
令和元年度 修士学位論文

二人の運転者による
協調運転の性格診断に
基づく特性解析

指導教員 池浦良淳 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
長谷部 洋太

目次

目次.....	1
第1章 序論.....	3
1.1 研究背景.....	3
1.2 研究目的.....	8
1.3 性格特性診断.....	9
1.4 本論文の構成.....	10
第2章 実験装置・制御方法.....	11
2.1 実験目的.....	11
2.2 実験装置概要.....	12
2.3 ステアリング装置機構.....	15
2.3.1 土台レール.....	15
2.3.2 モーター.....	16
2.3.3 軸受け.....	16
2.3.4 ロックナット.....	17
2.3.5 タイミングベルト，タイミングプーリー.....	17
2.3.6 ポテンションメーター.....	18
2.3.7 ステアリング.....	19
第3章 実験装置・制御方法.....	20
3.1 走行環境.....	20
3.1.1 想定状況.....	20
3.1.2 車線変更.....	21

3.2 走行状態.....	22
3.3 実験内容.....	23
3.3.1 予備実験.....	23
3.3.2 本実験.....	23
第4章 評価方法.....	25
4.1 力学モデル.....	25
4.2 運転状態判断.....	27
4.3 主観評価による運転主権交代時の操作感の判定.....	28
第5章 実験結果.....	29
5.1 予備実験結果.....	29
5.2 本実験.....	32
5.2.1 運転状態判断.....	33
5.2.2 主観評価による運転主権交代時の操作感の判定.....	37
第6章 結論.....	38
6.1 結論.....	38
6.2 今後の課題.....	39
参考文献.....	40
謝辞.....	42
付録.....	43

第1章

序論

1.1 研究背景

現在、自動車関連企業やIT関連企業等が自動車の自動運転化の技術の確立を目指し研究・開発が行われている。自動運転化技術の前段階として先進運転支援システム(ADAS: Advanced Driver-assistance systems)である、ACC(Adaptive Cruise Control)、衝突軽減ブレーキ、高度駐車運転支援機能、車線逸脱防止支援システム等が実際に自動車に搭載されている。ACC(Adaptive Cruise Control)は(Fig1.1)、高速道路などの長距離移動の時にあらかじめ設定した車速内で前方車の有無や前方車との車間距離と速度差をカメラとレーダーを用いて計測することで、自動的に加減速の支援を行う機能である^[1]。衝突被害軽減ブレーキ(Fig1.2)は、車両に搭載されたカメラとレーダーの情報から前方の自動車や歩行者といった障害物を検知した場合、音や警告を用いてドライバーに対して衝突回避操作を促す警告を行う^[2]。また、システムが衝突の危険性の高さを判断して、衝突の被害軽減や衝突を起こさないようなブレーキ操作を自動的に行う。高度駐車運転支援機能(Fig1.3)は、ドライバーが駐車しようとする際に、システムが駐車スペースを認識し、ハンドル、アクセル、ブレーキをシステムが制御して、駐車に必要な操作を支援する^[4]。またカメラとセンサーによって周辺を監視し、万一の場合は警報とブレーキ制御で接触回避を支援する^[3]。車線逸脱防止支援システム(Fig1.4)は、車両に搭載したカメラ等で高速道路における自車の前方の車線を検知、認識し、車両が走行中車線からの逸脱を防止するために、ステアリング操作の支援や車線逸脱時において警告を発するシステムである^[4]。これらの技術を組み合わせ発展、応用させていく中で自動運転レベルの定義がされた。

現在主に用いられるものとして、SAE International (Society of Automotive Engineers International)が定めた「SAE J3016」がある。この基準では自動運転化技術のレベルはレベル 0~5 の 6 段階で定めている。レベル 0 は、ドライバーがすべての動的運転タスクを実行する。レベル 1 は、システムが特定の条件下で動的運転タスクの縦方向または横方向のいずれかの車両運動制御を行う。この時、ドライバーは残りの動的運転タスクを実行する。レベル 2 はシステムが特定の条件下で複数の動的運転タスクを担う事で、事実上システムが運転するものであるが、ドライバーは運転環境を監視し続ける必要があり、制約としてステアリングに手をかける必要がある。現在実用されている自動運転技術はこのレベル 2 までのものが多い。レベル 3 はシステムが高速道路等の特定の条件化の下で動的運転タスクを持続的に実行する。人間はシステムの作動継続が困難な場合においてシステムから操作要求された場合、操作を担う準備をする必要がある。レベル 4 はシステムが特定の条件下においてすべての動的運転タスクを実行することができ、人間がシステムから運転制御を取り戻す必要は無い。レベル 5 はシステムがすべての条件下において動的運転タスクを実行することができる^{[5][6]}。自動運転のレベルの基準を Table1.1 に示す。

各企業は自動運転レベル 3 の自動運転技術の実用化、商品化を進めている。本田は 2020 年 5 月に日本で自動運転レベル 3 に対応する道路交通法、道路運送車両法の改正案の施行が行われるのを機に 2020 年に、日本初の一部自動運転レベル 3 相当の自動運転技術を実現予定である^[7]。しかし、自動運転レベル 3 において、安全性に疑問が生じる場面も想定されている。この問題の 1 つとして運転主権の移行が挙げられる。自動運転レベル 3 では、特定の条件下でのみシステムが運転操作を担う事ができるが、システムの限界時にシステムから人間へ運転主権を受け継ぎ、人間が運転を続ける必要がある。この運転主権の受け渡しの際に、システムと人間が運転主権を共有するため、ドライバーとシステムの意図が異なった場合、操舵安定性、車両安全性が低下することで重大な事故につながる恐れがある。実際に自動運転の試験走行中、システムから人間への

運転主権の移行直後に追突事故が起きており^[8]，これから自動運転レベル 3 の自動車が普及するに伴い，このような移行時の事故が発生する可能性があると考えられる．

この問題に対して，各研究機関により研究が行われている^{[9]-[13]}．Merat, Mok らは自動運転システムが解除された際にシステムからドライバーの制御に移るまでに 10~15 秒程度必要であることを示した^{[9][10]}．また，ドライバーの操舵・加速の特性に着目したものがあり，Russell らによる研究では自動運転について，システムから人間への運転権限の移行の際における，ドライバーのステアリング操舵の運転技術の特性を^[11]，Beukel らの研究では，ドライバーの混雑した運転状況で時間的に猶予がない場合での状況認識と危機回避能力の関係を調査している^[12]．そして，システムから人間に，運転主権を安全に受け渡すために人間の覚醒度による影響を調査したものもあり，本間らは高度自動運転中における人間の覚醒度の低下が移行動作に及ぼす影響を考慮し，車線変更を必要とするシステム機能限界時のドライバーへの主権の移行は，2 秒での対応は難しく，5~10 秒でも HMI に配慮が必要であると述べている^[13]．このように，自動運転システムと人間のドライバー間での運転主権の移行に対し，様々な切り口からの解決策や改善策が模索されている．

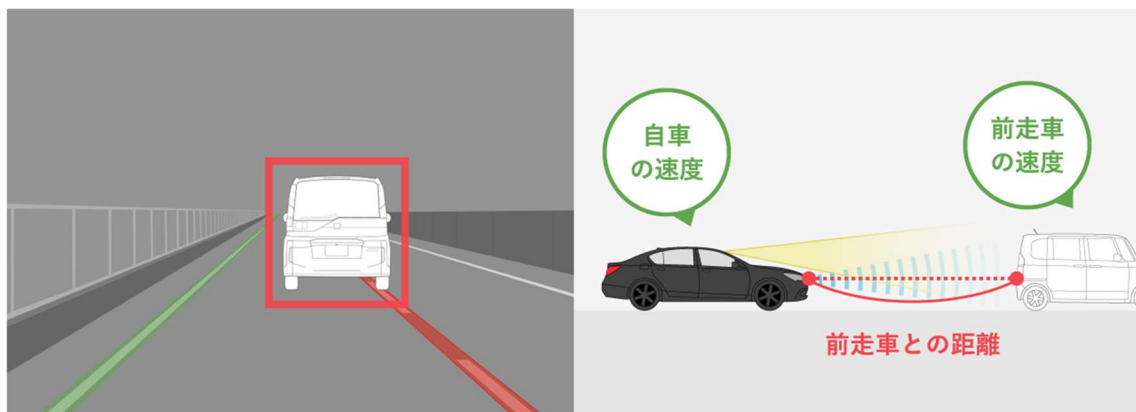


Fig.1.1 Adaptive Cruise Control

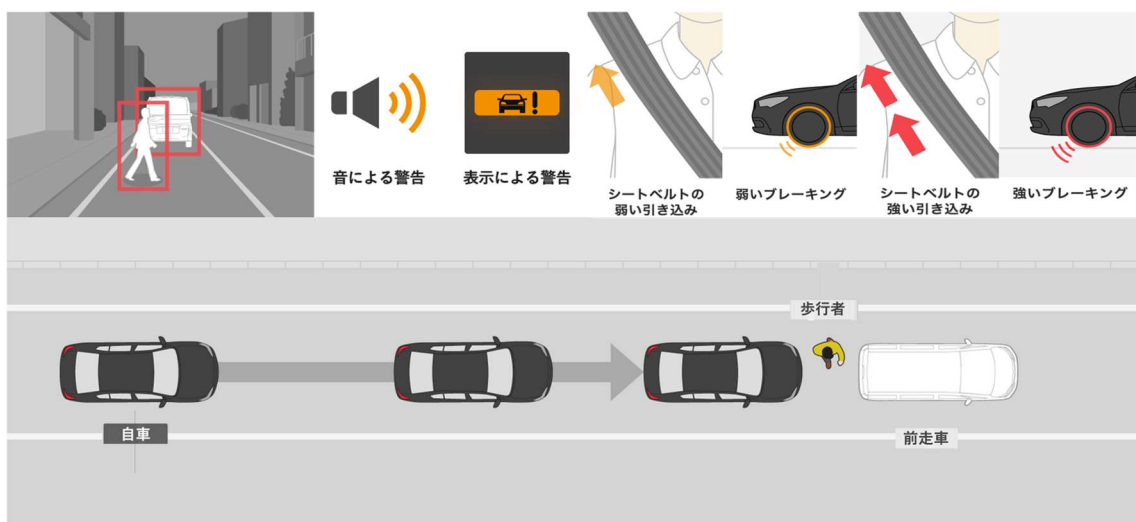


Fig.1.2 Collision damage reduction brake

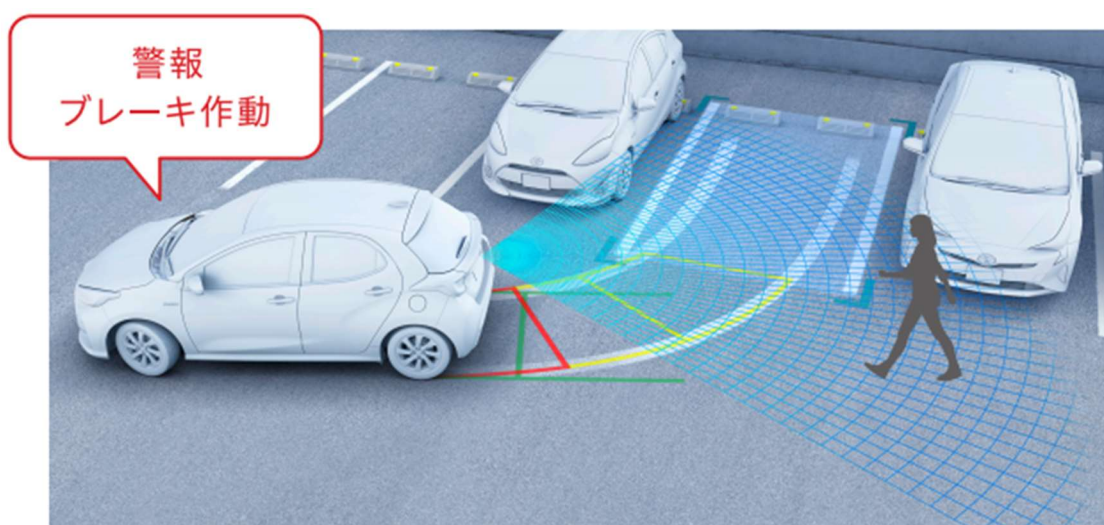


Fig.1.3 Autonomous Emergency Braking

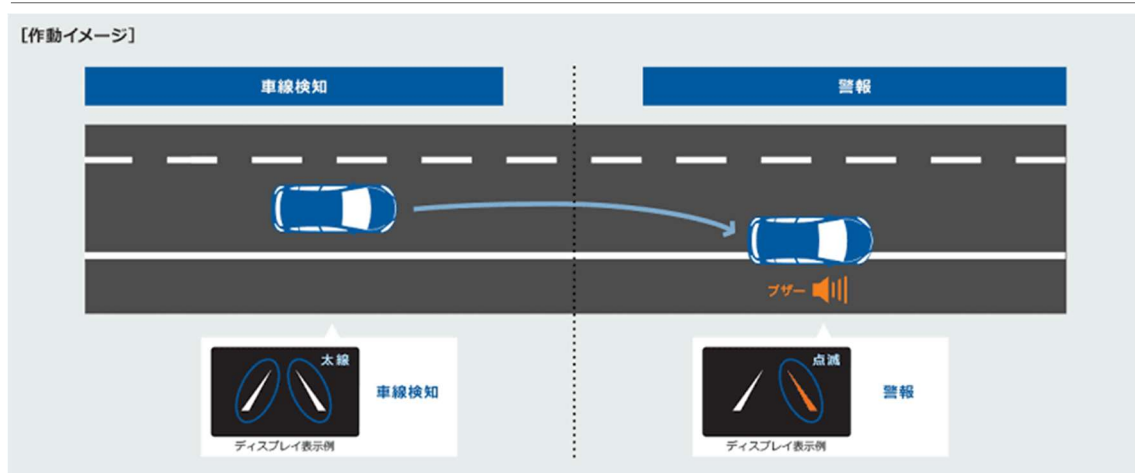


Fig.1.4 Lane keep assist

Table1.1 Automation level

	LEVEL 0	LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	LEVEL 4	LEVEL 5
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged- even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged - even if you are seated in "the driver's seat"		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	

1.2 研究目的

現在の自動運転レベル 2 相当におけるシステムの限界時ではシステムは、システムからの予告や運転の共有状態を介さずに、ドライバーへ運転主権を移行している。つまり、システム限界時において急にシステムがステアリングにかけていたトルクが無くなるという状況である。この現状に対し、齋藤らによる研究では **Shared control** という人間とシステムで共同運転する状態を介すことによる操舵安定性と車両安定性の向上を提案し、ドライバーへの運転主権の移行方法を検討している^[14]。

また、システムの条件として、人間にとって受容性の高いものが要求される。人間に対して受容性の高いシステムを求める場合、人間と機械の協調性に着目する事が重要であるとされている。これに対して、人間の他者に対して挙動を合わすことのできる協調性や物事に臨機応変に対応する事ができる応用性に注目して、機械側の挙動を人間の挙動に似せる事によって、人間と機械の協調性や人間に対する機械の応用性を高める手法が提案されている。Shahriman らは人間同士の協調特性を解析、得られた特性をシステムに適応する事で、人と機械が協調する制御手法を提案している^[15]。また服部らは運転主権を共有する状態を介した運転主権の移行を人間同士で行い、2 人の人間が共同で運転を行う運転動作におけるステアリング操作を、2 人の間のエネルギー授受の関係で評価する方法を提案している^[16]。

先行研究より人間とシステムで力を共有する状態を介して受け渡す手法が操舵安定性と車両安定性の向上に影響すると考えられる。よって、システムから人間への運転主権の移行問題に対して、共同運転状態を通しての運転主権の移行と、人間同士による協調特性に着目し人間同士での運転主権の移行実験を行う。加えて本研究では、人間同士の運転主権の受け渡しのプロセスを解析する際に、被験者に対して性格特性診断を取り入れた。性格特性診断を取り入れることにより、運転主権を移行する際にドライバーに対してどのようなシステムが適しているのかを、人間の他者に対して挙動を合わすことのできる協調性や物事に臨機応変に対応する事ができる応用性が現れやすいと考えら

れる性格という面から解析することができると考えた．よって協調運転を人間同士で行い，運転行動に表れやすいような性格項目を実験結果の分析に用いる．この運転主権の移行する際の特性を解析し，システムに組み込むことで，ドライバー毎に合った安全な運転主権の移行が実現可能と考えられる．

1.3 性格特性診断

本研究では，システム役の被験者の性格を調査するために株式会社電脳 OD 式安全性テストを用いた^[17]．OD 式安全テストとは，運転適性検査のひとつで，いくつかの問題(作業検査と質問紙検査などで構成)に答え，ドライバーごとに安全運転できる程度や，注意すべき点などを導き出す検査である．

OD 式安全テストにおける，測定項目は計 16 項目あり，今回は，被験者の性格の違いによる実験結果の違いを見るために，OD 式安全テストの項目のうち，運転動作に影響しやすく，相手を思いやることができるかという点で，二人での運転主権の受け渡しで重要になるだろうと考えられる，性格特性の項目にある自己中心性について実験結果を評価する．また，こちらのテストはあらかじめ被験者全員に行っている．

自己中心性は，すべてのことにおいてわがままでマイペースな程度を測定しており，A~C の 3 段階で評価されている．それぞれの評価の解釈は A 評価「人と協調することができ，相手の立場に立って物事を考えることができる」，B 評価「どちらかというと協調的なほうだが，時として自分本位な行動をとることもある」，C 評価「わがままなところがあり，自分中心に物事を考えようとする傾向が強い」である．

自己中心性の評価が，A 評価のシステム役の被験者が，ドライバー役の被験者の運転行動と協調した運転を行うことができると考えられるが，すべての人間にとって安全に運転主権を移行できる自動運転システムを開発するうえで，C 評価のシステム役の被験者の運転主権の受け渡しが本当に悪いのかどうかを調べる必要があると感じた．本研究では，自己中心性の項目が A 評価であるシステム役の被験者 A1 と C 評価であるシス

テム役の被験者 A2, A3, A4 がそれぞれドライバーB1(ドライバー役)に対して, どのような運転主権の受け渡しを行ったか, 解析した.

