

(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



(10) 国際公開番号

WO 2012/053353 A1

PCT

(43) 国際公開日
2012 年 4 月 26 日(26.04.2012)

- (51) 国際特許分類:
B23Q 15/18 (2006.01) G05B 19/404 (2006.01)
B23Q 17/00 (2006.01) G05D 3/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/072918
- (22) 国際出願日: 2011 年 10 月 5 日(05.10.2011)
- (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 2010-236424 2010 年 10 月 21 日(21.10.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 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 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山本 英明(YAMAMOTO Hideaki) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 光石俊郎, 外(MITSUISHI Toshiro et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂一丁目 9 番 1 5 号 光石法律特許事務所 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, 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, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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,

[続葉有]

(54) Title: SYSTEM FOR CORRECTING THERMAL DISPLACEMENT OF MACHINE TOOL

(54) 発明の名称: 工作機械の熱変位補正システム

[図1]

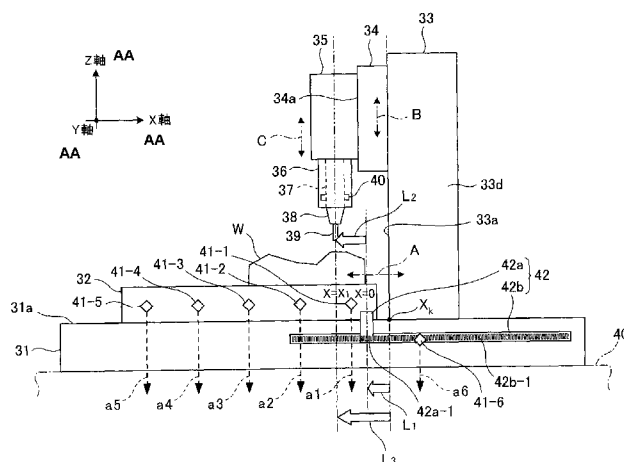


FIG. 1:
AA X axis, Y axis, Z axis

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a system for correcting thermal displacement of a machine tool, said system being capable of evaluating the amount of thermal displacement with a column front face serving as a reference position, and being capable of performing thermal displacement correction with good precision even when the amount of thermal displacement of a table is not uniform. For this purpose, the system is provided with, for example: a position detector temperature sensor (41-6); table temperature sensors (41-1 to 41-5); and a displacement correction device. The displacement correction device comprises: a temperature data input section for inputting temperature data (a6); a thermal displacement amount calculation section for calculating the amount of thermal displacement of the position detector on the basis of the temperature data (a6); a temperature data input section for inputting temperature data (a1 to a5); a thermal displacement amount calculation section for calculating, on the basis of the temperature data (a1 to a5), the amount of thermal displacement of the table correspond-

ing to a temperature distribution in the X axis direction; a thermal displacement amount calculation section for calculating the amount of thermal displacement of the table system with the column front face serving as the reference position, said calculation being performed on the basis of the amount of thermal displacement of the table and the amount of thermal displacement of the position detector; and an X axis correction amount output section for outputting an X axis correction amount on the basis of the amount of thermal displacement of the table system.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/053353 A1



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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明はコラム前面を基準位置として熱変位量を評価し、且つ、テーブルの熱変位量が不均一であっても精度のよい熱変位補正を行うことなどが可能な工作機械の熱変位補正システムを提供することを目的とする。そのため、例えば、位置検出器温度センサ(41-6)と、テーブル温度センサ(41-1～41-5)と、温度データ(a6)を入力する温度データ入力部、温度データ(a6)に基づいて位置検出器の熱変位量を算出する熱変位量算出部、温度データ(a1～a5)を入力する温度データ入力部、温度データ(a1～a5)に基づいてX軸方向の温度分布に応じたテーブルの熱変位量を算出する熱変位量算出部、前記位置検出器の熱変位量と前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出する熱変位量算出部、前記テーブル系統の熱変位量に基づいてX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部を有する変位補正装置とを備えた構成とする。

明 細 書

発明の名称： 工作機械の熱変位補正システム

技術分野

[0001] 本発明は工作機械の熱変位補正システムに関するものである。

背景技術

[0002] 一般的に工作機械などの制御系では、図 1 2 に示すような機械端の位置情報を位置検出器 1 で検出して位置フィードバックとして使用するフルクローズドループのフィードバック制御系を採用しているが、機械内に有する主軸やサーボモータ 2 などの熱源及び外気温度の変化によって機械変位が発生するため、各移動軸の位置決め精度や 3 次元空間における位置決め精度などの静的精度は悪化する。なお、機械変位は単に熱変位によるものだけでなく、機械の自重によるたわみなどによっても発生する。

更に、工作機械などの制御系として図 1 3 に示すようなセミクローズドループのフィードバック制御系を採用した場合には、パルスコーダ 3 で検出するサーボモータ 2 の回転位置を位置フィードバックとして使用しているため、静的精度は更に悪化する傾向となる。このような機械変位はロボットなどの制御においても同様に発生する。

[0003] 上記のような機械変位による静的精度の悪化、特に熱などに起因して発生する機械変位による静的精度悪化は加工誤差増大の大きな要因の一つであり、現在でもなお大きな問題であるが、熱に起因して発生する機械変位による静的精度悪化の対策としては、従来より、図 1 4 及び図 1 5 に示すような温度センサによる熱変位補正システムなどが提案されている。

[0004] 詳細な説明は省略するが、図 1 4 は立形マシニングセンタの熱変位補正システム（熱変位補正機能）であり、この熱変位補正システムでは温度センサ 1 1 を機械の各部（コラム 1 2、サドル 1 3、ヘッド 1 4、テーブル 1 6、ワーク W、ベッド 1 8）に埋め込み、これらの温度センサ 1 1 によって計測した温度データを基にして機械の熱変位量を簡易的な算術式を用いて推測し

、その変位量だけ機械座標などをシフトさせることにより機械変位量を補償する。なお、図13中の15は主軸である。

図15は門形マシニングセンタの熱変位補正システム（熱変位補正機能）であり、この熱変位補正システムでは温度センサ21を機械の各部（コラム22、クロスレール23、サドル24、主軸27、テーブル26、ワークW、ベッド28）に埋め込み、これらの温度センサ21によって計測した温度データを基にして機械の熱変位量を簡易的な算術式を用いて推測し、その変位量だけ機械座標などをシフトさせることにより機械変位量を補償する。なお、図9中の25はラムである。

なお、これらに関連する先行技術文献としては、下記の特許文献1～5がある。

[0005] 一方で、工作機械の熱変位は熱源がある主軸やコラムなどの機械構造物だけでなく、テーブルにおいても発生する。そのため、テーブルの熱変位対策として、下記の特許文献6ではテーブルの熱変位を考慮した工作機械の熱変位補正方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平10-6183号公報

特許文献2：特開2006-281420号公報

特許文献3：特開2006-15461号公報

特許文献4：特開2007-15094号公報

特許文献5：特開2008-183653号公報

特許文献6：特許第4359573号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上記特許文献6で提案されている工作機械の熱変位補正方法には、次のような問題点がある。

[0008] (1) 特許文献6の方法ではテーブルの温度は均一としているが、大形の工作機械では特にテーブルの大きさが大きくテーブル全体が必ずしも均一な温度になることはなく、そのため熱変位量もテーブルの各部位によって異なる（テーブルには熱源は特にないため、テーブルは外気温度の変化や加工で使用するクーラントなどの影響を受けて熱変位することがほとんどである）。

(2) 特許文献6の方法ではテーブル上のワークの固定位置を規定しているが、このようにワークの固定位置を規定することは、小さなワークに対しては可能であるが、大形の工作機械のワークに対しては難しい。つまり、変形するワークを基準位置として規定する方法では現実的でない。

(3) 特許文献6の方法では熱変位の基準位置を工具中心位置としているが、実際にはコラム前面を基準位置として、次の2系統の熱変位が存在する。これに対して特許文献6の方法では、1系統側の熱変位のみを議論しており、基準位置もコラム前面とは異なる。

テーブル系統の熱変位：コラム⇒位置検出器⇒テーブル（⇒ワーク）

主軸系統の熱変位：コラム⇒クロスレール⇒サドル⇒主軸⇒（アタッチメント⇒）工具

[0009] 従って本発明は上記の事情に鑑み、コラム前面を基準位置として熱変位量进行评估し、且つ、テーブルに温度分布が生じてテーブルの熱変位量が不均一であっても精度のよい熱変位補正を行うことができ、更には、テーブル系統だけでなく主軸系統の変位も考慮した総合的な精度のよい変位補正を行うことができる工作機械の熱変位補正システムを提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上記課題を解決する第1発明の工作機械の熱変位補正システムは、工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主軸ベアリングなど）と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱

変位補正システムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データ
を出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各
部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度
データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度デー
タに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出
部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度
データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度デー
タに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テー
ブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位
量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算
出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいて前記コラムの前面を基
準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出
部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱
変位量に基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補
正量出力部とを有する変位補正装置と、
を備えたことを特徴とする。

[0011] また、第2発明の工作機械の熱変位補正システムは、工具が装着された主
軸と、コラムと、前記主轴と前記コラムとの間に介設された主轴系統の支持
部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主轴ベアリングなど）と、前記
コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルの
X軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正シ
ステムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データ
を出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各

部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置と、
を備えたことを特徴とする。

[0012] また、第3発明の工作機械の熱変位補正システムは、工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主軸ベアリングなど）と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データ

を出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、

前記コラムの前面側及び後面側に設置され、前記コラムの前面側及び後面側の温度を検出して温度データを出力するコラム温度センサと、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記コラム温度センサから前記温度データを入力するコラム温度データ入力部と、前記コラム温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記コラムの傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部と、前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量と前記コラム傾斜変位量算出部で算出された前記コラムの傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出する主軸系統変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統変位量算出部で算出された前記主軸系統の変位量とに基づいてX軸の補正量を

求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置と、

を備えたことを特徴とする。

[0013] また、第4発明の工作機械の熱変位補正システムは、第3発明の工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記主軸系統温度データ入力部では、前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサから前記温度データを入力し、前記主軸系統熱変位量算出部では、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサの温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出することを特徴とする。

[0014] また、第5発明の工作機械の熱変位補正システムは、工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主軸ベアリングなど）と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、

前記コラムに設置され、前記コラムの傾斜角度を検出して傾斜データを出力する水準器と、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度

データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記水準器から前記傾斜データを入力するコラム傾斜データ入力部と、前記コラム傾斜データ入力部で入力した前記傾斜データに基づいて前記コラムの傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部と、前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量と前記コラム傾斜変位量算出部で算出された前記コラムの傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出する主軸系統変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統変位量算出部で算出された前記主軸系統の変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置と、を備えたことを特徴とする。

[0015] また、第6発明の工作機械の熱変位補正システムは、第5発明の工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記コラムに設置され、前記コラムの温度を検出して温度データを出力するコラム温度センサを有し、

前記主軸系統温度データ入力部では、前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサから前記温度データを入力し、前記主軸系統熱変位量算出部では、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサの温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出することを特徴とする。

発明の効果

- [0016] 第1発明の工作機械の熱変位補正システムによれば、工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主軸ベアリングなど）と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、前記位置検出器温度センサから前記温度データをを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データをを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいて前記コラムの前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量に基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置とを備えたことを特徴としているため、コラム前面を基準位置としたテーブル系統（コラム⇒位置検出器⇒テーブル）の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブルに温度分布が生じてテーブルの熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。
- [0017] 第2発明の工作機械の熱変位補正システムによれば、工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持

部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主軸ベアリングなど）と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置とを備えたことを特徴としているため、コラム前面を基準位置としたテーブル系統（コラム⇒位置検出器⇒テーブル）の熱変位量と主軸系統（コラム⇒主軸系統の支持部材⇒主軸）の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブルに温度

分布が生じてテーブルの熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。更には、テーブル系統の熱変位量と主軸系統の熱変位量とを総合的に捉えた工作機械全体の熱変位モデルを実現することができ、より精度の良い変位補正システムとなる。

[0018] 第3発明の工作機械の熱変位補正システムによれば、工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主軸ベアリングなど）と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、前記コラムの前面側及び後面側に設置され、前記コラムの前面側及び後面側の温度を検出して温度データを出力するコラム温度センサと、前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データ

に基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記コラム温度センサから前記温度データを入力するコラム温度データ入力部と、前記コラム温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記コラムの傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部と、前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量と前記コラム傾斜変位量算出部で算出された前記コラムの傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出する主軸系統変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統変位量算出部で算出された前記主軸系統の変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を入力するX軸補正量入力部とを有する変位補正装置とを備えたことを特徴としているため、コラム前面を基準位置としたテーブル系統（コラム⇒位置検出器⇒テーブル）の熱変位量と主軸系統（コラム⇒主軸系統の支持部材⇒主軸）の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブルに温度分布が生じてテーブルの熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。また、テーブル系統の熱変位量と主軸系統の熱変位量とを総合的に捉えた工作機械全体の熱変位モデルを実現することができ、より精度の良い変位補正システムとなる。更には、テーブル系統及び主軸系統の熱変位量だけでなく、コラムの傾斜変位量も考慮することにより、更に精度の良い変位補正が可能になる。

[0019] 第4発明の工作機械の熱変位補正システムによれば、第3発明の工作機械の熱変位補正システムにおいて、前記主軸系統温度データ入力部では、前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサから前記温度データを入力し、前記主軸系統熱変位量算出部では、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサの温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出することを特徴としているため、コラムの温度データも考慮した主軸系統の熱変位量を評価することにより、より精度の良い変位補正が可能になる。

[0020] 第5発明の工作機械の熱変位補正システムによれば、工具が装着された主

軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材（例えばクロスレール、サドル、ラム、主軸ベアリングなど）と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、前記コラムに設置され、前記コラムの傾斜角度を検出して傾斜データを出力する水準器と、前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記水準器から前記傾斜データを入力するコラム傾斜データ入力部と、前記コラム傾斜データ入力部で入力した前記傾斜データに基づいて前記コラムの傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部と、前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量と前記コラム傾斜変位量算出部で算出された前記コラム

の傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出する主軸系統変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統変位量算出部で算出された前記主軸系統の変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置とを備えたことを特徴としているため、コラム前面を基準位置としたテーブル系統（コラム⇒位置検出器⇒テーブル）の熱変位量と主軸系統（コラム⇒主軸系統の支持部材⇒主軸）の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブルに温度分布が生じてテーブルの熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。また、テーブル系統の熱変位量と主軸系統の熱変位量とを総合的に捉えた工作機械全体の熱変位モデルを実現することができ、より精度の良い変位補正システムとなる。更には、テーブル系統及び主軸系統の熱変位量だけでなく、コラムの傾斜変位量も考慮することにより、更に精度の良い変位補正が可能になる。

