ステアリングホイール把持特性に基づく操舵フィーリング向上に関する研究*

大塚 雄太^{*1}, 立和名 慎一^{*2}, 土居 俊一^{*3}

Improvement of Handling Feeling Based on Grasping Characteristic of Driver

Yuta OTSUKA ^{*1}, Shin'ichi TACHIWANA and Shun'ichi DOI^{*1} Kagawa University
2217-20, Hayashi-cho, Takamatsu-shi, Kagawa, 761-0396 Japan

Each driver has own driving style such as grasping pattern of steering wheel, bodily characteristics and driving position. Thus, handling feelings vary from driving style even if it is the same steering system. In this study, aiming at improvement of handling feeling, we examined the influence of driver's grasping characteristics on the handling feeling by measuring driver's steering behavior and grasping pressure distribution. As the results examined by various cross-sectional grips, in the case of better subjective evaluation, the grasping pressure was lower, the pressure change was smaller, and the range where pressure applied on was partially concentrated on the grip. Meanwhile, the difference in surface hardness of grip greatly affected on the pressure distribution of a palm when steering wheel was operated. Therefore, it was suggested that the grasping pressure distribution was deeply related to handling feeling and could be the objective evaluation index for the handling feeling.

Key Words : Automobile, Maneuverability, Steering Wheel, Grasping Pressure, Driving Simulator

1. 緒 言

自動車の操舵系は車両と人とのインターフェースとしてドライバが常に接している部分であり、操作感や安定感、握り心地といった操舵フィーリングは自動車の安全性や快適性に大きく寄与する⁽¹⁾。現在、この操舵フィーリングの評価手法は車両運動特性の解析やドライバの官能による主観評価が主流である。しかし、ドライバは各々でステアリングホイール（以下 S/W）の把持方法や、身体的な特徴、運転姿勢など独自の運転スタイルを有しているため、例えば同じ操舵系であっても運転時に受けるフィーリングはドライバによって様々に異なると考えられる。そのため、人間—自動車系としての性能向上には、車両とドライバとが相互に及ぼす影響を明らかにしていくことが重要であり、操舵フィーリングを客観的に評価できる指標が望まれている。

こうした背景から、操作性の客観的評価やドライバの運動特性の解明を目的に、様々な検討が行われている。例えば、倉持らは咬筋のりきみや左右三角筋の同期的活動による運転のしやすさに関する評価手法の有効性を示した⁽²⁾。また、葉山らは押し引き操舵での肩と上肢の筋活動の特徴と役割を明らかにし⁽³⁾、向江らはドライバの手先 6 分力計測によりステアリング操作中の左右の手の働きを解析している⁽⁴⁾。

一方、ドライバの運動特性は機械インピーダンスを用い表現することができ、池浦らはステアリング操作中の人間の腕剛性の大きさと操舵感を解析評価している⁽⁵⁾。また、田中らは手先インピーダンスを計測することで、保舵位置や操舵力に対する人間の運動インピーダンス特性を明らかにし⁽⁶⁾、人間—ステアリング系全体の減衰係数を調節する操舵反力制御の有効性を示している⁽⁷⁾。そして、羽田らは動的環境下においてステアリング操作性やシート性能を評価するための人体挙動解析技術を構築し、操舵に伴う人体各部の挙動や反力、生体内力の推定

* 原稿受付 2013 年 2 月 14 日

^{*1} 学生員, 香川大学大学院 工学研究科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)^{*2} 正員, 香川大学 工学部^{*3} 正員, フェロー, 香川大学 工学部

E-mail: tachi@ao.kagawa-u.ac.jp

技術の有効性を示した⁽⁸⁾。

筆者らはこれまでの検討において、ドライビングシミュレータ（以下 DS）に様々な断面形状の S/W を搭載し走行実験を行うことで、検討を重ねてきた^{(9)~(11)}。その結果、ドライバの S/W 把持方法の違いが S/W の操作性に関する主観的な評価に影響を与えていることを明らかにした。そこで本研究では、操舵フィーリング向上を目指し、ワインディング路走行におけるドライバのステアリング操作と把持圧力分布を計測し、把持圧力分布が操舵フィーリングに与える影響について検討を行った。

