(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
2009 年7 月30 日 (30.07.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/093520 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 13/19 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2009/050505

(22) 国際出願日: 2009 年1 月16 日 (16.01.2009)

(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2008-010169 2008 年1 月21 日 (21.01.2008) 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１６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): 藤村 宜孝 (FUJIMURA, Noritaka) [JP/JP]; 〒5203080 滋賀県栗東市六地蔵１３０番地 三菱重工業株式会社工作機械事業部内 Shiga (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１５号 光石法律特許事務所 Tokyo (JP).

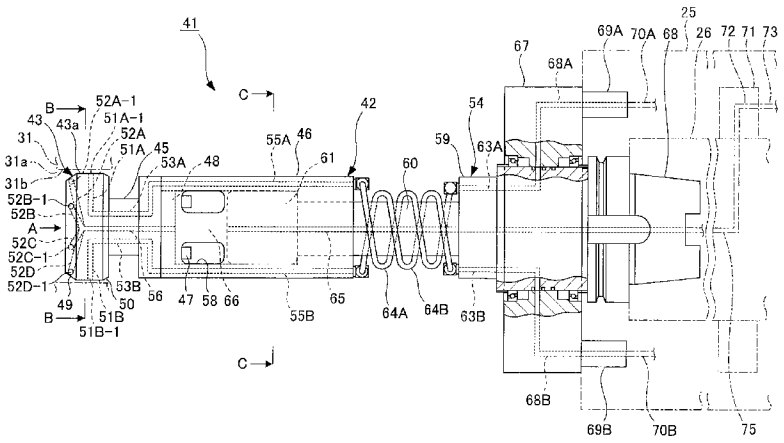
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,

[続葉有]

(54) **Title:** MEASURING HEAD FOR AIR MICROMETER

(54) 発明の名称: エアマイクロメータの計測ヘッド

[図2]



(57) **Abstract:** This aims to provide a measuring head for an air micrometer, which can measure the eccentricity between a spindle and a bush hole. The measuring head (41) is exemplified by comprising a measuring head body (42) and a measuring head tip (43). This measuring head tip has a first measuring air nozzle (51A) and a second measuring air nozzle (51B) so formed along the radial direction of the measuring head tip as to have an angle of 180 degrees inbetween in the circumferential direction of the measuring head tip. In the measuring head body, there are formed individual measuring air feed passages corresponding to the individual measuring air nozzles (that is, a feed passage composed of first measuring air feed passages (53A, 55A and 63A) and a hose (64A), and a feed passage composed of first measuring air feed passages (53B, 55B and 63B) and a hose (64B)). The measuring air is fed to the individual measuring air nozzles from the individual measuring air feed passages.

(57) 要約: 本発明は、主軸とブッシュ穴の偏芯量を計測することができるエアマイクロメータの計測ヘッドを提供することを目的とする。そのため、計測ヘッド（４１）を、例えば、計測ヘッド本体部（４２）と計測ヘッド先端部（４３）とを有し、計測ヘッド先端部には第１計測用エアノズル（５１Ａ）と第２計測用エアノズル（５１Ｂ）が、計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つ互いに計測ヘッ

[続葉有]

WO 2009/093520 A1

SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, 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 (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, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

ド先端部の周方向に１８０度の角度を有するように形成される一方、計測ヘッド本体部には各計測用エアノズルに対応した個別の計測用エア供給路（第１計測用エア供給路（５３Ａ，５５Ａ，６３Ａ）及びホース（６４Ａ）からなる供給路と、第１計測用エア供給路（５３Ｂ，５５Ｂ，６３Ｂ）及びホース（６４Ｂ）からなる供給路が形成されており、各計測用エアノズルに対してそれぞれ個別の計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成とする。

明 細 書

エアマイクロメータの計測ヘッド

技術分野

[0001] 本発明はエアマイクロメータの計測ヘッドに関する。

背景技術

[0002] 例えば、工作機械の主軸に長尺の穴開け工具を装着し、この穴開け工具でエンジンのシリンダブロックやバルブボディなどのワークに対してクランク穴やスプール穴などの同軸度の要求が厳しい穴を開ける場合には、穴開け工具の振れを抑制するためにブッシュが用いられる。この場合、主軸の軸芯(即ち穴開け工具の軸芯)とブッシュ穴の軸芯とを一致させて穴開け工具をブッシュ穴に挿入する(図1(a)参照:詳細後述)。

[0003] ところが、工作機械の熱変位などによって、主軸の軸芯とブッシュ穴の軸芯にずれ(偏芯)が生じることがあり、かかる偏芯状態のまま穴開け加工を継続するとブッシュ穴の内周面が偏摩耗してしまう。その結果、ブッシュが機能しなくなり、加工穴の同軸度が悪化してしまう。

[0004] 従って、定期的に主軸とブッシュ穴の偏芯量を計測し、この偏芯量に応じて主軸の位置を制御する(即ち主軸とブッシュ穴の相対位置を補正する)ことより、主軸(穴開け工具)の軸芯とブッシュ穴の軸芯とを一致させてブッシュ穴の偏摩耗を防止する必要がある。

[0005] このため、従来はタッチセンサを用いて主軸とブッシュ穴の偏芯量を測定していた。図21(a)はタッチセンサの側面図、図21(b)は図21(a)のW方向矢視図である。これらの図に示すように、タッチセンサ1は計測ヘッド2の先端にスタイラス3を突設してなるものである。穴開け工具に代えて、この計測ヘッド2を工作機械の主軸4に装着した後、主軸4を動作させてスタイラス3の先端のスタイラス球3aをブッシュ穴(図示省略)の内周面に接触させることにより、主軸4とブッシュ穴の偏芯量を計測する。

[0006] しかし、従来のタッチセンサは、接触式のセンサであることなどから、次のような問題点を有している。

[0007] (1) ブッシュ穴の内周面に付着した切削屑などの異物の噛み込みによって、計測誤差を生じ易い。

(2) スタイラス3が折れ易く、このスタイラス3の折損を防止するために主軸を低速度で動作させる必要があるため、計測に時間がかかる。

(3) スタイラス3の故障等により計測ヘッド2を交換する度にダイヤルゲージによる較正が必要であるため、計測に時間がかかる。

[0008] これに対し、短時間で且つ高精度に計測可能な非接触式のセンサとして、エアマイクロメータが知られている。図22(a)は従来のエアマイクロメータの概要を示す図、図22(b)は前記エアマイクロメータ用較正装置の概要を示す図である。

[0009] 図22(a)に示すように、従来のエアマイクロメータの計測ヘッド11は、計測ヘッド本体部14と、この計測ヘッド本体部14の先端に形成された計測ヘッド先端部12とを有している。計測ヘッド先端部12には計測ヘッド先端部12の径方向に沿って互いに逆方向に第1計測用エアノズル16Aと第2計測用エアノズル16Bとが形成されており、計測ヘッド本体部14には第1計測用エアノズル16Aと第2計測用エアノズル16Bとに連通する計測用エア供給路15が形成されている。

[0010] 計測時には、図示の如く計測ヘッド11(計測ヘッド先端部12)を被計測体13の穴13aに挿入した後、計測エア供給源17から計測用エアを、A/D変換機18を介して計測ヘッド本体部14の計測エア供給路15へ供給する。そして、この計測用エアが計測用エア供給路15を流通した後、分流して第1計測用エアノズル16Aと第2計測用エアノズル16Bとからそれぞれ噴出される。このときにA/D変換機18では計測用エアの圧力(計測用エアの流量に相当)を検出し、この検出信号をデジタル信号に変換して制御装置(図示省略)へ出力する。制御装置では、A/D変換機18から出力された圧力検出信号から計測用エアの流量を求め、この計測用エア流量のデータと、予め記憶されている計測用エア流量と穴径の関係を表すデータとに基づいて被計測体穴13aの直径D1を求める。

[0011] また、この計測流量と穴径の関係を表すデータは図22(b)に示すようなエアマイクロメータ用較正装置(マスタゲージ)19を用いて予め求めておく。即ち、図示の如く計測ヘッド11(計測ヘッド先端部12)を、所定の直径D2を有するエアマイクロメータ用

較正装置19のマスタ穴19aに挿入した後、エア供給源17から計測用エアを、A／D変換機18を介して計測ヘッド本体部14のエア供給路15へ供給する。そして、この計測用エアが計測用エア供給路15を流通した後、分流して第1計測用エアノズル16Aと第2計測用エアノズル16Bとからそれぞれ噴出される。A／D変換機18では、このときの計測用エアの圧力（計測用エアの流量に相当）を検出し、デジタル信号に変換して制御装置（図示省略）へ出力する。制御装置では、A／D変換機18から出力された圧力検出信号から計測用エアの流量を求める。かかる計測を直径D2の大きさが異なる大小2種類のマスタ穴19aに対して行い、制御装置では、このときに計測された計測用エア流量のデータと、予め入力されている直径D2のデータとを、前述の計測用エア流量と穴径の関係を表すデータとして記憶する。

[0012] 特許文献1：特開2006－284376号公報

特許文献2：特開昭58－114835号公報

特許文献3：特開平6－186009号公報

特許文献4：特開平7－134018号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0013] しかしながら、上記従来のエアマイクロメータの計測ヘッド11では穴径D1を計測することしかできず、図22（a）に示すような計測ヘッド12の外周面12aと被計測体穴13aの内周面13bとの間のギャップΔG1，ΔG2を計測することはできない。従って、この計測ヘッド11をそのままブッシュ穴の計測に適用したとしても、ブッシュ穴の内径を計測することしかできず、計測ヘッド先端部12の外周面12aとブッシュ穴の内周面との間のギャップを計測することができない。即ち、主軸とブッシュ穴の偏芯量を計測することができない。

[0014] 従って本発明は上記の事情に鑑み、主軸とブッシュ穴の偏芯量を計測することができるエアマイクロメータの計測ヘッド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

[0015] 上記課題を解決する第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、計測時に工作機械の主軸に装着され、前記工作機械のワークテーブルに取り付けられたブッシュ

のブッシュ穴に挿入されて、前記ブッシュ穴と前記主軸の偏芯量を計測するためのエアマイクロメータの計測ヘッドであって、

計測ヘッド本体部と、この計測ヘッド本体部の先端に設けられて計測時に前記ブッシュ穴に挿入される計測ヘッド先端部とを有し、

前記計測ヘッド先端部には計測時に前記計測ヘッド先端部の外周面の噴き出し口から同外周面と前記ブッシュ穴の内周面との間のギャップに計測用エアを噴き出すための1つの又は複数の計測用エアノズルが形成される一方、前記計測ヘッド本体部には各計測用エアノズルに対応した個別の計測用エア供給路が形成されており、各計測用エアノズルに対してそれぞれ個別の計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成としたことを特徴とする。

[0016] また、第2発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つ互いに前記計測ヘッド先端部の周方向に180度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路であることを特徴とする。

[0017] また、第3発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つそれぞれが前記計測ヘッド先端部の周方向に90度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルと第3計測用エアノズルと第4計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路と、前記第3計測用エアノズルに計測用エアを供給する第3計測用エア供給路と、前記第4計測用エアノズルに計測用エアを供給する第4計測用エア供給路であることを特徴とする。

[0018] また、第4発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つ互いに前記計測ヘッド先端部の周方向に90度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路であることを特徴とする。

[0019] また、第5発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成された1つの計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記1つの計測用エアノズルに計測用エアを供給する1つの計測用エア供給路であることを特徴とする。

[0020] また、第6発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第2発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部に装着されたロータリジョイントの第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたこと、

又は、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記主軸に装着されたロータリジョイントの第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路及び前記主軸に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴とする。

[0021] また、第7発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第5発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された計測用エア供給路から、前記計測

ヘッド本体部に装着されたロータリジョイントの計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の計測用エア供給路へ供給される構成としたこと、

又は、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された計測用エア供給路から、前記主軸に装着されたロータリジョイントの計測用エア供給路と前記主軸に形成された計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の計測用エア供給路へ供給される構成としたことを特徴とする。

[0022] また、第8発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第3発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路と第3計測用エア供給路と第4計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路と第3計測用エア供給路と第4計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴とする。

[0023] また、第9発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第3発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴とする。

[0024] また、第10発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第1～第9発明の何れかのエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測ヘッド先端部には、計測時にその先端側周縁のテーパ面の噴き出し口から前方へ前記ブッシュ穴の内周面に向かってエアブロー用エアを噴き出すためのエアブロー用ノズルが形成され、

前記計測ヘッド本体部には、前記エアブロー用ノズルにエアブロー用エアを供給するエアブロー用エア供給路が形成されていることを特徴とする。

[0025] また、第11発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第10発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

エアブロー用エアが、前記主軸の支持部に形成されたエアブロー用エア供給路から、直接、又は前記主軸に装着されたロータリジョイントのエアブロー用エア供給路及

び前記主軸に形成されたエアブロー用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部のエアブロー用エア供給路へ供給される構成としたことを特徴とする。

[0026] また、第12発明のエアマイクロメータの計測ヘッドは、第1～第11発明の何れかのエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測ヘッド本体部は、前記計測ヘッド先端部が固定されている先端側部材と、基端側部材と、前記先端側部材と前記基端側部材との間に介設された弾性部材と、前記先端側部材に形成された計測用エア供給路と前記基端側部材に形成されている計測用エア供給路とをつないだ可撓性のホースとを有してなるものであることを特徴とする。

発明の効果

[0027] 第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、計測時に工作機械の主軸に装着され、前記工作機械のワークテーブルに取り付けられたブッシュのブッシュ穴に挿入されて、前記ブッシュ穴と前記主軸の偏芯量を計測するためのエアマイクロメータの計測ヘッドであって、計測ヘッド本体部と、この計測ヘッド本体部の先端に設けられて計測時に前記ブッシュ穴に挿入される計測ヘッド先端部とを有し、前記計測ヘッド先端部には計測時に前記計測ヘッド先端部の外周面の噴き出し口から同外周面と前記ブッシュ穴の内周面との間のギャップに計測用エアを噴き出すための1つの又は複数の計測用エアノズルが形成される一方、前記計測ヘッド本体部には各計測用エアノズルに対応した個別の計測用エア供給路が形成されており、各計測用エアノズルに対してそれぞれ個別の計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成としたことを特徴としているため、ブッシュ穴の内径ではなく、計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップを計測することができる。従って、このギャップの計測値に基づいて主軸とブッシュ穴の偏芯量を求め、この偏芯量に応じて主軸の位置を制御する(即ち主軸とブッシュ穴の相対位置を補正する)ことより、主軸(穴開け工具)の軸芯とブッシュ穴の軸芯とを一致させてブッシュ穴の偏摩耗を防止することができる。

[0028] 第2発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向

に沿って形成され且つ互いに前記計測ヘッド先端部の周方向に180度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルであり、前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路であることを特徴としているため、ブッシュ穴の内径ではなく、主軸によって計測ヘッドを90度回転させることにより、計測ヘッド先端部の直交する第1の径方向の両側と第2の径方向の両側において、計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップを計測することができる。従って、このギャップの計測値に基づいて(例えば後述の(1),(2)式の計算により)主軸とブッシュ穴の偏芯量を求め、この偏芯量に応じて主軸の位置を制御する(即ち主軸とブッシュ穴の相対位置を補正する)ことより、主軸(穴開け工具)の軸芯とブッシュ穴の軸芯とを一致させてブッシュ穴の偏摩耗を防止することができる。

[0029] 第3発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つそれぞれが前記計測ヘッド先端部の周方向に90度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルと第3計測用エアノズルと第4計測用エアノズルであり、前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路と、前記第3計測用エアノズルに計測用エアを供給する第3計測用エア供給路と、前記第4計測用エアノズルに計測用エアを供給する第4計測用エア供給路であることを特徴としているため、ブッシュ穴の内径ではなく、計測ヘッド先端部の直交する第1の径方向の両側と第2の径方向の両側において、計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップを計測することができる。従って、このギャップの計測値に基づいて(例えば後述の(1),(2)式の計算により)主軸とブッシュ穴の偏芯量を求め、この偏芯量に応じて主軸の位置を制御する(即ち主軸とブッシュ穴の相対位置を補正する)ことより、主軸(穴開け工具)の軸芯とブッシュ穴の軸芯とを一致させてブッシュ穴の偏摩耗を防止することができる。

[0030] 第4発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つ互いに前記計測ヘッド先端部の周方向に90度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルであり、前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路であることを特徴としているため、ブッシュ穴の内径ではなく、計測ヘッド先端部の直交する第1の径方向と第2の径方向において、計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップを計測することができる。従って、このギャップの計測値に基づいて(例えばギャップの計測値を、偏芯していないときの計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップ値から差し引くことにより)主軸とブッシュ穴の偏芯量を求め、この偏芯量に応じて主軸の位置を制御する(即ち主軸とブッシュ穴の相対位置を補正する)ことより、主軸(穴開け工具)の軸芯とブッシュ穴の軸芯とを一致させてブッシュ穴の偏摩耗を防止することができる。

[0031] 第5発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第1発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成された1つの計測用エアノズルであり、前記計測用エア供給路は、前記1つの計測用エアノズルに計測用エアを供給する1つの計測用エア供給路であることを特徴としているため、ブッシュ穴の内径ではなく、例えば主軸によって計測ヘッドを90度回転させることにより、計測ヘッド先端部の直交する第1の径方向と第2の径方向において、計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップを計測することができる。従って、このギャップの計測値に基づいて(例えばギャップの計測値を、偏芯していないときの計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップ値から差し引くことにより)主軸とブッシュ穴の偏芯量を求め、この偏芯量に応じて主軸の位置を制御する(即ち主軸とブッシュ穴の相対位置を補正する)ことより、主軸(穴開け工具)の軸芯とブッシュ穴の軸芯とを一致させてブッシュ穴の偏摩耗を防止することができる。

[0032] 第6発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第2発明のエアマイクロメータ

の計測ヘッドにおいて、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部に装着されたロータリジョイントの第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたこと、又は、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記主軸に装着されたロータリジョイントの第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路及び前記主軸に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸の支持部から計測用エアを供給することができ、計測ヘッドに直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸への計測ヘッドの着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0033] 第7発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第5発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部に装着されたロータリジョイントの計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の計測用エア供給路へ供給される構成としたこと、又は、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された計測用エア供給路から、前記主軸に装着されたロータリジョイントの計測用エア供給路と前記主軸に形成された計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の計測用エア供給路へ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸の支持部から計測用エアを供給することができ、計測ヘッドに直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸への計測ヘッドの着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0034] 第8発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第3発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路と第3計測用エア供給路と第4計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路と第3計測用エア供給路と第4計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたこと

を特徴としているため、主軸の支持部から計測用エアを供給することができ、計測ヘッドに直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸への計測ヘッドの着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0035] 第9発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第4発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸の支持部から計測用エアを供給することができ、計測ヘッドに直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸への計測ヘッドの着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0036] 第10発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第1～第9発明の何れかのエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、前記計測ヘッド先端部には、計測時にその先端側周縁のテーパ面の噴き出し口から前方へ前記ブッシュ穴の内周面に向かってエアブロー用エアを噴き出すためのエアブロー用ノズルが形成され、前記計測ヘッド本体部には、前記エアブロー用ノズルにエアブロー用エアを供給するエアブロー用エア供給路が形成されていることを特徴としているため、ブッシュ穴の内周面に切削屑などの異物が付着しても、エアブローによってブッシュ穴の内周面から当該異物を除去してから、ギャップ計測を行うことができるため、精度のよいギャップ計測を行うことができる。

[0037] 第11発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第10発明のエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、エアブロー用エアが、前記主軸の支持部に形成されたエアブロー用エア供給路から、直接、又は前記主軸に装着されたロータリジョイントのエアブロー用エア供給路及び前記主軸に形成されたエアブロー用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部のエアブロー用エア供給路へ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸の支持部からエアブロー用エアを供給することができ、計測ヘッドに直接エアブロー用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸への計測ヘッドの着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0038] 第12発明のエアマイクロメータの計測ヘッドによれば、第1～第11発明の何れかのエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、前記計測ヘッド本体部は、前記計測ヘッド先端部が固定されている先端側部材と、基端側部材と、前記先端側部材と前記基端側部材との間に介設された弾性部材と、前記先端側部材に形成された計測用エア供給路と前記基端側部材に形成されている計測用エア供給路とをつないだ可撓性のホースとを有してなるものであることを特徴としているため、計測ヘッド先端部をブッシュ穴に挿入する際に計測ヘッド先端部がブッシュに接触したとしても、弾性部材が伸びて又は縮んで計測ヘッド先端部が基端側に移動することより、この接触時の衝撃が緩和される。

図面の簡単な説明

[0039] [図1](a)は本発明の実施の形態例1に係るエアマイクロメータの計測ヘッドが適用される工作機械の一例を示す図、(b)は前記計測ヘッドを前記工作機械の主軸に装着した状態を示す要部拡大図である。

