

令和元年6月19日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06062

研究課題名(和文) 斬新形状の球体歯車に関する諸特性の検証と精密位置決め機構としての適応性の検討

研究課題名(英文) Verification of characteristics of novel-shaped spherical gear and examination of adaptability as a precise positioning mechanism

研究代表者

田中 淑晴 (Tanaka, Toshiharu)

豊田工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：70455137

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：球体歯車対における位置決め性能を評価するため、実験装置の構築を行い、バックラッシュ量と伝達効率の測定を行った。軸交差角度は 0° から 60° まで 20° ごととした。バックラッシュ量は $3.64\sim 21.0\text{ mrad}$ となり、軸交差角度が大きくなるほどバックラッシュ量が大きくなる傾向を示した。また、設計値とは $2\sim 14\text{ mrad}$ 程度の違いがあった。一方、伝達効率は $56.5\sim 87.6\%$ となり軸交差角度が大きくなるほど効率も大きくなる傾向があることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的な歯車は自由度が1であるのに対して本研究の球体歯車は多自由度を有する。そのため、従来では歯車を複数個組み合わせることで多自由度とした構成部分へ適用することによって、構造が簡単かつ低コストで構成することができる。さらに、小型かつチタン製とすれば医療分野などにも適用できる。球体歯車対とした位置決め装置を構築し、軸交差角度の変化がバックラッシュ量や伝達効率などに及ぼす影響を具体的に明らかにしたことにより、今後の球体歯車の設計の参考とすることができる。これらのように、本成果を通じて従来に無い歯車伝達機構を提案することができた。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate positioning performance of a pair of spherical gears, an experimental apparatus is designed and constructed, and backlash value and transmitted efficiency are measured. Intersecting axis angle between the spherical gears is every 20° from 0° to 60° . As the results, this pair of gears has a backlash value from 3.64 to 21.0 mrad , and it is found that the larger intersecting axis angle increases the backlash value. Moreover, it is revealed that the gears have a transmitted efficiency from 56.5 to 87.6% .

研究分野：位置決め

キーワード：球体歯車 バックラッシュ 動力伝達 位置決め

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

アクチュエータや軸受などの機械要素について、その高精度化やコスト面以外に複数の自由度を有することなど付加価値の要求が高まっている。例えば、人間にとって危険や有害となる溶接や塗装などの作業を産業用ロボットが行うために、人間の腕（肩、肘、手首）のように多自由度に動作できることが必要となる。これは、ハンドリングロボットやスカラーロボットも同様である。また、医療分野では多自由度の機構を採用することによって、手術支援ロボットのように人間の手技では難しい手術も可能となる。その他にも、ヒューマノイドロボットの股関節に用いられる二重球面股関節や指を模したロボットにも多自由度であることが求められている。多自由度機構として、半球の面に配置された円錐状の凹凸の歯をかみ合わせることにより2自由度を有する歯車などのユニークな歯車の報告もある。しかし、上述のいずれの報告もアクチュエータや機械要素の研究開発であるが、実際に使用するときの位置決め精度についての性能に関する報告がほとんどされておらず、実用する上で重要な課題となっている。

2. 研究の目的

上述の背景を踏まえ、小型かつ軽量化が可能で多自由度を有し大きなトルク伝達が可能となる機械要素を開発するため、歯車を球体状とすることに着目した。本提案の歯車は従来に無い全く新しい形状の歯車であるため、製作に必要な情報である歯形曲線、モジュール、歯すじ方向の曲線形状を始めとした諸元パラメータやトルク伝達性能など実際に使用する際の情報について、現状では全く無い。そのため、製作から実際の使用に至るまで全てのことが未知である。そこで、前例のない球体歯車の製作に必要な各パラメータを明らかにし、位置決め装置に組み込み、軸交差角度を変化させてかみあい位置を変化させることが可能な精密位置決め装置の開発を目的とする。