[0021] 第6発明の工作機械の熱変位補正システムによれば、第5発明の工作機械の熱変位補正システムにおいて、前記コラムに設置され、前記コラムの温度を検出して温度データを出力するコラム温度センサを有し、前記主軸系統温度データ入力部では、前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサから前記温度データを入力し、前記主軸系統熱変位量算出部では、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサの温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出することを特徴としているため、コラムの温度データも考慮した主軸系統の熱変位量を評価することにより、より精度の良い変位補正が可能になる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]本発明の実施の形態例1に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、温度センサの配置を示す工作機械の側面図である。

[図2]本発明の実施の形態例1に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、変位補正装置側の構成を示すブロック図である。

[図3] (a) はテーブルの温度分布を示す図、(b) は単位長さ当たりのテーブル熱変位量の分布を示す図である。

[図4] 本発明の実施の形態例 2 に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、温度センサの配置を示す工作機械の側面図である。

[図5] 本発明の実施の形態例 2 に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、変位補正装置側の構成を示すブロック図である。

[図6] 本発明の実施の形態例 3 に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、温度センサの配置を示す工作機械の側面図である。

[図7] 本発明の実施の形態例 3 に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、変位補正装置側の構成を示すブロック図である。

[図8] コラムの前面側と後面側の温度差によるコラム傾斜変位量の算出式に関する説明図である。

[図9] コラムの前面側と後面側の温度差によるコラム傾斜変位量の算出式に関する説明図である。

[図10] 本発明の実施の形態例 4 に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、温度センサ及び水準器の配置を示す工作機械の側面図である。

[図11] 本発明の実施の形態例 4 に係る工作機械の熱変位補正システムに関する図であって、変位補正装置側の構成を示すブロック図である。

[図12] 従来のフルクローズドループのフィードバック制御装置のブロック図である。

[図13] 従来のセミクローズドループのフィードバック制御装置のブロック図である。

[図14] 従来の立形マシニングセンタの温度センサによる熱変位補正システムのブロック図である。

[図15] 従来の門形マシニングセンタの温度センサによる熱変位補正システムのブロック図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明の実施の形態例を図面に基づいて詳細に説明する。

[0024] <実施の形態例 1>

[0025] 図 1～図 3 に基づき、本発明の実施の形態例 1 に係る工作機械の熱変位補正システムについて説明する。

[0026] 図 1 に示すように、工作機械は、ベッド 3 1 と、テーブル 3 2 と、門形のコラム 3 3 と、クロスレール 3 4 と、サドル 3 5 と、ラム 3 6 と、ラム 3 6 に回転可能に支持された状態で内蔵された主軸 3 7 と、主軸 3 7 にアタッチメント 3 8 を介して装着された工具 3 9 と、位置検出器 4 2 とを有している。

[0027] ベッド 3 1 は床面 4 0 に設置されている。ベッド 3 1 上にはテーブル 3 2 及びコラム 3 3 が設置され、テーブル 3 2 上にはワーク W が載置されている。テーブル 3 2 は、ベッド 3 1 の上面 3 1 a に敷設されたガイドレール（図示省略）に沿って、送り機構（図 1 では図示省略：図 2 参照）により矢印 A の如く水平な X 軸方向（コラム 3 3 の前後方向）に直線的に移動可能になっている。クロスレール 3 4 はコラム 3 3 の前面 3 3 a に設置されており、コラム前面 3 3 a に敷設されたガイドレール（図示省略）に沿って、送り機構（図示省略）により矢印 B の如く鉛直な Z 軸方向に直線的に移動可能になっている。サドル 3 5 はクロスレール 3 4 の前面 3 4 a に設置されており、クロスレール 3 4 に沿って、送り機構（図示省略）により水平な Y 軸方向（図 1 の紙面と直交する方向）に直線的に移動可能になっている。ラム 3 6 はサドル 3 5 に設けられ、送り機構（図示省略）により矢印 C の如く Z 軸方向に移動可能になっている。主軸 3 7 はラム 3 6 内に設けられており、主軸ベアリング 4 0 によって回転可能に支持されている。なお、X、Y、Z 軸は互いに直交している。

[0028] そして、テーブル 3 2 には複数個（図示例では 5 個）のテーブル温度センサ 4 1-1、4 1-2、4 1-3、4 1-4、4 1-5 が設置されている。これらのテーブル温度センサ 4 1-1～4 1-5 は X 軸方向に沿って等間隔にテーブル 3 2 の各部に配設されている。従って、テーブル温度センサ 4 1

ー 1 ～ 4 1 - 5 はテーブル 3 2 の各部の温度をそれぞれ検出して、これらの検出温度データ a 1, a 2, a 3, a 4, a 5 を工作機械の変位補正装置 5 1 (図 2 参照: 詳細後述) へ出力する。

[0029] 位置検出器 4 2 は一般的なインダクトシン方式のリニアスケールであり、スライダ 4 2 a とスケール 4 2 b とを有して成るものである。スケール 4 2 b はジグザグ状のコイル 4 2 b - 1 を有しており、ベッド 3 1 に取り付けられて X 軸方向に延びている (長手方向が X 軸方向に沿っている)。スライダ 4 2 a はジグザグ状のコイル 4 2 a - 1 を有し、スケール 4 2 b に対向した状態でテーブル 3 2 に取り付けられている。スライダ 4 2 a のコイル 4 2 a - 1 に電流を流すと、電磁誘導作用でスケール 4 2 b のコイル 4 2 b - 1 に電圧が発生する。従って、テーブル 3 2 とともにスライダ 4 2 a が X 軸方向に移動すると、スライダ 4 2 a とスケール 4 2 b の相対位置が変化して前記電圧が変化するため、この電圧の変化によってスライダ 4 2 a の X 軸方向の位置、即ちテーブル 3 2 (ワーク W) の X 軸方向の位置を検出することができる。このようにして位置検出器 4 2 はテーブル 3 2 (ワーク W) の位置を検出し、この検出位置データを工作機械のフィードバック制御装置 6 1 (図 2 参照: 詳細後述) へ出力する (位置フィードバック)。

[0030] そして、位置検出器 4 2 のスケール 4 2 b には位置検出器温度センサ 4 1 - 6 が設置されている。位置検出器温度センサ 4 1 - 6 は位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の温度を検出し、この検出温度データ a 6 を工作機械の変位補正装置 5 1 へ出力する。

なお、上記では位置検出器 4 2 としてインダクトシン方式のリニアスケールについて記述しているが、リニアスケールはインダクトシン方式に限定するものではなく、他の方式のリニアスケールを位置検出器 4 2 として用いてもよい。

[0031] 次に、図 1, 図 2 及び図 3 に基づき、工作機械の変位補正装置 5 1、フィードバック制御装置 6 1 及びテーブル送り機構 7 1 について説明する。

[0032] 図 2 に示すように、変位補正装置 5 1 はパーソナルコンピュータなどを用

いたものであり、位置検出器温度データ入力部 5 2 と、位置検出器熱変位量算出部 5 3 と、テーブル温度データ入力部 5 4 と、テーブル熱変位量算出部 5 5 と、テーブル系統熱変位量算出部 5 6 と、X 軸補正量出力部 5 7 とを有している。

[0033] 位置検出器温度データ入力部 5 2 では、位置検出器温度センサ 4 1 - 6 から出力される位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の温度データ a 6 を入力する。

位置検出器熱変位量算出部 5 3 では、位置検出器温度データ入力部 5 2 で入力した位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の温度データ a 6 に基づいて、位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の X 軸方向の熱変位量 ΔL_1 を算出する。

[0034] 下記の (1) 式が、位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) や、その他の工作機械各部 (ラム 3 6、主軸ベアリング 4 0、サドル 3 5、クロスレール 3 4、コラム 3 3 など) の熱変位量の計算式例である。なお、位置検出器 4 2 以外の工作機械各部の熱変位量に関しては、他の実施の形態例で説明する。

[数1]

$$\begin{aligned}\Delta L &= k_1 \times \beta \times (T - T_0) \times L \times 10^6 \\ &= k_1 \times \beta \times \Delta T \times L \times 10^6 \quad \dots (1)\end{aligned}$$

[0035] ここで、 ΔL は位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) などの工作機械各部の熱変位量 [μm]、 k_1 は補正係数、 β は位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) などの工作機械各部の線膨張係数 [$1/(\text{°C} \times \text{m})$] である。 T_0 は基準温度 [°C]、 T は位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) などの工作機械各部の温度データ [°C]、 ΔT は温度データ T と基準温度 T_0 の温度差 ($T - T_0$) [°C]、 L は位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) などの工作機械各部の物体有効長 (工作機械各部において X 軸方向の熱変位量に関わる部分の長さ) [m] である。

[0036] 従って、位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の X 軸方向の熱変位量 ΔL_1 は、位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 と位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の温度データ T (位置検出器温度センサ 4 1

ー 6 の温度データ a 6) との温度差 ΔT と、位置検出器 4 2 (スケール 4 2 a) の物体有効長 L とを、(1) 式に代入して ΔL を算出することによって得られる。なお、位置検出器 4 2 (スケール 4 2 a) における物体有効長 L は、図 1 に示すようにコラム前面 3 3 a である基準位置 X_k (X 軸方向の基準位置) からスライダ 4 2 a の位置 (図示例ではスライダ 4 2 a における X 軸方向の中心位置) までの長さ L_1 における長さであり、スライダ 4 2 a の移動に応じて変化する。また、位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の熱変位量 ΔL_1 は、コラム前面 3 3 a の基準位置 X_k からスライダ 4 2 a の位置までの長さ L_1 の範囲で生じる熱変位量、即ち前記長さ L_1 の範囲において位置検出器 4 2 (スケール 4 2 b) の熱変位により生じた誤差量である。

[0037] テーブル温度データ入力部 5 4 では、テーブル温度センサ 4 1-1 ~ 4 1-5 から出力されるテーブル 3 2 の各部の温度データ a 1 ~ a 5 を入力する。

テーブル熱変位量算出部 5 5 では、テーブル温度データ入力部 5 4 で入力したテーブル 3 2 の各部の温度データ a 1 ~ a 5 に基づいて、テーブル 3 2 に生じる X 軸方向の温度分布に応じたテーブル 3 2 の熱変位量 ΔL_2 を算出する。

[0038] 下記の (2) 式及び (3) 式が、テーブル 3 2 に生じる X 軸方向の温度分布に応じたテーブル 3 2 の熱変位量 ΔL_2 を計算するための計算式例である。

[数 2]

$$\delta = k_2 \times \beta \times (T - T_0) \times 10^6 \quad \dots (2)$$

$$\Delta L = \int_{X=0}^{X=X_i} \delta(X) dx \quad \dots (3)$$

[0039] ここで、 δ は単位長さ当たりのテーブル 3 2 の熱変位量 [$\mu m / m$]、 k_2 は補正係数、 β はテーブル 3 2 の線膨張係数 [$1 / (^\circ C \times m)$]、 T_0 は基準温度 [$^\circ C$]、 T はテーブル 3 2 の温度データ [$^\circ C$] である。 ΔL はテーブル 3 2 に生じる X 軸方向の温度分布に応じたテーブル 3 2 の熱変位量 [μm]、 X 、 X_i はテーブル 3 2 の X 軸方向の位置である。

[0040] 図3 (a) において横軸はテーブル32におけるX軸方向の位置[m]、縦軸はテーブル32の温度T[°C]である。図3 (b) において横軸はテーブル32におけるX軸方向の位置[m]、縦軸は単位長さ当たりのテーブル32の熱変位量 δ [$\mu\text{m}/\text{m}$]である。例えば、テーブル32において、図3 (a) のようなテーブル32のX軸方向における温度分布が生じている場合、X軸方向における単位長さ当たりのテーブル32の熱変位量 δ の分布は図3 (b) のようになる。従って、この単位長さ当たりのテーブル32の熱変位量 δ の分布から、X軸方向の温度分布に応じたテーブル32の熱変位量 ΔL_2 を算出することができる。なお、 $X=0$ は図1に示すようにテーブル32におけるスライダ42aの設置位置（図示例ではスライダ42aにおけるX軸方向の中心位置）である。

[0041] 詳述すると、テーブル温度センサ41-1~41-5の温度データ $a_1 \sim a_5$ を、順次、温度データTとして(2)式に代入することにより、X軸方向における各温度データT ($a_1 \sim a_5$) に応じた単位長さ当たりのテーブル熱変位量 δ を得る。例えば、X軸方向において、 $X=0$ からテーブル温度センサ41-1の位置までは温度データ a_1 を用いて δ を求め、テーブル温度センサ41-1の位置（当該位置を含まず）からテーブル温度センサ41-2の位置までは温度データ a_2 を用いて δ を求め、テーブル温度センサ41-2の位置（当該位置を含まず）からテーブル温度センサ41-3の位置までは温度データ a_3 を用いて δ を求め、テーブル温度センサ41-3の位置（当該位置を含まず）からテーブル温度センサ41-4の位置までは温度データ a_4 を用いて δ を求め、テーブル温度センサ41-4の位置（当該位置を含まず）からテーブル温度センサ41-5の位置（或いはテーブル32の端）までは温度データ a_5 を用いて δ を求めることができる。

[0042] これらの δ の値から、図3 (b) に例示するようなX軸方向における単位長さ当たりテーブル熱変位量 δ の分布を表す式 $\delta(X)$ を得ることができる。そして、この $\delta(X)$ を(3)式のようにX軸方向の位置X ($0 \sim X_i$) に関して積分することにより、テーブル32に生じるX軸方向の温度分布に応じ

たテーブル熱変位量 ΔL (ΔL_2) を算出することができる。例えば、図 1 に示す $X = X_1$ の位置においては、前述のスライダ 4 2 a の位置である $X = 0$ の位置から $X = X_1$ の位置までの長さ L_2 における熱変位量（即ちテーブル 3 2 の熱変位による生じる誤差量）が、テーブル熱変位量 ΔL_2 である。

[0043] 次に、図 2 に示すように、テーブル系統熱変位量算出部 5 6 では、位置検出器熱変位量算出部 5 3 で算出された位置検出器 4 2 の熱変位量 ΔL_1 と、テーブル熱変位量算出部 5 5 で算出されたテーブル熱変位量 ΔL_2 とを加算することにより、テーブル系統の熱変位量（X 軸方向の熱変位量）を算出する。例えば、図 1 に示す $X = X_1$ の位置においては、コラム前面 3 3 a の基準位置 X_k から $X = X_1$ の位置までの長さ L_3 の範囲に含まれている熱変位量（即ち位置検出器 4 2（スケール 4 2 b）及びテーブル 3 2 の熱変位によって生じる X 軸の誤差量）が、テーブル系統の熱変位量である。テーブル系統熱変位量算出部 5 6 では、この算出したテーブル系統の熱変位量を、テーブル系統における X 軸の変位量として、X 軸補正量出力部 5 7 へ出力する。

[0044] X 軸補正量出力部 5 7 では、テーブル系統熱変位量算出部 5 6 から入力したテーブル系統における X 軸の変位量（テーブル系統の熱変位量）に基づいて、テーブル系統における X 軸の補正量（＝ “－X 軸の変位量”）を求め、この X 軸の補正量（＝ “－X 軸の変位量”）をフィードバック制御装置 6 1 へ出力する。

