

踏み間違い傾向に基づくペダル操作解析

日大生産工(院) ○井上 潤哉

日大生産工 風間 恵介

日大生産工 丸茂 喜高

1. まえがき

アクセルペダルとブレーキペダルの踏み間違いにより発生する事故は、高齢者を中心に近年頻発しており、今後も高齢ドライバが増え続ける日本では喫緊の課題である。踏み間違いは、ドライバが車両を減速・停止させようとペダルを踏み込んだ結果、逆に加速してしまう現象であることから、パニックに陥りやすく、重大な事故につながりやすい。実際に2018年から2020年の3年間で踏み間違いにより1万件近くもの死傷事故が起きている¹⁾。そして踏み間違い事故が発生する場所には傾向があり、最も発生する割合が高い道路形状は駐車場等の一般交通の場所とされている²⁾。このような傾向はドライバが高齢になるにつれて顕著になることから駐車場等は踏み間違いを誘発する要素が多くあると思われる。狭い駐車場内では、歩行者や周りの車両、障害物に注意しながら運転操作をすること、切り返しによりペダルの踏み替えが多くなることなどから、ペダル操作に対する注意が散漫になることが考えられる。また、駐車時等、後方視で後退走行している状況では、ドライバの足の知覚位置に誤差が生じることが報告されている³⁾。高齢者に関しては、身体の衰えにより関節の可動域が減少し、踏み替えに影響を及ぼすことが言及されている⁴⁾。また、若年層に関しても、踏み間違い事故の発生件数は高い。これは運転習熟度が低いことや運転する車に慣れていないことが要因とされている¹⁾。このように、踏み間違いにつながる様々な要因は、ドライバの高齢化による能力の低下や、運転習熟度が低いことなど、ドライバ自身の問題と複合することでペダルの誤操作につながると考えられている。

ペダル操作における足の使い方はドライバごとに異なる。ペダルの踏み替え時の動作は、主にかかとを軸にするタイプと足全体を動かすタイプに二分される⁵⁾。これは、関節の可動域に個人差があることや、車両ごとのペダル配置の影響が考えられる。このように、ドライバが実際にどのようなペダル操作を行っているのかはわかっていない。

本研究では、ドライバのペダルの踏み替え動作に着目し、それぞれのペダルを踏む位置、踏み替えの方法、関節の角度等、ペダル操作時のデータの詳細を計測する。収集したデータから、踏み間違いの発生のメカニズムを足関節の運動の観点から考察する。

2. 実験装置

2.1 システム構成

本実験では、ドライバのペダル操作時の身体動作に関する情報を同時計測するため、実車(スバル・インプレッサ G4)に専用の計測装置を作成した。システム全体の構成を図1に示す。各センサのデータはサンプリング周波数 100 Hz で同期し、同期信号にて開始・停止とイベントマークを統一して記録した。これらのデータは DSP (A&D 社製 AD5436) を介して同期されホスト PC に保存される。

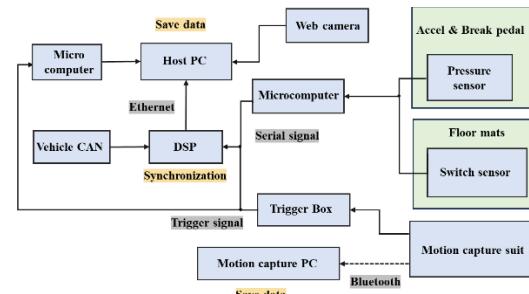


図1 システム構成

2.2 ペダル踏下位置およびかかと位置の測定

アクセルペダルに3つ、ブレーキペダルに8つの圧力センサ(直径15mm)を取り付け、それぞれペダルのどの位置を踏んでいるか、および踏み込みの強さを計測する。また、フロアマットに検出範囲200mm×70mmのスイッチセンサを設置し、ペダル操作時のかかとの位置変化を計測する。スイッチセンサの分解能は20mm×20mmである。各時刻に接地したセンサのセル群の座標から重心座標(x, y)を求めてかかと位置とした。実験車両にセンサを設置した様子を図2に示す。

