

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-142454

(P2015-142454A)

(43) 公開日 平成27年8月3日(2015. 8. 3)

| (51) Int.Cl. |              |                  | F I         |              |          | テーマコード (参考)  |  |
|--------------|--------------|------------------|-------------|--------------|----------|--------------|--|
| <b>H02K</b>  | <b>33/00</b> | <b>(2006.01)</b> | <b>H02K</b> | <b>33/00</b> | <b>B</b> | <b>3C707</b> |  |
| <b>B25J</b>  | <b>19/00</b> | <b>(2006.01)</b> | <b>B25J</b> | <b>19/00</b> | <b>A</b> | <b>3J027</b> |  |
| <b>H02K</b>  | <b>7/116</b> | <b>(2006.01)</b> | <b>H02K</b> | <b>7/116</b> |          | <b>5H607</b> |  |
| <b>F16H</b>  | <b>1/32</b>  | <b>(2006.01)</b> | <b>F16H</b> | <b>1/32</b>  | <b>C</b> | <b>5H633</b> |  |

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 21 頁)

|           |                            |          |                                |
|-----------|----------------------------|----------|--------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2014-14567 (P2014-14567) | (71) 出願人 | 000001007                      |
| (22) 出願日  | 平成26年1月29日 (2014. 1. 29)   |          | キヤノン株式会社                       |
|           |                            |          | 東京都大田区下丸子3丁目30番2号              |
|           |                            | (74) 代理人 | 100082337                      |
|           |                            |          | 弁理士 近島 一夫                      |
|           |                            | (74) 代理人 | 100141508                      |
|           |                            |          | 弁理士 大田 隆史                      |
|           |                            | (72) 発明者 | 長谷川 勝英                         |
|           |                            |          | 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ            |
|           |                            |          | ヤノン株式会社内                       |
|           |                            | Fターム(参考) | 3C707 BS10 CX01 CX03 CY36 HS27 |
|           |                            |          | HT25                           |
|           |                            |          | 3J027 FA17 FA36 FB32 GA10 GB02 |
|           |                            |          | GB03 GC10 GC24 GD03 GD08       |
|           |                            |          | GD12 GE11 GE18 GE29            |
|           |                            |          | 最終頁に続く                         |

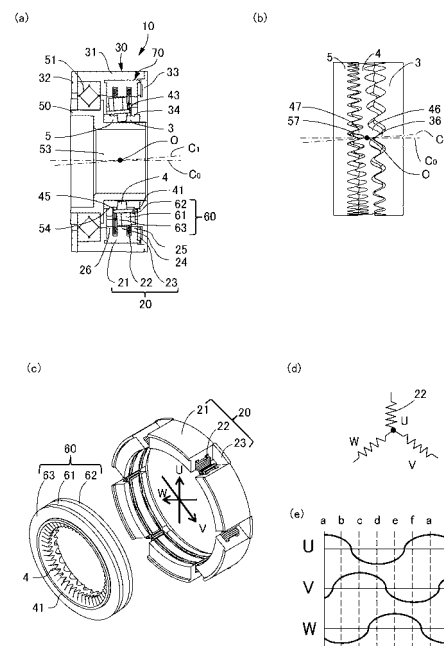
(54) 【発明の名称】 アクチュエータ及び多関節ロボットアーム

## (57) 【要約】

【課題】加工組立が容易で部品点数が少なく、小型軽量かつ高剛性、高トルク容量を実現可能なアクチュエータを提供する。

【解決手段】アクチュエータ10は、ハウジング30と、ハウジング30と同軸に配置され、ハウジング30に対して回転自在に設けられた出力軸50と、ハウジング30に対して出力軸50を回転駆動する駆動機構70と、を備えている。駆動機構70は、第1のギヤ3、第2のギヤ5、揺動ギヤ4、ロータ磁気回路60及びステータ磁気回路20を有する。揺動ギヤ4は、第1のギヤ3と第2のギヤ5との間に配置され、ハウジング30の軸線C<sub>0</sub>に対して傾斜する傾斜軸線C<sub>1</sub>まわりに回転自在に設けられる。ロータ磁気回路60は、揺動ギヤ4に固定されている。ステータ磁気回路20は、ハウジング30に固定され、ロータ磁気回路60を吸引又は反発する電磁力を発生して、揺動ギヤ4を揺動させる。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 の軸と、

前記第 1 の軸と同軸に配置され、前記第 1 の軸に対して回転自在に設けられた第 2 の軸と、

前記第 1 の軸に対して前記第 2 の軸を回転駆動する駆動機構と、を備え、

前記駆動機構は、

軸方向の一方側を指向する歯を有し、前記第 1 の軸と同軸に配置された第 1 のギヤと、

前記第 1 のギヤに対向する歯を有し、前記第 1 の軸と同軸に配置され、前記第 2 の軸に固定された第 2 のギヤと、

前記第 1 のギヤと前記第 2 のギヤとの間に配置され、前記第 1 の軸の軸線に対して傾斜する傾斜軸線まわりに回転自在に設けられると共に、前記第 1 のギヤの歯数と 1 つ異なる歯数であって、前記第 1 のギヤに噛合する第 1 の歯と、前記第 2 のギヤの歯数と 1 つ異なる歯数であって、前記第 1 の歯の前記第 1 のギヤとの噛合部位の半径方向及び軸方向の反対側で、前記第 2 のギヤに噛合する第 2 の歯と、を有し、前記第 1 のギヤ及び前記第 2 のギヤに対して一定の傾斜角で噛合する第 1 の揺動ギヤと、

前記第 1 の揺動ギヤに固定されたロータ磁気回路と、

前記第 1 の軸に固定され、前記ロータ磁気回路を吸引又は反発する電磁力を発生して、前記第 1 の揺動ギヤを揺動させるステータ磁気回路と、を有することを特徴とするアクチュエータ。

## 【請求項 2】

前記ロータ磁気回路は、前記傾斜軸線の方に磁化され、前記ステータ磁気回路に半径方向で対向するように配置された永久磁石を備えることを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 3】

前記ロータ磁気回路は、前記第 1 の揺動ギヤから前記傾斜軸線の方の両側に突出する一対の突出片を有し、軟磁性材で形成されたフランジを備え、

前記ステータ磁気回路は、前記各突出片を吸引する電磁力を発生して、前記第 1 の揺動ギヤを揺動させることを特徴とする請求項 1 に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 4】

前記第 1 の軸及び前記第 2 の軸のうちいずれか一方の軸が、前記駆動機構を収容するハウジングであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 5】

前記駆動機構は、前記第 1 の揺動ギヤを支持し、前記第 1 のギヤ及び前記第 2 のギヤのうち少なくとも一方のギヤに、半径方向で接触する支持手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 6】

前記支持手段は、前記少なくとも一方のギヤに対してころがり接触する形状に形成されていることを特徴とする請求項 5 に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 7】

前記第 1 のギヤは、前記第 1 の軸に固定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 8】

前記第 1 のギヤは、前記第 2 の軸に固定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 9】

前記第 1 のギヤと前記第 2 のギヤとが同じ歯数であり、

前記駆動機構は、前記第 1 の軸と前記第 1 の揺動ギヤとを連結する継手機構を有することを特徴とする請求項 8 に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 10】

前記第 1 のギヤと前記第 2 のギヤとが異なる歯数であり、  
前記駆動機構は、  
軸方向の一方側を指向する歯を有し、前記第 1 の軸と同軸に配置され、前記第 2 の軸に固定された第 3 のギヤと、

前記第 3 のギヤの歯数と 1 つ異なる歯数であって、前記第 3 のギヤに斜めに噛合する第 3 の歯を有すると共に、前記第 1 の揺動ギヤと同軸で一体に回転する第 2 の揺動ギヤと、を有することを特徴とする請求項 8 に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 11】

前記駆動機構を一对備え、前記一对の駆動機構が、前記軸線に対して垂直な面で面対称に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載のアクチュエータ。

10

## 【請求項 12】

前記一对の駆動機構を複数備えたことを特徴とする請求項 11 に記載のアクチュエータ。

## 【請求項 13】

複数のリンクを互いに連結する複数の関節のうち少なくとも 1 つの関節に、請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載のアクチュエータが配置されていることを特徴とする多関節ロボットアーム。

## 【発明の詳細な説明】

20

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、揺動ギヤを備えるアクチュエータ、及び該アクチュエータを備える多関節ロボットアームに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

一般に、産業用ロボットは、高速低トルクの駆動モータの出力を減速機で低速高トルクに変換して関節駆動する多関節ロボットアームを備えている。多関節ロボットアームに用いられる減速機としては、揺動歯車の揺動運動により大きな減速比が得られる揺動歯車機構が知られている。

30

## 【0003】

この種の揺動歯車機構として、入力軸と同軸に設けた固定歯車に歯数が異なる揺動歯車を入力軸によって傾斜させて噛み合わせ、入力軸の回転によって揺動歯車を揺動運動させるものが提案されている（特許文献 1 参照）。この特許文献 1 では、入力軸の一回転につき歯数差分だけ揺動歯車が公転（回転）するよう構成し、この公転（回転）成分のみを出力軸に取り出すことで減速させている。

## 【0004】

また、ロボット用ではないが、公転成分の取り出しではなく、固定歯車と反対側に出力歯車を設けて揺動歯車に噛み合わせ、これら二組の歯車の差動によって減速するものをモータと一体化してアクチュエータとしたものが提案されている（特許文献 2 参照）。

40

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献 1】特公昭 44-2373 号公報

【特許文献 2】特許 4617130 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

ところで、これらの揺動歯車機構には、一般的なインボリュート歯型の歯車やピン歯車が用いられており、その場合、噛み合い歯数を多くすることは困難である。またこの噛み

50

合いを安定させるためには、揺動歯車を軸支する傾斜軸に高い精度と剛性が必要とされ、大容量の軸受を用い精密に組み立てねばならない。そのため、例えば、産業用ロボットの関節アクチュエータに用いられる小型軽量かつ高剛性及び高トルク容量を必要とするアクチュエータには適さないという問題があった。

