

(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29日(29.09.2016)



(10) 国際公開番号

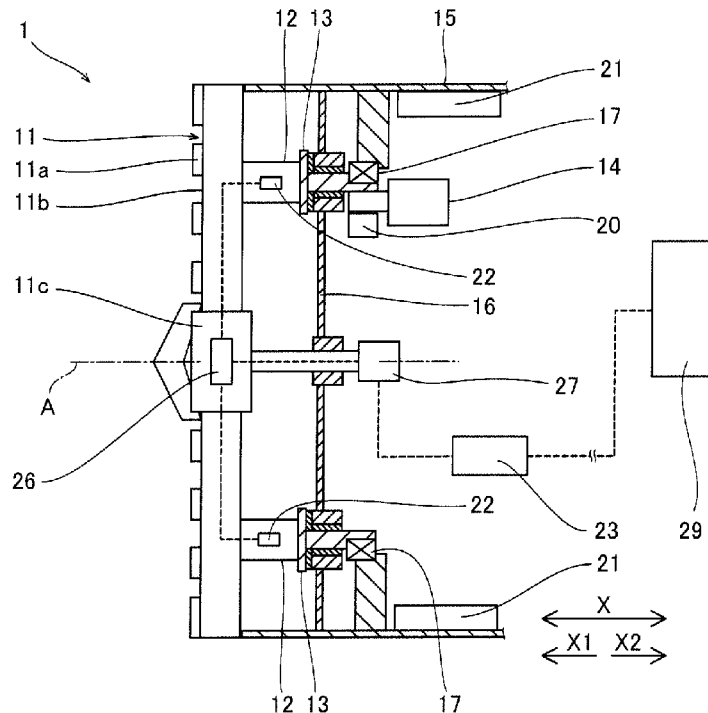
WO 2016/152218 A1

- (51) 国際特許分類:
E21D 9/11 (2006.01) *E21D 9/093* (2006.01)
E21D 9/087 (2006.01) *G01L 5/12* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/051591
- (22) 国際出願日: 2016年1月20日(20.01.2016)
- (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 2015-060670 2015年3月24日(24.03.2015) JP
- (71) 出願人: 日立造船株式会社 (HITACHI ZOSEN CORPORATION) [JP/JP]; 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番89号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 岡田 利幸 (OKADA, Toshiyuki); 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番89号 日立造船株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 宮園 博一 (MIYAZONO, Hirokazu); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目13番9号 新大阪MTビル1号館 Osaka (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.
- (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), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[続葉有]

(54) Title: TUNNEL BORING MACHINE

(54) 発明の名称: トンネル掘進機



(57) Abstract: This tunnel boring machine (1) comprises a data processing device (23) that acquires error data (E_r) on the basis of a current measurement value (V_p) of a strain sensor (22) acquired at a current angle (θ) of a cutter head (11) and of a past corresponding measurement value (V_o) acquired in an angle of rotation corresponding to the current angle and that corrects the current measurement data using the error data.

(57) 要約: このトンネル掘進機(1)は、カッタヘッド(11)の現在角度(θ)において取得した歪みセンサ(22)の現在計測値(V_p)と、現在角度に対応する回転角度において取得された過去の対応計測値(V_o)とに基づいて誤差データ(E_r)を取得し、誤差データを用いて、現在の計測データを補正するデータ処理装置(23)とを備える。

WO 2016/152218 A1



MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称：トンネル掘進機

技術分野

[0001] 本発明は、トンネル掘進機に関し、特に、カッタヘッドなどの回転部分の歪みを計測するトンネル掘進機に関する。

背景技術

[0002] 従来、カッタヘッドなどの回転部分の歪みを計測するトンネル掘進機が知られている。このようなトンネル掘進機は、たとえば、実開昭61-152097号公報に開示されている。

[0003] 実開昭61-152097号公報には、トンネル掘進機におけるカッタヘッドなどの回転部分に取り付けた歪みセンサにより歪みを計測する構成が開示されている。トンネル掘進機は、カッタヘッドを回転させつつ、推進ジャッキの推力で前進することにより、地山の掘進を行う。カッタヘッドに作用する力（カッタ推力）は、一般にはジャッキ推力から胴体部外周と地山との摩擦抵抗などの各種の抵抗を差し引いて推定されるが、実開昭61-152097号公報は、歪み計測値を用いることで、より直接的にカッタ推力を取得している。

[0004] 掘進中には、異種の地層間を跨がるように掘進したり、埋設物または礫に遭遇したりする場合がある。カッタ推力を把握することは、カッタヘッドおよびカッタ駆動部の損傷や、カッタビット（掘削刃）の異常摩耗などを防ぐために重要である。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：実開昭61-152097号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、カッタヘッドなどの回転部分に歪みセンサを取り付ける場

合、歪みを計測する部分自体が回転移動するため、歪み計測値には、回転に伴う計測誤差が含まれてしまう。そのため、カッタヘッドに作用する力をより高精度に把握することが可能なトンネル掘進機が求められている。

[0007] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、回転に伴う計測誤差を抑制して、カッタヘッドに作用する力をより高精度に把握することが可能なトンネル掘進機を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するために、この発明の一の局面におけるトンネル掘進機は、カッタヘッドと、カッタヘッドを支持し、かつ、カッタヘッドと共に回転するカッタ支持部と、カッタヘッドおよびカッタ支持部を回転駆動するカッタ駆動部と、カッタヘッドの回転角度を検出する回転角度検出部と、カッタヘッドまたはカッタ支持部に設けられた歪みセンサと、歪みセンサの計測結果に基づき、カッタヘッドに作用する力の計測データを取得するデータ処理部とを備え、データ処理部は、カッタヘッドの現在角度において取得した歪みセンサの現在計測値と、現在角度に対応する回転角度において取得された過去の対応計測値とに基づいて誤差データを取得し、誤差データを用いて、現在の計測データを補正するように構成されている。

[0009] なお、「現在計測値」とは、現在の回転角度における歪み計測値のみならず、現在の回転角度と同等と見なせる回転角度での歪み計測値を含む概念である。たとえば、現在計測値には、現在のリアルタイムの回転角度での歪み計測値以外に、現在から1サンプリング周期前の時点での回転角度（現在の角度検出値の1つ前に相当する直前のサンプリングデータ）における歪み計測値や、現在角度 θ から1度分戻した回転角度（ $\theta - 1$ 度）での歪み計測値が含まれてよい。同様に、「対応計測値」も、現在角度と厳密に同じ回転角度（たとえば1回転前の同じ角度）での過去の歪み計測値でなく、現在角度から僅かにずれた回転角度での過去の歪み計測値でもよい。

[0010] この発明の一の局面によるトンネル掘進機では、上記のように、データ処

理部を、カッタヘッドの現在角度において取得した歪みセンサの現在計測値と、現在角度に対応する回転角度において取得された過去の対応計測値とに基づいて誤差データを取得し、誤差データを用いて、現在の計測データを補正するように構成する。ここで、本願発明者は、鋭意検討した結果、カッタヘッドの回転に伴って発生する計測誤差が、回転と共に変化する一方で回転角度に応じて周期的に変化することを見出した。そのため、本発明によれば、現在角度に対応する過去の回転角度での対応計測値と現在計測値とに基づいて取得した誤差データを用いて現在の計測データを補正することにより、回転に伴う計測誤差の周期性を利用して、回転に伴う誤差成分を効果的に補正することができる。その結果、回転に伴う計測誤差を抑制して、カッタヘッドに作用する力をより高精度に把握することができる。

[0011] 上記一の局面によるトンネル掘進機において、好ましくは、対応計測値は、現在角度に対する1回転分過去の歪みセンサの計測値である。このように構成すれば、1回転前の直近の対応計測値に基づいて誤差データを取得することができる。これにより、複数回転前の古い対応計測値を用いる場合と比べて、現在時点と対応計測値の取得時点との間での状況の変化（ジャッキ推力の変化や地山の状況の変化）の影響を小さくすることができる。その結果、回転に伴う計測誤差をより精度良く反映した誤差データを取得することができるので、回転に伴う計測誤差をより精度良く補正することができる。

[0012] 上記一の局面によるトンネル掘進機において、好ましくは、データ処理部は、少なくとも過去の1回転分の複数の歪みセンサの計測値を用いて算出した基準値と、現在計測値および対応計測値とを用いて、誤差データを算出するように構成されている。このように構成すれば、少なくとも過去の1回転分の計測値を用いることによって、回転に伴う計測誤差の周期性を十分に反映した基準値を得ることができる。そして、この基準値に対する現在の回転角度の計測値（現在計測値および対応計測値）の相違を評価することで、容易に、回転に伴う計測誤差を反映した誤差データを取得することができる。

[0013] この場合、好ましくは、基準値は、現在角度の直前の過去の1回転分にわ

たる歪みセンサの計測値の平均値である。このように構成すれば、たとえば基準値として中間値を採用する場合には、実際には 1 回転分の計測値の内の中間値となる特定の回転角度の計測値しか考慮されないのに対して、1 回転分にわたる計測値の平均値を採用することによって、1 回転分にわたる計測値の全てのデータを考慮することができる。その結果、回転角度毎の計測誤差をより反映した誤差データを取得することができる。

[0014] 上記基準値と、現在計測値および対応計測値とを用いて誤差データを算出する構成において、好ましくは、データ処理部は、現在計測値および対応計測値の平均値と、基準値との差分により、誤差データを算出するように構成されている。このように構成すれば、基準値と現在計測値および対応計測値との時間的なずれの影響を抑制することができる。すなわち、たとえば直前の過去の 1 回転分にわたる計測値の平均値を基準値として用いる場合、基準値は、時系列的には現在と 1 回転前の時点との中間の時点に対応して、現在から半周期分の遅れが生じる。この場合に、現在計測値および対応計測値の平均値を算出することで、時系列的に現在計測値および対応計測値の中間の時点の値を算出することができる。そのため、現在計測値および対応計測値の平均値と基準値との時間的なずれを抑制できるので、たとえば回転中にジャッキ推力が変化した場合などにも、ジャッキ推力の変化の影響を除外して、より精度のよい誤差データを算出することができる。

[0015] 上記一の局面によるトンネル掘進機において、好ましくは、データ処理部は、カッタヘッドの回転開始から少なくとも 1 回転後の回転中に誤差データによる計測データの補正を行い、カッタヘッドの回転が所定時間以上継続して停止した場合には、誤差データによる計測データの補正を停止するように構成されている。このように構成すれば、対応計測値を取得するのに必要な計測値が得られてから、誤差データによる計測データの補正を行うことができる。また、カッタヘッドの回転が停止した場合には、過去の回転中の対応計測値を用いた誤差データによる計測データの補正が妥当でなくなるため、誤差データによる計測データの補正を停止することができる。また、現在の

状況を反映しない時間的に古いデータを用いて誤差データを算出することを防止できる。この際、カッタヘッドの回転が所定時間経過後に補正を停止することにより、回転停止時に計測データの値が突然変化することを抑制することができる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、上記のように、回転に伴う計測誤差を抑制して、カッタヘッドに作用する力をより高精度に把握することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の第1実施形態によるトンネル掘進機の模式的な縦断面図である。

[図2]本発明の第1実施形態によるトンネル掘進機の模式的な正面図である。

[図3]歪み計測を行うための機器を示したブロック図である。

[図4]現在計測値、対応計測値および誤差データを概念的に示した図である。

[図5]カッタヘッドが正回転する場合のデータ列を示した図である。

[図6]カッタヘッドが逆回転する場合のデータ列を示した図である。

[図7]本発明の第1実施形態によるトンネル掘進機のデータ処理装置による歪み計測フローである。

[図8]本発明の第1実施形態によるトンネル掘進機のデータ処理装置による演算フローである。

[図9]図8の演算フローにおけるカッタ推力の計算フロー（サブルーチン）である。

[図10]図9の計算フローに沿ったデータ処理装置の動作例を示した図である。

[図11]ジャッキ推力から求めたカッタ推力の時間変化を示したグラフである。

[図12]図11のカッタ推力の計測時におけるカッタコラムの歪み計測結果を示したグラフである。

[図13]図11のカッタ推力と図12の歪み計測結果とを重ねて示したグラフ

である。

[図14]図 1 2 の歪み計測結果と回転角度との関係を示したグラフである。

[図15]図 1 1 のカット推力と誤差補正後の歪み計測結果とを重ねて示したグラフである。

[図16]第 1 実施形態によるトンネル掘進機の第 1 変形例を示した模式的な縦断面図 (A) および模式的な部分正面図 (B) である。

[図17]第 1 実施形態によるトンネル掘進機の第 2 変形例を示した模式的な縦断面図 (A) および模式的な部分正面図 (B) である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

