

# 前庭電気刺激によるナビゲーション手法

小椋 恵太<sup>1</sup> 丸山 一貴<sup>1</sup>

**概要：**前庭を電気刺激することで平衡感覚を変化させる前庭電気刺激 (GVS) と呼ばれる研究分野がある。GVS では、体が大きく傾くほどの変化を与えることができるため、バーチャルリアリティ関連分野などで利用されている。本研究では、GVS を用いた位置ナビゲーションの可能性について確認を進めると同時に、位置ナビゲーションに支障が出ないような、体が強く傾かない程度の電流値について調査を行った。これにより、個人差や状況によって効果の変動が確認されたため、この問題を解決するためのキャリブレーションについて提案を行った。

## 1. はじめに

人の平衡感覚は、目や前庭などの情報によって認識される感覚に基づいている。この平衡感覚を制御する研究として、前庭電気刺激 (GVS<sup>\*1</sup>) がある。GVS では、電気刺激によって前庭を刺激し、平衡感覚を変化させることができる。

従来の GVS 研究では、人体に悪影響を及ぼさない範囲での電流によって体の傾きや歩行への影響について調査されてきた。現在では、VR(バーチャルリアリティ)などで、疑似的な加速感を得る手段として利用されている [1][2]。安藤ら [2] は、GVS を用いることで、歩行中の目的地案内ができる応用について言及している。しかし、目的地案内での利用を考えたとき、既存の研究では電気刺激によって体が大きく傾いてしまい、転倒するなどの危険がある。この問題については、刺激する電流量や時間を調整することで影響を最小限にできるが、適切な値については調査されていない。

本研究の目的は、GVS による位置ナビゲーションを実現するために、体の傾きを知覚できる最低限の電流値について調査することである。

## 2. 関連研究

Richard ら [1] は、平衡感覚を GVS によって乱し、バランスを維持するゲームを提案している。本研究とはバランスを崩すほどの大きな刺激を行わない点で異なる。

安藤ら [2]、前田ら [4] は、GVS の基礎的研究を行っている。安藤ら [2] は、作例、応用例について述べており、本研究の目的である GVS による位置ナビゲーションについて

も言及している。安藤ら [3] は、GVS によって他の物体の傾きと平衡感覚を連動させ、普段意識することのない感覚を体験できるシステムを開発した。前田ら [4] は、無意識に背後から来る物体を回避するシステムの提案なども行っている。前田ら [5] は、GVS によって音楽に合わせて体を左右に振るシステムを提案している。これらの研究と比べ本研究では、体を傾かせる用途ではできる限り使用せず、弱い傾きの変化によって情報を提示するという点で異なる。

山下ら [6]、永谷ら [7] は GVS に体の傾きの調査の他に、GVS によって視界が回旋したと知覚されることについて述べた。本研究では、電流値が低くあっても視覚の回旋が発生する場合もあることに注意して実験を行った。

F. Ehtemam ら [8] は、通常の GVS についてと微弱な電流によって前庭を刺激する nGVS(\*2) について、モーショントラッキングを用いて調査を行っている。nGVS は身体バランスの向上などの効果があり、医療分野において研究されている。本研究では、nGVS については調査を行わないこととし、体はわずかに傾く程度の電流について調査を行った。

## 3. 提案手法

本研究では、従来の研究とは異なり、わずかに体が傾く程度の GVS を用いて位置ナビゲーションを行う。位置ナビゲーションでは、目的地に向かうことを想定し、GVS によって、どちらの方向に向かえば良いかを指示するシステムを想定する。

本研究では、安藤ら [2]、binzume[9] で利用された装置を参考に、200V 0mA～200V 1mA を出力する装置を作成し、実験を行う。また、他の GVS 研究 [2][3][4][5] では 300V の

<sup>1</sup> 明星大学 情報学部  
School of Information Science, Meisei University

\*1 Galvanic Vestibular Stimulation

\*2 noisy Galvanic Vestibular Stimulation

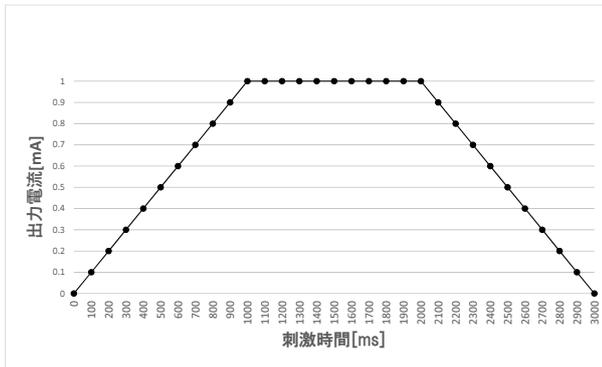


図 1 実験で用いた電流波形 (1mA 刺激時)

