
令和3年度 修士学位論文

車両の遠隔操作性向上を実現する
車載カメラ配置の検討

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
田村 拓大

学位論文要旨及び論文目録

学位論文提出者	氏名	田村 拓大	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	車両の遠隔操作性向上を実現する車載カメラ配置の検討					
論文審査委員	主査	早川 聡一郎	副査	池浦 良淳	副査	小竹 茂雄
学 位 論 文 要 旨						
<p>自動運転車両の実用化に必要な技術の一つとして、自動運転中に何らかのトラブルが発生した際、安全な場所まで車両を移動させる遠隔操作技術が挙げられる。現在の遠隔操作システムは三面式モニタ映像を用いた映像提示が主流であるが、多様な走行条件に対応するには車両周辺情報が不足しており、遠隔運転のドライバへの情報提示に問題がある。</p> <p>そこで、本研究ではドライバへの情報提示のための車載カメラ配置をどのようにするべきかという観点で、シミュレータで車載カメラ配置を各種変更して走行実験を行い、実験協力者による主観評価と実験コースの走行タイムからの客観評価により、どのような車載カメラ配置でドライバに対して映像提示を行うことが、遠隔操作性を向上させることができるかを明らかにすることを目的として研究を行った。</p> <p>実験装置はノート PC に OS として Ubuntu20.04 をインストールし、PS4 コントローラーを USB で有線接続して構成した。ROS を用いて走行シミュレータを構築し、Gazebo を用いて仮想走行コースと仮想実験車両を構築し、仮想実験車両の走行時のカメラ映像を Rviz にて実験協力者に提示した。仮想走行コースは、直進、右左折、転回、後退、駐車、車線変更の6区間の道幅大小で、計12コースを設定した。車載カメラ配置は、カメラ台数を最大3台とし、A から F の計6パターンを用意した。車両の前方に向けて置く前方カメラは全てのパターンで共通とし、パターン A は従来の遠隔操作システムと同様に、車両左右のサイドミラーカメラ、パターン B は後方カメラ、パターン C は後方カメラと俯瞰カメラ、パターン D は俯瞰カメラ、パターン E は車両の後方に置く前方カメラと後方カメラ、パターン F は車両の後方に置く前方を見るカメラと俯瞰カメラの配置した。</p> <p>実験は実験協力者8名で行い、実験協力者毎にランダムな順番で全12コースを走行してもらい、1コース毎にパターン A を走行後、B から F をランダムな順番に提示し走行実験を行った。評価方法は実験協力者の主観評価と走行タイムからの客観評価を採用した。主観評価は各コースの終了時に、パターン A の得点を5点の基準とし、パターン B から F の得点を1点(悪い)から10点(良い)で評価を行い、アンケート用紙に記入してもらった。客観評価はパターン A から F と各コースの組み合わせごとに走行タイムを測定し評価を行った。</p> <p>実験結果より以下のことが分かった。直進、右左折、転回、後退の主観評価はパターン C,D,F が、客観評価はパターン C,D の評価が高く、共に俯瞰カメラを含んでいる。駐車の主観評価はパターン C,E が、客観評価はパターン C,D の評価が高く、共に後方カメラを含んでいる。車線変更の主観評価はパターン E,F の評価が高く、客観評価の差は小さく、共に車両の後方に置く前方カメラを含んでいる。以上より、従来の三面式モニタに、直進、右左折、転回、後退では俯瞰カメラを、駐車では後方カメラを、車線変更では車両後方に置く前方カメラを含むカメラ映像を提示することで、遠隔操作性を向上させることができるという結論を得た。</p>						
論 文 目 録						
<p>[1] Takuhiro Tamura, Soichiro Hayakawa, Shigeyoshi Tsutsumi, Ryojyun Ikeura, Examination of in-Vehicle Camera Arrangement that Improves Driving Operability of Remotely Controlled Vehicle, Proceedings of International Symposium on Engineering at MIU, pp.8(2020.12)</p> <p>[2] 田村拓大, 早川聡一郎, 池浦良淳, 堤 成可, 遠隔操作車両の操作性向上のためのオペレータへの映像表示配置に関する研究, 日本人間工学会東海支部 2021 年研究大会論文集, pp.26-27 (2021.10)</p> <p>※他, 国内学会 1 件</p>						

目次

目次	
第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 本論文の構成.....	2
第2章 実験装置概要とシミュレーションソフト.....	3
2.1 実験装置構成.....	3
2.2 シミュレーションソフト	5
2.3 各プログラムとモジュール図	7
第3章 仮想実験車両と仮想実験コースと車載カメラ配置	9
3.1 仮想実験車両.....	9
3.2 仮想実験コース	11
3.3 車載カメラ配置パターン	18
第4章 実験手法と実験結果及び考察	24
4.1 実験手法.....	24
4.2 主観評価結果.....	27
4.3 客観評価結果.....	41
4.4 実験結果の考察.....	54
第5章 結論.....	55
5.1 まとめ.....	55
5.2 今後の課題.....	56
参考文献.....	57
謝辞	59

第1章

序論

1.1 研究背景

現在日本では、自家用車が移動手段として必要不可欠なものとなっている。警察庁によると、2005年から2020年の15年間で交通事故の死亡事故が6135件から2839件^[1]と減少傾向にあるが、依然として大きな社会問題となっている。また、高齢者の人口増加に伴い、高齢者の事故件数の割合が増加してきている。

これらの社会問題の解決策^[2]として自動運転車両の開発が世界中で行われている。自動運転車両の実現は、乗員の判断ミスや身体能力の低下などが要因となる事故を低減させることができる。しかし、実用化^[3]していく中で自動運転車両の安全性が向上しても、自動運転車両の事故を完全になくすことは難しいといえる。よって、自動運転車のトラブルに対応する技術が必要となる。その技術の一つとして、何らかのトラブルが起きた際、自動運転車両をその場で放置せず所定の場所まで移動させる遠隔操作技術は必須であるといえる。

また、従来研究として遠隔操作システムを用いた研究は多くある。その一つとして、「自動車の遠隔操縦に求められる映像品質に関する実験的評価（2021 神戸大学 五十住ら）^[4]という研究では、遠隔操作車両のカメラ映像の映像品質と遅延時間の関係性を評価している。これは一例に過ぎないが、多くの遠隔操作システムを用いた研究は、単眼カメラもしくは三面式のモニタに前方カメラ映像とサイドミラーカメラ映像を提示する車載カメラ配置を取っており、このカメラ映像提示の車載カメラ配置では車両周辺情報が不足している。しかし、車載カメラ配置という観点からの遠隔操作者への映像提示方法は評価されていません。

1.2 研究目的

前述したように遠隔操作システムに関する研究は数多くあるが、多くは三面式モニターを用いて前方カメラ映像とサイドミラーカメラ映像を提示する車載カメラ配置を採用している。しかし、三面式モニターを用いた映像提示では、車両周辺情報が不足しているにも関わらず、車載カメラ配置による映像提示は評価されていない。

そこで本研究では、自動運転車両の遠隔操作時、どのような車載カメラ配置で遠隔操作者に対して映像提示を行うことで、遠隔操作性を向上するのかを明らかにすることを目的とし研究を行う。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。まず、第2章では実験装置概要とシミュレーションソフトについて説明する。第3章ではシミュレーション内の仮想実験コースと車載カメラ配置について説明する。第4章では実験手法と実験結果及び考察について述べる。そして、最後に第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

実験装置概要と シミュレーションソフト

本章では、実験装置概要とシミュレーションソフトについて説明する。2.1 節では実験装置の構成について、2.2 節では本研究で利用したシミュレーションソフトについて、2.3 節ではプログラムとモジュール図について説明する。

2.1 実験装置構成

実験装置概要について説明する。実験で用いる PC の性能は下記の Table 1 に示す。実験装置構成としては、Figure 2.1 に示す。Table 1 で示すスペックのノートパソコンに、Ubuntu 20.04 をインストールし、PS4 コントローラーを USB の有線接続で繋げた構成である。本研究では、この実験装置で仮想実験車両を動かし実験を行った。

Table 1 Laptop spec

ノートパソコン	MSI
CPU	Intel(R)Core(TM)i7-9750H CPU
グラフィック	Mesa Intel®UHD Graphics 630
OS	Ubuntu 20.04.1 LTS
ROSV	ROS Noetic
Gazebo	Gazebo ver11.3.0

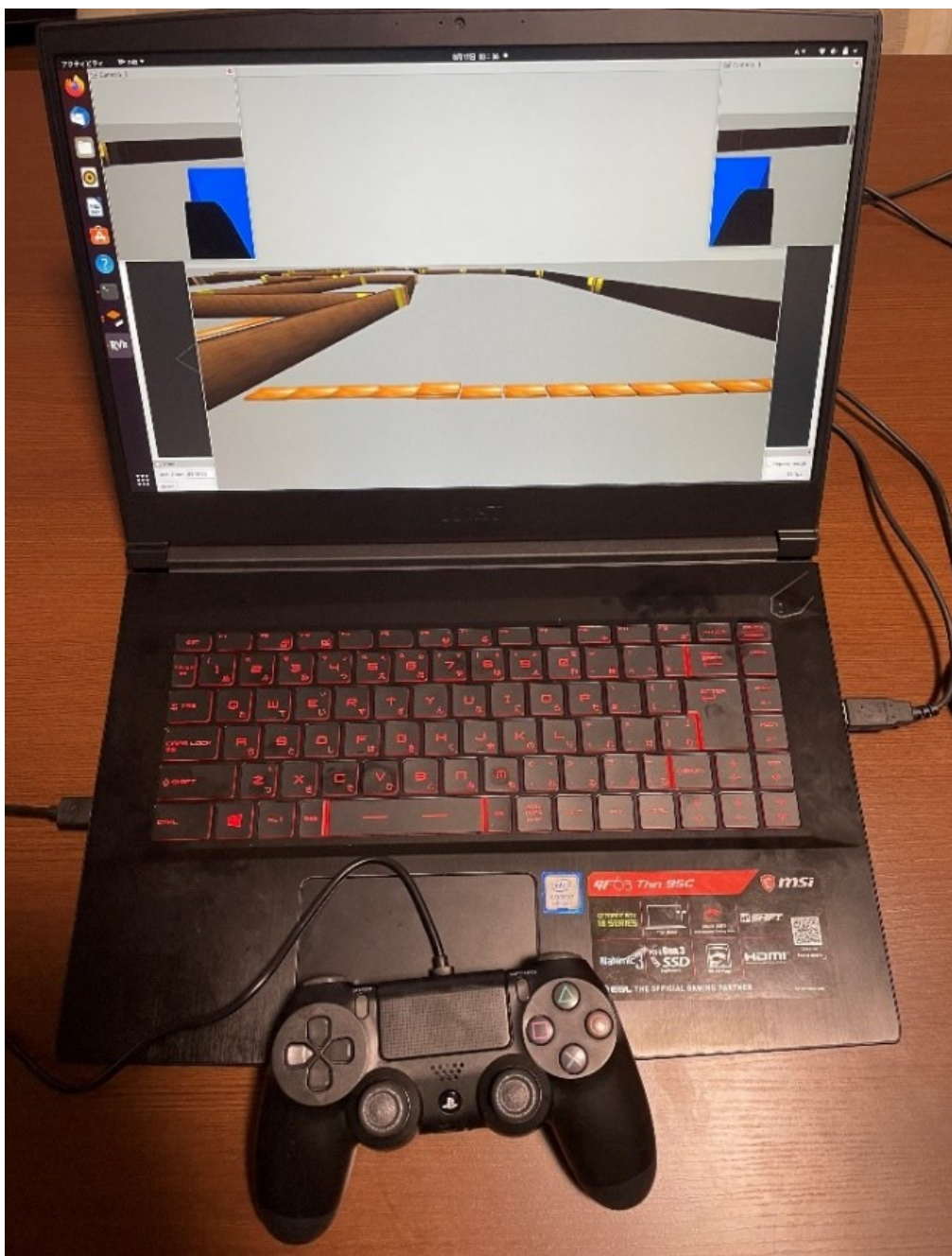


Figure 2.1 Experimental device

2.2 シミュレーションソフト

本研究では、より現実に近い走行環境で実験を行うために、ロボット用ソフトウェアの ROS(Robot Operating System)やその他ソフトウェアを用い実験を行う。そのため、本章では実験で用いるソフトウェアと、ソフトウェア内でのロボットのモジュール図について説明する。

まず初めに、オープンソースのロボット用開発ツールである ROS(Robot Operating System)について説明する。これは、Willow Garage 社により開発されたもので、Linux 上で動作するオープンソースのロボット用ソフトウェアフレームワークスであり、プロセス間通信や負荷の監視、エラー処理などを行うシステムである。ROS は自律移動ロボットの開発に多く使われている。

次に、Gazebo という動力学シミュレーションソフトを使用し、これを Figure2.2 に示す。これは ROS と親和性が高く、自作のロボットや障害物を大きさや慣性を考慮して設計することで自律移動ロボットのための環境が構築できる。これにより、実空間とほぼ変わらない環境でシミュレーションをすることができる。本研究では、ROS と Gazebo を用いて、現実に即した仮想走行実験コースと仮想実験車両を構築した。

最後に ROS では、動力学シミュレーションの Gazebo とともに、可視化ソフトである Rviz も共に用いられ、これを Figure 2.3 に示す。Rviz を用いることで、ロボットの位置や姿勢、レーザーやカメラの映像などの様々なセンサの値や計算結果をリアルタイムに三次元空間上などに可視化することが可能になる。