[図2]前記計測ヘッドを一部破断して示す側面図である。

[図3](a)は前記計測ヘッドの一部を示す断面図、(b)は図2のA方向矢視図、(c)は図2のB－B線矢視断面図、(d)は図2のC－C線矢視断面図である。

[図4]前記エアマイクロメータのシステム構成図である。

[図5](a)は図4のD方向矢視図、(b)は前記計測ヘッドを(a)の状態から90度回転させた状態を示す図である。

[図6]計測用エア流量とギャップの関係を表すデータの説明図である。

[図7](a)は前記計測ヘッドの較正に用いるエアマイクロメータ用較正装置(マスタゲージ)の断面図、(b)は(a)のE方向矢視図、(c)は(a)のF－F線矢視断面図である。

[図8](a)は前記エアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図、(b)は(a)のG方向矢視図である。

[図9]本発明の実施の形態例2に係るエアマイクロメータの計測ヘッドの側面図である。

[図10](a)は前記計測ヘッドの一部を示す断面図、(b)は図9のH方向矢視図、(c)

は図9のI－I線矢視断面図、(d)は図9のJ－J線矢視断面図、(e)は図9のK－K線矢視断面図、(f)は図9のL－L線矢視断面図である。

[図11]前記エアマイクロメータのシステム構成図である。

[図12]図11のM方向矢視図である。

[図13]エアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図(図8(b)と同様の図)である。

[図14](a)は本発明の実施の形態例3に係るエアマイクロメータの計測ヘッドの要部側面図、(b)は(a)のN方向矢視図、(c)は(a)のO－O線矢視断面図、(d)は(a)のP－P線矢視断面図、(e)は(a)のQ－Q線矢視断面図である。

[図15]前記計測ヘッドによってギャップ計測をする様子を示す図(図5と同様の図)である。

[図16]エアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図(図8(b)と同様の図)である。

[図17]偏芯量算出方法を説明図であって、(a)は計測ヘッド先端部とブッシュ穴が偏芯していないときの状態を示す図、(b)は計測ヘッド先端部がブッシュ穴に対してX軸方向にのみ偏芯した状態を示す図、(c)は(b)の状態の要部拡大図である。

[図18](a)は本発明の実施の形態例4係るエアマイクロメータの計測ヘッドの要部側面図、(b)は(a)のR方向矢視図、(c)は(a)のS－S線矢視断面図、(d)は(a)のV－V線矢視断面図である。

[図19](a)は前記計測ヘッドによってギャップ計測をする様子を示す図(図5と同様の図)、(b)は前記計測ヘッドを(a)の状態から90度回転させた状態を示す図(図5と同様の図)である。

[図20]エアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図(図8(b)と同様の図)である。

[図21](a)はタッチセンサの側面図、(b)は(a)のW方向矢視図である。

[図22](a)は従来のエアマイクロメータの概要を示す図、(b)は前記エアマイクロメータ用較正装置の概要を示す図である。

符号の説明

[0040] 21 工作機械、 22 ベッド、 23 ワークテーブル、 24 コラム、 25 主軸ヘッド、 26 主軸、 27 ブッシュ取付具、 27a 水平部、 27b 垂直部、 28, 29, 30 レール、 31 ブッシュ、 31a ブッシュ穴、 31b 内周面、 32 穴開け工具、 41 計測ヘッド、 42 計測ヘッド本体部、 43 計測ヘッド先端部、 43a 外周面、 45 接続部、 46 ケース、 46a 内周面、 47 ねじ、 48 インロー嵌合部、 49, 50 テーパ面、 51A 第1計測用エアノズル(計測用エアノズル)、 51B 第2計測用エアノズル

51C 第3計測用エアノズル、 51D 第4計測用エアノズル、 51A－1, 51B－1, 51C－1, 51D－1 噴き出し口、 52A, 52B, 52C, 52D エアブロー用ノズル、 52A－1, 52B－1, 52C－1, 52D－1 噴き出し口、 53A 第1計測用エア供給路, 計測用エア供給路、 53B 第2計測用エア供給路、 53C 第3計測用エア供給路、 53D 第4計測用エア供給路、 54 基端側部材、 55A 第1計測用エア供給路, 計測用エア供給路、 55B 第2計測用エア供給路、 55C 第3計測用エア供給路、 55D 第4計測用エア供給路、 56 エアブロー用エア供給路、 58 長穴、 59 基端部、 60 軸部、 61 先端部、 62 基端側端板、 62a 穴、 63A 第1計測用エア供給路、 63B 第2計測用エア供給路、 63C 第3計測用エア供給路、 63D 第4計測用エア供給路、 64A, 64B, 64C, 64D ホース、 65 エアブロー用エア供給路

66 空間部、 67 ロータリジョイント、 68A 第1計測用エア供給路、 68B 第2計測用エア供給路、 69A 第1カプラ、 69B 第2カプラ、 69C 第3カプラ、 69D 第4カプラ、 70A 第1計測用エア供給路、 70B 第2計測用エア供給路、 71 ロータリジョイント、 72 エアブロー用エア供給路、 73 エアブロー用エア供給路、 74 コイルばね、 75 エアブロー用エア供給路、 76A 第1計測用エア供給源、 76B 第2計測用エア供給源、 76C 第3計測用エア供給源、 76D 第4計測用エア供給源、 77A 第1A／D変換機、 77B 第2A／D変換機、 77C 第3A／D変換機、 77D 第4A／D変換機、 78 NC装置、 79 エアブロー用エア供給源、 80 シーケンサ、 81 制御装置、 91 エアマイクロメータ用較正装置、 92 格納穴、 93 クランピングスリーブ、 93a 内周面、 94 計測ヘッド進

入穴、 95 小径のマスタ穴、 95a 内周面、 96 大径のマスタ穴、 96a 内周面、 97 油圧室、 98 圧油供給路、 99 ホース

発明を実施するための最良の形態

[0041] 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。

[0042] ＜実施の形態例1＞

図1(a)は本発明の実施の形態例1に係るエアマイクロメータの計測ヘッドが適用される工作機械の一例を示す図、図1(b)は前記計測ヘッドを前記工作機械の主軸に装着した状態を示す要部拡大図である。そして、図2は前記計測ヘッドを一部破断して示す側面図、図3(a)は前記計測ヘッドの一部を示す断面図、図3(b)は図2のA方向矢視図、図3(c)は図2のB－B線矢視断面図、図3(d)は図2のC－C線矢視断面図、図4は前記エアマイクロメータのシステム構成図、図5(a)は図4のD方向矢視図、図5(b)は前記計測ヘッドを図5(a)の状態から90度回転させた状態を示す図、図6は計測用エア流量とギャップの関係を表すデータの説明図である。

[0043] また、図7(a)は前記計測ヘッドの較正に用いるエアマイクロメータ用較正装置(マスタゲージ)の断面図、図7(b)は図7(a)のE方向矢視図、図7(c)は図7(a)のF－F線矢視断面図、図8(a)は前記エアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図、図8(b)は図8(a)のG方向矢視図である。

[0044] 図1(a)に例示する工作機械21はベッド22、ベッド22上に設けられたワークテーブル23、コラム24、主軸ヘッド25、主軸26及びブッシュ取付具27などを有してなるものである。

[0045] コラム24はベッド22の上面に設けられたレール28に沿って図1(a)の紙面と直交する方向(X軸方向)へ移動可能となっており、ワークテーブル23はベッド22の上面に設けられたレール29に沿って図1(a)の左右方向(Z軸方向)へ移動可能となっている。主軸26の支持部である主軸ヘッド25は、コラム24の前面に設けられたレール30に沿って上下方向(Y軸方向)に移動可能となっている。図示例の工作機械は横形のものであり、主軸26は軸方向を水平にした状態で主軸ヘッド25内に設けられて、主軸ヘッド25に回転可能に支持されている。コラム24とワークテーブル23と主軸ヘッド26は、図示しない送りねじ機構などの各軸の駆動機構に駆動されて、X軸方

向とZ軸方向とY軸方向のそれぞれに直線的に移動するようになっている。主軸26は図示しない主軸モータによって回転駆動される。

[0046] ブッシュ取付具27は水平部27aと垂直部27bとを有しており、ワークテーブル23上に固定されている。ブッシュ取付具27の水平部27a上にはエンジンのシリンダブロックやバルブボディなどのワークWが載置されて油圧などの固定手段で固定され、ブッシュ取付具27の垂直部にはブッシュ31が取り付けられている。ブッシュ31は中心部に横断面が円形のブッシュ穴31aを有する円筒状の部材である。一方、主軸26には長尺の穴開け工具32が装着されている。この穴開け工具32をブッシュ穴31aに挿通してその振れをブッシュ31で抑制しつつ、主軸26によって回転駆動することにより、同軸度の要求が厳しいクランク穴やスプール穴などの穴33の穴開け加工を行う。

[0047] そして、工作機械21の熱変位などで主軸26(穴開け工具32)の軸芯とブッシュ穴31aの軸芯がずれて(主軸26とブッシュ穴31aが偏芯して)、ブッシュ穴31aの内周面31bが偏摩耗してしまうのを防止するために定期的に主軸26とブッシュ穴31aの偏芯量を計測する。

[0048] その際には図1(b)に示すようにエアマイクロメータの計測ヘッド41を、穴開け工具32に代えて主軸26に装着した後、ブッシュ穴31aに挿入することによってギャップ計測を(主軸26とブッシュ穴31aの偏芯量の計測)をする(詳細後述)。なお、この場合のギャップ計測は、実際に穴開け加工に使用しているブッシュ31に限らず、図1(a)に一点鎖線で示すようにギャップ計測専用のブッシュ31を、ブッシュ取付具27やその近傍などに設けて、当該ギャップ計測専用のブッシュ31に対して行うようにしてもよい。

[0049] 図2及び図3(a)～図3(d)に示すように、本実施の形態例1のエアマイクロメータの計測ヘッド41は円柱状の計測ヘッド本体部42と、この計測ヘッド本体部42の先端に設けられた円柱状の計測ヘッド先端部43とを有している。計測ヘッド本体部42の先端は計測ヘッド先端部43と一体の接続部45(先端側部材)となっており、この接続部45のインロー嵌合部48が、計測ヘッド本体部42のケース46に嵌合されている。また、ケース46の外周面には複数の長穴(凹部)58が形成されており、これらの長穴58から挿入されたねじ47によって、接続部45がケース46にねじ止めされている。

[0050] 計測ヘッド先端部43の先端側周縁はテーパ面49となっており、計測ヘッド先端部43の基端側周縁もテーパ面50となっている。テーパ面49は計測ヘッド先端部43の先端側に向かって計測ヘッド先端部43の径方向内側へと傾斜しており、テーパ面50は計測ヘッド先端部43の基端側に向かって計測ヘッド先端部43の径方向内側へと傾斜している。

[0051] そして、この計測ヘッド先端部43には、2つの計測用エアノズル51A，51Bと、4つのエアブロー用ノズル52A，52B，52C，52Dが形成されている。

[0052] 第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bは計測ヘッド先端部43の径方向に沿って形成され且つ互いに計測ヘッド先端部43の周方向に180度の角度を有しており、計測時に計測ヘッド先端部43の外周面43aの噴き出し口51A－1，51B－1から、同外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップに噴き出すためのものである。エアブロー用ノズル52A，52B，52C，52Dは計測ヘッド先端部43の周方向にそれぞれ90度の角度を有しており、先端側のテーパ面49の噴き出し口52A－1，52B－1，52C－1，52D－1から前方へブッシュ穴31aの内周面31bに向かってエアブロー用エアを噴き出すためのものである。また、接続部45には、第1計測用エアノズル51Aに接続された第1計測用エア供給路53Aと、第2計測用エアノズル51Bに接続された第2計測用エア供給路53Bと、エアブロー用ノズル52A，52B，52C，52Dに接続されたエアブロー用エア供給路56とが形成されている。

[0053] 一方、計測ヘッド本体部42は前述の接続部45の他、先端側部材としてのケース46と、基端側部材54とを有している。ケース46は円筒状の部材であり、その板厚部分に第1計測用エア供給路55Aと第2計測用エア供給路55Bが形成されている。第1計測用エア供給路55Aは前述の第1計測用エア供給路53Aに接続され、第2計測用エア供給路55Bは前述の第2計測用エア供給路53Bに接続されている。

[0054] 基端側部材54は、軸部60の先端側と基端側に軸部60よりも大径の先端部61と基端部59とを備えた構成となっている。先端部62はケース46内に配設され、ケース46の内周面46aに接して軸方向に摺動可能となっており、軸部60はケース46の基端側端板62の穴62aに挿通されて、軸方向に移動可能となっている。そして、先端部62と接続部45（インロー部48）との間には、弾性部材としてのコイルばね74が介設さ

れている。コイルばね74は、常時、計測ヘッド先端部43（接続部45）を前方に押している。従って、計測ヘッド先端部43をブッシュ穴31aに挿入する際に計測ヘッド先端部43がブッシュ31に接触したとしても、コイルばね74が縮んで図3（a）に一点鎖線で示すように計測ヘッド先端部43がケース46とともに基端側に移動することより、この接触時の衝撃が緩和される。

[0055] 基端側部材54には第1計測用エア供給路63Aと第2計測用エア供給路63Bが形成されている。軸部60の外周面には可撓性の第1ホース64Aと第2ホース64Bが巻き付けられており、第1ホース64Aはケース46側の第1計測用エア供給路55Aと基端側部材54側の第1計測用エア供給路63Aとをつなぎ、第2ホース64Bはケース46側の第2計測用エア供給路55Bと基端側部材54側の第2計測用エア供給路63Aとをつないでいる。従って、第1計測用エアノズル51Aには第1計測用エア供給路63A、第1ホース64A、第1計測用エア供給路55A及び第1計測用エア供給路53Aを介して計測用エアが供給され、第2計測用エアノズル51Bには第2計測用エア供給路63B、第2ホース64B、第2計測用エア供給路55B及び第2計測用エア供給路53Bを介して計測用エアが供給される。

[0056] また、基端側部材54（先端部61、軸部60及び基端部59）には、エアブロー用エア供給路65が形成されている。従って、エアブロー用ノズル52A, 52B, 52C, 52Dにはエアブロー用エア供給路65、ケース46内における先端部61と接続部45（インロー嵌合部48）との間の空間部66及びエアブロー用エア供給路56を介してエアブロー用エアが供給される。

[0057] また、基端側部材54の外周面にはロータリジョイント67が装着されており、基端側部材54の基端には計測ヘッド41を、穴開け工具32と同様に主軸26に対して着脱可能な構造の着脱部68が設けられている。

[0058] ロータリジョイント67の第1計測用エア供給路68Aは第1カプラ69Aを介して、主軸ヘッド25に形成されている第1計測用エア供給路70Aに接続されており、ロータリジョイント67の第2計測用エア供給路68Bは第2カプラ69Bを介して、主軸ヘッド25に形成されている第2計測用エア供給路70Bに接続されている。従って、基端側部材54の第1計測用エア供給路63Aへは主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70Aから

、ロータリジョイント67の第1計測用エア供給路68Aを介して計測用エアが供給され、基端側部材54の第2計測用エア供給路63Bへは主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70Bから、ロータリジョイント67の第2計測用エア供給路68Bを介して計測用エアが供給される。

[0059] また、主軸26にはロータリジョイント71が装着されており、このロータリジョイント71のエアブロー用エア供給路72は主軸ヘッド25に形成されたエアブロー用エア供給路73に接続されている。従って、基端側部材54のエアブロー用エア供給路65へは、主軸ヘッド25のエアブロー用エア供給路73から、ロータリジョイント71のエアブロー用エア供給路72及び主軸26に形成されたエアブロー用エア供給路75を介してエアブロー用エアが供給される。

[0060] 次に、図4、図5(a)、図5(b)及び図6に基づき、エアマイクロメータのシステム構成及びギャップ計測操作の手順について説明する。なお、以下の操作はNC装置(数値制御装置)78で前記各軸の駆動機構の動作や主軸モータの回転などを制御することよって実施される。

[0061] ギャップ計測時には、まず、穴開け工具32に代えて計測ヘッド41を主軸26に装着し、この計測ヘッド41をブッシュ穴31aの入口まで移動した後、エアブロー用エア供給源79から、計測ヘッド先端部43のエアブロー用ノズル52A, 52B, 52C, 52D(主軸ヘッド25のエアブロー用エア供給路73)へエアブロー用エアを供給する。その結果、このエアブロー用エアが、エアブロー用ノズル52A, 52B, 52C, 52Dからブッシュ穴31aの内周面31bに向かって噴き出される。このため、内周面31bに切削屑などの異物が付着している場合には、当該異物が、エアブロー用エアで吹き飛ばされて、内周面31bから除去される。

[0062] その後、図4に示すように計測ヘッド先端部43をブッシュ穴31aに挿入し、NC装置78からシーケンサ80へ計測指令が出力されて、シーケンサ80から制御装置81へ計測方向選択指令及び計測開始指令がエアマイクロメータの制御装置81へ出力されると、この制御装置81によるA／D変換機77A, 77Bやエア供給源76A, 76Bの制御が開始されて、Y軸方向のギャップ計測とX軸方向のギャップ計測が実施される。これらのギャップ計測はY軸方向とX軸方向の何れから始めてもよいが、例えば、はじ

めに図5(a)に示すようにY軸方向のギャップ計測を行い、次に図5(b)に示すようにNC装置78による主軸26の制御によって計測ヘッド41(計測用エア3)を90度回転させて、X軸方向のギャップ計測を行う。

[0063] まず、Y軸方向のギャップ計測について詳述すると、第1計測用エア供給源76Aと第2計測用エア供給源76Bのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bを介して、計測ヘッド先端部43の第1計測用エアノズル51A(主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70A)と第2計測用エアノズル51B(主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70B)へ供給する。その結果、これらの計測用エアが、第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bから、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔY1，ΔY2に噴き出される。そして、このときに第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bではそれぞれの計測用エアの圧力(計測用エアの流量に相当)を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置81へ出力する。

[0064] 制御装置81では、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量を求め、この計測用エア流量のデータと、予め記憶されている図6に例示するような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータとに基づいて、ギャップΔY1とギャップΔY2を求める。更に制御装置81では、これらのギャップΔY1，ΔY2の計測値に基づき、下記の(1)式によってY軸方向における主軸26(穴開け工具32)とブッシュ穴31aの偏芯量ΔYを算出し、この偏芯量ΔYをシーケンサ80へ出力する。

$$\Delta Y = (\Delta Y1 - \Delta Y2) \div 2 \quad \cdots (1)$$

[0065] 次に、X軸方向のギャップ計測について詳述すると、Y軸方向のギャップ計測と同様に第1計測用エア供給源76Aと 第2計測用エア供給源76Bのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bを介して、計測ヘッド先端部43の第1計測用エアノズル51A(主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70A)と第2計測用エアノズル51B(主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70B)へ供給する。その結果、これらの計測

用エアが、第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bから、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔX1，ΔX2に噴き出される。そして、このときに第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bではそれぞれの計測用エアの圧力（計測用エアの流量に相当）を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置81へ出力する。

[0066] 制御装置81では、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量を求め、この計測用エア流量のデータと、予め記憶されている図6に例示するような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータとに基づいて、ギャップΔX1とギャップΔX2を求める。更に制御装置81では、これらのギャップΔX1，ΔX2の計測値に基づき、下記の（2）式によってX軸方向における主軸26（穴開け工具32）とブッシュ穴31aの偏芯量ΔXを算出し、この偏芯量ΔXをシーケンサ80へ出力する。

$$\Delta X = (\Delta X1 - \Delta X2) \div 2 \quad \cdots (2)$$

[0067] シーケンサ80では制御装置81から入力した偏芯量ΔX，ΔYを、NC装置78のマクロ変数に格納する。そして、NC装置78では、この偏芯量ΔX，ΔYに応じてX，Y座標をシフトすることにより主軸26の位置を制御する（即ち主軸26とブッシュ穴31aの相対位置を補正する）ことより、主軸26（穴開け工具32）の軸芯とブッシュ穴31aの軸芯とを一致させて、ブッシュ穴31aの偏摩耗を防止する。

[0068] 図6に例示するような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータは、図7（a）～図7（c）に示すようなエアマイクロメータ用較正装置（マスタゲージ）91でエアマイクロメータの較正を行うことによって求める。

[0069] これらの図7（a）～図7（c）に示すように、エアマイクロメータ用較正装置91は格納穴92に格納されている。エアマイクロメータ用較正装置91の格納場所（格納穴92を設ける場所）は任意であり、例えばブッシュ取付具27やその近傍、或いは工具格納部やその近傍などでもよい。

[0070] エアマイクロメータ用較正装置91は計測ヘッド進入穴94の途中に設けられたクランピングスリーブ93と、小径のマスタ穴（小範）95と、大径のマスタ穴（大範）96とを有している。小径のマスタ穴95は直径D1を有し、大径のマスタ穴96はD1よりも大きな直

径D2を有している。クランピングスリーブ93と小径のマスタ穴95と大径のマスタ穴96は直列に配設されており、且つ、クランピングスリーブ93の軸芯と小径のマスタ穴95の軸芯と大径のマスタ穴96の軸芯は一致している。クランピングスリーブ93は、金属材料などによって薄く円筒状に形成されたものである。

