(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 6 月 4 日(04.06.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/079576 A1

(51) 国際特許分類:
F16H 1/32 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/082258

(22) 国際出願日: 2013 年 11 月 29 日(29.11.2013)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ (HARMONIC DRIVE SYSTEMS INC.) [JP/JP]; 〒1400013 東京都品川区南大井６丁目２５番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 石川 昌一 (ISHIKAWA Shoichi); 〒2300076 神奈川県横浜市鶴見区馬場４丁目３１－９ Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 横沢 志郎 (YOKOZAWA Shiro); 〒3900852 長野県松本市島立１１３２番地１８ Nagano (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

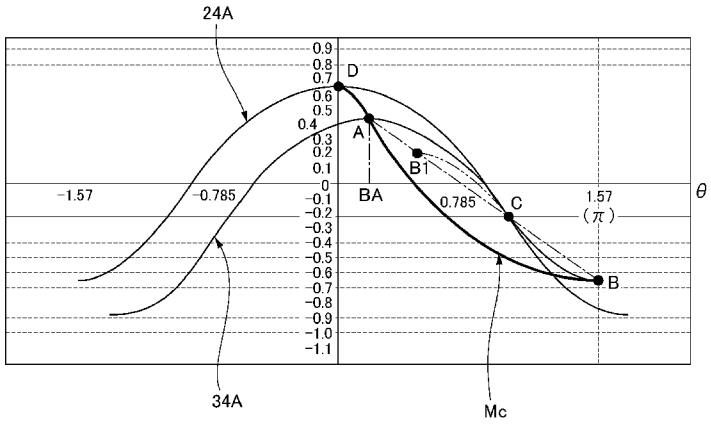
添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: HARMONIC GEAR DEVICE HAVING DOUBLE-CONTACT NEGATIVE DISPLACEMENT TOOTH PROFILE

(54) 発明の名称 : ２度接触の負偏位歯形を有する波動歯車装置

[図4]



(57) **Abstract**: The addendum tooth profile of the inner teeth (24) and outer teeth (34) of a harmonic gear device (1) is stipulated by a first and second similar curve obtained from the curve segment from an inflection point (A) to a low point (B) in a movement trajectory (Mc) when the meshing of both teeth is approximated by rack meshing. The addendum tooth profile of the inner teeth (24) is stipulated by a curve generated at the inner teeth (24) in the process of the addendum profile of the outer teeth (34) moving from the inflection point (A) to the apex (D) of the movement trajectory (Mc). The addendum tooth profile of the outer teeth (34) is stipulated by a curve generated at the outer teeth (34) when the addendum profile of the inner teeth (24) moves from the inflection point (A) to the apex (D). The addendum profile of the outer teeth makes double contact with the addendum profile and dedendum profile of the inner teeth, and the addendum profile of the inner teeth makes double contact with the addendum profile and dedendum profile of the outer teeth, and so the meshing range of the two teeth is broadened.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/079576 A1

波動歯車装置（１）の内歯（２４）、外歯（３４）の歯末歯形は、両歯のかみ合いをラックかみ合いで近似した場合の移動軌跡（Ｍｃ）における変曲点Ａから底点Ｂまでの曲線部分から得られる第１、第２相似曲線によって規定する。内歯（２４）の歯末歯形は、外歯（３４）の歯末歯形が移動軌跡（Ｍｃ）の変曲点（Ａ）から頂点（Ｄ）に移動する過程で、内歯（２４）に創成する曲線によって規定する。外歯（３４）の歯末歯形は、内歯（２４）の歯末歯形が変曲点（Ａ）から頂点（Ｄ）に至る移動に際して、外歯（３４）に創成する曲線によって規定する。外歯の歯末歯形が内歯の歯元歯形と歯末歯形と二度接触し、内歯の歯末歯形が外歯の歯元歯形と歯末歯形と二度接触するので、両歯のかみ合い範囲が広がる。

明　細　書

発明の名称 ： ２度接触の負偏位歯形を有する波動歯車装置

技術分野

[0001] 本発明は、波動歯車装置における剛性内歯車および可撓性外歯車の歯形の改良に関する。詳しくは、両歯車が歯筋方向の各軸直角断面において広範囲にかみ合う２度接触の負偏位歯形を有するフラット型の波動歯車装置に関する。また、本発明は、両歯車が歯筋方向の各軸直角断面において広範囲にかみ合い、かつ、歯筋方向の全体に亘って近似的に連続的にかみ合う２度接触・３次元接触の負偏位歯形を有するカップ型あるいはシルクハット型の波動歯車装置に関する。

背景技術

[0002] 一般に、波動歯車装置は、剛性内歯車と、この内側に同軸状に配置された可撓性外歯車と、この内側に嵌めた波動発生器とを有している。フラット型の波動歯車装置は、可撓性の円筒の外周面に外歯が形成された可撓性外歯車を備えている。カップ型およびシルクハット型の波動歯車装置の可撓性外歯車は、可撓性の円筒状胴部と、この円筒状胴部の後端から半径方向に延びているダイヤフラムと、円筒状胴部の前端開口側の外周面部分に形成した外歯とを備えている。典型的な波動歯車装置では、円形の可撓性外歯車が波動発生器によって楕円状に撓められ、楕円状に撓められた可撓性外歯車における長軸方向の両端部が剛性内歯車にかみ合う。

[0003] 波動歯車装置は、創始者Ｃ．Ｗ．Ｍｕｓｓｅｒ氏の発明（特許文献１）以来、今日まで同氏を始め、本発明者を含め多くの研究者によって本装置の各種の発明考案がなされている。その歯形に関する発明に限っても、各種のものがある。本発明者は、特許文献２において基本歯形をインボリュート歯形とすることを提案し、特許文献３、４において、剛性内歯車と可撓性外歯車の歯のかみ合いをラックで近似する手法を用いて広域接触を行う両歯車の歯末歯形を導く歯形設計法を提案している。

[0004] 一方、カップ型、シルクハット型の波動歯車装置において、楕円状に撓められた可撓性外歯車の歯部は、その歯筋方向に沿って、ダイヤフラムの側から前端開口に向けて、ダイヤフラムからの距離にほぼ比例して、半径方向への撓み量が増加する。また、波動発生器の回転に伴って、可撓性外歯車の歯部の各部分は、半径方向の外方および内方への撓みを繰り返す。このような波動発生器による可撓性外歯車の撓み動作（コーニング）を考慮した合理的な歯形の設定法については、これまで十分には考慮されてこなかった。

[0005] 本発明者は、特許文献５において、歯のコーニングを考慮した連続的なかみ合いを可能にした歯形を備えた波動歯車装置を提案している。当該特許文献５において提案している波動歯車装置では、その可撓性外歯車の歯筋方向の任意の軸直角断面を主断面と定め、主断面における可撓性外歯車の楕円状リム中立線における長軸位置において、その撓み前のリム中立円に対する撓み量２κｍｎ（κは撓み係数、ｍはモジュール、ｎは正の整数）が、２ｍｎ（κ＝１）の無偏位状態に撓むように設定している。

[0006] また、可撓性外歯車および剛性内歯車のかみ合いをラックかみ合いで近似し、可撓性外歯車の歯筋方向における主断面を含む各位置の軸直角断面において、波動発生器の回転に伴う可撓性外歯車の歯の剛性内歯車の歯に対する各移動軌跡を求め、主断面において得られる無偏位移動軌跡における頂部の点Ａから次の底部の点Ｂに至る曲線部分を、点Ｂを相似の中心としてλ倍（λ＜１）に縮小した第１相似曲線ＢＣを求め、当該第１相似曲線ＢＣを剛性内歯車の歯末の基本歯形として採用している。

[0007] さらに、第１相似曲線ＢＣの端点Ｃを中心として当該第１相似曲線ＢＣを１８０度回転することにより得られた曲線を、当該端点Ｃを相似の中心として（１－λ）／λ倍した第２相似曲線を求め、当該第２相似曲線を可撓性外歯車の歯末の基本歯形として採用している。