[0045] 図 2 に示すように、テーブル送り機構 7 1 はサーボモータ 7 4、減速ギヤ 7 5、ボールスクリュー 7 6（ネジ部 7 6 a、ナット部 7 6 b）、パルスコーダ 7 7 などから構成されている。サーボモータ 7 4 は、減速ギヤ 7 5 を介してボールスクリュー 7 6 のネジ部 7 6 a に連結されている。ボールスクリュー 7 6 のネジ部 7 6 a とナット部 7 6 b は互いに螺合しており、ナット部 7 6 b はテーブル 3 2 に取り付けられている。また、テーブル 3 2 には前述のとおり位置検出器 4 2 のスライダ 4 2 a が取り付けられ、サーボモータ 7 4 にはパルスコーダ 7 7 が取り付けられている。

[0046] 従って、サーボモータ 7 4 の回転力が減速ギヤ 7 5 を介してボールスクリ

ュー 7 6 のネジ部 7 6 a へ伝達され、ネジ部 7 6 a が矢印 D の如く回転すると、ナット部 7 6 b とともにテーブル 3 2 が矢印 A の如く X 軸方向へ移動する。このときにテーブル 3 2（ワーク W）の X 軸方向への移動位置が位置検出器 4 2 によって検出され、この検出位置データがフィードバック制御装置 6 1 へ送られる（位置フィードバック）。また、サーボモータ 7 4 の回転角度がパルスコード 7 7 によって検出され、この検出回転角度データがフィードバック制御装置 6 1 へ送られる。

[0047] フィードバック制御装置 6 1 は偏差演算部 6 2、乗算部 6 3、偏差演算部 6 4、比例演算部 6 5、積分演算部 6 6、加算部 6 7、電流制御部 6 8、微分演算部 6 9 などから構成されている。

[0048] 偏差演算部 6 2 では、数値制御装置（図示省略）から送られてきた X 軸位置指令に対して、変位補正装置 5 1（X 軸補正量出力部 5 7）から送られてきた X 軸の補正量（＝ “－X 軸の変位量”）を加算することにより、前記 X 軸位置指令を補正し、この補正後の X 軸位置指令と、位置検出器 4 2 からの位置フィードバック情報であるテーブル 3 2（ワーク W）の位置との差を演算することにより、位置偏差 d_1 を求める。

[0049] 乗算部 6 3 では、位置偏差 d_1 に対して位置ループゲイン K_p を乗算することにより、速度指令 d_2 を求める。微分演算部 6 9 では、パルスコード 7 7 によって検出されたサーボモータ 7 4 の回転角度を時間で微分することにより、サーボモータ 7 4 の回転速度を求める。偏差演算部 6 4 では、速度指令 d_2 と、微分演算部 6 9 で求めたサーボモータ 7 4 の回転速度との差を演算することにより、速度偏差 d_3 を求める。比例演算部 6 5 では、速度偏差 d_3 に対して速度ループ比例ゲイン K_v を乗算することにより、比例値 d_4 を求める。積分演算部 6 6 では、速度偏差 d_3 に対して速度ループ積分ゲイン K_{vi} を乗算し、且つ、この乗算値を積分することにより、積分値 d_5 を求める。加算部 6 7 では、比例値 d_4 と積分値 d_5 とを加算してトルク指令 d_6 を求める。電流制御部 6 8 では、サーボモータ 7 4 のトルクがトルク指令 d_6 に追従するようにサーボモータ 7 4 へ供給する電流を制御する。

[0050] 従って、このフィードバック制御装置 61 では、サーボモータ 74 の回転速度が速度指令 d2 に追従し、テーブル 52 の X 軸方向の移動位置が補正後の X 軸位置指令に追従するように制御する。

[0051] 以上のように、本実施の形態例 1 における工作機械の熱変位補正システムによれば、工具 39 が装着された主軸 37 と、コラム 33 と、主軸 37 とコラム 33 との間に介設された主軸系統の支持部材であるクロスレール 34、サドル 35、ラム 36、主軸ベアリング 40 と、コラム 33 の前後方向である X 軸方向に移動可能なテーブル 32 と、テーブル 32 の X 軸方向の位置を検出する位置検出器 42 とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、位置検出器 42 に設置され、位置検出器 42 の温度を検出して温度データ a6 を出力する位置検出器温度センサ 41-6 と、X 軸方向におけるテーブル 32 の各部に設置され、テーブル 32 の各部の温度を検出して温度データ a1～a5 を出力する複数のテーブル温度センサ 41-1～41-5 と、位置検出器温度センサ 41-6 から温度データ a6 を入力する位置検出器温度データ入力部 52 と、位置検出器温度データ入力部 52 で入力した温度データ a6 に基づいて位置検出器 42 の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部 53 と、テーブル温度センサ 41-1～41-5 から温度データ a1～a5 を入力するテーブル温度データ入力部 54 と、テーブル温度データ入力部 54 で入力した温度データ a1～a5 に基づいてテーブル 32 に生じる X 軸方向の温度分布に応じたテーブル 32 の熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部 55 と、位置検出器熱変位量算出部 53 で算出された位置検出器 42 の熱変位量とテーブル熱変位量算出部 55 で算出されたテーブル 32 の熱変位量とに基づいてコラム前面 33a を基準位置 X_k としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部 56 と、テーブル系統熱変位量算出部 56 で算出されたテーブル系統の熱変位量に基づいて X 軸の補正量を求めてこの X 軸の補正量を出力する X 軸補正量出力部 57 とを有する変位補正装置 51 とを備えたことを特徴としているため、コラム前面 33a を基準位置 X_k としたテーブル系統（コラム 33⇒位置検出器 42⇒テーブル

３２）の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブル３２に温度分布が生じてテーブル３２の熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。

[0052] ＜実施の形態例２＞

図４及び図５に基づき、本発明の実施の形態例２に係る工作機械の熱変位補正システムについて説明する。なお、図４及び図５に示す熱変位補正システムにおいて、上記実施の形態例１の熱変位補正システムと同様の部分については、同一の符号を付し、重複する詳細な説明は省略する。

[0053] 図４に示すように、本実施の形態例２では、前述と同様の温度センサ４１－１～４１－６の他に更に複数の温度センサ４１－７，４１－８，４１－９，４１－１０が、工作機械に設置されている。

[0054] クロスレール温度センサ４１－７はクロスレール３４に設置されており、クロスレール３４の温度を検出して、この検出温度データ a 7 を工作機械の変位補正装置８１（図５参照：詳細後述）へ出力する。サドル温度センサ４１－８はサドル３５に設置されており、サドル３５の温度を検出して、この検出温度データ a 8 を変位補正装置８１へ出力する。ラム温度センサ４１－９はラム３６に設置され、ラム３６の温度を検出して、この検出温度データ a 9 を変位補正装置８１へ出力する。主軸ベアリング温度センサ４１－１０は主軸ベアリング４０に設置されており、主軸ベアリング４０の温度を検出して、この検出温度データ a 10 を変位補正装置８１へ出力する。

[0055] 図５に示すように、変位補正装置８１はパーソナルコンピュータなどを用いたものであり、前述と同様の位置検出器温度データ入力部５２と、位置検出器熱変位量算出部５３と、テーブル温度データ入力部５４と、テーブル熱変位量算出部５５と、テーブル系統熱変位量算出部５６に加えて、主軸系統温度データ入力部８２と、主軸系統熱変位量算出部８３と、Ｘ軸補正量出力部８４とを有している。

[0056] 主軸系統温度データ入力部８２では、クロスレール温度センサ４１－７から出力されるクロスレール３４の温度データ a 7 と、サドル温度センサ４１

ー 8 から出力されるサドル 3 5 の温度データ a_8 と、ラム温度センサ 4 1ー 9 から出力されるラム 3 6 の温度データ a_9 と、主軸ベアリング温度センサ 4 1ー 1 0 から出力される主軸ベアリング 4 0 の温度データ a_{10} を入力する。

[0057] 主軸系統熱変位量算出部 8 3 では、主軸系統温度データ入力部 8 2 で入力した主軸系統の各部の温度データ $a_7 \sim a_{10}$ に基づいて、主軸系統における X 軸方向の熱変位量を算出する。

[0058] 即ち、クロスレール 3 4 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 とクロスレール 3 4 の温度データ T (クロスレール温度センサ 4 1ー 7 の温度データ a_7) との温度差 ΔT と、クロスレール 3 4 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、クロスレール 3 4 の X 軸方向における熱変位量を算出する。また、サドル 3 5 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 とサドル 3 5 の温度データ T (サドル温度センサ 4 1ー 8 の温度データ a_8) との温度差 ΔT と、サドル 3 5 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、サドル 3 5 の X 軸方向における熱変位量を算出する。また、ラム 3 6 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 とラム 3 6 の温度データ T (ラム温度センサ 4 1ー 9 の温度データ a_9) との温度差 ΔT と、ラム 3 6 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、ラム 3 6 の X 軸方向における熱変位量を算出する。また、主軸ベアリング 4 0 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 と主軸ベアリング 4 0 の温度データ T (主軸ベアリング温度センサ 4 1ー 1 0 の温度データ a_{10}) との温度差 ΔT と、主軸ベアリング 4 0 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、主軸ベアリング 4 0 の X 軸方向における熱変位量を算出する。

[0059] そして更に、主軸系統熱変位量算出部 8 3 では、この算出したクロスレール 3 4 の熱変位量、サドル 3 5 の熱変位量、ラム 3 6 の熱変位量及び主軸ベアリング 4 0 の熱変位量に基づいて (例えばこれらを加算して)、主軸系統における X 軸方向の熱変位量を算出する。例えば、図 4 に示す $X = X_1$ の位置においては、コラム前面 3 3 a の基準位置 X_k から $X = X_1$ の位置までの長さ L_4 の範囲に含まれている熱変位量 (即ちクロスレール 3 4、サドル 3 5、ラム

36及び主軸ベアリング40の熱変位によって生じるX軸の誤差量)が、主軸系統の熱変位量である。主軸系統熱変位量算出部83では、この算出した主軸系統の熱変位量を、主軸系統におけるX軸の補正量として、X軸補正量出力部84へ出力する。

[0060] X軸補正量出力部84では、テーブル系統熱変位量算出部56から入力したテーブル系統におけるX軸の変位量(テーブル系統の熱変位量)と、主軸系統熱変位量算出部83から入力した主軸系統におけるX軸の変位量(主軸系統の熱変位量)とに基づいて(例えばこれらを差し引いて)、テーブル系統及び主軸系統におけるX軸の補正量(=“−X軸の変位量”)を求め、このX軸の補正量(=“−X軸の変位量”)をフィードバック制御装置61へ出力する。

[0061] フィードバック制御装置61の偏差演算部62では、数値制御装置(図示省略)から送られてきたX軸位置指令に対して、変位補正装置81(X軸補正量出力部84)から送られてきたX軸の補正量(=“−X軸の変位量”)を加算することにより、前記X軸位置指令を補正し、この補正後のX軸位置指令と、位置検出器42からの位置フィードバック情報であるテーブル32(ワークW)の位置との差を演算することにより、位置偏差d1を求める。

[0062] 本実施の形態例2の熱変位補正システムにおけるその他の構成については、上記実施の形態例1の熱変位補正システムと同様である。

[0063] 以上のように、本実施の形態例2における工作機械の熱変位補正システムによれば、工具39が装着された主軸37と、コラム33と、主軸37とコラム33との間に介設された主軸系統の支持部材であるクロスレール34、サドル35、ラム36、主軸ベアリング40と、コラム33の前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブル32と、テーブル32のX軸方向の位置を検出する位置検出器42とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、位置検出器42に設置され、位置検出器42の温度を検出して温度データa6を出力する位置検出器温度センサ41-6と、X軸方向におけるテーブル32の各部に設置され、テーブル32の各部の温度を検出して温度データ

a 1 ～ a 5 を出力する複数のテーブル温度センサ 4 1 - 1 ～ 4 1 - 5 と、主軸系統の支持部材であるクロスレール 3 4、サドル 3 5、ラム 3 6、主軸ベアリング 4 0 に設置され、これらのクロスレール 3 4、サドル 3 5、ラム 3 6、主軸ベアリング 4 0 の温度を検出して温度データ a 7 ～ a 1 0 を出力する支持部材温度センサとしてのクロスレール温度センサ 4 1 - 7、サドル温度センサ 4 1 - 8、ラム温度センサ 4 1 - 9 及び主軸ベアリング温度センサ 4 1 - 1 0 と、位置検出器温度センサ 4 1 - 6 から温度データ a 6 を入力する位置検出器温度データ入力部 5 2 と、位置検出器温度データ入力部 5 2 で入力した温度データ a 6 について位置検出器 4 2 の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部 5 3 と、テーブル温度センサ 4 1 - 1 ～ 4 1 - 5 から温度データ a 1 ～ a 5 を入力するテーブル温度データ入力部 5 4 と、テーブル温度データ入力部 5 4 で入力した温度データ a 1 ～ a 5 に基づいてテーブル 3 2 に生じる X 軸方向の温度分布に応じたテーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部 5 5 と、位置検出器熱変位量算出部 5 3 で算出された位置検出器 4 2 の熱変位量とテーブル熱変位量算出部 5 5 で算出されたテーブル 3 2 の熱変位量とに基づいてコラム前面 3 3 a を基準位置 X_k としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部 5 6 と、クロスレール温度センサ 4 1 - 7、サドル温度センサ 4 1 - 8、ラム温度センサ 4 1 - 9 及び主軸ベアリング温度センサ 4 1 - 1 0 から温度データ a 7 ～ a 1 0 を入力する主軸系統温度データ入力部 8 2 と、主軸系統温度データ入力部 8 2 で入力した温度データ a 7 ～ a 1 0 に基づいてコラム前面 3 3 a を基準位置 X_k とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部 8 3 と、テーブル系統熱変位量算出部 5 6 で算出されたテーブル系統の熱変位量と主軸系統熱変位量算出部 8 3 で算出された主軸系統の熱変位量とに基づいて X 軸の補正量を求めてこの X 軸の補正量を出力する X 軸補正量出力部 8 4 とを有する変位補正装置 8 1 とを備えたことを特徴としているため、コラム前面 3 3 a を基準位置 X_k としたテーブル系統（コラム 3 3 ⇒ 位置検出器 4 2 ⇒ テーブル 3 2）の熱変位量と主軸系統（コラム 3 3 ⇒ クロスレール 3 4 ⇒ サ

ドル 3 5 ⇒ ラム 3 6 ⇒ 主軸ベアリング 4 0 ⇒ 主軸 3 7) の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブル 3 2 に温度分布が生じてテーブル 3 2 の熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。更には、テーブル系統の熱変位量と主軸系統の熱変位量とを総合的に捉えた工作機械全体の熱変位モデルを実現することができ、より精度の良い変位補正システムとなる。