[0071] また、エアマイクロメータ用較正装置91には、クランピングスリーブ93の周囲を囲む円筒状の油圧室97と、この油圧室97に接続された圧油供給路98とが形成されている。これらの圧油供給路98と油圧室97とクランピングスリーブ93は位置決め手段を構成している。圧油供給路98には可撓性のホース99が接続されている。エアマイクロメータ用較正装置91はフローティング状態となっている。即ち、エアマイクロメータ用較正装置91の周辺にはマスタ穴95, 96の径方向(矢印T方向)への動きを阻止するものが設けられておらず、エアマイクロメータ用較正装置91は格納穴92内において自由に前記径方向(矢印T方向)へ移動可能である。

[0072] 次に、図4、図8(a)及び図8(b)に基づき、較正操作の手順について説明する。なお、以下の操作はNC装置(数値制御装置)78で前記各軸の駆動機構などを制御することよって実施される。

[0073] 較正時には、まず、計測ヘッド41をエアマイクロメータ用較正装置91(計測ヘッド進入穴94)の入口まで移動した後、エアブロー用エア供給源79から、計測ヘッド先端部43のエアブロー用ノズル52A, 52B, 52C, 52D(主軸ヘッド25のエアブロー用エア供給路73)へエアブロー用エアを供給する。その結果、このエアブロー用エアが、クランピングスリーブ93の内周面93a、小径のマスタ穴95の内周面95a及び大径のマスタ穴96の内周面96aに向かって噴き出される。このため、これらの内周面93a, 95a, 96aに切削屑などの異物が付着している場合には、当該異物が、エアブロー用エアで吹き飛ばされて、内周面93a, 95a, 96aから除去される。なお、エアマイクロメータ用較正装置91の格納状態などによって、内周面93a, 95a, 96aに異物が付着するおそれがない場合には、エアブローを行わなくてもよい。

[0074] 較正開始時には、まず、図8(a)に示すように計測ヘッド先端部43を、小径のマスタ穴95に挿入する。このとき計測ヘッド本体部42(ケース46)はクランピングスリーブ93内に位置している。そして、図示しない圧油供給源から、ホース99及び圧油供給路

98を介して油圧室97へ供給すると、この油圧室97の油圧がクランピングスリーブ93全体に矢印Uの如く作用して、クランピングスリーブ93の径が僅かに縮小することにより、クランピングスリーブ93が計測ヘッド本体部42(ケース46)をクランプする。その結果、計測ヘッド先端部43の軸芯と小径のマスタ穴95の軸芯が一致する。即ち、図8(b)に示すように計測ヘッド先端部43の外周面43aと小径のマスタ穴95の内周面95aとの間のギャップΔG1が、計測ヘッド先端部43の周方向全体で一定(所定値)となる。

[0075] この状態でギャップ計測時と同様に第1計測用エア供給源76Aと第2計測用エア供給源76Bのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bを介して、計測ヘッド先端部43の第1計測用エアノズル51A(主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70A)と第2計測用エアノズル51B(主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70B)へ供給する。その結果、これらの計測用エアが、第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bから、計測ヘッド先端部43の外周面43aと小径のマスタ穴95の内周面95aとの間のギャップΔG1に噴き出される。このときに第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bではそれぞれの計測用エアの圧力(計測用エアの流量に相当)を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置81へ出力する。

[0076] そして、制御装置81では第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量Q1を求め、この計測用エア流量Q1のデータと、予め入力されているギャップΔG1のデータとを、図6に示すような計測用エア流量Q1とギャップΔG1の関係を表す点P1のデータとして記憶する。

[0077] 次に、油圧室97から圧油供給路98及びホース99を介して圧油を排出し、一旦、クランピングスリーブ93による計測ヘッド本体部42(ケース46)のクランプを解除した後、計測ヘッド先端部43を、大径のマスタ穴96に挿入する。このときにも計測ヘッド本体部42(ケース46)はクランピングスリーブ93内に位置している。そして、前述と同様に前記圧油供給源から、ホース99及び圧油供給路98を介して油圧室97へ供給することにより、この油圧室97の油圧によってクランピングスリーブ93が計測ヘッド本体部42(ケース46)をクランプする。その結果、計測ヘッド先端部43の軸芯と大径のマ

スタ穴96の軸芯が一致する。即ち、図8(b)に示すように計測ヘッド先端部43の外周面43aと大径のマスタ穴96の内周面96aとの間のギャップΔG2が、計測ヘッド先端部43の周方向全体で一定(所定値)となる。

[0078] この状態で小径のマスタ穴95の場合と同様に第1計測用エア供給源76Aと第2計測用エア供給源76Bのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bを介して、計測ヘッド先端部43の第1計測用エアノズル51A(主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70A)と第2計測用エアノズル51B(主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70B)へ供給する。その結果、これらの計測用エアが、第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bから、計測ヘッド先端部43の外周面43aと大径のマスタ穴96の内周面96aとの間のギャップΔG2に噴き出される。このときに第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bではそれぞれの計測用エアの圧力(計測用エアの流量に相当)を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置81へ出力する。

[0079] そして、制御装置81では第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量Q2を求め、この計測用エア流量Q2のデータと、予め入力されているギャップΔG2のデータとを、図6に示すような計測用エア流量Q2とギャップΔG2の関係を表す点P2のデータとして記憶する。また、この点P2と前述の点P1の間のデータは直線補間によって求める。

[0080] かくして、図6に実線で示すような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータが得られる。なお、図6に一点鎖線で示すようなギャップが非常に小さい範囲や、計測ヘッドの流路面積に比べてギャップが大きい範囲では、ギャップの変化に対して計測用エア流量の変化が比例しなくなる。従って、エアマイクロメータの計測範囲は、図6に実線で示すようなギャップの変化に対して計測用エア流量の変化が比例する範囲とする必要がある。

[0081] 以上のように、本実施の形態例1の計測ヘッド41によれば、計測時に工作機械21の主軸26に装着され、工作機械21のワークテーブル23に取り付けられたブッシュ31のブッシュ穴31aに挿入されて、ブッシュ穴31aと主軸26の偏芯量を計測するため

のエアマイクロメータの計測ヘッド41であって、計測ヘッド本体部42と、この計測ヘッド本体部42の先端に設けられて計測時にブッシュ穴31aに挿入される計測ヘッド先端部43とを有し、計測ヘッド先端部43には計測時に計測ヘッド先端部43の外周面43aの噴き出し口51A－1，51B－1から同外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップに計測用エアを噴き出すための第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bが、計測ヘッド先端部43の径方向に沿って形成され且つ互いに計測ヘッド先端部43の周方向に180度の角度を有するように形成される一方、計測ヘッド本体部42には各計測用エアノズル51A，51Bに対応した個別の計測用エア供給路（即ち第1計測用エア供給路53A，55A，63A及びホース64Aからなる供給路と、第1計測用エア供給路53B，55B，63B及びホース64Bからなる供給路）が形成されており、各計測用エアノズル51A，51Bに対してそれぞれ個別の計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成としたことを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内径ではなく、主軸26によって計測ヘッド41を90度回転させることにより、計測ヘッド先端部43の直交する第1の径方向（X軸方向）の両側と第2の径方向（Y軸方向）の両側において、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔX1，ΔX2とΔY1，ΔY2を計測することができる。従って、このギャップΔX1，ΔX2とΔY1，ΔY2の計測値に基づいて（上記（1），（2）式の計算により）主軸26とブッシュ穴31aの偏芯量ΔX，ΔYを求め、この偏芯量ΔX，ΔYに応じて主軸26の位置を制御する（即ち主軸26とブッシュ穴31aの相対位置を補正する）ことより、主軸26（穴開け工具32）の軸芯とブッシュ穴31aの軸芯とを一致させてブッシュ穴31aの偏摩耗を防止することができる。

[0082] また、本実施の形態例1のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測用エアが、主軸ヘッド25に形成された第1計測用エア供給路70Aと第2計測用エア供給路70Aから、計測ヘッド本体部42に装着されたロータリジョイント67の第1計測用エア供給路68Aと第2計測用エア供給路68Bを介して、計測ヘッド本体部42の第1計測用エア供給路63Aと第2計測用エア供給路63Bへそれぞれ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25から計測用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないた

め、主軸26への計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0083] また、本実施の形態例1のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド先端部43には、計測時にその先端側周縁のテーパ面49の噴き出し口52A－1～52D－1から前方へブッシュ穴31aの内周面31bに向かってエアブロー用エアを噴き出すためのエアブロー用ノズル52A～52Dが形成され、計測ヘッド本体部42には、エアブロー用ノズル52A～52Dにエアブロー用エアを供給するエアブロー用エア供給路56，65が形成されていることを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内周面31bに切削屑などの異物が付着しても、エアブローによってブッシュ穴31aの内周面31bから当該異物を除去してから、ギャップ計測を行うことができるため、精度のよいギャップ計測を行うことができる。

[0084] また、本実施の形態例1のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、エアブロー用エアが、主軸ヘッド25に形成されたエアブロー用エア供給路73から、主軸26に装着されたロータリジョイント71のエアブロー用エア供給路72及び主軸26に形成されたエアブロー用エア供給路75を介して、計測ヘッド本体部42のエアブロー用エア供給路65へ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25からエアブロー用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接エアブロー用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸26への計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0085] また、本実施の形態例1のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド本体部42は、計測ヘッド先端部43が固定されている先端側部材（接続部45、ケース46）と、基端側部材54と、先端側部材（接続部45、ケース46）と基端側部材54との間に介設されたコイルばね74と、先端側部材（ケース46）に形成された計測用エア供給路55A，55Bと基端側部材54に形成されている計測用エア供給路63A，63Bとをつないだ可撓性のホース64A，64Bとを有してなるものであることを特徴としているため、計測ヘッド先端部43をブッシュ穴31aに挿入する際に計測ヘッド先端部43がブッシュ31に接触したとしても、コイルばね74が縮んで計測ヘッド先端部43が基端側に移動することより、この接触時の衝撃が緩和される。

[0086] ＜実施の形態例2＞

図9は本発明の実施の形態例2に係るエアマイクロメータの計測ヘッドの側面図、図10(a)は前記計測ヘッドの一部を示す断面図、図10(b)は図9のH方向矢視図、図10(c)は図9のI－I線矢視断面図、図10(d)は図9のJ－J線矢視断面図、図10(e)は図9のK－K線矢視断面図、図10(f)は図9のL－L線矢視断面図、図11は前記エアマイクロメータのシステム構成図、図12は図11のM方向矢視図、図13はエアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図(図8(b)と同様の図)である。

[0087] なお、本実施の形態例2の計測ヘッドを適用する工作機械例及び主軸への装着状態については、図1(a)及び図1(b)と同様であり、ここでの図示及び詳細な説明は省略する。また、本実施の形態例2の計測ヘッドの較正には上記実施の形態例1で説明したエアマイクロメータ用較正装置91を適用する(図7、図8参照)。従って、ここでのエアマイクロメータ用較正装置についての詳細な説明は省略する。

[0088] 上記実施の形態例1の計測ヘッド41では計測ヘッド先端部43に2つの計測用エアノズル51A，51Bが形成されているのに対して(図2、図3参照)、図10(b)及び図10(c)に示すように本実施の形態例2の計測ヘッド41は、計測ヘッド先端部43に4つの計測用エアノズル51A，51B，51C，51Dが形成されていることを特徴としており、その他の構成については上記実施の形態例1と概ね同様である。従って、本実施の形態例2の計測ヘッド41について、上記実施の形態例1と同様の部分には同一の符号を付し、重複する詳細な説明は省略する。

[0089] 図9及び図10(a)～図10(d)に示すように、本実施の形態例2の計測ヘッド41の計測ヘッド先端部43には、4つの計測用エアノズル51A，51B，51C，51Dが形成されている。これらの計測用エアノズル51A～51Dは計測ヘッド先端部43の周方向にそれぞれが90度の角度を有しており、計測時に計測ヘッド先端部43の外周面43aの噴き出し口51A－1，51B－1，51C－1，51D－1から、同外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップに噴き出すためのものである。また、計測ヘッド本体部42の接続部45には、第1計測用エアノズル51Aに接続された第1計測用エア供給路53Aと、第2計測用エアノズル51Bに接続された第2計測用エア供給路53

Bと、第3計測用エアノズル51Cに接続された第3計測用エア供給路53Cと、第4計測用エアノズル51Dに接続された第4計測用エア供給路53Dとが形成されている。

[0090] 計測ヘッド本体部42のケース46の板厚部分には、第1計測用エア供給路55Aと第2計測用エア供給路55Bと第3計測用エア供給路55Cと第4計測用エア供給路55Dが形成されている。第1計測用エア供給路55Aは前述の第1計測用エア供給路53Aに接続され、第2計測用エア供給路55Bは前述の第2計測用エア供給路53Bに接続され、第3計測用エア供給路55Cは前述の第3計測用エア供給路53Cに接続され、第4計測用エア供給路55Dは前述の第4計測用エア供給路53Dに接続されている。

[0091] 基端側部材54には、第1計測用エア供給路63Aと第2計測用エア供給路63Bと第1計測用エア供給路63Aと第2計測用エア供給路63Bと第3計測用エア供給路63Cと第4計測用エア供給路63Dが形成されている。

[0092] 軸部60の外周面には可撓性の第1ホース64Aと第2ホース64Bと第3ホース64Cと第4ホース64Dが巻き付けられており、第1ホース64Aはケース46側の第1計測用エア供給路55Aと基端側部材54側の第1計測用エア供給路63Aとをつなぎ、第2ホース64Bはケース46側の第2計測用エア供給路55Bと基端側部材54側の第2計測用エア供給路63Aとをつなぎ、第3ホース64Cはケース46側の第3計測用エア供給路55Cと基端側部材54側の第3計測用エア供給路63Cとをつなぎ、第4ホース64Dはケース46側の第4計測用エア供給路55Dと基端側部材54側の第4計測用エア供給路63Dとをつないでいる。

[0093] 従って、第1計測用エアノズル51Aには第1計測用エア供給路63A、第1ホース64A、第1計測用エア供給路55A及び第1計測用エア供給路53Aを介して計測用エアが供給され、第2計測用エアノズル51Bには第2計測用エア供給路63B、第2ホース64B、第2計測用エア供給路55B及び第2計測用エア供給路53Bを介して計測用エアが供給され、第3計測用エアノズル51Cには第3計測用エア供給路63C、第3ホース64C、第3計測用エア供給路55C及び第3計測用エア供給路53Cを介して計測用エアが供給され、第4計測用エアノズル51Dには第4計測用エア供給路63D、第4ホース64D、第4計測用エア供給路55D及び第4計測用エア供給路53Dを介して計

測用エアが供給される。

[0094] なお、本実施の形態例2では基端側部材54にロータリジョイントが装着されておらず、基端側部材54の第1計測用エア供給路63Aが第1カプラ69Aを介して主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70Aに接続され、第2計測用エア供給路63Bが第2カプラ69Bを介して主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70Bに接続され、更に第3計測用エア供給路63Cが第3カプラ(図示省略)を介して主軸ヘッド25の第3計測用エア供給路(図示省略)に接続され、第4計測用エア供給路63Dが第4カプラ(図示省略)を介して主軸ヘッド25の第4計測用エア供給路(図示省略)に接続されている。従って、基端側部材54の第1計測用エア供給路63Aへは主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70Aから計測用エアが供給され、基端側部材54の第2計測用エア供給路63Bへは主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70Bから計測用エアが供給され、基端側部材54の第3計測用エア供給路63Cへは主軸ヘッド25の第3計測用エア供給路から計測用エアが供給され、基端側部材54の第4計測用エア供給路63Dへは主軸ヘッド25の第4計測用エア供給路から計測用エアが供給される。

[0095] 次に、図11、図12及び図6に基づき、エアマイクロメータのシステム構成及びギャップ計測操作の手順について説明する。なお、以下の操作はNC装置78で前記各軸の駆動機構の動作や主軸モータの回転などを制御することよって実施される。

[0096] ギャップ計測時には、まず、エアブローを行う。このエアブローついては上記実施の形態例1の場合と同様であるため、ここでの詳細な説明は省略する。その後、図11に示すように計測ヘッド先端部43をブッシュ穴31aに挿入した後、NC装置78からシーケンサ80へ計測指令が出力されて、シーケンサ80から制御装置81へ計測方向選択指令及び計測開始指令がエアマイクロメータの制御装置81へ出力されると、この制御装置81によるA／D変換機77A，77Bやエア供給源76A，76Bの制御が開始されて、Y軸方向のギャップ計測とX軸方向のギャップ計測が実施される。これらのギャップ計測はY軸方向とX軸方向の何れから始めてもよく、同時に行ってもよい。本実施の形態例2では計測ヘッド先端部43に4つの計測用エアノズル51A～51Dが形成されているため、上記実施の形態例1のように計測ヘッド41を90度回転させる必要はない。

[0097] Y軸方向のギャップ計測について詳述すると、第1計測用エア供給源76Aと 第2計測用エア供給源76Bのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bを介して、計測ヘッド先端部43の第1計測用エアノズル51A（主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70A）と第2計測用エアノズル51B（主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70B）へ供給する。その結果、これらの計測用エアが、第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bから、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔY1，ΔY2に噴き出される。そして、このときに第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bではそれぞれの計測用エアの圧力（計測用エアの流量に相当）を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置81へ出力する。

[0098] 制御装置81では、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量を求め、この計測用エア流量のデータと、予め記憶されている図6に例示するような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータとに基づいて、ギャップΔY1とギャップΔY2を求める。更に制御装置81では、これらのギャップΔY1，ΔY2の計測値に基づき、上記（1）式によってY軸方向における主軸26（穴開け工具32）とブッシュ穴31aの偏芯量ΔYを算出し、この偏芯量ΔYをシーケンサ80へ出力する。

[0099] 次に、X軸方向のギャップ計測について詳述すると、第3計測用エア供給源76Cと 第4計測用エア供給源76Dのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dを介して、計測ヘッド先端部43の第3計測用エアノズル51C（主軸ヘッド25の第3計測用エア供給路）と第4計測用エアノズル51D（主軸ヘッド25の第4計測用エア供給路）へ供給する。その結果、これらの計測用エアが、第3計測用エアノズル51Cと第4計測用エアノズル51Dから、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔX1，ΔX2に噴き出される。そして、このときに第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dではそれぞれの計測用エアの圧力（計測用エアの流量に相当）を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置8

1へ出力する。

[0100] 制御装置81では、第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量を求め、この計測用エア流量のデータと、予め記憶されている図6に例示するような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータとに基づいて、ギャップΔX1とギャップΔX2を求める。更に制御装置81では、これらのギャップΔX1，ΔX2の計測値に基づき、上記(2)式によってX軸方向における主軸26(穴開け工具32)とブッシュ穴31aの偏芯量ΔXを算出し、この偏芯量ΔXをシーケンサ80へ出力する。

[0101] シーケンサ80では制御装置81から入力した偏芯量ΔX，ΔYを、NC装置78のマクロ変数に格納する。そして、NC装置78では、この偏芯量ΔX，ΔYに応じてX，Y座標をシフトすることにより主軸26の位置を制御する(即ち主軸26とブッシュ穴31aの相対位置を補正する)ことより、主軸26(穴開け工具32)の軸芯とブッシュ穴31aの軸芯とを一致させてブッシュ穴31aの偏摩耗を防止する。

[0102] 本実施の形態例2においても、図6に例示するような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータは、上記実施の形態例1で述べたエアマイクロメータ用較正装置91を用いてエアマイクロメータの較正を行うことによって求める。

[0103] 較正操作の手順についても上記実施の形態例1の場合と同様である。図8(a)、図11及び図13に基づいて説明すると、前述のとおりにエアマイクロメータ用較正装置91に対してエアブロー行った後(又は行わずに)、まず、計測ヘッド先端部43を小径のマスタ穴95に挿入する。このとき計測ヘッド本体部42(ケース46)はクランピングスリーブ93内に位置している。そして、図示しない圧油供給源から、ホース99及び圧油供給路98を介して油圧室97へ供給すると、この油圧室97の油圧がクランピングスリーブ93全体に作用して、クランピングスリーブ93の径が僅かに縮小することにより、クランピングスリーブ93が計測ヘッド本体部42(ケース46)をクランプする。その結果、計測ヘッド先端部43の軸芯と小径のマスタ穴95の軸芯が一致する。即ち、図13に示すように計測ヘッド先端部43の外周面43aと小径のマスタ穴95の内周面95aとの間のギャップΔG1が、計測ヘッド先端部43の周方向全体で一定(所定値)となる。

[0104] この状態でギャップ計測時と同様に第1計測用エア供給源76Aと第2計測用エア

供給源76Bと第3計測用エア供給源76Cと第4計測用エア供給源76Dのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bと第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dを介して、計測ヘッド先端部43の第1計測用エアノズル51A（主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70A）と第2計測用エアノズル51B（主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70B）と第3計測用エアノズル51C（主軸ヘッド25の第3計測用エア供給路）と第4計測用エアノズル51D（主軸ヘッド25の第3計測用エア供給路）へ供給する。その結果、これらの計測用エアが、第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bと第3計測用エアノズル51Cと第4計測用エアノズル51Dから、計測ヘッド先端部43の外周面43aと小径のマスタ穴95の内周面95aとの間のギャップΔG1に噴き出される。このときに第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bと第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dではそれぞれの計測用エアの圧力（計測用エアの流量に相当）を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置81へ出力する。