1.4 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す. 本章では研究目的と性格特性の調査方法について述べた. 第 2 章では実験目的と製作した専用の実験装置等の実験環境と実験方法について述べる. 第 3 章では実験で得られたデータの評価方法を述べる. 第 4 章で実験結果と考察を第 5 章では本研究のまとめと今後の課題について述べる.

第 2 章

実験装置・制御方法

2.1 実験目的

本研究の実験では本来システムとドライバーの間で行われる運転主権の移行を 2 人の人間での運転で行う。運転補助システムの搭載された自動車を運転する場合、運転の主権を持つものはシステムとドライバーの 2 者である。運転主権の移行中はどちらか一方が運転操作を行うのではなく、共に運転操作を行う共同運転状態を通すことで、操作安定性の向上を目指す。さらにこの運転主権の移行を人間同士で行うことにより、人間の協調性、応用性を以ってどのように移行が行われるか測定する。得られる車両挙動、ステアリング入力、被験者の主観評価を以って安全かつスムーズな運転主権の移行を目指す。人間同士で自動車の主権の移行を行うためには、同時に 2 人の人間が同一の自動車の運転操作を行える環境でなくてはならない。通常の自動車の走行環境では不可能なため専用の装置を利用した。本章では、実験に使用した実験装置について測定機構など詳細部を含め、述べる。

2.2 実験装置概要

Fig.2.1 に実験風景を，Fig.2.2 に装置概要図を示す．実験装置は 2 人の人間が同時に同一の車両を操作可能でなくてはならない．実験環境として実車での実験は安全性の確保が難しいため PC 上のドライビングシミュレーター(DS)を使用し，モニターに走行環境を表示させた．2 人の人間の運転を実現可能とするよう，2 つのステアリングをタイミングベルトで連結し，連動させた機構となっている．このステアリングから被験者がステアリング操作に要したトルクを測定する．被験者は 2 人横並びで運転を行うため，実験条件として相手の手元を見て判断しないよう，互いを視覚的に遮断する仕切りを設置してある．2 人のドライバーに与えられるアクセルペダル，ブレーキペダルは，踏み込み量が多い方を指令値として採用する．

Fig.2.3 に実験装置の構成図を示す．各被験者に対してステアリング，シート，ブレーキ，アクセル，モニターを用意する．ステアリングからは回転角度，アクセルペダル・ブレーキペダルからは踏み込み量が PC に送られる．PC はドライバーの車両操作情報に基づいて車両ダイナミクスを計算し，その結果に基づいて運転映像をメインディスプレイに表示する．



Fig.2.1 Experimental landscape

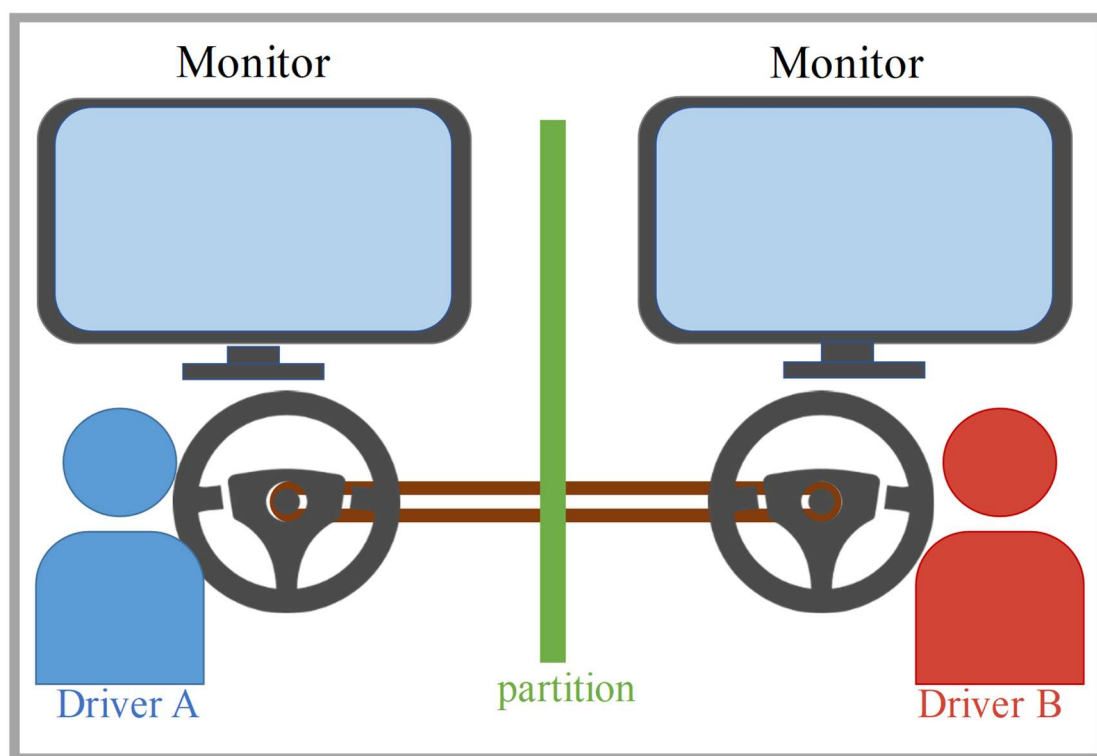


Fig.2.2 Schematic views of the equipment

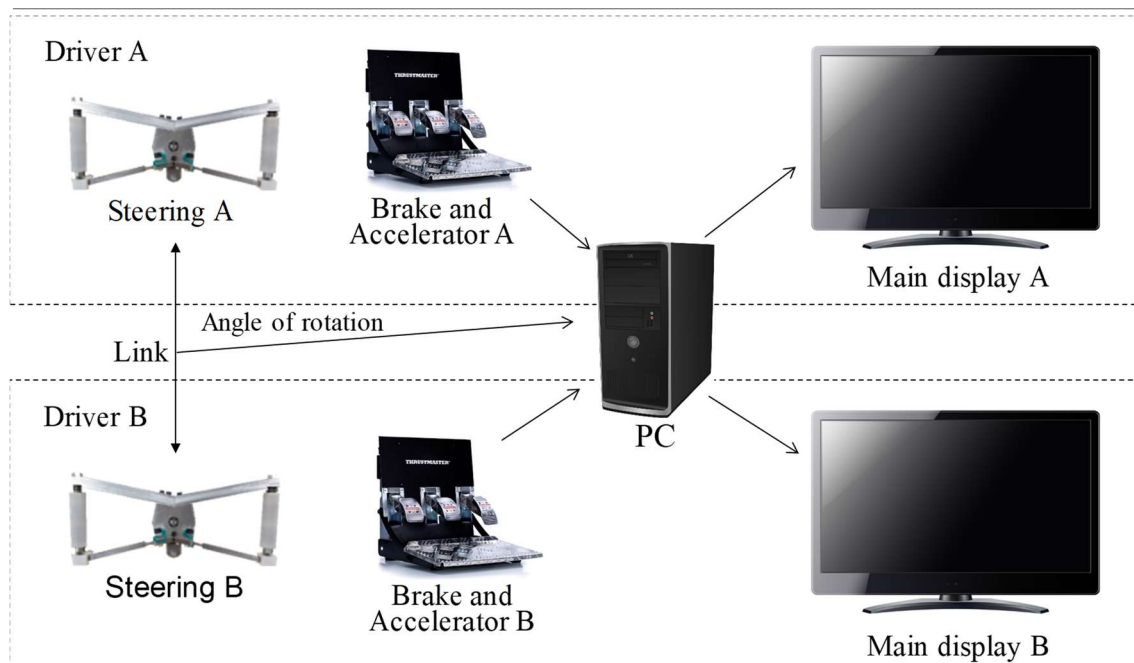


Fig.2.3 Configuration diagram of experimental equipment

2.3 ステアリング装置機構

ステアリング装置の構成図を Fig.2.4 に示す。実験では 2 人の人間が異なるステアリングで同一の車両を操作するため、2 つのステアリングの回転を同期させなければならない。ステアリング同士の動作に遅れが生じないように、タイミングベルトで連結し、連動させるリンク機構である。装置を構成する各部品は土台レールの上に設置する。以下に各部品の詳細を記す。

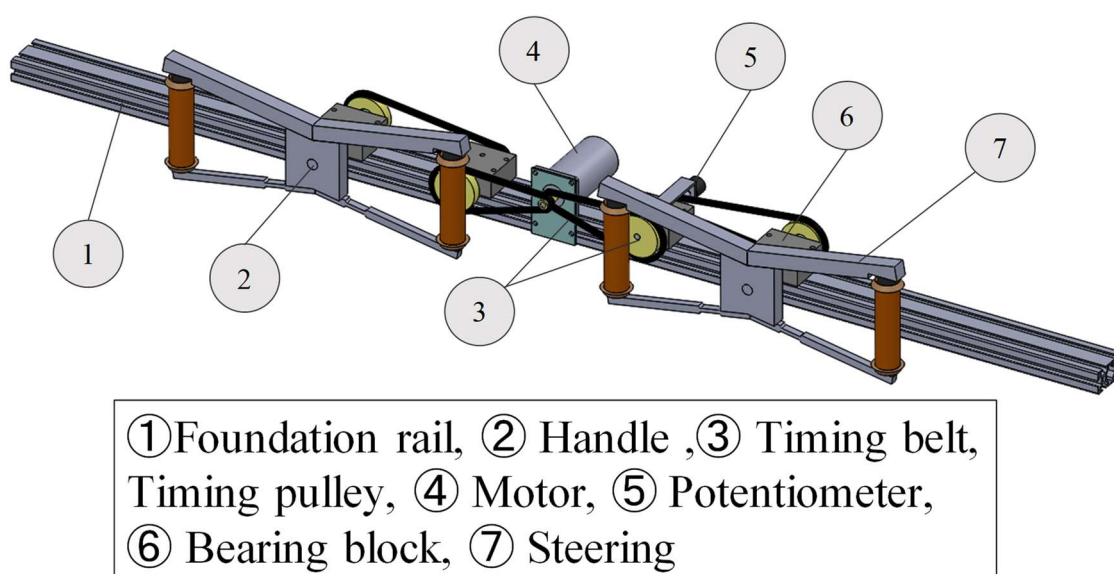


Fig.2.4 Structure of steering device

2.3.1 土台レール

MISUMI のアルミフレーム「6 シリーズ 長方形 30×60mm 2 列溝 4 面溝」を使用している。全長は 1500mm。M6 ネジを使用することで溝に部品を任意の位置で固定することができる。ステアリング装置の機構はこのレール上に構築されている。



Fig.2.5 Base rail

2.3.2 モーター

モーターは SAWAMURA MOTOR SS40E4 DC24V を使用している。ステアリングにかかる負荷を変化させるため、装置中央に設置している。モーターは薄板を加工したものを使用して、土台レールの側面の溝にねじ2組とナット2組を使用して固定される。仕様を Table2.1 に示す。

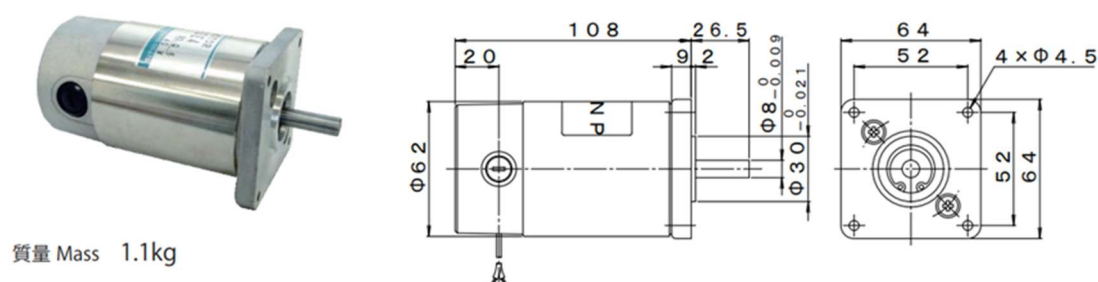


Fig.2.6 Motor

Table2.1 Motor

連続定格 Continuous rating				無負荷 No load		電機子抵抗	電機子慣性モーメント (GD ²)	機械的時定数	逆起電力定数	トルク定数	ブラシ長さ
電圧 Voltage DC-V	電流 Current A	回転速度 Speed rpm	トルク Torque N·m (kgf·cm)	電流 Current A	回転速度 Speed rpm	Armature R. Ω	R. Inertia kg·cm ² (kgf·cm ²)	ms	V/krpm	N·m/A	Brush L mm
24	2.7	2500	0.16 (1.6)	0.28	3100	1.7	0.53 (2.1)	18	7.74	0.074	10 限度長さ 4

2.3.3 軸受け

モーターの回転を減速させるために装置には4本の軸があり、それぞれをベアリングに通す。軸は2段階変速をするための中間軸が2本、ステアリングの軸が2本ある。それぞれの軸周りの機構は樹脂で製作したブロックを用いている。中間軸受けブロックには フランジ付き深溝玉軸受け NSK MF148ZZ (内径 φ8, 外径 φ14) を使用している。ステアリング軸受けブロックにはスラスト方向とラジアル方向の力がかかるため、2方向の力に対応できる円錐ころ軸受け NSK 30240D (内径 φ12, 外径 φ21) を使用している。



Fig.2.7 Bearing

2.3.4 ロックナット

ステアリングの操作感を、実際に運転している際の感覚に近づけるため、ステアリングの軸部分につけたベアリングにロックナットを用いて挟み、機械的な摩擦力を付与してある。ロックナットは、ベアリング用ナット AN01 を用いている。



Fig.2.8 Lock nut

2.3.5 タイミングベルト、タイミングプーリー

動作に遅れの出にくいタイミングベルト、タイミングプーリーを使用して、ステアリングを連動させ、モーターからステアリングまで2段減速を行っている。タイミングプーリーは P20MXL100(歯数 20), P84MXL100(歯数 84)の減速比 4.2 を2段階用い、減速比 17.64 で減速させる。タイミングベルトの規格を Fig.2.9 と Table. 2.2 に示す。

