



GVS における加速度感覚提示の際の電極間ショートによる 回り込み電流の抑制手法の提案

Proposal of a Method for Suppression of Circulation Current due to Short-circuit
between Electrodes during Acceleration Sense Presentation in GVS

渡邊理翔¹⁾, 原彰良^{2,3)}, 古川正紘^{2,3)}, 前田太郎^{2,3)}
Ryo Watanabe, Akiyoshi hara, Masahiro Furukawa, Taro Maeda

- 1) 大阪大学工学部電子情報工学科 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1, ryo-watanabe@hiel.ist.osaka-u.ac.jp)
- 2) 大阪大学大学院情報科学研究科, (大阪府吹田市山田丘 1-4)
- 3) 日本学術振興会特別研究員(DC1)
- 4) 独立行政法人 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター

GVS は加速度感覚を提示したい方向に向けて前庭器官に貫通電流を流すことによって, 感覚提示を実現する. Roll 軸回りの回転感覚提示を GVS で行う際に, Roll 軸回りの回転感覚に加え, 期待されない方向への漏れ電流による Yaw 軸回りの回転感覚が生じてしまう. 本稿では, 副次的な方向への感覚印象を抑制するために, 漏れ電流を抑制する『電極間ショートによる回り込み電流の抑制手法』を提案し, 従来手法と比較を行う.

キーワード: GVS, 加速度感覚提示, 電流経路仮説, 神経電気刺激

1. はじめに

前庭疾患の検査で用いられていた電気性身体動揺検査を, 前庭感覚提示のインタフェースとして利用するのが前庭電気刺激(GVS: Galvanic Vestibular Stimulation)である[1]. GVS はモーションプラットフォームや加振機などと異なり, 直接身体を揺らすことなく加速度感覚提示ができるため, 軽量かつ安価な装置として注目されている.

GVS は左右の乳様突起上に電極を設置し, 電極間に電流刺激を印加すると左右方向への加速度感覚を生起し, 陽極方向への身体動揺が生じる.

しかし, GVS で左右方向への加速度感覚提示を行う際, Yaw 軸回転加速度感覚が同時に生じてしまうことが知られている[2]. Roll 軸回りへの感覚提示(LDS: Lateral Directional Stimulation)の際に Yaw 軸回りの回転が生じてしまうことが示されている. これは LDS の場合に左右の耳石器を貫通する成分だけではなく, 前方向の経路を通じた, Yaw 軸回りへの感覚提示(ODAS: Opposite Directional Anteroposterior Stimulation)の際と同じ電流成分を含む回り込み電流が生じることが原因であるとしている. これは, Roll 方向のみの感覚提示を実現しておらず, Yaw 方向への感覚提示と未分離であることを意味しており,

GVS による感覚提示の自由度を上げた一方で, 正確な加速度方向の間隔提示を実現していないことを意味する. また, 青山らの主観回答方法では, LDS の際に加速度感覚が Roll, Pitch, Yaw の三方向のいずれかを答えさせているため, Roll を選択した時に Yaw 回転感覚が存在したかを問えていない.

そこで本稿では, 漏れ電流を抑制する『電極間ショートによる回り込み電流の抑制手法』を提案し, Roll 軸回りへの感覚提示における Yaw 方向加速度感覚の有無の主観報告を用いて従来手法と比較し評価を行った. これによって主観的に Yaw 方向回転感覚が従来手法により生じるか, 提案手法により抑制可能かを検証する.

2. 混合加速度成分の原因とその抑制法

青山らの提案した従来の四極 GVS 回路は図 2.1 のように 3 つの定電流源で実現されている.

この提示手法で左右方向の前庭感覚を提示する場合には, 図 2.1 の B の電流源のみを用いて, 電流を流す(図 2.2). その際, A, C の電流源は切り離された状態となっており, 前節で述べたとおり, 電流の多くは乳様突起間を流れる(黄色矢印)一方で, 乳様突起-こめかみ間の経路と左右のこめかみ間の経路通った回り込み電流も存在す

る(赤色矢印). この回り込み電流は前庭感覚器に、Yaw 回転方向の加速度感覚を惹起する青山らの提案している ODAS と等価な刺激とみなすことができる。

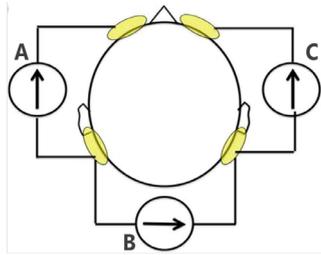


図 2.1 従来の4極 GVS 刺激手法[[2]より改変]

