
令和元年度 修士学位論文

交差点左折における
ドライバの運転特徴と感性の
関連性に関する研究

指導教員 早川 聡一郎 准教授

三重大学大学院

工学研究科機械工学専攻

人間支援システム研究室

中西 圭汰

目次

第1章 序論.....	3
1.1 研究背景.....	3
1.2 研究目的.....	5
1.3 本論文の構成.....	5
第2章 実験手段および方法.....	7
2.1 ドライバの運転特徴と感性.....	7
2.2 左折時の行動とその要素.....	8
2.3 運転特徴と感性の関係の検討方法.....	9
2.4 実験装置.....	9
2.5 走行環境.....	13
第3章 感性に影響する行動の要素とそのばらつきの範囲の特定.....	14
3.1 実験条件.....	14
3.2 分析方法.....	15
3.2.1 主観.....	15
3.2.2 要素.....	15
3.2.3 相関と標準偏差.....	16
3.3 結果.....	16
3.3.1 測定した要素の値.....	16
3.3.2 順位と測定した要素の値の相関.....	19
3.3.3 5回の試行の要素の値の標準偏差.....	19
3.4 分析結果.....	21

第4章 運転特徴の異なる運転が感性に与える影響.....	22
4.1 運転特徴の異なる自動で左折を行うシステムの設定値.....	22
4.2 実験条件.....	27
4.3 結果.....	29
4.3.1 評価結果.....	29
4.3.2 主観評価に対する評価方法.....	34
4.5 第3章の結果との比較と考察.....	37
第5章 結論.....	39
5.1 結論.....	39
5.2 今後の課題.....	39
参考文献.....	41
謝辞.....	43

第1章

序論

1.1 研究背景

事故発生件数の削減や、利便性向上のため、先々行車の情報を用いた予測運転支援システム^[1] や、周囲情報提示型運転支援システム^[2] などの様々な運転支援や自動運転が多数存在する。これらのシステムを制御するためには、制御方法および制御目標を設定する必要がある。これに関して面田らは熟練ドライバの走行方法を分析して支援方法に応用することが重要であると述べている^[3]。山門らは軌跡についてエキスパートドライバの運転を上手な運転として、加減速を行わないことを前提としたクロソイド曲線と解析的な考え方に基づく修正の観点から上手な運転の車両軌跡の定式化を検証している^[4]。その他の運転支援や自動運転のシステムでも熟練ドライバの運転に基づいて目標を設定していることが多い^[5]。

現状の運転支援装置の問題点として、高橋^[6] は多様なドライバの操作特性に対して、おおむね1種類の運転支援特性が存在するのみである点を挙げている。ドライバの操作特性に個別に適応して良好な運転支援を実現するという機能は今後重要な視座のひとつと考えられると述べている。さらに「ドライバの操作特性への適応的対応」とはドライバの車両挙動期待に適応することであると述べている。個々の運転操作の個性に関して、小林らは^[7] 運転技量の向上の促進のために運転操作における個性を定量化することを目標として解析した。古賀らは^[8] 自動車の車両試験のためのドライバの代替として、初心者や熟練者の運転者に見られる人間的な運転の特徴を模倣可能な車両テスト用自動走行システムを実現することを目的として、ドライバの熟練度による走行特性を調べた。その結果、特性の違いが操舵の滑らかさと追従性に表れていることを見出し、初心

者および熟練者の運転特性を反映させた自動制御を達成した。

このように熟練ドライバの運転に基づいた制御ではドライバの思い通りの挙動にならない場合もあり得る。しかし、いずれもドライバの感性による評価とは関連づけておらず、ドライバが不快に感じないとは限らない。実際に平岡^[9]らの衝突回避支援システムをドライビングシミュレータに実装した被験者実験の結果でも、「システムが運転の邪魔をしている」という意見を確認しており、個々人に合わせて支援トルクを決定する衝突回避支援システムを今後検討する必要があると述べている。

システムが制御している際の不快感の一因として、システムとドライバとの目標のずれが影響していることが考えられる。この不快感を低減するには、システムの目標値をドライバの目標値に可能な範囲で近づけることが理想である。平松らは^[10]個人に合わせた自動運転を提供するため、各ドライバの車間距離をモデル化した。この個人のモデルを反映した自動追従は、個人の感覚と一致していることを確認した。水谷は^[11]の自律走行制御システムに実装することを目指し、旋回開始点、旋回目標点を定義し、より人間の運転行動の再現精度が高いドライバ運転行動モデルを構築した。

このように先行研究では特定の行動に着目してシステムの目標値をドライバの目標値に近づけている。しかし、運転に関する行動は図 1.1 に示すように、加速、操舵、速度維持など数多くある。各ドライバは加速、操舵、速度維持などの各運転行動に対し評価軸があると考えられる。ただし、どの行動を重要視しているか、他人には分からない。

本研究では、ドライバが重要視している行動を特定すること、およびそれら行動の特徴から制御目標値を設定した自動運転を構築し、主観的な評価との対応を調べることで、

ドライバの運転特徴と感性の関連性について検討する。

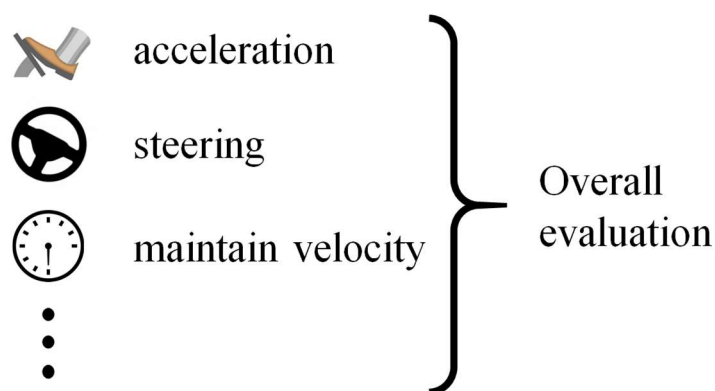


Fig. 1.1 Subjective evaluation criteria of own driving

1.2 研究目的

各ドライバがどの行動を重要視しているか他人からは分からないということは、個人適合した自動車車両制御を開発するエンジニアにも分からないということである。したがって制御目標値を決める際に基準とすべき行動は経験に基づき行われる。この時、制御目標値を個人適合する行動を1つに定めた場合、その行動を重要視していないドライバは評価が大きく良くならない恐れがある。もし事前に各ドライバが重要視している行動を特定できるのであれば、その行動についてシステムの目標値をドライバの目標値に近づける事が容易になる。さらに、感性に基づく評価が良い運転を定量的に表すことができれば、個々のドライバの感性に合わせた制御目標値を簡単可能となる。

本研究の目的は各ドライバが重要視している行動を特定するため、運転の特徴と感性による評価の関連性を調査することである。そのため、制御目標値を変更した時の感性に基づく評価の違いについて調査した。

1.3 本論文の構成

本章では、現状の車両制御とその問題点などを研究背景として述べ、その後、本研究において運転特徴と感性による評価の関連性を調査する目的について述べた。第2章ではその手段および実験方法について説明する。その後、第3章では感性に影響する行動

の要素とそのばらつきの範囲を特定することについて述べる。第4章では、運転特徴の異なる運転が感性に与える影響について述べる。最後に、第5章では本研究の結論と今後の課題について述べる。

第2章

実験手段および方法

2.1 ドライバの運転特徴と感性

本研究では感性を運転に対する上手, 下手, 好き, 嫌い, 良い, 悪いといった感情を知覚する能力, 感性に基づく評価を運転に対してどの程度好きなどと感じたかを主観的に評価することとそれぞれ定義する. ここで本研究における運転行動がドライバの感性に影響するメカニズムを以下に示す. ドライバによって各軸の評価は異なると考えた. いずれかの運転行動を重要視していると考えた. これらの概念を示す図として図 2.1 に各ドライバの運転特性の例を示す. 左のドライバからドライバ 1, 2, 3 とする. また破線より左側は操舵量の大小を, 右側はペダル操作量の大小を比較している. 図 2.1 においてドライバ 1 はペダルの操作量にこだわりはないが, 操舵を重点的に評価している. 逆にドライバ 2 は操舵にこだわりはないが, ペダルの操作量を重点的に評価している. ドライバ 3 は操舵もペダルの操作量も重点的に捉えている. この場合, どちらか一方を用いた画一的な制御では不快に感じるドライバがいる可能性がある. さらにそれぞれの評価軸について優先順位を持ちつつも総合して自身の運転を評価した結果, ドライバは感性に基づいてこれらの操作量を評価すると考えた. つまりこの重要視する部分の違いが個々のドライバの運転特徴の違いおよび感性に表れるものと考えた.