[0064] <実施の形態例 3>

図 6 ～ 図 9 に基づき、本発明の実施の形態例 3 に係る工作機械の熱変位補正システムについて説明する。なお、図 6 及び図 7 に示す熱変位補正システムにおいて、上記実施の形態例 1, 2 の熱変位補正システムと同様の部分については、同一の符号を付し、重複する詳細な説明は省略する。

[0065] 図 6 に示すように、本実施の形態例 3 では、前述と同様の温度センサ 4 1 - 1 ～ 4 1 - 1 0 の他に更に複数の温度センサ 4 1 - 1 1, 4 1 - 1 2, 4 1 - 1 3, 4 1 - 1 4, 4 1 - 1 5, 4 1 - 1 6 が、工作機械に設置されている。

[0066] コラム温度センサ 4 1 - 1 1, 4 1 - 1 2, 4 1 - 1 3 はコラム 3 3 の前面 3 3 a 側における上部、中間部及び下部にそれぞれ設置されており、これらの上部、中間部及び下部の温度を検出して、この検出温度データ a 1 1, a 1 2, a 1 3 を工作機械の変位補正装置 9 1 (図 7 参照：詳細後述) へ出力する。コラム温度センサ 4 1 - 1 4, 4 1 - 1 5, 4 1 - 1 6 はコラム 3 3 の後面 3 3 b 側における上部、中間部及び下部にそれぞれ設置されており、これらの上部、中間部及び下部の温度を検出して、この検出温度データ a 1 4, a 1 5, a 1 6 を変位補正装置 9 1 へ出力する。

[0067] 図 7 に示すように、変位補正装置 9 1 はパーソナルコンピュータなどを用いたものであり、前述と同様の位置検出器温度データ入力部 5 2 と、位置検出器熱変位量算出部 5 3 と、テーブル温度データ入力部 5 4 と、テーブル熱変位量算出部 5 5 と、テーブル系統熱変位量算出部 5 6 に加えて、主軸系統温度データ入力部 9 2 と、主軸系統熱変位量算出部 9 3 と、コラム温度デー

タ入力部 94 と、コラム傾斜変位量算出部 95 と、主軸系統変位量算出部 96 と、X 軸補正量出力部 97 とを有している。

[0068] 主軸系統温度データ入力部 92 では、クロスレール温度センサ 41-7 から出力されるクロスレール 34 の温度データ a_7 と、サドル温度センサ 41-8 から出力されるサドル 35 の温度データ a_8 と、ラム温度センサ 41-9 から出力されるラム 36 の温度データ a_9 と、主軸ベアリング温度センサ 41-10 から出力される主軸ベアリング 40 の温度データ a_{10} と、コラム温度センサ 41-11 ~ 41-16 から出力されるコラム 33 の温度データ a_{11} ~ a_{16} を入力する。

[0069] 主軸系統熱変位量算出部 93 では、主軸系統温度データ入力部 92 で入力した主軸系統の各部の温度データ a_7 ~ a_{16} に基づいて、主軸系統における X 軸方向の熱変位量を算出する。

[0070] 即ち、クロスレール 34 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 とクロスレール 34 の温度データ T (クロスレール温度センサ 41-7 の温度データ a_7) との温度差 ΔT と、クロスレール 34 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、クロスレール 34 の X 軸方向における熱変位量を算出する。また、サドル 35 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 とサドル 35 の温度データ T (サドル温度センサ 41-8 の温度データ a_8) との温度差 ΔT と、サドル 35 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、サドル 35 の X 軸方向における熱変位量を算出する。また、ラム 36 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 とラム 36 の温度データ T (ラム温度センサ 41-9 の温度データ a_9) との温度差 ΔT と、ラム 36 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、ラム 36 の X 軸方向における熱変位量を算出する。また、主軸ベアリング 40 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 と主軸ベアリング 40 の温度データ T (主軸ベアリング温度センサ 41-10 の温度データ a_{10}) との温度差 ΔT と、主軸ベアリング 40 の物体有効長 L とを上記 (1) 式に代入して、主軸ベアリング 40 の X 軸方向における熱変位量を算出する。

[0071] また、コラム 33 の線膨張係数 β と、基準温度 T_0 とコラム 33 の温度デー

タ T との温度差 ΔT と、コラム33の物体有効長 L とを上記(1)式に代入して、コラム33の X 軸方向における熱変位量を算出する。なお、コラム33の温度データ T は、コラム温度センサ41-11~41-16の温度データ $a_{11} \sim a_{16}$ に基づくものであり、これらの温度データ $a_{11} \sim a_{16}$ の平均値又は最大値などの適宜の値を用いることができる。

[0072] そして更に、主軸系統熱変位量算出部93では、この算出したクロスレール34の熱変位量、サドル35の熱変位量、ラム36の熱変位量、主軸ベアリング40の熱変位量及びコラム33の熱変位量に基づいて（例えばこれらを加算して）、主軸系統における X 軸方向の熱変位量を算出する。例えば、図6に示す $X = X_1$ の位置においては、コラム前面33aの基準位置 X_K から $X = X_1$ の位置までの長さ L_4 の範囲に含まれている熱変位量（即ちクロスレール34、サドル35、ラム36、主軸ベアリング40及びコラム33の熱変位によって生じる X 軸の誤差量）が、主軸系統の熱変位量である。

[0073] コラム温度データ入力部94では、コラム温度センサ41-11~41-16から出力されるコラム33の温度データ $a_{11} \sim a_{16}$ を入力する。

コラム傾斜変位量算出部95では、コラム温度データ入力部94で入力したコラム前面33a側の温度データ $a_{11} \sim a_{13}$ とコラム後面33b側の温度データ $a_{14} \sim a_{16}$ とに基づいて、コラム33の傾斜による X 軸方向の変位量である傾斜変位量 δ を算出する。

[0074] 図8及び図9を参照し、傾斜変位量 δ の算出式について説明する。図8には傾斜前のコラム33を一点鎖線で示し、傾斜後（コラム前面33a側とコラム後面33b側の温度差によって円弧状に変形した状態）のコラム33を実線で示している。

[0075] 図8において、コラム33の高さを L_H 、コラム側面33cの幅を ε 、コラム前面33a側の温度データを T_1 、コラム後面33b側の温度データを T_2 、傾斜変位量を δ 、円弧状に変形したコラム33における円弧の半径を ρ 、コラム33の傾斜角度を θ 、傾斜変位量を算出する際に、変位量を修正するための係数を α とすると、下記の(4)式及び(5)式が得られ、これらの(

4) 式, (5) 式から、下記のようにして (6) 式が得られる。(6) 式において、 ΔT_1 はコラム前面 3 3 a 側の温度データ T_1 と基準温度 T_0 との温度差 ($T_1 - T_0$)、 ΔT_2 はコラム後面 3 3 b 側の温度データ T_2 と基準温度 T_0 との温度差 ($T_2 - T_0$) である。

[数3]

$$\left(\rho + \frac{\varepsilon}{2}\right) \times \theta = L_H \times (1 + \alpha \times \Delta T_1) \quad \dots(4)$$

$$\left(\rho - \frac{\varepsilon}{2}\right) \times \theta = L_H \times (1 + \alpha \times \Delta T_2) \quad \dots(5)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon \times \theta &= L_H \times \alpha \times (\Delta T_1 - \Delta T_2) \\ \theta &= \frac{L_H \times \alpha \times (\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\varepsilon} \\ &= \frac{L_H \times \alpha \times (T_1 - T_2)}{\varepsilon} \quad \dots(6) \end{aligned}$$

[0076] 一方、図 9 に示すような円の方程式 $(x - \rho)^2 + y^2 = \rho^2$ における x , y に、傾斜変位量 δ 及びコラム 3 3 の高さ L_H (図 8 参照) を代入すると、下記の (7) 式が得られ、この (7) 式から、下記のようにして (8) 式が得られる。そして、この (8) 式における θ に上記の (6) 式を代入すると下記の (9) 式が得られ、この (9) 式から、下記のようにして (10) 式が得られる。従って、この (10) 式に温度データ T_1 , T_2 を代入すれば、傾斜変位量 δ を算出することができる。なお、温度データ T_1 には、コラム前面 3 3 a 側の温度データ a 1 1 ~ a 1 3 の何れかの値又は平均値などを用いることができ、温度データ T_2 には、コラム後面 3 3 b 側の温度データ a 1 4 ~ a 1 6 の何れかの値又は平均値などを用いることができる。

[数4]

$$(\delta - \rho)^2 + L_H^2 = \rho^2 \quad \dots(7)$$

$$\begin{aligned} \delta &= \rho - \sqrt{\rho^2 - L_H^2} \\ &= \frac{\rho^2 - (\rho^2 - L_H^2)}{\rho + \sqrt{\rho^2 - L_H^2}} \end{aligned}$$

$$\approx \frac{L_H^2}{2 \times \rho}$$

$$= \frac{L_H^2}{2 \times L_H / \theta}$$

$$= \frac{L_H \times \theta}{2} \quad \dots(8)$$

$$= \frac{L_H}{2} \times \left[\frac{L_H \times \alpha \times (\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\varepsilon} \right] \quad \dots(9)$$

$$= \frac{L_H^2 \times \alpha \times (\Delta T_1 - \Delta T_2)}{2 \times \varepsilon}$$

$$= \frac{L_H^2 \times \alpha \times (T_1 - T_2)}{2 \times \varepsilon} \quad \dots(10)$$

[0077] 図7に示すように、主軸系統変位量算出部96では、主軸系統熱変位量算出部93で算出された主軸系統の熱変位量と、コラム傾斜変位量算出部95で算出された傾斜変位量 δ とに基づいて（例えばこれらを加算して）、主軸系統におけるX軸の変位量を算出し、これをX軸補正量出力部97へ出力する。

[0078] X軸補正量出力部97では、テーブル系統熱変位量算出部56から入力したテーブル系統におけるX軸の変位量（テーブル系統の熱変位量）と、主軸系統変位量算出部96から入力した主軸系統におけるX軸の変位量（主軸系統の熱変位量及び傾斜変位量）とに基づいて（例えばこれらを差し引いて）、テーブル系統及び主軸系統におけるX軸の補正量（＝“－X軸の変位量”）を求め、このX軸の補正量（＝“－X軸の変位量”）をフィードバック制御装置61へ出力する。

[0079] フィードバック制御装置61の偏差演算部62では、数値制御装置（図示省略）から送られてきたX軸位置指令に対して、変位補正装置91（X軸補

正量出力部 97) から送られてきた X 軸の補正量 (= “- X 軸の変位量”) を加算することにより、前記 X 軸位置指令を補正し、この補正後の X 軸位置指令と、位置検出器 42 からの位置フィードバック情報であるテーブル 32 (ワーク W) の位置との差を演算することにより、位置偏差 d1 を求める。

[0080] 本実施の形態例 3 の熱変位補正システムにおけるその他の構成については、上記実施の形態例 1, 2 の熱変位補正システムと同様である。

[0081] 以上のように、本実施の形態例 3 における工作機械の熱変位補正システムによれば、工具 39 が装着された主軸 37 と、コラム 33 と、主軸 37 とコラム 33 との間に介設された主軸系統の支持部材であるクロスレール 34、サドル 35、ラム 36、主軸ベアリング 40 と、コラム 33 の前後方向である X 軸方向に移動可能なテーブル 32 と、テーブル 32 の X 軸方向の位置を検出する位置検出器 42 とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、位置検出器 42 に設置され、位置検出器 42 の温度を検出して温度データ a6 を出力する位置検出器温度センサ 41-6 と、X 軸方向におけるテーブル 32 の各部に設置され、テーブル 32 の各部の温度を検出して温度データ a1 ~ a5 を出力する複数のテーブル温度センサ 41-1 ~ 41-5 と、主軸系統の支持部材であるクロスレール 34、サドル 35、ラム 36、主軸ベアリング 40 に設置され、これらのクロスレール 34、サドル 35、ラム 36、主軸ベアリング 40 の温度を検出して温度データ a7 ~ a10 を出力する支持部材温度センサとしてのクロスレール温度センサ 41-7、サドル温度センサ 41-8、ラム温度センサ 41-9 及び主軸ベアリング温度センサ 41-10 と、コラム 33 の前面 33a 側及び後面 33b 側に設置され、コラム 33 の前面 33a 側及び後面 33b 側の温度を検出して温度データ a11 ~ a16 を出力するコラム温度センサ 41-11 ~ 41-16 と、位置検出器温度センサ 41-6 から温度データ a6 を入力する位置検出器温度データ入力部 52 と、位置検出器温度データ入力部 52 で入力した温度データ a6 に基づいて位置検出器 42 の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部 53 と、テーブル温度センサ 41-1 ~ 41-5 から温度データ a1 ~ a

5を入力するテーブル温度データ入力部54と、テーブル温度データ入力部54で入力した温度データa1～a5に基づいてテーブル32に生じるX軸方向の温度分布に応じたテーブル32の熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部55と、位置検出器熱変位量算出部53で算出された位置検出器42の熱変位量とテーブル熱変位量算出部55で算出されたテーブル32の熱変位量とに基づいてコラム前面33aを基準位置 X_k としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部56と、支持部材温度センサとしてのクロスレール温度センサ41-7、サドル温度センサ41-8、ラム温度センサ41-9、主軸ベアリング温度センサ41-10及びコラム温度センサ41-11～41-16から温度データa7～a16を入力する主軸系統温度データ入力部92と、主軸系統温度データ入力部92で入力した温度データa7～a16に基づいてコラム前面33aを基準位置 X_k とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部93と、コラム温度センサ41-11～41-16から温度データa11～a16を入力するコラム温度データ入力部94と、コラム温度データ入力部94で入力した温度データa11～a16に基づいてコラム33の傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部95と、主軸系統熱変位量算出部93で算出された主軸系統の熱変位量とコラム傾斜変位量算出部95で算出されたコラム33の傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出する主軸系統変位量算出部96と、テーブル系統熱変位量算出部56で算出されたテーブル系統の熱変位量と主軸系統変位量算出部96で算出された主軸系統の変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部97とを有する変位補正装置91とを備えたことを特徴としているため、コラム前面33aを基準位置 X_k としたテーブル系統（コラム33⇒位置検出器42⇒テーブル32）の熱変位量と主軸系統（コラム33⇒クロスレール34⇒サドル35⇒ラム36⇒主軸ベアリング40⇒主軸37）の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブル32に温度分布が生じてテーブル32の熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。また、テーブル

系統の熱変位量と主軸系統の熱変位量とを総合的に捉えた工作機械全体の熱変位モデルを実現することができ、より精度の良い変位補正システムとなる。更には、テーブル系統及び主軸系統の熱変位量だけでなく、コラム 3 3 の傾斜変位量も考慮することにより、更に精度の良い変位補正が可能になる。