2. 実験方法

2・1 把持圧力分布計測装置

本実験で使用した把持圧力分布計測装置の外観を図 1(a)に示す。計測には、エア・ブラウン株式会社製のフィルム式圧力分布計測システムを用いた。図 1(b)に示す圧力センサシートを着脱可能なグリップ部に巻き付け走行中のドライバの把持圧力分布を計測した。

2・2 ドライビングシミュレータ

実験に使用した DS の構成を図 2 に示す。この DS は操舵反力模擬装置を有しており任意の操舵反力が生成可能である。更に、横方向のモーションシステムを有しており、横方向の車両運動を体感的に知覚可能である。

装置は 4 台のパーソナルコンピュータ（PC1, PC2, PC3, PC4）から成る。PC1 は取得した操舵角をもとに車両運動演算を行う。車両運動の演算にはバーチャルメカニクス社の汎用車両シミュレーションソフトである CarSim を用いた。PC2 は PC1 より受けた指令値を基にモーションシステム用 DC モータを駆動し横方向の車両運動を再現する。PC3 では PC2 を介して受けた操舵反力指令値を基にモータの駆動を制御し、操舵反力を模擬する。PC4 は PC1 で計算された車両位置情報を基にスクリーンに前方視界を描画する。

ここで、カーブ走行中の車両は常に横方向の移動を伴っているため、ワインディング路のようなカーブが連続する走行タスクでの車両横変位をスレッド上で再現するには相当量の稼動域が必要となる。そこで、本実験ではドライバに車両モデルの加加速度を用いた擬似的な横方向の体感情報を与え、その後ウォッシュアウトさせる方法を使用した。

2・3 走行タスク

走行タスクには、ワインディング路を想定した曲線路を用いた。図 3 にコース形状を示す。使用したコースは全長約 3600m、曲率半径 60, 75, 90m の複合カーブからなる。走行速度は 55km/h 一定とした。

(a) Measuring Device

(b) Pressure Sensor Sheet

Fig. 1 Grasping Pressure Measuring Device

Fig. 2 Motion based driving simulator

3. 断面形状変化グリップにおける把持圧力分布計測

3・1 断面形状変化グリップ

本実験では、2.1 節の把持圧力分布計測装置のグリップ部に、断面形状の異なる 3 種 (S/W I ~ III) のグリップを用いた。それぞれの特徴は以下に示す通りである。

S/W I : 楕円断面で、一般的な形状。グリップの周長は約 100mm、断面のアスペクト比は約 1.2 となっている。

S/W II : 断面形状を加工し、約 45 度傾斜の指置き面を設けている。親指が置きやすい。

S/W III : グリップ断面の角度を約 10 度内側に絞っている。手の平になじみやすい。

3・2 研究対象者

研究対象者はインフォームドコンセントを得た普通自動車免許所有の男子学生 10 名である。平均年齢は 23.0 歳であり、通学等で日常的に自動車を運転するドライバーを研究対象者とした。また、先行研究において、S/W 把持方法は図 4(a)及び(b)のように大別でき、この違いによって S/W の断面形状に対する主観評価にも差が見られた⁽⁵⁾。そこで本実験では、これらの把持方法の研究対象者を 5 人ずつ選定した。図 4(a)のように親指を置いて S/W を握る研究対象者を A~E、(b)のように親指を回して S/W を握る研究対象者を F~J とする。

3・3 主観評価結果

先行研究において、本実験で用いたものと同形状の S/W に対して「力の入れ易さ」と「操作のし易さ」について 7 段階の主観評価を実施した。親指を置いて把持する研究対象者、及び親指を回して把持する研究対象者それぞれから、代表的な研究対象者の主観評価結果を図 5⁽¹⁾に示す。

親指を置いて把持する研究対象者 A, B では S/W II が高評価となった。研究対象者 A へのヒアリングからは「カーブ時に親指を置くことで押し操舵がし易く感じた」という意見が聞かれ、これが S/W II への高評価につながったと考えられる。研究対象者 B では S/W III も高評価を得た。研究対象者 B へのヒアリングから「親指は置くが力はさほど入れておらず、主に力を入れているは手の平である」という意見が聞かれ、手の平へのなじみ易さをより重視して評価した結果、S/W II に比べて S/W III で僅かに評価が高くなったと考えられる。