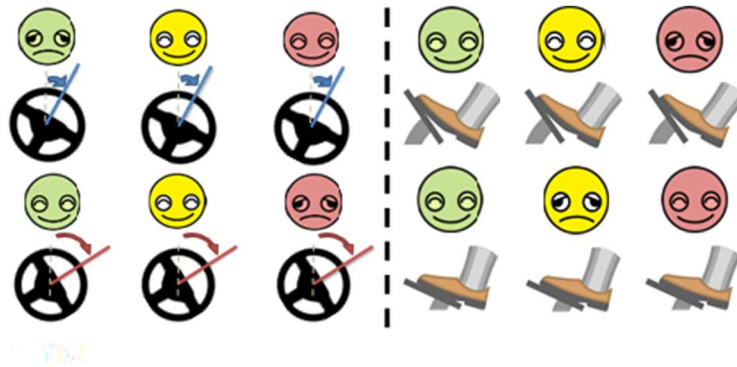


Fig. 2.1 Driving characteristics of individual drivers

2.2 左折時の行動とその要素

本研究では加減速や操舵などの行動の種類が多く、交差点形状によって速度や操舵角が一定の範囲で制約を受けることが予想され、特徴が出やすいと思われる交差点左折を対象とする。

交差点を左折する時、図 2.2 に示すように、ドライバは巡航速度まで加速し、一定距離を巡航、その後減速し、操舵の後再加速を行う。その結果として一つの軌跡が出来上がる。本研究ではこれらの行動を表 2.1 に示す運転行動の要素に分けて考える。

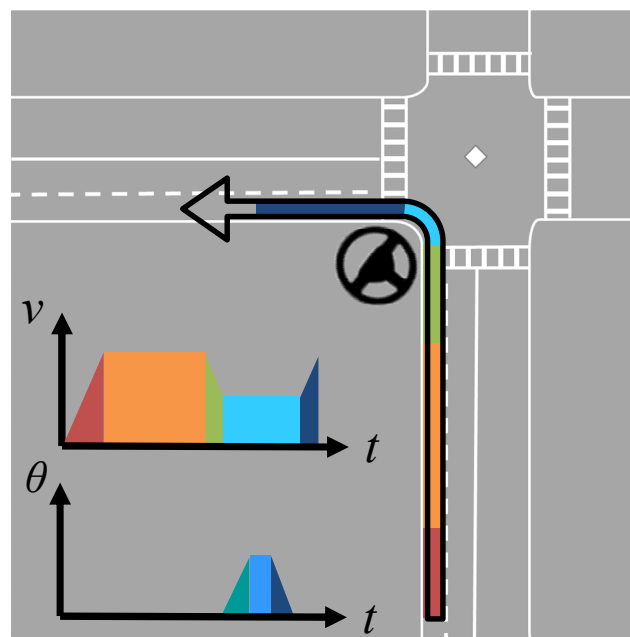


Fig. 2.2 Driving behavior

Table 2.1 Driving behavior, Element

Driving behavior	Element
Acceleration	Maximum acceleration a_{max}
Cruise	Cruise speed v_0
Deceleration	Deceleration start point x coordinate x_1
	Maximum deceleration α_{max}
	Deceleration end point x coordinate x_2
Steering	Steering start point x coordinate x_3
	Average turning vehicle speed \bar{v}
	Maximum steering angle θ_{max}
	Maximum steering angular velocity $\dot{\theta}_{max}$
	Steering end point y coordinate y_1

2.3 運転特徴と感性の関係の検討方法

本研究では運転特徴の違いと感性に基づく評価の関係を検討するため、前述の運転行動の各要素の値の変更が感性に基づく評価に与える影響を調査する。そのため、表に示す各要素の値の設定を変更可能な自動で左折を行うシステムを作成する。ここで、各要素の値の設定範囲が不明瞭である。これらの値について、各ドライバの運転行動に基づいて要素の値を設定する必要がある。そのため、本研究では、まずドライバの運転行動の特徴の違いと感性に基づく評価の関係を検討する実験を行い、ドライバ間の運転操作量やタイミングのばらつきを調査する。次に、特定された値の範囲で設定を変更した自動で左折するシステムを再現し、このシステムに対して感性に基づく評価を行ってもらう実験を行う。

2.4 実験装置

本節では、本研究室で開発した運転情報の収集が可能な三面型ドライビングシミュレータ（以下、DS と略す）の構成について説明する。本研究で使用する DS の構成図を図 2.3 に、外観を図 2.4 に示す。本研究で使用する DS 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ーで構成されている. DS 上部に設置された3台のプロジェクタから3枚のスクリーンへ三面化されたDSの走行環境が映し出され, 交差点旋回で重要なドライバから見た車両の横方向の景色も再現可能であり, 自動車を実際に運転しているかのようなDSへの没入感を増大させている. DSにはインパネやシートベルトなど, 実際の自動車の内装部品を使用して実車の寸法に合わせ設計されており, シート着座時の視界や雰囲気を実車に近づけている. ステアリングホイールは実物の大きさに近い物を使用し, 実際の操作感を再現し, 普段通りの運転ができるように設計されている. また, スピーカーからはエンジン音を流す. このように, 本研究で用いるDSは実際の自動車と同等の運転環境となるように考慮され設計されているため, より正確な運転情報を収集することが可能である.

