
平成 30 年度 修士学位論文

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

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
システム設計研究室

田中 捷

目次

第 1 章 序論.....	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	4
1.3 本論文の構成	4
第 2 章 リスクレベルの定義及び 情報提示のアルゴリズムの説明.....	5
2.1 リスクレベルの定義方法.....	5
2.1.1 ISO/TS16951 について	5
2.1.2 リスクレベルの設計思想	8
2.2 情報提示のアルゴリズム.....	9
2.2.1 危険領域の設定	9
2.2.2 情報提示のアルゴリズム設計方法	11
第 3 章 実験装置と実験環境.....	14
3.1 実験装置の構成.....	14
3.1.1 DS の概要.....	14
3.2 実験環境	18

目次

第4章 実験方法と実験結果	22
4.1 実験方法	22
4.2 アンケート評価項目	24
4.3 実験結果	25
4.3.1 アンケートの評価結果	25
4.3.2 リスクレベルを用いた評価結果	29
4.3.3 複数リスクにおける評価結果	33
第5章 結言	36
5.1 まとめ	36
5.2 今後の課題	37
参考文献	38
謝辞	41

第 1 章 序論

1.1 研究背景

近年、自動車の周辺環境を認識する技術が発達し、交通事故防止やドライバの負担軽減のため様々な先進運転支援システム（Advanced Driving Assistant System :ADAS）が研究・開発されている。例として、車線逸脱防止支援システム(Lane Departure Alert), リア・クロス・トラフィック・アラート(Rear Cross Traffic Alert: RCTA), ブラインドスポットモニタ(Blind spot monitor)などが挙げられる。これらの技術の発達や法令の厳罰化により、日本の交通事故件数および死者数は減少傾向にあるものの平成 29 年の交通事故発生件数は 472,165 件^[1]と依然とし高い水準にある(Fig.1)。すべてのドライバに対しての交通事故を未然に防ぎ、より安全な自動車を実現するために運転支援システム^{[2][3]}や自律走行システム^{[4][5]}の開発が日本をはじめ世界のあらゆるところで近年盛んに行われている。実際に販売される自動車に搭載され実用化されているものとして衝突被害軽減ブレーキやレーンキープアシスト, ACC^{[6][7][8]}などがあるが、それに伴い情報の複雑化が進んでいるという現状がある。実際の運転においては複数のリスクがある状況の連続であり、それに伴う情報提示によりドライバに混乱を与えてしまうとさらに危険な状況になってしまうことが考えられる。このように ADAS とドライバの運転操作の干渉により、車両の安全性やドライバの受容性が低下することも問題視されている^[9]。このように、ADAS の発展にはカメラ, レーダー, 超音波によるセンシング技術の向上だけでなく、人間－機械間の協調性を向上させることも不可欠であると言える^[10]。つまり、より安全な自動車社会を実現するためには、ドライバの受容性にも着目し、安全性と受容性を両立させた ADAS を目指す必要がある。

ドライバの受容性を向上させるために運転支援システムでは、運転支援時の警報発生タイミング^[11]やステアリング操舵支援時の情報共有がドライバに与える受容性を評価する研究^{[12] [13] [14] [15]}やドライバとの親和性を高める障害物回避経路が設計されている^{[16] [17]}。また、交差点右折場面においては情報提示がドライバの注意分配能力に関する研究^{[18] [19]}が行われている。そして望月らはドライバの周辺視野を活用した複数の運転支援情報提示の有効性をドライバの中心視野に加えて、周辺視野を活用したインターフェイスを用いることにより検証し^[20]、石垣らは交差点における二輪車への事故回避支援情報提示の効果を二輪車に対する交差点付近の他車両情報を提示する運転支援システムにより事故低減効果の定量化することにより分析した^[21]。これらの先行研究では複数の運転支援情報提示を行い、ドライバの反応時間の短縮をさせているが、これらの研究では危険なシチュエーションを一つに絞っていたり、すべてのリスクを表示していたりしている。そこで危険度に応じた情報提示手法が必要だと考えた。

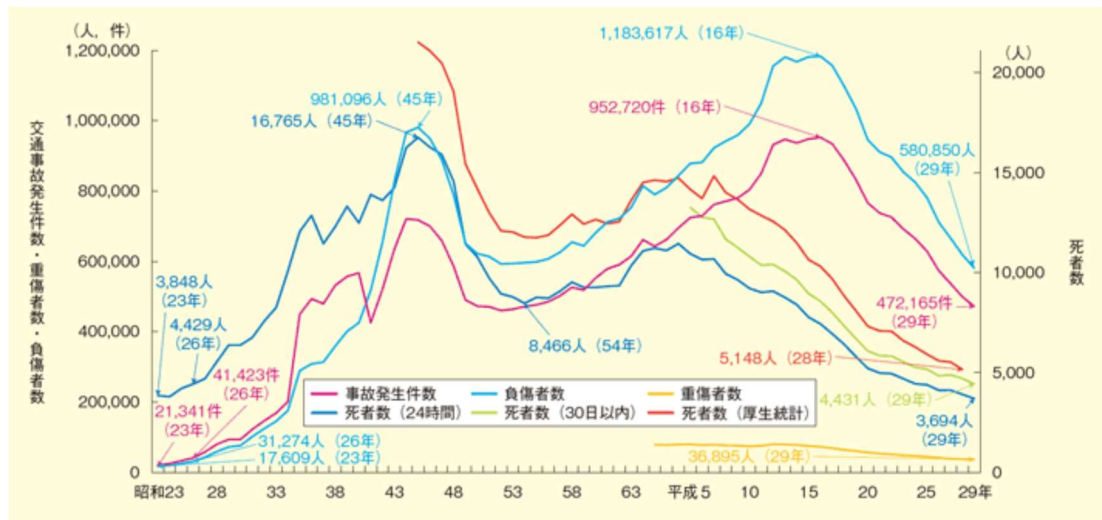


Fig.1 交通事故発生件数，死者数，負傷者数及び重傷者数の推移

1.2 研究目的

運転支援システムの情報提示の内容としては、操作指示とリスク理解表示の2つに大きく分けることができる。操作指示とはシステムの判断した操作を表しており、リスク理解はドライバがリスクを理解して判断する操作を表している。これらが異なるとドライバが混乱してしまい、さらに危険な状態になってしまう可能性がある。そのため危険な状態になる少し前の状況ではリスク理解のみの情報提示を行い、ドライバ自身が回避することが好ましいと考えられる。

そこで危険度に応じた情報提示手法として、複数のリスクが存在する場合にそれぞれの危険度について評価することを提案し、ドライバに周囲環境を理解させる情報提示を行い、安全性・受容性の評価を検証する。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。まず、第2章ではリスクレベルの定義、情報提示のアルゴリズムの説明を行う。次に、第3章では本研究の実験装置や実験環境についての説明を行う。さらに第4章では実験結果を示し、情報提示手法の有効性の検証を行う。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

リスクレベルの定義及び 情報提示のアルゴリズムの説明

複数のリスクが混在する場合、すべてのリスクを一度に表示すると情報量が多くなるという問題がある^[22]。ドライバに提示する情報はひとつずつが好ましいため複数リスクが存在する場合でも情報提示の優先順位を決め、一つに絞る必要がある。本章では、情報提示の優先順位や内容を決める際の基準としたリスクレベルの定義や情報提示のアルゴリズムについて説明する。

2.1 リスクレベルの定義方法

2.1.1 ISO/TS16951 について

ISO/TS16951^[23]とはドライバへの情報提示の優先順位を決定する手順を考察したものであり、こちらによると情報提示の優先度は事故の損傷の可能性と緊急度によって定められる。損傷の可能性とはドライバが情報提示に応答しなかった場合に事故に起因する可能性のある車両・人身傷害のレベルを表しており、ISO による評価表を Table2.1 に示す。また、緊急度は運転者が必要な行動をとらなければならない時間内の情報提示の臨界性を表しており、評価表を Table2.2 に示す。

Table2.1 損傷の可能性の評価表

Rating	Risk to vehicle, occupants and/or pedestrians	Examples
3	Severe or fatal injury	<p>Ignoring speed warning when driving significantly above the speed limit.</p> <p>Collision as a result of loss of braking due to ignoring the brake failure warning.</p> <p>Departing roadway due to ignoring lane departure warning.</p> <p>Collision at high speed.</p> <p>Leaving the roadway, head-on collision and collision with structures at intermediate speed.</p> <p>Following vehicle ahead too closely at high speed.</p>
2	Injury or possible injury	<p>Risk of collision due to following a vehicle ahead too closely at intermediate speed.</p> <p>Vehicle(side)-to-vehicle(side) collision due to ignoring collision warning at intermediate or low speed, vehicle leaving the road, head-on collision and collision with structures at intermediate or low speed.</p>
1	No injury (vehicle damaged)	<p>Vehicle-to-vehicle collision except head-on collision at low speed.</p> <p>Following vehicle ahead too closely at low speed.</p> <p>Collision with structures at low speed.</p>
0	No injury (no vehicle damage)	<p>Vehicle-to-vehicle contact at very low speed.</p> <p>Collision with structures at very low speed.</p>

Table2.2 緊急度の評価表

Rating	Description	Examples
3	Respond immediately Take immediate action or decision (within zero to three seconds) according to the displayed information.	Obstacle immediately in the vehicle path. Brake immediately. Steer to avoid dangerous situations. ACC malfunctioning.
2	Respond within a few seconds Take action or decision according to the information within 3 to 10 seconds .	Obstacle within a few seconds in the vehicle path. Brake in a few seconds. Steer away from danger asrequired.
1	Response preparation Prepare to take action or decision according to the information within 10 seconds to 2 minutes.	Onset of detection of an obstacle.
0	Information only No direct action or decision required by driver	System on.