[0105] そして、制御装置81では第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bと第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量Q1を求め、この計測用エア流量Q1のデータと、予め入力されているギャップΔG1のデータとを、図6に示すような計測用エア流量Q1とギャップΔG1の関係を表す点P1のデータとして記憶する。

[0106] 次に、油圧室97から圧油供給路98及びホース99を介して圧油を排出し、一旦、クランピングスリーブ93による計測ヘッド本体部42（ケース46）のクランプを解除した後、計測ヘッド先端部43を、大径のマスタ穴96に挿入する。このときにも計測ヘッド本体部42（ケース46）はクランピングスリーブ93内に位置している。そして、前述と同様に前記圧油供給源から、ホース99及び圧油供給路98を介して油圧室97へ供給することにより、この油圧室97の油圧によってクランピングスリーブ93が計測ヘッド本体部42（ケース46）をクランプする。その結果、計測ヘッド先端部43の軸芯と大径のマスタ穴96の軸芯が一致する。即ち、図13に示すように計測ヘッド先端部43の外周面43aと大径のマスタ穴96の内周面96aとの間のギャップΔG2が、計測ヘッド先端部

43の周方向全体で一定(所定値)となる。

[0107] この状態で小径のマスタ穴95の場合と同様に第1計測用エア供給源76Aと第2計測用エア供給源76Bと第3計測用エア供給源76Cと第4計測用エア供給源76Dのそれぞれからレギュレータなどの圧力調整手段で一定圧力に調整された計測用エアを、第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bと第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dを介して、計測ヘッド先端部43の第1計測用エアノズル51A(主軸ヘッド25の第1計測用エア供給路70A)と第2計測用エアノズル51B(主軸ヘッド25の第2計測用エア供給路70B)と第3計測用エアノズル51C(主軸ヘッド25の第3計測用エア供給路)と第4計測用エアノズル51D(主軸ヘッド25の第4計測用エア供給路)へ供給する。その結果、これらの計測用エアが、第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bと第3計測用エアノズル51Cと第4計測用エアノズル51Dから、計測ヘッド先端部43の外周面43aと大径のマスタ穴96の内周面96aとの間のギャップΔG2に噴き出される。このときに第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bと第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dではそれぞれの計測用エアの圧力(計測用エアの流量に相当)を検出し、これらの検出信号をデジタル信号に変換して制御装置81へ出力する。

[0108] そして、制御装置81では第1A／D変換機77Aと第2A／D変換機77Bと第3A／D変換機77Cと第4A／D変換機77Dから出力された圧力検出信号から計測用エアの流量Q2を求め、この計測用エア流量Q2のデータと、予め入力されているギャップΔG2のデータとを、図6に示すような計測用エア流量Q2とギャップΔG2の関係を表す点P2のデータとして記憶する。また、この点P2と前述の点P1の間のデータは直線補間によって求める。かくして、図6に示すような計測用エア流量とギャップの関係を表すデータが得られる。

[0109] 以上のように、本実施の形態例2の計測ヘッド41によれば、計測時に工作機械21の主軸26に装着され、工作機械21のワークテーブル23に取り付けられたブッシュ31のブッシュ穴31aに挿入されて、ブッシュ穴31aと主軸26の偏芯量を計測するためのエアマイクロメータの計測ヘッド41であって、計測ヘッド本体部42と、この計測ヘッド本体部42の先端に設けられて計測時にブッシュ穴31aに挿入される計測ヘッド先

端部43とを有し、計測ヘッド先端部43には計測時に計測ヘッド先端部43の外周面43aの噴き出し口51A－1～51D－1から同外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップに計測用エアを噴き出すための第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bと第3計測用エアノズル51Cと第4計測用エアノズル51Dが、計測ヘッド先端部43の径方向に沿って形成され且つそれぞれ計測ヘッド先端部43の周方向に90度の角度を有するように形成される一方、計測ヘッド本体部42には各計測用エアノズル51A～51Dに対応した個別の計測用エア供給路（即ち第1計測用エア供給路53A，55A，63A及びホース64Aからなる供給路と、第1計測用エア供給路53B，55B，63B及びホース64Bからなる供給路と、第3計測用エア供給路53C，55C，63C及びホース64Cからなる供給路と、第4計測用エア供給路53D，55D，63D及びホース64Dからなる供給路）が形成されており、各計測用エアノズル51A～51Dに対してそれぞれ個別の計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成としたことを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内径ではなく、計測ヘッド先端部43の直交する第1の径方向（X軸方向）の両側と第2の径方向（Y軸方向）の両側において、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔX1，ΔX2とΔY1，ΔY2を計測することができる。従って、このギャップΔX1，ΔX2とΔY1，ΔY2の計測値に基づいて（上記（1），（2）式の計算により）主軸26とブッシュ穴31aの偏芯量ΔX，ΔYを求め、この偏芯量ΔX，ΔYに応じて主軸26の位置を制御する（即ち主軸26とブッシュ穴31aの相対位置を補正する）ことより、主軸26（穴開け工具32）の軸芯とブッシュ穴31aの軸芯とを一致させてブッシュ穴31aの偏摩耗を防止することができる。

[0110] また、本実施の形態例2のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測用エアが、主軸ヘッド25に形成された第1計測用エア供給路70Aと第2計測用エア供給路70Aと第3計測用エア供給路と第4計測用エア供給路から、計測ヘッド本体部42の第1計測用エア供給路63Aと第2計測用エア供給路63Bと第3計測用エア供給路63Cと第4計測用エア供給路63Dへそれぞれ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25から計測用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸26へ

の計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0111] また、本実施の形態例2のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド先端部43には、計測時にその先端側周縁のテーパ面49の噴き出し口52A－1～52D－1から前方へブッシュ穴31aの内周面31bに向かってエアブロー用エアを噴き出すためのエアブロー用ノズル52A～52Dが形成され、計測ヘッド本体部42には、エアブロー用ノズル52A～52Dにエアブロー用エアを供給するエアブロー用エア供給路56，65が形成されていることを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内周面31bに切削屑などの異物が付着しても、エアブローによってブッシュ穴31aの内周面31bから当該異物を除去してから、ギャップ計測を行うことができるため、精度のよいギャップ計測を行うことができる。

[0112] また、本実施の形態例2のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、エアブロー用エアが、主軸ヘッド25に形成されたエアブロー用エア供給路73から、主軸26に装着されたロータリジョイント71のエアブロー用エア供給路72及び主軸26に形成されたエアブロー用エア供給路75を介して、計測ヘッド本体部42のエアブロー用エア供給路65へ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25からエアブロー用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接エアブロー用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸26への計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0113] また、本実施の形態例2のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド本体部42は、計測ヘッド先端部43が固定されている先端側部材（接続部45、ケース46）と、基端側部材54と、先端側部材（接続部45、ケース46）と基端側部材54との間に介設されたコイルばね74と、先端側部材（ケース46）に形成された計測用エア供給路55A，55Bと基端側部材54に形成されている計測用エア供給路63A，63Bとをつないだ可撓性のホース64A，64Bとを有してなるものであることを特徴としているため、計測ヘッド先端部43をブッシュ穴31aに挿入する際に計測ヘッド先端部43がブッシュ31に接触したとしても、コイルばね74が縮んで計測ヘッド先端部43が基端側に移動することより、この接触時の衝撃が緩和される。

[0114] ＜実施の形態例3＞

図14(a)は本発明の実施の形態例3に係るエアマイクロメータの計測ヘッドの要部側面図、図14(b)は図14(a)のN方向矢視図、図14(c)は図14(a)のO－O線矢視断面図、図14(d)は図14(a)のP－P線矢視断面図、図14(e)は図14(a)のQ－Q線矢視断面図、図15は前記計測ヘッドによってギャップ計測をする様子を示す図(図5と同様の図)、図16はエアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図(図8(b)と同様の図)である。また、図17には偏芯量の算出方法を示しており、図17(a)は計測ヘッド先端部とブッシュ穴が偏芯していないときの状態を示す図、図17(b)は計測ヘッド先端部がブッシュ穴に対してX軸方向にのみ偏芯した状態を示す図、図17(c)は図17(b)の状態の要部拡大図である。

[0115] なお、本実施の形態例3の計測ヘッドを適用する工作機械例及び主軸への装着状態については、図1(a)及び図1(b)と同様であり、ここでの図示及び詳細な説明は省略する。また、本実施の形態例3の計測ヘッドの較正には上記実施の形態例1で説明したエアマイクロメータ用較正装置91を適用する(図7、図8参照)。従って、ここでのエアマイクロメータ用較正装置についての詳細な説明は省略する。また、本実施の形態例3の計測ヘッドについては、上記実施の形態例1と同様の部分には同一の符号を付して、重複する詳細な説明は省略し、計測ヘッド本体部の基端側部分の図示を省略している。

[0116] 上記実施の形態例1の計測ヘッド41では計測ヘッド先端部43に形成された第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bが、互いに計測ヘッド先端部43の周方向に180度の角度を有しているのに対して(図2、図3参照)、図14(a)～図14(d)に示すように本実施の形態例3の計測ヘッド41は、計測ヘッド先端部43に形成された第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bが、互いに計測ヘッド先端部43の周方向に90度の角度を有していることを特徴としており、接続部45の計測用エア供給路53A，53Bやケース46の計測用エア供給路55A，55Bなどの各部の計測用エア供給路やホースも、この第1及び第2計測用エアノズル51A，51Bに合わせ配置になっている。

[0117] その他は、上記実施の形態例1と同様の構成である。但し、図示は省略しているが、本実施の形態例3の計測ヘッド41では、上記実施の形態例2の計測ヘッド41(図9

参照）と同様にロータリジョイントが装着されておらず、上記実施の形態例1と比較して計測用エアの供給経路にロータリジョイント67（第1及び第2計測用エア供給路68A，68B）が介在していない点が異なる。

[0118] また、図示及び詳細な説明は省略するが、エアマイクロメータのシステム構成及びギャップ計測操作の手順についても、上記実施の形態例1と同様である（図4参照）。但し、図15に示すように第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bとが90度の角度を成すように配置したことより、計測ヘッド41を回転させることなく、第1計測用エアノズル51AではY軸方向のギャップΔY1を計測し、第2計測用エアノズル51BではX軸方向のギャップΔX1を計測することができるようになっており、この点が上記実施の形態例1と異なる。

[0119] この場合、制御装置81（図4参照）では、これらのギャップΔX1，ΔY1の計測値を、制御装置81に予め記憶されている偏芯していないときの計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップ値から差し引くことによって、偏芯量ΔX，ΔYを算出する。具体的には以下に説明する第1の偏芯量算出方法と第2の偏芯量算出方法の何れかによって、偏芯量ΔX，ΔYを算出する。

[0120] （第1の偏芯量算出方法）

第1の偏芯量算出方法は、次の（3），（4）の連立方程式を解くことによって偏芯量ΔX，ΔYを求める方法である。

$$\Delta X = \Delta X_0 - \Delta X1 - R(1 - \cos(\sin^{-1}(\Delta Y / R)) \quad \cdots (3)$$

$$\Delta Y = \Delta Y_0 - \Delta Y1 - R(1 - \cos(\sin^{-1}(\Delta X / R)) \quad \cdots (4)$$

[0121] 上記（3），（4）式において、ΔX_0，ΔY_0は制御装置81に初期値として予め入力されるX軸方向とY軸方向のギャップ値、即ち偏芯していないときの計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップ値である。Rは制御装置81に予め入力されるブッシュ穴31aの半径である。なお、計測ヘッド先端部43の半径rも制御装置81に予め入力して、このrとRの差（R－r）から、初期値ΔX_0，ΔY_0を算出するようにしてもよい。ギャップΔX1，ΔY1は、上記実施の形態例1と同様に制御装置81において、A／D変換機77A，77B（図4参照）から入力する計測用エアの圧力検出信号（デジタル信号）から、計測用エアの流量を求め、この計測用エア流

量のデータと、予め記憶されている計測用エア流量とギャップの関係を表すデータとに基づいて求める。

[0122] 図17に基づいて詳述すると、図17(a)の如く計測ヘッド先端部43とブッシュ穴31aが偏芯していない状態から、図17(b)の如く計測ヘッド先端部43がブッシュ穴31aに対してY軸方向にのみΔYだけ偏芯して、第1計測用エアノズル51Aで計測されるY軸方向のギャップ値が、初期値のΔY_0から$\Delta Y1$になった場合、Y軸方向の偏芯量ΔYは、次の(5)によって求めることができる。

$$\Delta Y = \Delta Y_0 - \Delta Y1 \quad \cdots(5)$$

しかし、X軸方向については、実際には偏芯していないが、図17(b)に示すようにΔYの影響により、第2計測用エアノズル51Bで計測されるX軸方向のギャップ値が、ΔX´だけ変化して、初期値からΔX1となる。そこで、このΔYの影響によるX軸方向のギャップの変化量ΔX´を考慮した場合、X軸方向の偏芯量ΔXは、次の(6)式から求めることができる。図17(b)の場合には(6)式から、偏芯量ΔXは0となる。

$$\Delta X = \Delta X_0 - \Delta X1 - \Delta X' \quad \cdots(6)$$

そして、図17(c)に示すとおり、変化量ΔX´は次の(7)式によって求めることができる。従って、この(7)式を(6)式に代入すれば(3)式が得られる。

$$\Delta X' = R - R\cos\theta$$
$$= R(1 - \cos(\sin^{-1}(\Delta Y / R)) \quad \cdots(7)$$

[0123] 詳細な説明は省略するが、Y軸方向についても、X軸方向の場合と同様であり、計測ヘッド先端部43がブッシュ穴31aに対してX軸方向にのみΔXだけ偏芯したときの、このΔXの影響によるY軸方向のギャップの変化量ΔY´を考慮した場合、Y軸方向の偏芯量ΔYは、次の(8)式から求めることができる。

$$\Delta Y = \Delta Y_0 - \Delta Y1 - \Delta Y' \quad \cdots(8)$$

そして、変化量ΔY´は次の(9)式よって求めることができるため、この(9)式を(8)式に代入すれば(4)式が得られる。

$$\Delta Y' = R - R\cos\theta$$
$$= R(1 - \cos(\sin^{-1}(\Delta X / R)) \quad \cdots(9)$$

[0124] (第2の偏芯量算出方法)

第2の偏芯量算出方法は、上記の変化量ΔX´，ΔY´を無視して、次の(10)，(11)式によって偏芯量ΔX，ΔYを求める方法である。

$$\Delta X = \Delta X_0 - \Delta X1 \quad \cdots(10)$$

$$\Delta Y = \Delta Y_0 - \Delta Y1 \quad \cdots(11)$$

[0125] 偏芯量ΔX，ΔYはブッシュ穴31aの半径Rに比べて非常に小さいため(ΔX，ΔY≪R)、一方の偏芯量が他方のギャップ測定値に与える影響は少なく、変化量ΔX´，ΔY´は無視できる。即ち、ΔY≪Rのとき、ΔY／R≒0より、ΔX´≒0であり、ΔX≪Rのとき、ΔX／R≒0より、ΔY´≒0である。例えば、ΔY＝0.010mm，R＝10mmのときには、cos(sin(0.010/10))＝0.9999995、ΔX´＝10(1-0.9999995)＝0.000005m＝0.005μmであり、ΔX´／ΔY＝0.000005/0.010＝0.0005＝0.05％である。また、ΔY＝0.010mm，R＝5mmのときには、ΔX´＝0.00001mm＝0.01μmであり、ΔX´／ΔY＝0.001＝0.1％である。そして、これらの変化量ΔX´の値0.005μm，0.01μmはエアマイクロメータのくり返し測定精度1.5μmよりも十分小さい。変化量ΔY´についても同様である。従って、変化量ΔX´，ΔY´は無視することができる。

[0126] 本実施の形態例3の計測ヘッド41の較正については上記実施の形態例1の場合と同様である。即ち、上記実施の形態例1で述べたエアマイクロメータ用較正装置91を用いて図16に示すようなギャップΔG1，ΔG2と計測用エア流量との関係を表すデータ(図6参照)を求める。

[0127] 以上のように、本実施の形態例3の計測ヘッド41によれば、計測時に工作機械21の主軸26に装着され、工作機械21のワークテーブル23に取り付けられたブッシュ31のブッシュ穴31aに挿入されて、ブッシュ穴31aと主軸26の偏芯量を計測するためのエアマイクロメータの計測ヘッド41であって、計測ヘッド本体部42と、この計測ヘッド本体部42の先端に設けられて計測時にブッシュ穴31aに挿入される計測ヘッド先端部43とを有し、計測ヘッド先端部43には計測時に計測ヘッド先端部43の外周面43aの噴き出し口51A－1，51B－1から同外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップに計測用エアを噴き出すための第1計測用エアノズル51Aと第2計測用エアノズル51Bが、計測ヘッド先端部43の径方向に沿って形成され且つ互いに計測ヘッド先端部43の周方向に90度の角度を有するように形成される一方、計

測ヘッド本体部42には各計測用エアノズル51A，51Bに対応した個別の計測用エア供給路（即ち第1計測用エア供給路53A，55A，63A及びホース64Aからなる供給路と、第1計測用エア供給路53B，55B，63B及びホース64Bからなる供給路）が形成されており、各計測用エアノズル51A，51Bに対してそれぞれ個別の計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成としたことを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内径ではなく、計測ヘッド先端部43の直交する第1の径方向（X軸方向）と第2の径方向（Y軸方向）において、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔX1とΔY1を計測することができる。従って、このギャップΔX1，ΔY1の計測値に基づいて（例えばギャップΔX1，ΔY1の計測値を、偏芯していないときの計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップ値から差し引くことにより）主軸26とブッシュ穴31aの偏芯量ΔX，ΔYを求め、この偏芯量ΔX，ΔYに応じて主軸26の位置を制御する（即ち主軸26とブッシュ穴31aの相対位置を補正する）ことより、主軸26（穴開け工具32）の軸芯とブッシュ穴31aの軸芯とを一致させてブッシュ穴31aの偏摩耗を防止することができる。

[0128] また、本実施の形態例3のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測用エアが、主軸ヘッド25に形成された第1計測用エア供給路70Aと第2計測用エア供給路70Aから、計測ヘッド本体部42の第1計測用エア供給路63Aと第2計測用エア供給路63Bへそれぞれ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25から計測用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸26への計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0129] また、本実施の形態例3のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド先端部43には、計測時にその先端側周縁のテーパ面49の噴き出し口52A－1～52D－1から前方へブッシュ穴31aの内周面31bに向かってエアブロー用エアを噴き出すためのエアブロー用ノズル52A～52Dが形成され、計測ヘッド本体部42には、エアブロー用ノズル52A～52Dにエアブロー用エアを供給するエアブロー用エア供給路56，65が形成されていることを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内周面31bに切削屑などの異物が付着しても、エアブローによってブッシュ穴31aの内周面31

bから当該異物を除去してから、ギャップ計測を行うことができるため、精度のよいギャップ計測を行うことができる。

[0130] また、本実施の形態例3のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、エアブロー用エアが、主軸ヘッド25に形成されたエアブロー用エア供給路73から、主軸26に装着されたロータリジョイント71のエアブロー用エア供給路72及び主軸26に形成されたエアブロー用エア供給路75を介して、計測ヘッド本体部42のエアブロー用エア供給路65へ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25からエアブロー用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接エアブロー用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸26への計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0131] また、本実施の形態例3のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド本体部42は、計測ヘッド先端部43が固定されている先端側部材（接続部45、ケース46）と、基端側部材54と、先端側部材（接続部45、ケース46）と基端側部材54との間に介設されたコイルばね74と、先端側部材（ケース46）に形成された計測用エア供給路55A，55Bと基端側部材54に形成されている計測用エア供給路63A，63Bとをつないだ可撓性のホース64A，64Bとを有してなるものであることを特徴としているため、計測ヘッド先端部43をブッシュ穴31aに挿入する際に計測ヘッド先端部43がブッシュ31に接触したとしても、コイルばね74が縮んで計測ヘッド先端部43が基端側に移動することより、この接触時の衝撃が緩和される。

[0132] ＜実施の形態例4＞

図18（a）は本発明の実施の形態例4に係るエアマイクロメータの計測ヘッドの要部側面図、図18（b）は図18（a）のR方向矢視図、図18（c）は図18（a）のS－S線矢視断面図、図18（d）は図18（a）のV－V線矢視断面図、図19（a）は前記計測ヘッドによってギャップ計測をする様子を示す図（図5と同様の図）、図19（b）は前記計測ヘッドを図19（a）の状態から90度回転させた状態を示す図（図5と同様の図）、図20はエアマイクロメータ用較正装置を用いて前記計測ヘッドを較正する様子を示す図（図8（b）と同様の図）である。

[0133] なお、本実施の形態例4の計測ヘッドを適用する工作機械例及び主軸への装着状

態については、図1(a)及び図1(b)と同様であり、ここでの図示及び詳細な説明は省略する。また、本実施の形態例4の計測ヘッドの較正には上記実施の形態例1で説明したエアマイクロメータ用較正装置91を適用する(図7、図8参照)。従って、ここでのエアマイクロメータ用較正装置についての詳細な説明は省略する。また、本実施の形態例4の計測ヘッドについては、上記実施の形態例1と同様の部分には同一の符号を付して、重複する詳細な説明は省略し、計測ヘッド本体部の基端側部分の図示を省略している。

