

## リーン機構を有するパーソナルモビリティビークルのドライバ特性の検討

日大生産工(院) ○松田 明子 日大生産工 景山 一郎 日大生産工 栗谷川 幸  
 名古屋大 原口 哲之理 大阪産業大 金子 哲也  
 IPG Automotive(株) 小林 祐範 IPG Automotive(株) 村山 哲也

## 1 まえがき

近年、自動車の保有台数増加に伴い渋滞の発生や駐車スペース不足など多くの課題がある。さらに、自動車による移動距離は10km以内が6割と比較的短く、多くの国内平均乗車人数は平日・休日ともに1台に対し2名以下である\*1。そのため、小型であり手軽な新たな移動手段としてPersonal Mobility Vehicle (以下、PMV)が期待され、国内外問わず研究・開発が進められている。PMVは、小型化するため車体は全高に比べて車幅が狭くなり、旋回時に横転の危険性を持つ。この対策案として、自動二輪車同様に旋回中内側に倒れこむ機構(以下、リーン機構)を有するPMVが有効であると報告されている\*2。しかし、このような特性を有する車両は現状市販されていないため、PMVの目標とされる機能及び諸元等は具体的に規格化されておらず、現状の開発段階では人の感性による評価・判断が求められる。しかし、リーン機構を有するPMVの旋回特性に関する研究やドライバの運転のしやすさに関する研究例は少ない。そこで、本研究では車両特性を変化させ大型5面立体視没入型ドライビングシミュレータ(以下、DS)\*3を用いて走行実験を行い、主観評価を行うことで、リーン機構を有するPMVの受容性についてドライバの主観評価および特性について検討することを目的とする。本報告では、受容するドライバの個人特性に着目し、評価の高い車両特性との関係について検討する。

なお、本研究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」(承認番号 S2017-012)の承認を得て実施した。

## 2 DS実験

## 2.1 実験条件

実験装置は、名古屋大学ナショナル・イノベーション・コンプレックス(NIC)のDSを用い、車両特性はDSの車両シミュレーションシステムであるドイツIPG Automotive社のCarMakerにより再現した。車両特性

は、旋回特性の把握を行うためステア特性に着目し設定を行った。本研究の車両は、二輪車と同様の機構を有するためタイヤ特性変更により表1に示すように理論的に二輪車に近い車両特性Steer2を基準とし、そこから前後にステア特性を振ることでSteer1, Steer2, Steer3の3つの車両特性設定をDS上で行った。また、これらの車両のスタビリティファクタ $K_{\delta}$ と横すべり係数 $K_{\beta}$ との関係を図1に示す。実験を行う前に、DSに対する不慣れの影響を除くため、緩やかなカーブを有する名古屋市内を模擬したコースでの慣熟走行を約10分間行った後、実験を開始した。実験コースは、様々なカーブを有する日本平パークウェイを模擬した下りコースとし、走行速度は通常の走行と同様にドライバが判断する安全な速度とした。実験条件は、慣れによる影響を考慮するため基準となるSteer2を間に挟むように、Steer2-1・Steer1・Steer2-2・Steer3・Steer2-3の順で行い、これらの順や合計本数は実験参加者に伏せた状態で行った。実験終了後、「車両の乗りやすさ」と操作性に関する計13項目のVisual analog scale (VAS)を用いた質問と自由記述による質問紙に回答させ主観評価を得た。

表1 車両特性 (ステア特性)

車両特性	$K_{\delta}$
Steer1	$-2.6 \times 10^{-3} [s^2/m^2]$
Steer2	$-2.1 \times 10^{-3} [s^2/m^2]$
Steer3	$-0.035 \times 10^{-3} [s^2/m^2]$

