



# ハンガー反射を用いた腰部への回旋・並進力提示デバイス

今悠気<sup>1)</sup>, 中村拓人<sup>1)2)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

1) 電気通信大学 (〒182-8585 東京都調布市調布ケ丘 1-5-1, {kon, n.takuto, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 日本学術振興会 特別研究員

**概要:** ハンガー反射は針金ハンガーを頭に被ると不随意に頭が回旋する現象であり, 全身での発生が確認されている. 我々は歩行ナビゲーションへの応用を目指し, 特に腰部ハンガー反射の歩行への影響を調査してきた. 本稿では, 空気圧アクチュエータを用いた腰部ハンガー反射を制御するデバイスの概要, および回旋運動と並進運動の生起について報告する.

**キーワード:** ハンガー反射, 擬似力覚, 力覚ディスプレイ

## 1. はじめに

Google Maps のような歩行ナビゲーションツールは目で見てナビゲーション情報を解釈するというプロセスが必要である. これを実際に歩行中に用いる場合, ユーザの注意がナビゲーション情報の解釈に割かれ, 実環境における安全確保に割く注意が減るといった問題点がある. これを解決するために, 触覚や力覚を用いた歩行ナビゲーション[1][2][3][4][5] が多く提案されている. これらはユーザの視覚を奪うという問題は解決しているものの, ユーザが情報を解釈するプロセスが必要である点は変わっていない. ユーザによる情報の解釈を極限まで減らし, 結果としてユーザの安全性に寄与するため, 情報の解釈が不要な歩行ナビゲーション手法[6][7][8] もいくつか提案されているが, これらは継続的な利用の困難さ, 自己運動感の欠如による衝突の危険, 使用可能な場所の制限といった問題点が存在する.

これまで我々は情報の解釈が不要な歩行ナビゲーション手法の 1 つとして, 不随意的な回旋運動の生起を特徴として持つハンガー反射に着目し, ハンガー反射の歩行への影響を調査してきた. 調査の結果, 全身での発生が報告されているハンガー反射の中で腰部ハンガー反射が最も効率的に歩行に影響を与えることを確認した[9].

本稿では, 歩行ナビゲーションのための次のステップとして, 腰部ハンガー反射を制御するデバイスの概要について述べるとともに, 製作したデバイスによる腰部回旋運動と並進運動の生起について報告する.

## 2. 関連研究

### 2.1 腰部への触力覚提示

腰部への触力覚提示手法としてベルト上に振動子を並べることで振動を提示する手法[1][2] や, 空気圧アクチュエータを用いて腹圧を提示する手法[10] などが提案されている. これらは腰部への触力覚提示を行っているが, 回

旋や並進などの力覚や運動を提示することはできなかった.

### 2.2 ハンガー反射

我々は腰部に回旋力や並進力を提示する手法としてハンガー反射に着目した. ハンガー反射は針金ハンガーを頭に被ると意図せず頭が回る現象であり, 右側頭部前方と左側頭部後方のような対抗する 2 点を圧迫することで発生し, 運動の方向は皮膚のせん断方向によって決定される[11][12]. ハンガー反射は皮膚のせん断変形により生じる力の錯覚であると考えられるが, 他の力に関する錯覚と比較して非常に明瞭で不随意的な回旋運動を伴うことが特徴である. また, 従来の Yaw 軸の回旋に加えて, Pitch 軸と Roll 軸への回旋, 前後左右への並進運動の生起も報告されている[13]. さらに, ハンガー反射は頭部だけではなく手首, 腰部, 足首での発生が報告されている[13][14].

## 3. 回旋・並進力提示デバイス

今回我々は歩行ナビゲーションへの応用を目的として, 回旋・並進運動の生起が報告されている腰部ハンガー反射を制御するデバイスを製作した.

本デバイスは 4 つの空気圧アクチュエータを用いてハンガー反射の発生に必要な圧迫を提示し, 外側のアルミニウムフレームの変形と弾性によって皮膚のせん断変形を発生させるものである (図 1). 空気圧アクチュエータはそれぞれ真空ポンプ(KPM27U06A, Koge Electronics 社)とソレノイドバルブ(SC0415GL, SHENZHEN SKOOCOM ELECTRONIC 社)によって駆動され, 大気圧センサ(MIS-2503-015G, Metrodyne Microsystem 社)と圧力センサ(SEN-09376, Interlink Electronics 社)によって装着者に提示する圧力を計測し, マイクロコントローラ (mbed1768, NXP 社)により制御する. アルミニウムフレームは装着者の腰回りの個人差に対応するため, 80cm と 100cm の 2 サイズを用意し, 両端をベルクロで調整可能な構造とした.