[0134] 上記実施の形態例1の計測ヘッド41では計測ヘッド先端部43に2つの計測用エアノズル51A, 51Bが形成されているのに対して(図2、図3参照)、図18(a)～図18(d)に示すように本実施の形態例4の計測ヘッド41は、計測ヘッド先端部43に1つの計測用エアノズル51Aのみが形成されていることを特徴としており、これに合わせて接続部45の計測用エア供給路53Aやケース46の計測用エア供給路55Aなどの各部の計測用エア供給路やホースも1つである。その他は、上記実施の形態例1と同様の構成である。

[0135] また、図示及び詳細な説明は省略するが、エアマイクロメータのシステム構成及びギャップ計測操作の手順についても、上記実施の形態例1と同様である(図4参照)。但し、計測ヘッド先端部43に1つの計測用エアノズル51Aのみが形成されていることに合わせて、計測用エア供給源やA／D変換機も1つだけ設けられており、この点が上記実施の形態例1とは異なる。

[0136] また、ギャップ計測を行う際には、図19(a)に示す状態でY軸方向のギャップΔY1を計測し、続いて図19(a)に示すようにNC装置78(図4参照)による主軸26(図1、図2参照)の制御によって計測ヘッド41(計測ヘッド先端部43)を90度回転させることより、X軸方向のギャップΔX1を計測する。

[0137] この場合にも、上記実施の形態例3の場合と同様に制御装置81(図4参照)では、これらのギャップΔX1, ΔY1の計測値を、制御装置81に予め記憶されている偏芯していないときの計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップ値から差し引くことによって、偏芯量ΔX, ΔYを算出する。具体的には、上記実施の形態例3の場合と同様に上記の第1の偏芯量算出方法又は第2の偏

芯量算出方法の何れかによって、偏芯量ΔX，ΔYを算出する。

[0138] 本実施の形態例4の計測ヘッド41の較正については上記実施の形態例1の場合と同様である。即ち、上記実施の形態例1で述べたエアマイクロメータ用較正装置91を用いて図20に示すようなギャップΔG1，ΔG2と計測用エア流量との関係を表すデータ（図6参照）を求める。

[0139] 以上のように、本実施の形態例4の計測ヘッド41によれば、計測時に工作機械21の主軸26に装着され、工作機械21のワークテーブル23に取り付けられたブッシュ31のブッシュ穴31aに挿入されて、ブッシュ穴31aと主軸26の偏芯量を計測するためのエアマイクロメータの計測ヘッド41であって、計測ヘッド本体部42と、この計測ヘッド本体部42の先端に設けられて計測時にブッシュ穴31aに挿入される計測ヘッド先端部43とを有し、計測ヘッド先端部43には計測時に計測ヘッド先端部43の外周面43aの噴き出し口51A－1から同外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップに計測用エアを噴き出すための1つの第1計測用エアノズル51Aが、計測ヘッド先端部43の径方向に沿って形成される一方、計測ヘッド本体部42には計測用エアノズル51Aに対応した1つの計測用エア供給路（即ち第1計測用エア供給路53A，55A，63A及びホース64Aからなる供給路）が形成されており、1つの計測用エアノズル51Aに対して1つの計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成としたことを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内径ではなく、例えば主軸26によって計測ヘッド41を90度回転させることにより、計測ヘッド先端部43の直交する第1の径方向（X軸方向）と第2の径方向（Y軸方向）において、計測ヘッド先端部43の外周面43aとブッシュ穴31aの内周面31bとの間のギャップΔX1とΔY1を計測することができる。従って、このギャップΔX1，ΔY1の計測値に基づいて（例えばギャップΔX1，ΔY1の計測値を、偏芯していないときの計測ヘッド先端部の外周面とブッシュ穴の内周面との間のギャップ値から差し引くことにより）主軸26とブッシュ穴31aの偏芯量ΔX，ΔYを求め、この偏芯量ΔX，ΔYに応じて主軸26の位置を制御する（即ち主軸26とブッシュ穴31aの相対位置を補正する）ことより、主軸26（穴開け工具32）の軸芯とブッシュ穴31aの軸芯とを一致させてブッシュ穴31aの偏摩耗を防止することができる。

[0140] また、本実施の形態例4のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測用エアが、主軸ヘッド25に形成された計測用エア供給路70Aから、計測ヘッド本体部42に装着されたロータリジョイント67の計測用エア供給路68Aを介して、計測ヘッド本体部42の第1計測用エア供給路63Aへ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25から計測用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接計測用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸26への計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0141] また、本実施の形態例4のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド先端部43には、計測時にその先端側周縁のテーパ面49の噴き出し口52A－1～52D－1から前方へブッシュ穴31aの内周面31bに向かってエアブロー用エアを噴き出すためのエアブロー用ノズル52A～52Dが形成され、計測ヘッド本体部42には、エアブロー用ノズル52A～52Dにエアブロー用エアを供給するエアブロー用エア供給路56，65が形成されていることを特徴としているため、ブッシュ穴31aの内周面31bに切削屑などの異物が付着しても、エアブローによってブッシュ穴31aの内周面31bから当該異物を除去してから、ギャップ計測を行うことができるため、精度のよいギャップ計測を行うことができる。

[0142] また、本実施の形態例4のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、エアブロー用エアが、主軸ヘッド25に形成されたエアブロー用エア供給路73から、主軸26に装着されたロータリジョイント71のエアブロー用エア供給路72及び主軸26に形成されたエアブロー用エア供給路75を介して、計測ヘッド本体部42のエアブロー用エア供給路65へ供給される構成としたことを特徴としているため、主軸ヘッド25からエアブロー用エアを供給することができ、計測ヘッド41に直接エアブロー用エア供給用のホースなどの供給手段を接続する必要がないため、主軸26への計測ヘッド41の着脱などの計測操作が容易になるなどの効果が得られる。

[0143] また、本実施の形態例4のエアマイクロメータの計測ヘッド41によれば、計測ヘッド本体部42は、計測ヘッド先端部43が固定されている先端側部材（接続部45、ケース46）と、基端側部材54と、先端側部材（接続部45、ケース46）と基端側部材54との間に介設されたコイルばね74と、先端側部材（ケース46）に形成された計測用エ

ア供給路55A，55Bと基端側部材54に形成されている計測用エア供給路63A，63Bとをつないだ可撓性のホース64Aとを有してなるものであることを特徴としているため、計測ヘッド先端部43をブッシュ穴31aに挿入する際に計測ヘッド先端部43がブッシュ31に接触したとしても、コイルばね74が縮んで計測ヘッド先端部43が基端側に移動することより、この接触時の衝撃が緩和される。

[0144] なお、主軸に計測用エア供給用のロータリジョイントを設けて、ブロー用エアだけでなく計測用エアも、当該ロータリジョイントの計測用エア供給路及び主軸の計測用エア供給路を介して、計測ヘッドの計測用エア供給路に供給するようにしてもよい。

[0145] また、エアブロー用エアは、上記の如く主軸ヘッドのエアブロー用エア供給路から、ロータリジョイントのエアブロー用エア供給路及び主軸のエアブロー用エア供給路を介して計測ヘッドのエアブロー用エア供給路に供給する場合に限定するものでなく、主軸ヘッドのエアブロー用エア供給路から、直接又は計測ヘッドに装着したロータリジョイントのエアブロー用エア供給路を介して、計測ヘッドのエアブロー用エア供給路に供給するようにしてよい。

産業上の利用可能性

[0146] 本発明はエアマイクロメータの計測ヘッドに関するものであり、工作機械におけるブッシュ穴と主軸（穴開け工具）の偏芯量を計測する場合に適用して有用なものである。

請求の範囲

[1] 計測時に工作機械の主軸に装着され、前記工作機械のワークテーブルに取り付けられたブッシュのブッシュ穴に挿入されて、前記ブッシュ穴と前記主軸の偏芯量を計測するためのエアマイクロメータの計測ヘッドであって、

計測ヘッド本体部と、この計測ヘッド本体部の先端に設けられて計測時に前記ブッシュ穴に挿入される計測ヘッド先端部とを有し、

前記計測ヘッド先端部には計測時に前記計測ヘッド先端部の外周面の噴き出し口から同外周面と前記ブッシュ穴の内周面との間のギャップに計測用エアを噴き出すための1つの又は複数の計測用エアノズルが形成される一方、前記計測ヘッド本体部には各計測用エアノズルに対応した個別の計測用エア供給路が形成されており、各計測用エアノズルに対してそれぞれ個別の計測用エア供給路から計測用エアが供給される構成としたことを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[2] 請求項1に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つ互いに前記計測ヘッド先端部の周方向に180度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路であることを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[3] 請求項1に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つそれぞれが前記計測ヘッド先端部の周方向に90度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルと第3計測用エアノズルと第4計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路と、前記第3計測用エアノズルに計測用エアを供給する第3計測用エア供給路と、前記第4計測用エアノズルに計測用エアを供給する第4計測用エア供給路であることを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[4] 請求項1に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成され且つ互いに前記計測ヘッド先端部の周方向に90度の角度を有する第1計測用エアノズルと第2計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記第1計測用エアノズルに計測用エアを供給する第1計測用エア供給路と、前記第2計測用エアノズルに計測用エアを供給する第2計測用エア供給路であることを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[5] 請求項1に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測用エアノズルは、前記計測ヘッド先端部の径方向に沿って形成された1つの計測用エアノズルであり、

前記計測用エア供給路は、前記1つの計測用エアノズルに計測用エアを供給する1つの計測用エア供給路であることを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[6] 請求項2に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部に装着されたロータリジョイントの第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたこと、

又は、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記主軸に装着されたロータリジョイントの第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路及び前記主軸に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[7] 請求項5に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部に装着されたロータリジョイントの計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の計測用エア供給路へ供給される構成としたこと、

又は、計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された計測用エア供給路から、前

記主軸に装着されたロータリジョイントの計測用エア供給路と前記主軸に形成された計測用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部の計測用エア供給路へ供給される構成としたことを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[8] 請求項3に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路と第3計測用エア供給路と第4計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路と第3計測用エア供給路と第4計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[9] 請求項4に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

計測用エアが、前記主軸の支持部に形成された第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路から、前記計測ヘッド本体部の第1計測用エア供給路と第2計測用エア供給路へそれぞれ供給される構成としたことを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

[10] 請求項1に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測ヘッド先端部には、計測時にその先端側周縁のテーパ面の噴き出し口から前方へ前記ブッシュ穴の内周面に向かってエアブロー用エアを噴き出すためのエアブロー用ノズルが形成され、

前記計測ヘッド本体部には、前記エアブロー用ノズルにエアブロー用エアを供給するエアブロー用エア供給路が形成されていることを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

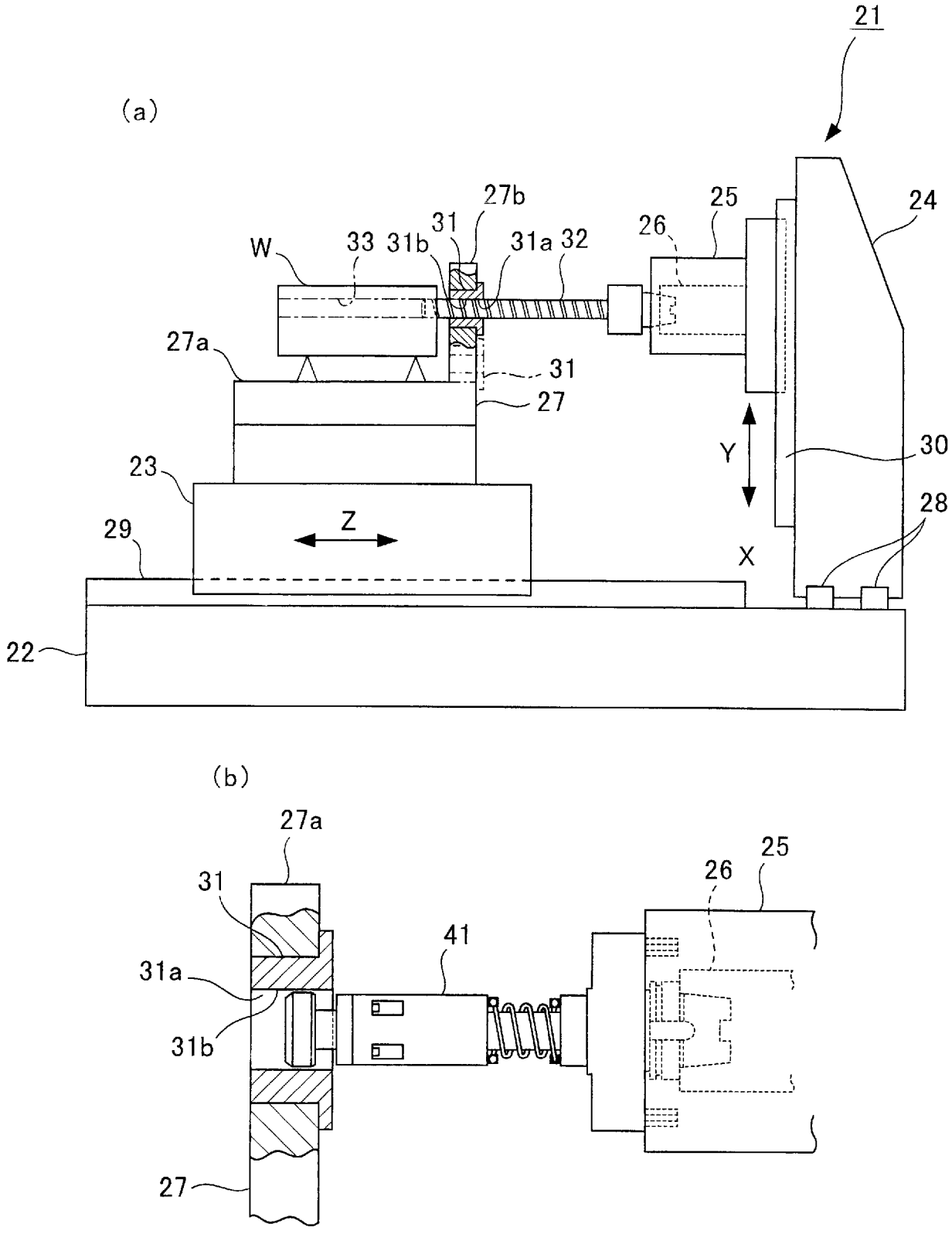
[11] 請求項10に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

エアブロー用エアが、前記主軸の支持部に形成されたエアブロー用エア供給路から、直接、又は前記主軸に装着されたロータリジョイントのエアブロー用エア供給路及び前記主軸に形成されたエアブロー用エア供給路を介して、前記計測ヘッド本体部のエアブロー用エア供給路へ供給される構成としたことを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

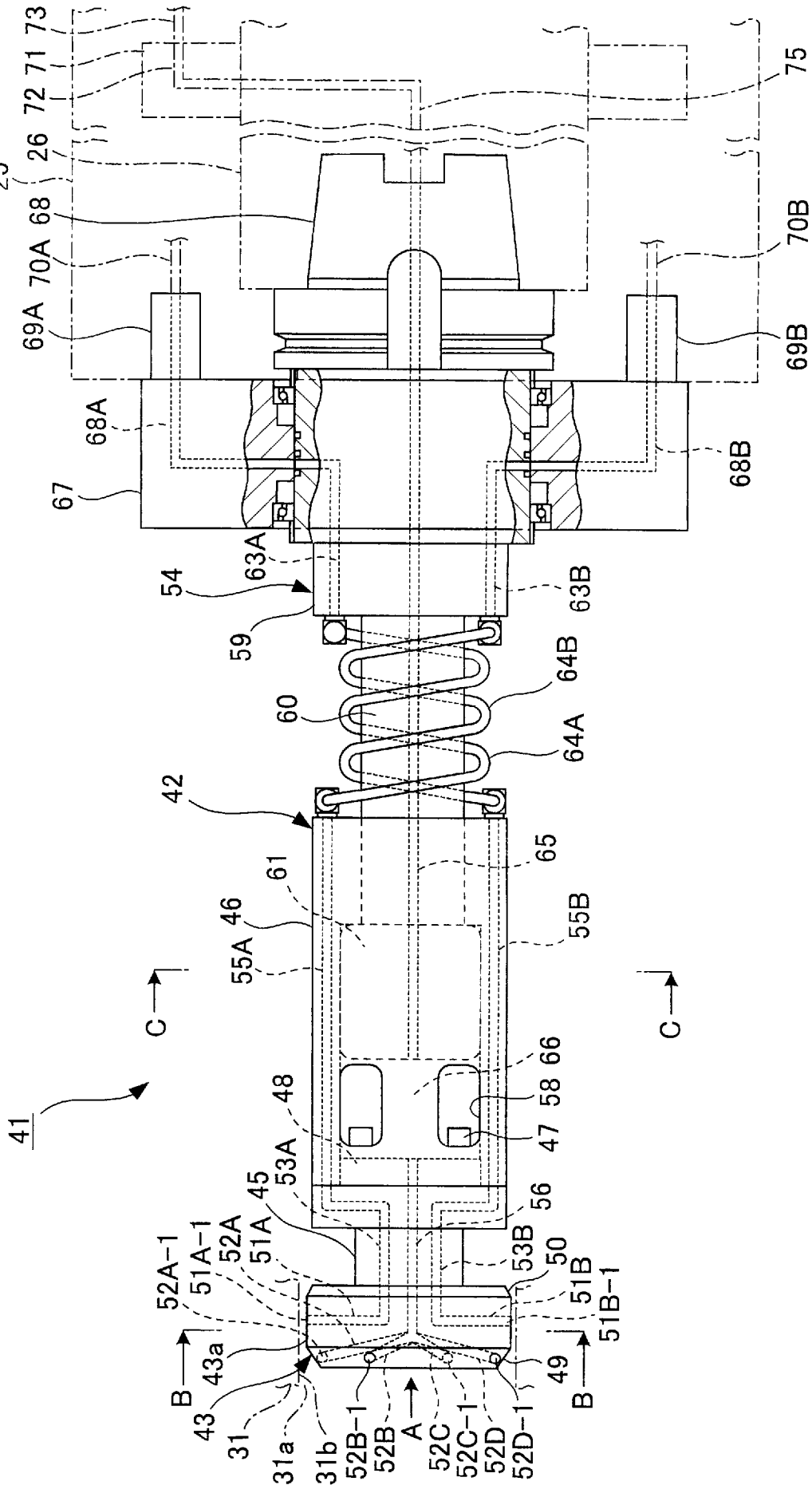
[12] 請求項1に記載するエアマイクロメータの計測ヘッドにおいて、

前記計測ヘッド本体部は、前記計測ヘッド先端部が固定されている先端側部材と、基端側部材と、前記先端側部材と前記基端側部材との間に介設された弾性部材と、前記先端側部材に形成された計測用エア供給路と前記基端側部材に形成されている計測用エア供給路とをつないだ可撓性のホースとを有してなるものであることを特徴とするエアマイクロメータの計測ヘッド。

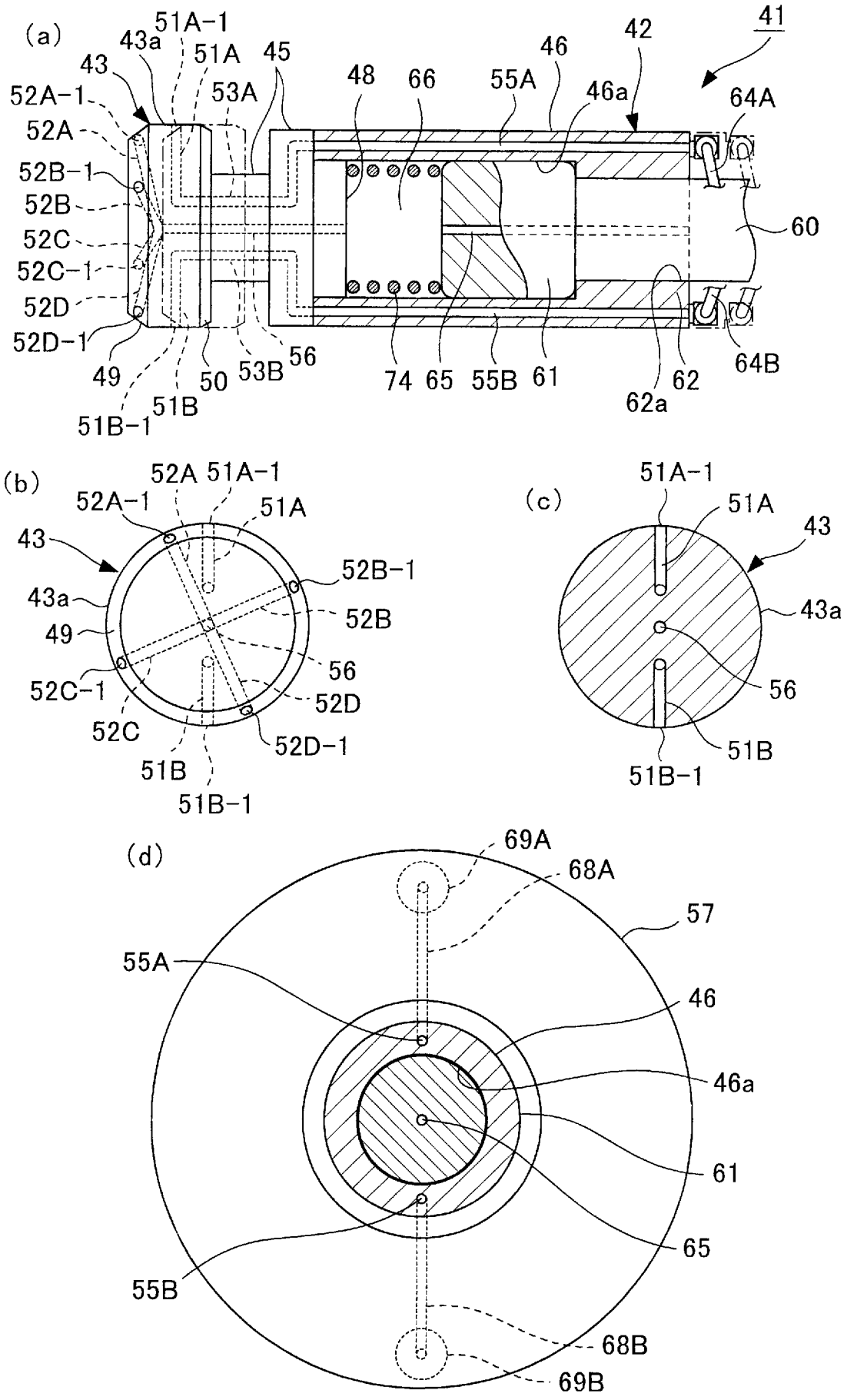
[図1]