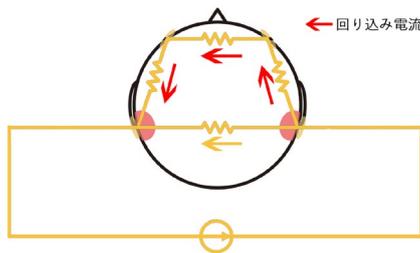


図 2.2 左右方向への前庭感覚を提示する従来手法

そこで本論では、回り込み電流の抑制を行うために、左耳介裏の乳様突起部分と左こめかみ、右耳介裏の乳様突起部分と右こめかみをショートする『電極間ショートによる回り込み電流の抑制手法』を提案する(図 2.3). 左右それぞれにおける前後の電極をショートすることで、前後の電極を同一電位に揃えることができる。これにより、前後方向における電位差が存在しないことから、耳石器を前後に貫通する回り込み電流が生じない。そのため、従来の二極と四極 GVS で左右方向の刺激を与える時に生じる ODAS と等価な刺激が発生しないと考えられる。

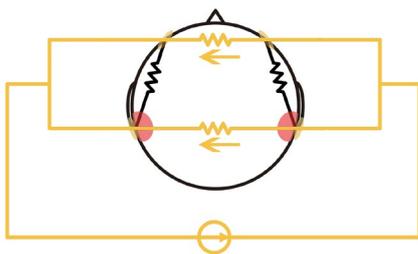


図 2.3 左右方向前庭感覚を提示する提案手法

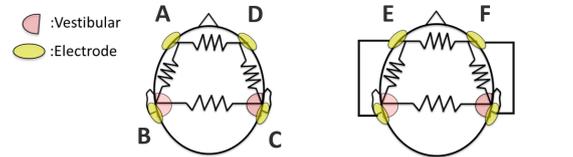
3. 実験

本実験では、従来手法と提案手法で LDS の際の、主観的な Yaw 方向回転感覚を比較することを目的とした。

3.1 実験方法

被験者は内耳に病歴のない健康な成人男性3名であった。実験前に、すべての被験者からインフォームド・コンセントを得た。実験は静かな実験室で行った。被験者の耳の後ろの乳様突起上とこめかみの皮膚をアルコール

で拭いた後、ゲル電極(クリアローデ TEO-174DCR, フクダ電子)を乳様突起上とこめかみ上に固定した。その際に、図 3.1 に示す各電極間の抵抗を計測し、AD・CD・AB・BC 間の抵抗が 2kΩ 以下かつ各電極間抵抗値の差が 200Ω 以内になるまで皮膚処理と電極の設置を繰り返した。



	AD間抵抗	CD間抵抗	AB間抵抗	BC間抵抗	EF間抵抗
被験者A	1.2kΩ	1.1kΩ	1.2kΩ	1.2kΩ	0.50kΩ
被験者B	0.93kΩ	0.95kΩ	0.91kΩ	0.94kΩ	0.50kΩ
被験者C	1.1kΩ	1.1kΩ	0.90kΩ	0.90kΩ	0.43kΩ

図 3.1 電極間抵抗の計測位置と結果

被験者は水平な床の上に裸足で立ち、真っ直ぐに前を見た後、閉眼ロンベルク立位姿勢をとった。実験者の合図の後に刺激の印加を開始し、閉眼時の身体動揺として、頭部の Roll 方向の傾き角度と Yaw 方向の回転角度を計測した。

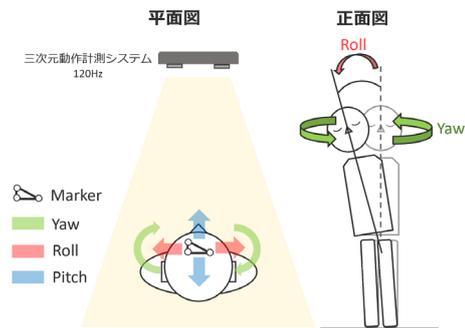


図 3.2 実験計測環境

3.2 刺激方法

電流刺激条件は図〇〇に示すとおりである。まず、3mA または-3mA のいずれかの GVS 刺激を 10 秒間印加した。刺激方法は、従来手法である図 2.2 と提案手法である図 2.3 の 2 条件と提示電流極性の 2 条件、計 4 条件であり、同一条件を各 10 施行、計 40 施行を実施した。

3.3 計測方法

各電極に流れ込む電流量は各電極に直列に接続された 100Ω の抵抗の両端電圧を計測することにより計測された。頭部の傾き角度は 3 次元位置計測センサ (OptiTrack V120: Duo) を使って、計測周波数 120Hz で GVS 刺激印加 1 秒前から 10 秒後まで計測された。計測したデータは高周波ノイズ除去のための 5Hz ローパスフィルタをかけ、刺激印加前の 1000ms 間のデータの平均値で差し引かれた。これによって、頭部の初期角度からの変化量を計算し、

