら、上記構成を有する採掘ガス圧縮システム１の場合、採掘ガス５４の特性が変化し得るため、圧縮機４の運転範囲（使用条件）が不確定であり、圧縮機４の寿命が設計寿命よりも短くなってしまう可能性がある。特に、図１に示すように海洋向けプラントに採掘ガス圧縮システム１が適用される場合、圧縮機４が故障しても、代替機の準備に時間を要し、その間プラントの運転停止を余儀なくされる。

[0062] そこで、本実施形態では、採掘ガス圧縮システム１の状態監視の一環として、状態監視装置２０Ａによって圧縮機４の寿命を評価するようになってい

る。

一実施形態に係る状態監視装置20Aは、採掘ガス54の状態量を検出するためのセンサ21と、センサ21の検出値を用いて、圧縮機4の寿命を評価するための演算を行うように構成された演算処理装置22と、を備える。

[0063] 以下、状態監視装置20Aの各部位の具体的な構成例について説明する。

センサ21は、圧縮機4に流入する採掘ガス54の状態量を検出するように構成されている。具体的には、センサ21は、気液分離器8と圧縮機4との間を接続するガスラインに設けられ、液状成分分離後の採掘ガス54の状態量を検出している。

ここで、採掘ガス54の状態量は、採掘ガス54中の異物の粒径、該異物の採掘ガス中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを含んでもよい。

[0064] 演算処理装置22は、エロージョン進行度算出部23と、寿命評価部24と、記憶部26と、を含む。

演算処理装置22は、例えば、図示しないCPU（中央演算装置）、RAM（Random Access Memory）、ROM（Read Only Memory）、及び／又はコンピュータ読み取り可能な他の記録媒体等から構成されている。後述の各種機能を実現するための一連の処理の過程は、プログラムの形式で記録媒体等に記録されており、このプログラムをCPUがRAM等に読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、演算処理装置22の各部の機能が実現される。演算処理装置22は、採掘ガス圧縮システム1から離れた遠隔地に配置されてもよい。

[0065] エロージョン進行度算出部23は、採掘ガス54の状態量に基づいて圧縮機4のエロージョン進行度を算出するように構成される。上述したように、採掘ガス54の状態量は、採掘ガス54中の異物の粒径、該異物の採掘ガス中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを含んでもよい。また、エロージョン進行度算出部23は、採掘ガス54の状態量に加えて、採掘ガス54の流速に基づいて、エロージョン進行度を算出するように構成さ

れてもよい。

[0066] 寿命評価部 24 は、圧縮機 4 のエロージョン進行度に基づいて、圧縮機 4 の寿命を評価するように構成される。

記憶部 26 は、例えばセンサ 21 で検出された採掘ガス 54 の状態量等の各種のデータを記憶するように構成されている。

[0067] 例えば、エロージョン進行度算出部 23 は、以下の式 (1) に基づいて各々の時間におけるエロージョン進行速度 W を算出し、このエロージョン進行速度 W に基づいて任意の時点までのエロージョンの累積であるエロージョン進行度 E を算出する。

$$W = K \cdot U^N \cdot d^M \cdot H^L \quad \dots (1)$$

ここで、 W は圧縮機 4 のエロージョン進行速度 (単位時間あたりのエロージョン量) である。すなわち、 W は、単位時間当たりのエロージョン進行度 E を示す。また、 U は圧縮機 4 を流れる採掘ガス 54 の流速であり、 d は採掘ガス 54 に含まれる異物の平均粒径であり、 H は採掘ガス 54 に含まれる異物の硬度であり、 K 、 L 、 M 、 N は、定数である。なお、 K 、 L 、 M 、 N は、圧縮機 4 を含む系によって定まる値である。

[0068] 図 2 は、エロージョン進行度の一例を示すグラフであり、設計寿命と実際の寿命を説明するための図である。

このグラフにおいて、直線 101 は、設計時に想定した条件下において推定されたエロージョン進行度 E を示している。すなわち、採掘ガス 54 の状態量が一定であると仮定した場合、上記式 (1) により算出されたエロージョン進行速度 W はいずれの時間においても一定であり、よって、各々の時間におけるエロージョン進行度 E (エロージョン進行速度 W) を累積した値が直線 101 となっている。

一方、曲線 102 は、圧縮機 4 の実際の運転において算出されたエロージョン進行度 E を示している。すなわち、圧縮機 4 の実際の運転においては状態量が時間経過によって変化するため、各々の時間において上記式 (1) により算出されたエロージョン進行速度 W は異なる。そのため、上記式 (1)

により算出された各時間のエロージョン進行速度 W を累積したエロージョン進行度 E は、通常、直線状ではなく曲線102となる。

[0069] ここで、圧縮機4の寿命を、エロージョン進行度 E が圧縮機4の使用限界に相当する W_L に到達するまでの時間と定義した場合、直線101がエロージョン進行度 W_L に到達する時間 T_{Ld} が設計寿命となり、曲線102がエロージョン進行度 W_L に到達する時間 T_{Lm} が実際の寿命となる。図2に示されるグラフでは、設計寿命 T_{Ld} よりも実際の寿命 T_{Lm} の方が短い。このような場合、設計寿命 T_{Ld} まで圧縮機4を定格運転した場合、不具合が発生する可能性がある。そのため、実際の寿命 T_{Lm} に到達する前に、設計寿命 T_{Ld} よりも実際の寿命 T_{Lm} により近い寿命を推定することが求められる。あるいは、設計寿命 T_{Ld} よりも実際の寿命 T_{Lm} の方が大幅に長い場合、定期点検の時期を遅らせることでメンテナンスコストを削減することができる。

[0070] そこで、寿命評価部24は、圧縮機4のエロージョン進行度 E に基づいて、圧縮機4の寿命を評価するようになっている。

図3は、エロージョン進行度の一例を示すグラフであり、推定寿命を説明するための図である。例えば、図3に示されるように、寿命評価部24は、現在の時間 T_1 における曲線102の接線 L を算出し、この接線 L の傾きが直線101よりも大きい場合には、接線 L と使用限界エロージョン進行度 W_L との交点に対応する時点（即ち、接線 L がエロージョン進行度 W_L に到達する時点）を推定寿命 T_{L1} とする。なお、接線 L と使用限界エロージョン進行度 W_L との交点に対応する時点 T_{L1} が設計寿命 T_{Ld} の時点よりも後である場合、設計寿命 T_{Ld} を推定寿命として扱ってもよい。

なお、エロージョン進行度 E に基づく寿命推定については、上記方法に限定されるものではない。

[0071] 上記構成によれば、採掘ガス54の状態量に基づいて算出した圧縮機4のエロージョン進行度を考慮して圧縮機4の寿命評価を行うようにしたので、採掘ガス54の状態量が変化しても、圧縮機4の寿命評価を適切に行うことができる。

なお、こうして得られた圧縮機４の寿命評価結果を用いれば、圧縮機４のメンテナンス計画を適切に立案でき、プラントの運転停止期間を短縮してプラント全体としての収益を改善することができる。

また、採掘ガス５４の状態量として、採掘ガス５４中の異物の粒径、該異物の採掘ガス中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを用いるようにすれば、採掘ガス５４中の異物の粒径、濃度、硬度等の採掘ガス５４の状態量を考慮して、圧縮機４の寿命評価を適切に行うことができる。

さらに、エロージョン進行度算出部２３において、採掘ガス５４の状態量だけでなく、圧縮機４に流入する採掘ガスの流速を考慮することで、圧縮機４の寿命評価をより適切に行うことができる。

[0072] 演算処理装置２２は、運転状態切替部２５をさらに含んでもよい。

運転状態切替部２５は、寿命評価部２４による評価結果に基づいて、定格運転状態と、該定格運転状態よりも圧縮機４におけるエロージョン進行が遅い延命運転状態との間で圧縮機４の運転状態を切り替えるように構成される。

[0073] ここで、延命運転状態は、圧縮機４の回転数が定格運転状態よりも小さくてもよい。

図４は、定格運転状態および延命運転状態を説明するためのグラフである。同図は、圧縮機４の各運転状態におけるエロージョン進行度 E と採掘ガス５４の流速の関係を示している。なお、実線が定格運転状態を示し、一点鎖線が延命運転状態を示している。

[0074] 圧縮機４のエロージョン進行速度 W は、上記式（１）に示すように、採掘ガス５４の流速の N 乗（ $N > 1$ ）に比例するから、圧縮機４の回転数（即ち採掘ガスの流速）に対する感度が大きい。

そこで、延命運転状態において、圧縮機４の回転数を定格運転状態よりも小さくすることで、圧縮機４のエロージョン進行速度を効果的に抑制し、圧縮機４の寿命を効果的に延ばすことができる。例えば、圧縮機４の回転数を $1/2$ にすると、エロージョン進行速度は $1/2$ 未満となり、摩耗の少ない