[0008] これに加えて、主断面よりもダイヤフラム側における負偏位状態（撓み係数κ＜１）に撓む各軸直角断面において得られる各負偏位側移動軌跡、および、主断面よりも前端開口側における正偏位状態（撓み係数κ＞１）に撓む

各軸直角断面において得られる各正偏位側移動軌跡の双方が、主断面における無偏位移動軌跡の底部で接する曲線を描くように、可撓性外歯車の歯形において、主断面を挟み、それらの歯筋方向の両側の歯形部分に転位を施してある。

[0009] このように歯形が形成されている波動歯車装置では、両歯車の主断面における外歯と内歯の歯末歯形同士の広範囲に亘る連続的なかみ合いだけでなく、歯筋方向の全範囲において、外歯と内歯の歯末歯形同士の有効なかみ合いを実現できる。よって、従来の狭い歯筋範囲でかみ合う波動歯車装置に比べて、より多くのトルクを伝達することができる。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：米国特許第２９０６１４３号公報

特許文献2：特公昭４５－４１１７１号公報

特許文献3：特開昭６３－１１５９４３号公報

特許文献4：特開昭６４－７９４４８号公報

特許文献5：ＷＯ２０１０／０７０７１２号のパンフレット

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0011] 波動歯車装置の負荷トルク性能の向上を望む市場の要求は益々高まっている。これを達成するには、波動歯車装置の両歯車の歯形として、従来に比べて、より広範囲で連続的なかみ合いが可能な合理的な歯形が必要である。

[0012] 本発明の課題は、この点に鑑みて、外歯と内歯の歯末歯形同士のかみ合いにとどまらず、より広い範囲に亘ってかみ合い可能な歯形を備えた波動歯車装置を実現することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 上記の課題を解決するために、本発明の波動歯車装置では、その可撓性外歯車の歯末歯形が、剛性内歯車の歯元歯形および歯末歯形に接触（２度接触

）し、かつ、剛性内歯車の歯末歯形が、可撓性外歯車の歯元歯形および歯末歯形に接触（２度接触）するように、両歯車の歯形を設定したことを特徴としている。

[0014] また、本発明のカップ型、シルクハット型の波動歯車装置では、その可撓性外歯車の歯幅中央付近において、可撓性外歯車の歯末歯形が、剛性内歯車の歯元歯形および歯末歯形に接触（２度接触）し、かつ、剛性内歯車の歯末歯形が、可撓性外歯車の歯元歯形および歯末歯形に接触（２度接触）するように両歯車の歯形を設定すると共に、可撓性外歯車の歯筋全体に亘って、その歯末歯形が剛性内歯車の歯末歯形とかみ合うように、両歯車の歯形に転位を施したことを特徴としている。

[0015] すなわち、本発明の２度接触の負偏位歯形を有する波動歯車装置は、

剛性内歯車（２）と、この内側に同軸状に配置された可撓性外歯車（３）と、この内側に嵌めた波動発生器（４）とを有し、

前記可撓性外歯車（３）は前記波動発生器（４）によって楕円状に撓められ、楕円状に撓められた前記可撓性外歯車の外歯（３４）は、その長軸方向の両端部において前記剛性内歯車（２）の内歯（２４）にかみ合っており、

前記剛性内歯車（２）および、楕円状に変形する前の前記可撓性外歯車（３）は共にモジュールｍの平歯車であり、

前記可撓性外歯車（３）の歯数は、ｎを正の整数とすると、前記剛性内歯車（２）の歯数より２ｎ枚少なく、

前記外歯（３４）の歯筋方向の任意の位置の軸直角断面における前記可撓性外歯車（３）の楕円状リム中立線における長軸位置（Ｌ１）において、その撓み前のリム中立円に対する撓み量は、κを撓み係数とすると、$2\kappa mn$であり、

前記外歯（３４）は撓み係数κが、$0<\kappa<1$の負偏位歯形であり、

前記内歯（２４）は、その歯末歯形が第１相似曲線によって規定され、その歯元歯形が第１歯形創成曲線によって規定されており、

前記外歯（３４）は、その歯末歯形が第２相似曲線によって規定され、そ

の歯元歯形が第２歯形創成曲線によって規定されており、

前記第１、第２相似曲線は、前記外歯（３４）と前記内歯（２４）のかみ合いをラックかみ合いで近似した場合に、前記外歯（３４）の歯筋方向の各位置において、前記波動発生器（４）の回転に伴う前記外歯（３４）の前記内歯（２４）に対する移動軌跡（Ｍｃ）に基づき得られる曲線であり、

前記第１相似曲線は、前記移動軌跡（Ｍｃ）の一つの頂点（Ｄ）から次の底点（Ｂ）までの曲線部分を取り、当該曲線部分における変曲点（Ａ）から前記底点（Ｂ）までの第１曲線部分（ＡＢ）を、前記底点（Ｂ）を相似の中心としてλ倍（０＜λ＜１）に縮小した曲線であり、

前記第２相似曲線は、前記第１相似曲線（ＢＣ）における前記底点（Ｂ）とは反対側の端点（Ｃ）を中心として当該第１相似曲線（ＢＣ）を１８０度回転することにより得られる曲線を、当該端点（Ｃ）を相似の中心として（１－λ）／λ倍した曲線であり、

前記第１歯形創成曲線は、前記第２相似曲線（ＡＣ）で規定される前記外歯の歯末歯形が、前記移動軌跡（Ｍｃ）の前記変曲点（Ａ）から当該移動軌跡（Ｍｃ）における頂点（Ｄ）に移動する過程で、前記内歯（２４）に創成する曲線であり、

前記第２歯形創成曲線は、前記第１相似曲線（ＢＣ）で規定される前記内歯の歯末歯形が、前記変曲点（Ａ）から前記頂点（Ｄ）に至る移動に際して、前記外歯（３４）に創成する曲線であることを特徴としている。

[0016] ここで、カップ形状あるいはシルクハット形状の可撓性外歯車（３）は、可撓性の円筒状胴部（３１）と、この円筒状胴部（３１）の後端から半径方向に延びているダイヤフラム（３２）とを備え、前記円筒状胴部（３１）の前端開口（３１ａ）の側の外周面部分に、前記外歯（３４）が形成されている。前記外歯（３４）の撓み量は、その歯筋方向に沿って、前記ダイヤフラム（３２）の側の内端部（３４ｂ）から前記前端開口（３１ａ）の側の開口端部（３４ａ）に向けて、前記ダイヤフラム（３２）からの距離に比例して増加している。

[0017] この場合、本発明の波動歯車装置（１）では、前記外歯（３４）における前記開口端部（３４ａ）と前記内端部（３４ｂ）の間の歯筋方向の任意の位置を主断面位置とすると、当該主断面位置における前記外歯（３４）の歯形は、前記第１相似曲線と前記第１歯形創成曲線によって規定される基本外歯歯形である。前記外歯（３４）における歯筋方向における前記主断面位置以外の位置の歯形形状は、前記基本外歯歯形に対して前記撓み量に応じた転位が施された転位歯形である。すなわち、前記外歯（３４）の前記主断面位置から前記開口端部（３４ａ）に至る歯筋方向の各位置の歯形形状は、各位置において前記基本外歯歯形が描く前記移動軌跡の頂部が前記主断面位置における前記移動軌跡（Ｍｃ）の頂部に接するように転位を施すことによって得られたものであり、前記外歯（３４）の前記主断面位置から前記内端部（３４ｂ）に至る歯筋方向の各位置の歯形形状は、各位置における前記基本外歯歯形が描く前記移動軌跡の底部が前記主断面位置における前記移動軌跡（Ｍｃ）の底部に接するように転位を施すことによって得られたものである。

[0018] また、前記内歯（２４）の歯元歯形および前記外歯（３４）の歯元歯形のそれぞれに、相手の歯末歯形と所要の頂隙を保つように修正が施されることが望ましい。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明を適用した波動歯車装置の一例を示す概略正面図である。