[0019] [第 1 実施形態]

図 1 ～図 1 0 を参照して、本発明の第 1 実施形態によるトンネル掘進機 1 について説明する。

[0020] (トンネル掘進機の全体構成)

図 1 に示すように、トンネル掘進機 1 は、掘削面を構成するカットヘッド 1 1 と、カットコラム 1 2 および旋回台 1 3 と、カット駆動部 1 4 とを備えている。第 1 実施形態では、トンネル掘進機 1 が、カットヘッド 1 1 の支持方式として中間支持方式を採用した中～大口径タイプである例を示している。中間支持方式では、カットヘッド 1 1 は、回転駆動される円環状の旋回台 1 3 に対して、回転軸線方向 (X 方向) に延びる脚部 (カットコラム 1 2) によって取り付けられる。旋回台 1 3 は、前胴部 1 5 の隔壁 (バルクヘッド) 1 6 に設けられた軸受 1 7 によって回転軸回りに回転可能に支持される。カットコラム 1 2 は、本発明の「カット支持部」の一例である。

[0021] なお、以下では、トンネル掘進機 1 のカットヘッド 1 1 および前胴部 1 5 の各部のみを説明し、その他の後胴部などについては説明を省略する。

[0022] カットヘッド 1 1 は、掘進方向から見て円形状 (図 2 参照) に形成されており、回転軸線 A 周りに回転するように構成されている。カットヘッド 1 1 は、掘進方向前方 (X 1 方向) の掘削面にカットビット 1 1 a を有する。カ

ッタビット 11a は、複数の放射状のスプーク部 11b（図 2 参照）にそれぞれ複数取り付けられている。カッタビット 11a によって削られた掘削土は、貫通孔を通してカッタヘッド 11 の内部に進入し、土圧シールドの場合であれば図示しないスクリーコンベアによって運び出される。なお、泥水シールドの場合には、カッタヘッド 11 と隔壁 16 との間のカッタチャンバー内に泥水を送り込んで掘削土をスラリー化し、スラリー化した掘削土を図示しない配管から排出する。

[0023] カッタコラム 12 は、中空筒状の梁部材（ビーム）であり、カッタヘッド 11 を支持し、かつ、カッタヘッド 11 と共に回転するように構成されている。カッタコラム 12 は、前方（X1 方向）端部がカッタヘッド 11 のスプーク部 11b に取り付けられ、後方（X2 方向）端部が旋回台 13 に取り付けられている。

[0024] 図 2 に示すように、カッタコラム 12 は、回転軸線 A から半径方向に所定距離隔てた位置に等角度間隔で配置されている。具体的には、カッタヘッド 11 において 8 本のスプーク部 11b が 45 度間隔で設けられている。カッタコラム 12 は、それぞれのスプーク部 11b に 1 つずつ、合計 8 つ設けられている。したがって、カッタコラム 12 は、回転軸線 A 回りに 45 度の等角度間隔で配置されている。カッタコラム 12 は、角柱形状を有する。

[0025] 図 1 に戻り、旋回台 13 は、円環状に形成され、前方（X1 方向）側で複数（8 本）のカッタコラム 12 を支持している。旋回台 13 は、前胴部 15 の隔壁 16 に設けられた軸受 17 によって回転軸線 A 回りに回転可能に支持されている。

[0026] カッタ駆動部 14 は、隔壁 16 の後方（X2 方向）に配置されており、旋回台 13 に駆動トルクを付与して回転軸線 A 回りに回転駆動するように構成されている。このように、カッタヘッド 11 はカッタコラム 12 および旋回台 13 により回転軸線 A 回りに回転可能に支持され、カッタヘッド 11、カッタコラム 12 および旋回台 13 がカッタ駆動部 14 によって一体的に回転（旋回）される。一方、前胴部 15 や隔壁 16 は回転しない静止体である。

[0027] トンネル掘進機 1 は、カッタヘッド 11 の回転方向の位置（回転角度）を検出するロータリーエンコーダ 20（以下、エンコーダ 20 という）を備えている。エンコーダ 20 は、隔壁 16 の後方（X2 方向）に設けられ、カッタヘッド 11（旋回台 13）の回転角度を取り出して検出する。エンコーダ 20 は、回転角度の絶対位置が検出可能なアブソリュート型が採用されており、カッタヘッド 11 の基準位置（たとえば図 2 に示す位置）からの回転角度を検出する。エンコーダ 20 は、本発明の「回転角度検出部」の一例である。

[0028] トンネル掘進機 1 は、前胴部 15 に設けられた推進ジャッキ 21 の推進力によって掘進方向（X1 方向）に推進する。推進ジャッキ 21 は、複数本で 1 つのブロックを構成し、複数のブロックが、円筒形状の前胴部 15 の内周に略全周にわたって配列されている。カッタ駆動部 14 による回転駆動と、推進ジャッキ 21 によるジャッキ推力の付与（推進）とは、独立して制御される。

[0029] 第 1 実施形態では、トンネル掘進機 1 は、カッタヘッド 11 に作用する力を計測するための歪みセンサ 22 と、歪みセンサ 22 の検出結果を取得するデータ処理装置（データ処理部）23 とを備えている。歪みセンサ 22 は、カッタヘッド 11 またはカッタコラム 12 に設けることが可能であるが、第 1 実施形態では、歪みセンサ 22 をカッタコラム 12 に設けた例を示している。

[0030] 歪みセンサ 22 は、トンネル掘進機 1 に 1 または複数設けてよい。第 1 実施形態では、図 2 に示すように、歪みセンサ 22 は、約 45 度の等角度間隔で配置された 8 本のカッタコラム 12 のうちで、約 90 度間隔の 4 本のカッタコラム 12（ハッチング部）の内部にそれぞれ（4 箇所）設けられている。

[0031] このように 360 度を 4 分割（90 度）するように歪みセンサ 22 を設けることにより、カッタヘッド 11 を停止させたままでも、カッタヘッド 11 の掘削面に作用するカッタ推力を得ることができる。なお、8 本のカッタコ

ラムの全てに歪みセンサを設けてもよい。

[0032] また、トンネル掘進機 1 は、温度センサ 25（図 3 参照）を備えている。温度センサ 25 は、歪みセンサ 22 の近傍に設置され、歪みセンサ 22 の近傍の温度を検出する。温度センサ 25 は、温度補償により歪み計測への掘削熱の影響を除去するために設けられている。

[0033] 図 1 に示すように、それぞれの歪みセンサ 22 は、カッタヘッド 11 の中心部 11c の内部に設置された中継ボックス 26 に接続されている。図 3 に示すように、中継ボックス 26 は、歪みセンサ 22 用のアンプ 26a と、温度センサ 25 用のアンプ 26b と、通信機器 26c と、電源装置 26d とを有する。通信機器 26c は、ロータリージョイント 27 を介してデータ処理装置 23 に接続されている。通信機器 26c は、アンプ 26a およびアンプ 26b からそれぞれ出力される信号を変換して、検出信号としてデータ処理装置 23 に出力する。電源装置 26d は、ロータリージョイント 27 を介して外部の電源 28 に接続されている。電源装置 26d は、アンプ 26a およびアンプ 26b および通信機器 26c に電源供給を行う。

[0034] データ処理装置 23 は、CPU 231 およびメモリ 232などを備えたコンピュータである。データ処理装置 23 は、歪みセンサ 22 の検出結果に基づき、カッタヘッド 11 に作用する力（カッタ推力）の計測データを取得する機能を有する。また、データ処理装置 23 は、カッタヘッド 11 に作用する回転軸線方向（X 方向）の力の回転方向分布を取得するように構成されている。

[0035] データ処理装置 23 は、ロータリージョイント 27 を介して中継ボックス 26 と接続されており、中継ボックス 26 の通信機器 26c から歪みセンサ 22 の検出信号を取得する。また、データ処理装置 23 は、エンコーダ 20 からカッタヘッド 11 の回転方向の位置（現在角度 θ ）の検出信号を取得する。データ処理装置 23 は、現在角度 θ における、4 個所の歪みセンサ 22 の回転軸線方向の歪み計測値をそれぞれ取得する。

[0036] また、データ処理装置 23 は、中継ボックス 26 の通信装置 26c から温

度センサ 25 の検出信号を取得する。データ処理装置 23 は、たとえばカッタコラム 12 が所定温度以上に温度上昇した場合に温度補償を行う。データ処理装置 23 は、常時温度補償を行ってもよい。

[0037] データ処理装置 23 は、図 1 に示すように、トンネル掘進機 1 のオペレーションルーム（運転室）29 のコンピュータや、地上のモニタリング室（図示せず）のコンピュータと接続されている。データ処理装置 23 は、取得した計測データを出力することが可能である。

[0038] （カッタ推力の計測データの取得処理の概要）

図 4 ～図 6 を参照して、カッタ推力の計測データの取得処理を概念的に説明する。図 4 に示すように、第 1 実施形態では、データ処理装置 23 は、カッタヘッド 11 の現在角度 θ において取得した歪みセンサ 22 の現在計測値 V_p と、現在角度 θ に対応する回転角度において取得された過去の対応計測値 V_o とに基づいて、誤差データ E_r を取得する。そして、データ処理装置 23 は、誤差データ E_r を用いて、現在の計測データ F を補正するように構成されている。

[0039] 現在角度 θ は、カッタヘッド 11 の所定の基準回転位置に対する現在の回転角度の計測値である。現在角度 θ は、たとえば 0 度～359 度までの 1 度単位で取得する。カッタヘッド 11 を回転させている場合、現在角度 θ は時間の関数となるため、現在時刻と置き換えて考えてもよい。

[0040] 現在計測値 V_p は、現在角度 θ に対応する現在の歪み計測値である。同一時刻（同一角度）で 4 つの歪みセンサ 22 から取得した歪み計測値の平均値（センサ平均値）を、現在計測値 V_p に用いる。なお、後述するように、現在計測値 V_p は、厳密に現在角度 θ における歪み計測値でなくてもよく、現在角度 θ と同等と見なせる近傍の回転角度での歪み計測値であってもよい。

[0041] 対応計測値 V_o は、現在計測値 V_p に対応する過去の歪み計測値であり、メモリ 232 に記憶されている。対応計測値 V_o には、現在計測値 V_p に対して 1 回転（360 度）または複数回転前に取得した歪み計測値（センサ平均値）を採用できる。第 1 実施形態では、対応計測値 V_o は、現在角度 θ に

対する 1 回転分過去の歪みセンサ 22 の計測値である。

[0042] 誤差データ E_r は、カッタヘッド 11 の回転に伴う計測誤差のデータである。トンネル掘進機 1 の回転部分（カッタヘッド 11 およびカッタコラム 12 など）に歪みセンサ 22 を設けて歪み計測を行う場合、歪み計測値は、横軸に示した回転角度に応じて変動する誤差成分を含む。誤差データ E_r は、この回転角度に応じて変動する誤差成分であり、周期性を有する。つまり、図 4 で示した 1 周期（1 回転）分の歪み計測値の変動が、2 周期目（2 回転目）以降も同様の傾向を持って現れる。なお、図 4 では、時間経過に比例して推進ジャッキ 21 のジャッキ推力を増大させている例を示している。そのため、図 4 の歪み計測値は、時間の経過とともに増大している。

[0043] データ処理装置 23 は、少なくとも過去の 1 回転分の複数の計測値を用いて算出した基準値 A_G と、現在計測値 V_p および対応計測値 V_o とを用いて、誤差データ E_r を算出するように構成されている。

[0044] ある回転角度の誤差データ E_r は、その回転角度における現在計測値 V_p および対応計測値 V_o の、基準値 A_G に対する変化量として評価できる。基準値 A_G は、たとえば、現在の現在計測値 V_p と過去の対応計測値 V_o との間に含まれる各計測値を用いて算出する。