#### 【0007】

そこで、本発明は、加工組立が容易で部品点数が少なく、小型軽量かつ高剛性、高トルク容量を実現可能なアクチュエータ及びこれを備えるロボットアームを提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明のアクチュエータは、第1の軸と、前記第1の軸と同軸に配置され、前記第1の軸に対して回転自在に設けられた第2の軸と、前記第1の軸に対して前記第2の軸を回転駆動する駆動機構と、を備え、前記駆動機構は、軸方向の一方側を指向する歯を有し、前記第1の軸と同軸に配置された第1のギヤと、前記第1のギヤに対向する歯を有し、前記第1の軸と同軸に配置され、前記第2の軸に固定された第2のギヤと、前記第1のギヤと前記第2のギヤとの間に配置され、前記第1の軸の軸線に対して傾斜する傾斜軸線まわりに回転自在に設けられると共に、前記第1のギヤの歯数と1つ異なる歯数であって、前記第1のギヤに噛合する第1の歯と、前記第2のギヤの歯数と1つ異なる歯数であって、前記第1の歯の前記第1のギヤとの噛合部位の半径方向及び軸方向の反対側で、前記第2のギヤに噛合する第2の歯と、を有し、前記第1のギヤ及び前記第2のギヤに対して一定の傾斜角で噛合する第1の揺動ギヤと、前記第1の揺動ギヤに固定されたロータ磁気回路と、前記第1の軸に固定され、前記ロータ磁気回路を吸引又は反発する電磁力を発生して、前記第1の揺動ギヤを揺動させるステータ磁気回路と、を有することを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

本発明によれば、第1及び第2のギヤで第1の揺動ギヤの傾斜角度と軸方向位置を拘束し、ステータ磁気回路が第1の揺動ギヤに固定されたロータ磁気回路に回転磁界を発生して第1の揺動ギヤの傾斜方向を回転させることで回転出力トルクを発生させている。これにより、入力軸、及び入力軸を支持する軸受等を省略でき、部品点数を削減できる。また、多数の歯で負荷トルクを分担できるようにしたので、大型化することなく、組立性が良くしかも高トルク容量を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0010】

【図1】第1実施形態に係るロボット装置の概略構成を示す斜視図である。

【図2】第1実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。

【図3】第1実施形態に係るアクチュエータに用いる歯車機構の凸歯型曲線を求めるための説明図である。

【図4】第1のギヤの歯と揺動ギヤの歯の噛み合い状態を示す図である。

【図5】第2実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。

【図6】第3実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。

【図7】第4実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。

【図8】第5実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0011】

##### <第1実施形態>

以下、本発明の第1実施形態に係るロボット装置500について、図1から図4を参照しながら説明する。まず、第1実施形態に係るロボット装置500の概略構成について、図1を参照しながら説明する。図1は、本発明の第1実施形態に係るロボット装置の概略構成を示す斜視図である。

#### 【0012】

図 1 に示すように、ロボット装置 500 は、産業用ロボットであり、ワーク W の組み立て等の作業を行うロボット 100 と、ロボット 100 を制御する制御装置 200 と、制御装置 200 に接続されたティーチングペンダント 300 と、を備えている。

#### 【0013】

ロボット 100 は、多関節ロボットアーム（以下「ロボットアーム」という）101 と、ロボットアーム 101 の先端に接続されたエンドエフェクタであるロボットハンド 102 と、を備えている。

#### 【0014】

ロボットアーム 101 は、垂直多関節型のロボットアームであり、作業台に固定されるベース部 103 と、変位や力を伝達する複数のリンク 121～126 と、を有している。ベース部 103 及び複数のリンク 121～126 は、複数の関節 J1～J6 で旋回又は回転可能に互いに連結されている。また、ロボットアーム 101 は、各関節 J1～J6 に設けられた、回転軸の回転角度を検出する不図示のエンコーダと、関節を駆動するアクチュエータ 10 と、を備えている。各関節 J1～J6 に配置されたアクチュエータ 10 は、必要なトルクの大きさに合わせて適切な出力のものが用いられる。なお、アクチュエータ 10 については、後に詳しく説明する。

#### 【0015】

ロボットハンド 102 は、ワーク W を把持する複数の把持爪 104 と、複数の把持爪 104 を駆動するアクチュエータ 10 と、アクチュエータ 10 の回転角度を検出する不図示のエンコーダと、回転を把持動作に変換する不図示の機構とを有している。この不図示の機構は、カム機構やリンク機構などで必要な把持動作に合わせて設計される。なお、ロボットハンド 102 に用いるアクチュエータ 10 に必要なトルクは、ロボットアーム 101 の関節用と異なるが、基本構成は同じである。また、ロボットハンド 102 は、把持爪 104 等に作用する応力（反力）を検出可能な不図示の力覚センサを有している。

#### 【0016】

ティーチングペンダント 300 は、制御装置 200 に接続可能に構成され、制御装置 200 に接続された際に、ロボットアーム 101 やロボットハンド 102 を駆動制御する指令を制御装置 200 に送信可能に構成されている。

#### 【0017】

制御装置 200 は、コンピュータにより構成されている。制御装置 200 を構成するコンピュータは、例えば CPU と、データを一時的に記憶する RAM と、各部を制御するためのプログラムを記憶する ROM と、入出力インタフェース回路とを備えている。制御装置 200 は、アクチュエータ 10 の動作に要求される要求電力を、不図示の電源本体からアクチュエータ 10 に供給させて、ロボットアーム 101 やロボットハンド 102 の位置及び姿勢を制御する。

#### 【0018】

上述のように構成されたロボット装置 500 は、入力された設定等に従って、制御装置 200 がロボットアーム 101 の各関節 J1～J6 のアクチュエータ 10 を動作させることでロボットハンド 102 を任意の位置及び姿勢に移動させる。そして、任意の位置及び姿勢で、把持爪 104 に作用する応力を力覚センサで検出しながらアクチュエータ 10 の駆動を制御し、ロボットハンド 102 にワーク W を把持させて、ワーク W の組み立て等の作業を行うことができる。

#### 【0019】

次に、第 1 実施形態に係るアクチュエータ 10 について、図 2 から図 4 を用いて説明する。まず、アクチュエータ 10 の概略構成について、図 2 を用いて説明する。図 2 は、第 1 実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。図 2（a）はアクチュエータの断面図、図 2（b）はアクチュエータの歯車の側面図、図 2（c）はアクチュエータの磁気回路の分解斜視図、図 2（d）はステータ磁気回路のコイルの結線図、図 2（e）は各コイルに通電する駆動電流の波形図である。

#### 【0020】

10

20

30

40

50

図 2 (a) に示すように、アクチュエータ 10 は、第 1 の軸であるハウジング 30 と、第 2 の軸である出力軸 50 と、駆動機構 70 とを備えている。出力軸 50 は、ハウジング 30 と同軸に配置され、ハウジング 30 にクロスロー軸受 (軸受) 51 により回転自在に支持されている。駆動機構 70 は、ハウジング 30 に対して出力軸 50 を回転駆動する。つまり、出力軸 50 は、駆動機構 70 による駆動により、ハウジング 30 に対して相対的に回転する。

#### 【0021】

第 1 実施形態では、第 1 の軸がハウジング 30 であるので、駆動機構 70 は、ハウジング 30 の内部に収容されている。駆動機構 70 は、円環状に形成されており、出力軸 50 は、駆動機構 70 の内側に配置されている。

10

#### 【0022】

なお、ベース部 103 (図 1) には、ハウジング 30 及び出力軸 50 のうち一方が固定され、リンク 121 (図 1) には、ハウジング 30 及び出力軸 50 のうち他方が固定されている。同様に、リンク 121 ~ 126 (図 1) で互いに連結された 2 つのリンクのうち、一方のリンクには、ハウジング 30 及び出力軸 50 のうち一方が固定され、他方のリンクには、ハウジング 30 及び出力軸 50 のうち他方が固定されている。

#### 【0023】

ハウジング 30 は、略円筒形状に形成された胴部 31 と、胴部 31 の一方の開放端に固定された円環状の蓋部 32 と、胴部 31 の他方の開放端に固定された円環状の蓋部 33 と、を有している。出力軸 50 には、中空孔 53 が形成されている。クロスロー軸受 51 は、外輪がハウジング 30 の胴部 31 の内側面に固定され、内輪が出力軸 50 の外側面に固定されている。

20

#### 【0024】

駆動機構 70 は、第 1 のギヤ 3 と、第 2 のギヤ 5 と、第 1 の揺動ギヤである揺動ギヤ 4 と、ステータ磁気回路 20 と、ロータ磁気回路 60 とを備えている。第 1 のギヤ 3、第 2 のギヤ 5、揺動ギヤ 4、ステータ磁気回路 20 及びロータ磁気回路 60 は、円環状に形成されている。第 1 のギヤ 3、第 2 のギヤ 5 及びステータ磁気回路 20 は、ハウジング 30 (出力軸 50) と同軸に配置されている。

#### 【0025】

ステータ磁気回路 20 は、ハウジング 30 の内側、具体的にはハウジング 30 の胴部 31 の内側に固定されている。揺動ギヤ 4 には、揺動ギヤ 4 を支持する支持手段としてのフランジ 41 が固定されており、フランジ 41 には、ロータ磁気回路 60 が固定されている。これにより、揺動ギヤ 4 には、ロータ磁気回路 60 がフランジ 41 を介して一体に固定されている。具体的に説明すると、ロータ磁気回路 60 の内側に、円環状のフランジ 41 が固定され、フランジ 41 の内側に揺動ギヤ 4 が固定されている。これら一体化された揺動ギヤ 4 及びロータ磁気回路 60 が、ステータ磁気回路 20 の内側に配置されている。

