

明 細 書

発明の名称：球体駆動式移動装置

技術分野

[0001] 本発明は、球体を回転駆動させて全方向に移動可能な球体駆動式移動装置に関する。

背景技術

[0002] 3つの球体及び球体に回転力を与える3つの駆動手段（駆動用モータ）を有する移動装置（特許文献1参照）は、全方向に移動できることから、電動車いすや自走式台車等に使用するのが有効である。特許文献1の移動装置は、1つの球体に対し、それぞれ駆動手段の駆動により回転駆動する2つのロータが異なる方向から接している。当該移動装置では、ロータと球体が球体の中心と同じ高さ位置で接触しており、球体をロータに対して押し付けるアイドラ（車輪型キャスター）が設けられている。ロータが空回りすると、移動装置が所望の方向に進まなくなるため、移動装置の安定的な走行にはロータを球体に押し付けた状態を維持することが重要である。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2010-30360号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特許文献1の移動装置では、稀にロータが球体に非接触な状態になることがあった。移動装置を電動車いすに用いる等、使用者が移動装置を操縦する場合、使用者自身で移動方向の修正を行うことは容易であるが、移動装置を自走式台車に用いる場合等、移動装置の操縦者がいないシステムでは移動装置の移動方向を修正できず、移動装置が予定通りに走行できないという問題が生じる。

ロータの空回りを抑制する方法として、ロータを弾性力の異なる素材からな

る多層構造にすることが考えられるが、その場合、ロータの耐久性が低下してロータの摩耗が顕著になるという別の問題が招来する。

本発明は、かかる事情に鑑みてなされたもので、球体に接触した状態で回転駆動する回転体が空回りするのを抑制可能な球体駆動式移動装置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

[0005] 前記目的に沿う第1の発明に係る球体駆動式移動装置は、それぞれ走行面上を転動する n 個の駆動球体と、前記各駆動球体に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して該駆動球体を回転させる n 個以上の回転体とを具備し、前記走行面上を移動する球体駆動式移動装置において、前記走行面を水平面として、前記各駆動球体の中心は、該各駆動球体の中心より高い位置に底面が配され該底面から離れた頂点が該各駆動球体の中心より低い位置に配された仮想逆 n 角錐の各側辺上に位置し、前記各回転体は、接している前記駆動球体の中心より高い位置、かつ、該駆動球体の中心が配されている2つの前記側辺を外縁の一部とする前記仮想逆 n 角錐の側面を対応側面として、前記仮想逆 n 角錐の内側又は前記対応側面上で該駆動球体に接触し、しかも、該対応側面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動する。但し、 n は3以上の整数である。

[0006] 前記目的に沿う第2の発明に係る球体駆動式移動装置は、それぞれ走行面上を転動する2個の駆動球体と、前記走行面上を転動する従動回転物と、前記各駆動球体に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して該駆動球体を回転させる m 個の回転体とを具備し、前記走行面上を移動する球体駆動式移動装置において、前記各回転体は、接している前記駆動球体の中心より高い位置で該駆動球体に接触し、前記 m 個の回転体のうち前記2個の駆動球体の双方に接触している該回転体は、前記各駆動球体の中心を通る仮想傾斜面を基準として前記従動回転物側又は前記仮想傾斜面上で該駆動球体に接触し、しかも、該仮想傾斜面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動する。但し、 m は3以上の整数である。

[0007] 前記目的に沿う第3の発明に係る球体駆動式移動装置は、それぞれ走行面上を転動する2個の駆動球体と、前記走行面上を転動する従動回転物と、前記各駆動球体に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して該駆動球体を回転させる r 個の回転体とを具備し、前記走行面上を移動する球体駆動式移動装置において、前記各回転体は、接している前記駆動球体の中心より高い位置で該駆動球体に接触し、前記 r 個の回転体のうち駆動回転力が共通のモータから与えられる該回転体は、前記各駆動球体の中心を通る仮想傾斜面を基準として前記従動回転物側又は前記仮想傾斜面上で該駆動球体に接触し、しかも、該仮想傾斜面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動する。但し、 r は3以上の整数である。

発明の効果

[0008] 第1の発明に係る球体駆動式移動装置は、 n 個の駆動球体が転動する走行面を水平面として、各回転体が、接している駆動球体の中心より高い位置、かつ、仮想逆 n 角錐の内側又は駆動球体の中心が配されている2つの側辺を外縁の一部とする仮想逆 n 角錐の側面である対応側面上で駆動球体に接触し、しかも、対応側面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動する。また、第2の発明に係る球体駆動式移動装置は、走行面上を転動する2個の駆動球体と従動回転物を有し、それぞれ、接している駆動球体の中心より高い位置で駆動球体に接触する m 個の回転体のうち2個の駆動球体の双方に接触している回転体は、各駆動球体の中心を通る仮想傾斜面を基準として従動回転物側又は仮想傾斜面上で駆動球体に接触し、しかも、仮想傾斜面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動する。そして、第3の発明に係る球体駆動式移動装置は、走行面上を転動する2個の駆動球体と従動回転物を有し、それぞれ、接している駆動球体の中心より高い位置で駆動球体に接触する r 個の回転体のうち駆動回転力が共通のモータから与えられる回転体が、各駆動球体の中心を通る仮想傾斜面を基準として従動回転物側又は仮想傾斜面上で駆動球体に接触し、しかも、仮想傾斜面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動する。従って、第1、第2、第3の発明に係る球体駆動式移動装置は、球体駆動式

移動装置自体の荷重や球体駆動式移動装置に載せられた物体の荷重が部分的に回転体を介して駆動球体に与えられ、回転体を確実に駆動球体に押し付けることができ、駆動球体に接触した状態で回転駆動する回転体が空回りするのを抑制可能である。

図面の簡単な説明

- [0009] [図1]本発明の第1の実施例に係る球体駆動式移動装置の説明図である。
 [図2]同球体駆動式移動装置の駆動球体及び回転体の配置を示す平面図である。
 [図3]同球体駆動式移動装置の駆動球体及び回転体の配置を示す斜視図である。
 [図4]同球体駆動式移動装置の駆動球体の局所座標系を示す説明図である。
 [図5]同球体駆動式移動装置の駆動球体の座標系を示す説明図である。
 [図6]本発明の第2の実施例に係る球体駆動式移動装置の説明図である。

発明を実施するための形態

- [0010] 続いて、添付した図面を参照しつつ、本発明を具体化した実施例につき説明し、本発明の理解に供する。

図1、図2、図3に示すように、本発明の第1の実施例に係る球体駆動式移動装置10は、それぞれ走行面G上を転動する3個（ n 個の一例、 n は3以上の整数）の駆動球体11、12、13と、各駆動球体11、12、13に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して駆動球体11、12、13を回転させる3個（ n 個以上の一例）の回転体14、15、16とを具備して、走行面G上を移動する装置である。以下、詳細に説明する。

- [0011] 本実施例において、駆動球体11、12、13は、図1、図2、図3に示すように、同じ大きさの（径が等しい）真球である。駆動球体11の中心P1、駆動球体12の中心P2、駆動球体13の中心P3は、走行面Gを水平面として、駆動球体11、12、13が走行面G上に置かれた状態で、同一の高さに位置する。以下、走行面Gが水平面であり、駆動球体11、12、13が走行面G上に置かれているものとする。