[0045] 誤差データ E_r が回転に伴う変動成分であるので、基準値 A_G は、少なくとも 1 回転分の各計測値を反映していることが好ましい。第 1 実施形態では、基準値 A_G は、現在角度 θ の直前の過去の 1 回転分にわたる歪みセンサ 22 の計測値の平均値である。そのため、基準値 A_G は、1 回転分の 360 個の計測値の平均値となる。

[0046] 基準値 A_G として 1 回転分の平均値を用いる場合、基準値 A_G は、時系列的には、現在から半周期前（ $\lambda/2$ ）の時点のデータ（算出範囲の中間時点のデータ）に集約される。そのため、図 4 のようにジャッキ推力の変化がある場合には、半周期の間のジャッキ推力の変化量 DF を考慮する必要がある。

[0047] そこで、第 1 実施形態では、データ処理装置 23 は、現在計測値 V_p およ

び対応計測値 V_o の平均値 $A_{o,p}$ と、基準値 A_G との差分により、誤差データ E_r を算出するように構成されている。つまり、誤差データ $E_r = A_{o,p} - A_G$ である。これにより、図 4 に示す平均値 $A_{o,p}$ と、基準値 A_G との差分が、誤差データ E_r として算出される。現在計測値 V_p および対応計測値 V_o は、基準値 A_G の算出に用いる計測値範囲の両端にある。そのため、平均値 $A_{o,p}$ を用いることにより、基準値 A_G と平均値 $A_{o,p}$ との時系列的を揃えることができ、ジャッキ推力の変化量 DF を誤差に含めずに誤差データ E_r が算出される。

[0048] 誤差データ E_r 以外の計測誤差が存在せず、ジャッキ推力がカタヘッド 11 に作用するカタ推力にそのまま反映されると仮定すれば、図 4 に示したように、現在計測値 V_p に含まれる誤差データと対応計測値 V_o に含まれる誤差データとはほぼ等しくなり、現在計測値 V_p から誤差データ E_r を差し引く補正を行うことで、計測誤差を除去した計測値が得られる。これにより、補正後のカタ推力の計測データ F を得ることができる。

[0049] ところで、カタヘッド 11 の回転には、正回転（たとえば時計方向の回転）と逆回転（たとえば反時計方向の回転）とがある。そのため、図 5 に示す正回転の場合、現在角度 $\theta = 0$ 度とした場合、1 回転（1 周期）前のデータは、0 度から 359 度の間のデータ列のうち 1 つ先（ $\theta + 1$ ）のデータ（1 度のデータ）に相当する。一方、図 6 に示す逆回転の場合、現在角度 $\theta = 0$ 度に対する 1 回転（1 周期）前のデータは、データ列のうち 1 つ前（ $\theta - 1$ ）のデータ（359 度のデータ）に相当する。そのため、対応計測値 V_o として参照する過去のデータは、回転方向によって参照先が変わることになる。

[0050] 回転方向に応じてデータ参照先を変更してもよいが、第 1 実施形態では、現在計測値 V_p および対応計測値 V_o の平均値 $A_{o,p}$ の算出を、下式（1）により行う。

$$A_{o,p} = \{ \text{「計測値 } (\theta + 1) \text{」} + \text{「計測値 } (\theta - 1) \text{」} \} / 2$$

（ただし、 $\theta = 0$ のとき $\theta - 1 = 359$ 、 $\theta = 359$ のとき $\theta + 1 = 0$ ）

・・・ (1)

「計測値 ($\theta + 1$)」および「計測値 ($\theta - 1$)」は、それぞれ、回転角度 ($\theta + 1$) における計測値、回転角度 ($\theta - 1$) における計測値である。

[0051] この場合、正回転時には、計測値 ($\theta + 1$) が 1 回転前の過去の対応計測値 V_o に相当し、計測値 ($\theta - 1$) が現在計測値 V_p に相当する。この際、現在角度 θ と ($\theta - 1$) との差が十分に小さいので、計測値 $\theta \div$ 計測値 ($\theta - 1$) と見なして、計測値 ($\theta - 1$) を現在計測値 V_p としている。

[0052] 逆回転時には、計測値 ($\theta + 1$) が現在計測値 V_p に相当し、計測値 ($\theta - 1$) が 1 回転前の過去の対応計測値 V_o に相当する。計測値 $\theta \div$ 計測値 ($\theta + 1$) と見なして、計測値 ($\theta + 1$) を現在計測値 V_p としている。

[0053] このように、計測値 ($\theta + 1$) と計測値 ($\theta - 1$) とを参照すると、回転方向がいずれの方向であっても、一方を現在計測値 V_p 、他方を対応計測値 V_o と見なすことができる。そのため、上式 (1) によって平均値 A_o を算出する場合、回転方向によらない統一的な取り扱いが可能となる。

[0054] なお、第 1 実施形態では、データ処理装置 23 は、カッタヘッド 11 の回転開始から少なくとも 1 回転後の回転中に誤差データ E_r による計測データ F の補正を行い、カッタヘッド 11 の回転が所定時間以上継続して停止した場合には、誤差データ E_r による計測データ F の補正を停止するように構成されている。

[0055] 回転開始後の補正開始タイミングは、対応計測値 V_o として何回転前の計測値を用いるかに応じて決定すればよい。第 1 実施形態では対応計測値 V_o として 1 回転前の計測値を用いるので、データ処理装置 23 は、回転開始から 1 回転後に、誤差データ E_r による計測データ F の補正を開始する。

[0056] 停止時における計測データ F の補正停止タイミングは、補正停止の前後での計測データ F の変化の影響が少ないタイミングにするのが好ましい。そこで、第 1 実施形態では、現在角度 θ に一定時間変化がない場合に、データ処理装置 23 はカッタヘッド 11 が停止されたと判断する。そして、データ処理装置 23 は、カッタヘッド 11 が停止されたと判断してから、停止状態が

所定の停止待機時間の間継続した場合に、誤差データ E_r による補正を停止する。その後、カッタヘッド 11 の回転が再開された場合には、データ処理装置 23 は、回転再開から 1 回転後に、誤差データ E_r による補正を開始する。

[0057] (データ処理装置の処理)

次に、図 7～図 9 を参照して、第 1 実施形態によるトンネル掘進機 1 のデータ処理装置 23 の行う処理について説明する。

[0058] 〈計測処理〉

図 7 に示す計測フローは、所定のサンプリング周期（たとえば、0.1 秒）毎に各歪みセンサ 22 から計測結果を取得する処理を示している。

[0059] データ処理装置 23 は、図 7 のステップ S1 において、センサの異常の有無を確認する。データ処理装置 23 は、4 個所のカッタコラム 12 に設けられたそれぞれの歪みセンサ 22 および温度センサ 25 の異常検出を行う。

[0060] なお、以下では、カッタコラム 12 毎の 4 つの歪みセンサ 22 を、それぞれゲージ 1～ゲージ 4 とし、4 つの温度センサ 25 を温度 1～温度 4 とする。データ処理装置 23 は、断線や短絡等の異常がある場合、各センサの状態を示す検出値として 0 を付与し、異常がない場合には検出値として 1 を付与する。この結果、ゲージ 1～ゲージ 4 の検出値 E_{G1} ～検出値 E_{G4} と、温度 1～温度 4 の検出値 E_{T1} ～検出値 E_{T4} と（それぞれ 0 または 1）が取得される。

[0061] ステップ S2 において、データ処理装置 23 は、各計測値を取り込む。具体的には、カッタヘッド 11 の現在角度 θ がエンコーダ 20 から取得される。また、ゲージ 1～ゲージ 4 の各歪みセンサ 22 から、歪み計測値 $G1a$ ～ $G4a$ が取得される。現在角度 θ におけるゲージ 1～ゲージ 4 の歪み計測値は、回転方向に 90 度ずつ位相がずれた計測値になる。また、温度 1～温度 4 の各温度センサ 25 から、それぞれ歪みセンサ 22 近傍の温度計測値 $T1a$ ～ $T4a$ が取得される。各センサのサンプリング時点の瞬時値が計測値として取り込まれる。

[0062] ステップ S3 において、データ処理装置 23 は、得られた計測値（歪み計

測値 G 1 a ～ G 4 a および温度計測値 T 1 a ～ T 4 a) に対してローパスフィルタ処理を行い、高周波成分（ノイズ）を除去する。ローパスフィルタ処理は、計測値に対して移動平均や窓関数などのローパスフィルタ関数を適用することによって行われる。これにより、ローパスフィルタ処理後の歪み計測値 G 1 b ～ G 4 b および温度計測値 T 1 b ～ T 4 b が、それぞれ取得される。なお、計測値のノイズが大きい場合には、ローパスフィルタ処理を行わなくてもよい。

[0063] ステップ S 4 において、データ処理装置 2 3 は、ローパスフィルタ処理後の歪み計測値 G 1 b ～ G 4 b に対して、温度計測値 T 1 b ～ T 4 b を用いて温度補償処理を行う。温度補償処理は、予め設定した温度補償関数を用いて行われる。これにより、温度補償処理後の歪み計測値が、G 1 c ～ G 4 c として取得される。

[0064] ステップ S 5 において、データ処理装置 2 3 は、温度補償処理後の各歪みセンサ 2 2 の歪み計測値 G 1 c ～ G 4 c について、それぞれの回転角度の位相を一致させる処理（データの並べ替え）を行い、基準角度に対する回転角度毎のデータとして整理する。

[0065] すなわち、現在角度 θ において今回取得されたゲージ 1 ～ ゲージ 4 の温度補償処理後の各歪み計測値 G 1 c ～ G 4 c を、データ処理装置 2 3 は 4 つの回転角度 ϕ のデータとして以下のように並べ替える。

$$G 1 (\phi) = G 1 c$$

$$G 2 (\phi + 90) = G 2 c$$

$$G 3 (\phi + 180) = G 3 c$$

$$G 4 (\phi + 270) = G 4 c$$

[0066] ここでは、現時点のカッタヘッド 1 1 の回転角度である現在角度 θ に対して、時間に関係のない回転角度として、回転角度 ϕ ($\phi = 0$ 度 ～ 359 度) を便宜的に用いている。

[0067] この結果、カッタヘッド 1 1 を回転させながら計測すると、カッタヘッド 1 1 が 1 回転した場合には、任意の回転角度 ϕ につき、4 つずつ歪み計測値

G 1 (φ) ~ G 4 (φ) が記録されていることになる。現時点でカッタヘッド 1 1 に作用する力であるカッタ推力を考える場合、現在角度 θ において取得した計測値 G 1 c ~ G 4 c を考慮すればよい。回転角度毎のカッタヘッド 1 1 に作用する力（力の回転角度分布）を考える場合、回転角度 φ に置き換えた G 1 (φ) ~ G 4 (φ) を考慮すればよい。

[0068] 以上の計測フローを所定のサンプリング周期毎にループさせることによって、回転角度毎の歪み計測値が逐次取得される。

[0069] 〈演算処理〉

図 8 に示す演算フローは、所定の周期（たとえば、1 秒）毎に、歪み計測値からカッタヘッド 1 1 に作用する力（カッタ推力）と力の回転角度分布とを求める処理を示している。

[0070] データ処理装置 2 3 は、図 8 のステップ S 1 1 において、カッタヘッド 1 1 に作用する力（カッタ推力）の計測データ F を算出する。カッタ推力の算出処理は、図 9 に示す算出フロー（サブルーチン）によって行われる。

[0071] まず、図 9 のステップ S 2 1 において、データ処理装置 2 3 は、現在角度 θ における計測値のセンサ平均値 $G_{ave}(\theta)$ を算出する。センサ平均値 $G_{ave}(\theta)$ は、現時点（現在角度 θ）で取得された 4 つの歪みセンサ 2 2 の計測値 G 1 c ~ G 4 c の平均値である。

[0072] センサ平均値 $G_{ave}(\theta)$ は、下式（2）で表される。

$$G_{ave}(\theta) = (G 1 c \times EG 1 + G 2 c \times EG 2 + G 3 c \times EG 3 + G 4 c \times EG 4) / (EG 1 + EG 2 + EG 3 + EG 4) \quad \dots (2)$$