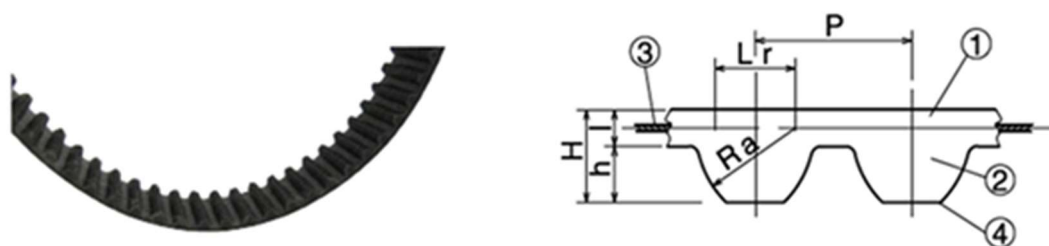


Fig.2.9 Timing belt

Table.2.2 Standard of the timing belt

Belt width	Material	P[mm]	Ra[mm]	Lr[mm]	H[mm]	h[mm]	l[mm]
60	Gum	3	1.95	1.95	1.94	1.14	0.8

2.3.6 ポテンションメーター

ステアリングの操舵角を測定するためにポテンションメーターが取り付けられている。Fig.2.10 に使用しているポテンションメーターを、Table2.3 にその仕様を示す。



Fig.2.10 Potentiometer

Table2.3 Standard of Potentiometer

Effective electrical travel	Resistance	Independent linearity	Normal rated power
3600°	0.1k~50kΩ ±5%	±0.25%	2W
Optical resolution	Mechanical radian	Rotating torque	Mass
0.009%~0.059%	3600°	Max4.2mN・m	21g

2.3.7 ステアリング

Fig.2.11 にステアリングの全体図を，Fig.2.12 にトルク測定機構の詳細図を示す．ステアリングの下部の部品には切りかきがついており，ひずみゲージを取り付けることで，各ドライバーの右手・左手のトルクを測定する．グリップ部分は中心に軸が通っており上下する仕組みになっている．また，中にバネが仕組まれており，下部の部品に押し付けた状態になっている．グリップから直接的に下部の部品に力を伝えるため，円周方向のみの力を取り出すことができる．



Fig.2.11 Overall view of steering

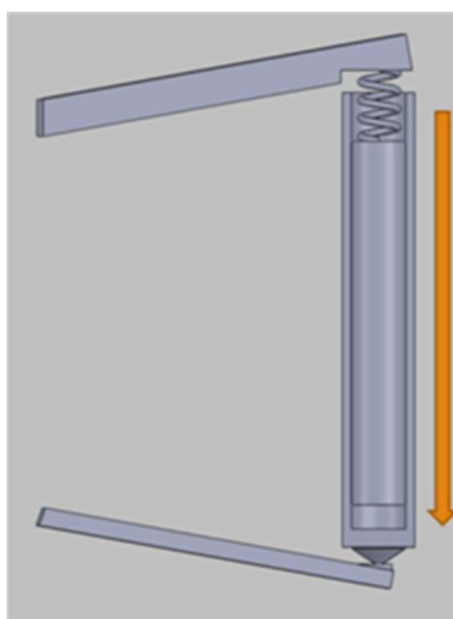


Fig.2.12 Mechanism of steering

第3章

実験装置・制御方法

3.1 走行環境

3.1.1 想定状況

実際にレベル3 自動運転技術でシステムから人間へ運転主権の移行が行われるのは、一定条件の走行環境下から外れる状況である。現在レベル2、もしくはレベル3で想定されている走行環境は高速道路である。障害物が少なく、速度の加減速の機会が少なく一定速度で走行可能、また車線の幅が広く車線を計器類が認識しやすいためである。この走行環境下から外れる状況を想定し走行環境を構築し実験を行った。

高速道路上の走行を特定の条件とし、システムから、人間のドライバーに運転主権を受け渡すことを考える。ドライビングシミュレーターで再現する走行環境は高速道路上インターチェンジ付近の高速道路から離脱するための本線から減速車線への車線変更である。使用した走行環境を Fig.3.1 に示す。1 車線の幅は 3.5m, 本線走行区間は 200m, 車線変更区間は 200m, 退出後走行車線は 100m とする。また、本実験では車線変更に着目するため他車両は表示しないものとする。また、実験中に車線変更する地点を固定化すると、被験者が走行環境に慣れてしまうため、Fig3.2 のような車線変更できる地点を 5 ヲ所用意した走行環境を使用した。車線変更できる地点までの、車線の幅、車線変更区間、退出後走行車線の距離はすべて一定である。

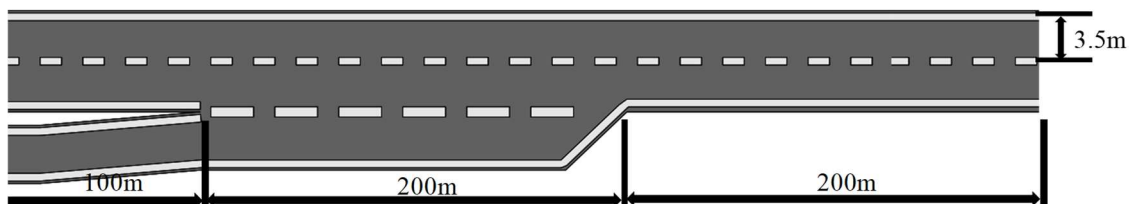


Fig.3.1 Driving environment (near the interchange)

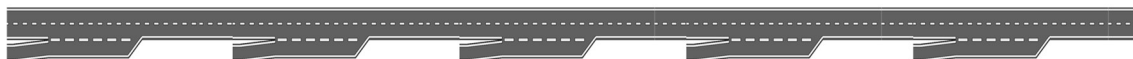


Fig.3.2 Driving environment

3.1.2 車線変更

通常の高速道路上における本線から減速車線への車線変更について、ドライバーがとる運転動作を4段階に分類した。この各段階における車両位置と運転動作についてFig.3.3に示す。まず、①は本線の走行。次の②は目標の減速車線とステアリング操作を開始する車線変更。③で車線変更終了後ステアリングを正位置に戻すことで車両の安定をはかる。④はそのままインターチェンジに向かって走行を続け高速道路から離脱する状態である。

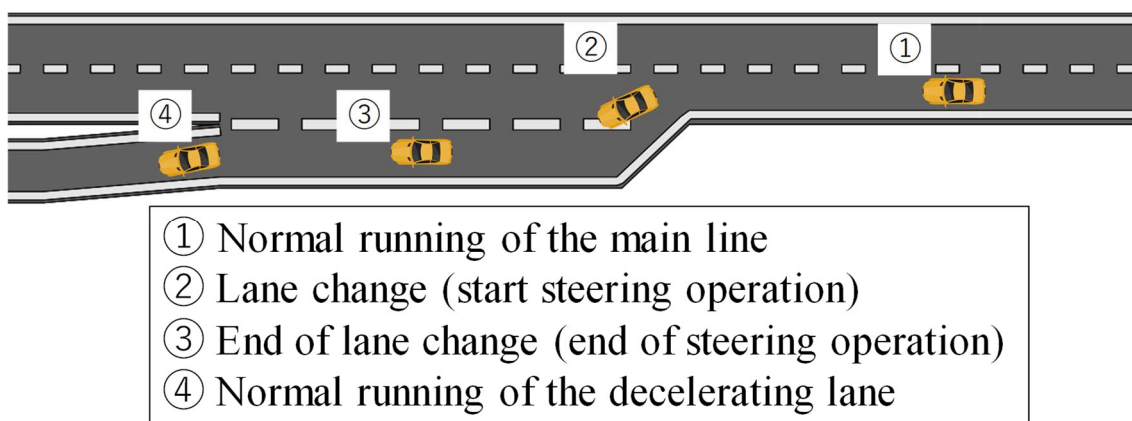


Fig.3.3 Lane change

3.2 走行状態

3.1 節で述べている走行環境を元に，2 人の人間で運転主権の移行を行う．本実験では本来のシステム側の役割の被験者をドライバーA，人間のドライバー側の役割の被験者をドライバーB と呼称する．運転主権の移行を含めた減速車線変更について，システムとドライバーがとる運転動作を 5 段階に分類した．Fig.3.4 に 2 人の人間による協調運転を行う際の運転主権の保持状況を示す．まず①本線の走行をドライバーA のみの運転で行う．②減速車線が近づくとドライバーB がステアリングの保持を始め，運転に介入し，2 人の人間による協調運転が開始される．③その後 2 人の人間が共に運転操作をしている状態のまま車線変更動作を行う．④車線変更が完了し，⑤ドライバーA がステアリングから手を放し運転動作を終了する事で，ドライバーB 単独の運転に移り，運転主権の移行が完了する．被験者には，車線変更を 2 人で同時に行うこと，車線変更終了後に運転操作の受け渡しを終わらせる事を指示した．協調運転の開始は，車線変更箇所をドライバーB だけにあらかじめ伝えておき，車線変更箇所に近づいたら会話で合図をドライバーA に送ってもらい，協調運転の開始のタイミングを決めることとする．また，協調運転の終了のタイミングは，車両が退出走行車線に入り車体が安定したとドライバーA が判断したタイミングとする．被験者同士でステアリングを持つタイミングや車線変更のタイミングを計り，人間としての協調性や応用性を生かすため，会話でのコミュニケーションをとることは自由としている．

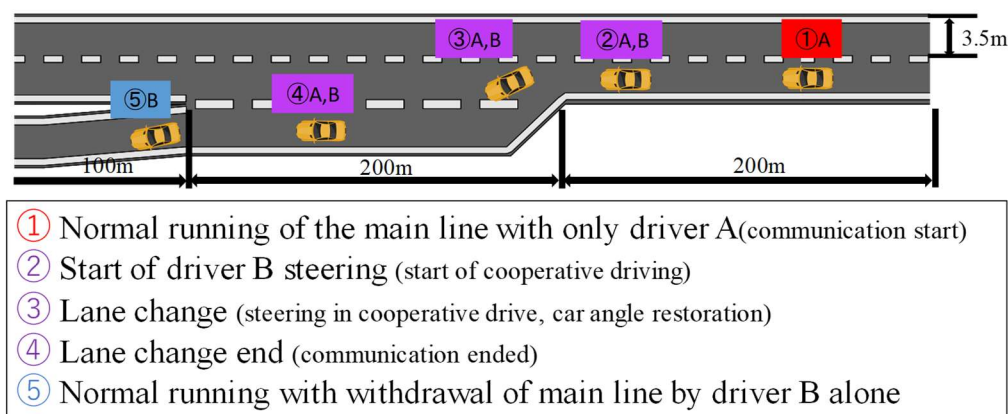


Fig.3.4 Driving sovereign holding condition

3.3 実験内容

3.3.1 予備実験

本研究では、ドライバー個々に適するようなシステムを開発するのが目標であるため、人それぞれ異なるドライバーの運転行動の中から、いくつかの運転行動パターンを作成し、そのパターンごとにシステム役の被験者が、どのような運転行動を行うのかを調査する。そして、実際にその運転行動がドライバーと協調できていたのかを評価することとする。いくつかの運転行動のパターンを作成するため、本実験を行う前に協調運転の開始の合図のタイミングと協調運転中のステリングの角速度を調査するための、予備実験を実施した。被験者は 20 代男性、2 組の「Pair α 」(ドライバー $\alpha 1$ ・ドライバー $\beta 1$)と「Pair β 」(ドライバー $\alpha 2$ ・ドライバー $\beta 2$)に対し予備実験を行った。被験者は、まずドライビングシミュレーターに慣れるまで 1 人で運転を行う。その後 2 人で本線から減速車線への車線変更における運転動作について説明を行い、実際に 2.5 節で述べた運転状態に則り、運転実験を行った。被験者には運転実験を、車線変更 1 回を 1 本とし各ペア 10 本ずつ行い、実験 10 本における車線変更時のステアリング角速度の平均と協調運転開始前の合図のタイミングの平均を調査した。

3.3.2 本実験

予備実験より判明した車線変更時のステアリング角速度の平均と車線変更開始の合図のタイミングの平均を通常として、車線変更時のステアリング角速度が速い、通常と車線変更開始のドライバーB(ドライバー役)の合図のタイミングが早い、通常、遅いの 3 パターン \times 2 パターンの合計 6 パターンの運転行動パターンを定義した。車線変更時のステアリング角速度の違いは運転の緊急性の有無を表しており、協調運転開始の合図のタイミングの違いは、ドライバーの性格の違いを表している。ステアリング角速度が遅すぎると、車線変更自体をすることができないので今回の実験条件からは除外する。

被験者は 20 代男性 4 組の「Pair 1」(ドライバーA1・ドライバーB1)と「Pair 2」

(ドライバーA2・ドライバーB1), 「Pair 3」(ドライバーA3・ドライバーB1), 「Pair 4」(ドライバーA4・ドライバーB1) である。ドライバー役の被験者を複数人起用してしまうと, ドライバー役の被験者の性格特性による運転行動やコミュニケーションに変化が生じてしまう可能性が高く, ドライバーの運転行動をパターン化した意義が薄れてしまうため, ドライバー役の被験者をドライバーB1 で固定とする。予備実験と同様に, 被験者は, まずドライビングシミュレーターに慣れるまで 1 人で運転を行う。その後 2 人で本線から減速車線への車線変更における運転動作について説明を行い, 予備実験と同様に 3.2 節で述べた走行状態に則り, 定義した運転行動パターンでの運転実験を行う。ドライバーB1 には, この定義した運転行動パターンを説明し運転行動パターンが再現できるまで, あらかじめ練習をしてもらう。本実験では, 6 パターン×3 本=18 本の実験を行ってもらった。

第4章

評価方法

4.1 力学モデル

本実験の協調運転を評価するに当たり、実験装置から得られた実測データ、被験者の性格特性と実験ごとの主観評価を用いる。実験装置からはステアリングから得られる被験者が入力したトルク[N・m]、ステアリング機構内に設置したポテンションメーターからステアリング操舵角[rad]を測定する。これにより、「ドライバーA がステアリングに与えたトルク値」、「ドライバーB がステアリングに与えたトルク値」、「ステアリングの操舵角」の3つが得られ、それぞれ0.01秒のサンプリングタイムで取得する。また主観評価はアンケートを用い、行った協調運転による車線変更を被験者自身で評価を行う。操舵角はステアリングを切っていない位置を0として時計回り方向を正に、反時計周り方向を負とする。また、実験時間は協調運転を開始した時点を開始点(0s)とする。各値を以下に示す。

t : 実験時間

τ_A : ドライバーA がステアリングに与えるトルク[N・m]

τ_B : ドライバーB がステアリングに与えるトルク[N・m]

θ_t : 操舵角[rad]

$I[-]$ を慣性、 $k[-]$ をバネ係数、 $d[-]$ を粘性係数、 $\tau_f[N]$ を摩擦として、力学モデルを Fig.4.1 に、の運動方程式を以下の式に示す。

$$I\ddot{\theta}_t + d\dot{\theta}_t + k\theta_t - \tau_f \sin\theta_t = \tau_A + \tau_B \quad (4.1)$$

また、式(4.1)の左辺の外力を $T(t)$ 、内力を τ_{int} 、 α を力の分配比率を示す重み係数とし、それぞれのトルクの計算式を以下に示す。

$$T(t) = \tau_A + \tau_B \quad (4.2)$$

$$\tau_A = \alpha T(t) + \tau_{int} \quad (4.3)$$

$$\tau_B = (1 - \alpha)T(t) - \tau_{int} \quad (4.4)$$

この式では重み係数の値によって内力を見る事が出来る。被験者がそれぞれ逆方向にステアリングを切っている場合、内力が発生しトルク量の少ない方のドライバーの操作が負荷となる。また同方向にステアリングを切っている場合は、内力は発生せず、ステアリングに入力したトルクは全てステアリング操作に使われる事となる。