30

#### 【0026】

第 1 のギヤ 3、第 2 のギヤ 5 及び揺動ギヤ 4 は、フェースギヤとなっており、第 1 のギヤ 3 及び第 2 のギヤ 5 は片面に、揺動ギヤ 4 は両面に歯が形成されている。そして、第 1 のギヤ 3 と第 2 のギヤ 5 との間に揺動ギヤ 4 が配置されている。

40

#### 【0027】

詳述すると、第 1 のギヤ 3 は、図 2 (b) に示すように、一方の面に形成され、軸方向の一方側を指向する歯 36 を有する。歯 36 は、歯数が Z1 で、所定高さよりも先端側に形成される歯先部と、所定高さよりも歯元側で歯先部同士の間形成される凹状部と、を複数有して円環状に形成されている。第 1 のギヤ 3 は、ハウジング 30 及び出力軸 50 のうちいずれか一方の軸、第 1 実施形態では、図 2 (a) に示すように、ハウジング 30 に固定されている。具体的には、第 1 のギヤ 3 は、ハウジング 30 の内側であって、ハウジング 30 の蓋部 33 に固定されている。

#### 【0028】

第 2 のギヤ 5 は、図 2 (b) に示すように、第 1 のギヤ 3 に対向する側の面に形成され

50

た歯 57 を有する。歯 57 は、歯数が  $Z_2$  で、所定高さよりも先端側に形成される歯先部と、所定高さよりも歯元側で歯先部同士の間形成される凹状部と、を複数有して円環状に形成されている。第 2 のギヤ 5 は、出力軸 50、具体的には出力軸 50 の外側に固定されている。

#### 【0029】

揺動ギヤ 4 は、第 1 のギヤ 3 及び第 2 のギヤ 5 の間に配置され、ハウジング 30（出力軸 50）の軸線  $C_0$  に対して傾斜する傾斜軸線  $C_1$  まわりに回転自在に設けられている。揺動ギヤ 4 は、一方の面に歯面が円環状に形成された、第 1 のギヤ 3 の歯 36 に噛合する第 1 の歯 46 と、他方の面に歯面が円環状に形成された、第 2 のギヤ 5 の歯 57 に噛合する第 2 の歯 47 とを有している。

10

#### 【0030】

第 1 の歯 46 は、歯数が  $Z_1 + 1$ （第 1 のギヤ 3 との歯数差が 1）となっている。第 2 の歯 47 は、歯数が  $Z_2 + 1$ （第 2 のギヤ 5 との歯数差が 1）となっており、第 1 の歯 46 の第 1 のギヤ 3 の歯 36 との噛合部位の半径方向及び軸方向の反対側で、第 2 のギヤ 5 に噛合するようになっている。これにより、揺動ギヤ 4 は、第 1 のギヤ 3 及び第 2 のギヤ 5 に対して一定の傾斜角で噛合するようになっている。揺動ギヤ 4 は、所定高さよりも先端側に形成される歯先部と、所定高さよりも歯元側で歯先部同士の間形成される凹状部と、を第 1 のギヤ 3 及び第 2 のギヤ 5 よりも多い数有し、円環状に形成された歯面を備えている。

#### 【0031】

20

即ち、第 1 のギヤ 3 の歯 36 と揺動ギヤ 4 の一方の歯 46 とは、歯先部と凹状部とが最も深く噛み合う最噛合位置、最噛合位置の反対側で歯先部同士がすれ違うすれ違い位置、を形成し得るように、所定角度傾斜した状態で配置されている。更に、第 1 のギヤ 3 の歯 36 と揺動ギヤ 4 の歯 46 とは、すれ違い位置の両側で歯先部同士が接触する第 1 噛合領域、第 1 噛合領域よりも最噛合位置側で互いの歯先部と凹状部とが接触する第 2 噛合領域を形成し得るように、所定角度傾斜して配置されている。

#### 【0032】

同様に、第 2 のギヤ 5 の歯 57 と揺動ギヤ 4 の他方の歯 47 とは、歯先部と凹状部とが最も深く噛み合う最噛合位置、最噛合位置の反対側で歯先部同士がすれ違うすれ違い位置、を形成し得るように、所定角度傾斜した状態で配置されている。更に、第 2 のギヤ 5 の歯 57 と揺動ギヤ 4 の歯 47 とが、すれ違い位置の両側で歯先部同士が接触する第 1 噛合領域、第 1 噛合領域よりも最噛合位置側で互いの歯先部と凹状部とが接触する第 2 噛合領域を形成し得るように、所定角度傾斜して配置されている。

30

#### 【0033】

具体的には、第 1 のギヤ 3 の歯 36 と揺動ギヤ 4 の歯 46 とは、半ピッチ位相がずれて配置されており、図 2（b）の紙面下方の基準位相（最噛合位置）では、第 1 のギヤ 3 の歯 36 と揺動ギヤ 4 の歯 46 とは、半ピッチ位相がずれて深く噛み合っている。また、図 2（b）で正面となる基準位相に対して  $\pm 90$  度（第 1 噛合領域と第 2 噛合領域との境界位置）の近傍では、第 1 のギヤ 3 の歯 36 と揺動ギヤ 4 の歯 46 とは、 $1/4$  ピッチ位相がずれて浅く噛み合っている（例えば、歯先部同士が 1 点で接触する）。

40

#### 【0034】

更に、図 2（b）の紙面上方である基準位相に対して  $\pm 180$  度（すれ違い位置）では、第 1 のギヤ 3 の歯 36 と揺動ギヤ 4 の歯 46 とは、同位相となって歯先部の先端同士が接触している。そして、これらの間の位相においては、徐々に歯 36 と歯 46 とが位相を変化させて噛み合い深さを変化させることで、第 1 のギヤ 3 の歯 36 と揺動ギヤ 4 の歯 46 とは、ほぼ全周において接触するようになっている。歯数は異なるが、同様に第 2 のギヤ 5 の歯 57 と揺動ギヤ 4 の歯 47 も、徐々に歯 57 と歯 47 とが位相を変化させて噛み合い深さを変化させることで、第 2 のギヤ 5 の歯 57 と揺動ギヤ 4 の歯 47 とが、ほぼ全周において接触するようになっている。

#### 【0035】

50

ここで、これらの歯車のほぼ全周において、第1のギヤ3の歯36と相手側である揺動ギヤ4の歯46、第2のギヤ5の歯57と揺動ギヤ4の歯47とが接触する原理について、図3を参照しながら説明する。図3は、本発明の第1実施形態に係るアクチュエータ10に用いる歯車機構の凸歯型曲線を求めるための説明図である。

#### 【0036】

図3に示すように、第1のギヤ3の中心軸線 $C_0$ を $Z_p$ 軸、揺動ギヤ4の傾斜軸線 $C_1$ を $Z_q$ 軸とし、 $Z_q$ 軸の $Z_p$ 軸に対する傾斜角度を $\eta$ 、 $Z_p$ 軸、 $Z_q$ 軸を含む面と直交する方向に共通の $X$ 軸をとる。なお、基準点 $O$ が $Z_p$ 軸と $Z_q$ 軸の原点である。そして、 $XY_pZ_p$ 座標系と、 $XY_qZ_q$ 座標系とを設定する。ここで原点 $O$ を中心とする半径 $R$ の球面を考える。

10

#### 【0037】

次に、各座標系の赤道面である $XY_p$ 面、 $XY_q$ 面に対して緯度オフセット $k_p$ 、 $k_q$ にある小円（基準ピッチ円と呼ぶ）上を $Y_p$ 軸、 $Y_q$ 軸方向から時計回りに等速運動する点 $P$ 、 $Q$ （歯の基準点と呼ぶ）を考える。第1のギヤ3の歯数を $Z_1$ とし、揺動ギヤ4の歯数を $Z_1 + 1$ とすると、点 $P$ 、 $Q$ の経度は $\phi_p = 2\pi t / Z_1$ 、 $\phi_q = 2\pi t / (Z_1 + 1)$ （ $t$ ：媒介変数）と表すことができる。

#### 【0038】

ここで、点 $P$ 、 $Q$ を結ぶ大円の円弧 $L$ 上の点 $C$ を噛み合い点として、点 $P$ 、 $Q$ を原点とする球面上の移動座標系 $x_p y_p$ 、 $x_q y_q$ 上で点 $C$ の描く軌跡を求める。これを歯先部の凸形状とすることで、歯先同士をすれ違い位相から約 $\pm 90^\circ$ の範囲で連続して接触させることができる。この軌跡は $COS$ 関数に近い曲線であるが、単純な式で表すことはできず、煩雑になるので記述しないが、点 $C$ の座標を求めて点 $P$ 、 $Q$ の座標との差を求めればよい。

20

#### 【0039】

次に、第1のギヤ3の歯36の歯先部と揺動ギヤ4の歯46の凹状部、第1のギヤ3の歯36の凹状部と揺動ギヤ4の歯46の歯先部と、を接触させる原理について、図4を参照しながら説明する。図4は、第1のギヤ3の歯36と揺動ギヤ4の歯46の噛み合い状態を示す図である。