- [0012] 回転体 14、15、16 は同一の大きさで同一の形状の円錐台状の部材であり、同一の高さ位置に配されている。回転体 14 は側面 28 が同一高さで駆動球体 11、12 に接触し、回転体 15 は側面 29 が同一高さで駆動球体 12、13 に接触し、回転体 16 は側面 30 が同一高さで駆動球体 11、13 に接触している。回転体 14 の軸心には、図 2 に示すように、モータ 18 の回転軸 19 が連結され、回転体 15 の軸心にはモータ 20 の回転軸 21 が連結され、回転体 16 の軸心にはモータ 22 の回転軸 23 が連結されている。回転体 14 はモータ 18 の作動によって回転軸 19 を中心に回転駆動し、回転体 15 はモータ 20 の作動によって回転軸 21 を中心に回転駆動し、回転体 16 はモータ 22 の作動によって回転軸 23 を中心に回転駆動する。
- [0013] 回転体 14、15 は、駆動球体 12 に異なる方向から接触し、回転体 15、16 は駆動球体 13 に異なる方向から接触し、回転体 14、16 は駆動球体 11 に異なる方向から接触している。
- 駆動球体 11 には、図 1、図 2 に示すように、回転体 14、16 に加えてボールキャスト 24 が接触し、駆動球体 12 には回転体 14、15 に加えてボールキャスト 25 が接触し、駆動球体 13 には回転体 15、16 に加えてボールキャスト 26 が接触している。
- [0014] 本実施例では、ボールキャスト 24、25、26 を支持するベース部材 27 (図 1 参照) にモータ 18、20、22 が固定され、回転体 14、15、16 はベース部材 27 に装着されたベアリング機構に回転自在に取り付けられている。図 1、図 2 には、ボールキャスト 24、25、26 のボールのみを記載している。なお、駆動球体 11、12、13 にそれぞれ接触するアイドルを採用して、駆動球体 11、12、13 が外れないようにしてもよい。
- [0015] 駆動球体 11 と回転体 14 の側面 28 及び回転体 16 の側面 30 が接触する接点をそれぞれ接点 T14、T16 とし、駆動球体 12 と回転体 14 の側面 28 及び回転体 15 の側面 29 が接触する接点をそれぞれ接点 T24、T25 とし、駆動球体 13 と回転体 15 の側面 29 及び回転体 16 の側面 30 が接触する接点をそれぞれ接点 T35、T36 とし、接点 T14、T16、

T 2 4、T 2 5、T 3 5、T 3 6は、駆動球体 1 1の中心 P 1、駆動球体 1 2の中心 P 2及び駆動球体 1 3の中心 P 3より高い位置で同じ高さに配されている（よって、回転体 1 4の側面 2 8、回転体 1 5の側面 2 9及び回転体 1 6の側面 3 0は同一高さで駆動球体 1 1、1 2、1 3に接触している）。

[0016] 即ち、回転体 1 4は、駆動球体 1 1の中心 P 1より高い位置で駆動球体 1 1に接触し、駆動球体 1 2の中心 P 2より高い位置で駆動球体 1 2に接触し、回転体 1 5は、駆動球体 1 2の中心 P 2より高い位置で駆動球体 1 2に接触し、駆動球体 1 3の中心 P 3より高い位置で駆動球体 1 3に接触し、回転体 1 6は、駆動球体 1 1の中心 P 1より高い位置で駆動球体 1 1に接触し、駆動球体 1 3の中心 P 3より高い位置で駆動球体 1 3に接触している。

[0017] ここで、図 1、図 2、図 3に示すように、駆動球体 1 1の中心 P 1、駆動球体 1 2の中心 P 2及び駆動球体 1 3の中心 P 3より高い位置に三角形（本実施例では、等角多角形の一例である正三角形）の底面 η が配され、底面 η から離れた頂点 Oが駆動球体 1 1の中心 P 1、駆動球体 1 2の中心 P 2及び駆動球体 1 3の中心 P 3より低い位置に配された三角錐（ n 角錐の一例）を仮想逆三角錐（仮想逆 n 角錐の一例）Hとすると、本実施例では、球体駆動式移動装置 1 0が、後述する条件 1～6を全て満たすように設計されている。

[0018] 仮想逆三角錐Hにおいて、底面 η の3つの頂点をそれぞれ頂点 A、B、Cとし、頂点 O、A、Bを3つの頂点とする三角形の側面を側面 α とし、頂点 O、B、Cを3つの頂点とする三角形の側面を側面 β とし、頂点 O、A、Cを3つの頂点とする三角形の側面を側面 γ とし、頂点 O、Aを結ぶ直線状の辺を側辺 S 1とし、頂点 O、Bを結ぶ直線状の辺を側辺 S 2とし、頂点 O、Cを結ぶ直線状の辺を側辺 S 3とする。本実施例では、底面 η が正三角形（等角多角形の一例）であり、側辺 S 1、S 2、S 3が同じ長さである。なお、図 2には、駆動球体 1 1、1 2、1 3及び回転体 1 4、1 5、1 6等を平面視した様子が描かれている。また、図 3では、モータ 1 8、2 2等の記載を省略している。

[0019] 条件 1：駆動球体 1 1の中心 P 1、駆動球体 1 2の中心 P 2及び駆動球体 1

3の中心P3はそれぞれ、側辺S1、S2、S3上に位置している。

[0020] 条件2：回転体14は仮想逆三角錐Hの内側で駆動球体11、12に接触（接点T14、T24は仮想逆三角錐H内に位置）し、回転体15は仮想逆三角錐Hの内側で駆動球体12、13に接触（接点T25、T35は仮想逆三角錐H内に位置）し、回転体16は仮想逆三角錐Hの内側で駆動球体11、13に接触（接点T16、T36は仮想逆三角錐H内に位置）している。

[0021] 条件3：回転軸19は側面 α （回転体14の対応側面）に対し垂直であり（回転体14は回転体14が接している駆動球体11、12の各中心P1、P2がそれぞれ配されている側辺S1、S2を外縁の一部とする側面 α に対し垂直な回転軸19を中心に回転駆動し）、回転軸21は側面 β （回転体15の対応側面）に対し垂直であり（回転体15は回転体15が接している駆動球体12、13の各中心P2、P3がそれぞれ配されている側辺S2、S3を外縁の一部とする側面 β に対し垂直な回転軸21を中心に回転駆動し）、回転軸23は側面 γ （回転体16の対応側面）に対し垂直である（回転体16は回転体16が接している駆動球体11、13の各中心P1、P3がそれぞれ配されている側辺S1、S3を外縁の一部とする側面 γ に対し垂直な回転軸23を中心に回転駆動する）。

[0022] 条件3から、本実施例では、駆動球体11に接する回転体14の回転軸19及び回転体16の回転軸23が非平行であり、駆動球体12に接する回転体14の回転軸19及び回転体15の回転軸21が非平行であり、駆動球体13に接する回転体15の回転軸21及び回転体16の回転軸23が非平行であると言える。

[0023] 本実施例では、駆動球体11、12、13、回転体14、15、16及び回転軸19、21、23が、条件1、2、3を満たすように配置し、回転体14、15、16の角速度を調整することによって、回転体14に対する駆動球体11、12の横滑り、回転体15に対する駆動球体12、13の横滑り及び回転体16に対する駆動球体11、13の横滑りを抑制した状態で、球体駆動式移動装置10を走行面G上で如何なる方向にも移動可能にしている

。なお、回転体 1 4 に対する駆動球体 1 1 の横滑りとは、接点 T 1 4 における駆動球体 1 1 の回転体 1 4 に対する相対的な運動が、接点 T 1 4 を中心とした旋回運動以外の運動を行っていることを意味し、回転体 1 4 に対する駆動球体 1 1 の横滑りが生じると、回転体 1 4 及び駆動球体 1 1 の摩耗が助長される。

[0024] しかも、回転体 1 4 は駆動球体 1 1 の中心 P 1 及び駆動球体 1 2 の中心 P 2 より高い位置でそれぞれ駆動球体 1 1、1 2 に接触し、回転体 1 5 は駆動球体 1 2 の中心 P 2 及び駆動球体 1 3 の中心 P 3 より高い位置でそれぞれ駆動球体 1 2、1 3 に接触し、回転体 1 6 は駆動球体 1 1 の中心 P 1 及び駆動球体 1 3 の中心 P 3 より高い位置でそれぞれ駆動球体 1 1、1 3 に接触しているため、駆動球体 1 1 には回転体 1 4、1 6 を通じて鉛直成分の力が作用し、駆動球体 1 2 には回転体 1 4、1 5 を通じて鉛直成分の力が作用し、駆動球体 1 3 には回転体 1 5、1 6 を通じて鉛直成分の力が作用する。従って、ベース部材 2 7 やベース部材 2 7 に載せられた重量物等の自重を利用して、回転体 1 4 を駆動球体 1 1、1 2 に、回転体 1 5 を駆動球体 1 2、1 3 に、回転体 1 6 を駆動球体 1 1、1 3 にそれぞれ押し付けることができ、回転体 1 4、1 5、1 6 の空回りを抑制可能である。

