

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6820006号
(P6820006)

(45) 発行日 令和3年1月27日(2021.1.27)

(24) 登録日 令和3年1月6日(2021.1.6)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 M 7/02 (2006.01) GO 1 M 7/02 G

請求項の数 23 (全 60 頁)

(21) 出願番号	特願2017-3712 (P2017-3712)	(73) 特許権者	391046414 国際計測器株式会社 東京都多摩市永山6丁目21番1号
(22) 出願日	平成29年1月12日 (2017.1.12)	(74) 代理人	100078880 弁理士 松岡 修平
(65) 公開番号	特開2017-129579 (P2017-129579A)	(72) 発明者	松本 繁 東京都多摩市永山6丁目21番1号 国際計測器株式会社内
(43) 公開日	平成29年7月27日 (2017.7.27)	(72) 発明者	宮下 博至 東京都多摩市永山6丁目21番1号 国際計測器株式会社内
審査請求日	令和1年12月17日 (2019.12.17)	(72) 発明者	村内 一宏 東京都多摩市永山6丁目21番1号 国際計測器株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2016-6692 (P2016-6692)		
(32) 優先日	平成28年1月15日 (2016.1.15)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加振装置、振動テーブル及び加振方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被加振物が取り付けられる振動テーブルと、
前記振動テーブルを所定方向に加振する加振ユニットと、
を備え、
前記振動テーブルが、
前記被加振物を収容可能な中空部が設けられ、前記被加振物を前記中空部に出し入れするための第1開口が一面に形成された箱部と、
前記第1開口を塞ぐ蓋部と、
を備え、
前記振動テーブルの壁部に前記被加振物を取り付けるための取付け構造が設けられた、
加振装置。

【請求項2】

被加振物が取り付けられる振動テーブルと、
前記振動テーブルを所定方向に加振する加振ユニットと、
を備え、
前記被加振物を収容可能な中空部が前記振動テーブルに設けられ、
前記振動テーブルが、
底板と、
前記底板の縁部から垂直に突出した枠部と、

前記枠部の内部に配置され、前記底板から垂直に突出した格子状の中板と、を有する、
加振装置。

【請求項 3】

前記振動テーブルが、
前記被加振物を収容可能な中空部が設けられ、前記被加振物を前記中空部に出し入れするための第 1 開口が一面に形成された箱部と、
前記第 1 開口を塞ぐ蓋部と、
を備えた、
請求項 2 に記載の加振装置。

10

【請求項 4】

被加振物が取り付けられる振動テーブルと、
前記振動テーブルを所定方向に加振する加振ユニットと、
を備え、
前記被加振物を収容可能な中空部が前記振動テーブルに設けられ、
前記振動テーブルに、前記中空部内の前記被加振物と外部装置とを接続する長物が通される第 2 開口が形成された、
加振装置。

【請求項 5】

前記振動テーブルが、略箱形である、
請求項 4 に記載の加振装置。

20

【請求項 6】

前記振動テーブルが、
前記被加振物を前記中空部に出し入れするための第 1 開口が一面に形成された箱部と、
前記第 1 開口を塞ぐ蓋部と、を備えた、
請求項 5 に記載の加振装置。

【請求項 7】

前記振動テーブルが、
底板と、
前記底板の縁部から垂直に突出した枠部と、を有する、
請求項 4 から請求項 6 のいずれか一項に記載の加振装置。

30

【請求項 8】

前記枠部の内部に配置された、前記底板から垂直に突出した格子状の中板を有する、
請求項 7 に記載の加振装置。

【請求項 9】

前記中板が、前記底板及び前記枠部に接合された、
請求項 8 に記載の加振装置。

【請求項 10】

前記振動テーブルの壁部に前記被加振物を取り付けるための取付け構造が設けられた、
請求項 2 から請求項 9 のいずれか一項に記載の加振装置。

40

【請求項 11】

前記振動テーブルの重心が、該振動テーブルの外形の中心に配置された、
請求項 1 から請求項 10 のいずれか一項に記載の加振装置。

【請求項 12】

前記中空部が、前記振動テーブルの中央部に形成された、
請求項 1 から請求項 11 のいずれか一項に記載の加振装置。

【請求項 13】

前記加振ユニットが、
前記振動テーブルを水平方向である X 軸方向に加振する X 軸加振ユニットを含む、

50

請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか一項に記載の加振装置。

【請求項 1 4】

前記加振ユニットが、

前記振動テーブルを前記 X 軸方向に垂直な水平方向である Y 軸方向に加振する Y 軸加振ユニットを含む、

請求項 1 3 に記載の加振装置。

【請求項 1 5】

前記加振ユニットが、

前記振動テーブルを鉛直方向である Z 軸方向に加振する Z 軸加振ユニットを含む、
請求項 1 から請求項 1 4 のいずれか一項に記載の加振装置。

10

【請求項 1 6】

前記振動テーブルの底板に前記被加振物を取り付けるための取付け構造が設けられた、
請求項 1 から請求項 1 5 のいずれか一項に記載の加振装置。

【請求項 1 7】

前記振動テーブルの重心の前記所定方向と垂直な投影平面上への投影が、該投影平面上への前記加振ユニットの可動部の投影に含まれる、

請求項 1 から請求項 1 6 のいずれか一項に記載の加振装置。

【請求項 1 8】

加振装置用の振動テーブルであって、

被加振物を収容可能な中空部が設けられ、前記被加振物を前記中空部に出し入れするための第 1 開口が一面に形成された箱部と、

前記第 1 開口を塞ぐ蓋部と、

を備え、

前記振動テーブルの壁部に前記被加振物を取り付けるための取付け構造が設けられたもの。

20

【請求項 1 9】

加振装置用の振動テーブルであって、

被加振物を収容可能な中空部が設けられ、

底板と、

前記底板の縁部から垂直に突出した枠部と、

前記枠部の内部に配置された、前記底板から垂直に突出した格子状の中板と、

を有するもの。

30

【請求項 2 0】

加振装置用の振動テーブルであって、

被加振物を収容可能な中空部が設けられ、

前記中空部内の前記被加振物と外部装置とを接続する長物が通される第 2 開口が形成されたもの。

【請求項 2 1】

被加振物を収容可能な中空部が設けられ、前記被加振物を前記中空部に出し入れするための第 1 開口が一面に形成された箱部と、

前記第 1 開口を塞ぐ蓋部と、

を備えた、

請求項 1 9 又は請求項 2 0 に記載の振動テーブル。

40

【請求項 2 2】

壁部に前記被加振物を取り付けるための取付け構造が設けられた、

請求項 1 9 から請求項 2 1 のいずれか一項に記載の振動テーブル。

【請求項 2 3】

被加振物を取り付けた振動テーブルを加振ユニットにより所定方向に加振する加振方法であって、

請求項 1 から請求項 1 7 のいずれか一項に記載の加振装置を使用し、

50

前記所定方向と垂直な投影平面上への前記被加振物の重心の投影が該投影平面上への前記加振ユニットの可動部の投影に含まれるように前記被加振物を前記振動テーブルに取り付けて加振する加振方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動試験等に使用される加振装置、振動テーブル及び加振方法に関する。

【背景技術】

【0002】

振動テーブルに固定された被加振物を加振する加振装置が知られている。特許文献1に記載された加振装置では、振動テーブルの上に載せられた被加振物が、振動テーブルを介して水平方向に加振される。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2012-237736号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1に記載の構成では、被加振物（より厳密には、被加振物及び被加振物と共に加振される振動テーブル等の加振装置の一部を含む全被加振部）の重心が振動テーブルよりも高くなることがある。そのような場合、水平方向への加振によって被加振物に力のモーメントが作用する。この力のモーメントは、加振装置の高精度化を妨げる一因となっていた。

20

【0005】

本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、加振によって被加振物に加わる力のモーメントを抑制することにより、より高精度の加振を可能にする点にある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一実施形態に係る加振装置は、被加振物に取り付けられる振動テーブルと、振動テーブルを所定方向に加振する加振ユニットと、を備え、被加振物を振動テーブルに取り付けたときに、所定方向と垂直な投影平面上への被加振物の重心の投影が、投影平面上への加振ユニットの可動部の投影に含まれるように構成されている。

30

【0007】

上記の加振装置において、振動テーブルの重心の投影平面上への投影が、投影平面上への加振ユニットの可動部の投影に含まれる構成としてもよい。

【0008】

上記の加振装置において、振動テーブルの重心が振動テーブルの外形の中心に配置された構成としてもよい。

40

【0009】

上記の加振装置において、振動テーブルが被加振物を収容可能な中空部を有する構成としてもよい。

【0010】

上記の加振装置において、振動テーブルが略箱形である構成としてもよい。

【0011】

上記の加振装置において、振動テーブルが、被加振物を中空部に出し入れするための第1開口が一面に形成された箱部と、第1開口を塞ぐ蓋部と、を備えた構成としてもよい。

【0012】

上記の加振装置において、中空部が振動テーブルの中央部に形成された構成としてもよ

50

い。

【0013】

上記の加振装置において、振動テーブルが、底板と、底板の縁部から垂直に突出した枠部と、を有する構成としてもよい。

【0014】

上記の加振装置において、枠部の内部に配置された、底板から垂直に突出した格子状の中板を有する構成としてもよい。

【0015】

上記の加振装置において、中板が、底板及び枠部に接合された構成としてもよい。

【0016】

上記の加振装置において、振動テーブルが、被加振物と外部装置とを接続する長物が通される第2開口を有する構成としてもよい。

【0017】

上記の加振装置において、加振ユニットが、振動テーブルを水平方向であるX軸方向に加振するX軸加振ユニットを含む構成としてもよい。

【0018】

上記の加振装置において、加振ユニットが、振動テーブルをX軸方向に垂直な水平方向であるY軸方向に加振するY軸加振ユニットを含む構成としてもよい。

【0019】

上記の加振装置において、加振ユニットが、振動テーブルを鉛直方向であるZ軸方向に加振するZ軸加振ユニットを含む構成としてもよい。

【0020】

上記の加振装置において、振動テーブルが、底板を有し、底板に被加振物を取り付けるための取付け構造が設けられた構成としてもよい。

【0021】

上記の加振装置において、振動テーブルが、壁部を有し、壁部に被加振物を取り付けるための取付け構造が設けられた構成としてもよい。

【発明の効果】

【0022】

本発明の実施形態の構成によれば、加振によって被加振物に加わる力のモーメントを抑制することにより、より高精度の加振を可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の第1実施形態に係る加振装置の正面図である。

【図2】本発明の第1実施形態に係る加振装置の側面図である。

【図3】本発明の第1実施形態に係る加振装置の平面図である。

【図4】本発明の実施形態に係る加振装置の駆動制御システムのブロック図である。

【図5】本発明の第1実施形態に係るZ軸加振ユニットの正面図である。

【図6】本発明の第1実施形態に係るZ軸加振ユニットの側面図である。

【図7】本発明の第1実施形態に係るZ軸加振ユニットの平面図である。

【図8】本発明の第1実施形態に係る鉛直駆動用動電型アクチュエータの縦断面図である。

【図9】鉛直アクチュエータの可動部の外観図である。

【図10】拡張フレームの外観図である。

【図11】本発明の第1実施形態に係る水平駆動用動電型アクチュエータの中立ばね機構付近を拡大した縦断面図である。

【図12】本発明の第1実施形態に係るXYスライダの平面図である。

【図13】本発明の実施形態に係るクロスガイドの側面図である。

【図14】本発明の実施形態に係るA型リニアガイドの平面図である。

【図15】本発明の実施形態に係るA型リニアガイドの側面図である。

10

20

30

40

50

- 【図 16】本発明の実施形態に係る A 型リニアガイドの正面図である。
- 【図 17】本発明の実施形態に係る A 型リニアガイドの横断面図である。
- 【図 18】図 15 の I - I 断面図である。
- 【図 19】リテーナの説明図である。
- 【図 20】本発明の第 1 実施形態に係る X 軸加振ユニットの側面図である。
- 【図 21】本発明の第 1 実施形態に係る X 軸加振ユニットの正面図である。
- 【図 22】図 21 における Y Z スライダを拡大した図である。
- 【図 23】本発明の第 1 実施形態に係る加振装置の振動テーブル付近の平面図である。
- 【図 24】支持ユニットのばね機構付近を拡大した側面図である。
- 【図 25】X 軸カウンターバランス部の断面図である。 10
- 【図 26】Z 軸カウンターバランス部の断面図である。
- 【図 27】Z 軸カウンターバランス部のボルト固定位置を示す拡大平面図である。
- 【図 28】振動テーブル上面の四隅で測定した X 軸方向の相対加速度スペクトルである。
- 【図 29】振動テーブル上面の四隅で測定した Y 軸方向の相対加速度スペクトルである。
- 【図 30】振動テーブル上面の四隅で測定した Z 軸方向の相対加速度スペクトルである。
- 【図 31】Z 軸カウンターバランス部上の加速度の監視点を示した図である。
- 【図 32】X 軸カウンターバランス部の変形例の断面図である。
- 【図 33】X 軸カウンターバランス部の外観図である。
- 【図 34】X Y スライダの変形例の平面図である。
- 【図 35】クロスガイドの挙動を説明する図である。 20
- 【図 36】本発明の第 1 実施形態に係る振動テーブルの平面図である。
- 【図 37】本発明の第 1 実施形態に係る振動テーブルの正面図である。
- 【図 38】本発明の第 1 実施形態に係る振動テーブルの左側面図である。
- 【図 39】本発明の第 1 実施形態に係る振動テーブルの左側面図である。
- 【図 40】本発明の第 2 実施形態に係る加振装置の振動テーブル付近を拡大した斜視図である。
- 【図 41】本発明の第 3 実施形態に係る加振装置の振動テーブル付近を拡大した斜視図である。
- 【図 42】本発明の第 4 実施形態に係る加振装置の振動テーブル付近を拡大した正面図である。 30
- 【図 43】本発明の第 4 実施形態に係る加振装置の振動テーブル付近を拡大した側面図である。
- 【図 44】本発明の第 4 実施形態に係る加振装置の振動テーブル付近を拡大した平面図である。
- 【図 45】本発明の第 5 実施形態に係る加振装置の斜視図である。
- 【図 46】第 5 実施形態の Z X スライダが取り付けられた Y 軸加振ユニットの先端部を示す図である。
- 【図 47】第 5 実施形態の X Y スライダ近傍の側面図である。
- 【図 48】第 5 実施形態のリニアガイドの横断面図である。
- 【図 49】図 48 における I - I 断面図。 40
- 【図 50】第 5 実施形態における Z 軸加振ユニットの可動部の天板に取り付けられるレールの配置を説明する図である。
- 【図 51】本発明の第 6 実施形態に係る動電型 3 軸加振装置の正面図である。
- 【図 52】本発明の第 6 実施形態に係るフレーム 6322 の斜視図である。
- 【図 53】本発明の第 6 実施形態に係るフレーム 6322 の斜視図である。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0024】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態について説明する。なお、以下の説明において、同一の又は対応する構成要素については、同一の又は対応する符号を付して、重複する説明を省略する。

【 0 0 2 5 】

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る動電型 3 軸加振装置 1 (以下、「加振装置 1」と略記する。)の機構部 1 0 の正面図である。以下の説明において、図 1 における左右方向を X 軸方向 (左方向を X 軸正方向)、上下方向を Z 軸方向 (上方向を Z 軸正方向)、紙面に垂直な方向を Y 軸方向 (紙面裏側から表側に向かう方向を Y 軸正方向)とする。なお、本実施形態において、Z 軸方向は鉛直方向であり、X 軸及び Y 軸方向は水平方向である。また、図 2 及び図 3 は、それぞれ加振装置 1 の機構部 1 0 の左側面図及び平面図である。

【 0 0 2 6 】

図 1 に示すように、加振装置 1 の機構部 1 0 は、その内部に供試体 (不図示) が収容された状態で固定される略箱形の振動テーブル 4 0 0 と、振動テーブル 4 0 0 を X 軸、Y 軸及び Z 軸方向にそれぞれ加振する 3 つの加振ユニット (X 軸加振ユニット 1 0 0、Y 軸加振ユニット 2 0 0 及び Z 軸加振ユニット 3 0 0) と、各加振ユニット 1 0 0、2 0 0 及び 3 0 0 が取り付けられた装置ベース 5 0 0 を備えている。

10

【 0 0 2 7 】

各加振ユニット 1 0 0、2 0 0 及び 3 0 0 は、それぞれ動電型アクチュエータ (ボイスコイルモータ) を備えた直動加振ユニットである。

【 0 0 2 8 】

X 軸加振ユニット 1 0 0 は、スライド連結機構である 2 軸スライダ (Y Z スライダ 1 6 0) を介して振動テーブル 4 0 0 に連結されている。Y Z スライダ 1 6 0 は、X 軸加振ユニット 1 0 0 の加振方向 (X 軸方向) と直交する 2 方向 (Y 軸及び Z 軸方向) において X 軸加振ユニット 1 0 0 と振動テーブル 4 0 0 との相対移動 (スライド) を許容しつつ、X 軸加振ユニット 1 0 0 の振動を正確に振動テーブル 4 0 0 へ伝達可能に構成されている。同様に、Y 軸加振ユニット 2 0 0 及び Z 軸加振ユニット 3 0 0 は、それぞれ 2 軸スライダである Z X スライダ 2 6 0 及び X Y スライダ 3 6 0 を介して、振動テーブル 4 0 0 に連結されている。この構成により、加振装置 1 は、各加振ユニット 1 0 0、2 0 0 及び 3 0 0 を用いて、振動テーブル 4 0 0 及び振動テーブル 4 0 0 に固定された供試体を直交 3 軸方向に同時且つ独立に加振することができるようになっている。

20

【 0 0 2 9 】

図 4 は、加振装置 1 の駆動制御システム 1 a の概略構成を示すブロック図である。駆動制御システム 1 a は、装置全体の動作を制御する制御部 2 0 と、振動テーブル 4 0 0 の振動を計測する計測部 3 0 と、加振装置 1 の各部に電力を供給する電源部 4 0 と、外部との入出力を行うインタフェース部 5 0 を備えている。

30

【 0 0 3 0 】

インタフェース部 5 0 は、例えば、ユーザとの間で入出力を行うためのユーザインタフェース、L A N (Local Area Network) 等の各種ネットワークと接続するためのネットワークインタフェース、外部機器と接続するための U S B (Universal Serial Bus) や G P I B (General Purpose Interface Bus) 等の各種通信インタフェースの一つ以上を備えている。また、ユーザインタフェースは、例えば、各種操作スイッチ、表示器、L C D (liquid crystal display) 等の各種ディスプレイ装置、マウスやタッチパッド等の各種ポインティングデバイス、タッチスクリーン、ビデオカメラ、プリンタ、スキャナ、ブザー、スピーカ、マイクロフォン、メモリーカードリーダーライタ等の各種入出力装置の一つ以上を含む。

40

【 0 0 3 1 】

計測部 3 0 は、振動テーブル 4 0 0 に取り付けられた 3 軸振動センサ (3 軸振動ピックアップ) 3 2 を備えており、3 軸振動センサ 3 2 からの信号 (例えば、加速度信号や速度信号) を増幅及びデジタル変換して制御部 2 0 へ送信する。なお、3 軸振動センサ 3 2 は、X 軸、Y 軸及び Z 軸方向の振動を独立に検出する。また、計測部 3 0 は、3 軸振動センサ 3 2 の信号に基づいて、振動テーブル 4 0 0 の振動状態を表す各種パラメータ (例えば、速度、加速度、加加速度、加速度レベル (振動レベル)、振幅、パワースペクトル密度

50

の一つ以上を含む)を計算して、制御部20へ送信する。制御部20は、インタフェース部50を介して入力された加振波形や計測部30から入力されたデータに基づいて、各加振ユニット100、200及び300の駆動コイル(後述)に inputsする交流電流の大きさや周波数を制御することにより、所望の振幅及び周波数で振動テーブル400を加振することができる。

【0032】

次に、各加振ユニット100、200及び300の構造を説明する。後述するように、X軸加振ユニット100及びY軸加振ユニット200は、水平駆動用動電型アクチュエータ(以下、単に「水平アクチュエータ」という。)100A及び200Aをそれぞれ備えている。また、Z軸加振ユニット300は、鉛直駆動用動電型アクチュエータ(以下、単に「鉛直アクチュエータ」という。)300Aを備えている。

10

【0033】

図5、図6及び図7は、それぞれZ軸加振ユニット300(及び振動テーブル400)の正面図、左側面図及び平面図である。

【0034】

鉛直アクチュエータ300Aは、供試体や振動テーブルの重量(静荷重)を支持するための空気ばね330(図8)を備えている。一方、水平アクチュエータ100A及び200Aは、振動テーブルを中立位置(原点、基準位置)に戻す復元力を与える中立ばね機構130(図11)及び230(不図示)をそれぞれ備えている。水平アクチュエータ100A及び200Aは、空気ばね330の代わりに中立ばね機構130、230が設けられている点及び後述する支持ユニット350と支持ユニット150、250の具体的構造が相違する点を除いては、鉛直アクチュエータ300Aと同一構成である為、各アクチュエータを代表して鉛直アクチュエータ300Aについて詳細な構成を説明する。

20

【0035】

図8に示すように、鉛直アクチュエータ300Aは、筒状体312を有する固定部310と、その下部が固定部310の筒内に収容された可動部320を備えている。可動部320は、固定部310に対して鉛直方向(Z軸方向)に移動可能である。

【0036】

図9は、可動部320の概略構成を示す外観図である。可動部320は、略円柱状のメインフレーム322と、メインフレーム322の下端部に同軸に取り付けられた駆動コイル321と、メインフレームの下面中央から下方に延びるロッド326(図8)を備えている。また、メインフレーム322の上端部には、メインフレーム322と略同径の拡張フレーム324が同軸に取り付けられている。

30

【0037】

メインフレーム322は、駆動方向(Z軸方向)と垂直に配置された略円板状の天板322aと、天板322aの下面中央から垂直(駆動方向)に延びる円筒状の主柱322cと、主柱322cの外周に放射状に取り付けられた8枚の略矩形平板状のリブ322bを備えている。主柱322c及び8枚のリブ322bにより、メインフレーム322の略円筒状の胴部が形成される。8枚のリブ322bは、主柱322cの周囲に、周方向に等間隔に配列されている。このように配置された8枚のリブ322bによって天板322aと主柱322cとを連結することにより、メインフレーム322に十分な剛性が与えられている。天板322a、リブ322b及び主柱322cは、溶接等により互いに一体に結合している。

40

【0038】

リブ322bの下端部の外周側は、下方に突出して、コイル取付部322dを形成している。8枚のリブ322bのコイル取付部322dが駆動コイル321の上端部に差し込まれ、駆動コイル321がメインフレーム322に取り付けられる。

【0039】

図8に示されるように、主柱322cには、下方からロッド326が嵌入している。ロッド326の下部は、主柱322cから下方に突出している。また、天板322bには、

50

拡張フレーム 3 2 4 が取り付けられている。

【 0 0 4 0 】

図 1 0 は、拡張フレーム 3 2 4 の外觀図である。図 1 0 に示されるように、拡張フレーム 3 2 4 は、メインフレーム 3 2 2 と略同径の胴部 3 2 4 a と、胴部 3 2 4 a の上端に水平に取り付けられた天板 3 2 4 b を備えている。天板 3 2 4 b は、胴部 3 2 4 a の外径以上の幅（X 軸方向寸法）及び奥行（Y 軸方向寸法）を有する略矩形平板状の部材である。

【 0 0 4 1 】

拡張フレーム 3 2 4 の天板 3 2 4 b の上面には、X 軸方向及び Y 軸方向に格子状に延びる 6 条の溝（一对の垂直な段差 3 2 4 b 1）が形成されている。各溝の片側の段差 3 2 4 b 1 に沿って、後述する X Y スライダ 3 6 0 の半数（本実施形態においては 9 本）のレール 3 6 4 a が配置される。すなわち、段差 3 2 4 b 1 はレール 3 6 4 a を天板 3 2 4 b 上の正確な位置に取り付けるための位置決め構造である。段差 3 2 4 b 1 を設けることにより、レール 3 6 4 a を、単に段差 3 2 4 b 1 に沿わせて取り付けただけで、9 本のレール 3 6 4 a を高い平行度 / 垂直度で天板 3 2 4 b 上に配置することが可能になる。なお、各溝の底面にはレール 3 6 4 a をボルトで固定するための複数のねじ穴 3 2 4 b 2 が形成されている。

【 0 0 4 2 】

胴部 3 2 4 a の X 軸方向及び Y 軸方向における両側面には、後述する可動部支持機構 3 4 0 の Z 軸レール 3 4 4 a を位置決め固定するための段差 3 2 4 a 1 と複数のねじ穴 3 2 4 a 2 がそれぞれ形成されている。また、胴部 3 2 4 a の下面には、凹部 3 2 4 a 3 が形成されている。この凹部 3 2 4 a 3 にメインフレーム 3 2 2 の天板 3 2 2 a が嵌め込まれた状態で、拡張フレーム 3 2 4 がメインフレーム 3 2 2 にボルトで固定される。

【 0 0 4 3 】

固定部 3 1 0 の筒状体 3 1 2 の内部には、筒状体 3 1 2 と同軸に配置された略円筒形状の内側磁極 3 1 6 が固定されている。筒状体 3 1 2 と内側磁極 3 1 6 は、共に磁性体から形成されている。内側磁極 3 1 6 の外径は駆動コイル 3 2 1 の内径よりも小さく、駆動コイル 3 2 1 は内側磁極 3 1 6 の外周面と筒状体 3 1 2 の内周面とで挟まれた隙間に配置されている。また、内側磁極 3 1 6 の筒内には、ロッド 3 2 6 を Z 軸方向のみに移動可能に支持する軸受 3 1 8 が固定されている。

【 0 0 4 4 】

筒状体 3 1 2 の内周面 3 1 2 a には複数の凹部 3 1 2 b が形成されており、各凹部 3 1 2 b には励磁コイル 3 1 4 が収容されている。励磁コイル 3 1 4 に直流電流（励磁電流）を流すと、筒状体 3 1 2 の内周面 3 1 2 a と内側磁極 3 1 6 の外周面とが接近して対向する箇所において、筒状体 3 1 2 の半径方向に矢印 A で示すような磁界が発生する。この状態で駆動コイル 3 2 1 に駆動電流を流すと、駆動コイル 3 2 1 の軸方向、すなわち Z 軸方向にローレンツ力が発生し、可動部 3 2 0 が Z 軸方向に駆動される。