#### 【0040】

前記に従って第1のギヤ3と揺動ギヤ4の歯先部の歯型36、46を形成すると、図4(a)に示すように、 $Y_p$ 、 $Y_q$ 方向の位相（すれ違い位置）では、基準点（所定高さ）38、48から一定の高さにある歯先先端部同士が噛み合い点81で接するようになる。そして、すれ違い位置の両側から $X$ 軸方向に回るとつれて、図4(b)、図4(c)のように第1噛合領域を推移する（歯先部同士が1点接触）。しかし、 $X$ 軸方向での境界位置の近傍までの歯先部は凸形状であるが、これより歯元側の凹状部は上述の点 $C$ の軌跡の歯型では干渉が起きる。そこで、第1実施形態では、境界位置の近傍での噛み合い点81を噛み合い基準点（基準位置）とする。そして、これより歯元側の凹状部の歯型曲線は、噛み合い基準点より先端側の歯先部が互いの相手の歯の歯元部を動く軌跡の外接線（通過領域に倣わせた凹形状）として求めた曲線としている。

30

#### 【0041】

そのため、図4(d)及び図4(e)に示すように、第2噛合領域での噛み合い点は互いの歯先部と凹状部とが噛み合うので、接触点83、84で示す二点が同時に噛み合うようになる。

40

#### 【0042】

このように、第1実施形態に係る歯車機構の第1のギヤ3と揺動ギヤ4とをほぼ全周にわたって接触させることで、伝達トルクが分担され、非常に大きな負荷容量を小型軽量の歯車機構で得ることができる。また、圧力角は、歯数 $Z$ を大きくするほど、傾斜角 $\eta$ を大きくするほど小さくなるので、適切な圧力角を設定することが可能になる。更に、図4(a)から図4(e)に示すように、歯型は噛み合い基準点前後の曲線がほぼ直線に近い。特に噛み合い基準点より深く噛み合う位相では、歯先部と凹状部同士が2点でしかも凸面

50



と凹面で噛み合うため、接触面圧が低くなる。したがって、歯面応力が小さく摩耗が少ない歯型である。

#### 【0043】

なお、第2のギヤ5の歯57と揺動ギヤ4の歯47についても、歯数が異なるだけで、同様であるので説明は省略する。

#### 【0044】

このように第1のギヤ3の歯36と揺動ギヤ4の歯46、第2のギヤ5の歯57と揺動ギヤ4の歯47を、ともにほぼ全周にわたって接触する歯型とすることで、揺動ギヤ4の姿勢自由度のうち、傾斜方向以外は歯同士の噛み合いによって拘束される。すなわち、共有する基準点Oに位置を拘束され、軸線 $C_1$ の傾斜角度と軸線 $C_1$ 周りの回転位相も歯の噛み合いで拘束されることになる。

10

#### 【0045】

更に第1実施形態においては、フランジ41には、第1のギヤ3と揺動ギヤ4、第2のギヤ5と揺動ギヤ4との噛み合いをさらに確実にするため、第1のギヤ3及び第2のギヤ5に半径方向で接触する、周方向の受け面43、45が設けられている。即ち、第1のギヤ3には、フランジ41に設けられた内側円錐面43に接触する円筒面34が設けられ、第2のギヤ5には、フランジ41に設けられた内側円錐面45に接触する円筒面54が設けられている。

#### 【0046】

面34と面43、面54と面45は、それぞれ図2(a)で下方および上方の位相のみで接触可能な形状の接触面となっており、その接触面の軸線 $C_0$ および傾斜軸線 $C_1$ に対する半径の比が歯数の逆数比と等しい。これらの受け面部(接触面)には微小なすき間が設けられており、負荷が無い状態では接触せず、負荷が作用してギヤ3、4、5に微小な歪みが生じた際に、接触して揺動ギヤ4の姿勢変化を防ぐように作用する。この時、面34と面43に作用する力と第1のギヤ3と揺動ギヤ4の歯面に作用する力の合力は、図2(a)および図2(b)を参照すると、上下方向は逆方向で相殺し、揺動ギヤ4を左方向に押す力になる。一方、面54と面45に作用する力と第1のギヤ3と揺動ギヤ4の歯面に作用する力の合力は、同様に揺動ギヤ4を右方向に押す力になる。したがって、クロスロー軸受51に軸方向の負荷が生じるが、モーメント力による負荷は小さく抑えることができ、ギヤ3、4、5の姿勢変化が防止され振動が大きくなることがない。また、前述のように接触面の軸線 $C_1$ および軸線 $C_1$ に対する半径の比を歯数の逆数比としているので、接触面の瞬間接線速度が等しく、ころがり接触状態になっている。このため損失トルクの増大や摩耗を最小限に抑えることができる構成となっている。

20

30

#### 【0047】

ところで、揺動ギヤ4の傾斜方向は、歯の噛み合いには拘束されず、ステータ磁気回路20がロータ磁気回路60に及ぼす電磁力によって拘束されている。図2(a)及び図2(c)に示すように、ステータ磁気回路20は、電磁鋼板等の軟磁性材からなる断面E字形状のステータヨーク21と、ステータヨーク21のスロット部に巻き回されたコイル22とを有する。ステータヨーク21は、軸線 $C_0$ に向かう半径方向内側に突出する2つの突極25、26と、2つの突極25、26の間に形成され、半径方向内側に突出する中央の突極24とを有する。ステータ磁気回路20は、ステータヨーク21及びコイル22からなるコアを円周上に6個並べ、基板23上でコイル22間が接続されて構成されている。基板23は、不図示の端子を介してドライブ回路に接続されている。

40

#### 【0048】

ロータ磁気回路60は、傾斜軸線 $C_1$ の方向に着磁(磁化)された円環状の永久磁石61と、永久磁石61の両端面に設けられた軟磁性材からなるロータヨーク62、63とを有している。ロータ磁気回路60は、ロータ磁気回路60の外周面、即ち永久磁石61の外周面が半径方向でステータ磁気回路20に対向するように配置されている。図2(a)中、下方の位相では、永久磁石61のN極が発する磁束は、ロータヨーク62を通り、対面している突極25からステータヨーク21に入り、中央の突極24から出て対面してい

50

るロータヨーク63を通して永久磁石61のS極に戻る。図2(a)中、上方の位相では、逆にロータヨーク62から中央の突極24に入り、突極26からロータヨーク63に戻る。中間の位相では、これらの中間の磁束分布となる。なお、フランジ41はロータ磁気回路60に影響しないようにアルミや真鍮などの非磁性材を用いればよい。

#### 【0049】

次に、ステータ磁気回路20のコイル22の配線と駆動方法について、図2(c)～図2(e)を用いて説明する。図2(c)において、6個のコイル22は、180度対向する位置にある2個を一組として駆動電流により逆方向に励磁されるように結線され、U相、V相、W相の3組に分けられている。これら3相のコイル22は、図2(d)のようにY字状に結線されており、図2(e)のような駆動電流が流される。

10

#### 【0050】

図2(e)において、横軸は時間、縦軸は各相の電流である。時刻aには、U相にはプラス方向に最大の電流が流れ、これがV相とW相にマイナス方向に分割して流されており、時刻b, c, dの順に、正弦波状に各相の電流が変化するように駆動される。図2(c)において、上方と下方のコイル22をU相、左方向から見て時計周りに120度方向をV相、残りをW相とし、プラス方向の電流で中央の突極24が励磁される方向を矢印で示すと図2(c)のようになる。

#### 【0051】

例えば時刻aにおいては、U相が上方に最大、V相とW相は図中の矢印と反対の斜め上方に50%の強さの磁束を生じる。したがって、紙面上方の3個のステータヨーク21の中央突極24はS極に励磁され、下方の3個のステータヨーク21の中央突極24はN極に励磁される。

20

#### 【0052】

これにより、ロータヨーク62には、上方では中央突極24から吸引力が作用し、突極25から反発力が作用する。またロータヨーク62には、下方では突極25に吸引力が作用し、中央突極24から反発力が作用する。また、ロータヨーク63には、上方では突極26から吸引力が作用し、中央突極24から反発力が作用し、下方では中央突極24から吸引力が作用し、突極26から反発力が作用する。したがって、これらの合力は図2(a)に示す方向にロータ磁気回路60を傾斜させるモーメント力となる。

#### 【0053】

30

次に時刻bにおいては、W相が斜め上方に最大、U相は上方に50%、V相は斜め下方に50%の強さの磁束を生じる。したがって、ロータ磁気回路60に作用するモーメント力は、紙面左方向からみて時計回りに60度回転することになり、時刻c, d, e, fと60度ずつ回転していく。このように、図2(e)に示した3相電流で駆動することで、ロータ磁気回路60に作用するモーメント力の方向を滑らかに連続回転させることができる。

#### 【0054】

前述したように、ロータ磁気回路60と一体の揺動ギヤ4は、2つのギヤ3, 5によって位置と傾斜角が拘束されており、このようにモーメント力の方向が回転すると、これに応じて傾斜方向が回転しながら揺動することになる。

40

#### 【0055】

次にアクチュエータ10の動作について、図2(a)及び図2(c)を用いて説明する。前述のように3相駆動電流によって、ロータ磁気回路60に作用するモーメント力の方向を回転させると、傾斜軸線C<sub>1</sub>と軸線C<sub>0</sub>の交点である基準点Oのまわりを揺動ギヤ4が1回揺動運動する。

#### 【0056】

このとき、第1のギヤ3と揺動ギヤ4との歯数差の角度だけ揺動ギヤ4が回転(公転)する。即ち、モーメント力の方向が(Z<sub>1</sub>+1)回転すると、揺動ギヤ4(傾斜軸線C<sub>1</sub>)が1回転公転する。一方、第2のギヤ5と揺動ギヤ4との間にも揺動による公転が生じる。即ち、この構成は、揺動ギヤ4の公転を第2の差動歯車機構で取り出すようにした構

50

成である。この差動歯車機構の減速比は、 $1 - (Z_1 (Z_2 + 1)) / ((Z_1 + 1) Z_2)$  で計算できることが知られている。例えば、 $Z_1 = 24$ 、 $Z_2 = 48$  の時、 $1 / 50$  の減速比が得られる。また、例えば、 $Z_1 = 48$ 、 $Z_2 = 49$  とすれば、 $1 / 2401$  という大減速比も可能であり、このアクチュエータ 10 は、 $1 / 20$  程度の低減速比から数千分の 1 という大減速比まで、広い範囲の減速比を実現することが可能である。

