

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 11 月 25 日 (25.11.2004)

PCT

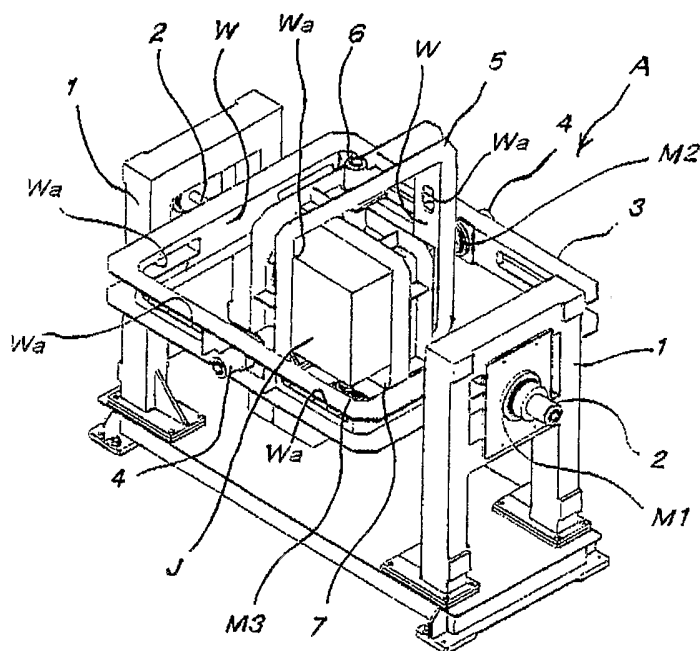
(10) 国際公開番号
WO 2004/102581 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G12B 5/00 (74) 代理人: 高橋 敏忠, 外(TAKAHASHI, Toshitada et al.); 〒105-0003 東京都 港区 西新橋二丁目 1 3 番 3 号 藤喜ビル Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/006430
- (22) 国際出願日: 2004 年 5 月 6 日 (06.05.2004)
- (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2003-137056 2003 年 5 月 15 日 (15.05.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 学校法人日本大学 (NIHON UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒102-8275 東京都 千代田区 九段南四丁目 8 番 2 4 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): 嶋田 有三 (SHIMADA, Yuzo) [JP/JP]; 〒102-8275 東京都 千代田区 九段南四丁目 8 番 2 4 号 学校法人日本大学内 Tokyo (JP). 内山 賢治 (UCHIYAMA, Kenji) [JP/JP]; 〒102-8275 東京都 千代田区 九段南四丁目 8 番 2 4 号 学校法人日本大学内 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: THREE-AXIS MOTION TABLE

(54) 発明の名称: 3 軸モーションテーブル



(57) Abstract: A three-axis motion table has an outer frame body mounted on a pair of both-end support legs so as to be rotatable about a first rotation axis, an intermediate frame body (with, for example, a substantially square O shape as a whole) mounted on the outer frame body so as to be rotatable about a second rotation axis, and an inner frame body (with, for example, a substantially square O shape as a whole) mounted on the intermediate frame body so as to be rotatable about a third rotation axis. The inner frame body has a mechanism for holding a test piece. A first motor for rotating the outer frame body is provided on one of the both-end support legs, a second motor for rotating the intermediate frame body is provided on the outer frame body, and a third motor for rotating the inner frame body is provided on the intermediate frame body. The structure above provides a three-axis motion table whose total weight can be reduced with smooth rotation about the three orthogonal rotation axes achieved.

[続葉有]



添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

本発明の3軸モーションテーブルは、一対の両端支持脚により第1の回転軸周りで回転可能に取り付けられた外側の枠体と、外側の枠体により第2の回転軸周りで回転可能に取り付けられた（全体が、例えば、概略ロ字状の）中間の枠体と、中間の枠体により第3の回転軸周りで回転可能に取り付けられた（全体が、例えば、概略ロ字状の）内側の枠体とを有しており、内側の枠体は供試体の保持機構を有しており、前記両端支持脚の一方には外側の枠体を回転するための第1のモータが設けられており、外側の枠体には中間の枠体を回転するための第2のモータが設けられており、中間の枠体には内側の枠体を回転するための第3のモータが設けられている。 係る構成により、直交する3本の回転軸周りの円滑な回転を確保しつつ、全体の重量を軽減出来る3軸モーションテーブルが提供される。

明 細 書

3 軸モーシ ョ ン テーブル

5 技術分野

本発明は、航空機、ロケット、人工衛星や各種乗り物等（以下、「供試体」と呼ぶ）の回転運動を模擬・試験する姿勢制御装置である 3 軸モーシ ョ ン テーブルとその回転制御に関する。

10 背景技術

従来の 3 軸モーシ ョ ン テーブルは、図 10 で示すように、3 軸モーシ ョ ン テーブル J 全体を垂直方向に 1 本の回転軸 P で支持するタイプが多い。

図 10 の例では、単一の回転軸で 3 軸モーシ ョ ン テーブル J 全体を支持するため、当該回転軸 P（垂直方向に延びる回転軸）を支持する基台部分 B の機構が全方向への確実な支持を可能とするため大型化し、重量が大きくなる。

例えば、試作人工衛星を 3 軸モーシ ョ ン テーブルに設置して、3 次元空間の姿勢制御運動を試験する場合、精度の良い高速回転運動を模擬出来るようにするために、出来る限り軽量化したいという要請があるが、従来の 3 軸モーシ ョ ン テーブルは、係る要請に反していた。

また、従来の 3 軸モーシ ョ ン テーブルでは、供試体への外乱となる枠体の弾性振動を避けるため、鋳造品を使用しており、このため慣性モーメントが大きくなることは避けられず、トルクの大きい油圧モータで駆動する必要があった。

さらに、枠体の振動周波数を、供試体である人工衛星の運用（姿勢運動）周波数領域と分離可能な様に、より剛性を高めるように作成しなくてはならず、このことも慣性モーメント並びに重量増加の要因となっていた。

それに加えて、油圧モータは同一方向への連続回転には適さず、回転速度の調節範囲が狭いという問題も有していた。

上述した様に、従来、鋳造品を利用する目的は、鋳造品で作成された剛性の高い部材を用いることで弾性振動を高周波数化することができ、
5 製造された 3 軸モーションテーブルの運用帯域幅と振動領域との周波数領域が十分に離隔できるからである。

ここで、従来の設計工程では、製造された 3 軸モーションテーブルの帯域幅と弾性振動の周波数領域とが近接或いは重複してしまうか否かは、実機製造前に事前に判定することが行われておらず、設計者のいわゆる
10 「勘」により判定されていた。そのため、振動を防止するために、安全サイド、すなわち剛性の高い材料を使用する方向へ設計されてしまう傾向が存在する。そして、係る傾向（剛性の高い材料を使用する方向へ設計されてしまう傾向）も、慣性モーメント並びに重量が増加してしまう要因となり、そのために大きなトルクが見込める油圧モータが多用され
15 ていた。