延命運転状態が実現できる。

あるいは、延命運転状態として、回転数とは別の運転条件を変更してもよい。例えば、圧縮機 4 の前段に、異物を除去するためのフィルタ（不図示）が設けられている場合、延命運転状態では、定格運転状態で使用しているフィルタよりも過性能の高いフィルタを使用し、採掘ガス 5 4 中に含まれる粒子の粒径を小さくする。

[0075] また、運転状態切替部 2 5 は、現時点でのエロージョン進行度およびエロージョン進行度の許容値（使用限界エロージョン進行度 W_L ）の偏差と、現時点から次回の定期点検までの残時間と、に基づいて、延命運転状態における運転条件を決定するように構成されてもよい。

この構成によれば、次回の定期点検までの残時間を考慮して、延命運転状態における運転条件を決定するようにしたので、次回の圧縮機 4 の寿命を延ばして、圧縮機 4 の運転停止を回避しながら、メンテナンス回数を減らすことができる。

例えば、現時点でのエロージョン進行度と使用限界エロージョン進行度 W_L との偏差を、現在の時間 T_1 における曲線 1 0 2 の接線 L（図 3 参照）の傾きで除した時間が、現時点から次回の定期点検までの残時間よりも短い場合、上記式（1）に基づいて運転条件を変更してもよい。この際、運転条件の変更による影響を考慮して、現在の時間 T_1 における曲線 1 0 2 の接線 L（図 3 参照）の傾きを補正し、運転条件の変更後におけるエロージョン進行度を示す仮想直線を算出し、この仮想直線と使用限界エロージョン進行度 W_L との交点に対応する時点が次回の定期点検タイミング以降になるような運転条件に変更してもよい。これに対し、前記偏差を曲線 1 0 2 の接線 L の傾きで除した時間が、現時点から次回の定期点検までの残時間と同一又は該残時間よりも長い場合、現時点での運転条件を継続して使用してもよい。

[0076] 次に、図 5 を参照して、一実施形態に係る採掘ガス圧縮システム 1 の状態監視方法について説明する。なお、以下の説明では、適宜、図 1 において説明した符号を用いている。

一実施形態では、採掘ガス圧縮システム 1 の状態監視方法は、圧縮機 4 に流入する採掘ガス 5 4 の状態量を検出する状態量検出ステップ（例えば S 2）と、採掘ガス 5 4 の状態量に基づいて圧縮機 4 のエロージョン進行度を算出するエロージョン進行度算出ステップ（例えば S 3）と、圧縮機 4 のエロージョン進行度に基づいて、圧縮機 4 の寿命を評価するための寿命評価ステップ（例えば S 4）と、備える。

[0077] 具体的には、通常状態においては、ステップ S 1 において圧縮機 4 を定格運転状態で運転し、ステップ S 2 において採掘ガス 5 4 の状態量を検出する。例えば、状態量は、採掘ガス 5 4 中の異物の粒径、該異物の採掘ガス 5 4 中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを含む。続いて、ステップ S 3 において、採掘ガス 5 4 の状態量に基づいて圧縮機 4 のエロージョン進行度を算出する。また、エロージョン進行度算出ステップでは、採掘ガス 5 4 の状態量に加えて、採掘ガスの流速に基づいて、エロージョン進行度を算出してもよい。例えば、ステップ S 3 においては、上記式（1）を用いてエロージョン進行速度 W を算出し、このエロージョン進行速度 W を用いてエロージョン進行度 E を算出してもよい。そして、ステップ S 4 において、圧縮機 4 のエロージョン進行度に基づいて、圧縮機 4 の寿命を評価する。

[0078] この方法によれば、採掘ガス 5 4 の状態量に基づいて算出した圧縮機 4 のエロージョン進行度を考慮して圧縮機 4 の寿命評価を行うようにしたので、採掘ガス 5 4 の状態量が変化しても、圧縮機 4 の寿命評価を適切に行うことができる。

なお、こうして得られた圧縮機 4 の寿命評価結果を用いれば、圧縮機 4 のメンテナンス計画を適切に立案でき、プラントの運転停止期間を短縮してプラント全体としての収益を改善することができる。

[0079] さらに、採掘ガス圧縮システム 1 の状態監視方法は、寿命評価ステップによる評価結果に基づいて、定格運転状態と、該定格運転状態よりも圧縮機におけるエロージョン進行が遅い延命運転状態との間で圧縮機 4 の運転状態を切り替える運転状態切替ステップ（例えば S 5、S 6）をさらに備えてもよ

い。例えば、延命運転状態は、圧縮機 4 の回転数が定格運転状態よりも小さい運転状態とする。

この方法によれば、定格運転状態と延命運転状態との間で圧縮機 4 の運転状態を切り替えるようにしたので、圧縮機 4 の寿命評価結果に基づいて、圧縮機 4 の寿命を制御することができる。

[0080] 具体的には、ステップ S 4 において、現時点でのエロージョン進行度の算出値と、エロージョン進行度の許容値（使用上限エロージョン進行度 W_L ）とを比較し、これらの偏差と、現時点から次回の定期点検までの残時間と、に基づいて、延命運転条件を決定する。ここで、ステップ S 5 では、次回の定期点検まで使用可能か否かを判断し、次回の定期点検まで圧縮機 4 を使用可能と判断した場合には定格運転状態を継続し、次回の定期点検まで圧縮機 4 を使用不可能と判断した場合には、ステップ S 6 において運転状態を切り替えて、ステップ S 7 において延命運転状態にて圧縮機 4 の運転を継続する。

この方法によれば、次回の定期点検までの残時間を考慮して、延命運転状態における運転条件を決定するようにしたので、次回の圧縮機 4 の寿命を延ばして、圧縮機 4 の運転停止を回避しながら、メンテナンス回数を減らすことができる。

[0081] 上述した実施形態によれば、採掘ガス 5 4 の状態量に基づいて算出した圧縮機 4 のエロージョン進行度を考慮して圧縮機 4 の寿命評価を行うようにしたので、採掘ガス 5 4 の状態量が変化しても、圧縮機 4 の寿命評価を適切に行うことができる。

[0082] 続いて、他の実施形態に係る採掘ガス圧縮システムの状態監視装置及び状態監視方法について図 6～図 13 を参照しながら説明する。

[0083] 図 6 は、他の実施形態に係る採掘ガス圧縮システム 200 の概略構成を示す図である。

図 6 に示すように、採掘ガス圧縮システム 200 は、上述した採掘ガス圧縮システム 1 と同様に、気液分離器 8 と、気液分離器 8 に接続された圧縮機 4 と、圧縮機 4 を駆動するためのモータ 5 と、を備える。気液分離器 8、圧

縮機 4 及びモータ 5 の構成については、採掘ガス圧縮システム 1 に関する説明で上述したとおりである。なお、液分含有ガス 5 3 の性状によっては、気液分離器 8 を設置しない構成としてもよい。

図 6 において、採掘ガス圧縮システム 1 の各部と共通の構成については図 1 と同一の符号を付しており、かかる構成についての説明は上述したとおりであるから、ここでは説明を省略する。

[0084] ところで、通常、圧縮機 4 の仕様は、圧縮機 4 の運転範囲（使用条件）を考慮して決定されている。具体的には、圧縮機 4 に流入するガスの種類、流速、圧縮機回転数等に関する所定の使用条件を想定し、設計寿命に応じて圧縮機 4 の仕様が決まる。

しかしながら、上記構成を有する採掘ガス圧縮システム 200 の場合、採掘ガス 5 4 の特性が変化し得るため、圧縮機 4 の運転範囲（使用条件）が不確定であり、圧縮機 4 の寿命が設計寿命よりも短くなってしまう可能性がある。特に、図 1 に示すような海洋向けプラントに適用される場合、圧縮機 4 が故障しても、代替機の準備に時間を要し、その間プラントの運転停止を余儀なくされる。

[0085] そこで、本実施形態では、圧縮機 4 の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム 200 の異常を精度よく検知可能な状態監視装置 20 B を備えている。

[0086] 幾つかの実施形態に係る状態監視装置 20 B は、採掘ガス 5 4 の状態量を検出するためのセンサ 22 1 と、センサ 22 1 の検出値を用いて、圧縮機 4 の異常を検出するための演算を行うように構成された演算処理装置 22 0 と、を備えている。

[0087] 以下、状態監視装置 20 B の各部位の具体的な構成例について説明する。

センサ 22 1 は、圧縮機 4 に流入する採掘ガス 5 4 の状態量を検出するように構成されている。具体的には、センサ 22 1 は、気液分離器 8 と圧縮機 4 との間を接続するガスラインに設けられ、液状成分分離後の採掘ガス 5 4 の状態量を検出している。

