
令和4年度 修士学位論文

交差点左折時のドライバ操舵の特徴と
受動的な運転に対する
主観評価の関係に関する研究

指導教員 早川 聡一郎 准教授

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 機械工学専攻
人間支援システム研究室
栗村 森平

学位論文要旨及び論文目録

学位論文提出者	氏名	栗村 森平	専攻	機械工学	講座	量子・電子機械
研究領域名	ロボティクス・メカトロニクス					
学位論文題目	交差点左折時のドライバ操舵の特徴と受動的な運転に対する主観評価の関係に関する研究					
論文審査委員	主査	早川 聡一郎	副査	池浦 良淳	副査	小竹 茂夫
学 位 論 文 要 旨						
<p>制御技術の発展に伴い、先進安全運転システムや自動運転の開発が行われており、ドライバ単独では無く、運転に対し車両側が主体的に制御、介入する場面が増えると予想される。これに伴い、ドライバ個人の好みに合わせた制御を目指し、その制御目標の検討に向けたドライバ特徴抽出の研究が盛んに行われている。ドライバ特徴に関連する研究には、走行データからドライバ特徴の定義の検討を行うものと、アンケート調査を用いたドライバの自己分析による運転スタイルと走行データの対応からドライバ特徴を示す指標を推測しようとするものがある。しかし、前者の場合はドライバと設計者の意図が異なる場合に主観的な好みを反映しにくい点 が、後者の場合はドライバ特徴の分析がドライバの自己分析に依存している点が課題となる。今後、ドライバが運転に対し受動的になる際の制御目標に、ドライバ特徴を使用することがドライバの主観的な好みと一致するかには議論の余地がある。よって本研究では、ドライバの走行データからドライバの主観的な好みを推測し、ドライバ特徴と主観的な好みが一致するかを確認する。これらの関係性を明らかにできれば、運転支援システムや自動運転における受動的な運転の制御目標としてドライバ特徴を使用することの妥当性について検討できる。</p> <p>本研究では、ドライバの好みと特徴について検討するため、ドライバが自らの意志で設定した目標値に対し検討を行った。これをドライバ特徴と仮定し、習熟過程におけるばらつきの推移をもとに推測する。ドライバが走行を繰り返すうちに習熟が進み、制御目標が定まることで、操作量が一定の値に収束することが考えられる。この収束した際の値がドライバの自身で設定した目標値であり、好みを示す可能性のあるドライバ特徴であると仮定し検証した。</p> <p>推測した特徴とドライバの主観的な好みとの関連を確認するため、ドライビングシミュレータを用いた検証を行った。交差点左折を対象とし、左折における走行データの収集実験と、自動運転を使用した走行体験に対する主観評価実験を行った。走行データの収集実験では、実験協力者に自身が習熟したと判断するまで走行を行ってもらい、設定した特徴量の値と、そのばらつきの推移を標準偏差を用いて分析を行った。結果として、特に操舵角速度において標準偏差の減少傾向とドライバ自身による習熟判断が一致する傾向を確認した。次に、主観評価実験では操舵角速度を条件に、それぞれのドライバ特徴を含む7種類の自動運転の走行パターンを作成した。評価には一対比較法を使用し、実験協力者には作成した7種類の走行パターンから2つずつ交互に体験してもらい、21走行についてどちらが自身の好みに近いかを選択してもらった。その結果として、走行データ収集実験の結果から推測された自身の運転の特徴と、同じ操舵角速度の特徴を持つ運転パターンを好んで選択することを確認した。</p> <p>これらの結果から、習熟過程の操作のばらつきの推移に着目したドライバ特徴抽出の可能性と、ドライバ特徴をドライバの好みとして受動運転の際の制御目標に使用できる可能性を示した。</p>						
論 文 目 録						
<p>[1] 栗村 森平, 堤 成可, 菱川 直輝, 横田 瑞貴, 早川 聡一郎, 池浦 良淳: 「乗車していない車両の運転に対する主観的客観的な視点による評価環境の構築」, 計測自動制御学会第21回システムインテグレーション部門講演会, Vol.22, ROMBUNNO.2B3-06 (2021.12)</p> <p>[2] 栗村 森平, 堤 成可, 早川 聡一郎, 池浦 良淳: 「交差点左折時のドライバ運転操作分析による個々の運転特徴抽出と推定に向けた検討」, 日本機械学会第31回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2022) 講演論文予稿集, PS2-14 (2022.12)</p> <p>※他, 国際学会 1 件</p>						

目次

目次.....	1
第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 本論文の構成.....	4
第2章 ドライバ特徴抽出手法及びその検証方法.....	5
2.1 本研究におけるドライバ特徴の定義.....	5
2.2 ドライバの特徴と主観的な好みとの関係.....	6
2.3 特徴抽出実験.....	6
2.4 主観評価実験.....	8
第3章 実験.....	12
3.1 実験環境.....	12
3.1.1 走行環境.....	12
3.1.2 実験装置.....	14
3.2 特徴抽出実験.....	18
3.2.1 特徴抽出実験の概要.....	18
3.2.2 実験条件.....	18
3.2.3 分析方法.....	19
3.3 主観評価実験.....	20
3.3.1 実験概要.....	20
3.3.2 実験条件.....	20
3.3.3 分析方法.....	23
第4章 実験結果及び考察.....	25
4.1 特徴抽出実験の結果.....	25
4.1.1 各ドライバの実験終了時点の走行回数及びアンケート回答.....	25

4.1.2 各ドライバの特徴と見なす特徴量.....	25
4.1.3 最大操舵角速度の分析.....	26
4.2 自動運転を用いた主観評価実験の結果.....	28
4.2.1 各ドライバの主観評価結果.....	28
4.2.2 ドライバ全体での主観評価分析.....	30
4.3 考察.....	32
第5章 結論.....	34
5.1 まとめ.....	34
5.2 今後の課題.....	35
参考文献.....	36
謝辞.....	39
付録.....	40

第1章

序論

1.1 研究背景

近年では制御技術の発展に伴い、先進安全運転システムや自動運転の開発が行われており、すでに ACC(アダプティブ・クルーズ・コントロール)^[1]や車線逸脱防止支援システム^{[2][3]}等が利用されている。これらシステムの安全性や快適性向上のため、人間の運転操作を詳細に調べることは重要であり、多くの研究が行われてきた。車両と人間を一つのシステムと捉えて、そのシステムを考えるという人-自動車系の考えに基づき、ドライバの運転操作をモデル化したドライバモデルの研究が多く行われている。関連する研究として、支援システムへの理解度が与える影響の実路走行での評価^[4]や、支援システムにより運転における主体感が失われることを危惧して、運転支援システムに主体性を付与する研究^[5]などが行われている。つまり、ドライバ単独では無く、運転に対し車両側が主体的に制御、介入する場面が増えることが予想される。また自動運転では、旅客・物流とオーナー・カーでは自動運転の発展の方向性が異なると考えられる^[6-7]。久代は、自動運転レベル 2・3 等の条件付き自動運転においては、ドライバと車両の間で操作の受け渡しが行われるなど人間と機械との関係の研究は重要であり、レベル 4・5 の高度・完全自動化においても不安軽減等の観点からドライバの癖や傾向を把握する必要があると述べている^[8]。佐藤は運転支援や自動運転を利用する場合においても、システムと人の相互作用となるため、人の研究は必要であるとし、ドライバの運転行動を理解し、ドライバ個人の運転行動に適合した運転支援が重要となると指摘している。また、レベル 2・3 の自動運転においては、自動運転と手動運転の切り替えに関する情報提示への受容性もドライバの個人特性によって異なると考えられるなど、自動運転の開発に当たってもドライバ個人を知る研究は必要不可欠であるとも述べている^[9]。

近年そうした研究の中から、画一的な設計・制御ではなく個人の感性や特性に合わせて設計・制御を行うことが提案され、ドライバが車両を「意のまま」に操作できている

と感ずる状態を定量的に示そうとする研究^[10-11]や、熟練ドライバが車両を評価する際の表現を定量的に理解しようとする研究が行われている^[12-14]。貴島はマツダロードスターにおける感性工学の活用について、成熟市場では主観的な感性が消費者の購入判断基準において重要になることを述べ、クルマとドライバが一緒になって性能を活かすプロセスを「人馬一体」と表し、「ダイレクト感」「走り感」「一体感」等の概念で実際に設計に反映されたと述べている^[15]。

これらのような考え方を基にドライバ個人への適合・パーソナライズが可能なシステムが検討されている。皆木らは自動操舵と運転操作による操舵干渉の因果を明らかにし、運転者の感度特性に基づく操舵反力制御手法を提案している^[16]。高橋は運転支援装置における個人適応の可能性について指摘し、「ドライバの操作特性への適応的対応」をドライバの車両挙動期待に適応することと定義し、ドライバ特性を考慮し制御特性を変更すること検討している^[17]。

それに伴い、ドライバ特徴を抽出することの必要性が指摘されている。中野らは前方注視モデルに基づいた力覚操舵支援による車両安定性の向上の可能性を示したが、ドライバにより操舵タイミングと支援タイミングの好みが分かれるため、支援あたっては個人の運転特性を考慮する必要があると述べている^[18]。古賀らは熟練ドライバと初心者の比較を通じてそれぞれの運転特性の抽出を行っている。また、車両のオーナーの運転技能を考慮した、高度に個性化されたオーダーメイド車両の開発への期待を述べている^[19]。

これらの背景から、ドライバ特徴抽出に関する研究は今後さらに重要度が高まり、それらの知見の先進運転支援システムや自動運転への応用が期待される。

1.2 研究目的

背景でも述べたように、ドライバの特徴を効率よく正確に抽出することは重要であり、これらを目標とした研究が多く行われている。

横山らは運転行動データベースのセンサデータと、運転スタイルのアンケート調査による「せっかち」の特性との関連を調査し、追い越し行動における先行車との相対速度に対しドライバの感じる快適さに運転スタイルが影響を与えている可能性を示した^[20]。李らは、fNIRS とドライビングシミュレータを用いて、左右カーブの形状の違いが生む操作の違いと脳反応の違いを関連付けることで、ドライバの操作特性と脳の活性の関連を分析している^[21]。

特に加減速に着目した例として、岩崎らは時系列データを文字列によって抽象化する Symbolic Aggregate Approximation (SAX) の手法と、ランレングス符号化を組み合わせることで、時系列データからの特徴抽出を検討し、ブレーキ操作の特性の分類を行っている^[22-23]。松岡らは制動時の縦加加速度と身体挙動に着目し、搭乗者の快適性の個人差の検討において身体挙動が使用できる可能性を示している^[24]。横山らは直進走行時の車載データに階層的クラスタリングを用いて加減速による前後方向の挙動における特徴量の抽出を検討し、運転スタイルのアンケート結果とクラスタリングの結果との関連を示した^[25]。赤松らは走行の時系列データから、停止、発進、右折、左折、の動作を抽出し、各動作内で Dynamic Time Warping を用いた加速度波形のクラスタリングを行った。その結果を用いて運転特性の傾向の解析を行い、各動作内において特徴的な加速度パターンを確認している^[26]。

また、操舵に着目した例として、三宅らは、操舵反力等を用いた際の操舵感と感性評価結果の関連及び生理特性と感性評価結果の関連から、操舵のオフセンタ領域における操舵感の設計指針を示している^[27]。竹原らはドライバの熟練度の差からのドライバ特性の抽出を提案している。車両特性と環境の特性に対するドライバの適応力に着目し、クランクコースでの走行実験を通じて操舵角標準偏差、運転荒さ、総操舵量の三指標から、適応力を考慮した運転技量の差から、ドライバの分類が可能であることを示した^[28]。

このように、ドライバ特徴抽出に関する既存の研究は、走行データからドライバ特徴の定義の検討を行うものと、ドライバの自己分析によるアンケート調査結果を用いた運転スタイルの分類と走行データの対応からドライバ特徴を示す指標を推測しようとする2つの流れがある。しかし、前者の場合は設計時に対象とする特徴がドライバの好む

特徴と異なる可能性がある点が、後者の場合はドライバ特徴の分析がドライバの自己分析に依存している点が課題であると考えられる。これには、ドライバ特徴とドライバの“好み”が一致していることが重要であり、ドライバ自身の走行データに含まれる定量的指標から導かれたドライバ特徴と、ドライバの運転の“好み”が一致しているかを確認する必要があると考える。そこで本研究では、抽出されたドライバ特徴とドライバの運転の好み・評価との関係を整理・実証することを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を述べる。第1章で研究背景と研究目的について述べる。第2章では、特徴抽出手法及びその検証方法について説明する。第3章では、ドライビングシミュレータを用いた実験についての詳細を述べる。第4章では、実験結果と考察について述べる。最後に第5章では、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

