

ジャイロ効果による四肢運動時の行動誘導

47-156122 宮原 寛和

指導教員 牧野 泰才 講師

篠田・牧野 研究室 修士課程

2017 年 3 月

Keyword: 行動誘導, ジャイロ効果, 力覚提示, 四肢の回転運動

1 はじめに

本研究では、運動時の腕や脚に対して回転力を提示することで、身体の動作を制御する装置を提案する。人間の運動を支援するシステムとして、HAL[®]^[1]が実用化されている。これは、腕や脚などに装着するパワードスーツであり、関節に働く力を増強させ、重作業やリハビリテーションにおける運動支援を可能とする。このように身体を外骨格的に覆うような単純で確実性の高い手法に対して、簡易で装着に煩わしさのないシステムの実現が近年研究レベルで着目されている。

身体の動作を誘導する手法において、人間が思考することの少ない情報提示手法として、触覚に着目した研究がなされている。ここでは、触覚の中でも皮膚感覚、深部感覚の大きく 2 つに分類し、行動誘導に関連する研究を述べる。

皮膚感覚に対する提示手法の中には、人間の触覚の錯覚、反射現象を利用した提案がされている。頭部を回転させるように皮膚を圧迫、せん断変形させた際に、人間の反射現象として、回転力を感じて回転運動が誘発されるという、ハンガー反射が発見され、調査されている。この現象を腰部や手首、足首にも適応し、腕の運動や歩行の誘導に応用する研究^[2,3]がなされている。このような人間の反射を用いるデバイスは、身体の誘導に効果的な刺激を提示可能なことから、小型、軽量にしやすいという利点を持つ。

また、深部感覚に対する提示手法では、人の関節に力を生じさせて直接的に動作させるような提案となる。ジャイロモーメントを身体に提示する手法では、強力な力を生じさせると共に、場所に制限されず利用可能であるという利点から研究がなされてきた。ジャイロモーメントの発生には、物体が二軸に直交した回転運動をする必要があり、多くの提案手法^[4]は、2, 3 個のモータを回転方向が二軸に直交するように配し、円盤を急激に回転させることで力を生じさせる。提示方向の自由度が高く、瞬間的な力の提示が可能となる。その一方で、一軸のモータによる円盤の回転と腕の回転運動を組み合わせることで力を生じさせる提案^[4]もなされている。これは、身体の関節回りに連続的に力を提示可能となる。本手法は、特に腕や脚の回転運動を利用することに着目した手法となる。先行研究^[4]では、把持型のデバイスで、腕を左右に振る、上腕の内転・外転運動の誘導が可能であり、本手法では、装着型デバイスで、腕をひねる、前腕の回内・回外運動の誘導が可能となる。

本研究において、運動中の腕と脚へ回転力を提示し、その誘導可能性について検討した。その結果、腕の誘導について、提示する力を変化させることで前腕の回転角度の制御が可

能であることが示された。脚へ提示した際の歩行誘導については、目的の方向に対する誘導の傾向がみられた。本稿では、特に腕に対して提示した場合の提案手法と結果について述べる。

2 提案手法

2.1 ジャイロモーメント発生原理

ジャイロモーメントは物体が直行する二軸に関する回転運動をすることにより、その二つの軸に対して垂直軸に発生する力のモーメントである。半径 r 、質量 m の単純円盤の自転軸に関する慣性モーメント

$$I = \frac{1}{2}mr^2 \quad (1)$$

角速度 ω として、さらに自転軸に対して垂直な軸に回転する角速度 Ω とすると、発生するジャイロモーメント T は、

$$T = I\omega \times \Omega = \frac{1}{2}mr^2\omega \times \Omega \quad (2)$$

である。

Fig. 1 に提案手法におけるジャイロモーメント発生の模式図を示す。腕の振りによる回転は図中 A 軸回りに生じる。そこで、自転軸が A 軸に垂直になるように円盤の向きを設定し、モータを利用して B 軸回りに回転盤を回転させる。その結果、腕を振り下ろした際に、両軸に対して垂直となる C 軸回りにジャイロモーメントが発生することになり、手首回りに前腕を回転させるような力が生じる。

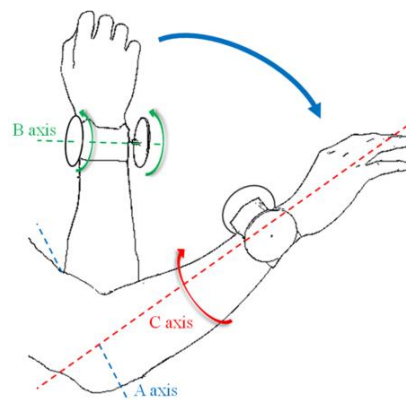


Fig. 1: 腕における提案手法の模式図

2.2 提案装置

ジャイロモーメントを発生させるための回転円盤とモータを Fig. 2 に示す。ガラスエポキシ銅張積層板を基板加工によって、半径 $r=3\text{cm}$ 、質量 $m=13.2\text{g}$ の単純な円盤型に作製し回転体とした。このとき、円盤の慣性モーメントは(1)式より、 $I=5.92\times 10^{-6}\text{kg}\cdot\text{m}^2$ である。二つの円盤から生じるジャイロモーメントの軸中心と装置のバランスを考慮して手首の前後に回転円盤とモータを配置した。二つのモータの回転方向と回転数をマイクロコンピュータとモータドライバを用いて制御することにより、発生するジャイロモーメントの向きや大きさを変化させる。装置は Fig. 3 のように腕に装着する。モータや装着部を含めた装置の質量は 337g である。