電源を用いて実験を行っているが、舌などの前庭以外の器官に電流が流れてしまいナビゲーションとしては望ましくない。そのため、電圧は binzume[9] が実験に用いていた 200V とした。GVS で用いる電流波形については、安藤ら [2] を参考に図 1 に示す台形波形を用いて、電流値、刺激時間を調整しながら実験を行った。

#### 4. 実験方法

本研究では、被験者を募り実験を行う。被験者は平衡感覚の健全な年齢 20~22 歳の男性 9 名である。実験では、位置ナビゲーションとしての利用を考え、体は大きく傾かない程度であるが、加速感を感じる電流に関する調査を行う。GVS では、様々な要因によって効果の強弱が変化することが考えられる。例えば、平衡感覚を知覚する視覚や関節の傾きの影響などである。本研究では、それらの変化を考慮し以下の手順によって実験を行った。

- (1) 姿勢は着席時と起立時それぞれで実験を行う。
- (2) 被験者は目を閉じた状態で、どちらの方に傾いたか口頭で答える。
- (3) 被験者が正しく回答した場合は電流値を下げ、誤って回答した場合は電流値を上げる。これにより、正しく回答できる最低限の電流値を確認する。

実験中、回答した方向と GVS で指示した方向が異なる場合、目を開けて再度刺激を行い、どちらの方向に傾いたか回答するようにした。また、着席時、猫背であると傾いたと感じにくくなるような働きが確認できたため、背筋を伸ばすように指示した。

#### 5. 実験結果

実験の結果、正しく傾きを回答できる電流値について、着席時と起立時では類似した結果が得られた (図 2, 図 3)。GVS による傾きについて、どちらの姿勢においても、被験者 d は方向を認識しやすく、被験者 i は、左方向の傾きを認識できなかった。この問題については、より高い電圧、電流で刺激すれば傾きを認識できるようになる可能性もあるが、詳しい調査は行わなかった。

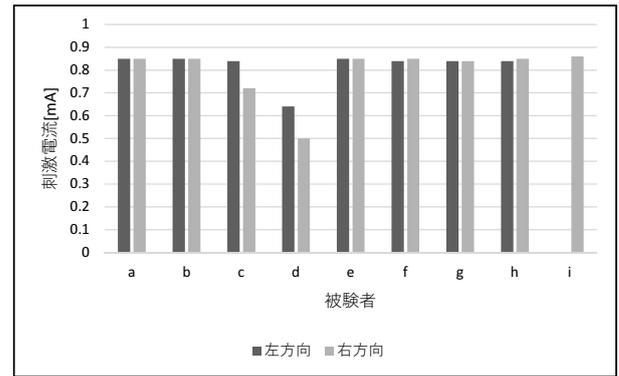


図 2 正しく傾きを認識できた最小の電流値 (着席時)

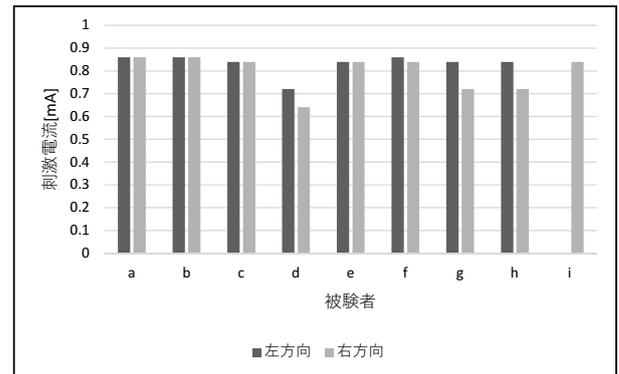


図 3 正しく傾きを認識できた最小の電流値 (起立時)

実験中は、電流値が低くなればなるほど、実際に傾いた方向と逆の方向を回答することが多く見られた。認識できる電流値については着席時、起立時共に 0.85mA の電流であれば多くの人が正しい方向を回答した。

#### 6. 考察

##### 6.1 GVS の効果に対する阻害要因

本研究では他の器官への影響を考慮し、従来の研究より低い電圧で実験を行ったが、高い電圧に比べ、適切な電流が前庭に伝わらず傾きを知覚しづらい可能性がある。被験者 i のように、1mA までの電流値では正しく方向が認識できなかった場合は、電圧を上げることで認識できるようになると考えられる。また、前述の通り、適切な電流値が姿勢や体調によって変化する可能性がある。姿勢については背筋を伸ばしているときのように頭頂部から背筋まで一直線になっていればいるほど GVS による影響が大きくなると考えられる。実験では、この姿勢の影響を排除するように、実験を行った。