本研究では、ROS を起動し、Gazebo で構築した実験車両の車載カメラを、Rviz でカメラ映像として実験協力者に提示する形で、実験を行っている。

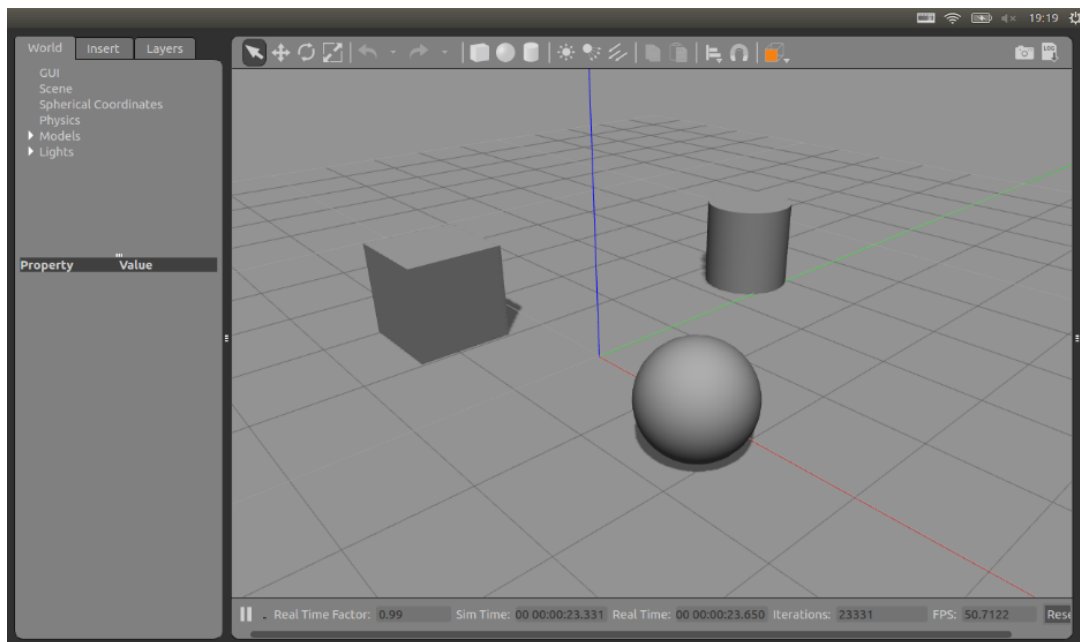


Figure 2.2 Gazebo

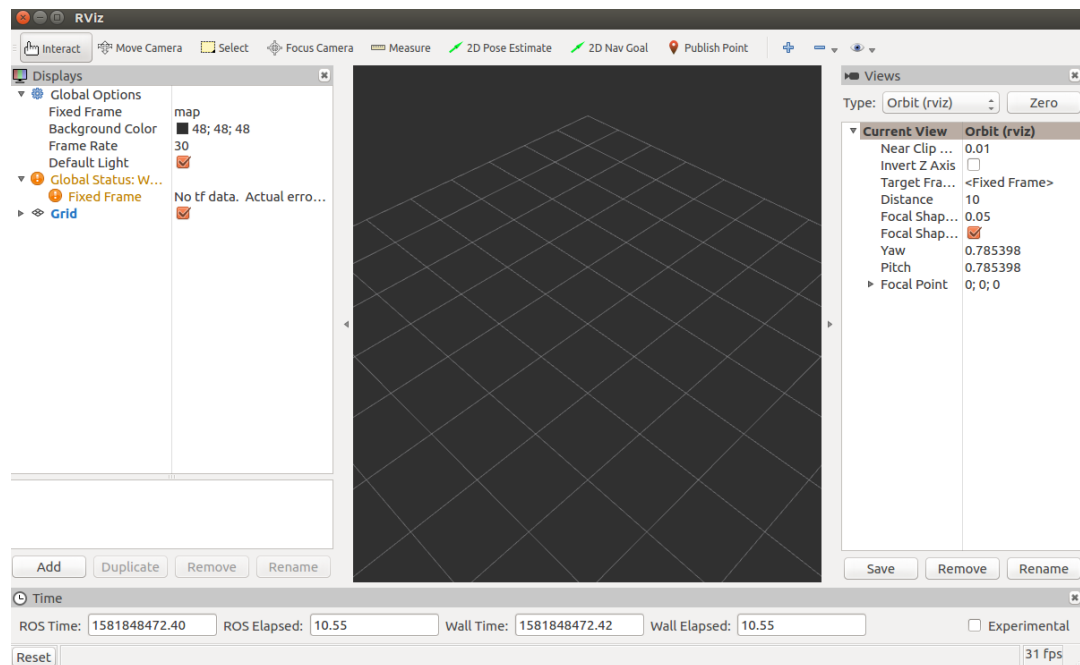


Figure 2.3 Rviz

2.3 各プログラムとモジュール図

本実験を行うために、構築した各プログラムを起動させる必要がある。各プログラムの説明を以下に示す。以下のプログラムを同時に起動することで本実験の仮想実験車両での走行実験を行うことができる。

Gazebo で作成した仮想実験コースの読み込みプログラム

通常コース

```
[roslaunch my_course syuuron.launch]
```

ミラーコース

```
[roslaunch my_course mirror.launch]
```

仮想実験車両を Gazebo 上に表示し、rviz で車載カメラの表示するプログラム

```
[roslaunch mabot_gazebo mabot.launch]
```

Joystick(PS4 コントローラ)のドライバーを起動するプログラム

```
[roslaunch joy joy_node]
```

PS4 コントローラの信号を gazebo 上の仮想実験車両に速度を与えるプログラム

```
[python3 joy_twist]
```

また、仮想実験車両を起動時の各モジュールの相関図を Figure 2.4 に示す。

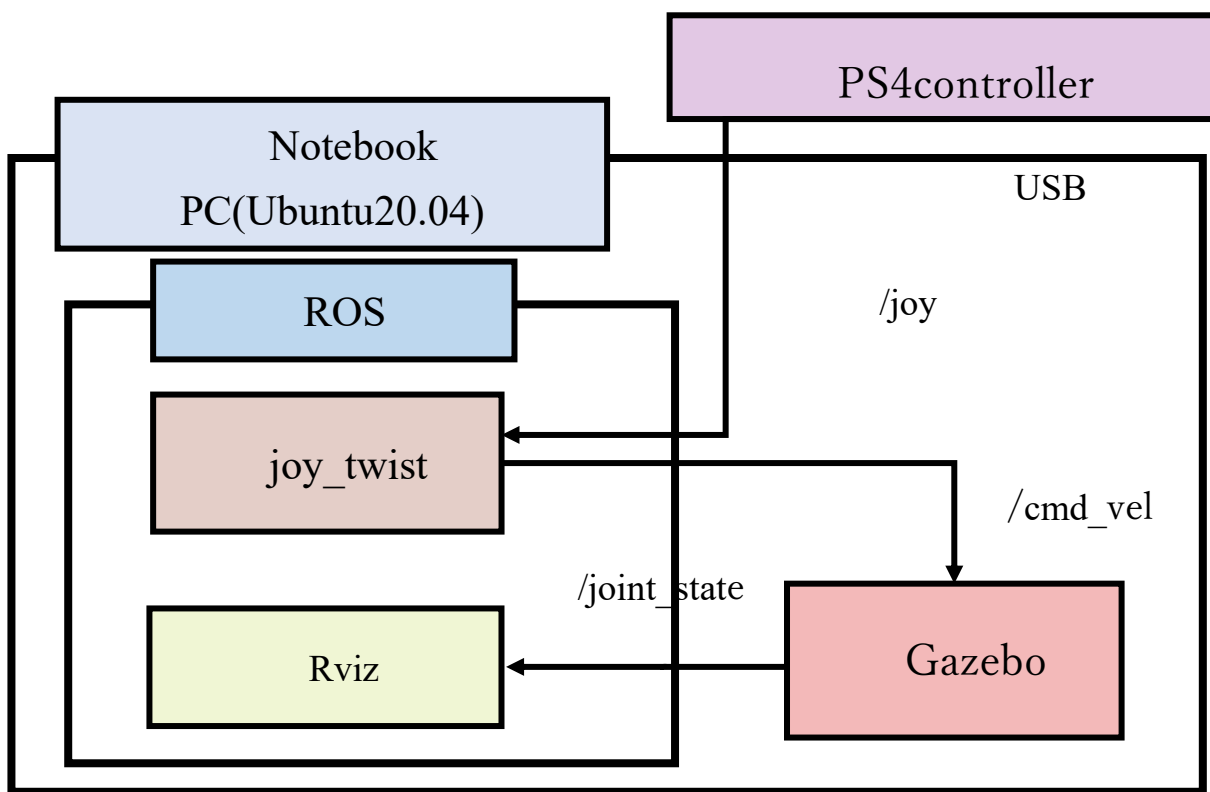


Figure 2.4 Module correlation diagram

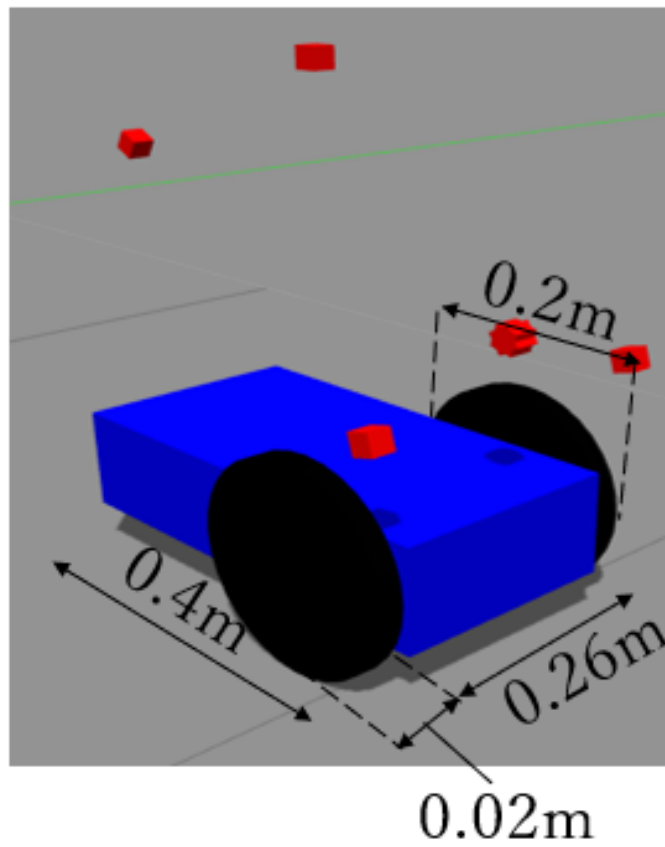
第3章

仮想実験コースと車載カメラ配置

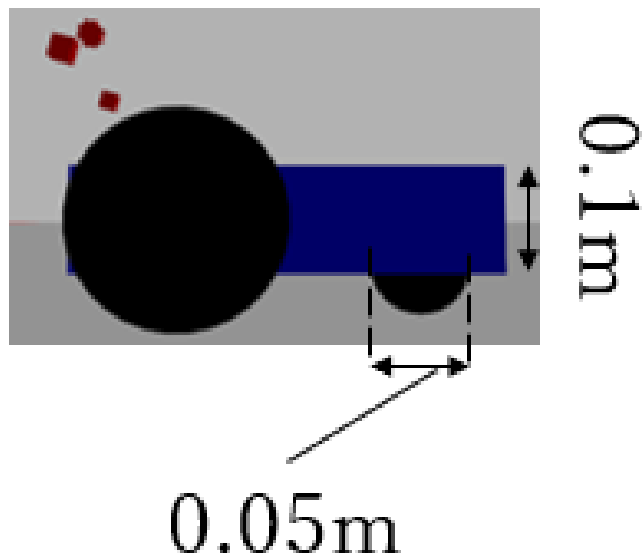
本章では、仮想実験コースと車載カメラ配置について説明する。3.1節では仮想実験車両について、3.2節では仮想実験コースについて、3.3節では車載カメラ配置パターンについて説明する。

3.1 仮想実験車両

本研究で用いた仮想実験車両について説明する。仮想実験車両については Figure 3.1 に示し、(a)が前面を示し、(b)が側面を示す画像である。仮想実験車両については、三輪の自動運転車両を想定し、青部が車体本体、黒部が車輪、赤部が配置したカメラを表している。仮想実験車両の寸法は、以下の図のようになっており、車体幅 0.26m、車体長さ 0.4m、車体高さ 0.1m、車輪幅 0.02m、車輪直径 0.2m、後輪直径 0.05m となっている。



(a)Front



(b)Side

Figure 3.1 Virtual experiment vehicle

3.2 仮想実験コース

仮想実験コースを、直進、右左折、転回、後退、駐車、車線変更の6区間を、一つの区間につき道幅を大小で分け、合計12コース設定した。道幅の広い方は、仮想実験車両の2倍の道幅である。道幅の狭い方は、車両の1.5倍の道幅である。また、直線コースを除く右左折、転回、後退、駐車、車線変更の5区間では、左右反転したミラーコースを作成した。

1つ目の区間は、直進区間であり Figure 3.2 に示す。直進区間はスタート地点からゴール地点まで直進するだけのコースである。また、ミラーコースでも同様の形をしている。2つ目の区間は、右左折区間であり Figure 3.3 に示す。右左折区間は、スタート地点から右折し、左折するとゴール地点に行く形である。また、ミラーコースは Figure 3.4 に示す。3つ目の区間は、転回区間であり Figure 3.5 に示す。転回区間は、スタート地点から、左にUターン、右にUターンを交互に行い、ゴール地点を目指す形である。また、ミラーコースは Figure 3.6 に示す。4つ目の区間は、後退区間であり Figure 3.7 に示す。後退区間は、右側の行き止まりに入り戻り、次に左側の行き止まりに入り戻り、ゴール地点を目指す形である。ミラーコースは Figure 3.8 に示す。5つ目の区間は、駐車区間であり Figure 3.9 に示す。駐車区間は、右側の駐車に入り戻り、次に左側の駐車に入り戻り、ゴール地点を目指す形である。ミラーコースは Figure 3.10 に示す。6つ目の区間は、車線変更区間であり Figure 3.11 に示す。車線変更区間は、右側の車線に入り、次に左側の車線に戻り、ゴール地点を目指す形である。ミラーコースは Figure 3.12 に示す。

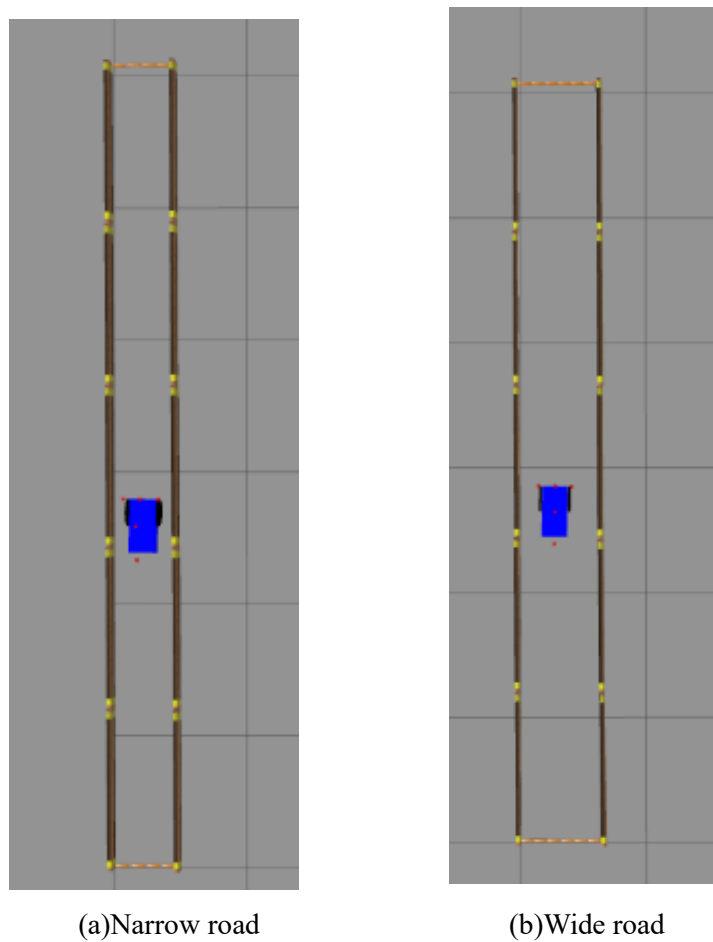
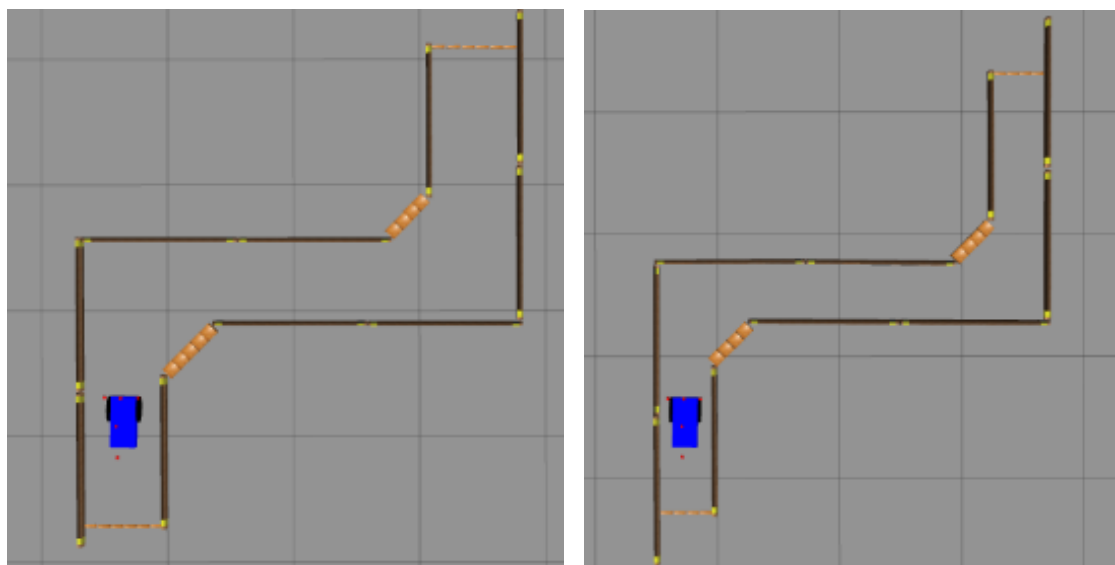