第2章

ドライバ特徴抽出手法及び その検証方法

本章では、ドライバ特徴抽出手法と、その検証方法について述べる。2.1 節に本研究におけるドライバ特徴の定義、2.2 節にドライバの特徴と主観的な好みとの関係、2.3 節に特徴抽出実験を、2.4 節に主観評価実験を記す。

2.1 本研究におけるドライバ特徴の定義

ドライバの主観的な評価の向上に向け、ドライバの好む制御目標の検討が行われており、ドライバ特徴の再現が方法の一つとして考えられる。しかし1.2節で述べたように、ドライバ特徴をどう定義するかについて多くの研究がなされているが、現在においても様々な考え方・定義が存在しており、明確な定義をする事は困難である。ドライバの好みという観点からドライバ特徴を考えた場合、ドライバ自身が意思を持って選択していく制御目標、つまりは目標値への収束の過程が重要であると考えられる。したがって本研究では、ドライバの好みを推測し、制御目標として使用することを目的とし、ドライバ特徴の抽出方法を検討するためのドライバの好みとなる目標値を運転の習熟過程に着目して検討する。思い通りに運転できている状態が十分習熟した状態であるとする場合、運転における制御目標の決定が習熟の判断に影響を与えていることが考えられる。一方、習熟していない状態では、制御目標が定まっておらず目標値も定まっていないことが考えられる。つまり、操作内容がばらつき、習熟するにつれて制御目標が定まると、目標値も同様に一定の値に収束し、操作内容がばらつかなくなることが予想される。このような仮定の下、本研究においては、運転操作に含まれる種々の特徴量の中で、ド

ライバの習熟過程においてばらつきが減少し、目標値に値が収束した特徴量がドライバの特徴であると定義して検証を行う。

2.2 ドライバの特徴と主観的な好みとの関係

ドライバ特徴とドライバの好みの関係については、ドライバ特徴を含む複数の運転を体験してもらい、アンケートを用いた主観評価によって分析する。

システムや他者の運転などの受動的な運転においても、自身の運転と近いものを好むと仮定すれば、自動運転においても自身のドライバ特徴を含むものを選択することが予想される。そこで本研究では、ドライバ特徴を含む複数の自動運転を作成し、ドライバによるドライバ自身の特徴と一致する運転の評価を確認することで、ドライバが受動運転においても自身の運転を好むかを確認する。

具体的には、それぞれのドライバ毎に特徴量の中からドライバ特徴と判断できる特徴量を検討し、その特徴量においてばらつきが減少したタイミングの値を目標値と考え、それに従って検証するための実験条件を作成する。ばらつきの指標には標準偏差を使用する。また、その条件に従う自動運転の指令値を作成し、特徴を再現した運転を含む複数の自動運転を体験してもらい、アンケートに回答してもらうことで、好まれる運転を推測する。推測した特徴と好まれる運転の特徴が共通であるかを確認し、ドライバが受動運転においても自身の特徴を好むかを検討する。

2.3 特徴抽出実験

2.1 節で述べたドライバ特徴を抽出するための実験について述べる。本研究を進めるうえで、加速、減速、操舵など、多くの運転操作が含まれ、習熟の過程がわかりやすい環境が必要である。そこで、一連の操作で多くの行動が含まれ、大きな舵角が必要など、個人差が表れ易いと考えられる、交差点左折時の操舵行動を対象として検討する。交差点左折の操舵操作付近において、ドライバが自身の習熟度の判定に使用する要素として、速度調節、操舵操作、走行軌跡の3要素が考えられる。そこでこれらの要素に対し、それぞれ速度調節に対しては減速度、旋回時速度、操舵操作については横加速度、操舵角速度、走行軌跡については交差点内側との距離、交差点出口での進行方向に対する横偏差をそれぞれの要素を示すパラメータとして検討する。本研究では、パラメータとして、

最大減速度，旋回時平均速度，最大横加速度，最大操舵角速度，交差点内側最小距離，交差点通過後最大横偏差の特徴量を設定した．これらパラメータの評価にあたっては，時系列データの波形からばらつきを評価することが望ましく，1.2節で述べたように Dynamic Time Warping を用いた手法^[26]等が存在するが，本研究で扱うパラメータはそれぞれの次元が異なることから適用が難しいため，これらの値及び標準偏差から特徴の推測を行う．

Table 2.1 Driving behavior and element atmospheric pressure

Behavior Element	Parameter	
Speed control	Maximum deceleration	a_{max}
	Average turning speed	\bar{v}
Turning	Maximum steering angular velocity	$\dot{\theta}_{max}$
	Maximum lateral acceleration	\dot{y}_{max}
Deviation	Closest distance at intersection	Y_{c_min}
	Maximum lateral deviation after intersection	Y_{e_max}

最大操舵角速度については，切り戻し時を含まず，予測を含むフィードフォワード成分が強いと考えられる切り込み時のものを特徴量として使用する．特徴量として切り込み側の最大操舵角速度を使用した理由を以下に述べる．本研究では，ドライバの好みを推測する目的でドライバ特徴を考える．したがって特徴量として使用する際はドライバの意志か自己評価に影響を与えているパラメータが望ましい．影山らは，ドライバの操舵モデルとして，道路曲率情報に依存するフィードフォワード制御と前方注視距離に依存する前方注視三次予測のフィードバック制御を組み合わせたモデルを提案している^[29]．これを本研究の交差点左折に適用する．交差点左折において切り込みの際には，進入していく交差点の曲率から操舵角を予測しているが，一方で直進時と比べて車体角度は大きく変動していないため，目標コースとの偏差は小さいことが考えられる．したがって，切り込み時の制御ではフィードフォワード成分が強いと考えられる．また，切り戻しの際の操舵操作は，車体の旋回から直進動作へ移行する際の実操作である．このことからドライバが着目しているのは交差点の曲率ではなく，直進していく目標コースとの偏差であると考えられる．したがって，切り戻しの際にはフィードバック制御が強いと考えられる．切り込み時のフィードフォワード制御ではドライバ自身による意図的な操

作内容の選択が可能である。これに対し、切り戻しの際のフィードバック制御では目標コースの追従という制約から、ドライバ自身の意志や選択ではなく、無意識やドライバの意図にそぐわない操作が行われる可能性がある。したがって、切り込み時の操舵操作が、よりドライバの意図を反映していると考えられることができる。したがって、切り込み時の最大操舵角速度を特徴量として使用することとした。

2.4 主観評価実験

ここで、ドライバ特徴を抽出するための実験により得られた特徴と、主観評価との関係を検証するための実験について述べる。本実験ではドライバの特徴を反映する運転を含む複数の自動運転を作成し、走行したドライバに対しアンケートを利用した主観評価を実施することで、ドライバ特徴とドライバの好みの関連を分析する。本論文では、実験した結果から、まず最大操舵角速度に着目した。条件設定を行うにあたり、ある二名のドライバの走行軌跡を確認した。以下の Fig2.1 及び Fig2.2 にその一例を示す。最大操舵角速度が異なるドライバ間での軌跡の違いに加え、最大操舵角速度の値が近いドライバ間でも軌跡が異なることを確認した。

軌跡の差は操舵開始点の違い及び操舵開始から最大操舵角や操舵角速度に到達するまでの所要時間の違いが影響していると推測される。しかし、操舵開始座標は最小旋回半径などの軌跡の形状に加え、その旋回操作が交差点内の発生位置などが影響する。具体的には、2.3 節で述べたフィードフォワード部分が似ているとしても、その操舵開始座標はある程度自由に選ぶことが可能であり、フィードバック部分での差異として軌跡に表れることが推測される。つまり、交差点進入までの軌跡の形状は似ているものの操舵開始座標は異なる場合、旋回軌跡全体が交差点奥側に移動し、直進に移行するフィードバック部分のみが異なるなどが考えられる。この場合、操舵開始座標が軌跡の形状の特徴を十分に反映しているとは考えづらい。前述の操舵開始点及び最大操舵角速度に到達するまでの所要時間の両者を反映する方法が必要であると考えられる、そこで、最大操舵角速度発生時点のタイミングを表現するため、その時の車体角度を示す yaw 角を条件作成に使用することとした。

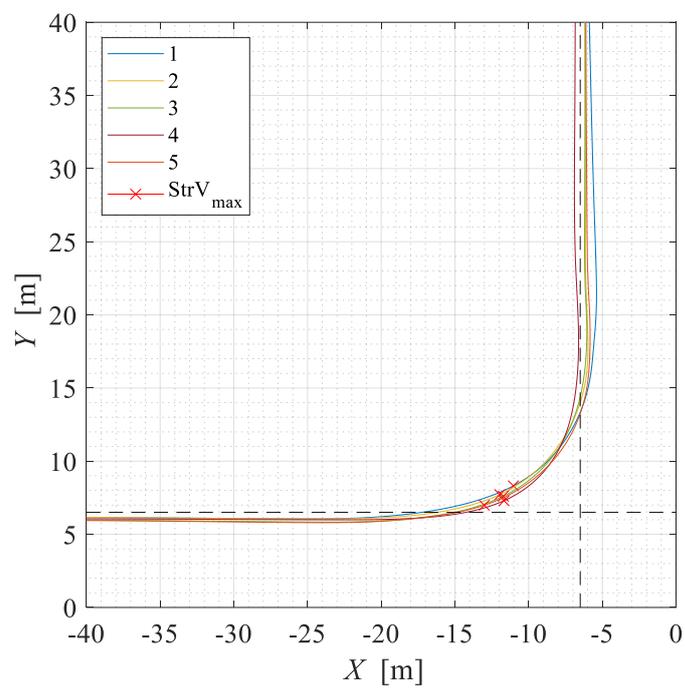


Fig. 2.1 Sample of Driving Trajectory 1

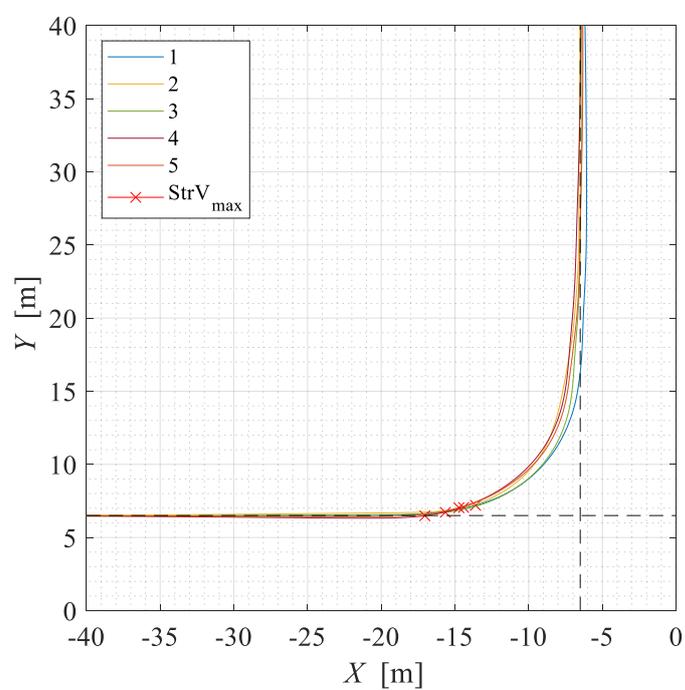


Fig. 2.2 Sample of Driving Trajectory 2

最大操舵角速度発生時点での車体角度を示す yaw 角が、操舵開始点及び最大操舵角速度に到達するまでの所要時間の両者を反映していると考えた理由を述べる。以下に車両運動のモデルの一例として等価二輪モデル^[30]におけるヨーレートの計算式を示す。式中のパラメータは以下の Table 2.2 に示す。

$$r = \frac{1}{1 + AV^2} \frac{V}{l} \delta \quad (1)$$

ただし、

$$A = -\frac{m}{2l^2} \frac{l_f K_f - l_r K_r}{K_f K_r} \quad (2)$$

Table 2.2 Vehicle Model Parameters

r	ヨーレート(車体角速度)
m	車体重量
l	ホイールベース
l_f	重心位置から前輪軸までの距離
l_r	重心位置から後輪軸までの距離
K_f	前輪のコーナリングスティフネス
K_r	後輪のコーナリングスティフネス
δ	実舵角

このように、車体角速度の計算においてはドライバの操作が影響するパラメータは実舵角及び速度となる。本実験は交差点左折を対象としているため、速度の選択可能範囲は大きくない。特徴抽出実験の結果においても、アンケート回答があった回数付近の旋回時平均速度はおおよそ $18 \pm 5 \text{ km/h}$ の範囲に収まった。そこで、速度を固定し一定値として考えると、実舵角 δ のみがドライバの影響を受けるパラメータであり、操舵角速度の影響を示すパラメータであると考えられる。操舵角加速度が一定であると仮定した場合、操舵角速度は一次式で示される直線で増加する。この場合操舵角は二次関数的に増加し、同時にヨーレートも二次関数的に増加する。従ってその積分値であるヨー角は三次関数的に増加する。したがって大小二つの操舵角加速度を仮定し、最大操舵角速度を同じ値に設定した場合、最大操舵角速度が同一だとしても、それに到達するまでの所要時間の違いにより最大操舵角速度時点での yaw 角が異なると考えられる。また、最大操舵角速度発生地点が同座標であると仮定すれば、発生までの所要時間の長いドライバは

より早い時点で操舵操作を開始していると考えられる. 以上の理由から本実験においては最大操舵角速度発生時点での yaw 角が操舵開始点と最大操舵角速度到達までの所要時間を反映していると考えた.