$G_{ave}(\theta)$ は、ゲージ 1 ~ 4 の歪み計測値のうち、異常の有無の確認によって正常と判断された歪み計測値の平均である。したがって、たとえば図 7 のステップ S 1 においてゲージ 4 のみが異常と判定された場合（EG 4 = 0）、異常と判断されたゲージ 4 を除いた残り 3 つの歪み計測値の平均が算出される。データ処理装置 2 3 は、得られたセンサ平均値 $G_{ave}(\theta)$ をメモリ 2 3 2 に記録する。

[0073] ステップ S 2 2 において、データ処理装置 2 3 は、現在角度 θ の直前の 1

回転（360度）分の計測値の平均値（基準値AG）を算出し、メモリ232に記録する。基準値AGは、下式（3）で表される。

$$AG = \Sigma G_{ave}(\theta) / 360 \quad \dots (3)$$

[0074] ステップS23において、データ処理装置23は、回転カウンタC1の値を更新する。回転カウンタC1は、回転を開始してから現在までの累積回転角度を上限値までカウントするものである。回転カウンタC1は、回転開始後、1回転分したか否かの判断のために回転角度をカウントするとともに、計測データ補正の停止待機時間をカウント（カウントダウン）するためのカウンタである。第1実施形態では、これらの2種類の判定事項を共通の回転カウンタC1で判定する。

[0075] 回転カウンタC1の上限値は、ここでは720（度）に設定されている。ステップS23では、前回算出時の角度（前回角度 θ_{old} ）と今回の現在角度 θ との差分の絶対値 $|\theta_{old} - \theta|$ の値が回転カウンタC1に加算される（ $C1 = C1 + |\theta_{old} - \theta|$ ）。回転カウンタC1が上限値に達している場合、カウントは上限値（720）のまま保持される。

[0076] ステップS24において、データ処理装置23は、カッタヘッド11の回転角度に変化があるか否かを判断する。データ処理装置23は、 $|\theta_{old} - \theta| > 0$ のときに回転角度変化ありと判断し、 $|\theta_{old} - \theta| = 0$ のときに角度変化なしと判断する。

[0077] カッタヘッド11の回転角度に変化があると判断した場合、データ処理装置23は、ステップS25において、時間カウンタC2の値を0にリセットする（ $C2 = 0$ ）。そして、データ処理装置23は、ステップS29に処理を進める。時間カウンタC2は、カッタヘッド11の角度変化がないと判断された場合に、カッタヘッド11が停止状態になったと判断するための上限値まで、停止継続時間をカウントするものである。時間カウンタC2の上限値は、ここでは10（秒）に設定されている。

[0078] 一方、ステップS24でカッタヘッド11の角度変化がないと判断した場合、データ処理装置23は、ステップS26において、時間カウンタC2の

値に経過時間を加算する ($C2 = C2 + \text{経過時間}$)。経過時間は、演算処理の前回実行時からの経過時間である。ここでは、演算フローを1秒周期としたので、加算される経過時間は1(秒)である。時間カウンタC2が上限値に達している場合、カウントは上限値(10秒)のまま保持される。

[0079] ステップS27において、データ処理装置23は、時間カウンタC2が上限値(10秒)であるか否かを判断する。上限値に達していなければ、データ処理装置23は、処理をステップS29に進める。

[0080] 上限値に達している場合、データ処理装置23は、ステップS28において、回転カウンタC1の値を所定の減算量Qだけ減算する ($C1 = C1 - Q$)。減算の結果 $C1 < 0$ となる場合、 $C1 = 0$ とされる。

[0081] 減算量Qは、時間カウンタC2が上限値に達してから計測データFの補正を停止するまでの停止待機時間に応じて設定される。第1実施形態では、減算量Qは60に設定されている。回転カウンタC1および時間カウンタC2の変化と、計測データの補正の実行との具体的な関係は、後述する。

[0082] 回転カウンタC1の値を減算すると、データ処理装置23は、処理をステップS29に進める。ステップS29では、データ処理装置23は、次の演算処理のために、前回角度 θ_{old} の値を、今回の現在角度 θ の値に更新する ($\theta_{old} = \theta$)。

[0083] ステップS30において、データ処理装置23は、誤差データ $E_r(\theta)$ を算出する。誤差データ $E_r(\theta)$ は、下式(4)で表される。

$$E_r(\theta) = \{G_{ave}(\theta - 1) + G_{ave}(\theta + 1)\} / 2 - AG$$

(ただし、 $\theta = 0$ のとき $\theta - 1 = 359$ 、 $\theta = 359$ のとき $\theta + 1 = 0$)

$$\dots (4)$$

[0084] なお、上式(4)は、上式(1)と同じものである。上式(4)の右辺において、 $G_{ave}(\theta - 1)$ および $G_{ave}(\theta + 1)$ の一方が、現在計測値 V_p に対応し、他方が対応計測値 V_o に対応する。 $\{G_{ave}(\theta - 1) + G_{ave}(\theta + 1)\} / 2$ は、上述の平均値 A_{op} である。

[0085] 次に、ステップS31において、データ処理装置23は、回転カウンタC

1の値が補正実行閾値以上であるか否かを判断する。補正実行閾値には、カッタヘッド11の1回転分に対応する360（度）が設定されている。

[0086] 回転カウンタC1の値が補正実行閾値未満である場合、データ処理装置23は、ステップS32において、カッタ推力の計測データFを算出する。ステップS32では、データ処理装置23は、誤差データ E_r を用いた補正を行わずに、センサ平均値 $G_{ave}(\theta)$ を用いて下式（5）により計測データFを算出する。

$$F = K \times G_{ave}(\theta) \quad \dots (5)$$

Kは、歪みを推力（応力）に変換するための係数である。

[0087] 回転カウンタC1の値が補正実行閾値以上である場合、データ処理装置23は、ステップS33において、誤差データ $E_r(\theta)$ を用いてカッタ推力の計測データFを補正する。データ処理装置23は、下式（6）により計測データFを算出する。

$$F = K \times \{G_{ave}(\theta) - E_r(\theta)\} \quad \dots (6)$$

[0088] ステップS32またはステップS33において計測データFが算出されると、ステップS11のカッタ推力の計算処理が終了する。次に、図8のメインフローに戻り、ステップS12に処理が進む。

[0089] 図8のステップS12において、データ処理装置23は、カッタヘッド11に作用する力の回転角度分布 $F_d(\phi)$ を回転角度 ϕ 毎に算出する。

[0090] ある回転角度 ϕ における力 $F_d(\phi)$ は、下式（7）で表される。

$$F_d(\phi) = K \times G_{ave}(\phi)$$

$$G_{ave}(\phi) = (G_1(\phi) \times EG_1 + G_2(\phi) \times EG_2 + G_3(\phi) \times EG_3 + G_4(\phi) \times EG_4) / (EG_1 + EG_2 + EG_3 + EG_4) \quad \dots (7)$$

[0091] $G_{ave}(\phi)$ は、図7のステップS5で得られた同一の回転角度 ϕ での歪み計測値の平均である。データ処理装置23は、力 $F_d(\phi)$ を $\phi = 0 \sim 359$ の範囲で繰り返し算出することによって、カッタヘッド11に作用する力の回転方向分布を取得する。

[0092] 以上の演算フローを所定の周期毎にループさせることによって、各時刻（各現在角度 θ ）におけるカッタ推力の計測データ $F(\theta)$ と、回転角度 ϕ 毎のカッタヘッド11に作用する力の回転方向分布 $F_d(\phi)$ とが取得される。

[0093] （データ処理装置の処理動作例）

次に、図10を参照して、トンネル掘進機1の動作時における、データ処理装置23の処理動作例を説明する。図10では、説明のための仮想的な動作例として、カッタヘッド11の回転が1秒につき1度進み、正回転（0度から359度へ進む回転）のみの場合の時系列に沿った処理動作例を示している。

[0094] 時刻0(秒)において回転を開始すると、現在角度 θ が進む。図10の例では、 $|\theta_{old} - \theta| = 1$ 度となるので、回転カウンタC1の値は、1秒毎に1ずつ加算される。回転中（ $|\theta_{old} - \theta| > 0$ ）は、時間カウンタC2の値が0にリセットされる。

[0095] 回転カウンタC1が1回転分に相当する補正実行閾値（360）になるまで、誤差データ E_r による補正は行われない。つまり、動作開始後1回転目では、上式（5）によって誤差補正なしで計測データ F が算出される。

[0096] 回転カウンタC1が補正実行閾値（360）に達すると、誤差データ E_r による誤差補正を含めた計測データ F が算出される。つまり、上式（6）によって、誤差データ E_r を用いて計測データ F が算出される。なお、現在角度 θ は0～359の値をとるので、360秒経過後には、現在角度 θ は0に戻る。

[0097] 回転カウンタC1が上限値（720）に達すると、以降は回転が継続しても回転カウンタC1が上限値（720）のままとなる。

[0098] その後、時刻 T_0 （現在角度 $\theta = N$ 度）でカッタヘッド11の回転が停止したとする。時刻 T_0 以降、 $|\theta_{old} - \theta| = 0$ となるので、時間カウンタC2が1秒ずつ加算される。回転カウンタC1は、増加しないので、上限値（720）のままとなる。

- [0099] 停止後10秒の時刻T10で、時間カウンタC2は上限値(10)に達し、停止状態が継続している間は上限値のまま保持される。時間カウンタC2が上限値に達したことにより、演算サイクルの度に回転カウンタC1が減算量Q(=60)ずつ減算される。
- [0100] 停止状態が継続しても、回転カウンタC1が補正実行閾値(360)以上の間は、上式(6)によって、補正後の計測データFが算出される。時間カウンタC2が上限値に達してから6秒後の時刻U6で、C1(=300)が補正実行閾値(360)未満となり、誤差データ E_r による誤差補正が停止される。すなわち、時刻U6以降は、上式(5)により補正なしで計測データFが算出される。
- [0101] このように、回転カウンタC1の減算量Qは、カッタヘッド11が停止されたとデータ処理装置23が判断してから、誤差データ E_r による補正を停止するまでの停止待機時間の長さの設定値として機能する。Q=60の場合、停止待機時間は6秒となったが、停止待機時間の長さ(減算量Qの大きさ)は、カッタヘッド11の定格回転速度などに応じて適切に設定すればよい。
- [0102] 減算量Q(60)ずつ減算されることによって、回転カウンタC1<0となる時刻U12以降、回転カウンタC1の値は0に維持される。
- [0103] その後、時刻V1で、カッタヘッド11の回転が再スタートされるとする。 $|\theta_{old} - \theta| = 1$ となるので、回転角度 $\theta = N + 1$ となり、回転カウンタC1=1となる。また、角度変化あり($|\theta_{old} - \theta| > 0$)となるので、時間カウンタC2が0にリセットされる。
- [0104] 以上のように動作する結果、回転開始から1回転後以降、回転停止と判断した時点(時刻T10)から停止待機時間(6秒)が経過するまでの期間(時刻360から、時刻U5までの期間)は、誤差データ E_r を用いた計測データFの誤差補正が行われる。そして、回転開始から1回転の間(時刻0から時刻359までの間)、および、回転停止と判断した後の停止待機時間経過後(時刻U6以降)では、誤差データ E_r による誤差補正が停止される。
- [0105] (第1実施形態の効果)