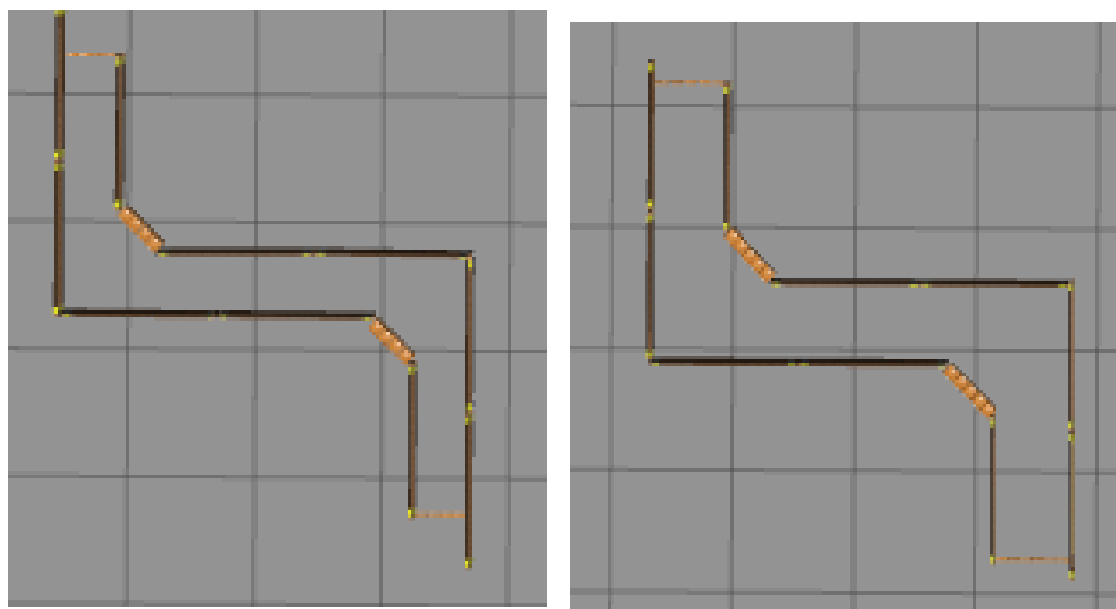
Figure 3.2 Go straight



(a)Narrow road

(b)Wide road

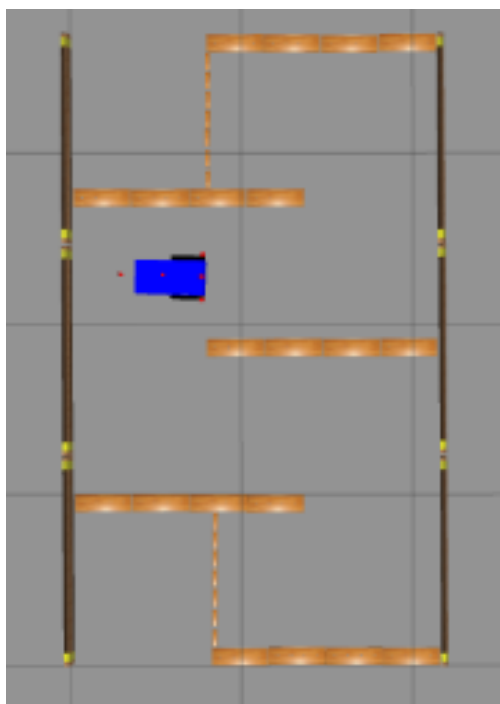
Figure 3.3 Turn left or right



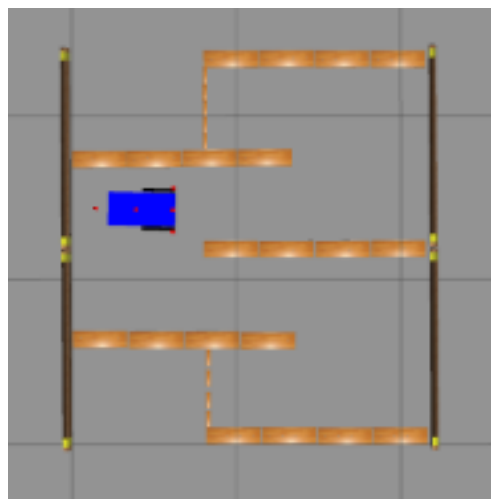
(a)Narrow road

(b)Wide road

Figure 3.4 Turn left or right mirror course

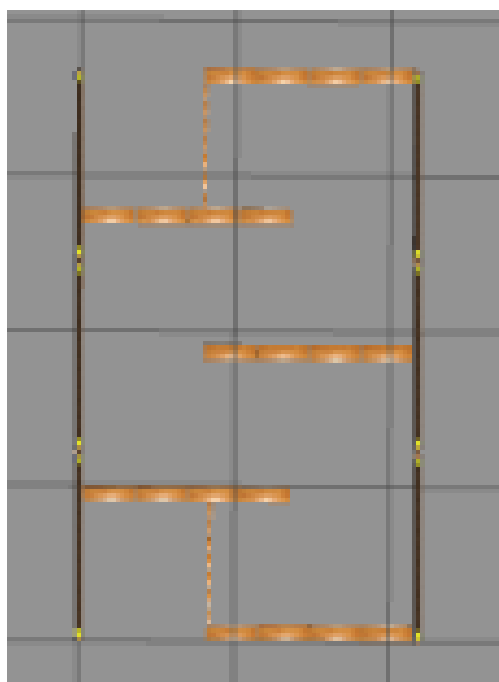


(a)Narrow road

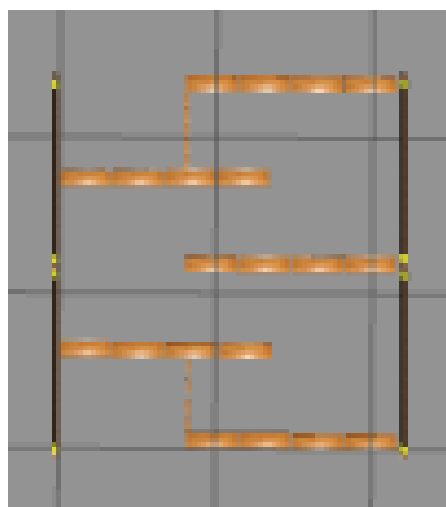


(b)Wide road

Figure 3.5 Turn



(a)Narrow road



(b)Wide road

Figure 3.6 Turn mirror course

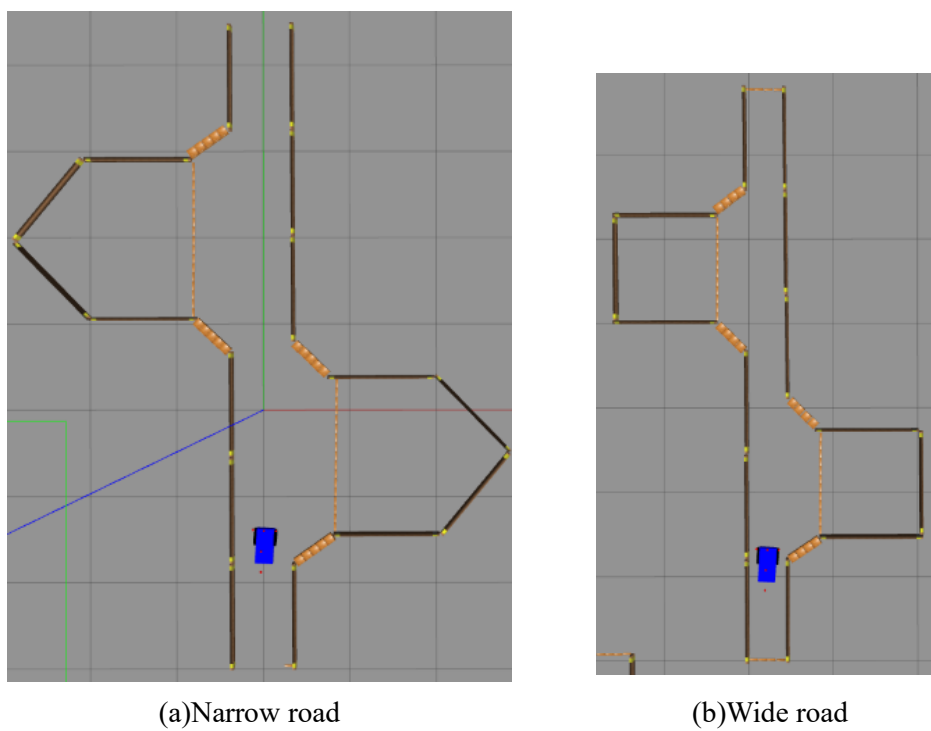


Figure 3.7 Recession

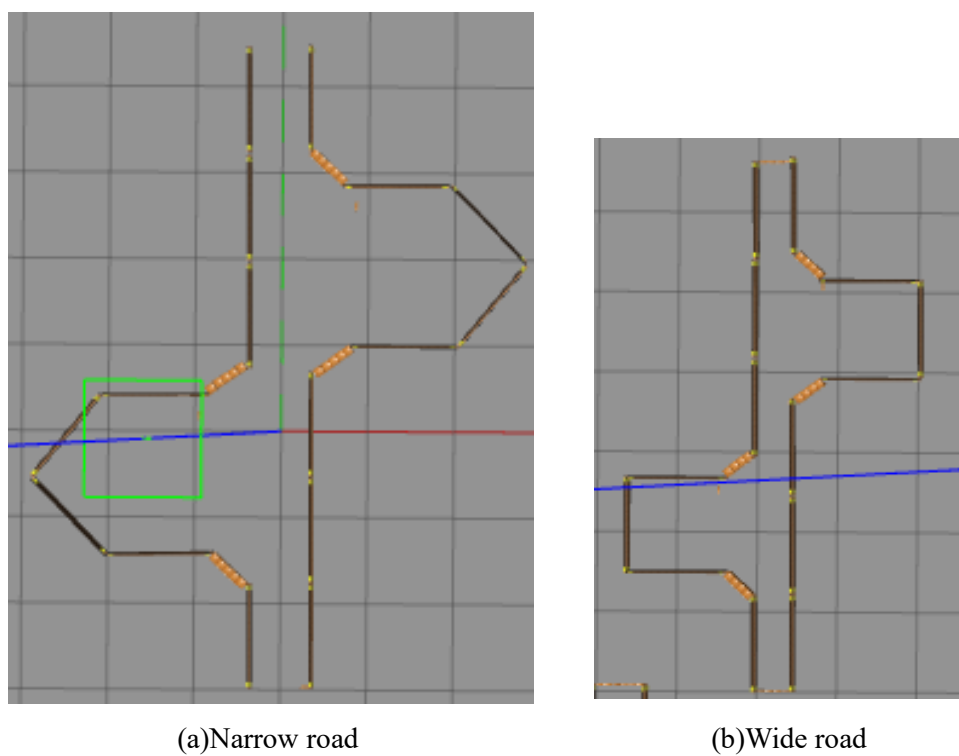


Figure 3.8 Recession mirror course

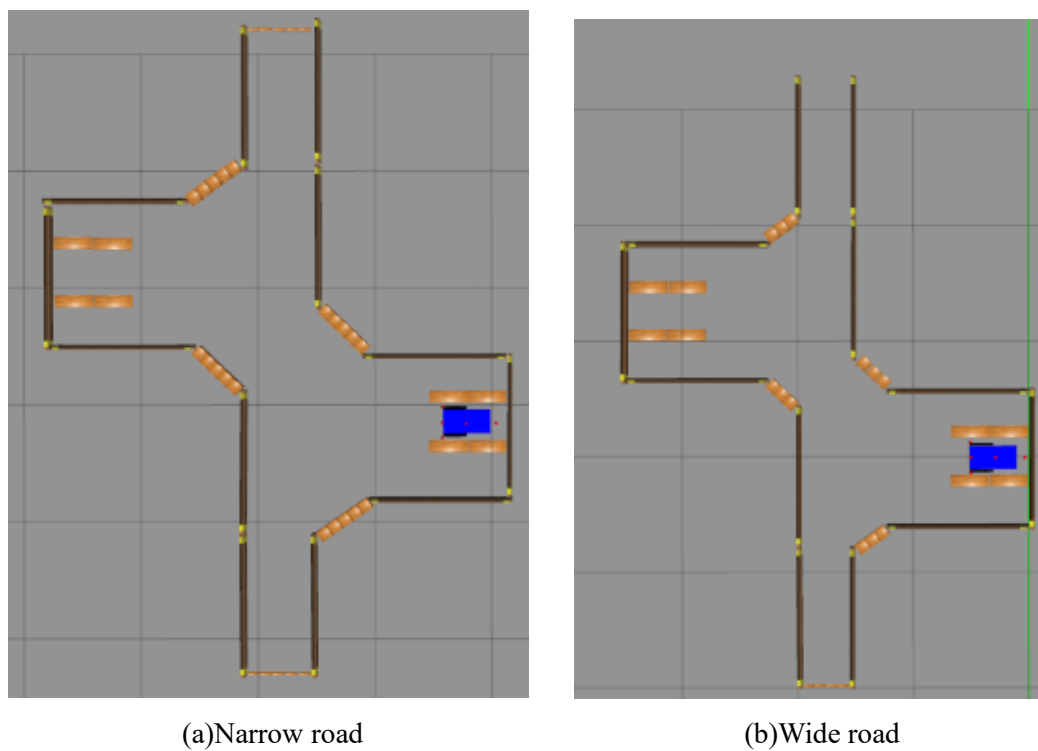


Figure 3.9 Parking

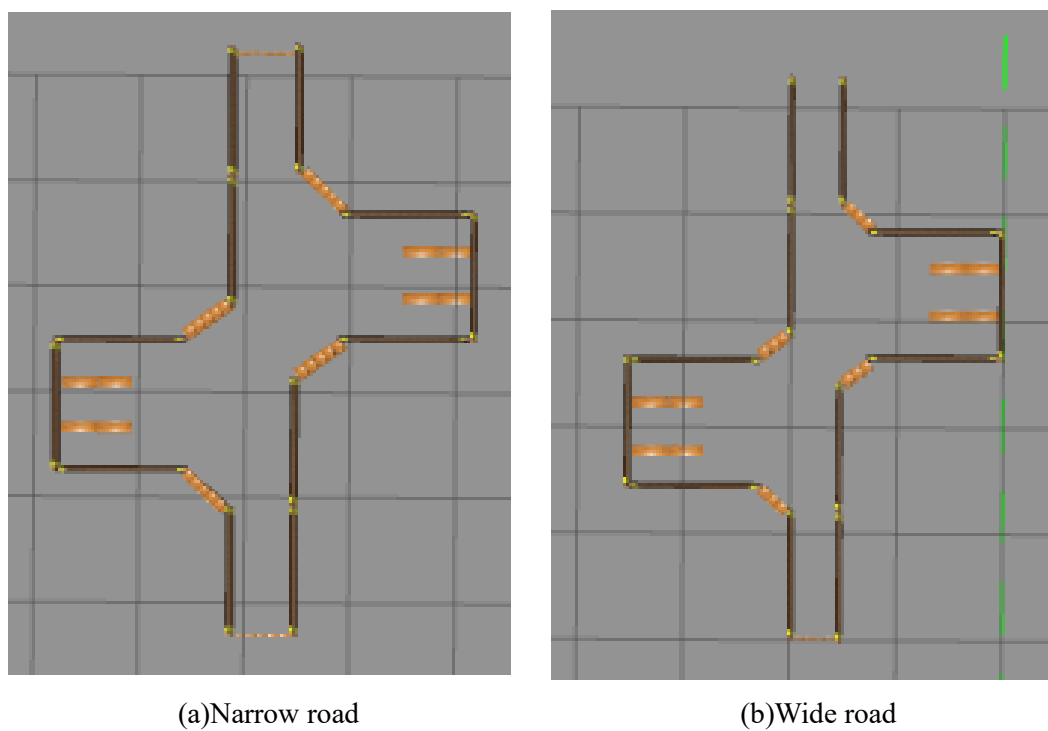
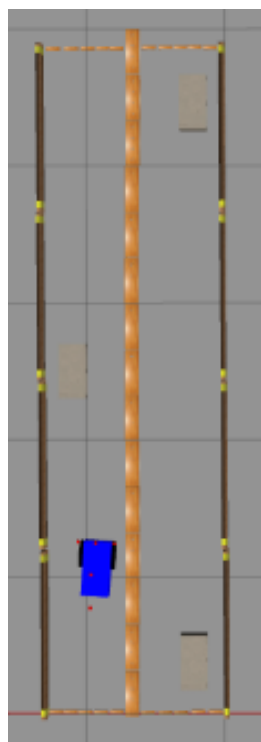