第3章

実験

前章で提案した特徴抽出手法に基づき、ドライビングシミュレータ(以下:DS)を用いて、交差点左折時のドライバの行動の計測実験と走行データの分析を行う。

本章では、3.1 節で実験環境について、3.2 節で特徴抽出実験の内容について、3.2 節で主観評価実験の内容について述べる。

3.1 実験環境

本節では、ドライバ特徴の抽出を目的とした交差点左折時の運転行動の計測を行う実験について述べる。3.1.1 節で本実験における走行環境について、3.1.2 節で実験装置について述べる。

3.1.1 走行環境

本実験で用いる走行環境は Fig. 3.1 に示すような、片側2車線の直線路が交差する交差点で、直線路は150m以上ある。天候は晴れた状態であり、路面は乾いたものとし、路面摩擦係数は0.7に設定した。また、このコースを走行する車両は、ドライバが運転している自車のみである。対向車などの周囲の自動車は存在せず、歩行者や自転車なども一切存在しない外乱のない環境となっている。また、この交差点には信号機が存在するが、今回は運転操作のみに着目するため、信号機は進行方向について常に青信号であり、停止線で止まる必要はない。本研究は左折を、交差点から約150m手前の第一走行車線から発進し、交差点で旋回後、第一走行車線に入るという走行と設定した。



Fig. 3.1 Driving Environment

3.1.2 実験装置

本研究では、DS を用いて実験を行う。DS は、実車を使用して実験を行うことに比べて、支援の実装や想定するコースの実装が簡単であり、条件を揃えることが容易である。このため、DS を実験装置として用い、走行データの収集及び自動運転の体験を行う。本研究で使用する DS の外観を Fig.3.2 に示す。DS を構成する機材は、3 台の PC、ステアリングホイール、アクセルペダル、ブレーキペダル、スクリーン 3 枚、プロジェクタ 3 台、エンジン音出力用スピーカー、スピードメータ表示用の小型液晶モニタである。PC1 は制御用コンピュータであり、自動車のダイナミクスを計算する。PC2 は映像表示用コンピュータであり、PC1 によって計算された車両挙動や運転風景をスクリーンに投影する。PC3 はスピードメータ表示用コンピュータであり、小型液晶モニタにスピードメータの表示を行う。PC1、PC2、PC3 は 1 台のディスプレイに接続されており、それぞれの PC の画面を 1 台のディスプレイ上に 4 分割表示する。ステアリングコントローラはステアリングおよびペダルで構成される。またステアリングは、車内空間を模したフレームに固定されており、急なハンドリング等のパワーに耐えられる剛性を確保している。ペダルはアクセルおよびブレーキの操作ができる。また、スピーカーからはエンジン音が流れる。



Fig. 3.2 Appearance of DS

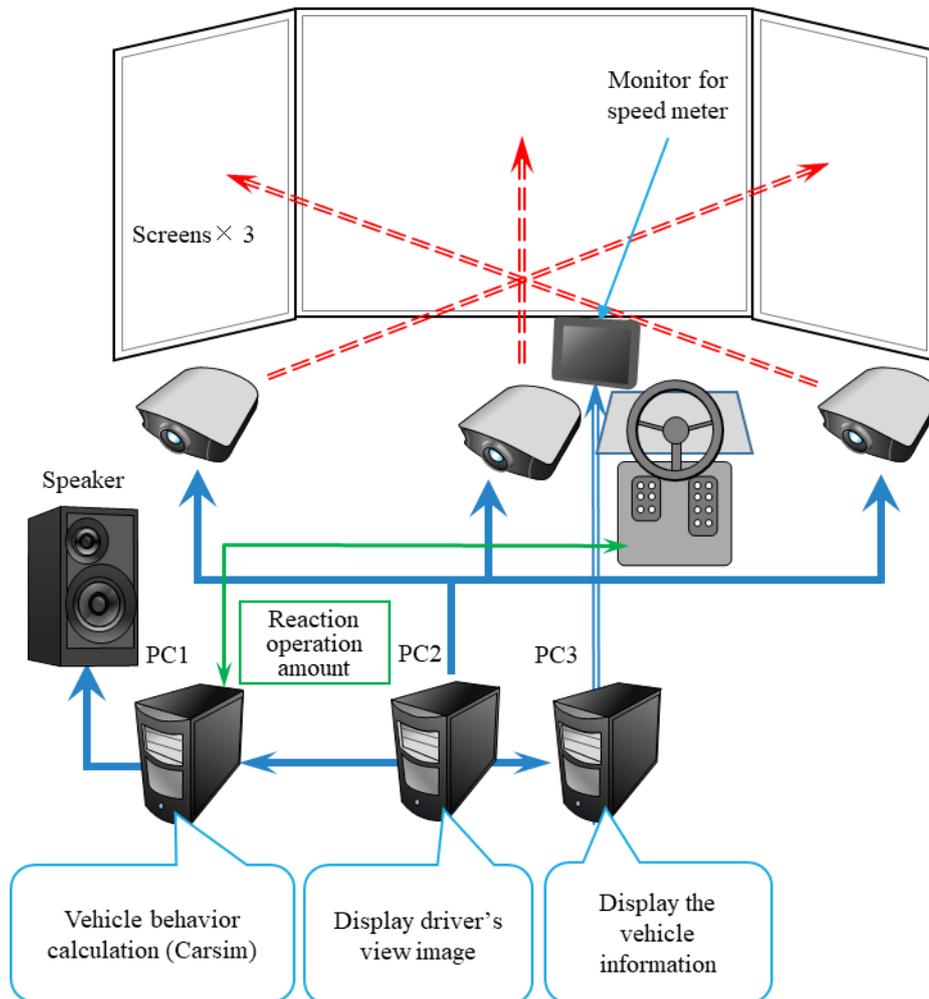


Fig. 3.3 DS configuration diagram

(1) 制御用コンピュータ (PC1)

ステアリングコントローラに付属しているアクセルとブレーキのペダルより、ドライバーの運転情報が PC1 に収集される。統合制御プログラムには開発用ソフトウェアとして C++Builder を使用し、CarSim には Visual C++ を使用している。CarSim は自動車のダイナミクスを計算するために使用する。本研究室では CarSim の ver. 5.15 を用いている。CarSim はドライバーのステアリング操作やアクセル、ブレーキ操作などの操作情報や走行環境などのパラメータを入力として受け取り、車両ダイナミクスの計算をリアルタイムで行い、出力として車両として車両の速度やエンジンの回転数、車両の挙動などを計

算する。また、これらの入力を自由に変更することができ、その条件を満たす車両挙動をシミュレーションすることができる。この CarSim だけではステアリング操作などの各入力からの情報の受け取りができないため、統合管理ソフトを用いることで、情報伝達や制御を可能にしている。

統合管理ソフトは、主にステアリングやアクセルなどのデバイスからドライバの運転情報を収集し、その情報を CarSim に与える。また、CarSim から車両のダイナミクスについての状態情報を受け取り、反力をステアリングに与えるなどデバイスに出力する。これは C++ Builder を用いて作成されており、Fig.3.4 にこのプログラムのユーザーインターフェイスを示す。この制御画面からシミュレータのコントロールが可能である。エンジン音はあらかじめ録音したエンジン音の一部を CarSim で計算されたエンジンの回転数に応じて統合制御プログラムが DirectX library を用いて音を作成し、スピーカーより出力する。

(2) 車両前方映像表示用コンピュータ (PC2)

PC2 は自車両の前方映像を表示するために用いる。市街地コースの三次元モデルが再現されており、メモリンクを介して PC1 から受信した現時刻の自車の動きを描画する。ここで作成された映像は3台のプロジェクタを用いて、それぞれ3枚のスクリーンに投影される。

(3) スピードメータ表示用コンピュータ (PC3)

PC3 は PC1 より送られてくる速度情報を用いて、運転席の小型液晶モニタにスピードメータを表示する。表示例を Fig.3.5 に示す。

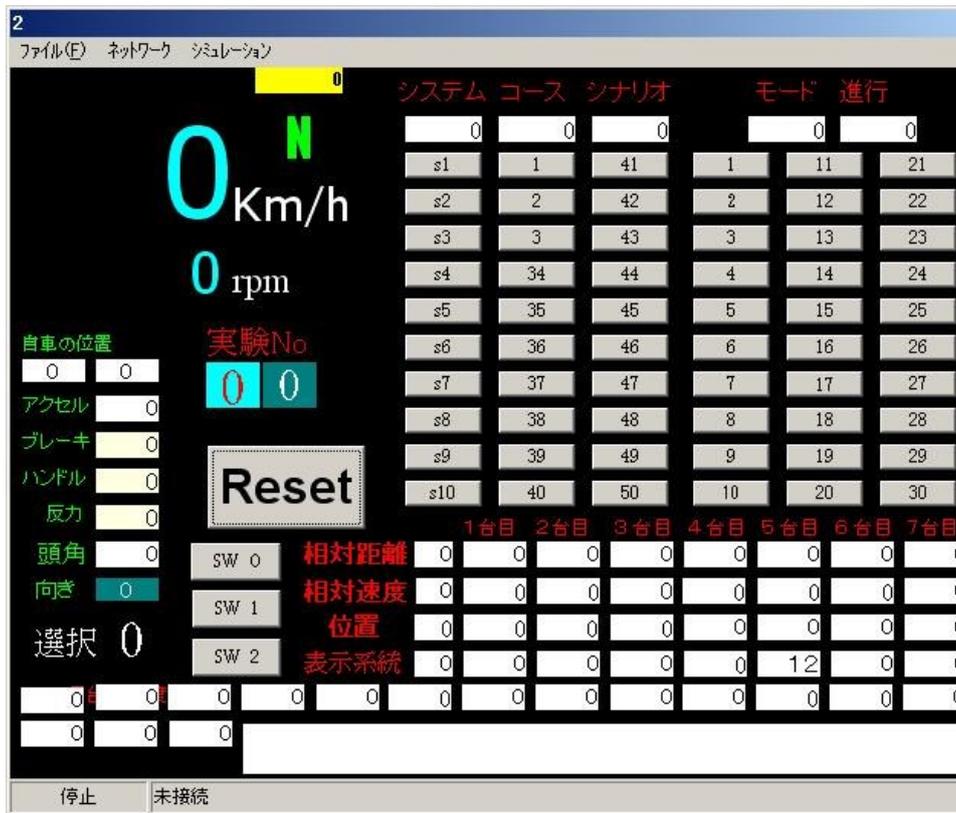


Fig.3.4 User interface



Fig.3.5 Speed meter interface

3.2 特徴抽出実験

本節では、ドライバ特徴の抽出を目的とした交差点左折時の運転行動の計測を行う実験について述べる。3.2.1 節で特徴抽出実験の概要、3.2.2 節で実験条件について、3.2.3 節で分析方法について述べる。

3.2.1 特徴抽出実験の概要

本実験ではドライバ特徴の抽出を目的とし、ドライバによる交差点左折走行時の時系列データの収集を行う。ドライバ特徴は習熟過程の分析を通じて抽出を行う。収集した時系列データに含まれる特徴量について、ドライバが“習熟した”と判断したタイミングにおいて、その時と、それまでの特徴量の推移を分析することでドライバ特徴を抽出する。