(a)
21
24
25
26
27b
31
33
31b
31a
32
W
27a
31
27
23
Z
Y
30
28
29
X
22
(b)
27a
31
25
26
41
31a
31b
27

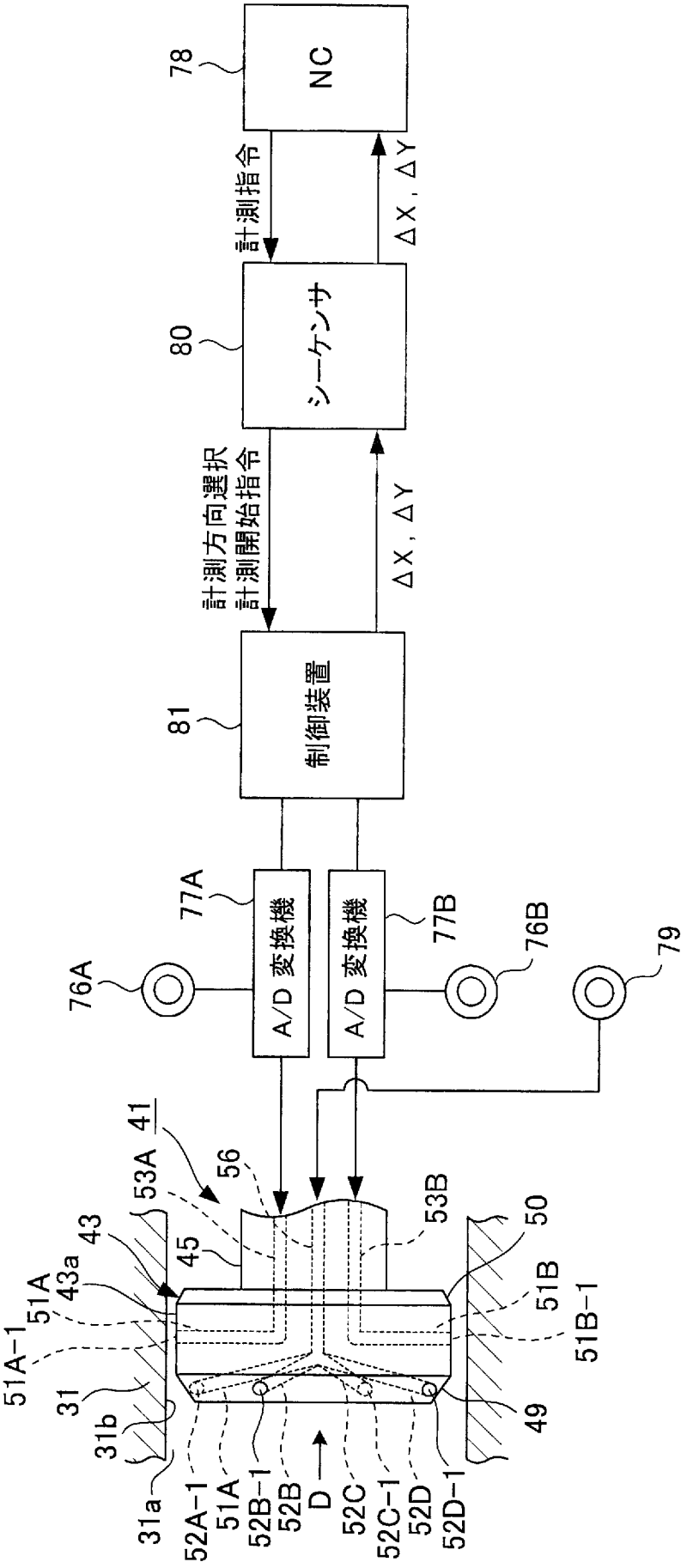
[図2]


73
71
72
26
25
68
70A
69A
68A
67
75
70B
69B
68B
63A
54
59
63B
64B
60
64A
42
61
65
46
55A
55B
C
C
41
48
58
66
47
53A
45
56
52A-1
51A-1
52A
51A
53B
50
51B
51B-1
B
43a
B
43
31
31a
31b
52B-1
52B
A
52C
52C-1
52D
52D-1
49

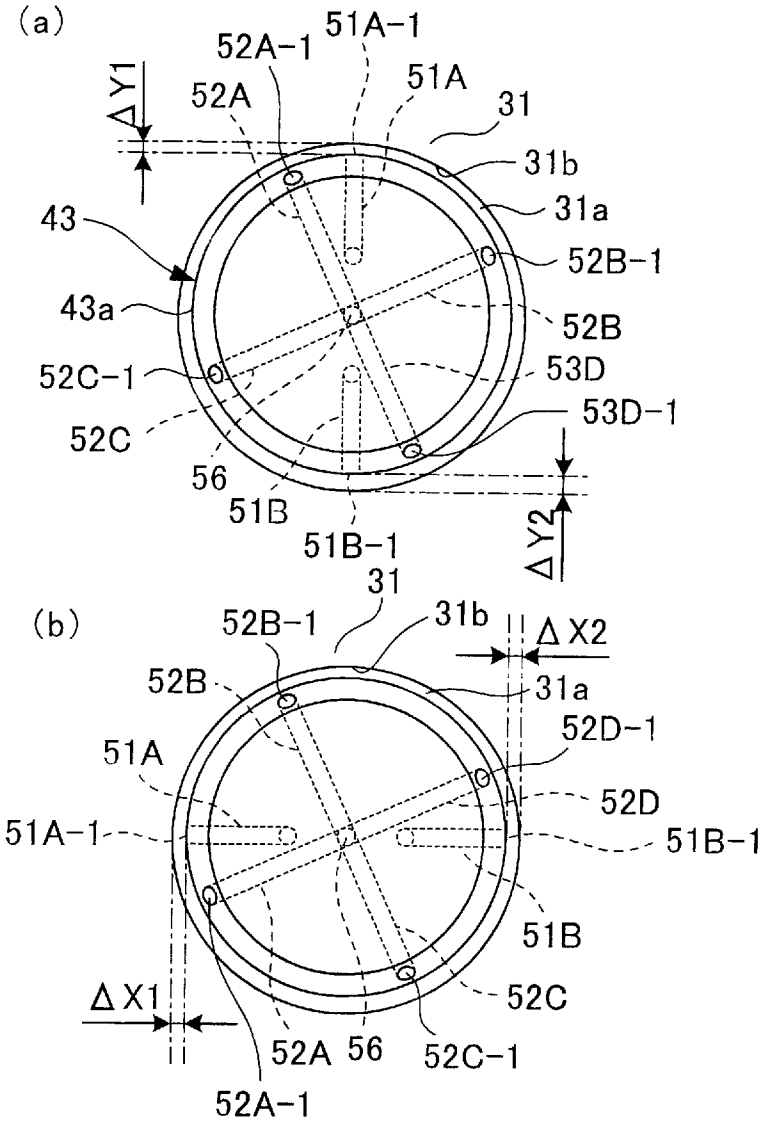
[図3]


(a)
51A-1
43a
51A
45
43
52A-1
53A
48
66
55A
46
42
41
46a
64A
52A
52B-1
52B
52C
52C-1
52D
52D-1
60
49
50
53B
56
74
65
55B
61
62a
62
64B
51B-1
51B
(b)
52A
51A-1
52A-1
51A
43
52B-1
43a
52B
49
56
52C-1
52D
52C
52D-1
51B
51B-1
(c)
51A-1
51A
43
43a
56
51B
51B-1
(d)
69A
68A
57
55A
46
46a
61
65
55B
68B
69B

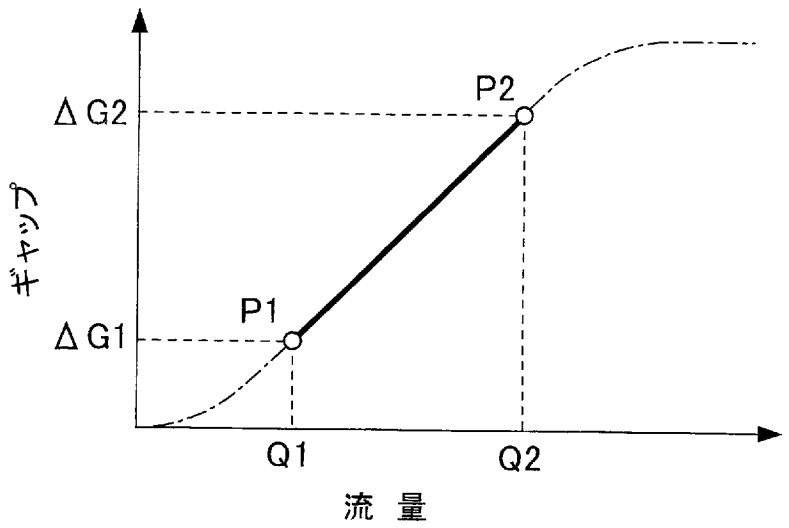
[図4]


78
NC
計測指令
ΔX，ΔY
80
シーケンサ
計測方向選択
計測開始指令
ΔX，ΔY
81
制御装置
77A
A/D 変換機
77B
A/D 変換機
76A
76B
79
41
53A
56
53B
50
43
45
51A
43a
51B
51B-1
51A-1
31
31b
49
31a
52A-1
51A
52B-1
52B
D
52C
52C-1
52D
52D-1

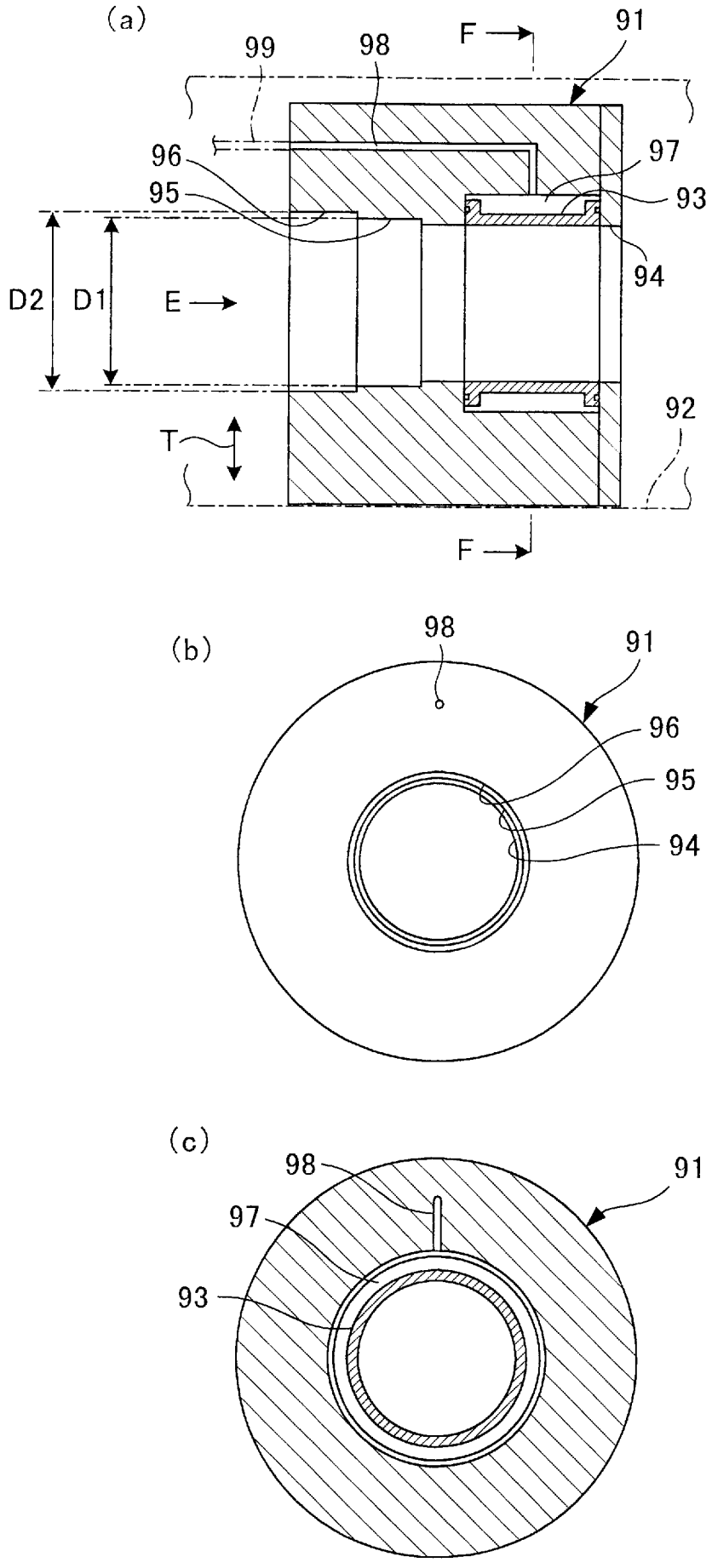
[図5]


(a)
52A-1
51A-1
51A
52A
31
ΔY1
31b
31a
43
52B-1
43a
52B
52C-1
53D
53D-1
52C
56
51B
51B-1
ΔY2
(b)
31
52B-1
31b
ΔX2
52B
31a
52D-1
51A
52D
51A-1
51B-1
51B
ΔX1
52C
52A
56
52C-1
52A-1

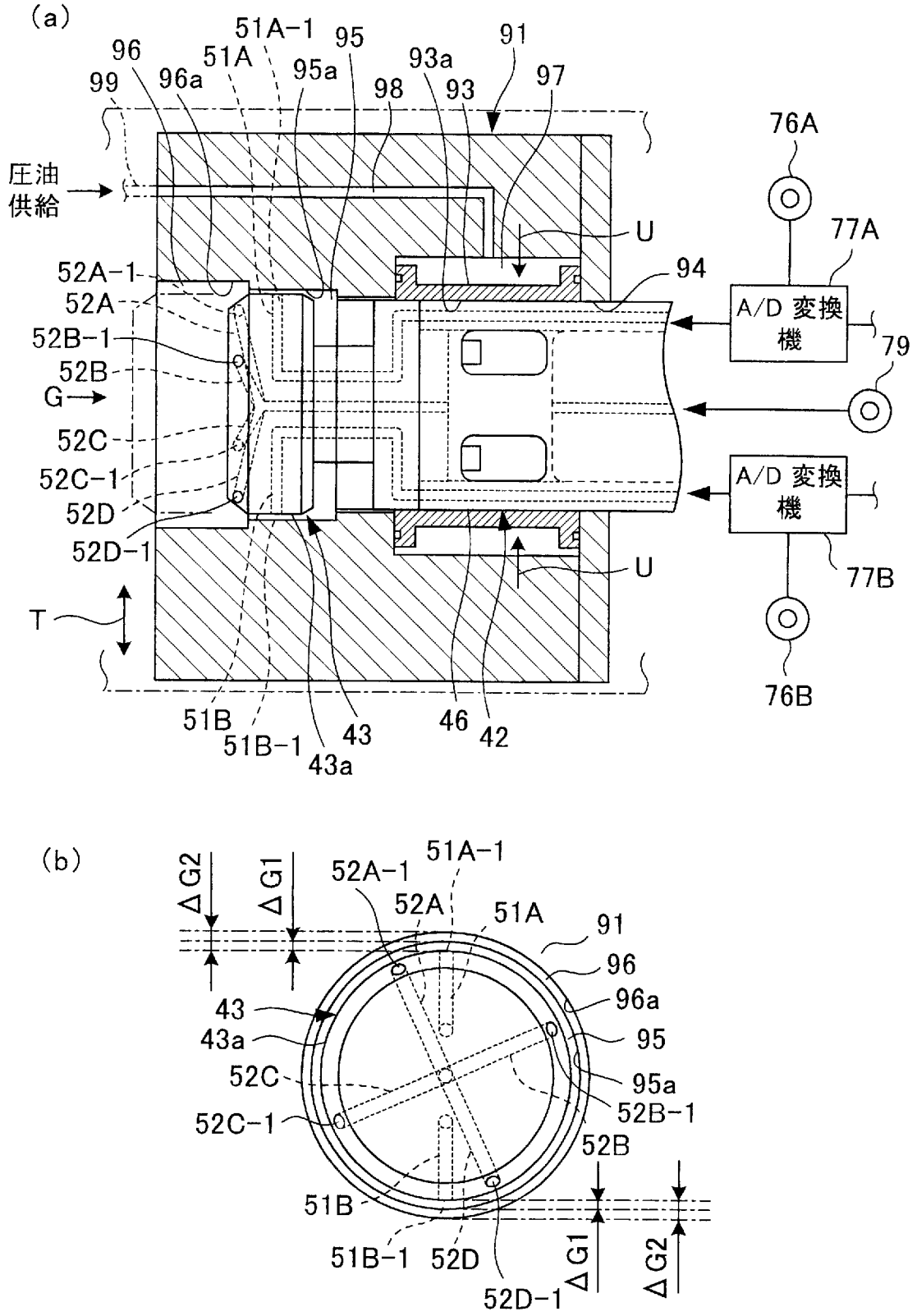
[図6]


ΔG2
P2
ギャップ
ΔG1
P1
Q1
Q2
流 量

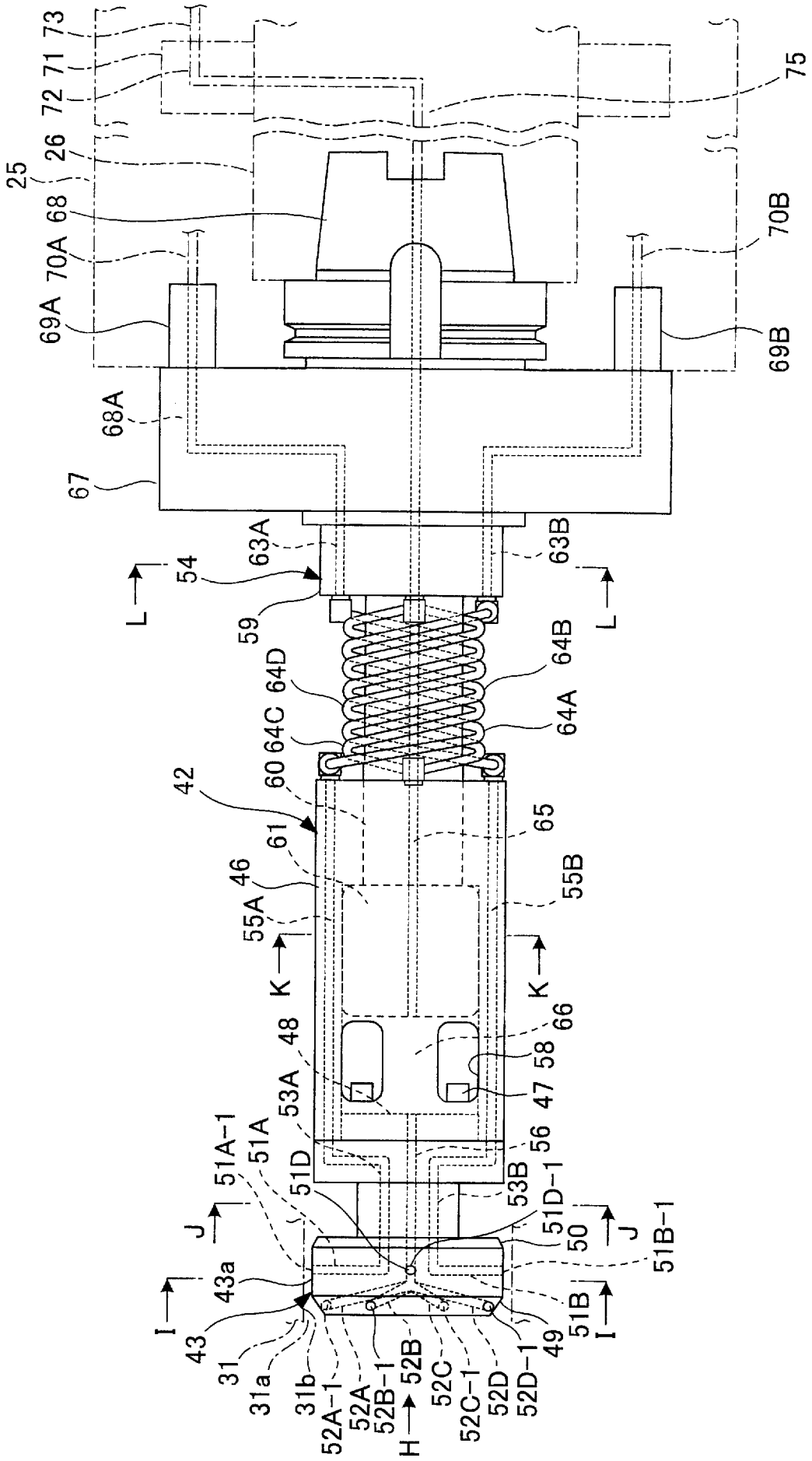
[図7]



