

(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
2012年2月9日(09.02.2012)

(10) 国際公開番号
WO 2012/017781 A1

PCT

- (51) 国際特許分類:
H02K 37/14 (2006.01) H02K 41/03 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/065792
- (22) 国際出願日: 2011年7月11日(11.07.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-175157 2010年8月4日(04.08.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人産業技術総合研究所(NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 矢野 智昭 (YANO Tomoaki) [JP/JP]; 〒3058564 茨城県つくば市並木1-2-1 独立行政法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (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, 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, IS, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

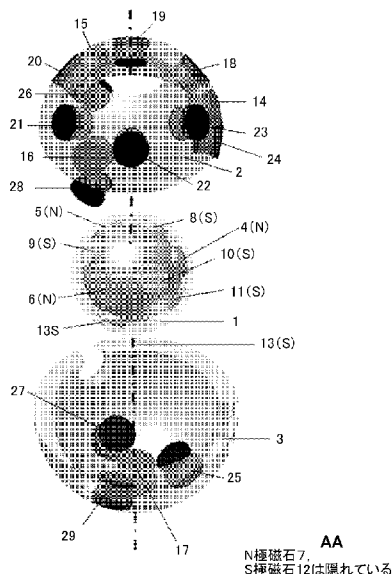
添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: MULTIPLE POLE SPHERICAL STEPPING MOTOR AND MULTIPLE POLE SPHERICAL AC SERVOMOTOR

(54) 発明の名称: 多極球面ステッピングモータおよび多極球面ACサーボモータ

【図1】



AA - An N-pole magnet (7) and an S-pole magnet (12) are not seen.

(57) Abstract: Provided is a means for mitigating stringent constraints between a virtual polyhedron inscribed in a rotor and a virtual polyhedron inscribed in a stator in a spherical stepping motor and a spherical AC servomotor and drastically increasing the degree of freedom in design. The above problem is solved by disposing permanent magnets at points for dividing the sides of a virtual polyhedron inscribed in a rotor and electromagnets at points for dividing the sides of a virtual polyhedron inscribed in a stator. A multiple pole spherical stepping motor and a multiple pole spherical AC servomotor comprise: a rotor in which permanent magnets are disposed at vertices of a virtual polyhedron inscribed in a sphere and at points for dividing the arcs corresponding to the sides connecting the vertices; and a stator in which electromagnets are disposed at vertices of a virtual polyhedron inscribed in a sphere containing the sphere of the rotor and at points for dividing the arcs corresponding to the sides connecting the vertices.

(57) 要約: 球面ステッピングモータおよび球面ACサーボモータにおけるロータに内接する仮想多面体とステータに内接する仮想多面体との間の厳しい制約を緩和し設計自由度を飛躍的に増やす手段を提供する。ロータに内接する仮想多面体の辺の分割点に永久磁石、ステータに内接する仮想多面体の辺の分割点に電磁石を配置することで上記課題を解決したものであって、球体に内接する仮想多面体の頂点および頂点を結ぶ辺に対応する円弧の分割点に永久磁石を配置したロータと、該ロータの球体を包含する球体に内接する仮想多面体の頂点、頂点を結ぶ辺に対応する円弧の分割点に電磁石を配置したステータとからなる多極球面ステッピングモータおよび多極球面ACサーボモータ。

明 細 書

発明の名称：

多極球面ステッピングモータおよび多極球面 A C サーボモータ

技術分野

[0001] 本発明は、多極球面ステッピングモータおよび多極球面 A C サーボモータに関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 には、本件発明者の発明に係る 3 次元モータが記載されている。この 3 次元モータは、互いに直交する 3 方向の軸の周りにそれぞれ回転磁界を発生させる巻線を設け、それによって任意の方向の合成回転磁界の発生を可能としたステータと、そのステータ内に任意の方向に回転可能に支持され、ステータの回転磁界により回転するロータとを備えた 3 次元モータである。この 3 次元モータは、ロータに永久磁石を用いれば 3 次元同期モータ、ロータに誘導電流が流れる素材を用いれば 3 次元誘導モータ、ロータに凸極の磁性体を用いれば 3 次元リラクタンスモータが構成できる。

[0003] 特許文献 2 には、本件発明者の発明に係る球面ステッピングモータが記載されている。この球面ステッピングモータは、ロータに内接する多面体を構成する多角形とステータに内接する多面体を構成する多角形の角数が互いに素の関係にあって、内接する多面体の頂点および各面の中心に永久磁石を配置したロータと、内接する多面体の頂点および各面の中心に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする球面ステッピングモータである。ロータの永久磁石とステータの電磁石の組み合わせとして、ロータ側に電磁石を配置しステータ側に電磁石を配置する構成、ロータ側に磁性体を配置しステータ側に電磁石を配置する構成、ロータ側に永久磁石を配置しステータ側に永久磁石と電磁石のハイブリッド構成を配置する構成、またはロータ側に永久磁石と電磁石のハイブリッド構成を配置しステータ側に永久磁石と電磁石のハイブリッド構成を配置する構成が採用可能となっている。

- [0004] 特許文献3には、本件発明者の発明に係る球面ステッピングモータおよび球面ACサーボモータが記載されている。この球面ステッピングモータは、ロータに内接する多面体を構成する多角形とステータに内接する多面体を構成する多角形の角数が互いに素の関係にあって、内接する多面体の頂点、辺の中心および各面の中心に永久磁石を配置したロータと、内接する多面体の頂点および各面の中心に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする球面ステッピングモータである。ロータの永久磁石をハルバッハ配列として電磁石に正弦波電流を流すことにより球面ACサーボモータを構成できる。
- [0005] 非特許文献1には、球面同期モータが記載されており、その構成は特許文献1に記載の3次元モータと同じである。
- [0006] 非特許文献2および非特許文献3には、球面誘導モータが記載されている。これらの文献に記載の球面誘導モータは、特許文献1に記載の3次元モータと同じ原理で回転する。非特許文献2に記載の球面誘導モータは、巻線が多極化しているところが特許文献1に記載の3次元モータと異なる。
- [0007] 非特許文献4には、球面リラクタンスモータが記載されている。この球面リラクタンスモータは、ステータの上下2段に円周上に配置した合計20個の電磁石で回転磁界を作成し、ロータの上下2段に円周上に配置した凸極とのリラクタンスの変化を利用して回転力を発生するものである。
- [0008] 非特許文献5には、球面ステッピングモータが記載されている。この球面ステッピングモータは、ステータに16個の電磁石を底面中心に1個、その周りに5個、さらに外側に10個をそれぞれ底面中心を中心とする円周上に配置し、ロータに底面中心を中心とする円周上にそれぞれ4個、8個、12個の合計24個の永久磁石を配置し、ロータを動かしたい近傍の電磁石に電流を流すことによりロータの磁石を引きつけてロータを回転させるものである。
- [0009] 非特許文献6には、非特許文献5に記載の球面ステッピングモータと異なる構成を有する球面ステッピングモータが記載されている。この球面ステッ