Table2.1 より損傷の可能性の評価は0から3の4段階あり、値が大きいほど危険であることを示している。評価が3のものは重大または致命的な傷害の可能性があるので例としては高速での衝突、そのまま道路を進むと中速から高速で正面衝突する場合などがある。また、評価が2のものは事故でけがをしてしまう可能性があるもので、例としては先行車に中速で追いつくことによる衝突、警告を無視して車から車に衝突するなどがあり、評価が1のものは低速での事故により車両には損傷があるが負傷はないというレベルである。最後に評価が0のものは非常に低速での事故で車両・人ともに損傷のないレベルである。

次に緊急度の評価表をみる。評価が3のものは危険な状況であるために0～3秒間でドライバが操作をしなければいけない場合であり、評価が2のものは3～10秒の間にド

ライバが操作を行う必要のある障害が発生した場合である。次に、評価が1のもの10秒～2分以内での操作が必要な状況であり、評価が0のものドライバは行動をとる必要もなく、意思決定も必要ないことを示している。

2.1.2 リスクレベルの設計思想

まず、リスクレベルを導入するのは前節で述べたISOの定義があいまいであり、リスク理解と操作指示の情報提示、制御介入のタイミングがISOの評価指標から求められないことや評価指標が2つあり、評価方法が複雑になることからISO/TS16951を参考にして新たにリスクレベルを定義し、評価指標を1つにまとめる。それをTable2.3に示す。

リスクレベルはCからSSまで5段階とし、SSが最も危険な状態である。リスクレベルがCはシステムが衝突の危険がないリスクを発見した状態であり、リスクレベルがBは、Cの際に発見していたリスクに衝突の危険が少し生じた状態である。

次に、リスクレベルがAは対象リスクにある程度の衝突の危険があり、制御支援の介入直前の状態であり、リスクレベルがSの時は対象リスクを余裕をもって回避できる支援が介入する状態である。最後にリスクレベルがSSの時は対象リスクとの衝突回避が限界になった緊急回避支援段階の状態であり、被害軽減ブレーキなどはこの段階に当たる。

本研究の情報提示ではリスクレベルがB～Aの場合に行うものとする。

Table2.3 リスクレベルの評価表

Risk level	System operation	Description
C	No operation	A state where the system has found a risk that there is no danger of collision
B	Display to understand the risks	A situation where the risk of collision occurred slightly to the risk that had been found
A	Display to understand the risks	A situation in which there is a risk of collision to some extent to the target risk Immediately before intervention of control support
S	Display to indicate the operation Control intervention	Intervention support stage that can avoid target risk with margin
SS	Display to indicate the operation Emergency avoidance control	Emergency evasion support stage where collision avoidance with target risk has become the limit

2.2 情報提示のアルゴリズム

2.2.1 危険領域の設定

本研究で用いている交差点は Fig.2.1 のように片側 2 車線の道路を想定しており、右折を考える場合、対向車線や歩道など注意すべき点が多い。その中で対向車や二輪車などの障害物と交差する可能性のある範囲を危険領域とする。本実験では一例として対向車線からの車両、その陰にいる 2 輪車、歩道の自転車を対象として危険領域を設定し、それぞれを Ca_1 (Collision area), Ca_2 と定義する。また、Fig.2.1 は自車の走行軌跡の例と危険領域を表示している。 Ca_1 の x 座標は自車が進入しようとしている車線の左端と交差点中央、進入しようとしている車線の右端と交差点手前の右折レーンの右端をそれぞれ結んだ線と対向車線中央の交点で求める。また y 座標は対向車線の幅で考える。また Ca_2 の x 座標, y 座標はそれぞれ進入しようとしている車線の横断歩道の幅で考える。

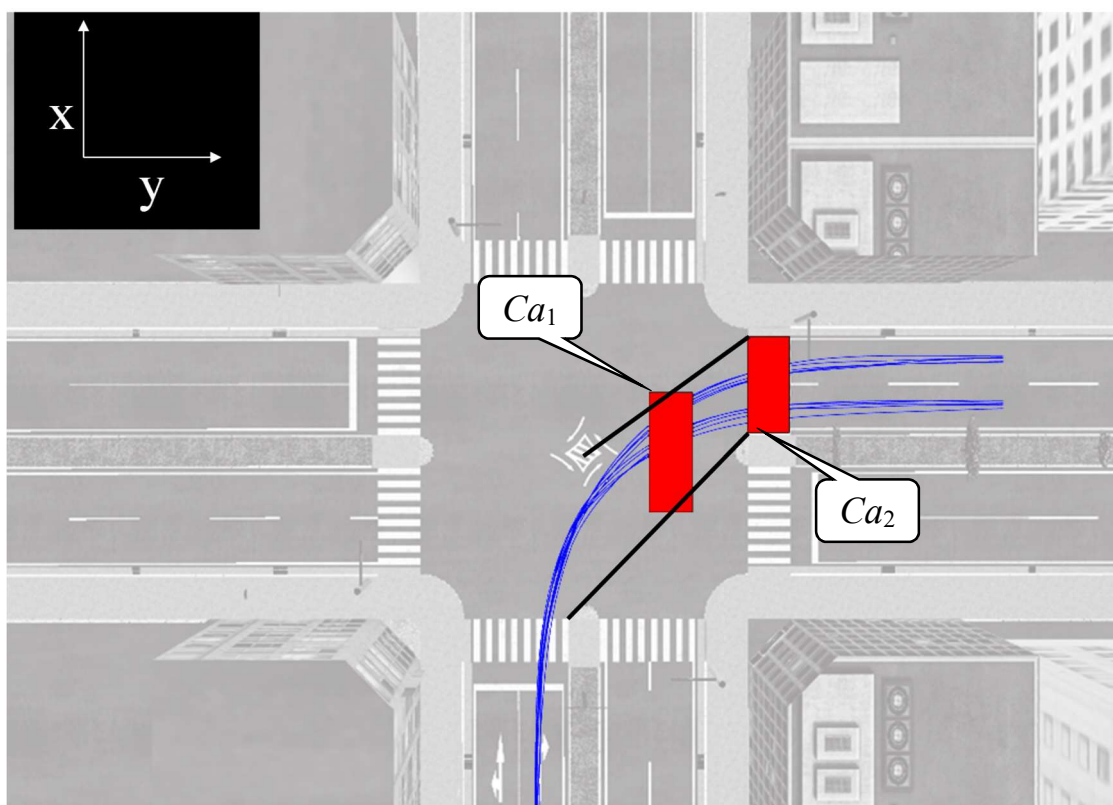


Fig.2.1 交差点での走行軌跡と危険領域

2.2.2 情報提示のアルゴリズム設計方法

今回の実験で用いる情報支援の一例として、自転車接近時の通知を Fig.2.2 に、対向車接近時の通知を Fig.2.3, Fig.2.4 に示す。表示は自車からの向きを考慮した。情報提示は次章で説明する MID に表示する。

対象の接近度合いを後述する危険領域に到達するまでの時間 $TTCa$ (Time To Collision area)の値に応じて 2 種類の表示を使い分ける。交差点中央を原点とし、自車が危険領域に到達するまでの時間を t 、自車の y 方向加速度を a 、 y 方向速度を v_0 、目標 y 座標 (危険領域の y 座標) を y_1 、現在の自車の y 座標を y_0 とした時、リアルタイムで自車が等加速度運動していると仮定し、以下の式で表す。

$$y_1 - y_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

この 2 次方程式を t について解き、 Ca_1 に到達するまでの時間を $TTCa_1$ 、 Ca_2 に到達するまでの時間を $TTCa_2$ とする。また、障害物の Ca_1 、 Ca_2 に到達する時間をそれぞれの領域に近いものから $TTCa_{1_1}$ 、 $TTCa_{2_1}$ と定義する。 $TTCa_1$ 、 $TTCa_2$ が 10 秒以下の時に以下の 2 つの条件分岐を設けた。

$$|TTCa_{1_1} - TTCa_1| < |TTCa_{2_1} - TTCa_2| \quad (2)$$

$$|TTCa_{1_1} - TTCa_1| > |TTCa_{2_1} - TTCa_2| \quad (3)$$

(2)式の時 Ca_1 に対する情報提示を行い、 $TTCa_{1_1}$ の値が 0 秒から 5 秒のときリスクレベルは A に相当し、Fig.2.3 の(A)の情報提示を行う。また、 $TTCa_{1_1}$ の値が 5 秒から 10 秒のときリスクレベルは B に相当し、Fig.2.4 の(B)の情報提示を行う。(3)式の時本実験においては $TTCa_{2_1}$ の値が 5 秒より大きくなることはないためリスクレベルは A に相当し、Fig.2.2 の情報提示を行う。