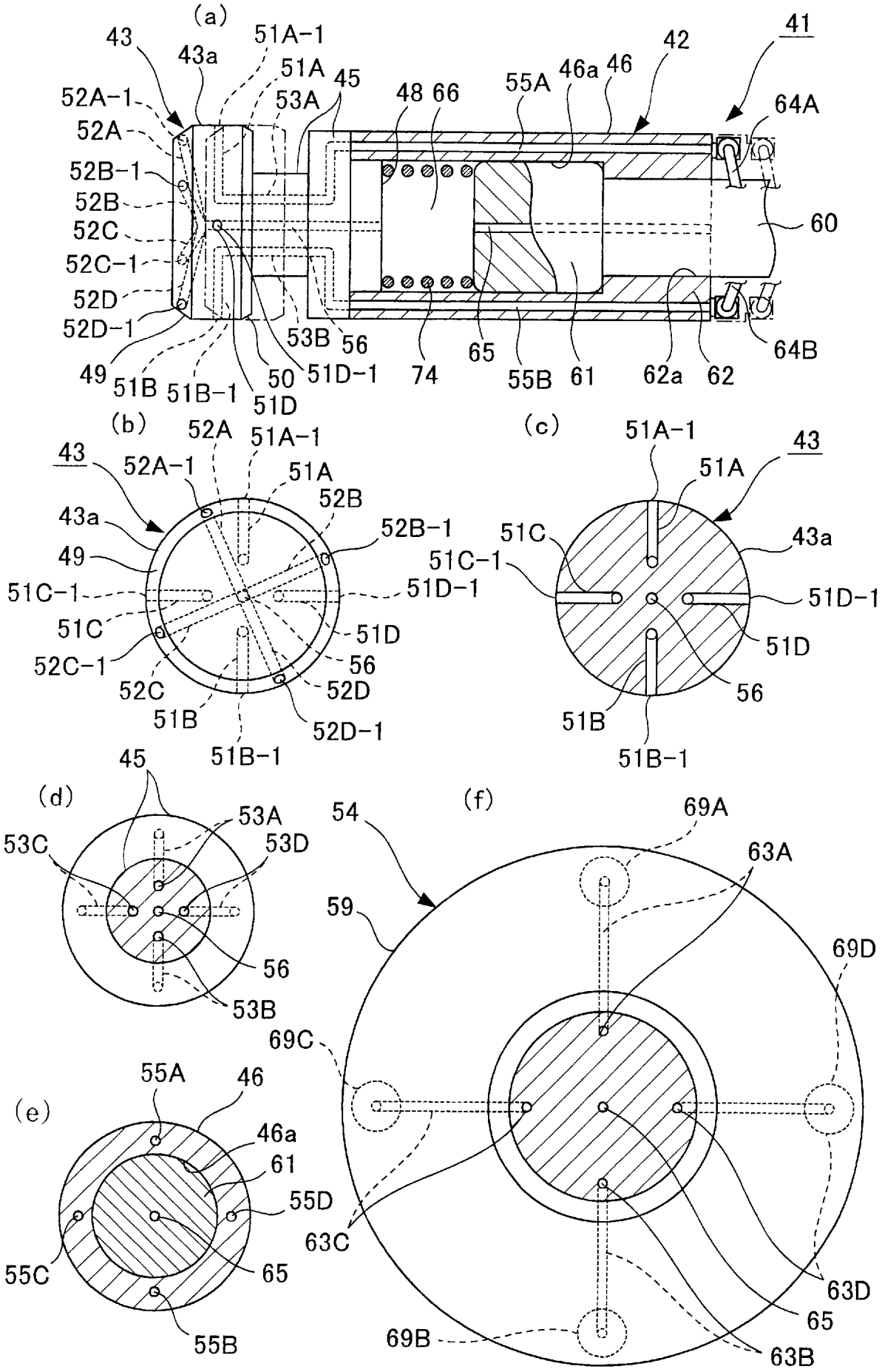
[図8]


(a)
96
99
96a
51A-1
51A
95
95a
98
93a
93
91
97
圧油
供給
U
94
76A
77A
A/D 変換
機
79
52A-1
52A
52B-1
52B
G
52C
52C-1
52D
52D-1
T
A/D 変換
機
77B
U
76B
51B
51B-1
43
43a
46
42
(b)
ΔG2
ΔG1
52A-1
51A-1
52A
51A
91
96
96a
95
95a
52B-1
52B
43
43a
52C
52C-1
51B
51B-1
52D
52D-1
ΔG1
ΔG2

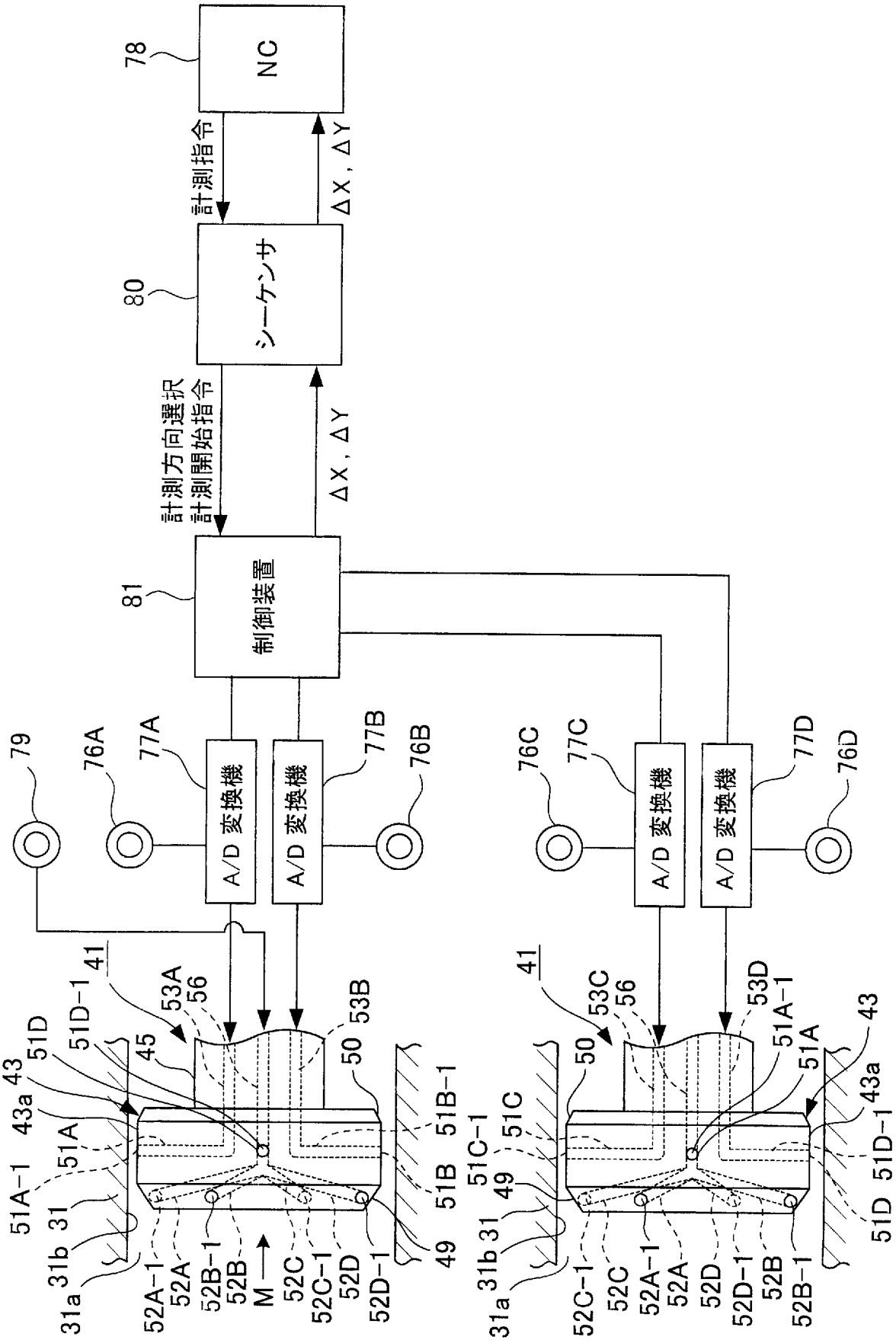
[図9]


73
71
72
26
25
68
70A
69A
68A
67
75
70B
69B
54
63A
63B
L
L
59
64D
64B
64C
64A
60
42
61
65
46
55A
55B
K
K
48
66
58
47
53A
51A-1
51A
51D
56
53B
51D-1
J
J
50
51B-1
43a
I
I
51B
43
49
31
31a
31b
52A-1
52A
52B-1
52B
H
52C
52C-1
52D
52D-1

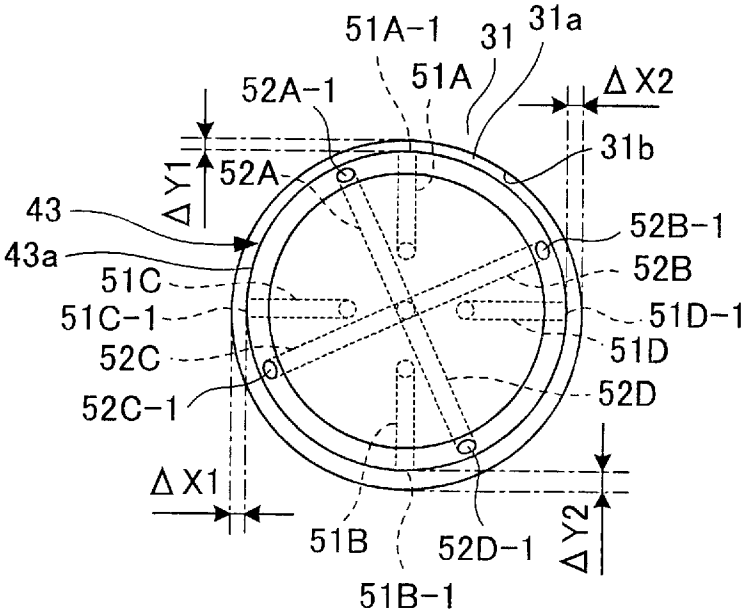
[図10]


(a)
43
43a
51A-1
51A
45
53A
48 66
55A
46a
46
42
41
64A
52A-1
52A
52B-1
52B
52C
52C-1
52D
52D-1
60
49
51B
51B-1
50
51D
51D-1
53B
56
74
65
55B
61
62a
62
64B
(b)
52A
51A-1
43
52A-1
51A
52B
52B-1
43a
49
51C-1
51D-1
51C
51D
52C-1
56
52C
52D
51B
52D-1
51B-1
(c)
51A-1
43
51A
51C
43a
51C-1
51D-1
51D
56
51B
51B-1
45
(d)
53A
53C
53D
56
53B
(f)
54
69A
63A
59
69D
69C
63C
63D
65
69B
63B
(e)
55A
46
46a
61
55D
55C
65
55B

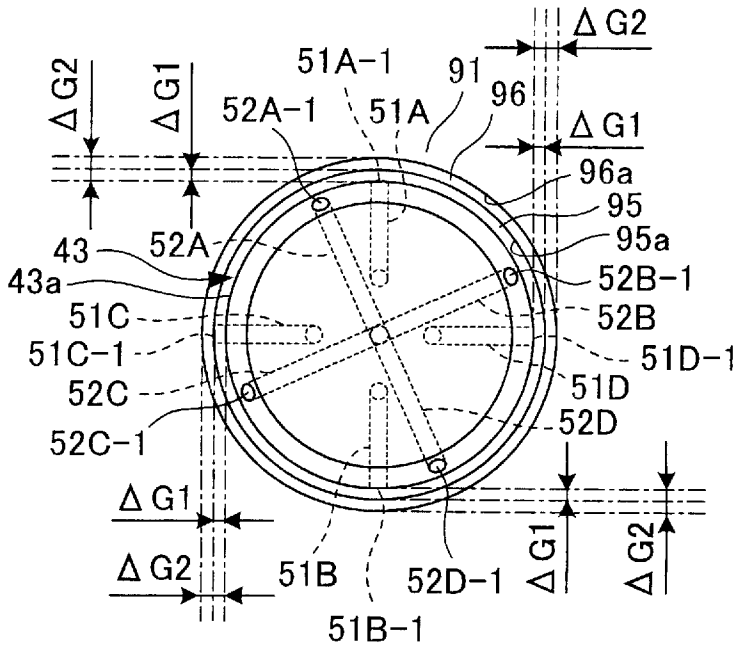
[図11]


78
NC
計測指令
ΔX，ΔY
80
シーケンサ
計測方向選択
計測開始指令
ΔX，ΔY
81
制御装置
79
76A
77A
A/D 変換機
A/D 変換機
77B
76B
76C
77C
A/D 変換機
A/D 変換機
77D
76D
41
53A
56
53B
50
45
51D
51D-1
43
43a
51A
51A-1
31
31b
31a
51B
51B-1
49
52A-1
52A
52B-1
52B
M
52C
52C-1
52D
52D-1
41
53C
56
53D
50
51A-1
51A
43
43a
51C
51C-1
49
31
31b
31a
51D
51D-1
52C-1
52C
52A-1
52A
52D
52D-1
52B
52B-1

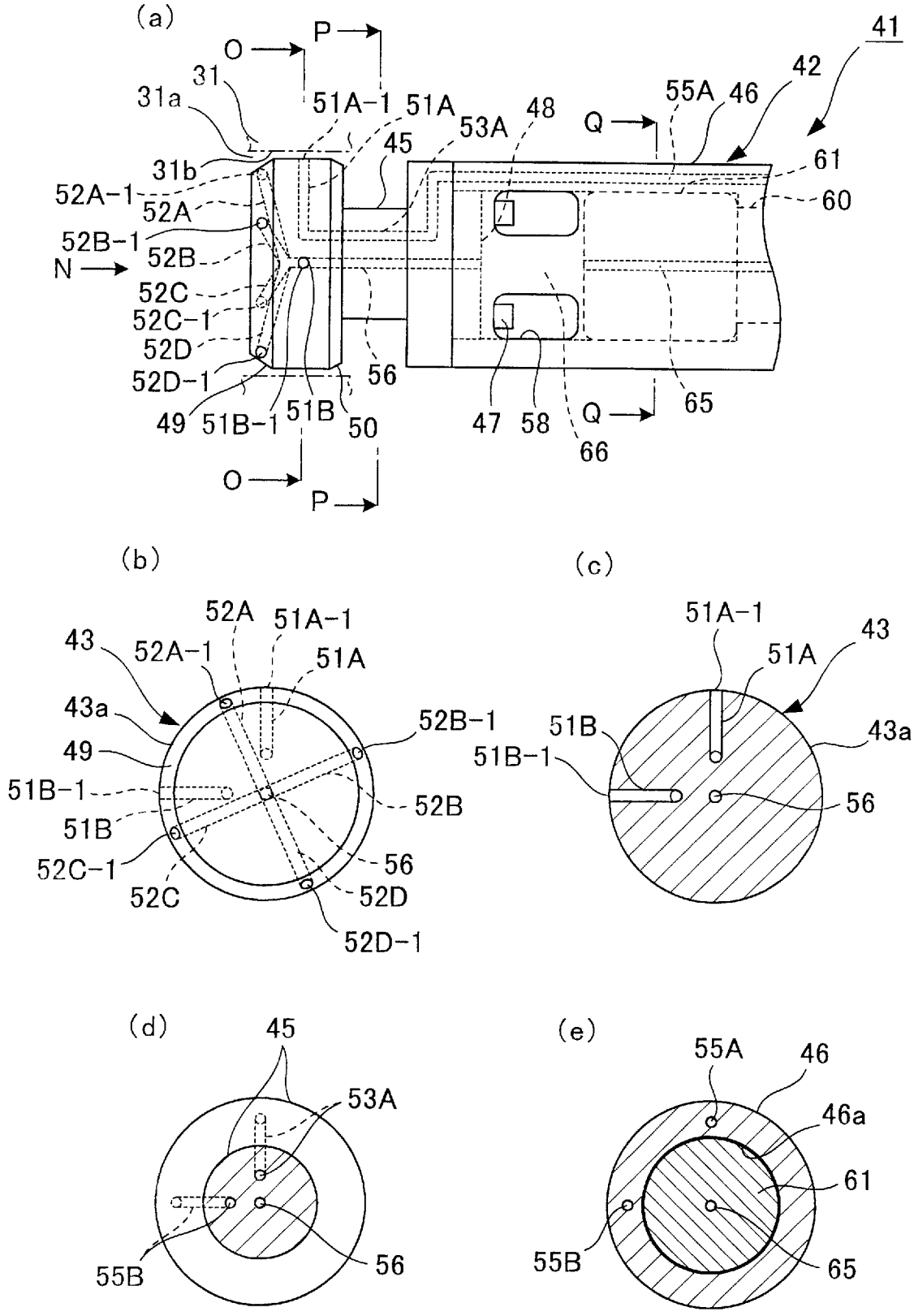
[図12]


51A-1
31
31a
51A
ΔX2
52A-1
31b
ΔY1
52A
43
52B-1
43a
52B
51C
51D-1
51C-1
51D
52C
52D
52C-1
ΔX1
51B
52D-1
ΔY2
51B-1

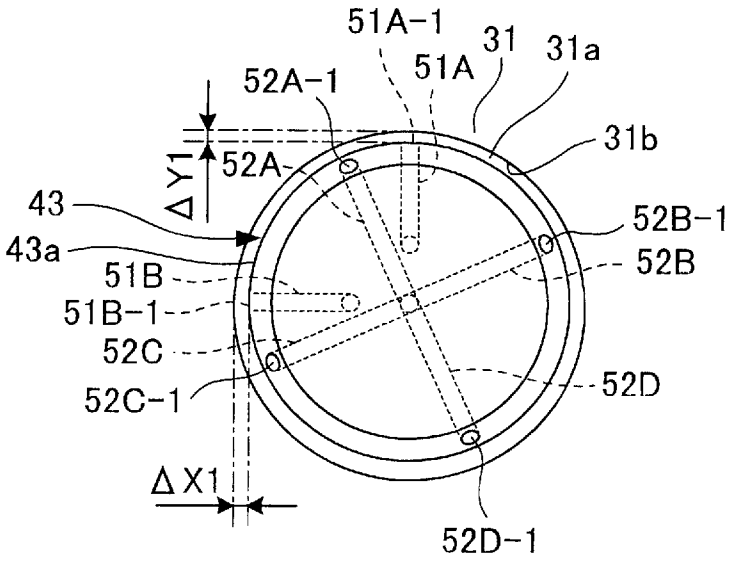
[図13]


ΔG2
51A-1
91
ΔG2
ΔG1
52A-1
51A
96
ΔG1
96a
95
43
52A
95a
43a
52B-1
51C
52B
51C-1
51D-1
52C
51D
52D
52C-1
ΔG1
ΔG2
51B
52D-1
ΔG1
ΔG2
51B-1

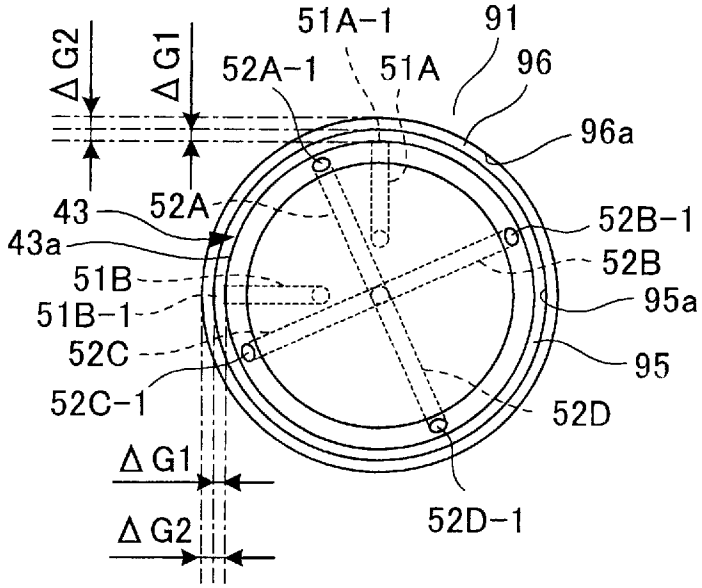
[図14]