本デバイスが駆動する空気圧アクチュエータの位置と提示するハンガー反射による力覚の関係を図 2 に示した. 図 2 左下に示すように番号を割り振った 4 つの空気圧アクチュエータは独立に制御することで, 皮膚圧迫(緑矢印)および皮膚ずれ(青矢印)を生じさせる. これによって皮膚ずれの生じる方向への力覚と運動(赤矢印)を生じることを期待している.



図 1 回旋・並進力提示デバイス

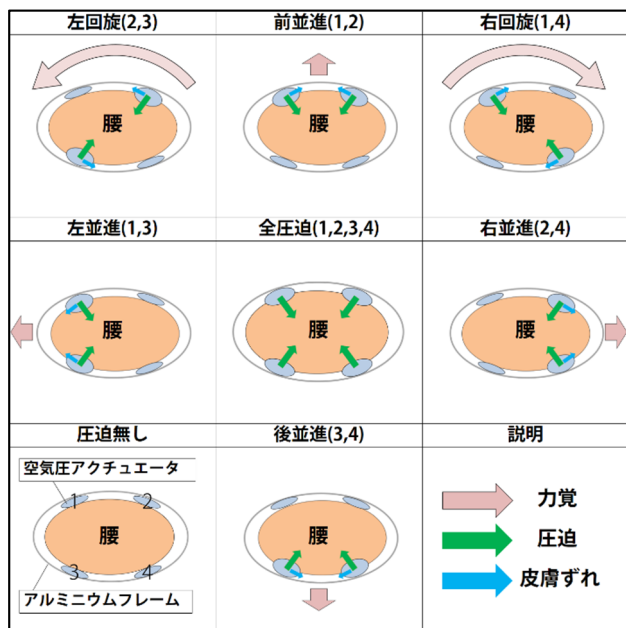


図 2 腰部力覚提示一覧

#### 4. 実験 1 : 腰部回旋実験

##### 4.1 実験概要

開発したデバイスを用い, 腰部への回旋力の生起を確認する実験を行った. 身体の角度と位置を計測するために胸部に再帰性反射材マーカーを取り付け, 光学式モーショントラッキングシステム (Optitrack Prime13, Natural Point, Inc) を用いて計測した.

##### 4.2 実験条件・実験手続き

被験者は 6 名 (男性 4 名, 女性 2 名, 21~25 歳) であった. 被験者の腰部に開発したデバイスを装着, 上から白衣を着用し, 立位状態で実験を行った. 装着前に空気圧アク

チュエータによる圧迫位置の調整を実験従事者によって行った. 被験者には図 2 に示す条件のうち, 圧迫無し・左回旋・右回旋の 3 条件を 5 回ずつランダムに提示し, 合計で 15 試行を行った. 被験者には閉眼するように指示し, 力あるいは運動を知覚した場合は抗わずに自然にいるように指示した.

##### 4.3 実験結果

本実験の座標は左手系であり, 被験者から見て後が x 軸正の方向, 上が y 軸正の方向, 右が z 軸正の方向である. センサ, 角度, 位置データは 20Hz で計測されており, n=10 の移動平均フィルタにより処理されている. 図 3 は各条件における全被験者の胸部角度の最大値を示している. 横軸は測定している角度の種類 (Pitch : Pitch 軸, Yaw : Yaw 軸, Roll : Roll 軸) および実験条件 (L : 左回旋, N : 圧迫無し, R : 右回旋) を示している. 縦軸は胸部の角度[degree]である. 図 4 は各条件における全被験者の胸部位置の最大値を示している. 横軸は測定している軸の種類 (x,y,z 軸) および実験条件を示している. 縦軸は胸部の位置[cm]である. これらに関して Tukey-Kramer 法で多重比較を行った結果, 図 3, 図 4 に示したように有意差が確認された. 図 5 と図 6 は, ある被験者の左回旋条件と右回旋条件 1 試行の各空気圧アクチュエータの大気圧センサ及び圧力センサの値と, 胸部の角度を示している. 横軸は時間[s], 第 1 縦軸はセンサ値, 第 2 縦軸は胸部の角度[degree]である.