ピングモータは、球形のロータとステータを有し、ロータおよびステータを経度と緯度で分割し、ロータは各々の区画にN極とS極が表面を向いた永久磁石を交互に配置し、ステータは各々の区画に電磁石が配置されている。また、ロータは4段12極の48極の永久磁石を、ステータには1段あたり16個で6段96個の電磁石が配置されている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特公平6－85630号公報

特許文献2：特開2008－92758号公報

特許文献3：特開2009－77463号公報

非特許文献

[0011] 非特許文献1：J.Wang,; K.Mitchell,; G.W.Jewell; D.Howe,: Multi-Degree-of Freedom Spherical permanent Magnet Motors,Proc.ICRA2001 pp.1798-1805,2001

非特許文献2：Bruno Dehez,; Damien Grenier,; Benoit Raucent,: Two-Degree-of Freedom Spherical Actuator for Omnimobile ROBOT. Proc.2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp2381-2386,2002

非特許文献3：田中,和多田,鳥居,海老原;球面球体アクチュエータの提案と設計.第11回MAGDAコンファレンス講演論文集,pp.169-172,2002

非特許文献4：K.M.Lee, H.Son, J.Joni: Concept Development and Design of a Spherical Wheel Motor(SWM).IEEE Transactions on Proceedings of the 2005 IEEE Int.Conf.Robotics and Automation,pp3663-3668,2005

非特許文献5：David Stein,; Gregory S.Chirikjian,: Experiments in the Communication and Motion Planning of a Spherical Stepper Motor.ASME paper DET00/MECH-14115,pp.1-7,2000

非特許文献6：K.Kahlen,; R.W.De Doncker: Current regulators for

multiple-phase permanent magnet spherical machines, Proc. 2000 IEEE Industrial Application, pp. 2011-2015, 2000

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0012] 特許文献 1 に記載の 3 次元モータは、出力軸の可動範囲を大きくするために開口部を広くとろうとすると、互いに直交する 3 方向の軸の周りにそれぞれ回転磁界を発生させる巻線を設けることができなくなる問題がある。次善の策として、平面からそれぞれ 10 度程度傾けた 3 次元空間内の 3 方向の軸周りに巻線を設けると、垂直軸周りの回転磁界が一番強力で、出力軸の回転軸が傾くほど回転磁界が弱くかつ大きさも不安定になるという問題がある。また、回転磁界にロータを追従させて回転させるため、ロータを 3 次元空間内で静止させることが困難である。さらに、この 3 次元モータは、巻線に電流を流したときの磁束を正弦波分布に近い状態に保つ必要があり、これを達成する工夫が必要になる。
- [0013] また、非特許文献 2 に記載の球面同期モータは、出力軸を設けるために互いに直交する 3 方向の軸の周りにそれぞれ回転磁界を発生させる巻線のうち出力軸方向の巻線が欠落している。このため、回転軸が開口部中心軸から傾くに従って急激に回転力が減少するとともに不安定になる。また、特許文献 1 に記載の 3 次元モータと同様に静止させるのが困難である。また、この球面誘導モータは、多極化しているため、発生トルクが特許文献 1 に記載の 3 次元モータより小さくなる問題がある。
- [0014] また、非特許文献 3 に記載の球面誘導モータは、開口部を設けるために巻線の一部が大きく欠落しているため、均一な回転磁界を開口部中心軸から大きく傾いた方向に合成するのは難しい。また、非特許文献 2 および非特許文献 3 に記載の球面誘導モータは、どちらも誘導モータであるためすべりが生じて、ロータの位置決めが困難である。
- [0015] また、非特許文献 4 に記載の球面リラクタンスモータは、その構造から回転するロータの回転軸を ± 5 度の範囲でしか傾けることができないという問

題がある。

[0016] また、非特許文献5に記載の球面ステッピングモータは、電磁石もロータの永久磁石も底面中心周りの円周上に配置されている。従って底面中心周りの回転は電流を流す電磁石を規則的に決めることにより行えるが、他の方向にロータを回転させるための電磁石を決定するのは大変難しい。ロータの底面中心がステータの底面中心からずれるほどロータを回転させるのが困難になる。上記の原因は、電磁石も永久磁石も底面中心を中心とする同心円状に配置している構造によるものである。

[0017] また、非特許文献6に記載の球面ステッピングモータは、ロータを垂直軸周りに回転させるときは平面のロータ12極、ステータ16極のステッピングモータと同様の制御で回転できる。しかし、軸が傾くと突然制御が難しくなる。これは96個の電磁石に流す電流をDSPボードによる並列計算処理で決定しようとするものであるが、これが非常に難しいという問題がある。

[0018] 上記の特許文献1および非特許文献2ないし非特許文献6に記載のモータは、全てにおいて開口部中央軸周りの回転については従来のモータの制御の延長上で行えるものの、軸の方向が開口部中央軸から離れるに従って制御が困難もしくは不能になるという問題がある。この原因はモータ構造が球対称になっていないことに起因している。

[0019] 上記の問題は、特許文献2に記載の球面ステッピングモータによって解決することができる。この球面ステッピングモータは、ロータの回転軸の方向がステータの開口部中央から離れても強力な駆動力が得られるとともに、回転制御が容易であり、かつ、ロータの永久磁石とステータの電磁石間の磁路に流出入する磁力線が大きくなるようにして、大きな駆動力が得られることである。

[0020] しかし、特許文献2に記載の球面ステッピングモータは、ロータに永久磁石を配置する場合、多面体の各頂点に配置された永久磁石の極性はすべて同一であり、多面体の各面の中心に配置する永久磁石の極性を反対にして磁路を形成しても、多面体の各面の中心に位置する永久磁石に磁路が集中し、磁

気飽和をまねいて出力が制限される可能性がある。

[0021] 上記の問題は特許文献3に記載の球面ステッピングモータおよび球面ACサーボモータによって解決することができる。ロータに内接する多面体に、すべての面の面数が偶数の多面体（正六面体または切頂八面体）とすることにより、ロータに配置する永久磁石をN極とS極がすべて隣り合わせになるように配置することができる。これにより磁気飽和を避けた球面ステッピングモータと球面ACサーボモータを構成できる。

[0022] しかし、特許文献3に記載の球面ステッピングモータおよび球面ACサーボモータはロータに内接する多面体がすべての面の角数が偶数の多面体に限られるため、ロータの構造が厳しい制限を受ける。また、特許文献2および特許文献3においてロータに内接する多面体とステータに内接する多面体の面数が互いに素の関係になければならない。このためロータおよびステータの構造に厳しい制限を受ける。また、ロータを回転させる前にロータとステータの回転軸を一致させる必要があり、そのための構造と制御を追加する必要がある。

[0023] 本発明の目的は、上記の問題点に鑑みて、ロータに内接する多面体とステータに内接する多面体の選定をもっと自由に行えるようにし、球面ステッピングモータおよび球面ACサーボモータの設計自由度を飛躍的に増やす手段を提供することである。