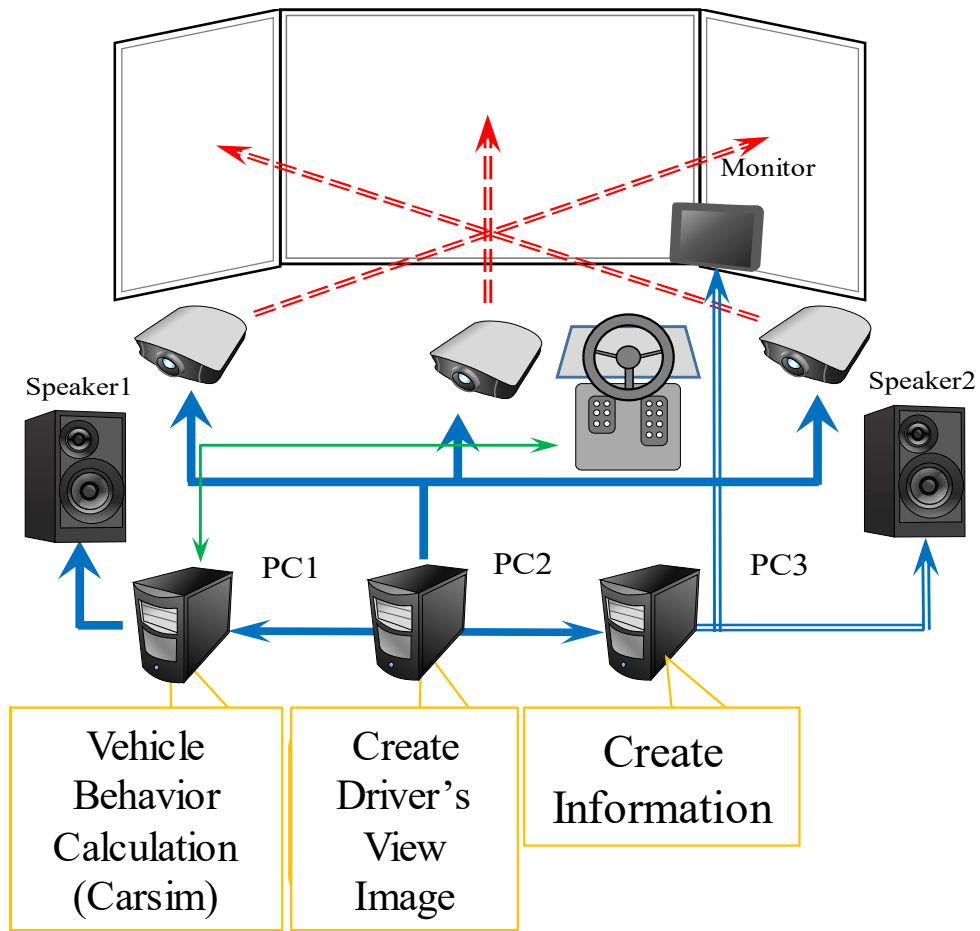


Fig. 2.3 Configuration of DS

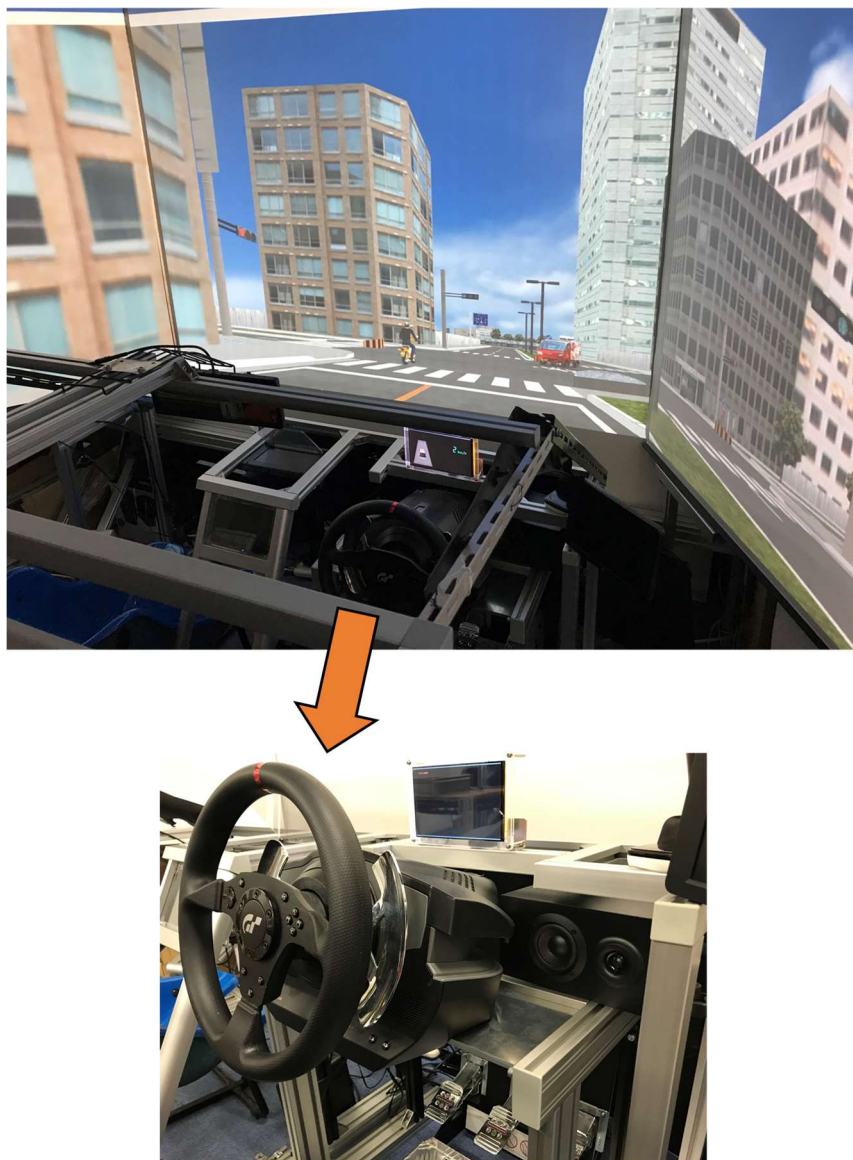


Fig. 2.4 Appearance of DS

2.5 走行環境

本実験で用いる走行環境は図 2.5 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、ドライバー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. 2.5 Driving environment

第3章

感性に影響する行動の要素と そのばらつきの範囲の特定

本章では、要素の値の範囲と順位に影響する要素を特定する目的で、自身の運転に対して感性に基づく評価をしてもらった。その結果から要素特定と範囲決定方法について検討した。

3.1 実験条件

本実験では2.5節で述べた交差点の走行車線から実験を行う。被験者は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、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被験者の判断に任せた。これらの左折前後の一連の行動を1試行とする。被験者には5試行を行ってもらい、被験者自身の感性に基づく評価が高かった順に並べ替えてもらった。また被験者が並べ替えを行いやすいように各試行終了後に交差点進入時、左折中、左折後に分けて自身の運転を5段階で採点してもらい、並べ替えを行う際の参考にしてもらった。図3.1に実験の流れを示す。DSでの走行に慣れるために初めに練習走行を行った。次に実験走行と5段階評価を5回繰り返した。最後に主観評価が高かった順に並べ替えを行った。被験者は1週間に1回以上自動車を運転する20代男性12名、女性1名である。被験者番号は本章の実験のみを行った被験者7名をP01からP07、本章の実験と第4章の実験の両方を行った被験者6名をP11からP16として区別する。

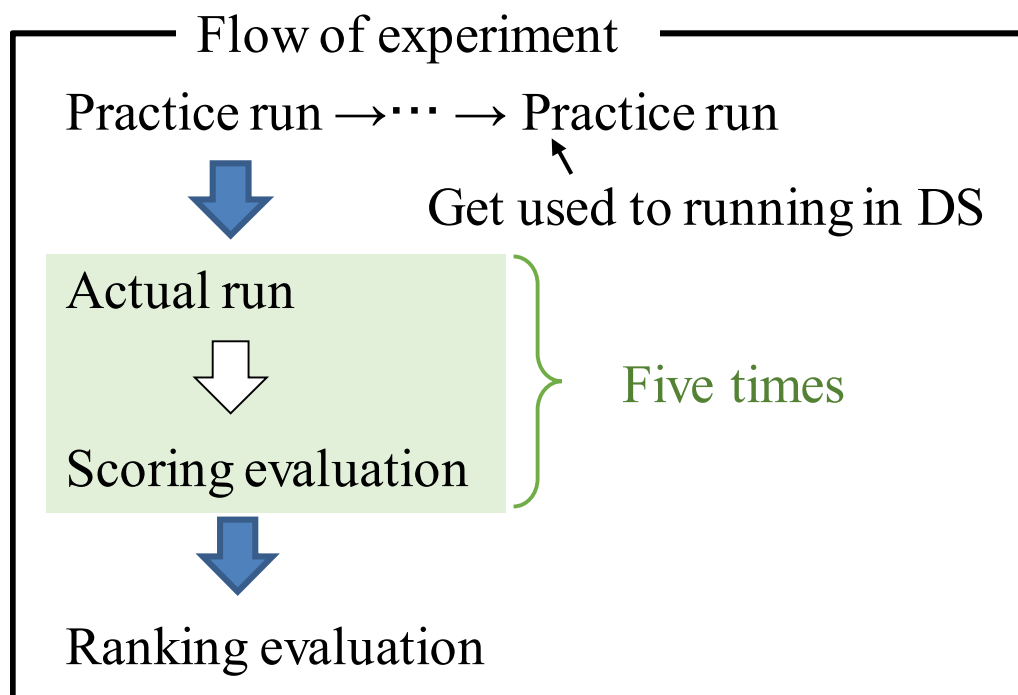


Fig. 3.1 Flow of experiment

3.2 分析方法

3.2.1 主観

本章では、被験者に並べ替えてもらった評価を表 3.1 に示すように評価の高いものから順に A,B,C,D,E 評価とした。各評価と色が対応している。

Table 3.1 Subjective evaluation

Subjective evaluation	Good ←————→ Bad				
	A	B	C	D	E

3.2.2 要素

普段行う運転操作についてドライバ間で差が存在することを確認し、運転行動の要素の値のばらつきの範囲を確認するため、1人のドライバが1回の試行を行う際に、加

速度最大値 a_{max} [G], 減速開始点 x 座標 x_1 [m], 減速度最大値 α_{max} [G], 減速終了点 x 座標 x_2 [m], 操舵開始点 x 座標 x_3 [m], 操舵終了点 y 座標 y_1 [m], 旋回時の車速平均値 \bar{v} [m/s], 操舵角最大値 θ_{max} [deg], 操舵角速度最大値 $\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]の9種類の要素の値を測定した。1種類の要素に対して, 13名のドライバが5回試行を行うため, 65個の要素の値が得られた。

3.2.3 相関と標準偏差

次に測定した要素の値が順位に及ぼす影響を調査するため, 順位と測定した各要素の値の相関, および要素ごとに5回の試行の要素の値の標準偏差を求める。相関の具体的な計算方法を以下に示す。表3.2に相関の計算に用いる数値を示す。表3.2の数値を式(1)に代入し, 順位と測定した要素の値の相関を求めた。

$$\frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

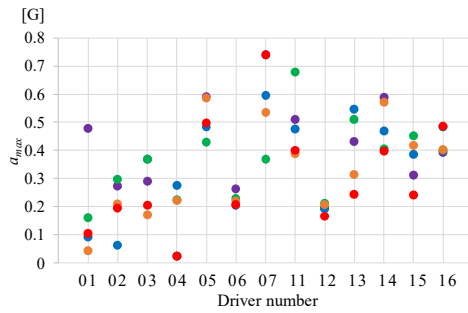
3.3 結果

3.3.1 測定した要素の値

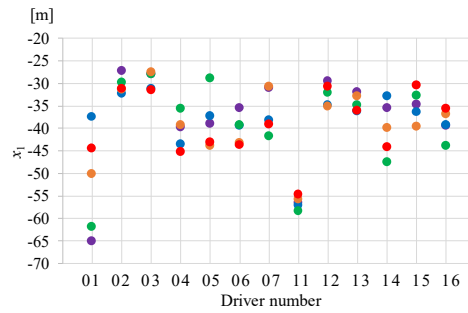
要素ごとに全ドライバの5回分の要素の値, 合計65個の値をプロットした結果を加減速に関するものは図3.2に, 操舵に関するものは図3.3に示す。図3.2, 3.3からドライバ間で普段行う運転操作にばらつきが存在することを確認した。このことから全てのドライバが同じ運転に対して同じ評価をしないことが予想される。

Table 3.2 Values used in correlation calculation

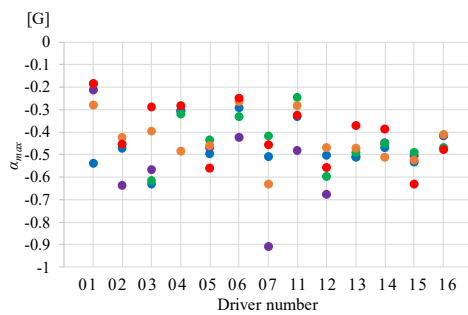
	evaluationA	evaluationB	evaluationC	evaluationD	evaluationE
x	1	2	3	4	5
y	measured value of evaluation A	measured value of evaluation B	measured value of evaluation C	measured value of evaluation D	measured value of evaluation E



