

高齢ドライバの認知身体特性と運転行動が自動車
事故に及ぼす影響に関する研究

米川 隆

目 次

第1章 緒 論	1
1.1 はじめに	1
1.2 目的	4
1.3 従来の研究	4
1.4 論文の概要と全体構成	10
1.5 高齢ドライバの事故の特徴	17
第2章 高性能ドライビングシミュレータの開発	19
2.1 ドライビングシミュレータ（DS）の必要性と目的	19
2.2 DSの開発目標	21
2.3 DSの構成と性能	24
2.3.1 車両運動模擬装置	24
2.3.2 映像模擬装置	29
2.3.3 運転模擬装置	33
2.4 DSの性能評価	35
2.4.1 DSの試乗時のコメント評価	35
2.4.2 DSにおける減速行動の評価	37
2.4.3 DSでの距離感の評価	39
2.4.4 シミュレータ酔いの評価	41
2.4.5 シミュレータ酔いの改善検討	43
2.5 まとめ	54
第3章 ドライビングシミュレータを用いた追突警報時のドライバの特徴分析	55
3.1 目的	55
3.2 PCSについて	55
3.3 実験方法	57
3.4 実験結果	59
3.4.1 年齢層別脇見時間の比較	59

目 次

3.4.2 年齢層別の警報認知・回避行動の比較	6 1
3.4.3 警報に対する制動回避	6 2
3.4.4 衝突車速低減への影響	6 4
3.5 まとめ	6 5
第4章 ドライビングシミュレータを用いた交差点右折時の事故解析	6 6
4.1 目的	6 6
4.2 実験方法	6 6
4.3 実験結果	6 8
4.3.1 事故形態の解析	6 8
4.3.2 EDR事故データとDS衝突データの比較	7 3
4.3.3 事故要因分析	7 6
4.3.4 運転者の年齢による違いについて	7 9
4.4 まとめ	8 1
第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバ の運転行動解析	8 3
5.1 目的	8 3
5.2 実験方法	8 3
5.3 実験結果	8 9
5.3.1 一時停止行動の解析	8 9
5.3.2 左右確認行動の解析	9 2
5.3.3 交差車両との衝突余裕時間	9 6
5.3.4 交差点見通し距離と衝突余裕時間の関係	10 0
5.3.5 高齢ドライバと衝突余裕時間の関係	10 2
5.4 まとめ	10 4
第6章 運転指導員の路上教習による高齢ドライバの市街地運転行動と身体・認知 機能の関係解析	10 5
6.1 目的	10 5
6.2 実験方法	10 5
6.2.1 被験者	10 5
6.2.2 測定方法	10 6

目 次

6.2.3	解析方法	108
6.3	実験結果	111
6.3.1	指導員の教示内容について	111
6.3.2	運転教示頻度と運転行動の相関について	113
6.3.3	認知機能及び視覚能力と運転教示頻度，運転特性との相関 について	117
6.3.4	CRT 運転適性検査結果と運転教示頻度，運転特性と の相関について	120
6.4	まとめ	123
第7章	ドライブレコーダによる高齢ドライバの運転行動評価の検討	124
7.1	目的	124
7.2	実験方法	124
7.2.1	被験者	124
7.2.2	測定方法	126
7.2.3	解析方法	126
7.3	実験結果	127
7.3.1	一時停止前の制動開始タイミングについて	127
7.3.2	一定の減速度を維持した制動について	129
7.3.3	一時停止交差点における左右確認行動について	130
7.4	考察	133
7.4.1	一時停止時の運転行動評価と認知機能や緊急時反応及び 運転への自信との関係	133
7.5	まとめ	136
第8章	結 論	137
8.1	各章の結果と結論	137
8.2	残された課題	142
	謝 辞	145
	参考文献	146

第1章 緒 論

1.1 はじめに

現在の日本は少子高齢化社会へ向け急激な変化をしている。総務省統計局の報告によると 2016 年 9 月 15 日現在、65 歳以上の高齢者は全人口の 27.3%（女性は 30.1%）であり主要 7 か国で最も高く、毎年記録を更新している。そして、2014 年の総務省統計局の人口統計の将来予測では団塊の世代が 80 歳を超える 2030 年には 31.6%となっている。従って、高齢者を支える色々な活動や支援が必要になってくると考えられる。高齢者の健康寿命を延伸し、社会との関わりを強化するには、高齢者の外出手段の確保が重要になってくる。内閣府の 2015 年の第 8 回高齢者の生活と意識に関する国際比較調査結果の多重回答ありのアンケートによる、60 歳以上の高齢者の外出手段の割合を年齢別に示した図 1-1 を見ると、60-64 歳の外出手段は自分で運転する自動車 67%、徒歩 34%、自転車 26%、バス・路面電車 18%、電車・地下鉄 16%、家族などの運転する自動車 8.0%、タクシー 2.0%、バイク 1.5%となっており、年齢が上昇すると自分で運転する自動車の割合は減少し、65~69 歳で 64%、から 85 歳以上で家族などの運転する自動車が 37%まで上昇し逆転するが、84 歳までは、自分で運転する自動車の割合が多く、80~84 歳で 29%の高齢者が自分の運転する車で外出している。従って高齢者が安全に運転して外出できるように、運転寿命の延伸が必要になる。しかしながら、全体の交通事故は減少してきているにもかかわらず、高齢ドライバーが起こす交通事故はあまり変化せず、高齢ドライバーの事故の比率が増えていると言われている。そこで警察庁交通局が公表している 2016 年交通事故統計から作成した交通事故の第 1 当事者の 60 歳以上の件数と割合の年度別の変化のグラフを図 1-2 に示す。第 1 当事者の交通事故件数はこの 10 年で、43%、36 万件も減少しているにもかかわらず、60 歳以上の高齢ドライバーは 2 万 5 千件 16%しか減少せず、高齢ドライバーの比率は 18.5%から 27.3%に上昇している。従って、高齢ドライバーの事故要因を明らかにして、交通事故を防ぐため

の高齢ドライバを対象とした自動車の運転支援システムの開発や運転教育を含む免許制度などの支援が超高齢化社会に向けた課題となっている。ここで、一般的に高齢者と言われるのは健康保険制度での65～75歳の前期高齢者と75歳以上の後期高齢者と考えられるが、この論文における高齢ドライバは運転適性検査などで運転能力の衰えが始まると言われる60歳以上を対象としている。特に本研究の企業内でのドライビングシミュレータの実験において、70歳以上の被験者の実験が困難であったので、本研究の中での高齢者とは、60歳以上を対象として研究した。

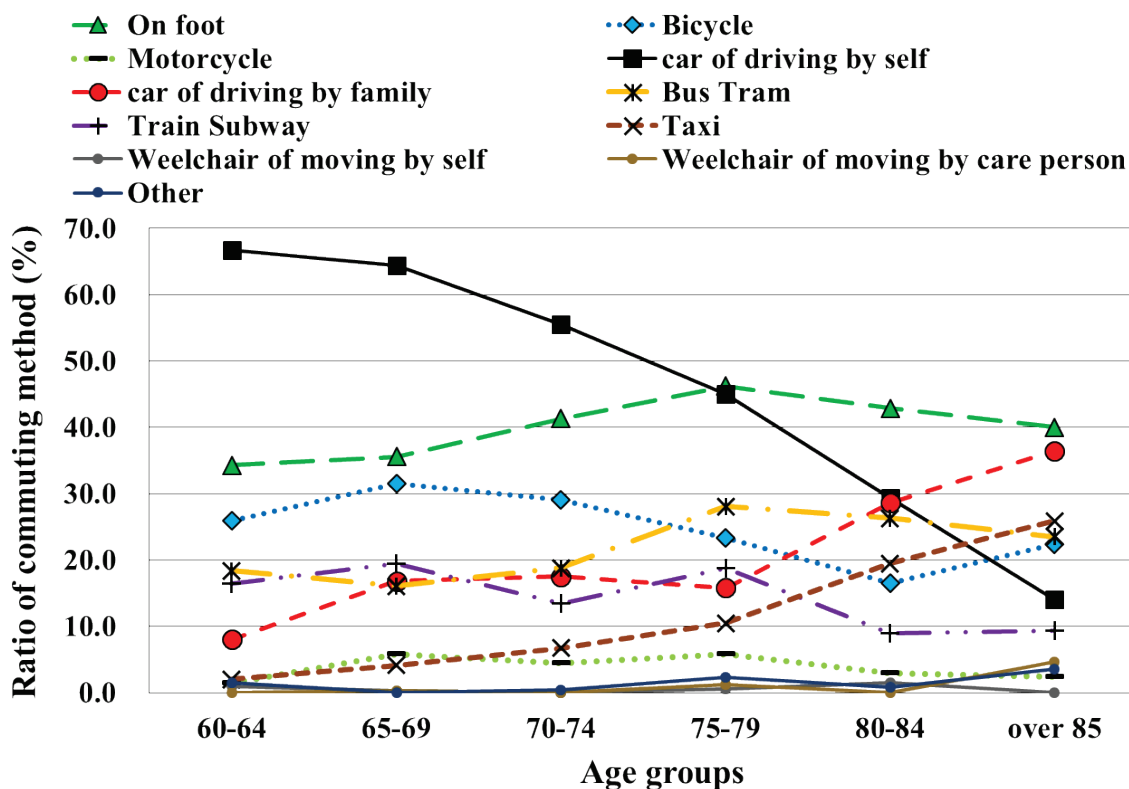


Fig.1-1 Ratio of elderly commuting method by age group

Statistical traffic accident data by National Police Agency (2016)

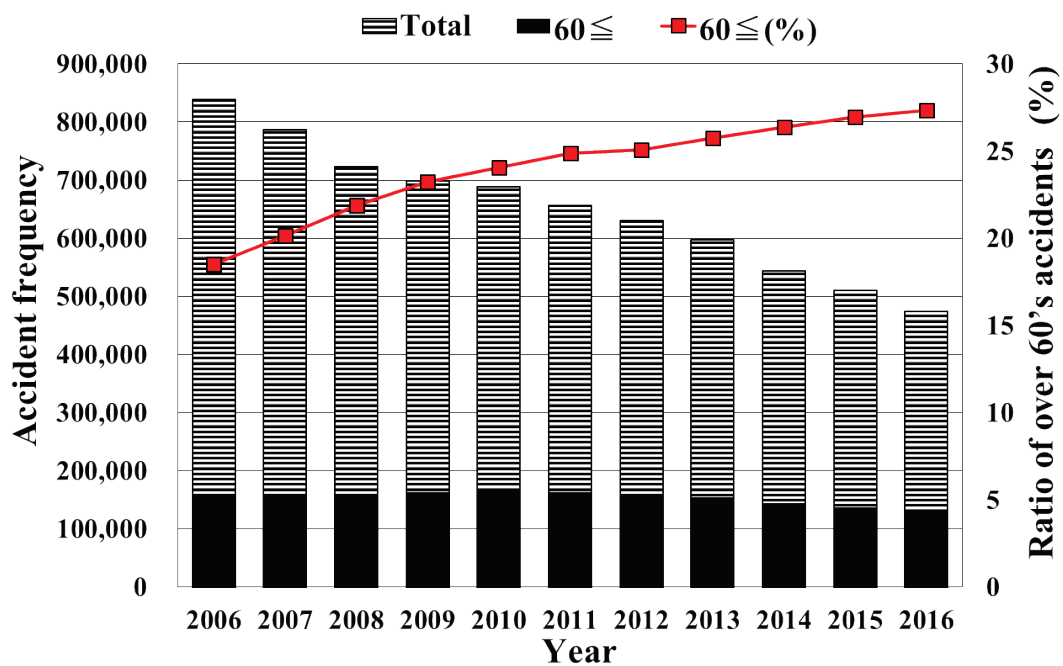


Fig.1-2 Trend of elderly driver's traffic accidents (primary party, 2016)

1.2 目 的

本研究の目的は、高齢ドライバの出会い頭の事故の要因が身体的衰えによる運転能力の低下、もしくは安全運転行動の不足か、を明らかにし両者の関係から起こる事故を防ぐために、高齢ドライバへの運転支援システムや運転行動訓練により、運転寿命の延伸を図るための方法を明らかにすることである。その為に以下の項目について検討する。

- ・高齢ドライバが高齢者特有の事故に至る経緯を解析する為に、市街地路走行において、現実感がありシミュレータ酔いの少ない高性能なドライビングシミュレータ（以下DSと省略）を開発する。
- ・DSを用いて事故の起きやすい交通環境で、高齢ドライバの運転能力と運転行動の事故要因との関係を明らかにする。
- ・高齢ドライバの事故が多い市街地路で、自動車教習所の指導員による高齢ドライバへの指導を行いながら、ドライブレコーダに記録された高齢ドライバの運転行動と認知身体的特性の関係を明らかにする。
- ・高齢ドライバの運転行動をドライブレコーダに記録されたデータで評価する方法を検討し認知身体的特性の関係から、認知身体的衰えをカバーし事故発生確率を低減する運転行動を明らかにする。

1.3 従来の研究

一般ドライバに比べて高齢ドライバの自動車運転における事故が多い事が日本の高齢化社会の問題となっており、高齢ドライバ事故分析のための研究が行われている。高齢ドライバの運転時間や運転頻度と交通事故率の関係を糸田ら⁽⁸⁾は、損害保険会社のデータから、高齢ドライバを含む事故について、走行環境の時間頻度が多いドライバは追突される事故が多いと考え、道路環境別の被追突事故件数を基準として正規化事故率を求めた。その結果、高齢ドライバの事故が多い形態は、信号のない一時停止標識などがある非優先交差点で右折時に左方から直進してきた車両との衝突であり、加齢に伴い複数の安全確認を必要とする場面の事故が多いと分析している。また高齢ドライバの信号のない交差点での走行頻度が相対的に高いことが高齢ドライバの出会い頭事故の多さに繋

がっていると分析している。⁽⁹⁾ しかしながら、事故に至る経緯が統計データからは分析できないので、このような事故形態がなぜ高齢ドライバに多いのかは、明らかになっていない。

高齢ドライバの認知身体能力の衰えによる、事故場面における事故回避能力の低下、もしくは安全運転行動の不足が事故の原因と考えると、ドライビングシミュレータ（以下DSと省略）を用いて、事故場面での高齢ドライバの事故回避行動を調べる実験が有効と考えられる。但し、DSには周辺視野模擬の大きさと車両運動の体感模擬の程度により多くの種類⁽⁵⁰⁾があるが、事故場面での運転行動は運転の臨場感や衝突の怖さなどの現実感を被験者が得られないと事故直前の事故回避操作などを調べるのが難しい。

またシミュレータには乗り物酔いに似たシミュレータ酔いが発生し、高齢者などの被験者が計測中に気分が悪くなり、実験中止になる場合が多くある。飛行機や自動車の乗り物酔いは、視覚、前庭器官、および体性感覚系の入力之感覚不一致説により説明されているが、被験者により酔いの程度が異なり、要因が多くすべてを解明することは難しいと Thomas A. Stoffregen⁽⁵⁴⁾ らは批評している。M. Oman⁽⁵⁵⁾ は制御工学のオブザーバ理論に基づいて乗り物酔い之感覚不一致のモデル化を試みている。しかし、乗り物酔い之感覚不一致とDSにおける視覚、前庭器官、体性感覚系之感覚不一致のモデルは各感覚入力のバランスが異なる可能性はあるが、広義には視覚、前庭器官、および体性感覚系の入力の3つ之感覚不一致と考えられる。

シミュレータ酔いを低減のため、B. Aykent⁽⁵⁶⁾ らは体感加速度を模擬する装置の有無により、画像のみの静的なシミュレータと車両の動きを模擬する動的なシミュレータの酔いを評価し、動的なシミュレータの酔いの低減効果を確認している。浅野⁽²⁶⁾ らは市街地における右左折時のシミュレータ酔いを、運転席を車両のヨー角に合わせてターンテーブルで回転させると、低減できることを確認している。従って、車両の動きを模擬する運動模擬装置がシミュレータ酔いに効果があると考えられる。R. S. Kennedy⁽⁵⁹⁾ らはDSの酔いを評価する16項目の質問指標（SSQ: Simulator Sickness Questionnaire）を開発し、赤松⁽⁶⁰⁾ らはそれを基に「気持ち悪さ」「目の疲れやかすみ」「めまいやフラフラ感」の3項目に集約したSSSQ（Simplified Simulator Sickness Questionnaire）を提案しており、本研究におけるシミュレータ酔いの評価にSSSQを用いている。

J. O. Brooks⁽⁵⁸⁾ らは若者に比べ高齢者は酔いやすく、実験中の酔いによる実験中止判断基準などのシミュレータ酔いへの対応を解説している。従って、シミュレータ酔い

を低減し、交通事故場面などの運転行動を精度良く測定するには、可能な限り忠実に自動車の運転環境を模擬する必要があると考えられる。そこで、米国高速道路交通安全局（NHTSA）はアイオワ大学の L.D. Chen ⁽²⁵⁾ らにより、ドーム内に 360 度の視野角を持ち、実物車両を搭載し、傾斜装置と並進装置で体感加速度を模擬する大規模なドライビングシミュレータ（NADS: National Advanced Driving Simulator）を開発している。そして、Y. E. Papelis ら ⁽⁴⁹⁾ はこの NADS を用いて被験者に事故場面を運転させて、事故時における Electronic Stability Control (ESC) システムの事故低減効果を調べて、NADS が被験者の事故直前における運転行動の解析に有効であることを示している。この NADS の色々な実験の中で、C. Roe らはシミュレータ酔いについて調べて、一般のシミュレータよりも酔いのレベルは低い、通常の減速行動や緩いカーブなどの走行において酔いがあることを明らかにしている。

以上のような参考情報を基に、NADS のシミュレータを参考にして ⁽¹⁾、可能な範囲で、運転環境を忠実に模擬して、制動時の減速度感覚 ⁽²⁾ とシミュレータ酔いを改善した ⁽³¹⁾ ⁽³²⁾ 世界最大級の並進機構を持つ D S を開発した。高齢ドライバが衝突事故に至る過程を計測することが難しいので、高齢ドライバの認知や身体能力の衰え、又は高齢ドライバの不安全運転行動が高齢ドライバの事故要因と考えて、この D S を用いて追突事故時 ⁽³⁾ や信号交差点右直事故時 ⁽⁴⁾ の事故に至る場面の回避行動を調べる実験と一時停止交差点における安全運転行動を調べる実験を行った。

一方事故原因として、一般公道での事故や事故回避運転をドライブレコーダで計測して分析する実験が米国で大規模（3147 名、3 年間）に行われた SHRP 2 Research Program ⁽⁵¹⁾ では若者と高齢者に事故及びニアミスが多いという結果があるが、高齢ドライバの事故原因の分析は行われていない。V. L. Neale ⁽⁶¹⁾ らは 100 台のドライブレコーダで 1 年間で 263 件の事故を含むヒヤリハットのデータを取集したが 55 歳以上の被験者が 10% と少なく、海外では高齢ドライバに絞ったドライブレコーダの実験研究はあまり行われてない。

日本では、高齢化社会のため、高齢ドライバの運転行動からの安全運転行動の評価や解析が行われている。この運転行動の中で高齢ドライバに多いと言われている出会い頭事故について、一時停止交差点に関連した運転行動や運転能力の分析が数多く研究されている。例えば、細川ら ⁽¹⁰⁾ は高齢ドライバ（30 名）と非高齢ドライバ（10 名）の運転する車両に（1 カ月）ドライブレコーダを装着し、運転行動やヒヤリハットを計測し、高

高齢ドライバーは一時停止交差点の通過頻度が多く、5 名の高齢ドライバーは確実な停止や左右確認行動不足によるヒヤリハットが多いと指摘している。さらに続報として⁽¹¹⁾、テストコースの模擬市街路に見通しの悪い反射鏡のある一時停止交差点を模擬して、高齢ドライバー（20 名）の運転行動解析を行い、一時停止での停止位置や反射鏡の確認を含めた左右確認行動が問題と指摘している。不安全行動のパターンなどの分類はされているが一部の一時停止交差点での減速不足の高齢ドライバーの運転行動に問題が限られているため問題点の指摘に終わっている。

森澤ら⁽⁴⁸⁾はドライブレコーダの一時停止の7カ所の場面での速度データの回帰式で、運転指導員の高齢ドライバーの運転評価を推定することを試みているが交差点での左右の安全確認行動は含まれていない。また、佐藤⁽¹²⁾らはテストコースの模擬市街地路に見通しの悪い一時停止交差点を作り、高齢ドライバーと熟練ドライバーの一時停止運転行動を比較し、自転車の交差を考慮した見通し距離で高齢ドライバーの停止位置と左右確認行動からの通過速度に問題があると指摘しているが左右確認行動については考慮していない。

杉本⁽¹³⁾らは佐藤⁽¹²⁾の測定データを用いて左右の顔向きのデータから確認時の左右の見通し距離を考慮して、衝突回避制動をモデル化して交差自転車との衝突確率をシミュレーションで求めて、高齢ドライバーの一時停止交差点での左右確認行動の不足を明らかにしているが、交差する自動車については考慮されていない。また、加門⁽³⁸⁾らは、実走行状態での一時停止交差点での運転行動から、運転リスクを左右確認時の見通し距離に対して左右確認時の自車の速度から衝突回避制動モデルで回避可能かを交差車両の速度との関係で評価することを提案しているが左右確認タイミングと自車の速度のどちらが問題かを判断するのが難しい。そこで粕谷⁽³⁹⁾らは加門⁽³⁸⁾の考えを基に、自車の速度と左右確認にタイミングを運転行動として測定した結果から衝突回避制動モデルで回避可能な交差車両の最大速度を安全確保速度（HAS: Highest Admitted Speed）として運転行動の交差車両に対する衝突の可能性を一つの指標で評価する方法に発展させている、しかし交差車両の回避可能最大速度がどの程度であれば安全なのかが分かりにくい。また一般公道では、いろんな見通しの交差点があり、左右確認時の見通し距離を正確に計測することが難しい。そこで本研究では左右確認時の見通し距離を正確に評価するために、開発した現実感のあるDSで一時停止交差点での高齢ドライバーの左右確認行動を評価した⁽⁵⁾。

高齢ドライバーの認知や身体能力の衰えを計測し運転に対する影響の研究としては、高

高齢ドライバーの認知身体機能と運転行動の関係について、小竹ら⁽¹⁴⁾は、簡易型のDSで運転中の周辺視野への視標の検出率で有効視野を求めて、ハザード知覚能力として評価し、DSの一時停止交差点の通過事例において意図的な安全確認を行った事例の占める確認率からリスク知覚能力を評価し、この二つの能力に分離することにより、高齢ドライバーの視覚認知系のハザード知覚能力の衰えとリスク知覚能力のバランスにより、高齢ドライバーの事故が起きると考えて、高齢ドライバーの事故回避能力を評価する事を提案している。さらに小竹ら⁽¹⁵⁾は、このリスク知覚能力を実走行における一時停止交差点での左右確認として、減速終了時の速度と左右の死角消失点での衝突回避速度の上限値以下でのブレーキの構えがリスク知覚評価指標になると提案している。ハザード知覚とリスク知覚の考え方は高齢ドライバーの認知身体能力と予防安全運転行動の一部と考えられるが、本研究では認知身体能力を色々な認知及び身体特性を対象としている。

中野ら^{(16) (17)}は簡易型のDSを用いて、高齢ドライバーの認知機能を含む運転能力の評価法を開発して、認知能力訓練による運転能力向上効果を確認している。石川ら^{(18) (19)}は、免許更新時の高齢者教習における運転能力の経時変化調査や指導員による高齢ドライバーの運転能力評価を行い、認知身体能力の衰えによる高齢ドライバーの運転能力の衰えを確認している。高齢ドライバーの運転能力の衰えについて、M. Green⁽⁵³⁾は色々な走行環境におけるブレーキ応答時間について調べた中で、高齢ドライバーのブレーキ応答時間が非高齢ドライバーに比べて長くなると解説しているが、緊急時のブレーキ応答時間ではないと思われる。本研究では認知身体能力の衰えに対する運転能力の低下だけでなくそれをカバーする予防安全行動との関係が重要と考えている。

高齢ドライバーの運転能力の低下に対して、一時停止交差点での運転支援として、一時停止交差点接近時の注意喚起システムについて、細川ら⁽²⁰⁾は模擬市街地テストコースでアドバイザーとワーニングさらに制動介入を含めたシステムの高齢ドライバーへの有効性を確認し、さらに受容性を高めるためにワーニングのタイミングを一時停止交差点までの距離と到達予定時間で行う改良を加えて効果を確認⁽⁴⁶⁾している。久保田ら⁽²¹⁾は実路でのドライブレコーダによる一時停止交差点接近時の注意喚起システムにより一時停止実施率の効果をj確認している。高齢ドライバーへの支援システムは、認知身体能力と予防安全運転行動のばらつきが大きいため、能力に合わせて個人適応したシステムが必要と考えられる。

また、高齢ドライバーの認知身体能力の衰えの事故への影響について、田中ら⁽²²⁾はD

Sを用いて一時停止交差点での交差車両との事故場面を再現し、高齢ドライバ被験者の衝突率と個々の被験者の視覚能力や有効視野や認知機能テスト成績の関係を求めて、認知身体能力の衰えが事故に結び付く可能性を示している。また、安部ら⁽⁴⁷⁾は高齢ドライバの歩行者検知時の認知視認行動の歩行者事故への影響を指摘し、国松⁽²³⁾は視野狭窄が運転へ悪影響することに警告している。中村、大門ら⁽²⁴⁾は高齢ドライバの認知機能の衰えがマルチタスク能力を低下させ、交差点などの複雑な場面での事故への可能性について警告している。このように認知身体能力の衰えと事故形態との関係が注目されている。

以上のような従来技術を基に、本研究では、高齢ドライバの認知や身体能力の衰え、又は高齢ドライバの不安全運転行動が高齢ドライバの事故要因と考えて、ドライブレコーダでなどの実験では困難な、事故が起きる場面での運転行動や事故回避能力を、現実感があり酔いを低減したDSを開発して、追突事故と信号交差点での右折事故の場面での高齢ドライバの実験を行った。そして高齢ドライバの事故の多い出会い頭事故を想定した一時停止交差点における安全運転行動をDSでしらべて一時停止交差点における安全運転指標を開発した。この考えを実走行に応用し、ドライバの運転行動と認知身体能力の関係を、教習所の運転指導員の指導を行いながら、高齢ドライバの安全運転行動の評価を行い、あらかじめ個別に測定された認知、身体特性の測定結果と運転能力、運転行動との関係を調べ⁽⁷⁾、運転行動評価指標と認知、身体特性⁽⁵²⁾の関係を考察した。予防安全運転により高齢ドライバの運転能力の衰えを補う目的で、一般公道での一時停止交差点における運転行動教示などの支援方法を開発することを今後の課題とした。

1.4 論文の概要と全体構成

各章の概要は次の通りである。

第1章では、既述のとおり高齢ドライバの運転の必要性や本研究の課題、目的、研究の概要について述べる。特に現在の日本における超高齢化社会における高齢ドライバの問題の交通事故について交通事故統計から、高齢ドライバ特有の事故場面やその要因について述べる。高齢ドライバの事故形態は、出会い頭、追突、歩行者、右折事故の順に多く、追突以外の事故形態は非高齢者より多くなっている。また事故時の法令違反は、安全不確認、脇見、動静不注視、運転操作不適、漫然運転、一時不停止の順に多く、非

第1章 緒 論

高齢者より安全不確認，運転操作不適，一時不停止の違反が多い．運転寿命延伸のためには，高齢ドライバの事故を防ぐ運転支援システム等が必要であることを述べた．

第2章では，現実感と臨場感があり，酔いの少ないドライビングシミュレータ（DS）の開発について述べた．^{（1）（2）}

高齢ドライバの交通事故の原因は，認知身体能力による運転ミス，もしくは事故場面への遭遇リスクを低減する予防安全運転行動の不足と考えられるので，その事故要因を分析するためには事故場面における事故を再現する実験が可能な，現実感と臨場感があり，酔いの少ないDSが必要になる．

現実感と臨場感を得るためには，極力実物に近い視覚や操作環境を模擬することと，自動車の運転時に感じる加速度の体感感覚を模擬することが重要と考えられる．特に事故至る運転行動では，制動行動が重要と考えて，開発したDSを用いて減速停止において，加速度模擬の大きさを変えて，制動行動を実路の運転行動と比較したところ車両の加速度模擬を大きくして実加速度に近づけると実路の制動行動に近くなり，加速度模擬量が制動操作に影響していることを明らかにした．^{（30）}

また，制動開始判断に影響する，停止目標に対する距離感を実路と比較した結果，開発したDSでは100mの距離で20m以上近く感じて，停止行動の開始が早くなっており，DSの画像の解像度を改善するとその違いが少なくなったので，制動開始の距離感が画像の解像度に影響されることを明らかにした．

DSのシミュレータ酔いについては，一般的に視覚と体感（運動感覚）の感覚不一致によって起こるとされている乗り物酔いの現象と自動車の運転操作に対する車両の動きに起因する視覚，体感の感覚不一致が考えられる．

自動車の運転はほとんどが視覚情報による操作のため，運転に必要な視野角を持つ映像とステアリング，アクセル，ブレーキの操作機構があれば，運転の模擬は可能になる．しかし制動行動は体感加速度で制動力を制御しているため，ブレーキ踏力に対する加速度がない画像のみのシミュレータでは，制動時に酔いが発生しやすい．制動行動以外はほとんどが視覚による運転のため，体感の模擬手法や時間遅れなどと車両の動きの視覚との感覚不一致が酔いの原因と考えられる．そこで，体感模擬手法の前後加速度を前後の傾斜角で模擬する方法は，傾斜角加速度と前庭器官による動眼反射が酔いの原因と考えて，傾斜角加速度の量を変化させて，酔いを比べたところ傾斜角加速度が小さいほうが，酔いが少なくなることを明らかにした．この結果から，DSの発進停止時の酔いが

第1章 緒 論

動眼反射の影響である可能性を示唆した。(31)(32)(62)

開発したDSを用いて、第3、4、5章で、高齢ドライバの事故は、加齢による認知身体特性の衰えによる運転能力の低下、もしくは高齢ドライバの予防安全運転行動の不足が原因と考えて、どちらが主原因かを調べるために、高齢ドライバが事故に至る経緯を調べる実験と予防安全運転行動を調べる実験を行った。高齢ドライバに多い事故形態の出会い頭事故、追突事故、歩行者事故、右折事故の中で、事故に至る経緯は事故発生場面の模擬が比較的容易な追突事故と右折事故を実験し、予防安全運転行動は出会い頭事故を想定した一時停止交差点での運転行動を調べた。