Fig. 3 Layout of the winding road task

(a) Pattern 1 (Putting the thumb, Subject A, B, C, D, E)

(b) Pattern 2 (Turning the thumb, Subject F, G, H, I, J)

Fig. 4 Grasping pattern

また、親指を回して把持する研究対象者 F 及び G では、S/W III が高評価となった。親指を回して把持する場合、親指を置く場合に比べて手の平全体に力を入れるようになることが予想され、その結果、手の平になじむことに評価の重点がおかれ、S/W III で高評価につながったものと考えられる。研究対象者 F 及び G へのヒアリングから

は「手の平になじむかどうか」に重点を置いて評価している」や「力を入れているのは手の平及び指全体である」という意見が聞かれた。

Fig. 5 Results of subjective evaluation

3・4 操舵に伴う把持圧力分布計測結果

図 6 に研究対象者 A, B, F, G の R60 での押し操舵での右手の把持圧力分布を示す。

まず、研究対象者 A の各 S/W での圧力分布を比較すると、S/W II で最も把持圧力が弱く、次いで S/W III, S/W I となっている。更に S/W II では、圧力が加わる範囲が狭く集中していることが分かる。研究対象者 B では、S/W II 及び III で把持圧力が弱いことがわかる。更に、S/W II では親指に圧力が集中しているのに対し、S/W III では親指の圧力が弱く、手の平の圧力が強くなっており、主観評価での手の平へのなじみ易さを重視したというコメントとの対応が見られる。

Fig. 6 Grasping pressure distribution at the left curve (R60)

また、研究対象者 F, G では、S/W III において最も把持圧力が弱く、次いで S/W I, S/W II となっている。更に S/W III では、圧力が加わる範囲が狭く集中していることが分かる。更に、研究対象者 F, G の S/W III の把持圧力分布を比較すると、研究対象者 F は人差指の付根部分に力が集中しているのに対し、研究対象者 G では中指と薬

指、及びその付根部分に集中していることが分かる。また、研究対象者 A, B, F, G の R60, R90 での押し引き操舵による右手の把持圧力分布を比較したものを図 7 に示す。R90 においても R60 で示した把持分布と同様の傾向が研究対象者ごとにみられ、把持圧力分布傾向について、曲率半径の違いによる影響は見られなかった。

Fig. 7 Grasping pressure distribution of the different curve (R60 and R90)

次に、図 8 に研究対象者 A, F における R60 での操舵角、把持圧力及び把持圧力変動値の時系列波形を示す。

Fig. 8 Steering angle and Grasping pressure of right hand in curve road (R60)

また、図 9 に研究対象者 A, F における R90 での操舵角、把持圧力及び把持圧力変動値の時系列波形を示す。

Fig. 9 Steering angle and Grasping pressure of right hand in curve road (R90)

研究対象者 A は圧力分布同様、主観評価で高評価とした S/W II で最も把持圧力が弱くなっている。更に、把持圧力の変動も小さく抑えられている。また、研究対象者 F においても、高評価だった S/W III で最も把持圧力が弱く、把持圧力の変動も小さくなっている。以上より、様々な断面形状のグリップを用いた場合、主観評価で高評価だったグリップでは、他のグリップと比べ把持圧力とその変動が小さく抑えられ、圧力が加わる範囲も狭く集中していることが分かった。これは操作が楽にできる、すなわち操舵に対して余計な力が少ないことが、主観評価における高評価へとつながったと考えられ、また、把持方法が同じ研究対象者でも、各ドライバによって力を入れる箇所が異なり、それが断面形状に対する好みに影響を与えていることや、さらには把持圧力や操舵フィーリングが走行するカーブの曲率半径に依存していないことが示唆された。一方で、各研究対象者の操舵角などについても分析したが、個人ごとでの大きな差は見られず、主観評価による車両運動への影響は明らかにはならなかった。