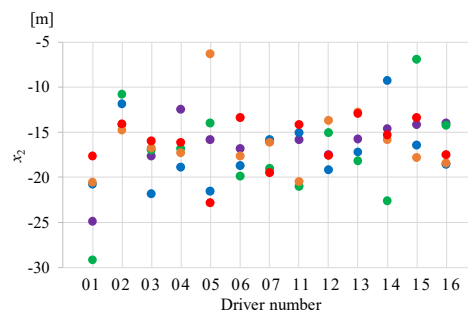
(a) Maximum acceleration



(b) Deceleration start point x coordinate



(c) Maximum deceleration



(d) Deceleration end point x coordinate

Fig. 3.2 Value of the measured element of acceleration and deceleration

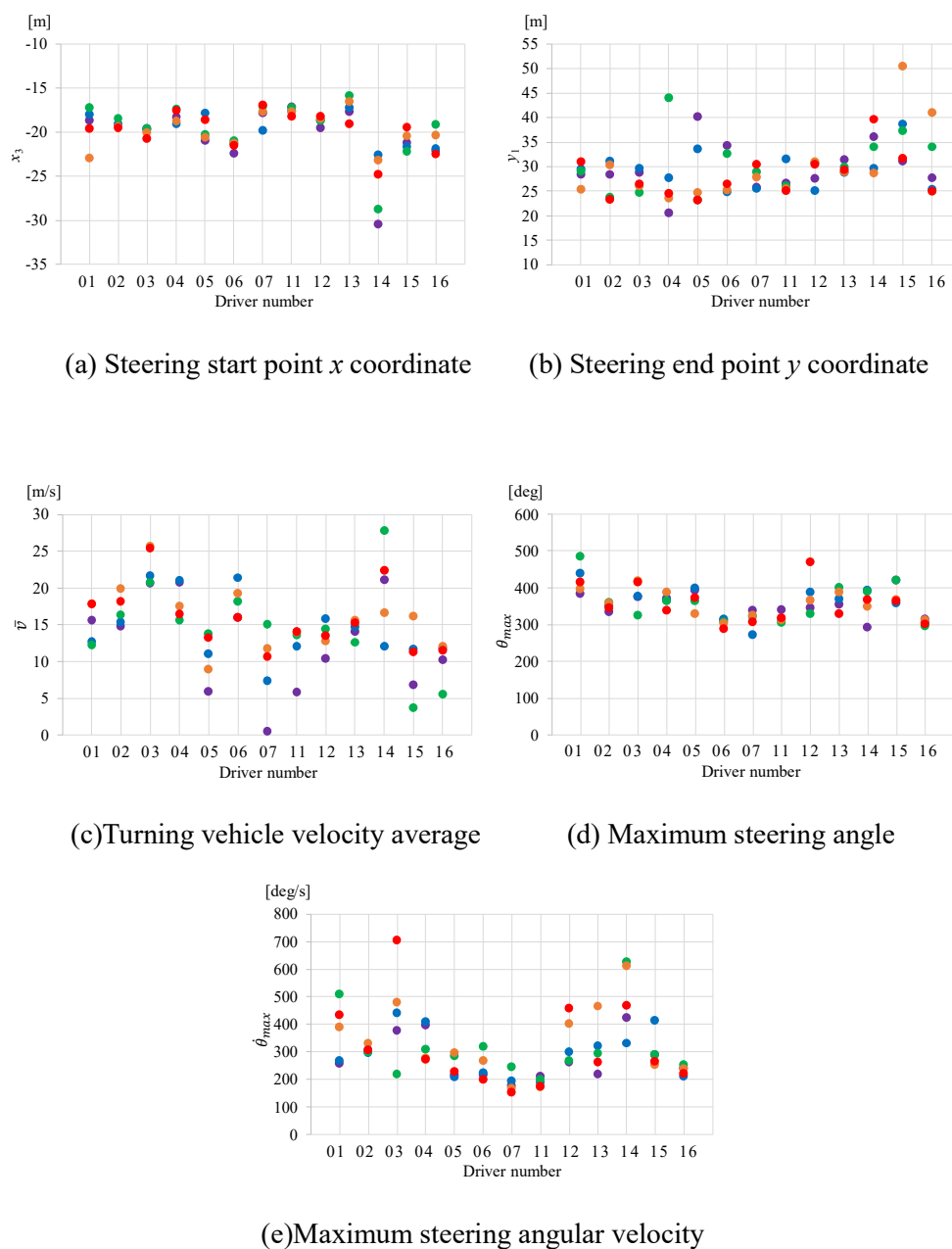


Fig. 3.3 Value of the measured element of steering

3.3.2 順位と測定した要素の値の相関

順位と測定した要素の値の相関の結果を表 3.3 に示す。本研究では、相関の絶対値が大きい要素が順位に影響を及ぼすと考えた。表 3.3 において、相関の絶対値が 0.7 以上のものを黄色の枠で示し、正の相関があるものを赤で、負の相関があるものを青で示した。表 3.3 から順位に影響を及ぼす要素がドライバごとに異なることが分かる。従って全てのドライバの評価に影響する要素は無いことが確認できた。ただし、順位と $\bar{\theta}$, $\dot{\theta}_{max}$ の値の相関が大きいドライバが多いことも確認できる。

3.3.3 5回の試行の要素の値の標準偏差

5回の試行の要素の値の標準偏差を調べた結果を表 3.4 に示す。表 3.4 から要素ごとにばらつきやすさが異なることを確認した。そのため、単純に要素間で5回の試行の要素の値の標準偏差を比較することはできない。したがって別の方法で要素のばらつきやすさを表現する必要がある。

Table 3.3 Rank and element correlation

	$a_{max}[G]$	$x_1[m]$	$a_{max}[G]$	$x_2[m]$	$x_3[m]$	$\bar{v}[km/h]$	$\theta[deg]$	$\dot{\theta}[deg/s]$	$y_1[m]$
P01	0.723	-0.389	-0.509	-0.521	0.481	-0.560	-0.076	-0.692	-0.093
P02	0.270	0.567	-0.694	0.257	0.346	-0.848	-0.465	-0.401	0.476
P03	0.642	0.277	-0.947	-0.570	0.877	-0.853	-0.503	-0.623	0.645
P04	0.067	0.274	0.487	0.382	-0.371	0.772	0.396	0.919	-0.067
P05	0.180	0.392	0.482	-0.028	-0.236	-0.614	0.615	-0.437	0.892
P06	0.664	0.950	-0.851	-0.510	-0.534	0.141	0.916	-0.041	0.546
P07	0.064	0.284	-0.627	0.633	-0.537	-0.710	0.064	0.329	-0.872
P11	0.420	-0.579	-0.635	0.102	0.828	-0.834	0.544	0.870	0.539
P12	0.366	0.178	-0.531	-0.387	-0.906	-0.257	-0.652	-0.894	-0.725
P13	0.750	0.132	-0.862	-0.274	0.255	-0.444	0.179	-0.390	0.574
P14	0.486	0.641	-0.277	0.265	-0.482	-0.189	-0.408	-0.461	-0.212
P15	0.198	-0.236	0.686	-0.005	-0.682	-0.447	0.525	0.517	-0.258
P16	0.064	0.284	-0.627	0.633	-0.537	-0.710	0.064	0.329	-0.872

Table3.4 Standard deviation of element values

	a_{max}	x_1	a_{max}	x_2	x_3	$\bar{v}[km/h]$	$\dot{\theta}[deg/s]$	$\theta[deg]$	y_1
P01	0.16	10.43	0.13	4.01	1.97	2.41	96.39	35.58	1.85
P02	0.08	1.73	0.08	1.53	0.35	1.89	12.12	9.46	3.26
P03	0.08	1.73	0.13	2.08	0.43	2.24	158.27	33.91	1.82
P04	0.11	3.41	0.07	2.12	0.65	2.22	58.68	15.98	8.29
P05	0.06	5.36	0.04	5.95	1.23	2.91	36.44	24.94	6.85
P06	0.02	3.03	0.06	2.19	0.49	2.07	43.10	8.69	3.95
P07	0.14	4.49	0.18	1.62	1.03	4.94	32.20	22.71	1.91
P11	0.10	1.22	0.08	2.86	0.39	3.14	15.23	11.56	2.37
P12	0.02	2.19	0.07	1.96	0.45	1.79	78.63	49.19	2.32
P13	0.11	1.76	0.05	2.22	1.08	1.06	83.87	25.04	0.97
P14	0.08	5.40	0.04	4.25	3.11	5.34	113.06	36.30	4.09
P15	0.08	3.13	0.05	3.76	0.97	4.31	58.09	27.98	6.97
P16	0.04	2.84	0.03	2.04	1.28	2.44	14.33	6.64	6.12