【 0 0 4 5 】

また、内側磁極 3 1 6 の筒内には、空気ばね 3 3 0 が収納されている。空気ばね 3 3 0 の下端は筒状体 3 1 2 に固定されている。また、空気ばね 3 3 0 の上面には、ロッド 3 2 6 に形成されたフランジ部が載せられている。すなわち、空気ばね 3 3 0 は、ロッド 3 2 6 を介してメインフレーム 3 2 2 を下方から支持する。より詳しく説明すると、空気ばね 3 3 0 によって、可動部 3 2 0 と、可動部 3 2 0 に支持される X Y スライダ 3 6 0、振動テーブル 4 0 0、後述する X 軸カウンターバランス部 6 1 0、Y 軸カウンターバランス部 6 2 0 及び Z 軸カウンターバランス部 6 3 0 並びに供試体の重量（静荷重）が支持される。従って、Z 軸加振ユニット 3 0 0 に空気ばね 3 3 0 を設けることにより、Z 軸加振ユニット 3 0 0 の駆動力（ローレンツ力）によって可動部 3 2 0 や振動テーブル 4 0 0 等の重量（静荷重）を支持する必要がなくなり、可動部 3 2 0 等を振動させるための動荷重のみを与えればよくなるため、Z 軸加振ユニット 3 0 0 に供給すべき駆動電流（すなわち消費電力）が低減する。また、必要な駆動力の低減により、駆動コイル 3 2 1 の小型化が可能になるため、可動部 3 2 0 の軽量化により、Z 軸加振ユニット 3 0 0 をより高い周波数で

10

20

30

40

50

駆動することが可能になる。更に、可動部 3 2 0 や振動テーブル 4 0 0 等の重量を支持する為の大きな直流成分を駆動コイル 3 2 1 に供給する必要が無くなる為、電源部 4 0 も小型で簡単な構成のものを採用することが可能になる。

【 0 0 4 6 】

また、Z 軸加振ユニット 3 0 0 の可動部 3 2 0 を駆動すると、固定部 3 1 0 も駆動軸 (Z 軸) 方向に大きな反力 (加振力) を受ける。可動部 3 2 0 と固定部 3 1 0 の間に空気ばね 3 3 0 を設けることにより、可動部 3 2 0 から固定部 3 1 0 への伝達される加振力が緩和される。そのため、例えば、可動部 3 2 0 の振動が、固定部 3 1 0、装置ベース 5 0 0 及び加振ユニット 1 0 0、2 0 0 を介して振動テーブル 4 0 0 へノイズ成分として伝達されることが防止される。

10

【 0 0 4 7 】

ここで、水平アクチュエータ 1 0 0 A の構成について説明する。上述したように、水平アクチュエータ 1 0 0 A は、空気ばね 3 3 0 (図 8) の代わりに中立ばね機構 1 3 0 (図 1 1) を備えている点及び支持ユニット 1 5 0 の具体的な構成において鉛直アクチュエータ 3 0 0 A と相違し、その他の基本的な構成において両者は共通する。なお、中立ばね機構 1 3 0 も、空気ばね 3 3 0 と同様に、水平アクチュエータ 1 0 0 A の固定部 1 1 0 と可動部 1 2 0 とを弾性的に連結する緩衝装置である。また、水平アクチュエータ 2 0 0 A も、以下に説明する水平アクチュエータ 1 0 0 A と同一構成のものである。

【 0 0 4 8 】

図 1 1 は、中立ばね機構 1 3 0 付近を拡大した、水平アクチュエータ 1 0 0 A の縦断面図である。破線枠内は、X 軸正方向に向かって見た中立ばね機構 1 3 0 の背面図である。

20

【 0 0 4 9 】

中立ばね機構 1 3 0 は、U 形ステー 1 3 1、ロッド 1 3 2、ナット 1 3 3 及び一对の圧縮コイルばね 1 3 4、1 3 5 (弾性要素) を備えている。U 形ステー 1 3 1 は、その U 形の両端に形成されたフランジ部 1 3 1 a において、固定部 1 1 0 の底部 (図 1 1 における右端部) に固定されている。また、U 形ステー 1 3 1 の底部 1 3 1 b (図 1 1 における左端部) の中央には、X 軸方向に延びるロッド 1 3 2 が通される貫通穴 1 3 1 b 1 が設けられている。

【 0 0 5 0 】

ロッド 1 3 2 は、その一端 (図 1 1 における左端) にフランジ部 1 3 2 b が設けられており、フランジ部 1 3 2 b を介して、可動部 1 2 0 のロッド 1 2 6 の先端 (図 1 1 における右端) に接続されている。また、ロッド 1 3 2 の他端部 (図 1 1 における右端部) には、ナット 1 3 3 が嵌められるおねじ部 1 3 2 a が形成されている。

30

【 0 0 5 1 】

一对のコイルばね 1 3 4、1 3 5 は、ロッド 1 3 2 に被せられている。一方のコイルばね 1 3 4 は、ナット 1 3 3 のフランジ部 1 3 3 a と U 形ステー 1 3 1 の底部 1 3 1 b (弾性要素支持プレート) とで挟み込まれて保持されている。他方のコイルばね 1 3 5 は、U 形ステー 1 3 1 の底部 1 3 1 b とロッド 1 3 2 のフランジ部 1 3 2 b とで挟み込まれて保持されている。ナット 1 3 3 の締め付けにより、一对のコイルばね 1 3 4、1 3 5 には予荷重が与えられている。一对のコイルばね 1 3 4、1 3 5 の復元力が釣り合う位置が、水平アクチュエータ 1 0 0 A の可動部 1 2 0 の可動方向 (X 軸方向) における中立位置 (あるいは、原点若しくは基準位置) となる。可動部 1 2 0 が中立位置から離れると、中立ばね機構 1 3 0 (直接的には、一对のコイルばね 1 3 4、1 3 5) により、可動部 1 2 0 を中立位置へ戻す方向の復元力が可動部 1 2 0 に作用する。これにより、可動部 1 2 0 は、常に中立位置を基準とした X 軸方向への往復駆動を行うことが可能になり、作動中に可動部 1 2 0 の位置が揺らぐという問題が解消される。

40

【 0 0 5 2 】

次に、鉛直アクチュエータ 3 0 0 A の説明に戻り、可動部 3 2 0 の上部を軸線方向にスライド可能に側方から支持する可動部支持機構 3 4 0 の構成を説明する。

【 0 0 5 3 】

50

図6及び図8に示すように、鉛直アクチュエータ300Aの可動部320は、その外周に等間隔に配置された4つの可動部支持機構340により、駆動方向（Z軸方向）のみに移動可能に側方から支持されている。

【0054】

本実施形態の可動部支持機構340は、アングルプレート342及びZ軸リニアガイド344を備えている。また、Z軸リニアガイド344は、Z軸レール344a及びZ軸キャリッジ344bを備えている。なお、本実施形態では、Z軸リニアガイド344には、後述するA型リニアガイド364/A（図14-19）と同一構成のものが使用される。なお、リニアガイドは、直線運動を案内する機構であり、Z軸リニアガイド344はZ軸方向の直線運動を案内する。

10

【0055】

可動部320の拡張フレーム324の胴部324aの側面には、4組の可動部支持機構340のZ軸方向に延びるZ軸レール344aが、周方向において等間隔に取り付けられている。なお、本実施形態では、図3及び図7に示すように、2対の可動部支持機構340が、それぞれX軸方向及びY軸方向と45°を成す水平方向において対向するように配置されているが、説明の便宜上、その他の図面では、2対の可動部支持機構340がそれぞれX軸方向及びY軸方向において対向するように図示している。また、可動部支持機構340の数量や配置は本実施形態の構成に限定されないが、例えば、可動部320の周囲に略等間隔に配置された3組以上の可動部支持機構340によって可動部320を支持する構成が望ましい。

20

【0056】

固定部310（筒状体312）の上面には、筒状体312の内周面に沿って等間隔（90°間隔）に4つのアングルプレート342が固定されている。アングルプレート342は、リブで補強された断面がU字状（若しくはL字状）の固定部材である。各アングルプレート342の直立部342uには、Z軸レール344aと係合するZ軸キャリッジ344bが固定されている。

【0057】

Z軸キャリッジ344bは、転動体である多数のボールRE（後述）を内蔵し、Z軸レール344aと共に転がり案内であるZ軸リニアガイド344を構成する。すなわち、可動部320は、その上部の拡張フレーム324において、アングルプレート342及びZ軸リニアガイド344からなる4組の支持構造（可動部支持機構340）によってZ軸方向のみにスライド可能に側方から支持され、X軸及びY軸方向には移動できないようになっている。そのため、可動部320がX軸及びY軸方向に振動することによるクロストークの発生が防止される。また、Z軸リニアガイド344（転がり案内）の使用により、可動部320はZ軸方向へスムーズに移動可能になっている。更に、可動部320は、上述のように、その下部においても軸受318によってZ軸方向のみに移動可能に支持されている為、X軸、Y軸及びZ軸周りの回転も規制され、不要な振動（Z軸方向への制御された並進運動以外の振動）が発生し難くなっている。

30

【0058】

また、リニアガイドの通常の使用態様においては、レールが固定側に取り付けられ、キャリッジが可動側に取り付けられる。しかしながら、本実施形態では、通常の使用態様とは逆に、可動部320にZ軸レール344aが取り付けられて、アングルプレート342にZ軸キャリッジ344bが取り付けられている。このような特異な取付構造を採用することにより、不要な振動が抑制されている。これは、Z軸キャリッジ344bよりもZ軸レール344aの方が、軽量であり、駆動方向（Z軸方向）の寸法が長く（従って単位長さ当たりの質量が小さく）、尚且つ駆動方向の質量分布が均一である為、可動部320にZ軸レール344aを固定した方が、Z軸加振ユニット300を駆動したときの質量分布の変動が少なく、従って、質量分布の変動に伴って生じる振動を低く抑えることができるからである。また、Z軸キャリッジ344bよりもZ軸レール344aの方が、重心が低い（すなわち設置面から重心までの距離が短い）為、可動側にZ軸レール344aを固定

40

50

した方が、慣性モーメントが小さくなる。従って、この構成により、固定部 310 の共振周波数を加振周波数帯（例えば、0 ~ 2000 Hz 以上）よりも十分に高くすることが可能になり、共振による加振精度の低下が抑制される。

【0059】

次に、Z 軸加振ユニット 300 と振動テーブル 400 とを連結する XY スライダ 360 の構成について説明する。

【0060】

図 12 は、XY スライダ 360 の構成を説明する平面図である。図 5、図 6 及び図 12 に示すように、本実施形態の XY スライダ 360 は、X 軸方向及び Y 軸方向に等間隔に配列した 9 つのクロスガイド 364（364 L1 ~ L3、364 M1 ~ M3、364 R1 ~ R3）から構成されている。これらの 9 つのクロスガイド 364 は、それぞれ Z 軸加振ユニット 300（具体的には、鉛直アクチュエータ 300A の可動部 320）と振動テーブル 400 とを X 軸方向及び Y 軸方向に低抵抗でスライド可能に連結する。

10

【0061】

図 13 は、クロスガイド 364 の側面図である。クロスガイド 364 は、A 型リニアガイド 364/A と B 型リニアガイド 364/B とを、可動方向が互いに直交するように、キャリッジ上面同士を重ね合わせて固定したものである。後述するように、A 型リニアガイド 364/A 及び B 型リニアガイド 364/B のキャリッジは、走行方向に少し長く形成されているため、長さ（L）方向における質量分布と幅（W）方向における質量分布が異なり、これが加振装置 1 の加振性能に方向性を与える一因となり得る。本実施形態では、A 型リニアガイド 364/A と B 型リニアガイド 364/B のキャリッジ同士を、一方の長さ方向を他方の幅方向に向けて、直接固定することでクロスキャリッジ（クロスガイド 364 のキャリッジ）が形成されている。これにより、A 型リニアガイド 364/A と B 型リニアガイド 364/B の質量分布の方向性が相当程度相殺され、質量分布の方向性の少ないクロスキャリッジが得られる。このようなクロスキャリッジを使用することにより、加振装置 1 の加振性能の方向性が軽減されている。A 型リニアガイド 364/A 及び B 型リニアガイド 364/B の詳細については、後述する。

20

【0062】

図 12 では、各クロスガイド 364 を構成する一対のリニアガイド（X 軸方向にスライド可能な X 軸リニアガイド 364 X 及び Y 軸方向にスライド可能な Y 軸リニアガイド 364 Y）のうち、振動テーブル 400 側に配置されたものを実線で示し、Z 軸加振ユニット 300 側に配置されたものを破線で示している。実線で示した振動テーブル 400 側のリニアガイドに着目すると、X 軸リニアガイド 364 X が振動テーブル 400 に取り付けられた第 1 の向きのクロスガイド 364 P（クロスガイド 364 M1、364 L2、364 R2、364 M3）と、Y 軸リニアガイド 364 Y が振動テーブル 400 に取り付けられた第 2 の向きのクロスガイド 364（クロスガイド 364 L1、364 R1、364 M2、364 L3、364 R3）が混在していることが分かる。そして、X 軸方向及び Y 軸方向の各方向において、隣り合うクロスガイド 364 の向きが互い違いになっている。すなわち、第 1 の向きのクロスガイド 364 P と第 2 の向きのクロスガイド 364 とが、X 軸方向及び Y 軸方向の各方向において、交互に並べられている。このように、向きを交互に替えてクロスガイド 364 を配列することにより、クロスガイド 364 の質量分布の方向性が平均化され、より方向性の少ない加振性能が実現している。

30

40

【0063】

次に、クロスガイド 364 を構成する A 型リニアガイド 364/A 及び B 型リニアガイド 364/B の詳細を説明する。

【0064】

図 14、図 15 及び図 16 は、それぞれ A 型リニアガイド 364/A（B 型リニアガイド 364/B）の平面図、側面図及び正面図である。A 型リニアガイド 364/A（B 型リニアガイド 364/B）は、レール 364a と A 型キャリッジ 364b/A（B 型キャリッジ 364b/B）とを備えている。

50

【0065】

A型キャリッジ364b/A(B型キャリッジ364b/B)には、キャリッジ上面の四隅に、ボルト固定用の4つのねじ穴(キリ穴)である取付穴HA(取付穴HB)が設けられている。A型キャリッジ364b/AとB型キャリッジ364b/Bとは、取付穴HA、HBの種類を除いて互いに同一の構造を有している。

【0066】

4つの取付穴HA、HBは、それらの中心線がキャリッジ上面における正方形Sq(図14に鎖線で示す)の各頂点を通るように形成されている。すなわち、A型キャリッジ364b/Aの取付穴HAが形成される間隔(正方形Sqの辺の長さ)は、B型キャリッジ364b/Bの取付穴HBが形成される間隔と一致しており、取付穴HA、HBの配置は、それぞれ4回回転対称性を有している。

10

【0067】

そのため、A型キャリッジ364b/AとB型キャリッジ364b/Bとを、互いに走行方向を90度ずらして重ね合わせても、4つの取付穴HAと4つの取付穴HBとがそれぞれ連絡し、4本のボルトによってA型キャリッジ364b/AとB型キャリッジ364b/Bとを連結することができるように構成されている。

【0068】

また、A型キャリッジ364b/Aの取付穴HAをねじ穴とし、B型キャリッジ364b/Bの取付穴HBをキリ穴としているため、連結板を介さずにA型キャリッジ364b/AとB型キャリッジ364b/Bとを直接連結することができる。これにより、クロスガイド364の小型化及び軽量化が可能になっている。このように、連結板を省いてクロスガイド364を小型・軽量化することにより、クロスガイド364の剛性が高く(すなわち固有振動数が高く)なり、加振装置1の加振性能が向上する。具体的には、より高い周波数まで振動ノイズの少ない加振が可能になる。また、軽量化により、クロスガイド364の加振に(すなわち機構部10の駆動に)必要な電力も低減する。

20

【0069】

A型キャリッジ364b/A(B型キャリッジ364b/B)のキャリッジ上面における四隅には、それぞれL字状の切欠部C1が形成されている。更に、A型キャリッジ364b/A(B型キャリッジ364b/B)の幅方向(図14における上下方向)両側の下部には、走行方向に伸びる一对のL字状の切欠部C2が形成されている。すなわち、取付穴HA(取付穴HB)が形成される幅方向両側から張り出したフランジ部Fを除いて、A型キャリッジ364b/A(B型キャリッジ364b/B)の幅方向両端部が削ぎ落とされている。これにより、A型キャリッジ364b/A(B型キャリッジ364b/B)の軽量化が実現されている。

30

【0070】

このように、クロスガイド364は、クロスガイド専用のA型リニアガイド364/A、B型リニアガイド364/B及びこれらを連結する4本のボルトのみから構成されるため、小型、軽量かつ高剛性なものとなっている。これにより、クロスガイド364は共振周波数が高く、振動ノイズの少ないXYスライダ(スライド連結機構)の実現を可能にしている。

40

【0071】

また、上述したように、A型キャリッジ364b/AとB型キャリッジ364b/Bとは、取付穴HA、HBを除いて互いに同一の構造を有している。そのため、A型リニアガイド364/AとB型リニアガイド364/Bとを互いに走行方向を90度ずらして連結することにより、長さ(L)方向及び幅(W)方向における各リニアガイドの質量分布の方向性が相殺され、質量分布の方向性が小さいクロスガイド364が実現している。

【0072】

また、各キャリッジ364b/A、364b/Bは、それぞれ上下方向(図14において紙面に垂直な方向)の軸周りに略2回回転対称性を有しているが、4回回転対称性は有していない。そのため、各キャリッジ364b/A、364b/Bは、走行方向(図14

50

における左右方向)と横方向(図14における上下方向)とで、外力に対する応答特性が異なる。

【0073】

それぞれ実質的に2回回転対称性を有し、質量分布が互いに略等しいA型キャリッジ364b/AとB型キャリッジ364b/Bとを上下方向の軸(回転対称軸)の周りに90度回転させて連結させたクロスガイド364のキャリッジ(クロスキャリッジ)は、略4回回転対称を獲得し、2つの走行方向(X軸方向とY軸方向)の間で外力に対する応答特性がより均質なものとなっている。

【0074】

クロスガイド364を介して、Z軸加振ユニット300の可動部320と振動テーブル400とを連結することにより、振動テーブル400は、Z軸加振ユニット300の可動部320に対してX軸方向及びY軸方向にスライド可能に連結される。

10

【0075】

次に、クロスガイド364を構成する各リニアガイドの内部構造について、A型リニアガイド364/Aを例に挙げて説明する。

【0076】

図17は、A型リニアガイド364/Aの横断面図である。また、図18は、図17のI-I断面図である。本実施形態のA型リニアガイド364/Aは、転動体であるボールREの外径を通常の半分程度にまで小さくして、転動体の負荷経路の数を通常の2倍の8条とすることにより、レールとキャリッジとの間に介在するボールREの数(有効ボール数)を通常の2倍以上に増やしたものである。これにより、通常の2倍以上の数のボールREに荷重が分配されるため、ボールRE1個当たりの負荷が半減して、リニアガイドの剛性が著しく向上する。また、有効ボール数を増やしたことにより、より均質な転がり案内が可能になり、その結果、キャリッジの運動精度が向上(具体的には、走行時に生じるキャリッジの姿勢変動や振動が低減)している。

20

【0077】

A型キャリッジ364b/Aは、メインブロック364b1/Aと、メインブロック364b1/Aの走行方向両端に取り付けられた一対のエンドブロック364b2と、走行方向においてメインブロック364b1/Aを貫通する4つの円柱状の貫通穴h1、h2、h3、h4にそれぞれ挿し込まれた4つのロッド部材R1、R2、R3、R4を備えている。本実施形態のロッド部材R1、R2、R3、R4は、同一構成の部材である。

30

【0078】

本実施形態では、メインブロック364b1/Aは金属部材(例えばステンレス鋼)であり、エンドブロック364b2及びロッド部材R1、R2、R3、R4は樹脂部材である。なお、A型キャリッジ364b/Aを構成する各部材の材質は、本実施形態のものに限定されず、金属、樹脂、セラミックス又は各種複合材料(例えば繊維強化プラスチック)等から適宜選択される。

【0079】

図17に示すように、レール364aの両側面(右側面SR、左側面SL)には、それぞれ長さ方向に伸びる溝Gaが2条ずつ近接して形成されている。また、レール364aの上面の左右の部分(右上面TR、左上面TL)にも、それぞれ長さ方向に伸びる溝Gaが2条ずつ近接して形成されている。

40

【0080】

一方、A型キャリッジ364b/Aのメインブロック364b1/Aには、8条(2条×4組)の溝Gbが、各溝Gaと対向する位置にそれぞれ形成されている。対向する溝Gaと溝Gbの各対により、負荷経路Pa(Pa1、Pa2、Pa3、Pa4)及び負荷経路Pb(Pb1、Pb2、Pb3、Pb4)がそれぞれ形成される。ここで、負荷経路とは、転動体の経路のうち、転動体に荷重が加わる部分をいう。

【0081】

負荷経路Pa1及びPb1(負荷経路対P1)は、レール364aの右側面SRとメイ

50

ンブロック364b1/Aとの間に互いに近接して形成されている。負荷経路Pa2及びPb2(負荷経路対P2)は、レール364aの右上面TRとメインブロック364b1/Aとの間に互いに近接して形成されている。負荷経路Pa3及びPb3(負荷経路対P3)は、レール364aの左上面TLとメインブロック364b1/Aとの間に互いに近接して形成されている。負荷経路Pa4及びPb4(負荷経路対P4)は、レール364aの左側面SLとメインブロック364b1/Aとの間に互いに近接して形成されている。このように互いに平行に近接して形成された転動体の経路の対を以下「経路対」という。

【0082】

また、レール364aの右側面SR、右上面TR、左上面TL、左側面SLとメインブロック364b1/Aの間には、それぞれ隙間Gs1、Gs2、Gs3、Gs4が形成されている。負荷経路対P1、P2、P3、P4は、それぞれ隙間Pc1、Pc2、Pc3、Pc4内に形成されている。

10

【0083】

4つの貫通穴h1、h2、h3、h4は、4対の負荷経路対P1、P2、P3、P4のそれぞれと対向する位置に平行に形成されている。

【0084】

ロッド部材R1、R2、R3、R4には、横断面が略矩形形状の貫通穴Qc(Qc1、Qc2、Qc3、Qc4)が、それぞれ長さ方向に貫通している。各貫通穴Qcの内周面(具体的には、狭い間隔で対向する2つの面)には、貫通穴Qcの延長方向に延びる対向する2対の溝Gc、Ge(貫通穴Qc2のみに符号を付す。)からなる無負荷経路Qa(Qa1、Qa2、Qa3、Qa4)及びQb(Qb1、Qb2、Qb3、Qb4)がそれぞれ形成されている。

20

【0085】

図18に示すように、ロッド部材R3の両端には、メインブロック364b1/Aの貫通穴h3から突き出たU字状の突出部Rp3が設けられている。各突出部Rp3の外周面には、上述した一対の一対の平行な溝Gcuが形成されている。他のロッド部材R1、R2、R4にも、それぞれ一対のU字状の溝Gcが形成された突出部Rp1、Rp2、Rp4(不図示)が設けられている。

【0086】

30

エンドブロック364b2には、各突出部Rp(Rp1、Rp2、Rp3、Rp4)を収容する4つの凹部D1、D2、D3、D4(凹部D3のみを図示する。)が形成されている。凹部D3には、突出部Rp3に形成された一対の溝Gcuとそれぞれ対向する一対の溝Geが形成されている。対向する二対の溝Gc、Geにより、二つのU字状の折り返し経路Ua3、Ub3(経路Ua3のみを図示する。)が構成される。同様に、他の3つの凹部D1、D2、D4にも一対の溝Geが形成されており、対応する突出部Rp1、Rp2、Rp4に形成された一対の溝Gcとの間に、それぞれ一対の折り返し経路Ua1とUb1、Ua2とUb2、Ua4とUb4が構成されている。

【0087】

また、突出部Rp1、Rp2、Rp3、Rp4と凹部D1、D2、D3、D4の間には、それぞれ隙間Gu1、Gu2、Gu3、Gu4(不図示)が形成されている。折り返し経路Ua1とUb1、Ua2とUb2、Ua3とUb3、Ua4とUb4は、それぞれ隙間Gu1、Gu2、Gu3、Gu4に形成されている。

40

【0088】

折り返し経路Ua、Ubは、一端が負荷経路Pa、Pbに、他端が無負荷経路Qa、Qbにそれぞれ接続されている。すなわち、8条の負荷経路Pa1、Pb1、Pa2、Pb2、Pa3、Pb3、Pa4、Pb4と、8条の無負荷経路Qa1、Qb1、Qa2、Qb2、Qa3、Qb3、Qa4、Qb4とが、8対の折り返し経路Ua1、Ub1、Ua2、Ub2、Ua3、Ub3、Ua4、Ub4により環状に連結されて、8条の循環経路が形成されている。

50

【 0 0 8 9 】

また、隙間 G_s ($G_s 1$ 、 $G_s 2$ 、 $G_s 3$ 、 $G_s 4$) と、貫通穴 Q_c ($Q_c 1$ 、 $Q_c 2$ 、 $Q_c 3$ 、 $Q_c 4$) とが、一对の U 字状の隙間 G_u ($G_u 1$ 、 $G_u 2$ 、 $G_u 3$ 、 $G_u 4$) により環状に連結されて、4 つの環状隙間 $C G$ が形成されている。この 4 つの環状隙間 $C G$ に、上記の 4 対 (8 条) の循環経路 $C P$ がそれぞれ形成されている。

【 0 0 9 0 】

8 条の循環経路 $C P$ には、それぞれ多数のステンレス鋼製のボール $R E$ (転動体) が一列に整列して収容されている。また、4 つの環状隙間 $C G$ には、それぞれ 1 つの無端ベルト状のリテーナ $R T$ が通されている。

【 0 0 9 1 】

図 1 9 は、リテーナ $R T$ の一部を示す斜視図である。リテーナ $R T$ は、可撓性を有する樹脂部材であり、多数の貫通穴 $R T h$ が長さ方向に一定間隔で 2 列に形成されている。貫通穴 $R T h$ の 2 つの列の間隔は、各環状隙間 $C G$ に設けられた 2 条の循環経路 $C P$ (経路対) と同じ間隔となっている。リテーナ $R T$ の 2 列の貫通穴 $R T h$ には、同じ環状隙間 $C G$ 内の経路対に配置された多数のボール $R E$ が、それぞれ回転可能に嵌め込まれる。そして、リテーナ $R T$ は、多数のボール $R E$ と共に、環状隙間 $C G$ 内を循環する。リテーナ $R T$ は、ボール $R E$ 同士の接触を防ぎ、ボール $R E$ 同士の摩擦に基づく振動ノイズやボール $R E$ の摩耗を低減させる。

【 0 0 9 2 】

図 1 4 に示すように、本実施形態の A 型キャリッジ 3 6 4 b / A (及び B 型キャリッジ 3 6 4 b / B) は、長さ L を 1 2 5 mm 以下 (約 1 2 0 mm) として、アスペクト比 (長さ L と幅 W との比 L / W) が 1 . 3 5 以下 (約 1 . 3 2) に抑えられている。

【 0 0 9 3 】

キャリッジを長くすると、走行精度 (ウェーピング特性等) や剛性が向上するが、重量が増加して加振 (加速) 性能が低下するというデメリットがある。加振装置に使用する 8 条列型のキャリッジの長さ L は、7 0 - 1 6 0 mm の範囲内 (より好ましくは 9 0 - 1 4 0 mm の範囲内、更に好ましくは 1 1 0 - 1 3 0 mm の範囲内) とすることが望ましい。