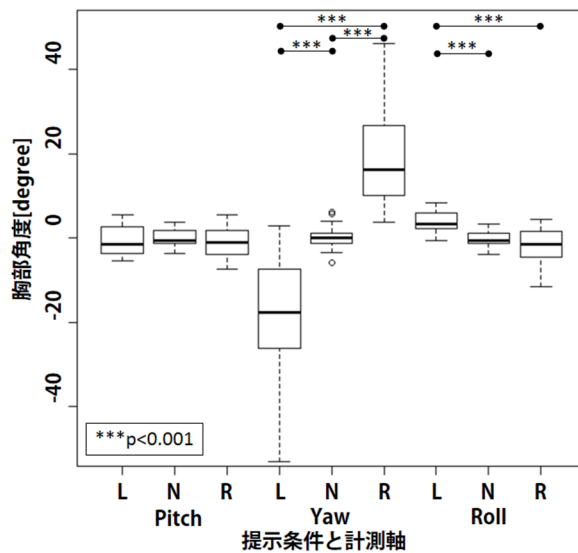


図 3 圧迫条件ごとの胸部角度

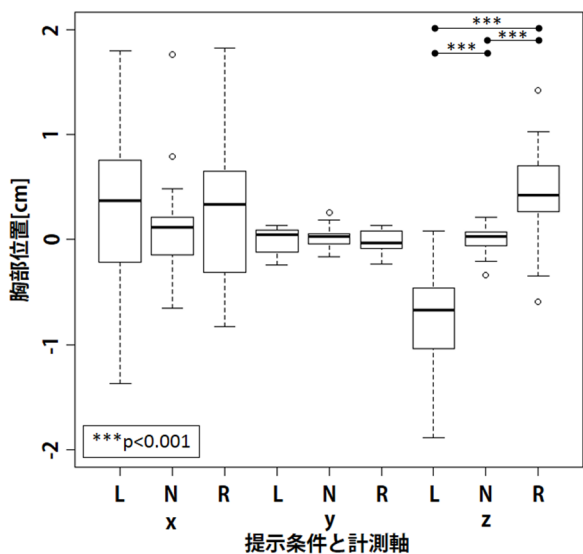


図 4 圧迫条件ごとの胸部位置

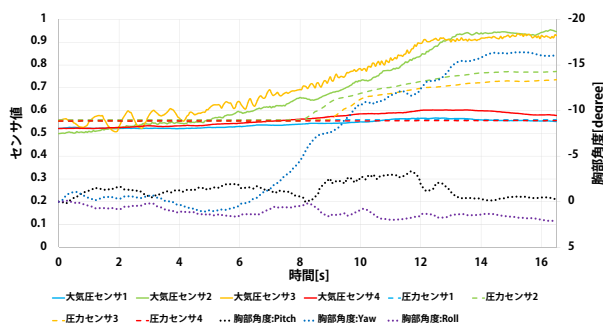


図 5 左回旋条件時の各種センサ値と胸部角度

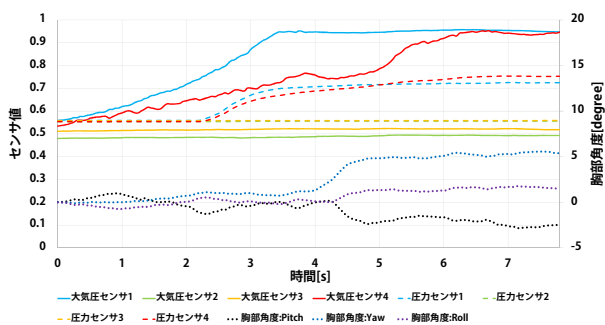


図 6 右回旋条件時の各種センサ値と胸部角度

し、合計で 30 試行を行った。被験者には閉眼するように指示し、力あるいは運動を知覚した場合は抗わずに自然にいるように指示した。

### 5.3 実験結果

本実験の座標は左手系であり、被験者から見て後が x 軸正の方向、上が y 軸正の方向、右が z 軸正の方向である。図 7 は各条件における全被験者の腰部角度の最大値を示している。横軸は測定している角度の種類 (Pitch: Pitch 軸, Yaw: Yaw 軸, Roll: Roll 軸) および実験条件 (B: 後並進, F: 前並進, L: 左並進, N: 圧迫無し, O: 全圧迫, R: 右並進) を示している。縦軸は胸部の角度[degree]である。図 8 は各条件における全被験者の胸部位置の最大値を示している。横軸は測定している軸の種類 (x,y,z 軸) および実験条件を示している。縦軸は胸部の位置[cm]である。これらに関して Tukey-Kramer 法で多重比較を行った結果、図 7、図 8 に示したように有意差が確認された。

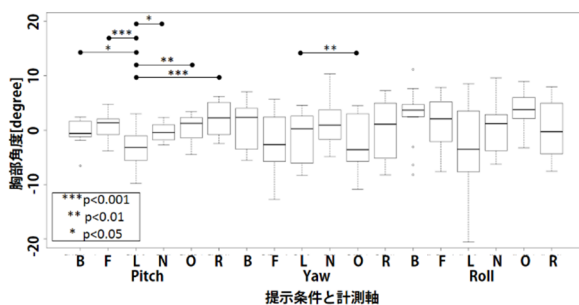


図 7 圧迫条件ごとの胸部角度

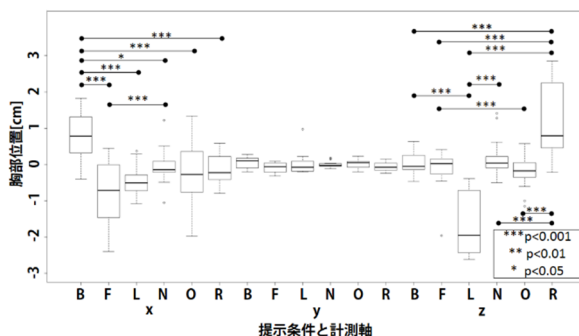


図 8 圧迫条件ごとの胸部位置

## 5. 実験 2 : 腰部並進実験

### 5.1 実験概要

開発したデバイスを用い、腰部への並進力の生起を確認する実験を行った。実験 1 と同様のセットアップを用いた。