課題を解決するための手段

[0024] 本発明は、上記の課題を解決するために、下記的手段を採用した。

第1の手段は、球体に内接する仮想正四面体の頂点にN極の永久磁石を、頂点を結ぶ辺に対応する円弧の midpoint にS極の永久磁石を配置したロータと、該ロータの球体を包含する球体に内接する仮想正四面体の頂点、頂点を結ぶ辺に対応する円弧の三等分点に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする多極球面ステッピングモータである。

第2の手段は、球体に内接する仮想正四面体の頂点および頂点を結ぶ辺に対応する円弧を偶数等分した点にN極とS極の永久磁石が交互に隣り合わせ

るように配置したロータと、該ロータの球体を包含する球体に内接する仮想正四面体の頂点、頂点を結ぶ辺に対応する円弧の奇数等分点に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする多極球面ステッピングモータである。

第3の手段は、球体に内接する仮想正六面体の頂点および頂点を結ぶ辺に対応する円弧を奇数等分した点にN極とS極が互いに隣り合わせるように交互に配置したロータと、該ロータの球体を包含する球体に内接する仮想正六面体の頂点および頂点を結ぶ辺に対応する円弧を偶数等分した点に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする多極球面ステッピングモータである。

第4の手段は、第1の手段ないし第2の手段のいずれか1つの手段に記載のロータおよびステータに内接する仮想正四面体をそれぞれ仮想正六面体、仮想正八面体、仮想正十二面体、仮想正二十面体、仮想半正多面体（仮想切頂四面体、仮想切頂六面体、仮想切頂八面体、仮想切頂十二面体、仮想切頂二十面体、仮想立方八面体、仮想二十・十二面体、仮想斜方立方八面体、仮想斜方二十・十二面体、仮想斜方切頂立方八面体、仮想斜方切頂二十・十二面体、仮想変形立方体、仮想変形十二面体）のいずれかと置き換えたことを特徴とする多極球面ステッピングモータである。

第5の手段は、第3の手段に記載のロータおよびステータに内接する仮想正六面体を仮想切頂八面体、仮想斜方切頂立方八面体、仮想斜方切頂二十・十二面体のいずれかと置き換えたことを特徴とする多極球面ステッピングモータである。

第6の手段は、第1の手段ないし第5の手段のいずれか1つの手段に記載の多極球面ステッピングモータにおける、ロータの永久磁石をハルバッハ配列とし、電磁石に流す電流を正弦波電流としたことを特徴とする多極球面ACサーボモータである。

発明の効果

[0025] 特許文献2および特許文献3の球面ステッピングモータおよび球面ACサ

ーボモータは、ロータの回転軸の方向がステータの開口部中央から離れても、ロータ永久磁石とステータ電磁石の配置関係が、ロータの回転軸の方向がステータの開口部中央にある時と同等になる。したがって、ロータの回転軸の方向がステータの開口部中央から離れてもロータの回転軸の方向がステータの開口部中央にある時と同等の強力な駆動力が得られるとともに、回転制御が容易な球面ステッピングモータが得られる特徴を有する。

それに対して、本発明の多極球面ステッピングモータおよび多極球面 AC サーボモータによれば、上記の特許文献 2 および特許文献 3 の球面ステッピングモータの特徴を保持したまま、ロータおよびステータの構造の選択範囲が飛躍的に広がり、設計自由度が大幅に増加する。

また、本発明の多極球面ステッピングモータおよび多極球面 AC サーボモータによれば、ロータに内接する多面体とステータに内接する仮想多面体として同一の多面体を選ぶことができる。したがって、ロータの回転軸をステータの回転軸とそろえる機構と制御を追加する必要のないシンプルな構成を実現できる

また、本発明の多極球面ステッピングモータおよび多極球面 AC サーボモータを採用することにより、ロボットマニピュレータ、ステアリングを含む車輪駆動、能動鉗子をはじめとする多自由度システムが使用するモータの個数が大幅に減少し、これらシステムの小型・軽量化、制御の簡単化さらには省エネルギー化を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]第 1 の実施形態の発明に係るロータ 1、ステータ 2、3 およびロータとステータとを組み合わせた球面ステッピングモータの構成を示す図である。

[図2]図 1 に示した球面ステッピングモータの鳥瞰図である。

[図3]第 1 の実施形態の発明に係る球面ステッピングモータのロータ 1 の回転軸が真上を向いている状態を真上から見た図である。

[図4]図 3 に示した球面ステッピングモータの鳥瞰図であり、「この面」が図 3 に対応する面である。

[図5]第1の実施形態の発明に係る球面ステッピングモータの、ロータ1の回転軸が斜め下を向いている状態で、ロータ1の永久磁石とステータ2、3の電磁石の関係を表す図である。

[図6]図5に示した球面ステッピングモータの鳥瞰図であり、「この面」が図5に対応する面である。

[図7]第2の実施形態の発明に係るロータ101、ステータ102および103を組み合わせた球面ステッピングモータの構成を示す図である。

[図8]図7に示した球面ステッピングモータの鳥瞰図である。

[図9]第2の実施形態の発明に係る球面ステッピングモータのロータ101の回転軸が真上を向いている状態を真上から見た図である。

[図10]図9に示した球面ステッピングモータの鳥瞰図であり、「この面」が図9に対応する面である。

[図11]第2の実施形態の発明に係る球面ステッピングモータの、ロータ101の回転軸が真横を向いている状態で、ロータ101の永久磁石とステータ102、103の電磁石の関係を表す図である。

[図12]図11に示した球面ステッピングモータの鳥瞰図であり、「この面」が図11に対応する面である。

[図13]本発明で仮想多面体として用いる多面体を示す図である。

[図14]本発明で仮想多面体として用いる多面体を、さらに、示す図である。

発明を実施するための形態

[0027] はじめに、本発明の多極球面ステッピングモータおよび多極ACサーボモータの基本構成について説明する。本発明の多極球面ステッピングモータおよび多極ACサーボモータは、基本的には、内接する仮想多面体を構成する多角形の頂点、頂点を結ぶ円弧の分割点に永久磁石をN極とS極が隣り合わせになるように配置したロータと、内接する多面体を構成する多角形の頂点、頂点を結ぶ円弧の分割点に電磁石を配置したステータとから構成される。

[0028] 本発明の多極球面ステッピングモータおよび多極ACサーボモータは、ロータに内接する多面体およびステータに内接する仮想多面体を、以下の多面

体の中から任意に選定して構成することができる。正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体、正二十面体、切頂八面体、切頂四面体、切頂六面体、切頂八面体、切頂十二面体、切頂二十面体、立方八面体、二十・十二面体、斜方立方八面体、斜方二十・十二面体、斜方切頂立方八面体、斜方切頂二十・十二面体、変形立方体、変形十二面体。

実施例

[0029] (実施例 1)

次に、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ないし図 6 を用いて説明する。

図 1 は、本実施形態の発明に係るロータ 1、ステータ上半球 2、ステータ下半球 3 およびその中心軸を示す図、図 2 は図 1 に示したロータとステータを組み合わせた球面ステップングモータの鳥瞰図である。

