

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6308904号
(P6308904)

(45) 発行日 平成30年4月11日(2018.4.11)

(24) 登録日 平成30年3月23日(2018.3.23)

(51) Int.Cl.

H01J 37/20 (2006.01)

F 1

H01J 37/20
H01J 37/20A
C

請求項の数 15 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2014-152939 (P2014-152939)
 (22) 出願日 平成26年7月28日 (2014.7.28)
 (65) 公開番号 特開2016-31805 (P2016-31805A)
 (43) 公開日 平成28年3月7日 (2016.3.7)
 審査請求日 平成28年9月28日 (2016.9.28)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 島倉 智一
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
 (72) 発明者 高橋 由夫
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
 (72) 発明者 鹿島 秀夫
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】試料ホルダ、荷電粒子線装置および観察方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子線が照射される試料が先端部に取り付けられる第一回転治具と、
 入力される1つの運動を2つの運動に分離する動力分離器と、
 前記動力分離器を保持する保持棒と、
 前記動力分離器から生み出される動力を伝え、前記第一回転治具に直進運動を与える直進運動伝達機構と、
 前記動力分離器から生み出される動力を伝え、前記第一回転治具に回転運動を与える回転運動伝達機構と、

前記動力分離器に運動を与える動力部と、
 前記保持棒の延在方向を回転軸として前記第一回転治具に第1の回転を与える第1の回転制御部と、
 を有し、

前記直進運動伝達機構は前記第一回転治具を前記回転軸に対して線対称の位置にスライドさせる試料ホルダ。

【請求項 2】

請求項1において、

前記動力分離器は、

回転体と、

前記回転体の回転面の第1面に取り付けられた第一ピンと、

10

20

前記第1面とは反対側の第2面に取り付けられた第二ピンと、
を有しており、

入力される運動を前記回転体の回転運動に変換するようにされる試料ホルダ。

【請求項3】

請求項2において、

前記回転運動伝達機構は、

前記第一ピンが入る第一ピン遊動長孔を有する第三歯車と、

前記第三歯車の回転を前記第一回転治具に伝達する第二歯車と、
を有し、

前記第一ピンによって前記第一回転治具が回転運動するようにされる試料ホルダ。 10

【請求項4】

請求項2において、

前記直進運動伝達機構は、

一端に前記第二ピンを受けるV字溝と、

その反対側の一端に前記第一回転治具を保持している第二回転治具と、
を有し、

前記第二ピンによって前記第二回転治具が回転することで前記第一回転治具が直進運動
するようにされる試料ホルダ。

【請求項5】

請求項2において、 20

前記動力分離器は、前記第一ピンの位置、前記第二ピンの位置および第一ピン遊動長穴
の長さを調整することによって、前記第一回転治具の直進運動と回転運動間の運動位相を
制御するようにされる試料ホルダ。

【請求項6】

請求項1において、

前記動力分離器は、

回転体と、

前記回転体の回転面の第1面に取り付けられた第一次歯歯車と、

前記第1面とは反対側の第2面に取り付けられた第二次歯歯車と、
を有しており、 30

入力される運動を前記回転体の回転運動に変換するようにされる試料ホルダ。

【請求項7】

請求項6において、

前記回転運動伝達機構は、前記第一次歯歯車の回転を前記第一回転治具に伝達する第二
歯車を有し、

前記第一次歯歯車が回転することで前記第一回転治具が回転運動するようにされる試料
ホルダ。 40

【請求項8】

請求項6において、

前記直進運動伝達機構は、第四歯車を保持している第二回転治具を有し、

前記第二次歯歯車によって前記第二回転治具が回転することで前記第一回転治具が直進
運動するようにされる試料ホルダ。

【請求項9】

請求項6において、

前記動力分離器は、前記第一次歯歯車と前記第二次歯歯車の歯領域の長さと位置を調
整することによって、前記第一回転治具の直進運動と回転運動間の運動位相を制御するよ
うにされる試料ホルダ。

【請求項10】

試料に荷電粒子線を照射する照射部と、

前記荷電粒子線に対する試料の位置と角度を設定する試料ホルダと、 50

を備え、

前記試料ホルダは

先端部に前記試料が取り付けられる第一回転治具と、

入力される1つの運動を2つの運動に分離する動力分離器と、

前記動力分離器を保持する保持棒と、

前記動力分離器から生み出される動力を伝え、前記第一回転治具に直進運動を与える直進運動伝達機構と、

前記動力分離器から生み出される動力を伝え、前記第一回転治具に回転運動を与える回転運動伝達機構と、

前記動力分離器に運動を与える動力部と、

前記保持棒の延在方向を回転軸として前記第一回転治具に第1の回転を与える第1の回転制御部と、

を備え、

前記直進運動伝達機構は前記第一回転治具を前記回転軸に対して線対称の位置にスライドさせる荷電粒子線装置。

【請求項11】

請求項10において、

前記動力分離器は、

回転体と、

前記回転体の回転面の第1面に取り付けられた第一ピンまたは第一欠歯歯車と、

前記第1面とは反対側の第2面に取り付けられた第二ピンまたは第二欠歯歯車と、
を有しております、

入力される運動を前記回転体の回転運動に変換するようにされる荷電粒子線装置。

【請求項12】

請求項11において、

前記回転運動伝達機構は、

前記第一ピンが入る第一ピン遊動長孔を有する第三歯車と、

前記第三歯車の回転を前記第一回転治具に伝達する第二歯車と、

を備え、

前記第一ピンによって前記第一回転治具が回転運動するようにされ、

または、

前記回転運動伝達機構は、前記第一欠歯歯車の回転を前記第一回転治具に伝達する第二歯車を備え、前記第一欠歯歯車が回転することで前記第一回転治具が回転運動するよう
される、

荷電粒子線装置。

【請求項13】

請求項11において、

前記直進運動伝達機構は、

一端に前記第二ピンを受けるV字溝と、

その反対側の一端に前記第一回転治具を保持している第二回転治具と、

を備え、

前記第二ピンによって前記第二回転治具が回転することで前記第一回転治具が直進運動
するようにされ、

または、

前記直進運動伝達機構は、第四歯車を保持している第二回転治具を備え、前記第二欠歯歯車によって前記第二回転治具が回転することで前記第一回転治具が直進運動するよう
される、

荷電粒子線装置。

【請求項14】

請求項12において、

10

20

30

40

50

前記動力分離器は、前記第一ピンの位置、前記第二ピンの位置および第一ピン遊動長穴の長さを調整することによって、前記第一回転治具の直進運動と回転運動間の運動位相を制御するようにされ、

または、

前記動力分離器は、前記第一欠歯歯車と前記第二欠歯歯車の欠歯領域の長さと位置を調整することによって、前記第一回転治具の直進運動と回転運動間の運動位相を制御するようにされる、

荷電粒子線装置。

【請求項 1 5】

試料に荷電粒子線を照射する照射部と、前記荷電粒子線に対する前記試料の位置と角度を設定する試料ホルダとを備える荷電粒子線装置における観察方法であって、

10

(a) 前記荷電粒子線の照射軸と直交する方向を第 1 の回転軸と前記試料の x 軸とを平行に設定し、前記試料を観察領域に配置する工程と、

(b) 前記第 1 の回転軸の周りに第 1 の回転を前記試料に与え、前記観察領域の x 軸周り - 180° から + 180° の回転シリーズ像を得る工程と、

(c) 前記第 1 の回転軸と前記試料の y 軸とを平行に設定し、前記試料を前記観察領域に配置する工程と、

(d) 前記第 1 の回転軸の周りに第 1 の回転を前記試料に与え、前記観察領域の y 軸周り - 180° から + 180° の回転シリーズ像を得る工程と、

を有し、

20

前記 (a) 工程は、

(a 1) 入力される 1 つの動力を分離し、第一回転治具に回転運動を与えることにより、前記試料に第 2 の回転を与える工程と、

(a 2) 前記入力される 1 つの動力を分離し、前記第一回転治具に直進運動を与えることにより、前記試料を第 1 の方向に移動させる工程と、

を有し、

前記 (c) 工程は、

(c 1) 入力される 1 つの動力を分離し、前記第一回転治具に回転運動を与えることにより、前記試料に第 3 の回転を与える工程と、

(c 2) 前記入力される 1 つの動力を分離し、前記第一回転治具に直進運動を与えることにより、前記試料を第 2 の方向に移動させる工程と、

を有する、

30

観察方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、試料ホルダ、荷電粒子線装置および観察方法に関する。