第3章では、追突事故を再現する実験として、DSに追突警報装置を組み込み、追従走行状態での前方車両の急減速、前方停止車両に対する追突事故発生時の警報に対する回避行動の実験を行った結果について述べる。その結果から、高齢ドライバ特有の運転行動が見られた。それは、追突警報に対して、警報に気付かないドライバが20%、警報に気付いてもブレーキが踏めないドライバが10%いることが分かった。さらに、ブレーキを踏んでも、20名中9名の高齢ドライバがブレーキを踏むタイミングが遅れるか、高い減速度を出せなかった。この追突事故の実験から、事故前の運転行動に非高齢ドライバとの差は無いが、高齢ドライバが追突警報に対して、認知身体特性の衰えから、緊急時の制動回避能力が低下している可能性があることが示された⁽³⁾。

第4章では、事故統計で非高齢ドライバに比べて高齢ドライバの事故が多いとされている、信号交差点の右折時の事故について、事故原因は認知身体能力の衰えか、もしくは高齢ドライバの安全運転行動の不足が原因かを確認するために、DSを用いて、信号交差点での右折時に対向車両の影からの直進二輪車が飛び出す事故場面での衝突回避行動の実験結果について述べる。交差点進入時に二輪車に気が付いて事故場面に遭遇しない高齢ドライバの割合は非高齢ドライバと変わらない。二輪車の飛び出しに反応して、ブレーキを踏む高齢ドライバは非高齢ドライバよりも多いが、反応遅れで制動タイミングが遅く、制動力も少ないため衝突するドライバが多いことが分かった。これらの実験結果から、信号交差点の右折事故においては、高齢ドライバの予防安全運転は非高齢ドライバと差は無く、認知身体能力の衰えによる事故場面での緊急時の制動回避能力の低下が事故原因と考えられる⁽⁴⁾。

第5章では、加齢に伴い複数の安全確認を必要とする場面の事故が多いと言われる出会い頭事故では、事故直前の緊急時の制動回避能力の低下だけでなく、出会い頭事故を予

測した予防安全運転行動の不足が考えられる。そこでDSを用いて、見通しの悪い一時停止交差点を模擬した場面の通過時の運転行動から、交差点の見通し距離と左右確認タイミングから、交差車両との衝突の可能性を調べた実験結果について述べる。ほとんどの一時停止交差点での停止行動は高齢ドライバーと非高齢ドライバーに大きな違いはないが、一時停止の見落としや発見遅れによる一時不停止や制動開始遅れが、数名の高齢ドライバーに確認された。停止線付近での停止後、左右確認なし、又は左右確認が2往復未満の不十分なままでの加速通過が、非高齢ドライバーでは26%ほどであったが、高齢ドライバーでは倍の51%もあり、高齢ドライバーは確認行動が不十分でることが分かった。衝突回避制動のモデルと交差車両速度を仮定し、見通し距離と通過時の左右確認行動から求めた交差車両との衝突余裕時間によって、高齢ドライバーの安全確認行動不足により交差車両との衝突を起こす可能性のある被験者割合が非高齢ドライバーに比べて多いことを示した。従って高齢ドライバーの認知身体機能の衰えを補う予防安全運転行動が不足して非高齢ドライバーに比べて、出会い頭事故が増えていると考えられる。⁽⁵⁾

第6章では、第5章のDSの実験結果を実走行で確認するために、市街地の実路走行において自動車教習所の指導員による高齢ドライバーへの運転教示、指導を行い、指導員の教示頻度が多いと運転能力が低いと判断して、高齢ドライバーの認知機能を含む身体機能と運転行動、運転能力の関係について述べる。第5章の実験で求めた、一時停止交差点での見通し距離と通過時の左右確認行動から求めた交差車両との衝突予測を実際の走行で確認することは難しいので、事故に結びつく左右確認行動の不足を左右確認回数と確認時間で評価し、さらに余裕を持ってスムーズな制動停止する操作を評価する指標を指導員の教示頻度と被験者の認知身体機能のデータと比較した。その結果、一時停止交差点における指導員の運転教示を多く受けたドライバーは、走行速度が低く、左右確認のための交差点進入時間が長くなり、左右確認回数も多くなり、教示による安全運転の効果があったと考えられる。高齢ドライバーの認知、身体特性と運転教示頻度及び運転行動との相関について、運転教示を多く受けたドライバーは、有効視野(UFOV)課題成績から周辺刺激への反応が低い傾向、認知機能の低下が見られるドライバー(MMSE点数低、TMT-A 大、TMT-B 大)は左右確認の回数や確認時間が少なく、ブレーキの開始が遅く、一定減速度のスムーズな制動が出来ずに、運転行動のばらつきが大きい傾向がある。従って、認知身体機能の低下が見られるドライバーの一時停止標識のある交差点での安全運転行動が不足していると考えられる。ドライブレコーダによる一時停止交差点での左右確認時間と左右確認回数が、安全運転行動の評価指標になり、一回の制動の平均減速度と最大減速度の比の一定減

第1章 緒 論

速度率と制動開始時の余裕時間が運転の巧さの評価指標になると考えられる。⁽⁶⁾⁽⁷⁾

第7章で、第6章で得られた一時停止交差点での左右確認時間と左右確認回数の安全運転行動の評価指標と一回の制動の平均減速度と最大減速度の比の一定減速度率と制動距離及び制動余裕時間の運転の巧さの評価指標について、高齢ドライバの安全運転行動が不足していると考えて、模範運転として自動車教習所の運転指導員4名を含む、28歳から79歳の計35名のドライバの一時停止交差点の運転行動を、市販のドライブレコーダを用いて計測した。その結果から安全運転行動の評価基準を指導員の模範運転を基に評価基準を設定した。

一時停止交差点での減速開始タイミングは、停止までの平均減速度 (G_{ave}) が $1.4m/s^2$ 以下になるタイミングで、車両速度 $6m/s$ ($21.6km/h$) 程度で制動停止余裕時間 (T_{bm}) $2.2sec$ 以上が良い。

スムーズな減速を表す一定減速度比率 ($R_g = G_{max} / G_{ave}$) は 1.5 以下が良い。

安全確認を表す左右確認回数 (N_{clr}) は $5 \sim 6$ 回以上、一時停止から交差点進入までの左右確認時間 (T_{clr}) は 4 秒以上が良い。

これらの基準を基に、運転行動の評価指標と高齢ドライバの認知身体能力の関係から、認知身体能力の衰えを補う安全運転を行っているドライバと認知身体能力が劣っているにもかかわらず安全運転行動が不足しているドライバがいることが分かった。認知身体能力の衰えを自覚させて安全運転指標をフィードバックして高齢ドライバの安全運転行動へ誘導が必要と考えられる。⁽⁵²⁾

第8章でまとめると、第3章の追突事故場面と第4章の信号交差点の右折事故場面で、事故に遭遇すると、高齢ドライバは、認知身体機能が衰えにより、緊急反応遅れによる衝突回避能力と危険認知能力が非高齢ドライバに比べて劣る為に事故を回避できなくなっていると考えられる。そこで事故場面への遭遇を避ける安全運転行動が重要と考え、第5章のDSを用いて、出会い頭事故を想定した一時停止交差点における安全運転行動調べた結果、危険を回避する予防安全運転が不足している高齢ドライバが存在する可能性を見出した。そこでドライブレコーダを用いて、実路走行における一時停止交差点における運転行動を調べ、安全運転指標を決めて評価したところ、認知身体特性が衰えているにも関わらず、安全確認行動が不足しているドライバが事故を増加させている可能性があることが分かった。従って、高齢ドライバの事故を防ぐには、認知身体能力

第1章 緒 論

の衰えを自覚させて安全運転指標をフィードバックして、安全運転行動へ誘導することが重要と考えられ、これを支援するための運転支援システムや運転訓練手法などの開発が課題と提言した。

図 1-3 に示す本研究の全体構成を要約したフローチャートについて、説明する。

第 1 章諸言で背景と目的、構成及び高齢ドライバの交通事故の特徴について述べた。

第 2 章で高齢ドライバが事故を回避する安全運転行動と事故発生に至る原因を調べるために、極力実物に近い視覚や操作環境を模擬し、運転時に感じる加速度の体感感覚を模擬して、現実感と事故における臨場感が高く、酔いの少ないドライビングシミュレータを開発した。

第 3 章でD S を用いて、追突事故場面での高齢ドライバの予防安全運転には非高齢ドライバと差が無く、事故に至る要因は認知身体機能の衰えによると思われる衝突回避制動の不足の可能性のある事を示した。

第 4 章でD S を用いて、信号交差点の右折事故場面では高齢ドライバの予防安全運転は非高齢ドライバと差は無く、認知身体能力の衰えによると思われる事故場面での緊急時の制動回避能力の低下が事故原因である可能性を示した。

第 5 章でD S を用いて、高齢ドライバの一時停止交差点における予防運転行動を調べた。そして、交差点の見通し距離と左右確認タイミングから、交差車両との衝突を予測し、一時停止の左右確認不足の不安全運転行動が事故要因である可能性を示唆した。

第 6 章で実走行の教習所指導員による路上指導を行い指導員の教示頻度と高齢ドライバの運転行動、高齢ドライバの認知身体特性の関係を調べた。その結果、指導員の教示から安全運転行動の評価指標と運転の巧さの評価指標を求めて、認知身体特性との相関から認知身体機能に衰えのある高齢ドライバが安全運転行動不十分である可能性を示唆した。

第 7 章で、教習所指導員の運転行動から一時停止交差点での安全運転行動の評価指標と運転の巧さの評価指標の評価基準を設定し、認知身体能力の衰えを補う安全運転を行っ

第1章 緒 論

ているドライバと、認知身体能力が劣っているにもかかわらず安全運転行動の不十分なドライバがいる可能性を示した。

第8章でこれらをまとめると、第3章と4章から高齢ドライバは、認知身体機能が衰えと思われる、緊急反応遅れによる衝突回避能力と危険認知能力が非高齢ドライバに比べて劣る可能性があり、第5、6、7章から、認知身体の衰えを補うための危険を回避する予防安全運転も不足していることが、高齢ドライバの事故を増加させている可能性があり、予防安全運転行動の改善が必要であることを示唆した。そしてその為の今後の残された課題を述べた。

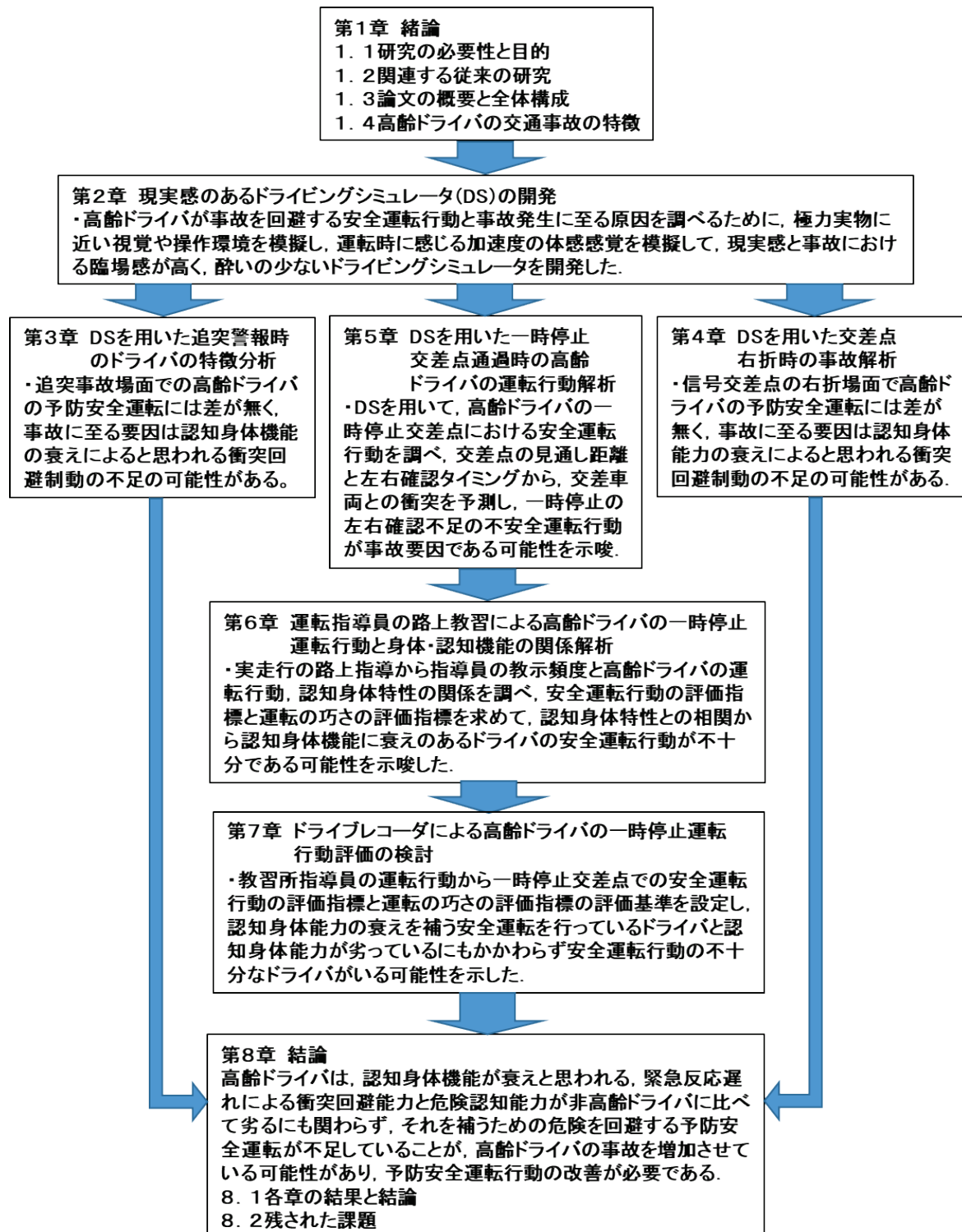


Fig.1-3 Flowchart of the paper composition

1. 5 高齢ドライバの事故の特徴

警察庁交通局が公表している 2016 年交通事故統計から高齢ドライバの交通事故の特徴を分析した。図 1-4 に 2016 年の交通事故の事故類型割合を年齢別に比較した図を示す。この図から 60 歳以上の高齢ドライバの事故は交差点での出会い頭事故，追突事故，歩行者事故，右折事故の順に多く，他の年齢層で多い追突事故の割合は少ないが，その他の事故割合が他の年齢層より多くなっていることが分かる。さらに，図 1-5 に交通事故発生時の法令違反の種類の割合を年齢別に示す。この図から，60 歳以上の高齢ドライバの事故時の法令違反は，安全不確認，脇見，動静不注視，運転操作不適，漫然運転，一時不停止の順に多く，他の年齢層より安全不確認，運転操作不適，一時不停止，歩行者妨害，優先通行妨害，信号無視の違反が多く，他の年齢層に比べて逆に少ないのは動静不注視，脇見運転，漫然運転であることが分かる。従って高齢ドライバの交通事故の特徴は，一時停止交差点での一時不停止による安全確認不足や信号交差点での信号や歩行者の見落とし，追突での運転操作不適による事故が多い可能性が考えられる。しかしながら，高齢ドライバの交通事故に，何故このような特徴があるのかを知るためには，事故に至る経緯を調べる必要がある。高齢ドライバが事故に至る経緯を調べるには，事故やニアミスが起きた時の運転行動をドライブレコーダで計測する方法と事故場面をドライビングシミュレータ（DS）で模擬してその場面での運転行動を計測する方法が考えられる。ドライブレコーダでの計測は，事故やニアミスの発生頻度が少なく色々な環境要因が影響するため，たくさんのデータを集める時間が必要になる。事故場面をDSで模擬する方法は，事故に至る臨場感や現実感を模擬するDSの開発が必要になる。本研究では，高齢ドライバの交通事故の発生は加齢による認知身体機能の衰えによる事故回避能力の低下とそれを補う予防安全運転行動のバランスで起こると考えて，事故に至る場面での衝突回避能力と予防安全運転行動を開発したDSで解析し，実走行時の予防安全運転行動をドライブレコーダによって解析した。

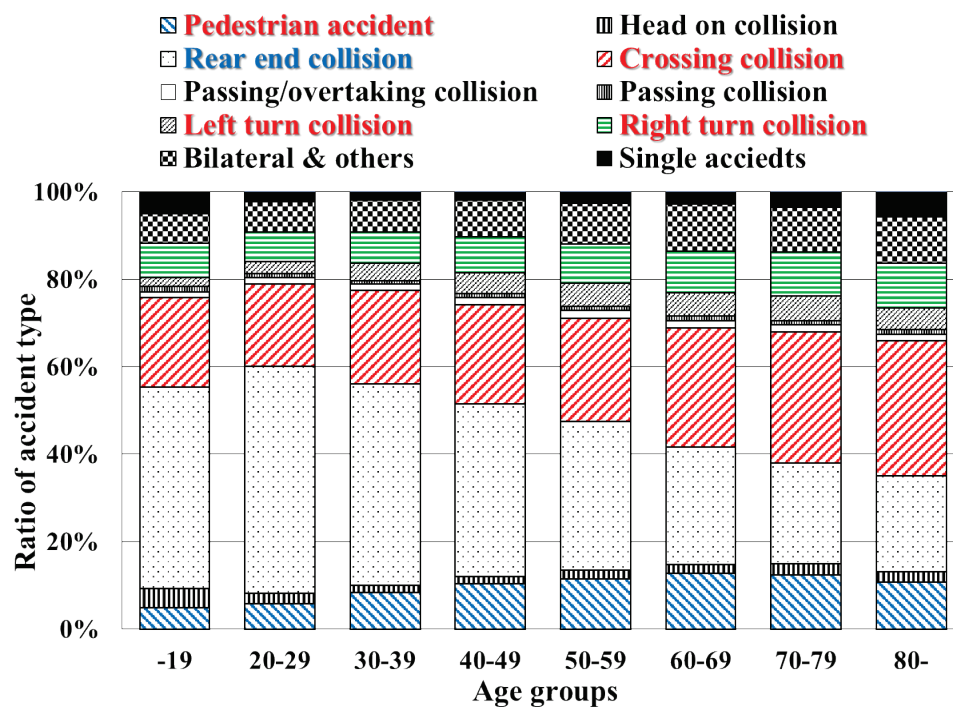


Fig.1-4 Distribution of traffic accident types by age group (Primary parties, 2016)

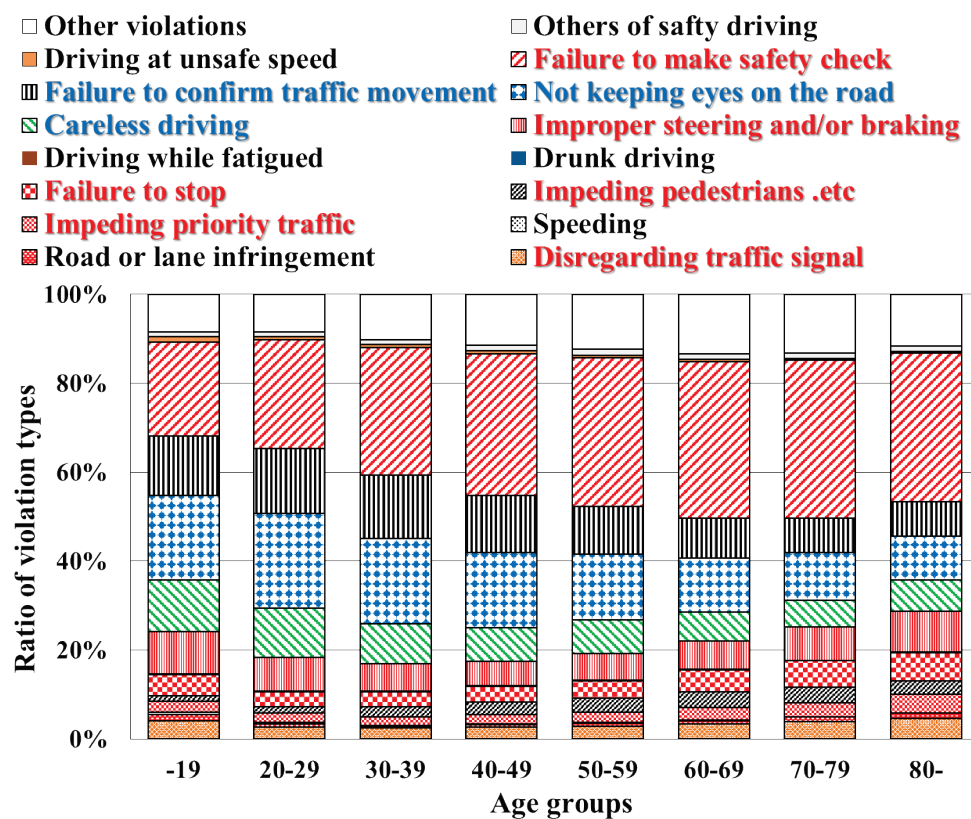


Fig.1-5 Distribution of traffic legal violation type at traffic accident by age group (Primary parties, 2016)

第2章 高性能ドライビングシミュレータの開発

2.1 ドライビングシミュレータの必要性と目的

超高齢化社会の日本の高齢ドライバの交通事故の増加を防ぐためには、高齢ドライバの認知身体能力の衰えによる運転能力の低下を補う、高齢ドライバに適応した運転支援技術を開発する必要がある。第1章の高齢ドライバの事故の特徴から、交差点の出会い頭事故が多く、交差点などでの安全確認が不十分であることが示された。しかし、高齢ドライバの事故がどのような運転能力の低下によって増加しているのかを知るためには、事故に至る危険場面での高齢ドライバの事故回避行動を調べる必要がある。その手段としてドライビングシミュレータ（以下DSと省略）を開発する。

一般にDSは、自動車の走行を映像や加減速度発生装置などを活用して模擬する装置であり、自動車の研究開発において、テストコースでも実車では危険が伴う実験や、特定の走行環境条件下で自動車を走行させる実験などに有効であることが知られている。

今回開発したDSは、交通事故に至る運転特性を正確に把握するため、ドライバに模擬運転であることを極力感じさせない、限りなく実走行に近い試験環境を追求し、シミュレータ酔いの低減を目指して開発した。このDSの技術や活用について述べる。

図2-1と図2-2は交通事故総合分析センター（ITARDA）の2006年の事故統計データを購入し、道路環境別の事故件数割合とドライバの認知判断操作のエラー別の事故件数割合をグラフ化した図を示す。図2-1の日本の道路環境別の事故件数割合が示すように、交差点の事故が56%を占めている。また図2-2のドライバの認知判断操作のエラー別の事故件数割合から、ドライバの認知判断のミスによる事故が92%を占めていることが分かる。従って、ドライバが交差点でどのように認知判断ミスを起こし、事故に至るのかを明らかにして、事故を防ぐ技術を開発する必要がある。予防安全性能の評価指標は事故件数低減率やヒヤリハットの低減量になると考えられ、この指標をどうやって評価するかが重要な課題になる。しかし、事故に至るような場面や複雑な交通環境での実験やドライバ意識低下時の警報の効果実験などはテストコースでは危険なため、仮想現実の世界で事故発生環境を模擬出来るDSが予防安全性能の評価に必要なようになって来る。

(*) ITARDA: Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis

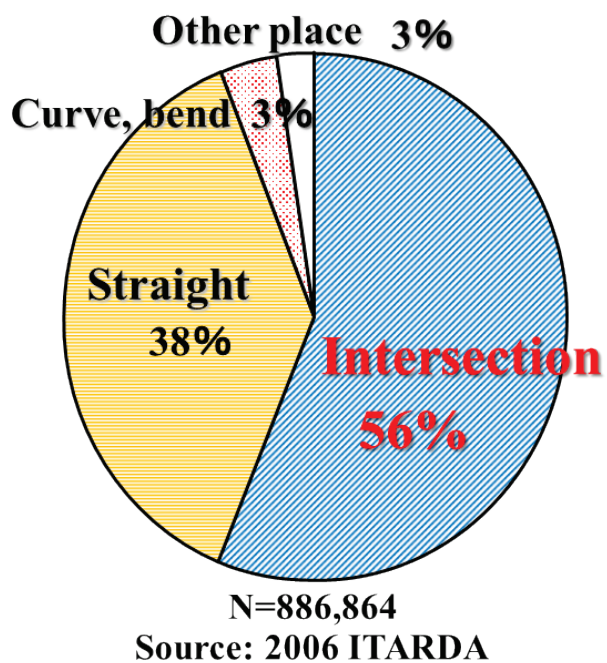


Fig.2-1 Distribution of road types in car accidents

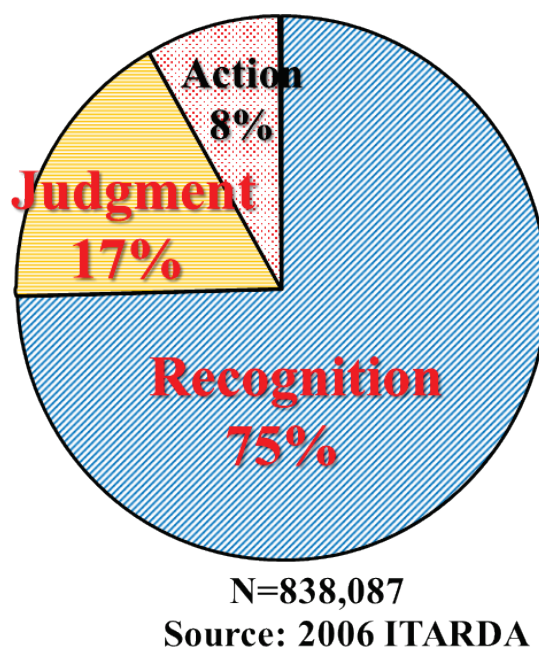


Fig.2-2 Distribution of driver error types in car accidents

2.2 DSの開発目標

図 2-3 に示すように、DSには映像模擬装置と車両運動模擬装置の規模により、用途や性能が異なり、運転教育用の固定画面の小型のものから、360度の映像とヘキサポッド（6自由度動揺装置）にXY並進装置を持つ世界最大規模の米国連邦道路交通安全局（NHTSA）が開発したNADS（National Advanced Driving Simulator）⁽²⁵⁾まで多くの種類がある。

日本での事故発生環境を考えると事故の多い交差点での走行を模擬する必要がある。また車両運動模擬装置の設備規模により、加速度の模擬可能限度が決まるので、どこまでの加速度を再現するかが、重要な性能目標となる。図 2-4 に走行モニタ実験で求めた通常走行における前後と左右の加速度の頻度分布を示す。シミュレータで事故に至る実際の衝突回避行動の加速度は非常に大きいため、模擬する事は難しい。しかし事故回避操作時の加速度は一般ドライバが通常走行で感じている加速度に対してかなり大きく、実際に経験する機会も少ないので、加速度の大きさの違いを感じにくいと考えられる。従って通常走行における80～90%の走行の加速度をカバーする0.3Gの前後左右加速度を模擬して、通常走行の現実感、臨場感が得られれば、事故に至るドライバの運転行動を再現することが出来ると考えた。NADSを試乗して市街地の交差点での走行に違和感が少なかったので、NADSでの市街地走行を模擬した実験を行い運転席の最大加速度と並進装置の並進移動量の関係を調べた。図 2-5 はNADSのシミュレータで試乗したドライバの制動時の最大加速度と並進移動量をプロットした図を示す。NADSでは0.19Gの最大制動減速度で18mの並進量であったので、バラツキを考慮して外挿し、0.3Gの制動減速度を発生させるためには、約34mと推定し、余裕を持って前後方向の並進量を35mに設定した。図 2-6 は同じNADSの交差点右折時の最大横加速度と横方向の並進移動量をプロットした図を示す。NADSでは右折時の0.22Gの最大横加速度で11mの並進量であったので、バラツキを考慮して外挿し、0.3Gの横加速度を発生させるためには、約18mと推定し、余裕を持って横方向の並進量を20mに設定した。

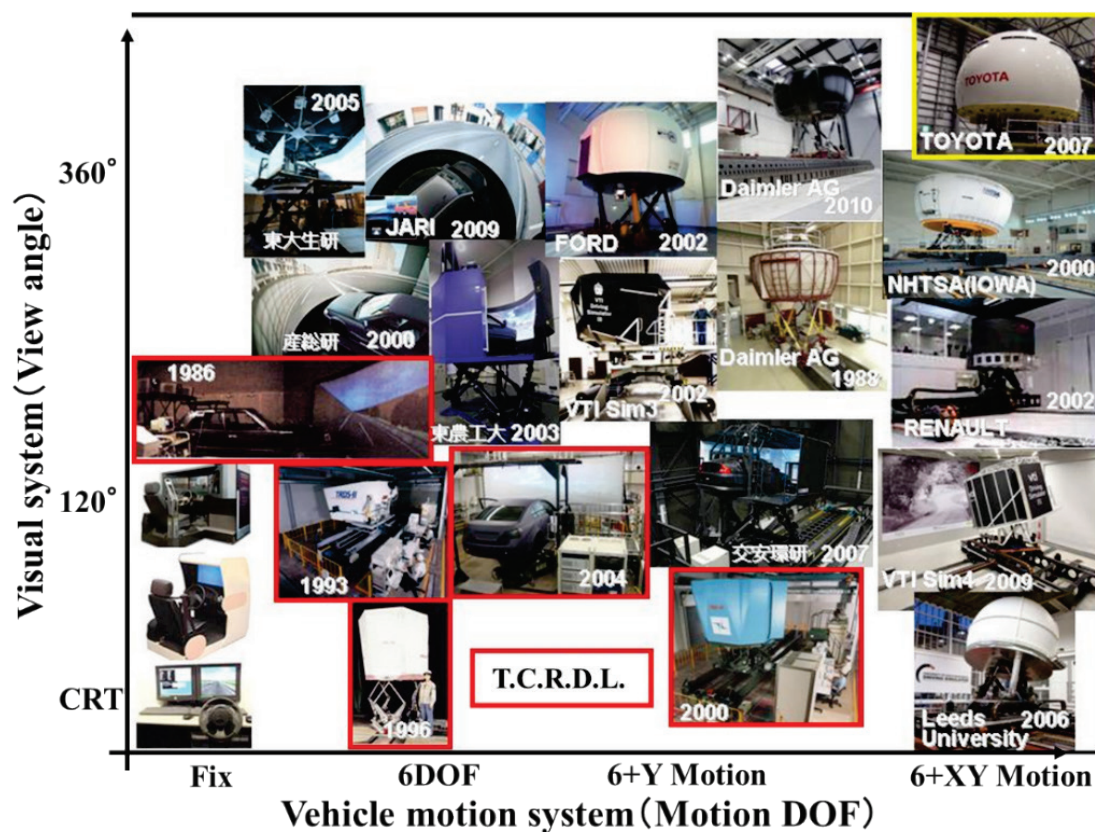


Fig.2-3 Type of Driving Simulator

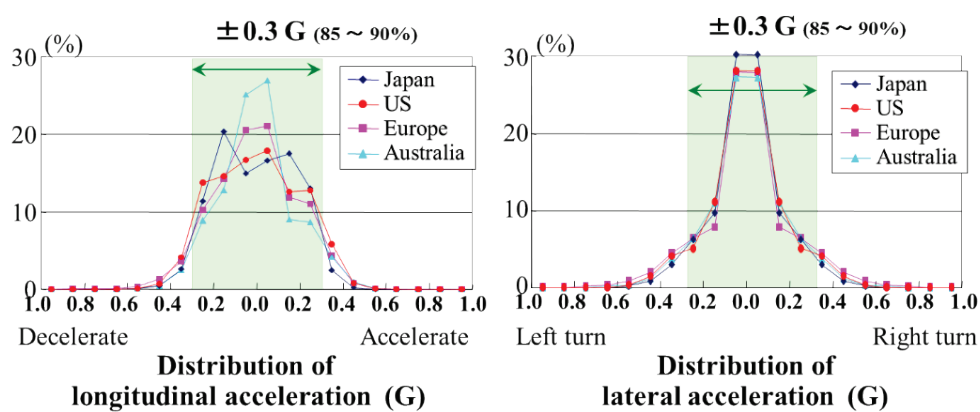


Fig.2-4 Frequency distribution of acceleration on ordinary driving

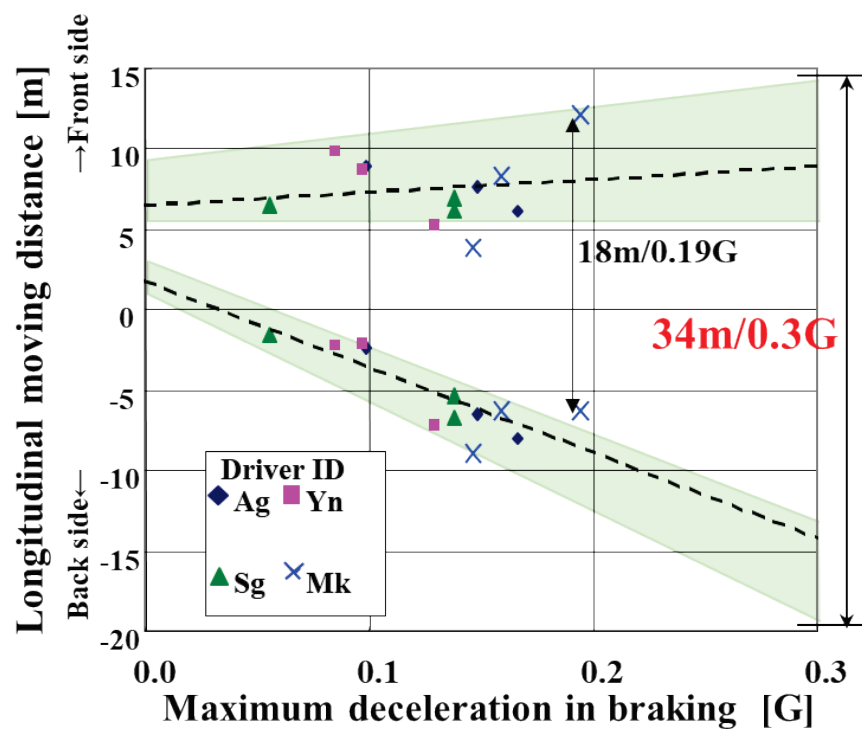


Fig.2-5 Relationship of maximum deceleration and longitudinal moving distance in braking on NADS experiment