[0025] 接点 T 1 4 が駆動球体 1 1 の中心 P 1 に比べ僅かに高い位置に存在し、接点 T 2 4 が駆動球体 1 2 の中心 P 2 に比べ僅かに高い位置に存在する場合、回転体 1 4 は、仮想逆 n 角錐 H の側面 α (対応側面) 上で駆動球体 1 1、1 2 に接触していても、実質的に回転体 1 4 に対して駆動球体 1 1、1 2 が横滑りせず、これは、回転体 1 5 と駆動球体 1 2、1 3 との関係及び回転体 1 6 と駆動球体 1 1、1 3 との関係でも同様である。

[0026] 従って、条件 2 の代わりに以下の条件 2' を満たすように設計することもできる。

条件 2' : 回転体 1 4 は仮想逆三角錐 H の側面 α (回転体 1 4 の対応側面) 上で駆動球体 1 1、1 2 に接触し、回転体 1 5 は仮想逆三角錐 H の側面 β (回転体 1 5 の対応側面) 上で駆動球体 1 2、1 3 に接触し、回転体 1 6 は仮

想逆三角錐Hの側面 γ （回転体16の対応側面）上で駆動球体11、13に接触している。

[0027] ここで、回転体14の駆動球体11、12に対する空回り、回転体15の駆動球体12、13に対する空回り及び回転体16の駆動球体11、13に対する空回りの発生を安定して抑制する観点では、条件1、2、3を満たすのに加えて、以下の条件4、5、6の1つを満たすのが好ましい（2つを満たすのがより好ましい、3つ全てを満たすのが更に好ましい）ことが検証によって確認されている。なお、回転体14、15、16の空回りの抑制に対し、条件1、2、3の条件を満たすことが、条件4、5、6の条件を満たすことに比べて重要であることを確認している。

[0028] 条件4：駆動球体11と回転体14との接点T14及び駆動球体11の中心P1を通る仮想直線J14（仮想直線Jの一例）が駆動球体11の中心P1が位置する側辺S1に対し直交し（図1参照）、駆動球体11と回転体16との接点T16及び駆動球体11の中心P1を通る仮想直線J16（仮想直線Jの一例）が駆動球体11の中心P1が位置する側辺S1に対し直交する。駆動球体12と回転体14との接点T24及び駆動球体12の中心P2を通る仮想直線J24（仮想直線Jの一例）が駆動球体12の中心P2が位置する側辺S2に対し直交し（図1参照）、駆動球体12と回転体15との接点T25及び駆動球体12の中心P2を通る仮想直線J25（仮想直線Jの一例）が駆動球体12の中心P2が位置する側辺S2に対し直交する。駆動球体13と回転体15との接点T35及び駆動球体13の中心P3を通る仮想直線J35（仮想直線Jの一例）が駆動球体13の中心P3が位置する側辺S3に対し直交し、駆動球体13と回転体16との接点T36及び駆動球体13の中心P3を通る仮想直線J36（仮想直線Jの一例）が駆動球体13の中心P3が位置する側辺S3に対し直交する。

[0029] 条件5：駆動球体11と回転体14との接点T14及び駆動球体11の中心P1を通る仮想直線J14は回転体14の側面28に垂直に交わり、駆動球体12と回転体14との接点T24及び駆動球体12の中心P2を通る仮想

直線 J 2 4 は回転体 1 4 の側面 2 8 に垂直に交わる。駆動球体 1 2 と回転体 1 5 との接点 T 2 5 及び駆動球体 1 2 の中心 P 2 を通る仮想直線 J 2 5 は回転体 1 5 の側面 2 9 に垂直に交わり、駆動球体 1 3 と回転体 1 5 との接点 T 3 5 及び駆動球体 1 3 の中心 P 3 を通る仮想直線 J 3 5 は回転体 1 5 の側面 2 9 に垂直に交わる。駆動球体 1 1 と回転体 1 6 との接点 T 1 6 及び駆動球体 1 1 の中心 P 1 を通る仮想直線 J 1 6 は回転体 1 6 の側面 3 0 に垂直に交わり、駆動球体 1 3 と回転体 1 6 との接点 T 3 6 及び駆動球体 1 3 の中心 P 3 を通る仮想直線 J 3 6 は回転体 1 6 の側面 3 0 に垂直に交わる。

[0030] 条件 6 : 仮想逆三角錐 H の側面 α は、該側面 α の外縁の一部をなす 2 つの側辺 S 1、S 2 にそれぞれ中心 P 1、P 2 が配された 2 つの駆動球体 1 1、1 2 間にある回転体 1 4 と一方の駆動球体 1 1 との接点 T 1 4 及び回転体 1 4 と他方の駆動球体 1 2 との接点 T 2 4 を通る仮想直線 K 1 2 (仮想直線 K の一例) に対し平行であり、仮想逆三角錐 H の側面 β は、該側面 β の外縁の一部をなす 2 つの側辺 S 2、S 3 にそれぞれ中心 P 2、P 3 が配された 2 つの駆動球体 1 2、1 3 間にある回転体 1 5 と一方の駆動球体 1 2 との接点 T 2 5 及び回転体 1 5 と他方の駆動球体 1 3 との接点 T 3 5 を通る仮想直線 K 2 3 (仮想直線 K の一例) に対し平行であり、仮想逆三角錐 H の側面 γ は、該側面 γ の外縁の一部をなす 2 つの側辺 S 1、S 3 にそれぞれ中心 P 1、P 3 が配された 2 つの駆動球体 1 1、1 3 間にある回転体 1 6 と一方の駆動球体 1 1 との接点 T 1 6 及び回転体 1 6 と他方の駆動球体 1 3 との接点 T 3 6 を通る仮想直線 K 1 3 (仮想直線 K の一例) に対し平行である。

[0031] これらを基に球体駆動式移動装置 1 0 の運動について、数式を用いて検討する。

走行面 G (水平面) に対する側辺 S 1 の角度を θ とし、図 4 に示すように、駆動球体 1 1 の中心 P 1 から接点 T 1 4 に向かう単位位置ベクトルを l_1 とし、駆動球体 1 1 の中心 P 1 から接点 T 1 6 に向かう単位位置ベクトルを l_2 とし、 l_1 及び l_2 のなす角度を ϕ とし、本実施例では、 l_1 が頂点 O を始点とし頂点 A を終点とするベクトルと直交していることから、以下の式 (1) が

成立する。

[0032] [数1]

$$\begin{aligned}\overrightarrow{OA} \cdot \mathbf{I}_1 &= \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ \tan \theta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \\ &= -b + c \tan \theta = 0\end{aligned}\quad (1)$$

[0033] また、以下の式 (2) が成立する。

[0034] [数2]

$$\begin{aligned}|\mathbf{I}_1|^2 &= |\mathbf{I}_2|^2 = a^2 + b^2 + c^2 \\ &= a^2 + c^2(\tan^2 \theta + 1) = 1\end{aligned}\quad (2)$$

[0035] そして、 $|\mathbf{I}_1$ 、 $|\mathbf{I}_2$ を以下の式 (3) のように表すと、以下の式 (4) が成立する。

[0036] [数3]

$$\mathbf{I}_1 = (a, b, c)^T, \mathbf{I}_2 = (-a, b, c)^T \quad (3)$$

$$\begin{aligned}\cos \phi &= \frac{\mathbf{I}_1 \cdot \mathbf{I}_2}{|\mathbf{I}_1||\mathbf{I}_2|} \\ &= \frac{-a^2 + b^2 + c^2}{a^2 + b^2 + c^2} \\ &= \frac{-a^2 + c^2(\tan^2 \theta + 1)}{a^2 + c^2(\tan^2 \theta + 1)}\end{aligned}\quad (4)$$

[0037] 式 (2)、式 (4) から、以下の式 (5)、式 (6) が成立する。

[0038]