Figure 3.10 Parking mirror course

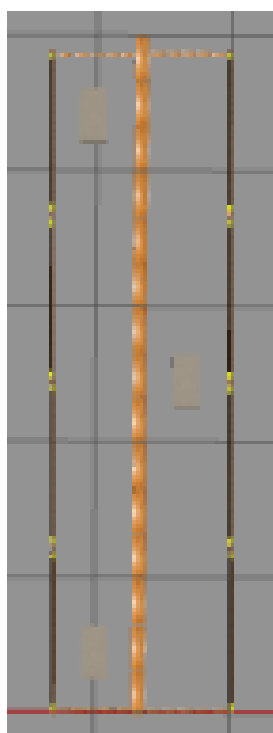


(a)Narrow road

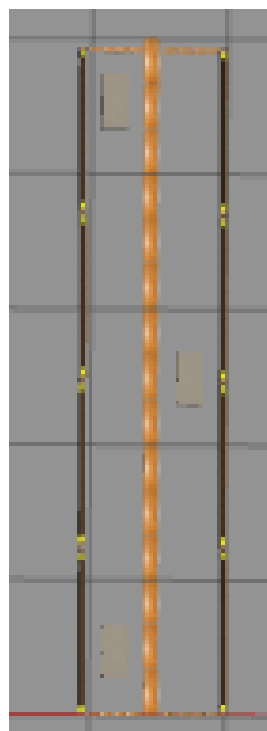


(b)Wide road

Figure 3.11 change lane



(a)Narrow road



(b)Wide road

Figure 3.12 change lane mirror course

3.3 車載カメラ配置パターン

仮想実験車両に搭載するカメラとして、Figure 3.13 に示す前方カメラ、Figure 3.14 に示すサイドミラーカメラ、Figure 3.15 に示す後方カメラ、Figure 3.16 に示す車両後方に置く前方カメラ、Figure 3.17 に示す俯瞰カメラの5種類のカメラを用意した。この5つのカメラを組み合わせて、A から F の6つのカメラ配置パターンを作成した。また、6つのカメラ配置パターン全てに車両前方に置く前方カメラは共通である。次に、制約条件として同時に表示できるカメラ台数を最大3台までとした。これは、カメラ映像の通信容量を考慮したネットワーク通信問題と電力消費を抑制するためのバッテリー問題、人間が同時に視認できる視覚問題を考慮したためである。

パターン A を Figure 3.18 に示す。このパターンは、前方カメラとサイドミラーカメラを入れた構成である。パターン B を Figure 3.19 に示す。このパターンは、前方カメラと後方カメラを入れたパターン構成である。パターン C を Figure 3.20 に示す。このパターンは、前方カメラと後方カメラと俯瞰カメラを入れた構成である。パターン D を Figure 3.21 に示す。このパターンは、前方カメラと俯瞰カメラを入れた構成である。パターン E を Figure 3.22 に示す。このパターンは、前方カメラと車両後方に置く前方カメラと後方カメラを入れた構成である。パターン F を Figure 3.23 に示す。このパターンは、前方カメラと車両後方に置く前方カメラと俯瞰カメラを入れた構成である。