【 0 0 9 4 】

また、各軸方向の加振性能を均一にするため、アスペクト比 L / W は 1 に近い方が良い。本実施形態のような 8 条列型のキャリッジのアスペクト比 L / W は、0 . 6 5 - 1 . 5 の範囲内 (より好ましくは 0 . 7 - 1 . 4 の範囲内、更に好ましくは 0 . 7 5 - 1 . 3 5 の範囲内) とすることが望ましい。

【 0 0 9 5 】

このように、X 軸方向及び Y 軸方向に少ない抵抗でスライド可能な X Y スライダ 3 6 0 を介して Z 軸加振ユニット 3 0 0 と振動テーブル 4 0 0 とを連結することにより、X 軸加振ユニット 1 0 0 及び Y 軸加振ユニット 2 0 0 により振動テーブル 4 0 0 を X 軸方向及び Y 軸方向にそれぞれ振動させても、振動テーブル 4 0 0 の X 軸方向及び Y 軸方向の振動成分は Z 軸加振ユニット 3 0 0 へ伝達されることがない。

【 0 0 9 6 】

また、Z 軸加振ユニット 3 0 0 の駆動によって、振動テーブル 4 0 0 に X 軸及び Y 軸方向の力はほとんど加わらない。そのため、クロストークの少ない加振が可能になる。

【 0 0 9 7 】

また、上述したように、本実施形態の A 型リニアガイド 3 6 4 / A は、ボール $R E$ の外径を通常の半分程度にまで小さくすることで、循環経路 $C P$ の条数を通常の 2 倍の 8 条としている。また、各負荷経路に配列されるボール $R E$ の数も、通常の 2 倍近くにまで増やされている。その結果、A 型キャリッジ 3 6 4 b / A は、従来の 2 倍以上 (4 倍近く) の数のボール $R E$ によって、より分散して支持されている。その結果、剛性の向上と走行精度の向上 (低ウェーピング化) が実現している。

【 0 0 9 8 】

A 型リニアガイド 3 6 4 / A のような 8 条列型のリニアガイドは、これまでは工作機械

10

20

30

40

50

等における位置精度の向上を目的とした使用に限られていたため、従来の8条列型リニアガイドは、キャリッジ長Lが180mm以上と大きく、また、アスペクト比も2.3以上と重量バランスの低いものとなっていた。その結果、従来の8条列型リニアガイドは、加振装置等の高速駆動を行う機構には適さないものとなっていた。本実施形態のA型リニアガイド364/A(B型リニアガイド364/B)は、キャリッジの長さLとアスペクト比を小さくすることにより、8条列型リニアガイドを加振装置にも適用可能なものとなっている。また、A型リニアガイド364/Aを使用することにより、従来は困難であった2kHzを超える周波数での加振が可能になった。

【0099】

次に、X軸加振ユニット100と振動テーブル400とを連結するYZスライダ160の構成を説明する。

【0100】

図20は、X軸加振ユニット100及び振動テーブル400の側面図である。

図21は、X軸加振ユニット100の正面図である。

図22は、YZスライダ160の正面図である。

図23は、振動テーブル400付近の平面図である。

【0101】

図20に示すように、YZスライダ160は、X軸加振ユニット100の可動部120(拡張フレーム124)の先端面に固定された連結アーム162と、連結アーム162と振動テーブル400とをY軸方向及びZ軸方向にスライド可能に連結するクロスガイド部164とを備えている。

【0102】

図22に示すように、クロスガイド部164は、2本のY軸レール164a/Y(164a/Y1、164a/Y4)と、6本のZ軸レール164a/Z(164a/Z1、164a/Z2、164a/Z3、164a/Z4、164a/Z5、164a/Z6)と、Y軸レール164a/YとZ軸レール164a/ZとをY軸及びZ軸方向にスライド可能に連結する6個のクロスキャリッジ164b(164b/1、164b/2、164b/3、164b/4、164b/5、164b/6)を備えている。6個のクロスキャリッジ164bは、格子状(Y軸方向:3列、Z軸方向:2列)に配置されている。

【0103】

上段の3本のZ軸レール164a/Z1、164a/Z2、164a/Z3と下段の1本のY軸レール164a/Y4は、連結アーム162の先端面に固定されている。また、残りの下段の3本のZ軸レール164a/Z4、/Z5、/Z6と上段の1本のY軸レール164a/Y1は、振動テーブル400の側面に固定されている。

【0104】

クロスキャリッジ164b/1は、Y軸レール164a/Y1と係合するY軸キャリッジ164b/Y1と、Z軸レール164a/Z1と係合するZ軸キャリッジ164b/Z1とを背中合わせに重ねて(すなわち、キャリッジ上面同士を重ね合わせて)固定したものである。Y軸キャリッジ164b/Y1及びZ軸キャリッジ164b/Z1の一方は上述のA型キャリッジ364b/Aと同一構成のものであり、他方は上述のB型キャリッジ364b/Bと同一構成のものである。クロスガイド364のクロスキャリッジと同様に、Y軸キャリッジ164b/Y1とZ軸キャリッジ164b/Z1とは、取付板を介さずに、4本のボルトのみで直接固定されている。

【0105】

上段の3個のクロスキャリッジ164b/1、164b/2、164b/3は、いずれも上段の1本のY軸レール164a/Y1と係合し、また、上段の3個のZ軸レール164a/Z1、164a/Z2、164a/Z3とそれぞれ係合している。

【0106】

同様に、下段の3個のクロスキャリッジ164b/4、164b/5、164b/6は、いずれも下段の1本のY軸レール164a/Y4と係合し、また、下段の3個のZ軸レ

10

20

30

40

50

ール164a/Z4、164a/Z5、164a/Z6とそれぞれ係合している。

【0107】

以上に説明したYZスライダ160の構成により、振動テーブル400は、X軸加振ユニット100の可動部120に対してY軸方向及びZ軸方向にスライド可能に連結されている。

【0108】

このようにY軸方向及びZ軸方向に小さな抵抗でスライド可能なYZスライダ160を介してX軸加振ユニット100と振動テーブル400とを連結することにより、Y軸加振ユニット200及びZ軸加振ユニット300により振動テーブル400をY軸方向及びZ軸方向にそれぞれ振動させても、振動テーブル400のY軸方向及びZ軸方向の振動成分はX軸加振ユニット100へ伝達されることがない。

10

【0109】

また、X軸加振ユニット100の駆動によって、振動テーブル400にY軸及びZ軸方向の力はほとんど加わらない。そのため、クロストークの少ない加振が可能になる。

【0110】

また、Y軸加振ユニット200と振動テーブル400とを連結するZXスライダ260も、YZスライダ160と同一の構成を有しており、振動テーブル400は、Y軸加振ユニット200の可動部220に対してZ軸方向及びX軸方向にスライド可能に連結されている。従って、やはりZ軸加振ユニット300及びX軸加振ユニット100により振動テーブル400をZ軸方向及びX軸方向にそれぞれ振動させても、振動テーブル400のZ軸方向及びX軸方向の振動成分はY軸加振ユニット200へ伝達されることがない。

20

【0111】

また、Y軸加振ユニット200の駆動によって、振動テーブル400にZ軸及びX軸方向の力はほとんど加わらない。そのため、クロストークの少ない加振が可能になる。

【0112】

以上のように、各加振ユニット100、200及び300は、互いに干渉することなく、振動テーブル400を各駆動方向に正確に加振することができる。また、各加振ユニット100、200及び300は、可動部が可動部支持機構により駆動方向のみに移動可能に支持されている為、非駆動方向へは振動し難くなっている。その為、制御されていない非駆動方向の振動が各加振ユニット100、200及び300から振動テーブル400に加わることもない。従って、振動テーブル400の各軸方向の振動は、対応する各加振ユニット100、200及び300の駆動によって正確に制御される。

30

【0113】

振動テーブル400は、不要な回転運動(回転振動)の発生を抑えるために、重心が外形寸法の中心位置に略一致するように構成されている。しかしながら、振動テーブル400の各軸方向における片側に2軸スライダ(YZスライダ160、ZXスライダ260、XYスライダ360)が取り付けられると、2軸スライダの一部が振動テーブル400に固定される(より正確には、振動テーブル400に拘束されて、振動テーブル400と共に運動するため、被加振部(振動テーブル400及び2軸スライダの一部)の重心が振動テーブル400の中心からずれる。この被加振部の重心の偏りが、振動テーブル400の回転振動を誘起し、その結果として、振動テーブル400上の位置による振動状態(例えば加速度)のばらつきを生じさせていた。

40

【0114】

そこで、本実施形態では、2軸スライダの反対側において、2軸スライダによって生じる不釣合いを補償するカウンターバランス部を振動テーブル400に設けて、被加振部(振動テーブル400、カウンターバランス部及び2軸スライダの一部)の重心が振動テーブル400の中心位置と略一致するように構成されている。

【0115】

図1-3及び図5-7に示すように、振動テーブル400のYZスライダ160が取り付けられた側面とは反対側の側面(すなわち、X軸正方向側の側面)には、X軸カウンタ

50

ーバランス部 6 1 0 (第 1 カウンターバランス部) が設けられている。

【 0 1 1 6 】

また、振動テーブル 4 0 0 の Z X スライダ 2 6 0 が取り付けられた側面とは反対側の側面 (すなわち、Y 軸正方向側の側面) には、Y 軸カウンターバランス部 6 2 0 (第 2 カウンターバランス部) が設けられている。なお、本実施形態の Y 軸カウンターバランス部 6 2 0 は、X 軸カウンターバランス部 6 1 0 と同一構成のものである。

【 0 1 1 7 】

更に、振動テーブル 4 0 0 の X Y スライダ 3 6 0 が取り付けられた下面と反対側の上面 (すなわち、Z 軸正方向側の側面) には、Z 軸カウンターバランス部 6 3 0 (第 3 カウンターバランス部) が設けられている。

10

【 0 1 1 8 】

図 2 5 は、X 軸カウンターバランス部 6 1 0 (及び Y 軸カウンターバランス部 6 2 0) の断面図である。なお、X 軸カウンターバランス部 6 1 0 は、緩衝層 6 1 1 (緩衝部) と、錘板 6 1 2 (錘部) を備えている。緩衝層 6 1 1 は、錘板 6 1 2 と振動テーブル 4 0 0 の側面との間に挟み込まれて、締め付けられる。

【 0 1 1 9 】

錘板 6 1 2 は、振動テーブル 4 0 0 に 2 軸スライダを取り付けることによって生じる被加振部の不釣合いを補償するための質量を与える部材である。本実施形態の錘板 6 1 2 の厚さは 2 0 mm である。

【 0 1 2 0 】

20

緩衝層 6 1 1 は、錘板 6 1 2 と振動テーブル 4 0 0 との間での加振周波数よりも高い周波数成分の振動ノイズの伝達を遮断する。また、緩衝層 6 1 1 は、振動テーブル 4 0 0 と錘板 6 1 2 との間でのびびり振動 (chattering) の発生を防止する。

【 0 1 2 1 】

錘板 6 1 2 及び緩衝層 6 1 1 は、複数のボルト 6 1 3 によって振動テーブル 4 0 0 の側面に取り付けられる。振動テーブル 4 0 0 の側面には、ねじ穴 4 0 0 h が形成され、錘板 6 1 2 には貫通穴 6 1 2 c が形成されている。ボルト 6 1 3 を貫通穴 6 1 2 c に通して、ねじ穴 4 0 0 h に挿じ込むことで、錘板 6 1 2 及び緩衝層 6 1 1 が振動テーブル 4 0 0 の側面に締め付けられる。なお、緩衝層 6 1 1 にも、貫通穴 6 1 2 c 及びねじ穴 4 0 0 h と連絡する貫通穴が形成されている。

30

【 0 1 2 2 】

図 3 3 (a) に示すように、X 軸カウンターバランス部 6 1 0 には、複数の貫通穴 6 1 2 c が格子点状に直交 2 方向 (Y 軸方向及び Z 軸方向) に等間隔 P で形成されている。本実施形態では、貫通穴 6 1 2 c の間隔 P が 5 0 mm となっている。貫通穴 6 1 2 c の間隔 P を短くする (好ましくは 1 0 0 mm 以下、より好ましくは 5 0 mm 以下にする) ことにより、びびり振動の発生が効果的に抑制される。

【 0 1 2 3 】

次に、Z 軸カウンターバランス部 6 3 0 の構成を説明する。図 2 6 は、Z 軸カウンターバランス部 6 3 0 の断面図である。また、図 2 7 は、Z 軸カウンターバランス部 6 3 0 のボルト固定位置を示す拡大平面図である。なお、図 2 6 は、図 2 7 における J - J 断面図である。

40

【 0 1 2 4 】

Z 軸カウンターバランス部 6 3 0 は、第 1 緩衝層 6 3 1 (第 1 緩衝部)、第 1 錘板 6 3 2 (第 1 錘部)、第 2 緩衝層 6 3 4 (第 2 緩衝部)、第 2 錘板 6 3 5 (第 2 錘部)、第 3 緩衝層 6 3 7 (第 3 緩衝部) 及び第 3 錘板 6 3 8 (第 3 錘部) を備えている。第 1 緩衝層 6 3 1、第 1 錘板 6 3 2、第 2 緩衝層 6 3 4、第 2 錘板 6 3 5、第 3 緩衝層 6 3 7 及び第 3 錘板 6 3 8 は、この順序で振動テーブル 4 0 0 の上面に積み重ねられている。

【 0 1 2 5 】

第 1 錘板 6 3 2、第 2 錘板 6 3 5 及び第 3 錘板 6 3 8 は、振動テーブル 4 0 0 に 2 軸スライダを取り付けることによって生じる被加振部の不釣合いを補償するための質量を与え

50

る部材であり、本実施形態ではアルミニウム合金の板材である。本実施形態では、第1錘板632、第2錘板635及び第3錘板638の厚さは、それぞれ30mm、20mm及び10mmである。なお、本実施形態の振動テーブル400の幅(X軸方向)及び奥行(Y軸方向)はそれぞれ500mmであり、Z軸カウンターバランス部630の幅及び奥行はそれぞれ約400mmである。

【0126】

第1緩衝層631、第2緩衝層634及び第3緩衝層637は、それぞれ第1錘板632と振動テーブル400との間又は隣接する錘板632、635、638の間での加振周波数よりも高い周波数成分の振動ノイズの伝達を低減させる。また、第1緩衝層631、第2緩衝層634及び第3緩衝層637は、振動テーブル400と第1錘板632との間又は隣接する錘板632、635、638の間でのびびり振動の発生を防止する。

10

【0127】

第1錘板632には、複数の貫通穴632c及び複数のねじ穴632tがそれぞれ格子点状に直交2方向(X軸方向及びY軸方向)に等間隔(本実施形態では、X軸カウンターバランス部610の貫通穴612cと同じ間隔P)で形成されている。なお、図27に示すように、貫通穴632cとねじ穴632tの位置は、各配列方向においてP/2ずれている。すなわち、平面視において、4つの貫通穴632cの中間位置にねじ穴632tが形成されている。ボルト633を貫通穴632cに通して、振動テーブル400の上面に形成されたねじ穴400hに押し込むことで、錘板632及び第1緩衝層631が振動テーブル400の上面に締め付けられる。

20

【0128】

第2錘板635にも、複数の貫通穴635c及び複数のねじ穴635tがそれぞれ格子点状に直交2方向(X軸方向及びY軸方向)に等間隔Pで形成されている。貫通穴635cとねじ穴635tの位置は、各配列方向においてP/2ずれている。ボルト636を貫通穴635cに通して、第1錘板632の上面に形成されたねじ穴632tに押し込むことで、第2錘板635及び第2緩衝層634が第1錘板632の上面に締め付けられる。

【0129】

第3錘板638には、貫通穴638cのみが形成されている。ボルト639を貫通穴638cに通して、第2錘板635の上面に形成されたねじ穴635tに押し込むことで、第3錘板638及び第3緩衝層637が第2錘板635の上面に締め付けられる。

30

【0130】

Z軸カウンターバランス部630は、このように、錘板と緩衝層を3層重ねた構成とすることにより、その上に重量物である供試体を載せても、振動ノイズを効果的に抑制することが可能になっている。

【0131】

また、3層の錘板と緩衝層を一本のボルトで振動テーブル400に直接固定(共締め)するのではなく、隣り合う錘板同士(第1錘板632と第2錘板635、第2錘板635と第3錘板638)を順次個別にボルトで固定する構成を採用することにより、振動テーブル400から第3錘板638への振動ノイズの伝達が効果的に抑制される。

【0132】

各錘板612、632、635、638の形状は、矩形平板状に限らず、様々な形状に形成することができる。例えば、2軸スライダの形状(質量分布)に対応する形状とすることで、不釣合いを高い精度で補償することが可能になる。

40

【0133】

また、各錘板632、635、638の厚さは、供試体の重量や加振条件等に応じて変更してもよい。例えば、錘板632、635及び638を全て同じ厚さとしてもよい。また、上層の錘板ほど厚くしてもよいし、中間の錘板635を最も厚くしてもよい。

【0134】

また、各錘板612、632、635、638の材質としては、アルミニウム合金や鋼鉄等の一般的な構造材料の他に、振動吸収性を有する鉛、銅、発泡金属、樹脂(プラスチック

50

ック、ゴムを含む)、繊維強化樹脂等を使用してもよい。

【0135】

各緩衝層611、631、634、637の厚さは、錘板の質量、緩衝層の材質・特性、加振装置1のサイズ、試験条件等に応じて0.5mmから2mmの範囲内で決定される。緩衝層を厚くし過ぎると、錘板が共振し易くなり、低い周波数領域における加振性能が低下してしまう。また、緩衝層を薄くし過ぎると、振動ノイズを抑制する効果が十分得られない。

【0136】

緩衝層611、631、634、637には、各種合成樹脂(例えば、ポリオレフィン、ポリ塩化ビニル、ポリアミド、PEEK(polyether ether ketone)、ポリカーボネート、ポリ四フッ化エチレン等のプラスチック)、各種エラストマー(天然ゴムや各種合成ゴム等の加硫ゴム、ウレタンゴムやシリコンゴム等の熱硬化性エラストマー、熱可塑性エラストマー)、シリコーンゲル(低架橋密度シリコーン樹脂)、各種ポリマーアロイ、繊維強化プラスチック、発泡樹脂、鉛等の柔らかい金属、発泡金属等の各種材料のシートやフェルト(不織布)等を使用することができる。

10

【0137】

また、振動テーブル400と錘板612、632との間(又は隣接する錘板632、635、638の間)に隙間を設けて、この隙間に接着剤やコーキング材を充填して硬化させることで緩衝層を形成してもよい。

【0138】

20

また、本実施形態のZ軸カウンターバランス部630は、緩衝層と錘板を3層交互に積層したものであるが、2層又は4層以上積層させた構成としてもよい。また、層毎に緩衝層や錘板の材質や厚さを変更してもよい。

【0139】

次に、本実施形態の加振装置1の加振均一性について説明する。図28-30は、振動テーブル400上(より正確には、Z軸カウンターバランス部630)の4箇所測定した相対加速度のスペクトル特性を示すグラフである。また、図31は、Z軸カウンターバランス部630上の監視点(加速度の測定点)を示した図である。

【0140】

加振装置1は、Z軸カウンターバランス部630の上面中央である基準点MP0が指示値と同じ加速度で振動する(すなわち、基準点MP0における加速度の測定値に基づく一点制御を行う)ように設計されている。なお、基準点MP0を含む5つの監視点のうちの2箇所以上における加速度等の振動状態を表わすパラメータの測定結果(例えば、複数の監視点における測定値の平均値)に基づいて振動を制御する多点制御を行う構成としてもよい。加振装置1の加振均一性は、基準点MP0との加速度の差異が最も大きくなると考えられるZ軸カウンターバランス部630の四隅の領域(監視点MP1、MP2、MP3、MP4)における相対加速度レベルLaを測定することによって評価した。ここで、相対加速度レベルLaとは、基準点MP0における加速度に対する各監視点MP1~MP4における相対的な加速度レベルであり、次の数式1により定義される。

30

【0141】

40

【数1】

$$La = 20 \log \frac{a}{a_0} \quad [\text{dB}]$$

ここで、

- La : 各監視点における相対加速度レベル
- a : 各監視点(MP1~MP4)における加速度
- a₀ : 基準点MP0における加速度

【0142】

50

また、監視点MP1、MP2、MP3、MP4は、図31に示すように、Z軸カウンターバランス部630の上面を格子状に4×4分割した16領域のうちの4隅の4領域の中央に設定した。

【0143】

また、加振均一性の評価は、サイン波形で加振した場合と、ランダム波形で加振した場合について、それぞれ全ての加振方向（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向）について行った。

【0144】

図28、図29及び図30は、それぞれX軸方向、Y軸方向及びZ軸方向の測定結果を示すグラフである。各図の上段（a）はサイン波形で加振した場合の測定結果であり、下段（b）はランダム波形で加振した場合の測定結果である。なお、サイン波形については周波数200 - 2000 Hzの範囲で測定し、ランダム波形については5 - 2000 Hzの範囲で測定した。

10

【0145】

図28 - 30に示すように、いずれの条件においても、1 kHz以下の周波数領域では相対加速度レベルが±3 dB未満に抑えられていた。また、2 kHz以下の周波数領域では、一部の測定条件を除いて相対加速度レベルが±6 dB未満に抑えられており、全ての測定条件において相対加速度レベルが±10 dB未満に抑えられていた。カウンターバランス部を装着しない状態では、2 kHz以下の周波数領域においては、いずれの測定条件でも相対加速度レベルが±10 dBを超えており、カウンターバランス部の装着による加振均一性の顕著な向上が確認された。

20

【0146】

図32は、X軸カウンターバランス部610の第1変形例610Aの断面図である。この変形例610Aでは、緩衝層611の代わりにスペーサー611a（例えば、平座金）が使用される。スペーサー611aが介在する固定点を除き、錘板612と振動テーブル400との間には隙間が設けられ、錘板612は振動テーブル400と非接触に保持される。そのため、振動テーブル400と錘板612との間で振動が伝達し難くなっている。また、振動テーブル400と錘板612との間でのびびり振動の発生も防止される。

【0147】

スペーサー611aには、ステンレス鋼等の各種鋼鉄や、アルミニウム合金、黄銅等の銅合金、チタン合金等の各種非鉄金属の他、上述した緩衝層611に使用可能な材料を使用することができる。

30

【0148】

また、スペーサー611aは、振動テーブル400又は錘板612と一体にボス状の突起部として形成してもよい。また、振動テーブル400と錘板612との間の隙間に充填剤（例えば、シリコン樹脂）を充填してもよい。

【0149】

また、Z軸カウンターバランス部630の緩衝層631、634、637の一つ以上をスペーサー611aに変更してもよい。

【0150】

図33は、X軸カウンターバランス部の外観図である。（a）は第1実施形態のX軸カウンターバランス部610を示し、（b）及び（c）はそれぞれ第2変形例610B及び第3変形例610Cを示す。第1実施形態のX軸カウンターバランス部610は、1枚の錘板612（及び1枚の緩衝層611）から一体に形成されている。これに対して、（b）の第2変形例610Bでは、錘板612及び緩衝層611が長さ方向（図中左右方向）に4分割されている。また、（c）の第3変形例610Cでは、錘板612及び緩衝層611が更に幅方向（図中上下方向）にも2分割され、合計8分割されている。X軸カウンターバランス部610を小さな要素に分割することにより、共振周波数が高くなり、試験周波数領域における振動ノイズの発生が低減される。なお、第1変形例610Aの構成を、第2変形例610Bや第3変形例610Cに適用してもよい。

40

50

【 0 1 5 1 】

また、本実施形態では、X軸カウンターバランス部610、Y軸カウンターバランス部620及びZ軸カウンターバランス部630が全て振動テーブル400の外面上に取り付けられているが、これらの一つ以上を振動テーブル400の内側に取り付けても良い。

【 0 1 5 2 】

また、本実施形態では、振動テーブル400自体は不釣合いを有していないが、2軸スライダを装着した状態で釣合いが取れる（振動テーブルの重心が外形中心に一致する）ように、振動テーブル400に予め初期不釣合いを与えてもよい。初期不釣合いは、例えば、箱状の振動テーブルの肉厚や振動テーブル内部の補強リブの配置を不均一にすることにより付与することができる。

10

【 0 1 5 3 】

次に、各加振ユニットの固定部を装置ベース500に取り付ける構造について説明する。

【 0 1 5 4 】

図1-3及び図5-7に示すように、Z軸加振ユニット300の固定部310は、Z軸加振ユニット300のY軸方向両側に配置された一对の支持ユニット350（固定部支持機構、フローティング機構又は弾性支持機構ともいう。）を介して、装置ベース500の上面上に取り付けられている。

【 0 1 5 5 】

図5及び図7に示すように、各支持ユニット350は、可動ブロック358、一对のアングルプレート（固定ブロック）352及び一对のリニアガイド354を備えている。可動ブロック358は、Z軸加振ユニット300の固定部310の側面に固定された支持部材である。一对のアングルプレート352は、可動ブロック358のX軸方向両端面とそれぞれ対向して配置されており、装置ベース500の上面上に固定されている。可動ブロック358のX軸方向両端と各アングルプレート352とは、リニアガイド354によって、それぞれZ軸方向にスライド可能に連結されている。

20

【 0 1 5 6 】

リニアガイド354は、レール354aと、レール354aと係合するキャリッジ354bを備えている。可動ブロック358のX軸方向両端面には、レール354aが取り付けられている。また、各アングルプレート352には、対向するレール354aと係合するキャリッジ354bが取り付けられている。また、可動ブロック358と装置ベース500との間には、一对の空気ばね356がX軸方向に並べて配置されており、可動ブロック358は一对の空気ばね356を介して装置ベース500に支持されている。

30

【 0 1 5 7 】

このように、Z軸加振ユニット300は、その固定部310がリニアガイド354及び空気ばね356を備えた支持ユニット350により装置ベース500に対して駆動方向（Z軸方向）に弾性的に支持されているため、Z軸加振ユニット300の駆動時に固定部310に加わるZ軸方向の強い反力（加振力）は、装置ベース500には直接伝達されず、空気ばね356によって特に高周波成分が大きく減衰される。そのため、Z軸加振ユニット300から装置ベース500及び他の加振ユニット100、200を介して振動テーブル400に伝達される振動ノイズが大きく低減される。

40

【 0 1 5 8 】

図20-21に示すように、水平アクチュエータ100Aの固定部110は、X軸加振ユニット100のY軸方向両側に配置された一对の支持ユニット150を介して、装置ベース500の上面上に取り付けられている。各支持ユニット150は、装置ベース500の上面上に固定された逆T字状の固定ブロック152と、X軸加振ユニット100の固定部110の側面に取り付けられた略直方体状の可動ブロック158と、固定ブロック152と可動ブロック158とをX軸方向にスライド可能に連結するリニアガイド154と、可動ブロック158と固定ブロック152とを弾性的に連結するばね機構156を備えている。