図 1 に示すように、ロータ 1 には、内接する仮想正四面体の 4 個の頂点 4 から頂点 7、および頂点を結ぶ円弧の中点に対応する点 8 から 13 に表面がロータ 1 と同じ形状になるようにした永久磁石が埋め込まれている。永久磁石の極性は、隣り合う永久磁石の極性が互いに反転するようにする。すなわち、点 4, 5, 6, 7 は N 極が外側、頂点 8, 9, 10, 11, 12, 13 は S 極が外側となるように永久磁石が埋め込まれている。一方、ステータ 2 および 3 には、内接する仮想正四面体の頂点 14 から頂点 17 および頂点を結ぶ円弧の三分割点 18 から 29 に対応する位置に電磁石が配置されている。

[0030] 次に、本実施形態の発明に係る球面ステップングモータの垂直軸周りの回転動作を図 3 ないし図 6 を用いて説明する。

図 3 は、この球面ステップングモータのロータ 1 の出力軸が真上を向いている状態を真上から見た図、図 4 は図 3 に示した球面ステップングモータの鳥瞰図であり、「この面」が図 3 に対応する面である。

図 3 において、電磁石 18, 20, 22 が N 極、電磁石 19, 21, 23 が S 極、電磁石 14, 15, 16 は回転直後に N 極になるように電流を流す。すると永久磁石 4, 5, 6, 8, 9, 10 がそれぞれ吸引力と反発力を受

けて永久磁石4が電磁石19と一番近い距離になるところまで(20度)ロータ1が時計回りに回転する。この時に電磁石19, 21, 23を切り、ロータ1がさらに回転したところで電磁石19, 21, 23がN極になるように電流を流す。すると、引き続きロータ1は時計回りに20度回転する。

[0031] 以下、図3に示す位置を基準として、電磁石18, 20, 22は最初N極、40度でS極、100度でN極、160度でS極、以下、ロータ1が60度回転するごとに極性を切り替える。電磁石19, 21, 23は最初S極、20度でN極、80度でS極、以下、ロータ1が60度回転するごとに極性を切り替える。電磁石14, 15, 16は0度から回転開始直後にN極、60度でS極、以下、ロータ1が60度回転するごとに極性を切り替える。これにより、ロータ1は時計回りに連続回転することができる。

[0032] 次に、本実施形態の発明に係る多極球面ステッピングモータの斜め軸周りの回転動作を図5ないし図6を用いて説明する。

図5はステータ2および3に対してロータ1の回転軸が斜め状態にある球面ステッピングモータを矢印方向から見た図である。図5は対応する番号が違ふものの、ロータの永久磁石とステータの電磁石の位置関係は同じである。したがって、図5に示す位置を基準として、電磁石23, 25, 28は最初N極、40度でS極、100度でN極、160度でS極、以下、ロータ1が60度回転するごとに極性を切り替える。電磁石22, 24, 29は最初S極、20度でN極、80度でS極、以下、ロータ1が60度回転するごとに極性を切り替える。電磁石14, 15, 17は0度から回転開始直後にN極、60度でS極、以下、ロータ1が60度回転するごとに極性を切り替える。これにより、ロータ1は矢印を回転軸として時計回りに連続回転することができる。

[0033] この球面ステッピングモータにおいては、ロータを、ステータに内接する正四面体の面の中心線を軸として回転させることができる。軸は4本あり、任意の4軸周りにロータ1を連続回転させることができる。以上の制御方法から、本実施形態の多極球面ステッピングモータは、制御方法および出力ト

ルクがロータの向きに依存して変動することはない特徴を有していることがわかる。

[0034] (実施例 2)

次に、本発明の第 2 の実施形態を図 7 および図 8 を用いて説明する。

図 7 は、本実施形態の発明に係るロータ 101、ステータ上半球 102、ステータ下半球 103 およびその中心軸を示す図、図 8 は図 7 に示したロータ、ステータ上半球ロータ、およびステータ下半球を組み合わせた球面ステッピングモータの鳥瞰図である。

図 1 に示すように、ロータ 1 には、内接する仮想正六面体の 8 個の頂点 104 から頂点 111、および頂点を結ぶ円弧の三分割点に対応する 24 の点 112 から 135 に表面がロータ 1 と同じ形状になるようにした永久磁石が埋め込まれている。永久磁石の極性は、隣り合う永久磁石の極性が互いに反転するようにする。たとえば、辺の上に並んでいる点 104、112、113、105 は交互に N 極、S 極、N 極、S 極となる。

一方、ステータ 102 および 103 は、内接する仮想正六面体の 8 個の頂点 136 から頂点 143、および頂点を結ぶ円弧の中点 144 から 155 に対応する位置に電磁石が配置されている。

[0035] この球面ステッピングモータは、第 1 の実施形態の球面ステッピングモータのロータおよびステータに内接する多面体を正六面体にし、ロータに内接する多面体の頂点および辺の奇数分割点に永久磁石を N 極と S 極が隣り合わせになるように配置し、ステータに内接する多面体の頂点および辺の偶数分割点に電磁石を配置することを特徴とする。

[0036] 次に、本実施形態の発明に係る球面ステッピングモータの垂直軸周りの回転動作を図 9 ないし図 12 を用いて説明する。

図 9 は、この球面ステッピングモータのロータ 101 の出力軸が真上を向いている状態を真上から見た図、図 10 は図 9 に示した球面ステッピングモータの鳥瞰図であり、「この面」が図 9 に対応する面である。

図 9 において、電磁石 141、143 が N 極、電磁石 140、142 が S

極、電磁石 1 3 6, 1 3 8 は回転直後に N 極、電磁石 1 3 7, 1 3 9 は回転直後に S 極、になるように電流を流す。すると永久磁石 1 0 4 から 1 0 7 および 1 1 2 から 1 1 9 がそれぞれ吸引力と反発力を受けて永久磁石 1 1 3 が電磁石 1 4 0 と一番近い距離になるところまで (1 5 度) ロータ 1 0 1 が時計回りに回転する。この時に電磁石 1 4 0, 1 4 1, 1 4 2, 1 4 3 を切り、ロータ 1 がさらに回転したところで電磁石 1 4 1, 1 4 3 が N 極、電磁石 1 4 0, 1 4 2 が S 極になるように電流を流す。すると、引き続きロータ 1 は時計回りに 1 5 度回転する。

[0037] 以下、図 9 に示す位置を基準として、電磁石 1 4 1, 1 4 3 は最初 N 極、1 5 度で S 極、4 5 度で N 極、7 5 度で S 極、以下、ロータ 1 0 1 が 3 0 度回転するごとに極性を切り替える。電磁石 1 4 0, 1 4 2 は最初 S 極、1 5 度で N 極、4 5 度で S 極、以下、ロータ 1 0 1 が 3 0 度回転するごとに極性を切り替える。電磁石 1 3 7, 1 3 9 は 0 度から回転開始直後に N 極、3 0 度で S 極、以下、ロータ 1 0 1 が 3 0 度回転するごとに極性を切り替える。電磁石 1 3 6, 1 3 8 は 0 度から回転開始直後に S 極、3 0 度で N 極、以下、ロータ 1 0 1 が 3 0 度回転するごとに極性を切り替える。これにより、ロータ 1 0 1 は時計回りに連続回転することができる。

