

ホイール配置による球体の全方向回転制御機構の開発

材料革新サステイナブルテクノロジー研究室 1170088 竹中克昭

1. 緒言

現在、科学技術の進歩により様々な移動手段が発明されている。移動手段にはそれぞれの特徴があり、大きく二種類に分けられる。航空機、自動車など乗り物自体が人間や物と共に移動するもの、一方でエスカレーターやエレベーターなどの速度と移動方向が固定され、一定の区間を往復するもの。大きく分けた二つをエネルギーに関して比較する。自動車を 1000kg と考えた場合、それ自体を移動させるエネルギーが無駄になっている。もし、人間一人だけを運ぶことができれば、最小のエネルギーで移動可能になる。本研究室では、先行研究として個人が携帯する必要がなく、自らの意思で進行方向、速度を決定できるエネルギー消費の少ない新たな移動手段として「ベアリングロード」を提案している⁽¹⁾。

現段階では、現代の技術で実現可能な構造を考案し、モデルを製作した。モデルを図1に示す。実際に製作することで、構造上の問題点が明確になった。一つ目に、素材の選定が挙げられる。主に、球体の素材が重要である。球体同士の伝達効率が明確にわかっておらず、ギアに比べると圧倒的に伝達効率が下がることが予想されるためである。よって、球体の伝達効率の測定を行う必要がある。二つ目に、駆動球（二段目の球体）の制御が挙げられる。ベアリングロードを作動させるために最も重要な要素であり、モデルの試作段階では間に合わなかった部分である。球体を全方向に回転させるために、モーターとホイールを用いることを考えた。ホイールを球体に対してどのように配置すれば最も効率良くかつ容易に制御ができるのかをシミュレーション、実験することが課題である。三つ目に、構造全体の見直しが挙げられる。モデルの球体を手動で回転させてみたところ、抵抗が大きすぎた。それゆえ、抵抗を減らすために球体に接する部品の改善が大きな課題である。

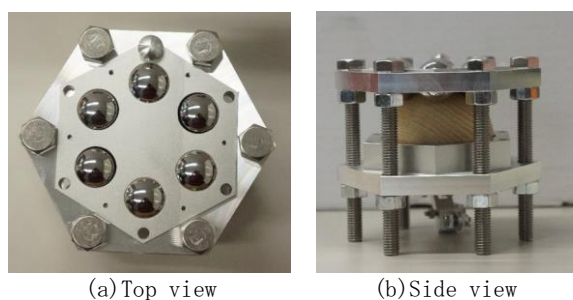


Fig. 1 Production model

2. これまで行った研究内容

本研究では、ベアリングロードの動作原理の要となる球体の球体の回転制御に着目し、達成する為に以下に示す3点を進めた。

- (1) ホイールの配置の最適化
- (2) 基礎理論式の構築
- (3) 実証実験（基礎理論式）

シミュレーションの観点から最適なホイールの配置、個数を検討し、球体の回転方向を制御するための基礎理論式を考えた。シミュレーションによって理論通りに動作する

かを確認し、実証実験を行ったので報告する。このことから、ホイールの配置パターン、モーターの出力比によって球体を全方向に回転させることを目指す。

3. シミュレーション

3.1 ホイール配置

まず、球体への伝達効率を上げるため、ホイールの配置を検討した。二段目の球体に対してホイールの向きを垂直、平行の二パターンについて解析を行い、回転効率を求めた。

図2にシミュレーションで用いたホイール配置のモデル図を示す。

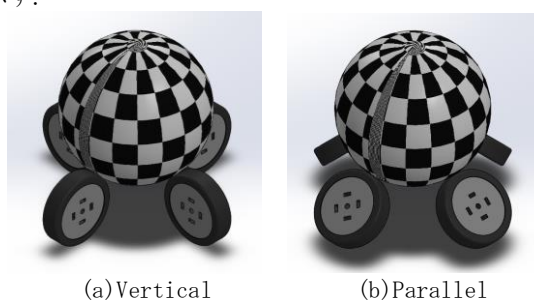


Fig. 2 Wheel arrangement

どちらも解析条件として、一つのホイールを 100rpm で回転させ、球体の回転数をモーション解析により比較した。球体とホイールの直径比は 2 : 1 となっている。

ホイールの配置によっての回転数の差を比較し、考察する。垂直配置では、球体とホイールの直径比の減速量であった。これに対して平行配置では、垂直配置よりも回転数が減少した。球体の回転より接触直径が異なるため差が生じたと考えられる。

垂直配置が球体に対して動力の伝達効率が良く、回転方向を制御することに関しても、容易であると考えられた。この結果を基に、垂直配置を採用することにした。

3.2 ホイール個数

人を移動させるための動力が必要であり、二段目の球体に対してモーターの数は多い方がいい。しかし、ユニットに対してモーターのスペースには限りがある。そこで、ホイールの数を三、四個の垂直配置で検討した。それぞれのモデル図の上面図を図3に示す。

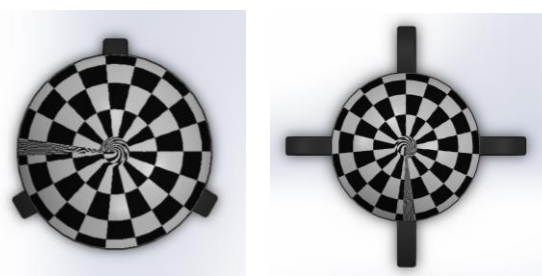


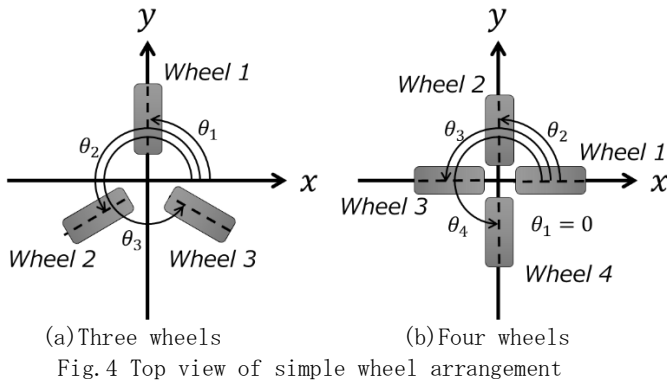
Fig. 3 Top view of wheel placement model