第1実施形態では、以下のような効果を得ることができる。

- [0106] 第1実施形態では、上記のように、データ処理装置23を、カッタヘッド11の現在角度 θ において取得した歪みセンサ22の現在計測値 V_p と、現在角度 θ に対応する回転角度において取得された過去の対応計測値 V_o とに基づいて誤差データ E_r を取得し、誤差データ E_r を用いて、現在の計測データ F を補正するように構成する。これにより、回転に伴う計測誤差の周期性を利用して、カッタヘッド11に作用する力の計測データ F から回転に伴う誤差成分を効果的に補正することができる。その結果、回転に伴う計測誤差を抑制して、カッタヘッド11に作用する推力（計測データ F ）をより高精度に把握することができる。
- [0107] また、第1実施形態では、上記のように、対応計測値 V_o を、現在角度 θ に対する1回転分過去の歪みセンサ22の計測値とする。これにより、1回転前の直近の対応計測値 V_o に基づいて誤差データ E_r を取得することができる。そのため、複数回転前の古い対応計測値を用いる場合と比べて、現在時点と対応計測値 V_o の取得時点との間での状況の変化（ジャッキ推力の変化や地山の状況の変化）の影響を小さくすることができる。その結果、回転に伴う計測誤差をより精度良く反映した誤差データ E_r を取得することができるので、回転に伴う計測誤差をより精度良く補正することができる。
- [0108] また、第1実施形態では、上記のように、過去の1回転分の複数の計測値を用いて算出した基準値 A_G と、現在計測値 V_p および対応計測値 V_o とを用いて、誤差データ E_r を算出するようにデータ処理装置23を構成する。これにより、過去の1回転分の計測値を用いることによって、回転に伴う計測誤差の周期性を十分に反映した基準値を得ることができる。そして、この基準値 A_G に対する現在の回転角度の計測値（現在計測値 V_p および対応計測値 V_o ）の相違を評価することで、容易に、回転に伴う計測誤差を反映した誤差データ E_r を取得することができる。
- [0109] また、第1実施形態では、上記のように、基準値 A_G を、現在角度 θ の直前の過去の1回転分にわたる歪みセンサ22の計測値の平均値とする。これ

により、たとえば基準値 A_G として中間値を採用する場合には、1 回転分の計測値の内の中間値となる特定の計測値しか考慮されないのに対して、1 回転分にわたる計測値の全てのデータを考慮することができる。その結果、回転角度毎の計測誤差をより反映した誤差データ E_r を取得することができる。

[0110] また、第 1 実施形態では、上記のように、現在計測値 V_p および対応計測値 V_o の平均値 A_{op} と、基準値 A_G との差分により、誤差データ E_r を算出するようにデータ処理装置 23 を構成する。これにより、現在計測値 V_p および対応計測値 V_o の平均値 A_{op} と基準値 A_G との時系列を合わせることができる。その結果、ジャッキ推力の変化などの回転中の影響を除外して、より精度のよい誤差データ E_r を算出することができる。

[0111] また、第 1 実施形態では、上記のように、カッタヘッド 11 の回転開始から 1 回転後の回転中に誤差データ E_r による計測データ F の補正を行い、カッタヘッド 11 の回転が所定の停止待機時間以上継続して停止した場合には、誤差データ E_r による計測データ F の補正を停止するようにデータ処理装置 23 を構成する。これにより、対応計測値 V_o を取得するのに必要な計測値が得られてから、誤差データ E_r による計測データ F の補正を行うことができる。また、カッタヘッド 11 の回転が停止した場合にも、現在の状況を反映しない時間的に古いデータを用いて誤差データ E_r を算出することを防止できる。また、停止待機時間経過後に補正を停止することにより、回転停止時に計測データ F の値が突然変化することを抑制することができる。

[0112] (実験結果の説明)

次に、図 11～図 15 を参照して、第 1 実施形態によるトンネル掘進機 1 に対して行った実証実験の結果について説明する。実証実験は、推進ジャッキ 21 のジャッキ推力からカッタヘッド 11 に作用するカッタ推力を正確に求めることができるように、トンネル掘進機 1 が地中に入っていない発進時に行い、トンネル掘進機 1 の自重による摩擦力は事前に計測して補正した。そして、並行して取得したカッタコラム 12 の歪み計測値と、ジャッキ推力から得られたカッタ推力とを比較した。

[0113] 図11は、推進ジャッキ21の推力から計算したカット推力の時間変化を示している。計測中、推進ジャッキ21のジャッキ推力を時間と共に変化させつつ、カットヘッド11の回転方向を正回転と逆回転とで切り替えた。図12は、4個所のカットコラム12に取り付けた歪みセンサ22から得られた計測値（センサ平均値 $G_{ave}(\theta)$ ）の時間変化である。

[0114] 図13は、図12の歪みセンサ22から得られた計測結果と、推進ジャッキ21の推力から計算したカット推力（図11参照）とを重ねて示したグラフである。誤差データ E_r を用いた補正は行っていない。図13から、推進ジャッキ21の推力から計算したカット推力に比べて、歪みセンサ22から得られた歪み計測値では、細かな変動が含まれていることが分かる。

[0115] 図14は、図12に示したカットコラム12の歪みの計測結果の横軸を、時間軸から回転角度（カットポジション）軸に置き換えた結果を示したグラフである。1本のプロット線が1回転分の計測値であり、複数回の回転によって複数本のプロット線が図示されている。各プロット線が縦軸方向にずれているのは、回転周期毎にジャッキ推力が異なるためである。それぞれのプロット線を比較すると、計測値には、回転角度毎の周期的な変動が共通して含まれていることが分かる。このことから、カットコラム12の歪みの計測値には、回転に伴う周期的な計測誤差が含まれていることが分かる。

[0116] 図15は、図12の歪み計測結果について、上式（6）の右辺で誤差データ E_r を用いて補正を行った歪み計測値（ $G_{ave}(\theta) - E_r(\theta)$ ）と、推進ジャッキ21の推力から計算したカット推力（図11参照）とを重ねて示したグラフである。図13に示した補正前の歪み計測値（センサ平均値 $G_{ave}(\theta)$ ）と比較して、誤差データ E_r による補正後の歪み計測値は、周期的な変動が除去され、推進ジャッキ21の推力から計算したカット推力の計測結果と精度良く一致していることが分かる。

[0117] 以上により、第1実施形態によれば、誤差データ E_r を用いて補正を行うことにより、カットヘッド11の回転に伴う計測誤差を抑制して、カットヘッド11に作用するカット推力をより高精度に把握できることが確認された。

[0118] [第2実施形態]

次に、本発明の第2実施形態による誤差データ E_r の算出方法について説明する。第2実施形態では、上式(6)により誤差データ E_r を算出する例を示した上記第1実施形態とは異なる、誤差データ E_r の他の算出例について説明する。なお、第2実施形態において、誤差データ E_r の算出方法以外については、上記第1実施形態と同様であるので、説明を省略する。

[0119] (誤差データの算出方法)

第2実施形態では、誤差データ E_r は、下式(8)によって算出される。

$$E_r(\theta) = m \times E_r(\theta_{old}) + (1 - m) \times \left[\{G_{ave}(\theta - 1) + G_{ave}(\theta + 1)\} / 2 - AG \right]$$

(ただし、 $\theta = 0$ のとき $\theta - 1 = 359$ 、 $\theta = 359$ のとき $\theta + 1 = 0$)

・・・(8)

m は、前回算出時の(現在最新の値として記録されている)誤差データ E_r の重み係数であり、 $0 < m < 1$ の範囲で実際の使用状況に応じて適切な値が設定される。

[0120] 上式(8)では、今回算出される誤差 $\{G_{ave}(\theta - 1) + G_{ave}(\theta + 1)\} / 2 - AG$ に加えて、前回算出された誤差値 $E_r(\theta_{old})$ を加味して、それぞれに重み付けをしている。なお、この場合、図9のフローにおいて、ステップS29とステップS30とを入れ替え、誤差データ E_r を算出してから前回角度 θ_{old} を更新すればよい。

[0121] (第2実施形態の効果)

第2実施形態においても、上記第1実施形態と同様、現在計測値 V_p と対応計測値 V_o とに基づいて算出した誤差データ E_r を用いて、現在の計測データ F を補正することによって、回転に伴う計測誤差を抑制して、カッタヘッド11に作用する推力(計測データ F)をより高精度に把握することができる。

[0122] また、第2実施形態では、上記のように、現在角度 θ において算出される誤差に、前回算出された誤差データ($E_r(\theta_{old})$)を加味して誤差データ E_r

を算出する。これにより、算出される誤差データ E_r に時間的な遅れを持たせ、ノイズなどにより歪みセンサ22の歪み計測値に異常値が生じた場合などに、計測データFの急激な変化を緩和することができる。

[0123] なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更（変形例）が含まれる。

[0124] たとえば、上記第1および第2実施形態では、中間支持方式のトンネル掘進機の例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明のトンネル掘進機を、上記の支持方式以外の、外周支持方式、中央支持方式および偏心多軸支持方式などの各種の支持方式のトンネル掘進機に適用してもよい。

[0125] また、上記第1および第2実施形態では、トンネル掘進機1のカッタコラム12に歪みセンサ22を取り付ける例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、カッタコラム以外に歪みセンサを取り付けてもよい。

[0126] たとえば、図16に示す第1変形例は、カッタヘッド11の支持方式としてセンターシャフト支持方式を採用した例を示している。第1変形例によるトンネル掘進機1aは、カッタヘッド11を支持し、かつ、カッタヘッド11と共に回転するセンターシャフト112を備える。歪みセンサ22は、中空円筒状のセンターシャフト112の内部に取り付けられる。センターシャフト112の歪みセンサ22の歪み計測値から、カッタ推力の計測データFが算出される。なお、センターシャフト112は、本発明の「カッタ支持部」の一例である。

[0127] 図17に示す第2変形例では、センターシャフト支持方式のトンネル掘進機1aにおいて、歪みセンサ22は、カッタヘッド11の一部であるスポーク部11bに設置されている。スポーク部11bは、中空の角筒形状を有している。歪みセンサ22は、スポーク部11bの内側面に設けられている。スポーク部11bの歪みセンサ22の歪み計測値から、カッタ推力の計測データFが算出される。

- [0128] なお、第1変形例と第2変形例とを組み合わせ、センターシャフト112とスポーク部11bとにそれぞれ歪みセンサを設けてもよい。歪みセンサ22は、カッタヘッド、および、カッタヘッドと一体回転するカッタ支持部のいずれか一方または両方において、カッタ推力を算出可能な歪みを計測できる部位に設けられればよく、歪みセンサ22は、カッタヘッドおよびカッタ支持部のどの部位に設置されてもよい。
- [0129] また、上記第1および第2実施形態では、回転方向によらない統一的な取り扱いを可能にするために、「計測値($\theta + 1$)」と「計測値($\theta - 1$)」との一方を現在計測値 V_p とみなし、他方を対応計測値 V_o とみなして誤差データ E_r を算出する例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、現在計測値 V_p として、現在角度 θ における計測値そのものを用い、対応計測値 V_o として、現在角度 θ の1回転前における計測値を用いてもよい。
- [0130] その場合、回転方向に応じてデータの参照先を切り替え、正回転時には、現在計測値 $V_p = \text{計測値}(\theta)$ 、対応計測値 $V_o = \text{計測値}(\theta + 1)$ を参照する。そして、逆回転時には、現在計測値 $V_p = \text{計測値}(\theta)$ 、対応計測値 $V_o = \text{計測値}(\theta - 1)$ を参照する。
- [0131] また、上記第1実施形態では、エンコーダ20が旋回台13の回転角度を検出する例を示したが、本発明はこれに限られない。本発明では、エンコーダがたとえばカッタ駆動部の出力軸の回転角度を検出してもよい。エンコーダは、カッタヘッドの回転角度が検出できればよく、トンネル掘進機のどの部位の回転角度を検出するものでもよい。

符号の説明

- [0132] 1、1a トンネル掘進機
- 11 カッタヘッド
- 12 カッタコラム（カッタ支持部）
- 14 カッタ駆動部
- 20 ロータリーエンコーダ（回転角度検出部）
- 22 歪みセンサ