ここで、採掘ガス５４の状態量は、採掘ガス５４の密度、温度、圧力の少なくとも一つを含んでいてもよい。

[0088] 演算処理装置２２０は、基準相関関係取得部２２３と、出力補正部２２４と、異常検出部２２５と、記憶部２２７と、を含む。

演算処理装置２２０は、例えば、図示しないＣＰＵ（中央演算装置）、ＲＡＭ（Ｒａｎｄｏｍ Ａｃｃｅｓｓ Ｍｅｍｏｒｙ）、ＲＯＭ（Ｒｅａｄ Ｏｎｌｙ Ｍｅｍｏｒｙ）、及び／又はコンピュータ読み取り可能な他の記録媒体等から構成されている。後述の各種機能を実現するための一連の処理の過程は、プログラムの形式で記録媒体等に記録されており、このプログラムをＣＰＵがＲＡＭ等を読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、演算処理装置２２０の各部の機能が実現される。演算処理装置２２０は、採掘ガス圧縮システム２００から離れた遠隔地に配置されてもよい。

[0089] 基準相関関係取得部２２３は、サンプルガスに関するモータ５への供給電力と圧縮機４の出力との既知の基準相関関係を取得するように構成される。上述したように、サンプルガスは、既知の基準状態量を有するものである。基準相関関係取得部２２３において、既知の基準相関関係は、記憶部２２７から取得してもよいし、不図示の入力部より入力されてもよい。

[0090] 出力補正部２２４は、センサ２２１によって検出された採掘ガス５４の状態量に基づいて圧縮機４の実際出力を補正し、採掘ガス５４が基準状態量を有する場合におけるモータ５への供給電力に対応する圧縮機４の出力補正値を算出するように構成される。

[0091] 異常検出部２２５は、モータ５への供給電力と出力補正値との関係と基準相関関係との比較結果に基づいて、採掘ガス圧縮システム２００の異常を検出する。

[0092] 記憶部２２７は、例えば、サンプルガスに関するモータ５への供給電力と圧縮機４の出力との既知の基準相関関係を記憶している。記憶部２２７では、予め取得した既知の基準相関関係を記憶するようになっている。この既知の基準相関関係は、例えば、サンプルガスを用いた実験によって取得しても

よいし、シミュレーション等により取得してもよいし、経験的な過去のデータから取得してもよい。こうして取得された既知の基準相関関係は、通信回線又は記憶媒体を介して記憶部 227 に記憶されてもよいし、演算処理装置 22 の入力部からの入力によって記憶部 227 に記憶されてもよい。

[0093] 記憶部 227 には、少なくとも一つの基準相関関係が記憶されている。後述するように、異常検知を行う際には、基準相関関係に対応した状態量に基づいて圧縮機 4 の出力を補正した後、基準相関関係と圧縮機 4 の出力補正值とを比較するため、記憶部 227 には原則として一つの基準相関関係さえ記憶されていればよい。

但し、記憶部 227 には、状態量が異なる複数種のサンプルガスのそれぞれについて、モータ 5 への供給電力と圧縮機 4 の出力との既知の基準相関関係が記憶されていてもよい。

[0094] ここで、既知の基準相関関係について具体的に説明する。

図 7 は、一実施形態に係るモータ 5 及び圧縮機 4 の入出力を説明するための図である。図 8 は、基準相関関係 300 に対する実測値及び補正值の一例を示すグラフである。

図 7 に示すように、モータ 5 は、電力（モータ入力 X）が供給されることによって、圧縮機 4 を出力 Y で駆動する。

図 8 に示すように、一例として、既知の基準状態量を有するサンプルガスに関するモータ 5 への供給電力（モータ入力 X）と圧縮機 4 の出力 Y との既知の基準相関関係は、直線 300 で表される。

[0095] 図 8 には、既知の基準相関関係 300 とは別に、圧縮機 4 の出力の実測値及び補正值もプロットしている。

圧縮機 4 の出力の実測値は、モータ 5 への実際の供給電力（モータ入力 X）に対する圧縮機 4 の実際の出力 Y_1 である。なお、圧縮機 4 の出力 Y は、以下の式（1）によって取得できる。

[数1]

$$Y = K \cdot P_1 \cdot Q \cdot \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^m - 1 \right\} \quad \cdots (1)$$

ここで、 Y は圧縮機4の出力(kW)、 Q は圧縮前の気体体積(m^3/s)、 P_1 は圧縮前の圧力(N/m^2)、 P_2 は圧縮後の圧力(N/m^2)、 K 、 m は定数である。

圧縮機4の実際の出力 Y_1 を取得する場合には、各種センサ等によって、圧縮前の気体体積、圧縮前の圧力、圧縮後の圧力を検出する。

[0096] こうして取得された圧縮機4の実測値（モータ入力 X と圧縮機4の実際の出力 Y_1 との関係）は、図示されるように既知の基準相関関係300から離間していることが多い。この要因の一つとして、圧縮機4を通過する採掘ガス54の状態量が増加することが考えられる。そのため、単に既知の基準相関関係300と圧縮機4の実測値との比較によって異常を検知することは異常検知の精度低下に繋がってしまう。

そこで、幾つかの実施形態では、出力補正部224において、採掘ガス54の状態量に基づいて圧縮機4の実際の出力 Y_1 を補正した出力補正值 Y' を算出するようになっている。

[0097] 圧縮機4の出力補正值 Y' は、例えば状態量が密度である場合、以下の式(2)によって得られる。

[数2]

$$Y' = Y_1 \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad \dots (2)$$

ここで、 Y' は圧縮機4の出力補正值(kW)、 Y_1 は圧縮機4の実際の出力(kW)、 ρ_0 はサンプルガスの密度、 ρ はセンサ221によって検出された採掘ガス54の密度である。

なお、上記数式(2)は、状態量としての密度が圧縮機4の出力に与える影響を記述したものである。他の実施形態では、採掘ガス圧縮システム200の運転中に増加し得る他の状態量（例えば、採掘ガス54の温度、圧力等）について、当該状態量が圧縮機4の出力に与える影響を記述する数式又はテーブルを用いて、圧縮機4の出力補正值 Y' を算出する。

[0098] こうして取得された圧縮機4の出力補正值 Y' と、モータ5の入力 X とに基づいて図中にプロットされた補正值は、モータ5又は圧縮機4に異常が存

在しなければ、採掘ガス 54 の状態量の変化に関わらず既知の基準相関関係 300 に概ね沿った形態となる。

一方、圧縮機 4 の出力補正值 Y' のうち既知の基準相関関係 300 から大きく乖離したものに関しては、異常と判定することができる。

そこで、幾つかの実施形態では、異常検出部 225 において、モータ 5 への供給電力（モータ入力 X ）と圧縮機 4 の出力補正值 Y' との関係と、基準相関関係 300 との比較結果に基づいて、採掘ガス圧縮システム 200 の異常を検出するようになっている。

[0099] 上記構成を有する状態監視装置 20B によれば、採掘ガス 54 の状態量の検出結果に基づいて圧縮機 4 の実際出力 Y_1 を補正することで、採掘ガス 54 が基準状態量（サンプルガスの既知の状態量）を有する場合におけるモータ供給電力（モータ入力 X ）に対応する圧縮機 4 の出力補正值 Y' を算出するようになっている。こうして得られた圧縮機 4 の出力補正值 Y' は、サンプルガスと同一の状態量（基準状態量）を前提としているため、採掘ガス 54 の状態量の変動の影響を受けずに、モータ供給電力と出力補正值 Y' との関係を基準相関関係 300 と適切に比較することができる。よって、採掘ガス 54 の状態量の変動によって圧縮機 4 の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム 200 の故障の前兆としての異常を検知することができる。

[0100] 以下、異常検出部 225 における異常検出について具体的に説明する。

図 9 は、基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差 D の時系列変化の一例を示すグラフである。図 10 は、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率の時系列変化の一例を示すグラフである。なお、以下の説明では、適宜、図 6 及び図 7 に示した符号を用いている。また、図 9 及び図 10 に示すグラフにおいて、基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差の時系列変化、または、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率の時系列変化は、それぞれ、断続的に算出したものを模式的に曲線によって示している。

[0101] 図 9 に示すように、一実施形態において異常検出部 225 は、基準相関関

係 300 (図 3 参照) におけるモータ 5 への供給電力 (モータ入力 X) に対応した圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と、出力補正部 224 によって算出された出力補正值 Y' との差 D が第 1 閾値を超えた時刻 t_1 において、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定するように構成される。例えば、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差 D の絶対値が第 1 閾値を超えたとき、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定してもよい。あるいは、絶対量が同一である正の第 1 閾値と負の第 1 閾値とを設けておき、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差 D が正の第 1 閾値を上回ったとき、又は圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差 D が負の第 1 閾値を下回ったときに、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定してもよい。