Fig.2.2 二輪車接近時の情報提示

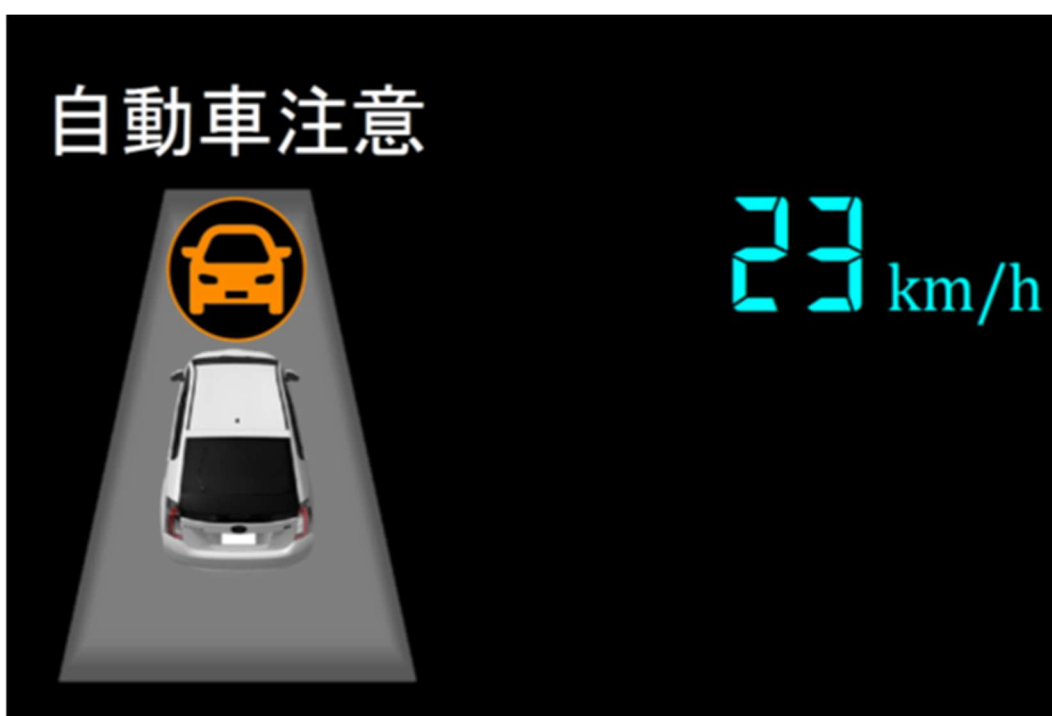


Fig.2.3 自動車接近時の情報提示(A)

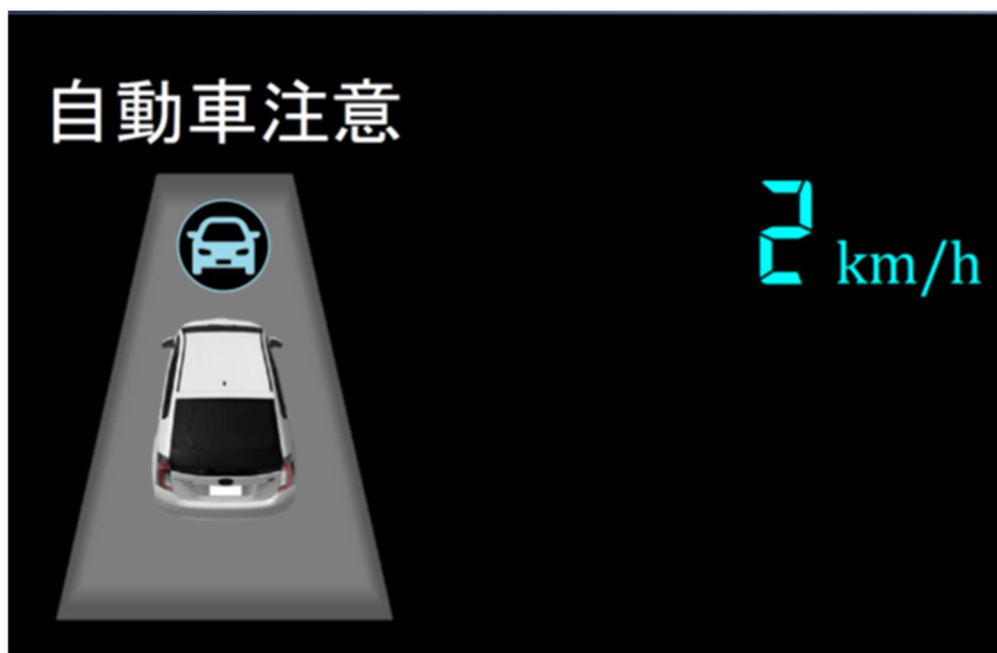


Fig.2.4 自動車接近時の情報提示(B)

第3章 実験装置と実験環境

本研究では、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ー（以下、DS と略す）を用いて実験を行っている。本章では、3.1 節では、DS の構成について、3.2 節では、本研究で使用した実験環境について説明する。

3.1 実験装置の構成

3.1.1 DS の概要

本研究で使用するドライビングシミュレータ（DS）の構成図を Fig.3.1 に、DS の外観を Fig. 3.2 に、実験の様子を Fig.3.3 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・情報提示音出力用スピーカー、スピードメータ・情報提示表示用の小型液晶モニタで構成されている。ステアリングは Thrustmaster 社製の T500RS GT RACING WHEEL を使用している。ここで DS を構成する機材とその用途を Table3.1 に示す。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、スピーカーは運転席前方に設置されエンジン音と情報提示装置からの音声流れる。次に情報提示用小型液晶モニタについて説明する。小型液晶モニタの大きさは 7 インチであり、インパネ部に設置することによって Multi Information Display（以下、MID と略す）とした。また、MID の中央を注視した場合の俯角が約 14.4° になる位置に MID を設置する。被験者と実験装置の位置関係を表した図を Fig.3.4 に示す。

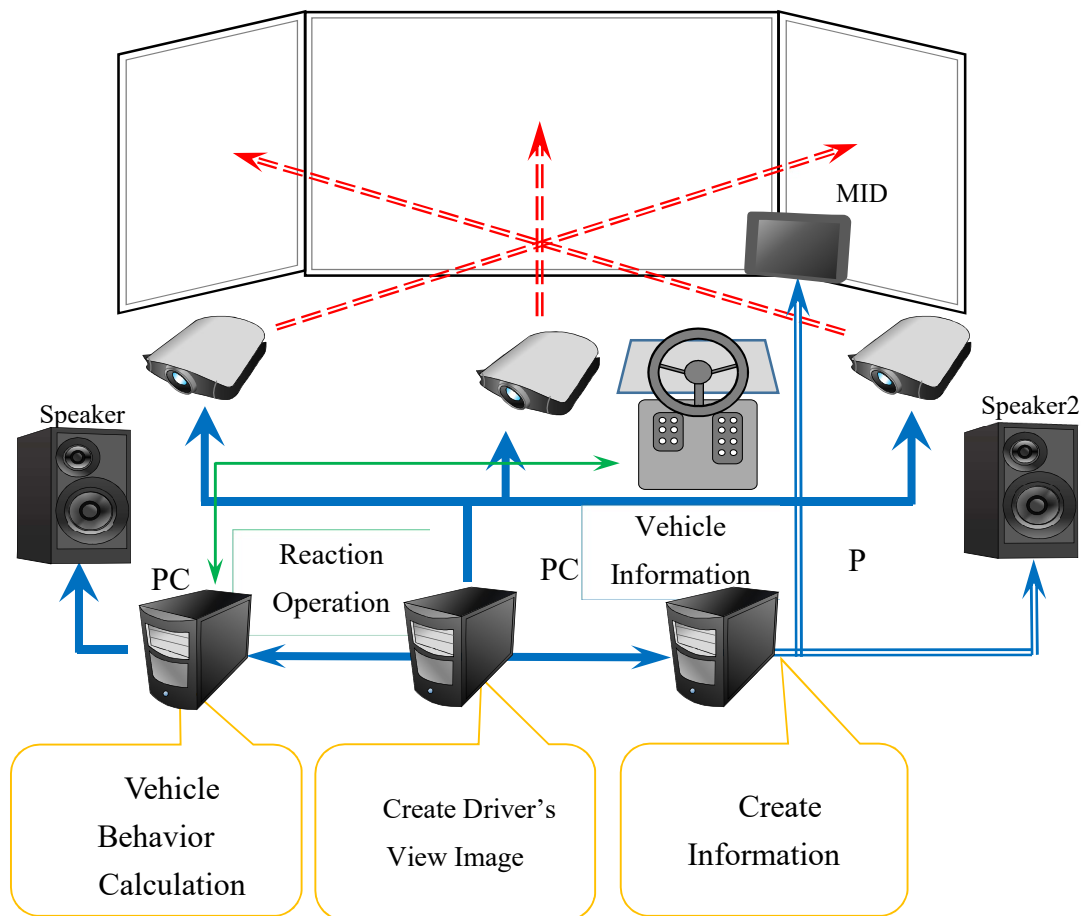


Fig.3.1 DSの構成図

Table3.1 DS の構成

Equipment	Amount	Use
PC	3	Calculate driving behavior and create images
Steering Gas pedal Brake	each 1	Used as cockpit
Screen	3	Be projected front view images
Projector	3	Project front view images
Small monitor	1	Display of information presentation
Memolink	2	Connect each PC
Image distributer	2	Distribute images for screens and small monitors
Speaker	1	Engine and information presentation sound