3.4 分析結果

古賀らは^[8] ドライバの熟練度による走行特性を調べた結果、特性の違いが操舵の滑らかさと追従性に表れていることを見出した。文献^[8] と 3.3.2 の結果から、今後は \bar{v} 、 θ_{max} 、 $\dot{\theta}_{max}$ の3個の要素に着目する。

3.3.3 の結果から、要素ごとにばらつきやすさが異なるため、本研究では、全ドライバの標準偏差の平均値に対する比で考える。つまり、各ドライバの標準偏差を全ドライバの標準偏差の平均値で除した値を用いる。本研究ではこの値が小さいほど、ドライバが安定して行えている行動、つまり目標がはっきりしている行動であると考えられる。この値を表 3.5 に示し、 \bar{v} 、 θ_{max} 、 $\dot{\theta}_{max}$ の中で最も小さい値を色付けした。

Table 3.5 Ratio to average of standard deviation of element values

	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}$ [deg/s]	θ [deg]
P01	0.854	1.565	1.502
P02	0.667	0.197	0.399
P03	0.790	2.571	1.431
P04	0.786	0.953	0.674
P05	1.030	0.592	1.053
P06	0.731	0.700	0.367
P07	1.746	0.523	0.959
P11	1.110	0.247	0.488
P12	0.634	1.277	2.076
P13	0.375	1.362	1.057
P14	1.889	1.836	1.532
P15	1.524	0.943	1.181
P16	0.863	0.233	0.280

第4章

運転特徴の異なる運転が 感性に与える影響

本実験は運転の特徴に関する要素の値の変更が感性に与える影響を調査する目的で行った。まず、本実験で用いる自動で左折を行うシステムの設定値を定める。設定値は第3章の実験の結果に基づいて \bar{v} 、 θ_{max} 、 $\dot{\theta}_{max}$ の値に着目して検討する。

4.1 運転特徴の異なる自動で左折を行うシステムの設定値

本章では、運転特徴の異なる自動で左折を行うシステムの設定値の変更方法を検討する。ドライバが目標値通りの運転を行おうとした際、目標値よりも小さな値ばかりの行動をした、つまり最大値が目標値に最も近いドライバ、目標値よりも大きな値や小さな値が混在するドライバ、つまり平均値付近が目標値に最も近いドライバ、目標値よりも大きな値ばかりの行動をした、つまり最小値付近が目標値に最も近いドライバの3種類のドライバが考えられる。そのため、今回は \bar{v} 、 θ_{max} 、 $\dot{\theta}_{max}$ のそれぞれについて、第3章の実験で全ドライバのA評価の運転より、最大値付近、最小値付近、平均値付近の3種類の値を設定し、それを組み合わせて1つの走行を構築する。はじめに第3章の実験における全ドライバのA評価の運転の際の \bar{v} 、 θ_{max} 、 $\dot{\theta}_{max}$ の最小値、平均値、最大値を表4.1に示す。表4.1から自動で左折を行うシステムの設定値を、表4.2に示すように $\bar{v}=10\text{km/h}$ 、 15km/h 、 20km/h 、 $\theta_{max}=300\text{deg}$ 、 350deg 、 400deg 、 $\dot{\theta}_{max}=200\text{deg/s}$ 、 300deg/s 、 400deg/s の3種類ずつに定める。表4.2に示した設定値の色と結果の表の色は対応している。これらの値を用いて設定したS1からS9の9種類の軌跡を図4.1に、これらの軌跡とそれ以外の条件から作成した例を図4.2に示す。システムが再現可能な走行は、3個の要素の値がそれぞれ3種類ずつの選択肢を持つので合計27種類の走行である。し

かし、被験者が 27 種類の走行を区別することは難しい上、図 4.2 の青の軌跡で示すように、中央線を越える走行など安全でない走行も含まれたため、安全を考慮して表 4.3 に示す 9 種類の走行、S1 から S9 を用いることを決めた。具体的には軌跡から最も安全と考えられる $\bar{v}=10\text{km/h}$, $\theta_{max}=400\text{deg}$, $\dot{\theta}_{max}=400\text{deg/s}$ の条件と、車両運動から最も安全と考えられる $\bar{v}=10\text{km/h}$, $\theta_{max}=400\text{deg}$, $\dot{\theta}_{max}=200\text{deg/s}$ を基本として、実際にドライバーが走行した条件に近い条件を設定し、9 種類の走行を構築した。図 4.3 に図 4.1 に速度の軸を追加したグラフを、条件検討のため事前に行った、第 3 章の実験のドライバー 01 からドライバー 07 の測定結果と 9 種類の走行の関係を値で整理した図を図 4.4 に示す。ただし図 4.3, 図 4.4 のグラフは θ_{max} , $\dot{\theta}_{max}$, \bar{v} を軸にとり、図 4.4 中の赤点が本実験で行う 9 種類の条件、青点が構築可能な 27 種類のうち本実験で行わなかった条件、緑丸がドライバー 01 からドライバー 07 の測定結果を表す。

Table 4.1 Minimum, Average, Maximum value of \bar{v} , θ_{max} , $\dot{\theta}_{max}$

	$\bar{v}[\text{km/h}]$	$\theta [\text{deg}]$	$\dot{\theta} [\text{deg/s}]$
Min.	10.7	290	153
Ave.	15.8	357	319
Max.	25.4	415	706

Table 4.2 Setting values of automatic driving system

\bar{v} [km/h]	θ [deg]	$\dot{\theta}$ [deg/s]
10	-300	200
15	-350	300
20	-400	400

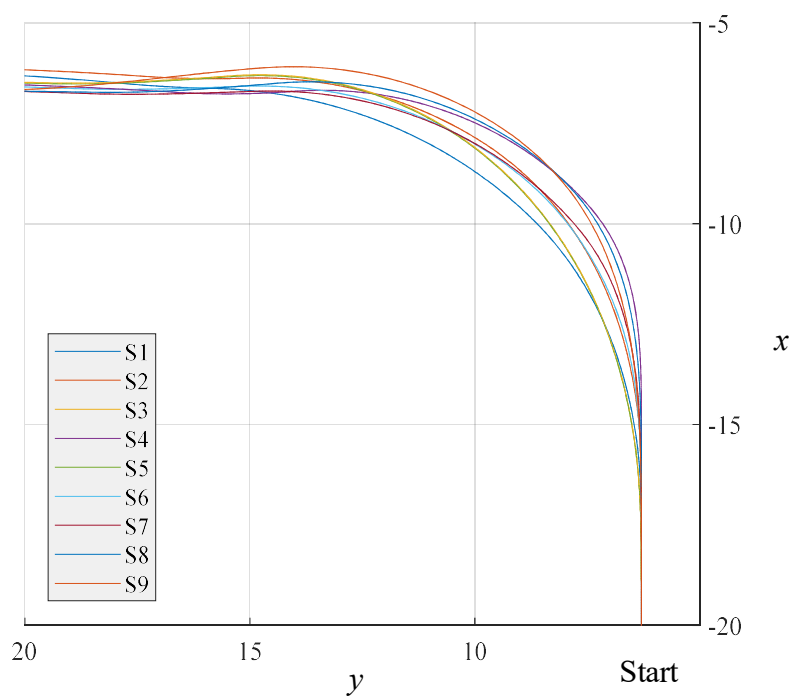


Fig. 4.1 Trajectories from S1 to S9

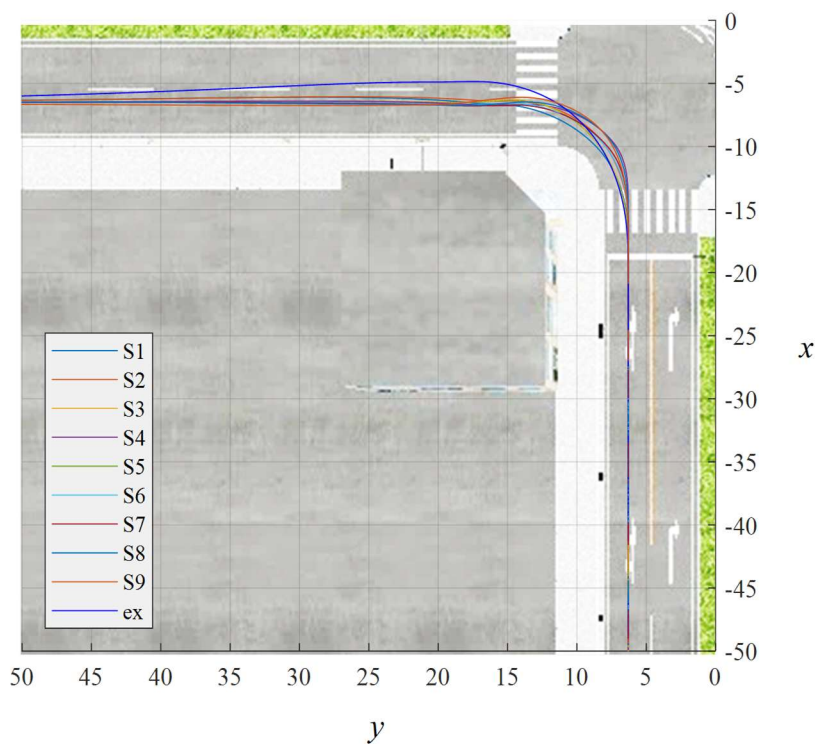


Fig. 4.2 Trajectories of unsafe driving

Table 4.3 Setting values of 9 types system

No.	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
S1	1. 10	1. 200	1. 300
S2	1. 10	1. 200	2. 350
S3	1. 10	1. 200	3. 400
S4	1. 10	3. 400	3. 400
S5	2. 15	1. 200	3. 400
S6	2. 15	2. 300	2. 350
S7	2. 15	3. 400	2. 350
S8	2. 15	3. 400	3. 400
S9	3. 20	3. 400	3. 400