50

【0159】

リニアガイド154は、固定ブロック152の上面に取り付けられたX軸方向に延びるレール154aと、可動ブロック158の下面に取り付けられた、レール154aと係合する一对のキャリッジ154bを備えている。また、固定ブロック152のX軸負方向側の側面には、上方に延びるL字状のアーム155が固定されている。可動ブロック158とアーム155とは、ばね機構156によって連結されている。

【0160】

図24は、支持ユニット150のばね機構156付近を拡大した側面図である。ばね機構156は、ボルト156a、固定板156b、リング156c、ナット156d、防振ばね156e、緩衝板156f、ワッシャ156g及びナット156hを備えている。アーム155の上部にはX軸方向に延びる貫通穴155hが設けられていて、この貫通穴155hにボルト156aが通されている。ボルト156aの先端は、固定板156bを介して可動ブロック158に固定されている。また、ボルト156aの先端部は、円筒状のリング156cを貫通している。

10

【0161】

リング156cは、ボルト156aに擦り込まれたナット156dと固定板156bとの間で挟み込まれて固定されている。また、ボルト156aの先端側は、円筒状の防振ばね156eの中空部に挿し込まれている。防振ばね156eは、固定板156bとアーム155との間で挟み込まれて保持されている。また、防振ばね156eの中空部の一端側にはリング156cが嵌め込まれている。

20

【0162】

なお、防振ばね156eは、鋼製の圧縮コイルばねをアクリル樹脂等の粘弾性体（ダンパー）に埋め込んだ円筒状の部材である。防振ばね156eの代わりにコイルばね単体を使用してもよい。また、コイルばねと直列又は並列に別体のダンパー（例えば防振ゴムやオイルダンパー）を設けてもよい。

【0163】

ボルト156aの頭部側には、2つのナット156hが取り付けられている。また、ボルト156aは、緩衝板156f及びワッシャ156gにそれぞれ設けられた貫通穴に通されている。緩衝板156fは、2つのナット156hで支持されたワッシャ156gとアーム155との間で挟み込まれて保持されている。緩衝板156fは、例えば防振ゴムやポリウレタン等の樹脂（すなわち、ゴム弾性体及び/又は粘弾性体）から形成されている。

30

【0164】

ボルト156aの締め付けにより、防振ばね156e及び緩衝板156fには予荷重（X軸方向の圧縮荷重）が与えられている。そして、可動ブロック158に固定された水平アクチュエータ100Aは、防振ばね156eと緩衝板156fの復元力が釣り合う中立位置に保持される。すなわち、ばね機構156も、中立ばね機構として機能する。

【0165】

X軸加振ユニット100が振動テーブル400をX軸方向に加振すると、その反力が支持ユニット150の可動ブロック158に伝わり、更にはばね機構156（防振ばね156e、緩衝板156f）及びアーム155を介して固定ブロック152に伝わる。防振ばね156e及び緩衝板156fは、その低い共振周波数よりも大きな周波数の振動を減衰するため、支持ユニット150によってX軸加振ユニット100から装置ベース500への振動ノイズの伝達が抑制される。

40

【0166】

なお、支持ユニット150に加わるX軸正方向の反力はX軸負方向の反力よりも小さい。そのため、本実施形態ではX軸正方向の反力を受ける弾性要素として、小型で安価な緩衝板156fが使用されている。X軸正方向の反力が大きくなる場合には、緩衝板156fに替えて防振ばねやコイルばねを使用してもよい。また、いずれの方向の反力も低い場合には、防振ばね156eに替えて緩衝板を使用してもよい。

50

【 0 1 6 7 】

上記の構成により、X軸加振ユニット100の固定部110は、リニアガイド154及びばね機構156を備えた支持ユニット150により、装置ベース500に対して駆動方向(X軸方向)に柔らかく弾性的に支持されるため、X軸加振ユニット100の駆動時に固定部110に加わるX軸方向の強い反力(加振力)は、装置ベース500に直接伝達されず、ばね機構156によって特に高周波成分が減衰されてから装置ベース500に伝達される。そのため、X軸加振ユニット100から振動テーブル400に伝達される振動ノイズが軽減する。

【 0 1 6 8 】

Y軸加振ユニット200も、水平アクチュエータ100Aと同一構成の水平アクチュエータ200Aを備えている。水平アクチュエータ200Aの固定部210も、一对の支持ユニット250(図2)によりY軸方向において装置ベース500に弾性的に支持されている。支持ユニット250は、X軸加振ユニット100の支持ユニット150と同一構成のものであるため、重複する細部の説明は省略する。

【 0 1 6 9 】

以上のように、各加振ユニット100、200、300を、弾性要素(空気ばね又はばね機構)を備えた支持ユニット150、250、350により弾性的に支持する構成を採用することにより、装置ベース500を介した加振ユニット間の特に高周波数成分の振動(ノイズ)の伝達が抑制されるため、より高精度の加振が可能になっている。

【 0 1 7 0 】

なお、Z軸加振ユニット300を支持する支持ユニット350には、供試体及び振動テーブル400を加振するための動荷重に加えて、Z軸加振ユニット300、振動テーブル400及び供試体の重量(静荷重)が加わる。そのため、比較的中小型で大荷重の支持が可能な空気ばね356が採用されている。一方、X軸加振ユニット100を支持する支持ユニット150及びY軸加振ユニット200を支持する支持ユニット250には、大きな静荷重が加わらないため、比較的中小型で構成が単純なコイルばねが使用されている。

【 0 1 7 1 】

本実施形態では、加振性能を大きく左右する2軸スライダ(YZスライダ160、ZXスライダ260、XYスライダ360)に低ウェーピングの8条列リニアガイドを使用することで、振動テーブル400の回転振動が抑制され、その結果、振動テーブル400上の振動状態(加速度)の均一性が著しく向上した。従来は基準点(振動テーブル上面中央)のみでしか加振性能の仕様を規定することができなかったが、この均一性の向上により、振動テーブル上の広い領域で加振性能の仕様の規定が可能になった。

【 0 1 7 2 】

更に、カウンターバランス部を設ける(あるいは、予め所定の不釣合いを振動テーブルに付与する)ことで、被加振部(振動テーブル及び2軸スライダの一部を含む)の重心を振動テーブルの中心に合わせることにより、振動テーブル上の振動(加速度)のばらつきを、1kHzまでの周波数領域で3dB以下、2kHzまでの周波数領域で略6dB以下まで低減することが可能になった。

【 0 1 7 3 】

< XYスライダの変形例 >

図34は、XYスライダの変形例360Aの構成を説明する平面図である。本変形例は、上述した第1実施形態(図12)のXYスライダ360から、中央に配置された第2の向きのクロスガイド364M2を取り除いたものである。本変形例のXYスライダ360Aにおいては、X軸リニアガイド364Xが振動テーブル400に取り付けられた第1の向きのクロスガイド364P(クロスガイド364M1、364L2、364R2、364M3)と、Y軸リニアガイド364Yが振動テーブル400に取り付けられた第2の向きのクロスガイド364S(クロスガイド364L1、364R1、364L3、364R3)とが同数になっている。

【 0 1 7 4 】

10

20

30

40

50

ここで、クロスガイド 3 6 4 の加振方向による挙動の違いについて説明する。図 3 5 (a) は第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P の正面図であり、(b) はその左側面図である。

【 0 1 7 5 】

図 3 5 (a) に示すように、振動テーブル 4 0 0 が X 軸方向に加振される場合、振動テーブル 4 0 0 に X 軸リニアガイド 3 6 4 X (X 軸レール 3 6 4 a / X) が取り付けられた第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P においては、振動テーブル 4 0 0 に固定された X 軸レール 3 6 4 a / X のみ (実線) が振動テーブル 4 0 0 と共に X 軸方向に加振され、クロスキャリッジ 3 6 4 c 及び Y 軸レール 3 6 4 a / Y (破線) は X 軸方向に加振されない。

【 0 1 7 6 】

他方、図 3 5 (b) に示すように、振動テーブル 4 0 0 が Y 軸方向に加振される場合、第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P においては、X 軸レール 3 6 4 a / X 及びクロスキャリッジ 3 6 4 c (実線) が振動テーブル 4 0 0 と共に Y 軸方向に加振され、Y 軸レール 3 6 4 a / Y のみ (破線) が Y 軸方向に加振されない。

【 0 1 7 7 】

また、振動テーブル 4 0 0 に Y 軸リニアガイド 3 6 4 Y (Y 軸レール 3 6 4 a / Y) が取り付けられた第 2 の向きのクロスガイド 3 6 4 S においては、上述した第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P とは逆に、振動テーブル 4 0 0 が X 軸方向に加振される場合、Y 軸レール 3 6 4 a / Y 及びクロスキャリッジ 3 6 4 c (実線) が振動テーブル 4 0 0 と共に X 軸方向に加振され、X 軸レール 3 6 4 a / X のみ (破線) が X 軸方向には加振されない。また、振動テーブル 4 0 0 が Y 軸方向に加振される場合には、Y 軸レール 3 6 4 a / Y のみ (実線) が振動テーブル 4 0 0 と共に Y 軸方向に加振され、クロスキャリッジ 3 6 4 c 及び X 軸レール 3 6 4 a / X (破線) は Y 軸方向に加振されない。

【 0 1 7 8 】

表 1 は、上述したクロスガイド 3 6 4 の取付方向及び振動テーブル 4 0 0 の加振方向とクロスガイド 3 6 4 の被加振部 (振動テーブル 4 0 0 と共に加振されるクロスガイド 3 6 4 の構成要素) との関係を整理したものである。

【 0 1 7 9 】

【 表 1 】

クロスガイドの取付方向	クロスガイドの被加振部	
	X軸方向加振	Y軸方向加振
第1の向きのクロスガイド	X軸レール	X軸レール クロスキャリッジ
第2の向きのクロスガイド	Y軸レール クロスキャリッジ	Y軸レール

【 0 1 8 0 】

このように、クロスガイド 3 6 4 は、加振方向と取り付ける向きによって、振動テーブル 4 0 0 と共に加振される部分が異なる。例えば、振動テーブル 4 0 0 が X 軸方向に加振される場合、上述したように、第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P においては、X 軸レール 3 6 4 a / X のみが X 軸方向に加振されるが、第 2 の向きのクロスガイド 3 6 4 S においては、Y 軸レール 3 6 4 a / Y 及びクロスキャリッジ 3 6 4 c が X 軸方向に加振される。そして、加振方向とクロスガイド 3 6 4 の被加振部の要素の数 (すなわち被加振部の質量) との関係は、第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P と第 2 の向きのクロスガイド 3 6 4 S とで真逆になる。

【 0 1 8 1 】

表 1 に示すように、一方の取付方向のクロスガイド 3 6 4 (例えば第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P) のみで X Y スライダを構成すると、振動テーブル 4 0 0 を X 軸方向に加振したときと Y 軸方向に加振したときとで、クロスガイド 3 6 4 の被加振部の質量が変化

10

20

30

40

50

する。これにより、加振装置 1 の加振性能に方向性が生じることになる。しかし、第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P と第 2 の向きのクロスガイド 3 6 4 S を同数（複数対）設けることにより、X 軸及び Y 軸方向のいずれの方向に加振した場合でも、クロスガイド 3 6 4 の被加振部の質量の合計が一定となるため、加振性能の方向性が軽減される。

【 0 1 8 2 】

従って、4 対の第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P と第 2 の向きのクロスガイド 3 6 4 S から構成された本変形例の X Y スライダ 3 6 0 A は、第 2 の向きのクロスガイド 3 6 4 S が第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P よりも一つ多い第 1 実施形態の X Y スライダ 3 6 0 よりも方向性が少なく、均一な加振を可能にする。

【 0 1 8 3 】

また、X Y スライダ 3 6 0 A に含まれるクロスガイド 3 6 4 の総数が第 1 実施形態の X Y スライダ 3 6 0 よりも少ないため、被加振部が軽量化し、より高い周波数の加振が可能になる。

【 0 1 8 4 】

また、二つの取付方向のクロスガイド 3 6 4 P、3 6 4 S を各方向に交互に（均一に）配置することにより、各クロスガイド 3 6 4 P、3 6 4 S の挙動の方向性や質量分布の偏りが効果的に打ち消されるため、振動テーブル 4 0 0 の各部をより均一に加振することが可能になる。

【 0 1 8 5 】

次に、振動テーブル 4 0 0 について説明する。

【 0 1 8 6 】

図 1 - 3 に示されるように、振動テーブル 4 0 0 の X 軸負方向側の側面（図 1 における右側面）の略全面が、スライド連結機構 1 6 0（具体的には、スライド連結機構 1 6 0 が備える複数のリニアガイドウェイ）及び X 軸加振ユニット 1 0 0 の可動部 1 2 0 によって、略均等に支持されている。これにより、振動テーブル 4 0 0 の X 軸負方向側の側面全体が X 軸加振ユニット 1 0 0 によって略均等な加振力を受けることができるように構成されている。

【 0 1 8 7 】

同様に、振動テーブル 4 0 0 の Y 軸負方向側の側面（図 2 における左側面）の略全面が、スライド連結機構 2 6 0 及び Y 軸加振ユニット 2 0 0 の可動部 2 2 0 によって、略均等に支持されている。これにより、振動テーブル 4 0 0 の Y 軸負方向側の側面全体が Y 軸加振ユニット 2 0 0 によって略均等な加振力を受けることができるように構成されている。

【 0 1 8 8 】

また、図 5 及び図 6 に示されるように、振動テーブル 4 0 0 の下面の略全面が、スライド連結機構 3 6 0（具体的には、スライド連結機構 3 6 0 が備える複数のリニアガイドウェイ）及び Z 軸加振ユニット 3 0 0 の可動部 3 2 0 によって、略均等に支持されている。これにより、振動テーブル 4 0 0 の下面全体が Z 軸加振ユニット 3 0 0 によって略均等な加振力を受けることができるように構成されている。

【 0 1 8 9 】

そのため、全被加振部（被加振物及び被加振物と共に加振される振動テーブル 4 0 0 等の加振装置 1 の一部）の重心が振動テーブル 4 0 0 の内部にある場合は、全被加振部に大きな力のモーメントを与えずに加振することができる。これにより、全被加振部に加わる力のモーメントに起因する不要な振動成分（振動ノイズ）の発生が低減され、より高精度の加振が可能になる。

【 0 1 9 0 】

図 3 6、図 3 7 及び図 3 8 は、それぞれ被加振物 T 1 が取り付けられた状態の本発明の実施形態に係る振動テーブル 4 0 0 の平面図、正面図及び左側面図である。本実施形態の振動テーブル 4 0 0 は、その内部に被加振物を収容した状態で被加振物の加振を行えるように構成されている。

【 0 1 9 1 】

10

20

30

40

50

図37及び図38に示されるように、振動テーブル400は、上面に開口を有する箱部400aと、箱部400aの開口を塞ぐ蓋部400bとを備える。なお、図36は、蓋部400bが取り外された状態を示す。蓋部400bは、箱部400a（より具体的には、後述の枠部420）の上面に設けられた雌螺子421と嵌合するボルト（不図示）によって、箱部400aに着脱可能に取り付けられている。振動テーブル400は、その重心が外形の略中央に位置するように構成されている。

【0192】

箱部400aは、底板450と、底板450の周縁から上方に垂直に突出した枠部（壁部）420を有する。図36に示されるように、底板450は、正方形の四隅が隅切りされた形状に形成されている。

10

【0193】

枠部420の内側には、枠部420の各壁面（隅切り部を除く）と平行な複数の中板430及び440が格子状に設けられている。中板430はY軸方向（図36における左右方向）に伸び、中板440はX軸方向（図36における上下方向）に伸びる。中板430及び440は、その一端（又は両端）において、底板450及び枠部420に接合されている。

【0194】

振動テーブル400の中央部には、中板（壁部）430及び440が形成されていない中空部である収容空間Sが設けられている。被加振物は、この収容空間Sに収容される。

【0195】

収容空間Sを仕切中板430a及び440aの延長方向（水平方向）中央部には、他の部分よりも厚い厚板部431及び441がそれぞれ設けられている。厚板部431及び441には、被加振物を固定するためのボルトBが通される貫通穴432及び442がそれぞれ形成されている。図36-38では、被加振物T1を振動テーブル400に取り付けるための取付部品460が、貫通穴432に通されたボルトBによって、左右両側の中板440aに固定されている。

20

【0196】

また、被加振物T1は、収容空間Sの略中央に配置されている。これにより、被加振物T1の重心が振動テーブル400の中央付近に位置することになる。

【0197】

本実施形態の振動テーブル400は、回転軸を有する被加振物（例えば、エンジン、モータ、ディファレンシャルギア等の動力伝達装置）を、回転軸を回転させた状態で加振を行うことが可能に構成されている。本実施形態の被加振物T1（及び後述する被加振物T2）は、ハイブリッド車用の発電機である。

30

【0198】

図37及び図38に示されるように、枠部420の左側面には、動力を伝達する駆動ベルトDBを通すための開口422が形成されている。また、左側の中板440にも、開口422と対向する位置に、駆動ベルトDBを通すための開口443が形成されている。本実施形態では、駆動ベルトDBは外部の駆動装置の駆動プーリ（不図示）と被加振物T1に取り付けられた従動プーリFPとに掛け渡されていて、加振中に外部から振動テーブル400内の被加振物T1に駆動力を与えて、被加振物T1を回転させながら被加振物T1を加振することができるようになっている。

40

【0199】

なお、駆動ベルトDBの代わりに（或いは駆動ベルトDBに加えて）、油圧や空圧を被加振物T1に供給するためパイプ、電力を供給するための電力ケーブル、外部の情報処理装置と被加振物（又は被加振物に取り付けられたセンサや計測装置）とを通信可能に接続する通信ケーブル等、被加振物T1と外部装置とを接続する他の種類の長物を開口422及び443に通すこともできる。また、開口422及び443の他に、これらのパイプやケーブルを通すための開口を振動テーブル400に設けてもよい。

【0200】

50

また、例えば被加振物がエンジンである場合には、駆動ベルトDBによって被加振物と外部の計測装置とを連結し、被加振物を加振しながら被加振物が発生する動力を計測することもできる。

【0201】

また、振動テーブル400の底板450には、被加振物を固定するための複数の雌螺子451が設けられている。

【0202】

図39は、底部に固定用の貫通穴を有する被加振物T2が取り付けられた状態の振動テーブル400の左側面図である。被加振物T2の固定用の貫通穴に通されたボルトBが雌螺子451に挟込まれることで、被加振物T2が振動テーブル400の底板450に固定されている。

10

【0203】

被加振物T2も、収容空間Sの略中央に取り付けられている。これにより、被加振物T2の重心が振動テーブル400の中央付近に位置することになる。なお、図39では、被加振物T2が振動テーブル400の底板450に直接固定されているが、被加振物T2の重心が低い場合には、スペーサー等を介して被加振物T2を底板450に固定して、被加振物T2の重心が振動テーブル400の中央に位置するようにしてもよい。また、被加振物の重心が高い場合には、例えば被加振物を蓋部400bに固定して、上下を逆にして被加振物T2を振動テーブル400に取り付けてもよい。

【0204】

20

以上に説明したように、本実施形態では、被加振物を振動テーブル400の内部に収容した状態で被加振物及び振動テーブル400が加振される。被加振物を振動テーブル400の内部に収容することにより、全被加振部の重心が必ず振動テーブル400内に配置されるようになるため、全被加振部の力のモーメントの発生を確実に低減することが可能になる。

【0205】

なお、上記の実施形態の振動テーブル400は、蓋付き箱形に構成されているが、被加振物を取り付けたときに全被加振部の重心が振動テーブル400内（より正確には、Z軸加振ユニット300の可動部320〔スライド連結機構360〕をZ軸方向に延長した空間と、X軸加振ユニット100の可動部122〔スライド連結機構160〕をX軸方向に延長した空間とが交わる領域内）に配置されるように構成されていればよい。言い換えれば、Z軸と垂直なXY平面上への全被加振部の重心の投影がXY平面上へのZ軸加振ユニット300の可動部320（スライド連結機構360）の投影に含まれ、また、X軸と垂直なYZ平面上への全被加振部の重心の投影がYZ平面上へのX軸加振ユニット100の可動部122（スライド連結機構160）の投影に含まれるように構成されていればよい。例えば、枠部420のスライド連結機構160が取り付けられる面と、Z軸加振ユニット300が取り付けられる底板450のみを有する構成としてもよい。

30

【0206】

また、本実施形態では、収容空間S（収容空間Sを仕切る中板430a及び440a）を振動テーブル400の中央に設けることにより、被加振物の重心を振動テーブル400の中央により確実に近づけることが可能になっている。

40

【0207】

<第2実施形態>

次に、本発明の第2実施形態について説明する。第2実施形態は、2軸スライダ（スライド連結機構）の構成のみが第1実施形態と相違する。以下の第2実施形態の説明では、主に第1実施形態との相違点を中心に説明し、第1実施形態と共通する構成については説明を省略する。

【0208】

図40は、本発明の第2実施形態に係る加振装置2000の振動テーブル2400付近を拡大した斜視図（一部透視図）である。なお、図40において、振動テーブル2400

50

は輪郭線のみを二点鎖線で示す。また、各カウンターバランス部の図示を省略する。

【0209】

本実施形態の各2軸スライダ（YZスライダ2160、ZXスライダ2260、XYスライダ2360）は、第1実施形態のXYスライダ360と同様に、格子状（3行3列）に等間隔で配置された9個のクロスガイド2164、2264、2364から構成される。クロスガイド2164、2264、2364は、第1実施形態のXYスライダ360のクロスガイド364と同一構成のものである。

【0210】

本実施形態のXYスライダ2360は、第1実施形態のXYスライダ360（図12）と同じ構成のものである。すなわち、X軸方向又はY軸方向において隣り合う任意の2つのクロスガイド2364が、互いに上下（Z軸方向）逆向きに配置されている。すなわち、X軸方向又はY軸方向において隣り合う任意の2つのクロスガイド2364の一方のX軸レール2364a/Xが可動部2320の先端面（天板2324b）に固定され、他方のX軸レール2364a/Xが振動テーブル2400の下面に固定されている。この配置により、個々のクロスガイド2364が有する質量分布や運動特性の方向性が平均化され、方向性（或いは、方向性の斑）の少ない加振性能が得られる。

10

【0211】

また、振動テーブル2400の下面の略全面が、均等に密に配置された9つのクロスガイド2364を介して一様に加振されるため、振動テーブル2400内での振動状態の斑が少ない、均一な加振が可能になる。

20

【0212】

本実施形態では、YZスライダ2160のクロスガイド2164及びZXスライダ2260のクロスガイド2264にも、第1実施形態と同じクロスガイド364（第1の向きのクロスガイド364P、第2の向きのクロスガイド364S）の配置構成が採用されている。

【0213】

具体的には、YZスライダ2160については、Y軸方向又はZ軸方向において隣り合う任意の2つのクロスガイド2164の一方のY軸レール2164a/Yは可動部2120の先端面（天板2124b）に固定され、他方のY軸レール2164a/Yは振動テーブル2400の側面に固定されている。

30

【0214】

また、ZXスライダ2260については、Z軸方向又はX軸方向において隣り合う任意の2つのクロスガイド2264の一方のX軸レール2264a/Xは可動部2220の先端面（天板2224b）に固定され、他方のX軸レール2264a/Xは振動テーブル2400の側面に固定されている。

【0215】

このように、直交3方向において、上述したXYスライダ2360と同じ構成により、振動テーブル2400の各面が均一に加振される。そのため、振動テーブル2400の全体に亘って、振動状態の斑が少ない、均一な加振が可能になる。また、直交3方向において、同じ構成の2軸スライダ（YZスライダ2160、ZXスライダ2260、XYスライダ2360）を介して振動テーブル2400を加振するため、より方向性の少ない加振が可能になる。

40

【0216】

なお、振動テーブル2400の高さが短い場合は、第2実施形態の3行3列に配列された9個のクロスガイド2164、2264のうち、最上段又は最下段の3個を除いた、2行3列に配列された6個のクロスガイド2164、2264によりYZスライダ2160及びZXスライダ2260を構成してもよい。この場合、変形例360A（図34）と同様に、同数の第1の向きのクロスガイドと第2の向きのクロスガイドが直交2方向において交互に配置された構成となるため、加振性能の方向性が軽減されると共に、振動テーブル2400の各部をより均一に加振することが可能になる。

50

< 第3実施形態 >

図41は、本発明の第3実施形態に係る加振装置3000の振動テーブル3400付近を拡大した斜視図（一部透視図）である。なお、図41において、振動テーブル3400は輪郭線のみを二点鎖線で示す。また、各カウンターバランス部の図示を省略する。

【0217】

本実施形態は、上述したXYスライダの変形例360A（図34）におけるクロスガイド364（第1の向きのクロスガイド364P、第2の向きのクロスガイド364S）の配置構成を、各2軸スライダ（YZスライダ3160、ZXスライダ3260、XYスライダ3360）に適用したものである。

【0218】

本実施形態のYZスライダ3160及びZXスライダ3260は、第1実施形態のYZスライダ160及びZXスライダ260よりも多くのクロスガイド3164及び3264により振動テーブル3400と各水平アクチュエータ3100A及び3200Aとを連結するため、振動テーブル3400をより均一に加振することができる。また、本実施形態のYZスライダ3160及びZXスライダ3260は、変形例360A（図34）と同様に、同数の第1の向きのクロスガイドと第2の向きのクロスガイドを交互に配置した構成を有しているため、加振性能の方向性が軽減されると共に、振動テーブル3400の各部をより均一に加振することが可能になる。

【0219】

< 第4実施形態 >

次に、本発明の第4実施形態について説明する。第4実施形態は、2軸スライダ（スライド連結機構）の構成のみにおいて、上述した第1実施形態と相違する。以下の第4実施形態の説明では、主に第1実施形態との相違点について説明し、第1実施形態と共通する構成については説明を省略する。

【0220】

図42、図43及び図44は、それぞれ本発明の第4実施形態に係る加振装置4000の振動テーブル4400付近を拡大した正面図、側面図及び平面図である。

【0221】

本実施形態は、2軸スライダ（YZスライダ4160、ZXスライダ4260、XYスライダ4360）のクロスガイド部4164、4264、4364において、リニアガイドの連結に連結プレート4164c、4264c、4364cを使用してクロスキャリッジ部の剛性を高めている点で、第1実施形態の構成と相違する。

【0222】

図43-25に示すように、本実施形態のYZスライダ4160は、3つのY軸リニアガイド4164/Y（Y軸レール4164a/Y及びY軸キャリッジ4164b/Y）と、5つのZ軸リニアガイド4164/Z（Z軸レール4164a/Z及びZ軸キャリッジ4164b/Z）と、全てのY軸リニアガイド4164/YとZ軸リニアガイド4164/Zを連結する連結プレート4164cを備えている。Y軸キャリッジ4164b/Y及びZ軸キャリッジ4164b/Zは、第1実施形態のA型キャリッジ364b/Aと同じく8条列型のキャリッジであるが、A型キャリッジ364b/Aとは異なり低アスペクト比化（短尺化）や、切欠部C1、C2の形成による軽量化は施されていない。なお、Y軸キャリッジ4164b/Y及びZ軸キャリッジ4164b/ZとしてA型キャリッジ364b/Aを使用してもよい。また、他の実施形態におけるA型キャリッジ364b/Aに替えてY軸キャリッジ4164b/Y（Z軸キャリッジ4164b/Z）と同じキャリッジを使用してもよい。