3. 研究の方法

上述の研究目的を達成するために、図1のような球体歯車の製作を行った。製作はABS樹脂による3Dプリンタ造形とした。基準円直径を100mmとし、歯数を20枚とする。その他の設計仕様を表1に示す。最大歯先円直径は110mm、最大歯厚は7.854mmである。歯すじに沿って歯先円直径、歯厚ともに徐々に小さくなる。図2に示すように球体歯車を組み合わせて歯車対を構成し、伝達機構としての角度誤差、伝達効率の測定を行う。

測定のために構築した実験装置において、軸交差角度を変化させたときの一例として、軸交差角度が 60° のものを図3に示す。サーボモータによって駆動軸にトルクを印加する。その印加トルクはトルクメータによって測定し、駆動軸の回転角はサーボモータのロータリエンコーダによって測定される。歯車対によってトルクが伝達され従動軸が回転される。そのときの回転角度は軸端に取り付けられたロータリエンコーダによって測定される。反対の軸端にはパウダーブレーキが取り付けられており、任意のブレーキトルクを与えることができる。従動軸とパウダーブレーキとの間にトルクメータが取り付けられており、従動軸に生じているトルクが測定される。

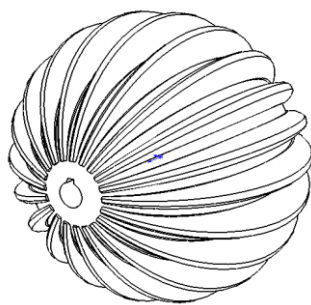


図1 球体歯車 3D-CAD 図

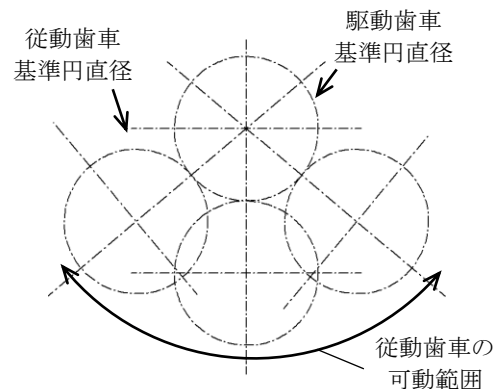


図2 交差角変化時の模式図

表1 球体歯車の設計仕様

Contact angle [°]	0	10	20	30
Reference circle diameter d [mm]	100			
Tip circle diameter d_a [mm]	110.00	109.63	108.68	107.31
Tooth thickness t [mm]	7.854	7.688	7.244	6.559

実験方法は、オープンループ制御にて約1Hzの正弦波状のトルクをサーボモータから球体歯車に与える。印加トルクはサーボモータの定格トルクの20~80%の10%ごととし、軸交差角度を0~ 60° の 20° ごととする。また、軸間の角度と歯車中心距離は専用の治具を製作し、その治

具を以て管理する。伝達効率の算出は、トルクメータによって測定された主動軸のトルクと従動軸のトルクの比とする。バックラッシは、主動軸の回転方向が反転する前と反転後の主動軸の角度差と従動軸の同差との差として評価する。