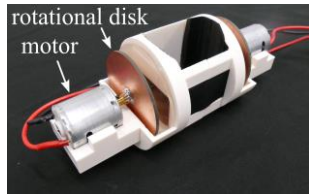


Fig. 2: 回転円盤とモータ

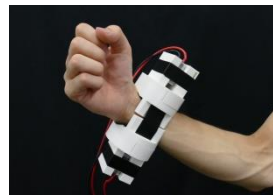


Fig. 3: デバイス装着状態

いて目的の方向への誘導が確認できた。1と5のパターンのとき回転方向のどちらに関しても 30° 程度の角度変化であった。また、2と4のパターンのとき 15° 程度の角度変化であり、方向だけでなくモーメントの値を変化させた場合において回転角度が制御出来ることが示された。

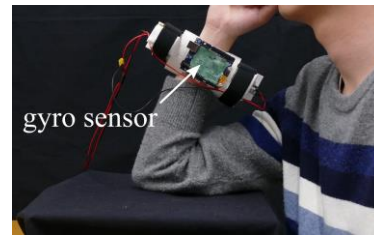


Fig. 4: 初期状態



(a) 回内誘導 (b) 誘導なし(中間) (c) 回外誘導

Fig. 5: 前腕振り下ろし時の誘導状態

3 前腕の回転誘導

提案手法によって生じるジャイロモーメントがどの程度、腕の回転誘導を行えるのか評価するため被験者実験を実施した。Fig. 4 と Fig. 5 に実験の様子を示す。被験者は右手首に装置を取り付け、Fig. 4 のように肘を立てた状態を初期状態とする。そこから、Fig. 5 のようにまっすぐ腕を振り下ろした直後の前腕の回転角度を測定した。測定には、提案装置に取り付けたジャイロセンサを利用し、角速度の値を積分することで、初期状態からの回転角度を導出した。被験者にはメトロノームのテンポに合うよう意識して腕を振り下すよう指示し、腕の動作速度を一定にした。 90° の腕の振りを約 1sec で行い、このとき角速度 $\Omega=1.57\text{rad/s}$ である。二つのモータを制御し円盤の角速度 ω を変化させることで、式(2)に従って以下の5パターン of ジャイロモーメント T を手首に提示した。

1. $-31.90\text{mN}\cdot\text{m}$
2. $-16.73\text{mN}\cdot\text{m}$
3. $0\text{mN}\cdot\text{m}$
4. $16.73\text{mN}\cdot\text{m}$
5. $31.90\text{mN}\cdot\text{m}$

このとき1と2、4と5では手首回りに加えるジャイロモーメントの回転方向が同じであり強度が異なる。3はジャイロモーメントを提示しない状態で、二つの円盤を逆向き同速となるよう回転制御し、互いに生じるジャイロモーメントを打ち消すことでこれを実現する。これらを提示し目的の誘導が行われた場合の前腕の回転方向は、Fig. 5 において1と2のとき(a)、3のとき(b)、4と5のとき(c)となる。被験者は10名(男9、女1: 23-33歳)で各被験者に5パターン of ジャイロモーメントをそれぞれ20回ずつ(計100回)ランダムに提示した。実験結果として、提示したジャイロモーメントに対する前腕の誘導角度を Fig. 6 に示す。Fig. 5 (b) の誘導なしの状態を基準として、(a) の回内誘導のとき負、(c) の回外誘導のとき正として前腕の回転角度を定義し、10名の被験者ごと、すべての平均のグラフを描画した。結果から、ジャイロモーメントを提示しない場合と回内・回外方向へ提示した場合にお

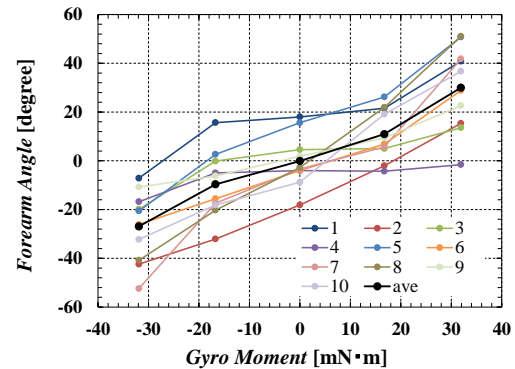


Fig. 6: 提示力に対する前腕振り下ろし直後の回転誘導角度

4 結論

本研究では、腕や脚の回転運動を利用して発生するジャイロモーメントにより人の動作を制御する装置を提案した。本稿では、腕に関して適応させた場合の提案手法について述べた。腕に関する誘導について、作製したデバイスを用いた被験者実験の結果から、提示する力の大きさを変えることで前腕の回転角を制御可能であることを示した。

参考文献

- [1] CYBERDYNE, "HAL®(Hybrid Assistive Limb®)," <https://www.cyberdyne.jp/products/HAL/>
- [2] Takuto Nakamura, Narihiro Nishimura, Michi Sato, and Hiroyuki Kajimoto, "Development of a wrist-twisting haptic display using the hanger reflex," *Proc. -11th Conf. Advances in Computer Entertainment Technology. ACE '14*, Article No. 33, Funchal, Portugal, Nov. 11-14, 2014.
- [3] Y. Kon, T. Nakamura, M. Sato, and H. Kajimoto, "Effect of Hanger Reflex on Walking," *IEEE Haptics Symposium. HAPTICS '16*, pp. 313-318, Philadelphia, Pennsylvania, USA, Apr. 8-11, 2016.
- [4] H. Yano, M. Yoshie, and H. Iwata, "Development of a Non-Grounded Haptic Interface Using the Gyro Effect," *Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. HAPTICS'03*, pp. 32-39, Los Angeles, California, USA, Mar. 22-23, 2003.