【0223】

図44に示すように、Y軸リニアガイド4164/Yは、1本のY軸レール4164a/Yと2個のY軸キャリッジ4164b/Yから構成される。

【0224】

図43に示すように、3つのY軸リニアガイド4164/YのY軸キャリッジ4164

10

20

30

40

50

b / Y は、Z 軸方向に略隙間無く並べられ、連結アーム 4 1 6 2 の先端面に固定されている。また、Y 軸レール 4 1 6 4 a / Y は連結プレート 4 1 6 4 c の一面に固定されている。なお、3 つの Y 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Y を Z 軸方向に間隔を空けて配置してもよい。この場合、YZ スライダ 4 1 6 0 に十分な剛性を与えるために、Y 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Y の間隔は、Y 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Y の幅 (Z 軸方向のサイズ) よりも狭くすることが望ましい。

【 0 2 2 5 】

質量の大きい Y 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Y を、2 軸 (X 軸、Y 軸) 方向に加振される連結プレート 4 1 6 4 c ではなく、X 軸方向のみに加振される連結アーム 4 1 6 2 に取り付けることにより、加振性能が高められている。

10

【 0 2 2 6 】

また、Y 軸レール 4 1 6 4 a / Y は、Y 軸方向において質量分布が均一であるため、Y 軸方向に加振したときに重量分布の変動によって生じる振動の発生が少ない。そのため、Y 軸方向に加振される連結プレート 4 1 6 4 c に Y 軸レール 4 1 6 4 a / Y を取り付けることにより、振動ノイズの発生が軽減する。

【 0 2 2 7 】

一方、Z 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Z は、1 本の Z 軸レール 4 1 6 4 a / Z と 1 個の Z 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Z から構成される。

【 0 2 2 8 】

図 4 4 に示すように、5 つの Z 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Z の Z 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Z は、Y 軸方向に略隙間無く並べられ、連結プレート 4 1 6 4 c の他面に固定されている。また、Z 軸レール 4 1 6 4 a / Z は振動テーブル 4 4 0 0 の側面に固定されている。なお、3 つの Z 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Z を Y 軸方向に間隔を空けて配置してもよい。この場合、YZ スライダ 4 1 6 0 に十分な剛性を与えるために、Z 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Z の間隔は、Z 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Z の幅 (Y 軸方向のサイズ) よりも狭くすることが望ましい。

20

【 0 2 2 9 】

本実施形態では、3 つの Y 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Y が Z 軸方向に隙間なく並べられている。同様に、3 つの Z 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Z も Y 軸方向に隙間なく並べられている。また、全ての Y 軸レール 4 1 6 4 a / Y と Z 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Z が、十分に剛性の高い連結プレート 4 1 6 4 c に直接固定されている。この構成により、YZ スライダ 4 1 6 0 (特に、連結プレート 4 1 6 4 c、Y 軸レール 4 1 6 4 a / Y 及び Z 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Z が一体に固定された連結部) の剛性が高められ、共振周波数が高くなっている。

30

【 0 2 3 0 】

質量の大きい Z 軸キャリッジ 4 1 6 4 b / Z を、3 軸 (X 軸、Y 軸、Z 軸) 方向に加振される振動テーブル 4 4 0 0 ではなく、2 軸 (X 軸、Y 軸) 方向のみに加振される連結プレート 4 1 6 4 c に取り付けることにより、加振性能が高められている。

【 0 2 3 1 】

また、Z 軸方向に加振される振動テーブル 4 4 0 0 に Z 軸レール 4 1 6 4 a / Z を取り付けることにより、振動ノイズの発生が軽減する。

40

【 0 2 3 2 】

またに、連結プレート 4 1 6 4 c の一面には、略全面に亘って複数の Y 軸レール 4 1 6 4 a / Y が敷き詰められている。そして、連結プレート 4 1 6 4 c の一面を均等に覆う複数の Y 軸レール 4 1 6 4 a / Y を介して、連結プレート 4 1 6 4 c が X 軸方向に加振される。そのため、連結プレート 4 1 6 4 c 全体が X 軸方向に一樣に加振される。また、各 Y 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Y から伝達された加振力が剛性の高い連結プレート 4 1 6 4 c によって平均化され、より均一な加振力として Z 軸リニアガイド 4 1 6 4 / Z を介して振動テーブル 4 4 0 0 に伝達される。

【 0 2 3 3 】

50

同様に、振動テーブル4400の、X軸加振ユニットの可動部120と対向する側面には、略全面に亘って複数のZ軸レール4164a/Zが敷き詰められている。そして、この側面を均等に覆う複数のZ軸レール4164a/Zを介して、振動テーブル4400がX軸方向に加振される。そのため、振動テーブル4400全体がX軸方向に均等に加振され、振動テーブル4400内での加速度や加加加速度の斑が少ない均一な加振が可能になる。

【0234】

ZXスライダ4260は、上述したYZスライダ4160と同一構成であるため、詳しい説明は省略する。

【0235】

図42-24に示すように、本実施形態のXYスライダ4360は、3つのX軸リニアガイド4364/X(X軸レール4364a/X及びX軸キャリッジ4364b/X)と、3つのY軸リニアガイド4364/Y(Y軸レール4364a/Y及びY軸キャリッジ4364b/Y)と、全てのX軸リニアガイド4364/XとY軸リニアガイド4364/Yを連結する連結プレート4364cを備えている。X軸キャリッジ4364b/X及びY軸キャリッジ4364b/Yは、Y軸キャリッジ4164b/Y及びZ軸キャリッジ4164b/Zと同一構成のものである。

【0236】

図43に示すように、X軸リニアガイド4364/Xは、1本のX軸レール4364a/Xと2個のX軸キャリッジ4364b/Xから構成される。

【0237】

また、図42に示すように、3つのX軸リニアガイド4364/XのX軸レール4364a/Xは、Y軸方向に等間隔で並べられ、Z軸加振ユニット300の可動部320の先端面に固定されている。X軸キャリッジ4364b/Xは連結プレート4364cの下面に固定されている。

【0238】

Y軸リニアガイド4364/Yも、1本のY軸レール4364a/Yと2個のY軸キャリッジ4364b/Yから構成される。

【0239】

また、図43に示すように、3つのY軸リニアガイド4364/YのY軸レール4364a/Yは、X軸方向に等間隔で並べられ、連結プレート4364cの上面に固定されている。Y軸キャリッジ4364a/Zは振動テーブル4400の下面に固定されている。

【0240】

本実施形態では、3つのX軸リニアガイド4364/Xは、X軸キャリッジ4364b/Xの幅(Y軸方向のサイズ)よりも狭い間隔で配置されている。同様に、3つのY軸リニアガイド4364/Yも、Y軸キャリッジ4364b/Yの幅(X軸方向のサイズ)よりも狭い間隔で配置されている。また、全てのX軸キャリッジ4364b/XとY軸レール4364a/Yが、十分に剛性の高い連結プレート4364cに直接固定されている。この構成により、XYスライダ4360(特に、連結プレート4364c、X軸キャリッジ4364b/X及びY軸レール4364a/Yが一体に固定された連結部)の剛性が高められ、共振周波数が高くなっている。

【0241】

なお、本実施形態では、XYスライダ4360のX軸リニアガイド4364/X及びY軸リニアガイド4364/Yが間隔を空けて並べられているが、YZスライダ4160のY軸リニアガイド4164/YやZ軸リニアガイド4164/Zと同様に、X軸リニアガイド4364/X及びY軸リニアガイド4364/Yを略隙間無く並べる構成としてもよい。

【0242】

また、本実施形態の連結プレート4364c、4264c、4364cは、ステンレス鋼から形成されているが、より高い周波数の加振性能が必要な場合は、ジュラルミン等の

10

20

30

40

50

アルミニウム合金やマグネシウム合金、炭素繊維複合材料等の軽量の構造材料を使用して２軸スライダのイナーシャを低減させてもよい。

【 0 2 4 3 】

< 第 5 実施形態 >

次に、本発明の第 5 実施形態について説明する。図 4 5 は、本発明の第 5 実施形態に係る加振装置 5 0 0 0 の外観図である。第 5 実施形態は、２軸スライダ（スライド連結機構）、可動部支持機構及び固定部支持機構において使用されるリニアガイドの構成並びに２軸スライダの構成が第 1 実施形態と相違する。以下の第 5 実施形態の説明では、主に第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、第 1 実施形態と共通する構成については説明を省略する。

10

【 0 2 4 4 】

まず、Ｙ軸加振ユニット 5 2 0 0 と振動テーブル 5 4 0 0 とを連結するＺＸスライダ 5 2 6 0 の構成について説明する。

【 0 2 4 5 】

図 4 6 は、ＺＸスライダ 5 2 6 0 が取り付けられたＹ軸加振ユニット 5 2 0 0 の先端部を示した図である。ＺＸスライダ 5 2 6 0 は、２つのＺ軸レール 5 2 6 4 a / Z、４つのＺ軸キャリッジ 5 2 6 4 b / Z、４つのＸ軸キャリッジ 5 2 6 4 b / X、２つのＸ軸レール 5 2 6 4 a / X 及び連結アーム 5 2 6 2 を備えている。連結アーム 5 2 6 2 は、延長フレーム 5 2 2 4 の天板 5 2 2 4 b に固定された支持部材である。

【 0 2 4 6 】

Ｚ軸方向に延びる２つのＺ軸レール 5 2 6 4 a / Z は、Ｘ軸方向に所定の間隔を空けて配置され、連結アーム 5 2 6 2 に固定されている。各Ｚ軸レール 5 2 6 4 a / Z には、これとスライド可能に係合する２つのＺ軸キャリッジ 5 2 6 4 b / Z が装着されている。

20

【 0 2 4 7 】

また、Ｘ軸方向に延びる２つのＸ軸レール 5 2 6 4 a / X は、Ｚ軸方向に所定の間隔を空けて配置され、振動テーブル 5 4 0 0（図 4 5）のＹ軸加振ユニット 5 2 0 0 と対向する側面に取り付けられている。各Ｘ軸レール 5 2 6 4 a / X には、これとスライド可能に係合する２つのＸ軸キャリッジ 5 2 6 4 b / X が装着されている。

【 0 2 4 8 】

各Ｚ軸キャリッジ 5 2 6 4 b / Z は、Ｘ軸キャリッジ 5 2 6 4 b / X の一つとキャリッジ上面同士を重ね合わせた状態でボルトによって一体に固定され、クロスキャリッジ 5 2 6 4 を形成している。

30

【 0 2 4 9 】

一对のＺ軸レール 5 2 6 4 a / Z と一对のＸ軸レール 5 2 6 4 a / X は、井桁状に配置され、互いに交差する位置においてクロスキャリッジ 5 2 6 4 によって連結されている。その結果、Ｙ軸加振ユニット 5 2 0 0 の可動部 5 2 2 0 と振動テーブル 5 4 0 0 とが、Ｘ軸及びＺ軸方向の両方向にスライド可能に連結されている。

【 0 2 5 0 】

上述したように、本実施形態のＺＸスライダ 5 2 6 0 は、それぞれ幅方向（Ｚ軸レール 5 2 6 4 a / Z においてはＸ軸方向、Ｘ軸レール 5 2 6 4 a / X においてはＺ軸方向）に間隔を空けて配置された各一对のＺ軸レール 5 2 6 4 a / Z 及びＸ軸レール 5 2 6 4 a / X を備えている。この構成により、各レールの延長軸周りの力のモーメントに対するＺＸスライダ 5 2 6 0 の剛性が向上し、より高い周波数での加振が可能になる。

40

【 0 2 5 1 】

各レール対の配置間隔は、可能な限り広い方が有利である。本実施形態では、Ｘ軸レール 5 2 6 4 a / X の間隔は、振動テーブル 5 4 0 0 の高さによって制限されている。そのため、一方のＸ軸レール 5 2 6 4 a / X は振動テーブル 5 4 0 0 の側面の上部に取り付けられ、他方のＸ軸レール 5 2 6 4 a / X は振動テーブル 5 4 0 0 の側面の上部に取り付けられている。また、Ｚ軸レール 5 2 6 4 a / Z の配置間隔は、Ｙ軸加振ユニット 5 2 0 0 の可動部 5 2 2 0（天板 5 2 2 4 b）の直径によって制限されている。そのため、図

50

46に示されるように、一对のZ軸レール5264a/Zの間隔は、各Z軸レール5264a/Zが可動部5220の外周面をY軸方向に延長した円柱面から外に出ない範囲で最大の間隔となっている。

【0252】

次に、Z軸レール5264a/ZとZ軸キャリッジ5264b/Zから構成されるZ軸リニアガイド5264/Zの内部構造について説明する。なお、加振装置5000で使用される他のリニアガイドも、Z軸リニアガイド5264/Zと同一の構造を有している。

【0253】

図48は、ZXスライダ5260のZ軸レール5264a/Z及びZ軸キャリッジ5264b/Zを、Z軸レール5264a/Zの長軸と垂直な一面(すなわちXY平面)で切断した縦断面図である。また、図49は、図48のI-I矢視図である。本実施形態のZ軸リニアガイド5264/Zは、転動体としてローラーを使用したものである。転動体としてローラーを使用することにより、高い位置精度と剛性が得られる。なお、転動体としてボールを使用したりニアガイドを使用することもできる。

10

【0254】

図48におけるZ軸レール5264a/ZのY軸方向両側面には、それぞれZ軸方向に伸びる、断面が台形状の溝GRが形成されている。また、図48及び図49に示すように、Z軸キャリッジ5264b/ZにはZ軸レール5264a/Zを囲むように、Z軸方向に伸びる溝GRが形成されている。溝GRの各側壁には、Z軸レール5264a/Zの溝GRに沿って延びる突出部PRが形成されている。突出部PRには、Z軸レール5264a/Zの台形状の溝GRの各斜面と平行な、一对の斜面が形成されている。一对の溝GRの合計4つの斜面と、対向する突出部PRの斜面との間には、それぞれ隙間が形成されている。この4つの隙間には、それぞれ多数のステンレス鋼製のローラーRE'(RE'h、RE'i、RE'j、RE'k)と、ローラーを回転自在に保持して連結する樹脂製のリテーナRT'が収納されている。ローラーRE'は、それぞれ溝GRの斜面と突出部PRの斜面とで挟み込まれて保持されている。

20

【0255】

また、Z軸キャリッジ5264b/Zの内部には、上記4つの隙間とそれぞれ平行に4つの無負荷経路[ローラー退避路]Q'(Q'a、Q'b、Q'c、Q'd)が形成されている。図49に示すように、無負荷経路Q'a、Q'b、Q'c、Q'dは、その両端において、対応する隙間と連絡する。これにより、ローラーRE'(RE'h、RE'i、RE'j、RE'k)及びリテーナRT'を循環させるための循環路が形成される。

30

【0256】

Z軸キャリッジ5264b/ZがZ軸レール5264a/Zに対してZ軸方向に移動すると、多数のローラーRE'h、RE'i、RE'j、RE'kがリテーナRT'と共に各循環経路CP'a、CP'b、CP'c、CP'd内をそれぞれ循環する。このため、Z軸方向とは異なる方向に大荷重が加わっていたとしても、多数のローラーでキャリッジを支持可能であると共にローラーRE'(RE'h、RE'i、RE'j、RE'k)が転がることによりZ軸方向の抵抗が小さく保たれるので、Z軸キャリッジ5264b/ZをZ軸レール5264a/Zに対してスムーズに移動させることができる。

40

【0257】

図49に示すように、複数のローラー(例えばローラーRE'k)を連結するリテーナRT'は、ローラーRE'k間に配置される複数のスペーサー部RTs'と、複数のスペーサー部RTs'を連結する一对のバンドRTb'を有している。各スペーサー部RTs'の両端が一对のバンドRTb'にそれぞれ固定され、梯子状のリテーナRT'が形成される。隣接する一对のスペーサー部RTs'と一对のバンドRTb'とで囲まれた空間に各ローラーRE'kが保持される。

【0258】

また、ローラーRE'k間に硬度の低いリテーナRT'のスペーサー部RTs'を介在させることで、ローラーRE'k同士が非常に狭い接触面積で直接接触することによって

50

生じる油膜切れや摩耗が防止され、摩擦抵抗が少なくなり、寿命も大幅に延びる。

【 0 2 5 9 】

このように X 軸方向及び Z 軸方向に非常に小さな摩擦抵抗でスライド可能な Z X スライダ 5 2 6 0 を介して Y 軸加振ユニット 5 2 0 0 と振動テーブル 5 4 0 0 とを連結することにより、X 軸加振ユニット 5 1 0 0 及び Z 軸加振ユニット 5 3 0 0 により振動テーブル 5 4 0 0 を X 軸方向及び Z 軸方向に振動させても、振動テーブル 5 4 0 0 の X 軸方向及び Z 軸方向の振動成分は Y 軸加振ユニット 5 2 0 0 へ伝達されることがない。また、Y 軸加振ユニット 5 2 0 0 の駆動によって、振動テーブル 5 4 0 0 が Z 軸方向及び X 軸方向の力をほとんど受けることが無いため、クロストークの少ない加振が可能になる。

【 0 2 6 0 】

また、X 軸加振ユニット 5 1 0 0 と振動テーブル 5 4 0 0 とを連結する Y Z スライダ 5 1 6 0 も、Z X スライダ 5 2 6 0 と同一の構成を有しており、振動テーブル 5 4 0 0 は、X 軸加振ユニット 5 1 0 0 の可動部に対して Y 軸方向及び Z 軸方向にスライド可能に連結されている。従って、やはり Y 軸加振ユニット 5 2 0 0 及び Z 軸加振ユニット 5 3 0 0 により振動テーブル 5 4 0 0 を Y 軸方向及び Z 軸方向に振動させても、振動テーブル 5 4 0 0 の Y 軸方向及び Z 軸方向の振動成分は X 軸加振ユニット 5 1 0 0 へ伝達されることがない。また、X 軸加振ユニット 5 1 0 0 の駆動によって、振動テーブル 5 4 0 0 が Y 軸方向及び Z 軸方向の力をほとんど受けることが無いため、クロストークの少ない加振が可能になる。

【 0 2 6 1 】

次に、Z 軸加振ユニット 5 3 0 0 と振動テーブル 5 4 0 0 とを連結する X Y スライダ 5 3 6 0 の構成について説明する。

【 0 2 6 2 】

図 4 7 は、X Y スライダ 5 3 6 0 近傍の側面図である。図 5 0 は、Z 軸加振ユニット 5 3 0 0 の可動部 5 3 2 0 の天板 5 3 2 4 b b に取り付けられる X Y スライダ 5 3 6 0 のレールの配置を説明する図である。

【 0 2 6 3 】

X Y スライダ 5 3 6 0 は、4 つのクロスガイド 3 6 4 を備えている。このクロスガイド 3 6 4 (3 6 4 P、3 6 4 S) は、1 つの X 軸リニアガイド 5 3 6 4 / X (5 3 6 4 / X L、5 3 6 4 / X H) と 1 つの Y 軸リニアガイド 5 3 6 4 / Y (5 3 6 4 / Y H、5 3 6 4 / Y L) を備えている。X 軸リニアガイド 5 3 6 4 / X は、1 つの X 軸レール 5 3 6 4 a / X (5 3 6 4 a / X L、5 3 6 4 a / X H) と 1 つの X 軸キャリッジ 5 3 6 4 b / X (5 3 6 4 b / X L、5 3 6 4 b / X H) から構成され、Y 軸リニアガイド 5 3 6 4 / Y は、1 つの Y 軸レール 5 3 6 4 a / Y (5 3 6 4 a / Y H、5 3 6 4 a / Y L) と 1 つの Y 軸キャリッジ 5 3 6 4 b / Y (5 3 6 4 b / Y H、5 3 6 4 b / Y L) から構成される。

【 0 2 6 4 】

X 軸キャリッジ 5 3 6 4 b / X と Y 軸キャリッジ 5 3 6 4 b / Y は、キャリッジ上面同士を重ね合わせた状態でボルトによって一体に固定され、クロスキャリッジを形成している。このクロスキャリッジは、上述した Z X スライダ 5 2 6 0 のクロスキャリッジ 5 2 6 4 と同一構成のものである。

【 0 2 6 5 】

クロスガイド 3 6 4 には、X 軸リニアガイド 5 3 6 4 / X が振動テーブル 5 4 0 0 に取り付けられた第 1 の向きのクロスガイド 3 6 4 P と、Y 軸リニアガイド 5 3 6 4 / Y が振動テーブル 5 4 0 0 に取り付けられた第 2 の向きのクロスガイド 3 6 4 S とが含まれる。クロスガイド 3 6 4 P の X 軸レール 5 3 6 4 a / X L は天板 5 3 2 4 b の上面に取り付けられ、Y 軸レール 5 3 6 4 a / Y H は振動テーブル 5 4 0 0 の下面に取り付けられている。また、クロスガイド 3 6 4 S の Y 軸レール 5 3 6 4 a / Y L は天板 5 3 2 4 b の上面に取り付けられ、X 軸レール 5 3 6 4 a / X H は振動テーブル 5 4 0 0 の下面に取り付けられている。すなわち、各クロスガイド 3 6 4 は、Z 軸加振ユニット 5 3 0 0 の可動部 5 3

10

20

30

40

50

20と振動テーブル5400とを、X軸方向及びY軸方向にスライド可能に連結している。

【0266】

なお、天板5324bに取り付けられたX軸リニアガイド5364/X及びY軸リニアガイド5364/Yを、それぞれ低位X軸リニアガイド5364/XL(低位X軸レール5364a/XL、低位X軸キャリッジ5364b/XL)及び低位Y軸リニアガイド5364/YL(低位Y軸レール5364a/YL、低位Y軸キャリッジ5364b/YL)と称する。また、振動テーブル5400に取り付けられたX軸リニアガイド5364/X及びY軸リニアガイド5364/Yを、それぞれ高位X軸リニアガイド5364/XH(高位X軸レール5364a/XH、高位X軸キャリッジ5364b/XH)及び高位Y軸リニアガイド5364/YH(高位Y軸レール5364a/YH、高位Y軸キャリッジ5364b/YH)と称する。

10

【0267】

図50に示されるように、4つのクロスガイド364は、略正方形の天板5324bの上面の四隅に取り付けられている。また、クロスガイド364Pと364Sは、Z軸加振ユニット5300の中心軸Axの周りに交互に配置されている。すなわち、クロスガイド364P及び364Sの配置は、中心軸Axの周りに4回対称の回転対称性を有している。このクロスガイド5364の配置により、XYスライダ5360の中心軸Ax回りの質量分布が平準化されている。その結果、XYスライダ5360のX軸方向とY軸方向の振動に対する応答特性がより均質なものとなっている。

20

【0268】

また、X軸キャリッジ5364b/XとY軸キャリッジ5364b/Yとは、取付穴の種類(X軸キャリッジ5364b/Xには4つの貫通穴が形成され、Y軸キャリッジ5364b/Yには4つの螺子穴が形成されている。)を除いて、互いに同一の構造を有している。また、X軸レール5364a/XとY軸レール5364a/Yも同一のものである。各リニアガイド(X軸リニアガイド5364/X、Y軸リニアガイド5364/Y)は、X軸方向とY軸方向とで質量分布が異なる。しかしながら、これら2つを連結してクロスガイド5364とすることにより、X軸方向とY軸方向の質量分布が平準化される。この構成によっても、XYスライダ5360のX軸方向とY軸方向の振動に対する応答特性がより均質なものとなっている。

30

【0269】

また、各加振ユニット(X軸加振ユニット5100、Y軸加振ユニット5200、Z軸加振ユニット5300)は、それぞれ一对の支持ユニット5150、210、310(固定部支持機構)を介して装置ベース5500に取り付けられている。支持ユニット5150、210、310は、各加振ユニット5100、5200、5300を弾性的に支持する弾性要素(コイルばね又は空気ばね)を備えた緩衝装置であり、各加振ユニットの加振方向における振動(特に高い周波数成分)の装置ベース5500への伝達を抑制する。支持ユニット5150、5250、5350を介して各加振ユニット5100、5200、5300を装置ベース5500に取り付けることにより、加振ユニット5100、5200、5300間の振動の伝達が抑制され、クロストークの少ない、より高精度の3軸加振が可能になる。

40

【0270】

<第6実施形態>

次に本発明の第6実施形態について説明する。第6実施形態は、各動電型アクチュエータ(X軸方向及びY軸方向の各水平アクチュエータ、鉛直アクチュエータ6300A)の可動部のフレーム構造において第1実施形態と相違する。以下の第6実施形態の説明では、主に第1実施形態との相違点を中心に説明し、第1実施形態と共通する構成については説明を省略する。

【0271】

図51は、本発明の第6実施形態に係る動電型3軸加振装置6000(Z軸加振ユニッ

50

ト 6 3 0 0、振動テーブル 4 0 0、X 軸カウンターバランス部 6 1 0、Y 軸カウンターバランス部 6 2 0 及び Z 軸カウンターバランス部 6 3 0 のみを示す。)の正面図である。第 6 実施形態の鉛直アクチュエータ 6 3 0 0 A の可動部 6 3 2 0 は、フレーム 6 3 2 2 を備えている。

【 0 2 7 2 】

図 5 2 及び図 5 3 は、それぞれフレーム 6 3 2 2 の外観を示した斜視図である。図 5 2 はフレーム 6 3 2 2 を正面側（振動テーブル 4 0 0 側）から見た図であり、図 5 3 は背面側から見た図である。フレーム 6 3 2 2 は、全体として、駆動方向（Z 軸方向）に延びる中心軸を有する略円柱状に形成されている。

【 0 2 7 3 】

本実施形態のフレーム 6 3 2 2 は、アルミニウム合金の鋳造及び切削加工により形成されたものであるが、フレーム 6 3 2 2 の材質及び加工方法はこれに限定されない。フレーム 6 3 2 2 は、例えばステンレス鋼、チタン合金又はマグネシウム合金等のその他の金属材料、若しくは、ガラス繊維強化樹脂（GFRP）や炭素繊維強化樹脂（CFRP）等の樹脂材料から形成してもよい。また、フレーム 6 3 2 2 は、溶接、溶着、接着、射出成形、3次元造形（3Dプリンター）等により一体に形成してもよい。

【 0 2 7 4 】

フレーム 6 3 2 2 は、駆動方向に延びる略円筒状の主柱 6 3 2 2 a と、主柱 6 3 2 2 a の外周面から放射状に延びる 8 枚の板状のリブ 6 3 2 2 b（6 3 2 2 b 1、6 3 2 2 b 2）と、正面側において 8 枚のリブ 6 3 2 2 b の先端部を連結する円環状の正面周縁部 6 3 2 2 c と、背面側において 8 枚のリブ 6 3 2 2 b の先端部を連結する略円環状の背面周縁部 6 3 2 2 d と、正面側において 8 枚のリブ 6 3 2 2 b の半径方向（放射方向）における中間部分を連結する円筒状の中間連結部 6 3 2 2 e を備えている。なお、主柱 6 3 2 2 a には、下方からロッド 3 2 6（図 8 参照）が嵌入する。