[図2]カップ形状およびシルクハット形状の可撓性外歯車の撓み状況を示す説明図であり、（ａ）は変形前の状態を示し、（ｂ）は楕円形に変形した可撓性外歯車の長軸を含む断面の状態を示し、（ｃ）は楕円形に変形した可撓性外歯車の短軸を含む断面の状態を示す。

[図3A]外歯の歯筋方向の内端部、主断面、および開口端部の各位置における両歯車の相対運動をラックで近似した場合に得られる外歯の移動軌跡を示すグラフである。

[図3B]外歯の歯筋方向の内端部、主断面、および開口端部の各位置における両歯車の相対運動をラックで近似した場合に得られる、転位を施した外歯の

移動軌跡を示すグラフである。

[図4]可撓性外歯車の主断面位置における外歯の移動軌跡より導いた両歯車のそれぞれの歯末の基本歯形を規定する相似曲線を示す説明図である。

[図5]可撓性外歯車の歯筋の中央付近の形状を示すグラフである。

[図6]転位が施された可撓性外歯車の歯の歯筋方向の輪郭を示す説明図である。

[図7]（ａ）、（ｂ）および（ｃ）は、それぞれ、開口端部、主断面および内端部における可撓性外歯車の歯の移動軌跡と、可撓性外歯車および剛性内歯車のラック近似のかみ合いを示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0020]（波動歯車装置の構成）

図１は本発明の対象である波動歯車装置の正面図である。図２（ａ）～（ｃ）はその可撓性外歯車の開口部を楕円状に撓ませた状況を示す断面図であり、図２（ａ）は変形前の状態、図２（ｂ）は変形後における楕円形の長軸を含む断面、図２（ｃ）は変形後における楕円の短軸を含む断面をそれぞれ示してある。なお、図２（ａ）～（ｃ）において実線はカップ状の可撓性外歯車のダイヤフラムおよびボスの部分を示し、破線はシルクハット状の可撓性外歯車のダイヤフラムおよびボスの部分を示す。

[0021] これらの図に示すように、波動歯車装置１は、円環状の剛性内歯車２と、その内側に配置された可撓性外歯車３と、この内側にはめ込まれた楕円状輪郭の波動発生器４とを有している。剛性内歯車２と、変形前の可撓性外歯車３はモジュールｍの平歯車である。剛性内歯車２と可撓性外歯車３の歯数差は２ｎ（ｎは正の整数）であり、波動歯車装置１の円形の可撓性外歯車３は、楕円状輪郭の波動発生器４によって楕円状に撓められている。楕円状に撓められた可撓性外歯車３の長軸Ｌ１方向の両端部分の近傍において、可撓性外歯車３は剛性内歯車２にかみ合っている。

[0022] 波動発生器４を回転すると、両歯車２、３のかみ合い位置が周方向に移動し、両歯車の歯数差に応じた相対回転が両歯車２、３の間に発生する。可撓

性外歯車３は、可撓性の円筒状胴部３１と、円筒状胴部３１の一方の端である後端３１ｂに連続して半径方向に広がるダイヤフラム３２と、ダイヤフラム３２に連続しているボス３３と、円筒状胴部３１の他方の端である開口端３１ａの側の外周面部分に形成した外歯３４とを備えている。

[0023] 楕円状輪郭の波動発生器４は、円筒状胴部３１の外歯形成部分の内周面部分にはめ込まれている。波動発生器４によって、円筒状胴部３１は、そのダイヤフラム側の後端３１ｂから開口端３１ａに向けて、半径方向の外側あるいは内側への撓み量が漸増している。図２（ｂ）に示すように、楕円状曲線の長軸Ｌ１を含む断面では、外側への撓み量が後端３１ｂから開口端３１ａへの距離に比例して漸増する。図２（ｃ）に示すように、楕円状曲線の短軸Ｌ２を含む断面では、内側への撓み量が後端３１ｂから開口端３１ａへの距離に比例して漸増する。開口端３１ａ側の外周面部分に形成されている外歯３４も、その歯筋方向の内端部３４ｂから開口側の開口端部３４ａに向けて、後端３１ｂからの距離に比例して撓み量が漸増している。

[0024] 外歯３４の歯筋方向における任意の位置の軸直角断面において、楕円状に撓められる前の外歯３４の歯底リムの厚さ方向の中央を通る円がリム中立円である。これに対して、楕円状に撓められた後の歯底リムの厚さ方向の中央を通る楕円状曲線を、リム中立曲線と呼ぶものとする。楕円状のリム中立曲線の長軸位置におけるリム中立円に対する長軸方向の撓み量ｗは、κ（１を含む実数）を撓み係数として、２κｍｎで表される。本発明の可撓性外歯車３の歯形は負偏位歯形であり、その開口端３１ａの撓み係数κが０＜κ＜１に設定されている。

[0025] すなわち、可撓性外歯車３の外歯３４の歯数をZ_F、剛性内歯車２の内歯２４の歯数をZ_C、波動歯車装置１の減速比をＲ（＝Z_F／（Z_C－Z_F）＝Z_F／２ｎ）とし、可撓性外歯車３のピッチ円直径ｍZ_Fを減速比Ｒで除した値（ｍZ_F／Ｒ＝２ｍｎ）を長軸方向の正規（標準）の撓み量w_Oとする。波動歯車装置１は、一般に、その可撓性外歯車３の歯筋方向における波動発生器４のウエーブベアリングのボール中心が位置する部位において、正規の撓み量w_O

（＝２ｍｎ）で撓むように設計される。撓み係数κは、可撓性外歯車３の歯筋方向の各軸直角断面における撓み量ｗを正規の撓み量で除した値を表す。したがって、外歯３４において、正規の撓み量ｗ$_0$が得られる位置の撓み係数はκ＝１であり、これよりも少ない撓み量ｗの断面位置の撓み係数はκ＜１となり、これよりも多い撓み量ｗの断面位置の撓み係数はκ＞１となる。外歯３４における正規の撓み量ｗ$_0$（κ＝１）が得られる歯形を標準偏位歯形と呼び、正規の撓み量よりも少ない撓み量（κ＜１）が得られる歯形を負偏位歯形と呼び、正規の撓み量よりも多い撓み量（κ＞１）が得られる歯形を正偏位歯形と呼ぶ。先に述べたように、本発明の可撓性外歯車３の外歯３４は負偏位歯形に設定されている。

[0026] 図３Ａは波動歯車装置１の両歯車２、３の相対運動をラックで近似した場合に得られる、剛性内歯車２の内歯２４に対する可撓性外歯車３の外歯３４の移動軌跡を示す図である。図において、ｘ軸はラックの併進方向、ｙ軸はそれに直角な方向を示す。ｙ軸の原点は移動軌跡の振幅の平均位置としてある。曲線Ｍａは、外歯３４の開口端部３４ａにおいて得られる移動軌跡であり、曲線Ｍｂは内端部３４ｂにおいて得られる移動軌跡である。曲線Ｍｃは、歯筋方向における開口端部３４ａから内端部３４ｂまでの間の任意の位置、本例では歯筋方向の中央部（以下、この位置を「主断面位置」と呼ぶ。）において得られる移動軌跡である。剛性内歯車２の内歯２４に対する可撓性外歯車３の外歯３４の移動軌跡は、次式で示される。

$$x = 0.5mn(\theta - \kappa \sin\theta)$$

$$y = \kappa mn \cos\theta$$

[0027] 説明を簡単にするために、モジュールｍ＝１、ｎ＝１（歯数差２ｎ＝２）とすると、上式は次の式１で表される。

（式１）

$$x = 0.5(\theta - \kappa \sin\theta)$$

$$y = \kappa \cos\theta$$

[0028]（主断面位置における歯形の形成方法）

図４は主断面位置における外歯３４、内歯２４のラック歯形形成の原理を示す説明図である。本発明では、主断面位置における歯末歯形を規定するために、可撓性外歯車３における主断面位置において得られる移動軌跡Ｍｃを利用する。