[0102] このように、基準相関関係 300 (図 8 参照) に基づいて定まるモータ供給電力 (モータ入力 X) に対応した圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と、出力補正部 224 によって算出された出力補正值 Y' との差 D を第 1 閾値と比較することで、採掘ガス 54 の状態量の変動によって圧縮機 4 の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム 200 の異常の有無を高精度に判定することができる。

[0103] 図 10 に示すように、他の実施形態において異常検出部 225 は、基準相関関係 300 (図 8 参照) におけるモータ 5 への供給電力 (モータ入力 X) に対応した圧縮機 4 の基準出力 Y_0 に対する、出力補正部 224 によって算出された出力補正值 Y' の乖離率が第 2 閾値を超えた時刻 t_2 において、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定するように構成される。なお、出力補正值 Y' の乖離率とは、基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差 D を基準出力 Y_0 で除した値であってもよい。例えば、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' との乖離率の絶対値が第 2 閾値を超えたとき、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定してもよい。あるいは、絶対量が同一である正の第 2 閾値と負の第 2 閾値とを設けておき、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' との乖離率が正の第 2 閾値を上回ったとき、

又は圧縮機 4 の基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' との乖離率が負の第 2 閾値を下回ったときに、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定してもよい。

[0104] このように、基準相関関係 300 (図 8 参照) に基づいて定まるモータ 5 への供給電力 (モータ入力 X) に対応した圧縮機 4 の基準出力 Y_0 に対する、出力補正部 224 によって算出された出力補正值 Y' の乖離率を第 2 閾値と比較することで、採掘ガス 54 の状態量の変動によって圧縮機 4 の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム 200 の異常の有無を高精度に判定することができる。

[0105] さらに他の実施形態では、図 9 及び図 10 に示すように、異常検出部 225 は、基準相関関係 300 (図 8 参照) におけるモータ 5 への供給電力 (モータ入力 X) に対応した圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と、出力補正部 224 によって算出された出力補正值 Y' との差、または、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率が第 3 閾値を超える期間が規定時間 t_{reg} 以上継続したとき、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定するように構成される。すなわち、異常検出部 225 は、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差、または、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率が、第 3 閾値を超えた時刻 t_3 からの経過時間をカウントし、経過時間が規定時間 t_{reg} に到達した時刻 t_4 において異常が発生したと判定する。

なお、図 9 に示す第 1 閾値と第 3 閾値、または、図 10 に示す第 2 閾値と第 3 閾値のように、2 種類の閾値を用いて上述した手法により異常発生を判定してもよい。この場合、第 3 閾値は、第 1 閾値又は第 2 閾値よりも小さい値としてもよい。

[0106] このように、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差、または、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率が第 3 閾値を超えた期間が規定時間 t_{reg} 以上であるか否かに基づいて、採掘ガス 54 の状態量の変動によって圧縮機 4 の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム 200 の異常の有無を高精度に判定することができる。

[0107] また、異常検出部 225 は、基準相関関係 300 におけるモータ 5 への供給電力（モータ入力 X ）に対応した圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と、出力補正部 224 によって算出された出力補正值 Y' との差、または、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率の増大速度が第 4 閾値（図示略）を超えたとき、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定するように構成されてもよい。すなわち、異常検出部 225 は、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差（図 4 参照）を時間で微分した値、または、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率（図 5 参照）を時間で微分した値が第 4 閾値を超えたとき、採掘ガス圧縮システム 200 に異常が発生したと判定する。

これによれば、圧縮機 4 の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差、または、基準出力 Y_0 に対する出力補正值 Y' の乖離率の増大速度を第 4 閾値と比較することで、採掘ガス 54 の状態量の変動によって圧縮機 4 の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム 200 の異常の有無を高精度に判定することができる。

[0108] また、上述した状態監視装置 20B は、さらに以下の構成を備えていてもよい。

他の実施形態において、状態監視装置 20B の演算処理装置 22 は、異常箇所特定部 26（図 6 参照）をさらに含んでいる。

異常箇所特定部 26 は、異常検出部 225 により採掘ガス圧縮システム 200 の異常が検出されたとき、モータ 5 への供給電力（モータ入力 X ）に対応するモータ 5 の実際出力 Z_1 および設計出力値 Z_0 の比較結果に基づいて、異常の発生箇所が圧縮機 4 又はモータ 5 の何れであることを特定するように構成される。

[0109] 図 11 は、他の実施形態に係るモータ 5 及び圧縮機 4 の入出力を説明するための図である。図 12 は、モータ入力 X とモータ出力 Z の関係を示すグラフである。

図 11 に示すように、モータ 5 は、電力（モータ入力 X ）が供給されることによって出力（モータ出力） Z で駆動する。モータ出力 Z は、トルク T 及

び回転速度 N の回転エネルギーとして圧縮機 4 に入力され、圧縮機 4 は出力 Y で駆動される。

モータ出力 Z は、例えば以下の式 (3) によって算出される。

[数3]

$$Z = k \cdot T \cdot N \quad \dots (3)$$

ここで、 Z はモータ出力 (kW)、 T はトルク [$\text{kg} \cdot \text{m} (\text{N} / \text{m} / 9.8)$]、 N は回転速度 (min^{-1}) である。この場合、モータ 5 の実際出力 Z_1 を取得する場合、センサ等によって、モータ 5 のトルク及び回転速度を検出する。

[0110] 図 12 に示すグラフにおいて、モータ 5 の供給電力 (モータ入力 X) に対するモータ 5 の設計出力 Z_0 を直線 302 で示している。異常箇所特定部 26 では、モータ 5 への供給電力 (モータ入力) に対応するモータ 5 の実際出力 Z_1 および設計出力値 Z_0 の比較結果に基づいて、異常の発生箇所が圧縮機 4 又はモータ 5 の何れであることを特定する。

例えば、モータ供給電力に対応するモータ実際出力 Z_1 および設計出力値 Z_0 の差が許容範囲内である場合、異常発生箇所はモータ 5 ではなく圧縮機 4 であると考えられる。一方、モータ供給電力に対応するモータ実際出力 Z_1 および設計出力値 Z_0 の差が許容範囲を超えている場合、異常発生箇所は圧縮機 4 ではなくモータ 5 であると考えられる。こうして、モータ供給電力に対応するモータ実際出力 Z_1 および設計出力値 Z_0 の比較結果に基づき、異常発生箇所を特定することができる。

[0111] また、異常箇所特定部 26 では、モータ 5 の実際出力 Z_1 として、この実際出力 Z_1 を状態量によって補正した出力補正值 Z' を用いてもよい。その場合、異常箇所特定部 26 は、実際出力 Z_1 を状態量によって補正した出力補正值 Z' と、設計出力値 Z_0 との比較結果に基づいて、異常の発生箇所が圧縮機 4 又はモータ 5 の何れであることを特定する。

例えば、状態量が密度である場合、モータ 5 の出力補正值 Z' は以下の式

(4) によって算出される。

[数4]

$$Z' = Z_1 \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad \dots (4)$$

ここで、 Z' はモータ出力補正值(kW)、 Z_1 はモータの実際出力(kW)、 ρ_0 はサンプルガスの密度、 ρ はセンサ221によって検出された採掘ガス54の密度である。

このように、モータ5の実際出力 Z_1 を状態量によって補正した出力補正值 Z' と、設計出力値 Z_0 との比較結果に基づいて異常の発生箇所を特定することによって、採掘ガス54の状態量の変動に関わらず、異常箇所を高精度に特定することができる。

[0112] 次に、図13を参照して、採掘ガス圧縮システム200の異常検知方法について説明する。なお、以下の説明では、適宜、図6乃至図12に示した符号を用いている。

図13に示すように、ステップS101にてモータ5及び圧縮機4が定格運転状態で稼働しているとき、ステップS102（状態量検出ステップ）において、圧縮機4に流入する採掘ガス54の状態量（例えば、採掘ガス54の密度、温度、圧力等）をセンサ221により検出する。また、ステップS103（基準相関関係取得ステップ）において、既知の基準状態量を有するサンプルガスに関するモータ5への供給電力（モータ入力X）と圧縮機4の基準出力Yとの既知の基準相関関係300を取得しておく。ステップS103では、例えば記憶部227から既知の基準相関関係300を読みだしてもよい。

[0113] 次いで、ステップS104（出力補正ステップ）において、センサ221によって検出された採掘ガス54の状態量に基づいて圧縮機4の実際出力 Y_1 を補正し、採掘ガス54が基準状態量を有する場合におけるモータ5への供給電力（モータ入力X）に対応する圧縮機4の出力補正值 Y' を算出する。例えば、上記式(1)によって得られた圧縮機4の実際出力 Y_1 を、上記式(

2) によって補正し、圧縮機4の出力補正值 Y' を算出する。

[0114] そして、ステップS105～ステップS107（異常検出ステップ）において、モータ5への供給電力（モータ入力 X ）と圧縮機4の出力補正值 Y' との関係と基準相関関係300との比較結果に基づいて、採掘ガス圧縮システム200の異常を検出する。