これに対して、油圧モータよりも低トルクである電動モータを用いて、3 軸モーションテーブルの運用帯域幅を向上させるためには、慣性モーメント及び重量を抑制することが必要となるが、アルミニウム等の軽量ではあるが剛性が比較的低い材料により枠体を構成することを考えると、
20 3 軸モーションテーブルの運用帯域幅と振動の周波数領域とが近接或いは重複してしまうため、供試体に搭載したセンサの検出信号に発生した弾性振動の信号を、ローパスフィルタ等の手段によって除去することが不可能になってしまう。

図 10 で示す様なタイプの 3 軸モーションテーブル J は、従来から
25 種々存在するが（例えば、三軸姿勢制御システム試験設備（2001 年 7 月に宇宙開発事業団（NASDA）発行）参照）、何れも、上述した様な問題を解消するものではない。

本発明は上述した従来技術の問題点に鑑みて提案されたものであり、直交する 3 軸周りの慣性モーメントを極力軽減化することで、（油圧モー

タと比較して) 出力が小さい電動モータの使用を可能とし、角度・角速度の目標信号に対する追従特性を高周波数領域まで高め、3次元空間における任意姿勢制御試験を可能にする3軸モーションテーブルの提供を目的としている。

5

発明の開示

本発明の3軸モーションテーブル(A)は、一対の支持脚(1、1)により第1の回転軸(2)周りで回転可能に取り付けられた(全体が、例えば、概略ロ字状の)外側の枠体(3)と、外側の枠体(3)により第2の回転軸(4)周りで回転可能に取り付けられた(全体が、例えば、概略ロ字状の)中間の枠体(5)と、中間の枠体(5)により第3の回転軸(6)周りで回転可能に取り付けられた(全体が、例えば、概略ロ字状の)内側の枠体(7)とを有しており、内側の枠体(7)は供試体(J)を保持しており、前記支持脚(1、1)の一方には外側の枠体(3)を回転するための第1のモータ(M1)が設けられており、外側の枠体(3)には中間の枠体(5)を回転するための第2のモータ(M2)が設けられており、中間の枠体(5)には内側の枠体(7)を回転するための第3のモータ(M3)が設けられていることを特徴としている(請求項1)。

ここで、前記外側の枠体(3)、中間の枠体(5)、内側の枠体(7)は相似形であり、中間の枠体(5)の内側には内側の枠体(7)が回転可能な大きさの空間が形成され、外側の枠体(3)内側には中間の枠体(5)が回転可能な大きさの空間が形成されている(請求項2)。

係る構成を具備する本発明の3軸モーションテーブル(A)によれば、第1～第3のモータ(M1～M3)を回転することにより、供試体(J)を保持する内側の枠体(7)は中間の枠体(5)内側の空間内を回転し、中間の枠体(5)は外側の枠体(3)内側の空間内を回転し、以って、相互に直交する3つの回転軸(2、4、6)周りの回転が実行される。

ここで、前記一対の両端支持脚(1、1)は3軸モーションテーブル

全体（Ａ）を支持する基台となり、１本の垂直回転軸のみで片端支持する従来技術における基台（図１０のＢ）に比較してより安定なため、当該一対の両端支持脚（１、１）は小型、軽量化が可能である。

本発明において、前記一対の両端支持脚（１、１）、外側の枠体（３）、
5 中間の枠体（５）、内側の枠体（７）は、比強度の高い金属材料、例えばチタン合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金、高張力鋼等の使用が考えられる。価格と加工の容易さからアルミニウム合金（例えば、Ａ５０５２Ｐ）製であるのが好ましい。

そして、外側の枠体（３）、中間の枠体（５）、内側の枠体（７）には、
10 抜き部分（重量並びに慣性モーメント軽減用抜き孔）が形成されていることが好ましい。

この様に構成すれば、剛性を保持しつつ、より一層の軽量化が出来るからである。

そして、３軸モーションテーブル全体（Ａ）の軽量化が可能となることから、本発明によれば、油圧モータに代えて３軸ともに電動モータ（Ｍ
15 １～Ｍ３）を使用することが出来る。

なお、３軸の内、第３軸のみを電動モータで回転し、残りの２軸を油圧モータで回転する様に構成することや、あるいは第３軸を電動モータで回転し、残りの２軸を油圧モータで回転する様に構成することも可能
20 である。

ここで、前記第２のモータ（Ｍ２）と第３のモータ（Ｍ３）の重量を回転軸に対してバランスさせるため、外側の枠体（３）及び中間の枠体（５）には、モータ重力とバランスする箇所にカウンターウェイト（Ｃ
W２、ＣW３）を設けることが好ましい。

25 しかし、カウンターウェイトを設けずに、自動制御による重力補償を行うことも可能である。

すなわち、本発明において、前記外側の枠体（３）及び中間の枠体（５）にはカウンターウェイトが取り外し可能になっており、より高い運用帯域幅を得ることを目的に、慣性モーメントを低下することが可能である。

このとき生じる不釣り合いによるモーメントを打ち消すため、検出器によって求められた各軸の回転角信号を用いて、外部計算機でこれを打ち消すモーメントを求め、発生したモータ制御信号を、制御卓（E）を介して第1～第3のモータ（M1～M3）に伝達する様に構成されるのが好ましい。ここで、第3のモータ（M3）については、供試体が軸対称に構成されていれば、上記打ち消しモーメントを発生する必要は無い。

そして本発明において、3軸の各モータ軸からの角度センサと角速度検出回路を備え、目標角度信号及び目標角速度信号と各々比較することで、目標角度及び目標角速度との差異を最小にする制御電流を発生して、前記第1～第3のモータを制御し、以って、3次元空間における目標回転角度及び目標回転速度を達成する様に構成されているのが好ましい（請求項3）。

この様に構成することで、所定の制御間隔毎に3軸の回転角を計測すれば、不釣り合いによって生じるモーメントを外部計算機で容易に計算することができることから、モータ（M2、M3）の重量に起因するモーメントのアンバランスを制御できるのである。

なお、第3のモータについては、供試体を保持する内部枠にはモータがないので打ち消しモーメントの発生は本来不要であるが、供試体が軸対称でないときはやはり、同様の原理で重量のアンバランスが解消可能である。