3.2.2 実験条件

本実験では交差点の第一走行車線から第一走行車線への左折実験を行う。実験協力者は合図の後に速やかに 40km/h まで加速し、十分な距離を走行する。その後、左折に向けて減速し、交差点を左折し、第一走行車線に進入し、再加速する。これらの行動やタイミングについては実験協力者の判断に任せた。これらの左折前後の一連の行動を 1 試行とする。走行回数は最少で 20 回、最大で 40 回とし、実験協力者には実験を進めていくうちに“同じような運転を繰り返すことができ、これよりも良い走行はできない、前より上手くはできない”，もしくは“疲労などを感じ、操作への集中が難しい”と感じた場合に「終了します」と宣言してもらい、その時点で走行を終了するとした。本実験の目的は習熟過程を分析することであり、偶然上手く運転できた時点で終了してしまうと分析が行えないことから、最少走行回数を設定した。最大走行回数は、走行回数が多すぎると実験時間が 1 時間を超えること、際限なく走行を繰り返す実験協力者が考えられること、本実験に参加していない実験協力者で予備実験を行った際に 40 回を超える走行を行ったものがいなかったこと等から判断して設定した。また、習熟過程の分析のため、交差点左折を行わない簡単な操作確認を除き、練習走行は実施しなかった。

また、走行終了後にアンケートを実施し、実験協力者が習熟したと感じた走行回数を回答してもらった。アンケートでは 5 回刻みの走行回数の中から、上手く運転できてい

たと感じられていた走行回数に近い番号を回答してもらった。実際のアンケート部分を以下の Fig.3.6 に、アンケート全体を付録に示す。

実験には普通自動車免許を所持している 20 代男性 10 名に参加してもらった。それぞれドライバ P1 から P10 と呼称する。

3. アンケート：

走行(回)： 0 5 10 15 20 25 30 35 40

Fig.3.6 Part of Questionnaire about the Number of Runs

3.2.3 分析方法

収集した時系列データから 2.3 節で述べた特徴量について抽出し、ドライバの習熟との関連の分析を通じて特徴抽出を行う。具体的には、ドライバが習熟したと判断したタイミングにおいて特徴量の値が収束し、ばらつきが減少したものをドライバ特徴の候補として検討する。分析では標準偏差をばらつきの指標として使用する。走行 5 回毎の特徴量の平均値および標準偏差を算出し、その推移を分析する。設定した 6 つの特徴量の中から標準偏差が減少傾向かつ平均値が収束したタイミングとアンケート回答が近い特徴量を、ドライバ特徴を示す特徴量であると考え、収束した値をドライバ特徴とする。ドライバの習熟の判断について、以下の場合、必ずしも最後の走行が“目標の状態”とは考えられない。ひとつに、ドライバが習熟したのちに何か新しい試みを行う可能性が挙げられる。もう一つに、ドライバが飽きてしまう可能性が挙げられる。これら二点の理由から、アンケート回答にしたがった試行を分析対象とするのが妥当であると判断した。

分析には、標準偏差の推移における走行全体での最大値、最小値、平均値、標準偏差と、アンケート回答付近の平均値及び標準偏差を使用する。なお、アンケート回答付近の平均値としたのは、回答できる走行回数が 5 回刻みであるためである。アンケートの回答が 25 回目の走行であった場合、その前後にも可能性があることから、付近の平均値とした。また、回答以降には前述の飽きや目標の変動が含まれる可能性があるためアンケート回数の前のみを対象とした。

走行全体の標準偏差の平均値と、アンケート回答付近の標準偏差を比較した際に、全体の平均値より一定以上標準偏差が低い場合、値が収束した時点で“習熟した”という判断を下したと考えられる。したがって、本実験では、走行全体の標準偏差の平均値よりアンケート回答付近での標準偏差の平均値が低い場合に、その特徴量がドライバ特徴を示すものとして考える。

3.3 主観評価実験

本節では、交差点左折の走行体験を通じた主観評価分析について述べる。3.3.1 節で実験概要、3.3.2 節で実験条件、3.3.3 節で分析方法について述べる。

3.3.1 実験概要

主観評価実験では、ドライバ特徴を反映する運転を含む複数の自動運転を作成し、先の実験に参加してもらった実験協力者にそれらの運転を体験してもらい、アンケートを利用した主観評価を実施することで、ドライバ特徴とドライバの好みの関連を分析する。本論文執筆にあたっては、ドライバ特徴抽出実験の結果より、まずは最大操舵角速度に関する分析を行うこととした。

3.3.2 実験条件

2.4 節で述べた最大操舵角速度及び最大操舵角速度発生時の車体角度を示す yaw 角の値を用いて自動運転を作成する。後述の特徴抽出実験の結果から、最大操舵角速度と yaw 角それぞれに対し、3 段階の値を設定した。これにより 9 種類の自動運転を作成可能であるが、第一走行車線から第一走行車線へと曲がりきることのできないものが 2 種類存在した。また、その 2 種類に該当する協力者も存在しなかった。そのため、9 種類からその 2 種類を除いた 7 種類の自動運転を実験条件として設定した。それぞれ運転 A から運転 G として呼称する。以下の Fig.3.7 に 7 種類の自動運転を、Fig.3.8 にそれぞれの自動運転の特徴量を、Fig.3.9 にそれぞれの自動運転の走行軌跡を示す。実験は DS 上で行う。実験協力者は特徴抽出実験に参加してもらった協力者のうちの 9 名である。

		yaw		
		Late	Mid	Early
$\dot{\theta}_{max}$	Low	G	F	
	Mid	E	D	C
	High		B	A

Fig.3.7 7 types of Auto Drive

Parameter	A	B	C	D	E	F	G
a_{max} [G]	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
\bar{v} [km/h]	18	18	18	18	18	18	18
$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	300	296	241	239	238	179	178
\ddot{y}_{max} [G]	0.34	0.30	0.29	0.27	0.27	0.25	0.25
Y_{c_min} [m]	7.0	7.2	7.2	6.7	5.9	6.3	5.5
Y_{e_max} [m]	1.2	1.3	1.3	1.1	0.5	1.1	0.4

Fig.3.8 7 types of Auto Drive Features

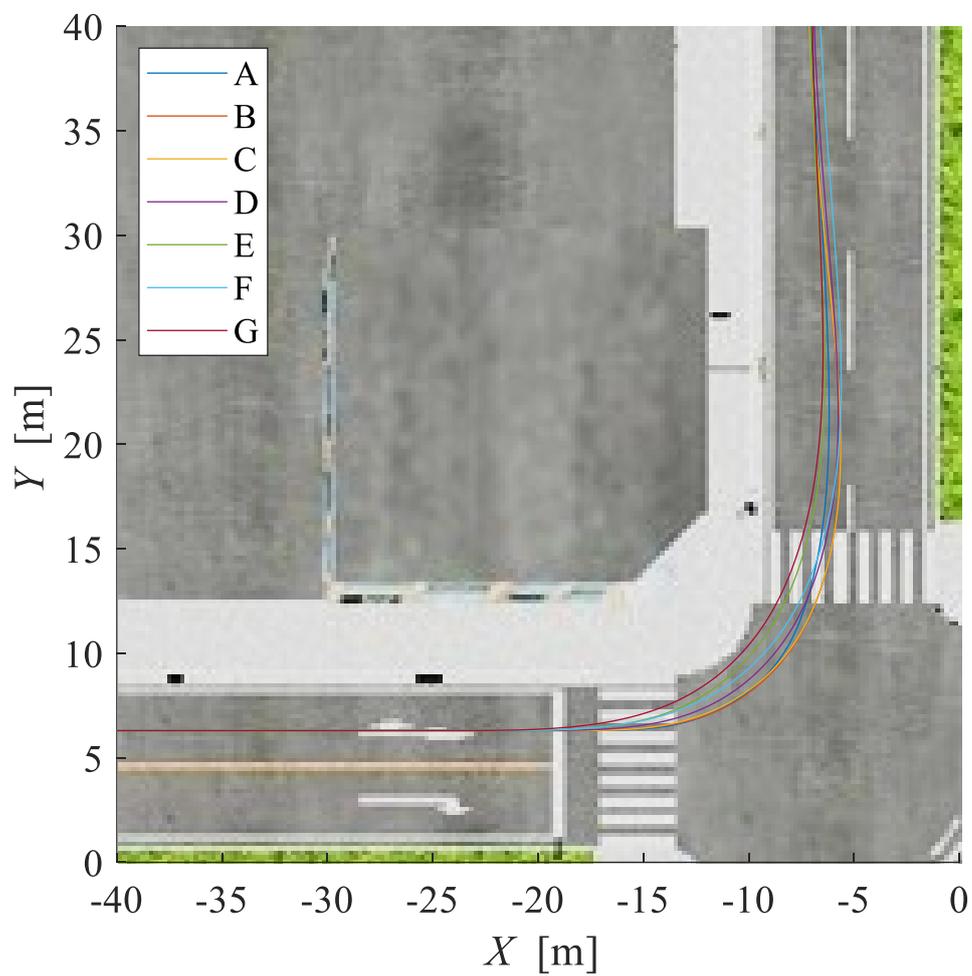


Fig. 3.9 7 types of Auto Drive Features Trajectory

また、本実験では後述の理由により一対比較法を使用する。7種類の運転で対を作成すると21対となるため21条件とし、条件1から条件21までの各条件に、それぞれ運転①と運転②を設定した。一対比較法では順序効果による影響及び裏を考慮する必要があるため、協力者には運転①、運転②、次に順番を入れ替えて再度運転②、運転①の順に体験してもらった。条件は乱数を用いて並べ替え、対のうちどちらの運転を先に体験するかについても乱数を用いて決定した。4回の走行を終えた後、交差点を左折する際のハンドル操作について、「好みに近い」「良い」と感じた運転を回答してもらった。

3.3.3 分析方法

本実験の主観評価では一対比較法を用いる。本実験における主観評価の目的は、ドライバーが7つの運転の中からどのような特徴運転を好むかを明らかにすること及び最も好む運転を明らかにすることである。7つの運転を比較するにあたり、順位法、点数等の間隔尺度、一対比較法を検討した。点数等の間隔尺度による運転の順位付けを試みた場合、同値であった場合のどちらを好んだかの判断がしづらいなど、取り扱いが難しい。また、順位法を使用する場合、最上位や最下位以外のデータの取り扱いが課題となる。本実験を想定した場合、3位から5位等は分析の対象とするのが困難になると言える。また、協力者の負担の面から考えても、7つの異なる運転を記憶し、比較しなければならず、負担が大きいと考えられる。以上の理由から一対比較法を採用した。また、一対比較においても、どちらが良いかだけではそれ以上の分析を行うことができない。二つの運転を比較した際に僅差で良かったのか、大差だったのが分析できる方がより深い考察を行うことができる。そこで、比較の際には回答を二段階から選択できるように設定した。以下のFig.3.10に例を、付録に実際のアンケート用紙を示す。

このアンケート結果を用いて、どの運転が最も好まれたかを判断する。具体的には、選択された回数の最も多かった運転を好まれたものとして考える。また、選択された回数が同数だった場合には、設定した二段階の回答において、「とても良い」の回答が多かったものを採用する。主観評価結果をドライバーの主観的な好みとして考え、特徴抽出実験において推測した特徴と好みが一致するかの判断に用いる。

第4章

実験結果及び考察

本章では、3.2 節で述べた特徴抽出実験及び 3.3 節で述べた主観評価実験の結果について、4.1 節及び 4.2 節でそれぞれの実験結果について、4.3 節で特徴抽出実験と主観評価実験の結果を関連付けた考察を述べる。

4.1 特徴抽出実験の結果

本節では、4.1.1 節で各ドライバの実験終了時点の走行回数及びアンケート回答について、4.1.2 節でドライバ走行データの推移の分析について、4.1.3 節で各ドライバの特徴と見なす特徴量について、4.1.4 節で最大操舵角速度の分析について述べる。

4.1.1 各ドライバの実験終了時点の走行回数及びアンケート回答

実験参加者 10 名をそれぞれ P1 から P10 とし、走行終了時点での走行回数と、アンケートにおいて回答のあった走行回数を Table 4.1 に示す。

Table 4.1 Number of Runs Answered and Last

Participant	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Answer	20	25	10	15	25	25	25	30	25	35
Max	40	36	28	27	28	26	31	40	28	34

4.1.2 各ドライバの特徴と見なす特徴量

3.2.3 節で述べた分析方法による、ばらつきの推移の分析結果を Table 4.2 に示す。本実験においては、走行全体の標準偏差とアンケート回答付近の標準偏差を比較した際に 20%以上の減少が見られたものをドライバの特徴を示す特徴量とした。表中において、

該当する項目を緑色で示した. 本来であればすべての特徴量に対し条件を設定し分析を行うべきであるが, 時間的制約により, 本論文では特徴を示すと考えられるドライバが特に多かった最大操舵角速度について分析を行うこととした.