【 0 2 7 5 】

正面周縁部 6 3 2 2 c、背面周縁部 6 3 2 2 d 及び中間連結部 6 3 2 2 e により 8 枚のリブ 6 3 2 2 b を環状に連結する構成を採用することにより、フレーム 6 3 2 2 の高い剛性と軽量化の両立が可能になっている。また、中間連結部 6 3 2 2 e を設けることにより、ベースプレート 6 3 6 2 をより均一に（面的に）支持することが可能になっている。

【 0 2 7 6 】

フレーム 6 3 2 2（具体的には、リブ 6 3 2 2 b、正面周縁部 6 3 2 2 c 及び中間連結部 6 3 2 2 e）の正面には、ベースプレート 6 3 6 2 を取り付けるための複数のタップ穴 6 3 2 2 f t が形成されている。また、フレーム 6 3 2 2（具体的には、背面周縁部 6 3 2 2 d）の背面には、駆動コイル 3 2 1 を取り付けるための複数のねじ穴 6 3 2 2 r t が形成されている。

【 0 2 7 7 】

8 枚のリブ 6 3 2 2 b のうちの 4 枚のリブ 6 3 2 2 b 1 の端面（外周面）には可動部支持機構 3 4 0 の Z 軸レール 3 4 4 a を取り付けるためのねじ穴 6 3 2 2 b t の列が形成されている。また、残りの 4 枚のリブ 6 3 2 2 b 2 の端面にはコイル取付部 3 2 2 d と嵌合する嵌合溝 6 3 2 2 b g が形成されている。リブ 6 3 2 2 b 1 とリブ 6 3 2 2 b 2 とは、周方向に交互に配置されている。

【 0 2 7 8 】

正面周縁部 6 3 2 2 c の外周の正面側には、可動部支持機構 3 4 0 の Z 軸キャリッジ 3 4 4 b と干渉しないように、リブ 6 3 2 2 b の近傍に凹部 6 3 2 2 c a が形成されている。凹部 6 3 2 2 c a の底面には、穴 6 3 2 2 b t の列に沿って、Z 軸レール 3 4 4 a を水平方向に位置決めするための段差 6 3 2 2 c b が形成されている。リブ 6 3 2 2 b 1 の端面も、Z 軸レール 3 4 4 a が取り付けられる正面側の部分が、凹部 6 3 2 2 c a の底面と同じ深さまで主柱 6 3 2 2 a 側にオフセットして、レール取付面 6 3 2 2 b r が形成されている。また、リブ 6 3 2 2 b 1 の端面には、レール取付面 6 3 2 2 b r の境界において、Z 軸レール 3 4 4 a を鉛直方向に位置決めするための段差 6 3 2 2 b s が形成されてい

10

20

30

40

50

る。

【0279】

上述した第1実施形態の可動部320は、メインフレーム322に延長フレーム324をボルトで連結した、2分割形(two-piece)のフレームを備えている。2分割形のフレーム構造を採用することにより、メインフレーム322のみを有する標準仕様の動電型アクチュエータに可動部支持機構340を追加装備することが可能となっている。

【0280】

しかしながら、2分割形のフレーム構造は、2つの部分(メインフレーム322、延長フレーム324)を連結する構造が必要になり、また、フレーム全体の構造を最適化することができない(すなわち、既存のメインフレーム322を前提とした設計にせざるを得ない)ため、フレームの重量を大きくし、重量バランスを崩していた。その結果、2分割形のフレーム構造が、動電型アクチュエータの加振性能を制限する一因となっていた。また、2分割形のフレームは、2つの部分を連結する工程を必要とし、組み立てに多くの工数を要した。

10

【0281】

本実施形態においては、第1実施形態のメインフレーム322及び拡張フレーム324に換えて、一体形(one-piece)のフレーム6322が使用される。この構成により、フレームの複数部分を連結するための構造を設ける必要がなくなり、また、設計の自由度を高めることができるため、より軽量で、より剛性が高く、より重量バランスが良好で、より少ない工数で組み立て可能なフレーム6322が実現する。

20

【0282】

なお、第1実施形態では、拡張フレーム324にXYスライダ360を取り付けるための天板322b(本実施形態のベースプレート6362に相当する。)が一体に形成されているが、本実施形態では、フレーム6322とベースプレート6362が別部材となっている。これにより、XYスライダ360の設計に応じてフレーム6322の設計を変える必要がなくなり、フレーム6322の設計及び製造の管理が容易になる。また、第1実施形態と同様に、フレーム6322とベースプレート6362とを一体化してもよい。

【0283】

なお、本実施形態のフレーム6322は、第1～第5実施形態に適用することもできる。

30

【0284】

以上が本発明の例示的な実施形態の説明である。本発明の実施形態は、上記に説明したものに限定されず、特許請求の範囲の記載により表現された技術的思想の範囲内において様々な変形が可能である。例えば本明細書中に例示的に明示された実施形態等の構成及び/又は本明細書中の記載から当業者に自明な実施形態等の構成を適宜組み合わせた構成も本願の実施形態に含まれる。

【0285】

上記の各実施形態は、本発明を動電型の加振装置に適用した例であるが、本発明はこの構成に限定されず、他の方式の加振ユニット(例えば、回転電動機や油圧回転モータと送りねじ機構等の回転-直動変換機構とを組み合わせた直動加振ユニット、リニアモータ等)を使用した加振装置にも本発明を適用することができる。例えば、特許文献1に記載のサーボモータとボールねじ機構を使用した加振ユニットに本発明を適用することができる。

40

【0286】

また、上記の各実施形態は、動電型3軸同時加振装置に本発明を適用した例であるが、当然ながら本発明は1軸又は2軸の加振装置にも適用することができる。

【0287】

また、第1実施形態では、支持ユニット350(固定部支持機構)の振動を減衰する緩衝手段として空気ばねが使用されているが、防振効果のある他の種類のばね(例えば鋼製のコイルばね)や弾性体(防振ゴム等)を使用する構成とすることもできる。

50

【0288】

スライド連結機構の各軸のリニアガイドの数（1本、2本、3本、4本、5本以上）や配置は、振動テーブルの大きさ、供試体の大きさや質量分布、試験条件（周波数、振幅）等に応じて、適宜選択される。また、第1実施形態のXYスライダ360や、第3実施形態のYZスライダ2160、ZXスライダ2260、XYスライダ2360が備えるクロスガイドの数も、9つに限らず、振動テーブルの大きさや供試体の荷重、試験条件等に応じて、3つ以上の任意の数量とすることができる。

【0289】

上記の各実施形態（但し、第5実施形態を除く。）では、リニアガイドの転動体としてボールRE（玉）が使用されているが、ローラ（ころ）を転動体として使用してもよい。

10

【0290】

上記の各実施形態（但し、第5実施形態を除く。）では、リニアガイドに8条の負荷経路が形成されているが、5条、6条、7条又は9条以上の多数の負荷経路を設けてもよい。また、上記の各実施形態（但し、第5実施形態を除く。）のリニアガイドには、近接して形成された経路対が複数対設けられているが、必ずしも経路対を基本単位として負荷経路を設ける必要はない。複数の負荷経路を均等な間隔で設けてもよいし、あるいは全く不均等な間隔で設けてもよい。なお、従来の4条の負荷経路を有する4条列型のリニアガイドを使用することも可能である。

【0291】

上記の各実施形態では、鉛直方向をZ軸方向と称しているが、鉛直方向をY軸方向又はX軸方向と称しても良い。また、各加振方向を水平方向又は垂直方向とすることが望ましいが、3軸の加振方向の2軸以上を非垂直且つ非水平な方向となるように加振装置を配置してもよい。

20

【0292】

上記の各実施形態では、クロスガイドが直交2方向に等間隔に正方格子状に配置されているが、六方格子状に配置（正三角形配列）してもよい。例えば、XYスライダにおいて、XY平面上の正三角形の周期構造（単位格子）の重心に第1の向きのクロスガイドを配置し、該正三角形の各頂点に第2の向きのクロスガイドを配置する構成とすることができる。

【0293】

上記の第1実施形態では、被加振物を振動テーブル400内に出し入れするための開口が箱部400aの上面に形成されているが、この開口を箱部の側面に設けてもよい。

30

【0294】

上記の第1実施形態では、振動テーブル400に被加振物を取り付けるための雌螺子421や貫通穴432、442が設けられているが、被加振物を取り付けるための他の種類の取付構造（例えば、固定バンド、クランプ、電磁石等）を振動テーブル400に設けてもよい。

【0295】

上記の第1実施形態は、本発明を動電型の加振装置に適用した例であるが、本発明はこの構成に限定されず、他の種類の加振ユニット（例えば、回転電動機や油圧回転モータと送りねじ機構等の回転-直動変換機構とを組み合わせた直動加振ユニット、リニアモータ、油圧シリンダ等）を使用した加振装置にも本発明を適用することができる。

40

【0296】

また、上記の第1実施形態の加振装置1は、2軸加振装置に本発明を適用した例であるが、本発明は1軸及び3軸加振装置に適用することもできる。

【0297】

上記の各実施形態は、本発明を動電型の加振装置に適用した例であるが、本発明はこの構成に限定されず、他の方式の加振ユニット（例えば、回転電動機や油圧回転モータと送りねじ機構等の回転-直動変換機構とを組み合わせた直動加振ユニット、リニアモータ等）を使用した加振装置にも本発明を適用することができる。例えば、国際公開第2009

50

／ 0 1 1 4 3 3 号に記載のサーボモータとボールねじ機構を使用した加振ユニットに本発明を適用することができる。

【 0 2 9 8 】

また、上記の各実施形態は、動電型 3 軸同時加振装置に本発明を適用した例であるが、当然ながら本発明は 1 軸又は 2 軸の加振装置にも適用することができる。

【 0 2 9 9 】

また、第 1 実施形態では、支持ユニット 3 5 0 (固定部支持機構) の振動を減衰する緩衝手段として空気ばねが使用されているが、防振効果のある他の種類のばね (例えば鋼製のコイルばね) や弾性体 (防振ゴム等) を使用する構成とすることもできる。

【 0 3 0 0 】

スライド連結機構の各軸のリニアガイドの数 (1 本、 2 本、 3 本、 4 本、 5 本以上) や配置は、振動テーブルの大きさ、供試体の大きさや質量分布、試験条件 (周波数、振幅) 等に応じて、適宜選択される。また、第 1 実施形態の X Y スライダ 3 6 0 や、第 3 実施形態の Y Z スライダ 2 1 6 0、 Z X スライダ 2 2 6 0、 X Y スライダ 2 3 6 0 が備えるクロスガイドの数も、 9 つに限らず、振動テーブルの大きさや供試体の荷重、試験条件等に応じて、 3 つ以上の任意の数量とすることができる。

【 0 3 0 1 】

上記の実施形態では、リニアガイドの転動体としてボール R E (玉) が使用されているが、ローラ (ころ) を転動体として使用してもよい。

【 0 3 0 2 】

上記の実施形態では、リニアガイドに 8 条の負荷経路が形成されているが、 5 条、 6 条、 7 条又は 9 条以上の多数の負荷経路を設けてもよい。また、上記の実施形態のリニアガイドには、近接して形成された経路対が複数対設けられているが、必ずしも経路対を基本単位として負荷経路を設ける必要はない。複数の負荷経路を均等な間隔で設けてもよいし、あるいは全く不均等な間隔で設けてもよい。

【 0 3 0 3 】

また、上述した各実施形態の構成要素の一部を除いたもの、上述した各実施形態を複数組み合わせたもの、及び、上述した二以上の実施形態の構成要素の一部又は全部を組み合わせたものも、本発明の範囲に含まれる。

【 0 3 0 4 】

< 概括 >

以下、上述した本発明の実施形態を概括する。

【 0 3 0 5 】

本発明の一実施形態に係る加振装置は、振動テーブルと、振動テーブルを X 軸方向に加振する X 軸加振ユニットと、振動テーブルと X 軸加振ユニットとを X 軸方向と垂直な Y 軸方向にスライド可能に連結する Y 軸リニアガイドウェイと、を備え、 Y 軸リニアガイドウェイが、 Y 軸方向に延びる X 軸レールと、 Y 軸レールと Y 軸方向にスライド可能に係合する Y 軸キャリッジと、を備え、 Y 軸キャリッジと Y 軸レールとの間に、それぞれ複数の転動体が転動する 5 条以上の複数の負荷経路が形成されたものである。

【 0 3 0 6 】

この構成によれば、リニアガイドの剛性及び運動精度が向上し、振動ノイズを低減させることが可能になる。

【 0 3 0 7 】

上記の加振装置において、負荷経路が 8 条形成された構成としてもよい。

【 0 3 0 8 】

この構成によれば、リニアガイドの剛性及び運動精度が顕著に向上し、例えば 2 k H z 以上の周波数領域での多軸同時加振を可能にする程度にまで振動ノイズを低減させることが可能になる。

【 0 3 0 9 】

上記の加振装置において、 Y 軸キャリッジに、複数の負荷経路のそれぞれに対応する複

10

20

30

40

50

数の無負荷経路が形成され、負荷経路と無負荷経路の各対が両端同士で連結して、転動体が循環する循環経路が形成された構成としてもよい。

【0310】

上記の加振装置において、Y軸リニアガイドウェイが、転動体と共に循環経路に沿って循環し、該転動体同士の接触を防ぐ、リテーナを備えた構成としてもよい。

【0311】

上記の加振装置において、Y軸キャリッジの長さLが、70 - 160 mmの範囲内である構成としてもよい。

【0312】

上記の加振装置において、Y軸キャリッジの長さLが、90 - 140 mmの範囲内である構成としてもよい。

10

【0313】

上記の加振装置において、Y軸キャリッジの長さLが、110 - 130 mmの範囲内である構成としてもよい。

【0314】

上記の加振装置において、Y軸キャリッジの長さLと幅Wとの比であるアスペクト比L/Wが、0.65 - 1.5の範囲内である構成としてもよい。

【0315】

上記の加振装置において、Y軸キャリッジの長さLと幅Wとの比であるアスペクト比L/Wが、0.7 - 1.4の範囲内である構成としてもよい。

20

【0316】

上記の加振装置において、Y軸キャリッジの長さLと幅Wとの比であるアスペクト比L/Wが、0.75 - 1.35の範囲内である構成としてもよい。

【0317】

上記の加振装置において、転動体がボール又はローラーである構成としてもよい。

【0318】

上記の加振装置において、テーブルと、振動テーブルを第1の方向に加振する第1アクチュエータと、振動テーブルと第1アクチュエータとを、第1の方向と直交する第2の方向にスライド可能に連結する第1スライド連結機構と、第1スライド連結機構を振動テーブルに取り付けることによって生じる被加振部のアンバランスを補償する、振動テーブルに取り付けられたカウンターバランス部と、を備えた構成としてもよい。

30

【0319】

また、本発明の別の一実施形態に係る加振装置は、振動テーブルと、振動テーブルを第1の方向に加振する第1アクチュエータと、振動テーブルと第1アクチュエータとを、第1の方向と直交する第2の方向にスライド可能に連結する第1スライド連結機構と、第1スライド連結機構を振動テーブルに取り付けることによって生じる被加振部のアンバランスを補償する、振動テーブルに取り付けられたカウンターバランス部と、を備えたものである。

【0320】

従来の加振装置は、振動テーブルの基準点（例えば振動テーブルの上面中央）に対しては十分に高い精度の加振が可能であるが、振動テーブル上の位置によって振動の状態にばらつきがあるため、基準点以外の位置では加振精度が不十分なものとなっていた。この構成によれば、振動テーブル上の振動のばらつきを低減することが可能になり、基準点以外の位置においても十分な加振精度を得ることが可能になる。

40

【0321】

上記の加振装置において、カウンターバランス部が、錘部と、緩衝部と、を有し、錘部が、緩衝部を介して、振動テーブルに固定された構成としてもよい。

【0322】

上記の加振装置において、錘部が平板状である構成としてもよい。

【0323】

50

上記の加振装置において、緩衝部がシート状である構成としてもよい。

【0324】

上記の加振装置において、緩衝部が、エラストマーを含む構成としてもよい。

【0325】

上記の加振装置において、緩衝部が、錘部を振動テーブルから離して支持するスペーサーを有する構成としてもよい。

【0326】

上記の加振装置において、カウンターバランス部が、錘部を固定する複数のボルトを備え、複数のボルトによる固定間隔が100mm以下である構成としてもよい。

【0327】

上記の加振装置において、固定間隔が50mm以下である構成としてもよい。

【0328】

上記の加振装置において、緩衝部が、第1錘部と、振動テーブルと第1錘部とで挟まれた第1緩衝部と、第2錘部と、第1錘部と第2錘部とで挟まれた第2緩衝部と、を有する構成としてもよい。

【0329】

上記の加振装置において、緩衝部が、第3錘部と、第2錘部と第3錘部とで挟まれた第3緩衝部と、を有する構成としてもよい。

【0330】

上記の加振装置において、第1錘部が第1ボルトによって振動テーブルに固定され、第2錘部が第2ボルトによって第1錘部に固定され、第3錘部が第3ボルトによって第2錘部に固定された構成としてもよい。

【0331】

また、本発明の更に別の一実施形態に係る加振装置は、第X軸、Y軸及びZ軸方向が互いに直交する3軸方向であり、振動テーブルと、振動テーブルをX軸方向に加振するX軸アクチュエータと、振動テーブルをY軸方向に加振するY軸アクチュエータと、振動テーブルをZ軸方向に加振するZ軸アクチュエータと、振動テーブルとX軸アクチュエータとを、Y軸及びZ軸方向にスライド可能に連結するYZスライド連結機構と、振動テーブルとY軸アクチュエータとを、Z軸及びX軸方向にスライド可能に連結するZXスライド連結機構と、振動テーブルとZ軸アクチュエータとを、X軸及びY軸方向にスライド可能に連結するXYスライド連結機構と、YZスライド連結機構を振動テーブルに取り付けることによって生じる被加振部のアンバランスを補償する、振動テーブルに取り付けられたX軸カウンターバランス部と、ZXスライド連結機構を振動テーブルに取り付けることによって生じる被加振部のアンバランスを補償する、振動テーブルに取り付けられたY軸カウンターバランス部と、XYスライド連結機構を振動テーブルに取り付けることによって生じる被加振部のアンバランスを補償する、振動テーブルに取り付けられたZ軸カウンターバランス部と、を備えた構成としてもよい。

【0332】

この構成によれば、加振によって被加振物に加わる力のモーメントを抑制することにより、より高精度の加振が可能になる。

【0333】

上記の加振装置において、XYスライド連結機構が、X軸方向の直線運動を案内するX軸リニアガイドウェイと、Y軸方向の直線運動を案内するY軸リニアガイドウェイと、を備え、振動テーブルとZ軸アクチュエータとが、X軸リニアガイドウェイ及びY軸リニアガイドウェイを介して連結された構成としてもよい。

【0334】

上記の加振装置において、X軸リニアガイドウェイが、X軸方向に延びるX軸レールと、X軸レールとX軸方向にスライド可能に係合するX軸キャリッジと、を備え、Y軸リニアガイドウェイが、Y軸方向に延びるY軸レールと、Y軸レールとY軸方向にスライド可能に係合するY軸キャリッジと、を備えた構成としてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 3 3 5 】

上記の加振装置において、X軸キャリッジとX軸レールとの間に、それぞれ複数の転動体が転動する8条の負荷経路が形成された構成としてもよい。

【 0 3 3 6 】

上記の加振装置において、Y軸キャリッジがX軸キャリッジに固定されることにより、X軸リニアガイドウェイとY軸リニアガイドウェイが連結してクロスガイドを形成し、クロスガイドのX軸レール及びY軸レールの一方が振動テーブルに取り付けられ、他方がX軸アクチュエータに取り付けられた構成としてもよい。

【 0 3 3 7 】

上記の加振装置において、XYスライド連結機構が、複数のクロスガイドを備え、複数のクロスガイドが、X軸レールが振動テーブルに取り付けられた第1の向きのクロスガイドと、Y軸レールが振動テーブルに取り付けられた第2の向きのクロスガイドと、を含む構成としてもよい。

10

【 0 3 3 8 】

上記の加振装置において、XYスライド連結機構が、複数の第1の向きのクロスガイドと、複数の第2の向きのクロスガイドと、を備え、複数の第1の向きのクロスガイドと複数の第2の向きのクロスガイドが、X軸方向及びY軸方向の2方向において交互に配置された構成としてもよい。

【 0 3 3 9 】

上記の加振装置において、XYスライド連結機構が、第1の向きのクロスガイドと第2の向きのクロスガイドを同数備えた構成としてもよい。

20

【 0 3 4 0 】

上記の加振装置において、複数のクロスガイドが、X軸方向及びY軸方向に格子状に配置された構成としてもよい。

【 0 3 4 1 】

また、本発明の更に別の一実施形態に係る加振装置は、振動テーブルと、振動テーブルを第1の方向に加振する第1アクチュエータと、振動テーブルと第1アクチュエータとを、第1の方向と直交する第2の方向にスライド可能に連結する第1スライド連結機構と、を備え、振動テーブルには予め所定のアンバランスが付与されていて、第1スライド連結機構の一部及び振動テーブルを含む被加振部の重心が振動テーブルの中心に一致するものである。

30

【 0 3 4 2 】

この構成によれば、被加振物を振動テーブルに取り付けたときに被加振部（被加振物、振動テーブル、第1スライド連結機構の振動テーブルに固定された部分を含む）の重心が振動テーブルの中心に一致するため、加振によって被加振部に加わる力のモーメントが抑制され、より高精度の加振が可能になる。

【 0 3 4 3 】

また、本発明の更に別の一実施形態に係る加振装置は、振動テーブルと、振動テーブルを水平方向であるX軸方向に駆動するX軸アクチュエータと、振動テーブルとX軸アクチュエータとを、X軸方向に垂直な水平方向であるY軸方向にスライド可能に連結する第1連結機構と、を備え、第1連結機構が、鉛直方向であるZ軸方向に間隔を空けて配置された、振動テーブルとX軸アクチュエータとをY軸方向にスライド可能に連結する、一対のリニアガイドウェイを備えたものである。

40

【 0 3 4 4 】

この構成によれば、振動テーブルとX軸アクチュエータとをY軸方向にスライド可能に連結する第1連結機構がZ軸方向に間隔を空けて配置された一対のリニアガイドウェイを備えるため、第1連結機構のY軸まわりの剛性が高まり、加振性能が向上する。

【 0 3 4 5 】

上記の加振装置において、振動テーブルをY軸方向に駆動するY軸アクチュエータと、振動テーブルとY軸アクチュエータとを、X軸方向にスライド可能に連結する第2連結機

50

構と、を備え、第2連結機構が、Z軸方向に間隔を空けて配置された、振動テーブルとY軸アクチュエータとをX軸方向にスライド可能に連結する、一対のリニアガイドウェイを備えた構成としてもよい。

【0346】

上記の加振装置において、振動テーブルをZ軸方向に駆動するZ軸アクチュエータを備え、第1連結機構が、振動テーブルとX軸アクチュエータとを、Y軸方向及びZ軸方向の両方向にスライド可能に連結し、第2連結機構が、振動テーブルとY軸アクチュエータとを、X軸方向及びZ軸方向の両方向にスライド可能に連結する構成としてもよい。

【0347】

上記の加振装置において、リニアガイドウェイが、スライド方向に延びるレールと、レール上を走行するキャリッジと、を備えた構成としてもよい。

10

【0348】

上記の加振装置において、レールが振動テーブルに取り付けられた構成としてもよい。

【0349】

キャリッジよりもレールの方が長く、また、アクチュエータの可動部の幅よりも振動テーブルの幅の方が大きい。そのため、この構成によれば、第1連結機構のY軸方向（並びに第2連結機構のX軸方向）のスライド幅をより広げることが可能になる。また、振動テーブルは、高さ（Z軸方向）よりも幅（X軸方向、Y軸方向）の方が大きいため、連結機構が水平方向（Y軸、X軸）及び鉛直方向（Z軸）のリニアガイドウェイを備える場合、この構成（水平方向のリニアガイドウェイのレールの方を振動テーブルに取り付けること）により、連結機構のY軸方向のスライド幅をより広げることが可能になる。

20

【0350】

上記の加振装置において、一対のリニアガイドウェイの一方が振動テーブルの上端部に取り付けられ、一対のリニアガイドウェイの他方が振動テーブルの下端部に取り付けられた構成としてもよい。

【0351】

この構成によれば、第1連結機構のY軸まわりの（並びに第2連結機構のX軸まわりの剛）力のモーメントに対する剛性がより高まり、加振性能がより向上する。

【0352】

本発明の更に別の一実施形態に係る加振装置は、被加振物に取り付けられる振動テーブルと、振動テーブルを所定方向に加振する加振ユニットと、を備え、被加振物を振動テーブルに取り付けたときに、所定方向と垂直な投影平面上への被加振物の重心の投影が、該投影平面上への加振ユニットの可動部の投影に含まれるように構成されたものである。

30

【0353】

この構成によれば、加振によって被加振物に加わる力のモーメントを抑制することにより、より高精度の加振を可能にする。

【0354】

上記の加振装置において、振動テーブルの重心の投影平面上への投影が、該投影平面上への加振ユニットの可動部の投影に含まれる構成としてもよい。

【0355】

上記の加振装置において、振動テーブルの重心が、該振動テーブルの外形の中心に配置された構成としてもよい。

40

【0356】

上記の加振装置において、振動テーブルが、被加振物を収容可能な中空部を有する構成としてもよい。

【0357】

上記の加振装置において、振動テーブルが、略箱形である構成としてもよい。

【0358】

上記の加振装置において、振動テーブルが、被加振物を中空部に出し入れするための第1開口が一面に形成された箱部と、第1開口を塞ぐ蓋部と、を備えた構成としてもよい。

50

【0359】

上記の加振装置において、中空部が、振動テーブルの中央部に形成された構成としてもよい。

【0360】

上記の加振装置において、振動テーブルが、底板と、底板の縁部から垂直に突出した枠部と、を有する構成としてもよい。

【0361】

上記の加振装置において、枠部の内部に配置された、底板から垂直に突出した格子状の中板を有する構成としてもよい。

【0362】

上記の加振装置において、中板が、底板及び枠部に接合された構成としてもよい。

【0363】

上記の加振装置において、振動テーブルが、被加振物と外部装置とを接続する長物が通される第2開口を有する構成としてもよい。

【0364】

上記の加振装置において、加振ユニットが、振動テーブルを水平方向であるX軸方向に加振するX軸加振ユニットを含む構成としてもよい。

【0365】

上記の加振装置において、加振ユニットが、振動テーブルをX軸方向に垂直な水平方向であるY軸方向に加振するY軸加振ユニットを含む構成としてもよい。

【0366】

上記の加振装置において、加振ユニットが、振動テーブルを鉛直方向であるZ軸方向に加振するZ軸加振ユニットを含む構成としてもよい。

【0367】

上記の加振装置において、振動テーブルが、底板を有し、底板に被加振物を取り付けるための取付構造が設けられた構成としてもよい。

【0368】

上記の加振装置において、振動テーブルが、壁部を有し、壁部に被加振物を取り付けるための取付構造が設けられた構成としてもよい。

【0369】

また、本発明の更に別の一実施形態に係る動電型アクチュエータは、略筒状の固定部と、その少なくとも一部が固定部の中空部内に収容され、固定部の軸線方向に往復駆動される可動部と、可動部を軸線方向に往復移動可能に側方から支持する可動部支持機構と、を備え、可動部が、その先端側の部分が可動部支持機構により支持されたフレームと、フレームの後端に取り付けられたコイルと、を備え、フレームが一体に形成されたものである。