Pedal Operation Analysis Based on Pedal Misapplication Tendency

Junya INOUE, Keisuke KAZAMA and Yoshitaka MARUMO

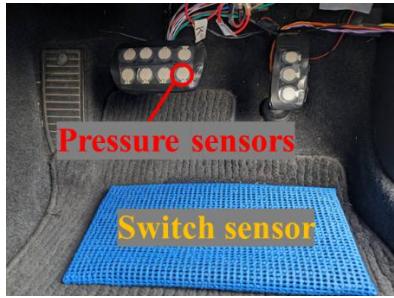


図2 踏下位置測定用圧力センサおよびかかと位置測定用スイッチセンサ

2.3 モーションキャプチャ

図3に実験参加者が着用するモーションキャプチャースーツを示す。運転席という狭所での計測に適するよう、一般的なマーカー式ではなく慣性センサ型のスーツ(Xenoma社製 e-skin MEVA)を用いた。計測対象は、足首の背屈・底屈、内転・外転、回内・回外、および膝関節・股関節の屈曲・伸展、内転・外転、内旋・外旋である。これにより、ペダル踏み替え時の下肢関節運動を取得し、後段の解析で踏み替え前後の相対的な角度変化を評価する。



図3 モーションキャプチャースーツ

2.4 車両CAN

CANアナライザ(Vector社製)を用いて車速、ステアリング角、アクセル開度、ブレーキ圧、前後・横加速度等を取得した。これらは走行状態のラベリング(発進、減速、停止、右左折など)および踏み替え前後の時系列関係の確認に用いた。

2.5 映像記録

Webカメラを用い、ペダル面、足元(かかと周辺)、ドライバ全身(左側方)、車両前方の四視点で録画した。録画開始を同期信号で合わせ、各フレームのキャプチャ時刻を基にセンサデータと同一時刻で記録した。映像は事象の目視確認および図示に用いる。解像度は1920×1080pixel、フレームレートは20fpsとした。

3. 実験方法および測定方法

3.1 実験手順

実験参加者は普通自動車免許を保有する成人3名(20~30代)とした。参加者にはモーションキャプチャースーツを着用させ、実車を運転して通常走行コースおよび駐車実験コースを実施した。なお、本研究における実車実験は、日本大学生産工学部「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認(承認番号:S2025-004)を得て実施した。

3.2 走行条件

(1) 通常走行コース

構内の周回路を走行し、発進・直進・右左折・減速・停止を含む一般的な操作を実施した。実験参加者には普段どおりの運転を指示し、日常的な挙動を取得した。一部区間には駐車動作が含まれるが、特別な課題は課さず、基準的な挙動の取得を目的とした。

(2) 駐車実験コース

20m×8mの敷地内に中央スタート位置と①～④の4つの駐車ポイントを設定し、事前に定めた指示に従い「指定ポイントに駐車→スタート位置へ復帰」を反復させた。駐車実験コースの概略図を図4に示す。コース上には高さ95mmの段差スロープを2か所設置し、低速域での発進・停止・切り返しを誘発してペダル踏み替え機会が増えるようにした。これにより、駐車場シナリオに特有の操作(侵入直後の減速、急減速、ギア操作を伴う発進)を網羅的に含む走行条件を構成した。

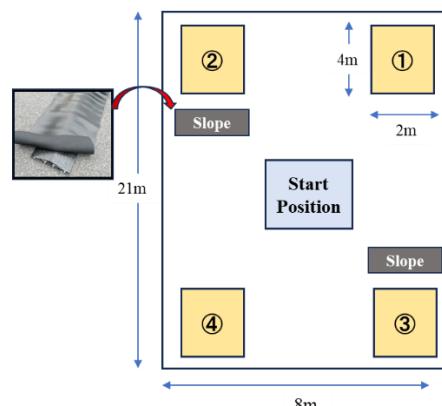


図4 駐車実験コース

4. 実験結果および考察

4.1 駐車時のかかと位置シフト

ブレーキ操作の各試行について、ブレーキ開始を基準に連続3sの区間を抽出し、当該区間

のかかと位置の平均値 $\bar{h} = (\bar{x}, \bar{y})$ を代表値とした。さらに各実験参加者×各条件につき 3 試行を選定し、得られた 3 つの代表値の平均値を通常時と駐車時でそれぞれ h_u, h_p とした。実験参加者 A,B,C ごとの h_u, h_p の値を図 5 に示す。また、条件差によるベクトルを式(1)、移動量を式(2)によって求める。求めた実験参加者ごとの条件の違いによるかかとの移動量を図 1 に示す。