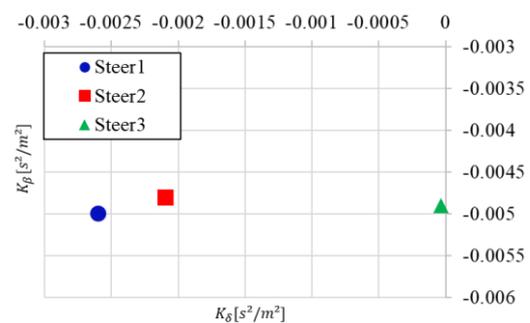


図1 車両特性

### Study on driver characteristics of Personal Mobility Vehicle with Lean Mechanism

Meiko MATSUDA, Ichiro KAGEYAMA, Yukiyo KURIYAGAWA, Tetsunori HARAGUCHI,  
Tetsuya KANEKO, Masanori KOBAYASHI and Tetsuya MURAYAMA

## 2.2 実験参加者

実験参加者は、インフォームドコンセントを得た普通自動車運転免許を取得している20～40代男性・女性12名であり、実験参加者A-Lとする。それぞれの実験参加者の四輪車と二輪車における運転歴および運転頻度を表2に示す。また、ドライバの個人特性の把握を行うため、「1：運転スキルへの自信の有無」「2：運転に対する消極性」「3：せっかちな運転傾向」「4：几帳面な運転傾向」「5：信号に対する事前準備的な運転」「6：ステイタスシンボルとしての車」「7：不安定な運転傾向」「8：心配性的傾向」の尺度からなる人間生活工学研究センター(HLQ)による運転スタイルチェックシート(Driving Style Questionnaire 以下、DSQ)<sup>\*4</sup>及び、「1：交通状況の把握」「2：道路環境把握」「3：運転への集中阻害」「4：身体的活動度の低下」「5：運転ペース阻害」「6：身体的苦痛」「7：経路把握や探索」「8：車内環境」「9：制御操作」「10：運転姿勢」の尺度からなる運転負担感受性チェックシート(Workload Sensitivity, Questionnaire 以下、WSQ)<sup>\*5</sup>に事前に回答させ把握を行った。

## 3 操舵とドライバ特性

### 3.1 ステアリングエントロピー<sup>\*6</sup>変動係数

各車両特性により操舵角が大きく変化しているため解析の一つとして、 $t[s]$ 時の操舵角より $\Delta T[s]$ 後の予測操舵角を算出し、実際の操舵角との差によりドライバの予測との差を知ることができるステアリングエントロピー法を活用した検討を行う。

主観評価およびコメントより、違いが運転操作に大きく影響したのは、カーブの後半部分と思われた。そこで図2に示す曲率が異なる7つのカーブに絞って解析を行った。7つのカーブにおいてカーブ開始地点を $l_1$ 、カーブ終了地点を $l_2$ としたとき、操舵角においてある時間 $t$ の操舵角を $\delta(t)$ 、 $\Delta T[s]$ 後の操舵角を $\delta(t+\Delta T)$ 、 $\Delta T[s]$ 後の予測操舵角を $\delta^*(t+\Delta T)$ とし、ステアリングエントロピー(以下、SE)は1次予測モデルを用いて次式で求められる。

$$\delta^*(t + \Delta T) = \delta(t) + \dot{\delta}(t)\Delta T \quad (1)$$

$$SE = \int_{l_1}^{l_2} \{\delta(t + \Delta T) - \delta^*(t + \Delta T)\}^2 dt \quad (2)$$

本報告ではSteer2-2を代表値として、Steer1、Steer2-2、Steer3の比較検討を行う。解析にはそれぞれの走行におけるカーブ区間をコースから切り出し、(1)式において $\Delta T[s]$ を1[s]後としSEを求め、データ個数あたりのSE値を算出した。SE値は0に近づくほどドライバの思う挙動を示す車両である。つまり、図2における各カーブのSE値の変動が少なく、変動率が小さい車両ほどカーブによらず操舵の修正を行う必要のない車両であると考えられる。