これらを刺激開始時間に合わせて条件ごとに加算平均された。また、主観回答として、試行ごとに Yaw 回転が感じたかどうかの強制二択で定性的な主観回答アンケートを取り、また主観体験の口述を録音した。

4. 結果

4.1 主観報告

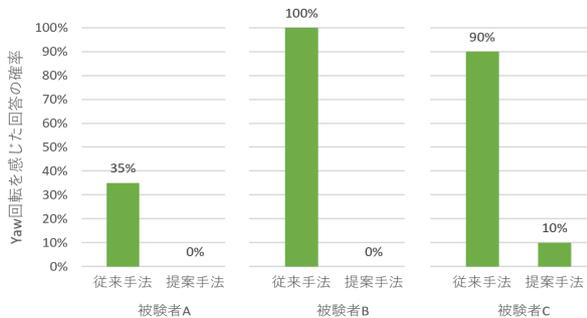


図 4.1 被験者が Yaw 軸回転を感じた主観回答回答確率

図 4.1 は従来手法と提案手法における GVS 印加時の Yaw 軸回転印象が生じたと回答した確率である。各被験者について左に従来手法、右に提案手法において Yaw 軸回転印象が生じた回数を条件施行数で割った結果である。この図から、主観として、従来手法に対して提案手法が回転印象を抑制していることがわかる。また、口述では、被験者 C は従来手法では乗り物酔いのような感覚が生じたが、提案手法ではその感覚が生じなかったという興味深い報告をしている。

4.2 身体動揺計測

計測装置の不調により、被験者 C は身体動揺の計測データが欠損していたため、ここでは、被験者 A 並びに B についての結果を示す。図 4.2 は被験者 A, B における Roll 方向と Yaw 方向の頭部の傾き角の加算平均結果である。横軸の 0sec は刺激開始を表しており、Roll における正の方向が右方向への傾き角度、Yaw における正の方向は反時計回り方向への傾き角度を示している。この図から、従来手法と比べて提案手法では Yaw 回転成分は縮んでいるが同時に Roll 成分の回転成分も縮んでいる。この理由として、提案手法では、前後方向への回り込み電流が減少する一方で、左右方向への電流も同時に減少させてしまう事が挙げられる (図 4.3)。よって、提案手法の効果を見るために、各条件ごとに平均化した Roll 角と Yaw 角の相関を可視化した結果を図 4.4 に示し、各条件に対し、直線回帰を行った結果を表〇〇に示す。また、Roll 方向への身体動揺と Yaw 方向への身体動揺の比を時刻 2 秒から 10 秒の各点でとり、平均と標準偏差を求めた結果を、図 4.5 に示す。