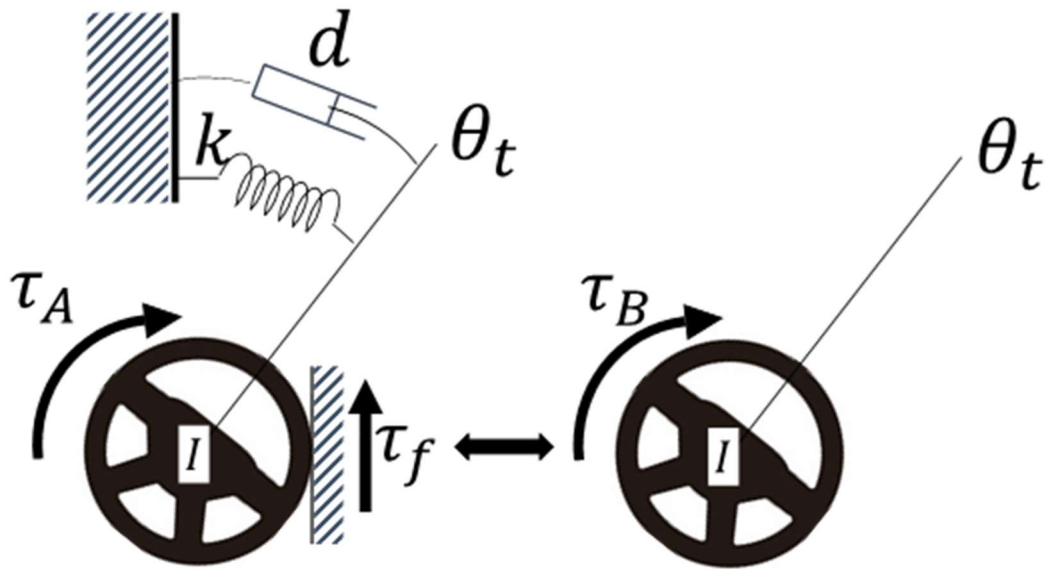


Fig4.1 Dynamic model of steering

4.2 運転状態判断

運転実験では運転の主権が一方の人間から他方の人間に移行する動作について説明した。運転主権が受け渡される時の特性を調べるため、協調運転時のトルクとステアリング角度を計測してある。これらの計測結果より、2人の人間が同時に1つのステアリング機構を操作する際の、内部でのエネルギーのかかり方を見る事ができる。本研究では各ドライバーのエネルギー総量を調査し、ドライバーB(ドライバー役)に対する、ドライバーA(システム役)のエネルギー総量の割合を評価方法のひとつとして用いる。実験装置から得られた操舵角から角速度を、各ドライバーがステアリングに与えたトルクを(4.2), (4.3)で述べた式より導出する。まず、角速度とトルクから各ドライバーの判定時間当たりの仕事率を導出する。この仕事率に判定時間間隔をかけることで、判定時間間隔当たりの仕事を算出し、その結果から、各ドライバーのエネルギーの総量を算出することが出来る。各計算式を式 (4.4), (4.5), (4.6), (4.7), (4.8) に示す。

t : 協調運転中のある時間

Δt : 判定時間間隔(0.01s)

W_A : ドライバーA がステアリングに与える仕事率[J/s]

W_B : ドライバーB がステアリングに与える仕事率[J/s]

J_A : ドライバーA がステアリングに与える仕事[J]

J_B : ドライバーB がステアリングに与える仕事[J]

θ_t : ある時間 t におけるステアリング角度[rad]

$\omega(t)$ = ある時間 t におけるステアリング操舵角速度[rad/s]

$$W_A = \tau_A \times \omega(t) \quad (4.5)$$

$$W_B = \tau_B \times \omega(t) \quad (4.6)$$

$$\omega(t) = \frac{1}{\Delta t} (\theta_t - \theta_{t-\Delta t}) \quad (4.7)$$

$$J_A = \sum W_A \Delta t \quad (4.8)$$

$$J_B = \sum W_B \Delta t \quad (4.9)$$

ドライバーA(システム役)からドライバーB(ドライバー役)への運転主権の移行時、両者の間にエネルギーの伝達が行われる。本実験では、人間2人が協調運転を行っているすべての時間におけるエネルギーの関係を調べるためエネルギー総量を求めた。各ドライバーが発生させるエネルギーは各ステアリングに加えられるトルクと操舵角速度と判定時間間隔の積で表される。これにより得られたエネルギーの総量から、ドライバーB(ドライバー役)に対するドライバーA(システム役)のエネルギーの割合を求め、協調運転時の運転状態を判断する。

4.3 主観評価による運転主権交代時の操作感の判定

運転主権の移行時に、ドライバー自身が運転操作をどのように感じたかという、主観的な面も重要であると考えられる。本実験では、ドライバーB(ドライバー役)側から、操舵開始の合図のタイミングとステアリングの角速度を決定しているので、高速道路からの降出行動は主導的であるといえる。しかしその際の運転行動時にドライバーA(システム役)の運転行動が違和感になっていないか、協調運転時の操作感について調査する必要があると考えたため、主観評価を用いて調査した。質問内容としては、試行1本ごとの操作感到違和感があったのかどうかを知りたいので「今回の試行は、運転実験全体と比べスムーズに運転の交代ができていましたか?」という内容で、11段階での評価をし、評価値の0を中間とし、値が高いほどスムーズに運転交代ができていない(違和感がない)、値が低いほどスムーズに運転行動ができていない(違和感がある)と設定した。

Fig.3.2 に実際に用いたアンケート表を示す。

<p>今回の試行はスムーズに運転の交代ができていましたか? 解答欄の選択肢の中から当てはまるものを選び、○で囲んで下さい。</p>										
-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
できていない			どちらでもない						できた	

Fig.3.2 Questionnaire

第 5 章

実験結果

前章で述べた評価方法を用い、2 人の人間による協調運転実験の結果と考察を行う。ドライバーB(ドライバー役)に対する、ドライバーA(システム役)のステアリングに加えたエネルギー総量の割合による運転状態判断、運転適性検査を用いた被験者の性格特性、アンケートを用いた主観評価の 3 種の評価を行った。本章では、これらの結果と考察を示す。5.1 節では先行実験における、ステアリング角速度と車線変更開始前の合図のタイミングについて述べる。5.2 節では 5.1 節で判明した、ステアリング角速度と協調運転開始の合図のタイミングの違いにおけるドライバーB(ドライバー役)に対する、ドライバーA(システム役)のエネルギー総量の割合の変化をシステム役の性格特性の違いに応じて述べる。5.3 節では、性格特性の異なるドライバーA(システム役)とドライバーB(ドライバー役)の協調運転の際に、ドライバーB が実際その時の運転をどのように感じていたのかの主観評価を示す。

5.1 予備実験結果

まず先行実験の結果から調査したステアリング角速度について $\text{pair}\alpha$, $\text{pair}\beta$ における協調運転中のステアリング角速度の推移を Fig5.1, Fig5.2 に示す。このグラフにおいて、負の角速度は、反時計回りつまり左にステアリングをきった際の角速度であり、正の角速度は、時計回りつまり右にステアリングをきった際の角速度である。先行実験から調査するべきは、車線変更時のステアリング角速度になる。そのため、初めて負の角速度が出た際の最大値を車線変更時のステアリング角速度として集計し、 $\text{pair}\alpha$, $\text{pair}\beta$ の運転実験 1 本ごとのステアリング角速度(絶対値)とその平均を Table5.3, Table5.2 のそれぞ

れ示す。その結果より，協調運転開始直後における通常の角速度を $0.1 \sim 0.15 [\text{rad/s}]$ と定義する。

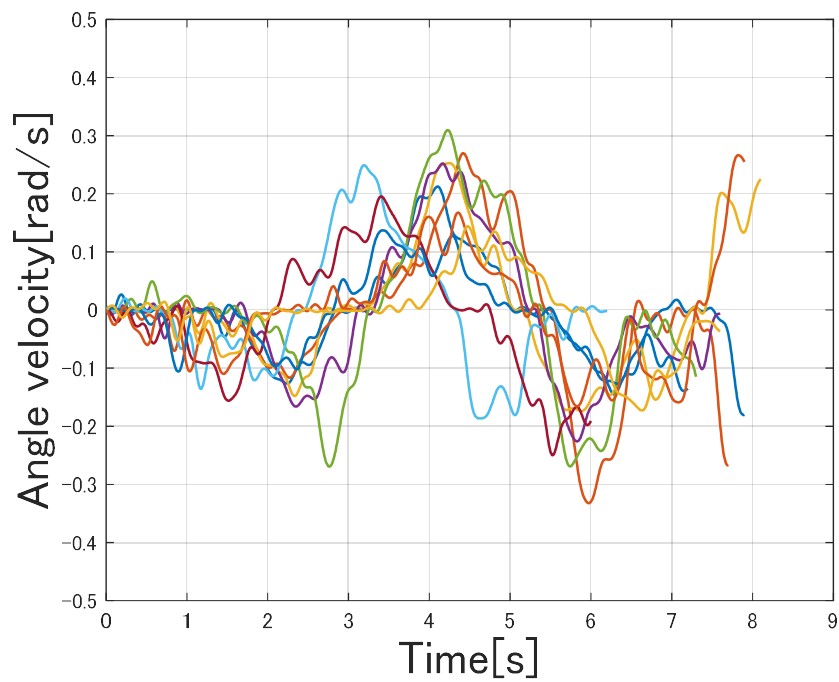


Fig.5.1 Steering angular velocity of pair α

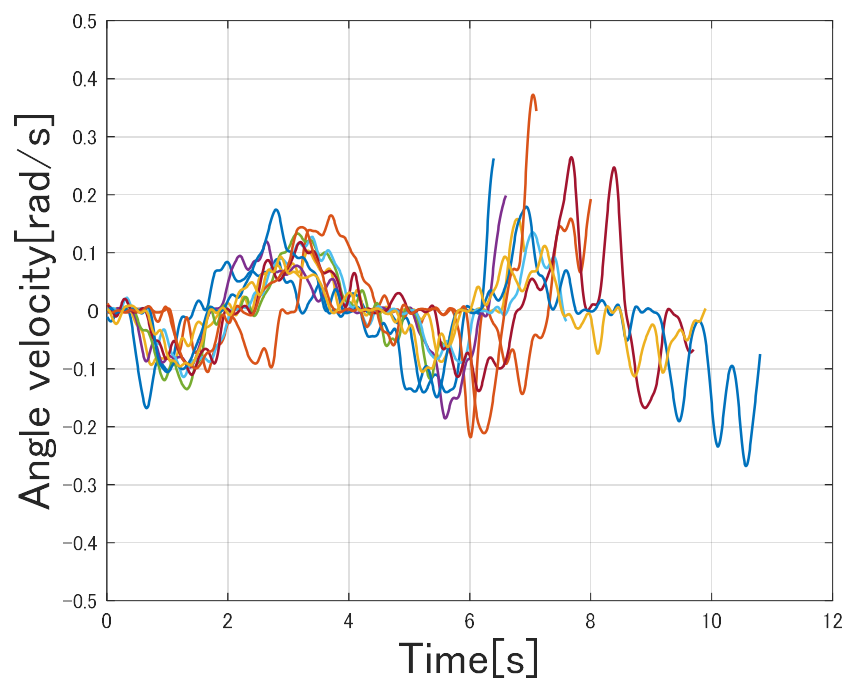


Fig.5.2 Steering angular velocity of pair β

Table.5.1 Steering angular velocity

Number of trials		1	2	3	4	5	
Steering angular velocity	pair α	0.126	0.116	0.148	0.166	0.269	
	pair β	0.168	0.106	0.0937	0.0980	0.135	
Number of trials		6	7	8	9	10	AVERAGE
Steering angular velocity	pair α	0.135	0.156	0.106	0.110	0.0804	
	pair β	0.114	0.111	0.106	0.0994	0.0960	

次に、車線変更前の合図のタイミングについて述べる。車線変更前の合図のタイミングは、ビデオカメラを 2 人がステアリング操作を行っていることが確認できる後方上方に設置し(Fig.5.3), ドライバーB(ドライバー役)が車線変更をするという合図を出してから、ステアリングをきり始めるまでの時間を調査した。その結果合図を出してから、ステアリングをきり始めるまでの時間は、約 2~3 秒という結果となった。これは、道路交通法による、車線変更時の合図(ウィンカー)を出すタイミングは 3 秒前というものとほぼ合致する。よって協調運転前に合図を出すタイミングは 2~3 秒前が通常であると定義する。



Fig.5.3 Video camera position

5.2 本実験

予備実験より判明した車線変更時の角速度の平均と車線変更開始の合図のタイミングを通常として，車線変更時のステアリング角速度が速い，通常と車線変更開始時のドライバーB(ドライバー役)の合図のタイミングが早い，通常，遅いの合計6パターンの運転行動パターンを定義した．予備実験より車線変更時のステアリング角速度の通常速度は $0.1 \sim 0.15 [\text{rad/s}]$ ，車線変更開始のドライバーB(ドライバー役)の合図のタイミングは車線変更開始の約2～3秒前と定義した．予備実験結果より速いステアリング角速度を通常の3倍以上である $0.3 \sim [\text{rad/s}]$ とする．また合図のタイミングは通常が車線変更開始の約2～3秒で，協調運転開始前の車両速度がどのペアも $80 \sim 100 \text{ km/h}$ であることより，本実験では車線変更開始地点の約60m前方を通常車線変更前の合図のタイミングとした．そして，合図のタイミング前後に100mずつずらし，早い合図のタイミングが車線変更開始地点の160m前方，遅い合図のタイミングを車線変更開始地点の40m後方とする(Fig.5.4)．ステアリング角速度が速い運転動作は，特異的なドライバーもしくは緊急的な運転動作を模擬している．また6パターンの運転行動パターンを Fig.5.5 で示すようにA～Fで表した．

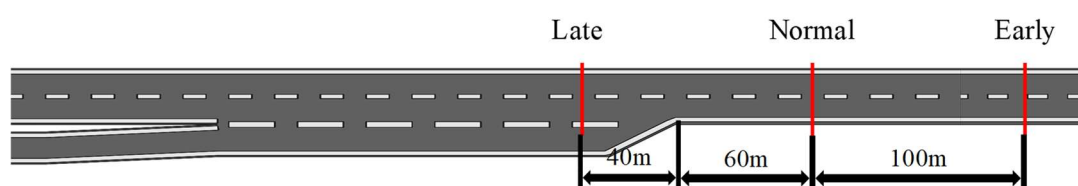


Fig.5.4 Signal timing

	A	B	C	D	E	F
Steering angular velocity	Normal	Normal	Normal	Fast	Fast	Fast
	$0.1 \sim 0.15 [\text{rad/s}]$			$0.3 \sim [\text{rad/s}]$		
Signal timing (From lane change start point)	Early	Normal	Late	Early	Normal	Late
	160m before	60m before	40m after	160m before	60m before	40m after

Fig.5.5 List of driving behavior patterns

5.2.1 運転状態判断

4.2 節で述べた評価方法より，各ドライバーのエネルギーの総量からドライバーB(ドライバー役)に対する，ドライバーA(ドライバー役)のエネルギー総量の割合を求めた．1.3 節で述べたように，自己中心性が A 評価であるドライバーA1 がシステム役である pair1 と自己中心性が C 評価であるドライバーA2，A3，A4 がシステム役である pair2~pair4 のドライバーB(ドライバー役)に対するドライバーA(システム役)のエネルギーの割合を Fig5.5, Fig5.6, Fig5.7, Fig5.8 に示す．エネルギーの割合が大きければ大きいほどドライバーB(ドライバー役)がステアリングに与えているエネルギーに対してドライバーA(システム役)がステアリングに与えているエネルギーが大きくなるということなので，システムとしてエネルギー面からみて非効率であり，ドライバーB(ドライバー役)にとっての違和感となる可能性が考えられる．