【0370】

この構成によれば、複数のフレームを連結するための構造が不要であるため、可動部の軽量化が可能になり、これにより、より高い周波数で往復駆動することが可能になる。

【0371】

上記の動電型アクチュエータにおいて、可動部支持機構がリニアガイドウェイを備え、リニアガイドウェイが固定部の軸線方向に伸びるレールと、レール上を転動可能な複数の転動体と、転動体を介してレール上を移動可能なキャリッジと、を備え、レールとキャリッジとの間に、それぞれ複数の転動体が転動する8条の負荷経路が形成された構成としてもよい。

【0372】

この構成によれば、リニアガイドの剛性及び運動精度が向上し、振動ノイズを低減させることが可能になる。

【0373】

また、本発明の更に別の一実施形態に係る動電型アクチュエータは、略筒状の固定部と

10

20

30

40

50

、その少なくとも一部が固定部の中空部内に収容され、固定部の軸線方向に往復駆動される可動部と、可動部を軸線方向に往復移動可能に側方から支持する可動部支持機構と、を備え、可動部支持機構がリニアガイドウェイを備え、リニアガイドウェイが固定部の軸線方向に延びるレールと、レール上を転動可能な複数の転動体と、転動体を介してレール上を移動可能なキャリッジと、を備え、レールとキャリッジとの間に、それぞれ複数の転動体が転動する8条の負荷経路が形成されたものである。

【0374】

この構成によれば、リニアガイドの剛性及び運動精度が向上し、振動ノイズを低減させることが可能になる。

【0375】

上記の動電型アクチュエータにおいて、可動部が、その先端側の部分が可動部支持機構により支持されたフレームと、フレームの後端に取り付けられたコイルと、を備え、フレームが一体に形成された構成としてもよい。

【0376】

上記の動電型アクチュエータにおいて、レールが可動部に固定され、ランナーブロックが固定部に固定された構成としてもよい。

【0377】

上記の動電型アクチュエータにおいて、可動部支持機構が、中空部外に突出した部分において、可動部のフレームを支持する構成としてもよい。

【0378】

上記の動電型アクチュエータにおいて、可動部支持機構が、固定部の軸線方向における一端面とリニアガイドウェイとを連結するガイドフレームを備えた構成としてもよい。

【0379】

上記の動電型アクチュエータにおいて、複数のリニアガイドウェイを備え、複数のリニアガイドウェイが、可動部の軸線の周囲に、周方向に等間隔に配置された構成としてもよい。

【0380】

上記の動電型アクチュエータにおいて、2対の可動部支持機構を備え、可動部は2対の可動部支持機構により直交2方向において両側から挟み込まれた構成としてもよい。

【0381】

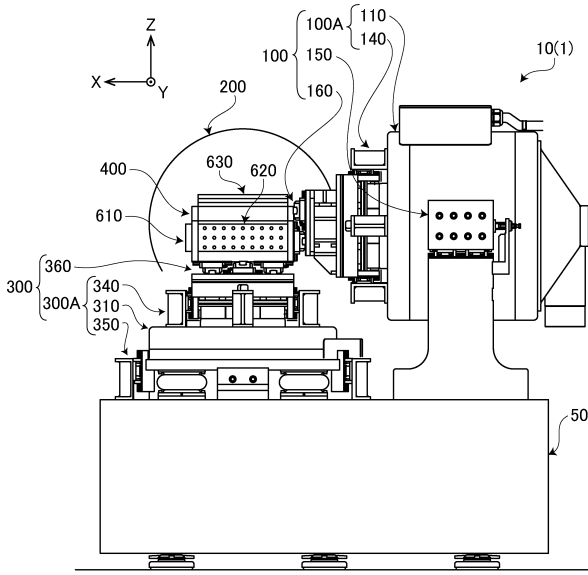
また、上記の動電型アクチュエータと、動電型アクチュエータの可動部に連結された振動テーブルと、を備えた加振装置が提供される。