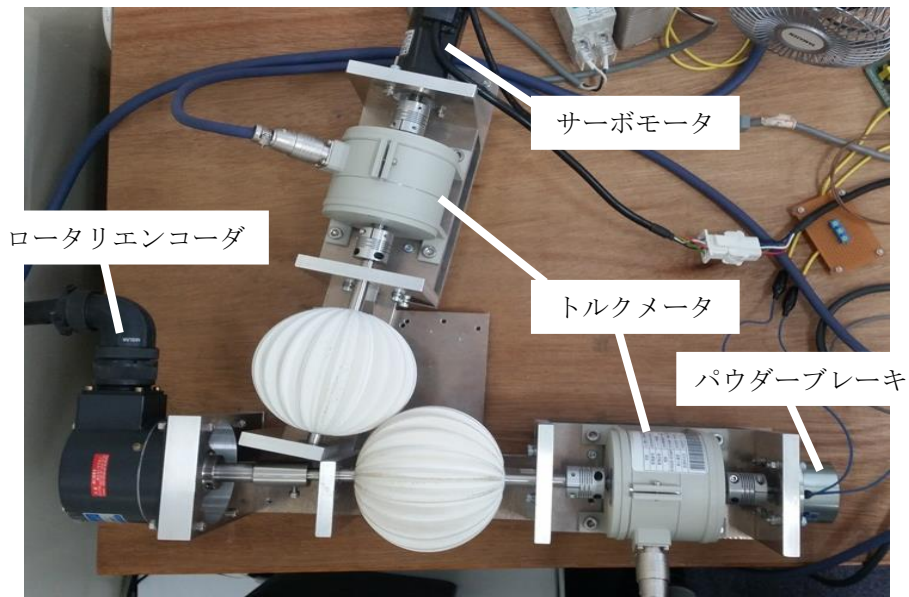


図3 軸交差角度 60° 時の球体歯車対と実験装置

4. 研究成果

主動歯車軸と従動歯車軸の軸交差角度を 0° （二軸が平行）の状態から 20° ごとに 60° まで変化させたときのトルクと回転角度の測定を行った。その測定例として、モータのトルク振幅を 0.159Nm とし軸交差角度が 0° の結果を図4、軸交差角度が 60° の結果を図5に示す。これらの結果から、球体歯車対の伝達効率、バックラッシの算出を行った。

軸交差角度が 0° の図4では、トルクメータによって測定された主動軸のトルクは、モータの生じているトルクとほぼ同じとなり、歯車対のかみあい部や軸受け、その他の摩擦などによって従動軸が生じるトルクは小さくなっている。また、従来からの歯車と同様に回転方向の反転時にバックラッシによる不連続となっていることがわかる。主動軸のトルクの全幅は約 0.306Nm 、従動軸のトルクの全幅は約 0.2337Nm となり、伝達効率は約 76.4% となった。各軸の回転角度の結果では、主動軸において回転方向が反転したあとに振動が生じ、その後もトルクが印加されているためカップリングなどがねじれることによって回転角度が約 2° 生じている。バックラッシの大きさは約 5.39mrad となった。

軸交差角度が 60° の図5において、トルクの挙動は回転方向反転時の不連続など、おおむね軸交差角度 0° のときと同じとなった。これは、他の軸交差角度 20° 、 40° においても同じ傾向を示した。主動軸のトルクの全幅は、約 0.294Nm 、従動軸のトルクの全幅は約 0.223Nm となり、伝達効率は約 75.9% となった。回転角度については、軸交差角度 0° のものと比較して、小さくなった。バックラッシの大きさは約 14.3mrad となった。