またエネルギーの割合を算出するために用いたドライバーA，ドライバーB のステアリングに加えたエネルギーの総量，ドライバーA，ドライバーBそれぞれのトルク量と本実験における条件ごとのステアリング角速度の平均値を付録に示す．これによりパターンごとのエネルギー総量に関わっている度合いがステアリング角速度とトルク量で比べてどちらが大きいのかを知ることができる．付録より，どの pair においても，エネルギー総量，トルク量ともにドライバーBの方がドライバーAよりも上回っており，ドライバーBが主導的に車線変更の運転動作を行っていることがわかる．また，ステアリング角速度は定義したパターンのステアリング角速度の範囲に収まっていることがわかる．

実験結果より，ステアリング角速度が通常の場合のドライバーBに対するドライバーAのエネルギー総量の割合がドライバーA1 とドライバーA2 では合図のタイミングに関わらず，ドライバーA2のほうがエネルギー総量の割合が大きく，ドライバーA1 とドライバーA3 では合図のタイミングが早い場合と通常の場合において，ドライバーA1のほうが大きいとわかった．しかし，ステアリング角速度が速い場合におけるエネ

ルギー総量の割合の変化は確認できなかった。これは、緊急性の高いステアリング操作をドライバーB1が行った際には、ドライバーAの被験者の性格が、エネルギーの面では運転に反映されていないことが示唆できる。以上のことから、自己中心性がA評価である人間がシステム役の時、ステアリング角速度が通常である運転時においては、ドライバーに対して少ないエネルギーで運転主権の移行ができたといえる。

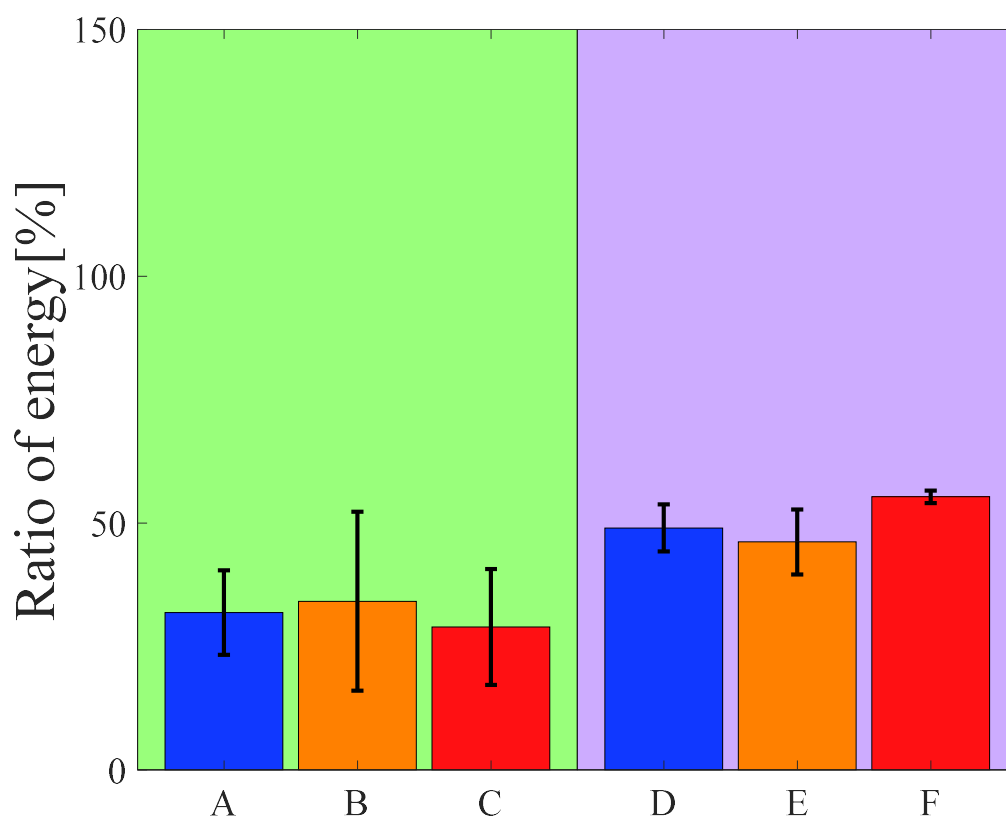


Fig.5.5 Percentage of driver A's energy to driver B's energy in pair 1

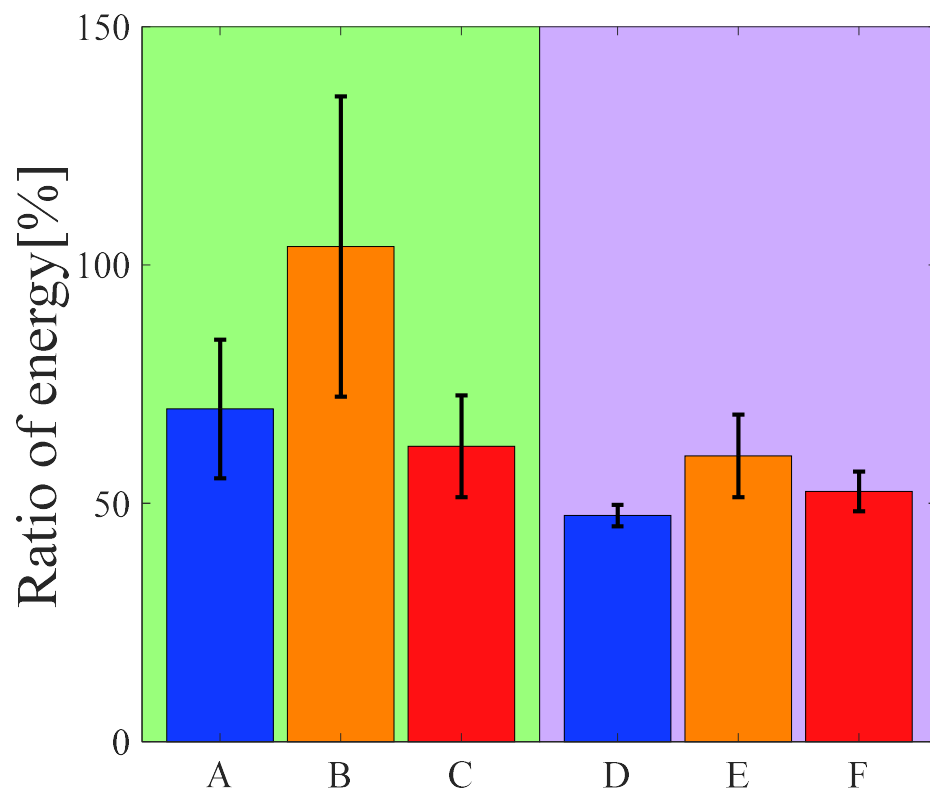


Fig5.6 Percentage of driver A's energy to driver B's energy in pair 2

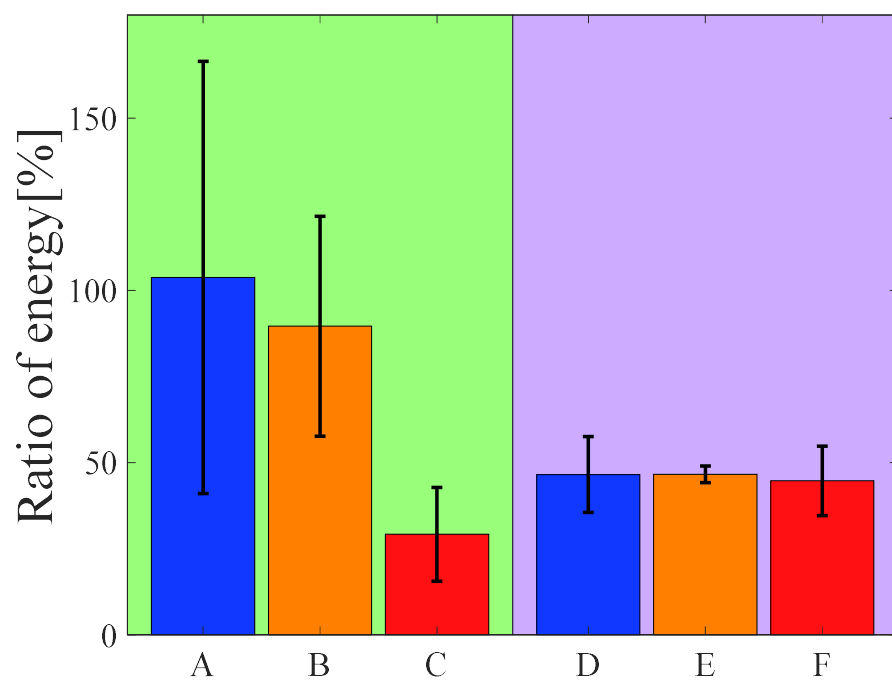


Fig5.7 Percentage of driver A's energy to driver B's energy in pair 3

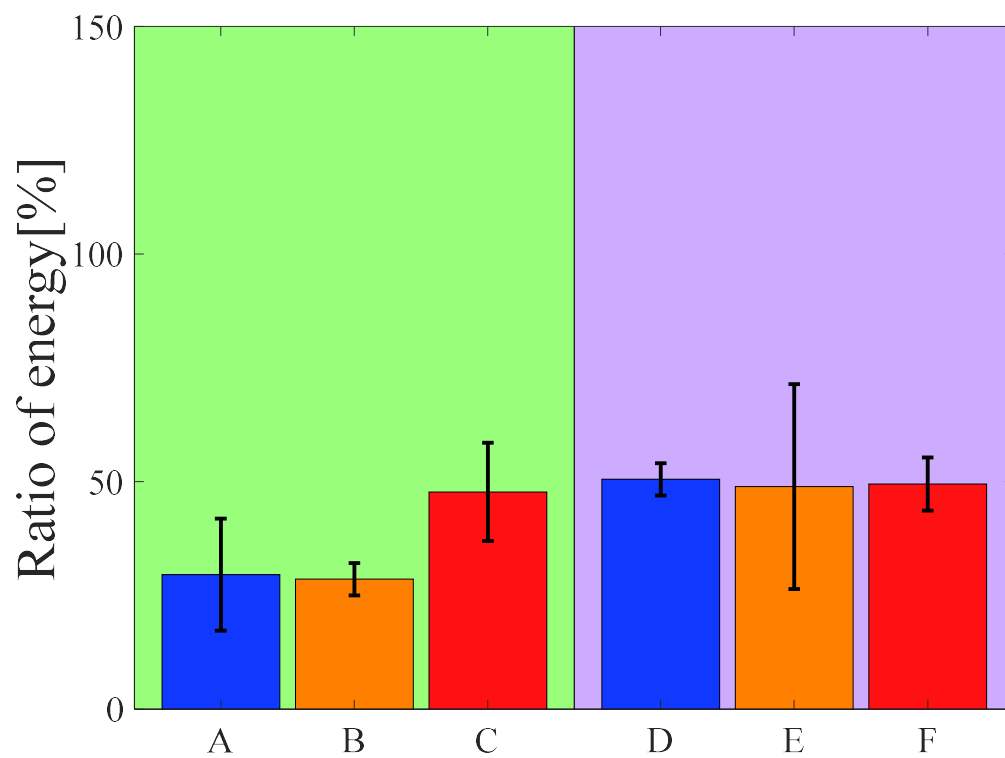


Fig5.8 Percentage of driver A's energy to driver B's energy in pair 4

5.2.2 主観評価による運転主権交代時の操作感の判定

4.3 節で述べたアンケートより得られた結果を, pair1~pai4 まで運転行動パターン別にして Table5.2 に示す. アンケート結果のプラスが大きければ大きいほどドライバーBにとってその共同運転はスムーズに行うことができ, マイナスが大きければ大きいほどその試行の共同運転はスムーズに行うことができてなかったということになる. スムーズとは物事が滞らずに滑らかに進むさまであるので, プラスの際は, 違和感がほとんどなかったと考えられ, マイナスの際は, 被験者にとって共同運転中に違和感があり, 思い通りの運転主権の受け渡しができていなかったのだと考えられる.

主観評価の結果より, ドライバーA(システム役), ドライバーB(ドライバー役)ともにステアリング角速度が速いときには, マイナスの評価をつけており, 何かしらの違和感または, 主権移行のタイミングの相違がみられたと考えられる. またステアリング角速度が通常の際, 合図のタイミングが遅いときはドライバーA とドライバーB の操作感の善し悪しが統一されていないが, 合図のタイミングが早い場合と通常の場合ではどのペアでも操作感による運転主権の移行はスムーズに行うことができていると考えられる.

Table.5.2 Questionnaire results

	pair1		pair2		pair3		pair4	
	driverA	driverB	driverA	driverB	driverA	driverB	driverA	driverB
A	2.0	4.0	3.7	3.7	2.0	3.5	5.0	3.0
B	2.0	2.0	2.5	3.5	2.3	4.3	4.0	3.7
C	0.7	2.7	0.7	-0.3	-1.0	1.7	-0.3	0.0
D	-0.7	0.0	-2.3	-2.3	1.0	-1.3	-1.0	0.3
E	-0.3	-1.7	-1.7	-1.7	1.0	-1.7	-2.3	0.7
F	-1.7	-1.0	-3.0	-2.0	-1.7	-1.7	-0.7	0.0

第6章

結論

6.1 結論

本研究では自動運転の実用化に向けて問題となる安全な運転主権の移行を実現させるため、2人の人間で協調運転を行い、人間同士の運転主権の移行プロセスの解析を行った。自動運転レベル3相当のシステムは限界時、ドライバーへと運転主権の移行を行う必要がある。この移行が上手く行われなかった場合、車両安定性、操作安定性が低下し重大な事故に繋がる可能性がある。また本研究では、人間同士の運転主権の受け渡しのプロセスを解析する際に、被験者に対して性格診断を取り入れて、実験を行った。性格診断を取り入れることにより、運転主権を移行する際にドライバーに対してどのようなシステムが適しているのかを、システムの性格から解析することができると考えた。よって協調運転を人間同士で行い、運転行動に表れやすいような性格項目を実験結果の分析に用いる。この運転主権移行の特性を解析し、システムに組み込むことで、ドライバー毎の性格に合った、安全な運転主権の移行が実現可能と考えられる。

人間同士で協調運転を行うため専用の実験装置を作成、ドライビングシミュレーター上の高速道路で実験を行った。どのような人間がシステム役に適しているかを評価するために予備実験を行い、ステアリング角速度と車線変更時の合図のタイミングの異なる6つの運転パターンを定義した。また、本実験の評価方法として、被験者間でのエネルギーの割合に注目した運転状態判断、各被験者がステアリングに入力したトルク量、主観評価の3つを判断方法とし考察を行った。その結果、主観評価では、ドライバーA(システム役)の自己中心性の評価の違いによるドライバーB(ドライバー役)の操作感の違いは示唆できなかった。しかし初めに予想した通り、ステアリング角速度が通常の時で

は、エネルギー効率の面からみると、一部の自己中心性の評価の低い被験者を除き、システムに向く挙動を自己中心性の評価が低いドライバーA(システム役)よりも自己中心性の評価の高いドライバーA(システム役)が行っているという実験結果が得られた。

6.2 今後の課題

本研究の最終的な目標は、どのようなドライバーに対してでも安全で違和感のない運転主権の移行を行うことのできるシステムを開発することである。本実験では、ドライバー役の行動を制限して実験を行ったため、ドライバー役の被験者の性格が運転に表れることが少なかった。そのため今後は、ドライバーの行動、意思を制限しない実験条件下におけるシステム役の被験者とドライバー役の被験者の運転主権の受け渡しを、お互いの自己中心性の性格特性の項目だけではなく、ほかの性格特性や2人の性格の相性などの、人間としての多面的な特性を生かした実験をして結果を解析していく必要があると感じた。そして、ドライバー役の被験者の主観的な評価を活用しながら、どのようにしてドライバーに適したシステムのモデルを構築していくかが今後の課題であると考ええる。