例えば、ステップS105において、基準相関関係300におけるモータ5への供給電力に対応した圧縮機4の基準出力 Y_0 と、出力補正值 Y' との差 D が第1閾値を超えたか否かを判定し、圧縮機4の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差 D が第1閾値を超えていない場合にはステップS106において採掘ガス圧縮システム200の異常なしと判定して、ステップS101に戻り定格運転状態を継続する。一方、圧縮機4の基準出力 Y_0 と出力補正值 Y' との差 D が第1閾値を超えた場合には、ステップS107において、採掘ガス圧縮システム200の異常ありと判定する。

[0115] 続いて、以下のステップを実施してもよい。

採掘ガス圧縮システム200の異常ありと判定された場合、ステップS108～ステップS110（異常箇所特定ステップ）において、モータへ4の供給電力（モータ入力 X ）に対応するモータ5の実際出力 Z_1 および設計出力値 Z_0 の比較結果に基づいて、異常の発生箇所が圧縮機4又はモータ5の何れであるかを特定する。

[0116] 例えば、ステップS108において、モータ5の実際出力 Z_1 と設計出力値 Z_0 との差を第5閾値と比較し、モータ5の実際出力 Z_1 と設計出力値 Z_0 との差が第5閾値より小さい場合には、ステップS109において圧縮機4に異常ありと判定する。一方、モータ5の実際出力 Z_1 と設計出力値 Z_0 との差が第5閾値を超える場合には、ステップS110においてモータ5に異常ありと判定する。あるいは、異常箇所特定ステップでは、モータ5の実際出力 Z_1 に対する設計出力値 Z_0 の乖離率と第6閾値とを比較してもよい。

[0117] 上述したように、本発明の実施形態によれば、採掘ガス54の状態量の変動によって圧縮機4の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム

200の故障の前兆としての異常を検知することができる。

[0118] また、一実施形態では、図6に示した採掘ガス圧縮システム200が、上述した状態監視装置20Bを備えている。すなわち、採掘ガス圧縮システム200は、採掘ガス54を昇圧するための圧縮機4と、圧縮機4を駆動するためモータ5と、上述した状態監視装置20Bと、を備える。

これにより、採掘ガス54の状態量の変動によって圧縮機4の運転範囲が不確定であっても、採掘ガス圧縮システム200の故障の前兆としての異常を検知することができる。よって、採掘ガス圧縮システム200の突然の故障に起因した長期にわたる運転停止を回避することができ、ガス採掘事業者の採算を改善することができる。

[0119] 本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

[0120] 例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一の構成要素を「備える」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

符号の説明

[0121] 1 採掘ガス圧縮システム
2 モーター一体型圧縮機

- 3 ケーシング
- 4 圧縮機
- 5 モータ
- 6 出力軸
- 8 気液分離器
- 1 1 プラットフォーム
- 1 2 タンカー
- 2 0 (2 0 A , 2 0 B) 状態監視装置
- 2 1 , 2 2 1 センサ
- 2 2 , 2 2 0 演算処理装置
- 2 3 エロージョン進行度算出部
- 2 4 寿命評価部
- 2 5 運転状態切替部
- 2 6 記憶部
- 5 0 海面
- 5 1 海底
- 5 2 ガス田
- 2 2 3 基準相関関係取得部
- 2 2 4 出力補正部
- 2 2 5 異常検出部
- 2 2 6 異常箇所特定部
- 2 2 7 記憶部

請求の範囲

- [請求項1] 採掘ガスを昇圧する圧縮機を有する採掘ガス圧縮システムの状態監視装置であって、
- 前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出するためのセンサと、
- 前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機のエロージョン進行度を算出するためのエロージョン進行度算出部と、
- 前記圧縮機の前記エロージョン進行度に基づいて、前記圧縮機の寿命を評価するための寿命評価部と、
- を備えることを特徴とする採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。
- [請求項2] 前記状態量は、前記採掘ガス中の異物の粒径、該異物の前記採掘ガス中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項1に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。
- [請求項3] 前記エロージョン進行度算出部は、前記採掘ガスの前記状態量に加えて、前記採掘ガスの流速に基づいて、前記エロージョン進行度を算出するように構成されたことを特徴とする請求項1又は2に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。
- [請求項4] 前記寿命評価部による評価結果に基づいて、定格運転状態と、該定格運転状態よりも前記圧縮機におけるエロージョン進行が遅い延命運転状態との間で前記圧縮機の運転状態を切り替えるように構成された運転状態切替部をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。
- [請求項5] 前記延命運転状態は、前記圧縮機の回転数が前記定格運転状態よりも小さいことを特徴とする請求項4に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。
- [請求項6] 前記運転状態切替部は、現時点での前記エロージョン進行度および前記エロージョン進行度の許容値の偏差と、現時点から次回の定期点検までの残時間と、に基づいて、前記延命運転状態における運転条件

を決定するように構成されたことを特徴とする請求項4又は5に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。

[請求項7] 前記採掘ガス圧縮システムは、前記圧縮機を駆動するためのモータをさらに有し、

既知の基準状態量を有するサンプルガスに関する前記モータへの供給電力と前記圧縮機の出力との既知の基準相関関係を取得するための基準相関関係取得部と、

前記センサによって検出された前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機の実際出力を補正し、前記採掘ガスが前記基準状態量を有する場合における前記モータへの供給電力に対応する前記圧縮機の出力補正值を算出するための出力補正部と、

前記モータへの供給電力と前記出力補正值との関係と前記基準相関関係との比較結果に基づいて、前記採掘ガス圧縮システムの異常を検出するための異常検出部と、

をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至6の何れか一項に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。

[請求項8] 前記異常検出部により前記採掘ガス圧縮システムの異常が検出されたとき、前記モータへの供給電力に対応する前記モータの実際出力および設計出力値の比較結果に基づいて、前記異常の発生箇所が前記圧縮機又は前記モータの何れであるかを特定するように構成された異常箇所特定部をさらに備えることを特徴とする請求項7に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。

[請求項9] 前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力と、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值との差が第1閾値を超えたとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成されたことを特徴とする請求項7又は8に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。

[請求項10] 前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力に対する、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值の乖離率が第2閾値を超えたとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成されたことを特徴とする請求項7又は8に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。

[請求項11] 前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力と、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值との差、または、前記基準出力に対する前記出力補正值の乖離率が第3閾値を超える期間が規定時間以上継続したとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成されたことを特徴とする請求項7又は8に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。

[請求項12] 前記異常検出部は、前記基準相関関係における前記モータへの供給電力に対応した前記圧縮機の基準出力と、前記出力補正部によって算出された前記出力補正值との差、または、前記基準出力に対する前記出力補正值の乖離率の増大速度が第4閾値を超えたとき、前記採掘ガス圧縮システムに異常が発生したと判定するように構成されたことを特徴とする請求項7又は8に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視装置。

[請求項13] 採掘ガスを昇圧するための圧縮機と、
請求項1乃至12の何れか一項に記載の状態監視装置と、を備えることを特徴とする採掘ガス圧縮システム。

[請求項14] 採掘ガスを昇圧する圧縮機を有する採掘ガス圧縮システムの状態監視方法であって、

前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出する状態量検出ステップと、

前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機のエロージョン進

行度を算出するエロージョン進行度算出ステップと、

前記圧縮機の前記エロージョン進行度に基づいて、前記圧縮機の寿命を評価するための寿命評価ステップと、

を備えることを特徴とする採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

[請求項15] 前記状態量は、前記採掘ガス中の異物の粒径、該異物の前記採掘ガス中における濃度又は該異物の硬度の少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項14に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

[請求項16] 前記エロージョン進行度算出ステップでは、前記採掘ガスの前記状態量に加えて、前記採掘ガスの流速に基づいて、前記エロージョン進行度を算出することを特徴とする請求項14又は15に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

[請求項17] 前記寿命評価ステップにおける評価結果に基づいて、定格運転状態と、該定格運転状態よりも前記圧縮機におけるエロージョン進行が遅い延命運転状態との間で前記圧縮機の運転状態を切り替える運転状態切替ステップをさらに備えることを特徴とする請求項14乃至16の何れか一項に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

[請求項18] 前記延命運転状態は、前記圧縮機の回転数が前記定格運転状態よりも小さいことを特徴とする請求項17に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

[請求項19] 前記運転状態切替ステップでは、現時点での前記エロージョン進行度および前記エロージョン進行度の許容値の偏差と、現時点から次の定期点検までの残時間と、に基づいて、前記延命運転状態における運転条件を決定することを特徴とする請求項17又は18に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