4. 硬度変化グリップにおける把持圧力分布計測

4・1 硬度変化グリップ

本実験では、表面硬度の異なる 2 種のグリップ (S/W I, IV) を用いた。ひとつは 3.1 節のポリプロピレン等の硬質合成樹脂からなる S/W I, もうひとつはその表面を軟質ウレタン樹脂系の素材に置き換えた S/W IV である。

4・2 研究対象者

研究対象者はインフォームドコンセントを得た普通自動車免許所有の男子学生 14 名である。平均年齢は 23.2 歳であった。選定方法は 3.2 節と同様とし、親指を置いて S/W を握る研究対象者 a~g, 親指を回して S/W を握る研究対象者 h~n の各 7 名ずつを選定した。

4・3 主観評価結果

S/W I, IV の「力の入れ易さ」と「操作のし易さ」について 7 段階の主観評価を実施した。主観評価結果を図 10 に示す。親指を置いて把持する、回して把持するどちらの研究対象者でも、殆どのドライバで軟らかいグリップ

の S/WIV が高評価となった。実験後のヒアリングからも「S/WIVの方が手に良くフィットする」という意見が多く聞かれた。しかし、研究対象者 f, g, m に関しては、S/WIV の評価が僅かに低くなっている。

Fig. 10 Results of subjective evaluation

4・4 操舵に伴う把持圧力分布計測結果

図 11 に研究対象者 a, b, h, i の R60 での押し操舵及び引き操舵時の把持圧力分布を示す。なお、利き手の把持圧力分布を計測したため、研究対象者 a は左手、他の対象者は右手の計測結果である。

まず、親指を置いて把持する研究対象者 a において、押し操舵と引き操舵での圧力分布を比較すると、押し操舵では硬度の違いによらず親指に強く圧力が分布していることが分かる。また、押し引き共に S/W I では親指以外の指（以下、四指）や掌にも広く分布しているのに対し、S/WIV では掌上部に集中している。一方、研究対象者 b においては、押し引き共に親指に圧力が分布している。更に、押し操舵と引き操舵で圧力分布に差が見られ、押し操舵では人差指周辺に分布が見られるが、引き操舵では四指の指先と中指の付け根の辺りに圧力が分布している。また、押し操舵において、S/W I では四指にも圧力が分布しているのに対し、S/WIV では四指には分布がみられない。更に、押し引き共に S/WIV では S/W I に比べ掌の分布範囲が広がっていることが分かる。

次に、親指を回して把持する研究対象者 h では、S/W I を用いた場合、押し操舵と引き操舵での圧力分布の差はあまり見られない。しかし、S/WIV を用いた場合、押し操舵では掌全体に一様に分布しているのに対し、引き操舵では小指側に強く分布している。一方、研究対象者 i では、押し引きで四指の圧力分布に差が見られ、押し操舵では四指全体に圧力が分布しているのに対し、引き操舵では指先のみに強く分布している。また、S/W I では掌の人差指側に分布しているのに対し、S/WIV では掌全体に分布している。

このように、全ての研究対象者に共通して、グリップ硬度の違いは操舵時の掌の圧力分布に大きく影響を与えることが分かった。特に、親指を置いて把持する研究対象者では、軟らかいグリップを用いることで、四指を使う割合が減り、掌を使う割合が増えることが分かった。また、親指を回して把持する研究対象者では、軟らかいグリップを用いることで、押し引きでの違いが掌の分布に現れるようになる、又は掌全体に圧力が分布するようになるなど、掌の使い方に変化が見られた。しかし、同じ把持方法のドライバであっても個人ごとで、圧力が加わる範囲や押し引きによる変化の仕方に大きな差が見られた。

そこで、押し操舵と引き操舵による掌の圧力分布の変化に着目し、研究対象者のグループ分けを実施した。表 1 にグループ分けの結果と各グループでの押し引きの把持圧力分布の例を示す。まず、押し引きでの掌の圧力分布の差の大小によって 3 つのグループ X, Y, Z に大別することができる。グループ X は押し引きで掌の圧力分布が人差し指側から小指側へと横方向に大きく変化する研究対象者、グループ Y は押し引きでほとんど差がない又は差が小さい研究対象者、そしてグループ Z は押し操舵ではほとんど力を入れておらず引き操舵のみで力を入れている研究対象者である。更に、変化が大きいグループ X については、押し操舵で人差し指側、引き操舵で小指側へと手を動かす方向に圧力の重心が移動するグループ X-i と、手を動かす方向とは逆方向へと圧力が移動するグループ X-ii に分けることができる。