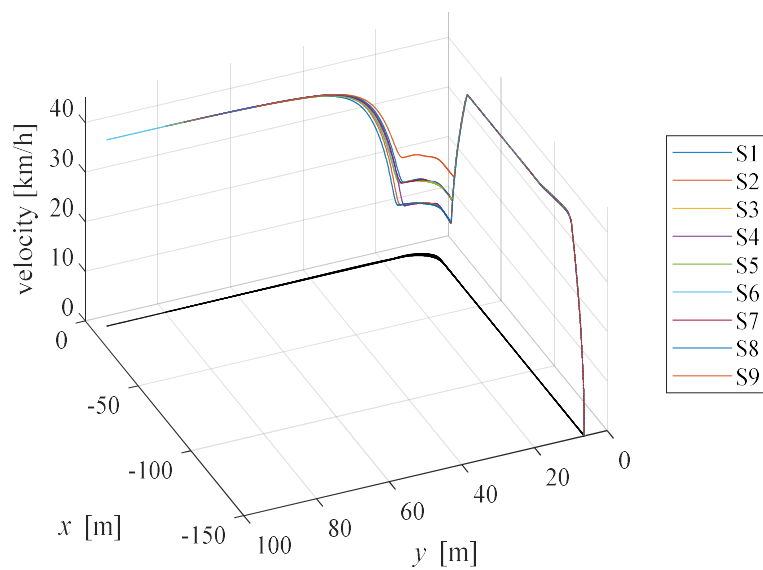


Fig. 4.3 9 types of driving

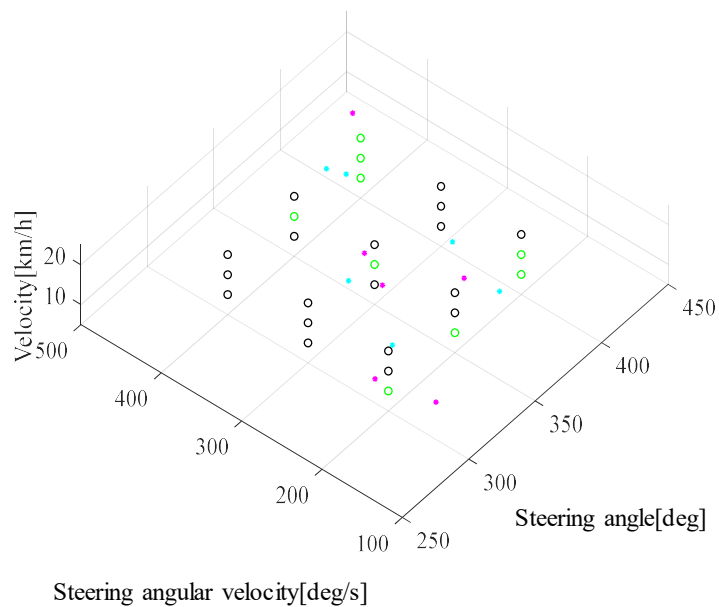


Fig. 4.4 Comparison of automatic driving and elements value of each driver

4.2 実験条件

DS で検討した自動走行を再現し、被験者には再現された走行を見て、感性に基づく評価を行ってもらった。再現する走行は自動で左折を行うシステムによる 9 種類の走行に、被験者自身が A 評価とした走行を加えて合計 10 種類の走行とした。被験者自身が第 3 章の実験で A 評価とした走行を加えた理由は、自分の走行とシステムの走行の感性に基づく評価から見た関係を確認するためである。被験者は第 3 章の実験を行ったドライバのうちの 20 代男性 6 名である。

被験者は図 2.4 に示す実験装置のシートに普段運転している姿勢で座り、ステアリングに手を添えた状態で実験を行う。ステアリングは自動運転の操舵角と連動して自動で回転する。操舵の情報を得るためにはステアリングを握ることが望ましいが、ステアリングを握ると被験者の想像以上に激しく動いた場合に危険であるため、ステアリングには手を添えるという条件にした。

図 4.5 に実験の流れを示す。被験者には 1 つの走行に対して 2 回主観に基づく採点を行ってもらった。乱数を用いて決めた順番で前述の 10 種類の走行を再現し、各走行の再現が終了するごとに採点する。採点は 10 段階評価で、被験者が今まで見かけた運転で最も上手だと思う運転を 10 点、最も下手だと思う運転を 1 点として評価してもらった。全種類の走行の 1 回目の評価が終了後、1 回目と同じ順番でもう一度繰り返し、2 回目の評価をしてもらった。2 回目の評価は 1 回目の評価と同じであっても異なっても構わない。2 回目の評価が終了したら、10 種類の走行から好きな順、嫌いな順に 3 個ずつの走行を挙げてもらった。この結果に基づいて、表 4.4 に示すように、最も好きなものから順に A, B, C, …, H, I, J 評価とする。本研究では好きでも嫌いでもない運転に対し、順位をつけることは難しいと考えたため、好きな走行と嫌いな走行を 3 個ずつ挙げてもらった。また、自分の走行が好きまたは嫌いな走行に含まれる場合、他と実験条件が異なるため、単純に比較できない。よって自分の運転を含まない順位づけのため、表 4.5 に示すように、分析時には自分の運転を除く、好きな走行上位 2 個、嫌いな走行上

位2個を用いる。

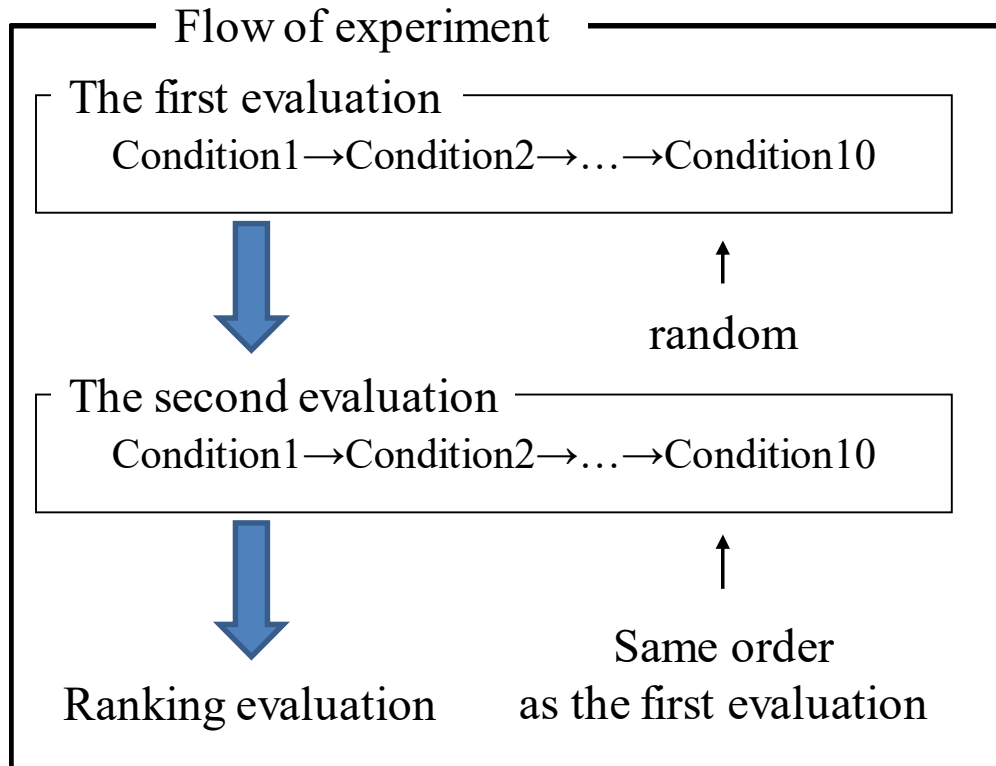


Fig. 4.5 Flow of experiment

Table 4.4 Evaluation of like or dislike

Subjective evaluation	like ←————→ dislike									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

Table 4.5 Results used for analysis

	順	条件	\bar{v} [km/h]	θ_{max} [deg/s]	θ_{max} [deg]
P11		S0	2 自分	1 自分	1 自分
	A	S3	1. 10	1. 200	3. 400
	B	S2	1. 10	1. 200	2. 350
	I	S4	1. 10	3. 400	3. 400
	J	S9	3. 20	3. 400	3. 400

4.3 結果

4.3.1 評価結果

表 4.6 に好き, 嫌いそれぞれ上位 3 個の結果を示す. ただし, 上から好きだと感じた順に並び, 最も下が最も嫌いと感じた走行である. また, 表 4.7 に自分の運転を除いた好き, 嫌いそれぞれ上位 2 個の結果を示す. 自分の運転に対する評価結果は好き, 嫌いの評価がばらついた.