2 3 データ処理装置（データ処理部）

1 1 2 センターシャフト（カッタ支持部）

θ 現在角度

A_{op} 現在計測値および対応計測値の平均値

A_G 基準値

E_r 誤差データ

F 計測データ

V_o 対応計測値

V_p 現在計測値

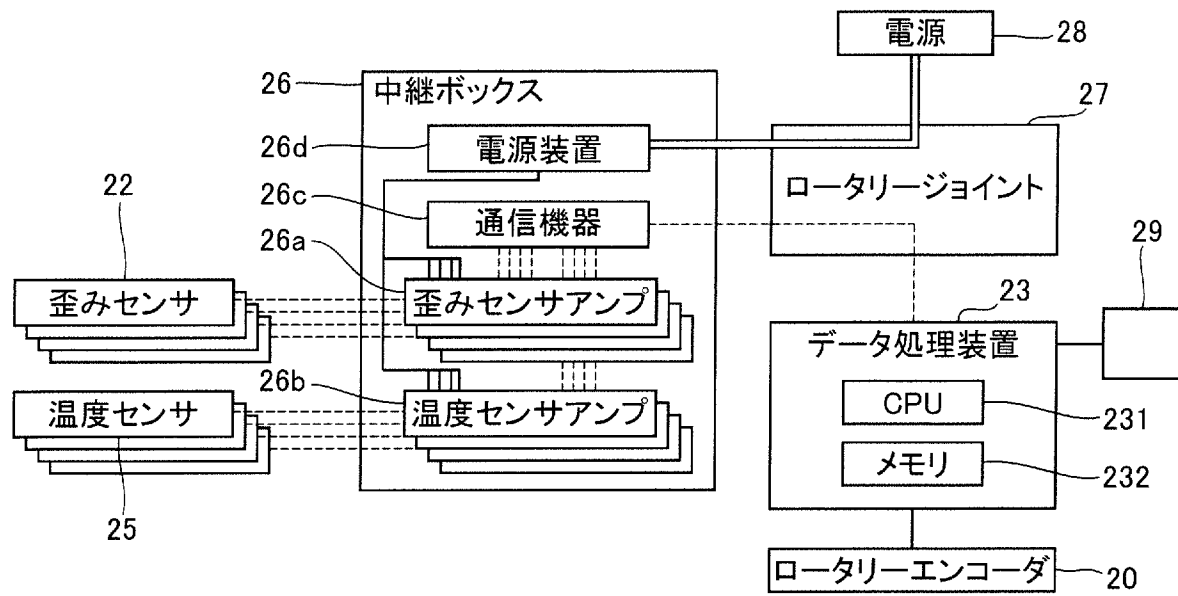
請求の範囲

- [請求項1] カッタヘッド（11）と、
 前記カッタヘッドを支持し、かつ、前記カッタヘッドと共に回転するカッタ支持部（12）と、
 前記カッタヘッドおよび前記カッタ支持部を回転駆動するカッタ駆動部（14）と、
 前記カッタヘッドの回転角度を検出する回転角度検出部（20）と、
 、
 前記カッタヘッドまたは前記カッタ支持部に設けられた歪みセンサ（22）と、
 前記歪みセンサの計測結果に基づき、前記カッタヘッドに作用する力の計測データ（F）を取得するデータ処理部（23）とを備え、
 前記データ処理部は、前記カッタヘッドの現在角度（ θ ）において取得した前記歪みセンサの現在計測値（ V_p ）と、現在角度に対応する回転角度において取得された過去の対応計測値（ V_o ）とに基づいて誤差データ（ E_r ）を取得し、前記誤差データを用いて、現在の前記計測データを補正するように構成されている、トンネル掘進機。
- [請求項2] 前記対応計測値は、現在角度に対する1回転分過去の前記歪みセンサの計測値である、請求項1に記載のトンネル掘進機。
- [請求項3] 前記データ処理部は、少なくとも過去の1回転分の複数の前記歪みセンサの計測値を用いて算出した基準値（AG）と、前記現在計測値および前記対応計測値とを用いて、前記誤差データを算出するように構成されている、請求項1に記載のトンネル掘進機。
- [請求項4] 前記基準値は、前記現在角度の直前の過去の1回転分にわたる前記歪みセンサの計測値の平均値である、請求項3に記載のトンネル掘進機。
- [請求項5] 前記データ処理部は、前記現在計測値および前記対応計測値の平均値（ A_{OP} ）と、前記基準値との差分により、前記誤差データを算出

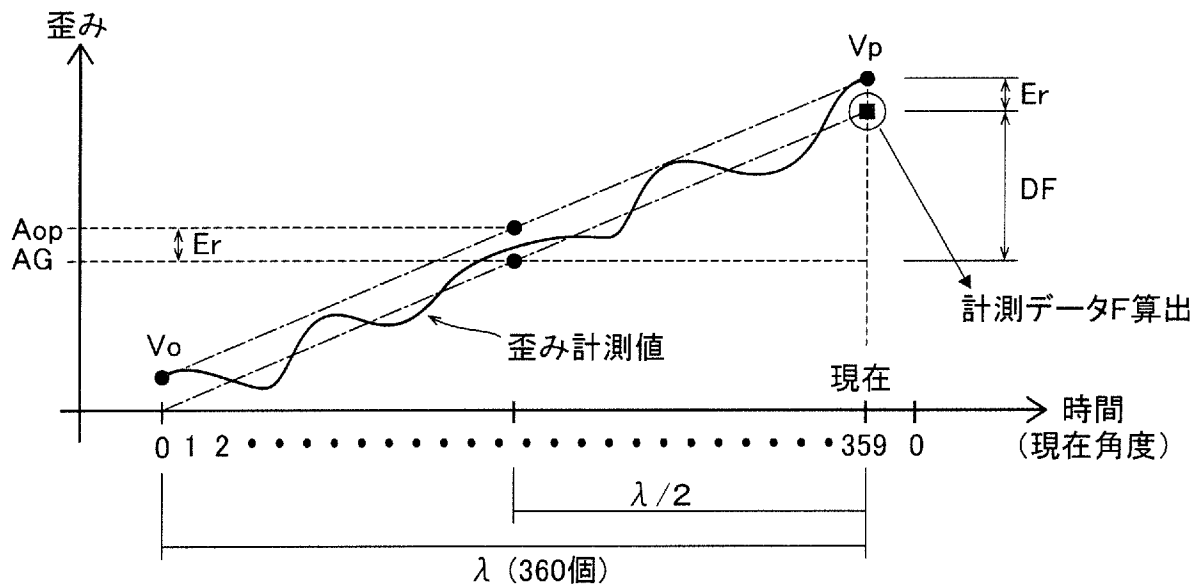
するように構成されている、請求項 3 に記載のトンネル掘進機。

[請求項 6] 前記データ処理部は、前記カッタヘッドの回転開始から少なくとも 1 回転後の回転中に前記誤差データによる前記計測データの補正を行い、前記カッタヘッドの回転が所定時間以上継続して停止した場合には、前記誤差データによる前記計測データの補正を停止するように構成されている、請求項 1 に記載のトンネル掘進機。

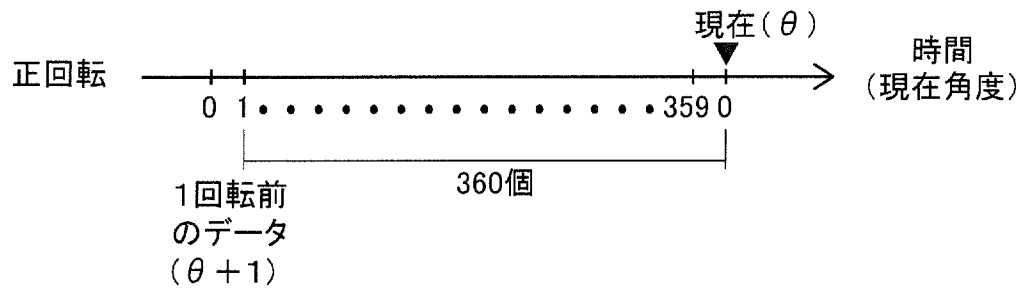
[図3]



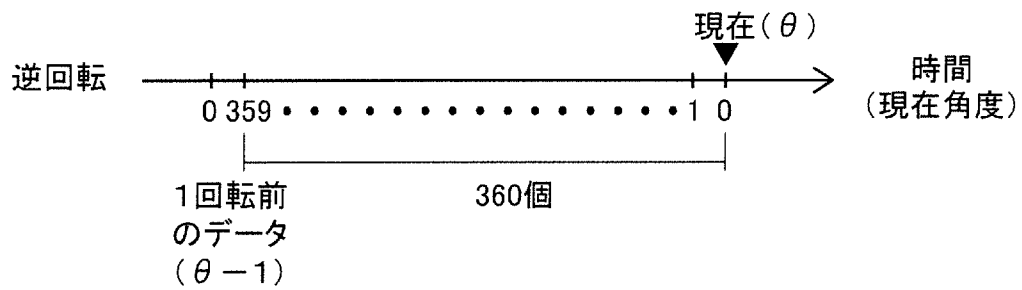
[図4]



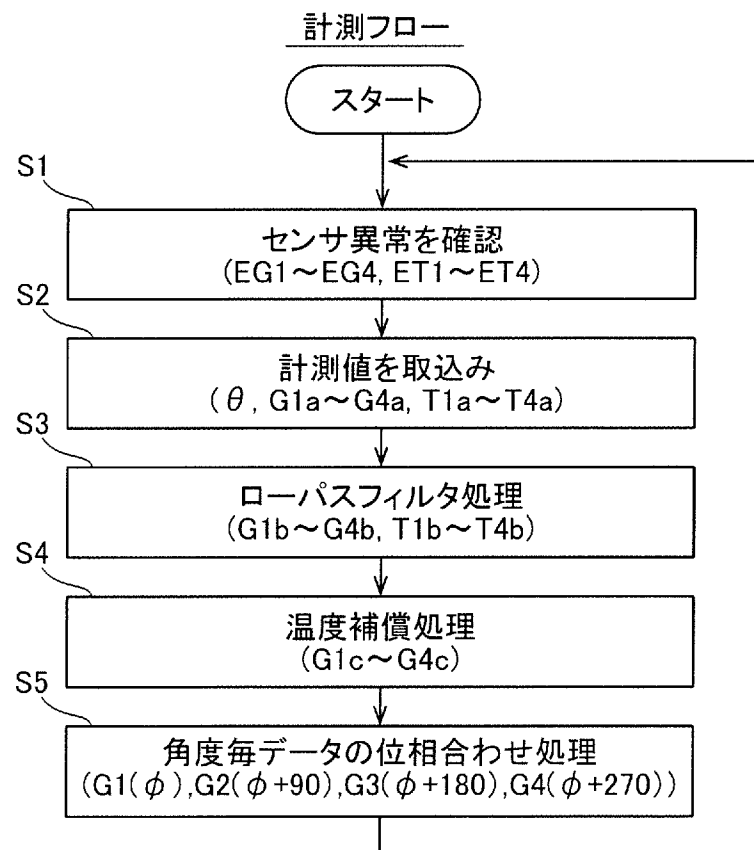
[図5]



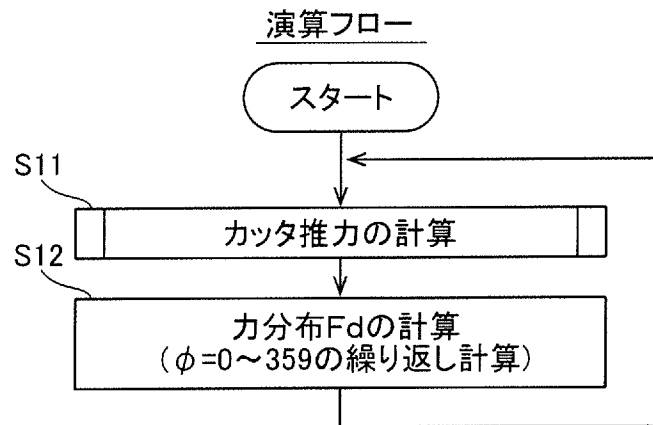
[図6]