これらの影響については、本研究では詳しい調査は行わなかったため、今後、より詳しい調査が必要である。

##### 6.2 ナビゲーションを実現する上での課題

本研究では、ナビゲーション利用を考えた際の電流値について調査を行った。実験中に見られた左右を誤って回答

してしまう誤認問題は、電流値が低いほど多く発生する。これは、GVSによって体が傾いたことに気付かずに刺激が終了した際、正常な傾きに戻る動作を誤認してしまうことから発生していると考えられる。そのため、実験中では誤った回答をした場合、電流値を上げる事で誤認問題の発生を減らした。

### 6.3 キャリブレーションについて

本研究では、個人差による効果の違いや体調によって正しく傾きを認識できる電流値に差があることに対して、これらの差をキャリブレーションする手法を提案する。キャリブレーションでは実験同様、使用者が傾いたと感じた場合は電流値を下げ、傾いてないと感じた場合は電流値を上げることで適切な電流値を調整する手法が望ましい。キャリブレーションの際に方向を誤認する可能性がある問題は、使用者本人が傾く方向を事前に知っていれば誤りが分かるため無視できる。

GVSによる位置ナビゲーションを行うことを考えた時、位置ナビゲーションを行う前に一回、キャリブレーションを行う必要がある。このキャリブレーションは、個人差による効果の変動は初回のキャリブレーションで吸収できるが、体調による効果はその都度で異なるため毎回行う。これにより、個人差や体調による効果の変化を吸収できる。このキャリブレーションは左右合わせて1分程度(内30秒は刺激時間)で完了すると思われるが、GVSを用いた刺激には制限時間がある。これは安全上に設けられている制限であるため、キャリブレーションと位置ナビゲーションによる刺激時間に配慮する必要がある。

## 7. まとめ

本研究では、位置ナビゲーションを想定したGVSについて実験を行った。実験では、GVSによって体が左右どちらかに傾いた回答し、想定した方向と一致しているかを確認した。実験では、電流が低くなればなるほど想定した方向とは逆の方向を誤認することが多くなることが確認された。また、被験者の姿勢や体調によってGVSによる効果が変化する可能性を確認した。そのため、位置ナビゲーションを行う際は事前に使用者の状態に合わせたキャリブレーションを行う必要がある。しかし、GVSは安全上のガイドラインに従い、刺激には時間制限があるため、キャリブレーションによって位置ナビゲーションに利用可能な時間が減少する問題がある。

今後は、被験者の姿勢によってGVSの効果が変化する仮説の検証を行う予定である。これにより、今後のGVS研究での実験手法の精度向上ができると考えられる。また、被験者iのように1mAの電流でも傾きを感じることができない場合については、電流や電圧を上げることで想定した効果になるよう、調査を行う予定である。

## 参考文献

- [1] Richard Byrne, Joe Marshall, Florian ‘Floyd’ Mueller, Balance Ninja: Towards the Design of Digital Vertigo Games via Galvanic Vestibular Stimulation, CHI Play 2016, pp.159–170(2016).
- [2] 安藤英由樹, 渡邊淳司, 前田太郎, 前庭電気刺激を利用した平衡感覚インタフェース, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, pp.837–840(2008).
- [3] 安藤英由樹, 吉田知史, 前田太郎, 渡邊淳司, Save Yourself!!!—前庭刺激による平衡感覚移植体験—, TVRSJ, Vol. 12, pp.225–232(2007).
- [4] 前田太郎, 安藤英由樹, 渡邊淳司, 杉本麻樹, 前庭感覚電気刺激を用いた感覚の提示, バイオメカニズム学会誌, Vol. 31, pp.82–89(2007).
- [5] Maeda T., Ando H., Amemiya T., Nagaya N., Sugimoto M. and Inami M.: Shaking the World:Galvanic Vestibular Stimulation As A Novel Sensation Interface, SIGGRAPH 2005 E-tech, (2005).
- [6] 山下洋平, 石井雅博, 左右乳様突起への定電流刺激による視運動知覚, 映像情報メディア学会誌, Vol. 65 No. 6, pp.816–820(2011).
- [7] 永谷直久, 杉本麻樹, 新居英明, 前田太郎, 北崎充晃, 稲見昌彦, 前庭感覚電気刺激による視覚への影響, TVRSJ, Vol. 10, pp.475–484(2005).
- [8] F. Ehtemam, P. A. Forbes, A. C. Schouten, F. C. T. van der Helm, R. Happee, Galvanic Vestibular Stimulation Elicits Consistent HeadNeck Motion in Seated Subjects, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 59 No. 7, pp.1978–1984(2012).
- [9] GitHub - binzume/gvs: Galvanic vestibular stimulation. <https://github.com/binzume/gvs>, (参照 2017-12/5).
- [10] 渡邊淳司, 安藤英由樹, 朝原佳昭, 杉本麻樹, 前田太郎, 靴型インターフェースによる歩行ナビゲーションシステムの研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 46 No. 5, pp.1354–1362(2005).