Fig.3.2 DS の外観



Fig.3.3 DS での実験の様子

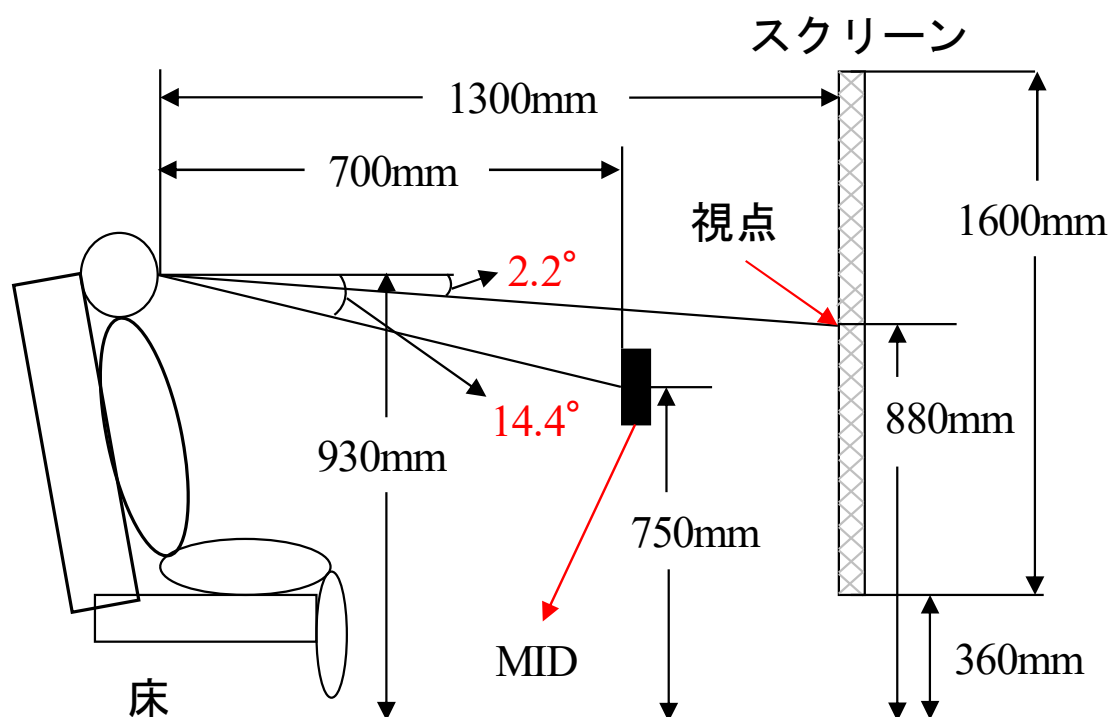


Fig.3.4 被験者と実験装置の位置関係

3.2 実験環境

本研究では、DS を用いて走行実験を行い、交差点右折時におけるドライバの運転情報を収集した。その際、DS 上の市街地を模擬したコースを用意し実験を行った。市街地コースの交差点付近の上空からの映像例を Fig.3.5 に、交差点の映像例を Fig.3.6 から Fig.3.8 に示す。また、Fig.3.8 の運転席から見える映像を Fig.3.9 に示す。市街地コースは Fig.3.5 に示すように 2 本の片側 2 車線の直線道路が交わる交差点で、スタート側の道路の全長は約 400m、進入側の道路の全長は約 200m であり、道幅は 3.5m とする。ドライバは直線道路の追い越し車線 (Fig.3.5①) の交差点手前 100m からスタートし、交差点に進入し、右折操作を行う。この市街地コースには自車のほかに走行車線 (Fig.3.5②) を自動車、バイクが時速 30km/h で走行している。また、対向走行車線 (Fig.3.5③) を情報提示対象となる自動車・バイクのほかにもう 1 組の自動車・バイクが時速 30km/h で走行している。情報提示対象となる自動車・バイクのスタート位置などは次章の実験条件で詳しく説明する。さらに進入側道路走行車線 (Fig.3.5④) を信号で停止する走行車が存在する。最後に交差点内で対向車線の右折待機車が存在する。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 0.8 に設定した。



Fig.3.5 市街地コースの上空からの映像例



Fig.3.6 市街地コースのスタート時の映像例



Fig.3.7 市街地コースの交差点直前の映像例



Fig.3.8 市街地コースの旋回中の映像例



Fig.3.9 運転席からの旋回中の映像例

第 4 章

実験方法と実験結果

4.1 実験方法

本実験は第 3 章で説明した DS を用いて行った，DS での走行に慣れてもらうため被験者には十分走行練習を行ってもらった後，Table4.1 のような条件で実験を行った．交差点中央を原点とし，Table4.1 の対向車の値は自車が交差点手前 20m に到達したときにスタートする x 座標を表しており，30km/h で走行する．また，横断歩道上の二輪車は自車の y 座標が-1.0m より大きい時に自車がアクセルを踏んだ場合に x 座標が-8.0m から 10km/h でスタートする．被験者は計 12 回走行し，それぞれの終わりにアンケートを記入してもらった．また，Fig.4.1 は交差点における他車両の情報を示している．

Table4.1 他車両の実験条件

	Oncoming vehicle[m]	Oncoming bike[m]	Bicycle on crosswalk
Pattern 1	80	90	Exist
Pattern 2	130	140	None
Pattern 3	105	115	None
Pattern 4	55	65	None
Pattern 5	130	140	Exist
Pattern 6	80	90	None
Pattern 7	105	115	None
Pattern 8	55	65	Exist
Pattern 9	80	90	None
Pattern 10	130	140	None
Pattern 11	55	65	None
Pattern 12	105	115	Exist

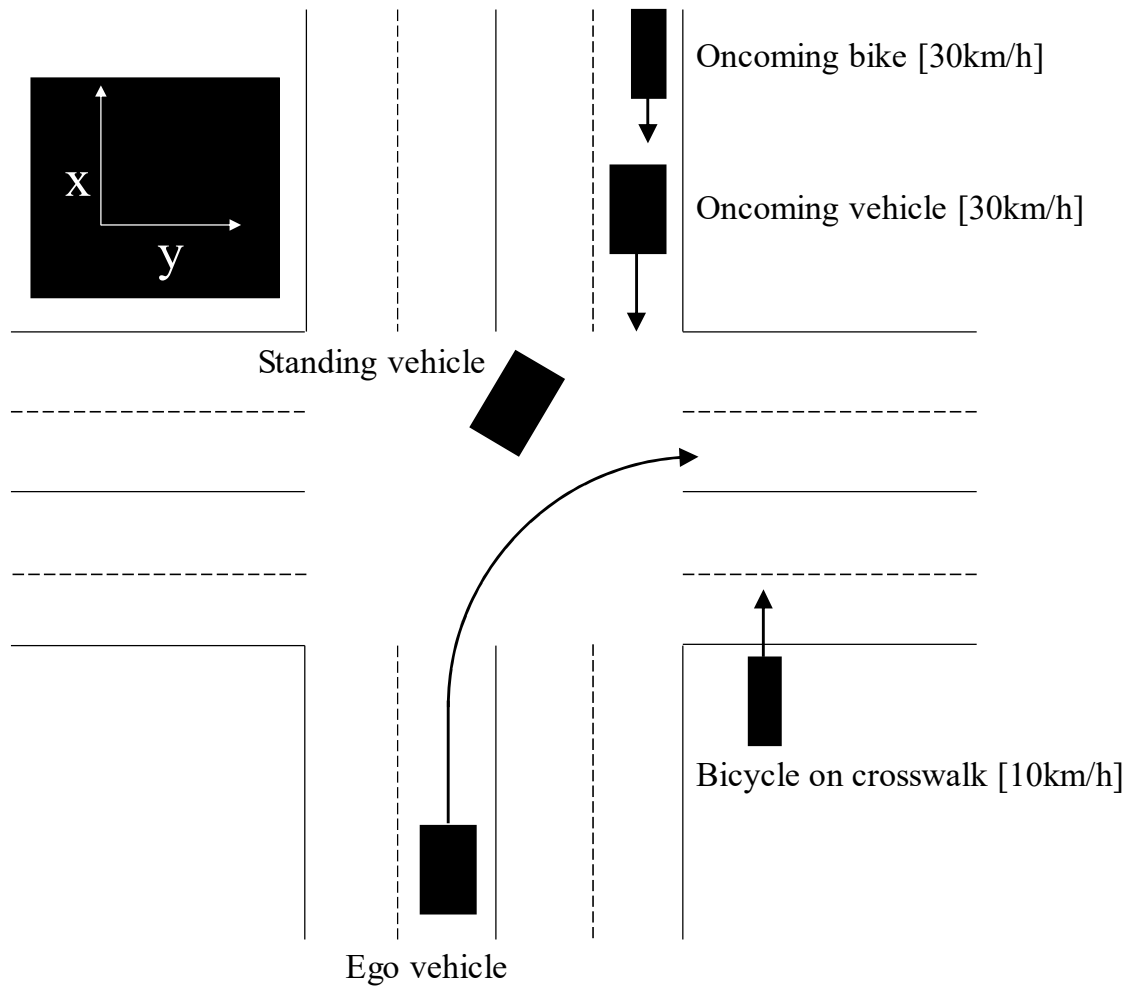


Fig.4.1 交差点における他車両情報

4.2 アンケート評価項目

本実験では、1回の走行実験を行う度に、被験者には以下の主観評価項目について回答を行ってもらった。主観評価項目は以下のAからHまでの8項目ある。評価項目は全て絶対評価であり、Bは(-1, 1)の2段階、それ以外は(-1, 0, 1)の3段階で回答してもらった。実験の被験者は20代の男性5名である。アンケートの質問事項を以下に示す。