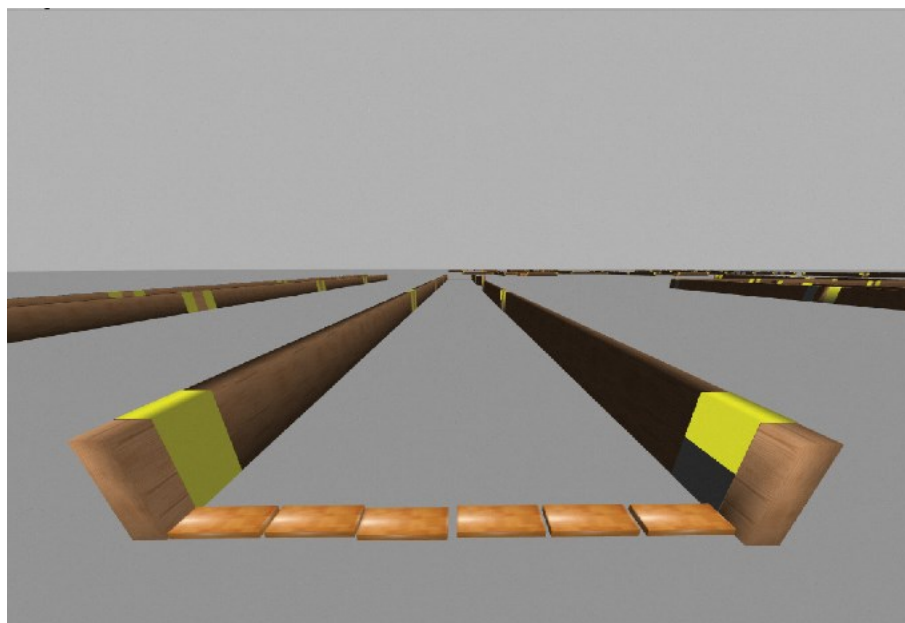


Figure 3.13 Front camera

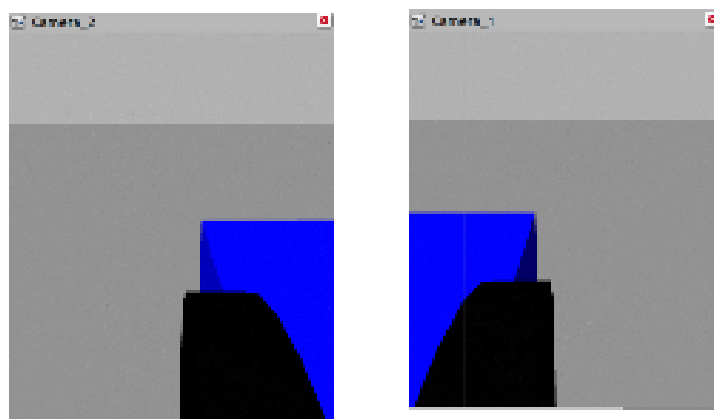


Figure 3.14 Side mirror camera

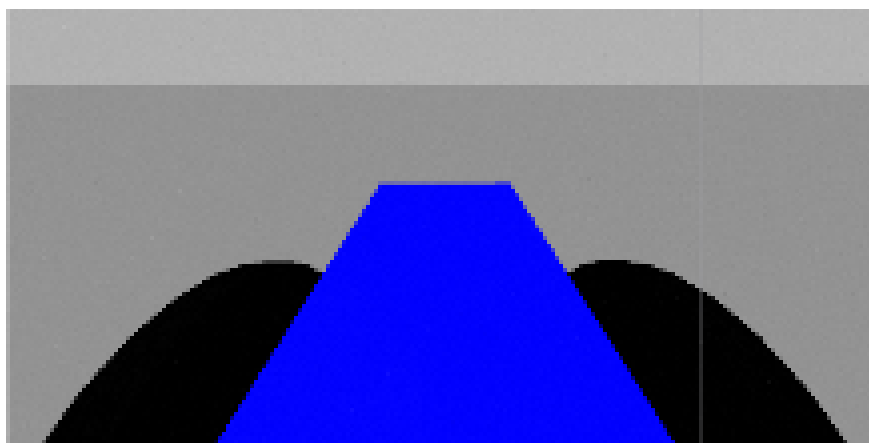


Figure 3.15 Rear camera

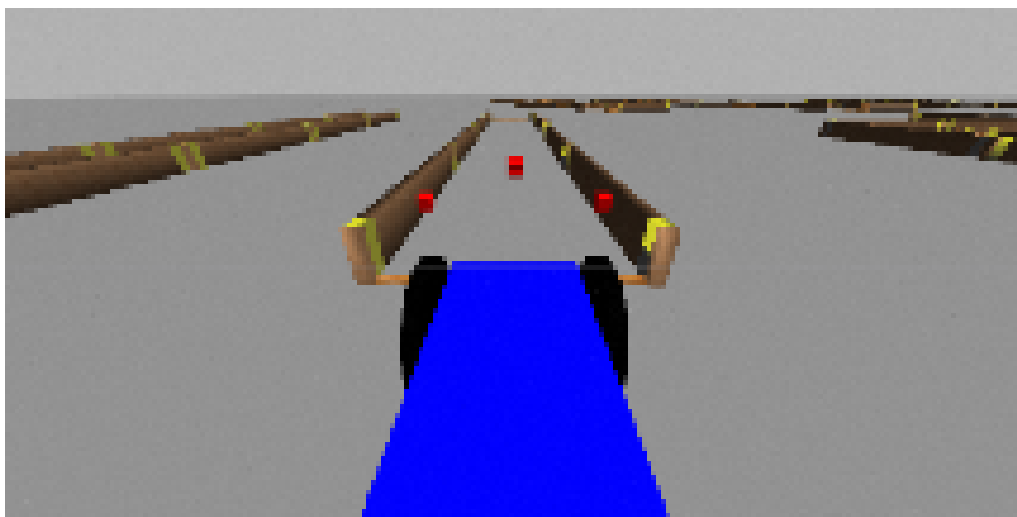


Figure 3.16 Front camera placed behind the vehicle

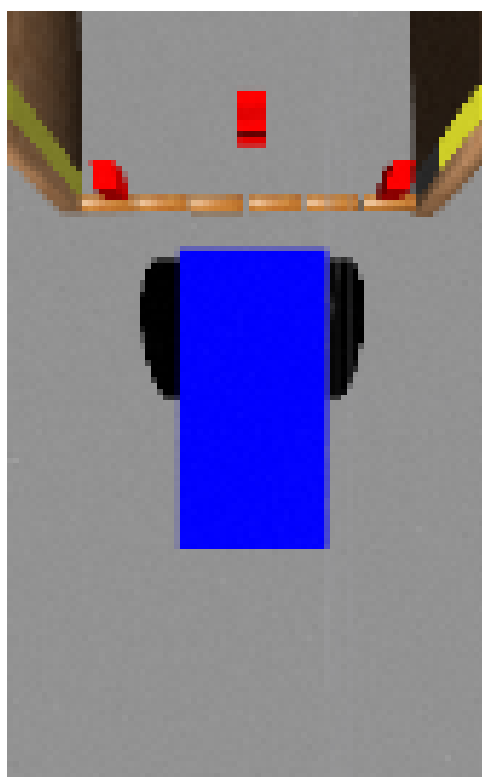


Figure 3.17 Bird's-eye view camera

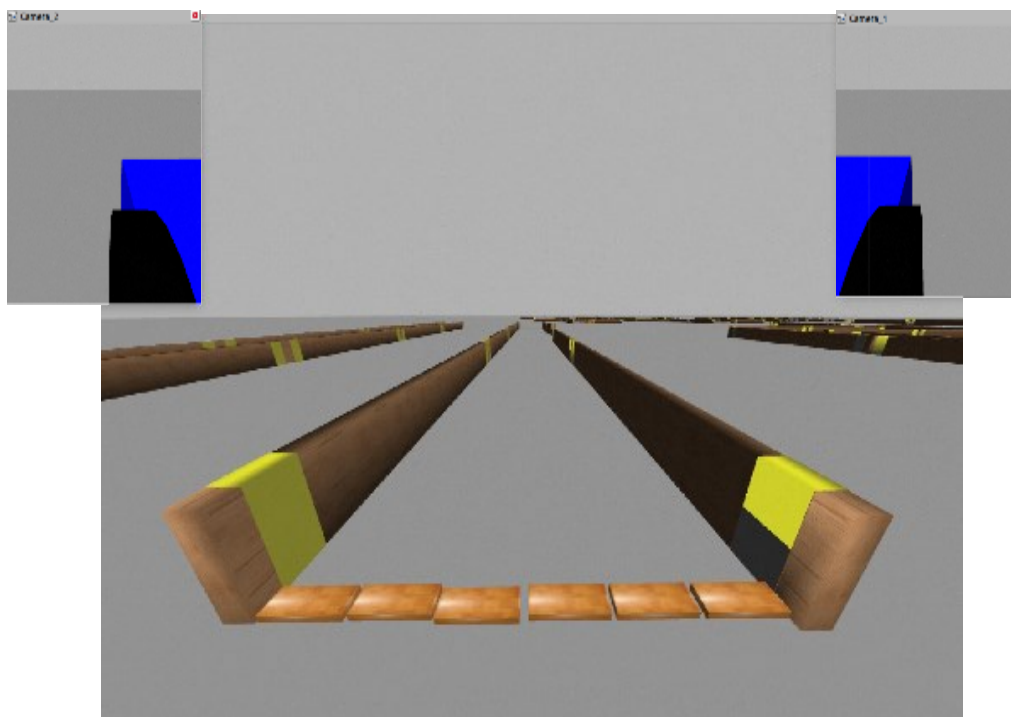


Figure 3.18 Pattern A

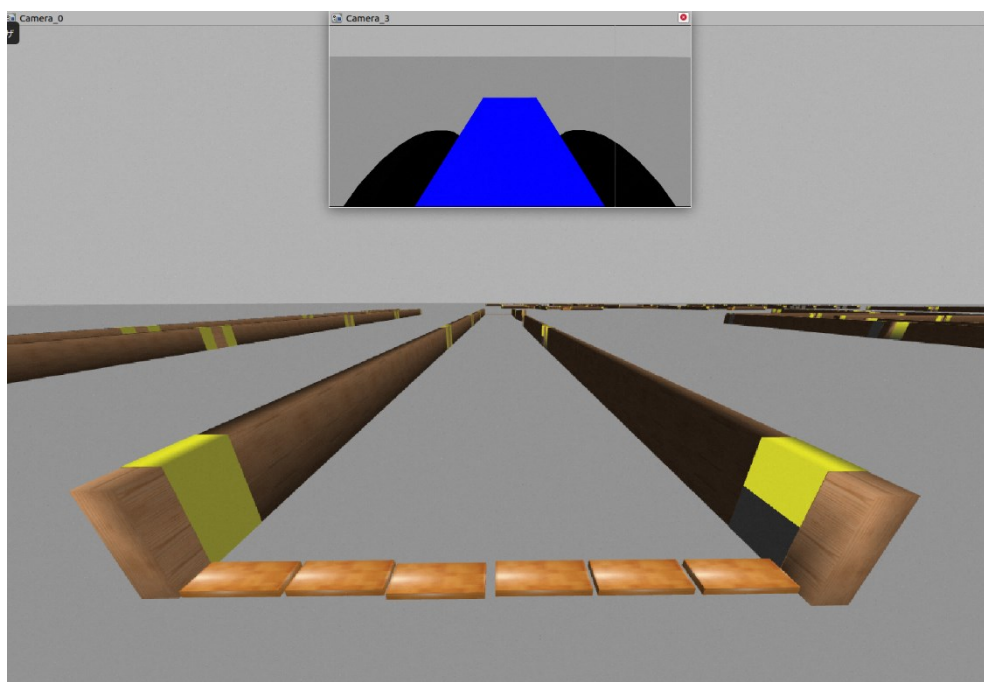


Figure 3.19 Pattern B

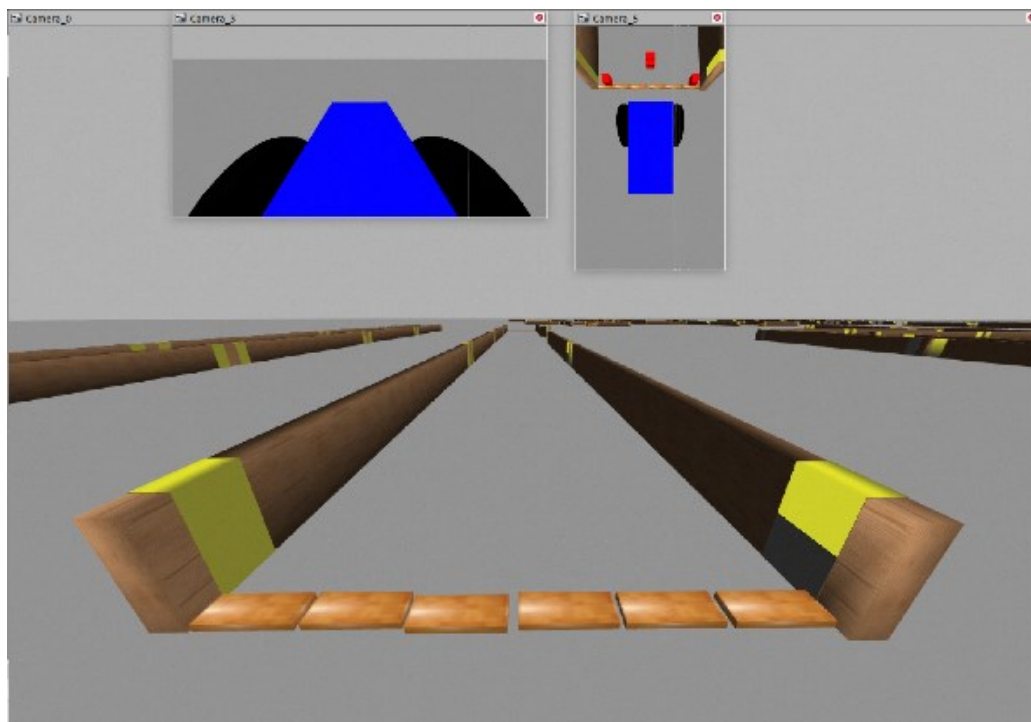


Figure 3.20 Pattern C

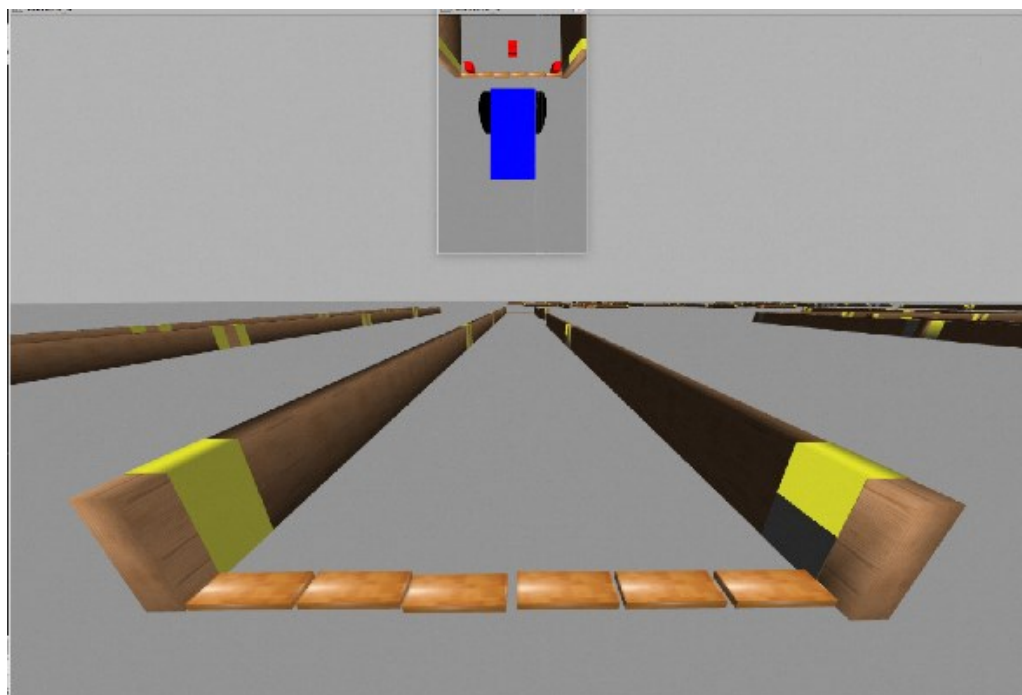


Figure 3.21 Pattern D

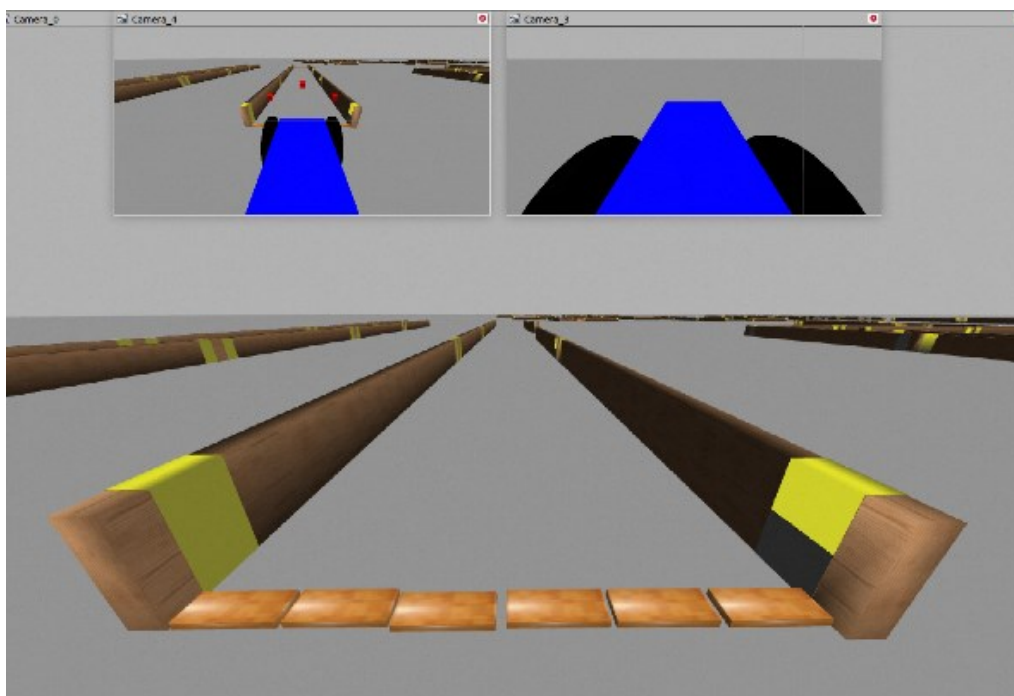


Figure 3.22 Pattern E

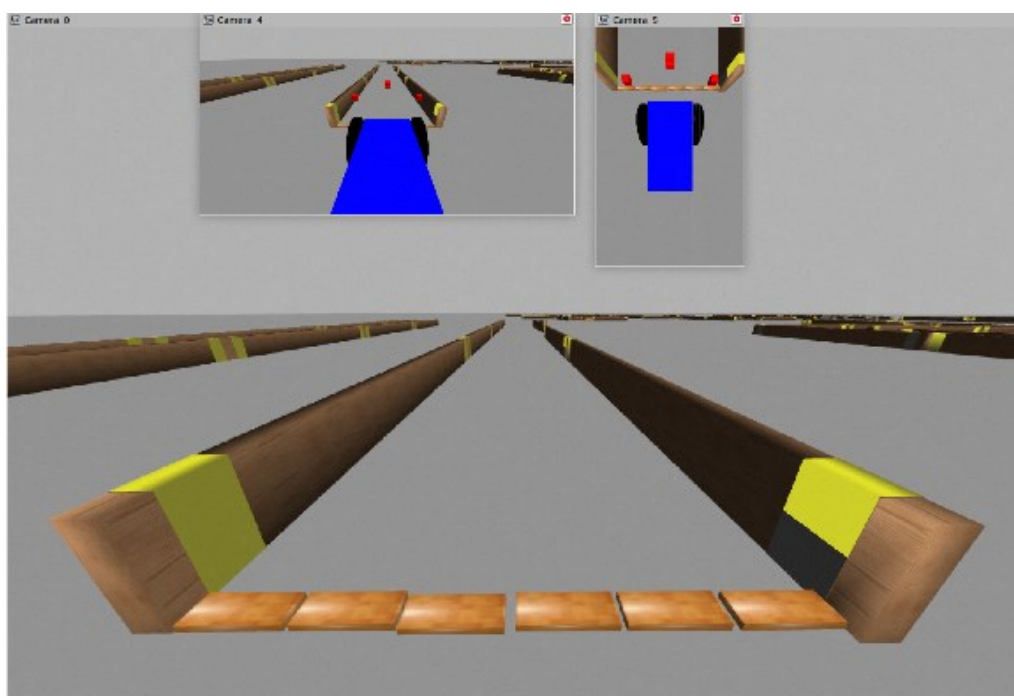


Figure 3.23 Pattern F

第4章

実験手法と実験結果及び考察

本章では、本実験の実験手法について4.1節にて説明する。また、本実験で得られた主観評価の結果を4.2節にて、4.3節では客観評価の結果を説明する。4.4節では、実験結果の考察を説明する。

4.1 実験手法

実験協力者毎にランダムな順番で、第3章で前述した全12コース走行してもらい、1コース毎にパターンAを走行後、BからFをTable 4.1に示すランダムな順番に提示し走行実験を行った。実験協力者は8名とした。また、実験協力者毎の走行区間の順番を提示したものをTable 4.2に示す。

主観評価は各コースの終了時、パターンAの得点を5点の基準とし、パターンBからパターンFの得点1点(悪い)から10点(良い)で評価してもらい、アンケート用紙に記入回答してもらった。客観評価は、各コースとパターンAからFの組み合わせごとに走行時間を測定した。その走行時間から客観評価を行った。主観評価と客観評価から、遠隔操作性を向上させるカメラ配置パターンの評価を行った。

Table 4.1 Experimental conditions camera placement pattern

Experiment collaborator	Camera placement pattern					
I	A	C	E	D	B	F
II	A	E	B	F	D	C
III	A	D	F	C	E	B
IV	A	F	D	B	C	E
V	A	B	C	E	F	D
VI	A	E	D	B	F	C
VII	A	D	F	C	B	E
VIII	A	B	C	E	D	C

Table 4.2 Running order for each experimental collaborator

Experiment collaborator	Section												Driving start place
I	1	10	9	6	5	2	7	12	11	8	3	4	Nomal
II	2	11	10	7	6	3	8	1	12	9	4	5	Mirror
III	3	12	11	8	7	4	9	2	1	10	5	6	N
IV	4	1	12	9	8	5	10	3	2	11	6	7	M
V	5	2	1	10	9	6	11	4	3	12	7	8	N
VI	6	3	2	11	10	7	12	5	4	1	8	9	M
VII	7	4	3	12	11	8	1	6	5	2	9	10	N
VIII	8	5	4	1	12	9	2	7	6	3	10	11	M

Section					
1	2	3	4	5	6
Go straight	Go straight(Wide)	Turn left or right	Turn left or right(Wide)	Turn	Turn(Wide)
7	8	9	10	11	12
Recession	Recession (Wide)	Parking	Parking (Wide)	Change lane	Change lane(Wide)

4.2 主観評価結果

実際の主観評価結果である実験協力者1から8のTable 4.3からTable 4.11に示す。

実際の実験アンケート結果の値の変換を行った。表内の操作区間の横軸で見て、最小と最大の値を1.0と2.0に変換し、その間の数字を適宜以下の表のように変換した。具体的には、表の最大値が8、最小値が4の時、間の6を1.33に、7を1.67に変換する。

主観評価の値の変換したものを、道幅大小でまとめたものをTable 4.20からTable 4.27に示す。主観評価の道幅大小をまとめたデータを実験協力者8人で平均を取ったものをTable 4.28に示す。このデータをカメラ配置Aの値を1.0になるように値を変換したものをTable 4.29とグラフにしたものをFigure 4.1に示す。また、Table内の区間毎で一番高い評価が得られたものを赤く塗りつぶししている。Table 4.29については、二番目に高い評価替えられたものも青く塗りつぶしている。

Table 4.3 Subjective evaluation experiment collaborator 1

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	4	8	8	7	9
Go straight(Wide)	5	5	7	7	6	8
Turn left or right	5	5	7	7	7	8
Turn left or right(Wide)	5	5	9	9	8	10
Turn	5	5	8	8	8	9
Turn(Wide)	5	5	8	8	8	9
Recession	5	5	8	8	7	9
Recession(Wide)	5	5	7	7	6	8
Parking	5	6	8	4	8	4
Parking(Wide)	5	6	7	4	7	4
Change lane	5	5	7	7	8	9
Change lane(Wide)	5	5	7	7	8	9

Table 4.4 Subjective evaluation experiment collaborator 2

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	6	8	8	7	8
Go straight(Wide)	5	5	7	7	6	8
Turn left or right	5	4	8	9	7	8
Turn left or right(Wide)	5	5	9	9	8	9
Turn	5	5	8	8	7	8
Turn(Wide)	5	6	8	8	7	8
Recession	5	6	9	9	7	9
Recession(Wide)	5	7	8	8	7	8
Parking	5	7	7	7	8	8
Parking(Wide)	5	7	6	5	8	7
Change lane	5	6	8	7	6	8
Change lane(Wide)	5	5	8	9	6	8

Table 4.5 Subjective evaluation experiment collaborator 3

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	4	7	6	5	7
Go straight(Wide)	5	4	6	6	5	6
Turn left or right	5	4	6	6	5	7
Turn left or right(Wide)	5	5	6	6	8	9
Turn	5	5	7	7	6	7
Turn(Wide)	5	5	6	6	7	7
Recession	5	4	6	6	6	8
Recession(Wide)	5	6	6	6	7	8
Parking	5	7	8	7	6	7
Parking(Wide)	5	8	8	7	8	7
Change lane	5	5	6	6	7	8
Change lane(Wide)	5	5	6	6	7	7

Table 4.6 Subjective evaluation experiment collaborator 4

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	5	10	7	8	8
Go straight(Wide)	5	8	10	10	9	10
Turn left or right	5	6	10	9	9	9
Turn left or right(Wide)	5	5	10	7	9	8
Turn	5	6	8	8	8	10
Turn(Wide)	5	7	8	8	10	10
Recession	5	6	10	10	9	10
Recession(Wide)	5	7	8	8	9	8
Parking	5	7	8	8	9	9
Parking(Wide)	5	7	8	8	9	9
Change lane	5	7	10	7	10	9
Change lane(Wide)	5	7	7	7	9	10

Table 4.7 Subjective evaluation experiment collaborator 5

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	4	8	8	5	9
Go straight(Wide)	5	6	9	8	9	10
Turn left or right	5	5	7	6	7	8
Turn left or right(Wide)	5	4	8	7	8	10
Turn	5	5	9	9	8	10
Turn(Wide)	5	5	8	8	9	10
Recession	5	6	8	8	7	10
Recession(Wide)	5	6	7	7	7	10
Parking	5	7	7	6	8	6
Parking(Wide)	5	7	7	5	8	6
Change lane	5	5	8	8	7	10
Change lane(Wide)	5	5	8	8	7	9