[0029] まず、図４の太い実線で示す移動軌跡Ｍｃにおいて、パラメーターθがπからθ$_A$までの範囲の第１曲線ＡＢを取る。パラメーターθ＝πの位置は移動軌跡Ｍｃの底点であるＢ点であり、パラメーターθ＝θ$_A$の位置は移動曲線Ｍｃの変曲点であるＡ点である。次に、第１曲線ＡＢを、Ｂ点を相似の中心としてλ倍（０＜λ＜１）に相似変換して、第１相似曲線ＢＣを得る。第１相似曲線ＢＣを、剛性内歯車２の内歯２４の歯末歯形として採用する。なお、図４においてはλ＝０．４の場合を示している。

[0030] 次に、第１相似曲線ＢＣにおけるＢ点とは反対側の端点であるＣ点を相似の中心として、第１相似曲線ＢＣを１８０度回転して、想像線で示す曲線Ｂ$_1$Ｃを得る。この曲線Ｂ$_1$Ｃを、Ｃ点を相似の中心として（１－λ）／λ倍に相似変換して第２相似曲線ＣＡを得る。この第２相似曲線ＣＡを、可撓性外歯車３の外歯３４における基本の歯末歯形として採用する。

[0031] このようにして設定した歯末歯形は、式で書くと次の式２、式３のようになる。

＜剛性内歯車の歯末歯形の基本式＞

（式２）

$$x(\theta)=0.5\{(1-\lambda)\pi+\lambda(\theta-\kappa\sin\theta)\}$$

$$y(\theta)=\kappa\{\lambda(1+\cos\theta)-1\}$$

$$(\theta_A\leqq\theta\leqq\pi)$$

＜可撓性外歯車の歯末歯形の基本式＞

（式３）

$$x(\theta)=0.5\{(1-\lambda)(\pi-\theta+\kappa\sin\theta)+\theta_A-\kappa\sin\theta_A\}$$

$$y(\theta)=\kappa\{\cos\theta_A-(1-\lambda)(1+\cos\theta)\}$$

$(\theta_A \leqq \theta \leqq \pi)$

[0032] ここで、可撓性外歯車３の歯末歯形が移動軌跡Ｍｃの頂点であるＤ点から変曲点であるＡ点まで移動する間に、剛性内歯車２に創成する曲線を、剛性内歯車２の基本の歯元歯形として定める。この歯元歯形は、式１と式３から求められる次の式４で与えられる。

（式４）

$$x(\theta) = 0.5\{(1-\lambda)(\pi-\theta+\kappa\sin\theta) + \kappa(\sin\theta_A-\sin\theta) - (\theta_A/\pi)\theta+\theta_A-\kappa\sin\theta_A\}$$

$$y(\theta) = \kappa\{\cos\theta-(1-\lambda)(1+\cos\theta)\}$$

[0033] 同様に、可撓性外歯車３の歯末歯形が移動軌跡Ｍｃの頂点であるＤ点から変曲点であるＡ点まで移動する間に、剛性内歯車２の歯末歯形が可撓性外歯車に創成する曲線を、可撓性外歯車の基本の歯元歯形として定める。この歯元歯形は、式１と式２から求められる次の式５で与えられる。

（式５）

$$x(\theta) = 0.5\{(1-\lambda)\pi+\lambda(\theta-\kappa\sin\theta) - \kappa(\sin\theta_A-\sin\theta) + (\theta_A/\pi)\theta\}$$

$$y(\theta) = \kappa\{\lambda(1+\cos\theta)-1+\cos\theta_A-\cos\theta\}$$

[0034] 図４に示す曲線２４Ａは上記のようにして設定される歯末歯形と歯元歯形を備えた内歯２４の形状を示し、曲線３４Ａは上記のように設定される歯末歯形と歯元歯形を備えた外歯３４の形状を示す。両歯車２、３の実際の歯元歯形は、相手歯車の歯先との頂隙を確保するため、上記のように定めた基本の歯元歯形に対して修正を施す。

[0035] ここで、剛性内歯車２の歯形は、その歯筋方向において同一形状であり、上記の歯末歯形と、上記の歯元歯形に対して外歯の歯先との頂隙を確保するための修正を施した修正歯元歯形とによって規定される。

[0036] 一方、可撓性外歯車３の歯形については、フラット型の波動歯車装置の場合には、剛性内歯車の場合と同様に、上記の歯末歯形と、上記のように定ま

る歯元歯形に対して内歯の歯先との頂隙を確保するための修正を施した修正歯元歯形とによって規定される。換言すると、歯筋方向の各位置での歯形形状は同一である。

[0037] これに対して、カップ型、シルクハット型の波動歯車装置に用いるカップ形状、シルクハット形状の可撓性外歯車の場合には、主断面位置においては、上記の歯末歯形と、上記のように定まる歯元歯形に対して内歯の歯先との頂隙を確保するための修正を施した修正歯元歯形とによって規定される。主断面位置以外の歯形については、以下に述べるように、主断面位置の歯形に対して、撓み量に応じた転位を施した転位歯形とされる。

[0038] （主断面位置以外の位置における外歯歯形の形成方法）

可撓性外歯車３の歯形には、外歯３４の主断面位置から開口端部３４ａに掛けて、および、主断面位置から内端部３４ｂに掛けて、撓み係数κの値に応じた転位を施す。外歯３４の歯形に施す転位量をｍｎｈとすると、ｍ＝１、ｎ＝１の場合の転位量はｈになる。主断面位置における撓み係数をκ_Aとすると、転位歯形の歯筋方向の各位置での移動軌跡および転位量は、次の式１Ａで示される。

（式１Ａ）

$$x = 0.5(\theta - \kappa \sin\theta)$$

$$y = \kappa \cos\theta + h$$

$$h = -|\kappa_A - \kappa|$$

[0039] この転位により、図３Ａに示す開口端部３４ａでの移動軌跡Ｍａおよび内端部３４ｂでの移動軌跡Ｍｂは、それぞれ、図３Ｂに示す移動軌跡Ｍａ１、Ｍｂ１に変化する。すなわち、主断面位置から開口端部３４ａに掛けては、外歯３４の各位置で移動軌跡の頂部が主断面位置での移動軌跡Ｍｃの頂部に一致する。また、主断面位置から内端部３４ｂに掛けては、外歯３４の各位置での移動軌跡の底部が主断面位置での移動軌跡Ｍｃの底部に一致する。

[0040] このように、可撓性外歯車３においては、その主断面位置以外の歯形は、主断面位置での歯形に対して、式１Ａの第３式で与えられる転位量ｈの転位

が施された転位歯形とされる。

[0041] 図５は、可撓性外歯車３の歯筋方向の中央付近の転位量の一例を示すグラフである。この図の横軸は外歯３４の歯筋方向の中央（主断面位置）からの距離を示し、縦軸は転位量ｈを示す。転位量ｈは、同一傾斜の転位直線Ｌ１、Ｌ２で示される。転位直線Ｌ１は主断面位置から開口端部３４ａに掛けての転位量を示し、転位直線Ｌ２は、主断面位置から内端部３４ｂに掛けての転位量を示す。

[0042] また、図５には、主断面位置を頂点とし、転位直線Ｌ１、Ｌ２に接する４次曲線Ｃ１が示されている。この４次曲線Ｃ１に基づき各位置での転位量を決めると、外歯３４における主断面位置を含む歯筋方向の中央部分に実質的な平坦部が形成されるので、転位の滑らかな変化が保証され、可撓性外歯車３の歯切り時の寸法管理も容易になる。

[0043] 図６は外歯３４および内歯２４の歯筋方向に沿った歯形輪郭を示す説明図である。この図においては、両歯車のかみ合い状態における長軸を含む断面での状態（最深のかみ合い状態）を示している。外歯３４の歯筋方向の歯形輪郭は、その主断面位置３４ｃを含む歯筋方向の中央部分では、上記の４次曲線Ｃ１によって規定され、この中央部分から開口端部３４ａまでの間の部分では、転位直線Ｌ１によって規定され、中央部分から内端部３４ｂまでの間の部分では、転位直線Ｌ２によって規定されている。