[数4]

$$\begin{aligned}
 1 + \cos \phi &= 2c^2(\tan^2 \theta + 1) \\
 &= 2c^2 \frac{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta}{\cos^2 \theta} \\
 &= \frac{2c^2}{\cos^2 \theta}
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$1 - \cos \phi = 2a^2 \tag{6}$$

[0039] よって、式 (1)、式 (5)、式 (6) から、 a 、 b 、 c はそれぞれ以下の式 (7)、式 (8)、式 (9) のように表すことができる。

[0040] [数5]

$$a = \frac{\sqrt{1 - \cos \phi}}{\sqrt{2}} \tag{7}$$

$$b = \frac{\sin \theta \sqrt{1 + \cos \phi}}{\sqrt{2}} \tag{8}$$

$$c = \frac{\cos \theta \sqrt{1 + \cos \phi}}{\sqrt{2}} \tag{9}$$

[0041] 式 (7)、式 (8)、式 (9) より、 l_1 及び l_2 はそれぞれ以下の式 (10)、式 (11) のように表すことができる。

[0042]

[数6]

$$\mathbf{I}_1 = \begin{pmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \sqrt{1 - \cos \phi} \\ \sin \theta \sqrt{1 + \cos \phi} \\ \cos \theta \sqrt{1 + \cos \phi} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{I}_2 = \begin{pmatrix} -I_x \\ I_y \\ I_z \end{pmatrix} \quad (11)$$

[0043] また、 I_x 及び I_y には以下の式(12)の関係があることから、以下の式(13)が成立する。

[0044] [数7]

$$\sqrt{3}I_x = I_y \quad (12)$$

$$\cos \phi = \frac{3 - \sin^2 \theta}{3 + \sin^2 \theta} \quad (13)$$

[0045] $\sin \phi$ は以下の式(14)で表わされることから、 I_x 及び I_y はそれぞれ以下の式(15)及び式(16)で表わすことができる。

[0046]

[数8]

$$\begin{aligned}
\sin \phi &= \sin \left(\arccos \frac{3 - \sin^2 \theta}{3 + \sin^2 \theta} \right) \\
&= \sqrt{1 - \left(\frac{3 - \sin^2 \theta}{3 + \sin^2 \theta} \right)^2} \\
&= \frac{\sqrt{12 \sin^2 \theta}}{3 + \sin^2 \theta} \\
&= \frac{2\sqrt{3} \sin \theta}{3 + \sin^2 \theta}
\end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
I_x &= \frac{\sqrt{1 - \cos \phi}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{1 - \frac{3 - \sin^2 \theta}{3 + \sin^2 \theta}}}{\sqrt{2}} \\
&= \frac{\sin \theta}{\sqrt{3 + \sin^2 \theta}}
\end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
I_y &= \frac{\sin \theta \sqrt{1 + \cos \phi}}{\sqrt{2}} \\
&= \frac{\sin \theta \sqrt{1 + \frac{3 - \sin^2 \theta}{3 + \sin^2 \theta}}}{\sqrt{2}} = \frac{\sin \theta \sqrt{\frac{6}{3 + \sin^2 \theta}}}{\sqrt{2}} \\
&= \frac{\sin \theta \sqrt{3}}{\sqrt{3 + \sin^2 \theta}}
\end{aligned} \tag{16}$$

[0047] ここで、図5に示すように、走行面Gに平行な2つの直交する仮想軸をx軸、y軸とし、駆動球体11の中心P1、駆動球体12の中心P2、駆動球体13の中心P3を頂点とする正三角形の中心から駆動球体11の中心P1、駆動球体12の中心P2、駆動球体13の中心P3それぞれまでの距離をl、接点T14（接点T24）から回転体14の軸心までの距離、接点T25（接点T35）から回転体15の軸心までの距離、回転体16の接点T16

(接点 T 3 6) から回転体 1 6 の軸心までの距離をそれぞれ r とし (図 4 参照)、球体駆動式移動装置 1 0 の速度ベクトルを V とし、回転体 1 4、1 5、1 6 から駆動球体 1 1、1 2、1 3 全体に与えられる角速度ベクトルを λ とすると、 V 及び λ には以下の式 (1 7) の関係がある。

[0048] [数9]

$$\begin{aligned}\lambda &= QV \\ V &= Q^{-1}\lambda\end{aligned}\quad (17)$$

[0049] また、球体駆動式移動装置 1 0 の x 軸方向の速度を v_x とし、球体駆動式移動装置 1 0 の y 軸方向の速度を v_y とし、球体駆動式移動装置 1 0 の旋回速度を ω とし、球体駆動式移動装置 1 0 の速度ベクトル V は、 $V = (v_x, v_y, \omega)^T$ として表される。

回転体 1 4 から駆動球体 1 1、1 2 に伝達される角速度を λ_1 とし、回転体 1 5 から駆動球体 1 2、1 3 に伝達される角速度を λ_2 とし、回転体 1 6 から駆動球体 1 1、1 3 に伝達される角速度を λ_3 とし、角速度ベクトル λ は $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)^T$ として表される。

そして、式 (1 7) の Q は以下の式 (1 8) で表わされる。

[0050] [数10]

$$Q = \frac{\sin \phi}{2rI_y} \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{3} & l \\ -2 & 0 & l \\ 1 & -\sqrt{3} & l \end{pmatrix}\quad (18)$$

[0051] よって、 Q^{-1} は以下の式 (1 9) で表わされる。

[0052] [数11]

$$Q^{-1} = \frac{rI_y}{3 \sin \phi} \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ \sqrt{3} & 0 & -\sqrt{3} \\ 2/l & 2/l & 2/l \end{pmatrix}\quad (19)$$

[0053] ここで、 $k = I_y / \sin \phi$ とすると、 k は以下の式 (2 0) によって表すこ

とができる。

[0054] [数12]

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{I_y}{\sin \phi} = \frac{\frac{\sin \theta \sqrt{3}}{\sqrt{3 + \sin^2 \theta}}}{\frac{2\sqrt{3} \sin \theta}{3 + \sin^2 \theta}} \\
 &= \frac{3 + \sin^2 \theta}{2\sqrt{3 + \sin^2 \theta}} \quad (20) \\
 &= \frac{\sqrt{3 + \sin^2 \theta}}{2}
 \end{aligned}$$

[0055] また、図4、図5に示すように、駆動球体11、12、13それぞれの半径をRとし、駆動球体11の中心P1及び駆動球体12の中心P2を結ぶ直線と駆動球体11の中心P1及び駆動球体13の中心P3を結ぶ直線との角度、駆動球体11の中心P1及び駆動球体12の中心P2を結ぶ直線と駆動球体12の中心P2及び駆動球体13の中心P3を結ぶ直線との角度、駆動球体11の中心P1及び駆動球体13の中心P3を結ぶ直線と駆動球体12の中心P2及び駆動球体13の中心P3を結ぶ直線との角度をそれぞれ ϕ とし、接点T14及び接点T24を結ぶ直線から側面 α までの距離、接点T25及び接点T35を結ぶ直線から側面 β までの距離、接点T16及び接点T36を結ぶ直線から側面 γ までの距離をそれぞれdとし、側面28の回転体14の軸心に対する角度、側面29の回転体15の軸心に対する角度、側面30の回転体16の軸心に対する角度をそれぞれ δ として、以下の式(21)、式(22)、式(23)が成立する。

[0056] [数13]

$$\delta = \frac{\psi - \phi}{2} \quad (21)$$

$$d = R \sin \delta \quad (22)$$

$$r = r + R(1 - \cos \delta) \quad (23)$$

[0057] 上記検討は、3つの駆動球体11、12、13が同じ大きさであり、駆動球体11の中心P1、駆動球体12の中心P2及び駆動球体13の中心P3を3つの頂点とする三角形が正三角形である場合について行っているが、駆動球体の大きさ（径）がそれぞれ異なり、かつ、3つの駆動球体それぞれの中心を頂点とする三角形の3つの辺がそれぞれ異なる長さであっても、同様の結果を得ることができる。また、駆動球体が4つ以上であっても同様の結果を得ることができる。但し、全ての駆動球体の大きさが同じであり、各駆動球体の中心を頂点とする多角形が等角多角形である場合、球体駆動式移動装置を所望の方向に移動させるために各モータの回転数をどのようにするかของการ計算が容易であり、当該多角形が正多角形である場合は、正多角形でない等角多角形の場合と比較して当該計算が容易となる。なお、各駆動球体が同じ大きさであれば、各駆動球体の中心を頂点とする多角形と仮想逆n角錐の底面とは同じ形状で大きさが異なるようになる。