【背景技術】

【0002】

透過電子顕微鏡像から試料の電磁場構造を 3 次元的に解析する技術として、非特許文献 1 に記載のベクトル場トモグラフィーがある。電磁場のベクトル成分 (x , y , z) を再構成するには、観察領域の x 軸周り任意角度すなわち - 180° から + 180° の回転シリーズ像と、y 軸周り任意角度すなわち - 180° から + 180° の回転シリーズ像が必要であることが記載されている。

40

上記 x 軸周り回転シリーズ像と y 軸周り回転シリーズ像を観察可能な電子線干渉顕微鏡等の試料ホルダとして、特許文献 1 (特開 2013-149507 号公報) またはこれに対応する国際公開第 2013 / 108711 号 (特許文献 2) がある。特許文献 1 または特許文献 2 には、「先端部に試料を取り付ける取付部を有する試料取付台と、前記試料取付台を保持する取付台保持部を有する回転治具と、前記回転治具を保持する保持部を有する試料保持棒と、前記保持棒の延在方向を軸として - 180° から + 180° の第 1 の回

50

軸を前記試料保持棒に与える第1の回転制御部と、前記第1の回転の回転軸に直交する方向を軸として±45度以上の第2の回転を前記回転治具に与える第2の回転制御部と、を有し、前記試料取付台は円錐状または多角錐状の形状であることを特徴とする。」と記載されている([0015]参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2013-149507号公報

【特許文献2】国際公開第2013/108711号

【非特許文献】

10

【0004】

【非特許文献1】C. Phatak, M. Beleggia and M. De Graef : Ultramicroscopy, Vol. 108, (2008) 503-513.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1または特許文献2に記載の技術は、第2の回転軸周りに試料を回転させた際、第1の回転軸上から試料が離れてしまう。そこで、スライド治具を付与し、第1の回転軸上に試料を戻す機構を有している([0028]参照)。第2の回転軸周りの試料回転は、ワイヤー、スライド棒、リニアアクチュエータを用いて、試料室内で回転させることができる。しかし、スライド治具を用いて第1の回転軸上に試料を戻す行為は、試料室外で行う必要がある([0037]参照)。スライド治具を用いて第1の回転軸上に試料を戻す行為も試料室内で行うためには、スライド治具の移動機構を付与するための追加のスペースが試料ホルダ内に必要になる。追加のスペースを確保するには、部品の小型化もしくは試料ホルダサイズの拡張で対応する必要があるが、部品加工の困難さ、ホルダを搭載する透過電子顕微鏡の仕様変更が伴い、実現するのは困難である。

20

【0006】

本発明の目的は、観察領域のx軸周り任意角度すなわち-180°から+180°の回転シリーズ像の取得から、y軸周り任意角度すなわち-180°から+180°の回転シリーズ像の取得までの一連の行為を、試料を試料室外に取り出すことなく実施可能な試料ホルダを提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

本願のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

すなわち、試料ホルダは、荷電粒子線が照射される試料が先端部に取り付けられる第一回転治具と、入力される1つの運動を2つの運動に分離する動力分離器と、前記動力分離器を保持する保持棒と、前記動力分離器から生み出される動力を伝え、前記第一回転治具に直進運動を与える直進運動伝達機構と、前記動力分離器から生み出される動力を伝え、前記第一回転治具に回転運動を与える回転運動伝達機構と、前記動力分離器に運動を与える動力部と、前記保持棒の延在方向を回転軸として前記第一回転治具に第1の回転を与える第1の回転制御部と、を備える。

40

【発明の効果】

【0008】

上記の試料ホルダによれば、観察領域のx軸周り任意角度の回転シリーズ像の取得から、y軸周り任意角度の回転シリーズ像の取得までの一連の行為を、試料を試料室外に取り出すことなく実施することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】試料の動きを説明する概念図である。

【図2】実施例1に係る試料ホルダの上面図であり、(A)は試料のx軸周りの回転シリ

50

ーズ像を撮影する際の、(B)は試料のy軸周りの回転シリーズ像を撮影する際の各部品の配置を示している。

【図3】実施例1に係る試料ホルダの先端部の構成図である。

【図4】実施例1に係る試料ホルダの各部品の動きを示す説明図である。

【図5】実施例1に係る試料ホルダの各部品の動きを示す説明図である。

【図6】実施例2に係る試料ホルダの先端部の構成図である。

【図7】実施例2に係る動力分離器の構成図である。

【図8】実施例3に係る試料ホルダの先端部の構成図である。

【図9】実施例3に係る試料ホルダの先端部の側面図である。

【図10】実施例4に係る試料ホルダの先端部の構成図である。 10

【図11】実施例5に係る試料ホルダの先端部の構成図である。

【図12】実施例6に係る試料ホルダの先端部の構成図である。

【図13】実施例7に係る試料ホルダの各部品の動きを示す説明図である。

【図14】実施の形態に係る試料ホルダを説明するための図である。

【図15】実施例1に係る試料ホルダを用いる荷電粒子線装置における撮影手順を説明するためのフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、実施の形態および実施例について図面を用いて説明する。ただし、以下の説明において、同一構成要素には同一符号を付し繰り返しの説明を省略することがある。なお、図面は説明をより明確にするため、実際の態様に比べ、各部の幅、厚さ、形状等について模式的に表される場合があるが、あくまで一例であって、本発明の解釈を限定するものではない。 20

【0011】

観察領域のx軸周りの回転シリーズ像と観察領域のy軸周りの回転シリーズ像を取得するときの試料の状態について図1を用いて説明する。図1は試料、第1の回転軸、第2の回転軸、の関係を示す概念図である。

観察領域のx軸周りの回転シリーズ像を取得するために、試料003-1の状態にする。その状態で試料003-1を第1の回転軸RA1の周りに-180°から+180°回転させ、観察領域のx軸周りの回転シリーズ像を取得する。なお、試料003-1と後述する試料003-2とは同じものであるが、試料の動きを説明するために、図1では異なる符号を付している。試料の動きに関係ない説明をするとき、試料の符号として「003」を用いている。また、図2以降では、試料の符号として「003」を用いている。 30

【0012】

次に、第2の回転軸RA2の周りに試料003-1を時計回りに90°回転させ、第2の回転軸RA2を第1の回転軸RA1に対して線対称の位置(Y軸方向)にスライドさせる。試料003-2の状態になり、観察領域のy軸周りの回転シリーズ像を取得する。なお、観察領域は少なくとも試料003-1および試料003-2の両方の全体が納まる程度の大きさである。試料003-1を回転させると観察領域から外れるため、スライドさせて観察領域に入れている。 40

ここで、試料003は円柱状(棒状)であり、試料003に固定された座標xyzは、円柱の長軸とx軸のなす角が-45°に、円柱の長軸とy軸のなす角が+45°に、円柱の長軸とz軸のなす角が垂直になるように設定する(後述する実施例においても同様とする。)。試料003-1の円柱の長軸と第1の回転軸RA1のなす角は+45°に、試料003-2の円柱の長軸と第1の回転軸RA1のなす角は-45°になるように設定する(後述する実施例においても同様とする。)。また、筐体に固定された座標系XYZは、荷電粒子線の入射方向を-Z方向に設定する(後述する実施例においても同様とする。)。第1の回転軸RA1はX軸に平行であり、第2の回転軸RA2はZ軸に平行である。なお、第2の回転軸RA2を第1の回転軸RA1に対して線対称の位置にスライドさせ、第2の回転軸RA2の周りに試料003-1を時計回りに90°回転させてもよい。また、 50