Table 4.2 Standard Deviation Reduction Rate

Participant	Rate of Decrease [%]					
	a_{max}	\bar{v}	$\dot{\theta}_{max}$	\ddot{y}_{max}	Y_{c_min}	Y_{e_max}
P1	-40%	-49%	-54%	-35%	-13%	-35%
P2	-27%	-25%	-23%	-34%	19%	-60%
P3	-14%	-10%	64%	3%	32%	-12%
P4	-24%	-60%	7%	-57%	-28%	-26%
P5	-5%	11%	-49%	4%	-30%	-56%
P6	16%	-10%	-24%	7%	-28%	8%
P7	-1%	10%	-47%	-6%	-23%	27%
P8	6%	23%	-27%	14%	59%	18%
P9	19%	-18%	-34%	-29%	-28%	-24%
P10	-14%	-55%	-3%	-51%	-33%	13%

4.1.3 最大操舵角速度の分析

アンケート回答のあった回数付近での最大操舵角速度の平均値を Fig4.1 に示す. 図中の点線はそれぞれ黒線が全体の平均値を, 橙線が上位3データの平均値を, 青線が下位3データの平均値を, 緑線はそれらデータ以外の中位4データの平均値を示す. これらの結果をもとに, 自動運転の最大操舵角速度の設定値を 180, 240, 300 の3段階に設定した. また, この最大操舵角速度発生時の車体角度を示す yaw 角を Fig4.2 に示す. こちらも等間隔に3段階になるよう設定した. これらの結果と, 3.3.2 節で述べた実験条件において, 実験協力者がそれぞれの運転に相当したかを Table4.3 に纏める.

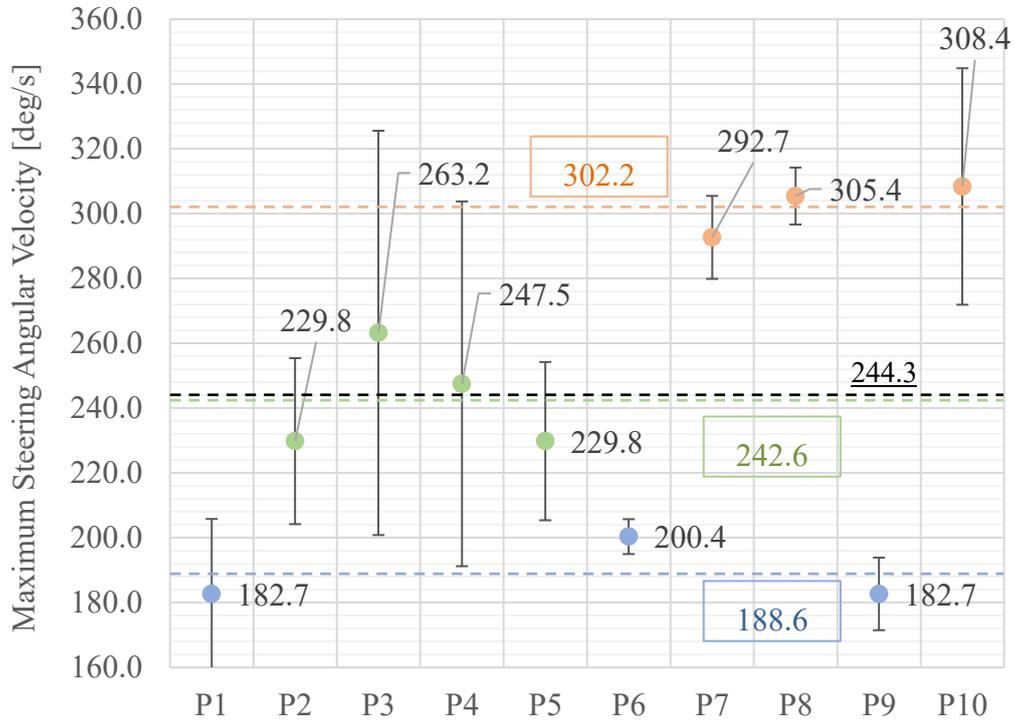


Fig. 4.1 Average of Maximum Steering Angle Velocity

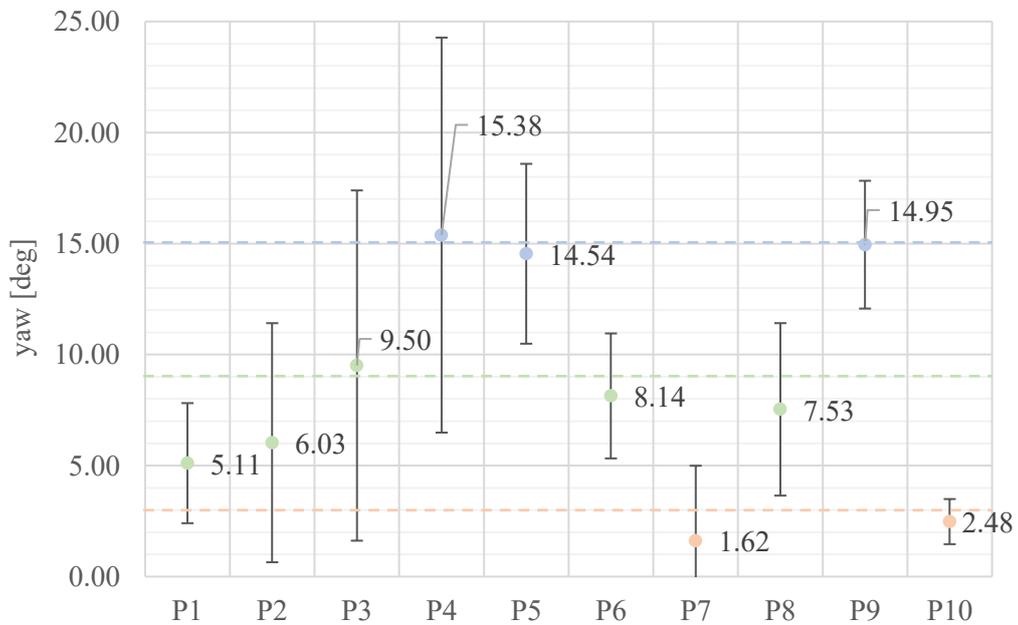


Fig. 4.2 Average Yaw Angle at Maximum Steering Angle Velocity

Table 4.3 Correspondence of 7 Types of Auto Drive and Drivers

			yaw		
			Late	Mid	Early
			15	9	3
$\dot{\theta}_{max}$	Low	180	9	1,6	
	Mid	240	4,5	2,3	
	High	300		8	7,10

4.2 自動運転を用いた主観評価実験の結果

本節では、3.3節で述べた主観評価実験の結果について、4.3.1節で各ドライバの主観評価結果について、4.3.2節で全体を通して整理した結果について述べる。

4.2.1 各ドライバの主観評価結果

特徴抽出実験において操舵角速度が特徴と推測した6名の各ドライバについて、主観評価の結果をFig4.4に示す。個別のドライバの結果について述べる。P1は運転Eが最も選択回数が多く、次いで運転Fが多かった。最も選択されなかったのは運転Aだった。P2は運転Dが最も選択回数が多く、次いで運転Bが多かった。最も選択されなかったのは運転Gだった。P5は運転Dが最も選択回数が多く、次いで運転Fが多かった。最も選択されなかったのは運転Aだった。P6は運転Gが最も選択回数が多く、次いで運転Fが多かった。最も選択されなかったのは運転Aだった。P7は運転Fが最も選択回数多く、次いで運転Gが多かった。最も選択されなかったのは運転Aだった。P8は運転Dが最も選択回数多く、次いで運転Fが多かった。最も選択されなかったのは運転Gだった。P9は運転Fが最も選択回数多く、次いで運転Eが多かった。最も選択されなかったのは運転Aだった。

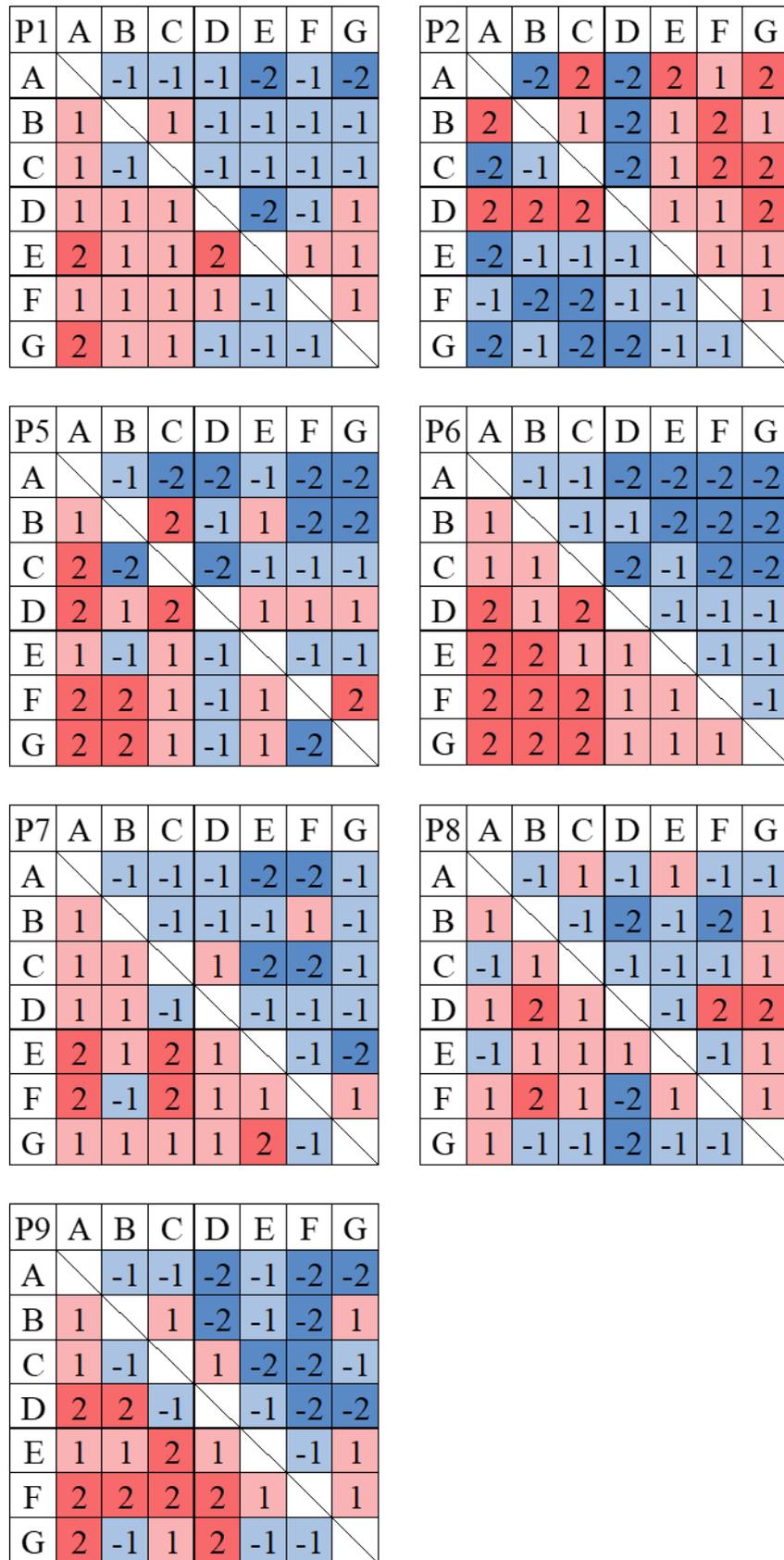


Fig 4.4 Experimental Results of Drivers' Auto Drive Preferences

4.2.2 ドライバ全体での主観評価分析

ドライバ全体の主観評価結果を整理したものを Table 4.5 に示す。図中の太文字は特徴抽出実験の結果をもとに推測されたドライバ特徴を含む自動運転である。操舵角速度の特徴と自動運転の好みが一致したドライバは P2, P5, P6, P9 の4名だった。一致しなかったドライバは P1, P7, P8 の3名だった。また、操舵角速度発生時の yaw 角含め、両条件とともに一致したのは P2 のみだった。加えて、全回答中の「とても良い」の選択率を各ドライバの毎に計算したものを Table 4.6 に示す。P1 が最も選択率が低く 14% だった。また、P2 が最も高く 52% だった。

Table 4.5 Drivers' Auto Drive Preferences

Participant	$\dot{\theta}_{max}$	300		240			180	
	yaw	3	9	3	9	15	9	15
AutoDrive		A	B	C	D	E	F	G
P1	win	0	2	1	4	6	5	3
	point	-8	-2	-4	1	8	4	1
P2	Win	4	5	3	6	2	1	0
	Point	3	5	0	10	-3	-6	-9
P5	Win	0	3	1	6	2	5	4
	Point	-10	-1	-5	8	-2	7	3
P6	Win	0	1	2	3	4	5	6
	Point	-10	-7	-5	2	4	7	9
P7	Win	0	2	3	2	4	5	5
	Point	-8	-2	-2	-2	3	6	5
P8	Win	2	2	2	5	4	5	1
	Point	-2	-4	-2	7	2	4	-5
P9	Win	0	3	2	2	5	6	3
	Point	-9	-2	-4	-2	5	10	2