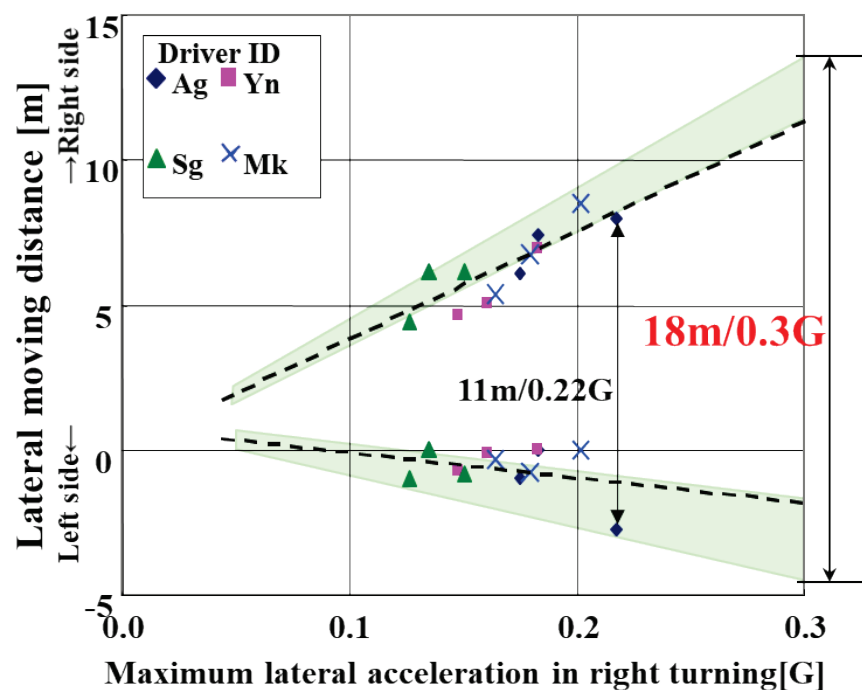


Fig.2-6 Relationship of maximum lateral acceleration and lateral moving distance in right turning on NADS experiment

2.3 DSの構成と性能

2.3.1 車両運動模擬装置

DSは体感加速度を発生させる車両運動模擬装置と、交通環境を模擬する映像模擬装置と、車両の運転席を模擬する車両運転模擬装置で構成されている。

最初に、車両運動模擬装置について説明する。図 2-7 に示すように、このDSの最大の特長はNADSを参考にした大きな稼働範囲を持つ並進装置を装備していることである。特に制動時の体感による制動停止位置制御（思った位置に停止出来る）の向上と制動時のペダル操作と体感の不一致によるシミュレータ酔いを低減させるために、35mの並進距離を確保している。さらに、交差点の右左折の回転感覚を再現し、ヨー方向の動眼反射による右左折時のシミュレータ酔いを低減する⁽²⁶⁾のために、ドーム内に $\pm 330^\circ$ の回転角を持つターンテーブルを装備している。市街地での低速の速度感を忠実に再現するために、ターンテーブル上の運転模擬装置を4台の加振装置で支持し、乗り心地を模擬している。

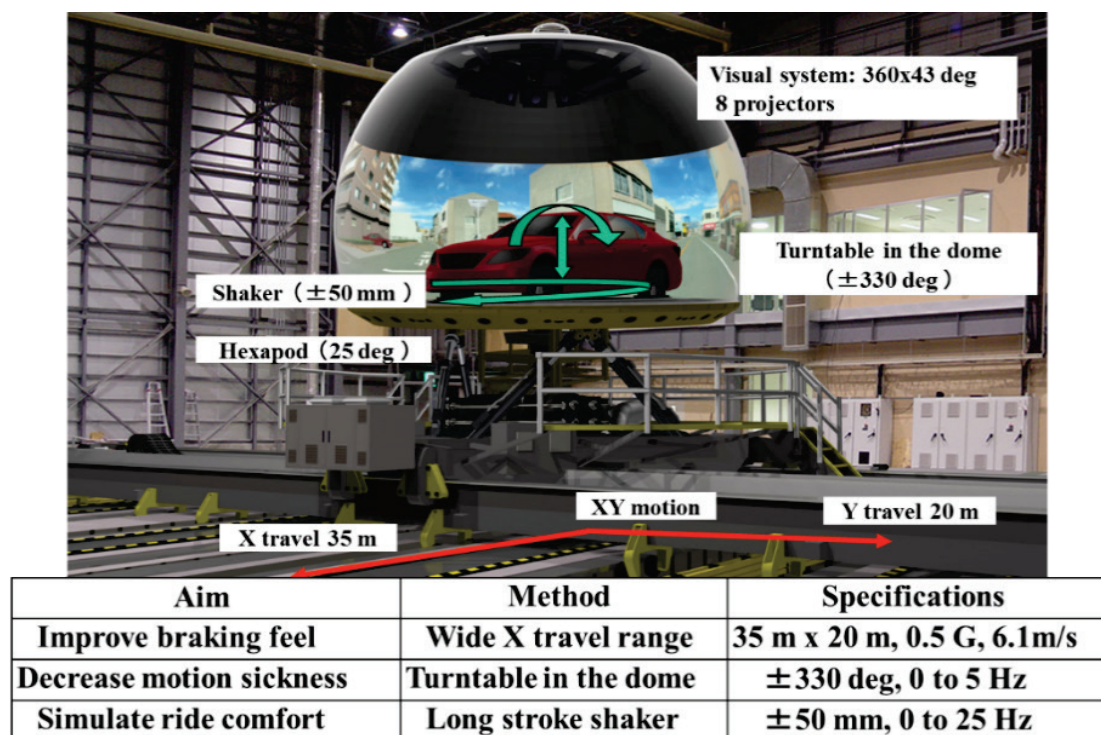


Fig.2-7 Specification of developed Driving Simulator

また、動的な応答性として、車両運動シミュレーションにより算出された車両が発生する前後加速度と左右加速度を車両運動模擬装置で制御するには、制御の遅れを考慮すると、模擬する車両の周波数応答領域より高い周波数応答特性が必要になる。そこで、通常走行として郊外道路と市街地道路をある時間運転した時の操作入力に対する車両の加速度の応答を求めた。図 2-8 は郊外道路と市街地道路を運転した時の操舵角入力に対する横加速度を FFT 処理して求めた周波数伝達特性をボード線図に表した図を示す。郊外と市街地での走行速度の違いによる車両の操舵応答から低速の市街地の方が横加速度の応答が高くなっており、低速の市街地の方が速い操舵が行われていると考えられる。この図から通常走行での横加速度の応答特性は 2 Hz 以上の応答が必要と考えられる。図 2-9 は郊外道路と市街地道路を運転した時のブレーキペダルストローク入力に対する減速加速度を FFT 処理して求めた周波数伝達特性をボード線図に表した図を示す。郊外と市街地での制動の頻度と車間距離などの違いにより、市街地の制動の方が急になり、減速加速度の応答が高くなっていると思われる。この図から通常走行での減速加速度の応答特性は 4 Hz 以上の応答が必要と考えられる。これらを運動模擬装置の動特性の目標に設定した。ドーム内に装備されたターンテーブルにより車両の進行方向が並進装置の前後左右に対して変わるため、並進装置の前後左右で応答周波数を分けることが出来ないので並進方向の周波数応答が前後左右共に 4 Hz 以上を満足するように、運動模擬装置の共振周波数を設定した。

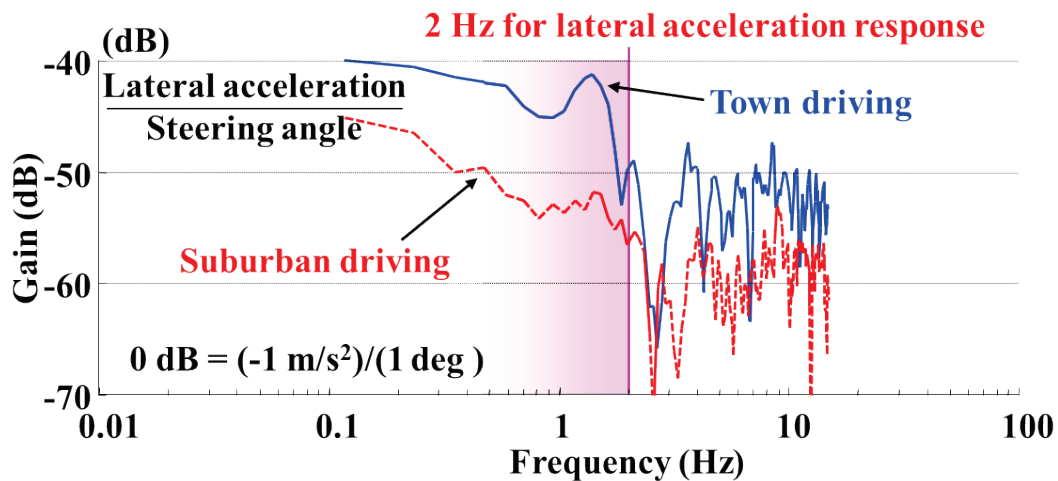


Fig.2-8 Transfer function of lateral acceleration by steering input

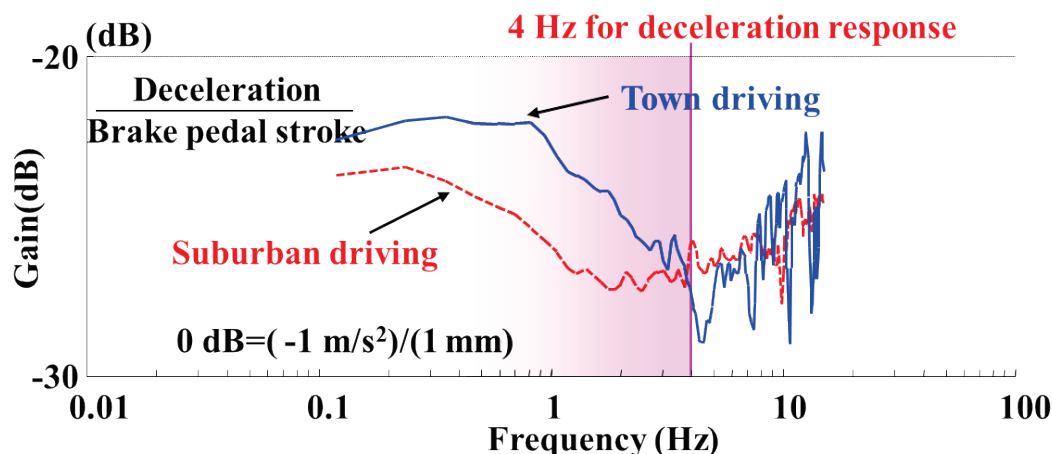
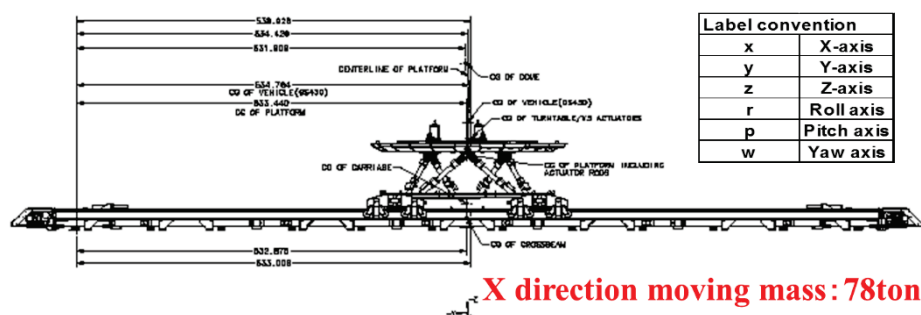


Fig.2-9 Transfer function of deceleration by brake pedal input

図 2-10 に運動模擬装置の動荷重と固有振動数の関係を示す。最も重い並進装置の前後方向の動荷重 78ton に対して 4.9Hz の固有振動数を持ち、左右方向は動荷重 25ton に対して 4.6Hz の固有振動数となった。6 軸の傾斜装置のピッチ方向が 3.7Hz とやや低いが傾斜による加速度模擬は低周波のため制御的には問題ない。動荷重 78ton と 25ton の並進装置は hidroベアリングで油圧浮上しており、ほとんど摩擦無く、前後方向は 6 本のスチールベルトを 24 台の 100HP モーターで制御し、横方向は 1 本のベルトを 4 台のモーターで制御している。運動模擬装置の制御ロジックを含めた、各方向の最大速度加速度と周波数応答特性を表 2-1 に示すが、運動模擬装置の最大発生加速度は 0.5G であり、各方向の応答周波数は、共に車両運動の応答周波数よりも高くなっていることが分かる。



Subsystem	Subsystem Mass (kg)	Subsystem Inertia (kN-m-s ²)	Total Mass (kg)	Total Inertia (kN-m-s ²)	Natural Frequencies(Hz)
		[x, y, z]		[x, y, z]	
Crossbeam	53966	[0, 0, 646]	78285	[129, 184, 773]	[4.9, 12.3] (x, w)
Carriage	14348	[0, 0, 46.9]	24319	[115, 169, 126]	[4.6] (y)
Hexapod	4663	[61.8, 121.2, 62.0]	9971	[96, 150, 79]	[8.1, 8.1, 13.7, 4.6, 3.7, 6.1] (x, y, z, r, p, w)
Turntable	1179	[2.9, 5.0, 2.2]	3438	[5.3, 9.5, 4.3]	[21.3] (w)
Vibration	1088	[0.565, 1.695, 0]	2123	[1.2, 3.2, 1.6]	[25.0, 16.2, 23.0] (z, r, p)

Fig.2-10 Moving mass and natural frequency of motion system

Table.2-1 Performance of DS motion system (Measurement)

		Max stroke	Max velocity	Max acceleration	Frequency response	Natural frequency
XY motion	X	±17.5 m	±6.1 m/s	±4.9 m/s ²	19 Hz	4.9 Hz
	Y	±10 m	±6.1 m/s	±4.9 m/s ²	14 Hz	4.6 Hz
Hexapod	X	±0.7 m	±1.0 m/s	±4.9 m/s ²	8.9 Hz	8.1 Hz
	Y	±0.66 m	±1.0 m/s	±4.9 m/s ²	9.4 Hz	8.1 Hz
	Z	±0.6 m	±1.0 m/s	±9.8 m/s ²	12 Hz	13.7 Hz
	Pitch	±25 deg	±45 deg/s	±120 deg/s ²	8.6 Hz	3.7 Hz
	Roll	±25 deg	±44 deg/s	±120 deg/s ²	8.5 Hz	4.6 Hz
	Yaw	±25 deg	±44 deg/s	±120 deg/s ²	10.5 Hz	6.1 Hz
Turntable	Yaw	±330 deg	±60 deg/s	±120 deg/s ²	7.6 Hz	21.3 Hz
Shaker	Z	±50 mm	±0.16 m/s	±4.9 m/s ²	30.5 Hz	25.0 Hz
	Pitch	±2.0 deg	±2.0 deg/s	±197 deg/s ²	28.9 Hz	16.2 Hz
	Roll	±3.88 deg	±3.88 deg/s	±381 deg/s ²	33.4 Hz	23.0 Hz

車両の前後左右加速度を並進装置と傾斜装置で模擬する方法⁽²⁷⁾の概念を、図 2-11 のフローチャート図に示す。車両の運動シミュレーションで計算された車両の加速度にローパスフィルタをかけて、低周波数領域の加速度を運転席の傾きによって発させるための傾斜角速度を算出し、傾斜角速度にリミッタをかける事により、出来るだけ傾斜をドライバに感じさせないように低周波数領域で小さな傾斜速度で傾斜による加速度を発生させている。目標加速度から傾斜による加速度を引き、残りの加速度を並進装置で発生させている。図 2-12 に傾斜装置による加速度と並進装置による加速度の分担を実際の模擬加速度データで示す。この図は交差点で一時停止後、加速しながら左折した前後左右の加速度をDSで再現した例で、並進装置の加速度と傾斜装置の加速度を足した加速度が模擬加速度となっている。減速開始直後は、並進加速度で模擬して、傾斜装置が遅れて加速度を模擬していることが分かる。その結果減速から加速への変化時や加速終了時などの過渡的な加速度変化に対しては、傾斜装置の遅れで残されている加速度を並進装置が補償する動きが必要となり、車両の模擬加速度よりも大きな加速度を発生する必要がある。図 2-12 の加速度模擬における並進装置の走行軌跡を図 2-13 に示す。一つの交差点での運動模擬で並進範囲が前後方向 25m、左右方向 17mと大きく動いている事が分かる。これは、交差点の運動を再現するために、ほぼ交差点と同じ広さの範囲を動いていると考えると理解しやすい。この並進装置の軌跡が交差点通過後大きく回りながら並進

装置の中心に戻っていることが分かる．これはウォッシュバックと呼ばれており，ドライバに感じられないように，並進装置をハイパスフィルタにより，次の動きに備えて中心に戻す制御をおこなっている．従って，中心に戻る前に次の車両の加速度の変化があると運動模擬装置の加速度模擬が出来なくなる場合がある．

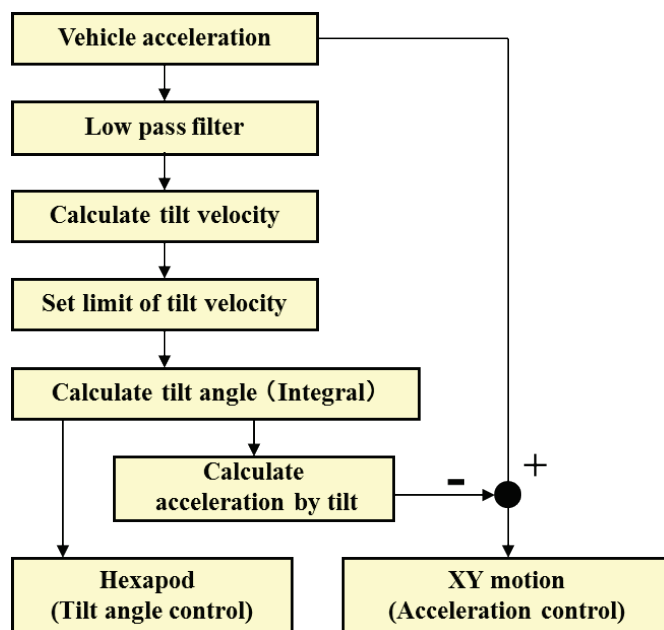


Fig.2-11 Flowchart of DS motion drive algorithm

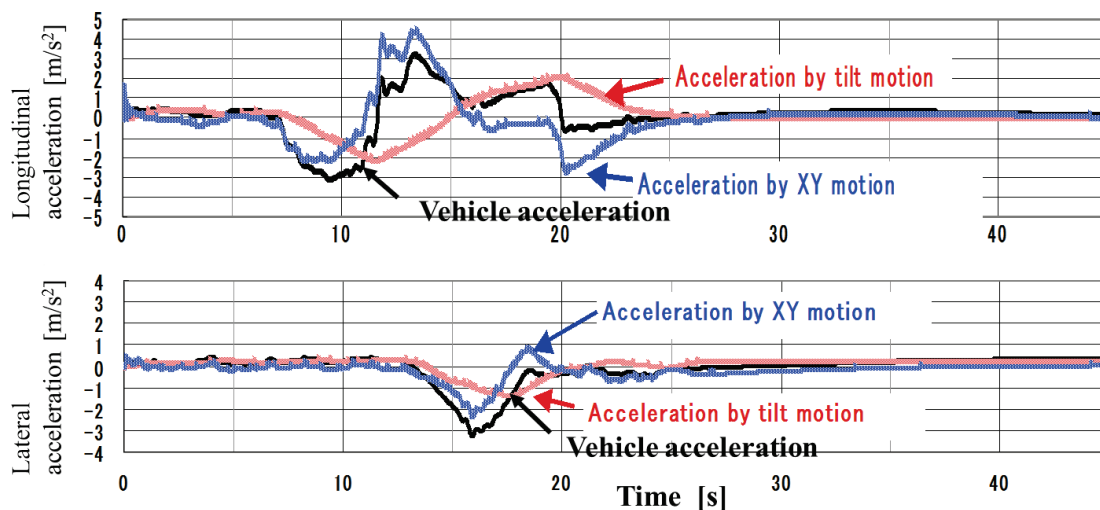


Fig.2-12 Acceleration distribution of tilt and XY motion on simulated left turn

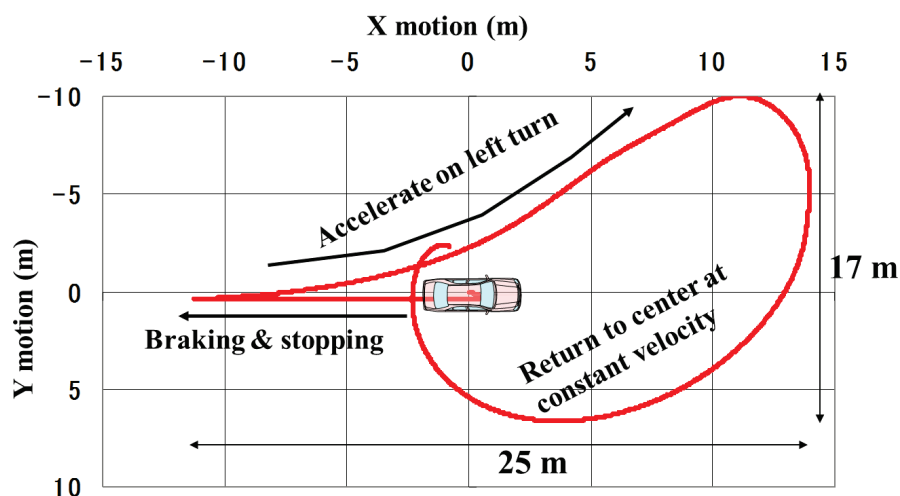


Fig.2-13 XY motion locus on simulated left turn

2.3.2 映像模擬装置

映像模擬装置⁽²⁸⁾は、ドームスクリーン、プロジェクタ、映像模擬計算機、実験シナリオ計算機、画像データベースなどで構成されている。図 2-14 にドームスクリーンの立面図を示す。ドームは高さ 4.5m で、内径 7.0m の大きさがあり、内側は球面スクリーンになっており、上側 23°、下側 20°、左右全周囲 360° の視野を天井に固定されたプロジェクタ 8 台を用いて、走行環境を映像で模擬している。球面スクリーンの中心は運転席のドライバのアイポイントで、フロアから 1.27m の高さになる。図 2-15 にドーム内のスクリーンと車両（運転模擬装置）の写真を参考に示す。

ドーム内の運転模擬装置を車体への加振装置で 25Hz まで振動を加えるため、振動による画像ブレが起こる可能性がある。そこでプロジェクタの上下固有振動数が 30Hz 以上になるようなドームの剛性を達成するために、航空機の構造材として使われている軽量高剛性のカーボンアルミハニカムサンドイッチパネルを採用し、FEM 解析により構造設計し、32Hz の上下固有振動数を持つドームを開発した。このドームの高剛性化と軽量化は、車両運動模擬装置の応答性改善にも効果があった。

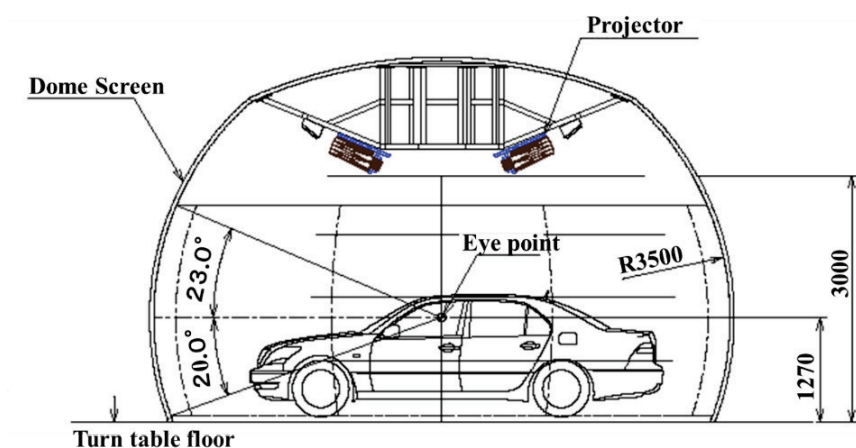


Fig.2-14 Specification of dome screen



Fig.2-15 Dome screen picture

表 2-2 に画像表示装置の諸元と性能を示す．画像表示装置のプロジェクタと映像生成計算機（I.G. : Image Generator）は、100m 先の車両がトラックか乗用車かを見分けられるように 100m 先の乗用車が $10 \times 13\text{dot}$ 、大型トラックが $16 \times 13\text{dot}$ の解像度で表示することを目標に U X G A（ $1600 \times 1200\text{dot}$ ）の解像度を持つ液晶プロジェクタ 8 台（BARCO 社製の SIM6ULTRA）で前述の視野角（ $360^\circ \times 43^\circ$ ）を表示している．最終的な解像度は水平走査線 2 本の光学的分解能 Optical Line Pair（OPL）で視線角度 6.35 分となっているが、人間の眼の解像度の OPL が 1 分の角度であり、人間の眼の解像度に比べると $1/6$ の解像度の映像模擬となり不足している．また高速走行のちらつきを防ぐためには、映像表示速度

はリフレッシュレート 60Hz で描画する描画量（ポリゴン数）を確保する必要がある．コンポジター（画像合成機）を用いて、プロジェクタ 1 台の画面当り 4 台，総計 32 台の画像生成計算機（I.G.）を用いて、1 秒間で 200 メガ ポリゴンのレンダリング能力を確保し 60Hz で表示している．しかし、画像の描画遅れはプロジェクタの表示遅れ 8ms と描画する画像の複雑さにより変化するレンダリング時間を含めて最大 63ms の遅れがある．これも、人間の眼の反応遅れ 20ms に比較して大きく遅れている．従って人間の眼の解像度や反応時間に対して、まだ画像表示装置の能力は不足しており、今後のコンピュータグラフィックスの技術進歩が期待される．

Table.2-2 Visual system specifications and performance

	Specification
Projector	Liquid crystal projector (BARCO, SIM6ULTRA × 8)
Refresh rate	60Hz
Projector delay	≒ 8ms
Total delay	≤ 63ms (Eye response: 20ms)
Image Generator	4 × I.G./projector Total: 32 × I.G. + Viz Compositor
Rendering performance	200M polygon /sec
Resolution	UXGA(1600×1200)
Recognizable car type at 100m ahead	Passenger car: 10×13dot Large truck: 16×13dot
Eye resolution: 1.0 arcmin/OLP	6.53 arcmin/OLP

画像描画の大きな要素になる画像データベースについて説明する．今回は市街地の交差点での事故に至るドライバ運転行動を再現するために、出来るだけリアルな走行環境を作ることを目標に、実在の御殿場市街地を忠実にコンピュータグラフィックスでモデル化した．図 2-16 に作成した道路地図を示す．実線で示す道路はモデル化した実在道路を示し、破線の道路は周回道路を含めて走行可能な仮想道路を示している．図 2-17 に作成した御殿場市街地の鳥瞰図を示す．この画像データベースは御殿場駅周辺を含む 2×3km の範囲の道路（総延長：32km）を精密に（総ポリゴン 48 万）作っている．実在の道路を模擬することにより、ナビゲーションシステムを改造せずに、そのまま使用する事が出来る．これは今後のナビゲーションと協調した運転支援システムの開発には大変重要と考えている．