本発明の3軸モーションテーブルの設計方法は、構成要素の仕様を決定する仕様決定工程と、有限要素法を用いて、決定された仕様の3軸モーションテーブルの帯域幅と振動領域とを比較する比較工程とを有し、（当該比較工程において）帯域幅と振動領域とが重複する周波数領域が存在する場合か、或いは、帯域幅最大周波数と振動領域最小周波数との差が所定値以下である場合に、前記仕様決定工程及び比較工程とを繰り返すことを特徴としている（請求項4）。

この様に構成すれば、実機を製造する以前の設計段階で、有限要素法を用いて枠体の振動解析をすれば、帯域幅と振動領域とが重複する周波

数領域が存在するか、或いは、帯域幅最大周波数と振動領域最小周波数との差が所定値以下である場合には、実機に取り付けられた供試体には弾性振動が発生すると判断して、各種寸法の決定その他の設計手順を繰り返す。

- 5 このように、有限要素法を用いて3軸の各枠体のモード解析を製造前に行うことにより、従来の「勘」に基く設計に比較して、枠体の低周波数モードの周波数が正確に把握できるため、3軸モーションテーブルの運用周波数との十分な隔離が事前に確認可能となる。かくして、必要以上に剛性を大きくとる必要が無くなり、その結果、慣性モーメントや重量が
10 重量が必要以上に大きな枠体を製造することもなくなり、運用帯域幅の向上も達成可能となる。

- さらに本発明の3軸モーションテーブルにおいて、3軸の各モータ軸からの回転角センサを備え、回転角センサからの信号を電子的に加工した角速度信号を得て、目標角度信号及び目標角速度信号と各々比較することで、目標角度及び目標角速度との差異を最小にする制御信号を発生
15 して前記第1～第3のモータを制御し、以って、3次元空間における目標回転角度及び目標回転速度を達成する様に構成されており、振動領域最小周波数が運用帯域幅最大周波数に対して所定値以上になる様に構成されているのが好ましい（請求項5）。

20

図面の簡単な説明

- 図1は本発明の第1実施形態の全体構成を示す斜視図、図2は本発明の第1実施形態の正面図、図3は本発明の第1実施形態の上面図、図4は本発明の第1実施形態の側面図、図5は本発明の第1実施形態の外側及び中間の枠体の他の実施例を示した部分斜視図、図6は本発明の第2
25 実施形態の制御の際の計算原理を示す図、図7は本発明の第2実施形態における3軸モーションテーブルにおいて自動制御によって重力補償を行う場合の制御装置全体の構成を示したブロック図、図8、3軸モーションテーブルの振動特性を示す図、図9は本発明の設計方法の実施形態

を示すフローチャート、図 10 は従来技術による 3 軸モーションテーブルの模式図、図 11 は図 7 で示す第 2 実施形態の制御を示すフローチャート、である。

5 発明を実施するための最良の形態

以下、添付図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。

先ず、図 1 ～図 5 を参照して、第 1 実施形態について説明する。

図 1 は、全体を符号 A で示す 3 軸モーションテーブルの斜視図であり、
図 2 ～図 4 は、順に夫々 3 軸モーションテーブル A の正面図、平面図、
10 側面図である。

図 1 ～図 4 において、当該 3 軸モーションテーブル A は、対向する一対の門型の支持脚（1、1）により橋渡しされた第 1 の回転軸 2 周りに外側の枠体 3 が回転可能に取り付けられている。

その外側の枠体 3 には、外側の枠体 3 の対向した位置に橋渡しされた
15 第 2 の回転軸 4 周りに中間の枠体 5 が回転可能に取り付けられている。

そして、その中間の枠体 5 には、中間の枠体 5 の対向した位置に橋渡しされた第 3 の回転軸 6 周りに内側の枠体 7 が回転可能に取り付けられている。

前記内側の枠体 7 は人工衛星等の供試体 J を保持する機構を有しており、
20 り、前記支持脚（1、1）の一方には外側の枠体 3 を回転するための第 1 のモータ M1 が、外側の枠体 3 には中間の枠体 5 を回転するための第 2 のモータ M2 が、中間の枠体 5 には内側の枠体 7 を回転するための第 3 のモータ M3 が夫々設けられている。

前記門型の支持脚（1、1）は、軽量化を図りつつ剛性を確保するために、例えば、薄肉の高張力鋼板を溶接によってボックス断面構造に形成し、或いは高張力の角管を溶接して形成してある。
25

前記外側の枠体 3、中間の枠体 5 及び内側の枠体 7 を構成する材料は、軽量、加工のし易さよりアルミ合金、例えば A5052P の溝形材が用いられている。

図 1 ～ 図 4 の第 1 実施形態の第 1 実施例では、溝形材を用いた各枠体 3、5、7 はウェブ面 W が枠体の内側に位置するように溶接によって組み立てられ、そのウェブ面 W に軽量化を目的として窓 W a が形成されている。

- 5 他方、図 5 で示す第 1 実施形態の他の実施例（外側の枠体 30 及び中間の枠体 50 の一部分のみを描いている）では、溝形材を用いた各枠体 30、50 はウェブ面 31、51 が枠体の外側に位置するように、コーナー部に等辺山形材 33a、53a に補強リブ 33b、53b で補強された接手 33、53 を介して溶接によって組み立てられ、そのウェブ面 10 31、51 には複数の重量軽減孔 31a、51a が、フランジ面 32、52 に複数の軽量孔 32a、52a が形成されている。

- 前記第 3 の電動モータ（最も内側の枠体回転用のモータ M3）は、定格トルクが 500 Nm で、最高回転速度は 70 rpm であり、第 1 の電動モータ（最も外側の枠体回転用のモータ M1）は、定格トルクが 98 15 Nm、最大トルクが 715 Nm で、最高回転速度は 70 rpm である。

そして、重量 50 kg の小型衛星等の供試体を、例えば第 2 のモータ M2 の場合で、 -3 dB 帯域幅にして 6.4 Hz 以上、 -45° 位相の帯域幅にして約 6 Hz もの高い運用帯域幅を得ている。

- なお、回転運動試験中に衛星搭載センサが検出する角度・角速度信号 20 から見れば攪乱要因となる枠体弾性振動の最低周波数が、有限要素法による振動モード解析の結果、上記の運用帯域幅よりも十分高い周波数領域（約 30 Hz）であることが確認されており、従来の漠然とした枠体の設計とは明らかに異なる明確な設計指針となっている。また、振動計を枠体に取り付けた供試体回転振動（周波数応答）実験においてもこの 25 ことが確かめられている。

一対の支持脚（1、1）は 3 軸モーションテーブル A 全体を支持する基台となるので、3 軸モーションテーブル A の重量は一対の両端支持脚の各々に分散され、なおかつ、軸回転に伴う曲げ振動も押さえやすい。