[0044] 図７（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は、上記のように歯形を設定した外歯３４と内歯２４のかみ合いの様相をラック近似で示す説明図である。図７（ａ）は、外歯３４の開口端部３４ａの位置、図７（ｂ）は、外歯３４の主断面位置、図７（ｃ）は外歯３４の内端部３４ｂの位置において得られる。これらの移動軌跡から分かるように、近似的ながら、可撓性外歯車３の外歯３４は、その開口端部３４ａから主断面位置を経て内端部３４ｂに至る全ての位置で、内歯２４に対して十分な接触が行われている。

[0045] 以上説明したように、波動歯車装置１では、その可撓性外歯車３の歯末歯形が、剛性内歯車２の歯元歯形と歯末歯形と２度接触し、かつ、剛性内歯車

２の歯末歯形が、可撓性外歯車の歯元歯形と歯末歯形と２度接触する。したがって、両歯車２、３は、歯末歯形同士の連続的なかみ合いにとどまらず、より広い範囲に亘ってかみ合い可能である。これにより、より多くのトルクを伝達可能な波動歯車装置を実現できる。

請求の範囲

[請求項1] 剛性内歯車（２）と、この内側に同軸状に配置された可撓性外歯車（３）と、この内側に嵌めた波動発生器（４）とを有し、

前記可撓性外歯車（３）は前記波動発生器（４）によって楕円状に撓められ、楕円状に撓められた前記可撓性外歯車の外歯（３４）は、その長軸方向の両端部において前記剛性内歯車（２）の内歯（２４）にかみ合っており、

前記剛性内歯車（２）および、楕円状に変形する前の前記可撓性外歯車（３）は共にモジュールｍの平歯車であり、

前記可撓性外歯車（３）の歯数は、ｎを正の整数とすると、前記剛性内歯車（２）の歯数より２ｎ枚少なく、

前記外歯（３４）の歯筋方向の任意の位置の軸直角断面における前記可撓性外歯車（３）の楕円状リム中立線における長軸位置（Ｌ１）において、その撓み前のリム中立円に対する撓み量は、κを撓み係数とすると、２κｍｎであり、

前記外歯（３４）は撓み係数κが、０＜κ＜１の負偏位歯形であり、

前記内歯（２４）は、その歯末歯形が第１相似曲線によって規定され、その歯元歯形が第１歯形創成曲線によって規定され、

前記外歯（３４）は、その歯末歯形が第２相似曲線によって規定され、その歯元歯形が第２歯形創成曲線によって規定され、

前記第１、第２相似曲線は、前記外歯（３４）と前記内歯（２４）のかみ合いをラックかみ合いで近似した場合に、前記外歯（３４）の歯筋方向の各位置において、前記波動発生器（４）の回転に伴う前記外歯（３４）の前記内歯（２４）に対する移動軌跡（Ｍｃ）に基づき得られる曲線であり、

前記第１相似曲線は、前記移動軌跡（Ｍｃ）の一つの頂点（Ｄ）から次の底点（Ｂ）までの曲線部分を取り、当該曲線部分における変曲

点（Ａ）から前記底点（Ｂ）までの第１曲線部分（ＡＢ）を、前記底点（Ｂ）を相似の中心としてλ倍（０＜λ＜１）に縮小した曲線であり、

前記第２相似曲線は、前記第１相似曲線（ＢＣ）における前記底点（Ｂ）とは反対側の端点（Ｃ）を中心として当該第１相似曲線（ＢＣ）を１８０度回転することにより得られる曲線を、当該端点（Ｃ）を相似の中心として（１－λ）／λ倍した曲線であり、

前記第１歯形創成曲線は、前記第２相似曲線（ＡＣ）で規定される前記外歯の歯末歯形が、前記移動軌跡（Ｍｃ）の前記変曲点（Ａ）から当該移動軌跡（Ｍｃ）における頂点（Ｄ）に移動する過程で、前記内歯（２４）に創成する曲線であり、

前記第２歯形創成曲線は、前記第１相似曲線（ＢＣ）で規定される前記内歯の歯末歯形が、前記変曲点（Ａ）から前記頂点（Ｄ）に至る移動に際して、前記外歯（３４）に創成する曲線である、

ことを特徴とする２度接触の負偏位歯形を有する波動歯車装置（１）。

[請求項2] 前記可撓性外歯車（３）は、可撓性の円筒状胴部（３１）と、この円筒状胴部の後端から半径方向に延びているダイヤフラム（３２）とを備え、前記円筒状胴部（３１）の前端開口（３１ａ）の側の外周面部分に、前記外歯（３４）が形成されており、

前記外歯（３４）の撓み量は、その歯筋方向に沿って、前記ダイヤフラム（３２）の側の内端部（３４ｂ）から前記前端開口（３１ａ）の側の開口端部（３４ａ）に向けて、前記ダイヤフラム（３２）からの距離に比例して増加しており、

前記外歯（３４）における前記開口端部（３４ａ）と前記内端部（３４ｂ）の間の歯筋方向の任意の位置を主断面位置とすると、当該主断面位置における前記外歯（３４）の歯形は、前記第１相似曲線と前記第１歯形創成曲線によって規定される基本外歯歯形であり、

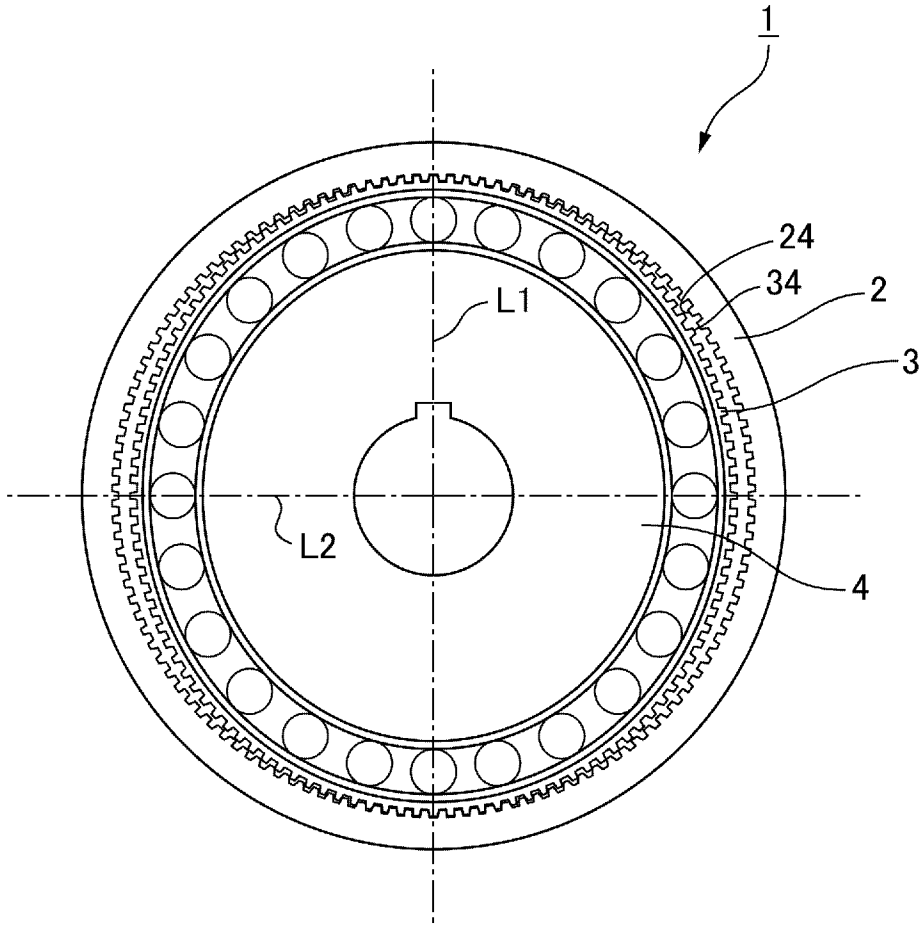
前記外歯（３４）における歯筋方向における前記主断面位置以外の位置の歯形形状は、前記基本外歯歯形に対して前記撓み量に応じた転位が施された転位歯形であり、