Table 4.8 Subjective evaluation experiment collaborator 6

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	5	5	5	5	5
Go straight(Wide)	5	5	8	7	8	8
Turn left or right	5	5	7	7	6	8
Turn left or right(Wide)	5	6	7	7	7	7
Turn	5	5	7	7	8	7
Turn(Wide)	5	5	7	6	7	7
Recession	5	5	7	7	5	7
Recession(Wide)	5	7	7	7	6	7
Parking	5	7	7	8	7	7
Parking(Wide)	5	7	7	7	6	7
Change lane	5	7	7	7	7	7
Change lane(Wide)	5	5	7	7	7	7

Table 4.9 Subjective evaluation experiment collaborator 7

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	7	8	8	7	10
Go straight(Wide)	5	5	5	5	5	5
Turn left or right	5	7	9	9	7	9
Turn left or right(Wide)	5	7	9	9	8	10
Turn	5	5	10	10	6	10
Turn(Wide)	5	7	10	10	9	10
Recession	5	7	10	9	8	9
Recession(Wide)	5	7	10	9	8	9
Parking	5	9	10	10	9	10
Parking(Wide)	5	9	9	9	9	9
Change lane	5	8	9	6	10	9
Change lane(Wide)	5	8	8	7	9	9

Table 4.10 Subjective evaluation experiment collaborator 8

	A	B	C	D	E	F
Go straight	5	5	9	8	7	10
Go straight(Wide)	5	6	7	7	7	8
Turn left or right	5	4	8	8	7	9
Turn left or right(Wide)	5	5	8	8	8	10
Turn	5	4	8	8	7	10
Turn(Wide)	5	4	6	7	8	9
Recession	5	6	7	8	8	9
Recession(Wide)	5	5	7	8	9	10
Parking	5	6	9	9	10	10
Parking(Wide)	5	6	8	9	9	10
Change lane	5	5	7	9	8	10
Change lane(Wide)	5	4	6	7	9	9

Table 4.11 Value conversion

Table value	5	6	7
Converted value	1	1.5	2

Table value	4	5	6
Converted value	1	1.5	2

Table value	4	5	6	7
Converted value	1	1.33	1.67	2

Table value	5	6	7	8
Converted value	1	1.33	1.67	2

Table value	4	5	6	7	8
Converted value	1	1.25	1.5	1.75	2

Table value	5	6	7	8	9
Converted value	1	1.25	1.5	1.75	2

Table value	4	5	6	7	8	9
Converted value	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2

Table value	5	6	7	8	9	10
Converted value	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2

Table value	4	5	6	7	8	9	10
Converted value	1	1.17	1.33	1.5	1.67	1.83	2

Table 4.12 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 1

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.2	1	1.8	1.8	1.6	2
Go straight(Wide)	1	1	1.67	1.67	1.33	2
Turn left or right	1	1	1.67	1.67	1.67	2
Turn left or right(Wide)	1	1	1.8	1.8	1.6	2
Turn	1	1	1.75	1.75	1.75	2
Turn(Wide)	1	1	1.75	1.75	1.75	2
Recession	1	1	1.75	1.75	1.5	2
Recession(Wide)	1	1	1.67	1.67	1.33	2
Parking	1.25	1.5	2	1	2	1
Parking(Wide)	1.33	1.67	2	1	2	1
Change lane	1	1	1.5	1.5	1.75	2
Change lane(Wide)	1	1	1.5	1.5	1.75	2

Table 4.13 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 2

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1	1.33	2	2	1.67	2
Go straight(Wide)	1	1	1.67	1.67	1.33	2
Turn left or right	1.2	1	1.8	2	1.6	1.8
Turn left or right(Wide)	1	1	2	2	1.75	2
Turn	1	1	2	2	1.67	2
Turn(Wide)	1	1.33	2	2	1.67	2
Recession	1	1.25	2	2	1.5	2
Recession(Wide)	1	1.67	2	2	1.67	2
Parking	1	1.67	1.67	1.67	2	2
Parking(Wide)	1	1.67	1.33	1	2	1.67
Change lane	1	1.33	2	1.67	1.33	2
Change lane(Wide)	1	1	1.75	2	1.25	1.75

Table 4.14 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 3

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.33	1	2	1.67	1.33	2
Go straight(Wide)	1.5	1	2	2	1.5	2
Turn left or right	1.33	1	1.67	1.67	1.33	2
Turn left or right(Wide)	1	1	1.25	1.25	1.75	2
Turn	1	1	2	2	1.5	2
Turn(Wide)	1	1	1.5	1.5	2	2
Recession	1.25	1	1.5	1.5	1.5	2
Recession(Wide)	1	1.33	1.33	1.33	1.67	2
Parking	1	1.67	2	1.67	1.33	1.67
Parking(Wide)	1	2	2	1.67	2	1.67
Change lane	1	1	1.33	1.33	1.67	2
Change lane(Wide)	1	1	1.5	1.5	2	2

Table 4.15 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 4

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1	1	2	1.08	1.6	1.6
Go straight(Wide)	1	1.6	2	2	1.8	2
Turn left or right	1	1.2	2	1.8	1.8	1.8
Turn left or right(Wide)	1	1	2	1.4	1.8	1.6
Turn	1	1.2	1.6	1.6	1.6	2
Turn(Wide)	1	1.4	1.6	1.6	2	2
Recession	1	1.2	2	2	1.8	2
Recession(Wide)	1	1.5	1.75	1.75	2	1.75
Parking	1	1.5	1.75	1.75	2	2
Parking(Wide)	1	1.5	1.75	1.75	2	2
Change lane	1	1.4	2	1.4	2	1.8
Change lane(Wide)	1	1.4	1.4	1.4	1.8	2

Table 4.16 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 5

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.2	1	1.8	1.8	1.2	2
Go straight(Wide)	1	1.2	1.8	1.6	1.8	2
Turn left or right	1	1	1.67	1.33	1.67	2
Turn left or right(Wide)	1.17	1	1.83	1.83	1.67	2
Turn	1	1	1.8	1.8	1.6	2
Turn(Wide)	1	1	1.6	1.6	1.8	2
Recession	1	1.2	1.6	1.6	1.4	2
Recession(Wide)	1	1.2	1.4	1.4	1.4	2
Parking	1	1.67	1.67	1.33	2	1.33
Parking(Wide)	1	1.67	1.67	1	2	1.33
Change lane	1	1	1.6	1.6	1.4	2
Change lane(Wide)	1	1	1.75	1.75	1.5	2

Table 4.17 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 6

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1	1	1	1	1	1
Go straight(Wide)	1	1	2	1.67	2	2
Turn left or right	1	1	1.67	1.67	1.33	2
Turn left or right(Wide)	1	1.5	2	2	2	2
Turn	1	1	1.67	1.67	2	1.67
Turn(Wide)	1	1	2	1.5	2	2
Recession	1	1	2	2	1	2
Recession(Wide)	1	2	2	2	1.5	2
Parking	1	1.67	1.67	2	1.67	1.67
Parking(Wide)	1	2	2	2	1.5	2
Change lane	1	2	2	2	2	2
Change lane(Wide)	1	1	2	2	2	2

Table 4.18 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 7

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1	1.4	1.6	1.6	1.4	2
Go straight(Wide)	1	1	1	1	1	1
Turn left or right	1	1.5	2	2	1.5	2
Turn left or right(Wide)	1	1.4	1.8	1.8	1.6	2
Turn	1	1	2	2	1.2	2
Turn(Wide)	1	1.4	2	2	1.8	2
Recession	1	1.4	2	1.8	1.6	1.8
Recession(Wide)	1	1.4	2	1.8	1.6	1.8
Parking	1	1.8	2	2	1.8	2
Parking(Wide)	1	2	2	2	2	2
Change lane	1	1.6	1.8	1.2	2	1.8
Change lane(Wide)	1	1.75	1.75	1.5	2	2

Table 4.19 Conversion of subjective evaluation value experimental collaborator 8

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1	1	1.8	1.6	1.4	2
Go straight(Wide)	1	1.33	1.67	1.67	1.67	2
Turn left or right	1.2	1	1.8	1.8	1.6	2
Turn left or right(Wide)	1	1	1.6	1.6	1.6	2
Turn	1.17	1	1.67	1.67	1.5	2
Turn(Wide)	1.2	1	1.4	1.6	1.8	2
Recession	1	1.25	1.5	1.75	1.75	2
Recession(Wide)	1	1	1.4	1.6	1.8	2
Parking	1	1.2	1.8	1.8	2	2
Parking(Wide)	1	1.2	1.6	1.8	1.8	2
Change lane	1	1	1.4	1.8	1.6	2
Change lane(Wide)	1.2	1	1.4	1.6	2	2

Table 4.20 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator 1

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.10	1.00	1.74	1.74	1.47	2.00
Turn left or right	1.07	1.00	1.74	1.74	1.64	2.00
Turn	1.00	1.00	1.75	1.75	1.75	2.00
Recession	1.00	1.00	1.71	1.71	1.42	2.00
Parking	1.29	1.59	2.00	1.00	2.00	1.00
Change lane	1.00	1.00	1.50	1.50	1.75	2.00

Table 4.21 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator 2

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.17	1.84	1.84	1.50	2.00
Turn left or right	1.02	1.00	1.90	2.00	1.68	1.90
Turn	1.00	1.17	2.00	2.00	1.67	2.00
Recession	1.00	1.46	2.00	2.00	1.59	2.00
Parking	1.00	1.67	1.50	1.34	2.00	1.84
Change lane	1.00	1.17	1.88	1.84	1.29	1.88

Table 4.22 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator 3

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.42	1.00	2.00	1.84	1.42	2.00
Turn left or right	1.12	1.00	1.46	1.46	1.54	2.00
Turn	1.00	1.00	1.75	1.75	1.75	2.00
Recession	1.13	1.17	1.42	1.42	1.59	2.00
Parking	1.00	1.84	2.00	1.67	1.67	1.67
Change lane	1.00	1.00	1.42	1.42	1.84	2.00

Table 4.23 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator4

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.30	2.00	2.00	1.70	1.80
Turn left or right	1.00	1.10	2.00	1.60	1.80	1.70
Turn	1.00	1.30	1.60	1.60	1.80	2.00
Recession	1.00	1.35	1.88	1.88	1.90	1.88
Parking	1.00	1.50	1.75	1.75	2.00	2.00
Change lane	1.00	1.40	1.70	1.40	1.90	1.90

Table 4.24 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator 5

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.10	1.10	1.80	1.70	1.50	2.00
Turn left or right	1.03	1.00	1.75	1.58	1.67	2.00
Turn	1.00	1.00	1.70	1.70	1.70	2.00
Recession	1.00	1.20	1.50	1.50	1.40	2.00
Parking	1.00	1.67	1.67	1.17	2.00	1.33
Change lane	1.00	1.00	1.68	1.68	1.45	2.00

Table 4.25 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator 6

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.00	1.50	1.34	1.50	1.50
Turn left or right	1.00	1.25	1.84	1.84	1.67	2.00
Turn	1.00	1.00	1.84	1.59	2.00	1.84
Recession	1.00	1.50	2.00	2.00	1.25	2.00
Parking	1.00	1.84	1.84	2.00	1.59	1.84
Change lane	1.00	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00

Table 4.26 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator 7

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.20	1.30	1.30	1.20	1.50
Turn left or right	1.00	1.45	1.90	1.90	1.55	2.00
Turn	1.00	1.20	2.00	2.00	1.50	2.00
Recession	1.00	1.40	2.00	1.80	1.60	1.80
Parking	1.00	1.90	2.00	2.00	1.90	2.00
Change lane	1.00	1.68	1.78	1.35	2.00	1.90

Table 4.27 Summary of the path of subjective evaluation experimental collaborator 8

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.17	1.74	1.64	1.54	2.00
Turn left or right	1.06	1.00	1.70	1.70	1.60	2.00
Turn	1.19	1.00	1.54	1.64	1.65	2.00
Recession	1.00	1.13	1.45	1.68	1.78	2.00
Parking	1.00	1.20	1.70	1.80	1.90	2.00
Change lane	1.10	1.00	1.40	1.70	1.80	2.00

Table 4.28 Average of all experimental collaborators in subjective evaluation

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.08	1.12	1.74	1.67	1.48	1.85
Turn left or right	1.04	1.10	1.79	1.73	1.64	1.95
Turn	1.02	1.08	1.77	1.75	1.73	1.98
Recession	1.02	1.28	1.74	1.75	1.56	1.96
Parking	1.04	1.65	1.81	1.59	1.88	1.71
Change lane	1.01	1.22	1.67	1.61	1.75	1.96

Table 4.29 Summary of subjective evaluation results

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.0	1.0	1.6	1.6	1.4	1.7
Turn left or right	1.0	1.1	1.7	1.7	1.6	1.9
Turn	1.0	1.1	1.7	1.7	1.7	1.9
Recession	1.0	1.3	1.7	1.7	1.5	1.9
Parking	1.0	1.6	1.7	1.5	1.8	1.6
Change lane	1.0	1.2	1.6	1.6	1.7	1.9

Subjective evaluation results

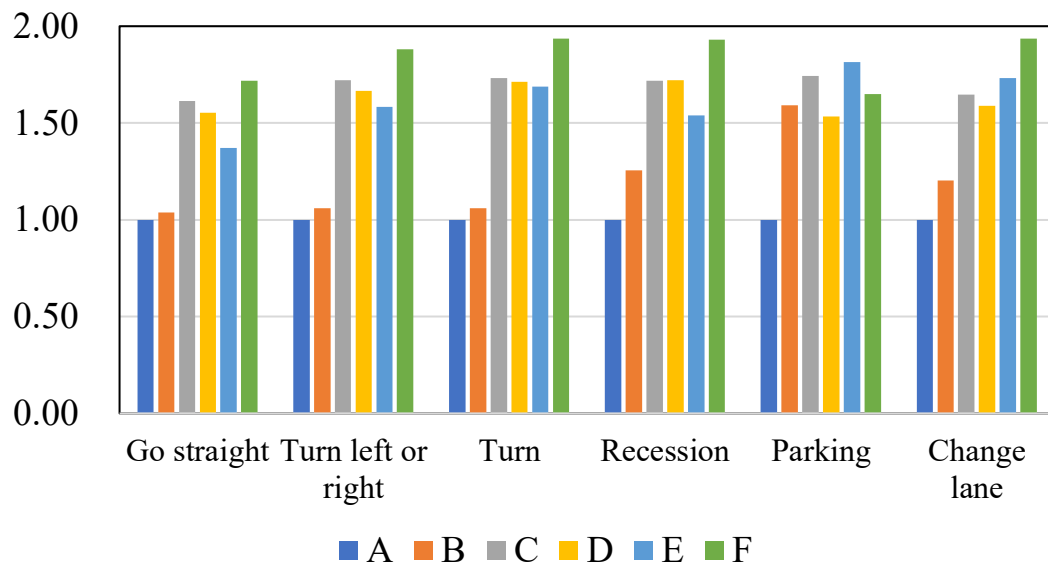


Figure 4.1 Subjective evaluation results graph

4.3 客観評価結果

実際の走行タイムである実験協力者 1 から 8 の客観評価結果を Table 4.30 から Table 4.37 に示す。Table 4.30 から Table 4.37 で得られた値を、区間毎にカメラ配置 A から F の走行タイムを、A の走行タイムで割ったものを、Table 4.38 から Table 4.45 に示す。これは、A に対し何倍の速さで走行を完了したかを示す。Table 4.38 から Table 4.45 で得られた値を、道幅大小でまとめたものを以下の Table 4.46 から Table 4.53 に示す。主観評価の道幅大小をまとめたデータを実験協力者 8 人で平均を取ったものを Table 4.54 に示し、グラフにしたものを Figure 4.2 に示す。また、Table 内の区間毎で一番高い評価が得られたものを赤く塗りつぶしている。Table 4.54 については、二番目に高い評価替えられたものも青く塗りつぶしている。