#### 【0057】

このとき、揺動ギヤ 4 に揺動運動を起こさせるモーメント力は、この減速比に応じて増大された非常に大きな回転トルクを第 2 のギヤ 5 に発生させる。即ち、図 2 (b) において、揺動ギヤ 4 の傾斜方向を紙面手前側が第 1 のギヤ 3 と最も深く噛み合う方向に、磁気回路からのモーメント力がかかると、歯 46 が歯 36 を右方向に押して、揺動ギヤ 4 が上方に公転する力が発生する。一方、この力により歯 47 が歯 57 を上方に押しながら右方向に抜けようとするが、減速比の逆数倍にその力は増大される。

10

#### 【0058】

即ち、ステータ磁気回路 20 とロータ磁気回路 60 が発生する、高速低トルクのモーメント力の回転から、低速大トルクの出力トルクが得られるアクチュエータ 10 が実現できる。しかも、ほぼ 180 度にわたる多くの歯でトルクを分担することができるので、一般的なモータと減速機の組み合わせに比較して、小径化が可能である。さらに軸や軸受などの部品点数も少なく、小型軽量、低コストで強力なアクチュエータが実現可能である。しかも、入力軸がないため、出力軸 50 には大きな中空孔 53 を設けることができるので、ロボットアーム 101 の関節 J1 ~ J6 として用いる場合の配線やエア用の配管を通すこともできる。

20

#### 【0059】

なお、出力軸 50 に負荷トルクがかかると、駆動電流によるモーメント力の方向と揺動ギヤ 4 の傾斜方向に位相差が生じるのは、一般的なブラシレスモータ等と同様である。この位相差は 90 度のときに最大となるので、ホール素子や容量センサなどの不図示の傾斜方向を検出するセンサを用いて効率的な 3 相駆動を行うようにすることができる。たとえば、3 個のホール素子を 120 度位相に設けることでロータ磁気回路 60 の傾斜方向を検出すればよい。また、いわゆるセンサレス駆動回路と同様に、コイル 22 のインダクタンスや逆起電圧から検出するようにしてもよい。

#### 【0060】

30

以上、第 1 実施形態のアクチュエータ 10 によれば、第 1 のギヤ 3 及び第 2 のギヤ 5 で揺動ギヤ 4 の傾斜角度と軸方向位置を拘束し、ステータ磁気回路 20 及びロータ磁気回路 60 により傾斜方向を拘束するようにしている。このため、入力軸や入力軸を支持する軸受等を設ける必要が無く、部品点数を削減することができる。しかも、多数の歯で負荷トルクを分担することができるので、大型化することなく、組立性が良く、高負荷容量化、高剛性化、低損失化を図ることができる。

#### 【0061】

また、第 1 実施形態のアクチュエータ 10 によれば、揺動ギヤ 4 を支持するフランジ 41 が第 1 のギヤ 3 及び第 2 のギヤ 4 に接触することで、揺動ギヤ 4 が第 1 のギヤ 3 及び第 2 のギヤ 4 に半径方向に支持されている。このため、特に大負荷トルク時の軸受負荷が軽減されるので、更なる高負荷容量化及び高剛性化を図ることができる。

40

#### 【0062】

また、第 1 実施形態のアクチュエータ 10 によれば、フランジ 41 とギヤ 3, 5 との接触面が、相対速度が無い部位で接触する形状、即ちフランジ 41 がギヤ 3, 5 に対してころがり接触する形状に形成されている。このため、滑り接触する場合に比べて、更なる高負荷容量化及び高剛性化を図ることができる。

#### 【0063】

なお、第 1 実施形態の説明で示したほぼ全周に亘って接触する歯型は、一例であってこれに限られるものではない。例えば圧力角が大きくトルク伝達に寄与しないすれ違い位置付近と最噛合位置付近とを離間させるために、歯先の先端部と歯元の最凹部を削り取って

50

もよい。あるいは、一方の歯の先端部を半径一定の円弧状とし、これが相手の歯のまわりを動く軌跡の外接線（通過領域に倣わせた形状）として求めた曲線を相手の歯の形状とする。そして求められた相手の歯が先端部が円弧状の歯のまわりを動く軌跡の外接線として求めた曲線を先端部が円弧状の歯の形状としてもよい。2つのギヤ3, 5で揺動ギヤ4の位置と傾斜角を拘束できるように、最噛合位置付近に対して、±90度方向をまたいで複数の歯が常時噛合う歯型であればよい。

#### 【0064】

また、第1実施形態では、3相正弦波の駆動波形の例を説明したが、3相ステップ駆動としてもよい。特に前述したように1/2401のような大減速比も50歯程度の少ない歯数で可能であり、1回転14406ステップの高分解能モータが容易に実現できる。

10

#### 【0065】

##### <第2実施形態>

次に、本発明の第2実施形態に係るロボット装置について、図1を援用すると共に、図5を参照しながら説明する。図5は、第2実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。第2実施形態に係るロボット装置は、アクチュエータ10Aが第1実施形態のアクチュエータ10と相違する。そのため、第2実施形態においては、第1実施形態と相違する点、即ち、アクチュエータ10Aを中心に説明し、第1実施形態と同様の構成については、同じ符号を付してその説明を省略する。

#### 【0066】

図5(a)はアクチュエータ10Aの断面図、図5(b)はアクチュエータ10Aの歯車の側面図、図5(c)はアクチュエータ10Aの磁気回路の分解斜視図である。図5(a)及び図5(b)に示すように、アクチュエータ10Aは、前記第1実施形態と略同様、ハウジング(第1の軸)30と、ハウジング30に対してクロスロー軸受51を介して回転自在に支持された出力軸(第2の軸)50とを備えている。出力軸50は、ハウジング30と同軸に配置されている。また、アクチュエータ10Aは、前記第1実施形態と異なる構成の駆動機構70Aを備えている。駆動機構70Aは、ハウジング30に対して出力軸50を回転駆動する。つまり、出力軸50は、駆動機構70Aによる駆動により、ハウジング30に対して相対的に回転する。

20

#### 【0067】

第2実施形態では、第1の軸がハウジング30であるので、駆動機構70Aは、ハウジング30の内部に収容されている。駆動機構70Aは、円環状に形成されており、出力軸50は、駆動機構70Aの内側に配置されている。

30

#### 【0068】

駆動機構70Aは、第1のギヤ3A、第2のギヤ5A、及び第1の揺動ギヤである揺動ギヤ4Aを有する。これらギヤ3A, 5Aは、ハウジング30と同軸に配置されている。第1のギヤ3A及び第2のギヤ5Aは、出力軸50の外側に固定されている。第1のギヤ3Aと第2のギヤ5Aとは、一方の面に同じ歯数Z2の歯を有するフェースギヤであり、揺動ギヤ4Aは、両面に歯数Z2+1の歯を有するフェースギヤである。揺動ギヤ4Aを所定角度傾斜させて、第1のギヤ3A及び第2のギヤ5Aと、揺動ギヤ4Aとが噛み合わされている。

40

#### 【0069】

第2実施形態においても、多数の歯が同時に接触する歯型を用いており、揺動ギヤ4Aの傾斜角と軸方向の位置は、第1のギヤ3Aと第2のギヤ5Aにはさまれることで、拘束されている。そして、揺動ギヤ4Aには軟磁性材で形成されたフランジ(ロータ磁気回路)60Aが設けられ、ハウジング30とフランジ60Aとの間には、ハウジング30と揺動ギヤ4Aとを連結する等速ジョイント(継手機構)9が設けられている。

#### 【0070】

フランジ60Aは、揺動ギヤ4Aに固定されている。フランジ60Aは、揺動ギヤ4Aから傾斜軸線C<sub>1</sub>の方向の両側に突出する一対の突出片61A, 62Aを有する。

#### 【0071】

50

第2実施形態では、ステータ磁気回路として、2つの外径側ステータ磁気回路20A, 20Bと2つの内径側ステータ磁気回路29A, 29Bとがハウジング30に同軸に固定して設けられている。

#### 【0072】

外径側ステータ磁気回路20Aと内径側ステータ磁気回路29Aとは、半径方向で互いに対向するように間隔をあけて配置されている。また、外径側ステータ磁気回路20Bと内径側ステータ磁気回路29Bとは、半径方向で互いに対向するように間隔をあけて配置されている。

#### 【0073】

等速ジョイント9は、様々な形式があるが、例えば自動車のドライブシャフトなどに使用され、高い等速性と伝達効率が得られるものと同様の構成としてもよい。第2実施形態では、等速ジョイント9は、内輪91と、外輪92と、内輪91に球面で支持されたりテーナ94と、ボール93と、を有し、内輪91及び外輪92に直線状のレース面を設けて構成されている。等速ジョイント9は、外輪92に対する軸方向位置が可変であり、内輪91と揺動ギヤ4Aの軸方向の位置を合わせてさえおけば、組立時にハウジング30と出力軸50の軸方向の位置の調整が不要になる。したがって、運転時のクロスロー軸受51への負荷も無くすることができ、好都合である。なお、内輪及び外輪とも、軸方向位置が固定の形式のものであってもよく、調整組立すれば使用できる。