第2の回転軸RA2の周りに試料003-1を回転させるのと、第2の回転軸RA2を第1の回転軸RA1に対して線対称の位置(Y軸方向)にスライドさせるのとを並行にして行ってもよい。

【0013】

つまり、観察領域のx軸周りの回転シリーズ像の試料状態から観察領域のy軸周りの回転シリーズ像の試料状態に遷移させるためには、第2の回転軸RA2周りの回転運動と第2の回転軸RA2のスライド、つまり直進運動が必要になる。

上記動作を実現するために、実施の形態に係る試料ホルダに1つの運動を導入し、試料ホルダ内に組み込んだ動力分離器を使って、第2の回転軸周りの回転運動と第2の回転軸の直進運動の2つの運動を生み出す。図14は実施の形態に係る試料ホルダを説明するための図である。試料ホルダ100は動力部POと動力分離器PDと回転運動伝達機構POと直進運動伝達機構PTとを備える。動力分離器PDは動力部POの1つの運動を分離して回転運動伝達機構POと直進運動伝達機構PTに分配する。回転運動伝達機構POは第2の回転軸周りの回転運動を与える。直進運動伝達機構PTは第2の回転軸の直進運動を与える。

10

【実施例1】

【0014】

実施の形態に係る試料ホルダの第一の実施例(実施例1)について図2から図4を用いて説明する。図2に実施例1に係る試料ホルダの先端部の上面図を示す。図2(A)は観察領域のx軸周りの回転シリーズ像を取得するときの試料ホルダの状態例を示し、図2(B)は観察領域のy軸周りの回転シリーズ像を取得するときの試料ホルダの状態例を示している。試料003が図2(A)と図2(B)で90°回転している。図3は実施例1に係る試料ホルダの先端部の構成図である。図3には保持筒001および試料003を図示していない。

20

【0015】

実施例1に係る試料ホルダ100Aは、保持筒001と、保持筒001の内部に配置された保持棒002と、保持棒002の先端に配置された第2の回転治具009と、第2の回転治具009の先端に配置された第1の回転治具006と、第1の回転治具006の外周に試料を設置させる針状ステージホルダ005と、針状ステージ004と、を備える。試料ホルダ100Aの先端を透過電子顕微鏡等の荷電粒子線装置の試料室(真空容器)に挿入した際、荷電粒子線装置に搭載されている試料ホルダ移動機構と接触するのは保持筒001である。なお、試料ホルダ100Aの挿入方向をX方向に設定する。保持筒001には荷電粒子線が通過するための開口部110が設けられており、試料003はその開口部110に設置されている。試料ホルダ100Aは荷電粒子線に対する試料の位置と角度を設定する。第1の回転軸RA1はX方向に平行であり、荷電粒子線の照射軸はZ方向に平行であるので、第1の回転軸RA1は荷電粒子線の照射軸に垂直である。なお、試料003の大きさは、例えば、直径が100~300nm程度、長さが1~5μm程度である。試料003の直径は透過像が得られる細さであればよい。試料ホルダ100Aの幅(Y方向の長さ)は、例えば7mm程度、開口部110の幅(Y方向の長さ)は、例えば4mm程度である。

30

【0016】

保持棒002は、保持筒001とは独立に、保持筒001内で、第1の回転軸RA1の周りに-180°から+180°回転可能である。保持棒002の回転を制御する第1の回転制御部(図示せず)には、例えば保持棒002を回転させるパルスモータを用いる。第1の回転制御部は試料室の外部(常圧内)に配置するのが好ましい。また、第1の回転治具006は保持筒001内で、第1の回転軸RA1と直交する第2の回転軸RA2の周りに少なくとも90°の回転が可能である。

40

【0017】

試料003は針状ステージ004の先端部に設置されている。針状ステージ004は針状ステージホルダ005に挿入されており、ピンセット等を用いて着脱することが可能で

50

ある。針状ステージホルダ 005 は第一回転治具 006 に固定されている。第一回転治具 006 と第一歯車 007 は固定されており、第一回転治具 006 が第一歯車軸 008 を回転軸として回転した際は第一歯車 007 も同様に回転する。

【0018】

本実施例は試料 003 を移動させる動力として、試料ホルダに直進運動が導入された場合の例である。スライド棒 019 が延伸方向 (X 方向) に直進運動する。ワイヤー 018 は第一滑車 015 につながっている。ワイヤー 018 の一部がスライド棒 019 に固定されており、スライド棒 019 の直進運動によって第一滑車 (回転体) 015 が回転する。スライド棒 019 の移動には、例えばリニアクチュエータ (図示せず) を用いる。リニアクチュエータは試料室の外部 (常圧内) に配置するのが好ましい。ワイヤー 018 およびスライド棒 019 が動力部 P0 に相当する。10

【0019】

第一滑車 015 および第三歯車 012 は保持棒 002 内に設置されており、第三歯車軸 013 を回転軸として回転することができる。保持棒 002 は複数の部品 002-1、002-2 に分け、第一滑車 015 および第三歯車 012 等を両サイドから挟み込む構造になっている。第一滑車 015 には回転面に対して下 (第1面) に第一ピン 016 が、上 (第2面) に第二ピン 017 が取り付けられている。なお、+Z 方向を上、-Z 方向を下としている (以下の説明でも同じ)。第一滑車 015、第一ピン 016、第二ピン 017 が動力分離器 PD に相当する。第一滑車 015 の回転を、第一ピン 016 につながっている回転運動伝達機構 RO と、第二ピン 017 につながっている直進運動伝達機構 PT を使って、第一回転治具 006 の回転運動と直進運動に分離する。20

【0020】

第三歯車 012 は第一ピン遊動長孔 014 を有しており、第一ピン 016 は第一ピン遊動長孔 014 に挿入されている。第一滑車 015 の回転によって第一ピン 016 も回転する。第一ピン 016 が第一ピン遊動長孔 014 の端部に当たると、第三歯車 012 は第一滑車 015 と共に回転する。第一ピン 016 が第一ピン遊動長孔 014 の端部に接していないときは、第一滑車 015 の回転は第三歯車 012 に伝達されない。

【0021】

第二歯車 010 は、第二歯車軸 011 を回転軸として回転することができる。第三歯車 012 の回転は第二歯車 010 に伝達され、さらに第一歯車 007 に伝達される。30

第一歯車 007 は、試料 003 が取り付けられている第一回転治具 006 に固定されているため、第一ピン 016 の回転は第一回転治具 006 の回転を導く。動力分離器 PD の一部である第一ピン 016 によって分離された動力が第一回転治具 006 を回転させるまでの機構が回転運動伝達機構 RO に相当する。また、第一回転治具 006 の回転は図 1 に示した第 2 の回転軸 RA2 周りの回転運動に相当する。すなわち、第一歯車軸 008 が第 2 の回転軸 RA2 に相当する。

【0022】

第二回転治具 009 は複数の部品 009-1、009-2 に分け、第一回転治具 006 等を挟み込む構造になっている。第二回転治具 009 の部品 009-2 には V 字溝 021 が設けられており、第二ピン 017 が V 字溝に入るようになっている。第一滑車 015 の回転によって第二ピン 017 が回転し、第二ピン 017 が V 字溝 021 に当たると、第二回転治具 009 は第二ピン 017 に押されて第二歯車軸 011 を回転軸として回転する。第二ピン 017 が V 字溝 021 から離れると、第二回転治具 009 の回転は止まる。40

第二回転治具 009 の V 字溝 021 と反対側の端部には第一回転治具 006 が設置されている。第二ピン 017 によって第二回転治具 009 が回転すると、第一回転治具 006 は Y 方向にスライドすることになる。動力分離器 PD の一部である第二ピン 017 によって分離された動力が第一回転治具 006 をスライドさせるまでの機構が直進運動伝達機構 PT に相当する。また、第一回転治具 006 のスライドは図 1 に示した第 2 の回転軸の直進運動に相当する。