$$\Delta h = h_p - h_u = (\Delta x, \Delta y) \quad (1)$$

$$\|\Delta h\| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad (2)$$

表 1 および図 5 から、実験参加者全員の駐車時におけるかかと位置が通常走行時と比べ左（ブレーキ方向）へ平均 19.2 mm シフトしていることがわかる。また、実験参加者 C においては他の実験参加者と比べかかとを前（ペダル方向）に出す動きが見られた。通常走行に比べ、駐車操作では減速・停止の頻度が高く、ブレーキにアクセスしやすい初期位置が選択されたと解釈できる。

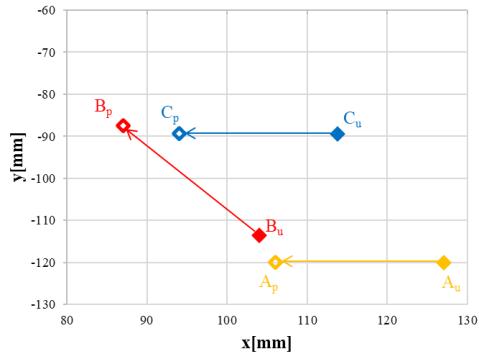


図 5 かかと座標の変位

表 1 かかと座標

	$\Delta x[\text{mm}]$	$\Delta y[\text{mm}]$	$\ \Delta h\ [\text{mm}]$
Subject A	-21.0	0	21.0
Subject B	-19.8	0	19.8
Subject C	-17.0	26.0	31.1

4.2 ポジション変化の発生パターン

本稿では、駐車シーンの前後でかかと位置の x 成分が左（ブレーキ側）へ 10 mm 以上（100 ms 以上継続）遷移した事象をポジション変化と定義する。発生局面は次の 3 パターンに整理された。

(1) 駐車場侵入直後の第一ブレーキ

通常走行コース内の駐車区画へ侵入した直

後、第一ブレーキの時点でかかとが左側へ遷移した事例を 2 名で確認した。そのうち実験参加者 B の例を図 6(a)および図 6(b)に示す。この際かかと位置の変位は $\Delta h_B = (\Delta x, \Delta y) = (-33.0, 0)$ であり、ブレーキ方向に約 33.0 mm 移動している。

(2) 急減速時

駐車実験にてスロープに乗り上げる際など、急減速を伴う場面では、素早い踏み替えに合わせて左方向へシフトする例が見られた。これはブレーキ優先の初期位置を反射的に確保する挙動と考えられる。

(3) 駐車実験開始時の初期姿勢

駐車実験の開始時には、3名全員がブレーキ側にかかとを置いた初期姿勢であった。対照的に通常走行の発進では、もともとブレーキ側に構えていたポジションをアクセル側へシフトして発進する例が 2 名で確認された。すなわち、駐車シナリオでは開始時からブレーキ重視のポジションが選択される一方、通常走行では発進時に加速重視へ移る傾向がある。