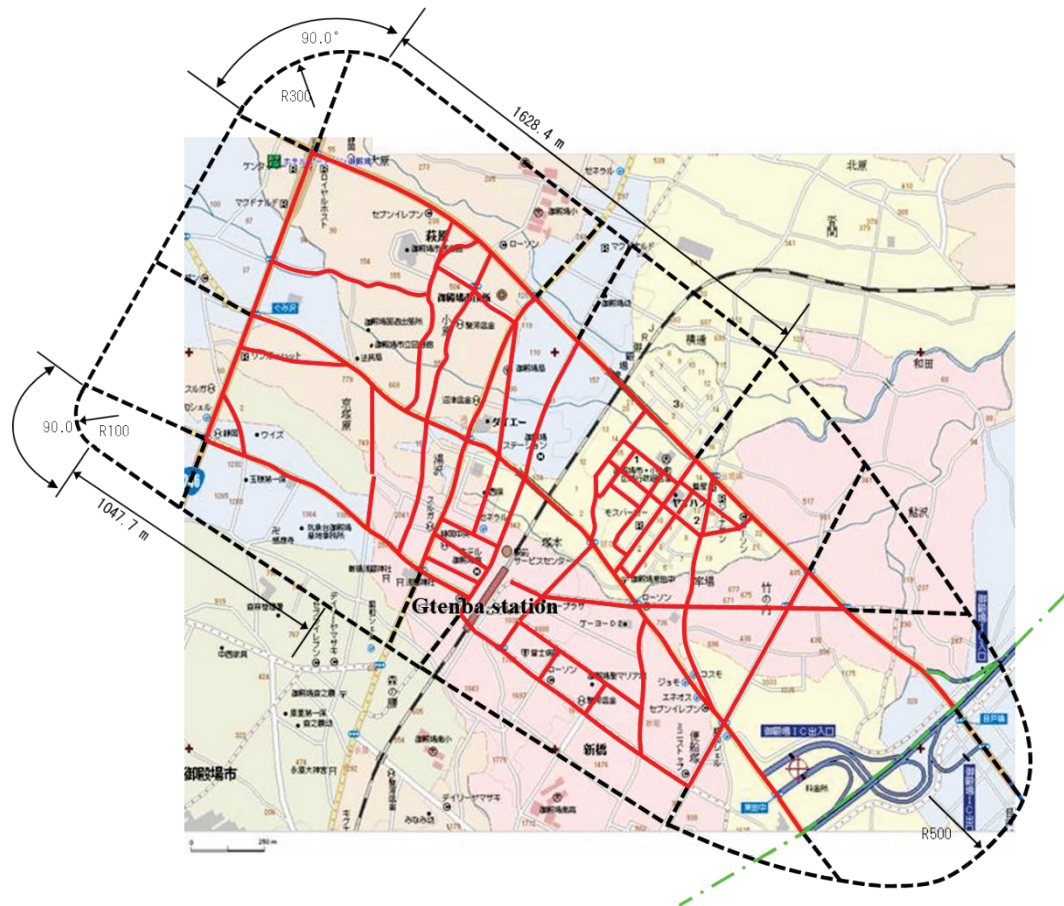


Fig.2-16 Road map of Gotenba city area visual data



Fig.2-17 Bird's eye view of Gotenba city area visual data

第2章 高性能ドライビングシミュレータの開発

走行環境を模擬するための重要な機能に、実験シナリオ計算機による周辺車両の走行や歩行者、自転車、二輪車などの、運転している自車両以外の移動物体の制御や信号などの制御がある。事故場面の再現には、これらの移動物体の動きが大変重要になる。図2-18にある交差点の左折場面における歩行者、自転車、トラック、乗用車などのシナリオの例の写真を示す。従って、この車両や歩行者の動きを自然で且つ必要なタイミングで動かすプログラムが必要になる。現在の移動物体の動きはプログラムで決められた動きしか出来ないが、将来はドライバモデルや歩行者モデルによってインタラクティブな移動物体の動きが出来るようになると考えている。



Fig.2-18 Example of experiment scenario

2.3.3 運転模擬装置

ドーム内の運転模擬装置⁽²⁹⁾として、LS460の実車両からエンジン、ミッションなどの駆動系とサスペンションを取り除いた車体を用いている。図2-19に運転席のインターフェースの写真を示す。このボデー系のマンマシンインターフェース（表示系、操作系、スイッチ）を模擬信号で作動させる制御装置を含むDSのコンピュータシステムの構成図を図2-20に示す。数十台のコンピューターを基幹LANで結びデータをリアルタイムに共有することによりシステム全体が連動している。特にドーム内の運転模擬装置では

第2章 高性能ドライビングシミュレータの開発

表示，操作系の模擬データの算出から，ステアリング，アクセル，ブレーキのデータの取り込みやフィードバックなどの入出力の制御を行っている．また，GPS 信号を模擬する計算機から疑似衛星信号を受信し，ナビゲーションシステムを忠実に作動させる事も可能になっている．



Fig.2-19 Picture of cockpit driver interface

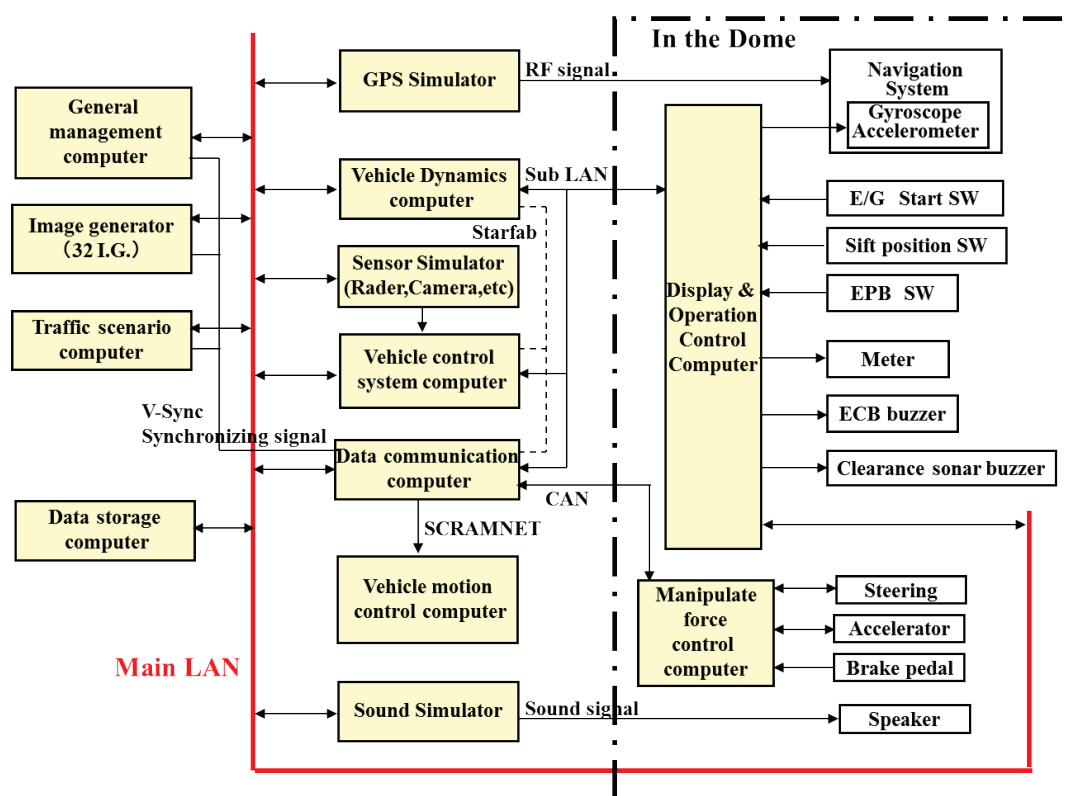


Fig.2-20 Blok diagram of DS control system structure

2.4 DSの性能評価

2.4.1 DSの試乗時のコメント評価

図 2-21 に見学試乗者の試乗コース図を示す。試乗コースは御殿場市内の市街地で 3.5 km、約 10 分のコースで、信号停止が 4 か所あり、周辺車両や歩行者などが設置され、シナリオに従って動いている環境を走行した。走行後にアンケートを行い、そのコメントを集計した結果を図 2-22 に示す。128 名の試乗車の中で、60%以上の試乗者が「大変リアル」、30%弱が「素晴らしい、感動する」、8%が「楽しい」、5%が「乗り心地がリアル」と多くの試乗者が現実感と臨場感について、高い評価をしており、当初の狙いの実際の運転に近い運転感覚が得られている事を確認した。しかしながら、加速および減速時の違和感についてシミュレータ酔いを指摘する試乗者がおり、50%が制動時に違和感を指摘しており、12%の試乗者が「酔いがひどい」と問題点を指摘している。シミュレータ酔いの評価については、詳細な評価と改善について後述する。

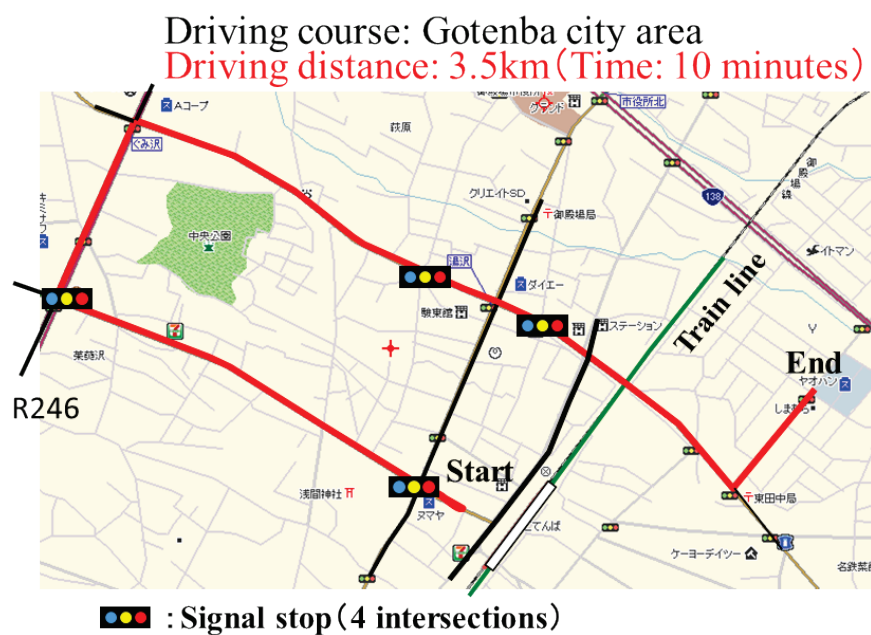


Fig.2-21 Driving course map of test driving

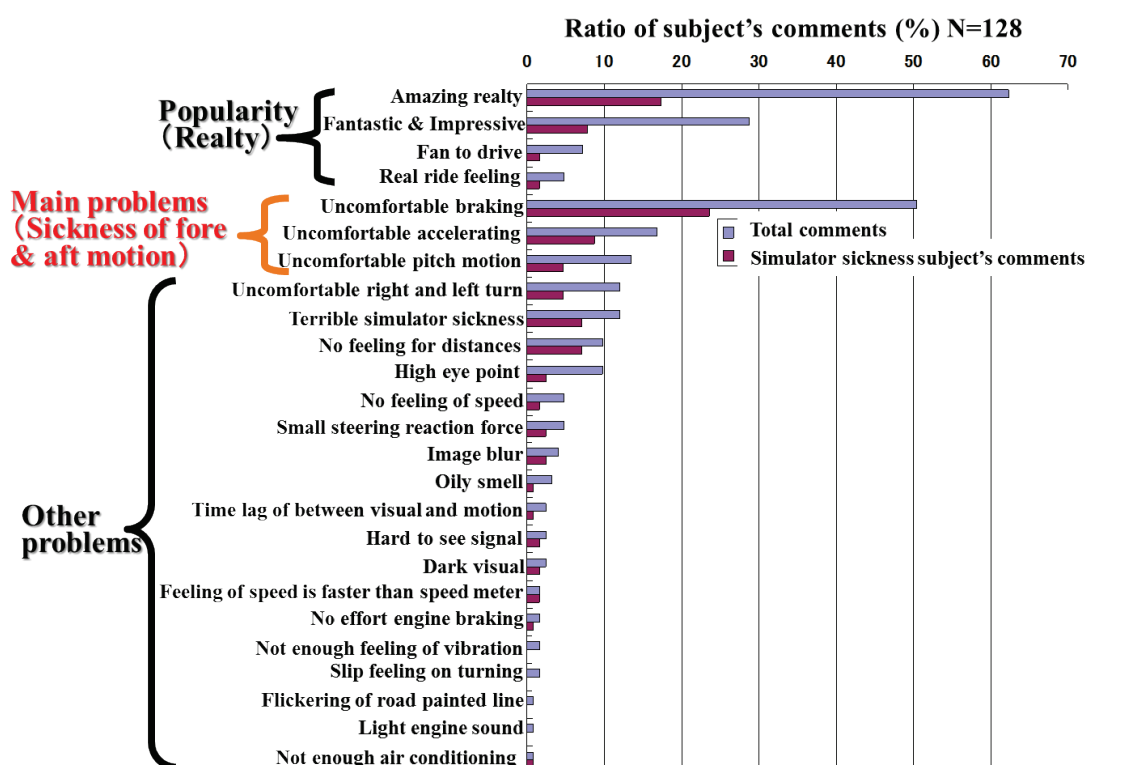


Fig.2-22 Sensory evaluation comments of DS on test driving

2.4.2 DSにおける減速行動の評価

運動模擬装置の無いDSでは、意図した位置に止まるブレーキ操作が難しいという現象があったので、開発したDSを用いてDSの加速度模擬の大きさの違いで、制動時の減速行動が変化するかを調べた⁽³⁰⁾。時速 60km からの停止目標の停止線への減速停止の運転行動を調べた。運転スキルが高い熟練ドライバは減速開始から停止まで一定の減速度でスムーズに減速されている。

図 2-23 に模擬加速度が実際の 50% (スケールファクタ: $SF=0.5$) と 70% ($SF=0.7$) の制動時の減速度波形を示す。 $SF=0.5$ の場合は $SF=0.7$ に比べて制動開始時に大きな減速度で減速し、その後停止位置調整を行う制動を行っていると考えられ、 $SF=0.7$ の場合は比較的滑らかに一定の減速度に近い波形で減速している。

そこで、図 2-24 に $SF=0.5$ で傾斜装置のみ加速度模擬と $SF=0.5$ で傾斜装置と並進装置（並進距離 20m）を組み合わせた場合と $SF=0.7$ で傾斜装置と並進装置（並進距離 35m）を組み合わせた加速度模擬の制動中の減速度の最大値と制動開始から停止までの減速度の平均値の比率を実走行と比較した図を示す。

実走行ではその比率（最大値/平均値）が 1.4 程度になっており、一定減速度に近い形で制動しているのに対して $SF=0.5$ で傾斜装置のみ加速度模擬は減速度の最大値と平均値の比が 2.3 と大きくギクシャクしたブレーキ操作になっている。 $SF=0.5$ で傾斜装置と並進装置（並進距離 20 m）を組み合わせた場合はその比率が 2.0 で、同じ $SF=0.5$ で傾斜装置のみに比べて向上している。これは並進装置と組み合わせることにより前後方向の加速度を感じやすくなったためと思われる。 $SF=0.7$ で傾斜装置と並進装置（並進距離 35m）を組み合わせた場合は減速度の最大値と平均値の比が 1.7 まで小さくなり、実走行に近づくことが確認された。これらの現象から制動時には体感減速度でブレーキを操作するため、体感が不足するとブレーキの踏み込み量が大きくなり、最大加速度が出た後で停止位置調整を行うため、一定減速度によるスムーズな減速が出来なくなったと考えられる。しかし、 $SF=0.7$ で傾斜装置と並進装置（並進距離 35m）を組み合わせた場合でも、実走行に比べるとまだ減速度の最大値と平均値の比は大きく、実走行と同じにするには、実走行と同じ模擬加速度の $SF=1.0$ にする必要があるのかもしれない。

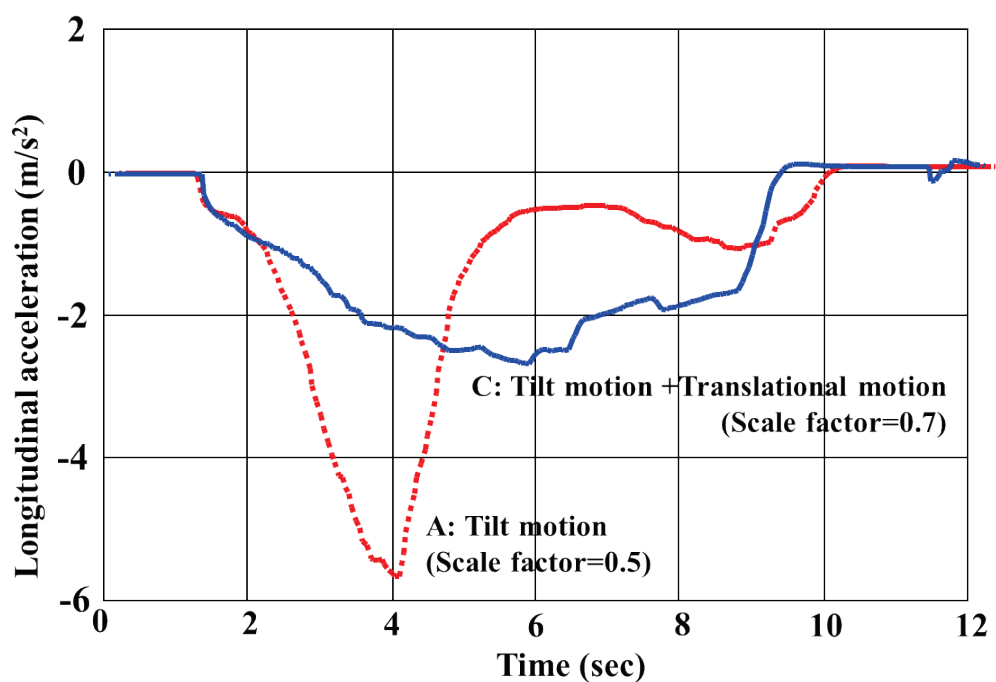


Fig.2-23 Deceleration profile of braking behavior

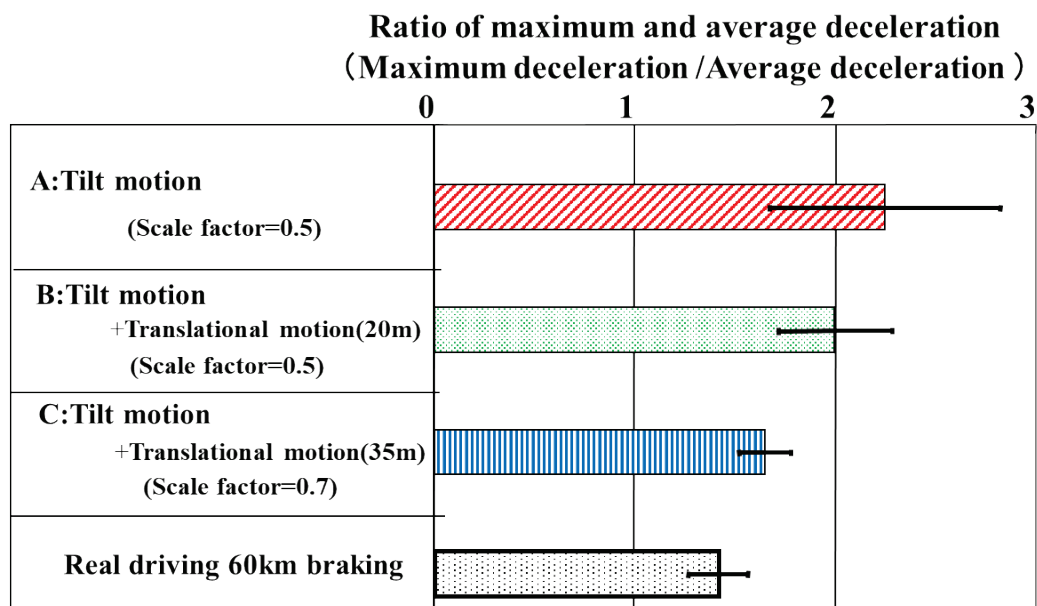


Fig.2-24 Ratio of maximum and average deceleration of braking behavior by motion controls

2.4.3 DSでの距離感の評価

DSで信号交差点や一時停止交差点で減速停止を行なうと停止線などの停止目標地点よりも手前に停止してしまうという現象があり、減速度のスケールファクタが実際より小さいため、体感減速度の不足を感じてブレーキペダルを踏み過ぎてしまい、予想より手前で止まってしまう可能性が考えられる。しかし、DSの画像模擬装置の映像の距離感の違いから早めに制動を開始してしまうのかもしれないと考え、実路での前方視覚の距離感とDS上での距離感が静的に同じに見える前方車両の車間距離を求めた所、図 2-25 に示すように、60m以上の車間距離でDSの方が近く感じ始めて、約120mで20m以上近く感じる事が分かった。つまり車間距離を近く感じ、ブレーキの踏むタイミングが早くなっている可能性がある。

そこで直線のテストコースで、前方の停止したミニバンの手間で停止する減速行動の減速タイミングを実路とテストコースを模擬した画像データのDSで比較した。停止目標位置から300m手前で約40, 60, 80km/hの一定速度走行状態から目標停止位置に向けて、通常の減速を行うようにドライバに指示し、その時の減速開始タイミングをアクセルペダルオフとして、その地点での停止目標までの距離を測定した。その結果を図 2-26 に、走行速度とアクセルオフしたタイミングの停止目標位置からの距離の関係で示す。150mから75mの間でアクセルオフの距離がDSでは長くなり、速度60km/hで28.5m長いことが分かった。つまりDSでは、実路よりも28.5m早く減速行動に入っており、静止状態と同じように28.5m近く感じていることになる。静止時の距離感や走行中の距離感などは、周囲の目標物の影響を受けると考え、DSの映像の周辺の解像度を向上させるため、直線道路の路側帯の樹木を2次元の平面図から多面体の立体に変え、路面模様の解像度を4倍に上げ、距離感に影響のあると思われる画面解像度を向上させてアクセルオフの距離を測定したところ速度60km/h距離感が10.9m、実走行の距離に近づいた。現状の画面解像度は目の解像度の1/6しかないため遠方の距離感がずれていると考えられる。模擬映像の距離感を実走行と同じレベルにするには、一般に知られている立体視による3D化だけでなく、眼と同じ程度の解像度と考えられる8Kレベルの映像解像度と画像データの高精細化が必要になると思われる。

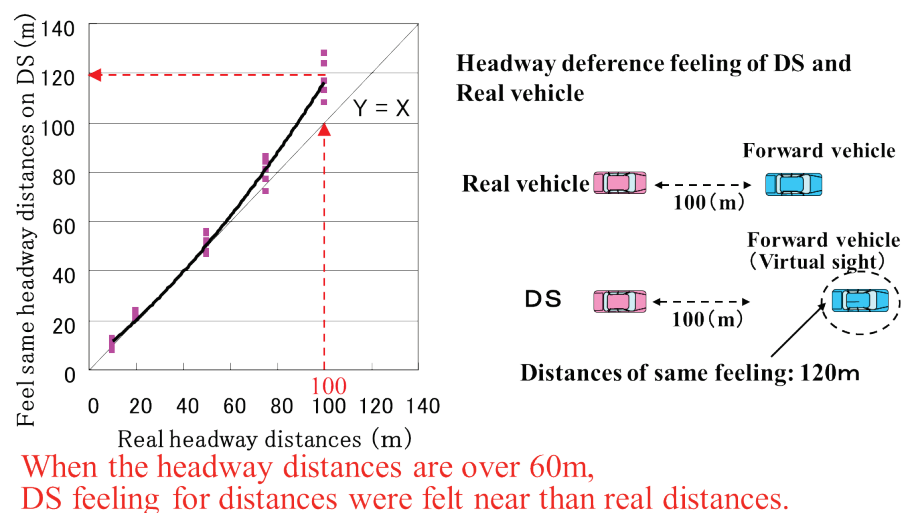


Fig.2-25 Relationship of DS and real vehicle for headway distance feeling by static visual sensation

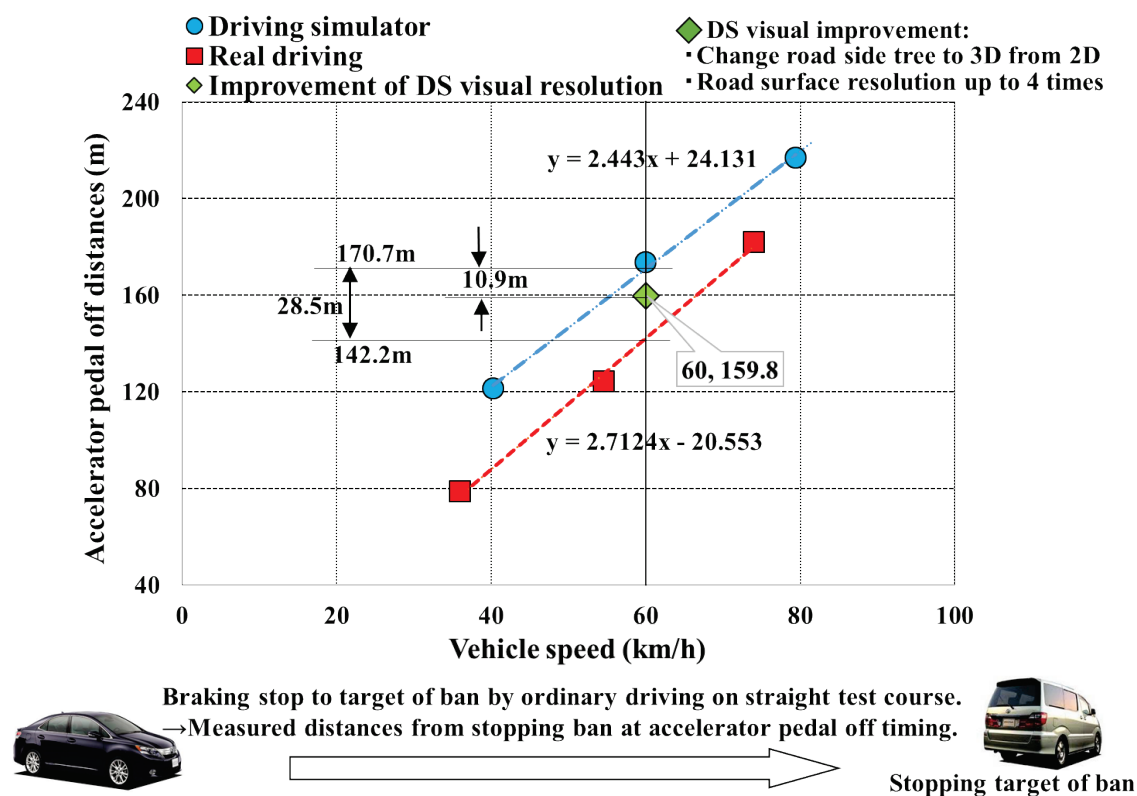


Fig.2-26 Relationship of DS and real vehicle for headway distance feeling by driving visual sensation

2.4.4 シミュレータ酔いの評価

一般にDSは映像模擬や運動模擬装置などにより、車の走行を模擬するため、実走行との違いから乗り物酔いに似たシミュレータ酔いが発生し、被験者が計測中に気分が悪くなり、実験中止になる場合が多くある。J. O. Brooks⁽⁵⁸⁾らは若者に比べ高齢者は酔いやすく、実験中の酔いによる実験中止判断基準などのシミュレータ酔いへの対応を解説している。シミュレータ酔いの低減のため、B. Aykent⁽⁵⁶⁾らは車両の運動による体感加速度を模擬する装置の有無により、画像のみの静的なシミュレータと車両の動きを模擬する動的なシミュレータの酔いを評価し、動的なシミュレータの酔いの低減効果を確認している。浅野⁽²⁶⁾らは市街地の右左折時に運転席を車両のヨー角に合わせてターンテーブルで回転させると、右左折時のシミュレータ酔いを低減できることを確認している。従って、車両の動きを模擬する運動模擬装置がシミュレータ酔いの低減に効果があると考えられる。そこで、シミュレータ酔いを低減し、交通事故場面などの運転行動を精度良く測定するには、可能な限り忠実に自動車の運動感覚を含めた運転環境を模擬する必要があると考え、米国高速道路交通安全局（NHTSA）はアイオワ大学の L.D. Chen⁽²⁵⁾らにより、ドーム内に 360 度の視野角を持ち、実物車両を搭載し、傾斜装置と並進装置で体感加速度を模擬する大規模なドライビングシミュレータ（NADS）を開発している。しかしながら、NADS の色々な実験の中で、C. Roe⁽⁵⁷⁾らはシミュレータ酔いについて、NADS は一般のシミュレータよりも酔いのレベルは低い、急旋回や急減速ではない通常運転時の減速行動や緩いカーブなどの走行において酔いがあることを明らかにしており、シミュレータ酔いを無くすことは難しい。ドライビングシミュレータの酔いを評価するために、R. S. Kennedy⁽⁵⁹⁾らは 16 項目の質問指標（SSQ: Simulator Sickness Questionnaire）を開発し、赤松⁽⁶⁰⁾らはそれを基に「気持ち悪さ」「目の疲れやかすみ」「めまいやフラフラ感」の 3 項目に集約した SSSQ（Simplified Simulator Sickness Questionnaire）を提案している。図 2-27 に SSSQ の評価シートを示す。この SSSQ を用いて、図 2-28 に示す運転コースで 30 分の加減速や停止、右左折を含む酔い易い市街地走行における開発したシミュレータ酔いの評価を行なった。図 2-29 に SSSQ による評価を完走率の関係で示す。この完走率は評価や実験中にシミュレータ酔いに耐えられなくなり走行を中止しなかった被験者の割合を表している。一般的な加速度模擬のスケールファクタが小さい DS では SSSQ が 5 点で 50% 以下の完走率というデータを参考にすると、今回開発した DS の酔いは SSSQ=3 点で完走率 75% で、一般的な DS に比べれば酔いが少ない

(30) . また図 2-30 に約 10 分程度のDSの試乗時のアンケート結果を示す. その結果, ひどく酔う 5%, 酔う 14%, 少し酔う 41%, 酔わない 40%となり, 約 80%の被験者はDS実験に耐えられると考えられる. しかし, さらに改善を検討する必要がある.