[0038] 次に、本実施形態の発明に係る多極球面ステッピングモータの水平軸周りの回転動作を図 1 1 ないし図 1 2 を用いて説明する。

図 1 1 はステータ 1 0 2 および 1 0 3 に対してロータ 1 0 1 の回転軸にある球面ステッピングモータを水平軸方向から見た図である。図 1 1 は対応する番号およびロータの回転角度が違ふものの、ロータの永久磁石とステータの電磁石の関係は同じである。したがって、図 1 1 に示す位置を基準として、電磁石 1 4 4, 1 5 2 は最初 N 極、1 5 度で S 極、4 5 度で N 極、7 5 度で S 極、以下、ロータ 1 0 1 が 3 0 度回転するごとに極性を切り替える。電磁石 1 4 8, 1 4 9 は最初 S 極、1 5 度で N 極、4 5 度で S 極、以下、ロータ 1 0 1 が 3 0 度回転するごとに極性を切り替える。電磁石 1 3 6, 1 4 1 は 0 度から回転開始直後に N 極、3 0 度で S 極、以下、ロータ 1 0 1 が 3 0

度回転するごとに極性を切り替える。電磁石 137、140 は 0 度から回転開始直後に S 極、30 度で N 極、以下、ロータ 101 が 30 度回転するごとに極性を切り替える。これにより、ロータ 101 は水平軸を回転軸として時計回りに連続回転することができる。

[0039] この球面ステッピングモータにおいては、ロータを、ステータに内接する仮想正六面体の面の中心線を軸として回転させることができる。軸は 3 本あり、任意の 3 軸周りにロータ 101 を連続回転させることができる。以上の制御方法から、本実施形態の多極球面ステッピングモータも、制御方法および出力トルクがロータの向きに依存して変動することはない特徴を有していることがわかる。

[0040] (多極球面 AC サーボモータ)

上記球面ステッピングモータにおいて、ロータに配置された永久磁石の N 極と S 極との中間に永久磁石をハルバッハ配列となるように追加配置し、電磁石に流す電流を正弦波電流とすれば、多極球面 AC サーボモータとして構成することができる。

[0041] なお、本発明で仮想多面体として用いる多面体を、図 13、図 14 に示す。

産業上の利用可能性

[0042] ロボットマニピュレータ、ステアリングを含む車輪駆動、能動鉗子をはじめとする多自由度システムが使用するモータの個数が大幅に減少し、これらシステムの小型・軽量化、制御の簡単化さらには省エネルギー化を実現することができる。

符号の説明

- [0043] 1 第 1 の実施形態のロータ
2 第 1 の実施形態のステータ上半分
3 第 1 の実施形態のステータ下半分
4～13 ロータ 1 の永久磁石
14～29 ステータ 2、3 の電磁石

- 1 0 1 第2の実施形態のロータ
- 1 0 2 第2の実施形態のステータ上半分
- 1 0 3 第2の実施形態のステータ下半分
- 1 0 4 ~ 1 3 5 ロータ1 0 1の永久磁石
- 1 3 6 ~ 1 5 5 ステータ1 0 2、1 0 3の電磁石