Table 4.6 Selection Rate of "Very good"

Participant	Selection Rate
P1	14%
P2	52%
P5	43%
P6	48%
P7	24%
P8	19%
P9	43%
Ave.	35%

4.3 考察

ここでは特徴抽出実験と主観評価実験の結果を紐づけて、最大操舵角速度によって特徴を推測できると考えたドライバについて、それぞれ各個人毎の結果に対する考察及び全体を通しての考察を述べる。

最初に操舵角速度のみに絞って考察をする。最大操舵角速度が特徴だと推測したドライバのうち、ドライバ P2, P5, P6, P9 の4人は特徴抽出実験で推測した特徴と特徴の一致する運転を好んだ。このことから、習熟過程におけるばらつきの推移から、特徴を推測できる可能性がある。また、ドライバ特徴と、受動運転における主観的な好みも一定の制約の中で一致する可能性があると言える。全体を通して、運転 A の選択率が低かった。また、運転 C の選択率が運転 A に次いで低かった。運転 A と運転 C に共通するのは、最大操舵角速度が発生する際の yaw 角が小さいことがあげられる。2.4 節で述べたように、最大操舵角速度が発生する際の yaw 角が小さいことから操舵開始から最大操舵角速度に到達するまでの時間が短いことが考えられる。これがドライバに急激な操作と感じられている可能性があり受動運転になると評価が下がる要因となる可能性がある。また、全体を通して運転 F の選択率が高かった。先述のように急激な操作が嫌がられるのであれば、運転 F に比べて最大操舵角速度の発生する yaw 角の大きい運転 G の評価が高くなっていても良いはずである。しかし、3.3.2 で示したように、運転 G は運転 F と比べ約 0.8m 交差点内側に近い軌跡を走行している。運転 G が選択されなかったのは受動運転の際に軌跡が内側に近すぎるのが嫌がられ、操舵角速度以外の部分で評価が変わった可能性がある。

次にドライバ個人毎の考察を述べる。ドライバ P1 は運転 A, B, C の選択が少なく、運転 E, F の選択が多かった。このことから、端的に言えば「急ハンドル」を嫌がるドライバだと推測される。一方で運転 G が運転 E や F に比べ評価が低かったのは、前述の軌跡の影響が考えられる。また、最大操舵角速度の低い運転 F より運転 E が好まれた理由として、運転 E の方が操舵角速度発生までの時間が長いことが考えられる。前述の運転 A 及び C が好まれなかった理由と同じ理由から、運転 F よりも運転 E の方が好まれた可能性があり、これが推測した最大操舵角速度の特徴と好む自動運転の不一致を招いた可能性が考えられる。ドライバ P2 は他のドライバに比べて運転 E, F, G の選択が少なかった。このことから、受動運転においても(メリハリのある?)運転を好むことが推測される。ドライバ P5 は運転 D, F の評価が高かった。特徴抽出実験の結果を見

ると交差点内側の最小距離を重視していることが推測され、運転 E, G は交差点内側との距離が近いことが評価を下げた可能性が考えられる。しかしその一方で自身の運転は運転 E の特徴があるため、受動運転時と自身の運転では軌跡の好みが変わる可能性が考えられる。ドライバ P6 は最大操舵角速度が小さいものを常に選択した。また、自身の運転の特徴よりも、最大操舵角速度までの到達時間の長い G を評価したことからも、P1 と同じく「急ハンドル」を嫌がるドライバだと推測される。ドライバ P7 は自身の運転と好みとが大きく異なった。実際の P7 の走行軌跡を確認すると、操舵開始前に車両を一度交差点外側に向けており、「大回り」の軌跡を描いているのが読み取れる。この一度頭を振る操作により、外に振った後に内側に戻る、「切り戻し」の操作が発生する。これによって最大操舵角速度がより大きく、その際の yaw 角は小さくなったことが推測される。P7 に関しては、特徴を含む運転として正しく反映できていなかったことが、操舵角速度による分類の不一致を招いた可能性がある。ドライバ P8 も P7 と同様に操舵角速度の特徴と受動運転における好みが一貫しなかった。運転 G の評価が低いけど運転 E の評価は悪くはない。また、全体としてアンケート回答に -2 や 2 が少ないことから、あまり差が分からなかった可能性が考えられる。ドライバ P9 は運転 E, F の評価が高く、「急ハンドルを嫌う」ドライバの可能性もある。一方で運転 G の評価が低い。特徴抽出実験の結果を見ると、最大操舵角速度の他に最大横加速度と交差点内側最小距離も特徴の可能性もある。このことから、最大操舵角速度だけであれば運転 G も好まれたが、走行軌跡によって選択されなかった可能性がある。

第5章

結論

本章では、5.1 節に本研究のまとめを、5.2 節に今後の展望を述べる。

5.1 まとめ

先進安全運転システムや自動運転などにより、運転に際し、車両側が主体的に制御、介入する場面が増えると予想される。これに伴い、ドライバ個人の好みに合わせた制御を目指し、その制御目標の検討に向けドライバ特徴抽出の研究が行われている。それらの研究には、走行データからドライバ特徴の定義の検討を行うものと、アンケート調査を用いたドライバの自己分析による運転スタイルと走行データの対応からドライバ特徴を示す指標を推測しようとするものがある。しかし、前者の場合は設計時に対象とする特徴がドライバの好む特徴と異なる可能性がある点が、後者の場合はドライバ特徴の分析がドライバの自己分析に依存している点が課題となる。今後、ドライバが運転に対し受動的になる際の制御目標にドライバ特徴を用いることが、ドライバの主観的な好みと一致するかには議論の余地がある。そこで、本研究ではドライバの走行データからドライバの主観的な好みを推測し、ドライバ特徴と主観的な好みの関係性を明らかにすることで、運転支援システムや自動運転における受動的な運転の制御目標としてドライバ特徴を使用することの妥当性について検討した。

本研究では、ドライバの好みと特徴について検討するため、ドライバが意思を持って選択した制御目標をドライバ特徴と定義し、習熟過程におけるばらつきの推移をもとに推測する。ドライバが走行を繰り返すうちに習熟が進み、制御目標が定まることで、操作量が一定の値に収束することが考えられる。この収束した際の値がドライバの自身で設定した目標値であり、好みを示す可能性のあるドライバ特徴であると仮定し検証した。

推測した特徴とドライバの主観的な好みとの関連を確認するため、ドライビングシミュレータを用いた検証を行った。交差点左折を対象とし、左折における走行データの収集実験と、自動運転を使用した走行体験に対する主観評価実験を行った。走行データの

収集実験では、実験協力者に自身が習熟したと判断するまで走行を行ってもらい、設定した特徴量の値と、ばらつきの指標としての標準偏差を用いて分析を行った。結果として、特に操舵角速度において標準偏差の減少傾向とドライバ自身による習熟判断が一致する傾向を確認した。次に、主観評価実験では、操舵角速度を条件に、それぞれのドライバ特徴を含む7種類の自動運転を作成した。評価には一対比較法を使用し、実験協力者には作成した自動運転を交互に体験してもらい、どちらが自身の好みに近いかを選択してもらった。その結果として、特徴抽出実験の結果から推測された自身の運転の特徴と同じ操舵角速度の特徴を持つ運転パターンを好んで選択することを確認した。

これらの結果から、習熟過程の操作のばらつきの推移に着目したドライバ特徴抽出の可能性と、ドライバ特徴をドライバの好みとして受動運転の際の制御目標に使用できる可能性を示した。

5.2 今後の課題

今後の課題として、今回の実験及び分析については、操舵角速度以外のパラメータについては検討できていない点が挙げられる。また、本論文での実験参加者数が少ないため、より多くの参加者での検討を行う必要がある。さらに、研究内容については、交差点左折以外の状況においても検討が必要であり、より多くの状況で活用可能な特徴抽出手法について検討する。また、受動運転時と主体的な操作時において評価の変わる特徴量や、評価の変わる範囲・条件等について分析を行うことで、評価の変化に対する具体的な対処について検討を行う。

参考文献

- [1] 本田技研工業「ACC (アダプティブ・クルーズ・コントロール) | Honda の安全技術」, <<https://www.honda.co.jp/tech/auto/safety/ACC.html>> (2023/01/30)
- [2] マツダ株式会社 「【MAZDA】LAS (レーンキープアシストシステム) | アクティブセーフティ技術」, <https://www.mazda.com/ja/archives/safety2/active_safety/las/> (2023/01/30)
- [3] トヨタ自動車株式会社「トヨタの安全技術/レーントレーシングアシスト/レーンキープコントロール/レーダークルーズコントロール/アダプティブクルーズコントロール/定速・全車速追従機能付クルーズコントロール/レーンチェンジアシスト」<<https://toyota.jp/safety/scene/highway/>> (2023/01/30)
- [4] 高橋 昭彦, 佐藤 稔久, 北崎 智之, 平尾 章成 ” 運転支援システムの理解度がドライバの精神的負担に与える影響—ACC および LKA を搭載した実車での実路走行評価—” 自動車技術会論文集 Vol.50, No.2, pp.486-491 (2019)
- [5] 谷田 公二, 片岡 俊樹, 舟橋 健司 “自己主体感に基づく運転支援システム設計の研究” 自動車技術会論文集 Vol.49, No.5, pp.1018-1023 (2018)
- [6] 経済産業省 自動運転ビジネス検討会:“自動走行の実現および普及に向けた取り組み報告と方針 Version 5.0 ”, 経済産業省 (2021)
- [7] 二宮 芳樹 “社会導入に向けた自動運転のあり方” 日本ロボット学会誌 Vol.38, No.1, pp47-51 (2020)
- [8] 佐藤 稔久 “自動車人間工学におけるユーザ像を明確にすることの重要性” 人間工学 ROMBUNNO.S2C1-2 (2019)
- [9] 久代 育生 “自動車の操舵感の設計技術に関する研究” 香川大学大学院工学研究科知能機械システム工学専攻平成 30 年度博士学位論文
- [10] 田尾 光規, 杉町 敏之, 須田 義大, 芝田 興史, 加藤 大輔, 深谷 龍生 “意のままの走りを実現する車両運動特性に関する研究” 自動車技術会論文集 Vol.48, No.6, pp.1265-1271 (2017)
- [11] 田尾 光規 “ドライバが意のままと感じる車両操舵応答特性に関する研究” 東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻平成 30 年度博士学位論文

- [12] 酒井 英樹 “操縦安定性の気持ちよさに関する主観評価の試乗評価動画に基づいた分類” 近畿大学次世代基盤技術研究所報告 Vol.12, pp.65-71 (2021)
- [13] 酒井 英樹 “操縦性の気持ちよさを設計に反映するための主観評価項目の試乗動画に基づく考察” 自動車技術会大会学術講演会講演予稿集 ROMBUNNO.329 (2020)
- [14] 酒井 英樹 “操舵過渡応答において顕在化する応答指標とその順序” 自動車技術会論文集 Vol.50, No.6, pp.1561-1568 (2019)
- [15] 貴島 孝雄 “感性重視のクルマづくり「マツダロードスター」” システム制御情報学会誌 Vol.63, No.4, pp.144-150 (2019)
- [16] 皆木 亮, 星野 洋, 堀 洋一 “運転者の感度特性に基づく反力制御によるアクティブ前輪操舵の実験的検証” 東京大学生産技術研究所 生産研究 Vol.61 No.6 pp.19-24 (2009)
- [17] 高橋 宏 “ドライバの個性を考慮した運転支援制御” 計測と制御 Vol.45, No.3, pp.237-242 (2006)
- [18] 中野 公彦, 関 正寛, 貝塚 勉, 鄭 仁, 櫻井 俊彰, 槇 徹雄 “曲線路走行中の前方注視距離に基づく力覚支援操舵” 自動車技術会論文集 Vol.48, No.6, pp. 1273-1278 (2017)
- [19] 古賀 あやめ, 奥田 裕之, 田崎 勇一, 鈴木 達也, 原口 健太郎, 康 子博 “運転個性を反映したモデル予測型自動運転システム—評価関数推定手法の提案—” 自動車技術会論文集 Vol.47, No.6, pp. 1431-1437 (2016)
- [20] 横山 達也, 高橋 大佑, 河村 美嗣, 山内 尚久 “車両のパーソナライズ化に向けた車両挙動分析” 情報処理学会全国大会講演論文集 Vol.82, No.3, pp.3-37 – 3-38 (2020)
- [21] 李 曙光, 杉町 敏之, 山邊 茂之, 中野 公彦, 田淵 義彦, 須田 義大, 高橋 秀喜, 折野 好倫, 山本 浩司, 吉野 加容子, 岡 徳之, 加藤 俊徳 “ドライビングシミュレータを用いた脳の計測に基づくドライバの運転特性” 東京大学生産技術研究所 生産研究 Vol.67 No.2 pp. 153-159 (2015)
- [22] 岩崎賢太, 白石陽 “ドライバの運転特性の抽出に向けた SAX を用いた車両挙動データの分析” 情報処理学会全国大会講演論文集 Vol.82, No.3, pp.3-61 – 3-62
- [23] 岩崎賢太, 白石陽 “自動運転の安心感向上に向けたドライバの運転特性の抽出手法の検討” 情報処理学会研究報告 Vol.2019-ITS-79, No.14, pp.1-6