[請求項20] 前記採掘ガス圧縮システムは、前記圧縮機を駆動するためのモータをさらに有し、

前記圧縮機に流入する前記採掘ガスの状態量を検出する状態量検出ステップと、

既知の基準状態量を有するサンプルガスに関する前記モータへの供給電力と前記圧縮機の出力との既知の基準相関関係を取得する基準相関関係取得ステップと、

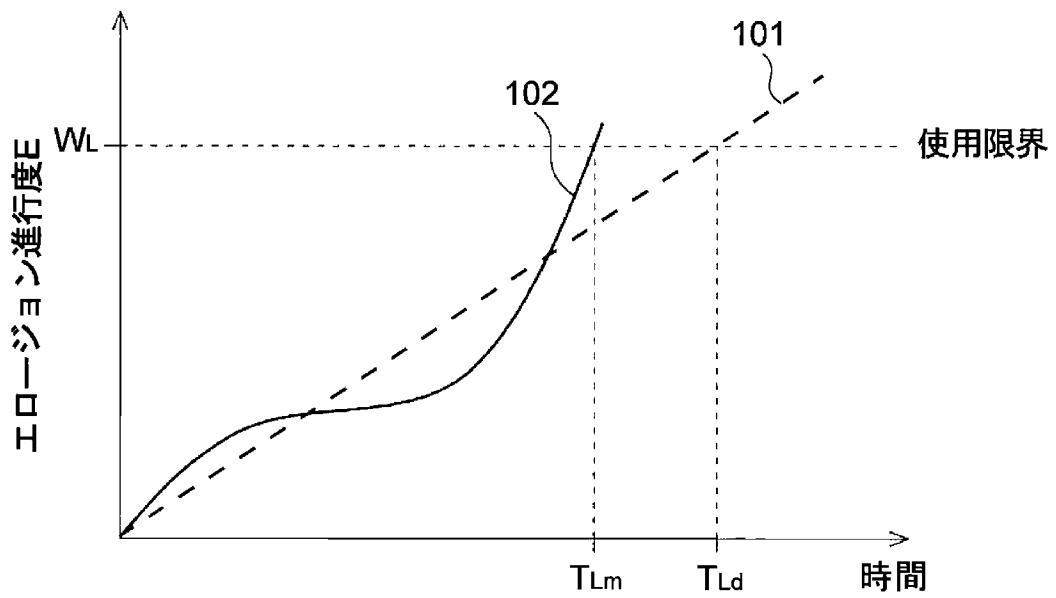
前記状態量検出ステップにおいて検出された前記採掘ガスの前記状態量に基づいて前記圧縮機の実際出力を補正し、前記採掘ガスが前記基準状態量を有する場合における前記モータへの供給電力に対応する前記圧縮機の出力補正值を算出する出力補正ステップと、

前記モータへの供給電力と前記出力補正值との関係と前記基準相関関係との比較結果に基づいて、前記採掘ガス圧縮システムの異常を検出する異常検出ステップと、

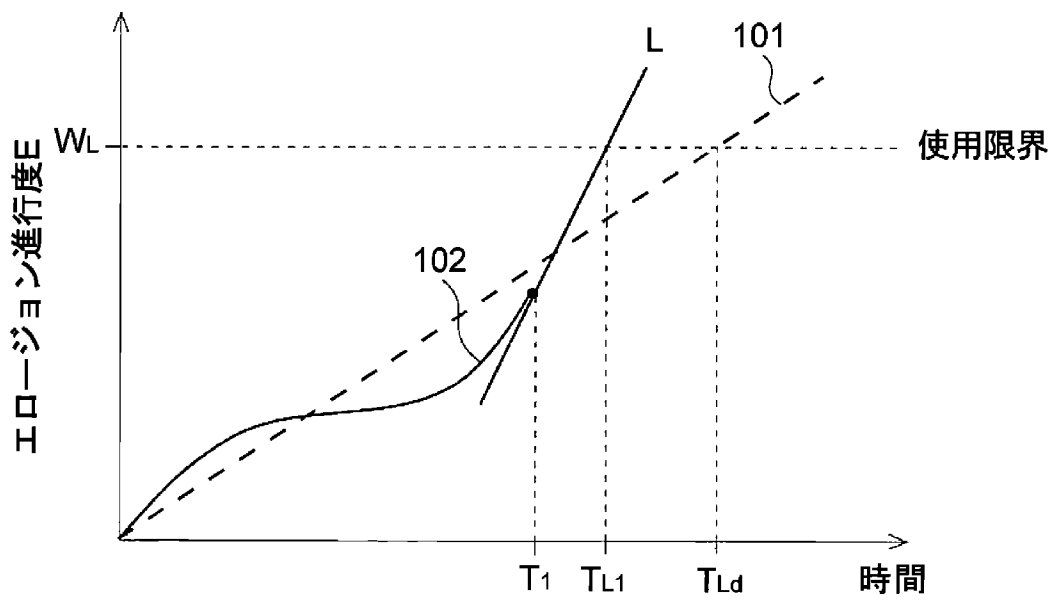
をさらに備えることを特徴とする請求項 14 乃至 19 の何れか一項に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

[請求項21] 前記異常検出ステップにおいて前記採掘ガス圧縮システムの異常が検出されたとき、前記モータへの供給電力に対応する前記モータの実際出力および設計出力値の比較結果に基づいて、前記異常の発生箇所が前記圧縮機又は前記モータの何れであることを特定する異常箇所特定ステップをさらに備えることを特徴とする請求項 20 に記載の採掘ガス圧縮システムの状態監視方法。

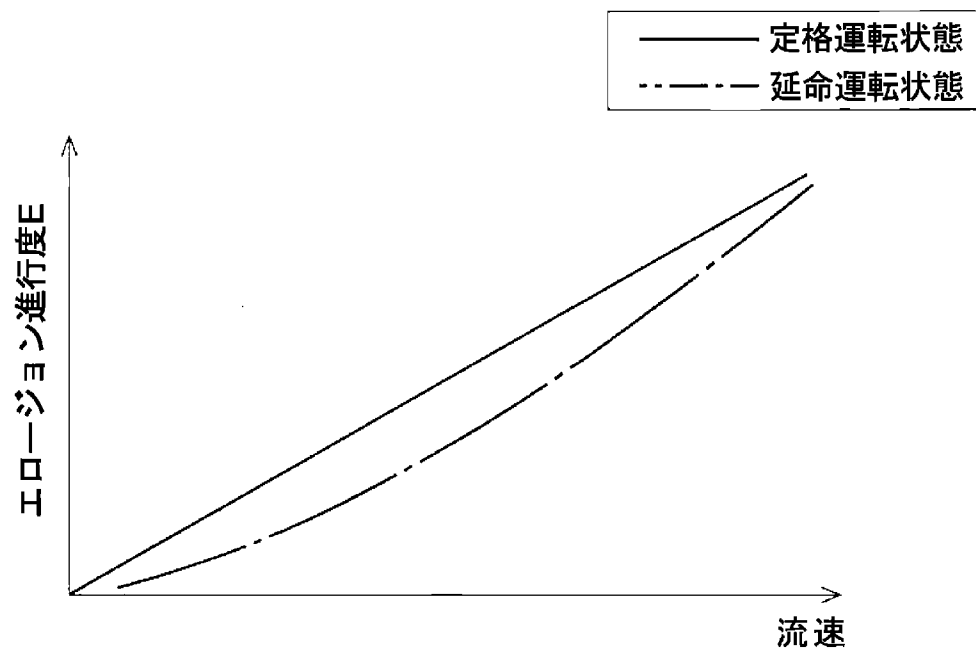
[図2]