#### 【0074】

次に第2実施形態のアクチュエータ10Aの動作について、図5(a)及び図5(b)を用いて説明する。ステータ磁気回路20A, 20B, 29A, 29Bは、フランジ60Aの一对の突出片61A, 62Aの周方向の一部分に電磁力による吸引力を作用させて吸引する。これにより、外径側ステータ磁気回路20A, 20Bと内径側ステータ磁気回路29A, 29Bからの電磁力により、ロータ磁気回路であるフランジ60Aが、傾斜軸線C<sub>1</sub>と軸線C<sub>0</sub>の交点である基準点Oのまわりのモーメント力を受ける。このモーメント力による傾斜方向が軸線C<sub>1</sub>のまわりを回転すると、揺動ギヤ4Aは、等速ジョイント9に公転を拘束されているので、回転せずにその場で揺動運動する。一回の揺動運動につき、第1のギヤ3A及び第2のギヤ5Aと揺動ギヤ4Aとの歯数差の角度だけ第1のギヤ3A及び第2のギヤ5Aが回転させられ、出力軸50を回転させる。即ち、この構成は一段の差動歯車機構の構成である。このような差動歯車機構の減速比は、 $-1/Z_2$ で計算できる。例えば、 $Z_2 = 48$ の時、 $-1/48$ の減速比が得られる。

#### 【0075】

ここで第2実施形態のアクチュエータ10Aにおける負荷トルクによって各部に作用する力をみる。図5(a)及び図5(b)において、紙面左方向からみて時計回りの負荷トルクが出力軸50に作用すると、紙面手前側の位相では第2のギヤ5Aの歯57Aが揺動ギヤ4Aの歯47Aを左下方向に押すことになる。下方向の力は等速ジョイント9に拘束される。一方紙面奥側の位相では、第1のギヤ3Aの歯36Aが揺動ギヤ4Aの歯46Aを右上方向に押すことになり、同様に上方向の力は等速ジョイント9に拘束される。このため、揺動ギヤ4Aは上方から見て基準点Oのまわりの時計方向のモーメント力のみを受け、傾斜方向を画面左から見て反時計方向に回転させようとする。即ち、揺動ギヤ4Aに作用する力は傾斜方向を回転させる成分以外は相殺されることになり、軸方向や偏心方向の力は作用せず、傾斜方向を時計回りに回転させるモーメント力のみが発生し、これが電磁力と釣り合うことになる。したがって、クロスロー軸受51にかかる力も小さく抑えることができ、高い効率と低振動、低騒音が実現可能である。

#### 【0076】

なお、揺動ギヤ4Aの公転の拘束には、ボール93を用いるものに限るものではなく、いわゆるジンバル機構やバネ継ぎ手などの他の構成の継手機構も使用可能である。

#### 【0077】

次にアクチュエータ10Aの駆動方法について、図5(a)及び図5(c)を用いて説明する。外径側ステータ磁気回路20Aと内径側ステータ磁気回路29Aには、12個の

突極を有するステータヨーク 21 とコイル 22 が設けられている。隣り合うコイル 22 は互いに逆方向にステータヨーク 21 の突極を励磁するように、かつ対向する外径側と内径側のステータヨーク 21 の突極が逆方向に励磁されるように接続されている。したがって、4 個のコイル 22 が一組の集中した磁界を突極間に形成するようになっており、これが 6 相分並べられていることになる。

#### 【0078】

また、外径側ステータ磁気回路 20B と内径側ステータ磁気回路 29B も同様に 6 相に配線され、180 度の位置の相が同時に励磁されるようになっている。このため、図 5 (a) で紙面下方のステータ磁気回路 20A, 29A と紙面上方のステータ磁気回路 20B, 29B が励磁されると、電磁力によってフランジ 60A は点 O のまわりに、紙面に向かって時計回りのモーメント力を受ける。6 相を順次駆動することによって、フランジ 60A にかかるモーメント力の方向が回転することで、揺動ギヤ 4A の傾斜方向を回転させることができる。これは、いわゆるリラクタンスモータと同様の構成であり、永久磁石が不要で揺動部を軽量、堅牢にすることができる特徴があるので、比較的高速駆動に好適である。

#### 【0079】

なお、ロータ磁気回路として、永久磁石を用いる前記第 1 実施形態と同様の構成も適用可能である。また、第 2 実施形態では、等速ジョイント 9 で揺動ギヤ 4A の公転を拘束しているが、第 1 のギヤ 3A および第 2 のギヤ 5A を固定歯車として、揺動ギヤ 4A の公転を等速ジョイント 9 で取り出すようにしても良い。

#### 【0080】

##### < 第 3 実施形態 >

次に、本発明の第 3 実施形態に係るロボット装置について、図 1 を援用すると共に、図 6 を参照しながら説明する。図 6 は、第 3 実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。第 3 実施形態に係るロボット装置は、アクチュエータ 10B が第 1、第 2 実施形態のアクチュエータ 10, 10A と相違する。そのため、第 3 実施形態においては、第 1、第 2 実施形態と相違する点、即ち、アクチュエータ 10B を中心に説明し、第 1、第 2 実施形態と同様の構成については、同じ符号を付してその説明を省略する。

#### 【0081】

図 6 (a) はアクチュエータ 10B の断面図、図 6 (b) はアクチュエータ 10B の磁気回路の分解斜視図である。図 6 (a) 及び図 6 (b) に示すように、アクチュエータ 10B は、前記第 1 実施形態と略同様、ハウジング (第 1 の軸) 30 と、ハウジング 30 に対してクロスロー軸受 51 を介して回転自在に支持された出力軸 (第 2 の軸) 50 とを備えている。出力軸 50 は、ハウジング 30 と同軸に配置されている。また、アクチュエータ 10B は、前記第 1 実施形態と異なる構成の駆動機構 70B を備えている。駆動機構 70B は、ハウジング 30 に対して出力軸 50 を回転駆動する。つまり、出力軸 50 は、駆動機構 70B による駆動により、ハウジング 30 に対して相対的に回転する。

#### 【0082】

駆動機構 70B は、前記第 2 実施形態と同様、第 1 のギヤ 3A、第 2 のギヤ 5A、及び第 1 の揺動ギヤである揺動ギヤ 4A を有すると共に、第 3 のギヤ 3B、第 4 のギヤ 5B、及び第 2 の揺動ギヤである揺動ギヤ 4B を有している。これらギヤ 3A, 5A, 3B, 5B は、ハウジング 30 と同軸に配置されている。

#### 【0083】

第 1 のギヤ 3A 及び第 2 のギヤ 5A は、出力軸 50 の外側に固定されている。第 1 のギヤ 3A は、一方の面に歯数 Z2 の歯 36A を有するフェースギヤである。第 2 のギヤ 5A は、一方の面に歯 36A と同数の歯数 Z2 の歯 57A を有するフェースギヤである。揺動ギヤ 4A は、両面に歯数 Z2 + 1 の歯 46A, 47A を有するフェースギヤである。揺動ギヤ 4A を所定角度傾斜させて、第 1 のギヤ 3A 及び第 2 のギヤ 5A と、揺動ギヤ 4A とが噛み合わされている。

#### 【0084】

第3実施形態においても、多数の歯が同時に接触する歯型を用いており、揺動ギヤ4Aの傾斜角と軸方向の位置は、第1のギヤ3Aと第2のギヤ5Aにはさまれることで、拘束されている。そして、揺動ギヤ4Aには軟磁性材からなるフランジ60Aが設けられ、外径側ステータ磁気回路20A、20Bと内径側ステータ磁気回路29A、29Bがハウジング30に同軸に設けられている。

#### 【0085】

第3実施形態において前記第2実施形態と異なるのは、等速ジョイントの代わりに、第2の差動歯車機構を設けていることである。

#### 【0086】

即ち、揺動ギヤ4Bは、フランジ60Aの外周側に設けられ、揺動ギヤ4Aと同軸で一体に回転する。揺動ギヤ4Bは、一方の面に歯数 $Z1+1$ の第3の歯46B、他方の面に歯数 $Z1+1$ の第4の歯47Bを有するフェースギヤである。第3のギヤ3B及び第4のギヤ5Bは、ハウジング30の内側に固定されている。第3のギヤ3Bは、一方の面に歯数 $Z1$ の歯（軸方向の一方側を指向する歯）36Bを有するフェースギヤである。第4のギヤ5Bは、一方の面に歯36Bと同数の歯数 $Z1$ の歯（第3のギヤ3Bに対向する歯）57Bを有するフェースギヤである。揺動ギヤ4Bを所定角度傾斜させて、第3のギヤ3B及び第4のギヤ5Bと、揺動ギヤ4Bとが噛み合わされている。即ち、揺動ギヤ4Bの第3の歯46Bは、第3のギヤ3Bの歯36Bに斜めに噛み合し、揺動ギヤ4Bの第4の歯47Bは、第4のギヤ5Bの歯57Bに斜めに噛み合う。これらの歯車の歯型も、前記所定角度と同一の傾斜角度で多数の歯が同時に接触する歯型としている。したがって、4個のギヤ3A、5A、3B、5Bは、すべて出力軸50と同軸の状態では揺動ギヤ4A、4Bに滑らかに噛み合うことになる。

#### 【0087】

次に第3実施形態のアクチュエータ10Bの動作について、図6(a)及び図6(b)を用いて説明する。第3実施形態の第1のギヤ3A及び第2のギヤ5Aは、前記第1実施形態の第2のギヤ5に相当し、第3のギヤ3B及び第4のギヤ5Bは前記第1実施形態の第2のギヤ5に相当するものであり、同様の2段差動歯車機構として作用する。したがって、フランジ60Aに作用するモーメント力の方向を回転させることで揺動ギヤ4A、4Bを揺動させ、出力軸50を回転させる動作は前記第1実施形態と同様である。得られる減速比も中程度から非常に大きなものまで実用的な歯数で実現でき、大きなトルクを発生

#### 【0088】

ここで第3実施形態における負荷トルクによって各部に作用する力をみると、第1のギヤ3A及び第2のギヤ5Aと、揺動ギヤ4Aとの関係は、前記第2実施形態と同様であり、トルクと傾斜方向を回転させる力は相殺する。また、第3のギヤ3B及び第4のギヤ5Bと揺動ギヤ4Bとの関係もまた同様であるので、前記第2実施形態と同様に、クロスロー軸受51にかかる力を小さく抑えることができ、高い効率と低振動、低騒音が実現可能である。なお、駆動については前記第2実施形態と同様であるので、説明を省略する。