[0082] <実施の形態例 4>

図 1 0 及び図 1 1 に基づき、本発明の実施の形態例 4 に係る工作機械の熱変位補正システムについて説明する。なお、図 1 0 及び図 1 1 に示す熱変位補正システムにおいて、上記実施の形態例 1 ～ 3 の熱変位補正システムと同様の部分については、同一の符号を付し、重複する詳細な説明は省略する。

[0083] 図 1 0 に示すように、本実施の形態例 4 では、前述と同様の温度センサ 4 1 - 1 ～ 4 1 - 1 6 に加えて、水準器 1 0 0 が工作機械に設置されている。水準器 1 0 0 はコラム 3 3 の上面 3 3 d に設置されており、コラム 3 3 の傾斜角度 θ を検出して、この検出傾斜データ θ を工作機械の変位補正装置 1 0 1 (図 1 1 参照：詳細後述) へ出力する。

[0084] 図 1 1 に示すように、変位補正装置 1 0 1 はパーソナルコンピュータなどを用いたものであり、前述と同様の位置検出器温度データ入力部 5 2 と、位置検出器熱変位量算出部 5 3 と、テーブル温度データ入力部 5 4 と、テーブル熱変位量算出部 5 5 と、テーブル系統熱変位量算出部 5 6 と、主軸系統温度データ入力部 9 2 と、主軸系統熱変位量算出部 9 3 に加えて、コラム傾斜データ入力部 1 0 2 と、コラム傾斜変位量算出部 1 0 3 と、主軸系統変位量算出部 1 0 4 と、X 軸補正量出力部 1 0 5 とを有している。

[0085] コラム傾斜データ入力部 1 0 2 では、水準器 1 0 0 から出力されるコラム 3 3 の傾斜データ θ を入力する。

コラム傾斜変位量算出部 1 0 3 では、コラム傾斜データ入力部 1 0 2 で入力したコラム 3 3 の傾斜データ θ に基づいて、コラム 3 3 の傾斜による X 軸方向の変位量である傾斜変位量 δ を算出する。例えば、この傾斜変位量 δ は、上記 (8) 式に傾斜データ θ を代入することによって算出することができる。

- [0086] 主軸系統変位量算出部 104 では、主軸系統熱変位量算出部 93 で算出された主軸系統の熱変位量と、コラム傾斜変位量算出部 103 で算出された傾斜変位量 δ とに基づいて（例えばこれらを加算して）、主軸系統における X 軸の変位量を算出し、これを X 軸補正量出力部 105 へ出力する。
- [0087] X 軸補正量出力部 105 では、テーブル系統熱変位量算出部 56 から入力したテーブル系統における X 軸の変位量（テーブル系統の熱変位量）と、主軸系統変位量算出部 104 から入力した主軸系統における X 軸の変位量（主軸系統の熱変位量及び傾斜変位量）とに基づいて（例えばこれらを差し引いて）、テーブル系統及び主軸系統における X 軸の補正量（＝ “－X 軸の変位量”）を求め、この X 軸の補正量（＝ “－X 軸の変位量”）をフィードバック制御装置 61 へ出力する。
- [0088] フィードバック制御装置 61 の偏差演算部 62 では、数値制御装置（図示省略）から送られてきた X 軸位置指令に対して、変位補正装置 101（X 軸補正量出力部 105）から送られてきた X 軸の補正量（＝ “－X 軸の変位量”）を加算することにより、前記 X 軸位置指令を補正し、この補正後の X 軸位置指令と、位置検出器 42 からの位置フィードバック情報であるテーブル 32（ワーク W）の位置との差を演算することにより、位置偏差 d_1 を求める。
- [0089] 本実施の形態例 4 の熱変位補正システムにおけるその他の構成については、上記実施の形態例 1～3 の熱変位補正システムと同様である。
- [0090] 以上のように、本実施の形態例 4 における工作機械の熱変位補正システムによれば、工具 39 が装着された主軸 37 と、コラム 33 と、主軸 39 とコラム 37 との間に介設された主軸系統の支持部材であるクロスレール 34、サドル 35、ラム 36、主軸ベアリング 40 と、コラム 33 の前後方向である X 軸方向に移動可能なテーブル 32 と、テーブル 32 の X 軸方向の位置を検出する位置検出器 42 とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、位置検出器 42 に設置され、位置検出器 42 の温度を検出して温度データ a_6 を出力する位置検出器温度センサ 41-6 と、X 軸方向におけるテーブ

ル 3 2 の各部に設置され、テーブル 3 2 の各部の温度を検出して温度データ $a_1 \sim a_5$ を出力する複数のテーブル温度センサ 4 1 - 1 ~ 4 1 - 5 と、主軸系統の支持部材であるクロスレール 3 4、サドル 3 5、ラム 3 6、主軸ベアリング 4 0 に設置され、これらのクロスレール 3 4、サドル 3 5、ラム 3 6、主軸ベアリング 4 0 の温度を検出して温度データ $a_7 \sim a_{10}$ を出力する支持部材温度センサとしてのクロスレール温度センサ 4 1 - 7、サドル温度センサ 4 1 - 8、ラム温度センサ 4 1 - 9 及び主軸ベアリング温度センサ 4 1 - 10 と、コラム 3 3 に設置され、コラム 3 3 の温度を検出して温度データ $a_{11} \sim a_{16}$ を出力するコラム温度センサ 4 1 - 11 ~ 4 1 - 16 と、コラム 3 3 に設置され、コラム 3 3 の傾斜角度を検出して傾斜データ θ を出力する水準器 100 と、位置検出器温度センサ 4 1 - 6 から温度データ a_6 を入力する位置検出器温度データ入力部 5 2 と、位置検出器温度データ入力部 5 2 で入力した温度データ a_6 に基づいて位置検出器 4 2 の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部 5 3 と、テーブル温度センサ 4 1 - 1 ~ 4 1 - 5 から温度データ $a_1 \sim a_5$ を入力するテーブル温度データ入力部 5 4 と、テーブル温度データ入力部 5 4 で入力した温度データ $a_1 \sim a_5$ に基づいてテーブル 3 2 に生じる X 軸方向の温度分布に応じたテーブル 3 2 の熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部 5 5 と、位置検出器熱変位量算出部 5 3 で算出された位置検出器 4 2 の熱変位量とテーブル熱変位量算出部 5 5 で算出されたテーブル 3 2 の熱変位量とに基づいてコラム前面 3 3 a を基準位置 X_k としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部 5 6 と、支持部材温度センサとしてのクロスレール温度センサ 4 1 - 7、サドル温度センサ 4 1 - 8、ラム温度センサ 4 1 - 9、主軸ベアリング温度センサ 4 1 - 10 及びコラム温度センサ 4 1 - 11 ~ 4 1 - 16 から温度データ $a_7 \sim a_{16}$ を入力する主軸系統温度データ入力部 9 2 と、主軸系統温度データ入力部 9 2 で入力した温度データ $a_7 \sim a_{16}$ に基づいてコラム前面 3 3 a を基準位置 X_k とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部 9 3 と、水準器 100 から傾斜データ θ を入力するコラム傾斜デ

ータ入力部 102 と、コラム傾斜データ入力部 102 で入力した傾斜データ θ に基づいてコラム 33 の傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部 103 と、主軸系統熱変位量算出部 93 で算出された主軸系統の熱変位量とコラム傾斜変位量算出部 103 で算出されたコラム 33 の傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出する主軸系統変位量算出部 104 と、テーブル系統熱変位量算出部 56 で算出されたテーブル系統の熱変位量と主軸系統変位量算出部 104 で算出された主軸系統の変位量とに基づいて X 軸の補正量を求めてこの X 軸の補正量を入力する X 軸補正量出力部 105 とを有する変位補正装置 101 とを備えたことを特徴としているため、コラム前面 33a を基準位置 X_k としたテーブル系統（コラム 33 $\Rightarrow$ 位置検出器 42 $\Rightarrow$ テーブル 32）の熱変位量と主軸系統（コラム 33 $\Rightarrow$ クロスレール 34 $\Rightarrow$ サドル 35 $\Rightarrow$ ラム 36 $\Rightarrow$ 主軸ベアリング 40 $\Rightarrow$ 主軸 37）の熱変位量を評価することができ、しかも、テーブル 32 に温度分布が生じてテーブル 32 の熱変位量が不均一であっても、精度の良い変位補正が可能になる。また、テーブル系統の熱変位量と主軸系統の熱変位量とを総合的に捉えた工作機械全体の熱変位モデルを実現することができ、より精度の良い変位補正システムとなる。更には、テーブル系統及び主軸系統の熱変位量だけでなく、コラムの傾斜変位量も考慮することにより、更に精度の良い変位補正が可能になる。

産業上の利用可能性

[0091] 本発明は工作機械の熱変位補正システムに関するものであり、門形マシンングセンタや立形マシンングセンタなどの各種の工作機械における熱変位補正システムに適用して有用なものである。

符号の説明

[0092] 31 ベッド、 31a 上面、 32 テーブル、 33 コラム、
33a コラム前面、 33b コラム後面、 33c コラム側面、 3
3d コラム上面、 34 クロスレール、 34a クロスレール前面、
35 サドル、 36 ラム、 37 主軸、 38 アタッチメント、
39 工具、 40 主軸ベアリング、 41-1 ~ 41-5 テーブル

温度センサ、 41-6 位置検出器温度センサ、 41-7 クロスレー
ル温度センサ、 41-8 サドル温度センサ、 41-9 ラム温度セン
サ、 41-10 主軸ベアリング温度センサ、 41-11~41-16
コラム温度センサ、 42 位置検出器、 42a スライダ、 42a
-1 コイル、 42b スケール、 42b-1 コイル、 51 変位
補正装置、 52 位置検出器温度データ入力部、 53 位置検出器熱変
位量算出部、 54 テーブル温度データ入力部、 55 テーブル熱変位
量算出部、 56 テーブル系統熱変位量算出部、 57 X軸補正量出力
部、 61 フィードバック制御装置、 62 偏差演算部、 63 乗算
部、 64 偏差演算部、 65 比例演算部、 66 積分演算部、 6
7 加算部、 68 電流制御部、 69 微分演算部、 71 テーブル
送り機構、 74 サーボモータ、 75 減速ギヤ、 76 ボールスク
リュー、 76a ネジ部、 76b ナット部、 77 パルスコーダ、
81 変位補正装置、 82 主軸系統温度データ入力部、 83 主軸
系統熱変位量算出部、 84 X軸補正量出力部、 91 変位補正装置、
92 主軸系統温度データ入力部、 93 主軸系統熱変位量算出部、
94 コラム温度データ入力部、 95 コラム傾斜変位量算出部、 96
主軸系統変位量算出部、 97 X軸補正量出力部、 101 変位補正
装置、 102 コラム傾斜データ入力部、 103 コラム傾斜変位量算
出部、 104 主軸系統変位量算出部、 105 X軸補正量出力部

請求の範囲

[請求項1]

工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいて前記コラムの前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量に基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置と、
を備えたことを特徴とする工作機械の熱変位補正システム。

[請求項2]

工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材と、前記コラムの前後方向であるX

軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変

位補正装置と、

を備えたことを特徴とする工作機械の熱変位補正システム。

[請求項3]

工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度データを出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、

前記コラムの前面側及び後面側に設置され、前記コラムの前面側及び後面側の温度を検出して温度データを出力するコラム温度センサと、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前

記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記コラム温度センサから前記温度データを入力するコラム温度データ入力部と、前記コラム温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記コラムの傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部と、前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量と前記コラム傾斜変位量算出部で算出された前記コラムの傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出する主軸系統変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統変位量算出部で算出された前記主軸系統の変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置と、

を備えたことを特徴とする工作機械の熱変位補正システム。

[請求項4] 請求項3に記載する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記主軸系統温度データ入力部では、前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサから前記温度データを入力し、前記主軸系統熱変位量算出部では、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサの温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出することを特徴とする工作機械の熱変位補正システム。

[請求項5] 工具が装着された主軸と、コラムと、前記主軸と前記コラムとの間に介設された主軸系統の支持部材と、前記コラムの前後方向であるX軸方向に移動可能なテーブルと、前記テーブルのX軸方向の位置を検出する位置検出器とを有する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

前記位置検出器に設置され、前記位置検出器の温度を検出して温度

データを出力する位置検出器温度センサと、

前記X軸方向における前記テーブルの各部に設置され、前記テーブルの各部の温度を検出して温度データを出力する複数のテーブル温度センサと、

前記主軸系統の支持部材に設置され、前記主軸系統の支持部材の温度を検出して温度データを出力する支持部材温度センサと、

前記コラムに設置され、前記コラムの傾斜角度を検出して傾斜データを出力する水準器と、

前記位置検出器温度センサから前記温度データを入力する位置検出器温度データ入力部と、前記位置検出器温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記位置検出器の熱変位量を算出する位置検出器熱変位量算出部と、前記テーブル温度センサから前記温度データを入力するテーブル温度データ入力部と、前記テーブル温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいて前記テーブルに生じるX軸方向の温度分布に応じた前記テーブルの熱変位量を算出するテーブル熱変位量算出部と、前記位置検出器熱変位量算出部で算出された前記位置検出器の熱変位量と前記テーブル熱変位量算出部で算出された前記テーブルの熱変位量とに基づいてコラム前面を基準位置としたテーブル系統の熱変位量を算出するテーブル系統熱変位量算出部と、前記支持部材温度センサから前記温度データを入力する主軸系統温度データ入力部と、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出する主軸系統熱変位量算出部と、前記水準器から前記傾斜データを入力するコラム傾斜データ入力部と、前記コラム傾斜データ入力部で入力した前記傾斜データに基づいて前記コラムの傾斜変位量を算出するコラム傾斜変位量算出部と、前記主軸系統熱変位量算出部で算出された前記主軸系統の熱変位量と前記コラム傾斜変位量算出部で算出された前記コラムの傾斜変位量とに基づいて主軸系統の変位量を算出す

る主軸系統変位量算出部と、前記テーブル系統熱変位量算出部で算出された前記テーブル系統の熱変位量と前記主軸系統変位量算出部で算出された前記主軸系統の変位量とに基づいてX軸の補正量を求めてこのX軸の補正量を出力するX軸補正量出力部とを有する変位補正装置と、