-
- [24] 松岡 正憲, 大西 慶秀, 杉浦 憂, 西澤 幸男, 竹原 昭一郎 “自動運転時の制動に関する快適性と身体挙動の関係分析” 自動車技術会論文集 Vol.52, No.2, pp. 376-381 (2021)
- [25] 横山 達也, 河村 美嗣, 永井 幸政, 山内 尚久 “階層的クラスタリングを用いたドライバの運転特性抽出” 情報処理学会全国大会講演論文集 Vol.83, No.3, pp.3-7 – 3-8 (2021)
- [26] 赤松 伸樹, 河辺 徹, 合原 一究 “縦加速度と横加速度の時系列データに基づく乗り心地指標を用いた運転特性解析” 自動制御連合講演会講演論文集 Vol.61, pp.1292-1297
- [27] 三宅 正樹, 西尾 誠人, 神邊 篤史, 鈴木 桂輔 “生理特性を用いたオフセンタ領域における操舵感の評価” 自動車技術会論文集 Vol.53, No.2, pp.430-436 (2021)
- [28] 竹原 昭一郎, 須田 義大, 深田 修, 下山 修 “操舵行動におけるドライバ個人特性解析に関する研究” 自動車技術会論文集 Vol.40, No.3, pp.899-904 (2021)
- [29] 景山 一郎, 栗谷川 幸代, 山内 ゆかり, 石橋 基範, 鳥居塚 崇, 山田 多恵子, 青木 和夫, 時田 学:「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」, 自動車技術会論文集 Vol.48, No.2, pp.431-437 (2017)
- [30] 安部 正人 “自動車の運動と制御 第2版” (2012)

謝辞

本研究を進めるにあたり、香川大学創造工学部機械システムコース 堤成可講師には終始多大なる御指導、御鞭撻を親身になって行って頂き、深く感謝致し、厚く御礼申し上げます。

また、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 池浦良淳教授には研究に関する有益なご助言を頂き、深く感謝致します。厚く御礼申し上げます。

また、三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 早川聡一郎准教授には研究活動に行き詰った際には親身に話を聞いていただき、的確なアドバイスをして頂き、深く感謝致し、厚く御礼申し上げます。

また、大変お忙しい中本論文を査読して頂くと共に、多数のご教示、ご助言を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 小竹茂夫教授に厚く御礼申し上げます。

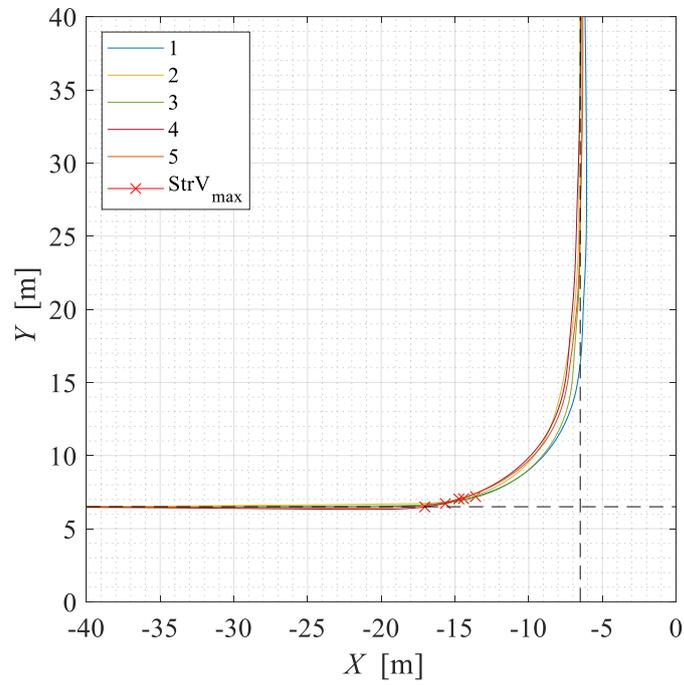
そして、苦楽を共にし、お互いに切磋琢磨して研究生活を充実したものにして頂いた修士2年生の皆様には心より感謝の意を表します。

また、実験に協力していただいた、修士1年生の皆様には感謝し、今後のご活躍を期待しております。

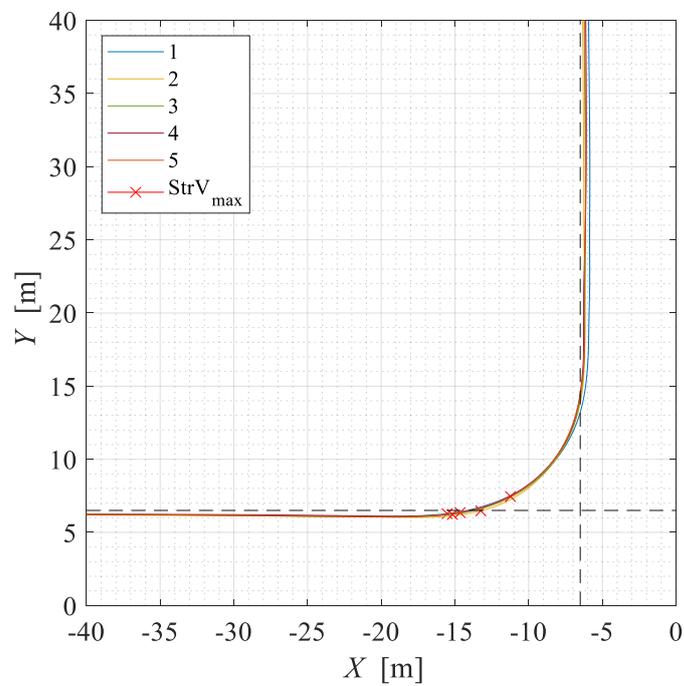
最後に、大学院在籍中、惜しめない援助を送ってくださった家族のお陰で充実した素晴らしい勉強・研究生活を送ることができました。感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。

付録

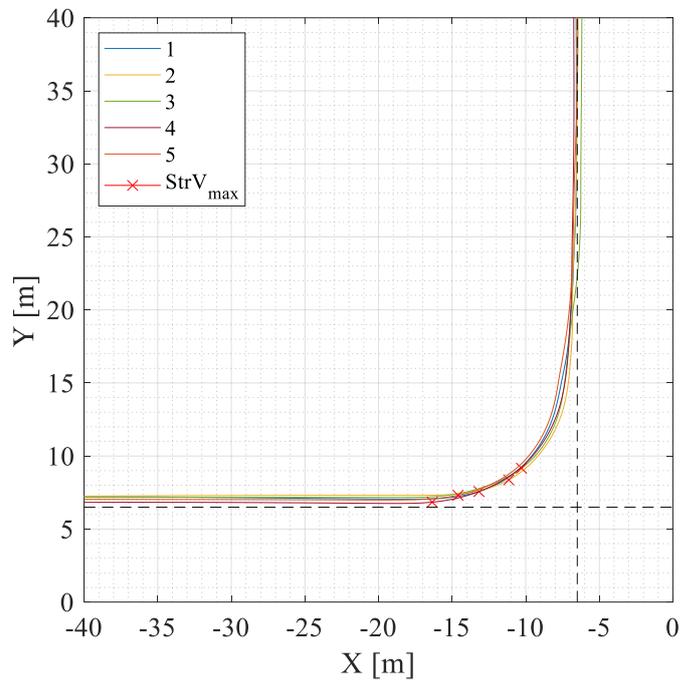
付録として、本研究で実施した実験に関するデータや主観アンケート用紙について掲載する。Sample1 には 3.2.2 節で述べたドライバの走行軌跡について、アンケート回答付近の 5 走行をまとめたものを載せる。縦横軸ともに距離を表す。Sample2 には特徴抽出実験で用いた主観アンケート用紙を示す。Sample3 には主観評価実験で用いた主観アンケート用紙を示す。



