

Study on Non-conformism Operation in Vehicle of Torque

○学 三上 耕司 (日本大学大学院)フェロー 景山 一郎 (日本大学) 正 栗谷川 幸代 (日本大学)

Koji MIKAMI
Nihon University, Izumichō1-2-1,
Narashino-shi, ChibaIchiro KAGEYAMA
Nihon University, Izumichō1-2-1,
Narashino-shi, ChibaYukiyo KURIYAGAWA
Nihon University, Izumichō1-2-1,
Narashino-shi, Chiba

Key Words: Biological Reaction, Coordinated Movement, EMG, Torque Control

1. 緒言

現在, 社会ニーズが多種・多様化していることから, 様々な形態の乗り物の開発が自動車産業において進められている。それに伴い, 最近では全く新しい操縦・操作によって走行するものが提案され, 実用化に至っている。しかしながら, 開発された商品によっては消費者に受け入れられないものもある。この一つの原因として, これらの新しい操縦・操作感覚により制御を行う車両において, 人間がその車両の操縦方法に適応して操縦することができるかが挙げられる。

そこで, 本研究では新しい乗り物として, 人間の重心移動を検出・制御して走行する重心移動系車両(SEGWAY™)を用い, 乗車初期時における人間の動作および車両の操縦性について検討を行う。

2. 乗車初期段階における乗員の様子

2.1. 実験概要

本研究で使用した重心移動系車両は, 操縦方法が従来の乗り物とは異質である。人間の体を前に傾ける, すなわち体重心を前にすると前進し, 後ろにすると後進するものである。この車両を用いて, 被験者15名に対して乗車状態を観察する実験を行った。乗車初期段階における乗員の様子を見ることを目的とし, 被験者一人あたりの乗車回数は15回とした。実験者は被験者に対して, 乗車回数ごとに, 乗り込み時の滑らかさ評価を0~100%のビジュアル・アナログ・スケール(VAS)で実施した。また, 被験者も同様にVASを用いた恐怖感に関する質問として, 「安心-恐怖」を軸とした評価を行った。

2.2. 実験結果

上記実験より, 被験者15名中15名の100%から車両乗り込み時にグラグラと振動する様子が見られた。また, その状態は乗車回数平均3.8回まで持続し, 明らかに車両と人間の動きが非協調的であることが確認された。被験者の恐怖感については乗車初期段階に多いことも確認された。このことより, 乗車前や, 乗車初期の人間と車両の非協調運動により恐怖感が出現し, 不快を感じている結果となった。

3. 乗員の操作と車両状態の関係

3.1. 実験概要

第2節の乗車状態観察実験の結果を元に, 乗車中の人間の状態および車両状態を詳細に検討することを目的として, 生体反応計測実験を実施した。実験は車両乗車直後の状態を検討するため, 被験者には車両乗降のみをさせた。実験は, 実験者の合図により車両に乗車, 約30秒間の停車状態を保たせた後, 再度, 合図により降車させるものである。上記を1セットとして, 14回同様の実験を繰り返した。車両状態の計測には, KEYENCE社製のプログラマブルコントローラをロガーとして用い, 収録周波数1KHzで計測を行った。車両にはジャイロ, エンコーダを取り付け, 表1に示す車両状態量を計測した。また, 人間から車両への操作入力が入人間の重心移動となるため, 足底の荷重をNITTA社製の圧力分布測定システムにて計測した。さらに, 生体反応として, 乗車中の車両との非協調動作を確認したことより, 足の筋電位を計測することとした。計測にはTEAK社製の携帯型多用途生体アンプ・収録装置を用い, 計測周波数は1KHzで行った。計測筋部位は, 車両が前後に走行するという車両動作を考慮し, 足首および膝を屈曲・伸展させる拮抗筋肉を選択した。計測項目は, 膝を動かす筋肉として大腿直筋, 大腿二頭筋, 内側広筋, 外側広筋の4部位, 足首を動かすものとして腓腹筋, 前脛骨筋, ひらめ筋, 短腓骨筋の4部位, 計8部位とした。被験者数は1名で行い, 第2節同様, VASによる恐怖感の評価をさせ, 被験者に対する乗り込み時の滑らかさ評価をした。