を備えたことを特徴とする工作機械の熱変位補正システム。

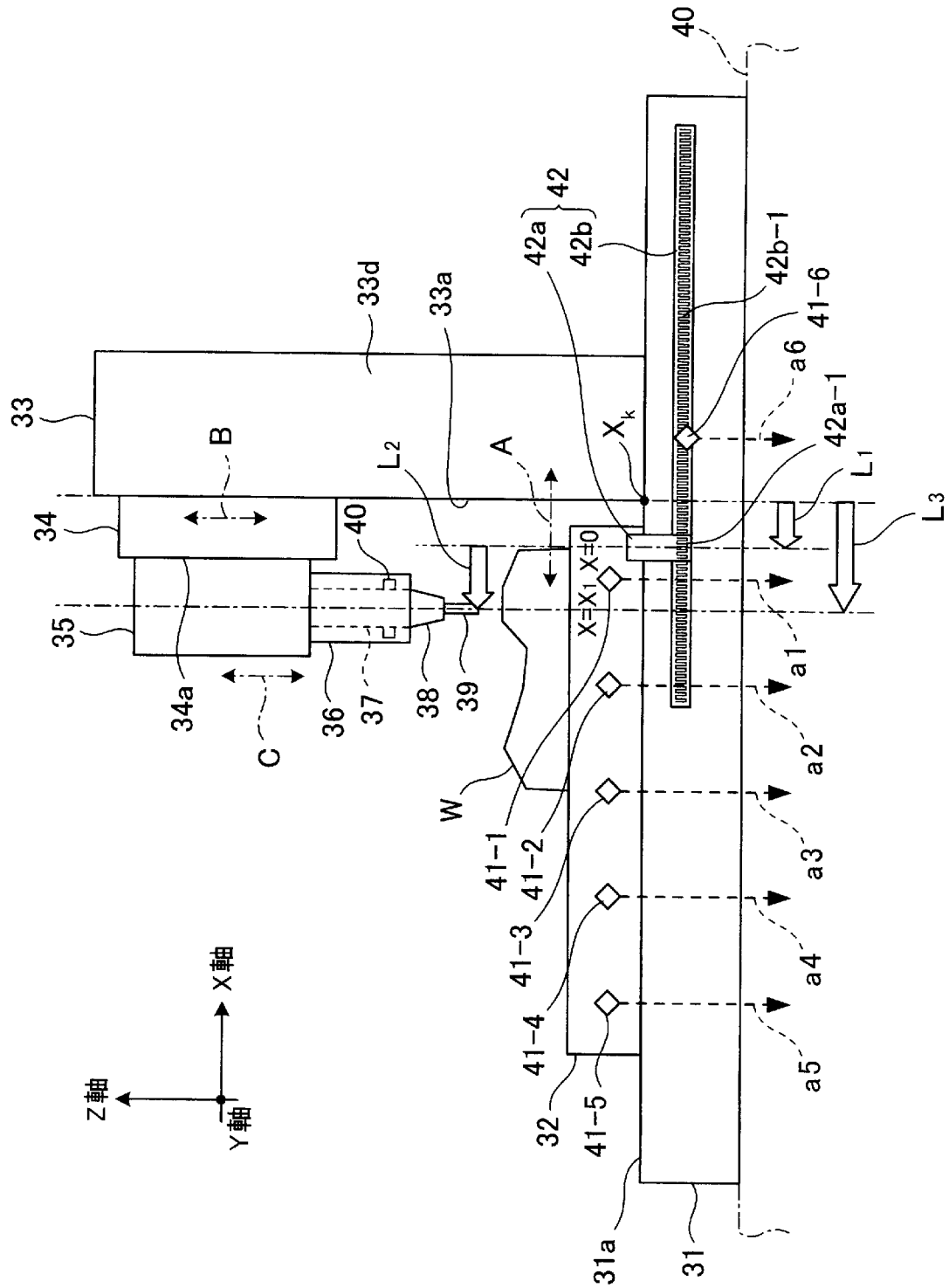
[請求項6]

請求項5に記載する工作機械の熱変位補正システムにおいて、

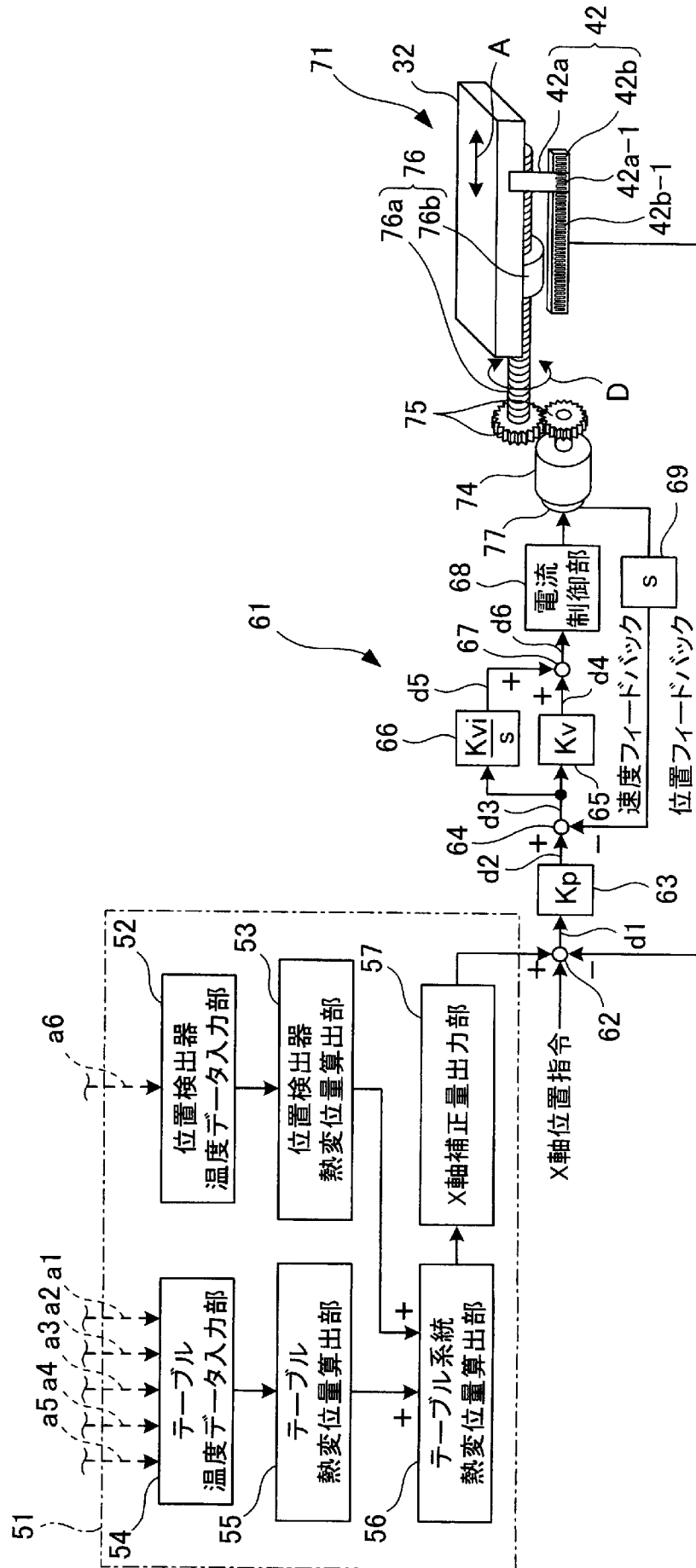
前記コラムに設置され、前記コラムの温度を検出して温度データを出力するコラム温度センサを有し、

前記主軸系統温度データ入力部では、前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサから前記温度データを入力し、前記主軸系統熱変位量算出部では、前記主軸系統温度データ入力部で入力した前記支持部材温度センサ及び前記コラム温度センサの温度データに基づいてコラム前面を基準位置とした主軸系統の熱変位量を算出することを特徴とする工作機械の熱変位補正システム。

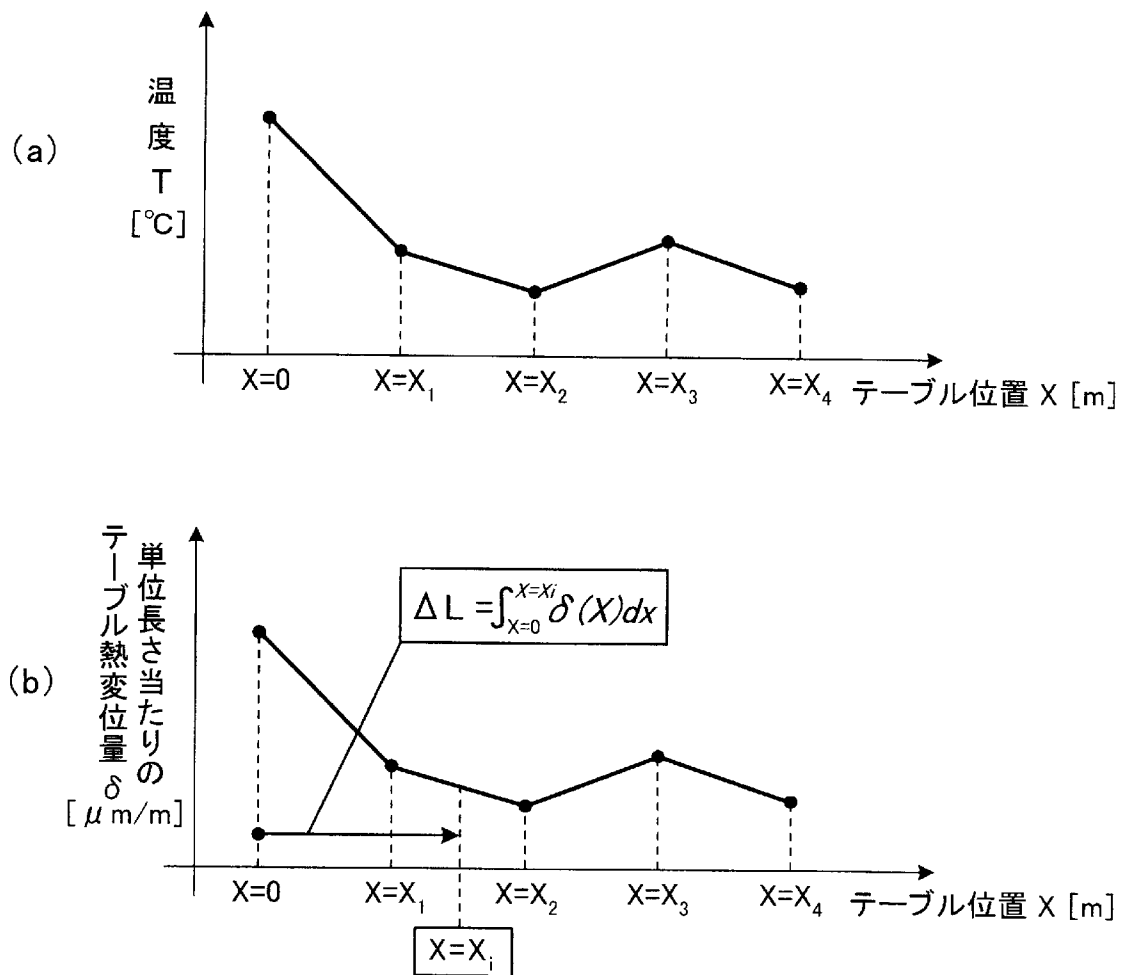
[図1]



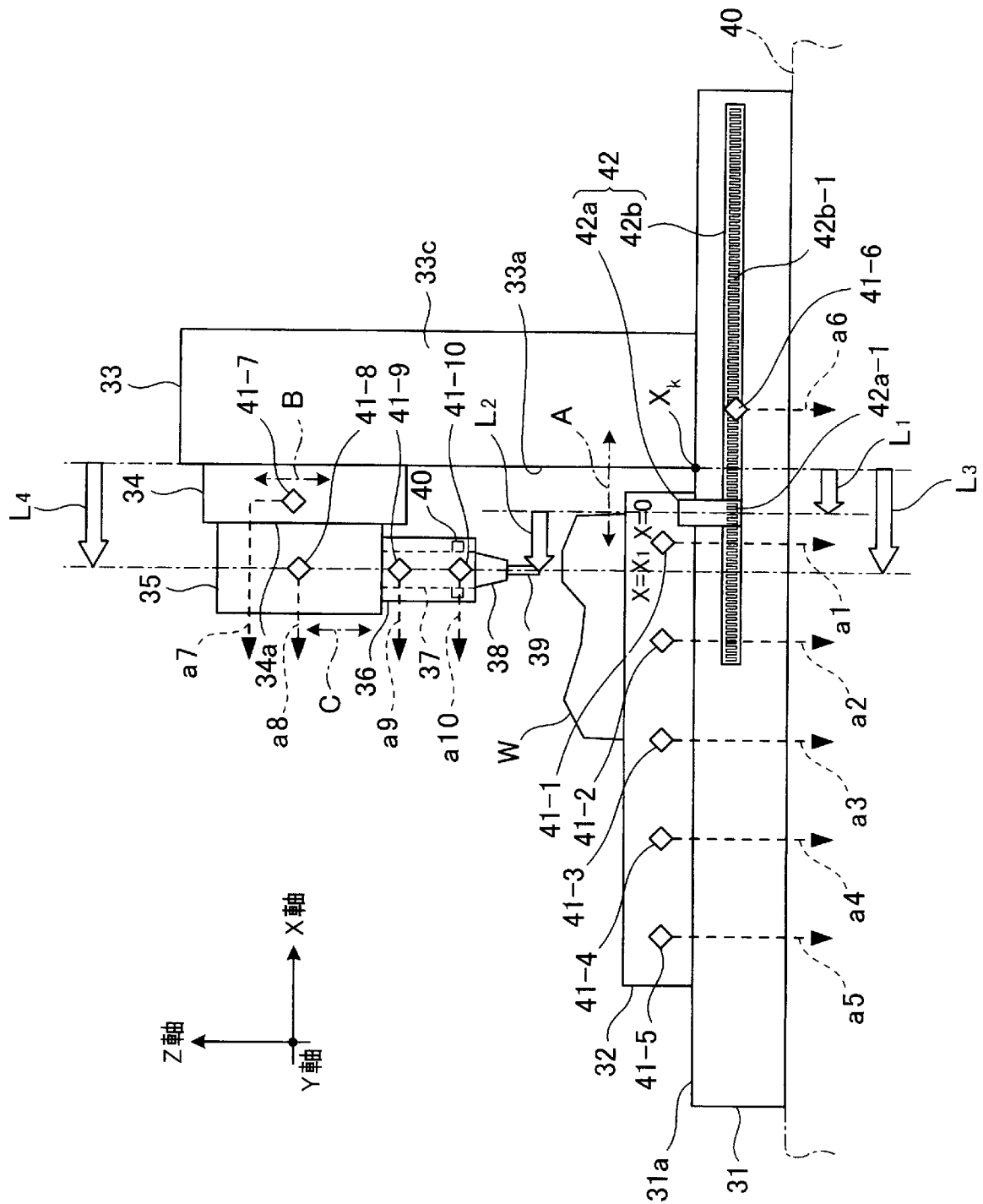
[図2]