SSSQ: Simplified Simulator Sickness Questionnaire

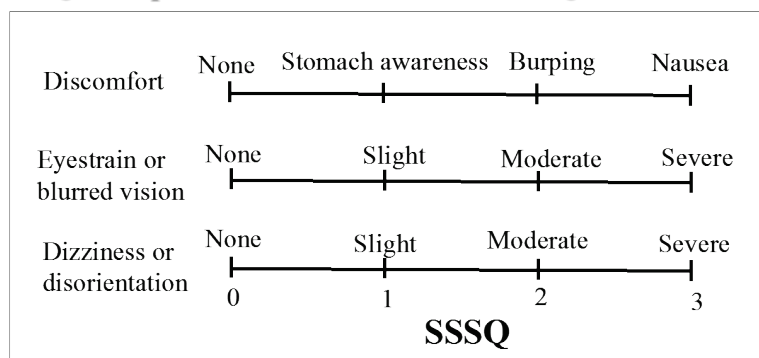


Fig.2-27 Sensory evaluation questionnaire of motion sickness

Driving course: city area

Driving distance: 3.5km (Time: 15 minutes) × 2 cycle



Fig.2-28 Driving course map of motion sickness evaluation

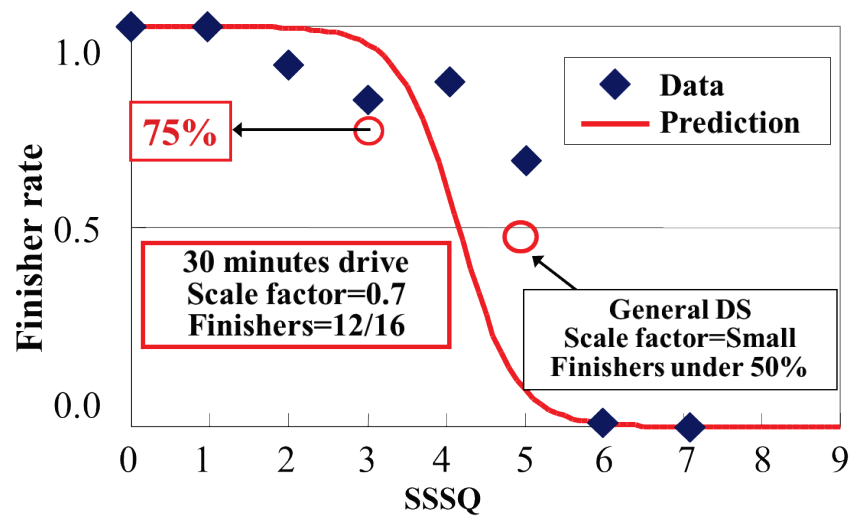


Fig.2-29 Evaluation results of Simplified Simulator Sickness Questionnaire

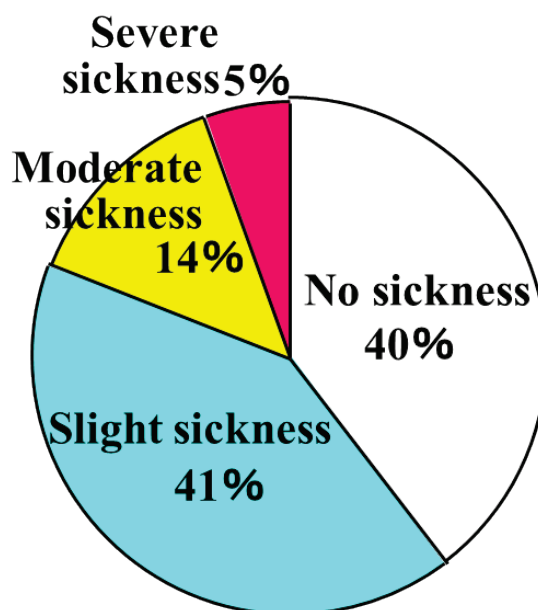


Fig.2-30 Distribution of simulator sickness evaluation questionnaire at test driving

2.4.5 シミュレータ酔いの改善検討

シミュレータ酔いは乗り物酔いと共通する部分があると考えられる。宇宙船や飛行機や自動車の乗り物酔いは色々研究されており、原因は、視覚、前庭器官、および体性感覚系の入力 of 感覚不一致説によると説明されている。しかし、被験者により酔いの程度

が異なり、要因が多くすべてを解明することは難しいと Thomas A. Stoffregen⁽⁵⁴⁾ らは批評している。M. Oman⁽⁵⁵⁾ は制御工学のオブザーバ理論に基づいて乗り物酔いの感覚不一致のモデル化を試みている。しかし、乗り物酔いの感覚不一致とドライビングシミュレータ(DS)における視覚、前庭器官、体性感覚系の感覚不一致のモデルはDSの模擬レベルにより、各感覚入力の組み合わせとそのバランスが異なる可能性が考えられる。しかし広義にはシミュレータ酔いも乗り物酔いと同じように視覚、前庭器官、体性感覚系の感覚の3つの感覚不一致⁽⁵⁹⁾と考えると良いとされている。

乗り物酔いの感覚不一致モデルを参考にドライビングシミュレータの酔いの感覚不一致の関係をブロック図として作成し、図 2-31 に示す。一般的な乗り物酔いは例えば電車に乗っているときの運動認識のための3つの感覚の不一致つまり自己運動知覚の不整合と考えられる。自動車の運転の場合は図 2-31 に示すように、ドライバが意図したアクセル、ブレーキ、ステアリングの操作に対する自動車の運動を視覚や体感を基にして感じて運転するために、操縦意図と車両の運動感覚の不整合が問題なる。従って車両の運動に対する視覚や体感の感覚に非常に敏感になり、おう吐を伴うひどい酔いが起こる場合があり、実験中止やその時の体調の回復に注意が必要になる⁽⁵⁴⁾。DSの映像模擬装置と運動模擬装置を正確に同期させることが難しいため、視覚と前庭器官が連動する動眼反射の感覚不一致⁽⁵⁵⁾により、SSSQ のめまいやフラフラ感と眼のかすみや疲れなどを起こすと考えられる。動眼反射による視覚と前庭情報の関係は、DSの運動模擬装置のピッチ角度や上下加速度と前方模擬映像との感覚不一致による酔いを引き起こすため、運動模擬装置を持つ、DSにとっては重要な要素となる。

図 2-32 に試乗者のアンケートのコメントを集計した結果を示す。この中で減速時の違和感と加速時の違和感とピッチの動きの違和感についてシミュレータ酔いが指摘されている。これは加速度及び減速度の模擬を前後のピッチ角で模擬しているためと思われる。

人体のピッチ方向の動きを感じる前庭感覚はピッチ角加速度に反応して動眼反射を起こすので、特にアクセルとブレーキを操作した過渡的な加速度変化に対する傾斜装置のピッチ角加速度が原因と推定し、ピッチ角加速度が小さくなるように運動模擬装置の制御パラメータを変更し、シミュレータ酔いを評価する実験を行った⁽³¹⁾。

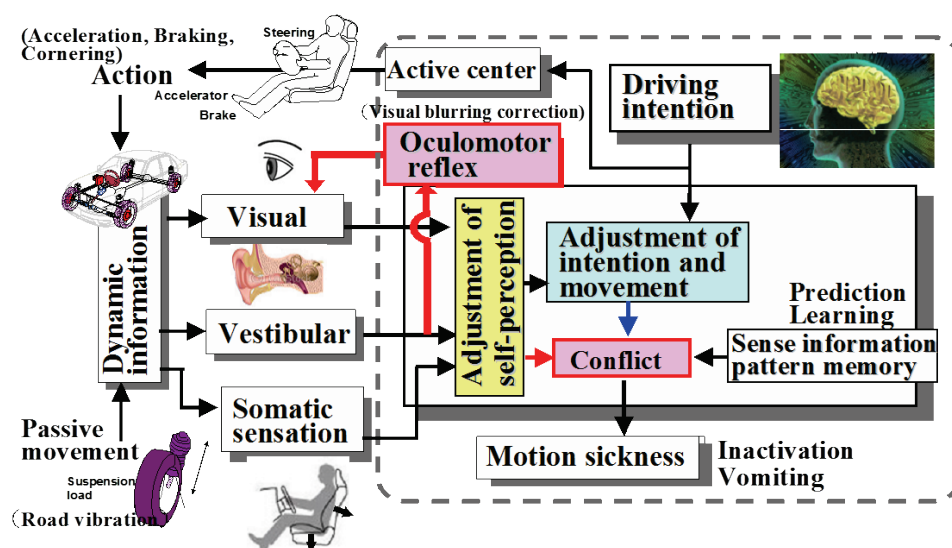


Fig.2-31 Block diagram of sense conflict theory

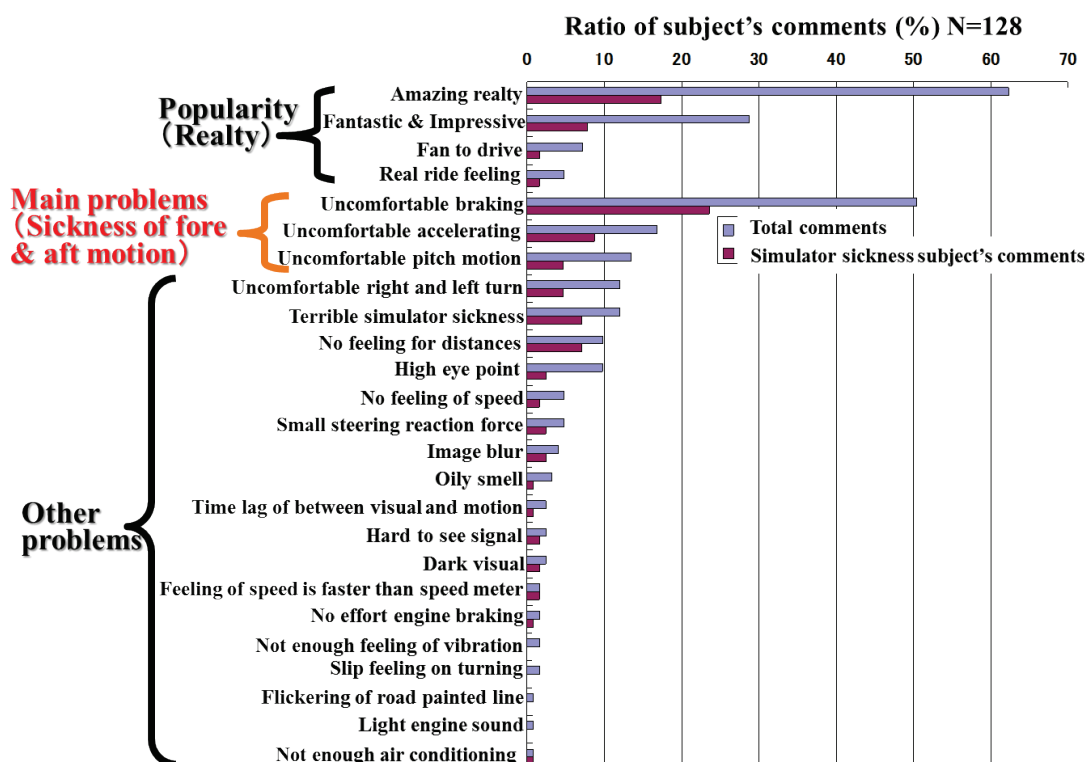


Fig.2-32 Sensory evaluation comments of DS on town test driving

図 2-33 に運動模擬装置の制御アルゴリズムのブロック図とその制御パラメータを示す。車両の運動シミュレーションによって計算された車両の前後左右上下の加速度とヨー，ロール，ピッチの車体角度が入力されると，前後左右加速度とヨー角にスケールファクタ 0.7 が掛けられ，

上下加速度とロールとピッチ角にはスケールファクタ 0.45 が掛けられている。ヨー角はウォッシュバックのためのハイパスフィルタ 0.008Hz を通してドーム内のターンテーブルで制御される。前後左右加速度は2次の物理フィルタのカットオフ周波数 0.25Hz のローパスフィルタが掛けられて、加速度の低周波成分をピッチとロールの傾斜角で模擬するための傾斜角を算出し、傾斜速度に 4.0deg/s のリミッタ掛けてドライバに傾斜を感じさせないように設定されていた。傾斜速度リミッタを掛けられた加速度模擬のピッチとロールは傾斜装置で制御され、ピッチとロールで模擬された加速度を基の加速度から引いた値がウォッシュバックのためのハイパスフィルタ 0.024Hz を通してローパスフィルタで 11.4Hz 以下が並進装置で加速度を制御し、残された 11.4Hz 以上の前後左右加速度は傾斜装置の並進制御で制御される。その他の車体の上下加速度とロール、ピッチ角は速度感の模擬として道路の坂や凹凸による上下、ロール、ピッチの振動として、ハイパスフィルタで3.2Hz 以上の振動を車体加振措置で制御している。試乗者のコメントでは加速減速時の過渡状態でクラツと違和感を覚えるため、視覚と前庭器官による動眼反射の影響と考えると、前庭器官の加速度及び角加速度を感じにくくするために、加速度模擬のピッチロールの傾斜のローパスを 0.25 から 0.16Hz に下げ、傾斜角加速度リミッタ 10deg/s²を追加した。また動眼反射の影響を少なくするために道路の凹凸などによる上下、ロール、ピッチ振動のハイパスフィルタを 3.2 から 6.4Hz に上げて、制御の変更による傾斜角加速度の低減効果とシミュレータ酔いの変化を確認した。

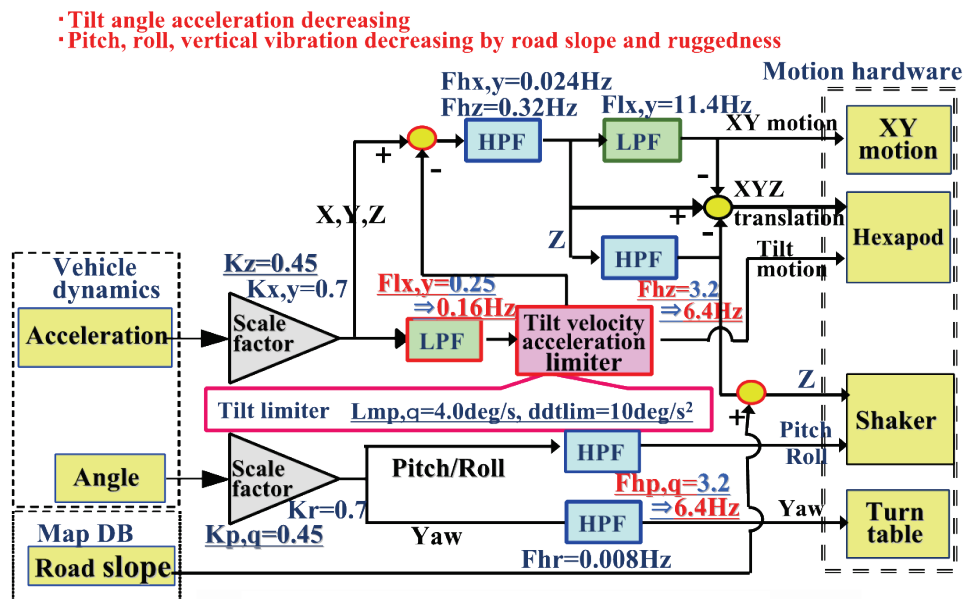


Fig.2-33 Block diagram of Motion Drive Algorithm and control parameters

図 2-34 に制御パラメータを改良して、発進加速時の同じ車両運動を入力して、運動模擬装置を動かした時のピッチ角による模擬加速度と並進装置による模擬加速度、その両者を足したDSの前後方向の模擬加速度とピッチ角速度とピッチ角加速度、さらに並進装置の移動変位を加えた時系列グラフを改良前と比較して制御結果の違いを示した。同じ加速度入力のためDSの前後方向の模擬加速度はほぼ同じだが、加速度模擬の傾斜角のローパスフィルタを 0.25 から 0.16Hz に下げたことにより発進加速時の加速度の立ち上がり時のピッチ角加速度が小さくなっている事が分かる。その差を図 2-35 の棒グラフに示す。ピッチ角加速度は 8.07 から 6.25deg/s^2 と 23%減少した。それによりピッチ角の応答が遅れて、それを並進加速度が補うために加速終了時の並進装置の移動距離が 7.39mから 8.75mへ 18%大きくなっている。並進移動限界距離は前後方向 35m, 左右方向 20m であるため、発生させる加速や減速の大きさによっては、制御範囲をオーバする可能性が出て来る。図 2-36 に制動減速時のピッチ角による模擬加速度と並進装置による模擬加速度、その両者を足したDSの前後方向の模擬加速度とピッチ角速度とピッチ角加速度、さらに並進装置の移動変位を加えた時系列グラフを改良前後で比較して制御結果の違いを示した。制動減速時の加速度の立ち下がり時と制動停止時の加速度の揺り返し時のピッチ角加速度が小さくなっている事が分かる。その差を図 2-37 の棒グラフに示す。制動開始時のピッチ角加速度は 9.4 から 6.4deg/s^2 と 32%減少し、停止時のピッチ角加速度は 13.2 から 10.2deg/s^2 と 23%減少した。さらに、制動停止時の揺り返しショックの加速度も 2.69 から 2.34m/s^2 と 13%減少している。それに対して減速停止後の並進装置の移動距離は 7.8mから 9.2mへ 18%大きくなっており、並進装置の制御範囲の限界に注意する必要がある。図 2-38 に右折時のロール角による模擬加速度と並進装置による模擬加速度、その両者を足したDSの左右方向の模擬加速度とロール角速度とロール角加速度、さらに並進装置の移動変位を加えた時系列グラフを改良前後で比較して制御結果の違いを示した。右折旋回初期のロール角加速度の変動が小さくなっている事が分かる。その差を図 2-39 の棒グラフに示す。ロール角加速度は 11.5 から 8.29deg/s^2 と 28%減少した。それに対して右折終了後の並進装置の移動距離は 3.42mから 3.95mへ 15%大きくなっており並進装置の制御範囲の限界に注意する必要がある。共にピッチ、ロールの角加速度の過渡的な変化量が低減され操作初期の過渡的な違和感が減少した。

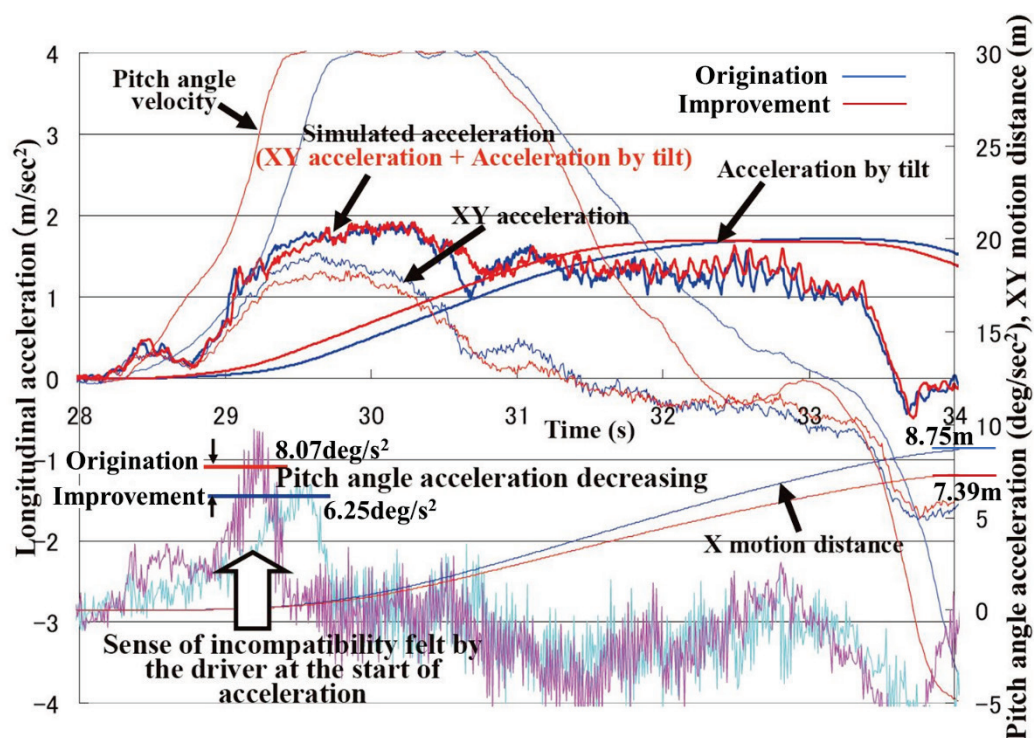


Fig.2-34 Comparison of original moving profile and improvement moving profile during quick acceleration

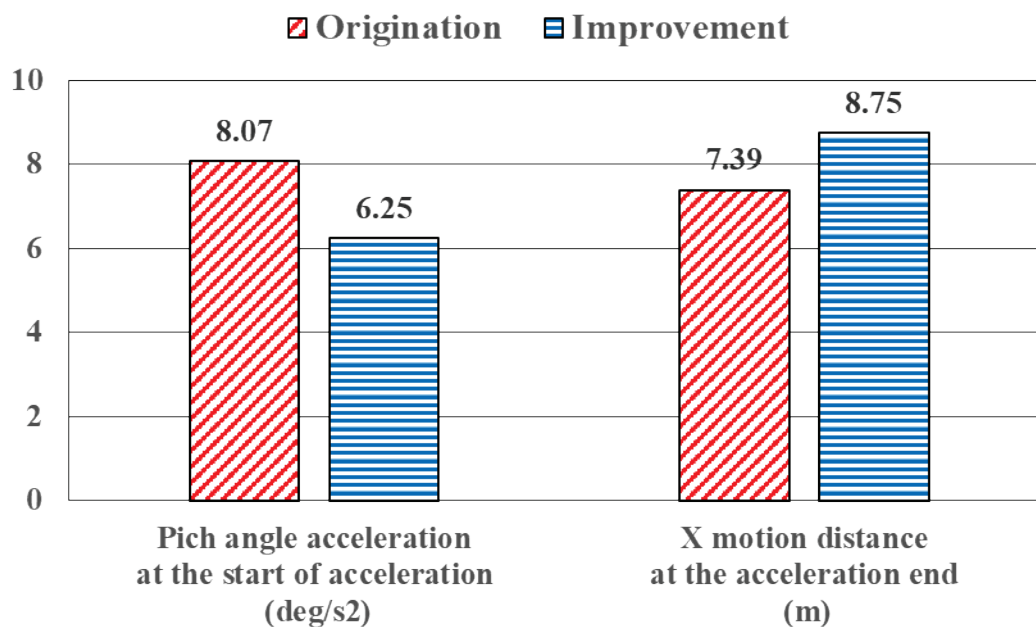


Fig.2-35 Comparison of original pitch angle acceleration and improvement pitch angle acceleration during quick accelerating

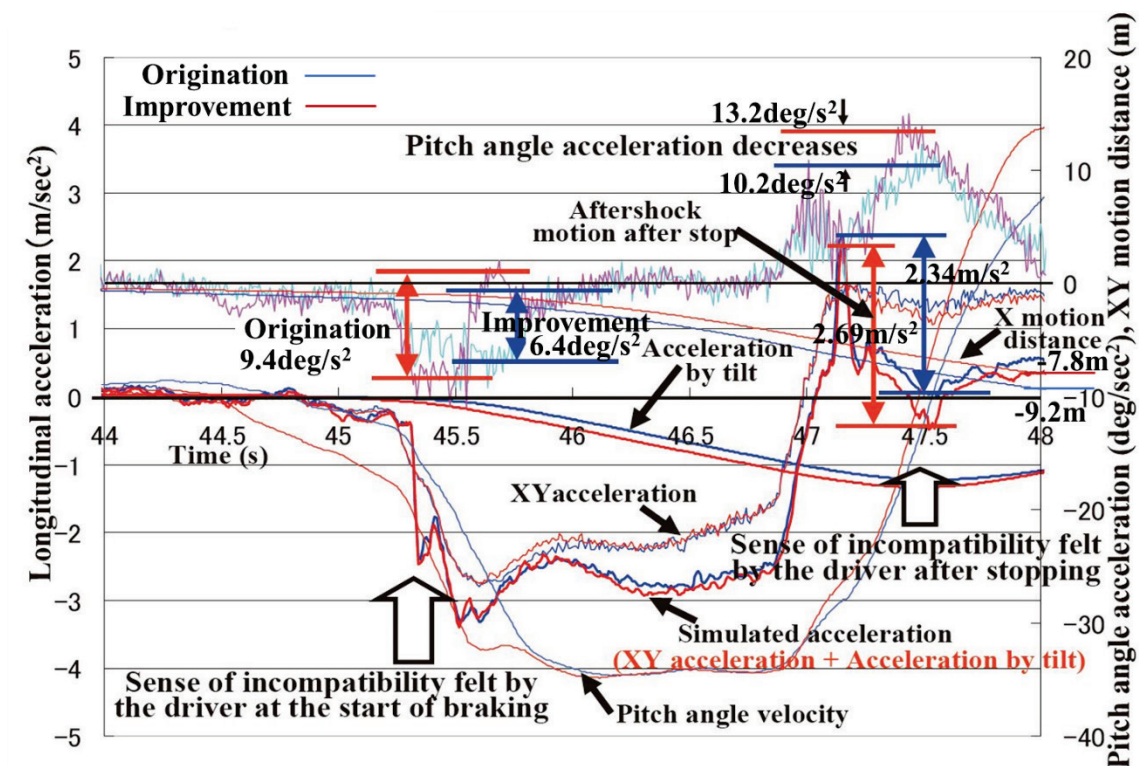


Fig.2-36 Comparison of original moving profile and improvement moving profile during braking

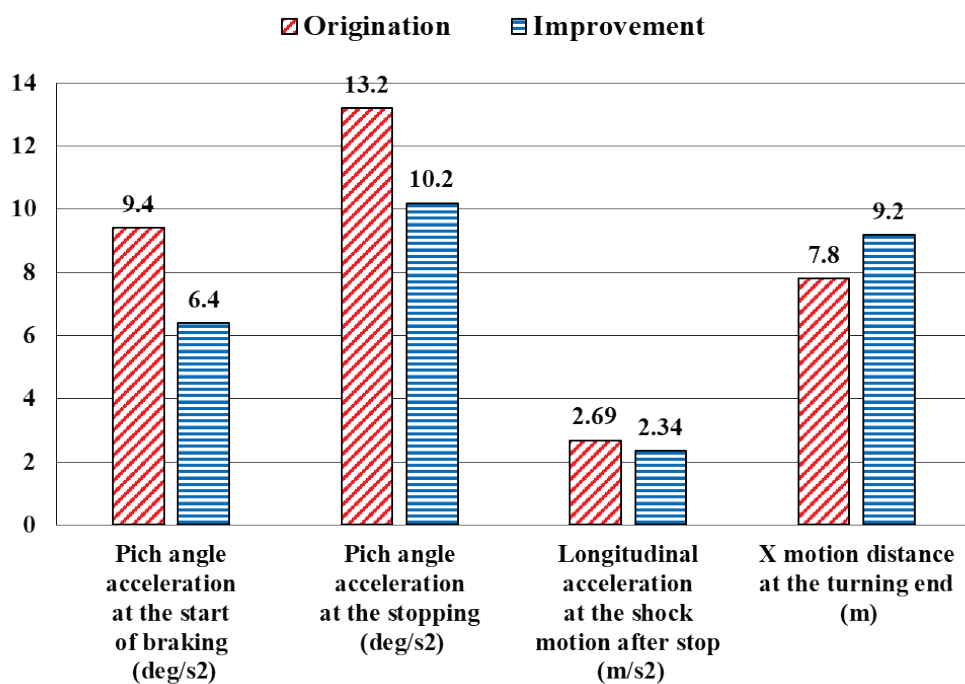


Fig.2-37 Comparison of original pitch angle acceleration and improvement pitch angle acceleration during braking

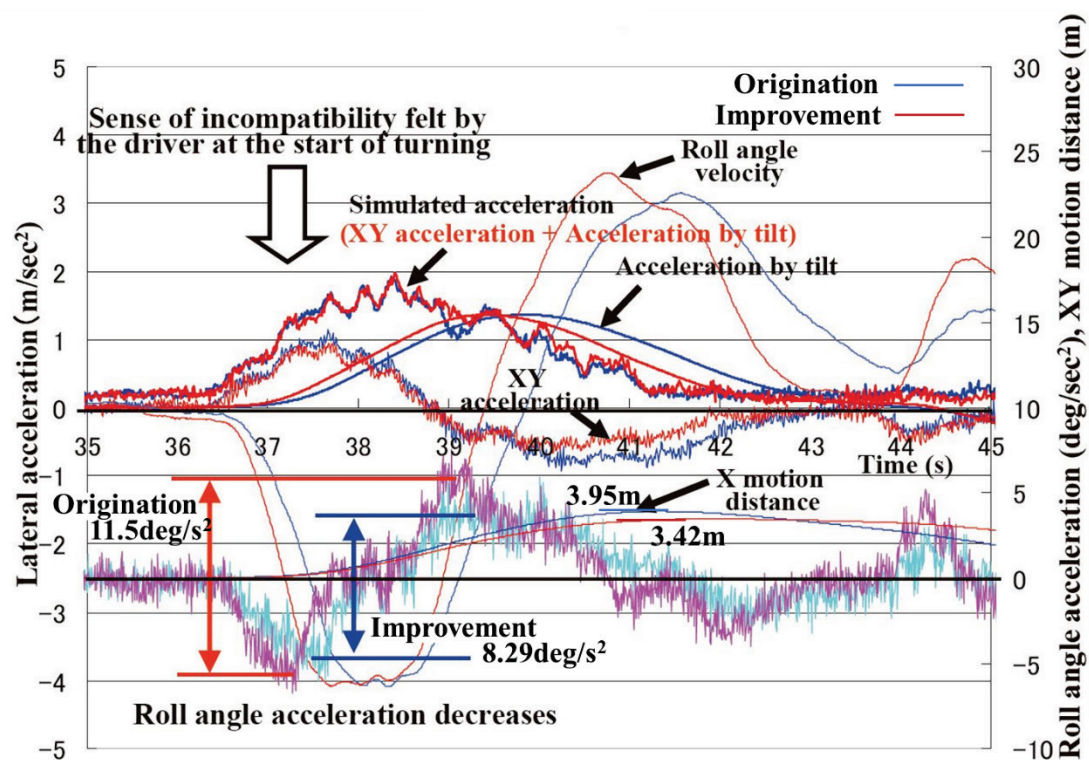


Fig.2-38 Comparison of original moving profile and improvement moving profile during right turning

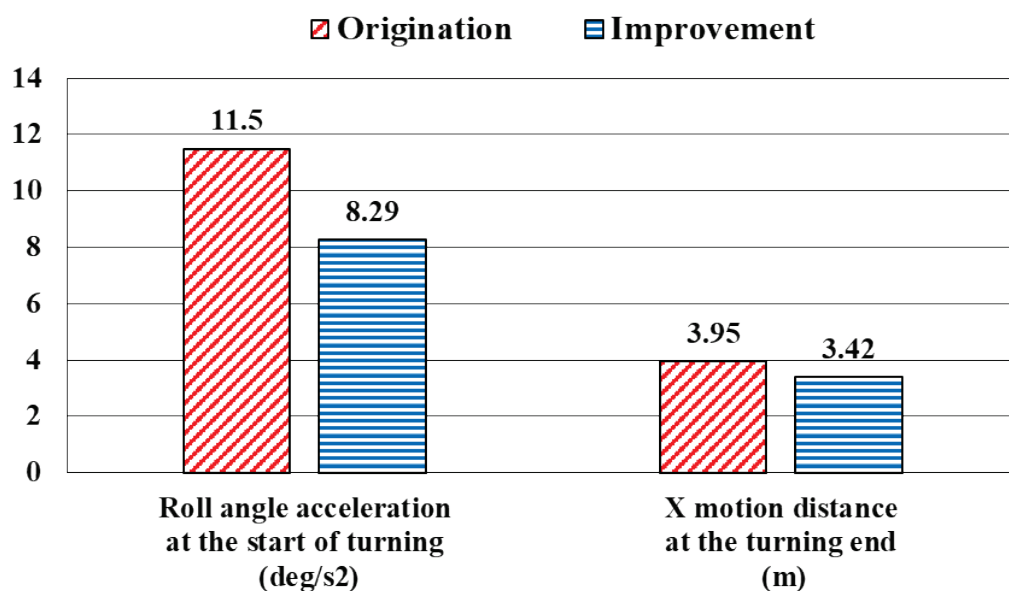


Fig.2-39 Comparison of original roll angle acceleration and improvement roll angle acceleration during right turning