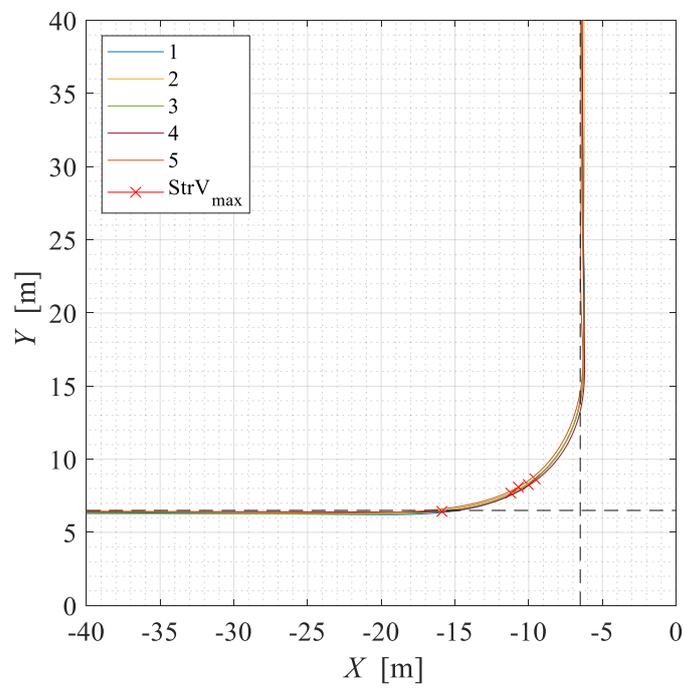
Sample 1.1 Driver P1 Trajectory



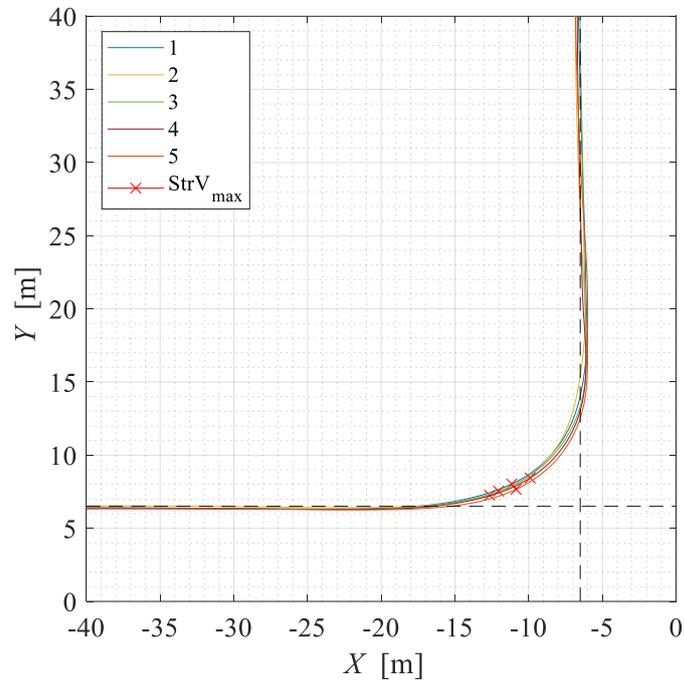
Sample 1.2 Driver P2 Trajectory



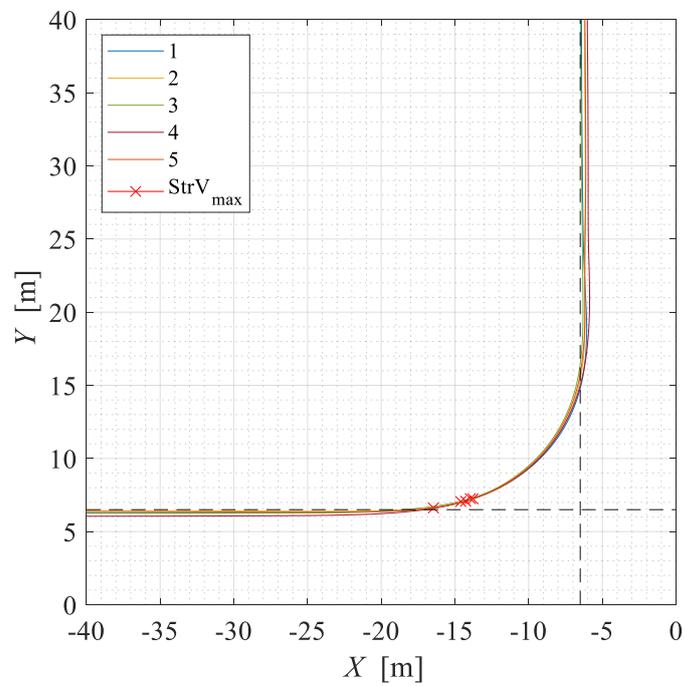
Sample 1.3 Driver P3 Trajectory



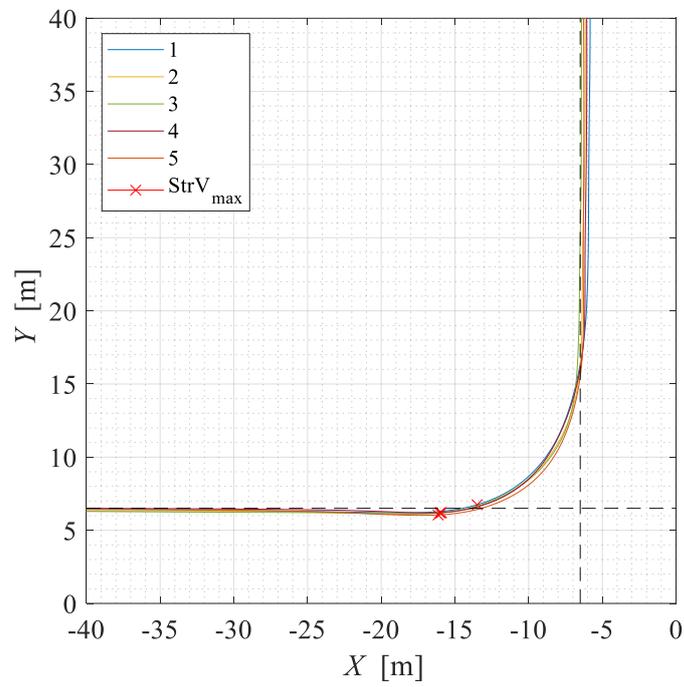
Sample 1.4 Driver P4 Trajectory



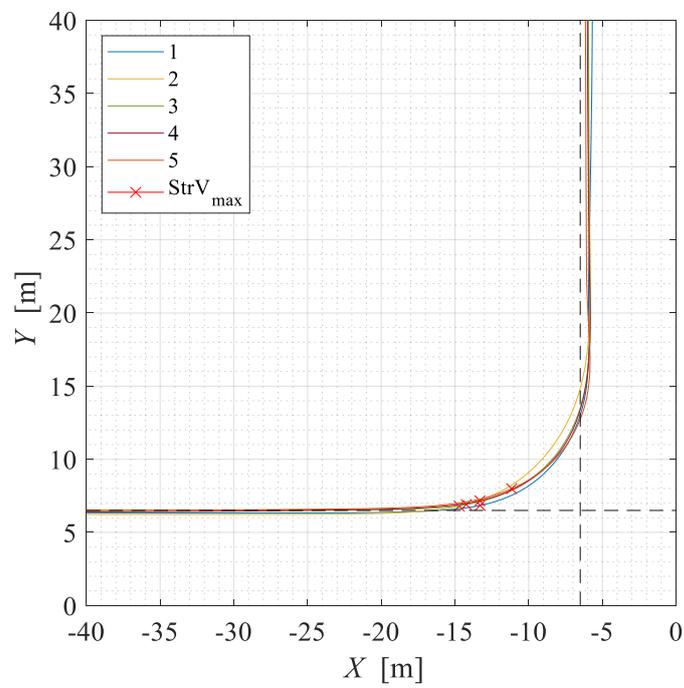
Sample 1.5 Driver P5 Trajectory



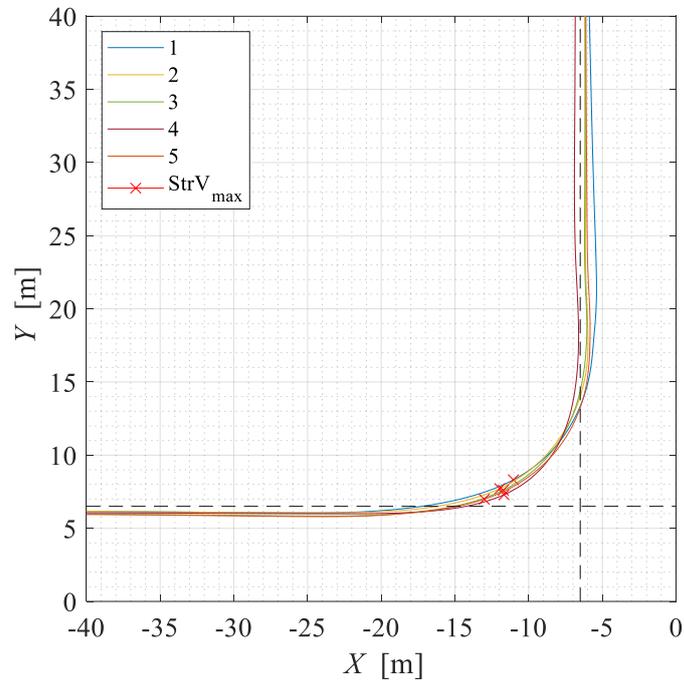
Sample 1.6 Driver P6 Trajectory



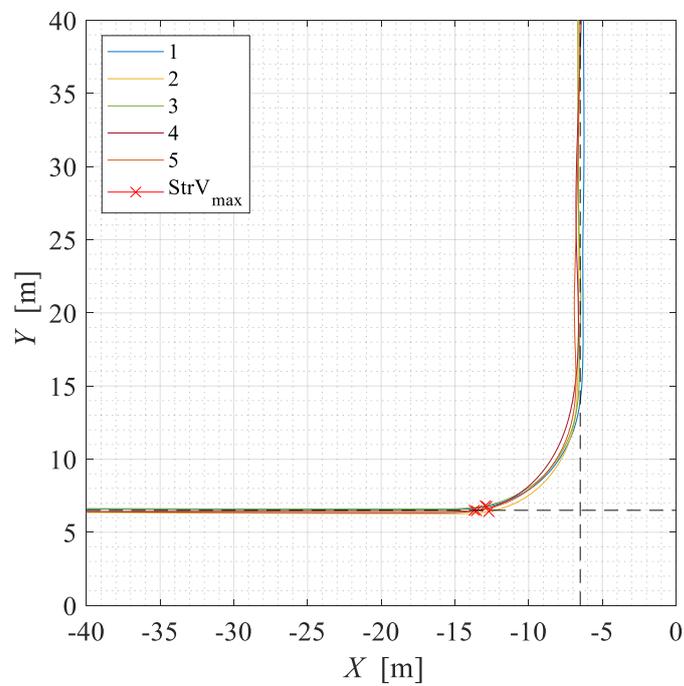
Sample 1.7 Driver P7 Trajectory



Sample 1.8 Driver P8 Trajectory



Sample 1.9 Driver P9 Trajectory



Sample 1.10 Driver P10 Trajectory

Sample2 Questionnaire 1

実験概要説明書類

「交差点左折時の運転行動の計測と評価」

実験の目的

本実験は、個人の好みにあわせた運転支援等に向けた運転時の特徴の調査と検証のため、複数回同じ道路を走行し、習熟して気持ちよく運転できるようになった際の運転時の行動を計測して、運転時の操作行動や車両の挙動に関連する情報を収集します。今回の実験では、交差点の左折時の行動に着目して運転時の行動を収集します。

実験の方法

この実験では、ドライビングシミュレータ上で表示される映像を見ながら、装置に設置されているステアリングやペダル類を操作してもらって運転実験を行います。細かい操作方法や条件については実験時に説明します。実験時間のめやすはおおよそ1時間程度です。また、全走行終了時にアンケートに回答してもらいます。お手元にあるアンケート用紙も一通りご確認ください。

予期される影響

希望すれば、実験への参加を延期あるいは中止が可能です。ただし、続く実験に再度参加する場合の延期は実験研究に支障を生じない場合とします。

また、ステアリング型コントローラや映像提示装置など、不慣れな装置を利用することによる疲労や酔いが発生する可能性があります。実験開始後いつでも実験の中止や延期が可能です。

また実験の延期あるいは中止により、参加者が不利益を受けることはありません。

人権や個人情報の保護

これらの実験で得たデータやアンケート結果は個人が特定されるような形で公表は致しません。

上記事項を確認のうえ、本実験に参加することを同意頂ける場合には、同意書を再度ご確認の上で署名いただき、ご参加いただきますようよろしくお願い致します。

Sample2 Questionnaire 1

運転評価アンケート

実験協力者 No.:

日付:

1. 実験の説明

本実験は、下記の目的や条件において行われます。

目的：個人の好みにあわせた運転支援等に向けた運転時の特徴の調査と検証。

内容：複数回同じ道路を走行し、習熟して気持ちよく運転できるようになった際の運転時の行動と車両挙動の計測。

終了：

- ・十分に慣れて、同じような運転を繰り返すことができるようになった場合。
- ・疲労などにより、これ以上やっても良くはならないと感じた時点。
- ・回数上限（40回）に達した場合。

また同意書にある通り、実験参加の延期あるいは中止はいつでも可能です。

2. アンケートの説明

実験を終了した後、運転評価として以下の3. アンケートに解答をお願い致します。

上手く運転できていたと感じられていた走行回に近い番号に、例のように○をつけてください。他に感じたことや気になった点があれば自由記述欄に記述をお願いします。

例：

走行(回)： 0 5 10 15 20 25 30 35 40

15回目付近が最も上手く運転できていたと感じた場合、上記のように○。

最終結果がわかるように書いていただければ、適宜メモ等していただいて構いません。

3. アンケート：

走行(回)： 0 5 10 15 20 25 30 35 40

自由記述欄：

「交差点左折の走行体験を通じた主観評価分析」

実験の目的

本実験は、個人の好みにあわせた運転支援等に向けた運転時の特徴と主観評価の関係の調査と検証のため、複数種類の運転の中から 2 つの運転を交互に体験し、どちらの運転が良かったかを選択してもらうことにより、特徴の異なる運転の比較を通じてドライバの好みを推測します。

実験の方法

この実験では、ドライビングシミュレータ上で表示される映像を見て左折走行を体験してもらう運転実験を行います。細かい操作方法や条件については実験時に説明します。実験時間のめやすはおおよそ 1 時間程度です。また、各条件終了時にアンケートに回答してもらいます。お手元にあるアンケート用紙を一通りご確認ください。

予期される影響

ステアリング型コントローラや映像提示装置など、不慣れな装置の利用による疲労や酔いが発生する可能性があります。実験開始後いつでも実験の中止や延期が可能です。

また実験の延期あるいは中止により、参加者が不利益を受けることはありません。

人権や個人情報の保護

これらの実験で得たデータやアンケート結果は個人が特定されるような形で公表は致しません。

上記事項を確認のうえ、本実験に参加することを同意頂ける場合には、同意書を再度ご確認の上で署名いただき、ご参加いただきますようよろしくお願い致します。

Sample3 Questionnaire 2

運転評価アンケート

実験協力者 No. :

日付 :

1. 実験の説明

本実験は、下記の目的や条件において行われます。

目的：個にあわせる運転支援開発に向けた、運転時の特徴と主観評価の関係の調査。

内容：特徴の異なる複数種類の運転の中から2つの運転を交互に体験し、どちらの運

転が良かったかを比較してもらうことによる運転の特徴に対する好みの推測。

また同意書にある通り、実験参加の延期あるいは中止はいつでも可能です。

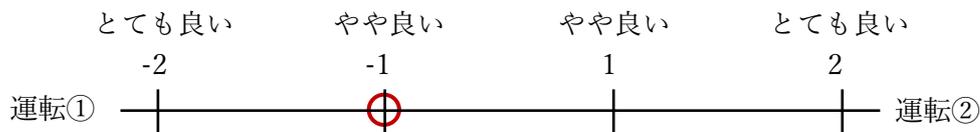
2. アンケートの説明

運転評価として次ページからのアンケートに解答をお願い致します。

①②の2つの運転を比較し、交差点を左折する際のハンドル操作について、

「好みに近い」「良い」と感じる運転に、例のように○をつけてください。

他に感じたことや気になった点があれば自由記述欄に記述をお願いします。

例：

運転①のほうが「好みに近い」「良い」と感じた場合、上記のように○。

アンケート用紙の余白は、自由にメモ等に使用してもらって構いません。

自由記述欄：