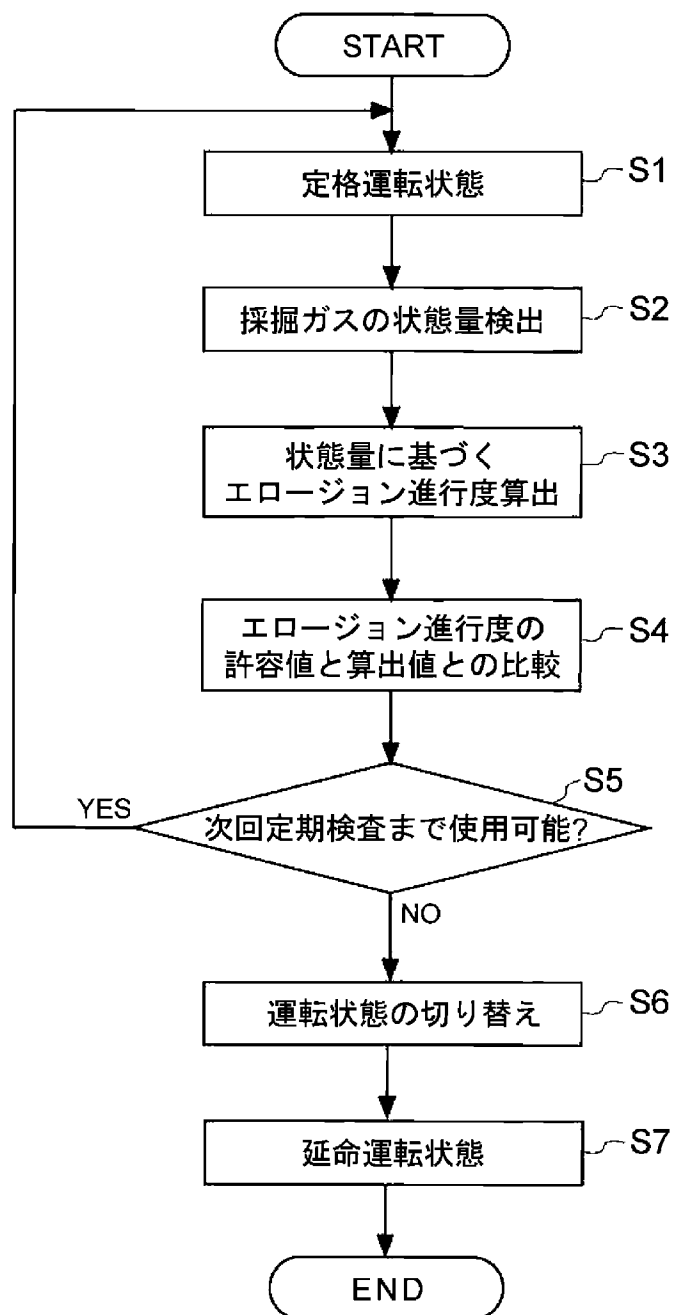
[図3]



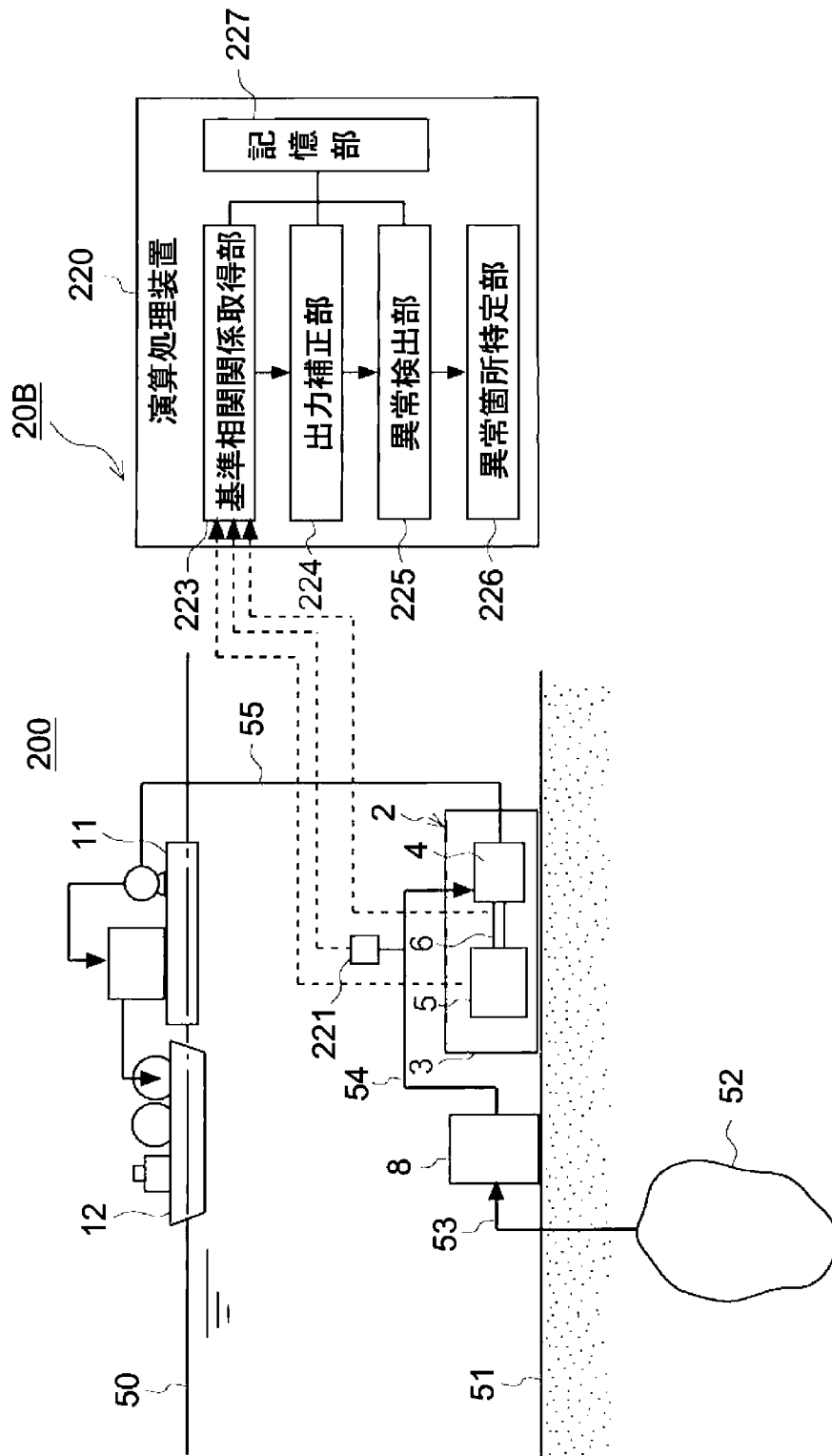
[図4]



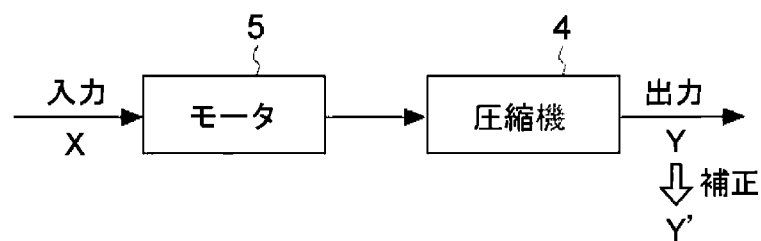
[図5]



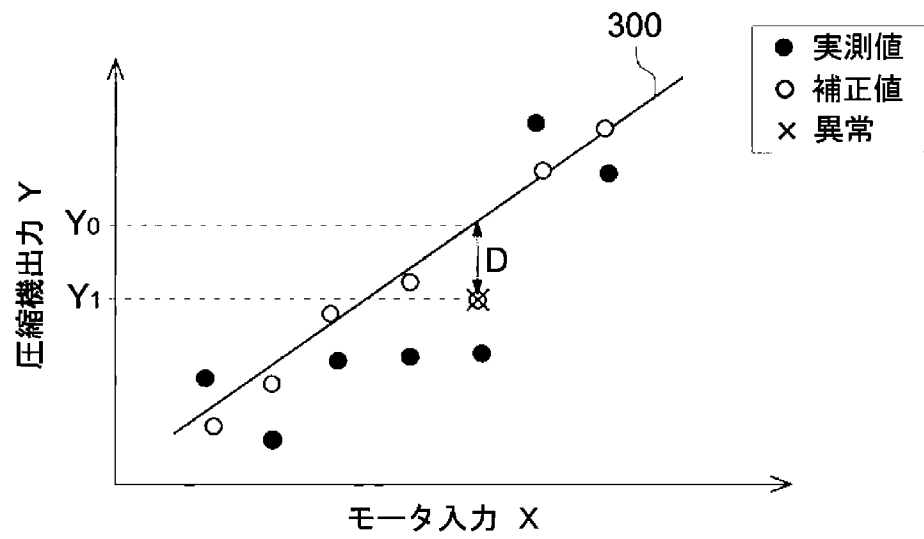
[図6]



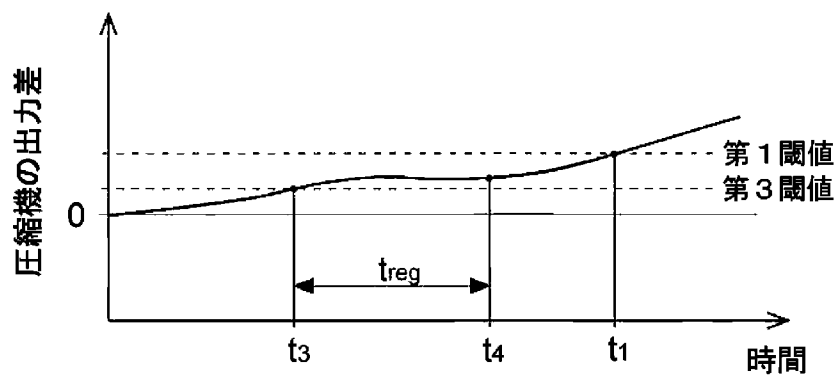
[図7]