質問事項

- A) 情報提示によって周囲の環境が理解できたか
-1 ; 理解しにくい 0 ; 普通 1 ; 理解できた
- B) 情報提示により操作した方がいい内容が分かったか
-1 ; 分からなかった 1 ; 分かった
- C) 情報提示によって操作のタイミングが早くなったと思うか
-1 ; 遅くなった 0 ; 変わらない 1 ; 早くなった
- D) 今回のような車両接近状況の時に、この情報提示の内容で十分か
-1 ; 緊迫感が足りない 0 ; 良いと思う 1 ; やりすぎ
- E) 音声とディスプレイの情報提示はどちらが良いか
-1 ; 音声 0 ; どちらでもない 1 ; ディスプレイ
- F) ディスプレイの情報提示の切り替えりや量は適切だと思うか
-1 ; 少ない 0 ; 適切 1 ; 多い
- G) 情報提示にわずらわしさはあるか
-1 ; ディスプレイがわずらわしい 0 ; ない 1 ; 音声がわずらわしい
- H) この情報提示による支援を安全面において良いと思うか
-1 ; 良いと思わない 0 ; どちらとも思わない 1 ; 良いと思う

4.3 実験結果

4.3.1 アンケートの評価結果

次に被験者 5 人のアンケートの結果を Table4.2 から Table4.6 に示す。また、5 人の被験者の実験番号ごとの平均値を Table4.7 に示す。Table4.7 の赤い文字は評価が高いもの、青い文字は評価が低いものを表している。これらの結果を用いてドライバの受容性と情報提示の有効性の検証を行っていく。また、評価項目 E は被験者 5 人の全試行 60 回のうち 51 回で音声の情報提示の方がいい評価であった。しかし音声による情報提示だけでは情報伝達できる内容が限られるため音声とディスプレイによる情報提示が好ましいと考えられる。次に評価項目 F を見ると全試行 60 回のうち 51 回で適切であるという評価であったため 1 回の情報提示の量は本実験のもので適切であったと示された。

Table4.2 被験者 A の評価結果

	A	B	C	D	E	F	G	H
Pattern1	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern2	1	1	-1	1	-1	0	0	0
Pattern3	1	1	0	1	-1	0	0	0
Pattern4	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern5	-1	-1	-1	1	0	0	0	-1
Pattern6	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern7	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern8	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern9	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern10	-1	-1	-1	1	-1	0	0	-1
Pattern11	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern12	1	1	1	0	-1	0	0	1

Table4.3 被験者 B の評価結果

	A	B	C	D	E	F	G	H
Pattern1	-1	1	-1	-1	-1	0	0	-1
Pattern2	-1	-1	0	0	-1	0	0	-1
Pattern3	1	1	0	1	1	0	0	1
Pattern4	-1	1	0	1	0	0	0	-1
Pattern5	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern6	1	1	1	-1	1	1	-1	-1
Pattern7	-1	-1	0	1	-1	1	-1	-1
Pattern8	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern9	-1	-1	0	1	-1	1	-1	-1
Pattern10	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1
Pattern11	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1
Pattern12	1	1	-1	-1	-1	1	-1	0

Table4.4 被験者 C の評価結果

	A	B	C	D	E	F	G	H
Pattern1	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern2	0	-1	-1	1	0	0	0	-1
Pattern3	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern4	0	1	0	0	0	0	0	1
Pattern5	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern6	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern7	0	1	0	0	-1	0	0	0
Pattern8	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern9	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern10	0	1	-1	1	0	0	0	-1
Pattern11	1	1	0	0	-1	0	0	0
Pattern12	1	1	1	1	-1	0	0	1

Table4.5 被験者 D の評価結果

	A	B	C	D	E	F	G	H
Pattern1	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern2	-1	-1	0	0	-1	0	0	1
Pattern3	-1	-1	0	0	-1	0	0	1
Pattern4	-1	-1	0	0	-1	-1	0	-1
Pattern5	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	-1
Pattern6	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern7	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern8	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	-1
Pattern9	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern10	-1	-1	0	0	-1	0	0	0
Pattern11	1	1	0	0	-1	0	0	1
Pattern12	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	-1

Table4.6 被験者 E の評価結果

	A	B	C	D	E	F	G	H
Pattern1	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern2	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1
Pattern3	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1
Pattern4	1	1	0	0	-1	0	0	0
Pattern5	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1
Pattern6	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1
Pattern7	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1
Pattern8	1	1	0	1	-1	0	0	1
Pattern9	1	1	1	0	-1	0	0	1
Pattern10	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1
Pattern11	-1	-1	0	-1	-1	0	0	-1
Pattern12	-1	-1	-1	1	-1	0	1	-1

Table4.7 被験者の評価結果の平均値

	A	B	C	D	E	F	G	H
Pattern1	0.6	1.0	0.6	-0.2	-1.0	0.0	0.0	0.6
Pattern2	-0.4	-0.6	-0.6	0.6	-0.8	0.0	0.2	-0.4
Pattern3	0.2	0.2	0.0	0.6	-0.6	0.0	0.2	0.4
Pattern4	0.0	0.6	0.0	0.2	-0.6	-0.2	0.0	0.0
Pattern5	-0.2	-0.2	-0.4	0.4	-0.8	-0.2	0.2	-0.2
Pattern6	0.6	0.6	0.2	0.0	-0.6	0.2	0.0	0.2
Pattern7	0.0	0.2	-0.2	0.4	-1.0	0.2	0.0	0.0
Pattern8	0.6	0.6	0.8	0.0	-1.0	-0.2	0.0	0.6
Pattern9	0.6	0.6	0.4	0.2	-1.0	0.2	-0.2	0.6
Pattern10	-0.8	-0.6	-0.8	0.8	-0.4	0.2	0.4	-0.8
Pattern11	0.2	0.2	-0.2	-0.2	-0.8	0.0	-0.2	0.0
Pattern12	0.2	0.2	0.2	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0

4.3.2 リスクレベルを用いた評価結果

まず、情報提示が初めて出たときの $TTCa_1$, $TTCa_{1_1}$ のグラフを Fig.4.2 に示す。凡例はスタート時の対向車の x 座標を表している。Fig.4.2 を見ると対向車のスタート位置が 55m のときは全ての場合において初めて情報提示が出たときの $TTCa_{1_1}$ の値が 5 秒より小さいためリスクレベルが A に相当し、Fig.2.3 の情報提示が行われる。次に、情報提示の切り替わりの有無とアンケート評価項目の A, H の被験者全員をまとめた結果を Table4.8 に示す。情報提示の切り替わりとは初めて情報提示の出ている間にリスクレベルが変化し、情報提示の内容が変わったことを表している、Table4.8 の切り替えの値が 1 の時は初めて情報提示が行われたときに対向車のリスクレベルが A に相当していた時である。また、0 は初めて情報提示されている間にドライバにとって認識可能なリスクレベルが B から A に移行したため情報提示が切り替わったものである。最後に -1 は、リスクレベルが B の時に情報提示が行われたもので、A に移行する前に情報提示が行われなくなったものを表している。また、情報提示の切り替えが行われたものは自車のスタート位置が 80m と 105m のときがあり、ドライバの運転の特徴が現れたものである。

次に、Table4.8 の値を情報提示の切り替わりの値によって Fig.4.3, Fig.4.4, Fig.4.5 を作成する。Fig.4.3 から Fig.4.5 を見ると情報提示の切り替えが行われたものの評価が高くなっており、情報提示の切り替えが有効であることが分かった。また、情報提示の切り替わったタイミングとドライバの想定した対向車が来るまでの時間が一致していたことが示された。