3.2. VAS評価結果

被験者の乗車状態に対して, 実験者が行った乗り込み時の滑らかさ評価の結果より, 乗車1~3回目に低い値を示していることが確認できた。また, 4~5回目にかけて20%程の上昇率を示し, 乗車回数が増すにつれて評価が高くなり, 乗車5回目程度から同様の推移を示すことから, 乗り込みの動作が一定状態になってくると推測できる。よって上記結果より, 乗車1, 5および14回目のデータを主に挙げて以下で示す。

3.3. 操作入力・車両出力結果

各乗車回数のピッチ角およびピッチレイトを図1に示す。乗車から約3秒間のピッチ角を見ると, 乗車1回目が-2.6025degと最小値をとっており, 5および14回目と大きく異なっているのがわかる。また, 振動の周期を見ると, 乗車1および5回目は同様の周期となっているが, 14回目では周期が前者よりも短くなっているのが確認できる。ピッチレイトも同様に, 乗車1回目の振幅が最大となり, 周期は14回目が短くなっているのがわかる。これより, 乗車回数が増すにつれて, 乗車の仕方により車両状態が変化していることが推測できる。

Table.1 Measurement Items of Vehicle

Sensing Element	Measurement Items
Gyro	X-Axis Acceleration, Y-Axis Acceleration, Z-Axis Acceleration Roll Rate, Pitch Rate, Yaw Rate Roll Angle, Pitch Angle, Yaw Angle
Encoder	Left Wheel Velocity Right Wheel Velocity

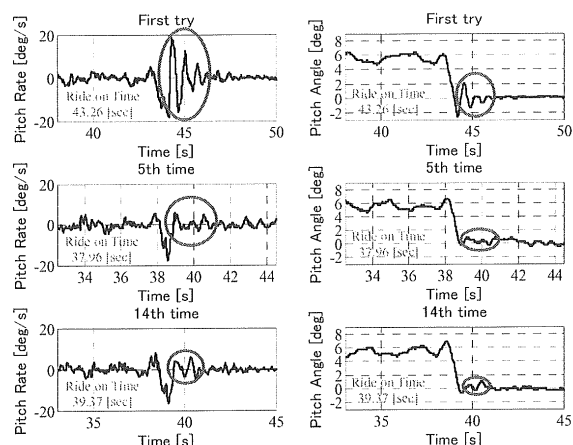


Fig.1 Pitch Rate and Pitch Angle

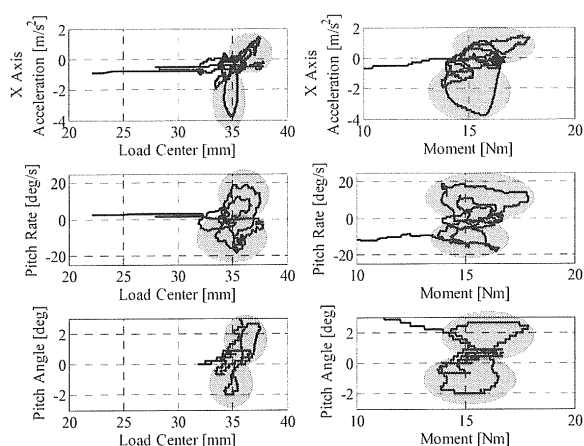


Fig.2 Lissajous figure (First time)

次に、足底圧力分布の結果から荷重中心の変動を見ると、乗車1回目は変動域が大きい。時間の変化に伴って変動の減少が見られ、乗車回数が増すにしたがって変動域も小さくなり、変動が一定になる時間が短くなっていることが他のデータからも現れている。このことから、乗車回数を増すごとに被験者の乗車習熟度が上昇していることがわかる。