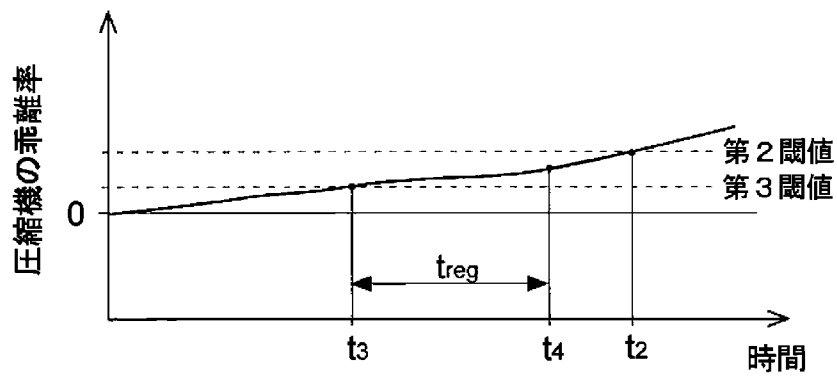
[図8]



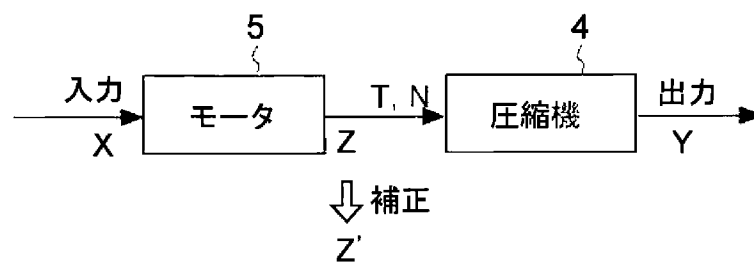
[図9]



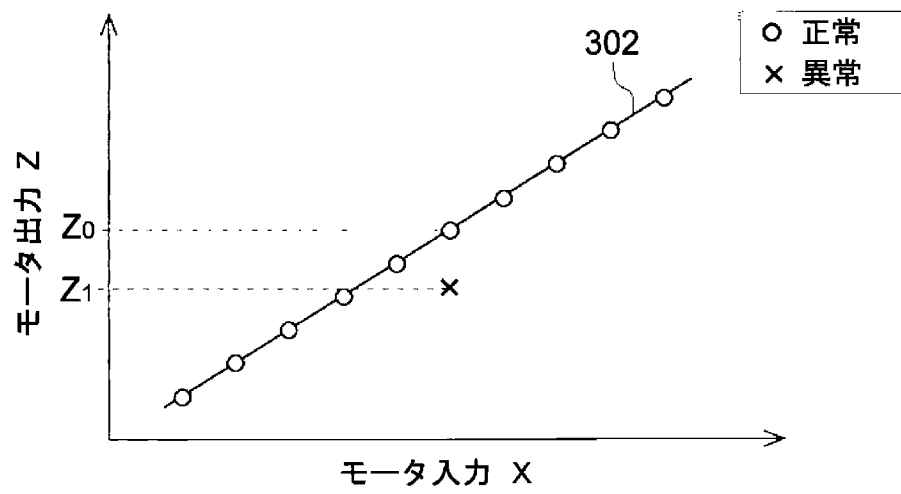
[図10]



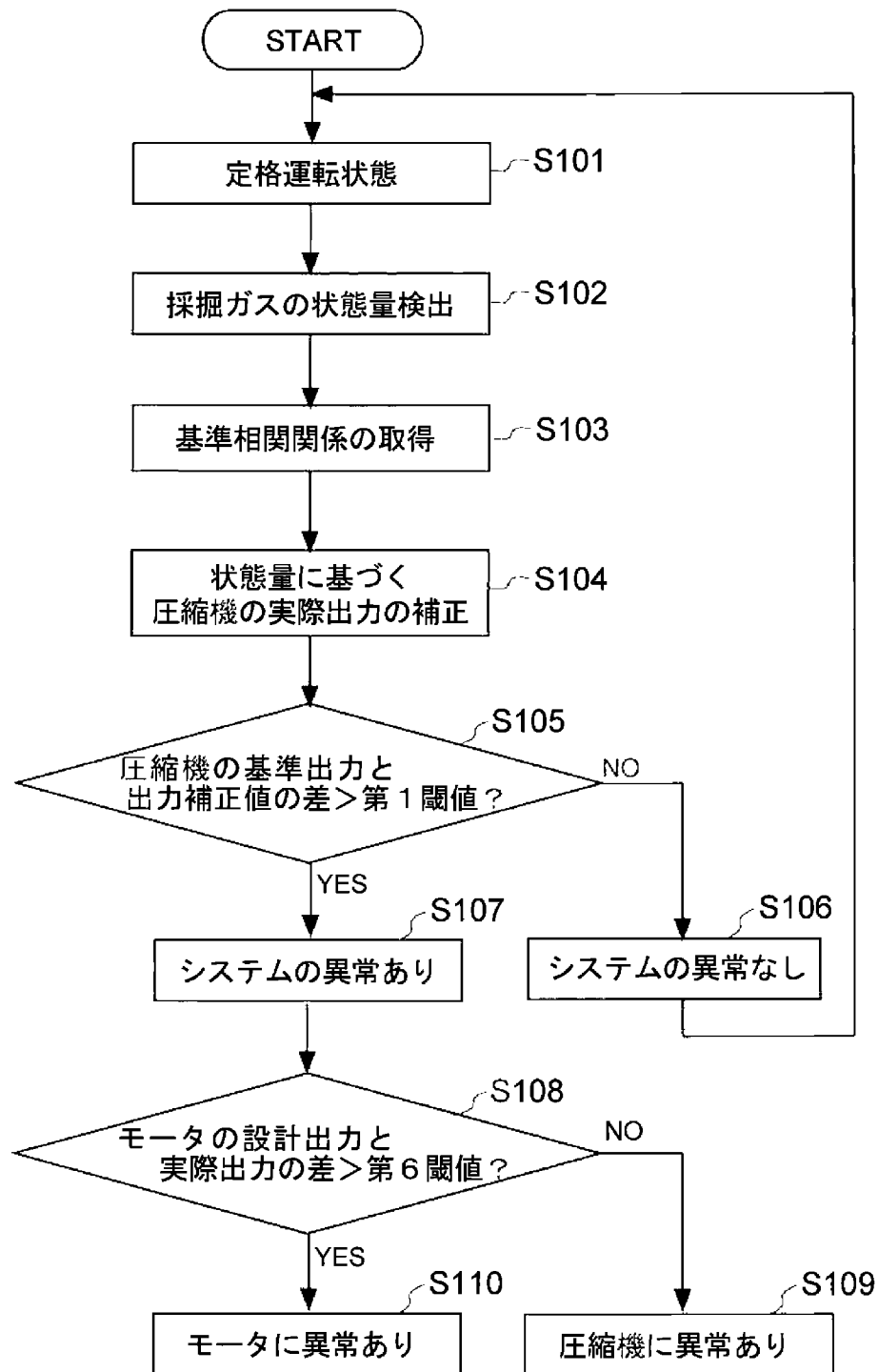
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/082232

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F04B49/10(2006.01)i, E21B43/00(2006.01)i, F04D27/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F04B49/10, E21B43/00, F04D27/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4401061 B2 (MAN Diesel SE), 20 January 2010 (20.01.2010), entire text & DE 10138013 A1	1-21
A	JP 5396079 B2 (Sundyne Corp.), 22 January 2014 (22.01.2014), entire text & US 2006/0228214 A1 & WO 2006/110692 A1 & KR 10-2007-0110553 A	1-21
A	JP 4897808 B2 (Napier Turbochargers Ltd.), 14 March 2012 (14.03.2012), entire text & US 2009/0287448 A1 & GB 2428844 A & WO 2007/014830 A1	1-21

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 February 2016 (16.02.16)

Date of mailing of the international search report
23 February 2016 (23.02.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F04B49/10(2006.01)i, E21B43/00(2006.01)i, F04D27/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F04B49/10, E21B43/00, F04D27/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で利用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 4401061 B2 (エムアーエヌ ディーゼル エスエー) 2010.01.20, 全文 & DE 10138013 A1	1-21
A	JP 5396079 B2 (サンダイン コーポレーション) 2014.01.22, 全文 & US 2006/0228214 A1 & WO 2006/110692 A1 & KR 10-2007-0110553 A	1-21
A	JP 4897808 B2 (ナピア ターボチャージャーズ リミテッド) 2012.03.14, 全文 & US 2009/0287448 A1 & GB 2428844 A & WO 2007/014830 A1	1-21

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16.02.2016

国際調査報告の発送日

23.02.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

尾崎 和寛

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

30

8922