最後に、情報提示の切り替えとアンケート評価項目 G の関係をグラフにしたものを Fig.4.6 に示す。これを見ると多くの場合において（全試行 60 回のうち 47 回）わずらわしさはないという評価になったが、被験者によってはリスクレベルが B（リスクが低い場合）のときには音声による情報提示がわずらわしいという評価も見られた。

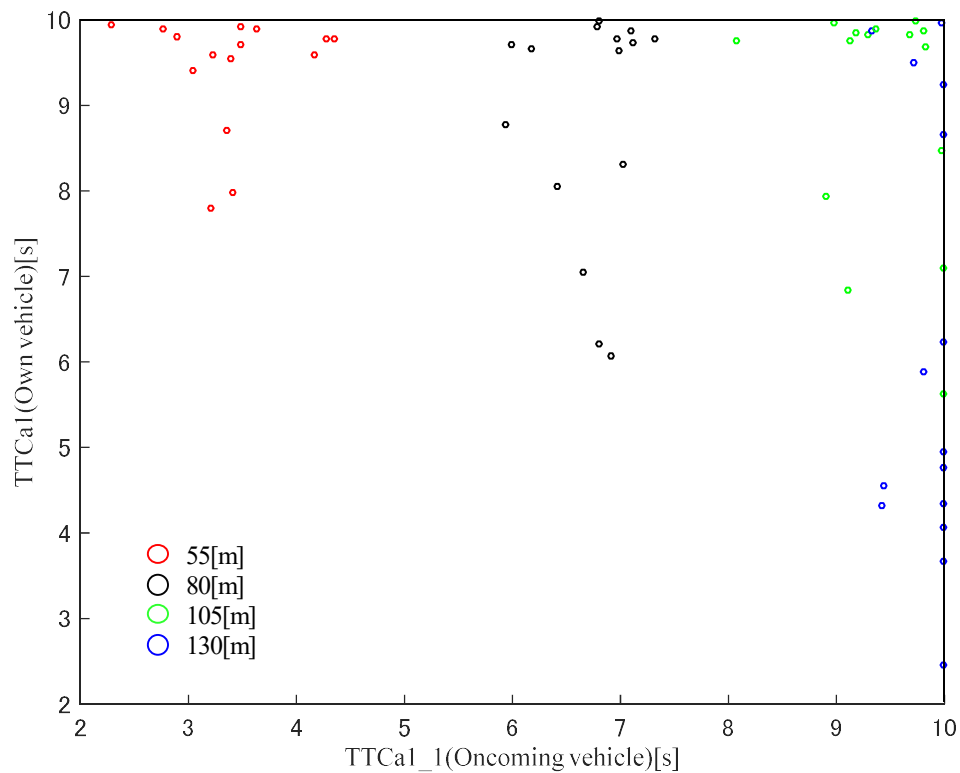


Fig.4.2 初めての情報提示が出たときの TTCa の関係

Table4.8 情報提示の切り替えとアンケート評価の関係

Switching		-1			0			1		
		Evaluation H								
		-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
Evaluation A	-1	11	1	1	5	0	1	5	0	0
	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1
	1	0	1	3	1	2	16	0	2	7