ここで、グループ X-i, X-ii, Y, Z それぞれの代表的な研究対象者 l, k, i, f の R60 での操舵角、把持圧力、掌の荷重中心の横変位の時系列波形を図 12 に示す。なお、掌の荷重中心の横変位については、操舵角 0° の保舵

状態での重心位置を 0[mm]とし、この値が大きいほど人差指側に、小さいほど小指側へと荷重中心が移動していることを表す。

Fig. 11 Grasping pressure distribution in curve road (R60)

Table 1 Grouping by the change pattern of the pressure distribution on palm

Group	X		Y	Z
	i	ii		
Subject	c, d, h, l	a, j, k	b, e, i	f, g, m, n
ex.	Push turn Subject h	Push turn Subject k	Push turn Subject i	Push turn Subject m
	Pull turn Subject h	Pull turn Subject k	Pull turn Subject i	Pull turn Subject m

まず、グループ X-i の研究対象者 I では、押し引きで同程度の把持圧が加わっているが、押し操舵時のみ荷重中心が人差指側へと移動している。一方、グループ X-ii の研究対象者 k では引き操舵時のみ荷重中心が人差指側へと移動している。また、グループ Y の研究対象者 i は、押し引きどちらでも同程度の把持圧が加わっており、荷重中心が人差指側へと移動している。グループ Z の研究対象者 f は引き操舵のみで圧力が増加し、荷重中心が小指側へと移動している。

次に、グループ X-i, X-ii, Y, Z それぞれの代表的な研究対象者 I, k, i, f の R60 での操舵角と掌の荷重中心の横変位の関係を図 13 に示す。時系列波形で確認したように、各グループの軌跡に特徴的なパターンが見られる。グループ X-i は右上、X-ii は左上へと軌跡を描いている。また、グループ Y は V 字型の軌跡を描き、グループ Z は左下へと軌跡を描いている。

Fig. 12 Steering angle, Grasping pressure and Lateral displacement of the load center of the palm in curve road (R60)

また、どの研究対象者も S/W I よりも S/WIV で荷重中心の移動が大きくなっている。このような傾向は、全研究対象者を通じて見られた。よって、S/WIV では操舵の押し引き動作でのメリハリがより明瞭であることが主観評価での高評価へとつながったと考えられる。また、主観評価で S/WIV の評価が僅かに低かった研究対象者 f, g, m は 3 名ともグループ Z に含まれている。このグループは引き操舵でしか力を入れていない。すなわち左右の手を押し引きで使い分けているドライバーにとっては、上記の掌でのメリハリが感じにくかった、もしくは必要としていなかったのではないかと考えられる。

以上より、掌の荷重中心の移動により押し引きでの掌の圧力分布の変化を明確化することで、押し引きでの変化パターンによるグループ分けが可能なことを示した。更に、主観評価で高評価だった S/WIV では、S/W I よりも掌の荷重中心の移動が大きく、この掌の荷重中心の移動による操舵のメリハリが操舵フィーリングに影響を与えていることが示唆された。

Fig. 13 Steering angle and Lateral displacement of the load center of the palm in curve road (R60)

5. 結 言

本研究では、断面形状や硬度の異なる様々なグリップを用い、ドライバーの把持圧力分布を計測し、把持圧力分布が操舵フィーリングに与える影響について検討を行った。

その結果、様々な断面形状のグリップを用いた場合、主観評価で高評価だったグリップでは、他のグリップに比べ把持圧力とその変動が小さく抑えられ、圧力が加わる範囲も狭く集中していることが分かった。これは操作が楽にできる、すなわち操舵に対して余計な力が少ないことが、高評価へとつながったと考えられる。また、硬