前記外歯（３４）の前記主断面位置から前記開口端部（３４ａ）に至る歯筋方向の各位置の歯形形状は、各位置において前記基本外歯歯形が描く前記移動軌跡の頂部が前記主断面位置における前記移動軌跡（Ｍｃ）の頂部に接するように転位を施すことによって得られたものであり、

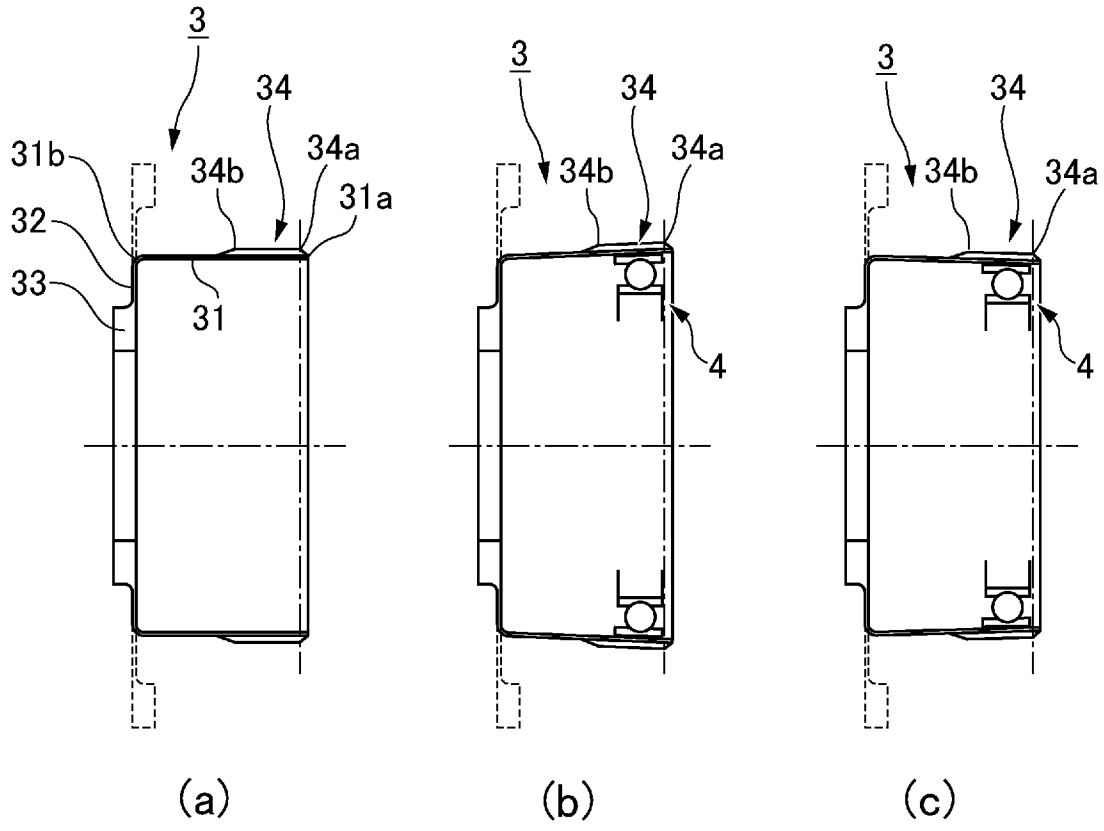
前記外歯（３４）の前記主断面位置から前記内端部（３４ｂ）に至る歯筋方向の各位置の歯形形状は、各位置における前記基本外歯歯形が描く前記移動軌跡の底部が前記主断面位置における前記移動軌跡（Ｍｃ）の底部に接するように転位を施すことによって得られたものである波動歯車装置（１）。

[請求項3] 前記内歯（２４）の歯元歯形および前記外歯（３４）の歯元歯形のそれぞれに、相手の歯末歯形と所要の頂隙を保つように修正を施した請求項１または２に記載の波動歯車装置（１）。

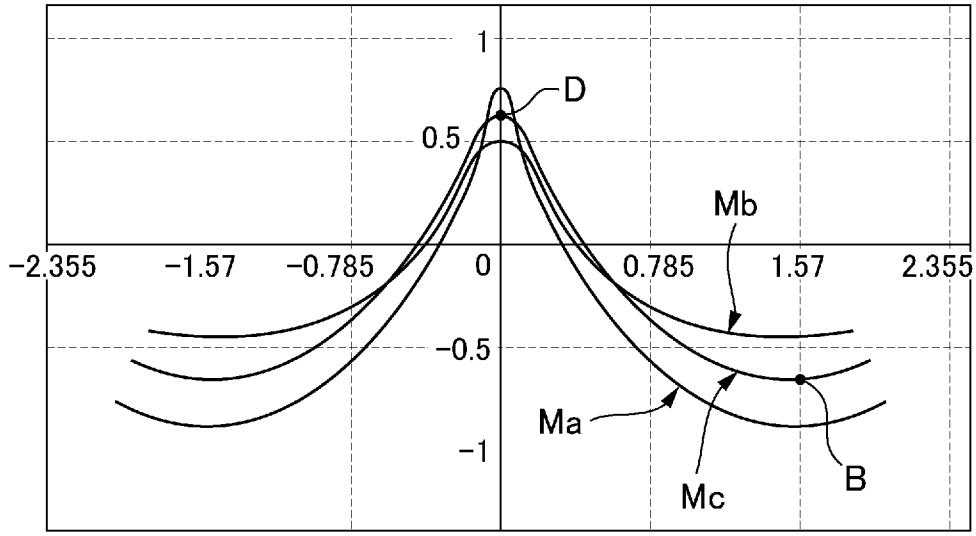
[図1]



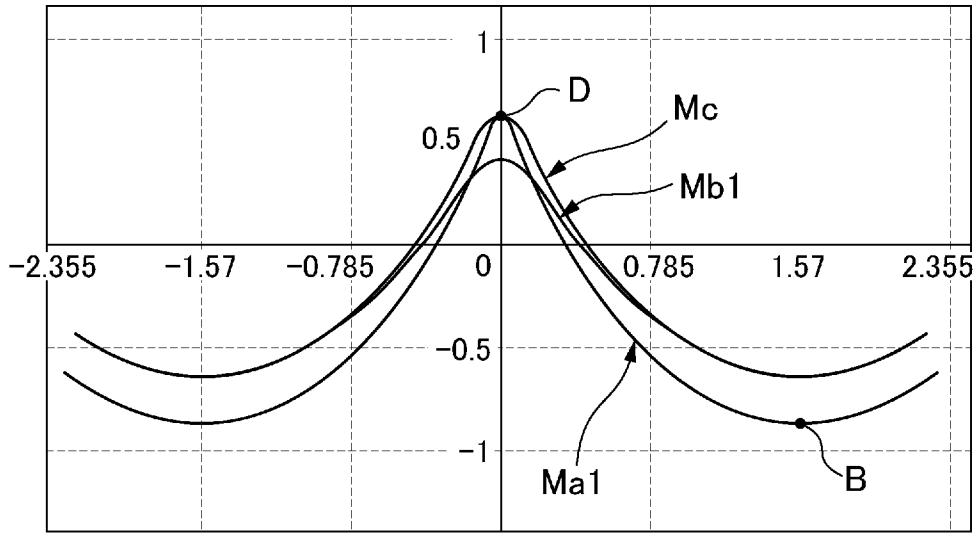
[図2]