#### 【0089】

##### <第4実施形態>

次に、本発明の第4実施形態に係るロボット装置について、図1を援用すると共に、図7を参照しながら説明する。図7は、第4実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。第4実施形態に係るロボット装置は、アクチュエータ10Cが第1～第3実施形態のアクチュエータ10～10Bと相違する。そのため、第4実施形態においては、第1～第3実施形態と相違する点、即ち、アクチュエータ10Cを中心に説明し、第1～第3実施形態と同様の構成については、同じ符号を付してその説明を省略する。

#### 【0090】

図7(a)はアクチュエータ10Cの断面図、図7(b)はアクチュエータ10Cの歯車の側面図である。第4実施形態では、前記第1実施形態に係るアクチュエータ10の駆動機構70を一对備えたものである。一对の駆動機構70-1、70-2は、軸線 $C_0$ に

対して垂直な仮想面 P L で面対称に配置されている。なお、駆動機構 70-1 は、第 1 実施形態の駆動機構 70 と同じ配置であり、駆動機構 70-2 は、第 1 実施形態の駆動機構 70 に対して面対称配置である。

#### 【0091】

図 7 (a) 及び図 7 (b) で明らかなように、第 1 のギヤ 3-1, 3-2 及びステータ磁気回路 20-1, 20-2 は、軸方向面対称にハウジング 30 に一体に固定されている。第 2 のギヤ 5-1, 5-2 は、軸方向面対称に出力軸 50 に一体に固定されている。揺動ギヤ 4-1 及びロータ磁気回路 60-1 と、揺動ギヤ 4-2 及びロータ磁気回路 60-2 とは、軸方向面対称に配置されている。揺動ギヤ 4-1 は、軸線 C<sub>0</sub> に対して基準点 O-1 を基準に傾斜する傾斜軸線 C<sub>1</sub>-1 まわりに回転自在に設けられている。揺動ギヤ 4-2 は、軸線 C<sub>0</sub> に対して基準点 O-2 を基準に傾斜する傾斜軸線 C<sub>1</sub>-2 まわりに回転自在に設けられている。

10

#### 【0092】

このように構成することで、揺動ギヤ 4-1, 4-2 から第 1 のギヤ 3-1, 3-2 に作用する力は軸方向成分が相殺される。また、揺動ギヤ 4-1, 4-2 から第 2 のギヤ 5-1, 5-2 に作用する力も軸方向成分が相殺される。一方で出力トルクは 2 倍になる。このため、クロスロー軸受 51 の負荷が軽減され、高効率、低振動の高トルク出力のアクチュエータ 10C が実現できる。

#### 【0093】

なお、アクチュエータが、一対の駆動機構を複数備え、これら複数組の一対の駆動機構を軸方向に直列に並べてもよい。その際、2 組であれば 180 度、3 組であれば 120 度の位相差で、傾斜方向を同期して回転させれば、出力軸 50 に作用するトルクの作用点のバランスが改善され、さらに低振動の高トルク出力のアクチュエータが実現できる。

20

#### 【0094】

##### <第 5 実施形態>

次に、本発明の第 5 実施形態に係るロボット装置について、図 1 を援用すると共に、図 8 を参照しながら説明する。図 8 は、第 5 実施形態に係るアクチュエータを説明するための図である。第 5 実施形態に係るロボット装置は、アクチュエータ 10D が第 1～第 4 実施形態のアクチュエータ 10～10C と相違する。そのため、第 4 実施形態においては、第 1～第 4 実施形態と相違する点、即ち、アクチュエータ 10D を中心に説明し、第 1～第 4 実施形態と同様の構成については、同じ符号を付してその説明を省略する。

30

#### 【0095】

図 8 (a) はアクチュエータ 10D の断面図、図 8 (b) はアクチュエータ 10D の歯車の側面図である。アクチュエータ 10D は、第 1 の軸である固定軸 30D と、固定軸 30D と同軸に配置され、固定軸 30D に対して回転自在に設けられた第 2 の軸であるハウジング 50D と、を備えている。また、アクチュエータ 10D は、固定軸 30D に対してハウジング 50D を回転駆動する駆動機構 70D と、を備えている。

#### 【0096】

ハウジング 50D は、固定軸 30D と同軸に配置され、固定軸 30D にクロスロー軸受 51 により回転自在に支持されている。駆動機構 70D は、固定軸 30D に対してハウジング 50D を回転駆動する。つまり、ハウジング 50D は、駆動機構 70D による駆動により、固定軸 30D に対して相対的に回転する。

40

#### 【0097】

前記第 1～第 4 実施形態では、第 1 の軸がハウジング 30 であり、第 2 の軸が出力軸 50 である場合について説明したが、第 5 実施形態では、第 1 の軸が固定軸 30D であり、第 2 の軸が駆動機構 70D を収容するハウジング 50D である。駆動機構 70D は、円環状に形成されており、固定軸 30D は、駆動機構 70D の内側に配置されている。

#### 【0098】

固定軸 30D には、中空孔 53 が形成されている。クロスロー軸受 51 は、外輪がハウジング 50D の内側面に固定され、内輪が固定軸 30D の外側面に固定されている。

50



## 【0099】

第5実施形態では、第4実施形態と同様、駆動機構70Dを一对備えている。一对の駆動機構70D、70Dが、軸線C<sub>0</sub>に対して垂直な仮想面PLで面对称に配置されている。したがって、本第5実施形態では、面对称ではあるが、各駆動機構70D、70Dについて面对称の同一部材については、同一符号を付して説明する。

## 【0100】

駆動機構70Dは、第1のギヤ3Dと、第2のギヤ5Dと、第1の揺動ギヤである揺動ギヤ4Dと、ステータ磁気回路20Dと、ロータ磁気回路60Dとを備えている。第1のギヤ3D、第2のギヤ5D、揺動ギヤ4D、ステータ磁気回路20D及びロータ磁気回路60Dは、円環状に形成されている。第1のギヤ3D、第2のギヤ5D及びステータ磁気回路20Dは、ハウジング50D及び固定軸30Dと同軸に配置されている。

10

## 【0101】

ステータ磁気回路20Dは、固定軸30Dの外側に固定されている。揺動ギヤ4Dには、揺動ギヤ4Dを支持する支持手段としてのフランジ41Dが固定されており、フランジ41Dには、ロータ磁気回路60Dが固定されている。これにより、揺動ギヤ4Dには、ロータ磁気回路60Dがフランジ41Dを介して一体に固定されている。具体的に説明すると、ロータ磁気回路60Dの外側に、円環状のフランジ41Dが固定され、フランジ41Dの外側に揺動ギヤ4Dが固定されている。これら一体化された揺動ギヤ4D及びロータ磁気回路60Dが、ステータ磁気回路20Dの外側に配置されている。

20

## 【0102】

第1のギヤ3D、第2のギヤ5D及び揺動ギヤ4Dは、フェースギヤとなっており、第1のギヤ3D及び第2のギヤ5Dは片面に、揺動ギヤ4Dは両面に歯が形成されている。そして、第1のギヤ3Dと第2のギヤ5Dとの間に揺動ギヤ4Dが配置されている。第1のギヤ3Dは、固定軸30D及びハウジング50Dのうちいずれか一方の軸、第5実施形態では、図8(a)に示すように、固定軸30Dに固定されている。第2のギヤ5は、ハウジング50Dに固定されている。

## 【0103】

揺動ギヤ4Dは、第1のギヤ3D及び第2のギヤ5Dの間に配置され、軸線C<sub>0</sub>に対して傾斜する傾斜軸線C<sub>1</sub>まわりに回転自在に設けられている。

## 【0104】

以上、第5実施形態に係るアクチュエータ10Dは、前記第4実施形態に係るアクチュエータ10Cの歯車機構部を外径側に、ロータ磁気回路60D、ステータ磁気回路20Dを内径側に入れ替えたものである。動作は同様であるので、説明は省略するが、ステータ磁気回路20Dを外径側に設けると放熱に有利であり、歯車機構部を外径側に設けると最大負荷トルクや衝撃負荷に強くできる。特に歯車に低コストの樹脂製のものを使用する場合は、歯車機構部を外径側にしたほうが、大きな出力トルクを得やすくなる。

30

## 【0105】

以上第5実施形態によれば、前記第1～第4実施形態と同様、多数の歯が連続的に噛み合う第1のギヤ3D及び第2のギヤ5Dで揺動ギヤ4Dの傾斜角度と軸方向位置を拘束し、また、傾斜方向をモーメント力で回転させるようにしている。これにより、小型で高性能かつ低コストのアクチュエータ10Dが実現できる。

40

## 【0106】

また、負荷トルクを多数の歯で分担できるので、小型軽量で高負荷トルク、高剛性、高効率のアクチュエータ10Dが実現できる。したがって、これをロボットアームの関節に用いることで、ロボットを高性能化することが可能になる。

## 【0107】

なお、前記第1～第3実施形態に係るアクチュエータ10～10Bにおいても、同様に歯車機構部とロータ磁気回路、ステータ磁気回路を外径側と内径側に入れ替えることは可能であり、最適な構成を選択すればよい。

## 【0108】

50

また、前記第 1～第 4 実施形態では、磁石を用いるブラシレスモータと磁石を用いないリラクタンスモータの構成を示したが、これに限定されることはなく、他の方式でも適用可能である。例えば、ロータ側にコイルを設けてブラシで給電するコアレスモータの構成などでもよく、電磁力で揺動歯車にモーメント力を作用させ、傾斜方向を回転させるようにすればよい。これにより、すべての歯車が多く歯でバランスよく負荷を分担しあい、軸受が少なく部品点数が最少ですむので、小型で高負荷容量、高剛性、高効率なアクチュエータが実現できる。