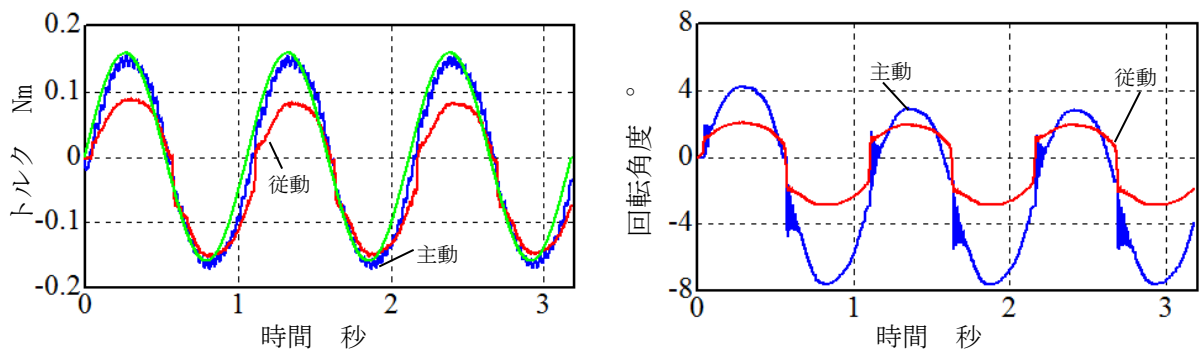


図4 軸交差角度 0° , トルク振幅 0.159Nm 時の測定結果

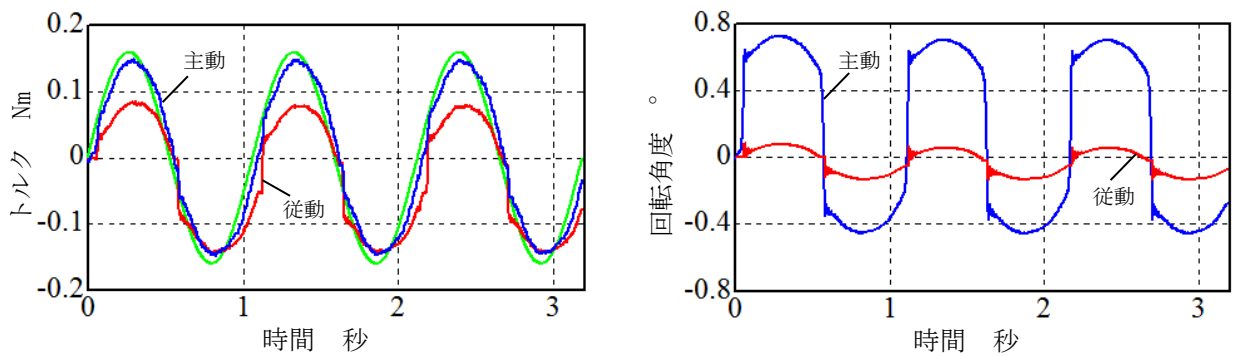


図5 軸交差角度 60° , トルク振幅 0.159Nm 時の測定結果

軸交差角度 $0\sim 60^\circ$ の各角度において、実験データの再現性を確認するため各条件において3回ずつ測定実験を実施した。モータの印加トルクの振幅を $0.064\text{Nm}\sim 0.286\text{Nm}$ と変化させた結果を図6に示す。バックラッシュについて、軸交差角度 0° のとき $3.64\sim 4.69\text{mrad}$, 20° のとき $3.54\sim 7.43\text{mrad}$, 40° のとき $16.8\sim 21.0\text{mrad}$, 60° のとき $11.1\sim 14.8\text{mrad}$ となった。各軸交差角度ともに印加トルクの大きさに因らず、バックラッシュはおおむね同じ大きさとなった。また、軸交差角度が大きくなるにつれてバックラッシュも大きくなる傾向となった。伝達効率については、軸交差角度 0° のとき $56.5\sim 87.1\%$, 20° のとき $56.0\sim 85.6\%$, 40° のとき $62.6\sim 87.6\%$, 60° のとき $69.1\sim 85.2\%$ となった。軸交差角度の大きさに因らず印加トルクが大きくなるほど、伝達効率が大きくなる傾向にある。これは、軸受けなどの摩擦損失が一定値であるため、印加トルクが大きくなるにつれて、その影響が小さくなるためである。これらのことから、球体歯車対の伝達効率は 85% 以上であると推察される。軸交差角度の影響については、角度が大きくなるほど、やや伝達効率が大きくなる傾向が見受けられる。