【0023】

10

20

30

40

50

第一回転治具 006 の回転および第一回転治具 006 のスライドするタイミングは、第一ピン 016 と第二ピン 017 の第一滑車 015 上の配置、第一ピン遊動長孔 014 の長さによって決定することができる。

【0024】

各部品の動きについて図 4 および図 5 で説明する。図 4 および図 5 は実施例 1 に係る試料ホルダの先端部分の上面図である。保持棒 002、第一滑車 015 は図示していない。開始時は図 4 (A) のように、第一回転治具 006、第二回転治具 009、は X 方向を向いており、第一ピン 016、第二ピン 017 は試料ホルダ 100A の中心線（第 1 の回転軸 RA1）上にあるとする。第一滑車 015 が反時計回りに回転すると、第二回転治具 009 の V 字溝 021 に入った第二ピン 017 によって、第二回転治具 009 は第二歯車軸 011 を回転軸として時計回りに回転する。その結果、第一回転治具 006 は -Y 方向にスライドする（図 4 (B)）。第二ピン 017 が V 字溝 021 から離れると、第一回転治具 006 のスライドは止まる。さらに第一滑車 015 が反時計回りに回転すると、第一ピン 016 は第一ピン遊動長孔 014 の端部に達し、第三歯車 012 が反時計回りに回転する（図 4 (C)）。第三歯車 012 の回転は第二歯車 010、第一歯車 007 に伝わり、第一回転治具 006 が第一歯車軸 008 を回転軸として反時計回りに回転する。針状ステージ 004 の中心軸（円柱状の試料 003 の長軸）が X 軸に対して +45° 傾いたとき、第一滑車 015 の回転を止める（図 4 (D)）。図 4 (D) の状態で、上記第 1 の回転制御部によって試料 003 を第 1 の回転軸 RA1 の周りに -180° から +180° 回転させる。

10

20

【0025】

次に第一滑車 015 を時計回りに回転させる。同様に時計回りに回転する第二ピン 017 は第二回転治具 009 の V 字溝 021 に入る（図 5 (A)）。さらに第一滑車 015 が回転すると、第二ピン 017 によって第二回転治具 009 は第二歯車軸 011 を回転軸として反時計回りに回転する。その結果、第一回転治具 006 は +Y 方向にスライドする（図 5 (B)）。第二ピン 017 が V 字溝 021 から離れると、第一回転治具 006 のスライドは止まる。さらに第一滑車 015 が時計回りに回転すると、第一ピン 016 は第一ピン遊動長孔 014 の端部に達し、第三歯車 012 が時計回りに回転する。第三歯車 012 の回転は第二歯車 010、第一歯車 007 に伝わり、第一回転治具 006 が第一歯車軸 008 を回転軸として時計回りに回転する。針状ステージ 004 の中心軸が X 軸に対して -45° 傾いたとき、第一滑車 015 の回転を止める（図 5 (C)）。図 5 (C) の状態で、上記第 1 の回転制御部によって試料 003 を第 1 の回転軸 RA1 の周りに -180° から +180° 回転させる。

30

【0026】

最後に、撮影手順を図 4、図 5 および図 15 を用いて説明する。図 15 は実施例 1 に係る試料ホルダを用いる荷電粒子線装置における撮影手順を説明するためのフロー図である。撮影手順（観察方法）は、4 つの手順から構成される。（a）荷電粒子線軸と直交する第 1 の回転軸と試料の x 軸とを平行に設定する（ステップ S01）。（b）第 1 の回転角度制御部を用い、観察領域の x 軸周り -180° から +180° の回転シリーズ像を撮影する（ステップ S02）。（c）第 1 の回転軸と試料の y 軸とを平行に設定する（ステップ S03）。（d）第 1 の回転角度制御部を用い、観察領域の y 軸周り -180° から +180° の回転シリーズ像を撮影する（ステップ S04）。

40

【0027】

まず、(a) の手順（ステップ S01）の詳細を説明する。試料ホルダ 100A に試料 003 が装着された状態から開始する。図 4 (A) から図 4 (D) に示すように、直線運動伝達機構 PT と回転運動伝達機構 RO をも用いて、針状ステージ 004 の長軸（円柱状の試料 003 の長軸）と第 1 の回転軸 RA1 とのなす角がほぼ +45° になるようにし、試料 003 をほぼ第 1 の回転軸 RA1 上に移動させる。その後、試料ホルダ 003 を試料室に挿入する。試料室内での試料 003 の位置を確認し、まず、第 2 の回転軸 RA2 が荷電粒子線光軸とできるだけ平行になるように調整する。こうして調整された試料 003 に

50

おいて、試料 003 に固定された x y z 方向は、筐体に固定された X Y Z 方向とほぼ一致する。なお、このときの試料 003 の透過像を幾つかの倍率で撮影しておくと、後で試料 003 の y 軸を第 1 の回転軸 RA1 とできるだけ平行に設定するときの確認に用いることができる。なお、試料ホルダ 100A を試料室に挿入する時期は、試料 003 が試料ホルダ 100A に装着された後であれば、試料ホルダ 100A が図 4 (A) から図 4 (D) に示す間のいずれであってもよい。

【0028】

そして、(b) の手順 (ステップ S02) の詳細を説明する。第 1 の回転角度制御部を用いて、支持棒 002 を第 1 の回転軸 RA1 の周りに回転させ、観察領域の x 軸周りの -180° から +180° の回転シリーズ像を撮影する。例えば、第 1 の回転軸 RA1 の周りの回転は 10° ずつを行い、その都度試料 003 を撮影して、36 個の回転シリーズ像を得る。

10

【0029】

次に (c) の手順 (ステップ S03) の詳細を説明する。試料ホルダ 100A を試料室に挿入したまま、図 5 (A) から図 5 (C) に示すように、直線運動伝達機構 PT と回転運動伝達機構 RO をも用いて、針状ステージ 004 の長軸 (円柱状の試料 003 の長軸) と第 1 の回転軸 RA1 とのなす角がほぼ -45° になるようにし、試料 003 をほぼ第 1 の回転軸 RA1 上に移動させる。試料室内での試料 003 の位置を確認した後、ステップ S03 と同じく、第 2 の回転軸 RA2 が荷電粒子線光軸とできるだけ平行になるように調整する。そして、試料 003 の y 軸が第 1 の回転軸 RA1 とできるだけ平行になるように、回転運動伝達機構 RO を用いて微調整する。微調整において、ステップ S01 で撮影した画像を参照画像にし、現設定で撮影された画像の回転角度を画像処理で測定し、ステップ S01 の状態の第 1 の回転治具 006 に対しステップ S03 の第 1 の回転治具 006 の回転角度が 90° になるように調整する。

20

【0030】

(d) の手順 (ステップ S04) の詳細を説明する。第 1 の回転角度制御部を用いて、支持棒 002 を第 1 の回転軸 RA1 の周りに回転させ、観察領域の y 軸周りの -180° から +180° の回転シリーズ像を撮影する。ステップ S02 と同様に、例えば、第 1 の回転軸 RA1 の周りの回転は 10° ずつを行い、その都度試料 003 を撮影して、36 個の回転シリーズ像を得る。

30

【0031】

なお、撮影手順は、ステップ S03、ステップ S04、ステップ S01、ステップ S02 の順で行ってもよい。

【0032】

取得した観察領域の x 軸周りと y 軸周りの回転シリーズ像から非特許文献 1 に記載の技術を用いて 3 次元磁場構造を再構成する。

【0033】

本実施例によれば、試料ホルダ内に第一回転治具を直線運動させる機構を設けているので、試料ホルダを搭載するステージを改造する必要がない。特許文献 1 または特許文献 2 のように試料ホルダ内に追加のスペースを確保する必要がない。また、本実施例によれば、x 軸周りの回転シリーズ像と y 軸周りの回転シリーズ像を取得する間、試料を大気中に曝すことなく一連の観察を行うことができる。観察の途中で試料を取り出す場合、荷電粒子線装置を停止して試料を取り出し、試料の再挿入後、再度装置を稼働させる必要がある。しかし、本実施例では観察の途中で試料を取り出す必要がない。その結果、電磁場構造解析における観察に要する時間を大幅に短縮することができるようになる。また、観察途中に大気に曝されることで酸化して材料特性が変化してしまう試料も観察することができるようになる。また、試料を冷却あるいは加熱しながら観察する場合も、室温に戻してから大気に取り出す必要がなくなるため、観察時間の大幅短縮を図れ、温度変化による材料特性の変化を懸念する必要もなくなる。その結果、観察対象試料も拡大させることができる。