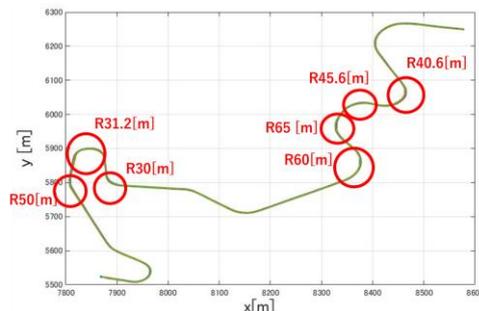


図2 特性差を表す曲率

ドライバの個人特性と評価値の高い車両のSE値の関係を導くため、ドライバが乗りやすいと感じた車両特性のSE値変動係数を大小に分類する。3つの車両特性におけるSE値変動係数の中央値を算出し、中央値0.323を基準にSE値変動係数の大小を決定した。質問番号5『車両の乗りやすさ』における最も評価の高い車両の変動係数を大小の2群に分類を行い表3に示す。12名の実験参加者の内、6名がSE値変動係数の小さい群、6名がSE値変動係数の大きい群とした。これらの群のDSQの結果を図3に示す。図3より、評価値の高い車両のSE値変動係数が小さい群においては、実験参加者Dを除き標準偏差範囲外は1～2尺度と、比較的DSQの全国標準偏差(±1σ)内に入るドライバであることがわかる。それに対し、変動係数の大きい群においては、実験参加者Kを除き3尺度以上が標準偏差範囲外と、全国標準偏差から離れたドライバであることが分かる。以上のことより、カーブの曲率により操舵の修正を行う必要があるかをSE値変動係数により表され、この変動係数の大小どちらを好むかは、ドライバの運転スタイルによって2群に分類できる可能性が示唆された。しか

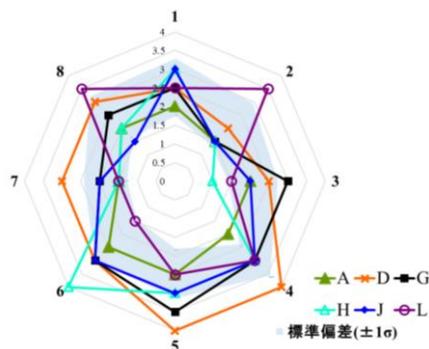
表2 実験参加者基本情報

No.	参加者	性別	年齢	四輪		二輪	
				取得後年数	運転頻度	取得後年数	運転頻度
1	A	男性	24	2年9か月	年10回	1年5か月	週1回
2	B	男性	23	3年11か月	週3回	-	-
3	C	女性	43	25年2か月	週2回	-	-
4	D	男性	24	7か月	月1回	-	-
5	E	男性	22	3年4か月	月3回	1年10か月	週6回
6	F	男性	22	2年10か月	月1回	-	-
7	G	男性	21	2年3か月	週4回	-	-
8	H	男性	23	3年5か月	週2回	4年9か月	月2回
9	I	女性	27	5年6か月	月1回	-	-
10	J	男性	22	3年11か月	週3回	3年5か月	週2回
11	K	男性	24	5年10か月	月1回	5年5か月	週2回
12	L	男性	33	12年5か月	週1回	-	-

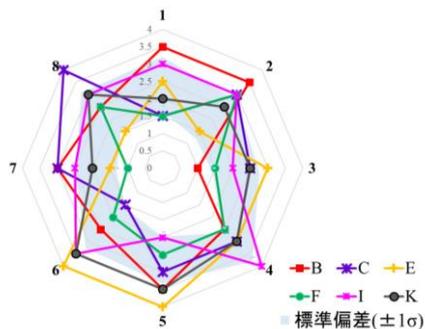
し、SE値変動係数が大きい群においては、『1：運転スキルへの自信の有無』、『6：ステイタスシンボルとしての車』から複雑な運転を好むドライバである可能性が高く、『7：不安定な運転傾向』から普段の運転行動に近い車両を好む可能性が考えられるものの、郡内のDSQにおける共通項目は見られなかった。そこで、ドライバの基本情報およびWSQや他車両データの解析を進めていく必要がある。

表3 SE値変動係数による分類

群	実験参加者
SE変動係数が小さい	A,D,G,H,J,L
SE変動係数が大きい	B,C,E,F,I,K



3-a) SE値変動係数の小さい群



3-b) SE値変動係数の大きい群

図3 DSQ (SE値変動係数による群)