(a)
O
P
31
31a
31b
51A-1
51A
53A
48
45
Q
55A
46
42
41
61
60
52A-1
52A
52B-1
52B
N
52C
52C-1
52D
52D-1
49
51B-1
51B
50
56
47
58
66
65
(b)
52A
51A-1
43
52A-1
51A
43a
52B-1
49
51B-1
51B
52B
52C-1
52C
56
52D
52D-1
(c)
51A-1
43
51A
51B
51B-1
43a
56
(d)
45
53A
55B
56
(e)
55A
46
46a
61
55B
65

[図15]

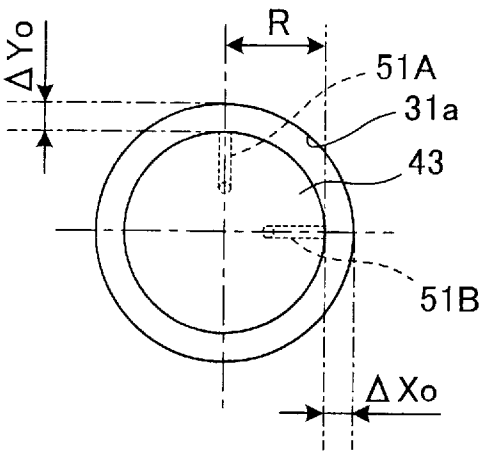

51A-1
31
31a
51A
52A-1
31b
ΔY1
52A
43
52B-1
43a
52B
51B
51B-1
52C
52D
52C-1
ΔX1
52D-1

[図16]

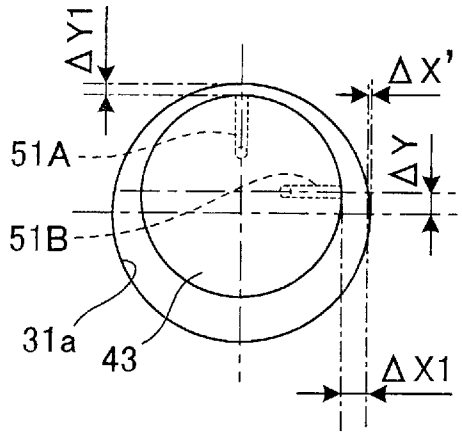

51A-1
91
ΔG2
ΔG1
52A-1
51A
96
96a
43
52A
52B-1
43a
52B
51B
95a
51B-1
52C
95
52C-1
52D
ΔG1
52D-1
ΔG2

[図17]

(a)



(b)



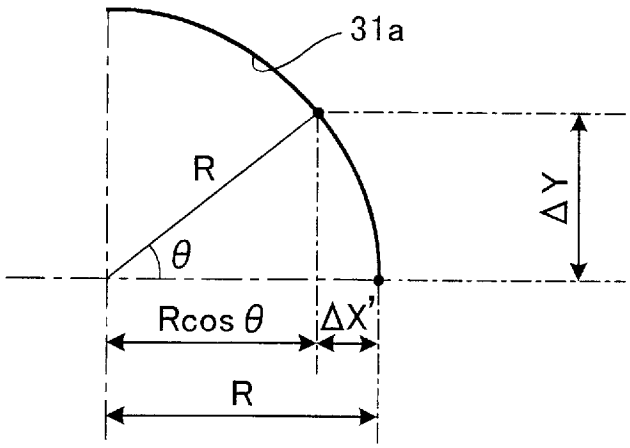
ΔX' : ΔYの影響によるX軸方向のギャップの変化量

$\Delta Y = \Delta Yo - \Delta Y1$

$\Delta X = \Delta Xo - \Delta X1 - \Delta X' = 0$

ΔX1 : ΔY偏芯後のギャップ

(c)

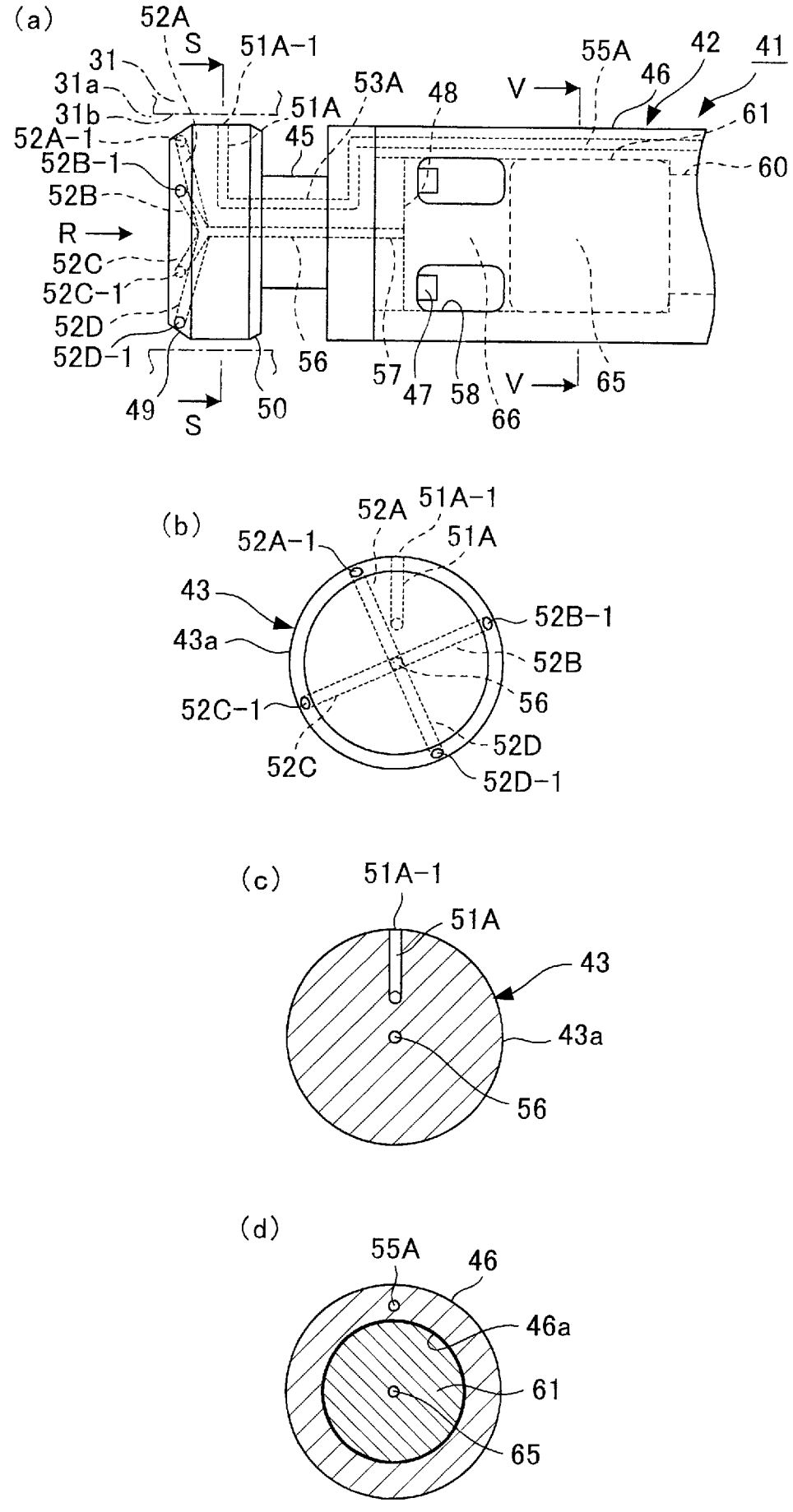


$$\sin\theta = \frac{\Delta Y}{R}$$

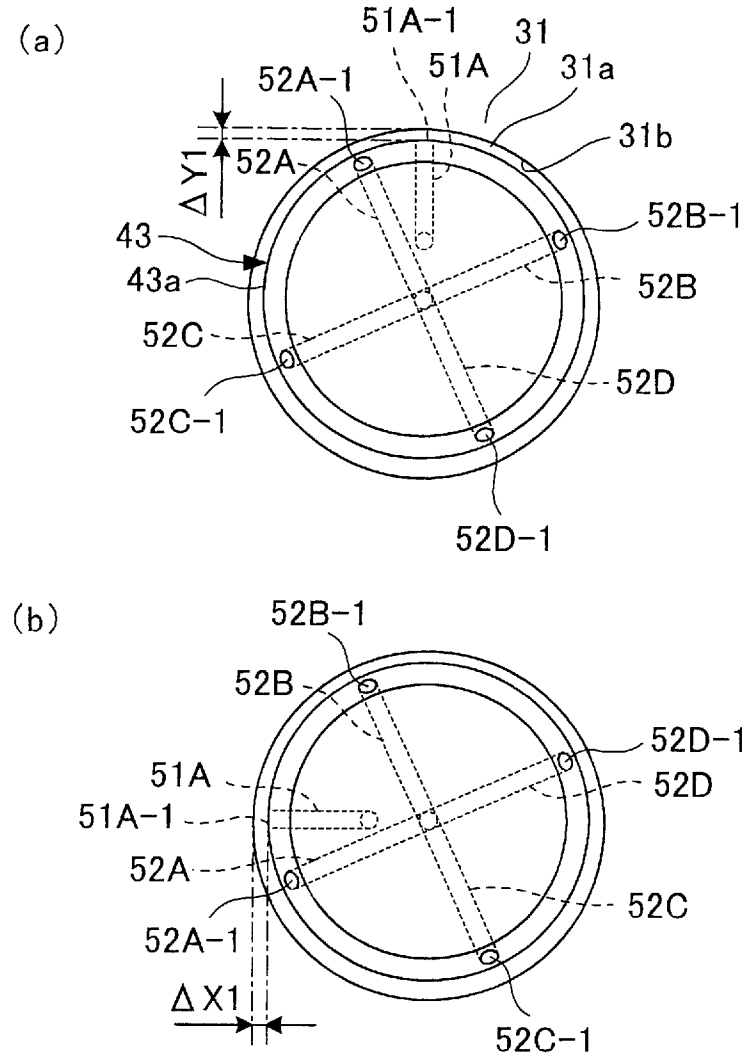
$$\Delta X' = R - R\cos\theta$$

$$= R\left\{1 - \cos\left(\sin^{-1}\frac{\Delta Y}{R}\right)\right\}$$

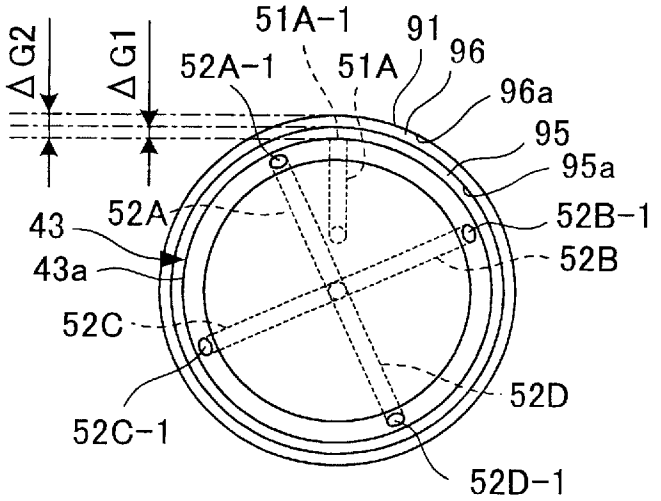
[図18]


(a)
52A
S
51A-1
31
31a
31b
52A-1
52B-1
52B
R
52C
52C-1
52D
52D-1
49
S
50
56
51A
53A
45
48
V
55A
42
41
46
61
60
57
47
58
V
65
66
(b)
52A
51A-1
52A-1
51A
43
43a
52B-1
52B
56
52C-1
52C
52D
52D-1
(c)
51A-1
51A
43
43a
56
(d)
55A
46
46a
61
65

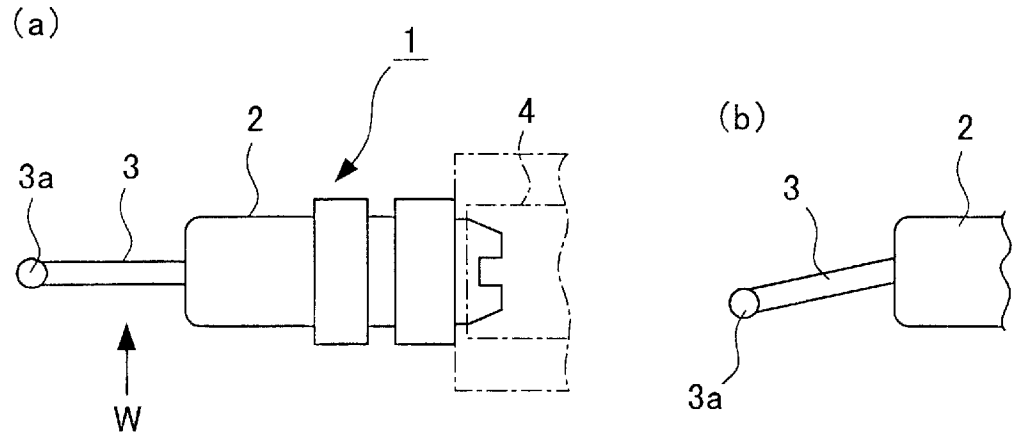
[図19]


(a)
51A-1
31
51A
31a
52A-1
31b
ΔY1
52A
52B-1
43
43a
52B
52C
52D
52C-1
52D-1
(b)
52B-1
52B
52D-1
51A
52D
51A-1
52A
52C
52A-1
ΔX1
52C-1

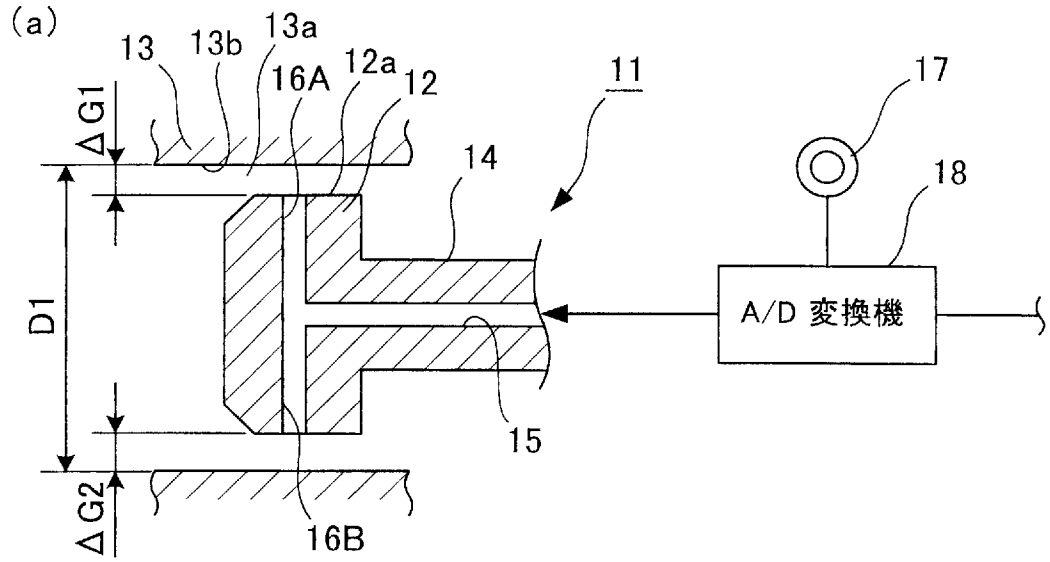
[図20]

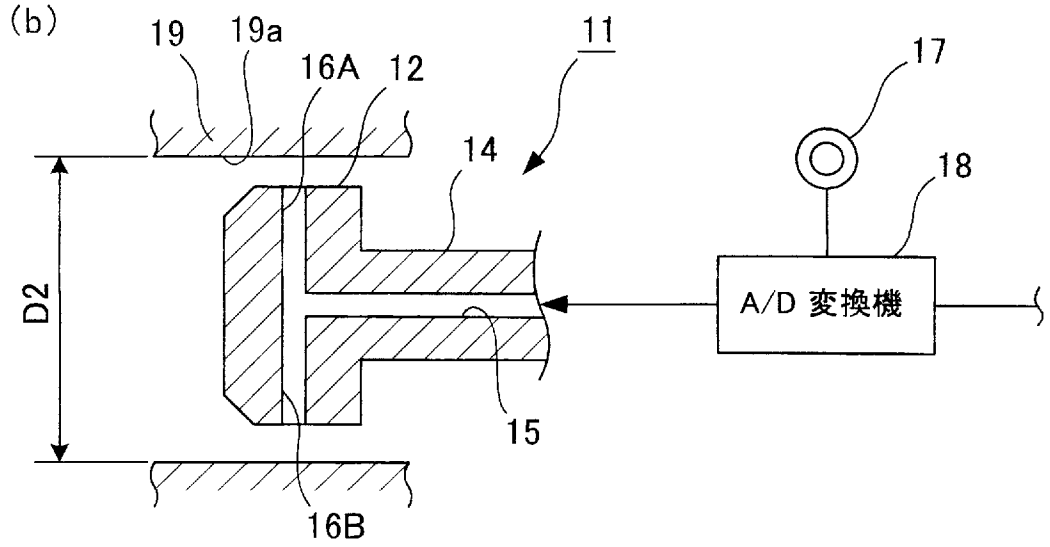

ΔG2
ΔG1
51A-1
91
52A-1
51A
96
96a
95
95a
52A
52B-1
43
52B
43a
52C
52D
52C-1
52D-1

[図21]


(a)
1
2
4
3a
3
W
(b)
2
3
3a

[図22]


(a)
13
13b
13a
16A
12a
12
11
17
18
14
ΔG1
D1
A/D 変換機
15
ΔG2
16B


(b)
19
19a
16A
12
11
17
18
14
D2
A/D 変換機
15
16B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/050505

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01B13/19(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)
G01B13/19

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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 A	JP 04-217447 A (Samson AG.), 07 August, 1992 (07.08.92), Claims; Par. Nos. [0005] to [0021]; Figs. 1 to 5 & US 5152166 A1 & DE 4004237 A	1-5,7-9 6,10-12
Y A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 020696/1976(Laid-open No. 112852/1977) (Hitachi Zosen Corp.), 27 August, 1977 (27.08.77), Claims; detailed explanation of the device; Figs. 1 to 7 (Family: none)	1-5,7-9 6,10-12

☒ 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 30 March, 2009 (30.03.09)	Date of mailing of the international search report 07 April, 2009 (07.04.09)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2007)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/050505

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 113331/1981(Laid-open No. 019209/1983) (Toyo Kogyo Kabushiki Kaisha), 05 February, 1983 (05.02.83), Claims; detailed explanation of the device; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1-5,7-9 6,10-12
Y A	JP 52-137375 A (The Bendix Corp.), 16 November, 1977 (16.11.77), Claims; page 2, lower left column, line 3 to page 3, upper right column, line 12; drawings & US 4034478 A & GB 1527198 A & DE 2721281 A & FR 2351386 A & AR 210420 A & AU 2480777 A & CA 1083341 A & IT 1084032 B	1-5,7-9 6,10-12
Y A	JP 49-029665 A (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.), 16 March, 1974 (16.03.74), Full text; all drawings; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1-5,7-9 6,10-12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００９／０５０５０５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01B13/19(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.　G01B13/19

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	１９７１－２００９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００９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 04-217447 A（ザムゾン　アクチエンゲゼルシャフト）1992.08.07，特許請求の範囲，０００５段落－００２１段落，図１－図５ & US 5152166 A1 &DE 4004237 A	1-5,7-9
A		6,10-12
Y	日本国実用新案登録出願51-020696号(日本国実用新案登録出願公開52-112852号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（日立造船株式会社）1977.08.27，実用新案登録請求の範囲，考案の詳細な説明，図面第１－７図（ファミリーなし）	1-5,7-9
A		6,10-12

☑　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 ３０．０３．２００９	国際調査報告の発送日 ０７．０４．２００９
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 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）　２Ｓ　９００８ 櫻井　仁 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５８

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（２００７年４月）

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	日本国実用新案登録出願56-113331号(日本国実用新案登録出願公開58-019209号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（東洋工業株式会社）1983.02.05，実用新案登録請求の範囲，考案の詳細な説明，図面第１－２図（ファミリーなし）	1-5,7-9
A		6,10-12
Y	JP 52-137375 A (ザ・ベティンクス・コーポレーション) 1977.11.16，特許請求の範囲，第２頁左下欄第３行－第３頁右上欄第１２行，図面 & US 4034478 A & GB 1527198 A & DE 2721281 A & FR 2351386 A & AR 210420 A & AU 2480777 A & CA 1083341 A & IT 1084032 B	1-5,7-9
A		6,10-12
Y	JP 49-029665 A（東京芝浦電気株式会社）1974.03.16，全文全図，図面第１－３図（ファミリーなし）	1-5,7-9
A		6,10-12