その結果、単一の垂直回転軸のみで支持する従来技術における基台に

比較して、当該一对の支持脚は小型、軽量化が可能となる。そして、3軸モーションテーブル全体の小型化、軽量化が可能となる。

ここで、前記第2、第3の電動モータM2、M3の重量を軸周りに均衡させるため、外側の枠体3における第2のモータM2と重力的にバランスする位置と、中間の枠体5における第3のモータM3とバランスする位置には、夫々カウンターウェイトCW2、CW3（図3及び図4参照）が設けられている。

しかし、3軸モーションテーブルA全体の更なる軽量化と各軸周りの各慣性モーメントを軽減化するため、カウンターウェイトCW2、CW3を省略して、自動制御による重力補償を行うことが可能である。

図6、図7で示す第2実施形態は、係る自動制御を行うものである。なお、カウンターウェイトCW2、CW3を省略した点を除き、外觀としては、第2実施形態は上述した第1実施形態と同様である。

第2実施形態では、カウンターウェイトCW2、CW3を省略したために生じたアンバランス（電動モータM2、M3の重量に起因するアンバランス）によるモーメントを所定の制御間隔でその都度計算して、係るモーメントの影響を打ち消すべく、電動モータM1、M2の回転角度あるいは角速度のいずれかの目標信号に、打ち消し信号を加算する制御を実施している。

図6を参照すれば、電動モータ（M2、M3）の質量を各々M2、M3、重力加速度をg、外枠、中枠の各回転中心から各電動モータまでの距離を各々L1、L2、各基準軸R1、R2からの各回転角度を $\theta 1$ 、 $\theta 2$ 、アンバランスモーメント（＝打ち消しに必要なトルク）を各々T1、T2とすれば、

$$\begin{aligned} T1 &= M2 \times g \times L1 \times \cos \theta 1 \\ &\quad + M3 \times g \times L2 \times \sin \theta 2 \times \sin \theta 1 \\ T2 &= M3 \times g \times L2 \times \cos \theta 2 \times \cos \theta 1 \end{aligned}$$

となる。

なお、図6（b）はM2によるアンバランスモーメントのみを説明し

ており、M 3 によるアンバランスモーメントの説明は省略している。これは T 1 の右辺第 1 項に相当している。

一方、電動モータ (M 2、M 3) を備えた外枠、中枠の慣性モーメントを各々 J 1、J 2、枠体の回転角加速度を $d^2 \theta 1 / d t^2$ 、 $d^2 \theta 2 / d t^2$ とすれば、

$$d^2 (\theta 1) / d t^2 = T 1 / J 1$$

$$d^2 (\theta 2) / d t^2 = T 2 / J 2$$

となり、駆動トルク T 1 (T 2) の大きなモータを選定するか、慣性モーメント J 1 (J 2) の小さな枠体を設計・製造することで大きな加速度を得ることができ、高い運用帯域幅の実現に有利であることが知られている。

以下、図 7 のブロック図を参照して、第 2 実施形態の制御装置について説明する。

図 7 は 3 軸の内のある軸周りの枠体の回転運動とその回転運動の制御を説明するブロック線図であり、3 軸とも基本的に同一である。まず全体構成は、目標入力設定部、モータ駆動電気回路、フィードバック信号受信部、角速度検出回路 2 2 を内部に含む制御卓 E と、電動モータ、角度センサを含む 3 軸モーションテーブル本体 F と、外部計算機 G とからなる。

符号 F で示す 3 軸モーションテーブルの枠体の回転運動における物理学的原理を発生順に説明すると、E の駆動回路から流れる電流を受けて 3 相電動モータ K にてトルク T M が発生する。

その発生トルク T M は、アンバランスモーメント分が減算され (1 4) トルク T L となり、次に慣性モーメント J で除算されて角加速度 $d^2 \theta / d t^2$ を生じる (1 5)。この角加速度が積分されて角速度 $d \theta / d t$ となり (1 6)、さらに積分されて回転角度 θ となる (1 7)。このときカウンターウェイト C W 2、C W 3 を取り外したことによりアンバランスモーメントが発生し (1 9)、外乱信号としてフィードバックされる。さらに、枠体で生じた振動による変位 θE が軸の回転角 θ に付加されて

供試体の角度となる。尚、このパラグラフにおける説明は、制御回路の説明ではなく、物理学原理の説明である。

制御卓Eは、角度あるいは角速度の何れかを目標信号（目標角度或いは目標角速度）として切り替えて入力できる入力部10と、角速度検出部22からのフィードバック信号（角速度のフィードバック信号）の受信部（モータ駆動回路の1部）と、角度センサSPからのフィードバック信号（角度フィードバック信号）の受信部と、各目標信号と各フィードバック信号を比較する比較回路12と、その比較結果から3相電流を発生する電気回路（比較回路12内に内蔵）とを含んでいる。

10 図7において、入力部10は入力切換スイッチSWを有している。そして入力部10に入力された目標信号は、後述するアンバランスモーメントを打ち消すための信号（アンバランスモーメント打ち消し信号）を入力するための加算回路11に送られる。

15 なお、図7においては、上述した「受信部」は制御卓E内のブロックとしては明示されておらず、前記フィードバック信号（角度フィードバック信号、角速度のフィードバック信号）が比較回路12に入力される様に表現されている。

外部演算用コンピュータGは、検出された角度 θ からアンバランスモーメント T_1 、 T_2 （ T ）を計算する機能のアンバランスモーメント補償計算ブロック23と、計算されたアンバランスモーメント T_1 、 T_2 （ T ）に対応する打ち消し信号を発生し且つ当該打ち消し信号を制御卓Eの加算回路11に送出して、目標信号と加算する機能を備えているブロック24とを有している。

25 そのアンバランスモーメント打ち消し信号は、上述した数式で示した T_1 、 T_2 の値を、電動モータの増幅ゲイン（利得） K で除算した値で与えられる。そして、係る除算は、ブロック24で実行される。

制御卓Eの駆動回路部は、角度センサ21からの信号 θ を受信して目標角度 θ_d と比較する比較回路12と、角度信号 θ を構成するパルスの疎密から角速度 $d\theta/dt$ を求める角速度検出回路22と、回路22で

決定された角速度信号を「角速度のフィードバック信号」として受信して目標角速度と比較する比較回路 12 と、前記第 1 ～第 3 の電動モータ M1 ～M3 の何れか（図 7 では図示せず）に対して、駆動電流を出力する回路（比較回路 12 に内蔵）からなる。