### 5.2 実験条件・実験手続き

被験者は 3 名 (男性 3 名, 22~24 歳) であった。実験条件は図 2 に示す条件のうち圧迫無し, 全圧迫, 右並進, 左並進, 前並進, 後並進の 6 条件を 5 回ずつランダムに提示

## 6. 考察

図 3, 図 4 より左回旋条件と右回旋条件の時, Yaw 軸に約 25°, Roll 軸に約 5°, z 軸に 1~2cm の運動が計測された。Roll 軸に運動が計測された要因として, 上半身が大きく回旋した結果, 肩が上がってしまったと考えられる。また, z 軸に運動が計測された要因として, 今回身体の角度と位置の計測を胸部の中心に取り付けた再帰性反射マーカーを計測することで行ったため, 上半身の回旋に伴い



マーカーが z 軸方向に移動したことが考えられる。これら  
のことを考慮すると開発したデバイスを用いた腰部圧迫  
によって回旋力の提示と回旋運動が生じたと言える。

図 5, 図 6 より左右回旋条件において対抗する 2 点が  
圧迫されていることが確認でき, さらに提示圧力の増加に  
伴って Yaw 軸の角度が増加していることが確認できる。  
これにより, 提示圧力を変化させることで腰部の回旋角度  
を制御可能であることが示唆された。

また, 実験 1 の被験者コメントとして, 「バルーンで圧  
迫される以外に, アルミニウムフレームが腰に当たって押  
される感じがした」「強い回旋運動を感じた」というコメ  
ントがあった。

図 7, 図 8 より, 無圧迫条件と左並進条件, 右並進条件,  
前並進条件, 後並進条件との間に有意差が確認された。ま  
た, 全圧迫条件との間には前並進条件以外の 3 条件との間  
に有意差が確認された。これらにより開発したデバイスを用  
いた腰部圧迫によって並進力の提示と並進運動が生じたと言  
える。

また, 実験 2 の被験者コメントとして, 「最初は圧迫で  
押される感じがするが, 一定の圧迫を超えると引っ張られ  
る感じがする」「並進運動も感じるが, 重心動揺も感じる」  
「倒れそうになった」というコメントがあった。