更に、車両状態量と人間の操作を入出力関係で考えると、足底荷重中心もしくは足底荷重と荷重中心からなる足底モーメントが入力、車輪速度およびX方向加速度、ピッチレイト、ピッチ角が出力になると思われる。上記の入出力関係について、位相遅れと周波数の違いを見るために、リサージュ曲線を図2に示す。乗車1回目では、各項目において円を描いていることから、入力に対して出力の位相が約 90° 遅れているのがわかる。また、ピッチレイトとピッチ角に関しては8の字を描いていることから、入力と出力の周波数比が2:1になっていることが確認でき、入力周波数が出力に対して高いことが確認できる。乗車5回目、14回目については周波数比は1:1となっており、乗車回数が増えることでこの現象がなくなっていくことが確認できた。また、位相についても同様に、乗車回数に依存して遅れが無くなっていくことがわかった。

車両特性は各乗車回数について一定であることから、上記の変化は人間の入力、つまり人間の足の動作に変化が現れたことからと考えられ、本報告では足の筋電位に注目して検討を行う。

4. 下肢筋肉と車両の協調動作

筋肉は伸展・屈曲・旋回・転回などの役割を併合して持つが、伸展と屈曲は体の前面と後面に分かれて配置されている。本実験で計測した筋電位の処理は、筋電位の絶対値から、棘波のピークを算出して線形補間した。この結果、膝下で計測した足関節に関する筋電位に有意な差が見られた(図3)。乗車1回目には足首を背屈させる前脛骨筋と、底屈させる腓腹筋とひらめ筋、短腓骨筋の拮抗筋同士が同時に活動している様子が見られる。乗車5回目は前脛骨筋の活動はほとんどなくなり、拮抗筋同士が同時に活動する様子もなくなった。14回目では短腓骨筋が活動として顕著に見られたが、拮抗筋である前脛骨筋に活動は見られなかった。また、乗車回数を重ねていくほど、拮抗筋同士が同時に活動する様子は見られなくなっていった。膝上の筋に関して、乗車1～5回目にほぼ共通して一定値の活動電位が降車まで続いていることが確認できる。しかし、6回目以降からは、乗車直後に活動が現れ、乗車中に活動電位が減少する様子が見られ、14回目には乗車初期のみに活動していることがわかった。上記から、乗車初期段階では、足首関節を動かす拮抗筋が同時に活動し、関節の自由度が減少することから、足首が膠着していると考えられる。よって、足首の膠着が原因となり、車両乗車初期段階において車両状態と乗員の操作入力に位相遅れと周波数の違いが現れ、操縦動作としては不安定となり、車両と人間の非協調的動作から、車両が振動する現象が確認されたと思われる。また、膝関節を動かす筋の活動電位にも乗車回数による違いが見られることから、乗車回数増加につれて、乗員の各筋肉活動にバランスがとれ、膝下のみで行っていた操縦から、膝上の筋肉も使用する動作に切り替わっていると考えられる。

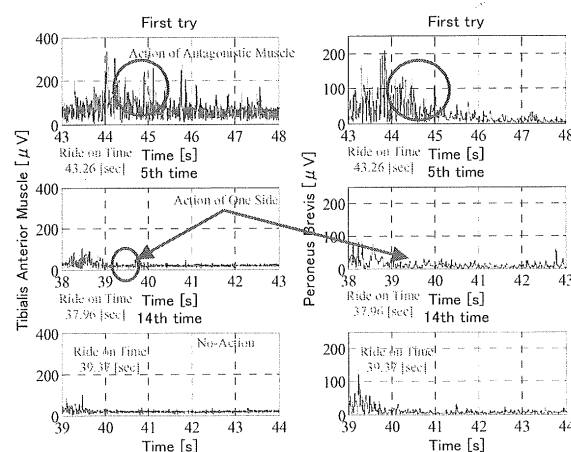


Fig.3 EMG Analysis

5. 結言

本報告は、乗車初期段階における乗員の動作と車両との協調性について、重心移動系車両を用いて足の筋活動に着目して検討を行った。結果、乗車初期段階における足首の膠着が原因となり、車両が不安定な状態になることを示した。このことより、車両の開発段階において、人間の動作特性を考慮した上で開発を行っていくことを提案する。

参考文献

産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門編、人間計測ハンドブック、朝倉書店、2003