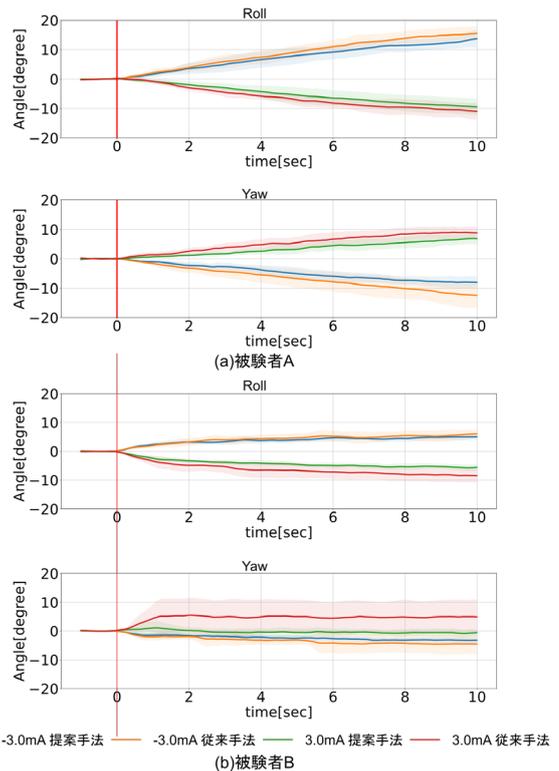


図 4.2 被験者 A, B における頭部 Roll 方向傾き角並びに Yaw 方向傾き角の時間変化

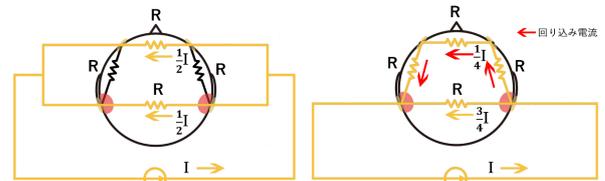


図 4.3 各種法における各経路の電流量見積り

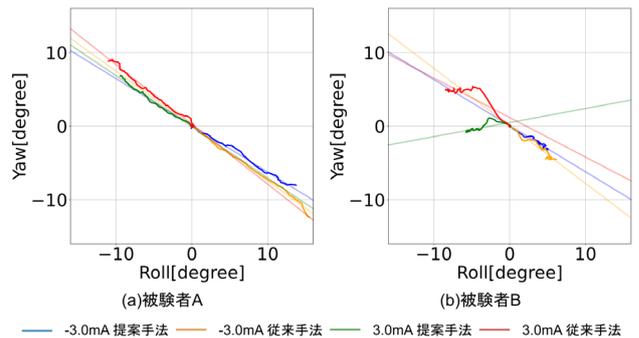


図 4.4 Roll-Yaw 平面での身体移動軌跡

表 4-1Roll-Yaw 平面での直線回帰結果

被験者	実験条件	回帰直線	決定係数
被験者A	-3mA提案手法	$Yaw = -0.635Roll + 0.106$	0.992
	-3mA従来手法	$Yaw = -0.745Roll + 0.024$	0.994
	3mA提案手法	$Yaw = -0.696Roll - 0.097$	0.992
	3mA従来手法	$Yaw = -0.812Roll + 0.232$	0.992
被験者B	-3mA提案手法	$Yaw = -0.627Roll + 0.059$	0.948
	-3mA従来手法	$Yaw = -0.782Roll + 0.035$	0.943
	3mA提案手法	$Yaw = 0.191Roll + 0.489$	0.491
	3mA従来手法	$Yaw = -0.537Roll + 1.166$	0.716

びに日本学術振興会特別研究員奨励費の助成を受けて遂行された。

参考文献

- [1] 安藤英由樹, 渡邊淳司, 杉本麻樹, and 前田太郎, “前庭感覚インタフェース技術の理論と応用,” 情報処理学会論文誌, vol. 48, no. 3, pp. 1326-1335, Mar. 2007.
- [2] K. Aoyama, H. Iizuka, H. Ando, and T. Maeda, “Four-pole galvanic vestibular stimulation causes body sway about three axes,” *Sci. Rep.*, vol. 5, p. 10168, May 2015.

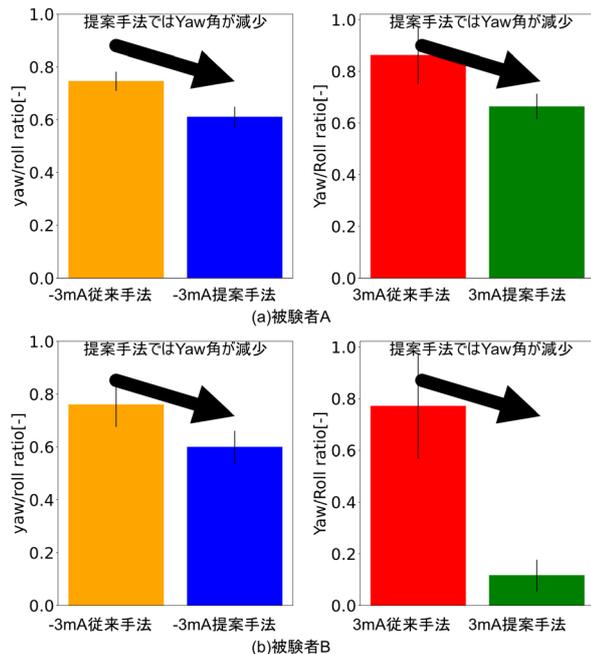


図 4.5 Roll-Yaw 比

被験者 A の場合には Roll と Yaw の間を線形回帰すると非常に高い決定係数で回帰され、20%程度 Yaw 軸回転印象が抑制されることがわかった。被験者 B の場合にも、被験者 A 同様、身体動揺での Yaw 軸回転が抑制されることが示された。

5. 結論

本稿では従来手法では左右方向電流刺激時に必ず生じてしまう Yaw 軸回転という未分離な成分に着目し、それを抑制する手法を提案した。本稿にて従来手法と提案手法による刺激時の身体動揺を調査した結果、以下のことが示された。

- 電極間ショートによる漏れ電流抑制により、Roll 方向加速度提示時における Yaw 軸回転成分が抑制される。
- 漏れ電流による Yaw 軸回転成分の主観報告への影響は、本提案手法でほぼ抑制可能である

謝辞

本研究は本研究はJSPS 科研費 基盤研究(A)19H01121 並