40

50

【0034】

また、実施例1に係る試料ホルダは、試料に対して、第1の回転軸RA1の周りの-180°から+180°回転と、第1の回転軸に直交する方向の第2の回転軸の周りのほぼ-90°から+90°回転を与えることができる。つまり試料を半天球内のある方位から観察することが可能である。透過電子顕微鏡だけでなく走査電子顕微鏡に対しても実施例1に係る試料ホルダを適用すれば、試料の詳細な立体形状を得ることも可能になる。

【実施例2】**【0035】**

実施例1では動力分離器として2つのピンと滑車を用いており、部品の加工も比較的容易である。実施の形態に係る試料ホルダの第二の実施例(実施例2)では動力分離器として2つの欠歯歯車と滑車を用いた例を示す。10

【0036】

実施例2について図6および図7を用いて説明する。図6は実施例2に係る試料ホルダの先端部の構成図である。図7は実施例2に係る試料ホルダの動力分離器に相当する2つの欠歯歯車と第一滑車015の拡大図である。実施例2に係る試料ホルダ100Bの第一滑車015には回転面に対して下(第1面)に第一欠歯歯車022が、上(第2面)に第二欠歯歯車023が取り付けられている。第一滑車015、第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023が動力分離器に相当する。第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023は第一滑車015に固定されており、第一滑車軸025を回転軸として回転することができる。第一滑車015の回転によって第一欠歯歯車022も回転する。第一欠歯歯車022の歯は第二歯車010と噛み合うようになっている。第一欠歯歯車022が回転し、第一欠歯歯車022の歯が第二歯車010と噛み合うと、第一欠歯歯車022の回転は第二歯車010に伝達される。第一欠歯歯車022の欠歯領域では、第一欠歯歯車022の回転は第二歯車010に伝達されない。第二歯車010の回転は第一歯車007に伝達され、第一回転治具006が回転する。20

【0037】

第二回転治具009は部品009-1、009-3と第四歯車024を有している。第四歯車024は第二回転治具009の部品009-3に固定されており、第二歯車軸011を回転軸として回転することができる。第一滑車015の回転によって第二欠歯歯車023も回転する。第二欠歯歯車023の歯は第四歯車024と噛み合うようになっている。第二欠歯歯車023が回転し、第一欠歯歯車023の歯が第四歯車024と噛み合うと、第二欠歯歯車023の回転は第四歯車024に伝達される。第二欠歯歯車023の欠歯領域では、第二欠歯歯車023の回転は第四歯車024に伝達されない。第二欠歯歯車023によって第二回転治具009が回転すると、第一回転治具006はY方向にスライドすることになる。30

【0038】

第一回転治具006の回転および第一回転治具006のスライドするタイミングは、第一欠歯歯車022と第二欠歯歯車023の欠歯領域の長さおよび第一滑車015上の配置によって決定することができる。

【0039】

第一回転治具006の詳細な動きについては実施例1と同じであるので、撮影(観察)手順などの説明は省略する。

【実施例3】**【0040】**

実施例1では動力分離器に入力する動力として、スライド棒の直進運動の例を示した。実施の形態に係る試料ホルダの第三の実施例(実施例3)では動力分離器に回転運動を入力した例を示す。ワイヤーを用いていないので、ワイヤーが切断する可能性がなく、ワイヤーと滑車が滑ることがないため動作の再現性も良くなる。

【0041】

実施例3について図8および図9を用いて説明する。図8は実施例3に係る試料ホルダ50

の先端部の構成図である。図9は実施例3に係る試料ホルダの先端部分の側面図である。実施例3に係る試料ホルダ100Cの動力分離器は第一かさ歯車(回転体)026、第一ピン016、第二ピン017から構成されている。動力分離器に入力される動力は、第二かさ歯車軸028の回転運動である。第二かさ歯車軸028の先端には第二かさ歯車027が取り付けられており、第二かさ歯車軸028の回転によって第一かさ歯車026が回転する。

【0042】

第一かさ歯車026には回転面に対して下に第一ピン016が、上に第二ピン017が取り付けられている。第一ピン016、第二ピン017の役割、および各部品の動きについては実施例1と同じであるので、撮影手順などの説明は省略する。

10

【実施例4】

【0043】

実施例3では動力分離器に入力する動力として、かさ歯車軸の回転運動の例を示した。実施の形態に係る試料ホルダの第四の実施例(実施例4)では動力分離器に回転運動を入力した別の例を示す。

【0044】

実施例4について図10を用いて説明する。図10は実施例4に係る試料ホルダの先端部の構成図である。実施例4に係る試料ホルダ100Dの動力分離器はピン付き歯車029、第一ピン016、第二ピン017から構成されている。動力分離器に入力される動力は、ウォームホイル軸031の回転運動である。ウォームホイル軸031の先端にはウォームホイル030が取り付けられており、ウォームホイル軸031の回転によってピン付き歯車029が回転する。

20

【0045】

ピン付き歯車029には回転面に対して下に第一ピン016が、上に第二ピン017が取り付けられている。第一ピン016、第二ピン017の役割、および各部品の動きについては実施例1と同じであるので、撮影手順などの説明は省略する。

【実施例5】

【0046】

実施の形態に係る試料ホルダの第五の実施例(実施例5)では、実施例2に示した欠歯歯車を用いた動力分離器と、実施例3に示した動力分離器にかさ歯車軸の回転運動を入力した実施例を組み合わせた実施例を示す。

30

【0047】

実施例5について図11を用いて説明する。図11は実施例5に係る試料ホルダの先端部の構成図である。実施例5に係る試料ホルダ100Eの動力分離器は第一かさ歯車026、第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023から構成されている。第一欠歯歯車022は第一かさ歯車026に隠れているため図示されていない。

【0048】

動力分離器に入力される動力は、第二かさ歯車軸028の回転運動である。第二かさ歯車軸028の先端には第二かさ歯車027が取り付けられており、第二かさ歯車軸028の回転によって第一かさ歯車026が回転する。

40

【0049】

第一かさ歯車026には回転面に対して下に第一欠歯歯車022が、上に第二欠歯歯車023が取り付けられている。第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023は第一かさ歯車026に固定されており、第一滑車軸025を回転軸として回転することができる。第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023の役割、および各部品の動きについては実施例2と同じであるので、撮影手順などの説明は省略する。

【実施例6】

【0050】

実施の形態に係る試料ホルダの第六の実施例(実施例6)では、実施例2に示した欠歯歯車を用いた動力分離器と、実施例4に示した動力分離器にウォームギアの回転運動を入

50

力した実施例を組み合わせた実施例を示す。

【0051】

実施例6について図12を用いて説明する。図12は試料ホルダの先端部の構成図である。実施例6に係る試料ホルダ100Fの動力分離器は第五歯車(回転体)032、第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023から構成されている。第一欠歯歯車022は第五歯車032に隠れているため図示されていない。

【0052】

動力分離器に入力される動力は、ウォームホイル軸031の回転運動である。ウォームホイル軸031の先端にはウォームホイル030が取り付けられており、ウォームホイル軸031の回転によって第五歯車032が回転する。

10

【0053】

第五歯車032は回転面に対して下に第一欠歯歯車022が、上に第二欠歯歯車023が取り付けられている。第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023は第五歯車032に固定されており、第一滑車軸025を回転軸として回転することができる。第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023の役割、および各部品の動きについては実施例2と同じであるので、撮影手順などの説明は省略する。