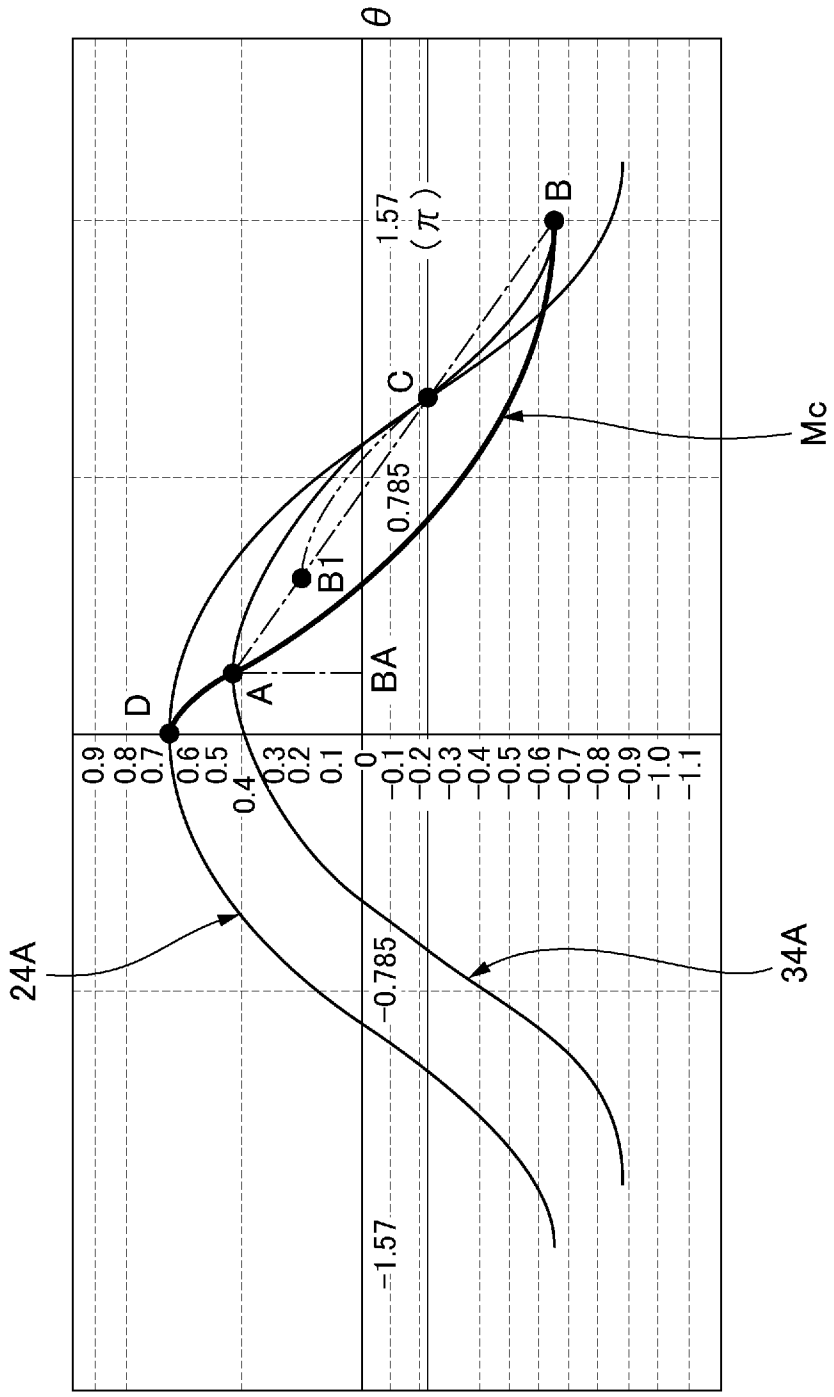
[図3A]


1
0.5
-0.5
-1
-2.355
-1.57
-0.785
0
0.785
1.57
2.355
D
Mb
Ma
Mc
B

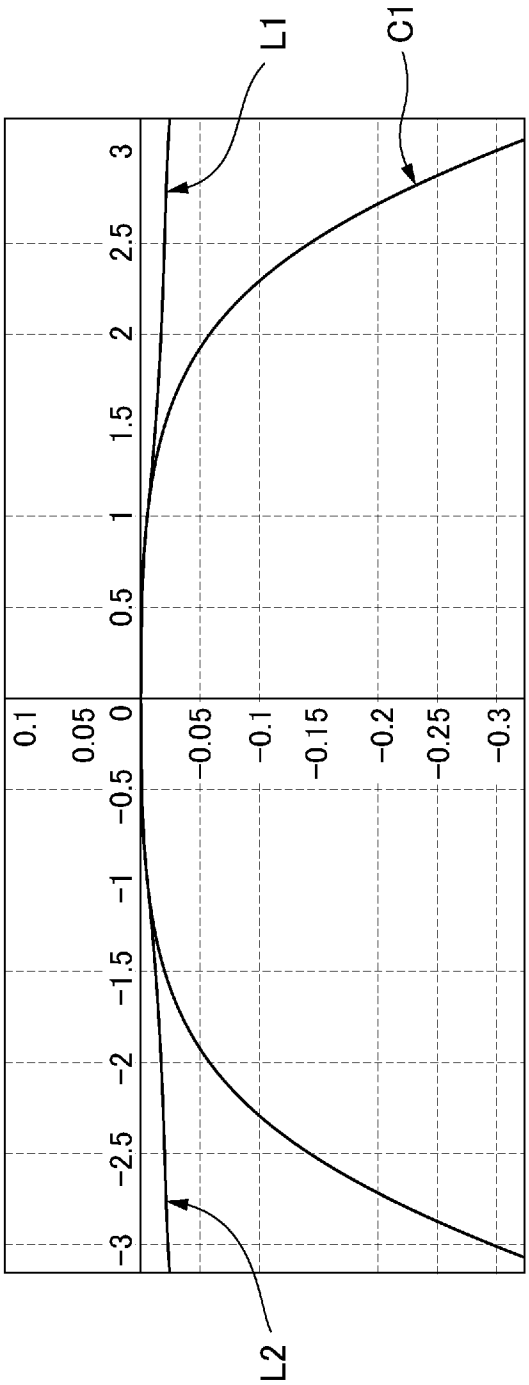
[図3B]


1
0.5
-0.5
-1
-2.355
-1.57
-0.785
0
0.785
1.57
2.355
D
Mc
Mb1
Ma1
B

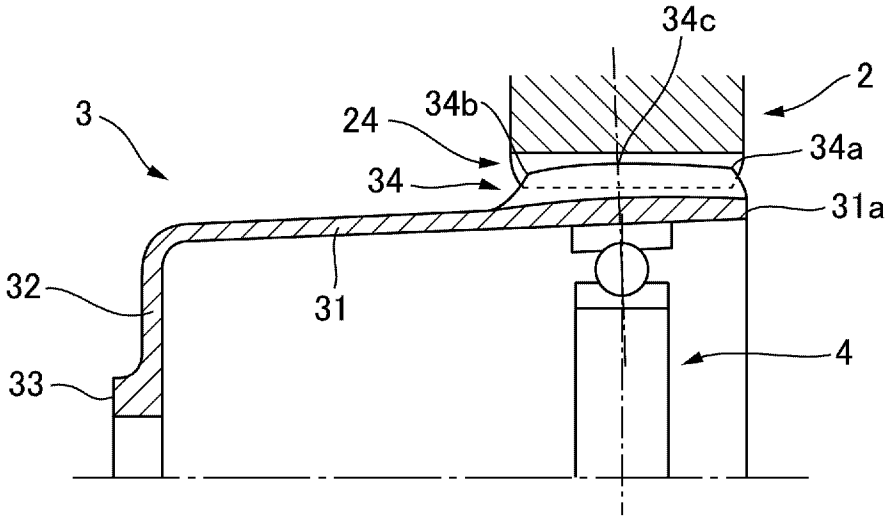
[図4]