発進時や減速時などの加速度の過渡的な変化時に感じる違和感が傾斜角加速度の減少により向上したので、この違和感の原因は前後加速度模擬を傾斜角で模擬していることにより、過渡的な加速度変化時の傾斜角を感じて前庭動眼反射が起こり違和感を発生すると仮定し、加速度模擬のピッチ角変化により、動眼反射が起きているかを調べた。被験者がドーム内の前方画像の画面中心のターゲットを注視している状態で、ドームをピッチ角 6 deg, 0.08Hz, 0.16Hz, 0.24Hz で加振した時の眼電位を計測した⁽³²⁾。図 2-40 にドームピッチ角速度と眼電位の時系列波形を示す。0.08Hz では眼電位の変化は少ないが、0.16Hz から 0.24Hz ではドームピッチ角速度と同じ周期で反対方向に反応するドライバの眼球運動が起こり、眼電位の振幅はより高い周波数で増大した。これは、ピッチ角加速度に応じて増加していると考えられる。従って、傾斜角加速度の低減制御によって、前庭動眼反射の発生が抑制されて違和感が減少したと思われる。通常の市街地走行では、それほど大きな加減速度を発生させないので、それほど大きな差は確認できないと考えられるが、傾斜角加速度の低減制御の効果を前述の酔い評価で用いた市街地コースで約 10 分間の走行で酔いの SSSQ 評価を行い調べた。その結果は図 2-41 に示すように SSSQ の評価点で 1 点であったが改善効果が確認された。しかしながら長い時間の D S の運転では完全には酔いを無くすことは出来ず、その他の要因も検討する必要があると思われる。

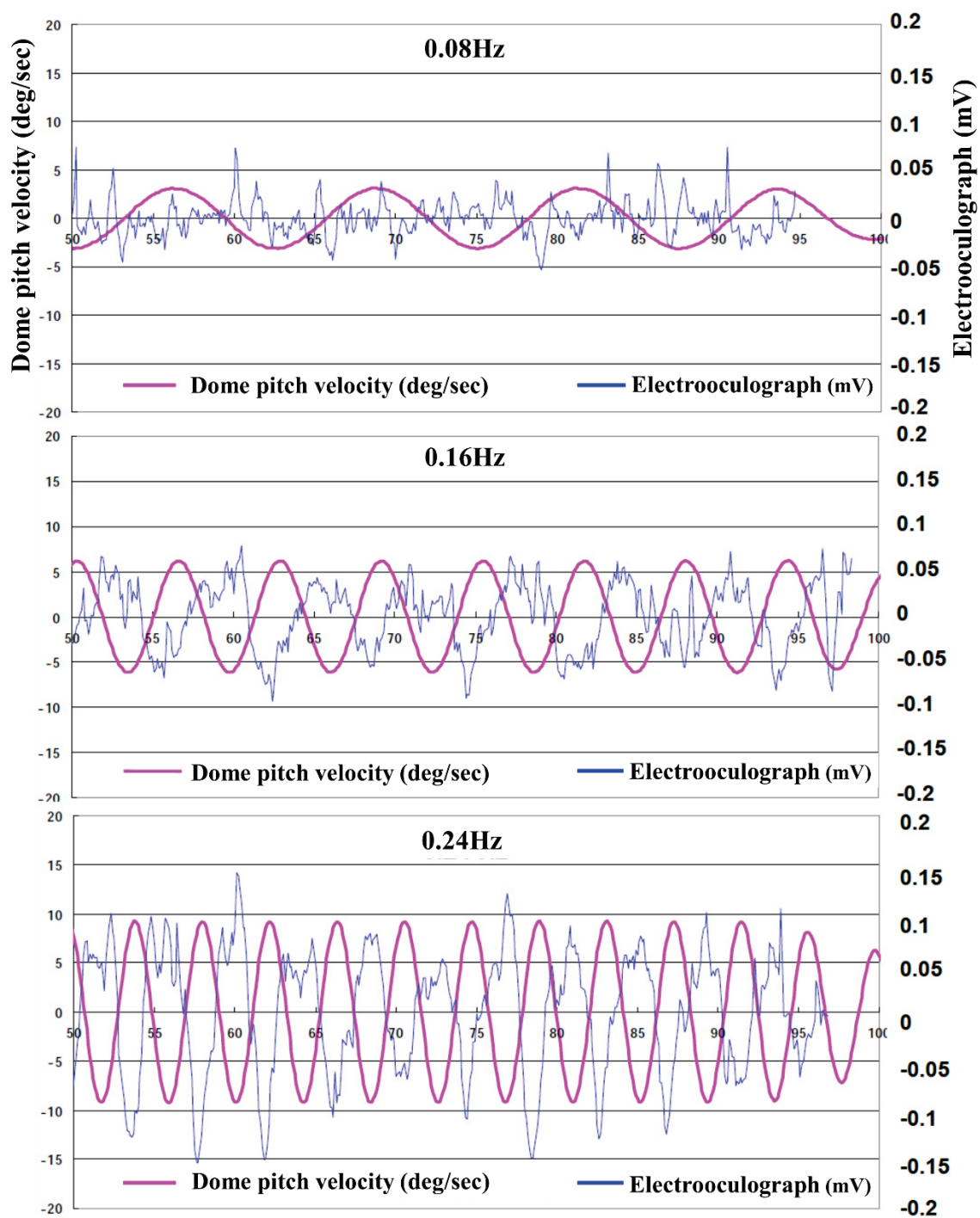


Fig.2-40 Measurement of vestibulo-ocular reflex by pitch angle oscillation

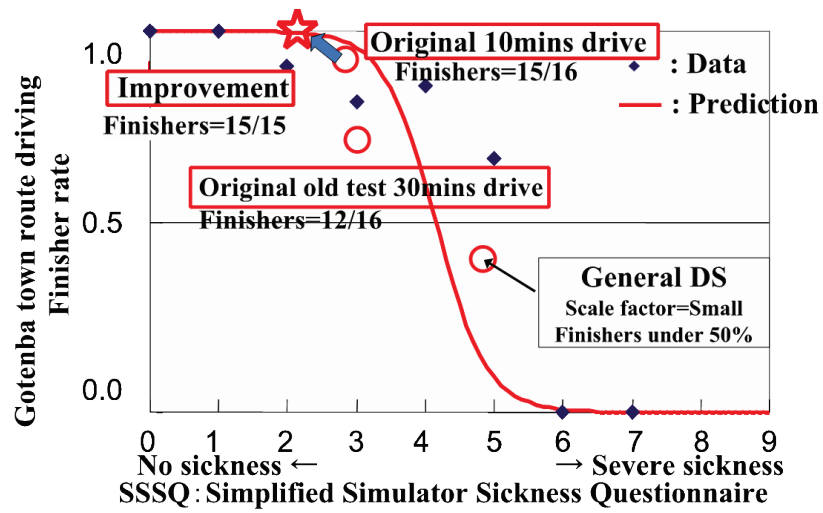


Fig.2-41 Evaluation of motion sickness improvement

2.5 まとめ

日本で高齢ドライバの事故が多い市街地の交差点において、ドライバが事故に至る原因を追究し事故を防ぐ技術を開発する道具として、ドライビングシミュレータを開発した。

1. 交差点での減速、停止、発進、加速、右折、左折が違和感無く行える様に、車両の前後左右加速度を模擬するために傾斜装置と 35×20m の稼働範囲を持つ並進装置を備えた、高応答な車両運動模擬装置を開発し、市街地走行での現実感を高め、シミュレータ酔いを低減し、酔い評価時の完走率 50 から 75%に向上させた。
2. 360° の球面スクリーンを持つ高解像度の映像模擬装置と実在の街を模擬した高精細な画像データベースを開発し、市街地の交通環境をリアルに再現した。6 割以上の試乗体験者から体感を含めたリアリティ（現実感）が素晴らしいとの評価を受けた。
3. 車両の加速度模擬量を大きくして実加速度に近づけると実路の制動行動に近くなり、加速度模擬量が制動操作に影響していることを明らかにした。
4. 制動開始タイミングに影響する前方画像の距離感が、画像の解像度に影響されて、実距離より短く感じて制動開始が早くなることを明らかにした。
5. 加減速走行の過渡的な加速度変化時に感じるシミュレータ酔いの改善を検討し、体感加速度模擬のピッチ角加速度を小さくすると酔いが低減する事とピッチ角加速度に対応した前庭器官による動眼反射が起きることを確認し、動眼反射の酔いへの影響を示唆した。

このDSを用いて、高齢ドライバの事故に至る経緯を調べる事故場面として、高齢ドライバの事故が多い形態、出会い頭事故、追突事故、歩行者事故、右折事故が考えられるが、事故が発生するシナリオとしては、出会い頭事故や歩行者事故は周辺環境の違いが大きく、再現が難しいので追突事故と右折事故場面での事故再現を試み、出会い頭事故については一時停止交差点での安全運転行動を調べた。

第3章 ドライビングシミュレータを用いた追突警報時の ドライバの特徴分析

3.1 目的

D Sを用いて事故場面における事故に至る経緯を調べるために、追突事故場面を想定し、衝突被害軽減ブレーキシステムの効果評価の実験を行った。自動車の予防安全分野では、事故の防止や衝突による被害を軽減するための様々なシステムが開発され展開が進んでいる。そのようなシステムは、まず警報でドライバに衝突の危険を知らせるが、実際の事故場面においてどれ位のドライバがその警報を認知し、どの程度の回避行動を取ることができるのかなど、システムの開発や効果評価の基礎となるドライバの反応特性データはまだ十分でない。そこでP C S (Pre-collision system) と呼ばれる、衝突被害軽減ブレーキシステムを題材に、一般ドライバの追突警報反応を定量化するとともに特に高齢ドライバなどの事故直前の反応の違いを明らかにする実験と分析を行なった。

P C Sが作動するような状況やドライバ意識低下時の警報の効果実験などは衝突する怖れが高く、公道のみならずテストコースでも実験困難である。そのため、仮想現実の世界で事故発生環境を模擬出来る実験が必要になって来る。更に精度良くドライバの反応を調べるためには、自動車を運転している現実感や衝突直前の臨場感を持つことが望ましい。

そこで、第2章で開発した高性能ドライビングシミュレータ (D S) を用いて、高齢ドライバを含む一般ドライバの追突警報反応を調べた。

3.2 P C Sについて

P C Sは前方障害物検出センサ、ブレーキ制御システム、前方センサからの情報を基に制動タイミングを決定する電子制御装置 (E C U) によって構成されている。先進的なP C Sでは車両だけでなく歩行者まで検出したりドライバの状態を監視したりする機能を備えたものもあるが、今回は図 3-1 に示すような、警報ブザー (P W) , ブレーキアシスト (P B A) と介入ブレーキ (P B) の3つの機能を持つものを想定した。以下にそれぞれの機能の概要を示す。

① 警報ブザー (PW)

衝突対象との関係などにより衝突の可能性が大きくなったと判断された時、ドライバに衝突回避操作を促すためにブザーと表示により警報を行う。

② ブレーキアシスト (PBA)

従来のブレーキアシスト (BA) はブレーキペダルが急激に踏み込まれた場合にのみ制動力を助勢するが、PCSのブレーキアシストは、衝突の可能性が高いと判断されるタイミングになると作動し、以降の踏み込みの大きさに応じて制動力を助勢する。

③ 介入ブレーキ (PB)

システムが衝突を避けられないと判断した時、ドライバの操作如何によらず自動的にブレーキをかける。

PCSの効果は、ドライバが警報に対してどのように反応できるかによって大きく異なる。そこで警報機能のみを切り出し、それに対するドライバの衝突回避操作に注目した。

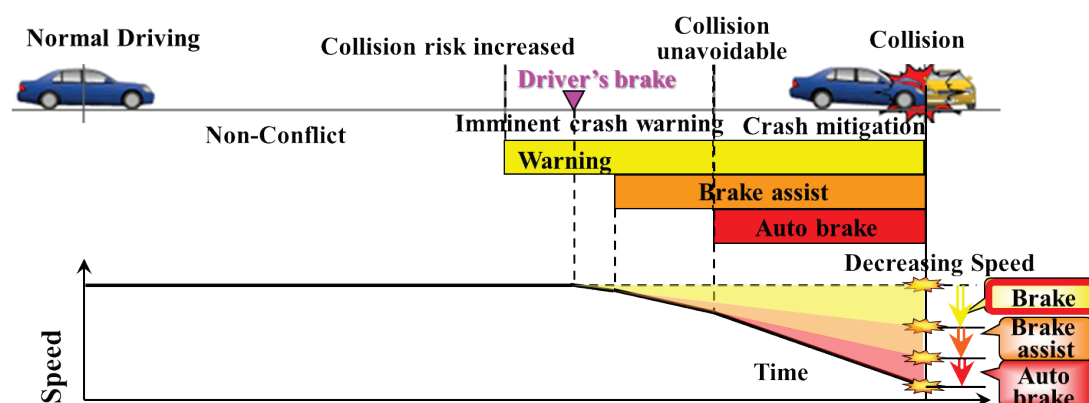


Fig.3-1 Functions of basic PCS

3.3 実験方法

職業ドライバやテストドライバでなく、普段普通に車を運転している人を被験者とし、さらにPCS装備車のオーナードライバと同程度の知識を持たせるべく、試験の約1ヵ月前にPCSを含む車両装備全般についての簡単な説明書を読んでもらうようにした。実験は図3-2に示すような2つのシナリオを用意した。

(a) 前方停止車両 (LVS ; Lead vehicle stopped)

追従走行中に、同じ車線内にいる停止車両に衝突する。

(b) 追従車減速 (LVD ; Lead vehicle decelerating)

追従走行中に先行車が減速し、その先行車に衝突する。

被験者は、一度イベントを経験すると2回目以降は事故シナリオを予測して最初と異なる反応をすることが知られているので⁽³³⁾、1人に課す試験は1回とした。被験者は、2シナリオ×3年代(20-30代・40~50代・60代)×男・女の、計12グループに分類される。

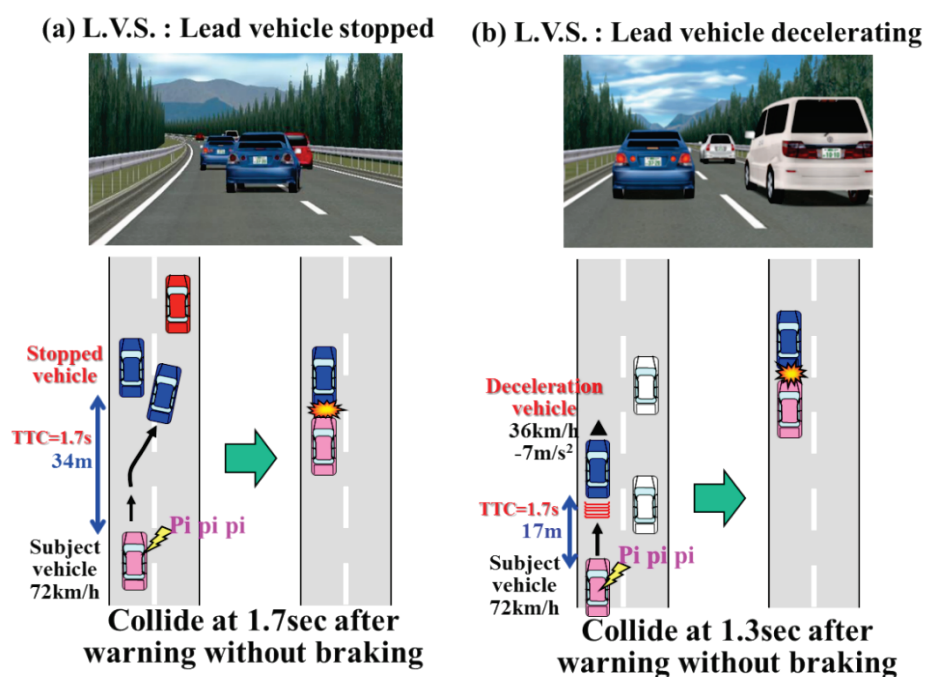


Fig.3-2 Rear-end collision scenarios used in the DS experiment

第3章 ドライビングシミュレータを用いた追突警報時のドライバーの特徴分析

実際の追突事故は脇見が原因であることが多い。そこでサブタスクとして被験者に、時折7インチの液晶ディスプレイ上のコンビニエンスストアを見つけ、さらにそれを指でトレースするように指示した(図 3-3)。ディスプレイは先行車注視から大きく目をそらすようにするため、ナビゲーション画面よりも下のシフトレバー近くに設置、指でのトレースを併せナビゲーション視認より高い負荷にしている。

被験者は70~75km/hで走行するよう指示される。先行車は車間時間が1.8秒程度になるよう自動的に制御され、また後続車両もほぼ同じ車間時間に保たれている。運転コースは2車線の一方通行道路であるが、現実の交通事情を鑑み並行車線にも適当な間隔で車両を走らせた。被験者がサブタスクに慣れ集中したことを見計らって、前方停止車両(LVS)や追従車減速(LVD)シナリオを起動する。本実験ではTTC($\text{Time to collision} = \text{Relative distance} / \text{Relative speed}$)=1.7secとなったときに警報が発生するようにした。



Fig.3-3 Touching map of secondary task (right) and a picture of touching on the LCD (left)

3.4 実験結果

表 3-1 に被験者の内訳を示す。113 名が実験に参加したが、体調不良等の 9 名を除いた計 104 名の実験データが得られた。しかしながらより現実に近い結果を得るため、あえて脇見を強要しなかったため警報が発報される以前に前方を向き追突の危険を認知した被験者（Looking back forward before warning）も存在し、警報による反応となった被験者（Looking back forward after warning）のデータは、前方停止車両（LVS）シナリオで 31 ケース・追従車減速（LVD）シナリオで 33 ケースの計 64 ケースであった。

Table.3-1 Subjects' behavior for the warning by age group

(a) LVS scenario

Age group	Looking back forward before warning		Looking back forward after warning		Sum
	Male	Female	Male	Female	
20 - 30s	1	3	5	5	14
40 - 50s	1	3	5	5	14
60s	6	4	5	6	21
Sum	8	10	15	16	49

(b) LVD scenario

Age group	Looking back forward before warning		Looking back forward after warning		Sum
	Male	Female	Male	Female	
20 - 30s	4	4	6	6	20
40 - 50s	0	3	6	5	14
60s	7	4	5	5	21
Sum	11	11	17	16	55

3.4.1 年齢層別脇見時間の比較

表 3-1 より、60 歳代の被験者では半分が警報前に前方を見てしまっており、他の年齢層に比べ多くなっていることが読み取れる。脇見時間について、前方停止車両（LVS）シナリオと追従車減速（LVD）シナリオをあわせた結果を図 3-4 に示す。年齢層内のばらつきは大きいですが、20-30 代・40-50 代の平均脇見時間が 2 秒を超えているのに対し 60 代の平均脇見時間は 1.66 秒と、有意に短いことが分かる。

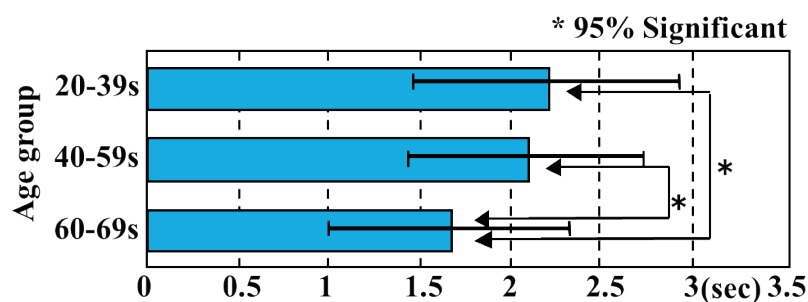


Fig.3-4 Distraction time by age group

図 3-5 は自動車安全運転センターにて調査された結果を引用したものである⁽³⁴⁾。高齢ドライバは普段の運転においても脇見を殆どしないという結果が示されており図 3-4 の結果と符合する。これらからすると 60 代のドライバでは運転中は運転そのものに集中する傾向がうかがわれるが、逆に、このようなドライバに情報を提供する場合には表示に依らない手法が必要だと思われる。

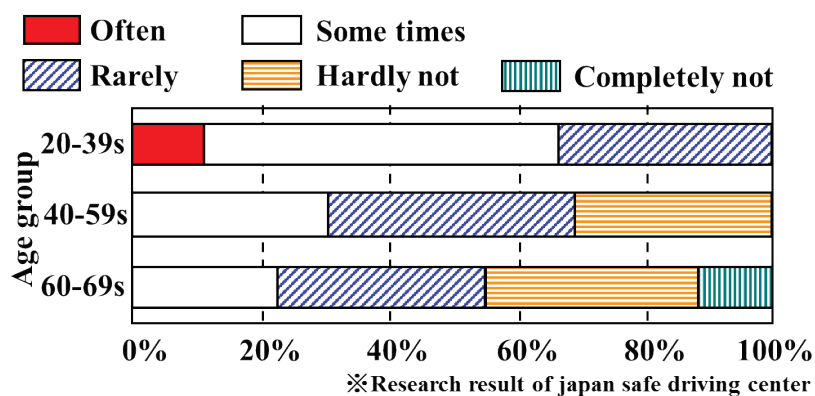


Fig.3-5 Distraction frequency based on drivers' subjective statement

3.4.2 年齢層別の警報認知・回避行動の比較

図3-6は、前方停止車両(LVS)シナリオと追従車減速(LVD)シナリオを合算し、警報を認知できる状態にあった下での警報認知・回避行動の内訳として、追突警報と分かって制動した被験者、警報により危険を認知して制動した被験者、警報に気が付いたが制動出来なかった被験者、警報に気が付かないで制動出来なかった被験者に分類し、年齢グループで比較した図を示したものである。警報によりブレーキを踏めた被験者に、試験のあとアンケート調査した結果、警報が追突の危険を知らせる警報と分かった被験者は約5%に過ぎず、残りの試験車は警報を聞いたことにより反射的に前方に視線を戻し、そこで追突の危険を認識しブレーキを踏んだと答えていた。追突に関してはPCSのシステムを理解しなくても警報により回避操作を促すことのできる割合が高く、PCSの警報システムの有効性が明らかになった。

しかし、年齢が上がるにつれて警報に気が付かない被験者が増える傾向があり、60代では約20%の被験者が警報に気が付かず衝突回避操作が出来なかった。さらに60代では約10%の人が警報を認知しつつも回避行動が取れなかった。細川⁽³⁵⁾らのドライビングシミュレータを用いた幅広い年齢層のドライバの出会い頭事故の緊急回避特性を調査した研究によると、衝突の危険を認知したのに回避行動が取れなかったドライバが、40-50代で約5%、60代以降で10数%あったという実験結果が示されており、追突警報の場合でも同様の傾向であることが確認された。従って、高齢ドライバに対しては、運転能力に合わせた警報以前の注意喚起や警報の前出し、さらに介入ブレーキ(PB)による自動ブレーキなどが必要になってくると考えられる。

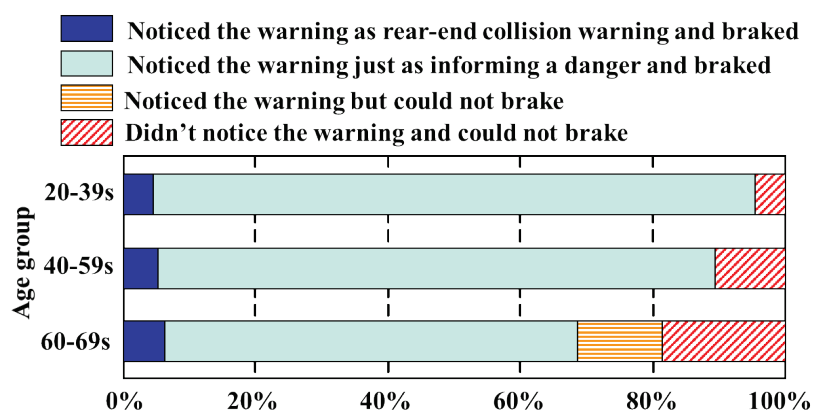


Fig.3-6 Subjects' reaction for the warning by age group

図3-7は警報が発報される以前に前方を向き、追突の危険を認知した場合の回避行動を見たものである。警報発報以降は操舵回避を取る被験者はなかったが、警報発報以前で

は回避の自由度が広がり操舵で回避する者が見られた。高齢になるほどそれが顕著になり、60代では約30%の被験者が操舵回避している。走行シナリオでは隣のレーンに車が走っているにもかかわらず、周辺環境ことへの意識が欠けてしまっているとも考えられ、高齢ドライバには周辺環境を認識させることも重要であることを示唆している。

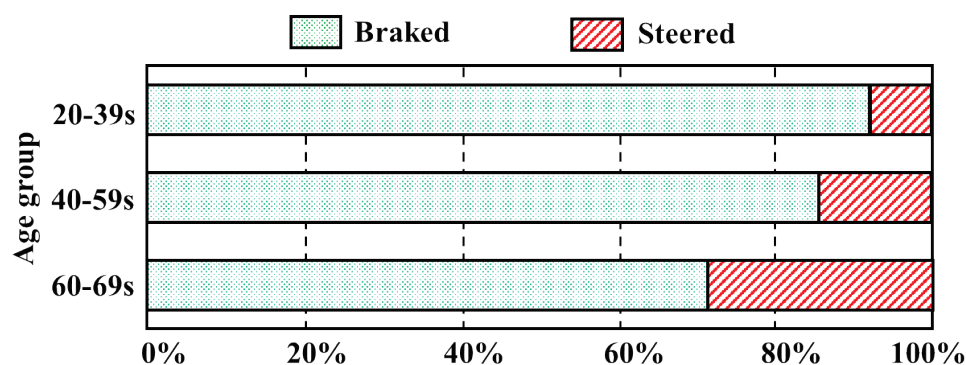


Fig.3-7 Subjects' reaction before the warning by age group

3.4.3 警報に対する制動回避

前方停止車両(LVS)シナリオと追従車減速(LVD)シナリオの両シナリオで、警報のあとに制動回避を取ったケースについて回避行動を分析する。

図3-8は双方のシナリオで警報が発報されてからドライバが制動を開始するまでの反応時間(警報反応時間)を比較したものである。警報反応時間はともに平均約1.1秒であるが、ともに0.4秒から2秒前後までばらつきが見られ、範囲が広い。

図3-9はドライバが制動を開始した以降で発生させたピーク減速度を比較したものである。ピーク減速度はともに平均約 5.5m/s^2 であるが、ばらつきは 2m/s^2 から 8m/s^2 とやはり大きく、前方停止車両(LVS)シナリオでは、制動力を発生できなかったドライバが4名いる。

図3-10は警報反応時間とピーク減速度との関係を、年齢層別・男女別に比較したものである。図3-8と図3-9より前方停止車両(LVS)シナリオと追従車減速(LVD)シナリオとでドライバの応答の違いがほとんど無かったので合わせて表示している。図3-10より、警報反応時間とピーク減速度との関連性は無く、また男女差を比較すると男女差

は無く、年齢層差では高齢ドライバに高い減速度の出せない者や反応の遅い高齢ドライバがいることが見て取れる。しかしながらそれよりも個人差のほうが大きいことが分かる。

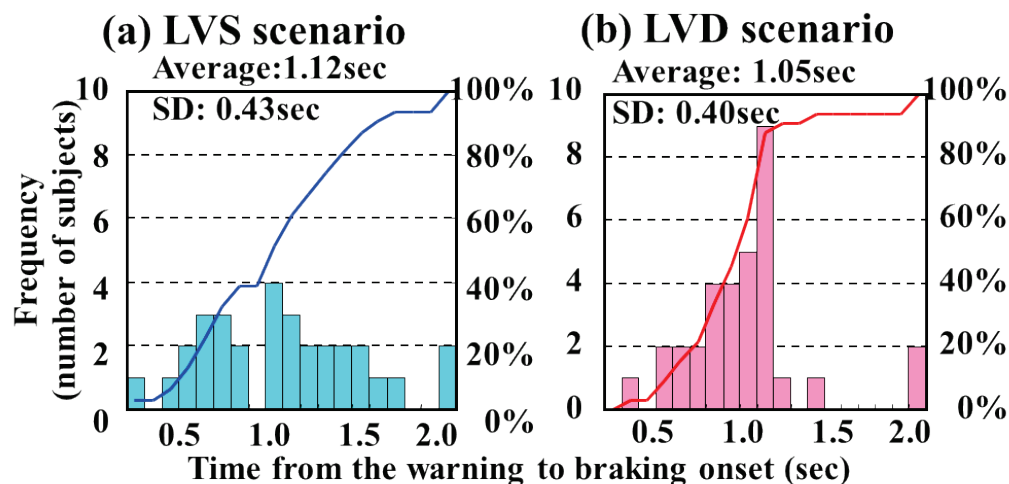


Fig.3-8 Histogram and cumulative curve of the response time

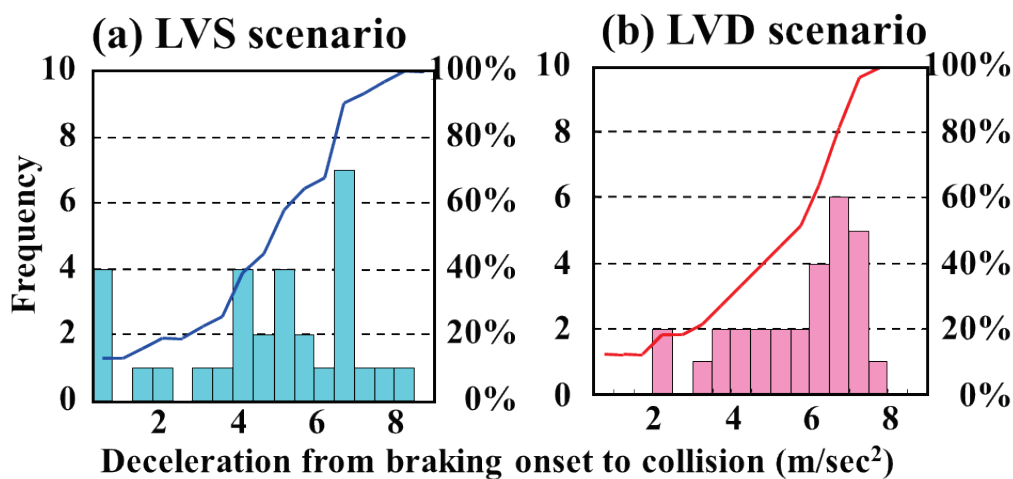


Fig.3-9 Histogram and cumulative curve of the peak deceleration

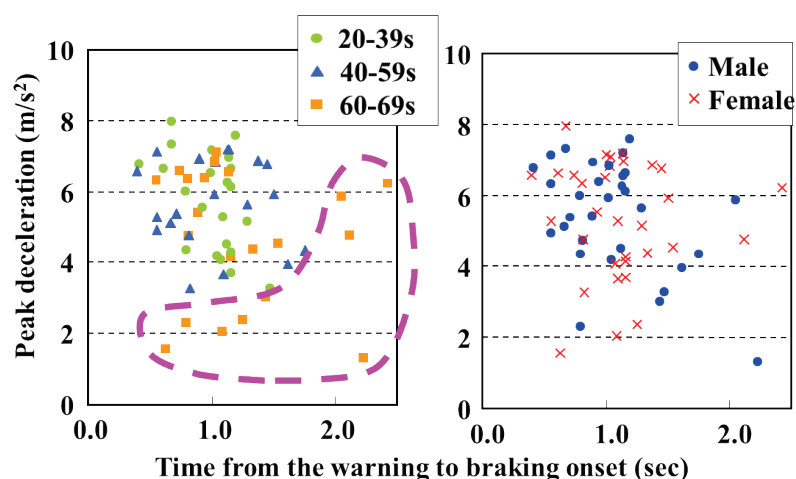


Fig.3-10 Relation between response time and peak deceleration by age group and by gender