[0058] ここまで説明した球体駆動式移動装置10は、3個の駆動球体11、12、13を有するものであったが、駆動球体は4個以上であってもよいし、2個であってもよい。

駆動球体が q 個（ $q \geq 4$ ）の場合、仮想逆 q 角錐（角錐を上下逆にしたもの）を基に駆動球体や回転体の配置が決定され、各駆動球体に2つの回転体が接するようになる。

駆動球体が2個の場合、走行面上を転動する1個又は複数個の従動回転物（例えば、球体や回転軸の方向が変更自在のローラ）が設けられて、球体駆動式移動装置が2個の駆動球体及び1個又は複数個の従動回転物を走行面に接触させた状態で走行する。

[0059] 以下、図6を参酌して2個の駆動球体11、12及び1個の従動球体（従動回転物の一例）43を備える球体駆動式移動装置40について説明する。なお、球体駆動式移動装置40において、球体駆動式移動装置10と同様の構成については、同じ符号を付して詳しい説明を省略する。

本発明の第2の実施例に係る球体駆動式移動装置40は、図6に示すように

、それぞれ走行面G上を転動する2個の駆動球体11、12と、走行面G上を転動する従動球体43と、各駆動流体11、12に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して駆動球体11、12を回転させる3つ（m個の一例、mは3以上の整数）の回転体14、45、46とを具備し、走行面G上を移動する装置である。

[0060] 回転体14は、モータ18の作動によってモータ18の回転軸19を中心に回転駆動し、回転体45は、回転体45の軸心に回転軸47が連結されたモータ48の作動によって回転軸47を中心に回転駆動し、回転体46は、回転体46の軸心に回転軸49が連結されたモータ50の作動によって回転軸49を中心に回転駆動する。

回転体14、46は、駆動球体11に異なる方向から接触し、回転体14、45は駆動球体12に異なる方向から接触している。従動球体43は、従動球体43にボールキャスト51、52、53が接触することによって所定位置で保持されている。なお、図6では、ボールキャスト24、25、51、52、53のボールのみを記載している。

[0061] 駆動球体11と回転体14の側面28及び回転体46の側面54が接触する接点をそれぞれ接点T14、T16'とし、駆動球体12と回転体14の側面28及び回転体45の側面55が接触する接点をそれぞれ接点T24、T25'として、接点T14、T16'、T24、T25'は、駆動球体11の中心P1及び駆動球体12の中心P2（本実施例では、これらに加えて従動球体43の中心P3'）より高い位置で同じ高さに配されている。

[0062] よって、回転体14は、駆動球体11の中心P1より高い位置で駆動球体11に接触し、駆動球体12の中心P2より高い位置で駆動球体12に接触し、回転体45は、駆動球体12の中心P2より高い位置で駆動球体12に接触し、回転体46は、駆動球体11の中心P1より高い位置で駆動球体11に接触している。

[0063] 駆動球体11の中心P1、駆動球体12の中心P2及び従動球体43の中心P3'より高い位置に三角形（本実施例では、2等辺三角形）の底面 η' が

配され、底面 η' から離れた頂点 O' が駆動球体11の中心 P_1 、駆動球体12の中心 P_2 及び従動球体13の中心 P_3' より低い位置に配された三角錐を仮想逆三角錐 H' とし、底面 η' の3つの頂点をそれぞれ頂点 A' 、 B' 、 C' とし、頂点 O' 、 A' 、 B' を3つの頂点とする三角形の側面を側面 α' （駆動球体11の中心 P_1 及び駆動球体12の中心 P_2 を通る仮想傾斜面の一例）とし、頂点 O' 、 B' 、 C' を3つの頂点とする三角形の側面を側面 β' とし、頂点 O' 、 A' 、 C' を3つの頂点とする三角形の側面を側面 γ' とし、頂点 O' 、 A' を結ぶ直線状の辺を側辺 S_1' とし、頂点 O' 、 B' を結ぶ直線状の辺を側辺 S_2' とし、頂点 O' 、 C' を結ぶ直線状の辺を側辺 S_3' とすると、球体駆動式移動装置40は、後述する条件7～9を全て満たすように設計されている。

[0064] 条件7：駆動球体11の中心 P_1 、駆動球体12の中心 P_2 及び従動球体43の中心 P_3' はそれぞれ、側辺 S_1' 、 S_2' 、 S_3' 上に位置している。

[0065] 条件8：回転体14は仮想逆三角錐 H' の内側（即ち、仮想傾斜面の一例である側面 α' を基準として従動球体43側）で駆動球体11、12に接触し、回転体45は仮想逆三角錐 H' の内側で駆動球体12に接触し、回転体46は仮想逆三角錐 H' の内側で駆動球体11に接触している。

[0066] 条件9：回転軸19は側面 α' に対し垂直であり、回転軸47は側面 β' に対し垂直であり、回転軸49は側面 γ' に対し垂直である。

[0067] なお、接点 T_{14} が駆動球体11の中心 P_1 に比べ僅かに高い位置に存在し、接点 T_{24} が駆動球体12の中心 P_2 に比べ僅かに高い位置に存在する場合には、条件8の代わりに、以下の条件8'を満たすようにしてもよい。

条件8'：回転体14は仮想逆三角錐 H' の側面 α' 上で駆動球体11、12に接触し、回転体45は仮想逆三角錐 H' の側面 β' 上で駆動球体12に接触し、回転体46は仮想逆三角錐 H' の側面 γ' 上で駆動球体11に接触している。

[0068] また、条件9から、駆動球体11に接する回転体14の回転軸19及び回転

体46の回転軸49は非平行であり、駆動球体12に接する回転体14の回転軸19及び回転体45の回転軸47は非平行である。また、回転体14、45、46の角速度を調整することによって、回転体14に対する駆動球体11、12の横滑り、回転体45に対する駆動球体12の横滑り及び回転体46に対する駆動球体11の横滑りを抑制した状態で、球体駆動式移動装置40を走行面G上で如何なる方向にも移動可能にしている。

[0069] 球体駆動式移動装置40も球体駆動式移動装置10と同様に回転体14、45、46はそれぞれ円錐台状である。駆動球体11と回転体14の側面28との接点T14及び駆動球体11の中心P1を通る仮想直線は、回転体14の側面28に垂直に交わり、駆動球体12と回転体14の側面28との接点T24及び駆動球体12の中心P2を通る仮想直線は、回転体14の側面28に垂直に交わり、駆動球体11と回転体46の側面54との接点T16'及び駆動球体11の中心P1を通る仮想直線は、回転体46の側面54に垂直に交わり、駆動球体12と回転体45の側面55との接点T25'及び駆動球体12の中心P2を通る仮想直線は、回転体45の側面55に垂直に交わっている。また、球体駆動式移動装置40における駆動球体11、12と回転体14、45、46との位置関係も、球体駆動式移動装置10における駆動球体11、12と回転体14、15、16との位置関係と同様である。

[0070] 以上、本発明の実施例を説明したが、本発明は、上記した形態に限定されるものでなく、要旨を逸脱しない条件の変更等は全て本発明の適用範囲である。

例えば、1つのモータによって、動力伝達ベルト等が掛け渡された2つの回転体を回転駆動するようにして、2つの回転体を隣り合う駆動球体の一方及び他方にそれぞれ接するようにしてもよいし、隣り合う駆動球体それぞれに異なる回転体を接触させ、当該2つの回転体それぞれにモータを連結するようにしてもよい。

[0071] それぞれ走行面上を転動する2個の駆動球体と、走行面上を転動する従動回転物と、各駆動球体に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して駆