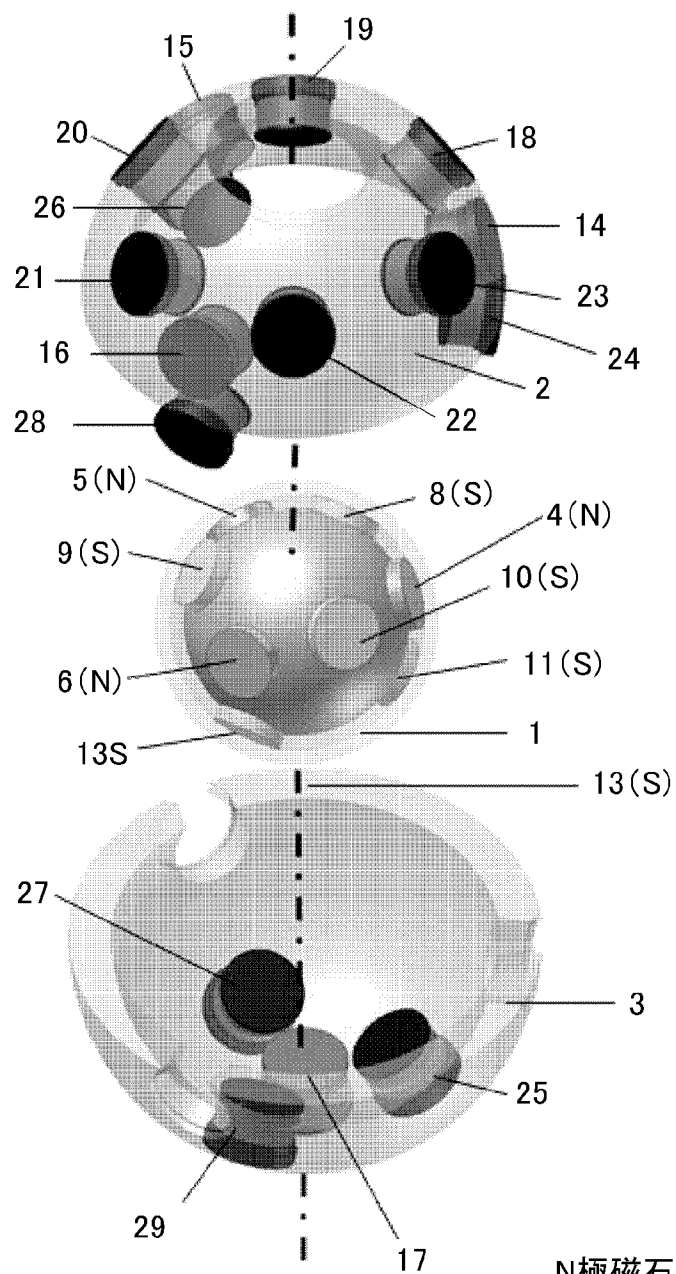
請求の範囲

- [請求項1] 球体に内接する仮想正四面体の頂点にN極の永久磁石を、頂点を結ぶ辺に対応する円弧の中点にS極の永久磁石を配置したロータと、該ロータの球体を包含する球体に内接する仮想正四面体の頂点、頂点を結ぶ辺に対応する円弧の三等分点に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする多極球面ステッピングモータ。
- [請求項2] 球体に内接する仮想正四面体の頂点および頂点を結ぶ辺に対応する円弧を偶数等分した点にN極とS極の永久磁石が交互に隣り合わせるように配置したロータと、該ロータの球体を包含する球体に内接する仮想正四面体の頂点、頂点を結ぶ辺に対応する円弧の奇数等分点に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする多極球面ステッピングモータ。
- [請求項3] 球体に内接する仮想正六面体の頂点および頂点を結ぶ辺に対応する円弧を奇数等分した点にN極とS極が互いに隣り合わせるように交互に配置したロータと、該ロータの球体を包含する球体に内接する仮想正六面体の頂点および頂点を結ぶ辺に対応する円弧を偶数等分した点に電磁石を配置したステータとからなることを特徴とする多極球面ステッピングモータ。
- [請求項4] 請求項1ないし請求項2のいずれか1つの請求項に記載のロータおよびステータに内接する仮想正四面体をそれぞれ仮想正六面体、仮想正八面体、仮想正十二面体、仮想正二十面体、仮想切頂四面体、仮想切頂六面体、仮想切頂八面体、仮想切頂十二面体、仮想切頂二十面体、仮想立方八面体、仮想二十・十二面体、仮想斜方立方八面体、仮想斜方二十・十二面体、仮想斜方切頂立方八面体、仮想斜方切頂二十・十二面体、仮想変形立方体、仮想変形十二面体のいずれかと置き換えたことを特徴とする多極球面ステッピングモータ。
- [請求項5] 請求項3に記載のロータおよびステータに内接する仮想正六面体を仮想切頂八面体、仮想斜方切頂立方八面体、仮想斜方切頂二十・十二

面体のいずれかと置き換えたことを特徴とする多極球面ステッピングモータ。

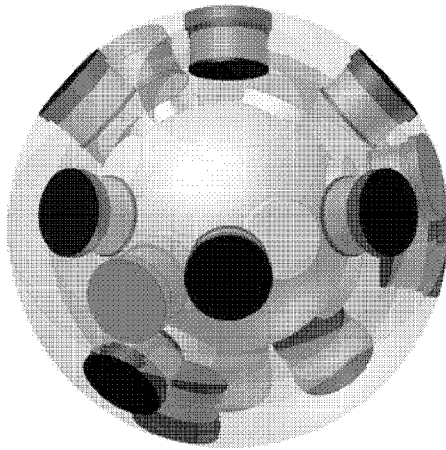
[請求項6] 請求項1ないし請求項5のいずれか1つの請求項に記載の多極球面ステッピングモータにおける、ロータの永久磁石をハルバッハ配列とし、電磁石に流す電流を正弦波電流としたことを特徴とする多極球面ACサーボモータ。

[図1]

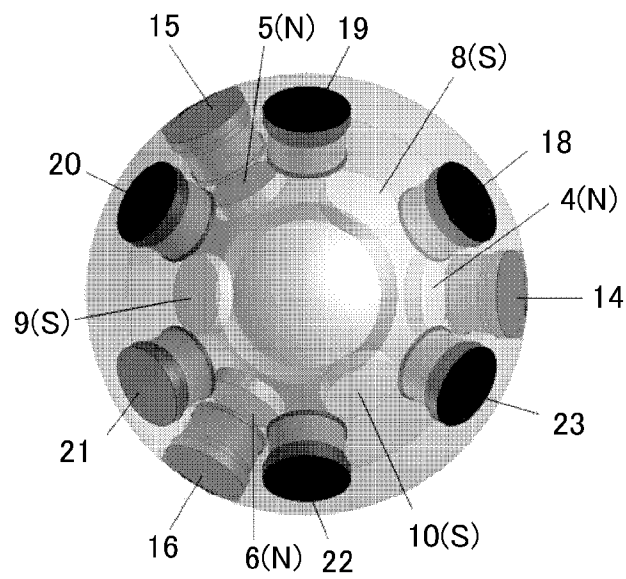


N極磁石7,
S極磁石12は隠れている

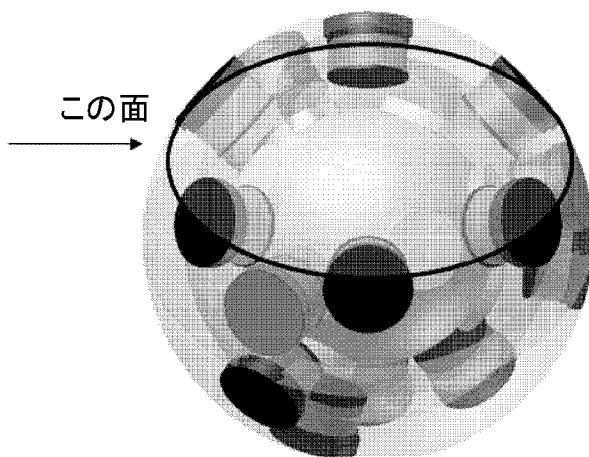
[図2]



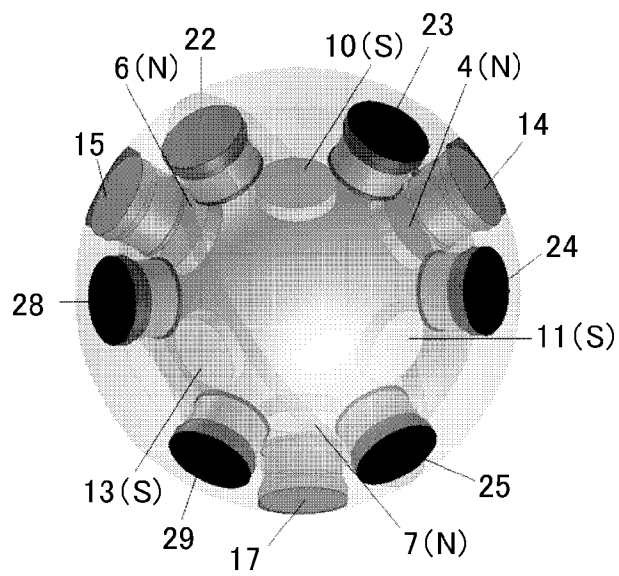
[図3]



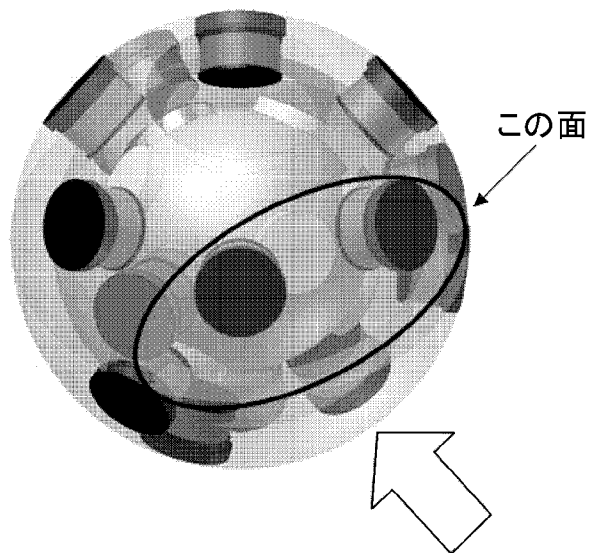
[図4]