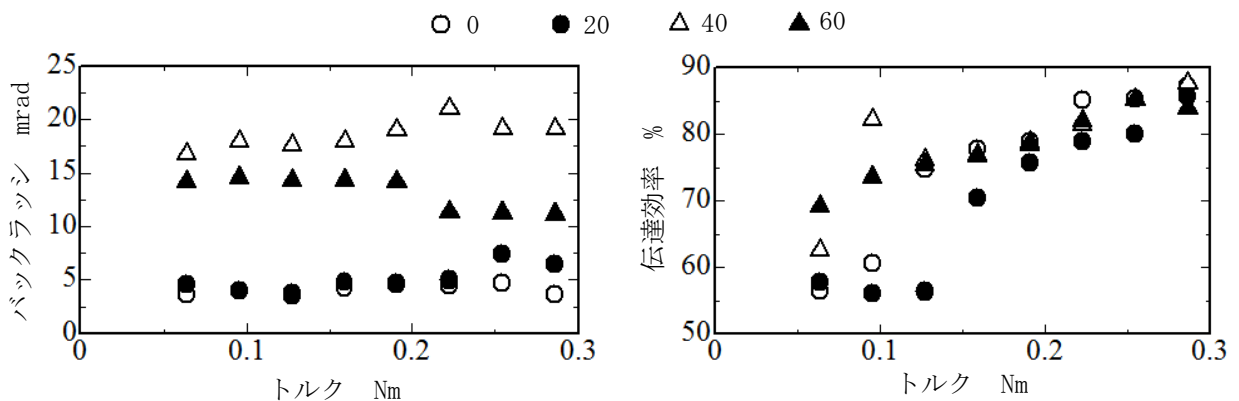


図6 各軸交差角度でのバックラッシュと伝達効率

新しく提案した球体歯車対の位置決め装置において、軸交差角度を変化させてトルク伝達および角度伝達ができることを示した。また、その基本的な特性であるバックラッシュと伝達効率を測定した。

<引用文献>

- ①清水洋介, 森田堅次郎, 岡田昌史: 機構的優位性を持つヒューマノイドの身体進化, Proc. of the 2008 JSME Conf. on Robotics and Mechatronics, 2A1-D03(1).
- ②小金澤鋼一: 遊星歯車機構を用いた5指ハンド, 電子情報通信学会技術研究報告, (2013)87.
- ③S. C Yang, C. K Chen and K. Y Li : A geometric model of a spherical gear with a double degree of freedom, J. of Materials Processing Technology, 123(2002)219-224.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計8件)

- ①田中淑晴, 國分大吾, 小谷明: 球体歯車のバックラッシュ量の測定, 第24回高専シンポジウム in Oyama, 2019, PD-04
- ②T. Tanaka, A. Kotani, T. Oiwa, D. Kokubun: Investigation of Transmitted Behavior between Spherical Gears for Precision Positioning, The 7th International Conference on Positioning Technology, 2018, #1042
- ③國分大吾, 田中淑晴, 小谷明, 大岩孝彰: 球体歯車による位置決めに関する研究(第4報), 平成30年度計測自動制御学会中部支部若手研究発表会, 2018, 14

- ④山下大翔, 田中淑晴, 小谷明, 大岩孝彰: 球体歯車による位置決めに関する研究 (第3報), 第23回高専シンポジウム in Kobe, 2018, PH-003
- ⑤堀上卓磨, 田中淑晴, 小谷明, 大岩孝彰: 球体歯車による位置決めに関する研究 (第2報), 第23回高専シンポジウム in Kobe, 2018, H-19
- ⑥堀上卓磨, 田中淑晴, 小谷明, 大岩孝彰: 球体歯車の位置決めに関する研究, 平成29年度計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会, 2017, 21
- ⑦堀上卓磨, 田中淑晴, 小谷明, 大岩孝彰: 球体歯車による位置決めに関する研究, 日本設計工学会東海支部平成28年度研究発表講演会, 2017, pp.17-18.
- ⑧堀上卓磨, 田中淑晴, 小谷明, 大岩孝彰: 球体歯車の回転挙動の測定, 第22回高専シンポジウム in Mie, 2017, P-067

6. 研究組織

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 小谷 明, 大岩 孝彰

ローマ字氏名: (KOTANI, Akira), (OIWA, Takaaki)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。