動球体を回転させる r 個 (r は 3 以上の整数) の回転体とを具備し、走行面上を移動する球体駆動式移動装置において、1 つのモータによって、動力伝達ベルト等が掛け渡された 2 つの回転体を回転駆動するようにして、2 つの回転体を隣り合う駆動球体の一方及び他方にそれぞれ接するようにする場合は、各回転体を、接している駆動球体の中心より高い位置で駆動球体に接触させ、 r 個の回転体のうち駆動回転力が共通のモータから与えられる 2 つの回転体を、各駆動球体の中心を通る仮想傾斜面を基準として従動回転物側又は仮想傾斜面上で駆動球体に接触させ、しかも、仮想傾斜面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動するようにすればよい。そして、この場合、駆動球体と回転体との位置関係は、球体駆動式移動装置 10 における駆動球体 11、12 と回転体 14、15、16 との位置関係及び球体駆動式移動装置 40 における駆動球体 11、12 と回転体 14、45、46 との位置関係と同様である。

[0072] また、回転体は円錐台状である必要はなく、例えば円柱状であってもよいし、球状であってもよい。

そして、回転体の回転軸は軸材（即ち、実在する部材）であってもよいし、仮想軸であってもよい。

更に、駆動球体を支持するのはボールキャストに限定されず、例えば、ボールキャストの代わりに、自在キャストやオムニホイール等のフリーローラ式車輪を採用してもよい。

[0073] また、各駆動球体は大きさが異なってもよいし、各回転体は大きさや形状が異なってもよい。そして、各駆動球体を水平面に置いた状態で、各回転体が駆動球体に接する高さが異なるように各回転体を配置してもよい。更に、本発明は走行面上の移動方向が特定されている球体駆動式移動装置（例えば、前進及び後退のみが可能な球体駆動式移動装置）にも適用可能である。

産業上の利用可能性

[0074] 本発明に係る球体駆動式移動装置は、駆動球体に接触している回転体が空回

りするのを抑制した状態で走行するので、所望の経路に沿った移動を安定的に行うことができ、車いすへの適用や無人搬送車への適用が可能である。

符号の説明

[0075] 10 : 球体駆動式移動装置、11、12、13 : 駆動球体、14、15、16 : 回転体、18 : モータ、19 : 回転軸、20 : モータ、21 : 回転軸、22 : モータ、23 : 回転軸、24、25、26 : ボールキャスト、27 : ベース部材、28、29、30 : 側面、40 : 球体駆動式移動装置、43 : 従動球体、45、46 : 回転体、47 : 回転軸、48 : モータ、49 : 回転軸、50 : モータ、51、52、53 : ボールキャスト、54、55 : 側面、A、B、C、A'、B'、C' : 頂点、G : 走行面、H、H' : 仮想逆三角錐、J14、J16、J24、J25、J35、J36 : 仮想直線、K12、K13、K23 : 仮想直線、O、O' : 頂点、P1、P2、P3、P3' : 中心、S1、S2、S3、S1'、S2'、S3' : 側辺、T14、T16、T24、T25、T35、T36、T16'、T25' : 接点、 α 、 β 、 γ 、 α' 、 β' 、 γ' : 側面、 η 、 η' : 底面

請求の範囲

- [請求項1] それぞれ走行面上を転動する n 個の駆動球体と、前記各駆動球体に 2 つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して該駆動球体を回転させる n 個以上の回転体とを具備し、前記走行面上を移動する球体駆動式移動装置において、
- 前記走行面を水平面として、
- 前記各駆動球体の中心は、該各駆動球体の中心より高い位置に底面が配され該底面から離れた頂点が該各駆動球体の中心より低い位置に配された仮想逆 n 角錐の各側辺上に位置し、
- 前記各回転体は、接している前記駆動球体の中心より高い位置、かつ、該駆動球体の中心が配されている 2 つの前記側辺を外縁の一部とする前記仮想逆 n 角錐の側面を対応側面として、前記仮想逆 n 角錐の内側又は前記対応側面上で該駆動球体に接触し、しかも、該対応側面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動することを特徴とする球体駆動式移動装置。
- 但し、 n は 3 以上の整数である。
- [請求項2] 請求項 1 記載の球体駆動式移動装置において、前記駆動球体と前記回転体との接点及び該駆動球体の中心を通る各仮想直線 J は、該駆動球体の中心が位置する前記側辺に対し直交することを特徴とする球体駆動式移動装置。
- [請求項3] 請求項 1 記載の球体駆動式移動装置において、前記各回転体は、円錐台状であって側面が前記駆動球体に接触し、該駆動球体と該回転体の側面との接点及び該駆動球体の中心を通る仮想直線 J は該回転体の側面に垂直に交わることを特徴とする球体駆動式移動装置。
- [請求項4] 請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の球体駆動式移動装置において、前記仮想逆 n 角錐の各側面は、該側面の外縁の一部をなす 2 つの前記側辺にそれぞれ中心が配された 2 つの前記駆動球体間にある前記回転体と一方の該駆動球体との接点及び該回転体と他方の該駆動球体との

接点を通る仮想直線Kに対し平行であることを特徴とする球体駆動式移動装置。

[請求項5] 請求項1～4のいずれか一項に記載の球体駆動式移動装置において、前記仮想逆 n 角錐の底面は等角多角形であることを特徴とする球体駆動式移動装置。

[請求項6] 請求項1～5のいずれか一項に記載の球体駆動式移動装置において、前記各駆動球体は同じ大きさであり、前記各回転体は、同一の大きさの円錐台状であり、側面が同一高さで前記駆動球体に接していることを特徴とする球体駆動式移動装置。

[請求項7] それぞれ走行面上を回転する2個の駆動球体と、前記走行面上を回転する従動回転物と、前記各駆動球体に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して該駆動球体を回転させる m 個の回転体とを具備し、前記走行面上を移動する球体駆動式移動装置において、前記各回転体は、接している前記駆動球体の中心より高い位置で該駆動球体に接触し、前記 m 個の回転体のうち前記2個の駆動球体の双方に接触している該回転体は、前記各駆動球体の中心を通る仮想傾斜面を基準として前記従動回転物側又は前記仮想傾斜面上で該駆動球体に接触し、しかも、該仮想傾斜面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動することを特徴とする球体駆動式移動装置。

但し、 m は3以上の整数である。

[請求項8] それぞれ走行面上を回転する2個の駆動球体と、前記走行面上を回転する従動回転物と、前記各駆動球体に2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して該駆動球体を回転させる r 個の回転体とを具備し、前記走行面上を移動する球体駆動式移動装置において、前記各回転体は、接している前記駆動球体の中心より高い位置で該駆動球体に接触し、前記 r 個の回転体のうち駆動回転力が共通のモータから与えられる該