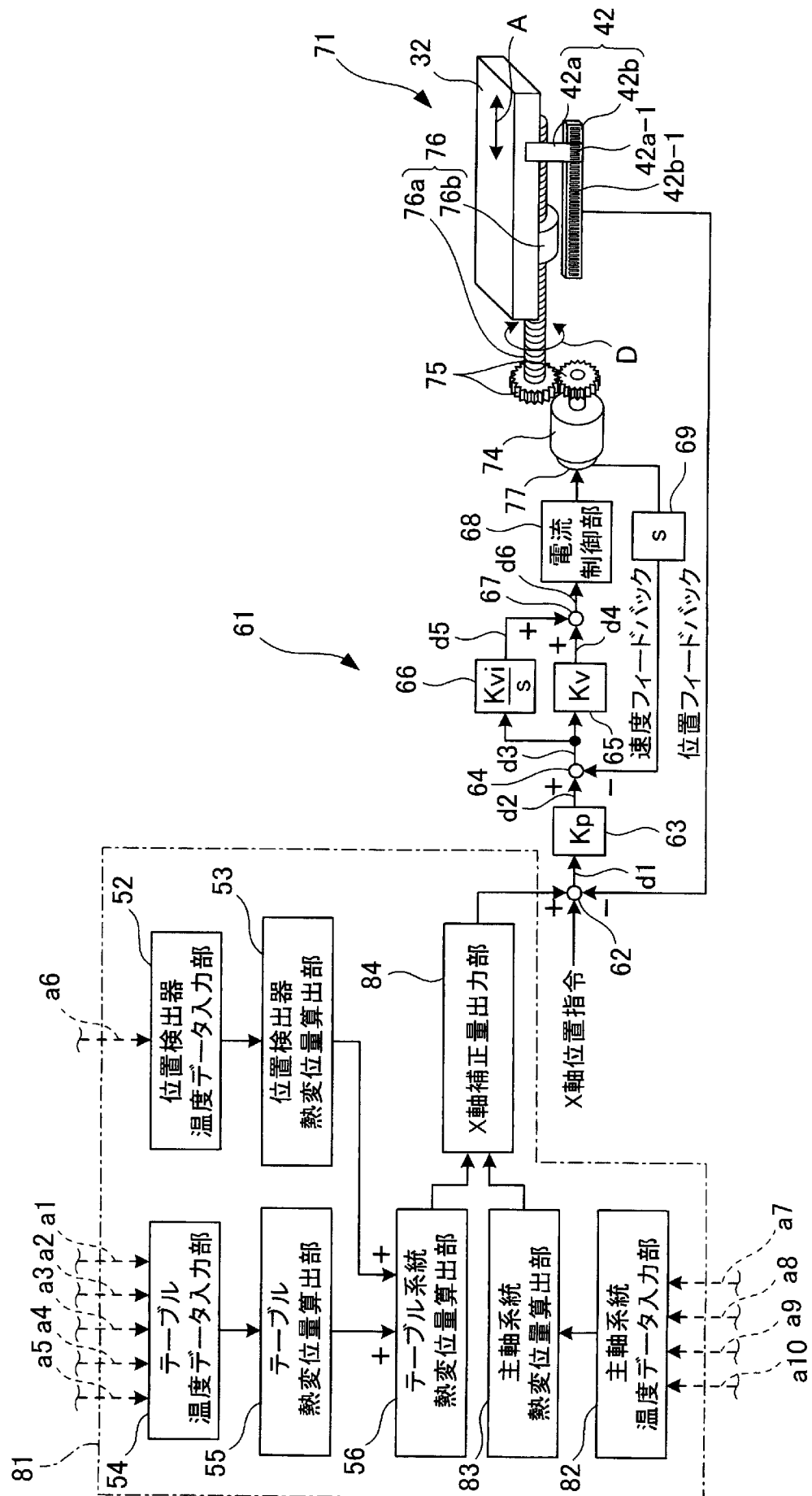
[図3]



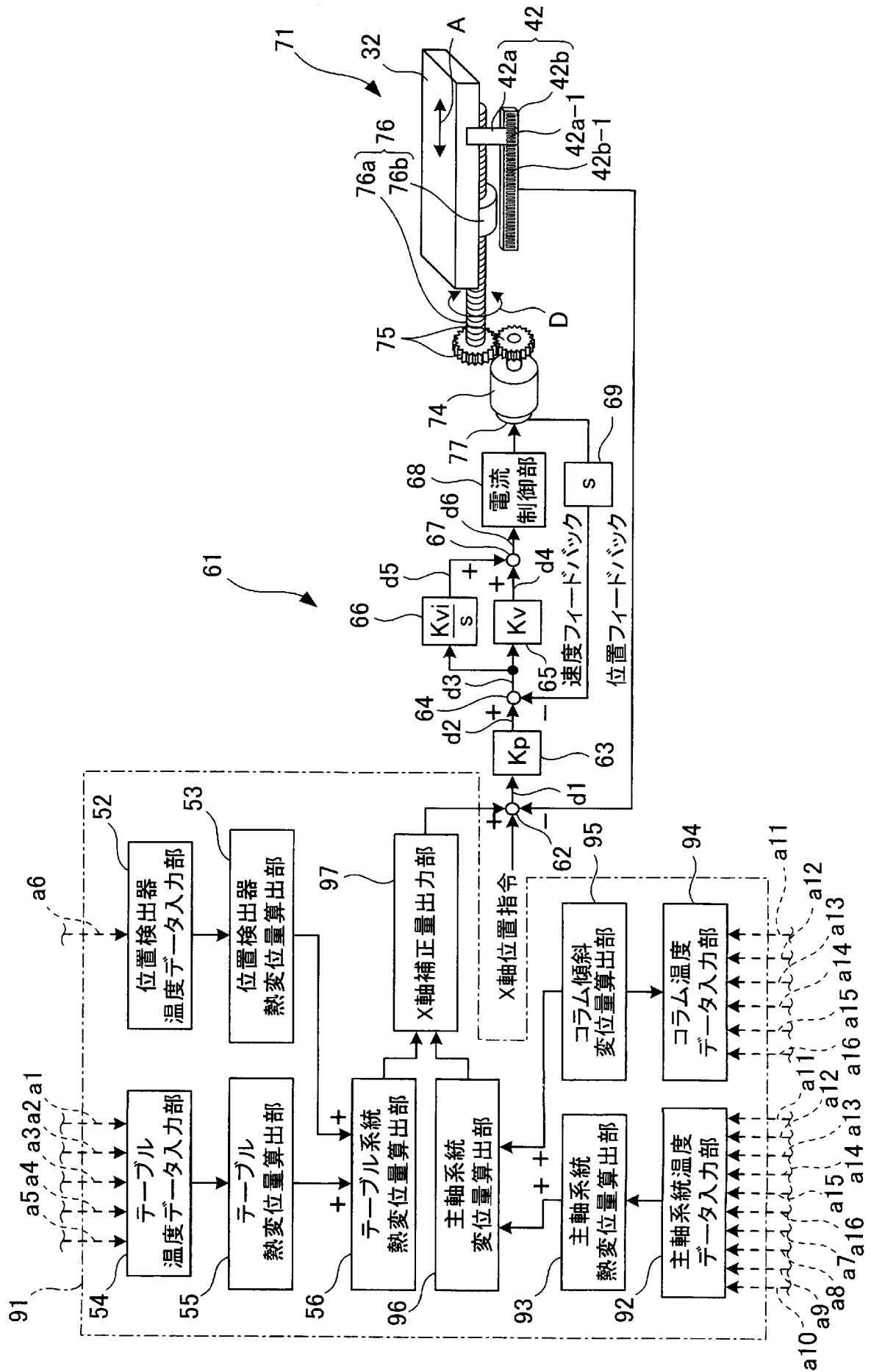
[図4]



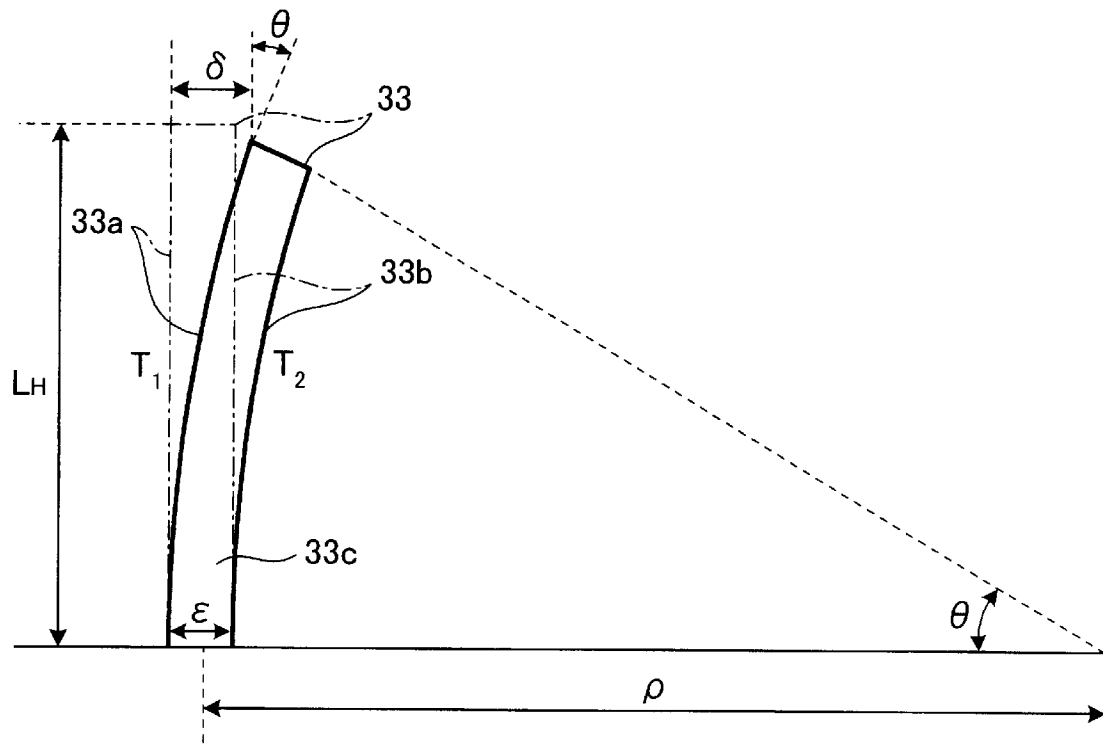
[図5]



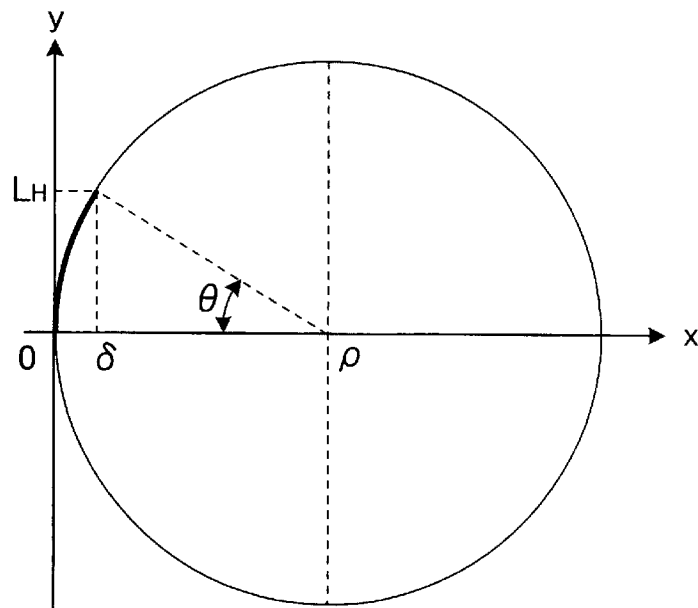
[図7]



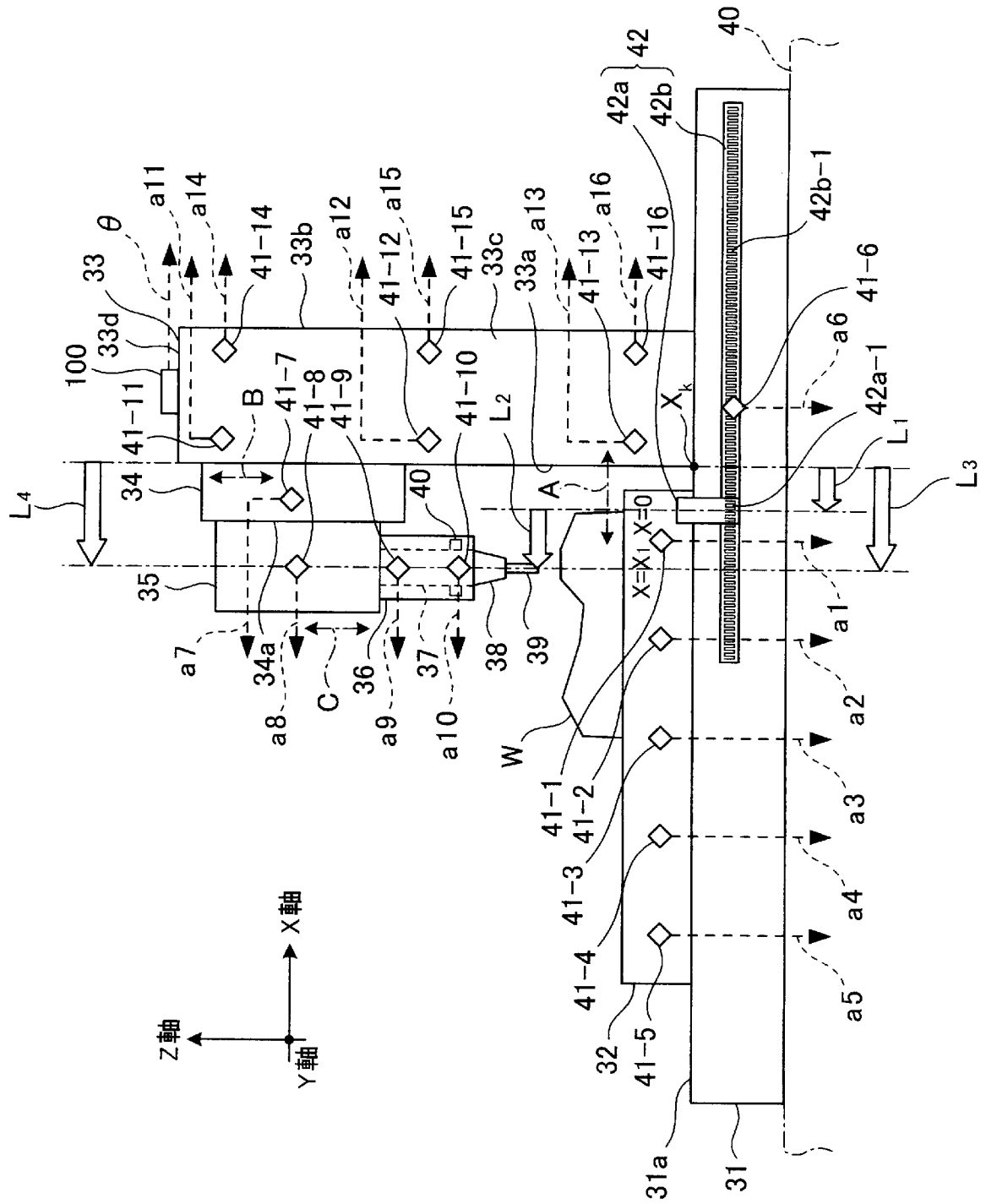
[図8]