θ
1.57
(π)
B
C
Mc
0.785
B1
BA
A
D
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
−0.1
−0.2
−0.3
−0.4
−0.5
−0.6
−0.7
−0.8
−0.9
−1.0
−1.1
24A
−0.785
34A
−1.57

[図5]

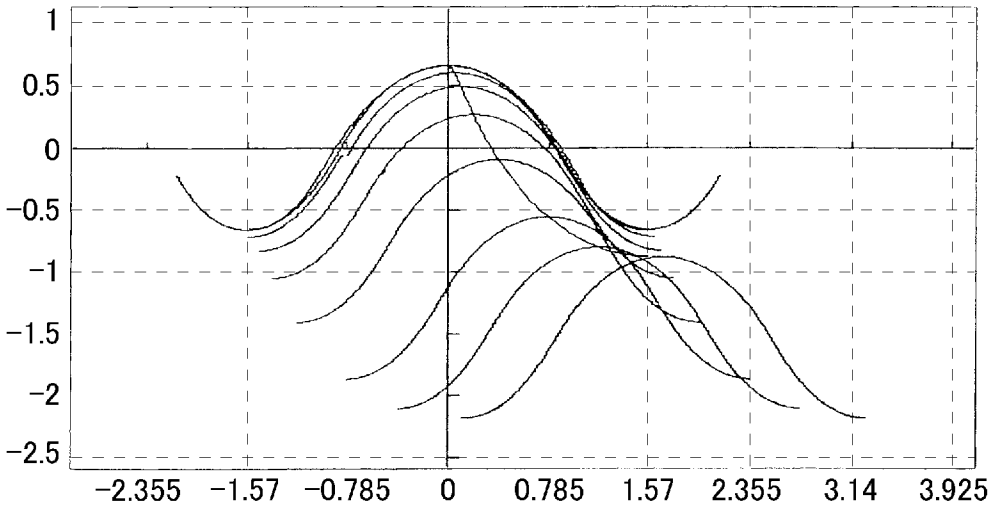


[図6]

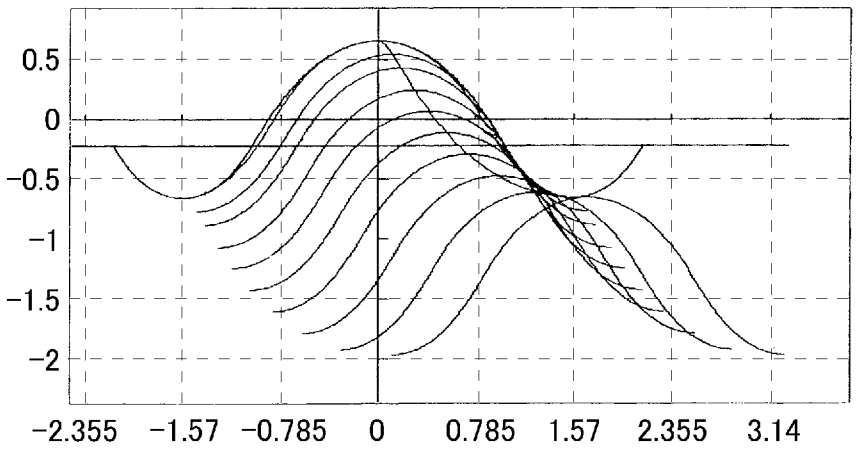


[図7]

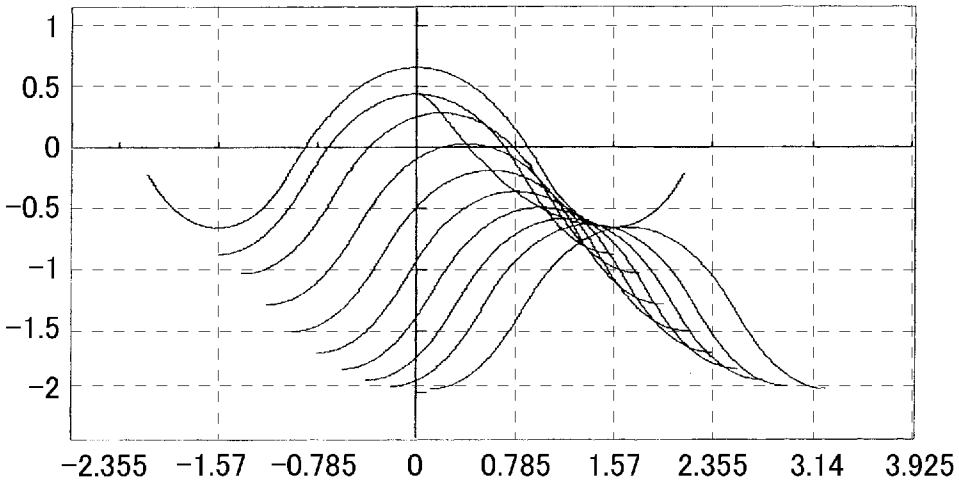
(a)


1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2.5
−2.355
−1.57
−0.785
0
0.785
1.57
2.355
3.14
3.925

(b)


0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2.355
−1.57
−0.785
0
0.785
1.57
2.355
3.14

(c)


1
0.5
0
−0.5
−1
−1.5
−2
−2.355
−1.57
−0.785
0
0.785
1.57
2.355
3.14
3.925

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/082258

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F16H1/32(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F16H1/32

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/070712 A1 (Harmonic Drive Systems Inc.), 24 June 2010 (24.06.2010), entire text; all drawings & US 2011/0237382 A1 & DE 112008004248 T5	1-3
A	WO 2012/153363 A1 (Harmonic Drive Systems Inc.), 15 November 2012 (15.11.2012), entire text; all drawings & US 2012/0285283 A1	1-3
A	WO 2005/124189 A1 (Harmonic Drive Systems Inc.), 29 December 2005 (29.12.2005), entire text; all drawings & US 2007/0266819 A1 & DE 112004002907 T5	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
07 February, 2014 (07.02.14)	18 February, 2014 (18.02.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/082258

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 1996/019683 A1 (Harmonic Drive Systems Inc.), 27 June 1996 (27.06.1996), entire text; all drawings & US 5782143 A & EP 745786 A1 & CA 2183540 C & DE 69423654 T2	1-3
A	JP 2007-211907 A (Harmonic Drive Systems Inc.), 23 August 2007 (23.08.2007), entire text; all drawings & US 2007/0180947 A1 & DE 102007006530 A1	1-3
A	JP 2011-144916 A (Harmonic Drive Systems Inc.), 28 July 2011 (28.07.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2001-146945 A (Harmonic Drive Systems Inc.), 29 May 2001 (29.05.2001), entire text; all drawings & US 6526849 B1 & DE 10057595 A1 & KR 10-2001-0060375 A	1-3

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０８２２５８

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F16H1/32(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　F16H1/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	WO 2010/070712 A1 (株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ) 2010.06.24, 全文, 全図 & US 2011/0237382 A1 & DE 112008004248 T5	１－３
A	WO 2012/153363 A1 (株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ) 2012.11.15, 全文, 全図 & US 2012/0285283 A1	１－３

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
０７．０２．２０１４	１８．０２．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　３Ｊ　３６２５
中村　大輔
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３２８

C（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	WO 2005/124189 A1 (株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ) 2005.12.29, 全文, 全図 & US 2007/0266819 A1 & DE 112004002907 T5	１－３
A	WO 1996/019683 A1 (株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ) 1996.06.27, 全文, 全図 & US 5782143 A & EP 745786 A1 & CA 2183540 C & DE 69423654 T2	１－３
A	JP 2007-211907 A (株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ) 2007.08.23, 全文, 全図 & US 2007/0180947 A1 & DE 102007006530 A1	１－３
A	JP 2011-144916 A (株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ) 2011.07.28, 全文, 全図（ファミリーなし）	１－３
A	JP 2001-146945 A (株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ) 2001.05.29, 全文, 全図 & US 6526849 B1 & DE 10057595 A1 & KR 10-2001-0060375 A	１－３