- 5 加算点 18 の信号は人工衛星等の供試体の姿勢角を表しており、人工衛星などに搭載された角加速度・角速度・角度等の検出器においては、弾性振動が重畳された信号が検出されることになるため、例えばローパスフィルタで振動周波数の成分を除去する必要がある。このとき、本来制御されるべき衛星の運動信号は除去されてはならないが、この周波数成分は 3 軸モーションテーブルの運用周波数領域（＝帯域幅）以内であり、前述したように枠体の弾性振動の最低周波数はこれとは十分高い値に設計・製造されているため、十分除去可能である。

- 但し、電気回路で実現されるローパスフィルタに代えて第 2 の外部計算機を備え、当該第 2 の外部計算機内のプログラムでデジタルフィルタを構成し、デジタル信号処理によって振動成分を除去してもよい。

次に、図 7 を参照して、前記第 1 ～第 3 電動モータ M1 ～M2 を制御する制御方法について説明する。

- 15 先ず、制御卓 E 内の加算点 11 に、回転角 θ あるいは角速度 $d\theta/dt$ の何れかの目標値信号（目標角度信号或いは目標角速度信号）を入力する。

- ここで、回転角 θ あるいは角速度 $d\theta/dt$ の指令信号の決定に際しては、アンバランスモーメント T1 あるいは T2 を打ち消すために、「-T1」あるいは「-T2」に相当する信号（アンバランスモーメント打ち消し信号）が、外部の演算用計算機 G から入力されて、加算回路 11 25 にて目標値信号（目標角度信号或いは目標角速度信号）に加算される。

次に、比較回路 12 において、前記加算回路 11 からの指令信号を、角度センサ 22 からの角度フィードバック信号、あるいは角速度検出回路 22 からの角速度のフィードバック信号と比較し、その比較結果が最小となるように、換言すれば、指令信号に対する追従誤差を最小とする

ように、電流値を計算して、モータ回路 13 へ送る。以って、モータ M1 ~ M3 をフィードバック制御する。

なお、上述した制御について、図 11 にフローチャートでも示している。

- 5 なお、角速度 $d\theta/dt$ を制御する場合には、角度のフィードバック信号は不要である。一方、角度 θ の制御に際しては、主として角度のフィードバック信号を必要とするが、減衰を良くするために角速度のフィードバック信号も用いる。

- 10 比較回路 12 で電流値を計算してモータ回路 13 へ送った結果として、電動モータ回路 13 にてトルク T_M が生じる。

- 15 制御回路の働きではなく、物理原理を説明すると、トルク T_M からアンバランスモーメントに相当する分だけ減算 (14) したトルク T_L が、慣性モーメント J の枠体を回転させるトルクとなり、角加速度 $d^2\theta_1/dt^2$ ($d^2\theta_2/dt^2$) を生じせしめ、この運動が積分されて、角速度 $d\theta_1/dt$ ($d\theta_2/dt$)、さらに積分されて角度 θ_1 、 θ_2 の回転角を得る。

次に、図 8、図 9 を参照して、本発明の 3 軸モーションテーブルの設計方法の実施形態について説明する。

- 20 図 8 は、3 軸モーションテーブルの周波数－振幅特性を示している。振幅が -3 dB の帯域幅で枠体に弾性振動が発生してしまうと、回転運動を模擬・試験する姿勢制御装置としては、適正に機能しない。そのため、帯域幅と振動領域とが重複することは避けなければならない。

- 25 振動成分をフィルタで除去するためには、例えばローパスフィルタによって高周波成分をカットする境界を、3 軸モーションテーブルの運用帯域幅 ($= -3\text{ dB}$ までの周波数領域) と枠体の振動周波数領域の最小周波数との中間の周波数領域に設定すれば良い。

ここで、帯域幅と振動周波数領域の最小値との差 (周波数の差) が小さいと、ローパスフィルタ等を用いて、振動成分のみを除去することが出来ない。そのため、帯域幅と周波数領域との差 (周波数の差) は、あ

る程度の幅（周波数の幅）が必要である。

ここで、振動が発生する振動領域は、枠体の剛性が高いほど横軸（周波数軸）の右方向に移動する。そのため、従来の 3 軸モーションテーブルの設計では、最低限、姿勢制御装置として適性に機能させるべく、部材の剛性及び断面 2 次モーメントをできるだけ大きくして、帯域幅と振動領域との差異を大きくしていた。

しかし、従来の 3 軸モーションテーブルの設計では、必要以上に帯域幅と振動領域との差異を大きくしており、そのため、必要以上に剛性及び断面 2 次モーメントを大きく設計していた。

10 これに対して、図 9 で示す本発明の 3 軸モーションテーブルの設計方法では、実機製作前の設計の段階で、帯域幅と振動領域との差異が適正な範囲に収まるようにすることが可能であり、必要以上に剛性及び断面 2 次モーメントを大きくしてしまうことが防止される。

図 9 において、先ず、各種部材の材料、寸法、肉抜きの有無等の仕様を決定する（ステップ S 1 1）。

仕様が決定したならば、有限要素法を用いて稼動時のモード解析をして、問題となる低次の周波数を抽出する（ステップ S 1 2）。

ここで、有限要素法を用いた振動モードの解析の実行については、市販のソフトウェアを用いれば良い。

20 振動特性の解析に際しては、帯域幅と振動領域（図 8 参照）とを比較して（ステップ S 1 3）、帯域幅の最大周波数と振動領域の最小周波数との差異が、適正な差異（周波数） α であるか否かを判定する（ステップ S 1 4）。

ここで、適正な差異 α は、設計されている 3 軸モーションテーブルの基本的な仕様、設置条件、供試体、使用されるローパスフィルタの特性、その他の条件により、ケース・バイ・ケースで決定される。

帯域幅の最大周波数と振動領域の最小周波数との差異が、適正な差異（周波数） α であれば（ステップ S 1 4 が Y E S）、帯域幅と振動領域との離隔している具合が適性であると判定する。そして、ステップ S 1 1

で決定された仕様に基いて、実機を作成する（ステップ S 1 5）。

帯域幅の最大周波数と振動領域の最小周波数との差異が小さ過ぎる場合には（ステップ S 1 4 が N O で、「帯域幅と振動領域とが重複の可能性あり」の場合）、振動の発生、フィルタによる振動成分の除去不能等の問題が発生する恐れがあると判断して、断面 2 次モーメント I を大きくして、振動領域を図 8 の右側に移行させる（帯域幅と振動領域とを離隔する）ように、設計仕様を変更する（ステップ S 1 6）。