### 3.2 ドライバの前方注視時間解析

前節より、ドライバの運転行動により好む車両特性が違う可能性が示唆されたため、ドライバ個々の運転動作の検討を行う。自動車運転するドライバは周辺の情報を取得し、それらの情報を基に運転行動を決定している。ドライバの基本的な運転行動である操舵特性は、主に道路形状から決定されるフィードフォワード項と運動状態からのフィードバック項で記述される\*7\*8。本報告ではまずフィードフォワード項の検討として、本研究の実験コースは様々なカーブを有することから、操舵角と高い相関をもつ曲率に着目し検討を行った。

ドライバは、前方の道路形状に対し操舵角を予測し運転していると考えられ、この際の前方注視時間はドライバによって異なると考えられる。そこで、Steer1, Steer2-2, Steer3において、曲率と操舵角において相互相関関数を用いて、一方の波形を1データ(0.01秒)ずつずらした際のピーク時に置ける前方注視時間を算出し、ドライバごとの3走行の平均を図4に示す。なお、この時の曲率と操舵角の相関係数はすべての走行、ドライバで0.7以上と比較的高い相関を示した。図4より、0.27秒を境に前方注視時間が大きく分かれている。これを境に、注視時間が短い群をGroup1、長い群をGroup2に分ける、さらにGroup2を約0.29秒の群(Group2-1)と0.3以上となる群(Group2-2)に分けて表4に示す。ここで、それぞれの群のドライバ特性を把握するため、DSQに着目する。図5は、DSQにおけるそれぞれの群の『1：運転スキルへの自信』、『3：せっかちな運転傾向』、『5：信号に対する事前準備的な運転』、『6：ステイタスシンボルとしての車』、『8：心配性的傾向』を示したものである。Group1においては、項目5, 6どちらもDSQの全国標準偏差(±0.5σ)から外れ、信号に対する事前準備的な運転行動をとりがちでドライバやステイタスシンボルとしての車が高いというようなドライバであることがわかる。このことから、道路情報よりも車の挙動を重視している可能性が高いと考えられる。それに対し、実験参加者Hの項目6が高いものの、Group2においてはかなり心配性なドライバや、実験参加者F, Cのようなスキルの自信が低いドライバ、実験参加者Hのようなせっかちな運転行動の項目がかなり低いというような、運転動作以外に目を向け、慎重にゆとりをもった運転をしたいドライバであると考えられる。また、Group2-1の詳細を見てみると、前方注視時間が長い群は他の群のドライバより心配性の項目が極端に標準偏差から外れている。これは、運転をする上で多くの情報を得る為に前方注視時間が長くなっている可能性が高い。一方で、Group2-2のドライバの内実験参加者A, G, HはWSQにおいて表5のように、『2：道路環境把握』や『7：経路把握や探索』の項目が標準偏差より低く、道路情報の把握に対し負担を感じないドライバであることが分かる。このことから、Group2-2のドライバは新しい車両に対しても道路形状情報の取得が容易であるため、運転動作のバランスを考えながら走行している可能性が高い。このように、ドライバ特性としての道路情報の取得へのバランス配分が、前方注視時間への違いとして表れている可能性が示唆された。

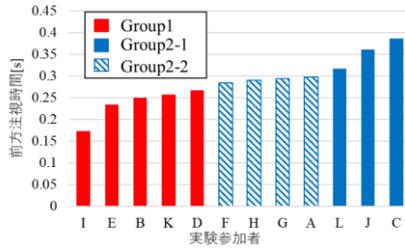
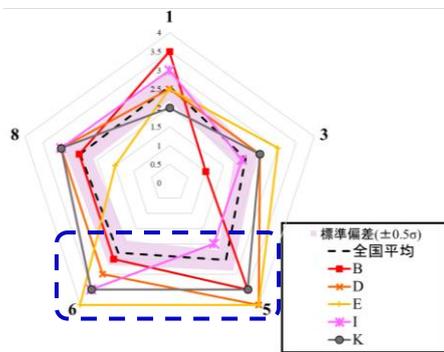