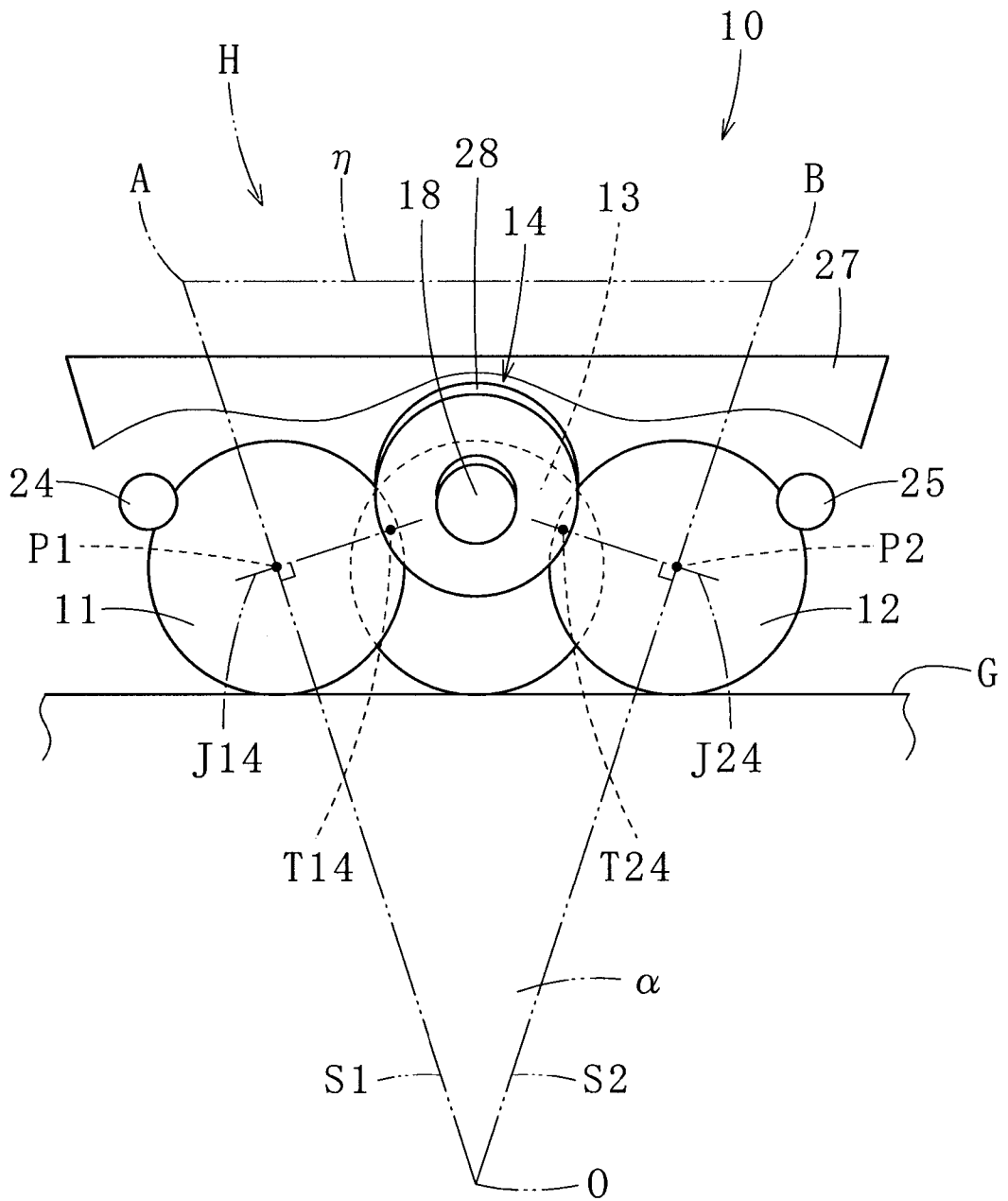
回転体は、前記各駆動球体の中心を通る仮想傾斜面を基準として前記従動回転物側又は前記仮想傾斜面上で該駆動球体に接触し、しかも、該仮想傾斜面に対し垂直な回転軸を中心に回転駆動することを特徴とする球体駆動式移動装置。

但し、 r は3以上の整数である。

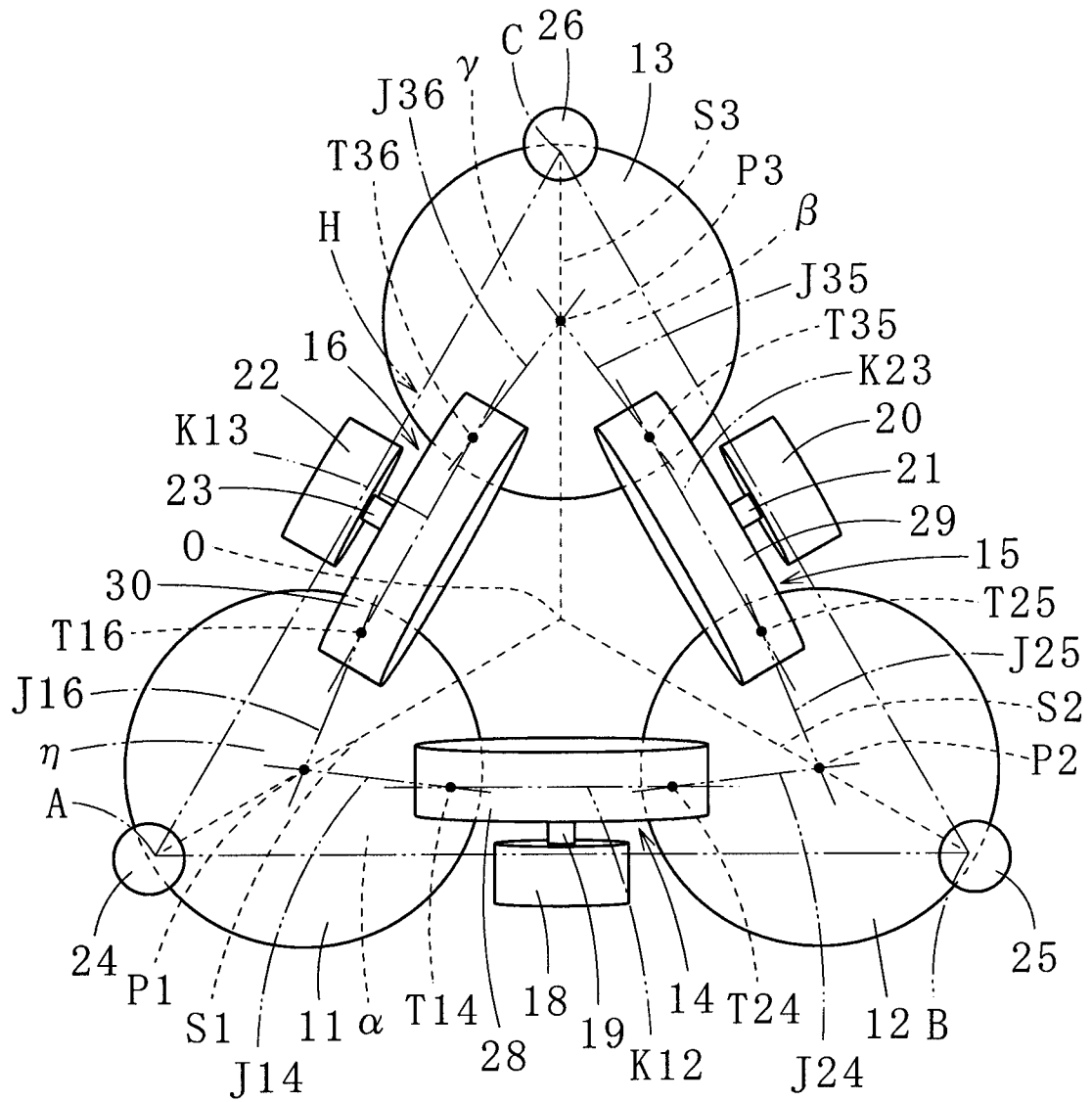
要 約 書

n 個の駆動球体 11 、 12 、 13 それぞれに2つの異なる方向から接触した状態で回転駆動して駆動球体 11 、 12 、 13 を回転させる回転体 14 、 15 、 16 を具備し、走行面 G 上を移動する球体駆動式移動装置 10 において、走行面 G を水平面として、各駆動球体 11 、 12 、 13 の中心 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ は、各駆動球体 11 、 12 、 13 の中心 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ より高い位置に底面 η が配され底面 η から離れた頂点 O が各駆動球体 11 、 12 、 13 の中心 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ より低い位置に配された仮想逆 n 角錐 H の各側辺 $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 上に位置し、各回転体 14 、 15 、 16 は、接している駆動球体 11 、 12 、 13 の中心 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ より高い位置、かつ、仮想逆 n 角錐 H の内側又は仮想逆 n 角錐 H の側面 α 、 β 、 γ 上で駆動球体 11 、 12 、 13 に接触し、仮想逆 n 角錐 H の側面 α 、 β 、 γ に対し垂直な回転軸 19 、 21 、 23 を中心に回転駆動する。