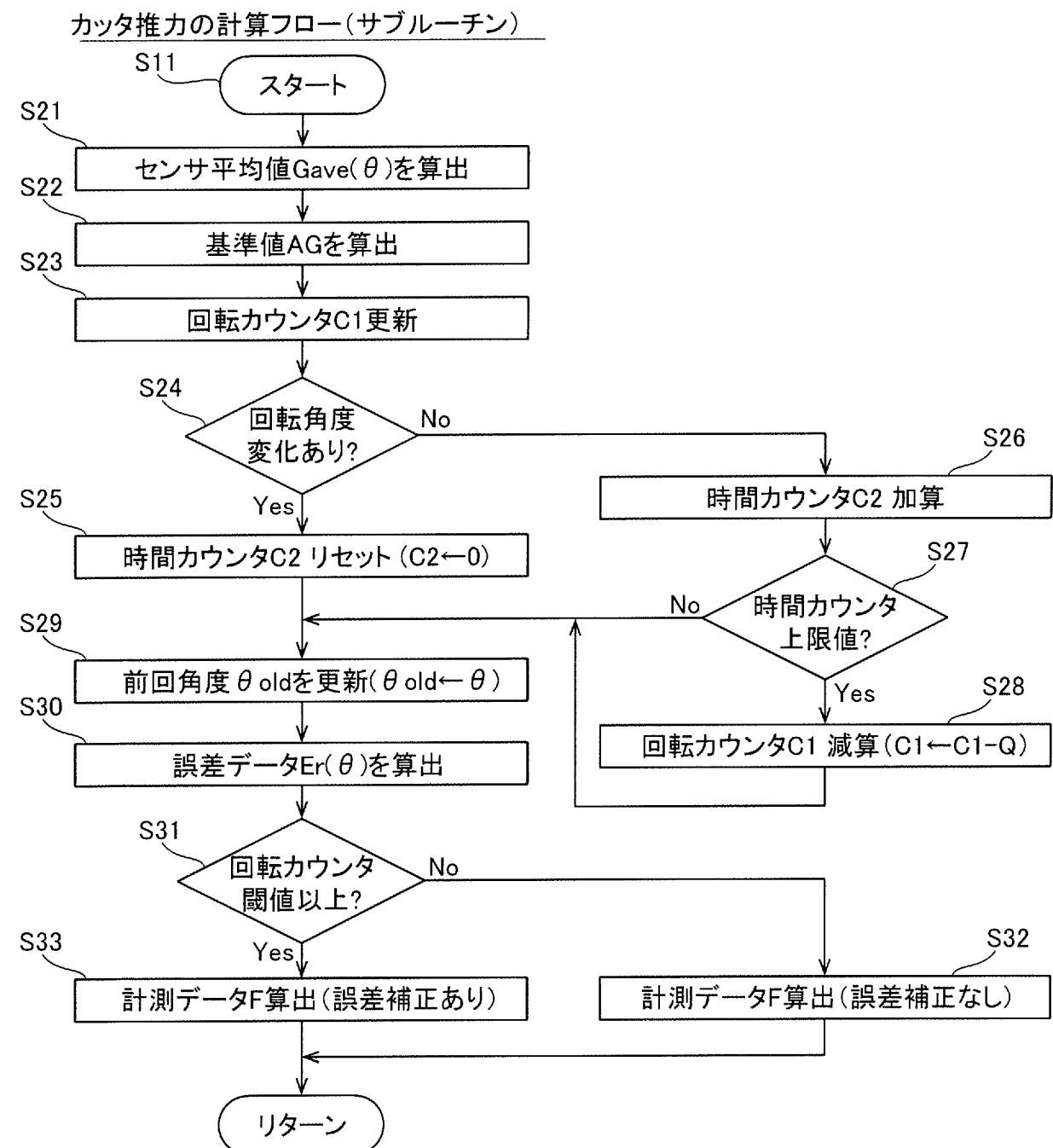
[図7]



[図8]



[図9]

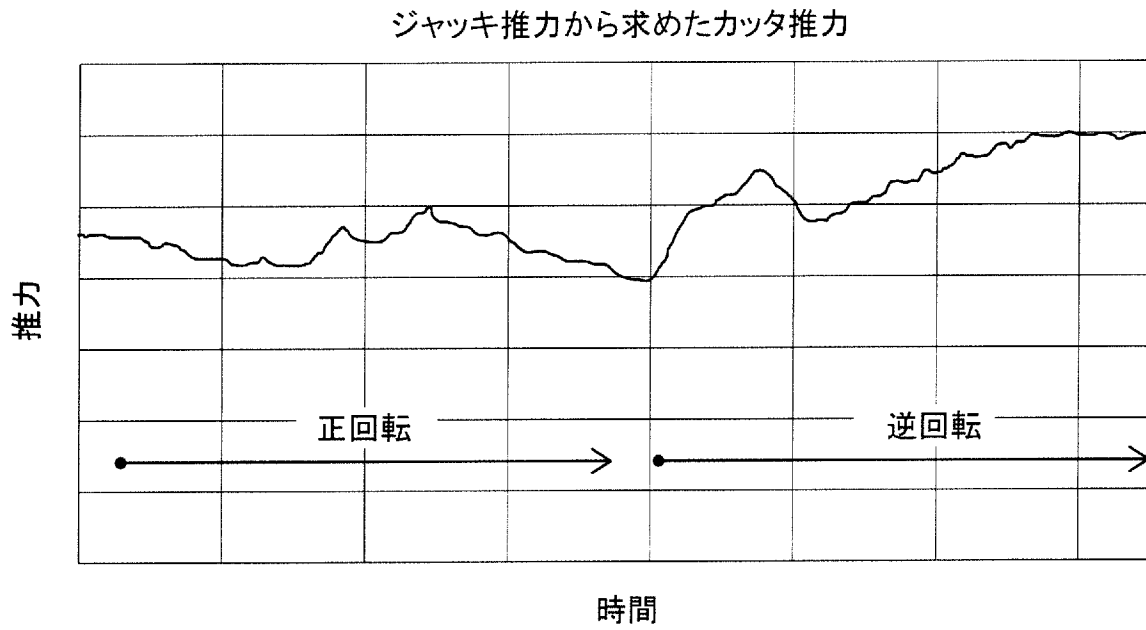


[図10]

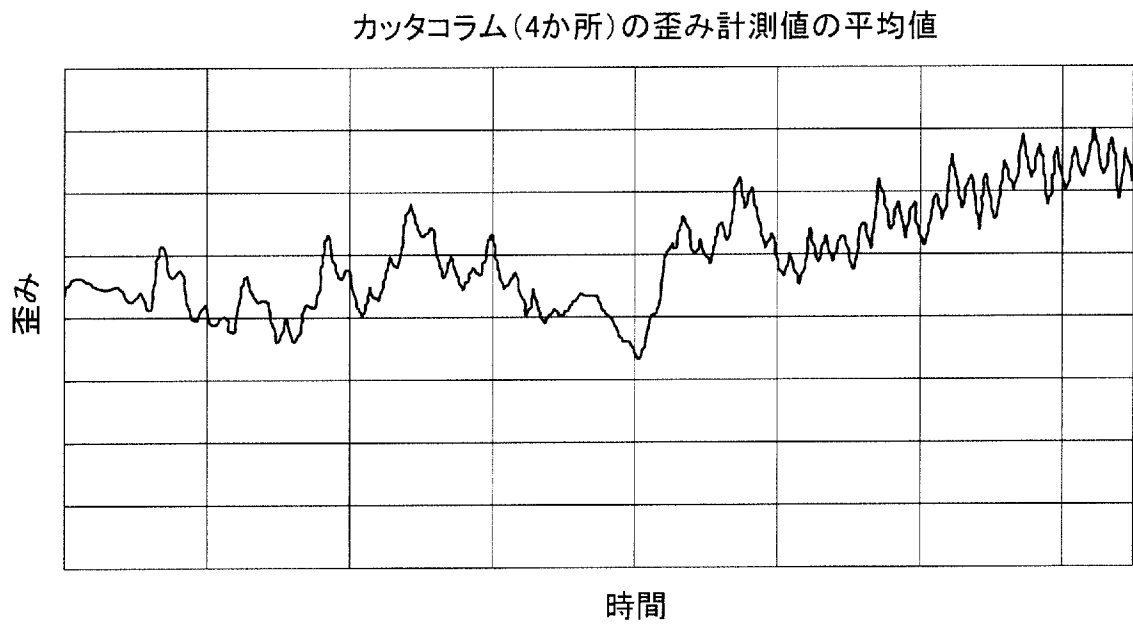
データ処理装置の処理動作例(カッタ推力の計測データ算出)

	時刻(秒)	θ	C1	C2	カッタ推力(その他)
	0	0	0	0	
回転中 ($ \theta_{old} - \theta > 0$)	1	1	1	0	$F = K \times \text{Gave}(\theta)$: 補正なし
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	360	0	360	0	$F = K \times \{\text{Gave}(\theta) - \text{Er}(\theta)\}$: 補正あり
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	720	0	720	0	C1上限(720)
	721	1	720	0	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
角度変化なし ($ \theta_{old} - \theta = 0$)	T0	N	720	0	
	T1	N	720	1	C2カウントアップ
	T2	N	720	2	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
	T9	N	720	9	
回転停止判定	T10	N	660	10	C2上限(10), C1減算(-60)
	U1	N	600	10	
	U2	N	540	10	
	U3	N	480	10	
	U4	N	420	10	
	U5	N	360	10	
停止待機時間経過	U6	N	300	10	
	U7	N	240	10	
	U8	N	180	10	$F = K \times \text{Gave}(\theta)$: 補正なし
	U9	N	120	10	
	U10	N	60	10	
	U11	N	0	10	
	U12	N	0	10	C1=0 (C1<0)
	U13	N	0	10	
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
回転中	V1	N+1	1	0	C2=0

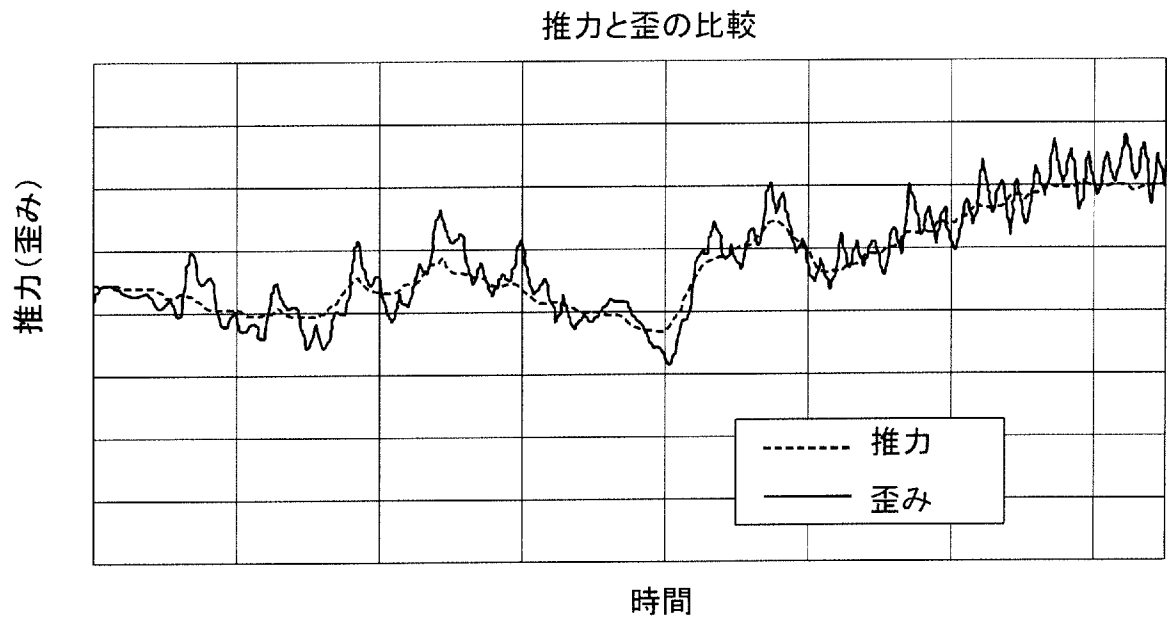
[図11]