Table 4.6 Top 3 results of like and dislike

(a) P11

P11	順位	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
	A	S0	2 自分	1 自分	1 自分
	B	S3	1. 10	1. 200	3. 400
	C	S2	1. 10	1. 200	2. 350
	H	S1	1. 10	1. 200	1. 300
	I	S4	1. 10	3. 400	3. 400
	J	S9	3. 20	3. 400	3. 400

(b) P12

P12	順位	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
	A	S7	2. 15	3. 400	2. 350
	B	S4	1. 10	3. 400	3. 400
	C	S0	2 自分	3 自分	3 自分
	H	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	I	S8	2. 15	3. 400	3. 400
	J	S3	1. 10	1. 200	3. 400

(c) P13

P13	順位	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
	A	S0	2 自分	2 自分	2 自分
	B	S5	2. 15	1. 200	3. 400
	C	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	H	S4	1. 10	3. 400	3. 400
	I	S1	1. 10	1. 200	1. 300
	J	S2	1. 10	1. 200	2. 350

(d) P14

P14	順位	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
	A	S1	1. 10	1. 200	1. 300
	B	S0	3 自分	3 自分	2 自分
	C	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	H	S8	2. 15	3. 400	3. 400
	I	S5	2. 15	1. 200	3. 400
	J	S9	3. 20	3. 400	3. 400

(e) P15

P15	順位	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
	A	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	B	S9	3. 20	3. 400	3. 400
	C	S3	1. 10	1. 200	3. 400
	H	S5	2. 15	1. 200	3. 400
	I	S2	1. 10	1. 200	2. 350
	J	S0	1自分	2自分	2自分

(f) P16

P16	順位	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
	A	S0	1自分	1自分	1自分
	B	S3	1. 10	1. 200	3. 400
	C	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	H	S2	1. 10	1. 200	2. 350
	I	S9	3. 20	3. 400	3. 400
	J	S8	2. 15	3. 400	3. 400

Table 4.7 Top 2 results of like and dislike

(a) P11

順	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]	
		S0	2 自分	1 自分	1 自分
P11	A	S3	1. 10	1. 200	3. 400
	B	S2	1. 10	1. 200	2. 350
	I	S4	1. 10	3. 400	3. 400
	J	S9	3. 20	3. 400	3. 400

(b) P12

順	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]	
		S0	2 自分	3 自分	3 自分
P12	A	S7	2. 15	3. 400	2. 350
	B	S4	1. 10	3. 400	3. 400
	I	S8	2. 15	3. 400	3. 400
	J	S3	1. 10	1. 200	3. 400

(c) P13

順	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]	
		S0	2 自分	2 自分	2 自分
P13	A	S5	2. 15	1. 200	3. 400
	B	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	I	S1	1. 10	1. 200	1. 300
	J	S2	1. 10	1. 200	2. 350

(d) P14

P14	順	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
		S0		3 自分	3 自分
	A	S1	1. 10	1. 200	1. 300
	B	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	I	S5	2. 15	1. 200	3. 400
	J	S9	3. 20	3. 400	3. 400

(e) P15

P15	順	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
		S0		1 自分	2 自分
	A	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	B	S9	3. 20	3. 400	3. 400
	I	S5	2. 15	1. 200	3. 400
	J	S2	1. 10	1. 200	2. 350

(f) P16

P16	順	条件	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
		S0		1 自分	1 自分
	A	S3	1. 10	1. 200	3. 400
	B	S6	2. 15	2. 300	2. 350
	I	S9	3. 20	3. 400	3. 400
	J	S8	2. 15	3. 400	3. 400

4.3.2 主観評価に対する評価方法

各ドライバの嗜好と要素の関係、嗜好とシステムの設定値の関係を検討しやすくするため、好き、嫌いへの影響度を表す指標を考える。この指標を計算する際は、表 4.8 に示すように $\bar{v}=10\text{km/h}$ などを 1 に、 $\theta_{max}=350\text{deg}$ などを 2 に、 $\dot{\theta}_{max}=400\text{deg/s}$ などを 3 に置き換えて計算を行う。この 1, 2, 3 の値を計算値と定義する。第 4 章の実験で A 評価をした運転の要素の値については表の要素の値と一致するものは無いため、最も近い要素の値の計算値を使用する。

好きへの影響度を表す指標は、1 つずつの要素に着目して要素ごとに表 4.9 に示すように計算する。初めに、好きな走行 2 個のシステムの設定値が同じ値であれば、この要素の設定値に基づいて評価した可能性が高いと考え、表 4.9 のオレンジで示すように、好き上位 2 個の設定値の差を計算する。次に、好きな走行と自分の A 評価の運転の時の要素の値と異なるならば、この要素の設定値に基づいて評価したとは考えにくいため、好きな走行 2 個それぞれの計算値と自分の走行の計算値の差をとる。このようにして算出した 3 個の値の和を、好きへの影響度を表す指標とし、値が小さいほど好きへの影響度が大きくなる。例として被験者 P11 について、 \bar{v} はどちらも遅い（計算値 1）であるため、差は 0 となる。 $\dot{\theta}_{max}$ はどちらもゆっくり（計算値 1）であるため、差は 0 となる。 θ_{max} は B 評価が大きく（計算値 3）であり、C 評価が普通（計算値 2）であるため、差は 1 となる。P11 において好きへの影響度を表す指標は $\bar{v}=2$ 、 $\dot{\theta}_{max}=0$ 、 $\theta_{max}=4$ と計算される。

嫌いへの影響度を表す指標は、1 つずつの要素に着目して要素ごとに表 4.10 に示すように計算する。初めに、好きへの影響度を表す指標と同様、嫌いな走行 2 個のシステムの設定値が同じ値であれば、この要素の設定値に基づいて嫌いと評価した可能性が高いと考え、表 4.10 のオレンジで示すように、嫌いな走行 2 個の設定値の差を計算する。嫌いな走行と同じ設定値が好きな走行にもある場合、この要素の設定値に基づいて評価したとは考えにくいため、好きな走行と嫌いな走行で重複した設定値の数を求める。こ

のようにして算出した2個の値の和を、嫌いへの影響度を表す指標とし、値が小さいほど嫌いへの影響度が大きくなる。P11において嫌いへの影響度を表す指標は $\bar{v}=4, \dot{\theta}_{max}=0, \theta_{max}=3$ である。

Table 4.8 Calculation value

\bar{v} [km/h]	θ [deg]	$\dot{\theta}$ [deg/s]	Calculation value
10	-300	200	1
15	-350	300	2
20	-400	400	3

Table 4.9 How to calculate the index indicating the degree of influence on liking

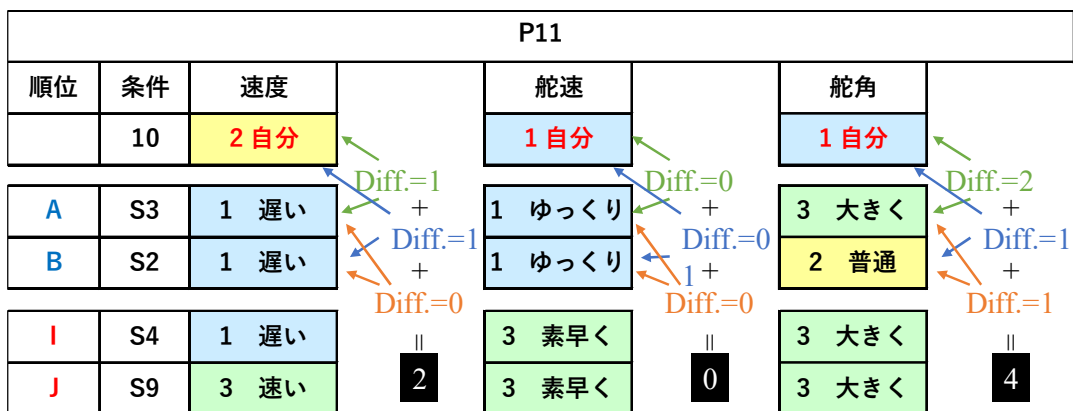
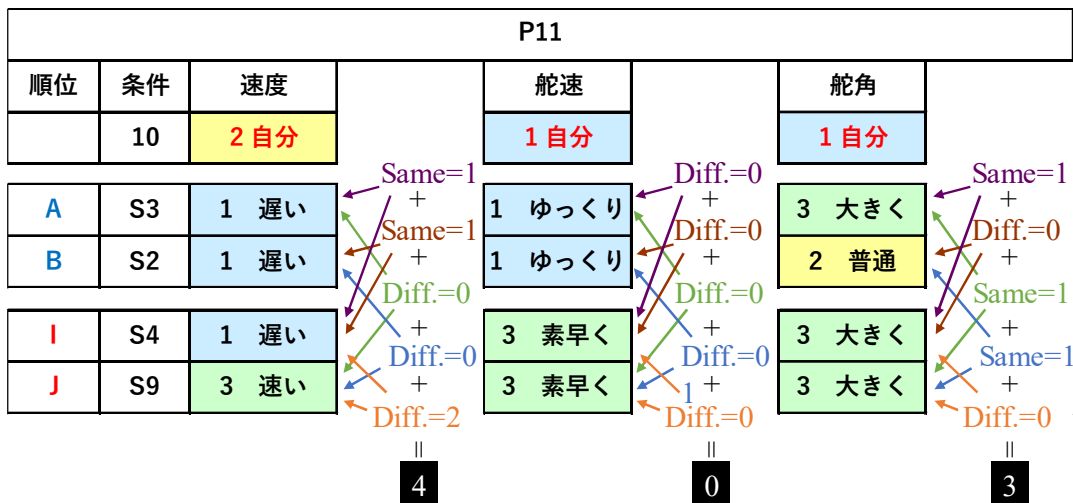