そして、ステップ S 1 1 以下を繰り返す。

一方、帯域幅の最大周波数と振動領域の最小周波数との差異が大き過ぎる場合には（ステップ S 1 4 が N O で、「帯域幅と振動領域とが離れ過ぎていてる」の場合）、振動は発生しないものの、必要以上に剛性や断面 2 次モーメントが大きいと判断して、断面 2 次モーメント I を小さくして、振動領域を図 8 の左側に移行させる（帯域幅と振動領域とを近接させる）ように、設計仕様を変更する（ステップ S 1 7）。

そして、ステップ S 1 1 以下を繰り返す。

上述した工程を繰り返すことにより、帯域幅と振動領域との差異が最適となる様に、3 軸モーションテーブルの仕様を決定することが出来るのである。

図示の実施形態はあくまでも例示であり、本発明の技術的範囲を限定する趣旨の記述ではない。

例えば、第 1 ～ 第 3 のモータを複数個ずつ備えることも可能である。

発明の効果

本発明の作用効果を以下に列挙する。

（１） 1 本の垂直回転軸のみで支持する従来技術における基台に比較して、当該一对の両端支持脚は安定した構造で、且つ枠体には軽量の部材が用いられるとともに、例えば重量軽減孔等を多く形成することにより、小型、軽量化が可能である。

（２） 従来は回転トルクが大きく、オイルタンク及び、配管の敷設

を伴う油圧モータでジャイロを駆動していたが、3軸モーションテーブル全体が軽量化されることにより、電動モータの使用が可能となり、メンテナンスが容易になる。

(3) 自動制御による重力補償を行うことにより、カウンターウェイトを省略することが出来る。

(4) 航空機や宇宙ロケットのみならず、自動車や船舶にも適用可能である。さらに、航空機や宇宙ロケットの飛行士の養成用の訓練用シミュレーターや、遊園地等において3次元の回転運動をする遊戯施設としても適用可能である。

(5) 部材の合成や断面2次モーメントを、必要以上に大きくすることを防止できる。

15

20

25

請求の範囲

1. 一対の両端支持脚により第1の回転軸周りで回転可能に取り付けられた外側の枠体と、外側の枠体により第2の回転軸周りで回転可能に取り付けられた中間の枠体と、中間の枠体により第3の回転軸周りで回転可能に取り付けられた内側の枠体とを有しており、内側の枠体は供試体の保持機構を有しており、前記支持脚の一方には外側の枠体を回転するための第1のモータが設けられており、外側の枠体には中間の枠体を回転するための第2のモータが設けられており、中間の枠体には内側の枠体を回転するための第3のモータが設けられていることを特徴とする3軸モーションテーブル。
2. 前記外側の枠体、中間の枠体、内側の枠体は相似系であり、中間の枠体内側には内側の枠体が回転可能な大きさの空間が形成され、外側の枠体内側には中間の枠体が回転可能な大きさの空間が形成されている請求項1の3軸モーションテーブル。
3. 3軸の各モータ軸からの回転角センサを備え、回転角センサからの信号を電子的に加工した角速度信号を得て、目標角度信号及び目標角速度信号と各々比較することで、目標角度及び目標角速度との差異を最小にする制御信号を発生して前記第1～第3のモータを制御し、以って、3次元空間における目標回転角度及び目標回転速度を達成する様に構成されている請求項1、2の何れかの3軸モーションテーブル。
4. 構成要素の仕様を決定する仕様決定工程と、有限要素法を用いて、決定された仕様の3軸モーションテーブルの運用帯域幅と枠体の振動領域とを比較する比較工程とを有し、運用帯域幅と振動領域とが重複する周波数領域が存在する場合か、或いは、運用帯域幅最大周波数と振動領域最小周波数との差が所定値以下である場合に、振動領域最小周波数が運用帯域幅最大周波数に対して所定値以上になるまで、前記仕様決定工程及び比較工程とを繰り返すことを特徴とする3軸モーションテーブルの設計方法。

5. 3軸の各モータ軸からの回転角センサを備え、回転角センサからの信号を電子的に加工した角速度信号を得て、目標角度信号及び目標角速度信号と各々比較することで、目標角度及び目標角速度との差異を最小にする制御信号を発生して前記第1～第3のモータを制御し、以って、

5 3次元空間における目標回転角度及び目標回転速度を達成する様に構成されており、振動領域最小周波数が運用帯域幅最大周波数に対して所定値以上になる様に構成されている請求項1、2の何れかの3軸モーショントレーブル。

10

15

20

25

1/6

図 1

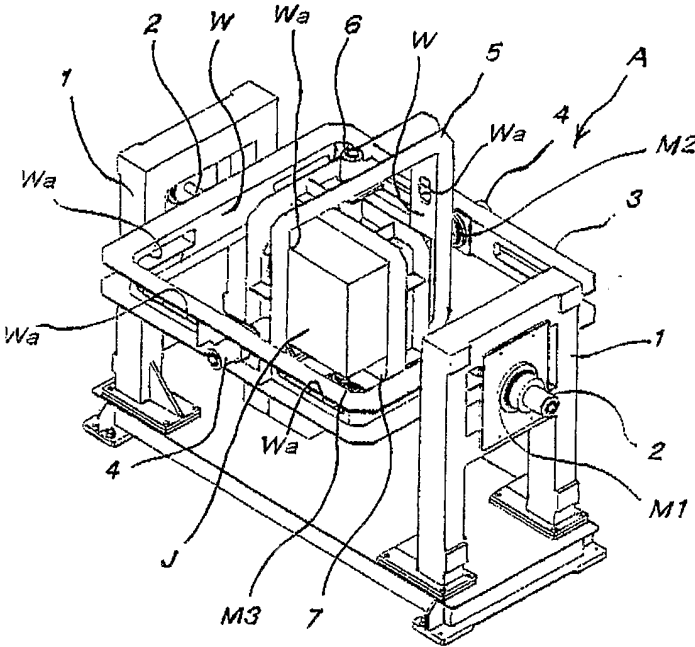
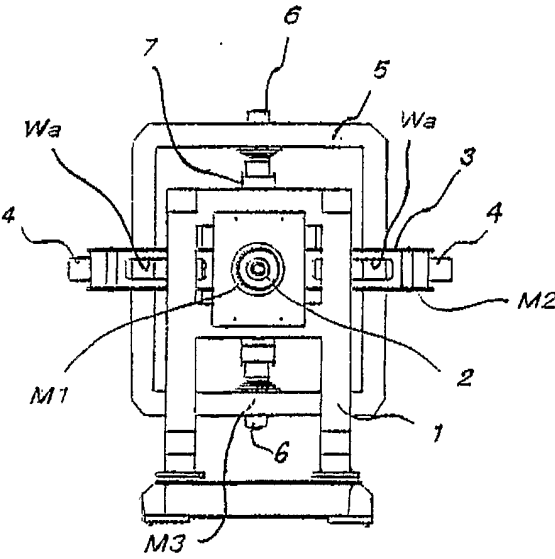
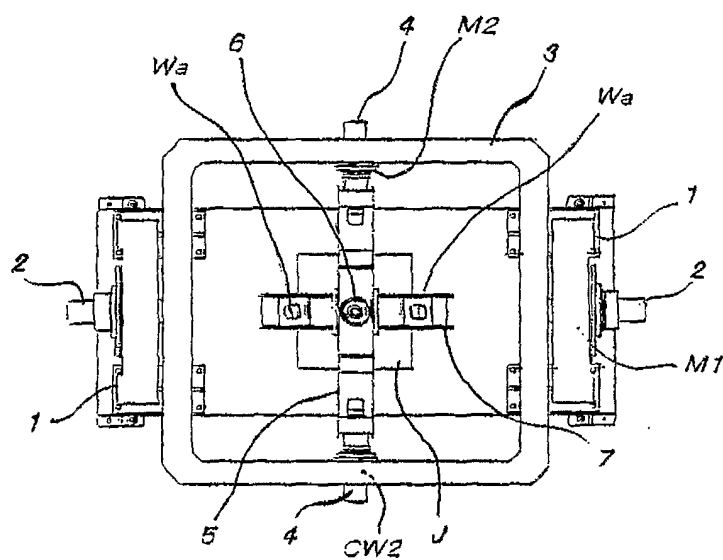