## 7. おわりに

本稿では腰部に対して圧迫と皮膚のせん断変形を提示  
するデバイスを提案した。開発したデバイスを用いて, 左  
右回旋運動と前後左右並進運動の生起を確認する実験を  
行った。実験の結果, 左右回旋運動と前後左右並進運動の  
生起を確認した。また, 腰部圧力の計測により, 提示圧力  
を制御することで腰部回旋運動の強度を制御可能である  
ことが示唆された。

今後は, 開発したデバイスを小型でウェアラブルな力覚  
提示装置としていくとともに, 空気圧アクチュエータによ  
る適切な圧迫位置の検討や重心動揺の計測を行い, 最終的  
には実世界とバーチャル世界での歩行ナビゲーションに  
応用していく。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K12079 の助成を受けたもの  
です。

## 参考文献

[1] K. Tsukada, M. Yasumura: ActiveBelt: Belt-type Wearable

- Tactile Display for Directional Navigation, Proceedings of  
UbiComp2004, Springer LNCS3205, pp.384-399, 2004.
- [2] J. B. F. V. Erp, H. A. H. C. V. Veen, C. Jansen, T. Dobbins.:  
Waypoint navigation with a vibrotactile waist belt, ACM  
Transactions on Applied Perception, vol. 2, no. 2, pp. 106-  
117, 2005.
- [3] H. Kawaguchi, T. Nojima: STRAVIGATION: a vibrotactile  
mobile navigation for exploration-like sightseeing ,  
proceedings of Advances in Computer Entertainment,  
LNCS7624, pp. 517-520, 2012.
- [4] T. Amemiya , H. Gomi: Buru-Navi3: Behavioral  
Navigations Using Illusory Pulled Sensation Created by  
Thumb-sized Vibrator, ACM SIGGRAPH 2014 Emerging  
Technologies, 2014.
- [5] Y. Imamura, H. Arakawa, S. Kamuro, K. Minaizawa,  
S. Tachi: HAPMAP-haptic walking navigation system with  
support by the sense of handrail, ACM SIGGRAPH 2011  
Emerging Technologies, 2011.
- [6] 杉本麻樹, 渡邊淳司, 安藤英由樹, 前田太郎:前庭感覚  
刺激による歩行方向の誘導ーパラサイトヒューマン  
研究第 17 報ー, 日本バーチャルリアリティ学会第 8  
回大会論文集, pp.339-342, 2003.
- [7] M. Furukawa, H. Yoshikawa, T. Hachisu, S. Fukushima,  
H. Kajimoto: “Vection field” for pedestrian traffic control,  
Augmented Human 2011, 2011.
- [8] M. Pfeiffer, T. Dunte, S. Schneegass, F. Alt, M. Rohs:  
Cruise Control for Pedestrians: Controlling Walking  
Direction using Electrical Muscle Stimulation, CHI2015,  
2015.
- [9] Y. Kon, T. Nakamura, M. Sato, H. Kajimoto: Effect of  
Hanger Reflex on Walking, IEEE Haptics Symposium  
2016, April 8-11, 2016.
- [10] 白井祐太郎, 西岡靖貴, 安田寿彦, 山野光裕: 常時着  
用によって生じる筋衰退の予防を目的とした空気圧  
コルセットの提案, ロボティクス・メカトロニクス講  
演会 2016, 2016.
- [11] 佐藤未知, 松江里佳, 橋本悠希, 梶本裕之: ハンガー  
反射ー頭部圧迫による頭部回旋反応の条件特定と再  
現ー, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19,  
No.2, pp.295-301, 2014.
- [12] 佐藤未知, 中村拓人, 梶本裕之: ハンガー反射にお  
ける皮膚せん断変形による触錯覚と運動誘発, 第 5  
回テレグジスタンス研究会, 2014.
- [13] 中村拓人, 今悠気, 佐藤未知, 旭雄士, 梶本裕之: 身  
体全体でのハンガー反射, 第 16 回力触覚の提示と計  
算研究会, 2015.
- [14] T. Nakamura, T. Nishimura, M. Sato, H. Kajimoto:  
Application of Hanger Reflex to wrist and waist. IEEE VR  
2014, 2014.