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> > (参照 2020-02-09)
- [2] 本田技研工業「衝突被害軽減ブレーキ(CMBS) | Honda の安全技術」, < <https://www.honda.co.jp/tech/auto/safety/CMBS3.html> > (参照 2020-02-09)
- [3] トヨタ自動車「トヨタ新型ヤリス | 高度駐車支援システム(Advanced Park)」, < <https://global.toyota.jp/newsroom/toyota/29933689.html> > (参照 2020-02-09)
- [4] Car-Topics , < <https://221616.com/car-topics/20151208-79442/> > (参照 2020-02-09)
- [5] SAE, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAEJ3016-201609, 2016, < https://www.sae.org/standards/content/j3016_201609/ > (参照 2020-02-09)
- [6] JASO, テクニカルペーパー 自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義 < https://www.jsae.or.jp/08std/data/DrivingAutomation/jaso_tp18004-18.pdf >, 2018 (参照 2020-02-09)
- [7] 本田技研工業「Automated Drive」, < <https://www.honda.co.jp/automateddrive/auto/> > (参照 2020-02-09)
- [8] Department of Motor Vehicles「California: report of traffic accident involving an autonomous vehicle」, < https://www.dmv.ca.gov/portal/wcm/connect/bc21ef62-6e7c-4049-a552-0a7c50d92e86/Cruise_Automation_01.08.16.pdf?MOD=AJPERES > (参照 2020-02-09)
- [9] N. Merat A. H. Jamson, F. C. H. Lai, M. Daly, & O. M. Daly, & O. M. J. Carsten, “Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from highly autmoatedvehicle”, Transportation Research Part F: Traffic psychology and Behaviour,

- vol.27, pp.274-282, 2014
- [10] B. Mok, M. Jhons, K. J. Miller, D. Sirkin, P. Ive, & W.ju, “Emergency, Automation Off: Unstructured Transition Timing for Distracted Drivers of Automated Vehicles”, IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 2458-2464, 2015
- [11] H.E.B.Russell, L.K.Harbott, I.Nisky, S.Pan, A.M.Okamura,&J.C.Gerdes,”Motor learning affects car-to-driver handover in automated vehicles”, Machine-Human Interactions, vol.1,no.1,2016
- [12] A.P.Beukel,&M.C.Voort, ”The Influence of Time-criticality on Situation Awareness when Retrieving Human Control after Automated Driving”, IEEE 16th International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.2000-2005, 2013
- [13] 本間 亮平, 若杉 貴志, 小高 賢二, “高度自動運転における権限移譲方法の基礎的検討－自動運転時の覚醒度低下や運転以外の作業と権限委譲時のドライバ対応行動”, 自動車技術会論文集, 47 巻 2 号, pp.537-542, 2016
- [14] 齋藤昂浩, 和田隆広, 園田耕平, ”Shared control を用いた自動運転から手動運転への切替時の操舵権限共有/委譲手法”, 自動車技術会大会学術講演会講演予稿集 2017 号 春季, pp.2774-2777, 2016
- [15] Shahrman Abu Bakar, Ryojun Ikeura, Yoichiro Handa, Takemi Yano, Kazuki Mizutani and Hideki Sawai “Communication during the Cooperative Motion in the Task of Carrying an Object between Two Humans”, I Journal of Biomechanical Science and Engineering, vol.5, no.3, pp.104-118, 2010
- [16] 服部 智哉, 羽柴 洋太, 長谷部 洋太, 池浦 良淳, 早川 聡一郎, 堤 成可, 沢井 秀樹, “人間同士による自動車の協調運転特性の解析”, 機械学会東海支部第 67 期総会講演会, p.407, 2018
- [17] 株式会社 電脳 OD 式安全テスト 企業版<<http://www.dennoo.co.jp/>>

謝辞

本研究を進めるにあたり、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、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 野村由司彦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 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、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、厚く御礼申しあげます。

また、澤井秀樹研究員には実験装置の製作や改良にあたり、親身な御協力、御尽力、アドバイスをくださり、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つくり頂き、厚く御礼申し上げます。

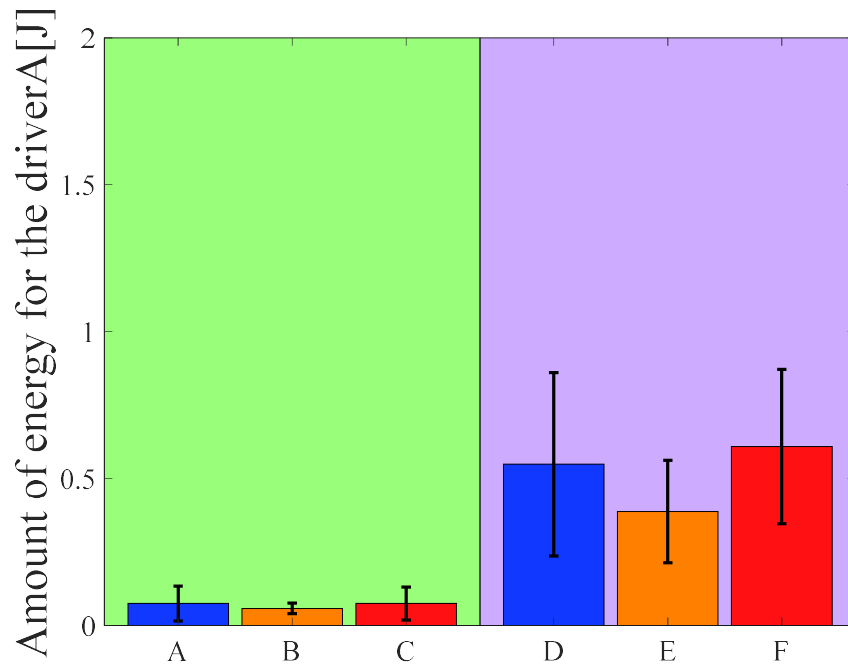
本研究にあたり、ともに実験を行った、森數大生氏、岩坂航大氏には研究の補助をして頂いたことだけでなく、日々の研究生生活を楽しく有意義なものとしてくれたことにも厚く御礼申し上げます。深く感謝しております。

また、同期の浅野克啓氏、芹川聡氏、中西圭汰氏、西川貴大氏、平田拓也氏には研究に関する助言を頂いたことだけでなく、日々の研究生生活を楽しく有意義なものとしてくれたことにも厚く御礼申し上げます。

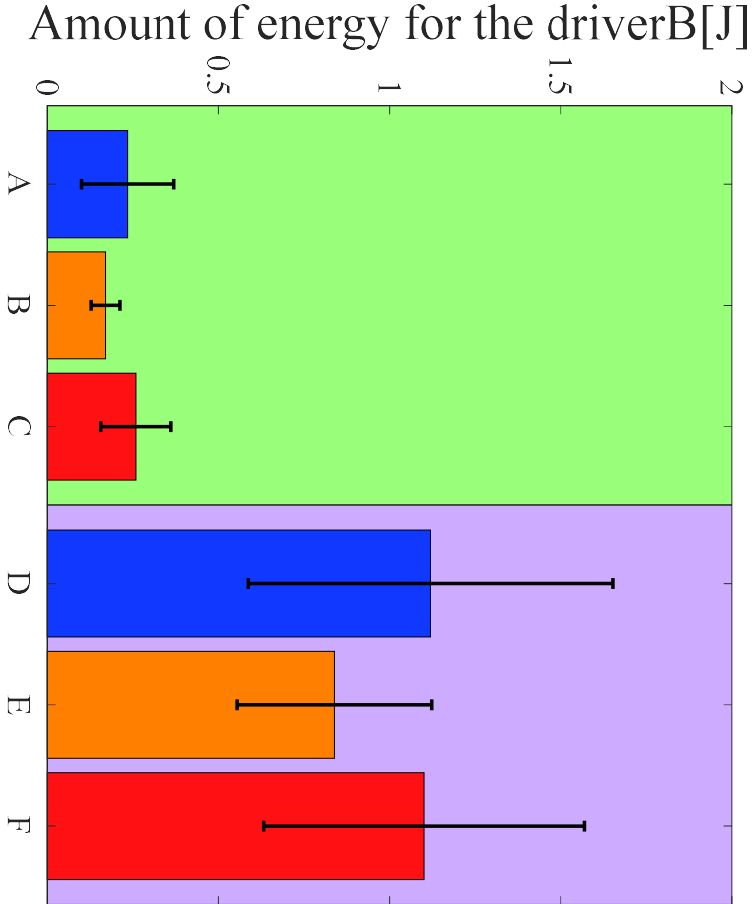
最後に、大学生活をする上で惜しめない援助を送ってくださった家族のおかげで充実した素晴らしい勉強・研究生生活を送ることができました。感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。

付録

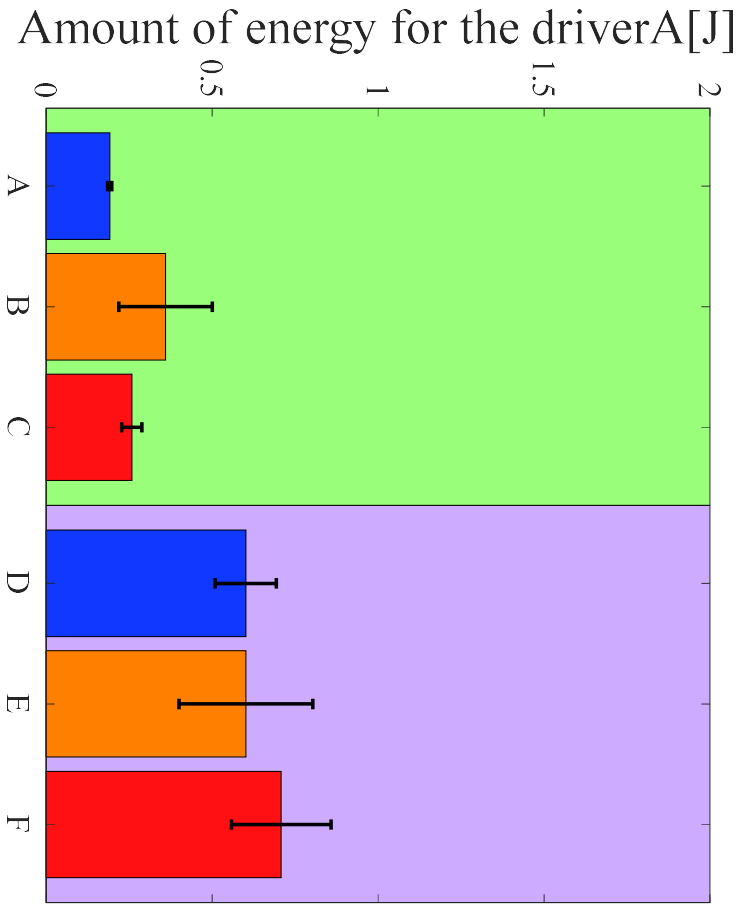
付録として、本研究で導出したエネルギー総量の割合を求める際に用いたデータについて掲載する。sample.1~sample.4 は pair1~pair4 におけるドライバーA のエネルギー量， sample.5~sample.8 は pair1~pair4 におけるドライバーB のエネルギー量， sample.9~sample.12 は pair1~pair4 におけるドライバーA トルク量， sample.13~sample.16 は pair1~pair4 におけるドライバーB のトルク量， sample.17~sample.20 は pair1~pair4 におけるステアリング角速度のデータを示す。



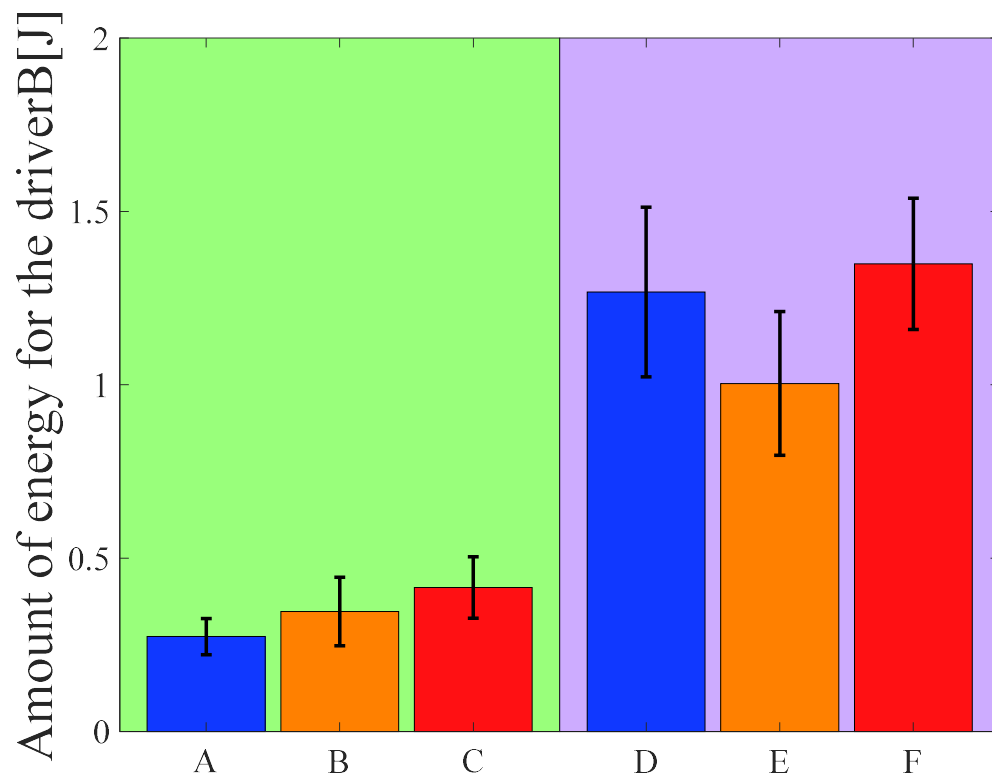
Sample.1 Total energy of driver A in pair 1



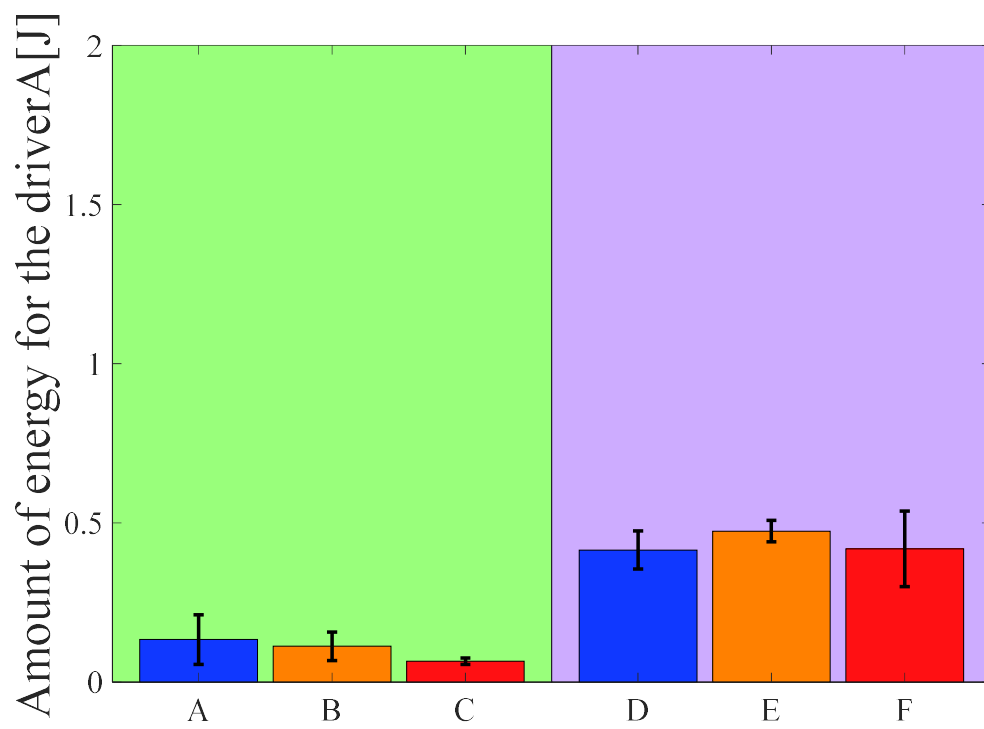
Sample.2 Total energy of driver B in pair 1