【実施例7】

【0054】

実施例2では動力分離器に2つの欠歯歯車を用いていた。実施の形態に係る試料ホルダの第七の実施例(実施例7)では欠歯歯車の欠歯領域がない場合の例を示す。

20

【0055】

実施例7について図13を用いて説明する。図13は各部品の動きを示す実施例7に係る試料ホルダ100Gの先端部分の上面図である。本実施例では第一欠歯歯車022、第二欠歯歯車023に欠歯領域はないが、便宜上欠歯歯車と表記する。

【0056】

第一滑車015が反時計回りに回ると、第二欠歯歯車023も反時計回りに回る。その結果、第二欠歯歯車023に噛み合っている第四歯車024は第二歯車軸011を回転軸として時計回りに回転する。第二回転治具009は部品009-3が第四歯車024に固定されているため、第二歯車軸011を回転軸として時計回りに回転する。

【0057】

30

一方、第一滑車015が反時計周りに回ると、第一欠歯歯車022も反時計回りに回る。その結果、第一欠歯歯車022に噛み合っている第二歯車010は第二歯車軸011を回転軸として時計回りに回転する。さらに、第二歯車010に噛み合っている第一歯車007は第一歯車軸008を回転軸として反時計回りに回転する。試料003を搭載している第一回転治具006は第一歯車007に固定されているため、第一歯車軸008を回転軸として反時計回りに回転する(図13(B))。

【0058】

第一滑車015をさらに反時計周りに回転させ、試料003が図13(A)の状態に対して45°傾いたときに第一滑車015の回転を止める(図13(C))。この状態で試料003を第1の回転軸RA1の周りに-180°から+180°回転させ、観察領域のx軸周りの回転シリーズ像を取得する。

40

【0059】

次に、第一滑車015をさらに時計周りに回転させ、第一の回転軸RA1に対して図13(C)と線対称な状態を作る。その状態で試料003を第1の回転軸RA1の周りに-180°から+180°回転させ、観察領域のy軸周りの回転シリーズ像を取得する。

【0060】

欠歯歯車の欠歯領域を無くした場合、第一滑車015の回転に伴い、第一回転治具006と第二回転治具009は同時に回転する。第一回転治具006の第二回転治具009の中心軸に対する回転角をθとし、第二回転治具009の第1の回転軸RA1に対する回転角をφとする。第一歯車軸008から試料003の先端までの距離をa、第二歯車軸01

50

1 から第一歯車軸 0 0 8までの距離を b とする。

【0 0 6 1】

試料 0 0 3 の傾きに伴い、試料 0 0 3 の先端は第 1 の回転軸 R A 1 上から離れる。 Y 軸方向のずれ量は

$$d = b \times \sin(-\alpha) \quad (\text{式 } 1)$$

となる。図 1 3 (C) の状態 ($\alpha = 45^\circ$) で、試料 0 0 3 の先端が第 1 の回転軸 R A 1 上に存在するためには $d = 0$ となることから、式 1 は

$$\alpha = \arcsin(a \times \sin 45^\circ / b) \quad (\text{式 } 2)$$

となる。

【0 0 6 2】

10

の回転角が β の回転角の n 倍になるように歯車のギア比を調整したとすると、 $\beta = n\alpha$ となるので、図 1 3 (C) の状態では、

$$\beta - \alpha = n(\beta - \alpha) = 45^\circ \quad (\text{式 } 3)$$

となる。したがって、式 2 を式 3 に代入すると

$$n = 45^\circ / (\beta - \alpha) = 45^\circ / \arcsin(a \times \sin 45^\circ / b) + 1 \quad (\text{式 } 4)$$

となる。例えば $a = 2 \text{ mm}$ 、 $b = 3 \text{ mm}$ であった場合、 $n = 2.6$ となるよう歯車のギア比を調整しておけば、試料 0 0 3 が 45° 傾いたとき、試料 0 0 3 の先端を第 1 の回転軸上に配置することができる。なお、試料 0 0 3 の先端を第 1 の回転軸上に配置する必要はない。観察領域内に試料 0 0 3 を配置すればよい。

【0 0 6 3】

20

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態および実施例に基づき具体的に説明したが、本発明は、上記実施の形態および実施例に限定されるものではなく、種々変更可能であることはいうまでもない。

例えば、実施例 1 から実施例 7 に係る試料ホルダの上下が反対の構成であってもよい。すなわち、試料ホルダを上下反対に試料室に挿入するような構成であってもよいし、試料ホルダの一部の部品の構成が上下反対であってもよい。

【符号の説明】

【0 0 6 4】

0 0 1 保持筒

30

0 0 2 保持棒

0 0 2 - 1、0 0 2 - 2 保持棒の部品

0 0 3 試料

0 0 4 針状ステージ

0 0 5 針状ステージホルダ

0 0 6 第一回転治具

0 0 7 第一歯車

0 0 8 第一歯車軸

0 0 9 第二回転治具

0 0 9 - 1、0 0 9 - 2、0 0 9 - 3 第二回転治具の部品

0 1 0 第二歯車

40

0 1 1 第二歯車軸

0 1 2 第三歯車

0 1 3 第三歯車軸

0 1 4 第一ピン遊動長孔

0 1 5 第一滑車

0 1 6 第一ピン

0 1 7 第二ピン

0 1 8 ワイヤー

0 1 9 スライド棒

0 2 0 第二滑車

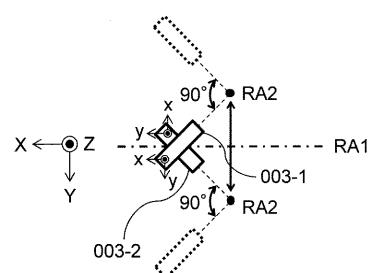
50

- 0 2 1 V字溝
 0 2 2 第一欠歯歯車
 0 2 3 第二欠歯歯車
 0 2 4 第四歯車
 0 2 5 第一滑車軸
 0 2 6 第一かさ歯車
 0 2 7 第二かさ歯車
 0 2 8 第二かさ歯車軸
 0 2 9 ピン付き歯車
 0 3 0 ウォームホイル
 0 3 1 ウォームホイル軸
 0 3 2 第五歯車

10

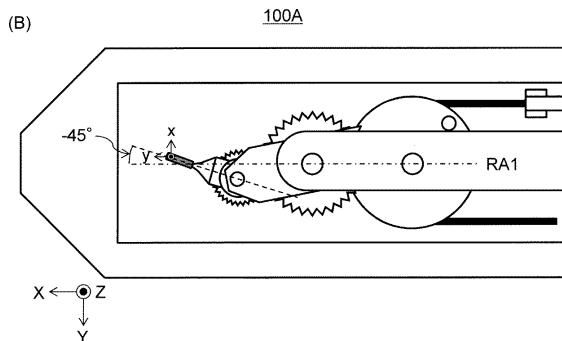
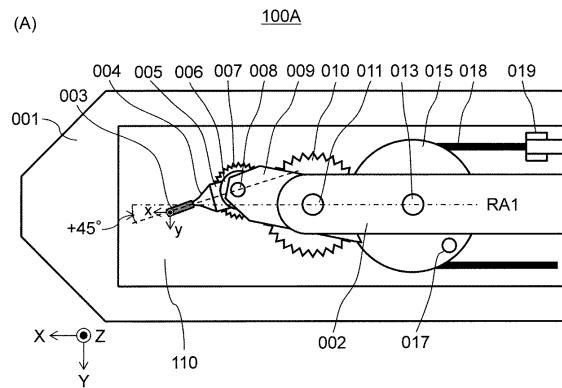
【図1】