図 2



2/6

3



4

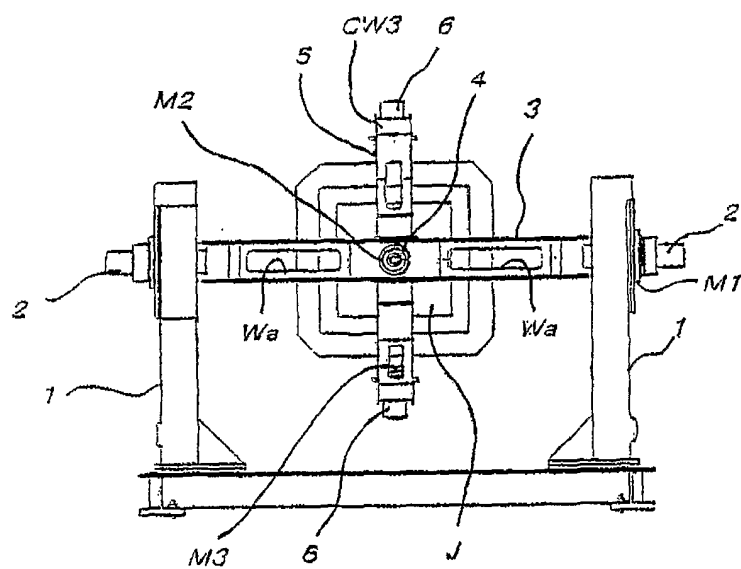


図5

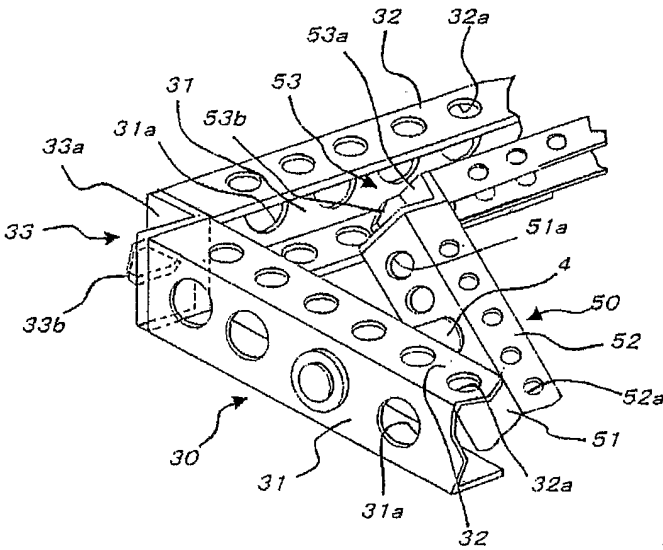


図6

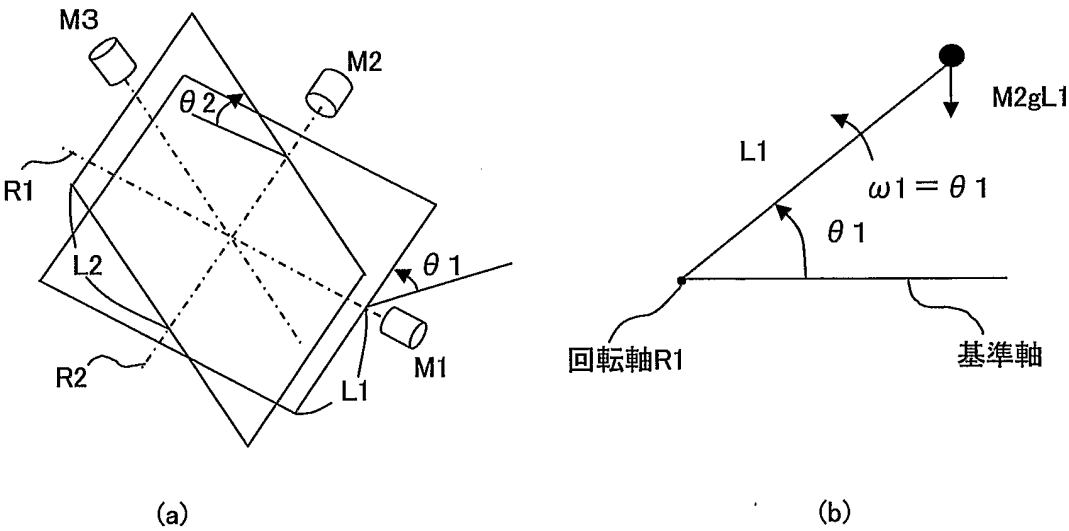


図8

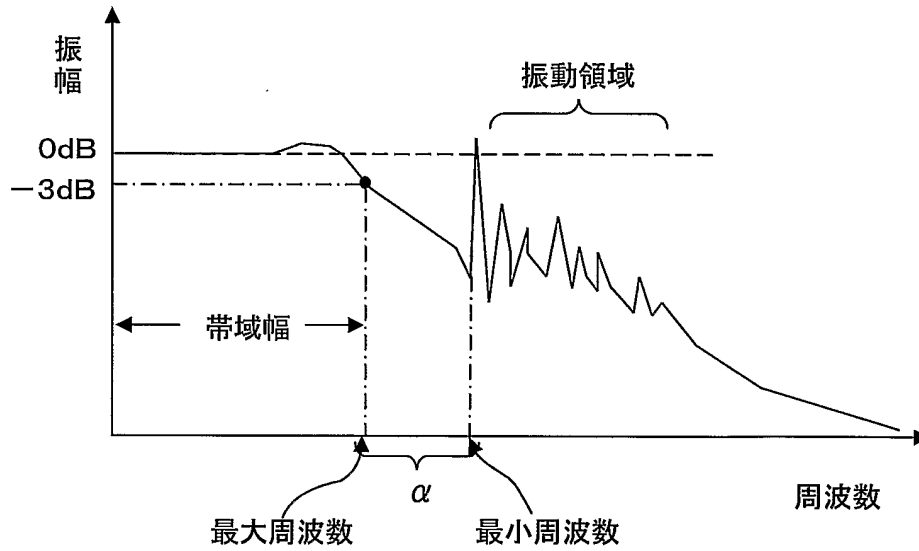


図9

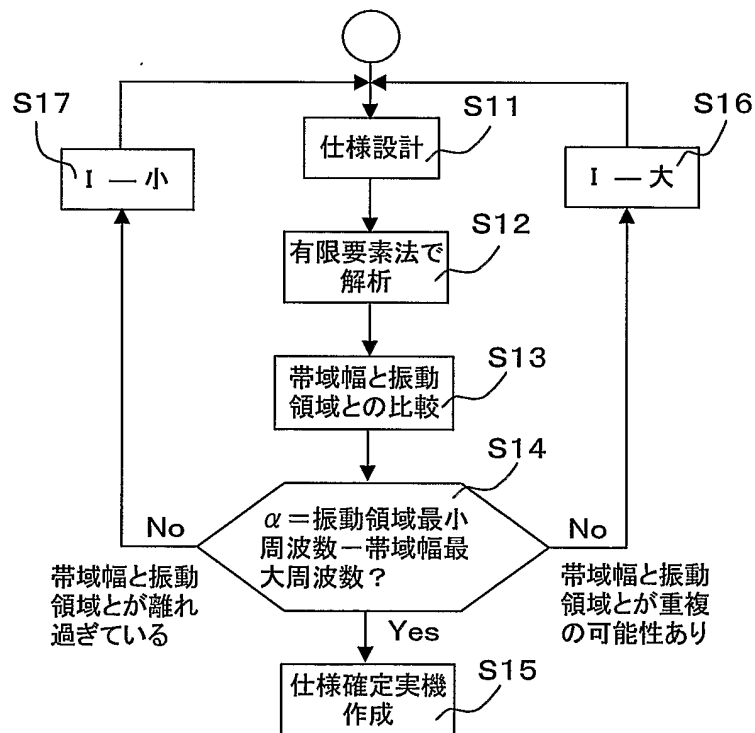


図10

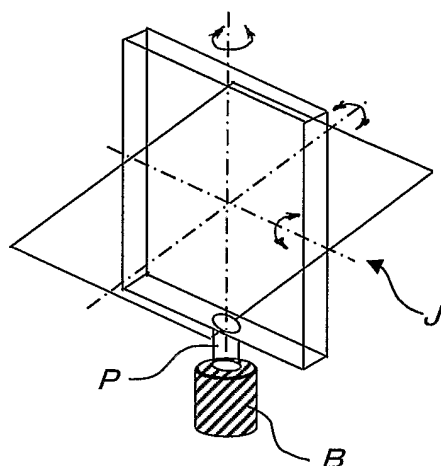
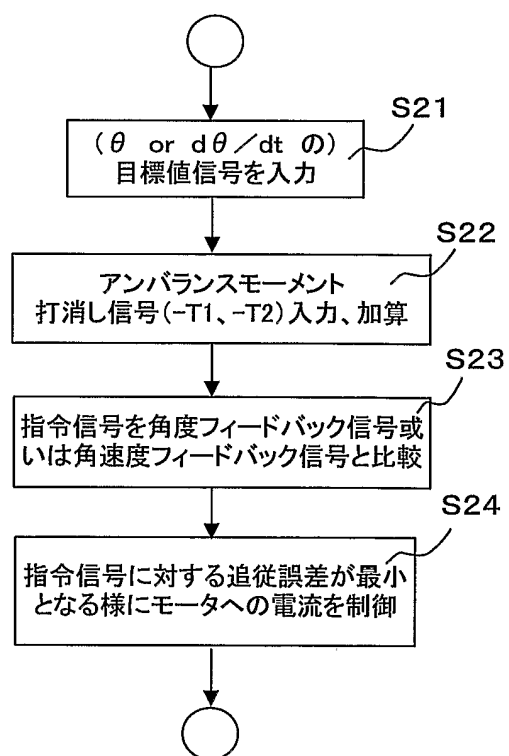


図11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006430

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G12B5/00

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)

Int.Cl.⁷ G12B5/00, G01C19/00, B64G7/00, G09B9/00, A63G29/00-31/16,
G06F17/50

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

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 2000-79900 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 04 December, 2000 (04.12.00), Full text; all drawings	1, 2
Y	Par. Nos. [0069] to [0072]	3
A	Full text; all drawings (Family: none)	4, 5
Y	JP 3-4890 A (Nisshinbo Techno Vehicle Inc.), 10 January, 1991 (10.01.91), Full text; all drawings	1-3
A	Full text; all drawings & US 5060932 A	4, 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
10 August, 2004 (10.08.04)Date of mailing of the international search report
24 August, 2004 (24.08.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006430

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	JP 4-318889 A (Taisei Corp.), 10 November, 1992 (10.11.92), Full text; all drawings Full text; all drawings (Family: none)	1-3 4, 5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ G12B5/00		
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 ⁷ G12B5/00, G01C19/00, B64G7/00, G09B9/00, A63G29/00-31/16, G06F17/50		
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 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004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 請求の範囲の番号
Y	J P 2000-79900 A (三菱重工業株式会社) 2000.12.04 全文, 全図	1, 2
Y	段落【0069】-【0072】	3
A	全文, 全図 (ファミリーなし)	4, 5
Y	J P 3-4890 A (株式会社日清紡テクノビークル) 1991.01.10 全文, 全図	1-3
A	全文, 全図 & US 5060932 A	4, 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	国際調査報告の発送日	
10.08.2004	24.8.2004	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 榮 永 雅 夫	2 F 8706
	電話番号 03-3581-1101	内線 3216

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 請求の範囲の番号
Y A	JP 4-318889 A (大成建設株式会社) 1992. 11. 10 全文, 全図 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3 4, 5