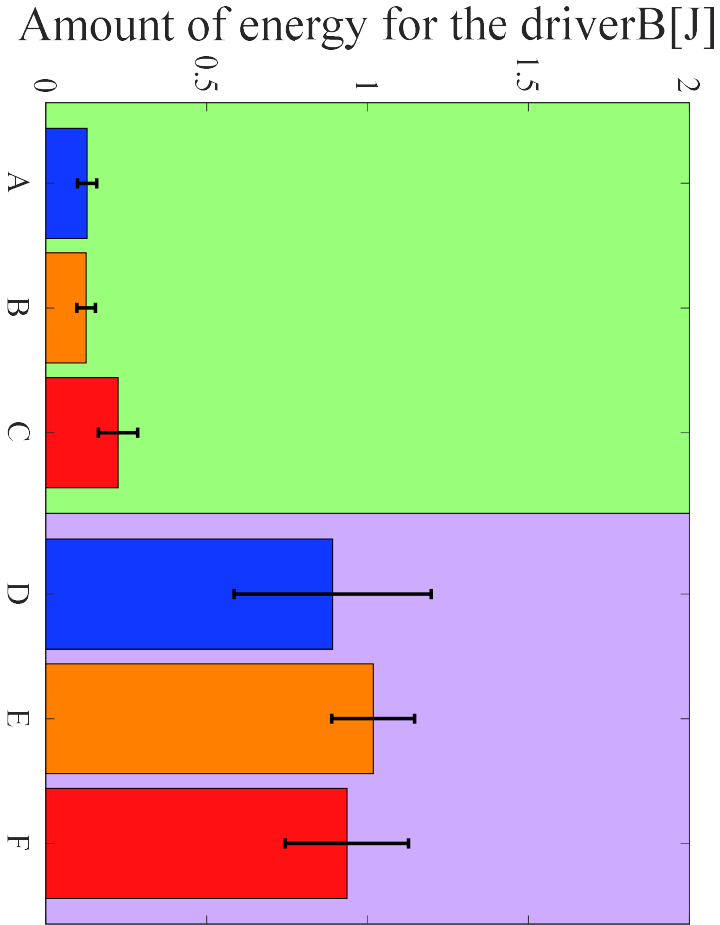
Sample.3 Total energy of driver A in pair 2



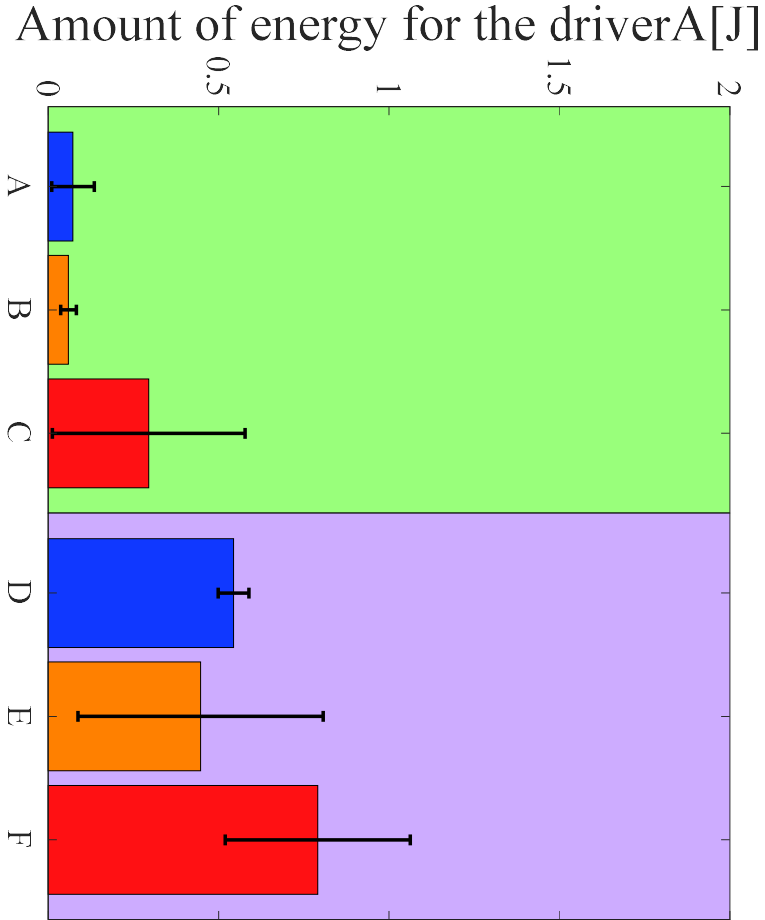
Sample.4 Total energy of driver B in pair 2



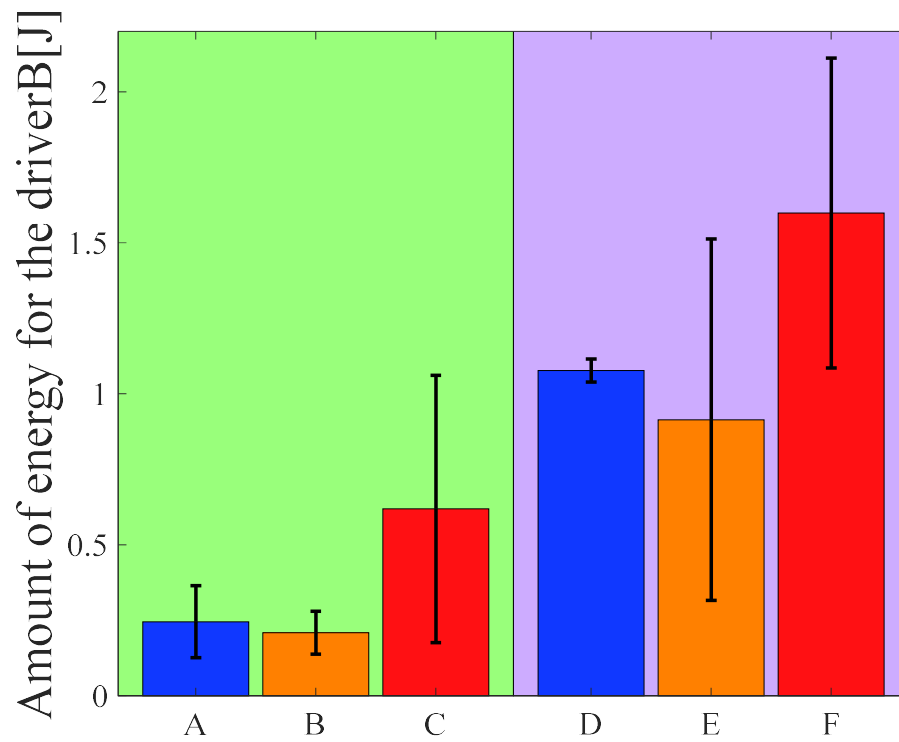
Sample.5 Total energy of driver A in pair 3



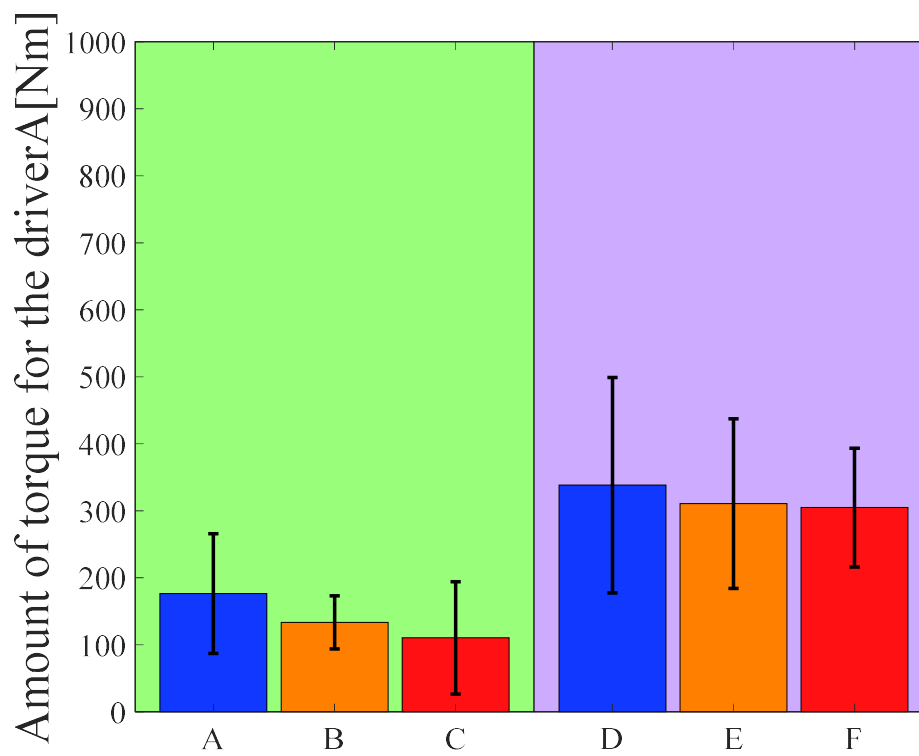
Sample.6 Total energy of driver B in pair 3



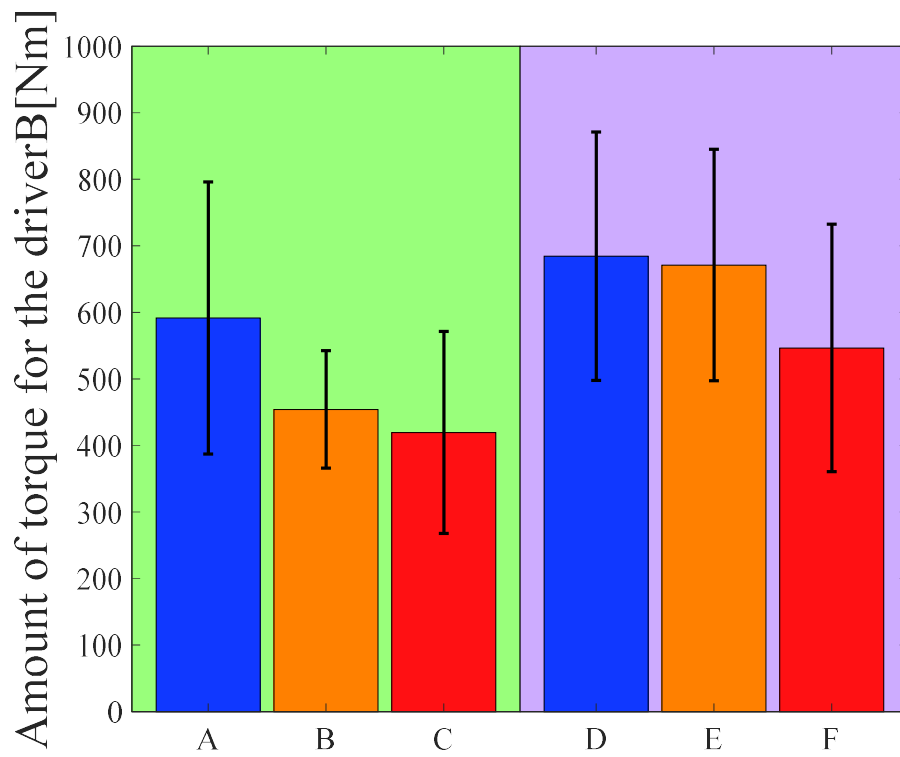
Sample.7 Total energy of driver A in pair 4



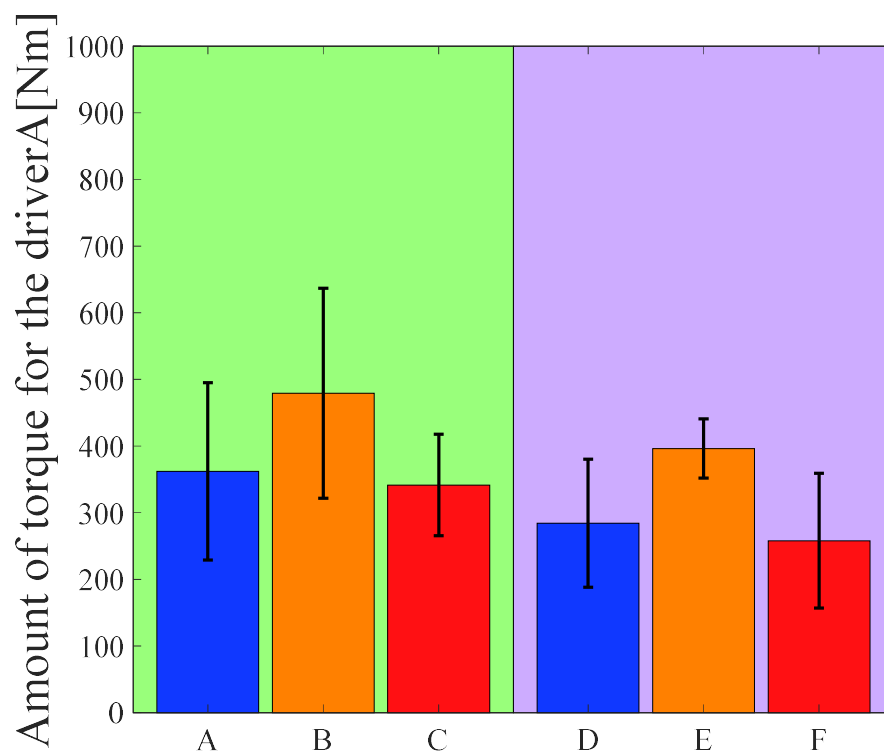
Sample.8 Total energy of driver B in pair 4



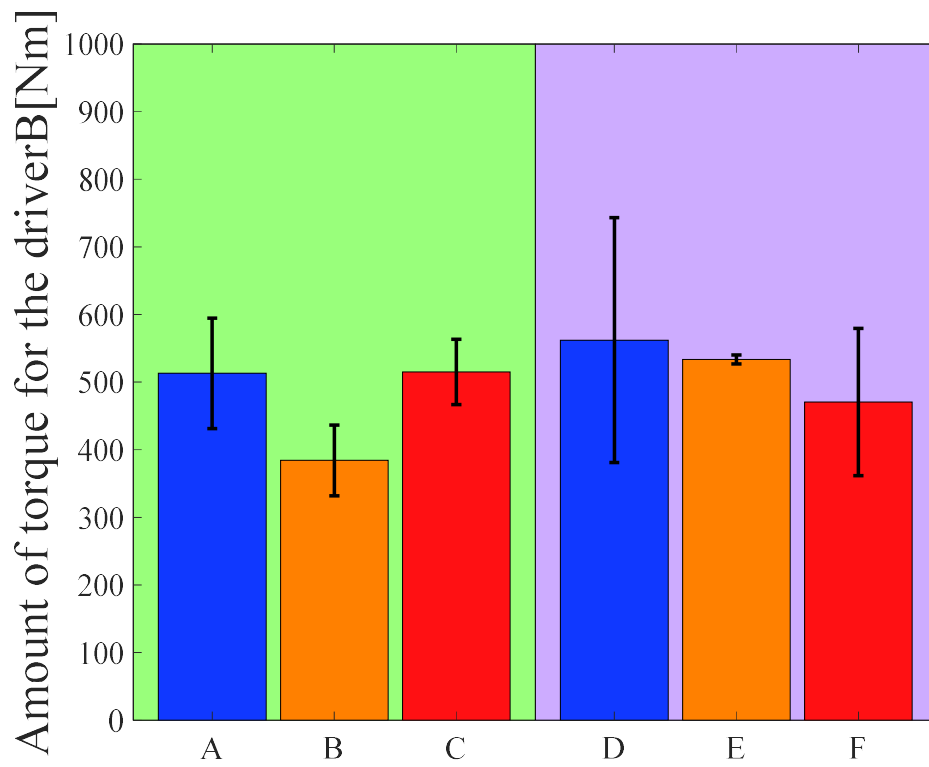
Sample.9 Total torque of driver A in pair 1