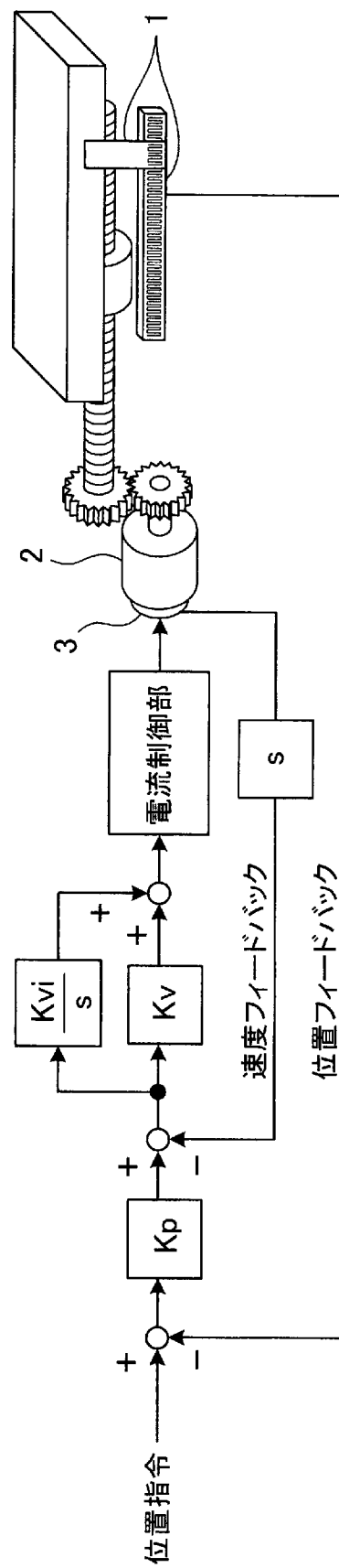
[図9]



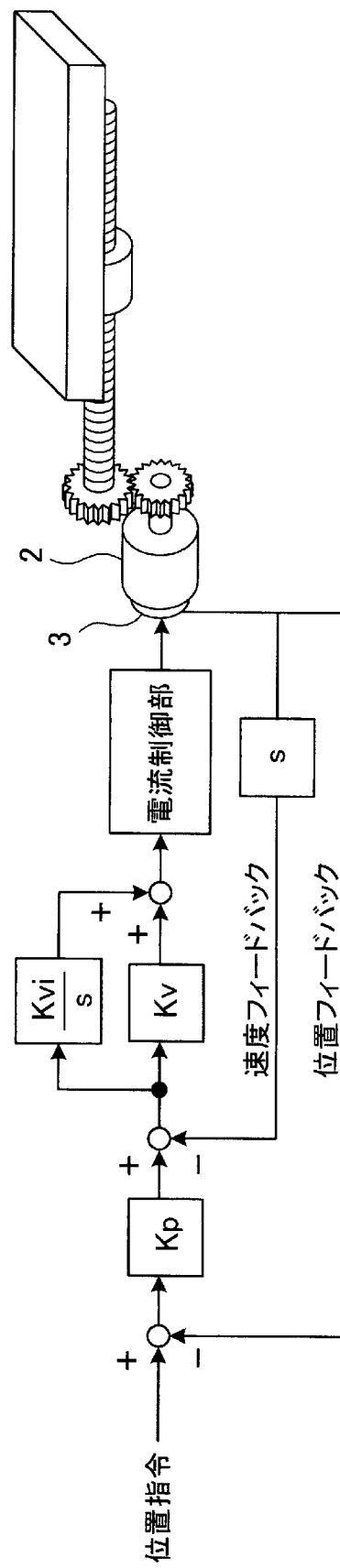
[図10]



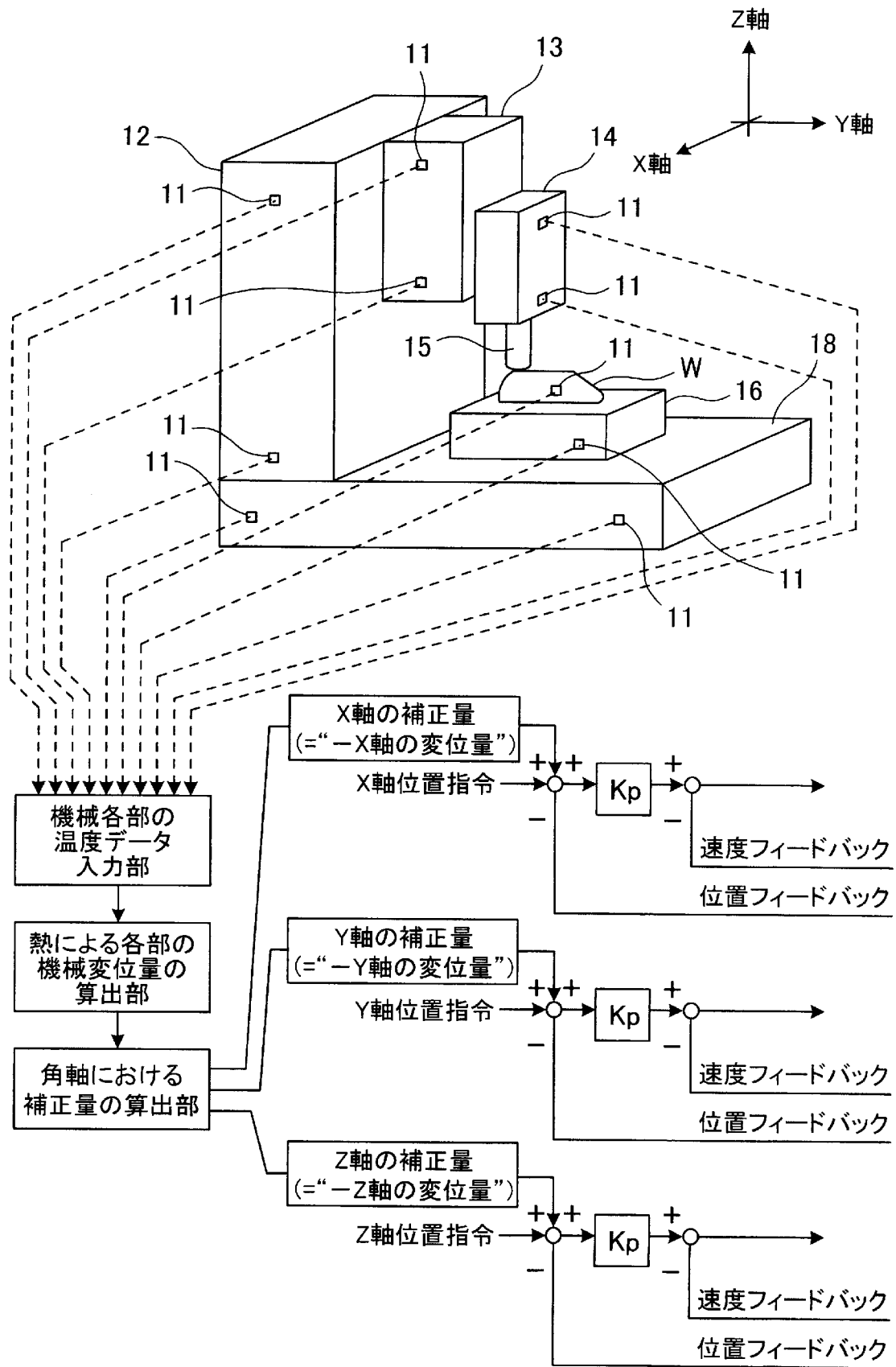
[図12]



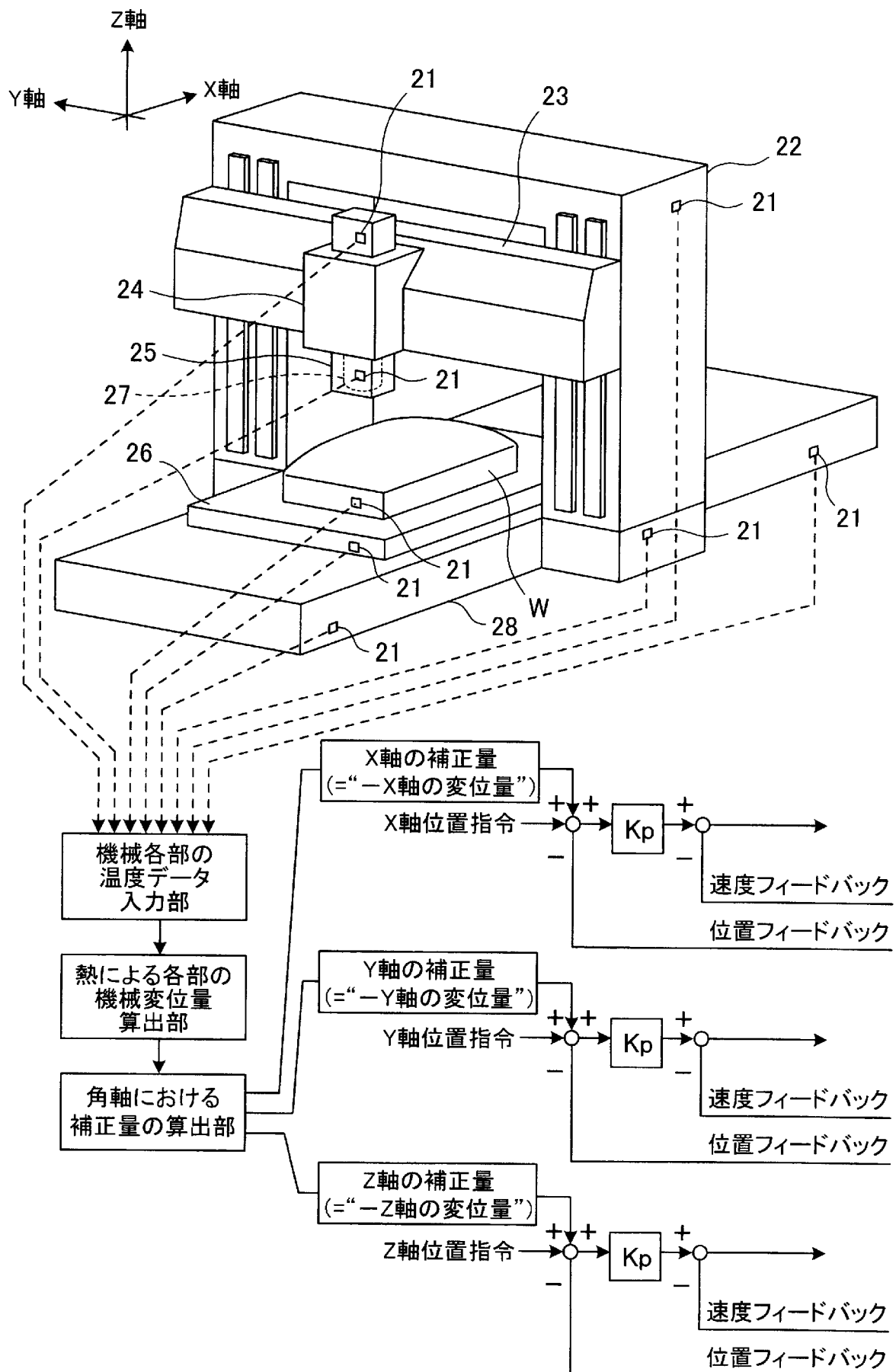
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/072918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23Q15/18(2006.01)i, B23Q17/00(2006.01)i, G05B19/404(2006.01)i, G05D3/12(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)

G05B19/18-19/416, G05B19/42-19/46, B23Q15/00-15/28, B23Q17/00-23/00, G05D3/00-3/20

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
Y	JP 4359573 B2 (Okuma Corp.), 04 November 2009 (04.11.2009), paragraphs [0018] to [0027]; fig. 1 to 6 & US 2006/0218811 A1 & DE 102006013767 A	1-5
Y	JP 5-248854 A (Fujitsu Ltd.), 28 September 1993 (28.09.1993), paragraphs [0025] to [0064]; fig. 1 to 10 (Family: none)	1-5
Y	JP 2008-246621 A (Brother Industries, Ltd.), 16 October 2008 (16.10.2008), paragraphs [0001] to [0039]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-5

☒ 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
01 November, 2011 (01.11.11)

Date of mailing of the international search report
06 December, 2011 (06.12.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/072918

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-281420 A (Okuma Corp.), 19 October 2006 (19.10.2006), paragraphs [0018] to [0034]; all drawings (Family: none)	3-5
Y	JP 2006-239854 A (Nagase Integrex Co., Ltd.), 14 September 2006 (14.09.2006), paragraph [0027]; fig. 1 (Family: none)	5
A	JP 2001-54839 A (Okuma Corp.), 27 February 2001 (27.02.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/072918

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☒ Claims Nos.: 6
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
It is not specifically set forth in the description that a machine tool comprises a level vial, and thermal displacement amount of a main shaft system is calculated with use of temperature data of a column temperature sensor (continued to extra sheet)

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/072918

Continuation of Box No.II-2 of continuation of first sheet(2)

when inclination displacement amount of a column is calculated on the basis of inclination data from the level vial, and therefore, claim 6 is not supported by the description.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. B23Q15/18(2006.01)i, B23Q17/00(2006.01)i, G05B19/404(2006.01)i, G05D3/12(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 (I P C))

Int.Cl. G05B19/18-19/416, G05B19/42-19/46, B23Q15/00-15/28, B23Q17/00-23/00, G05D3/00-3/20

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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
Y	JP 4359573 B2 (オークマ株式会社) 2009.11.04, 段落【0018】-【0027】, 図1-6 & US 2006/0218811 A1 & DE 102006013767 A	1-5
Y	JP 5-248854 A (富士通株式会社) 1993.09.28, 段落【0025】-【0064】, 図1-10 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2008-246621 A (ブラザー工業株式会社) 2008.10.16, 段落【0001】-【0039】, 図1-4 (ファミリーなし)	1-5

☒ 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、国際出願日以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

0 1 . 1 1 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 2 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

沼生 泰伸

3 U

3 8 2 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 2 4

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
Y	JP 2006-281420 A (オークマ株式会社) 2006. 10. 19, 段落【0018】－【0034】, 全図 (ファミリーなし)	3－5
Y	JP 2006-239854 A (株式会社ナガセインテグレックス) 2006. 09. 14, 段落【0027】, 図1 (ファミリーなし)	5
A	JP 2001-54839 A (オークマ株式会社) 2001. 02. 27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1－5

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☒ 請求項 6 は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
明細書には、工作機械が水準器を有し、該水準器からの傾斜データに基づいてコラムの傾斜変位量を算出する場合に、コラム温度センサの温度データを用いて主軸系統の熱変位量を算出することについて具体的に記載されておらず、請求項6は明細書によって裏付けされていない。
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。