(a) Before



(b) After

図 5 かかとのポジション変化

4.3 ポジションによる関節角度の影響

駐車場で起こったポジション変化（図 6）の際の右足首の内外転の値を図 7 に、また右膝関節の内外旋の値を図 8 に示す。いずれの図でも

33s付近から駐車動作が始まっている。通常走行時と比べ、関節角度の動きに変化がでている。駐車開始後とその直前のブレーキ時およびアクセル時の関節角度を3試行分抽出し、その平均値を表2,3に示す。表2,3から実験参加者Bの場合、通常時はペダルの踏み替え時に右足首(内外転)を平均17.1°、右膝関節(内外旋)を平均14.1°用いていた。駐車区画に入り、かかと位置がブレーキ側にシフトした後、ブレーキ時の右足首の外転角度が駐車前よりも平均7.6°増加している。これは、ポジション変化後はブレーキ時に足首関節を内転させずに踏み込むようになったためである。また、図8から、駐車時の外旋角度が駐車動作前と比べブレーキ時に平均で2.2°小さくなり、アクセル時に平均で6.2°大きくなっている。踏み替え時の変化量は通常時と比べ4.0°大きくなっている。これは足首の内外転の変位が7.2°小さくなったため、その分膝の関節を大きく動かすことで補っている。ポジションが変わった後も足首の外転の最大値がほぼ不变($\Delta(p-u)=0.4$)であり、足首関節側の可動域に余裕が少ないため、調整は主に膝側で行われていると考えられる。

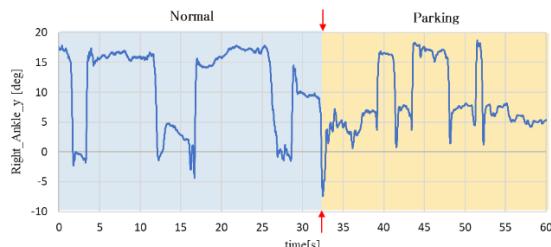


図7 右足首関節内外転

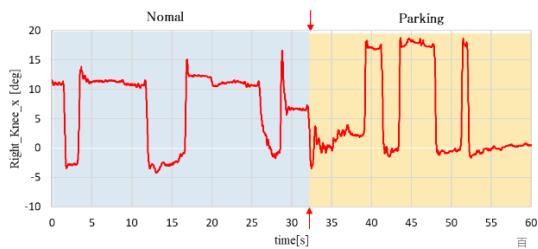


図8 右足膝関節内外旋

表2 右足首関節角度

	Accel [deg]	Break [deg]
Normal	16.7	-0.4
Parking	17.1	7.2
$\Delta(p-u)$	0.4	7.6

表3 右足膝関節内外旋角度

	Accel [deg]	Break [deg]
Normal	11.2	-2.8
Parking	17.4	-0.6
$\Delta(p-u)$	6.2	2.2

5. まとめ

本研究では、踏み間違いの発生メカニズムの探るため実車両を運転し、ペダル操作時の下半身の動きを計測した。その結果、駐車時にはかかとが左(ブレーキ側)へシフトする傾向が見られ、状況に応じて加速重視／減速重視という無意識のポジション選択をしていることが示唆された。ポジションの変化に伴い関節の使い方も変化し、ブレーキを優先したポジションでは足首を大きく用い、不足分を膝の回旋で補う様子が見られた。今後は実験参加者数を増やし、状況ごとのかかとのポジションの取り方と関節の使い方の傾向を明らかにする。

参考文献

- 1) 河口健二, ”ペダル踏み間違いによる事故～事故統計分析から多重衝突の実相に迫る～”, イタルダイインフォメーション, No.139, (2022) pp.2-11.
- 2) 平川晃洋, ”アクセルペダルとブレーキペダルの踏み間違い事故～高齢ドライバーに特徴的な事故の防止に向けて～”, イタルダイインフォメーション, No.124, (2018) p.3.
- 3) 朝尾隆文小, 谷賢太郎, 鈴木哲, ”後方視時にアクセル/ブレーキペダル操作を行う際の足位置知覚に関する実験的検討”, ヒューマンファクターズ, Vol.24, No.2 (2020) pp.35-44.
- 4) 関根康史, 柴崎宏武, 伊藤聰子, 平川晃洋, ”高齢運転者の着座姿勢がペダル踏み間違いに及ぼす影響の分析”, 日本機械学会第26回交通・物流部門大会講演論文集, No.17-53, (2017) p.11.
- 5) 細川崇, 橋本博, 平松真知子, ”アクセルペダルとブレーキペダルの踏み間違い発生メカニズムに関する基礎的検討－高齢者を対象としたペダル操作足位置の分析－”, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.3 (2019) pp.879-882.