Table 4.30 Objective evaluation experimental collaborator 1

	A	B	C	D	E	F
Go straight	12.7	12.14	14.4	12.1	17.4	11.87
Go straight(Wide)	9.79	9.67	10.58	9.58	10.2	10.19
Turn left or right	18.89	18.49	17.83	16.83	18.31	18.05
Turn left or right(Wide)	18.52	18.49	20.25	19.35	20.88	21.03
Turn	15.28	15.33	15.57	15.61	17.82	16
Turn(Wide)	16.52	13.85	15.93	14.52	16.28	15.15
Recession	14.35	14.22	15.26	17.39	15.08	18.6
Recession(Wide)	16.21	18.19	18.15	18.54	19.02	19.62
Parking	17.63	20.66	17.29	12.41	16.18	20.67
Parking(Wide)	25.13	20.4	19.2	26.87	19.21	20.14
Change lane	14.64	14.29	13.68	14.31	14.72	14.69
Change lane(Wide)	12.85	14.08	12.97	12.58	13.35	14.82

Table 4.31 Objective evaluation experimental collaborator 2

	A	B	C	D	E	F
Go straight	12.2	11.81	8.39	8.41	11.67	8.43
Go straight(Wide)	9.77	12.89	10.61	11.34	10.72	9.19
Turn left or right	20.84	27.31	19.5	14.61	19.47	20.17
Turn left or right(Wide)	14.97	10.6	10.1	10.38	12.26	10.43
Turn	13.91	16.07	13.54	13.55	15.82	13.75
Turn(Wide)	14.14	13.49	11.81	12.16	14.67	12.55
Recession	18.22	22.6	15.09	15.61	19.63	17.95
Recession(Wide)	16.43	15.71	15.41	14.34	15.63	15.06
Parking	24.26	23.17	22.79	25.02	20.41	21.9
Parking(Wide)	27.51	26.26	27.78	23.6	27.7	31.98
Change lane	9.23	9.27	9.43	9.19	10.07	10.15
Change lane(Wide)	9.47	9.6	9.47	8.82	9.3	9.15

Table 4.32 Objective evaluation experimental collaborator 3

	A	B	C	D	E	F
Go straight	7.29	7.32	7.48	7.63	7.71	8.24
Go straight(Wide)	7.34	7.29	7.47	7.2	7.59	7.45
Turn left or right	15.92	19.51	13	18.66	17.38	17.6
Turn left or right(Wide)	10.64	9.61	9.44	9.3	10	9.61
Turn	12.09	11.59	11.79	12.68	13.39	12.11
Turn(Wide)	10.58	11.33	11.41	11.96	10.94	10.73
Recession	20.72	18.42	19.64	24.12	18.03	22.27
Recession(Wide)	18.12	17.52	18.68	19.4	18.47	19.52
Parking	23.59	20.52	18.89	19.58	23.97	18.87
Parking(Wide)	19.96	19.23	20.18	18.87	19.45	21.25
Change lane	8.65	8.1	8.16	8.51	8.41	8.64
Change lane(Wide)	8.54	8.18	8.24	9.33	9.03	8.38

Table 4.33 Objective evaluation experimental collaborator 4

	A	B	C	D	E	F
Go straight	8.27	8.15	8.35	7.86	8.65	8.45
Go straight(Wide)	8.14	8.26	8.56	8.08	8.61	8.34
Turn left or right	11.39	11.12	11.06	10.6	11.98	12.76
Turn left or right(Wide)	11.47	10.35	11.05	10.85	11.11	11.35
Turn	14.51	13.55	13.48	12.44	14.69	13.48
Turn(Wide)	13.44	13.09	12.98	11.91	12.97	13.52
Recession	18.78	14.11	14.79	15.14	16.65	16.13
Recession(Wide)	21.19	18.03	15.39	15.42	17.05	18.55
Parking	23.3	18.44	20.13	19.58	19.42	17.79
Parking(Wide)	24.95	22.55	19.36	21.52	19.38	23.73
Change lane	9.54	8.94	9.54	8.86	9.7	9.27
Change lane(Wide)	9.25	9.11	9.12	9.17	9.68	9.28

Table 4.34 Objective evaluation experimental collaborator 5

	A	B	C	D	E	F
Go straight	9.64	12.06	9.76	9.01	8.82	8.8
Go straight(Wide)	8.08	9.24	10.3	9.65	7.73	8.11
Turn left or right	14.78	10.93	9.99	11.98	12.32	14.33
Turn left or right(Wide)	11.29	10.98	10.25	11.25	12.25	10.57
Turn	15.15	16.15	13.01	12.42	13.2	13.9
Turn(Wide)	14.19	12.38	12.12	12.31	12.86	11.87
Recession	22.48	25.02	21.29	18.68	22.41	17.92
Recession(Wide)	17.23	16.47	21.57	17.5	19.56	18.43
Parking	17.5	19.63	18.7	15.93	18.86	16.93
Parking(Wide)	25.15	25.61	19.35	19.4	19.81	20.18
Change lane	8.4	8.88	8.94	8.58	9.18	8.15
Change lane(Wide)	8.5	8.66	8.92	8.24	8.95	8.91

Table 4.35 Objective evaluation experimental collaborator 6

	A	B	C	D	E	F
Go straight	8.29	8.3	8.27	7.98	8.89	8.45
Go straight(Wide)	10.29	11.67	7.93	10.37	11.28	9.51
Turn left or right	11.86	12.58	11.11	11.09	14.98	13.05
Turn left or right(Wide)	9.8	10.23	10.15	10.56	11.26	10.85
Turn	14.51	12.62	15.66	14.91	14.39	13.31
Turn(Wide)	13.36	12.85	13.81	13.52	13.28	12.36
Recession	23.32	21.7	18.04	18.94	20.5	19.8
Recession(Wide)	18.73	17.55	18	16.38	17.99	16.38
Parking	20.47	16.48	17.16	14.65	18.41	16.82
Parking(Wide)	20.13	18.55	19.01	17.98	20.08	19.03
Change lane	9.28	9.37	9.33	9.07	9.64	9.43
Change lane(Wide)	9.24	9.48	9.23	9.08	9.6	9.54

Table 4.36 Objective evaluation experimental collaborator 7

	A	B	C	D	E	F
Go straight	8.87	9.31	8.37	8.47	9.53	8.33
Go straight(Wide)	9.48	9.86	8.5	8.8	9.67	8.17
Turn left or right	11.36	13.14	10.2	10	10.82	10.32
Turn left or right(Wide)	10.75	10.09	10.72	9.91	11.67	10.67
Turn	12.08	11.93	12.41	11.8	12.79	11.84
Turn(Wide)	11.94	10.53	11.13	11.3	11.57	11.52
Recession	14.94	17.36	16.33	16.66	18.25	16.19
Recession(Wide)	17.09	15.84	17.75	16.18	18.08	17.03
Parking	18.86	17.65	15.89	14.73	20.01	16.12
Parking(Wide)	16.14	17.35	17.32	18.02	18.73	18.19
Change lane	9.12	9.21	10.14	8.8	10.79	9.37
Change lane(Wide)	9.38	9.32	9.42	9.23	9.7	9.64

Table 4.37 Objective evaluation experimental collaborator 8

	A	B	C	D	E	F
Go straight	7.94	7.53	8.25	8.09	8.66	8.74
Go straight(Wide)	8.04	8.23	8.5	8.07	8.74	8.44
Turn left or right	14.09	15.76	13.2	11.07	14.94	16.81
Turn left or right(Wide)	15.73	12.51	12.67	11.17	13.62	11.25
Turn	17.03	21.31	15.79	17.93	20.13	16.26
Turn(Wide)	12.67	12.85	13.08	13.59	13.94	13.71
Recession	18.3	19.64	16.59	17.32	19.94	19.56
Recession(Wide)	22.39	16.73	17.88	16.46	19.14	18.21
Parking	25.48	25.48	24.65	28.49	23.61	21.86
Parking(Wide)	25.4	23.49	25.52	23.37	25.81	21.84
Change lane	9.12	9.33	9.74	9.13	9.9	10
Change lane(Wide)	9.32	9.66	9.84	9.74	9.65	9.63

Table 4.38 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 1

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.05	0.88	1.05	0.73	1.07
Go straight(Wide)	1.00	1.01	0.93	1.02	0.96	0.96
Turn left or right	1.00	1.02	1.06	1.12	1.03	1.05
Turn left or right(Wide)	1.00	1.00	0.91	0.96	0.89	0.88
Turn	1.00	1.00	0.98	0.98	0.86	0.96
Turn(Wide)	1.00	1.19	1.04	1.14	1.01	1.09
Recession	1.00	1.01	0.94	0.83	0.95	0.77
Recession(Wide)	1.00	0.89	0.89	0.87	0.85	0.83
Parking	1.00	0.85	1.02	1.42	1.09	0.85
Parking(Wide)	1.00	1.23	1.31	0.94	1.31	1.25
Change lane	1.00	1.02	1.07	1.02	0.99	1.00
Change lane(Wide)	1.00	0.91	0.99	1.02	0.96	0.87

Table 4.39 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 2

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.03	1.45	1.45	1.05	1.45
Go straight(Wide)	1.00	0.76	0.92	0.86	0.91	1.06
Turn left or right	1.00	0.76	1.07	1.43	1.07	1.03
Turn left or right(Wide)	1.00	1.41	1.48	1.44	1.22	1.44
Turn	1.00	0.87	1.03	1.03	0.88	1.01
Turn(Wide)	1.00	1.05	1.20	1.16	0.96	1.13
Recession	1.00	0.81	1.21	1.17	0.93	1.02
Recession(Wide)	1.00	1.05	1.07	1.15	1.05	1.09
Parking	1.00	1.05	1.06	0.97	1.19	1.11
Parking(Wide)	1.00	1.05	0.99	1.17	0.99	0.86
Change lane	1.00	1.00	0.98	1.00	0.92	0.91
Change lane(Wide)	1.00	0.99	1.00	1.07	1.02	1.03

Table 4.40 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 3

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.00	0.97	0.96	0.95	0.88
Go straight(Wide)	1.00	1.01	0.98	1.02	0.97	0.99
Turn left or right	1.00	0.82	1.22	0.85	0.92	0.90
Turn left or right(Wide)	1.00	1.11	1.13	1.14	1.06	1.11
Turn	1.00	1.04	1.03	0.95	0.90	1.00
Turn(Wide)	1.00	0.93	0.93	0.88	0.97	0.99
Recession	1.00	1.12	1.05	0.86	1.15	0.93
Recession(Wide)	1.00	1.03	0.97	0.93	0.98	0.93
Parking	1.00	1.15	1.25	1.20	0.98	1.25
Parking(Wide)	1.00	1.04	0.99	1.06	1.03	0.94
Change lane	1.00	1.07	1.06	1.02	1.03	1.00
Change lane(Wide)	1.00	1.04	1.04	0.92	0.95	1.02

Table 4.41 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 4

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.01	0.99	1.05	0.96	0.98
Go straight(Wide)	1.00	0.99	0.95	1.01	0.95	0.98
Turn left or right	1.00	1.02	1.03	1.07	0.95	0.89
Turn left or right(Wide)	1.00	1.11	1.04	1.06	1.03	1.01
Turn	1.00	1.07	1.08	1.17	0.99	1.08
Turn(Wide)	1.00	1.03	1.04	1.13	1.04	0.99
Recession	1.00	1.33	1.27	1.24	1.13	1.16
Recession(Wide)	1.00	1.18	1.38	1.37	1.24	1.14
Parking	1.00	1.26	1.16	1.19	1.20	1.31
Parking(Wide)	1.00	1.11	1.29	1.16	1.29	1.05
Change lane	1.00	1.07	1.00	1.08	0.98	1.03
Change lane(Wide)	1.00	1.02	1.01	1.01	0.96	1.00

Table 4.42 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 5

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	0.80	0.99	1.07	1.09	1.10
Go straight(Wide)	1.00	0.87	0.78	0.84	1.05	1.00
Turn left or right	1.00	1.35	1.48	1.23	1.20	1.03
Turn left or right(Wide)	1.00	1.03	1.10	1.00	0.92	1.07
Turn	1.00	0.94	1.16	1.22	1.15	1.09
Turn(Wide)	1.00	1.15	1.17	1.15	1.10	1.20
Recession	1.00	0.90	1.06	1.20	1.00	1.25
Recession(Wide)	1.00	1.05	0.80	0.98	0.88	0.93
Parking	1.00	0.89	0.94	1.10	0.93	1.03
Parking(Wide)	1.00	0.98	1.30	1.30	1.27	1.25
Change lane	1.00	0.95	0.94	0.98	0.92	1.03
Change lane(Wide)	1.00	0.98	0.95	1.03	0.95	0.95

Table 4.43 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 6

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.00	1.00	1.04	0.93	0.98
Go straight(Wide)	1.00	0.88	1.30	0.99	0.91	1.08
Turn left or right	1.00	0.94	1.07	1.07	0.79	0.91
Turn left or right(Wide)	1.00	0.96	0.97	0.93	0.87	0.90
Turn	1.00	1.15	0.93	0.97	1.01	1.09
Turn(Wide)	1.00	1.04	0.97	0.99	1.01	1.08
Recession	1.00	1.07	1.29	1.23	1.14	1.18
Recession(Wide)	1.00	1.07	1.04	1.14	1.04	1.14
Parking	1.00	1.24	1.19	1.40	1.11	1.22
Parking(Wide)	1.00	1.09	1.06	1.12	1.00	1.06
Change lane	1.00	0.99	0.99	1.02	0.96	0.98
Change lane(Wide)	1.00	0.97	1.00	1.02	0.96	0.97

Table 4.44 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 7

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	0.95	1.06	1.05	0.93	1.06
Go straight(Wide)	1.00	0.96	1.12	1.08	0.98	1.16
Turn left or right	1.00	0.86	1.11	1.14	1.05	1.10
Turn left or right(Wide)	1.00	1.07	1.00	1.08	0.92	1.01
Turn	1.00	1.01	0.97	1.02	0.94	1.02
Turn(Wide)	1.00	1.13	1.07	1.06	1.03	1.04
Recession	1.00	0.86	0.91	0.90	0.82	0.92
Recession(Wide)	1.00	1.08	0.96	1.06	0.95	1.00
Parking	1.00	1.07	1.19	1.28	0.94	1.17
Parking(Wide)	1.00	0.93	0.93	0.90	0.86	0.89
Change lane	1.00	0.99	0.90	1.04	0.85	0.97
Change lane(Wide)	1.00	1.01	1.00	1.02	0.97	0.97

Table 4.45 Conversion of objective evaluation value experimental collaborator 8

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.05	0.96	0.98	0.92	0.91
Go straight(Wide)	1.00	0.98	0.95	1.00	0.92	0.95
Turn left or right	1.00	0.89	1.07	1.27	0.94	0.84
Turn left or right(Wide)	1.00	1.26	1.24	1.41	1.15	1.40
Turn	1.00	0.80	1.08	0.95	0.85	1.05
Turn(Wide)	1.00	0.99	0.97	0.93	0.91	0.92
Recession	1.00	0.93	1.10	1.06	0.92	0.94
Recession(Wide)	1.00	1.34	1.25	1.36	1.17	1.23
Parking	1.00	1.00	1.03	0.89	1.08	1.17
Parking(Wide)	1.00	1.08	1.00	1.09	0.98	1.16
Change lane	1.00	0.98	0.94	1.00	0.92	0.91
Change lane(Wide)	1.00	0.96	0.95	0.96	0.97	0.97

Table 4.46 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 1

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.03	0.90	1.04	0.84	1.02
Turn left or right	1.00	1.01	0.99	1.04	0.96	0.96
Turn	1.00	1.09	1.01	1.06	0.94	1.02
Recession	1.00	0.95	0.92	0.85	0.90	0.80
Parking	1.00	1.04	1.16	1.18	1.20	1.05
Change lane	1.00	0.97	1.03	1.02	0.98	0.93