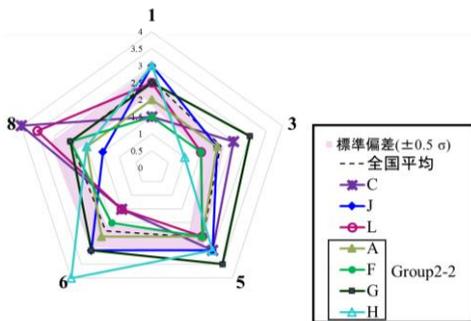
図4 ドライバごとの前方注視時間

表4 前方注視時間による群分け

群	実験参加者	
Group 1	B, D, E, I, K	
Group 2	Group 2-1	C, J, L
	Group 2-2	A, F, G, H



5-1) Group 1



5-2) Group 2

図5 DSQ (前方注視時間による群)

表5 道路把握に関する項目 (WSQ)

項目	A	G	H	+0.5SD	-0.5SD
2: 道路環境把握	2.0	3.0	2.6	3.3	2.6
7: 経路把握や探索	3.7	2.0	1.7	3.5	2.6

#### 4 結論

リーン機構を有するPMVの受容性を検討するため車両特性を変化させたDS走行実験を行い、ドライバ特性に着目し、走行データとしてまず操舵角について検討を行った。ステアリングエントロピー法の結果として、ドライバの思い通りの操舵を行える車両特性を好

むか、操舵の修正を常に行う必要がある車両特性を選ぶかはドライバにより異なり、本研究の実験参加者の範囲ではDSQが標準偏差から外れる項目数により分類ができる可能性が示唆された。また、運動動作との関連を行うため道路形状である曲率に対するドライバ個々の前方注視時間の違いについて検討を行った。結果として、車両ごと、ドライバごとで前方注視時間が異なった。ドライバごとでは前方注視時間で分けられ注視時間が短い群であるGroup1においては、道路情報よりも信号に対する準備やステータスシンボルなど車の挙動や運転行動を重視している可能性が高いと考えられる。それに対し、前方注視時間が長い群であるGroup2においては、運動動作以外に目を向け、ゆとりをもった運転をしたいドライバであると考えられる。さらに、Group2は心配性な運転をする上で多くの情報を得る為に前方注視時間が長くなるドライバと、道路情報の把握に対し負担をあまり感じず容易であるため運動動作のバランスを考えながら走行しているドライバがいると考えられる。このような、ドライバ特性としての道路情報の取得へのバランス配分が、前方注視時間への違いとして表れている可能性が示唆された。

本報告ではドライバの操作として操舵角に注目し検討したが、今後ドライバの入力として行う操舵に対し、どのような車両挙動を感じ取り、評価しているか検討していく必要がある。

#### 参考文献

- (1)国土交通省都市局・自動車局，“超小型モビリティ導入に向けたガイドライン”，pp.1-8(2012).
- (2)景山一郎他，“キャンパ角制御を用いたパーソナルモビリティの運動特性に関する基礎研究”，自動車技術会 2012年秋季大会学術講演会公演予稿集，No.115-2，pp.27-32(2012).
- (3)玄葉誠他，“大型5面立体視ドライビングシミュレータによる人間自動車系の研究(第1報)”，自動車技術会論文集，vol.47 No.3，pp.789-794(2016).
- (4)石橋基範他，“運転スタイルの指標化と追従運転行動”，自動車技術会論文集，vol.39 No.1，pp.121-126(2008).
- (5)石橋基範他，“ドライバの運転負担感受性の指標化と経路選択嗜好分析への応用”，自動車技術会論文集，vol.39 No.5，pp.169-174(2008).
- (6)中山沖彦他，“運転者負荷定量化手法「ステアリングエントロピー法」の開発”，自動車技術会 1999年春季学術講演会公演予稿集，(1999).
- (7)景山一郎，栗谷川幸代，“ドライバ特性解析用ドライバモデル構築に関する研究”，自動車技術会 2007年学術講演会公演予稿集，No.4-07(2007).
- (8)景山一郎他，“高度運転支援システムに向けたドライバモデル構築に関する研究”，自動車技術会 2015年秋季学術講演会公演予稿集，pp1385-1390(2015).