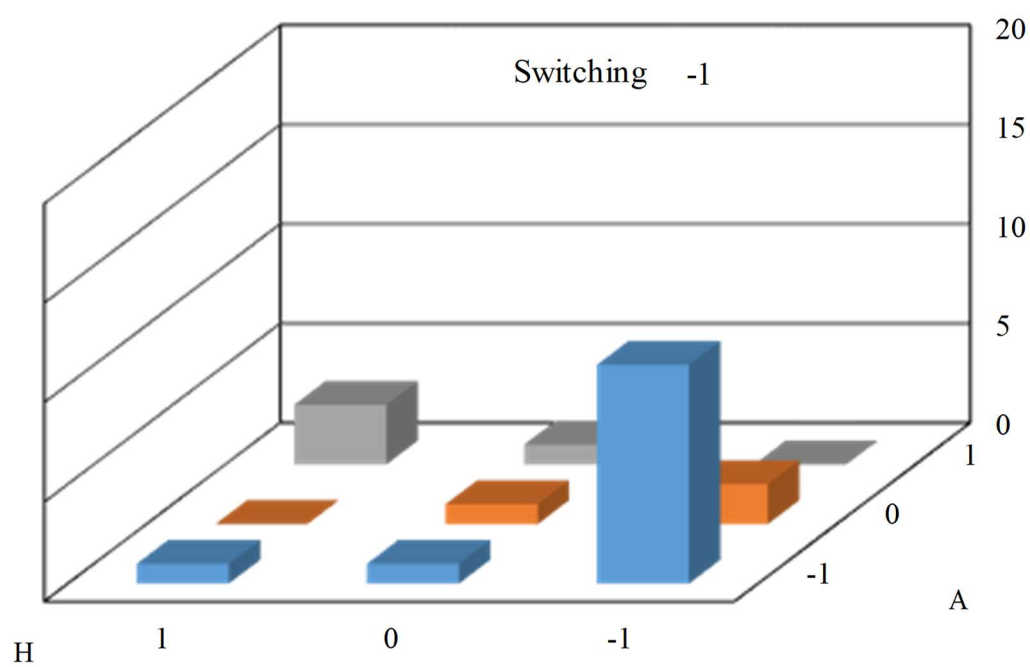


Fig.4.3 リスクレベルが B 時の情報提示のアンケート評価

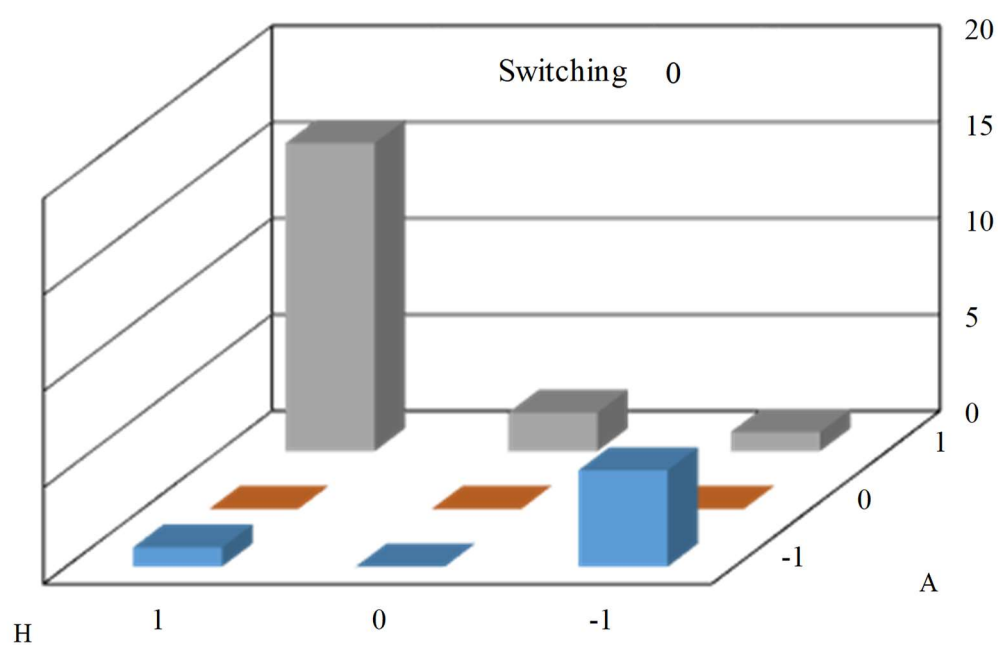


Fig.4.4 リスクレベルが B から A の移行時のアンケート評価

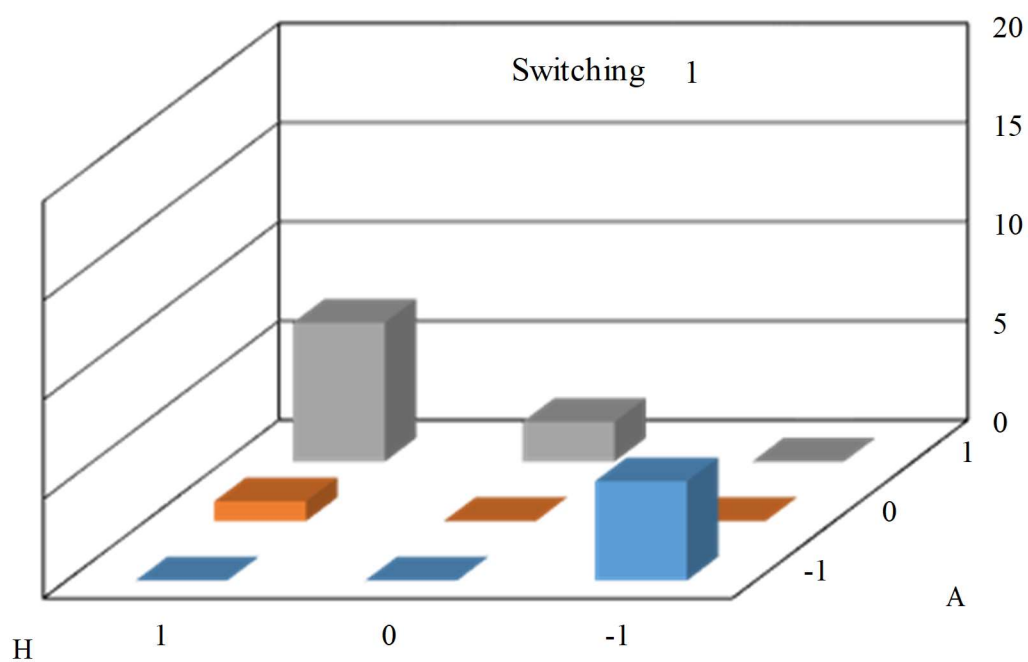


Fig.4.5 リスクレベルが A 時の情報提示のアンケート評価

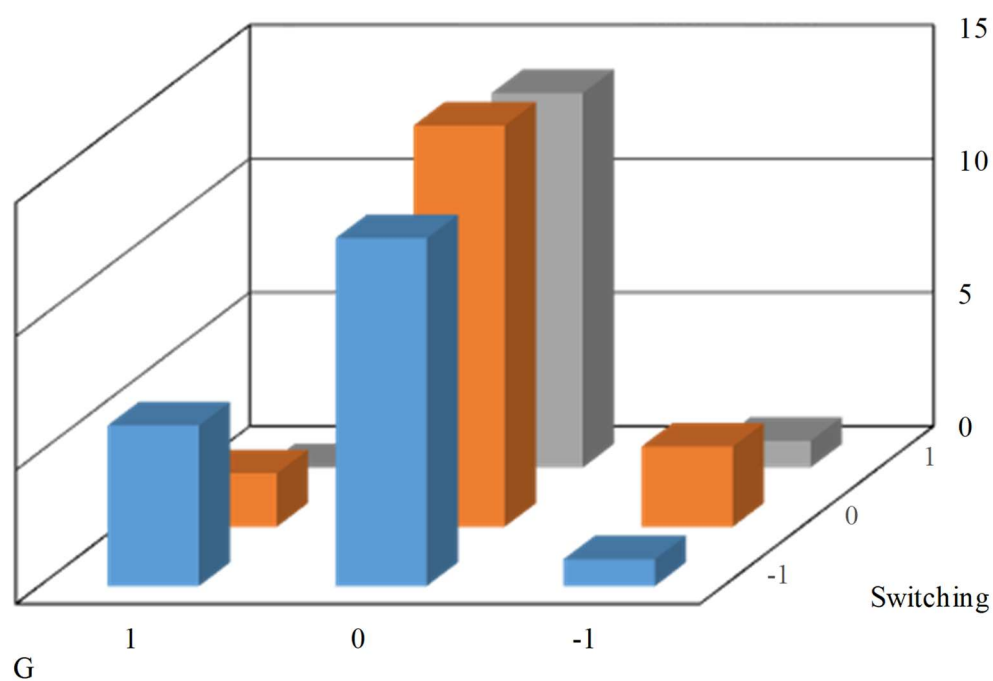


Fig.4.6 情報提示の切り替えとわずらわしさの評価

4.3.3 複数リスクにおける評価結果

本実験では交差点右折終了後の横断歩道上の自転車の有無によって対向車と自転車、対向車のみと複数リスクが存在する場合と単一リスクの場合がある。そこで複数リスクの存在する場合と単一リスクの場合における環境理解と情報提示の度合いに関するアンケート結果をそれぞれ Fig.4.6, Fig.4.7 に示す。Fig.4.7 は単一リスクにおける評価を表しているが、複数リスクにおける情報提示の妥当性を確かめるため、単一リスクでさらに情報提示の切り替えが行われたときの評価を Fig.4.8 に示す。Fig.4.6 と Fig.4.8 を見ると A, D の評価がともに高くなっている。また、複数リスクと単一リスクのグラフを見比べると形状が似ていることがわかる。このことから情報の量が増えても情報提示の順番やタイミングをリスクレベルを考慮して設定すれば主観評価が高くなり、単一リスクの場合比較しても情報量が適切であったと示すことができた。