図1

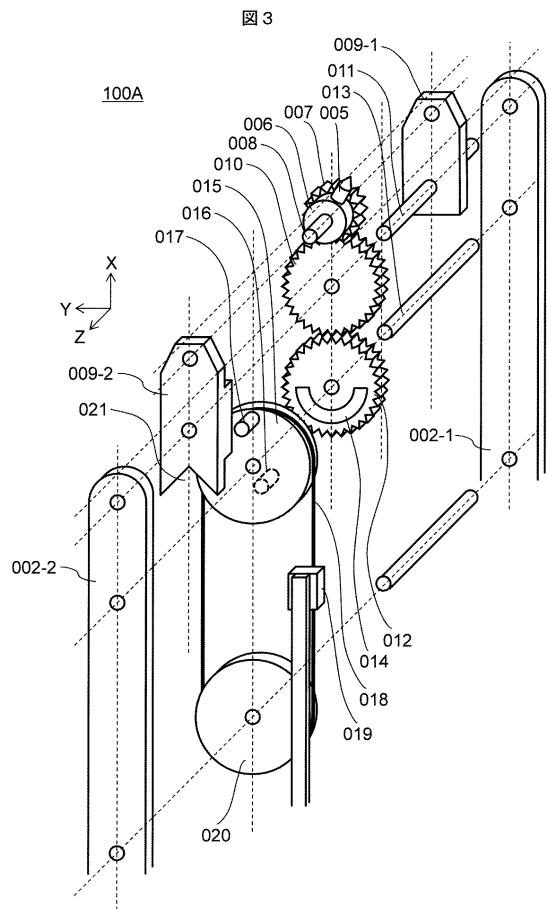


【図2】

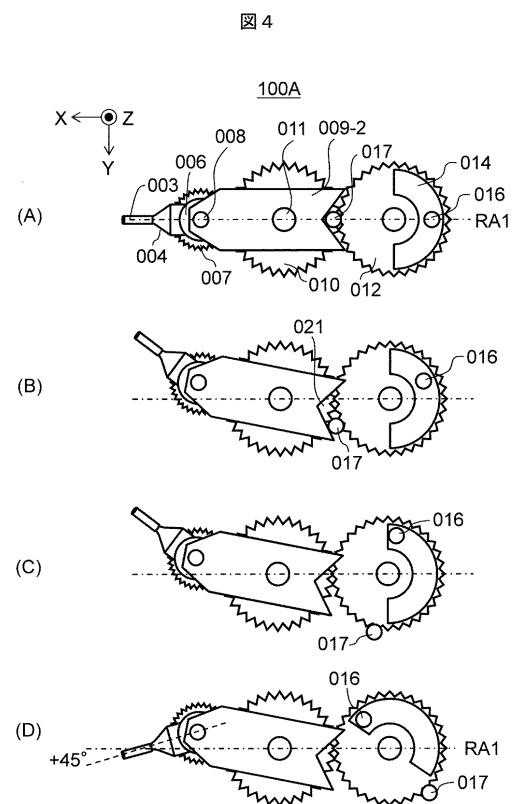
図2



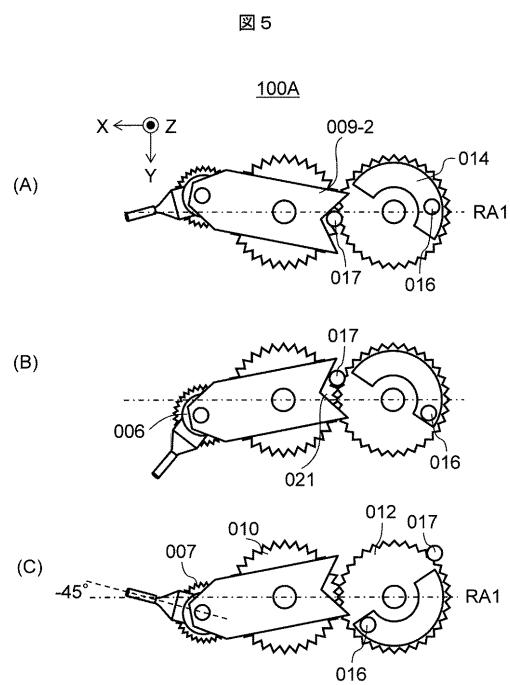
【図3】



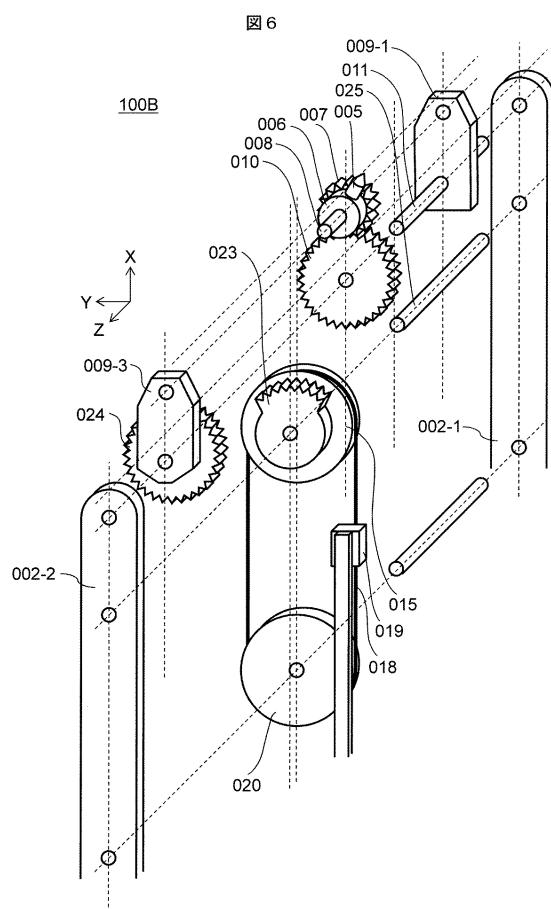
【図4】



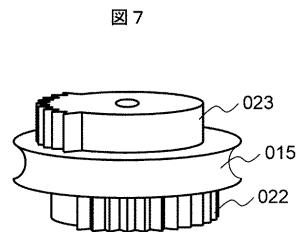
【図5】



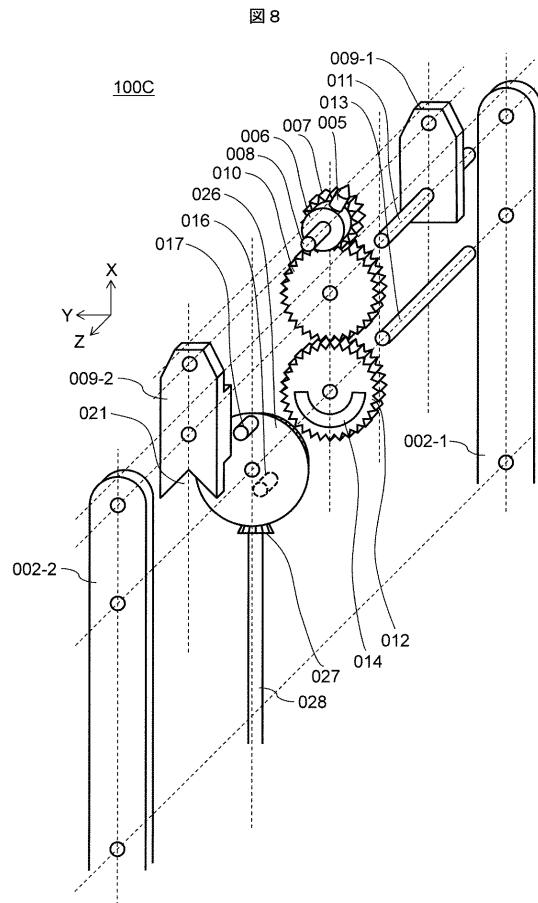
【図6】



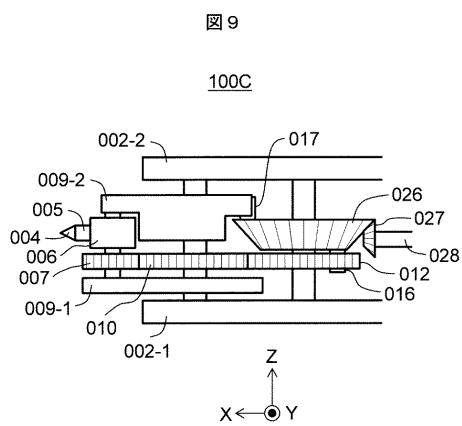
【図7】



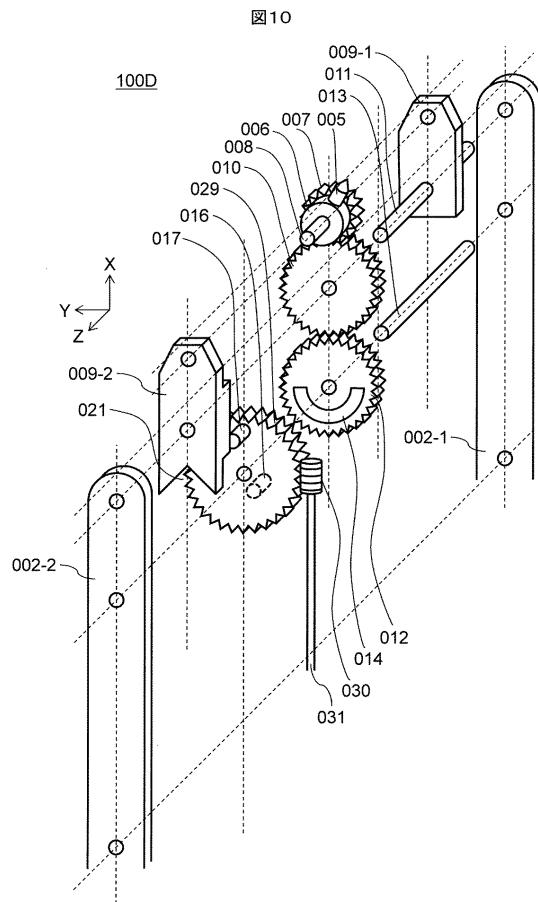
【図8】



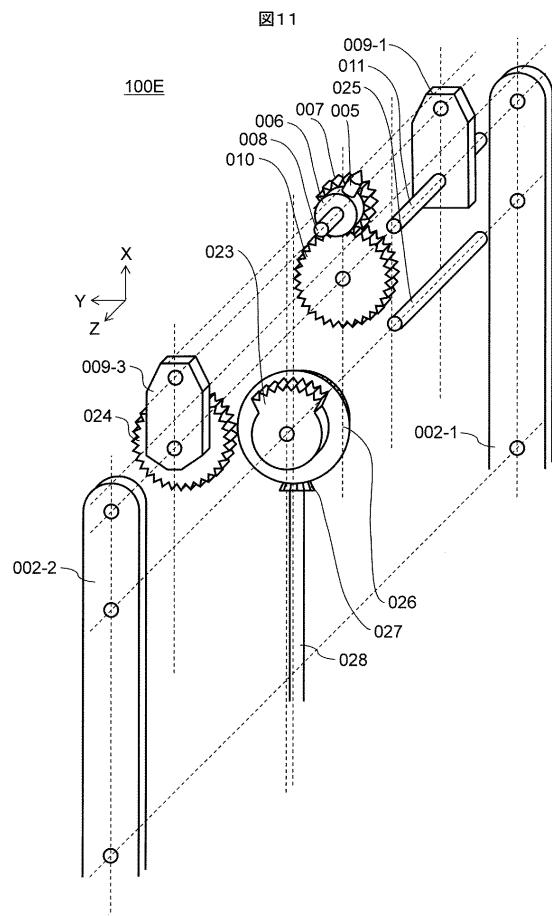
【図9】