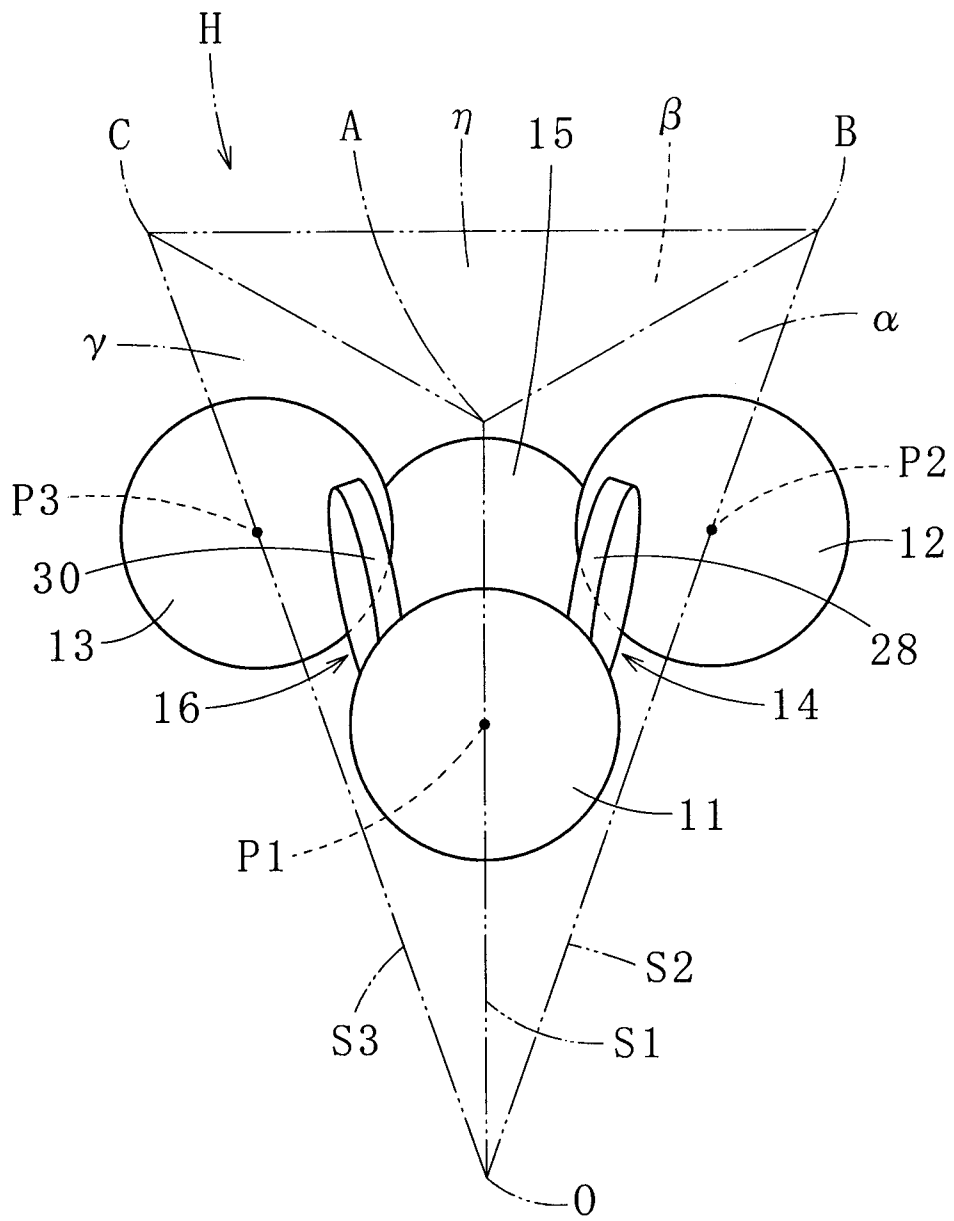
[圖1]



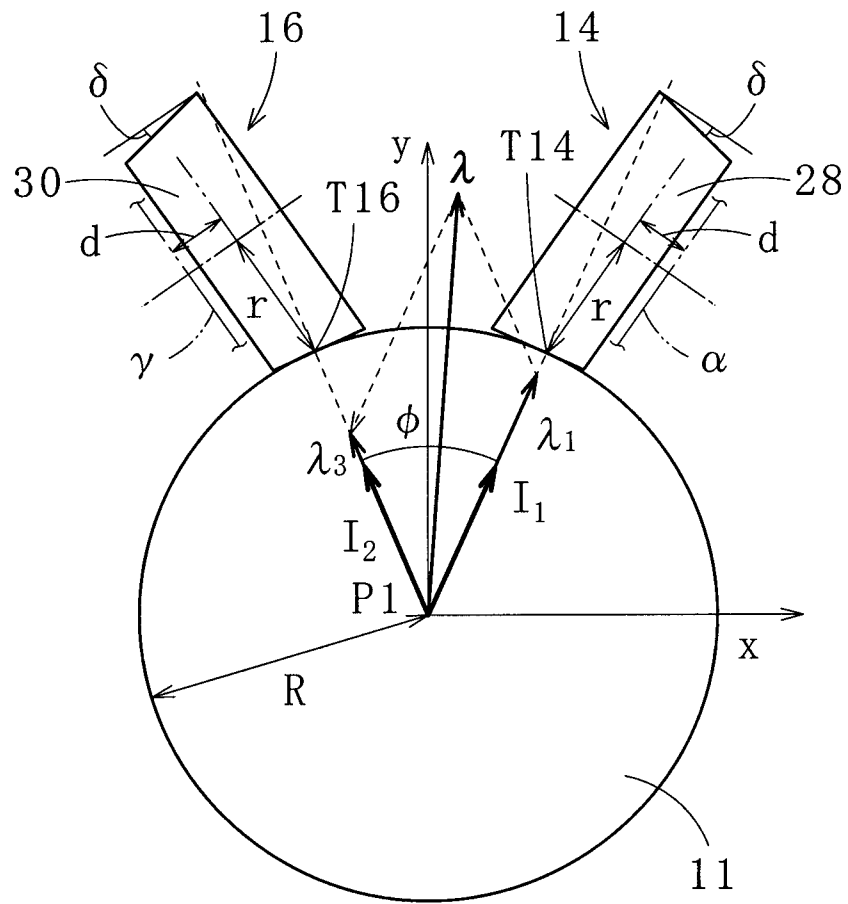
[圖2]



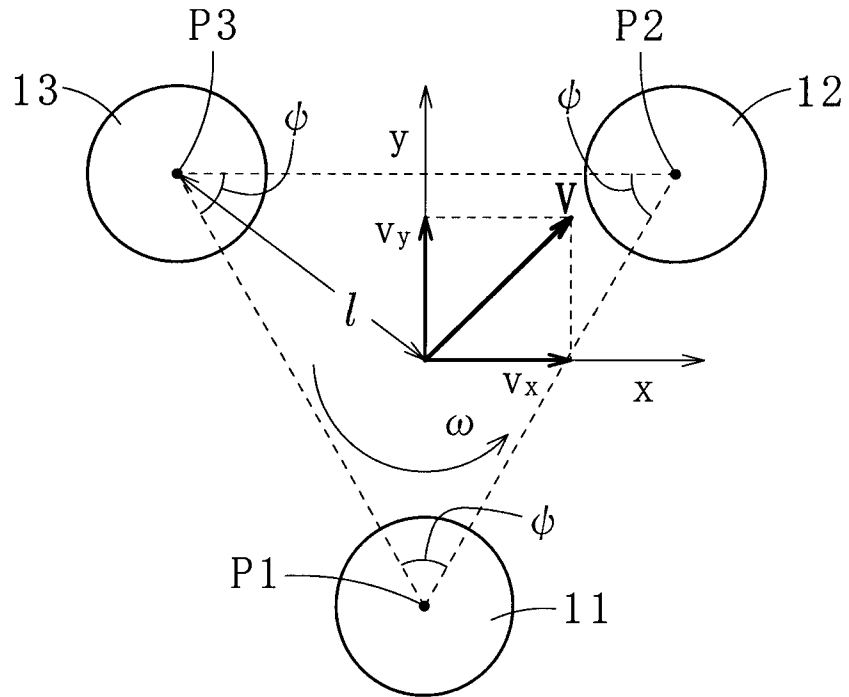
[圖3]



[圖4]



[圖5]



[圖6]