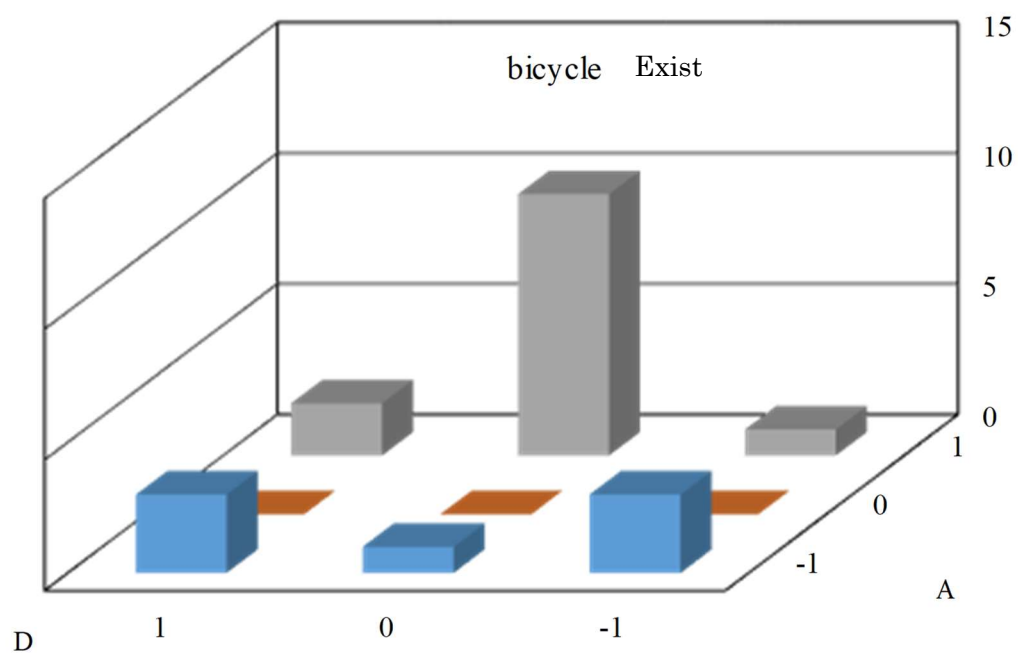


Fig.4.6 複数リスクにおけるアンケート結果

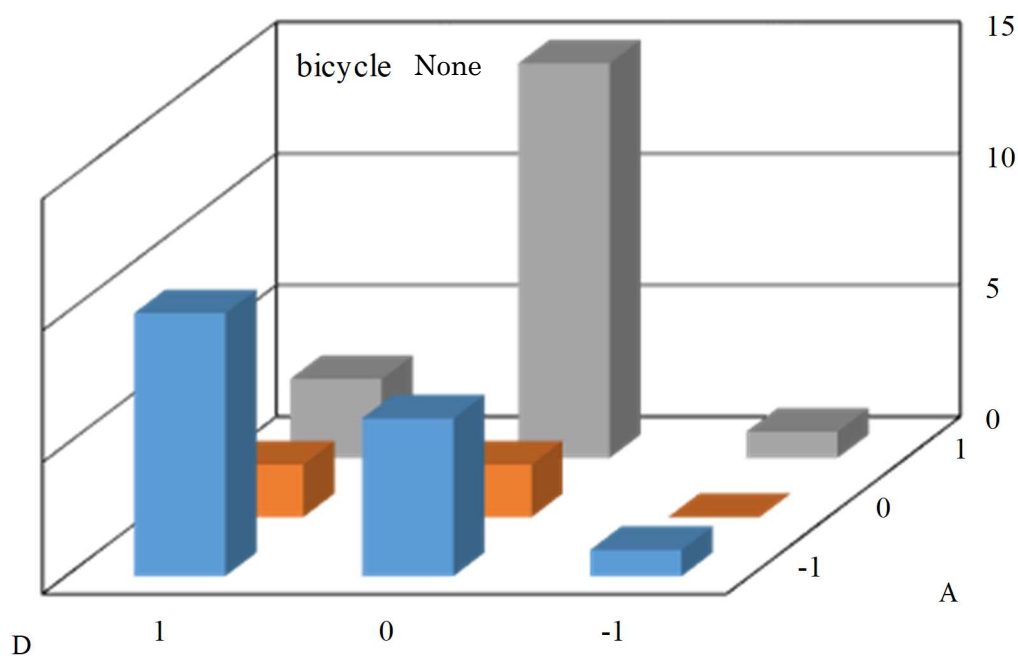


Fig.4.7 単一リスクにおけるアンケート結果

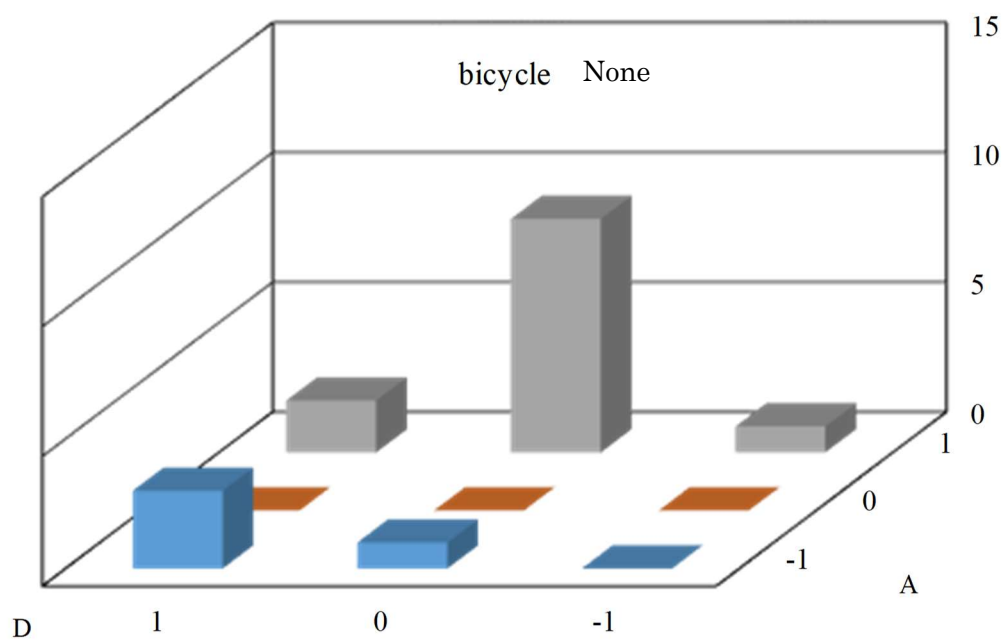


Fig.4.8 単一リスクにおけるアンケート結果（情報提示の切り替えあり）

第5章

結言

5.1 まとめ

本研究では、リスクに応じた情報提示手法として、複数のリスクが存在する場合にそれぞれの危険度について評価することを提案し、ドライバに周囲環境を理解するための情報提示を行い、受容性の評価を検証することを目的とした。情報提示の優先順位や情報提示、制御介入のタイミングを決めるために新たにリスクレベルを定義した。

本実験はドライビングシミュレータを用いた交差点右折タスクを対象とし、対向車線からの車両、その陰にいる二輪車、歩道の自転車を対象として危険領域を設定し、到達するまでの時間で情報提示内容を決定し、実験を行い、その後アンケート調査を行った。

その結果、情報提示の切り替わりがあったものが切り替わりのなかったものに対して環境理解、安全面における評価が高くなった。このことから情報提示の切り替わりが有効であることと情報提示の切り替わったタイミングとドライバの想定した時間が一致していたことが明らかになった。

また、対向車と歩道の自転車の有無による複数リスクと単一リスクにおける評価結果の比較を行った結果、情報の量が増えても情報提示の順番やタイミングをリスクレベルを考慮して設定すれば主観評価が高くなり、単一リスクの場合と比べても大差ないことが分かった。

以上のことを踏まえて、リスクレベルを考慮し、タイミングを設定すれば複数リスクのある環境においても情報提示が可能になることを確認した。

5.2 今後の課題

本研究では，危険領域を交差点形状をもとに作成して実験を行い，評価したが，走行環境を変更し，交差点形状が変化した場合においても実験を行う必要がある．また，本実験で情報提示の切り替わりが有効であることと情報提示の切り替わったタイミングとドライバの想定した時間が一致していることを示すことができたが，リスクが低く，情報提示の切り替わらない時の評価がよくなかったことから情報提示する最大の TTC_{a_1} の値の最適値を考察する予定である．最後に，複数リスクのシチュエーションをさらに増やしてドライバの受容性を評価していく．

参考文献

- [1] “道路交通事故の動向”，内閣府「平成 30 年交通安全白書（全文）」 [Online]
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h30kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_1.html
(2019,1,27)
- [2] 稲垣敏之：「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」，第 32 回ヒューマンインタフェース学会研究会「自動車・交通におけるコミュニケーション&インタフェース」(2005)
- [3] 立松淳司：「運転支援システムにおける車と情報通信技術に関する動向」，電子情報通信学会誌，Vol.95， No.8。 pp678-683， 2012
- [4] 岩井純，富沢哲雄，工藤俊亮，村松聡，末廣尚士：「物体の光反射特性を考慮した自由空間モデルに基づく環境地図生成」，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2011，2A1-O03(4) (2011-05-26)
- [5] 佐藤晶則，平井雅尊，富沢哲雄，工藤俊亮，末廣尚士：「四輪車両型自律移動ロボットの特性を考慮したリアルタイムな障害物回避(車輪型/クローラ型移動ロボット)」，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2011，“1P1-K13(1)”-“1P1-K13(4)”，2011-05-26
- [6] 松下純輝，三浦純：「複数道路モデルを用いた道路領域と自己移動量の同時推定」，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2008，2A1-E16(1)-(4)，2008-06-06
- [7] 菅江一平，岩井誠人，笹岡秀一[他]，蔡 晟蔚，佐々木邦彦，堀松哲夫：「車々間通信環境における受信強度特性とレイトレーニングによる解析」，電子情報通信学会技術研究報告．A・P，アンテナ伝播 108(148)，13-16，2008-07-16
- [8] 山田喜一：「自動車の運転支援システムの効果とリスク評価について」，REAJ 誌 2004Vol.26，Na2(通巻 134 号)

-
- [9] Braeuchle, C.: 「Driver influence on active pedestrian protection systems with combined braking and steering」, Proceedings of 2nd International Symposium on Future Active Safety Technology towards Zero-Traffic Accident(FAST-zero'13)TS1-1-6, No.JSAE20134608, pp.1-6 (2013)
- [10] 斉藤裕一: 「人と協調する運転支援技術(交通システムの安全性・信頼性)」, REAJ 誌 Vol.37, No. 5, pp.242-249 (2015)
- [11] 鈴木桂輔・若杉貴志・相場仁: 「車線逸脱警報装置の設計における時間基準の警報発生タイミングの策定手法」, 計測自動制御学論, 38, 6, pp. 567-573 (2002-6)
- [12] 大野宏司, 山本有造, 坂部匡彦, 渡邊一矢: 「ドライバの危険感に基づく危険度表示システムの開発」, 日本機械学会論文集 (C 編), 67(663), pp.212-218 (2001)
- [13] 佐藤稔久, 川嶋弘尚, 大門樹, 池田敦, 木下昌裕: 「狭路走行支援システム使用時における高齢ドライバ特性に関する研究」, 人間工学, 40, 1, pp.1-11 (2004)
- [14] 伊藤太久磨, 志野達弥, 鎌田実: 「予見的制動介入時の情報共有が高齢ドライバの受容性に与える効果の検証」, 学術講演会前刷集, pp.1-4 (2014)
- [15] 志野達弥, 伊藤太久磨, 鎌田実: 「予見的操舵介入時の動作状態と走行経路に関する情報共有が受容性に与える効果の検証」, 学術講演会前刷集, pp.5-8 (2014)
- [16] 西羅光, 高木良貴, 出口欣高: 「ドライバーとの協調制御のための回避経路算出手法の研究」, 第 10 回計測自動制御学会制御部門大会予稿集, 164-2-1 (2010)
- [17] 能登紀泰, 奥田裕之, 田崎勇一, 鈴木達也: 「個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御」, 自動車技術会秋季大会学術講演会前刷集, pp.11-14 (2011)
- [18] 石橋基範, 山下諒, 影山一郎: 「交差点右折場面を想定した注意力分配能力に関するパフォーマンスの研究」, 自動車技術会論文集, No.4, pp.825-831 (2018)
- [19] 齋藤創, 内田信行, 佃駿甫, 永井正夫: 「交差点右折時における操舵支援がドライバの注視行動に及ぼす影響」, 自動車技術会春季大会学術講演会予稿集, 20185273, No.60-18, pp.1-5 (2018)
-

-
- [20] 望月誠, 鈴木佳輔:「ドライバの周辺視野を活用した複数の運転支援情報提示の有効性」, 自動車技術会論文集 45(6), pp1123-1128, (2014)
- [21] 石垣貴裕, 森大悟, 野原真理子, 鈴木佳輔:「交差点における二輪車への事故回避支援情報提示の効果分析」, 交通・物流部門大会講演論文集, 2016.25(0), 1309 (2016)
- [22] 榎本恵, 関根道昭, 森田和元, 田中健次:「ヘッドアップディスプレイを想定した重畳表示における情報の表示数と位置が安全運転に与える影響(第 1 報)」, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.2, pp.515-521(2016)
- [23] International organization for standardization(2004)ISO/TS16951:2004, Road vehicles--Ergonomic aspects of transport information and control systems (TICS)--Procedures for determining priority of on-board messages presented to drivers

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 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 早川聡一郎准教授には研究の方針など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。

さらに，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。

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，深く感謝いたします。

本研究にあたり，ともに実験を行った，平田拓也氏，吉井明宏氏，平井翔大氏に深く感謝しております。厚く御礼申し上げます。

また，同期の近藤伸哉氏，多氣淳史氏，戸田雄也氏，羽柴洋太氏，巴洪強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。

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

最後に，大学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陰で充実した素晴らしい勉強・研究生活を送ることができました。感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。