モーション解析により、三輪、四輪ともにモデル図の上面図に対し、球体の回転を 0° 、 30° 、 45° 、 60° に関する四種類をホイールの回転数の組み合わせによって制御することができた。ホイールの回転数の合成ベクトルと球体の回転方向のベクトルが一致することが分かった。球体に対して、ホイールが接する角度によって結果が変わるのか他にもモデルを作成し、解析したが変化はなかった。

ベアリングロードの動力源としては、三輪、四輪共に採用することが可能である。

4. 球体回転方向の導出

球動力伝達機構の運動学で、二つのローラが接触する球体の回転運動の一般的な関係式を導出する過程を参考^[2]に、ホイールの配置による球体の回転方向を導出する基礎理論式を考えた。ホイール配置を上面から見る。x,y 軸をとり、反時計回りにホイールが n 個あるとして、ホイールの半径 r_n 、球体との接触点の角度を θ_n とし、ホイールの角速度 ω_n で回転するとき、球体の周速度 V とする。図4に三輪と四輪のホイール配置を上面から見た時の簡略化したモデル図を示す。



周速度 V を x,y 成分に分解すると (2) の条件で、以下の関係式が成立する。

$$V_x = \sum_{i=1}^n r_i \omega_i \cos \theta_i \quad (1)$$

$$V_y = \sum_{i=1}^n r_i \omega_i \sin \theta_i$$

$$\theta_n = \begin{cases} \theta_n & (0 \leq \theta_n < \pi) \\ \theta_n - \pi & (\pi \leq \theta_n < 2\pi) \end{cases} \quad (2)$$

式(1)の球体の周速度成分から球体の回転する角度 θ が算出することができた。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x} \quad (3)$$

三輪、四輪のホイールの回転数を代入してみるとモーション解析と同角度を算出できた。他にも式(1)、(2)、(3)は四輪以上の条件でも成り立つ。今後は、この式を基に制御プログラム構築し、球体の全方向回転制御を目指す。

5. 実験

5.1 実証実験

式(3)が実際に実証できるのかを図3(b)のホイール配置、球体を保持するための保持器を製作し、実験を行った。当初用いた DC モーターではトルクが不足していたため、遊星ギアを用いてギア比を 100 : 1 にすることで、トルクを 100 倍にした。製作した装置を図5に示す。

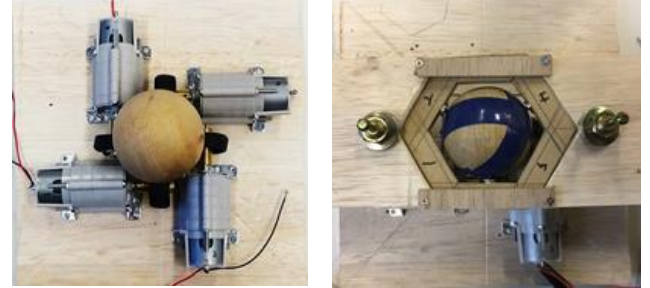


Fig. 5 Experimental device

5.2 結果

モーション解析と同条件で回転させ、球体の回転を観察した。球体を 0° の方向に回転させることができたが、 30° 、 45° 、 60° のパターンに関しては回転軸のブレが著しく、正確な判断をすることができなかった。原因として以下の二つが考えられる。

- ① 装置の加工精度が悪くホイールすべてが球体に均等に接触できていない。
- ② ホイールの回転する方向に対して平行、垂直でない場合に球体と車輪間に抵抗が発生している。

5.3 考察

四輪配置だと球体を均等に接触させることが難しいと考えた。人や物の移動に必要な動力を出すことを考慮しつつ三輪配置を検討する。球体とホイールの伝達効率を上げるために押しつけ力が必要だが、押しつけ力が大きいと抵抗として働くと考えた。

ホイールに関して剛性の高い場合は、押しつけ力が低いと球体が弾んだ。剛性が低い場合は、変形することで球体はホイールの間にめり込んだ。さらに、加工方法、他の既存品を部品として用いるなど検討を行いつつ、実際にベアリングロードの理想の動きを目指して部品の模索をする。

6. 結言

ホイールの配置を SolidWorks のモーション解析を用いて、垂直配置が最適だと結論づけた。ホイールの個数に関しては、必要動力を出すために四輪とした。さらに、動力球体の回転をモーション解析により、回転の方向を算出する基礎理論式を考えた。しかし、動作確認のため装置を製作し実験したが、球体との接触が均等にできないという問題が発生した。原因として加工精度が悪いと考え装置を改良したが、荷重をかけるとホイールの変形などの要因からやはり一輪空転するという結果となった。以上の結果を基に、今後三輪にすることも検討することにした。

文献

- [1] 吉本翔太, “未来的移動手段を想定した球体による革新的駆動伝達機構の提案” 高知工科大学 卒業論文
- [2] 和田正義 井上雄介 平間貴大, “球による動力伝達機構を用いたアクティブキャストの運動解析と機構設計” ロボット学会 学術・技術論文