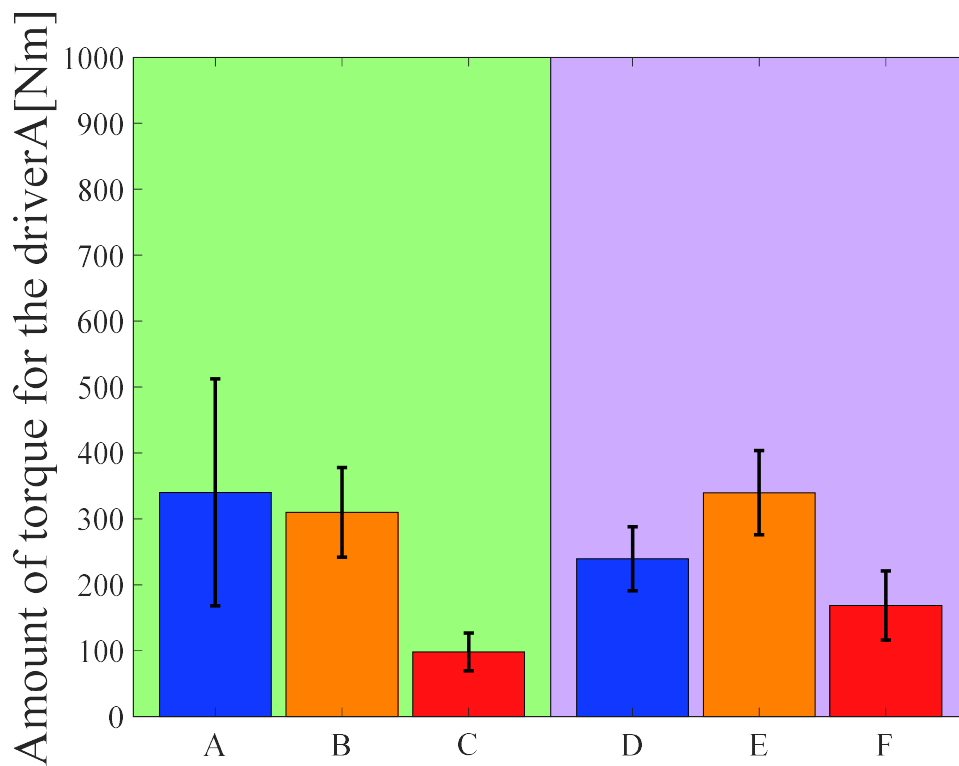
Sample.10 Total torque of driver B in pair 1



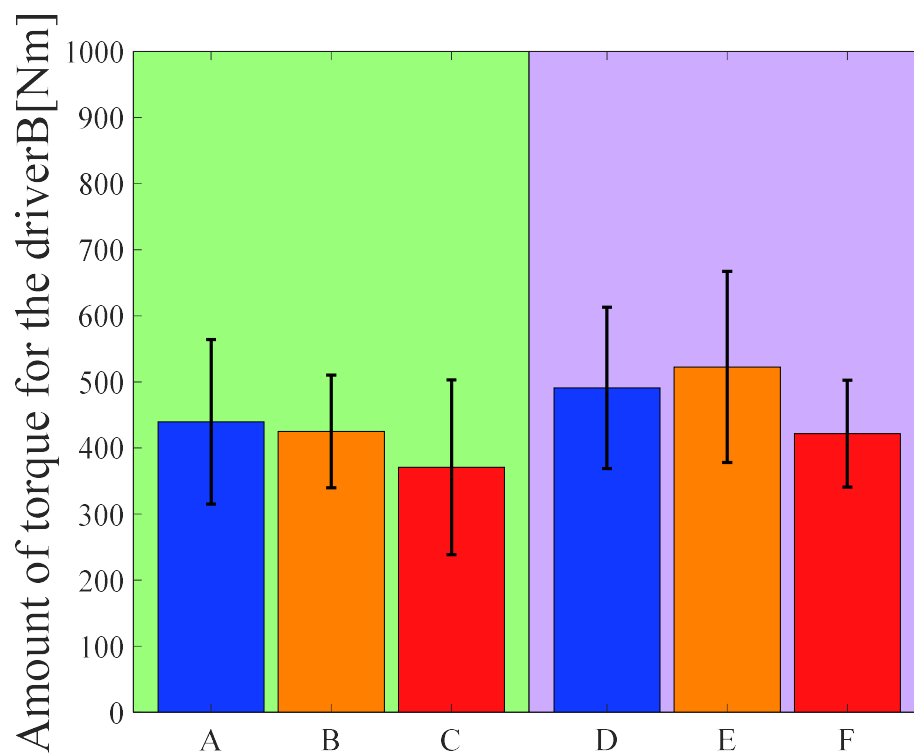
Sample.11 Total torque of driver A in pair 2



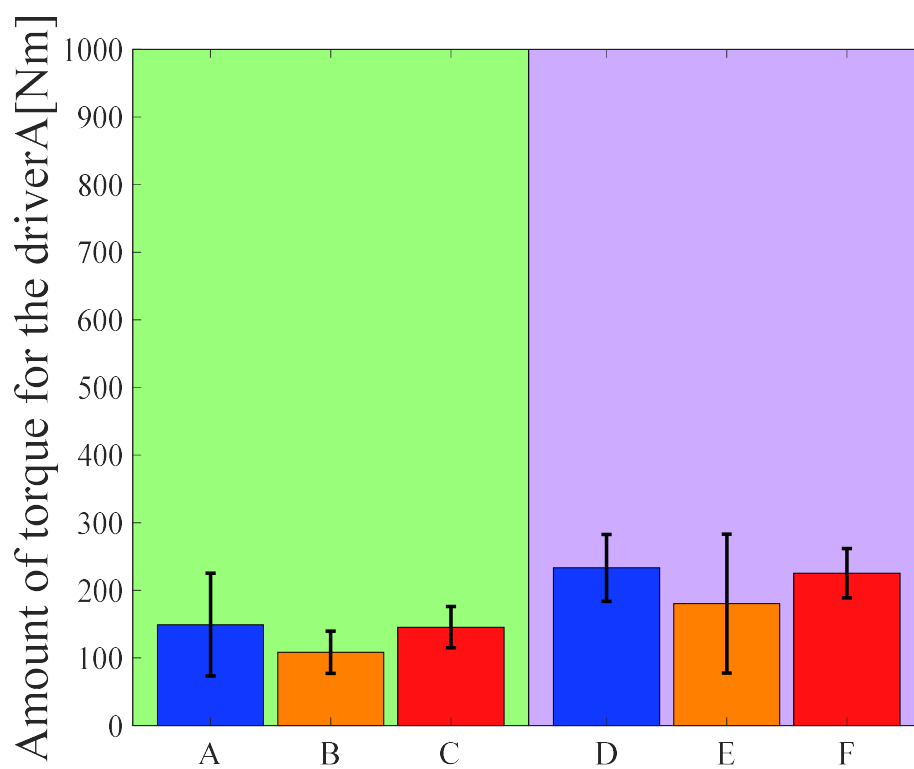
Sample.12 Total torque of driver B in pair 2



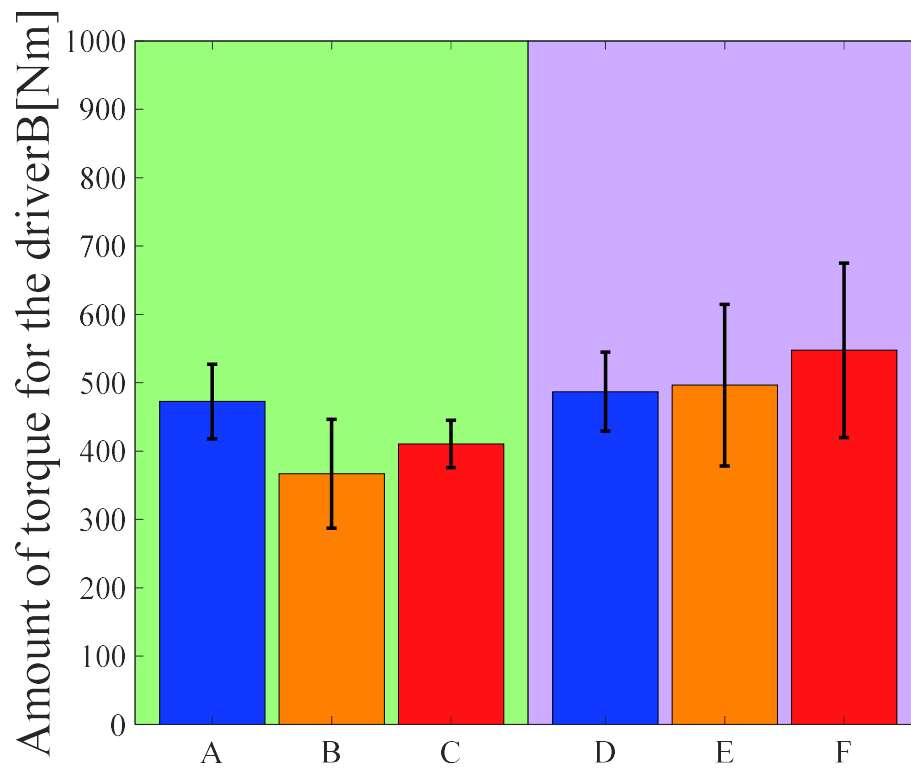
Sample.13 Total torque of driver A in pair 3



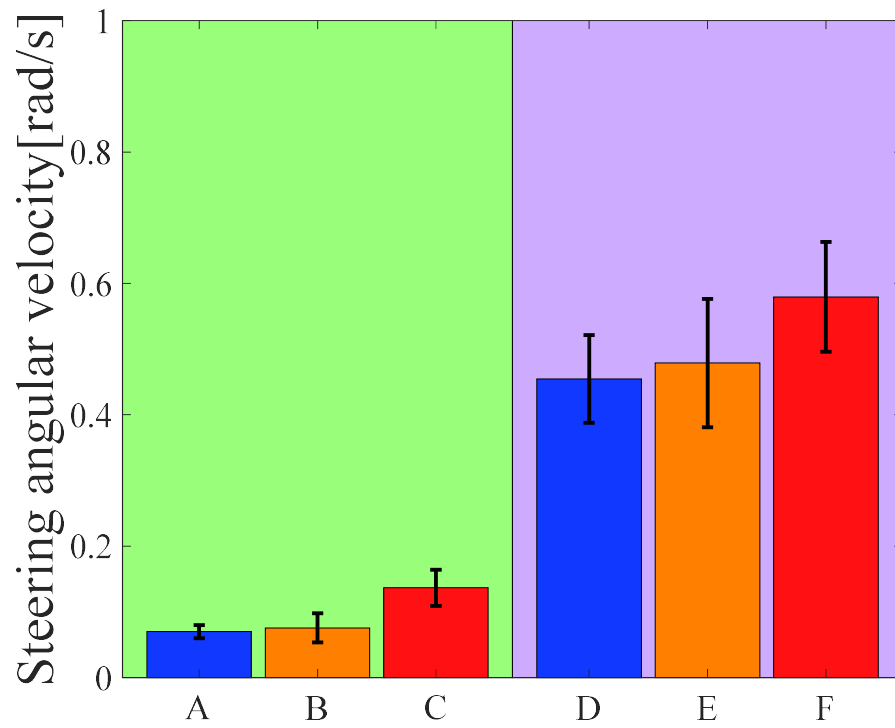
Sample.14 Total torque of driver B in pair 3



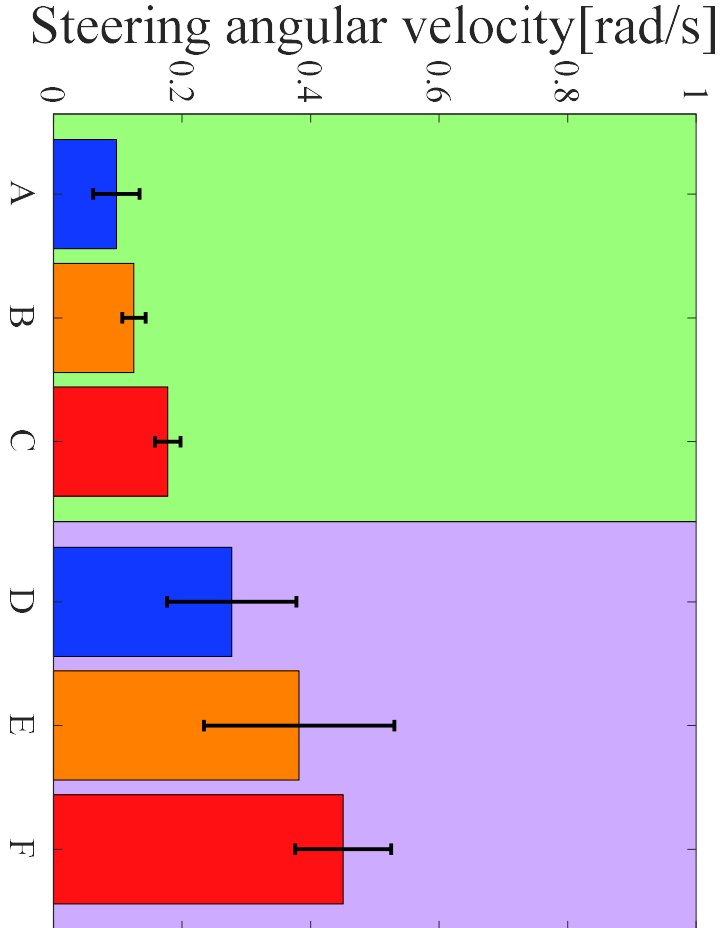
Sample.15 Total torque of driver A in pair 4



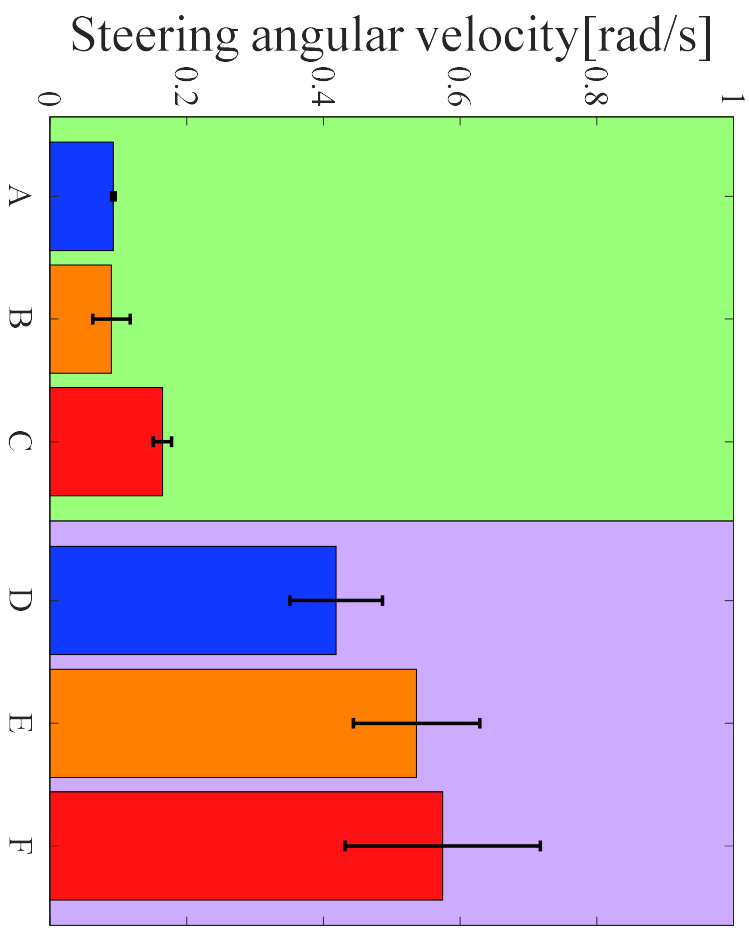
Sample.16 Total torque of driver B in pair 4



Sample.17 Steering angular velocity in pair 1



Sample.18 Steering angular velocity in pair 2



Sample.19 Steering angular velocity in pair 3