3.4.4 衝突車速低減への影響

図 3-11 は前方停止車両(L V S)シナリオと追従車減速 (L V D) シナリオのそれぞれの実験での衝突速度低減量の分布を比較したものである。図 3-10 で明らかになったようにドライバの警報反応時間とピーク減速度のばらつきが大きいため減速速度分布がかなり幅広くなってしまっているが、平均すると前方停止車両(L V S)シナリオで 2.8m/s, 追従車減速 (L V D) シナリオで 1.3m/s で 1.5m/s の車速低減差がみられる。これは図 3-8 と図 3-9 で分かる通り、ドライバは双方のシナリオとも同等の反応を取っているのだが、前方停止車両(L V S)シナリオと追従車減速 (L V D) シナリオで警報タイミングが T T C=1.7sec で同じであっても、図 3-2 の例で示すように追従車減速 (L V D) シナリオは前方停止車両(L V S) シナリオよりも衝突までの時間が短いため相対的に効果が低下してしまう。追従車減速 (L V D) シナリオでの効果を高めるためには警報の前だしやブレーキアシスト (P B A) や介入ブレーキ (P B) による制御性能の向上が必要となる。

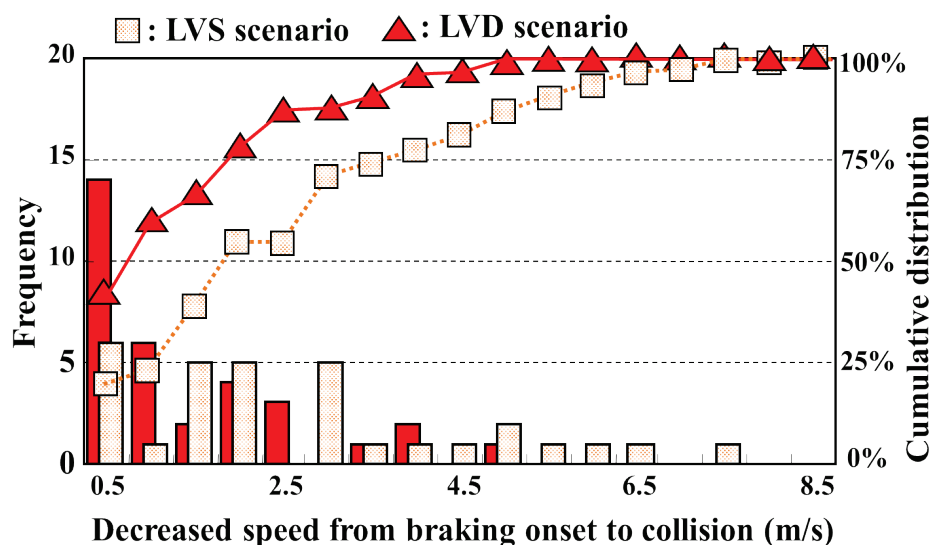


Fig.3-11 Deceleration speed from braking to collision by DS scenario

3.5 まとめ

高いリアリティを持つDSを用いて、PCSの警報に対してどれ位のドライバが追突の警報を認知し、どのような回避行動を取ることが可能か、高齢ドライバを含む各年代で反応特性を調べた。その結果、次のことが明らかになった。

1. 60代の高齢ドライバは、それ以下のドライバに比べ脇見をしない傾向であることが確認できた。また警報に気付いたとしても回避操作が出来ないドライバや衝突まで余裕のある場合では操舵回避により衝突の可能性が増加するような行動をとるドライバの割合が高い傾向がある。

2. PCSの警報が追突警報と理解したドライバは約5%に過ぎず、残りのドライバは警報を聞いて反射的に前方に視線を戻しそこで追突の危険を認識しブレーキを踏んでいる。追突に関してはPCSシステムの理解がなくても警報での回避操作を、高齢ドライバでも70%が、出来ており、追突の被害軽減効果が大きい。

3. 警報への反応時間は約1.1秒、ピーク減速度は約 5.5m/s^2 であるが、ばらつきは大きい。それらは年齢層よりもドライバごとの違いの方が大きい。一部の高齢ドライバに加齢による衰えによる衝突回避能力が劣るドライバが存在する。

高齢ドライバの事故場面に遭遇する運転行動に差は無く、事故場面に遭遇すると衝突回避能力の劣るドライバが存在するため、非高齢ドライバに比べ事故が多くなる。

第4章 ドライビングシミュレータを用いた交差点右折時の事故解析

4.1 目的

ドライビングシミュレータ(以後DS)を用いて、高齢ドライバが事故に至る経緯を調べるために、DSで事故場面の再現が比較的容易なシナリオとして、高齢ドライバの右折事故が比較的多い、信号交差点の事故が起こりやすい交通環境を第2章で開発したDSで模擬した。そして高齢ドライバを含むドライバの運転行動を計測、解析し、高齢ドライバの運転能力の衰えと安全運転行動と事故発生要因の関係を分析する。今回試みた事故発生環境は、交差点右折時に対向車線の走行車線で渋滞している車両の陰から2輪車が飛び出す場面を模擬した。その結果、このような右直事故を模擬した場面では、現実の事故同様^(6,3)にかなり高い確率で事故が発生することが確認された。この実験結果をもとに高齢ドライバの事故直前の事故に至る運転行動と事故の発生の関係を解析し、支援のあり方を検討する。

4.2 実験方法

交差点走行での現実感をドライビングシミュレータで模擬するために、加速、減速、右折、左折における体感加速度を模擬できる高性能ドライビングシミュレータを用いた。事故発生場面は、図4-1に示すような、実在の市街地コースで、片側2車線の幹線道路から信号のある交差点を右折する場面を想定した。その場面で、自車両が交差点に進入すると同時に対向車が通過した後、右折先の横断歩道を歩行者が横断後のタイミングで右折すると、走行車線の渋滞停止車両の脇から直進する2輪車が交差点に進入するシナリオを作成した(図4-2)。この時対向車が通過直後に約2秒間、進入してくる2輪車を確認出来るタイミングがある(図4-3)。このタイミングに2輪車を発見出来れば、衝突は容易に回避可能だが、それが出来ないと衝突のリスクが高くなる。この場面シナリオをドライビングシミュレータの試乗者に事故の現実感を理解してもらう目的で体験してもらった。300名以上が試乗した結果、かなり高い確率で、衝突事故が発生したので、その衝突場面における運転行動を計測し、事故における要因分析を行った。



Fig.4-1 Accident scenario in intersection driving environment



Fig.4-2 Front view of emerging motorcycle

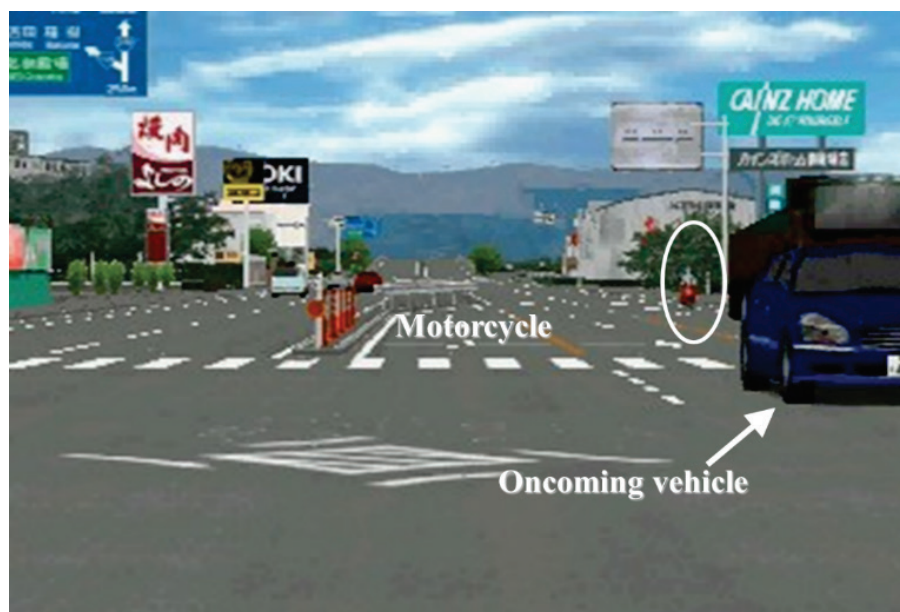


Fig.4-3 Front view of motorcycle recognition timing

4.3 実験結果

4.3.1 事故形態の解析

試乗者の中から、事故シナリオを予見していると思われる試乗データを除いた表 4-1 に示す構成の 291 名のドライバについて、事故が発生した割合を求めた。その結果を、図 4-4 に示す。右折開始前に対向 2 輪車に気がついたと思われるドライバを含む、衝突回避操作を行わずに交差点を安全に通過したドライバは 54.3%であり、23.0%のドライバという高い確率で 2 輪車と衝突していた。図 4-5 に衝突に至る 2 輪車の軌跡の例を示すが、自車両の前面に衝突する場合と側面に衝突する場合があることが分かる。それ以外に 2 輪車に気付かずに、2 輪車直前をすり抜けるドライバ (4.5%) 図 4-6 と 2 輪車の直前で制動回避によって衝突を回避するドライバ (18.2%) 図 4-7 に運転行動が分けられる。また 2 輪車に衝突したドライバの中で、全体の 4.8%が衝突まで気がつかずに制動操作なしで衝突しており、残りの 18.2%は制動操作を行ったが、衝突を回避出来ていない。従って、交差点の危険場面に遭遇し、回避操作を行った場合に衝突するかないかの確率は五分五分になっている。

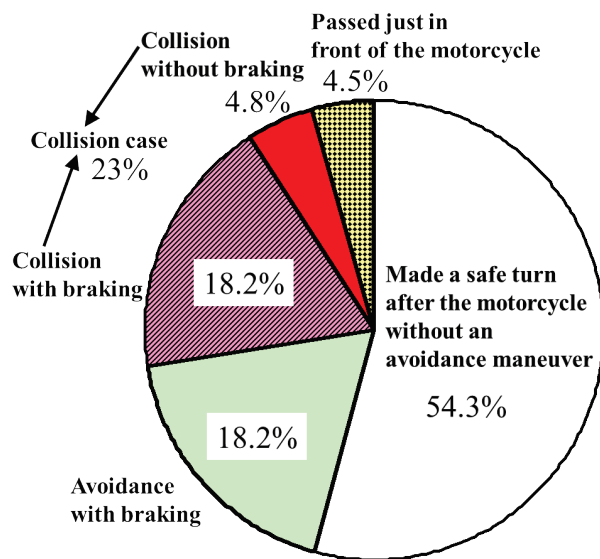


Fig.4-4 Distribution of collision when turning right at intersection

Table.4-1 Composition of subjects

Age	20-39	40-59	60-	Subtotal
Male	52	170	43	265
Female	9	7	10	26
Subtotal	61	177	53	N=291

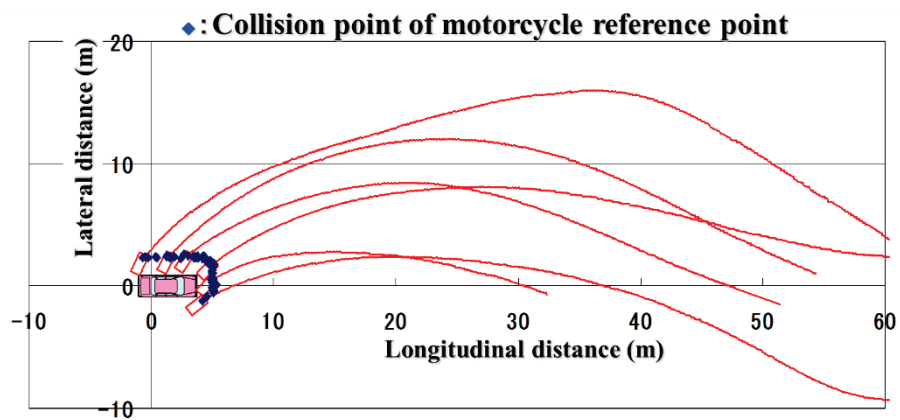


Fig.4-5 Locus of motorcycle when collision occurred

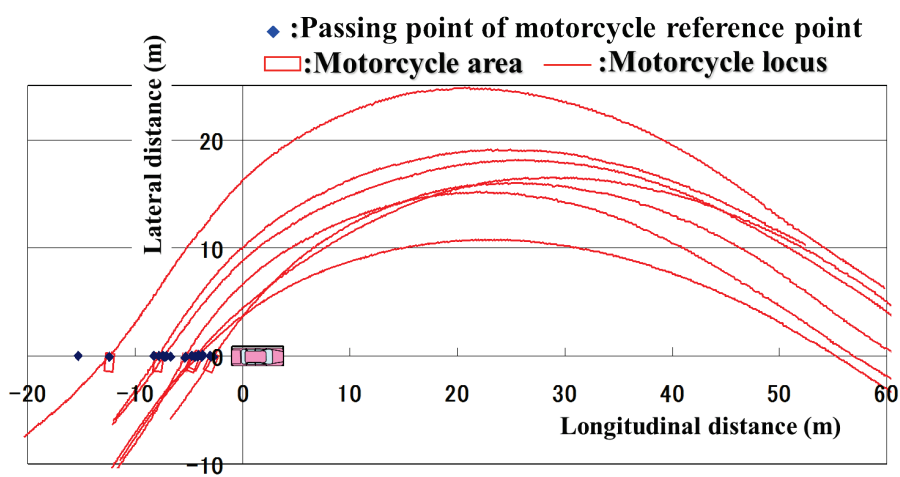


Fig.4-6 Locus of motorcycle when vehicle passed just front of motorcycle

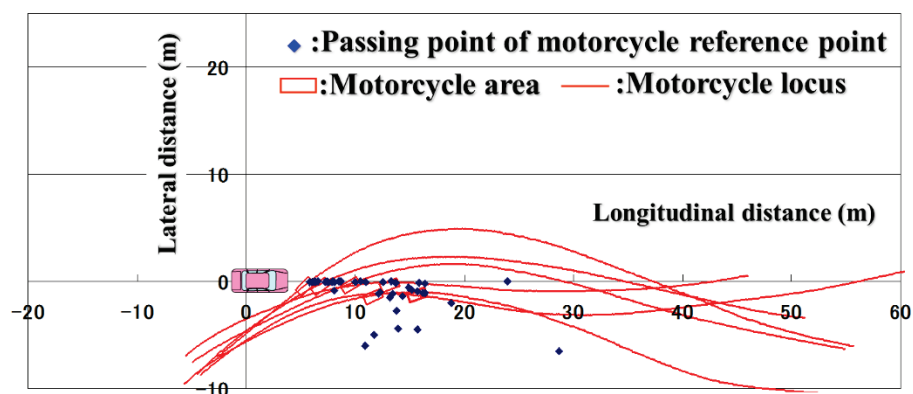


Fig.4-7 Locus of motorcycle when collision avoided by braking

この衝突したケースの中で、制動操作の有無による衝突位置を調べると、図 4-8 に示すように制動操作無しは側面衝突が多く、ドライバーが左方視野の 2 輪車に気が付いていないと思われる。また制動操作した場合は前方衝突が多くなっており、衝突速度も小さい（図 4-9）。従って、前面衝突よりも側面衝突の方が乗員死亡率は高いことから、衝突前に制動操作により減速した方が死亡事故低減に貢献すると考えられる。

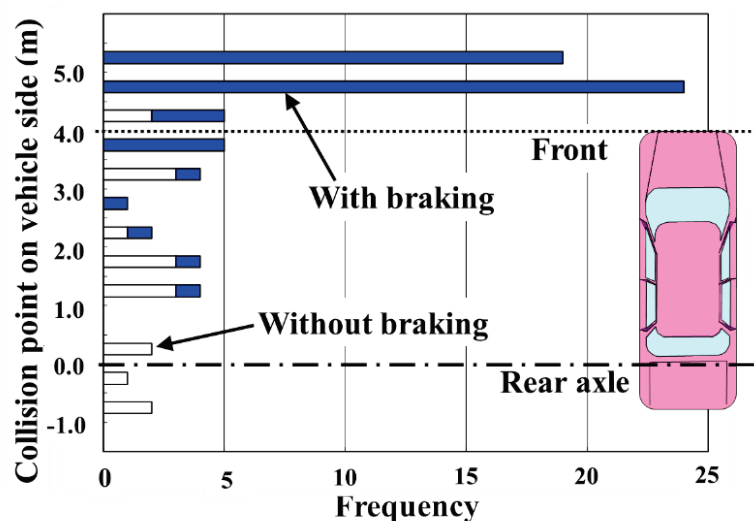


Fig.4-8 Frequency distribution of impact point on with or without braking

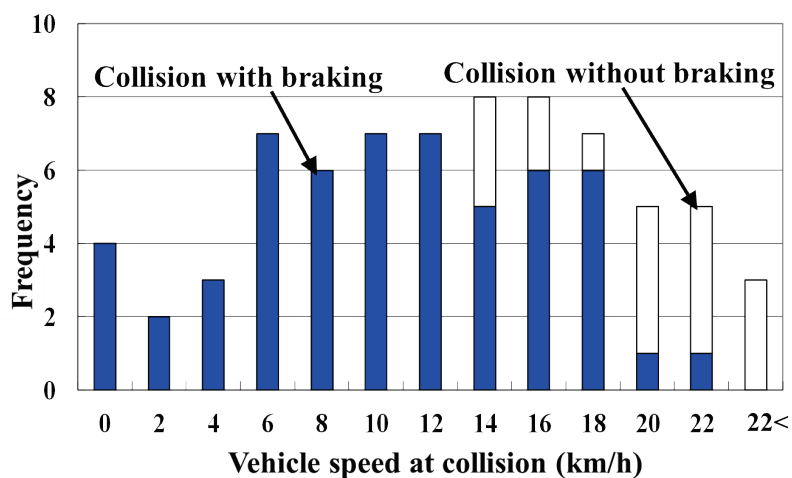


Fig.4-9 Frequency distribution of vehicle speed at collision with or without braking

衝突に至る運転操作から、ドライバが衝突または回避を判断した操作として、アクセルペダルを離したタイミングと回避のためのブレーキを踏んだタイミングは図 4-10 に示すように、今回の事故場面では、制動から衝突までの時間で1秒以下が 75%，衝突を判断したタイミングに近いアクセルを離したタイミングから衝突までの時間も 58%が1秒以下と衝突までの余裕時間が大変短いことが分かる。

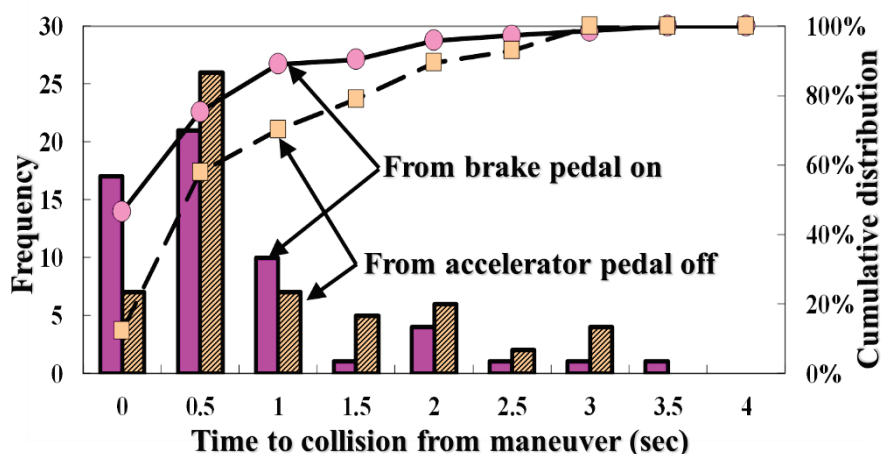


Fig.4-10 Frequency distribution of time to collision from maneuver

4.3.2 EDR事故データとDS衝突データの比較

ドライビングシミュレータを用いた事故場面の再現でドライバが事故に至る運転行動が実際の事故時の運転行動を再現できるかは、そのシミュレータの性能に関わると考えられる。そこで交差点内の直進2輪車と右折車両の衝突データを実際の事故データと比較することを試みた。米国NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) が公表しているEDR (Event Data Recorder) の事故データ⁽³⁶⁾の中から交差点内の日本での右折に相当する左折車両と直進車両との衝突事故データを抽出し、事故直前の運転行動を比較した。EDRは事故前の車両速度、エンジン回転数、スロットル開度、ブレーキスイッチのON-OFFを1秒間隔で記録しているので、そのブレーキONのタイミングと衝突前の速度変化について、比較した。事故時の左折車両のEDRデータを衝突前5秒間の車速変化が+8km/h 以上の場合は加速左折、±8km/h 以下の場合は等速左折、-8km/h 以下の場合は減速左折に分類したブレーキONのタイミングを図4-11に示す。EDRデータの減速左折は4秒又は4秒以上前から減速しており、等速左折より加速左折が多く、加速左折ではブレーキを踏まずと衝突1秒前でのブレーキONが約70%も占めており、衝突余裕時間が短い。これに対して、DS実験の右折時の衝突データを用いて、EDRでの計測を模擬したデータを図4-12に示す。DS実験の衝突データは等速右折が多く、減速右折が少ないが、加速左折を含めて、ブレーキを踏まずと衝突1秒前でのブレーキONが90%も占めている。DSでEDRを想定した場合も、衝突余裕時間が一秒と短い。EDRデータの減速左折の多さは、事故の発生した道路の制限车速が64km/h以上の道路が2/3と多く、DSの道路の制限车速60km/hに比べて高いため、走行速度が速くなり減速しながらの左折が多くなっていると思われる。減速左折を除くとブレーキを踏まずと衝突1秒前でのブレーキONが90%前後と、EDRデータとDSの衝突タイミングが、ほぼ同じ比率でブレーキONが1秒前になる⁽³⁷⁾。従って、交差点での右直事故直前のブレーキONのタイミングはDSとEDRの実際の事故のブレーキONは衝突1秒前と短く、DS実験がEDRの衝突直前の制動行動を再現していると考えられる。

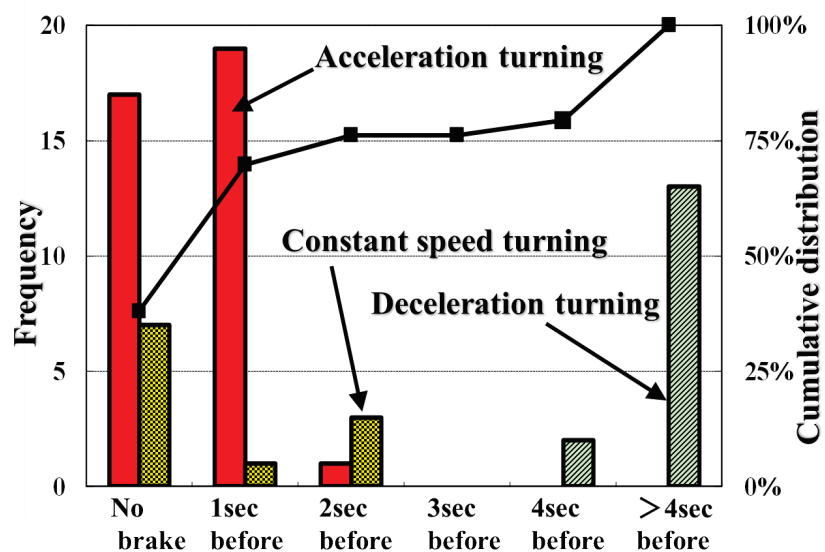


Fig.4-11 EDR brake on timing in U.S. accident data

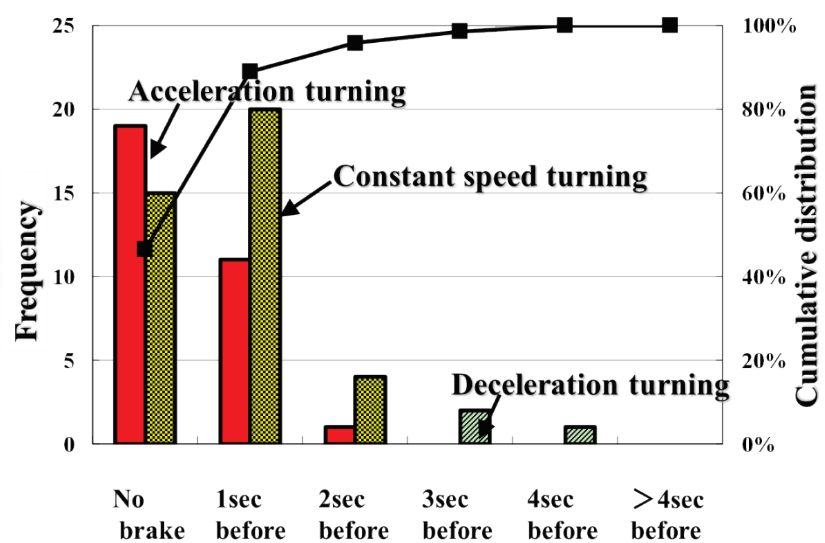


Fig.4-12 Imaginary EDR brake on timing converted from DS collision data

また，図4-8のD S の衝突データで見られた，衝突前にブレーキを踏むと前面衝突が増える現象があるが，衝突直前のブレーキタイミングや緊急時の制動力によって，衝突位置が変わる可能性がある．そこで，E D R のデータとポリスレポートを対応させて，ブレーキONのタイミングと前面衝突と側面衝突の比率を比較すると図4-13に示すように，衝突1秒前にブレーキを踏むと前面衝突の比率が80%とブレーキを踏まない場合の50%に比べ増える現象がE D R の事故データはからも確認され，D S 実験データのE D R 模擬による前面衝突と側面衝突の比率とほぼ等しい．このように，ある程度の現実感を持つD S で模擬した衝突場面における衝突直前の制動行動や衝突形態は，実事故に近い再現が出来ていると思われる．

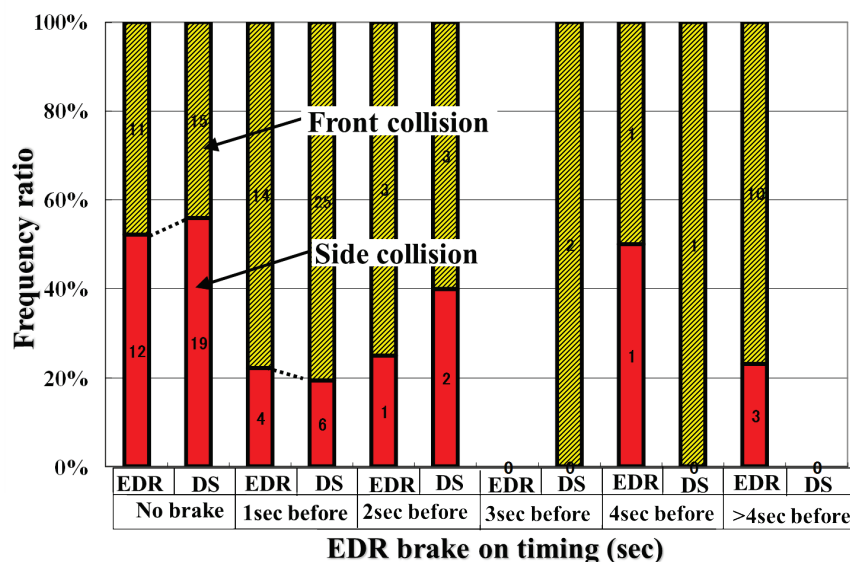


Fig.4-13 Relationship between brake on timing and impact point by EDR and DS

4.3.3 事故要因分析

D Sの衝突形態の中で、衝突したドライバと制動により衝突を回避したドライバの運転行動の差に注目して要因分析を行った。ドライバが衝突または回避を判断した操作のアクセルペダルを離したタイミングと回避のためのブレーキを踏んだタイミングでの速度や時間、衝突対象との位置関係を解析した。

図 4-14 に制動により衝突を回避した場合と制動したが衝突した場合の制動開始時の速度分布とその累積分布を示す。この図から制動により衝突回避した場合の制動開始時の車両速度の分布が制動したが衝突した場合より 1~2km/h 低いことが分かる。図 4-15 に制動により衝突回避した場合と制動したが衝突した場合、制動せずに衝突した場合、2 輪車の直前をすり抜けた場合の交差点内の最低車速と制動開始時の車両速度、衝突した場合は衝突時の速度又は衝突しなかった場合は通過時の速度のそれぞれの平均値を示す。この図から、制動衝突した場合は交差点内の最低速度が制動回避した場合に比べやや高く、制動回避した場合は徐行による最低速度からの制動開始までの加速した速度が少なく、制動開始時の速度が低くなっていることが分かる。衝突に気がつかず無制動で衝突した場合は衝突速度が高く、2 輪車の直前をすり抜けた場合は、交差点内での最低速度が高く徐行の意識が無く、運良く二輪車との衝突タイミングがずれただけと考えられ、危険な行動と思われる。従って、右折時の交差点内で徐行を行い、低い速度で右折するかどうか、制動で衝突回避できるかどうかに影響していると考えられる。

図 4-16 に制動回避した場合と制動衝突した場合の 2 輪車に気が付き、アクセルを戻した時の 2 輪車との距離の頻度と累積分布を示す。制動回避した場合は 2 輪車に気が付き、アクセルを戻した時の 2 輪車との距離が 5 m ほど遠いことが分かる。また、図 4-17 にアクセルを戻した時の自車の位置に対する 2 輪車の位置を平面図上に示す。この図から車両正面から右範囲の遠い位置で 2 輪車を発見していることが分かる。これは、制動回避した場合は右折開始から右折中に 2 輪車を発見しており、制動回避したドライバは交差点内の危険を予知して、徐行、衝突監視に注意を払っていたと思われる。逆に制動衝突したドライバは車両正面から左範囲で 2 輪車を発見しており、右折終了近くで遅れて気が付いたと考えられる。この行動をシステムで支援するとすれば、現状の PCS (Pre-Collision System) の左右方向の衝突検出範囲広げて、右折中に衝突車両の検出が短時間に可能になれば、衝突の回避または衝突被害の軽減が可能と思われる。