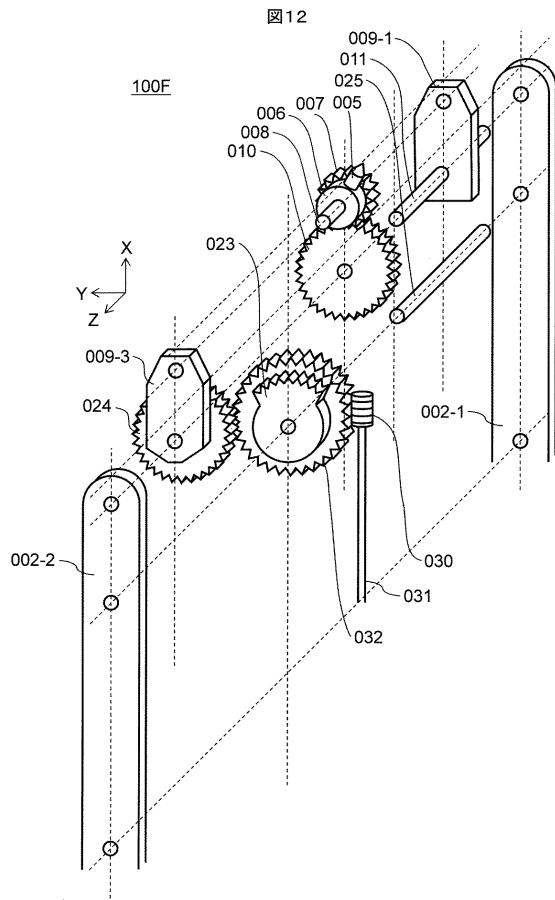
【図10】



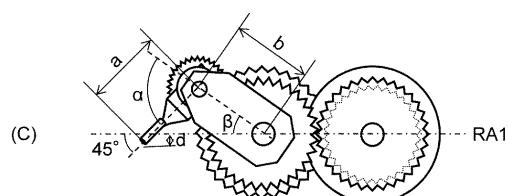
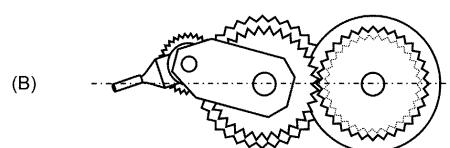
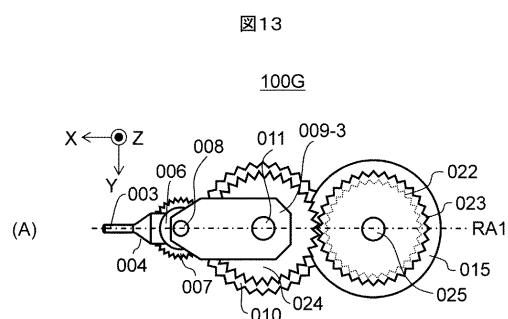
【図11】



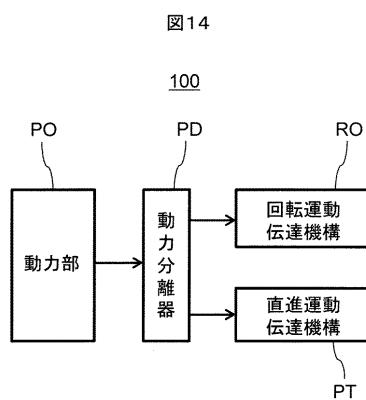
【図12】



【図13】

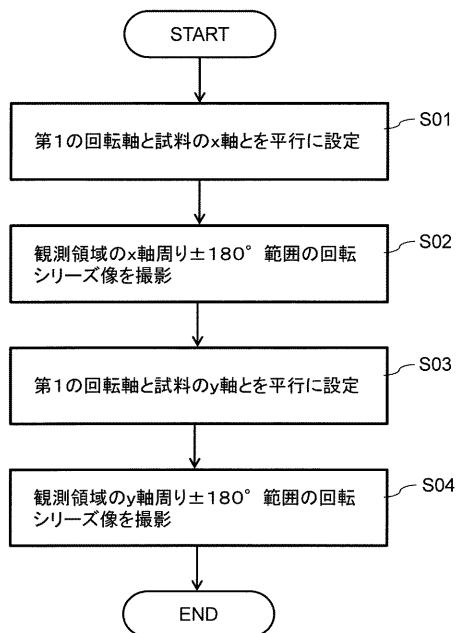


【図14】



【図15】

図15



フロントページの続き

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開2012-109115(JP,A)
特開2013-149507(JP,A)
米国特許第08089053(US,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/20