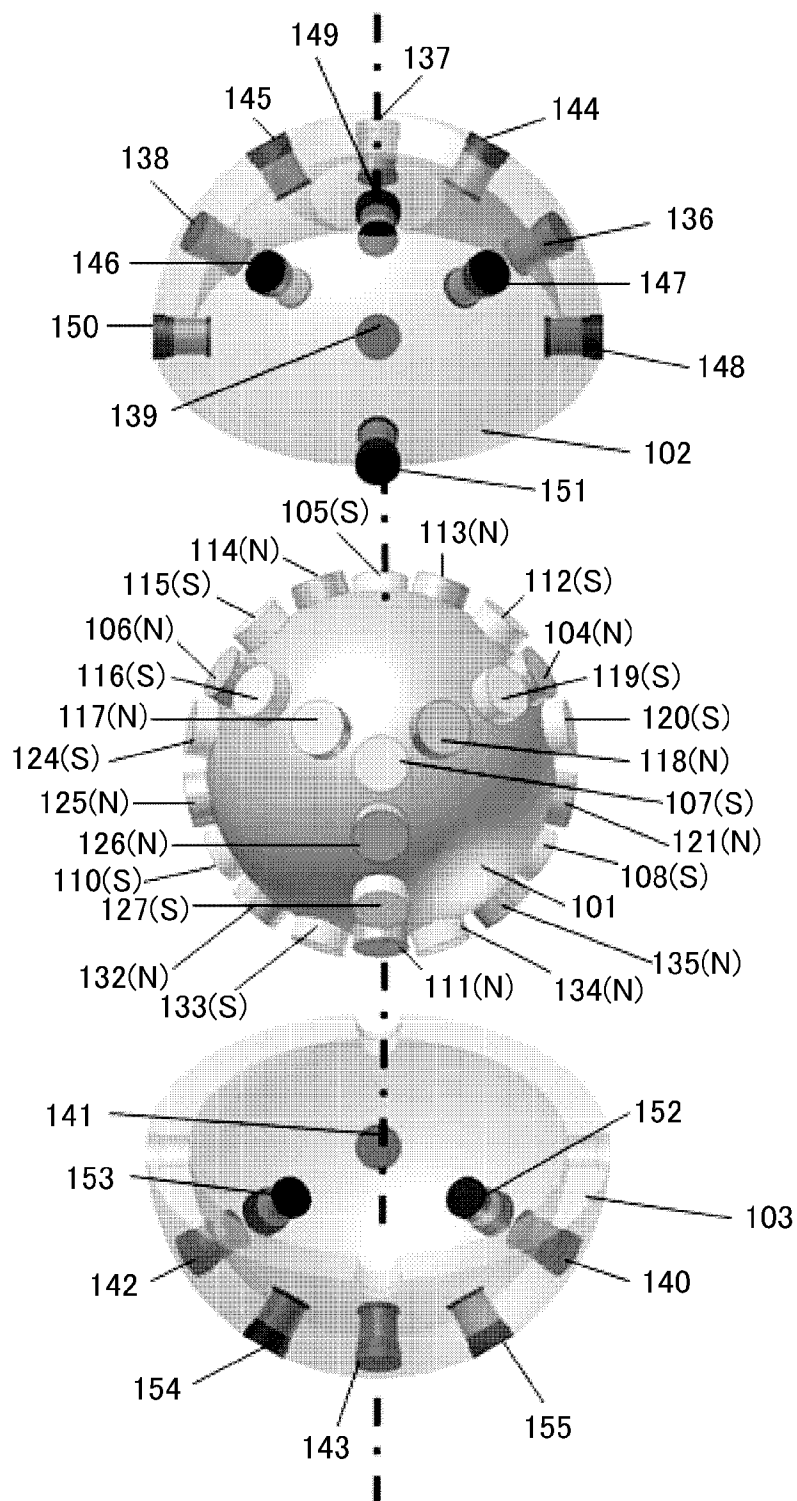
[図5]



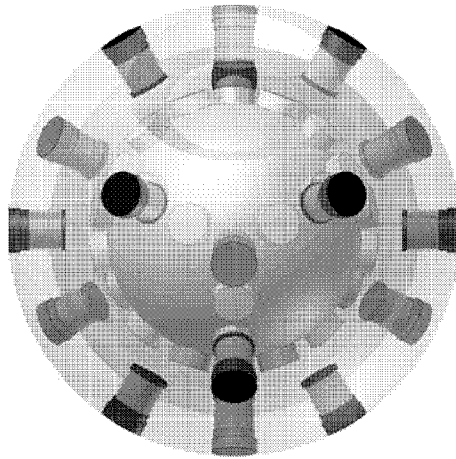
[図6]



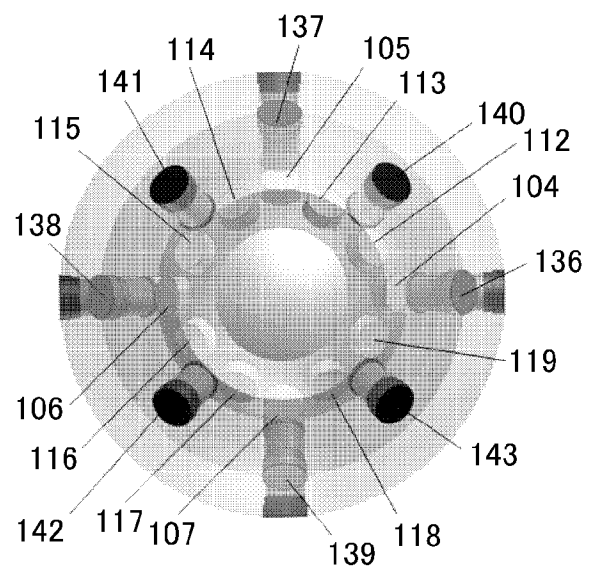
[図7]



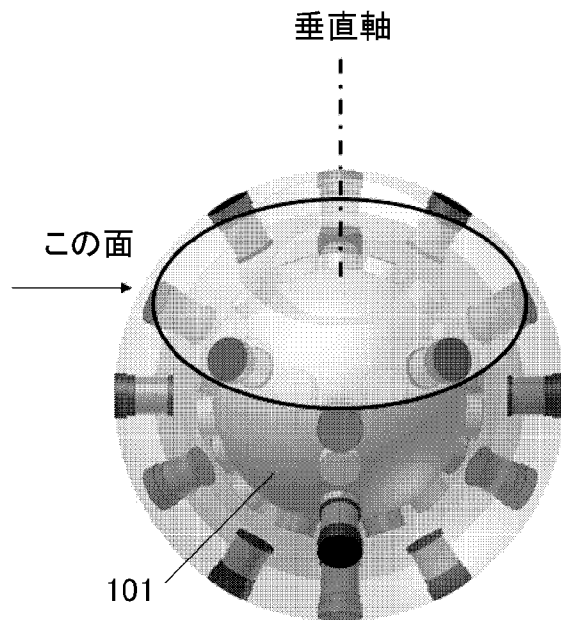
[図8]