#### 【0109】

なお、前記第 1～第 5 実施形態では、ロボットにアクチュエータを適用した場合について説明したが、本発明はロボットにかぎらず、他の用途、たとえば電動車両の駆動やベルトコンベヤなど、小型大トルクが必要なものに好適である。

10

#### 【0110】

また、前記第 1～第 5 実施形態の歯車機構では、多数の歯でトルクを分担できるので、例えば、歯車材として高性能鋼を使用すれば非常に高性能なアクチュエータが実現できる。なお、歯車材としては、低コストの一般鋼でもよく、非鉄金属や焼結材、樹脂なども適用可能である。

#### 【0111】

本発明は、以上説明した実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で多くの変形が可能である。

#### 【符号の説明】

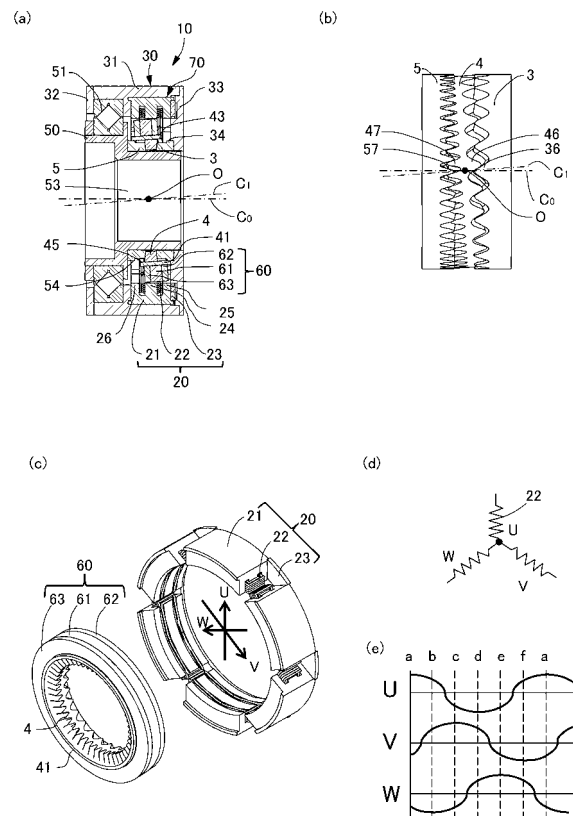
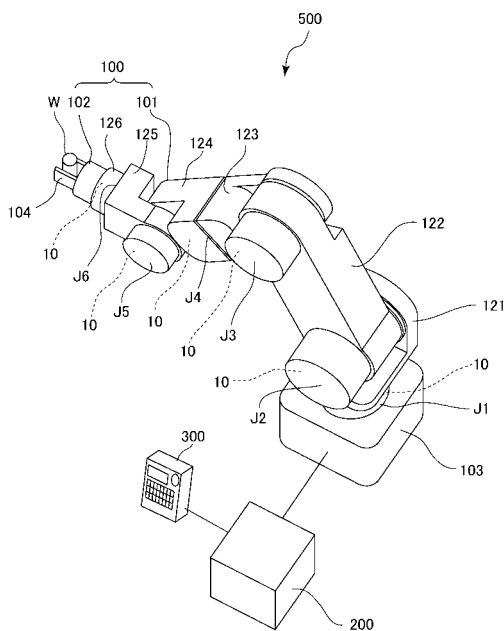
20

#### 【0112】

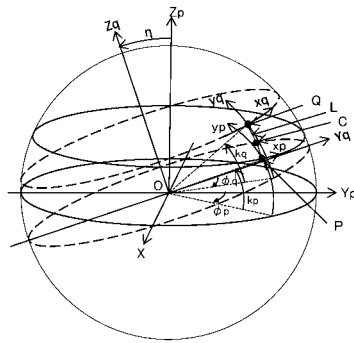
3…第 1 のギヤ、4…揺動ギヤ、5…第 2 のギヤ、10…アクチュエータ、20…ステータ磁気回路、30…ハウジング（第 1 の軸）、50…出力軸（第 2 の軸）、60…ロータ磁気回路、70…駆動機構、100…ロボット、101…多関節ロボットアーム、500…ロボット装置

#### 【図 1】

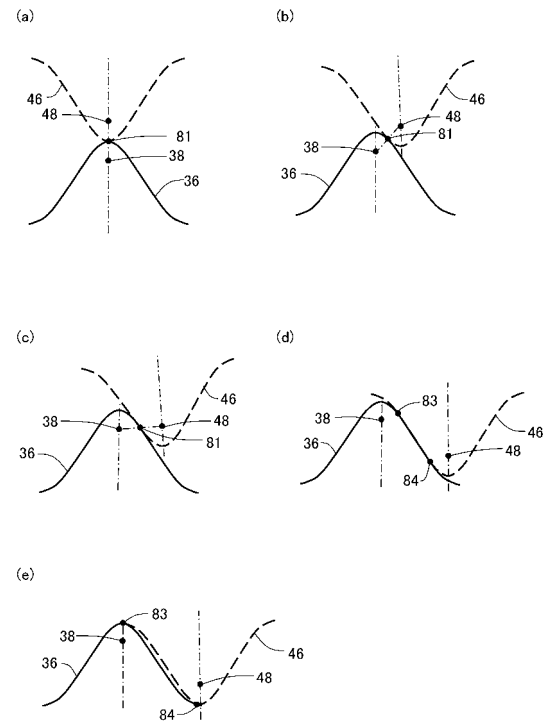
#### 【図 2】



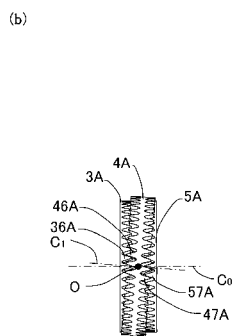
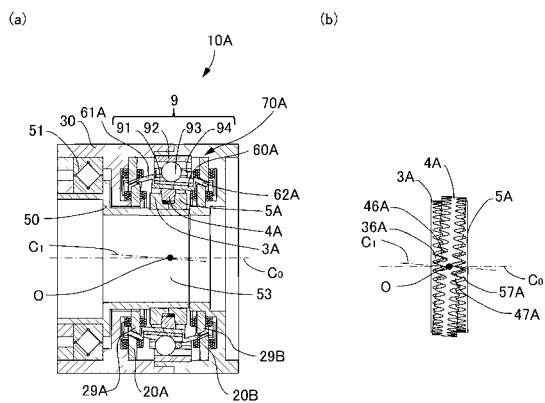
【図 3】



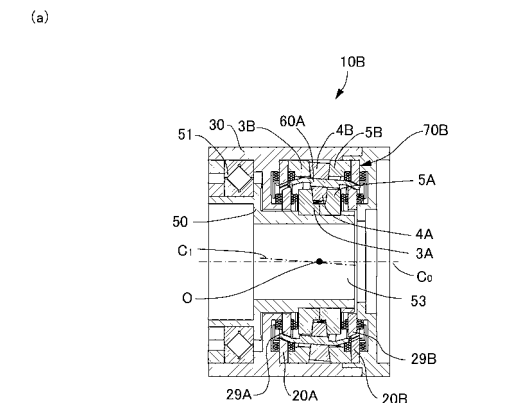
【図 4】



【図 5】

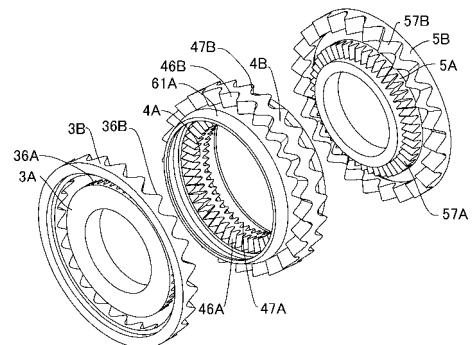
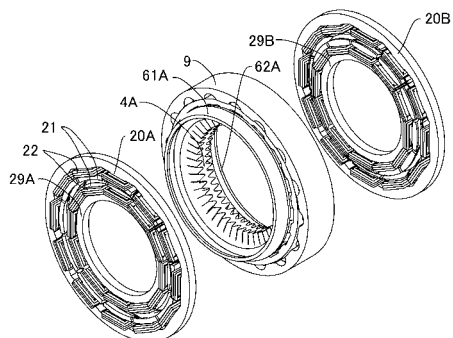


【図 6】

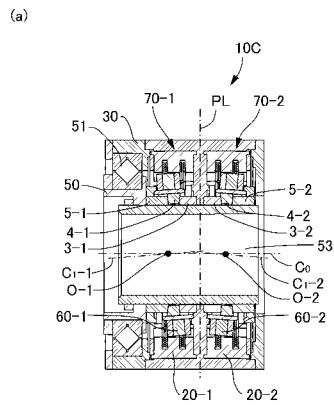


(b)

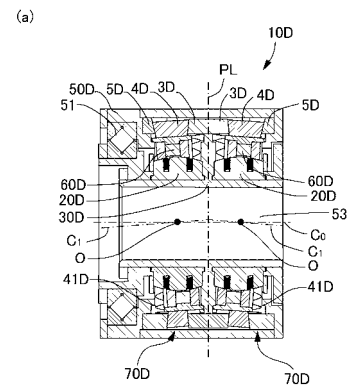
(c)



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 5H607 AA12 BB01 BB07 BB14 CC03 DD01 DD02 EE31 FF34 GG08  
HH01 HH09  
5H633 BB08 BB15 GG02 GG04 GG05 GG16 GG23 HH03 HH11 HH15  
JA06 JA09 JB03