Table 4.10 How to calculate the index indicating the degree of influence on disliking



これらの計算方法を用いて計算した、全被験者の好き、嫌いへの影響度を表す指標をそれぞれ表 4.11, 4.12 に示す。

Table 4.11 The index indicating the degree of influence on liking

	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}$ [deg/s]	θ [deg]
P11	2	0	4
P12	2	0	2
P13	0	2	2
P14	4	4	2
P15	4	2	2
P16	2	2	4

Table 4.12 The index indicating the degree of influence on disliking

	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
P11	4	0	2
P12	3	4	2
P13	0	2	2
P14	2	3	0
P15	2	0	3
P16	2	0	2

4.5 結果の比較と考察

本章の結果と第3章の結果を比較し、関連性を探すため、表4.13に好きへの影響度を表す指標と、順位と要素の値の相関を比較した結果を示す。左に本章の評価方法、右に第3章の順位と要素の値の相関を表す。表4.13から好きへの影響度を表す指標と順位と要素の値の相関に関連性があることが分かる。

表4.14に嫌いへの影響度を表す指標と、要素ごとの標準偏差の全被験者に対する比を比較した結果を示す。左の表が嫌いへの影響度を表す指標、右に第3章の要素ごとの標準偏差の全被験者に対する比を表す。表4.14から嫌いへの影響度を表す指標が小さい要素と標準偏差の全被験者に対する比が小さい要素が基本的に一致することが分かる。本章の結果と第3章の結果に比較から、標準偏差が他のドライバに比べて小さい要素と嫌いの評価基準となる要素が基本的に一致することを明らかにした。

これをドライバ視点で考察する。ドライバはある値付近でなければ嫌いな要素については普段からその値付近で安定して操作している。または、他の要素を犠牲にしてでもその要素の値を好みの値付近で安定させている。そのような要素を別のドライバが許容範囲外の値で操作したため、嫌いと判断したと考えられる。次に研究者視点で考察する。あるドライバが嫌いと判断する基準になる要素を特定したければ、そのドライバの走行データから標準偏差が他のドライバに比べて小さい要素を見つければよい。さらにそのドライバに対して制御目標値を設定する場合、嫌いの判断基準になる要素の値はドライバが普段走行している値付近に設定すればよいと考えられる。

これらのことから、嫌いの判断基準になる要素が許容範囲内の値をとる際、ドライバの好きの判断基準について考える。本研究では、好きへの影響度を表す指標と順位と要素の値の相関に関連性があることも明らかにした。つまり嫌いの判断基準になる要素が許容範囲内の値であった場合、順位と要素の値の相関の絶対値が大きい要素に基づき、評価していることが示唆された。

Table 4.13 Comparison of likes and correlations

	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]		\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
P11	2	0	4	P11	-0.834	0.870	0.544
P12	2	0	2	P12	-0.257	-0.894	-0.652
P13	0	2	2	P13	-0.444	-0.390	0.179
P14	4	4	2	P14	-0.189	-0.461	-0.408
P15	4	2	2	P15	-0.447	0.517	0.525
P16	2	2	4	P16	-0.710	0.329	0.064

Table 4.14 Comparison of dislikes and standard deviation

	\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]		\bar{v} [km/h]	$\dot{\theta}_{max}$ [deg/s]	θ_{max} [deg]
P11	4	0	2	P11	1.129	0.232	0.443
P12	3	4	2	P12	0.645	1.198	1.883
P13	0	2	2	P13	0.382	1.278	0.959
P14	2	3	0	P14	1.921	1.723	1.390
P15	2	0	3	P15	1.550	0.885	1.071
P16	2	0	2	P16	0.878	0.218	0.254

第5章

結論

5.1 結論

各ドライバの運転特性が多様であるのに対し、自動車車両制御システムの制御特性は基本的に1種類である。そのため不快感を覚えるドライバも存在する。各ドライバの運転特徴と、感性による評価の関連性が明らかになれば、ドライバの感性による評価に影響を与えやすい要素を推測でき、この要素に着目して自動車車両制御時の制御目標値を決定できる。そのため本研究ではドライバの運転特徴と感性の関連性を明らかにすることを目的とした。

本研究では、感性に基づく評価を行った場合の、運転の特徴となる運転行動の要素について検討したのち、それに基づく制御目標の設定変更と、ドライバの感性による主観評価との関係を調査し、運転の特徴と感性による評価の関連性について検討した。実験結果より感性と関係がある運転行動の要素が被験者間で異なることを確認した。したがって、ドライバ毎に評価に影響する要素は異なることを明らかにした。

また、ドライバが嫌いと判断する基準となる要素を特定したい場合、そのドライバの走行データのうち、他のドライバに比べて標準偏差が小さい要素を見つければよいことを明らかにした。さらに、嫌いの判断基準になる要素が許容範囲内である場合、順位と要素の値の相関の絶対値が大きい要素を好きの判断基準としていることを示唆した。したがってドライバの運転特徴と、感性について関連性を検討できた。

5.2 今後の課題

本研究において、感性のうち嫌いの判断基準となる要素は、ドライバの走行データのみから特定できることを明らかにしたが、好きの判断基準となる要素は、各ドライバに

走行実験とその評価を行ってもらわなければ特定できない。そのため、全ドライバに普及させることは難しく、商業的に利用するためにはまだ問題点が多い。したがって、今後、各ドライバが走行実験と評価を行わなくても、個人に合わせた制御の設定値を変更できるシステムを検討する必要がある

参考文献

- [1] 田中健太, 丸茂喜高, 鈴木宏典:「先々行車の情報を用いた予測運転支援システムに関する研究」, 日本大学生産工学部第 45 回学術講演会講演概要, pp.369-372(2012).
- [2] 田中捷:「交差点右折時の周囲情報提示型運転支援システムのドライバ受容性評価」, 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻平成 30 年度修士学位論文
- [3] 面田雄一, 岩城亮, 安部原也, 福島正夫:「運転技量差に着目した自転車追い抜き時における自動車運転者の走行方法分析」, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.2, pp.455-460(2019).
- [4] 山門誠, 安部原也, 狩野芳郎, 佐藤遊, 田中優介, 高橋絢也, 前田健太:「横方向に連携して加減速するエキスパートドライバの車両軌跡の定式化」, 2018 年春季大会学術講演会公演予稿集, pp.1-6(2018).
- [5] 高橋絢也, 秋山悠基, 平賀直樹, 長谷川義二, 山門誠:「エキスパートドライバ行動に基づく操舵制御モデルの検討」, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.1, pp.102-108(2019).
- [6] 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, 第 45 巻, 第 3 号, pp.237-242(2018).
- [7] 小林一夢, 秋月拓磨, 高橋弘毅, 章忠:「加速度センサを用いた交差点左折時における運転操作の種類人特徴に関する検討」, 第 61 回自動制御連合, pp.887-892(2018).
- [8] 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」, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.6, pp.1431-1437(2016).
- [9] 平岡敏洋, 本村佳大:「Haptic shared control による回避誘導と自動衝突回避制御の組み合わせによる先進運転支援システム」, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.3, pp.897-903(2019).

- [10] 平松真知子, 張化先, 根本英明, 伊藤勇希, 山崎勝, 寸田剛司:「自動走行における運転スタイル種類人適合手法の提案」, 自動車技術会論文集, Vol.49, No.4, pp.818-824(2018).
- [11] 水谷謙太:「ハイブリッドシステム表現に基づいたドライバ旋回行動モデルの交差点形状対応の検討」, 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻平成 29 年度修士学位論文

謝辞

本研究を進めるにあたり、三重大学工学研究科機械工学専攻 堤成可助教には研究に関する有益な御助言を頂き、ご指導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、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 加藤典彦准教授に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、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に関する有益なご助言を頂き、深く感謝致し、厚く御礼申し上げます。

また、藤原明子秘書には事務手続きを始め、研究しやすい環境をお作り頂き、厚く御礼申し上げます。

そして、忙しい中で実験に協力していただいた被験者の方々には貴重な時間を割いていただき、深く感謝致します。

最後に、大学生活をする上で惜しめない援助を送ってくださった家族のおかげ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。