Table 4.47 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 2

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	0.90	1.19	1.16	0.98	1.26
Turn left or right	1.00	1.09	1.28	1.43	1.15	1.23
Turn	1.00	0.96	1.11	1.09	0.92	1.07
Recession	1.00	0.93	1.14	1.16	0.99	1.05
Parking	1.00	1.05	1.03	1.07	1.09	0.98
Change lane	1.00	0.99	0.99	1.04	0.97	0.97

Table 4.48 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 3

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.00	0.98	0.99	0.96	0.93
Turn left or right	1.00	0.96	1.18	1.00	0.99	1.01
Turn	1.00	0.99	0.98	0.92	0.94	0.99
Recession	1.00	1.08	1.01	0.90	1.07	0.93
Parking	1.00	1.09	1.12	1.13	1.01	1.09
Change lane	1.00	1.06	1.05	0.97	0.99	1.01

Table 4.49 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 4

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.00	0.97	1.03	0.95	0.98
Turn left or right	1.00	1.07	1.03	1.07	0.99	0.95
Turn	1.00	1.05	1.06	1.15	1.01	1.04
Recession	1.00	1.25	1.32	1.31	1.19	1.15
Parking	1.00	1.18	1.22	1.17	1.24	1.18
Change lane	1.00	1.04	1.01	1.04	0.97	1.01

Table 4.50 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 5

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	0.84	0.89	0.95	1.07	1.05
Turn left or right	1.00	1.19	1.29	1.12	1.06	1.05
Turn	1.00	1.04	1.17	1.19	1.13	1.14
Recession	1.00	0.97	0.93	1.09	0.94	1.09
Parking	1.00	0.94	1.12	1.20	1.10	1.14
Change lane	1.00	0.96	0.95	1.01	0.93	0.99

Table 4.51 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 6

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	0.94	1.15	1.02	0.92	1.03
Turn left or right	1.00	0.95	1.02	1.00	0.83	0.91
Turn	1.00	1.09	0.95	0.98	1.01	1.09
Recession	1.00	1.07	1.17	1.19	1.09	1.16
Parking	1.00	1.16	1.13	1.26	1.06	1.14
Change lane	1.00	0.98	1.00	1.02	0.96	0.98

Table 4.52 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 7

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	0.96	1.09	1.06	0.96	1.11
Turn left or right	1.00	0.96	1.06	1.11	0.99	1.05
Turn	1.00	1.07	1.02	1.04	0.99	1.03
Recession	1.00	0.97	0.94	0.98	0.88	0.96
Parking	1.00	1.00	1.06	1.09	0.90	1.03
Change lane	1.00	1.00	0.95	1.03	0.91	0.97

Table 4.53 Summary of the path of objective evaluation experimental collaborator 8

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	1.02	0.95	0.99	0.92	0.93
Turn left or right	1.00	1.08	1.15	1.34	1.05	1.12
Turn	1.00	0.89	1.02	0.94	0.88	0.99
Recession	1.00	1.14	1.18	1.21	1.04	1.08
Parking	1.00	1.04	1.01	0.99	1.03	1.16
Change lane	1.00	0.97	0.94	0.98	0.94	0.94

Table 4.54 Summary of objective evaluation results

	A	B	C	D	E	F
Go straight	1.00	0.96	1.01	1.03	0.95	1.04
Turn left or right	1.00	1.04	1.12	1.14	1.00	1.04
Turn	1.00	1.02	1.04	1.05	0.98	1.05
Recession	1.00	1.04	1.07	1.08	1.01	1.03
Parking	1.00	1.06	1.11	1.14	1.08	1.10
Change lane	1.00	1.00	0.99	1.01	0.96	0.98

Objective evaluation results

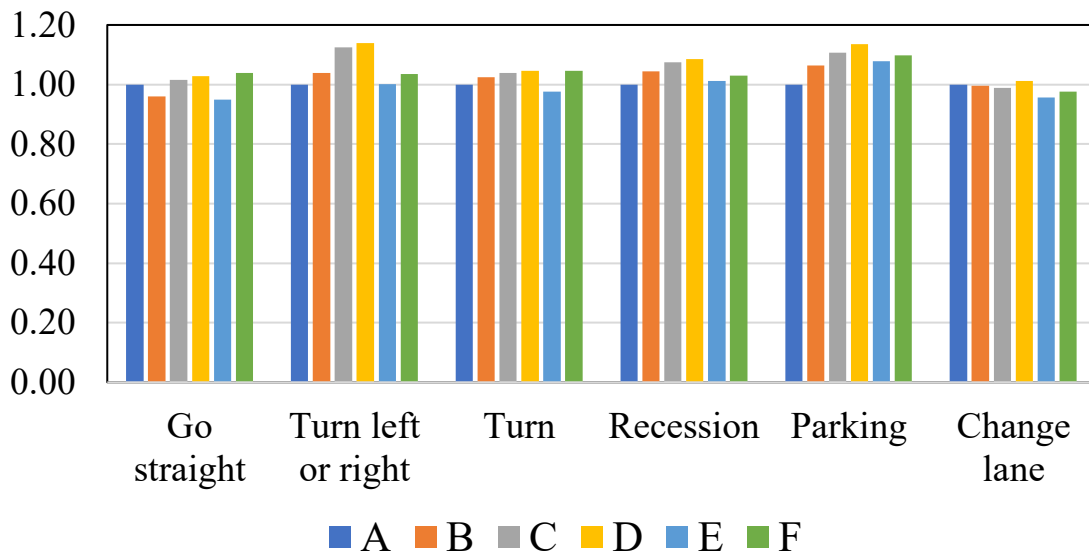


Figure 4.2 Objective evaluation results graph

4.4 実験結果の考察

Table 4.29 示した主観評価結果と Table 4.54 に示した客観評価結果から、直進、右左折、転回、後退の主観評価ではパターン C, D, F の評価が高く、客観評価ではパターン C, D の評価が高く、共通点として俯瞰カメラを含んでいることが挙げられる。駐車の主観評価ではパターン C, E の評価が高く、客観評価ではパターン C, D の評価が高く、共通点として後方カメラもしくは俯瞰カメラを含んでいることが挙げられる。車線変更の主観評価ではパターン E, F の評価が高く、客観評価の差は小さい。共通点として車両の後方に置く前方カメラを含んでいることが挙げられる。

よって、Figure 4.3 に示す従来の三面式モニタのカメラに、Table 4.54 に示すように直進、右左折、転回、後退では俯瞰カメラ、駐車では後方カメラもしくは俯瞰カメラ、車線変更では車両後方に置く前方カメラによるカメラ映像を提示することで、遠隔操作性を向上させることができると確認できた。

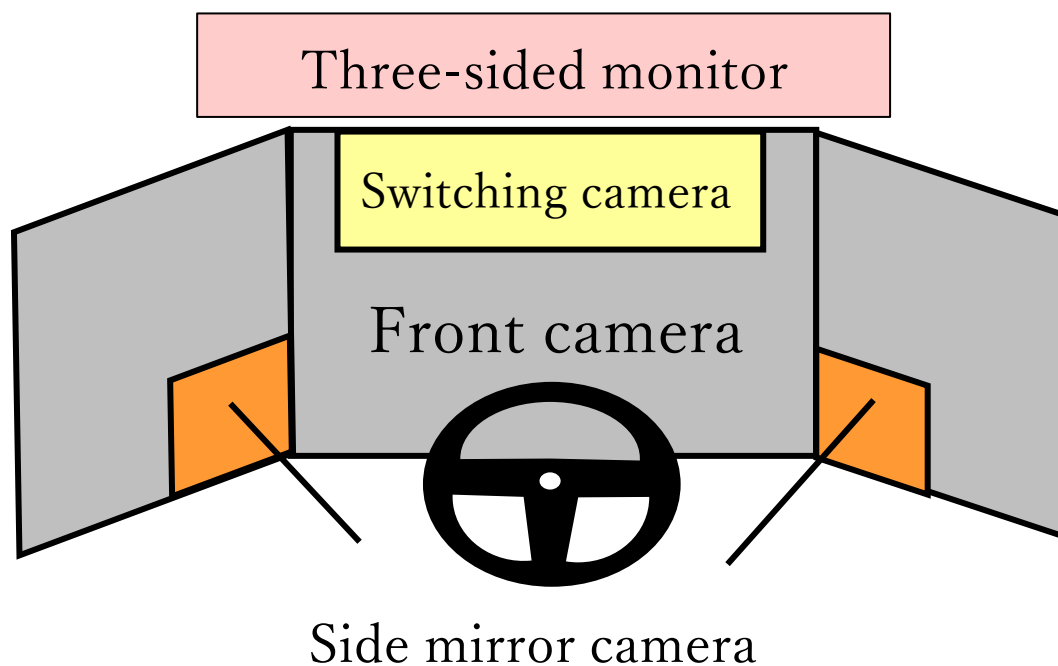


Figure 4.3 Three-sided monitor configuration

Table 4.54 Combination of switching cameras

	Switching camera
Go straight, Turn left or right, Turn, Recession	Bird's-eyes view camera
Parking	Rear camera Bird's-eyes view camera
Change lane	Front camera placed behind the vehicle

第5章

結論

5.1 まとめ

本研究では、自動運転車両の遠隔操作時、どのような車載カメラ配置で遠隔操作者に対して映像提示を行うことで、遠隔操作性を向上するのかを明らかにすることを目的とし研究を行った。そこで、ノートパソコンのシミュレーション環境上で、現実の走行に即した走行環境を構築した。そこに、従来の遠隔操作システムのカメラ配置に置き換わる新たなカメラ配置を提案し、新たなカメラ配置で走行実験を行った。実験を被験者8名で行い、実験協力者の主観評価と走行タイムからの客観評価を行い、各カメラ配置の評価を行った。

その結果、主観評価結果と客観評価結果から、直進、右左折、転回、後退の主観評価ではパターンC, D, Fの評価が高く、客観評価ではパターンC, Dの評価が高く、共通点として俯瞰カメラを含んでいる。駐車の主観評価ではパターンC, Eの評価が高く、客観評価ではパターンC, Dの評価が高く、共通点に後方カメラもしくは俯瞰カメラを含んでいる。車線変更の主観評価ではパターンE, Fの評価が高く、客観評価の差は小さく、共通点として車両の後方に置く前方カメラを含んでいる。よって、従来の三面式モニタのカメラに、直進、右左折、転回、後退では俯瞰カメラ、駐車では後方カメラもしくは俯瞰カメラ、車線変更では車両後方に置く前方カメラによるカメラ映像を提示することで、遠隔操作性を向上させることができると確認できた。

5.2 今後の課題

本研究では、遠隔操作システムの新たなカメラ配置を提案し、シミュレーション環境を構築し走行実験を行った。しかし、自車だけで完結する走行環境であったため、今後は他車が走行する環境を構築し、さらに現実に即した走行環境を構築する必要がある。また、実験装置がノートパソコンに有線の USB 接続で PS4 コントローラを繋いで構成しているが、現実に即した操作機器にするために、ハンドルと足で押すブレーキで実験車両を走行する環境を作る必要がある。これらの今後の課題をこなすことで、さらに正確な実験結果を得ることができると考えている。

参考文献

- [1] 警視庁, 「交通死亡事故の発生状況」, 統計表, 2022, <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/toukeihyo.html>, (最終閲覧日 2022/2/2).
- [2] 大前学, 「高齢化社会における自動運転車の役割」, 日本老年医学会雑, 2018, vol55, no2, pp.178-184.
- [3] 大前学, 「自動車の自動運転技術の概要と課題」, 安全工学 2017, 56 巻 3 号, pp.166-172.
- [4] 五十住巧, 田崎勇一, 永野光, 横小路泰義, 亀岡翔太, 「自動車の遠隔操縦に求められる映像品質に関する実験的評価」, 自動車技術会論文集, 2021, vol52, no3, pp615-620.
- [5] 小倉崇, 「ROS ではじめるロボットプログラミング」, 工学社, 2015.
- [6] 銭飛, 「ROS プログラミング」, 森北出版, 2016.
- [7] 西田健, 森田賢, 岡田浩之, 原祥堯, 山崎公俊, 田向権, 垣内洋平, 大川一也, 齋藤功, 田中良道, 有田裕太, 石田裕太郎, 「実用ロボット開発のための ROS プログラミング」, 森北出版, 2018.
- [8] 上田隆一, 「RaspberryPi で学ぶ ROS ロボット入門」, 日経 BP 社, 2015.
- [9] kuwamai, 「クワマイでもできる クワマイでもわかる xacro でロボットを書く [1]- joint と link」, 2019, <https://kuwamai.hatenablog.com>, (最終閲覧日 2022/2/2) .
- [10] kuwamai, 「クワマイでもできる クワマイでもわかる xacro でロボットを書く [2]- transmission と gazebo」, 2019, <https://kuwamai.hatenablog.com>, (最終閲覧日 2022/2/2) .
- [11] kuwamai, 「クワマイでもできる クワマイでもわかる xacro でロボットを書く [3]- ロボットを GAZEBO に置く」, 2019, <https://kuwamai.hatenablog.com>, (最終閲覧日 2022/2/2) .
- [12] ASH, 「Web カメラ付き移動ロボットの作成」, 2018, <http://joe.ash.jp/program/ros/cbot/index.htm>, (最終閲覧日 2022/2/2) .

-
- [13] 今井啓人, 「自律移動体のための楕円形斥力ポテンシャルによる狭所移動アルゴリズムの有効性検証」, 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 2017 年度修士論文.
- [14] 小出真也, 「ROS を用いた自律移動体の狭所移動アルゴリズムの有効性検証」, 三重大学工学部機械工学科 2015 年度卒業論文.
- [15] 赤松幹之, 小木津武樹, 三輪和久, 八木絵香, 芳賀繁, 篠原一光, 「自動運転が社会的に受け入れられるために」, 日本応用心理学会, 2019, vol45, No2, pp.149-150.
- [16] 水島 知央, 神蔵 貴之, 大前 学, 「遠隔型自動運転システムにおける遠隔操作時の映像遅延が操舵の操作に与える影響の評価」, 自動車技術会論文集, 2019, vol50, no3, pp.970-976.
- [17] 高嶋智, 原田正範, 「無人車両の遠隔操作システム」, 自動車技術会論文集, 2012, vol43, no1, pp135-140.
- [18] 大前学, 小高悠詩, 藤井健太, 清水浩, 「自動車の遠隔操縦における体感情報の欠如や視覚情報の条件が低速運転に与える影響の評価」, 自動車技術会論文集, 2012, vol43, no2, pp649-654.
- [19] 小松簾, 藤井浩光, Alessandro Moro, 山下淳, 浅間一, 「遠隔操作ロボットの俯瞰映像提示システムにおけるカメラ欠損に頑強な画像統合」, 第 20 回ロボティクスシンポジウム公演予稿集, 2015, pp.497-504.
- [20] 小松簾, 藤井浩光, 山下淳, 浅間一, 「カメラ配置設計による故障時に備えたロボット遠隔操作のための俯瞰映像提示システムの開発」, 精密工学会誌, 2015, vol81, no12, pp.1206-1212.

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 小竹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 堤成可助教には研究活動に行き詰った際、的確なご助言を賜り、深く感謝致し、厚く御礼申し上げます。

本研究にあたり、お忙しい中、実験に協力していただいた方に深く感謝しております。厚く御礼申し上げます。

また、同じ自動車関係の研究を行った同期である内山一成氏、土井雅歩氏には本研究を行う上で様々な提案、意見交流をし、共に良い刺激となって研究を行うことができました。厚く御礼申し上げます。

また、研究室での生活を楽しく豊かにして頂いた、修士1年生と4年生の皆様に感謝し、今後のご活躍を期待しております。

そして、研究室生活を忘れる事の出来ない充実したものにして頂いた内山一成氏、岩坂航太氏、加藤健氏、土井雅歩氏、行方優太氏、横田瑞貴氏には心より感謝の意を表します。