10

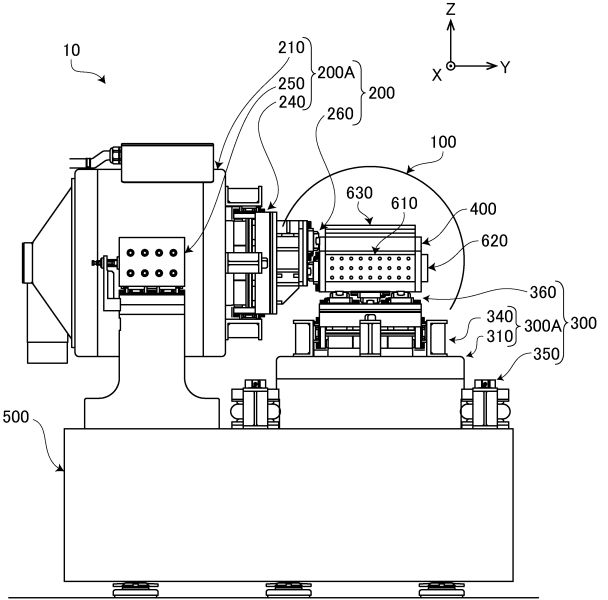
20

30

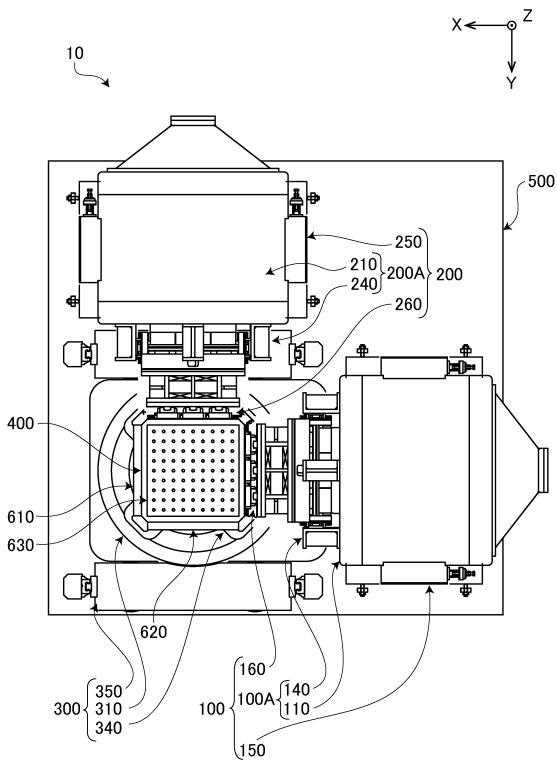
【図1】



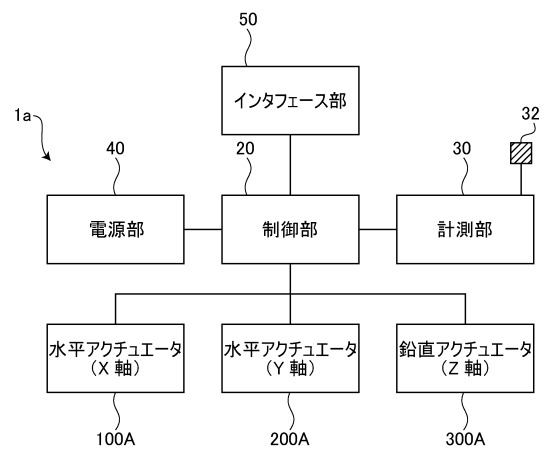
【図2】



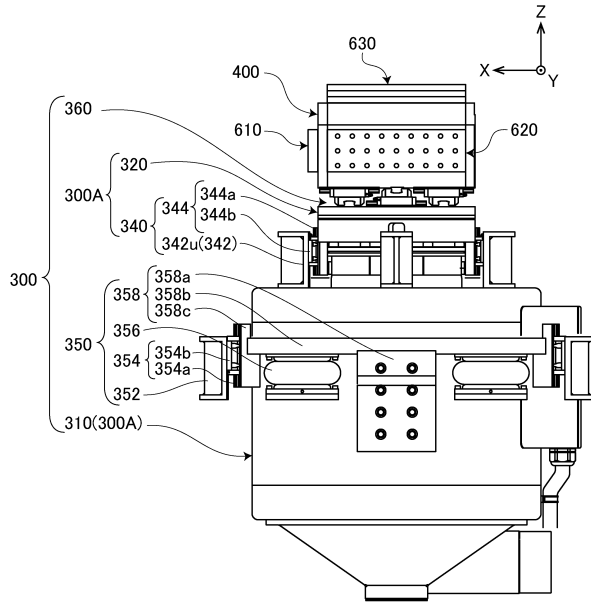
【図3】



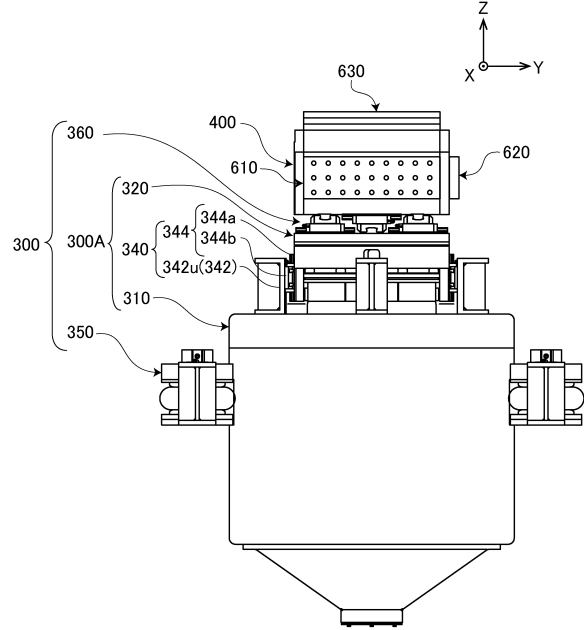
【図4】



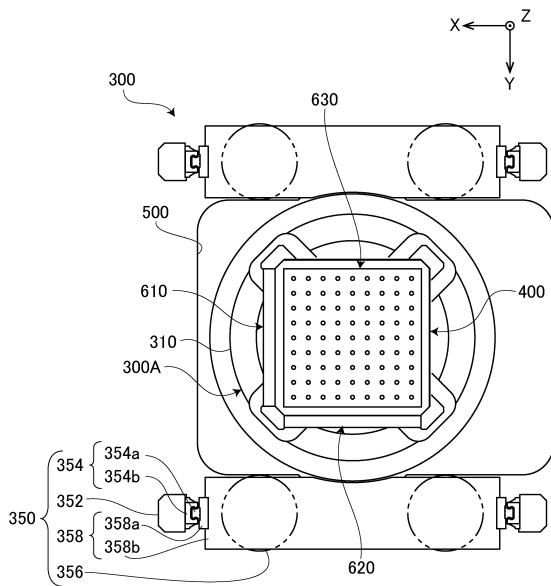
【図5】



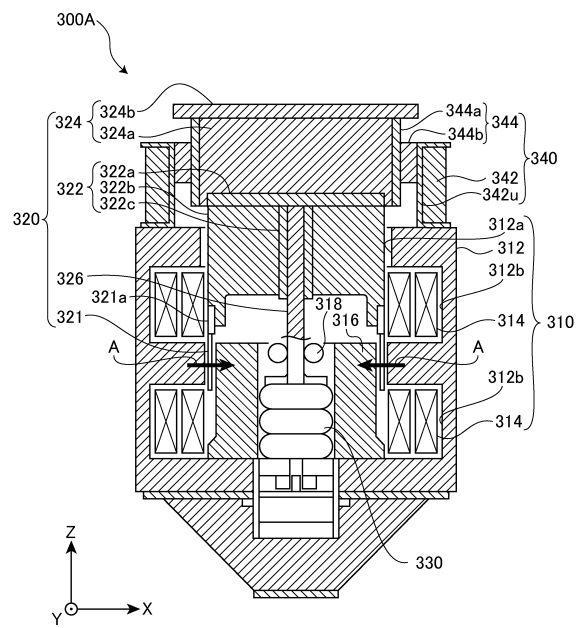
【図6】



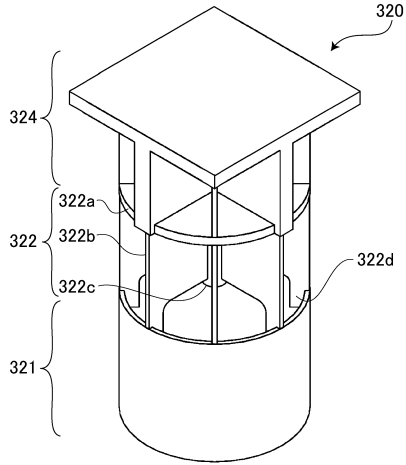
【図7】



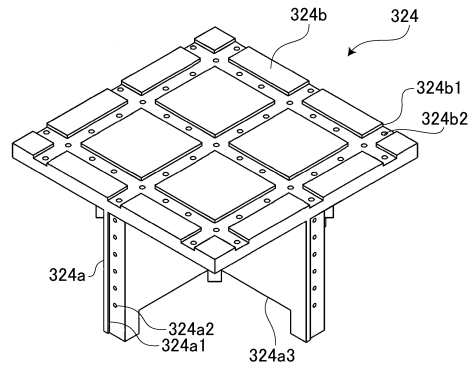
【図8】



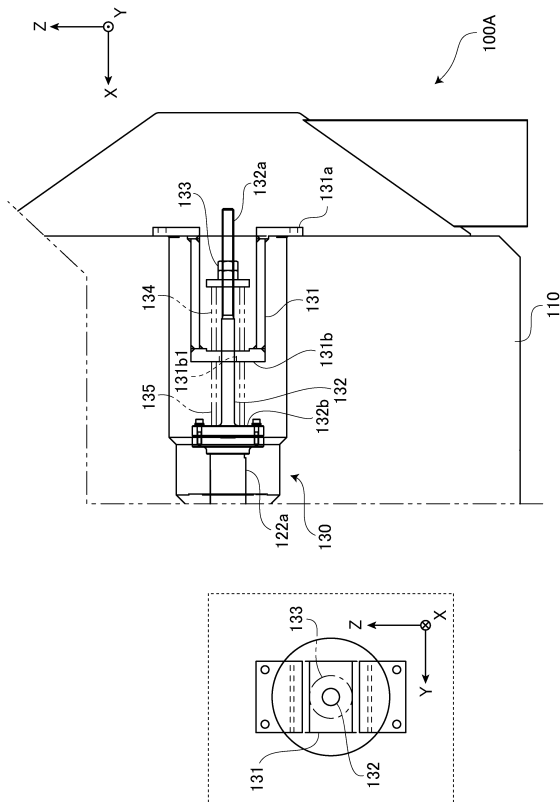
【図 9】



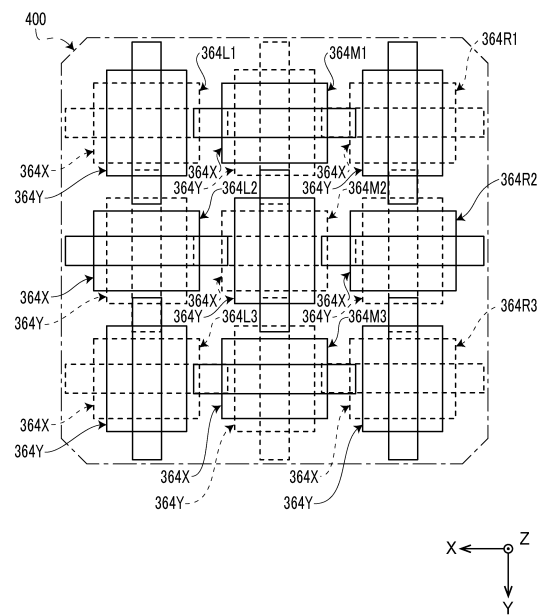
【図 10】



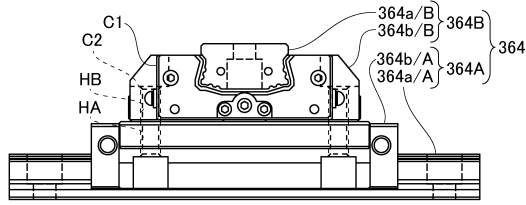
【図 11】



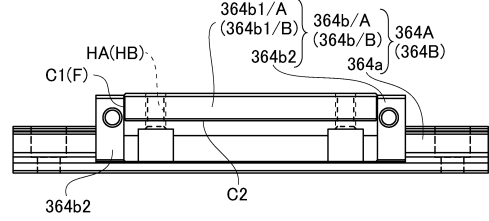
【図 12】



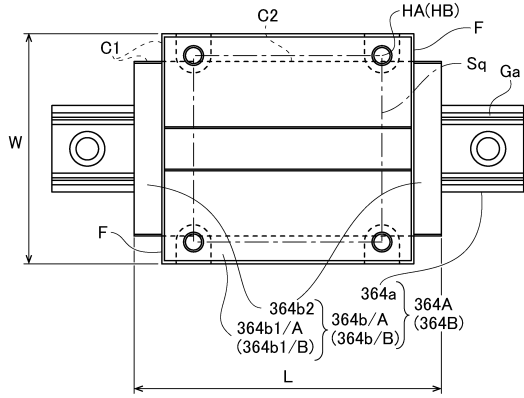
【図13】



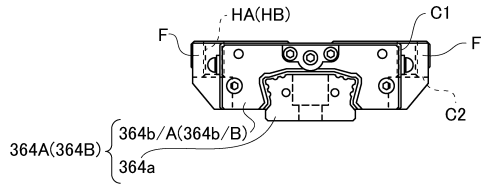
【図15】



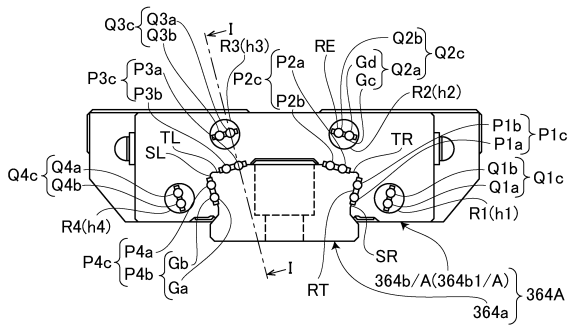
【図14】



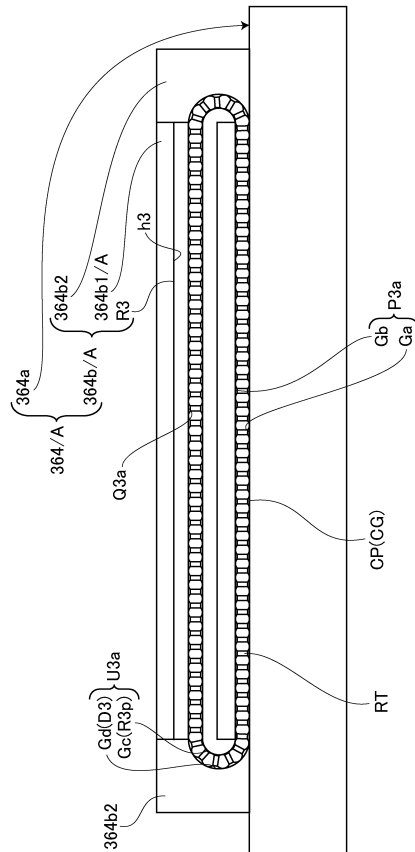
【図16】



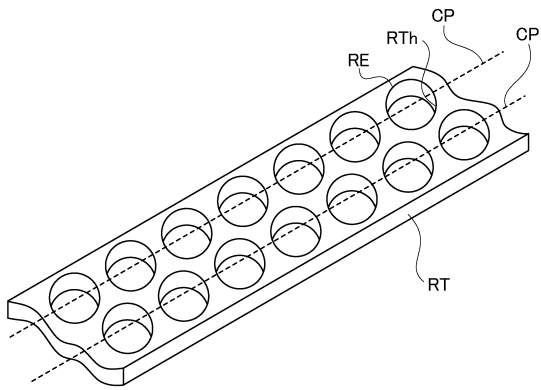
【図17】



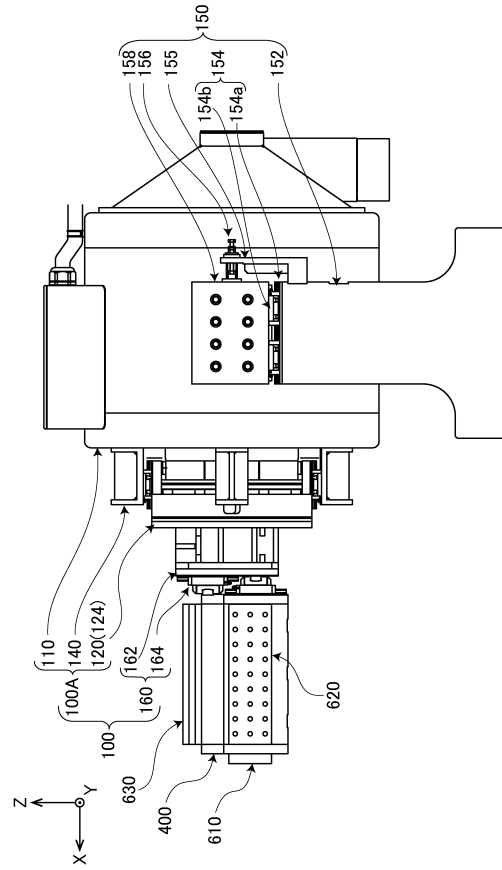
【図18】



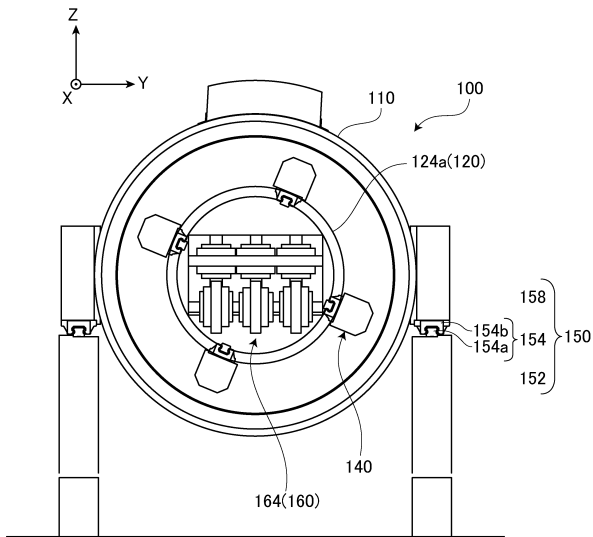
【図 19】



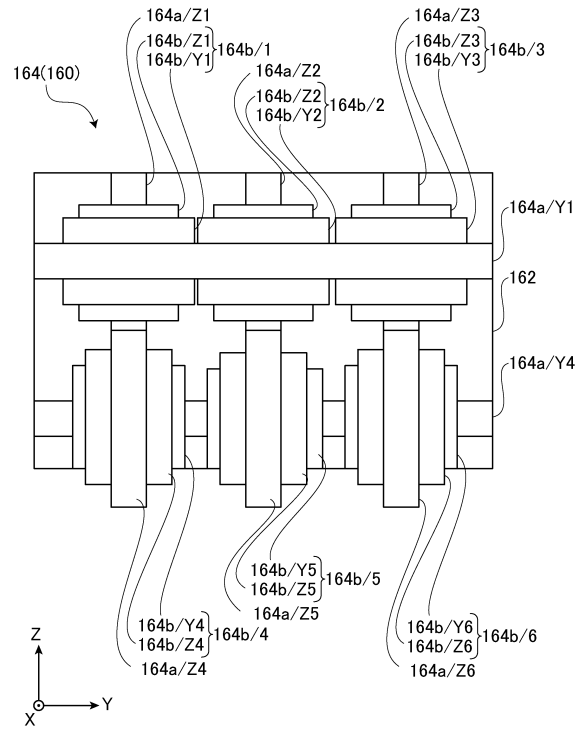
【図 20】



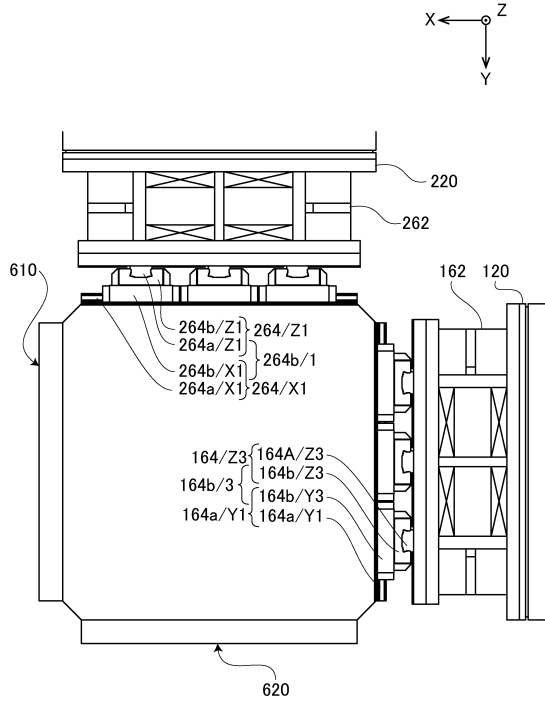
【図 21】



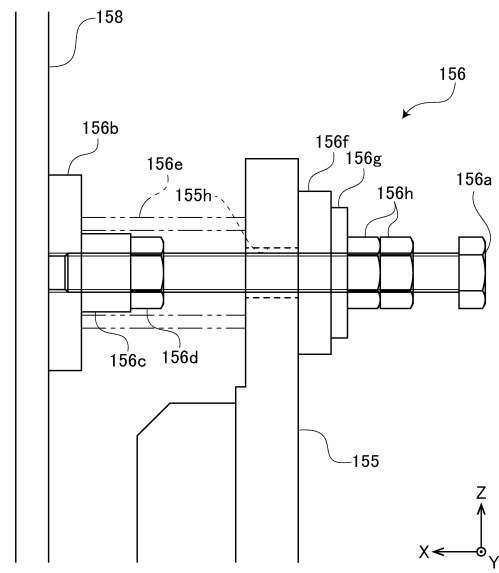
【図 22】



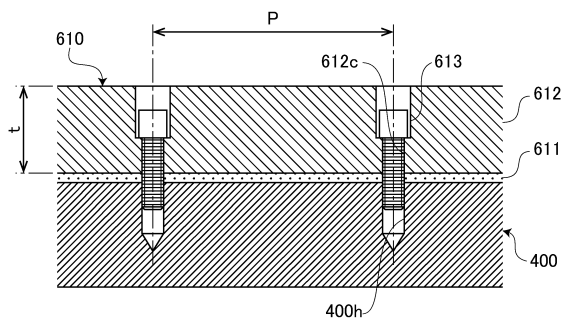
【図 2 3】



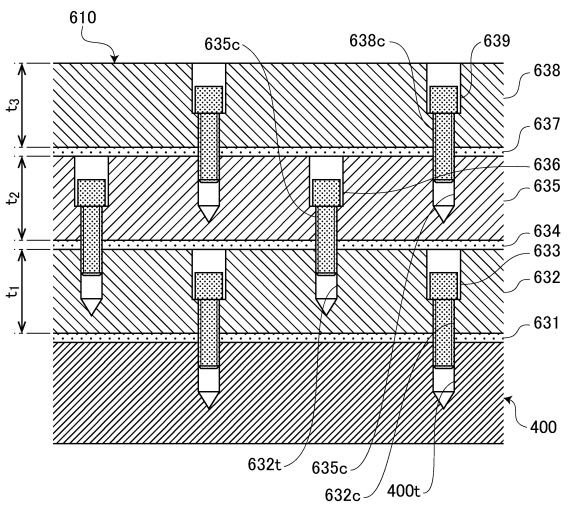
【図 2 4】



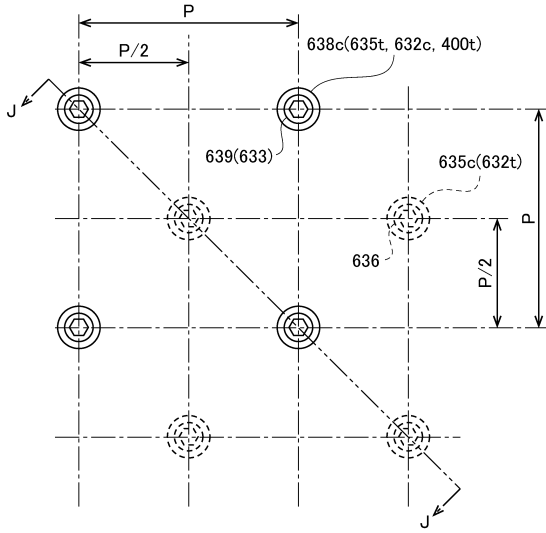
【図 2 5】



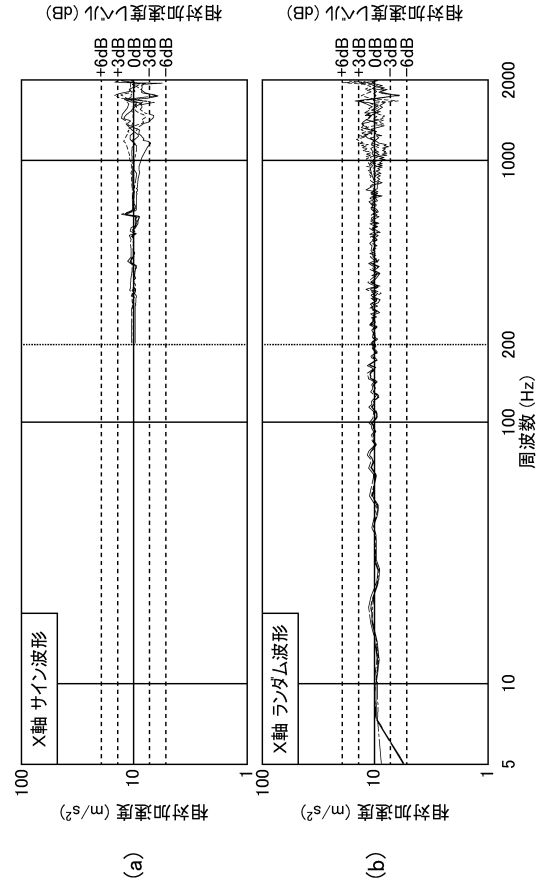
【図 2 6】



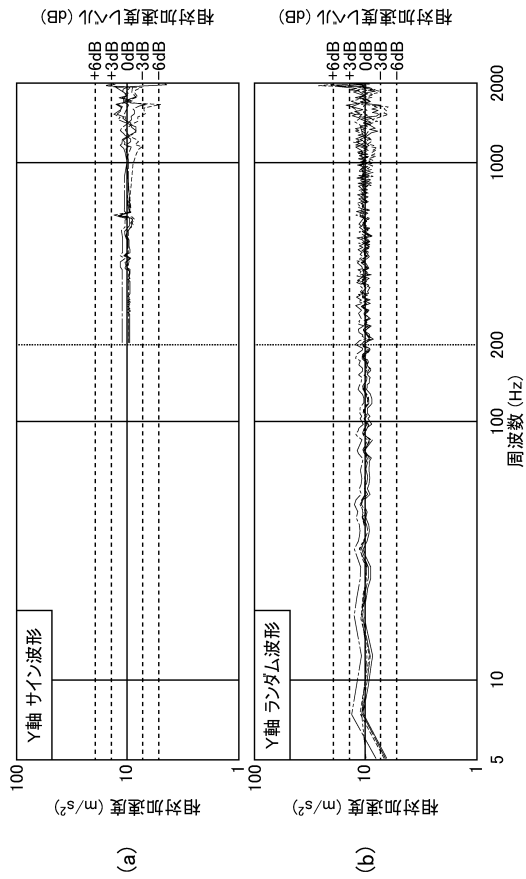
【図 27】



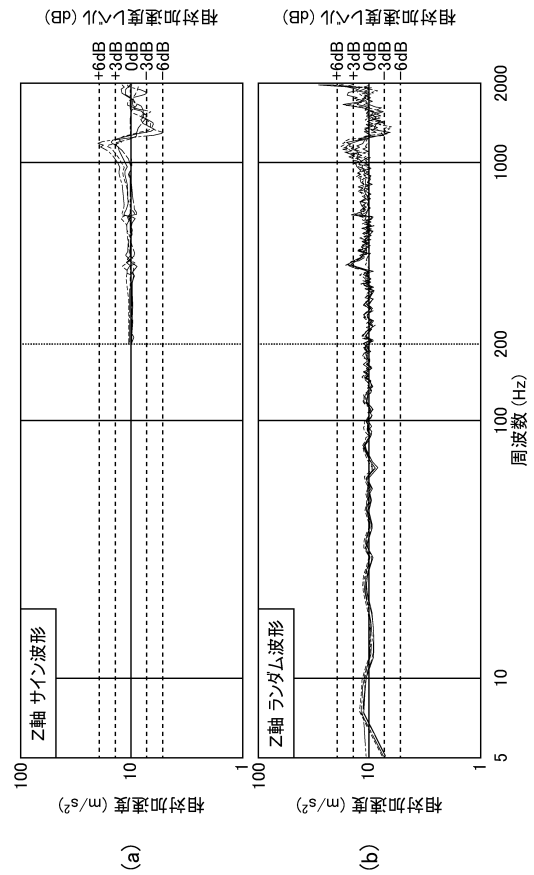
【図 28】



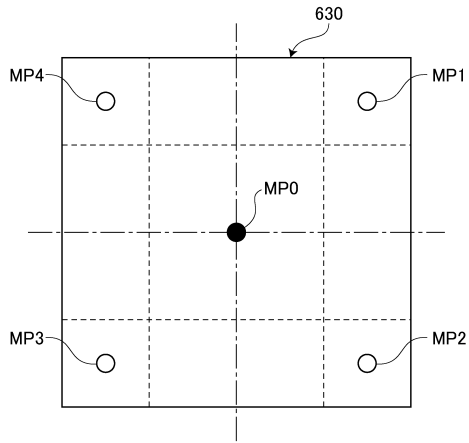
【図 29】



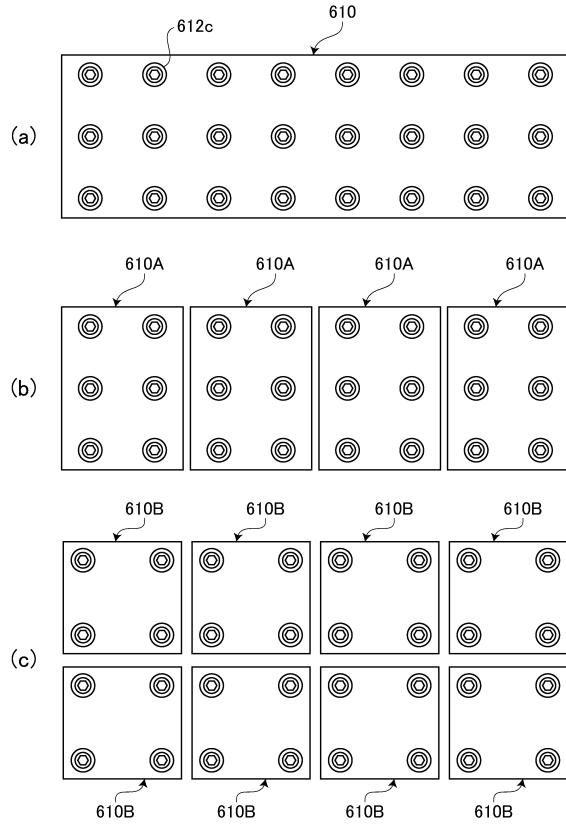
【図 30】



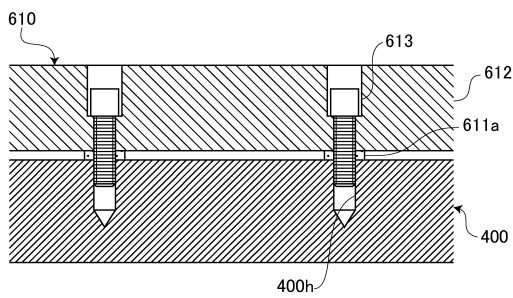
【図 3 1】



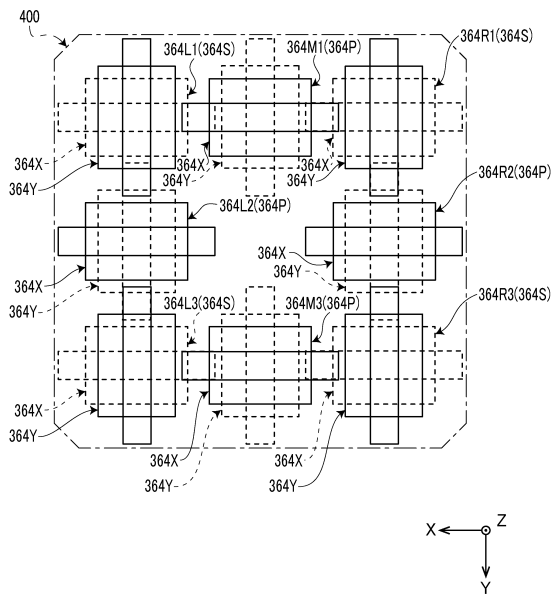
【図 3 3】



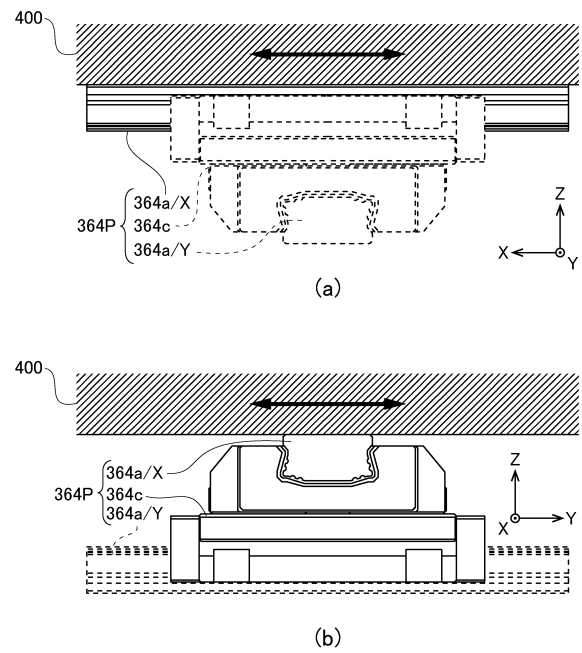
【図 3 2】



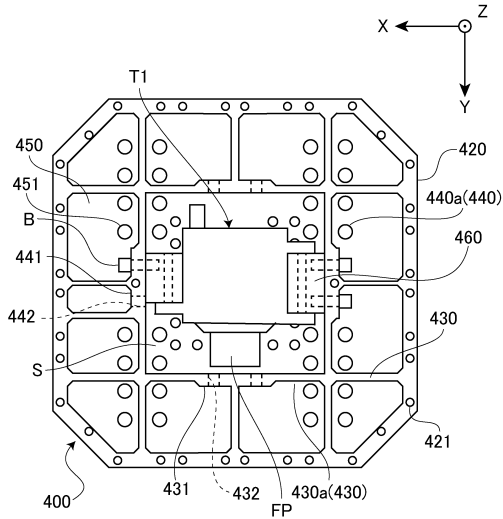
【図 3 4】



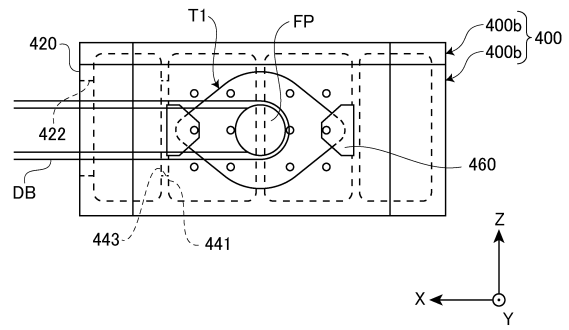
【図 3 5】



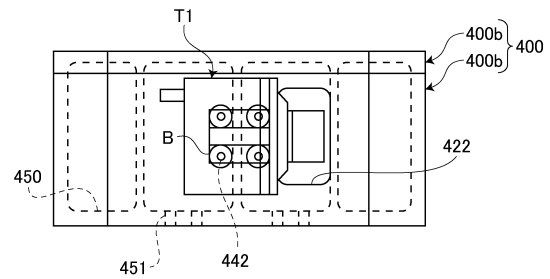
【図36】



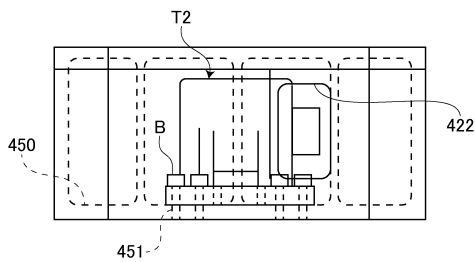
【図37】



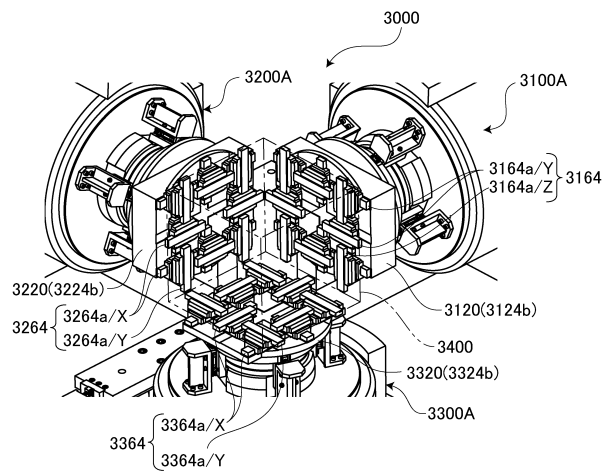
【図38】



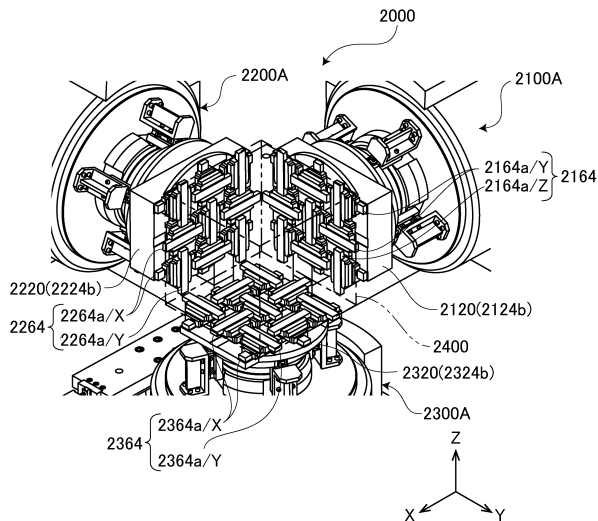
【図39】



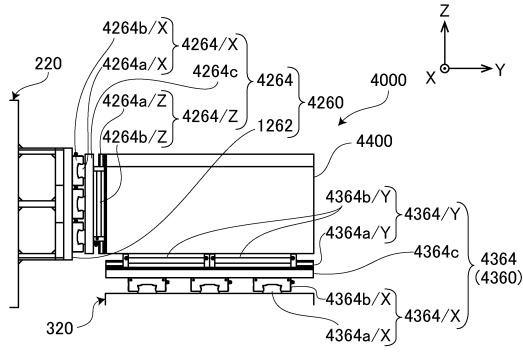
【図41】



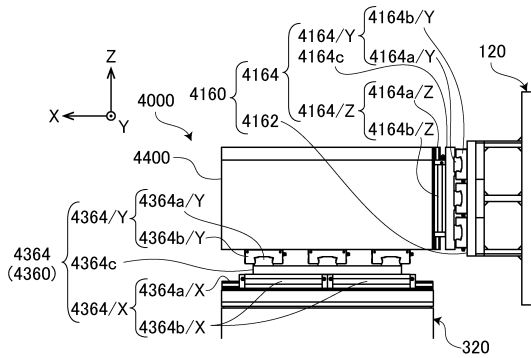
【図40】



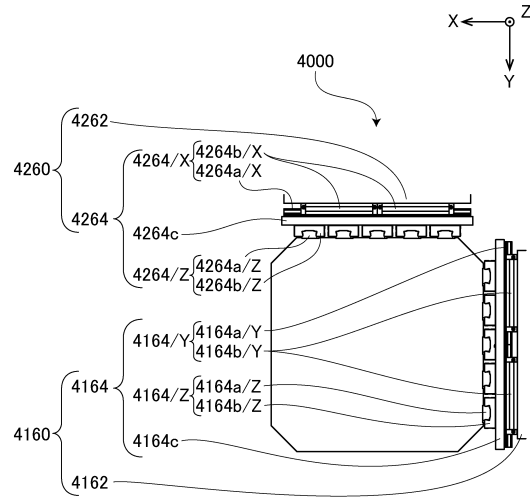
【 図 4 2 】



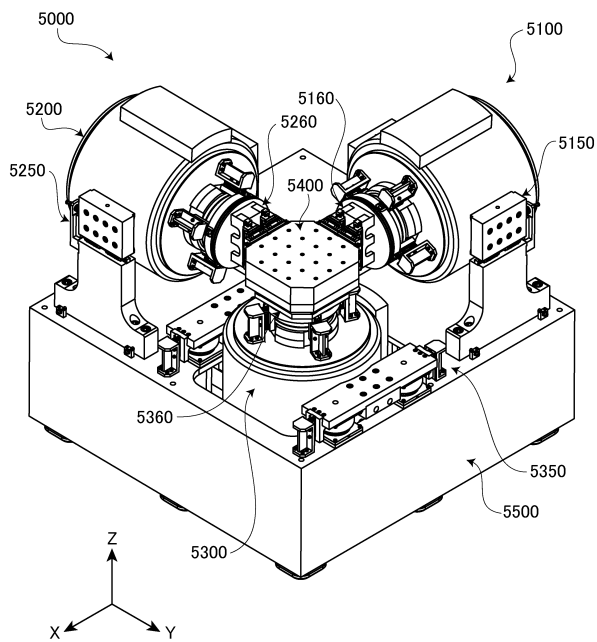
【 図 4 3 】



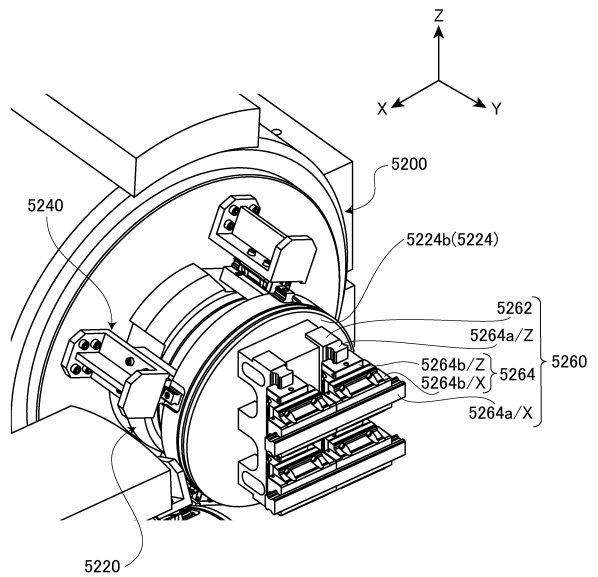
【 図 4 4 】



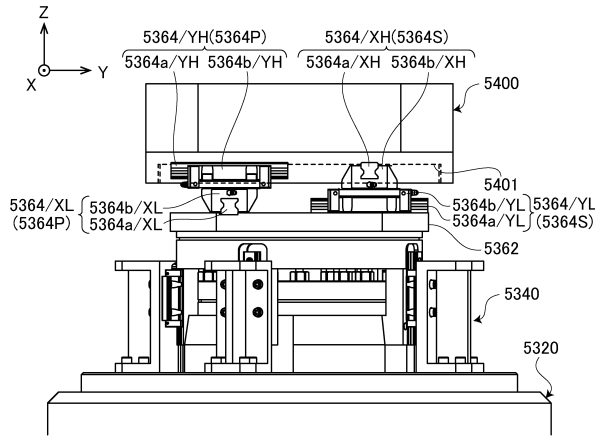
【 図 4 5 】



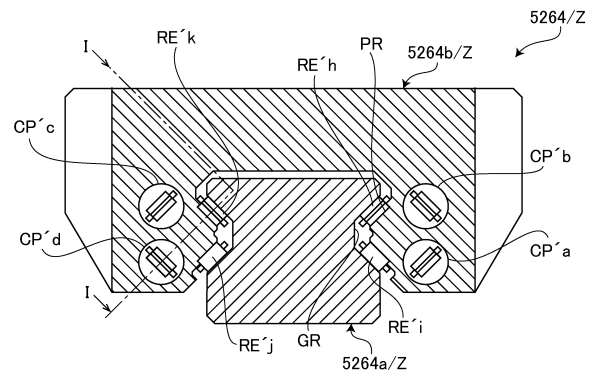
【 図 4 6 】



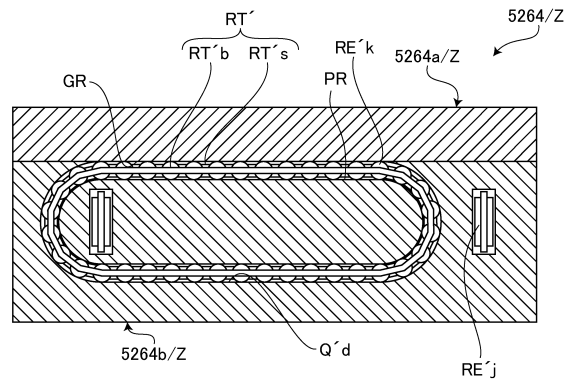
【 図 47 】



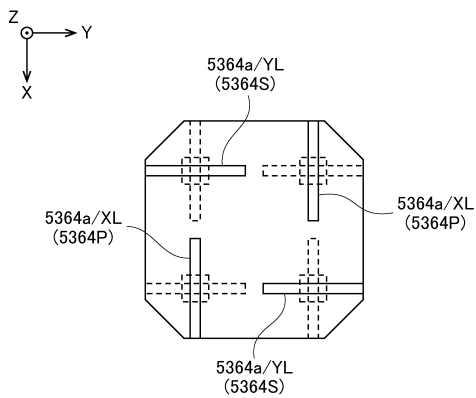
【 図 48 】



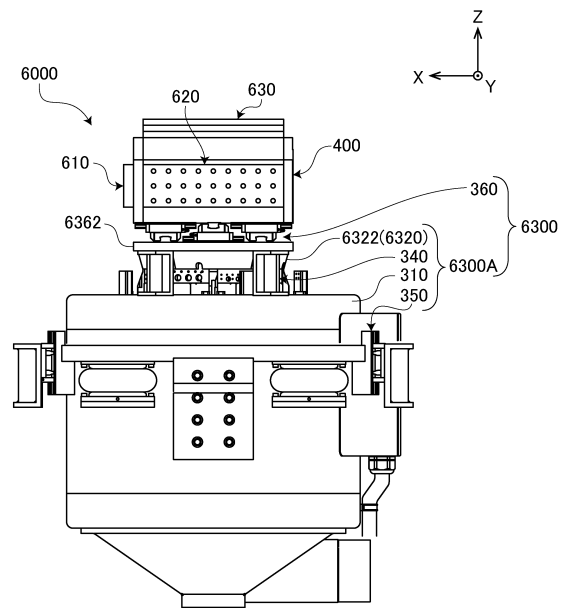
【 図 49 】



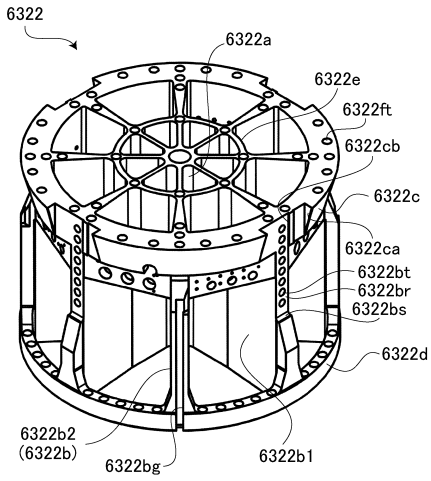
【 図 50 】



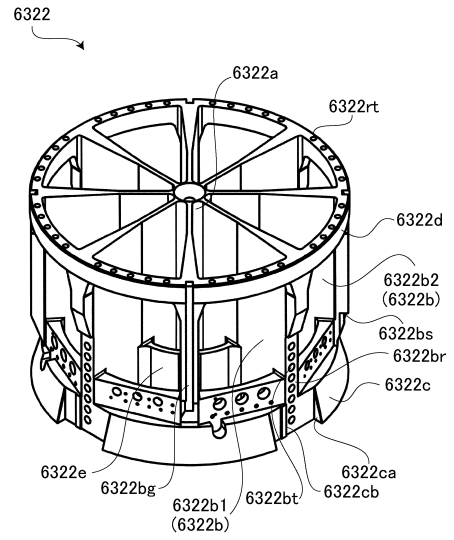
【 図 51 】



【 5 2 】



【 5 3 】



フロントページの続き

審査官 瓦井 秀憲

- (56)参考文献 特開2011-112487(JP,A)
特開2012-237736(JP,A)
特開昭55-001539(JP,A)
実開平01-141441(JP,U)
実開昭53-014557(JP,U)
特開2002-236074(JP,A)
米国特許出願公開第2003/0213281(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 7/02 - 7/06

G01M 15/00