度変化グリップを用いた場合では、主観評価で「軟らかいグリップ」が高評価となり、硬度の違いは操舵時の掌の圧力分布に大きく影響を与えることが分かった。更に、「軟らかいグリップ」では掌の荷重中心の移動が大きくなっていた。このことから、掌の荷重中心の移動によって明確化された、押し引き操舵でのメリハリがより明瞭であることがフィーリング向上へとつながったと考えられる。更に、掌の荷重中心の移動により押し引き操舵での掌の圧力分布の変化を明確化することで、押し引きでの変化パターンによるドライバのグループ分けが可能であることを示した。以上より、把持圧力分布が操舵フィーリングに大きな影響を与えていることが確認でき、客観的な評価指標となることを示した。

しかし、S/Wの把持方法や上記の押し引き操舵での把持圧変化パターンが同じドライバであっても、個人ごとに圧力強度や荷重範囲などに大きな差が見られた。したがって、今後の課題は把持圧力分布の特徴パターンのデータベース化である。また、S/W表面に対し垂直に働く把持圧だけでなく、S/W円周方向へと働く操舵トルクとの力の配分や、把持圧の加重と抜重に伴う操舵角と操舵トルクの変化、左右の手の使い分けといったドライバと車両の力の伝達、操舵メカニズムを解明していく必要がある。

謝 辞

豊田合成株式会社様には、実験用S/Wの提供及び実験遂行において多大なるご助言とご協力を頂きました。ここに心より感謝致します。

文 献

- (1) 平野敦雄, 永田雅典, 戸谷千春, 牧口実, 志田知章, 大澄義正, “ステアリングホイール・グリップフィーリングの人間工学的解析”, 自動車技術会論文集, Vol. 26, No. 4 (1995), pp. 115-118.
- (2) 倉森章, 高口紀貴, 上条正義, 佐渡山亜兵, “ドライバの筋活動に着目した運転しやすさ評価の検討”, 自動車技術, Vol. 61, No. 6 (2007), pp. 116-121.
- (3) Hayama, R., Mizuno, T., Kawahara, S., Liming, L., Yahui, L., Xuewu, J., “Research on EMG Signals of Shoulder and Upper Limb Muscles within Steering Manoeuvre - Part 2: Identification of the Activation Order”, *Proceedings of First International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident*, (2011), JSAE 20117373.
- (4) 向江秀之, 羽田昌敏, 池田幸一, 古平貴大, 谷中壮弘, “手先力解析によるステアリング操作性の評価”, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 55-03 (2003), pp. 13-16.
- (5) 池浦良淳, 星野広行, 横井大介, 兼原洋治, 星野光弘, 水谷一樹, 澤井秀樹, “腕のインピーダンスに基づく操舵感の評価方法について”, 自動車技術会論文集, Vol. 37, No. 4 (2005), pp. 33-38.
- (6) 田中良幸, 神田龍馬, 武田雄策, 山田直樹, 福庭一志, 正守一郎, 辻敏夫, “ステアリング操作における人間の手先インピーダンス特性の解析”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 42, No. 12 (2006), pp. 1353-1359.
- (7) 加茂祐介, 脇田裕之, 田中良幸, 山田直樹, 末富隆雅, 辻敏夫, “上肢運動インピーダンス特性を考慮したステアリング制御系の操作評価”, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 38-09 (2009), pp. 7-10.
- (8) 羽田昌敏, 安田栄一, 小林孝雄, 菅原朋子, 小野英一, “車両走行中のドライバ生体内力推定法”, 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 6 (2011), pp. 1397-1402.
- (9) 長秀樹, 立和名慎一, 野倉邦裕, 深谷真啓, 土居俊一, “ドライビングシミュレータを用いた操作フィーリング評価法の検討”, 第43回日本人間工学会中国・四国支部大会講演論文集, 2010, pp. 114-115.
- (10) Otsuka, Y., Doi, S., Wada, T. and Doi, S., “Study of Effects of Steering Assist Control Considering Driver Characteristics in Curve Situation”, *Proceedings of First International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident*, (2011), JSAE 20117374.
- (11) Otsuka, Y., Tachiwana, S. and Doi, S., “Advanced Handling Performance by Grasping Feeling in Curve Situation”, *Proceedings of The 11th International Symposium on Advanced Vehicle Control*, (2012).