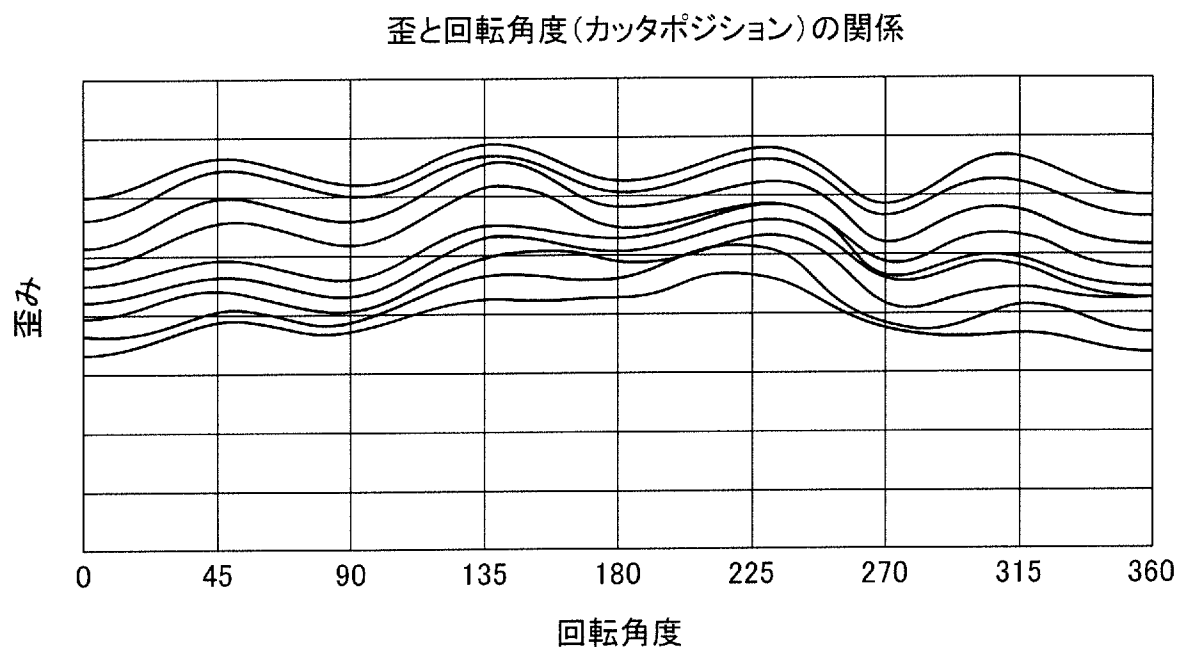
[図12]



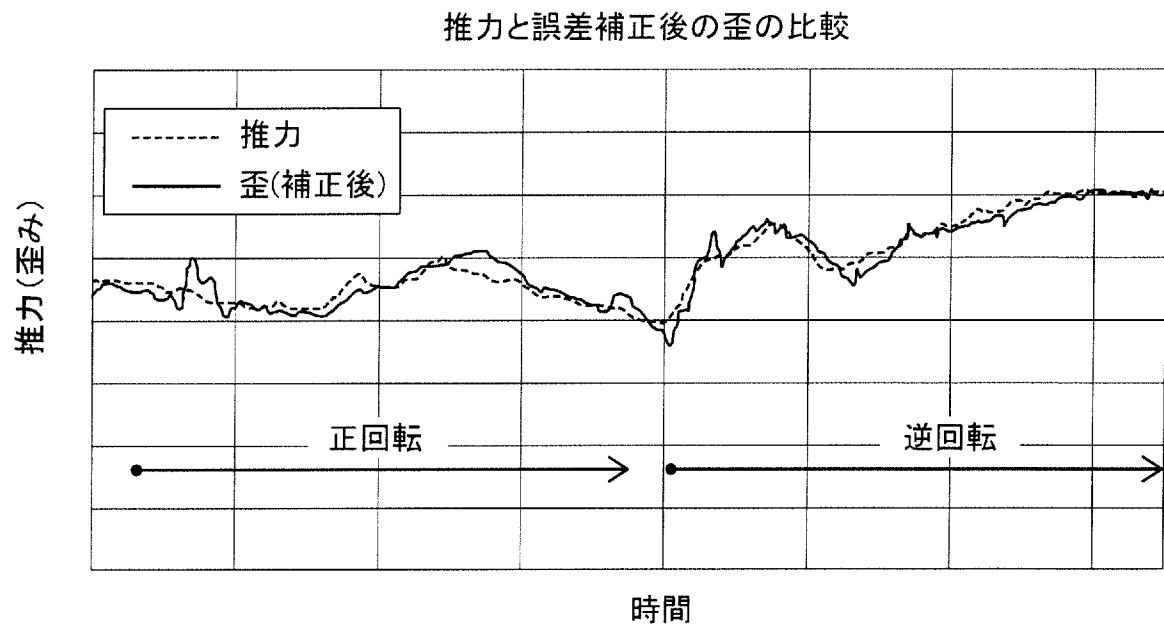
[図13]



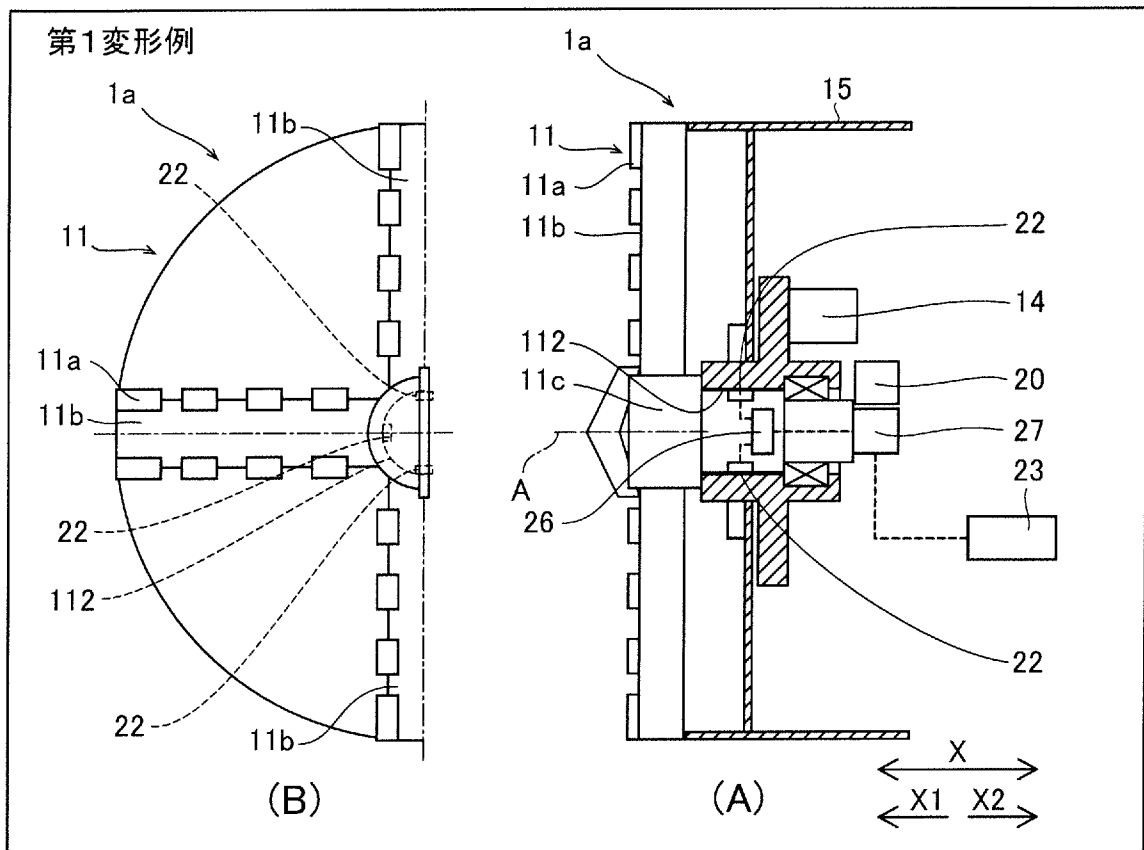
[図14]



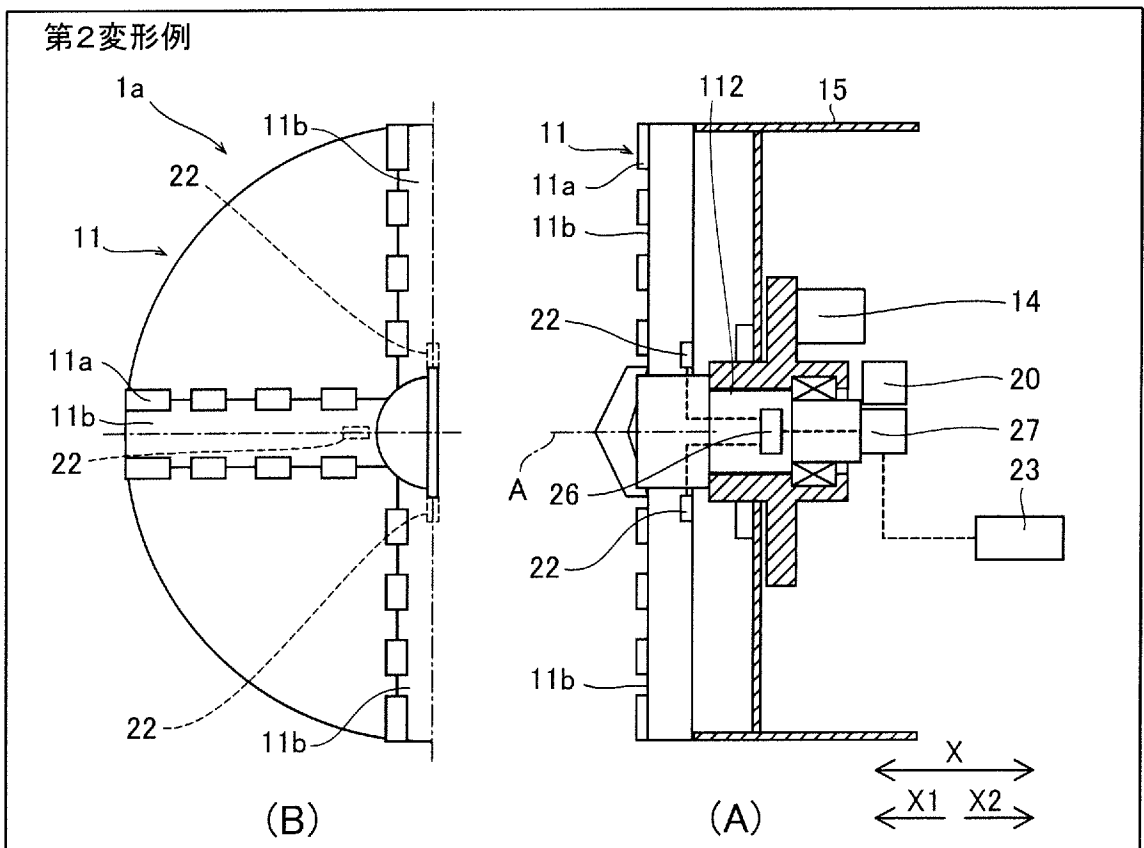
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/051591

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21D9/11(2006.01)i, E21D9/087(2006.01)i, E21D9/093(2006.01)i, G01L5/12(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)

E21D1/00-9/14, G01L5/00-5/28

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 2009-221802 A (Kajima Corp.), 01 October 2009 (01.10.2009), entire text (Family: none)	1-6
A	JP 62-211492 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 17 September 1987 (17.09.1987), entire text (Family: none)	1-6
A	JP 11-101091 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 13 April 1999 (13.04.1999), entire text (Family: none)	1-6

☒ 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
10 February 2016 (10.02.16)

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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/051591

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-4772 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 09 January 2002 (09.01.2002), entire text (Family: none)	1-6
A	US 4079795 A (Wilfried Sackmann), 21 March 1978 (21.03.1978), entire text & DE 2503340 A1 & ZA 7600398 A	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. E21D9/11(2006.01)i, E21D9/087(2006.01)i, E21D9/093(2006.01)i, G01L5/12(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. E21D1/00-9/14, G01L5/00-5/28

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

国際調査で使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 2009-221802 A（鹿島建設株式会社） 2009.10.01, 全文（ファミリーなし）	1-6
A	JP 62-211492 A（石川島播磨重工業株式会社） 1987.09.17, 全文（ファミリーなし）	1-6
A	JP 11-101091 A（三菱重工業株式会社） 1999.04.13, 全文（ファミリーなし）	1-6

☒ 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	「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
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

10.02.2016

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）

越柴 洋哉

2D

4462

電話番号 03-3581-1101 内線 3241

C (続き) . 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 2002-4772 A (石川島播磨重工業株式会社) 2002.01.09, 全文 (ファミリーなし)	1-6
A	US 4079795 A (Wilfried Sackmann) 1978.03.21, 全文 & DE 2503340 A1 & ZA 7600398 A	1-6