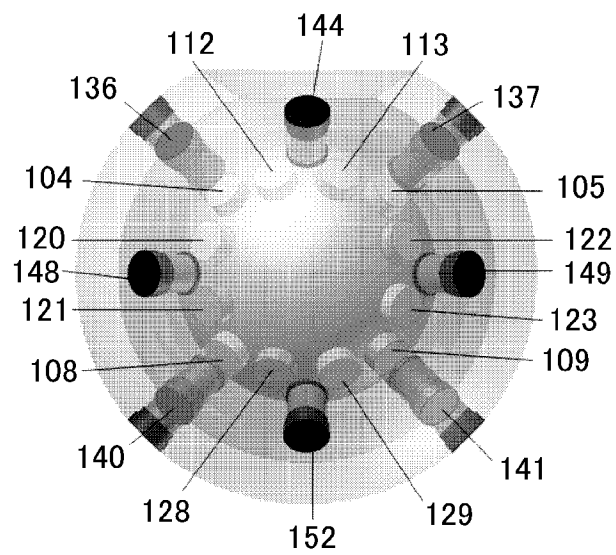
[図9]



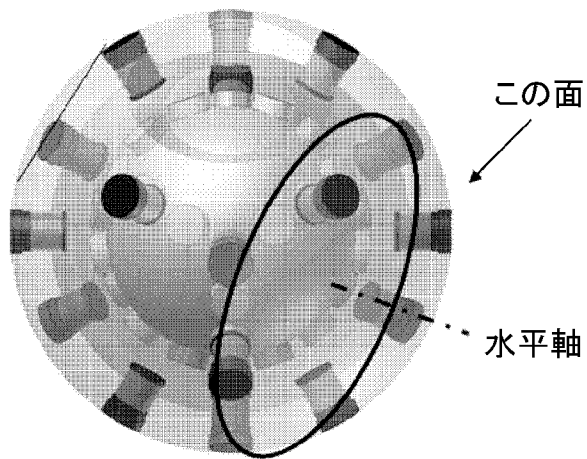
[図10]



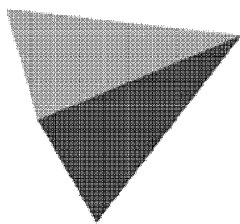
[図11]



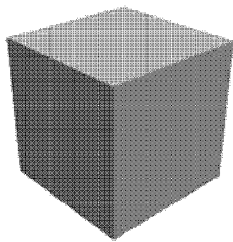
[図12]



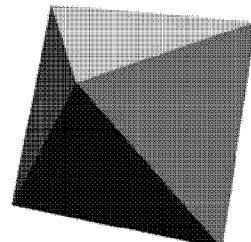
[図13]



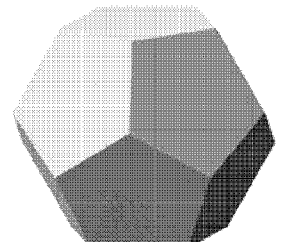
正四面体



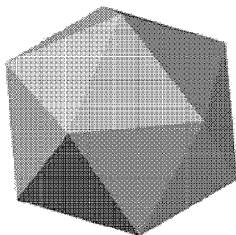
正六面体



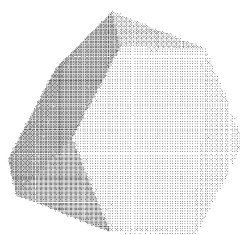
正八面体



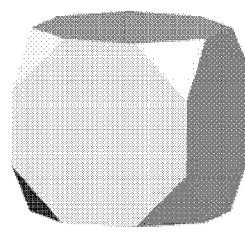
正十二面体



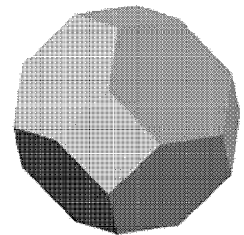
正二十面体



切頂四面体

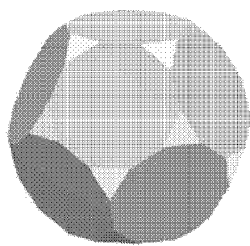


切頂六面体

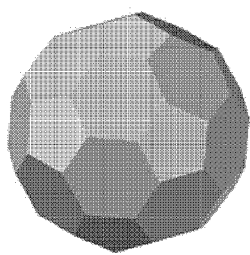


切頂八面体

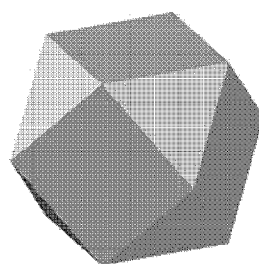
[図14]



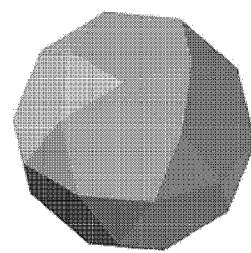
切頂十二面体



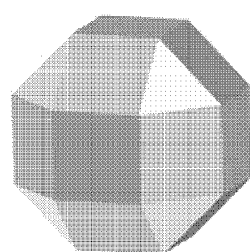
切頂二十面体



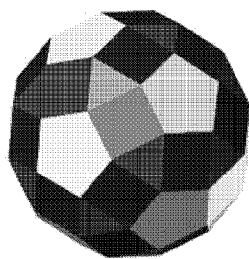
立方八面体



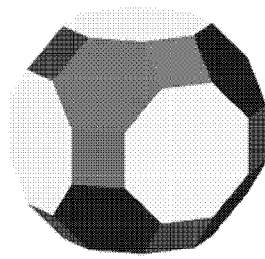
二十・十二面体



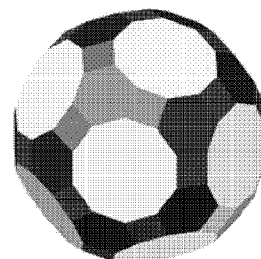
斜方立方八面体



斜方二十・十二面体



斜方切頂立方八面体

斜方切頂
二十・十二面体

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065792

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K37/14 (2006.01) i, H02K41/03 (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)

H02K37/14, H02K41/03

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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	JP 60-204252 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 15 October 1985 (15.10.1985), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2007-60891 A (Mitsuba Corp.), 08 March 2007 (08.03.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2009-296864 A (Akio GOFUKU), 27 December 2009 (27.12.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-6



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
16 September, 2011 (16.09.11)Date of mailing of the international search report
27 September, 2011 (27.09.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065792

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 62-81970 A (Fujitsu Ltd.), 15 April 1987 (15.04.1987), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H02K37/14(2006.01)i, H02K41/03(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 (I P C))

Int.Cl. H02K37/14, H02K41/03

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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	JP 60-204252 A (工業技術院長) 1985. 10. 15, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2007-60891 A (株式会社ミツバ) 2007. 03. 08, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2009-296864 A (五福 明夫) 2009. 12. 27, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6

☒ 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

1 6 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 7 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

森山 拓哉

3 V

3 9 2 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 8

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	JP 62-81970 A (富士通株式会社) 1987. 04. 15, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6