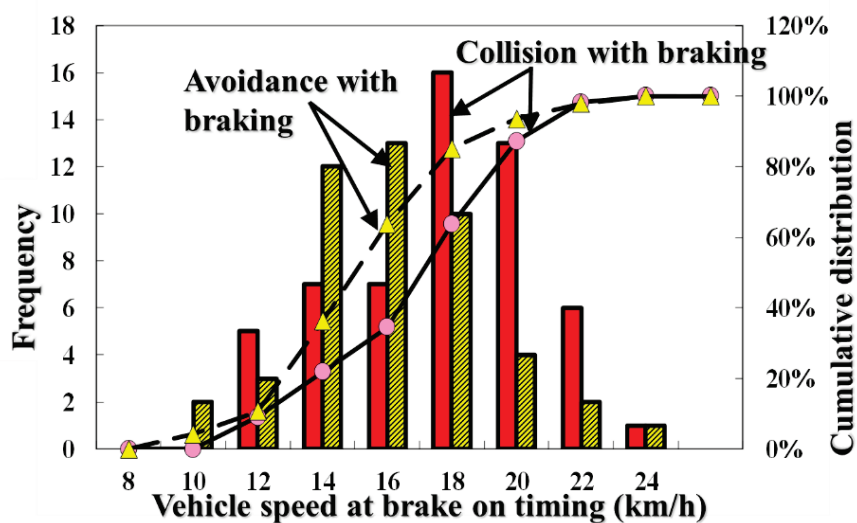


Fig.4-14 Frequency distribution of vehicle speed at brake on timing

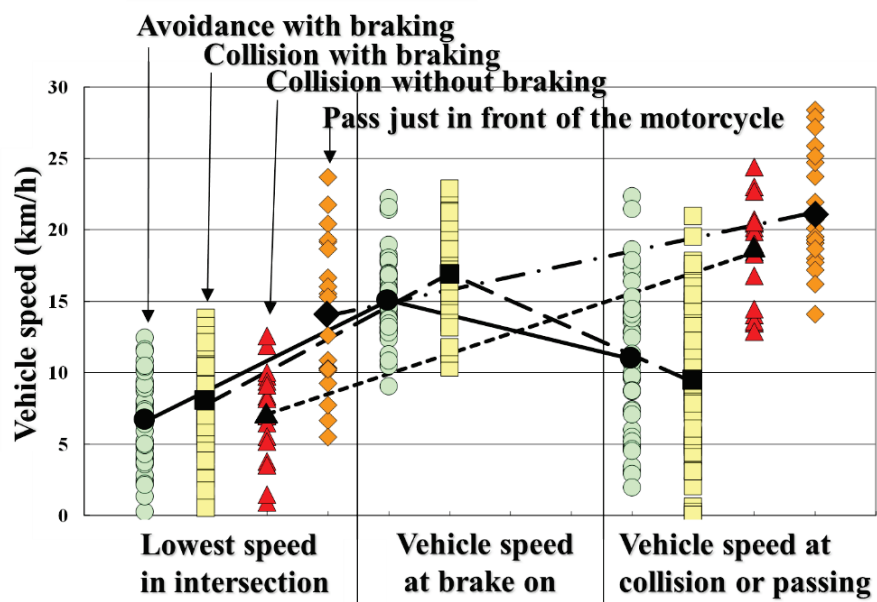


Fig.4-15 Comparison of vehicle speed at event timing by collision pattern

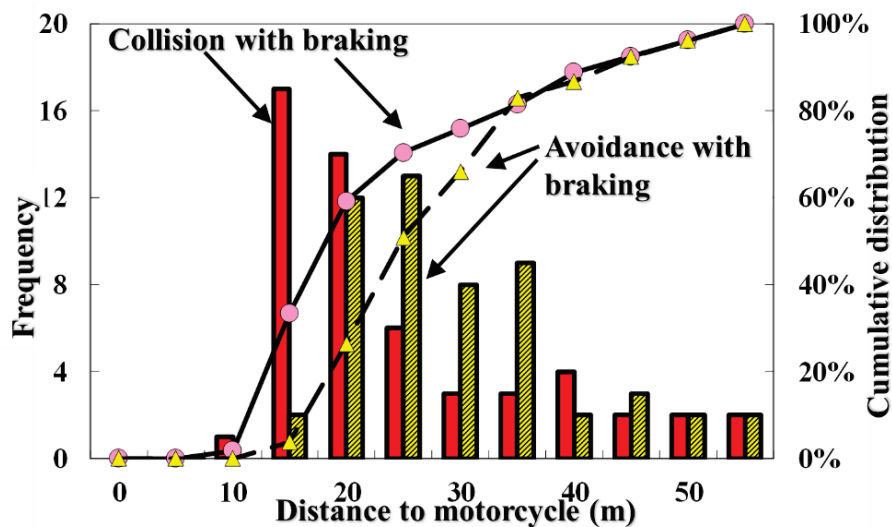


Fig.4-16 Frequency distribution of distance to motorcycle at accelerator pedal off timing

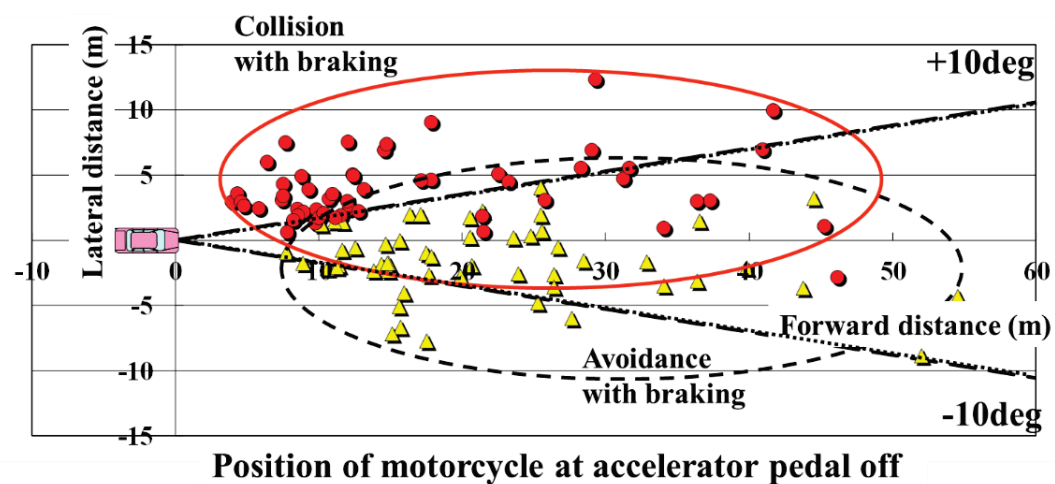


Fig.4-17 Position of motorcycle at accelerator pedal off timing

4.3.4 運転者の年齢による違いについて

図 4-18 に、被験者の年代を 20 歳から 39 歳 (20-39) , 40 歳から 59 歳 (40-59) , 60 歳以上 (60-) の 3 つに分けて、衝突及び回避の割合を示す。すべての年代で回避行動を取らずに安全に右折をした被験者は 53% から 57% とそれ程大きな差は無いが、若干 60- のドライバが 3.5% ほど 40-59 のドライバに比べて安全通過率が高く、高齢ドライバの安全運転行動に劣るところは無いと考えられる。20-39 のドライバは 2 輪車に気づかず、その直前を通過したり、制動せずに衝突したりする割合が多く、逆に 60- のドライバは気付いて制動するが衝突する割合が 24.5% と 40-59 のドライバの 16.4% に比べて多い。また、制動することにより衝突を回避したドライバは 40-59 が 20.9% で 60- のドライバの 15.1% に比べて多く、20-39 と 60- のドライバは 40-59 に比べると制動回避したドライバが少ないという特徴が見られる。

そこで、図 4-19 に制動しながら衝突した場合の交差点内の最低車速と制動開始時の速度、衝突時の速度の平均値を年代別に示す。20-39 のドライバは交差点内の徐行速度は低いが衝突速度が 40-59 に比べて高く、60- のドライバはさらに衝突速度が高い。従って、制動開始時の速度と衝突時の速度差を比べると 60- のドライバと 20-39 のドライバは制動減速度が少なくブレーキが踏めていない可能性がある。図 4-20 にアクセルオフから衝突までの時間と制動中の最大減速度と制動開始から衝突までに減速した速度の平均値を年代別に示す。この図から、60- のドライバは危険を感じてアクセルを戻してから衝突するまでの余裕時間が 0.2sec 程度短く、反応遅れがあり、十分な減速が出来ていない。20-39 のドライバは、最大減速度が小さく強いブレーキが踏めずに減速度が少ないため、制動衝突が多くなっている。これらから、20-39 のドライバは交差点での危険を予知しておらず、60- のドライバは、危険は予知しているが、反応が遅くブレーキも強くは踏めずに衝突が起こっていると思われる。従って、高齢ドライバは、右直事故場面で交差点進入時に対向してくる 2 輪車に気付かず右折を開始してしまうと、認知身体能力の衰えと思われる要因から制動回避操作が不十分になり、事故率が高くなると考えられる。従ってそのような場面に遭遇しないように、右直分離信号のある交差点を選んで走行するような予防運転が必要かもしれない。

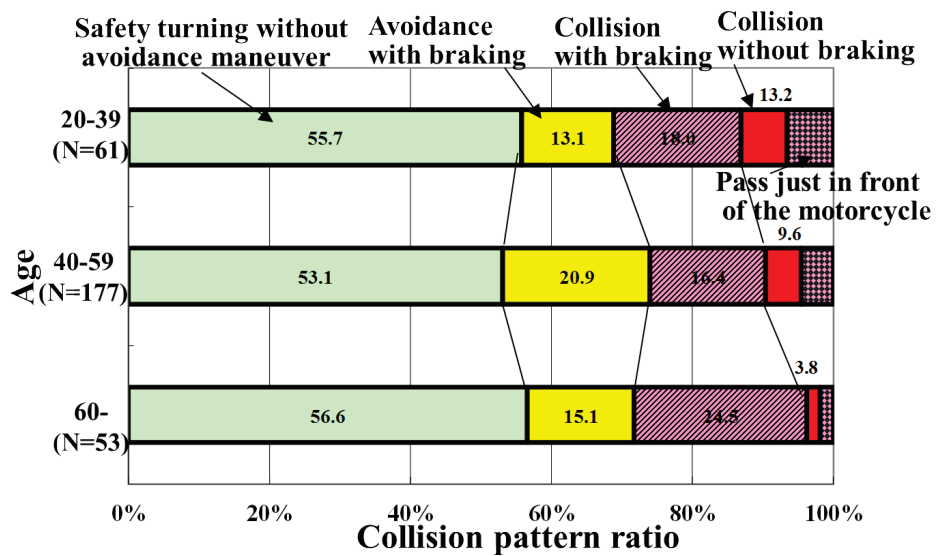


Fig.4-18 Distribution of collision pattern by age groups

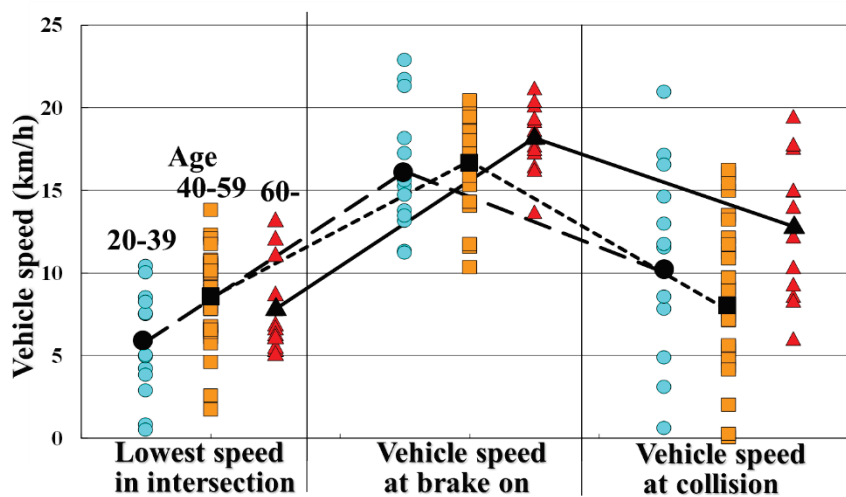


Fig.4-19 Comparison of vehicle speed by driver age for collision with braking cases

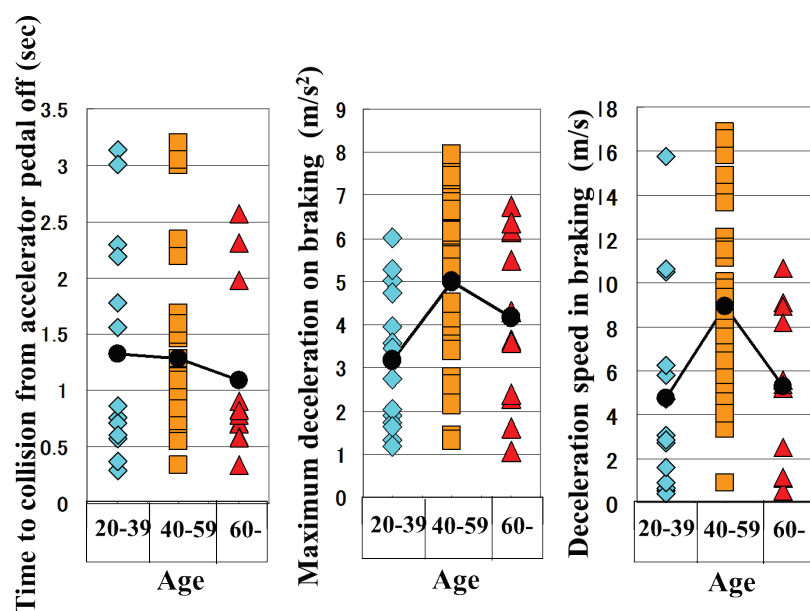


Fig.4-20 Comparison of collision avoidance maneuvers by driver age for collision with braking cases

4.4 まとめ

DSを用いて、交差点における右折時の2輪車との衝突事故時の運転行動を調査した結果、以下のことが分かった。

1. 今回のDSで設定した危険場面は、交通事故総合分析センターによる信号交差点における右折事故の解析⁽⁶³⁾によれば、右折事故の死傷者の中で対向してくる二輪車との右直事故は23%と多く、注意すべき事故パターンとされている。実事故と同じようにシミュレータ実験でも23%と高い確率で衝突が起こった。
2. 今回のような交差点事故の回避余裕は制動時間で1秒以内と短い場合が多く、EDRで計測された実際の米国の左折時の直進車両との衝突事故の制動時間とほぼ等しく、事故直前の運転行動がシミュレータで再現が出来ていると考えられる。そして、アクセルオフから衝突までの回避余裕が高齢ドライバーは非高齢ドライバーに比べ0.2sec程度短く、認知反応が遅れている可能性があることが分かった。

3. 右折時に直進車両との衝突を回避するための予防運転は、交差点内における危険を予知し、徐行により交差点通過速度を低くして、直進車両の発見を早くすること。このような予防運転行動で、衝突回避操作無く安全に右折したドライバは 53~56%と高齢ドライバと非高齢ドライバに大きな差は無かった、
4. 20-39 歳のドライバは 40-59 歳に比べて、経験不足からか危険予知が不足し、衝突回避行動が取れておらず、制動なしでの衝突するドライバが多いと考えられる。
5. 60 歳以上のドライバは加齢による認知身体特性の衰えからか、衝突回避制動の反応の遅れや制動不十分により制動衝突の比率がやや高くなっていると思われる。

以上のように高齢ドライバは交差点の右直事故のような事故環境での予防安全運転行動は非高齢ドライバと特に差はないが、事故に遭遇した場合は、加齢による認知身体機能の衰えと思われる認知反応や制動反応の遅れにより、必然的に衝突事故率が高くなると考えられる。従って、高齢ドライバは加齢による認知身体機能の衰えによる事故回避能力の低下を自覚し、事故場面への遭遇確率を少なくする予防安全運転の能力を向上させる必要がある。

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止 交差点通過時の高齢ドライバの運転行動解析

5.1 目的

第3章と第4章のドライビングシミュレータ（以下DSと略す）実験で、追突場面や信号交差点での右折場面で、高齢ドライバの安全運転行動に差は無いが、加齢による衰えと思われる事故直前の衝突回避能力が劣るドライバが存在する可能性を示した。日本の交通事故形態の中では、第1章の高齢ドライバの事故の特徴で述べたように、高齢ドライバに出会い頭の事故が多い事が知られているが、DSを用いた出会い頭事故の再現は環境シナリオの作成が難しい。しかしながら、出会い頭事故の要因としては高齢ドライバの予防安全行動の不足が指摘されており、いろいろな実験で実走行状態での、一時停止交差点での運転リスクの評価⁽³⁸⁾ ⁽³⁹⁾が行われている。しかし、一般公道では、環境がばらつくため、ドライバの運転行動の分析が難しい。そこで、見通しの悪い一時停止交差点の交通環境をDSで模擬して、同じ環境で高齢ドライバの運転行動を計測、解析し、認知身体能力の衰えによる事故回避能力の低下もしくは安全運転行動の不足が原因かを一時停止交差点での運転行動を調べて明らかにする。

今回試みた交通環境は、自転車を含む交差車両がある一時停止交差点を模擬して、交差点の見通し距離と交差点通過時の左右確認行動を時間軸と距離軸で評価し、60歳以上の高齢ドライバと60歳未満のドライバの交差点通過行動を比較する。その結果をもとに高齢ドライバの運転行動と事故要因の関係から、高齢ドライバへの運転支援のあり方を考察する。

5.2 実験方法

市街地における一時停止交差点走行時の現実感を模擬するために、加速減速、右折左折における体感加速度が模擬できる第2章で述べた高性能DSを用いた。

一時停止交差点は、実在の市街地コースを用いて、片側1車線の道路から一時停止標識のある見通しの悪い交差点を通過する場面を、10分程度の走行コースに2箇所設定した。図5-1にNo.1交差点のレイアウトを示す。No.1交差点は一時停止線から交差点進入の自転車の走行ラインに相当する歩道まで11mあり、左方向は建物、右方向は駐車トラックにより、見通しが制限

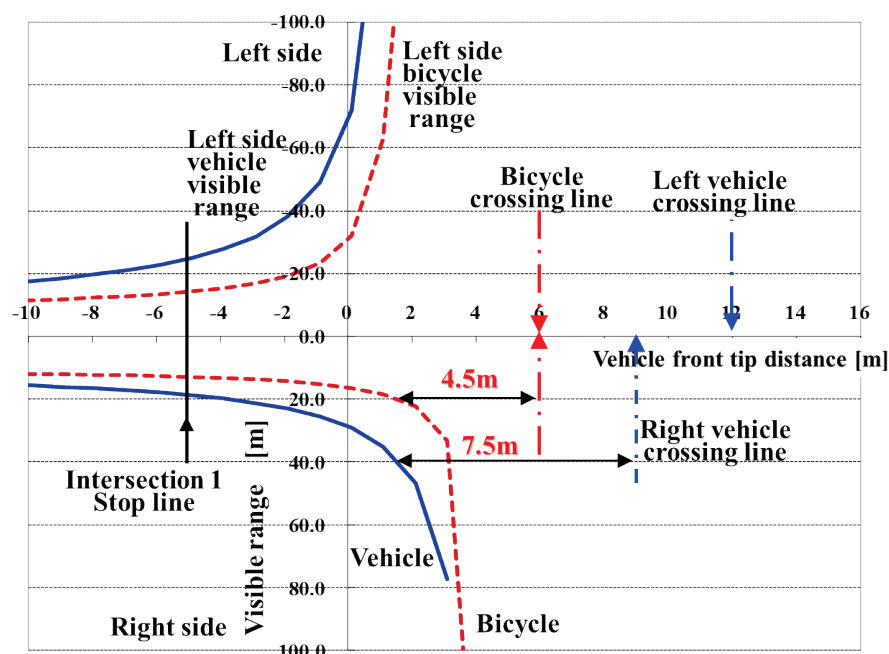


Fig.5-2 Visible range when approaching intersection 1

図 5-3 に No.2 交差点のレイアウトを示す. No.2 交差点は一時停止線から自転車の走行車線に相当する歩道まで 6.0m で No1 交差点より短く、左方向は建物、右方向は鉄道高架橋の支柱の壁で非常に見通しが悪い環境になっている. 図 5-4 に No.2 交差点の通過方向距離と左右の自転車交差車線と自動車交差車線の見通し距離の関係を示す. 一時停止線を 0.0m として自転車の交差ラインが 6.0m、右側自動車の交差ラインが 8.5m、左側自動車の交差ラインが 12.0m の位置にあり、左右の見通し距離が大きく異なり、右側の見通しがほとんどないことが分かる. 例えば右側自転車の見通し距離を 20.0m 確保するには、車両先端が自転車の交差点を 0.5m 越える必要があり、自車速度をすぐに止まれる速度にしておかなければ、右側自転車への衝突は不可避と考えられる. 同様に右側自動車に対して 40.0m の見通し距離を確保するには右側自動車の交差点から手前 3.0m まで車両先端が近づく必要があり、右側自動車の速度を考慮すると交差点とその手前から 3.0m の間で 2 段停止を行い右側自動車の安全確認を行わないと衝突する可能性が高い. また、No.2 交差点のように左右の見通し距離が極端に異なる場合は、見通しの悪い右側に注意が集中して、左側の確認が不足し左側からの自転車や自動車への衝突も多くなる可能性がある. このような個々の交差点形状から見通し距離を考慮した一時停止交差点での停止位置と見通しの左右確認を行うといった複雑な運転行動を高齢ドライバーが瞬時に判断して行動することは、加齢による認知身体に衰えがみえるドライバーにとっては、難しくなると思われる. そ

してこの二つの交差点を被験者 60 歳以上のドライバ 15 名と 60 歳未満のドライバ 8 名が走行した合計 54 ケースの交差点通過行動を計測し分析した。

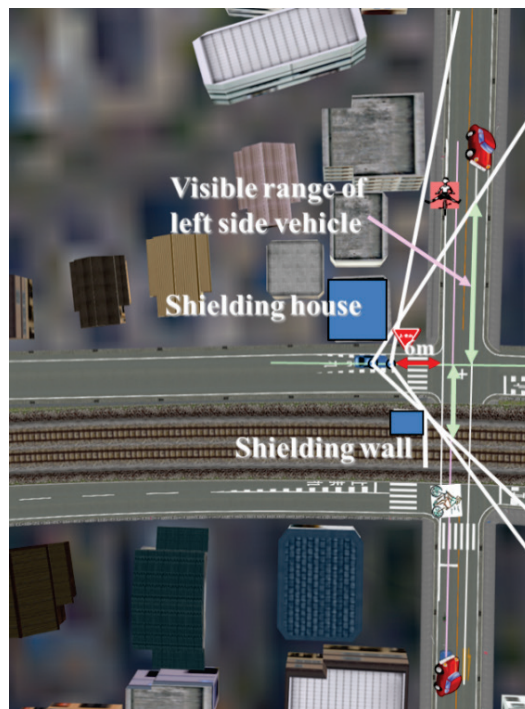


Fig.5-4 Visible range when approaching intersection 2

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバーの運転行動解析

図5-5に示すように、No.1交差点を走行した時の詳細な交差点通過行動を表すグラフを作成した。このグラフは、一時停止線を基準とした車両先端位置の距離をX軸にとり、図5-2と同じように、交差自動車と交差自転車の左右の見通し距離をY軸にとり、左右自転車と左右自動車の交差車線(No.1交差点は交差角度が若干傾いているため、車線が斜めに交差している。)と走行車両の速度、ドライバーの顔向きタイミングによる左右確認、ブレーキの構えを示す右足の位置(アクセルペダルON, アクセルペダルとブレーキペダルの間, ブレーキペダルの上, ブレーキペダルON, の4段階表示)を一時停止線からの距離基準で重ね書きして、交差点の通過行動を表している。このグラフの例からこのドライバーが停止線前50mで40km/hから減速を開始し停止線手前2.0mで一時停止し、その後7~2km/hで徐行しながら左側から左右に7回安全確認を行い、最終確認で40から50mの見通し距離の交差車両を確認してから、自転車の交差ラインから加速して交差点を通過しており、右足の位置はアクセルペダルとブレーキペダルを3往復して徐行しており、模範的な運転をしていると考えられる。

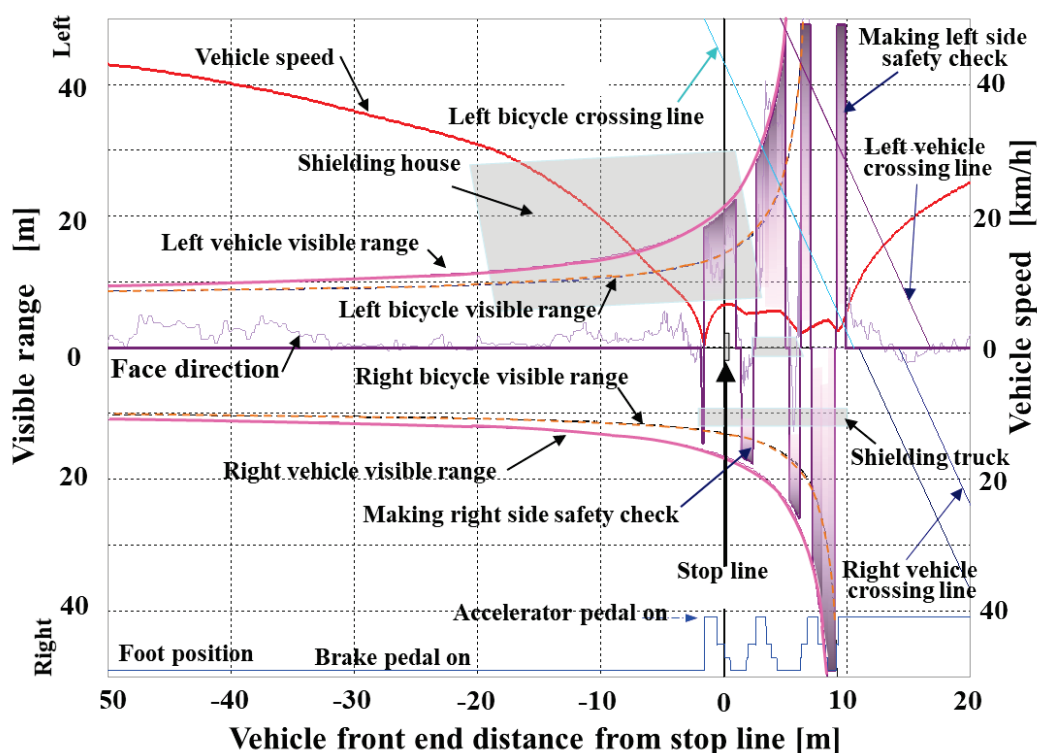


Fig.5-5 Driving activity profile by distance at intersection 1

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバーの運転行動解析

図5-6は図5-5を基に走行車速からX軸を距離から時間に変換して、個々の見通し距離と左右自転車と左右自動車の交差車線の通過時間と車両の速度, ドライバの顔向きタイミングによる左右確認, ブレーキの構えを示す右足の位置を一時停止線からの時間基準で重ね書きして, 交差点の通過行動を表している. 時間軸で運転行動を観察することにより, このドライバーが一時停止後交差点進入まで約10秒かけて8回の左右確認を1回当たり0.5から1.0秒の確認時間で見通し距離における安全確認を行っており, ドライバの運転行動の忙しさが分かり, 安全確認の余裕時間も理解しやすくなる. この図を基に交差車両との衝突余裕時間を算出した.

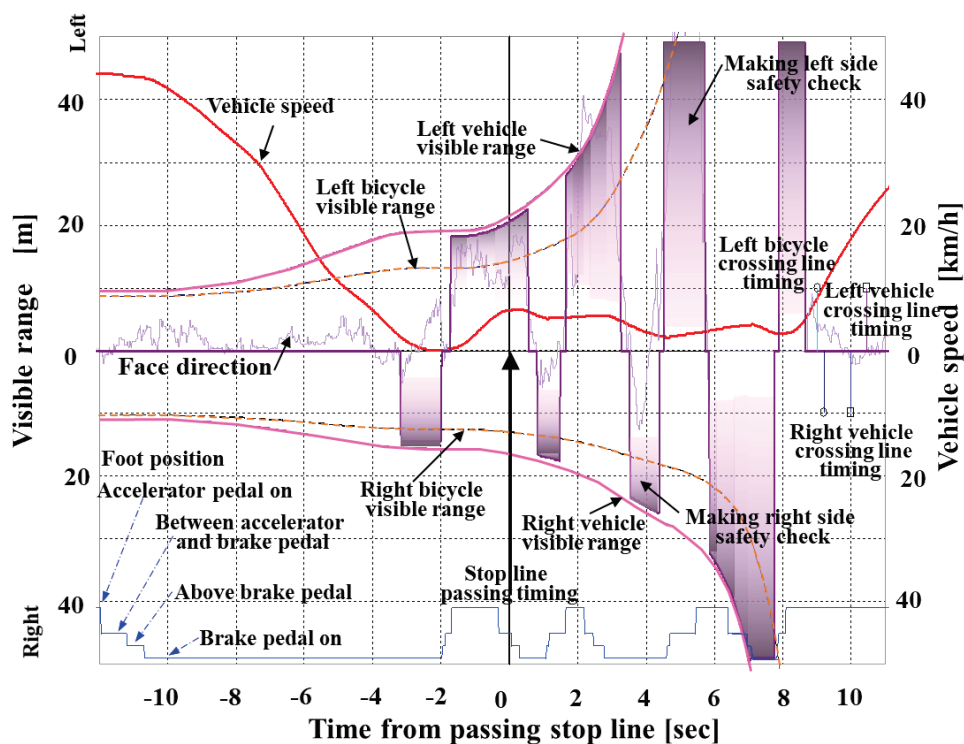


Fig.5-6 Driving activity profile by time history at intersection 1

5.3 実験結果

5.3.1 一時停止行動の解析

一時停止交差点における停止及び徐行の回数を調べた。ここでは速度が0.1km/h未満を停止、徐行を3km/h未満と定義した。その結果を図5-7に、一時停止交差点における停止及び徐行の回数として、徐行せず通過、徐行1回、徐行2回、徐行3回、徐行4回、停止と徐行の回数で、停止1回、停止1回と徐行1回、停止1回と徐行2回、停止1回と徐行3回の合計9パターンに分類し、交差点別に頻度を示す。停止又は徐行行動の回数は、見通しの悪いNo.2の交差点ではNo.1の交差点より一回以上回数が多いことが分かった。そして見通しの良い交差点No.1で停止行動が多い。また交差点No.1では停止徐行無しの通過行動も見られるが、一般的に知られている一時停止線無視の停止行動の多さ⁽⁶⁴⁾に比べて、一時停止線手前で停止がしっかりと行われている。これは、第2章で述べた、このDS特有の現象で停止線までの距離感でブレーキタイミングが早くなり、体感減速度不足で強くブレーキを踏んでしまうため、停止線手前で停止していると思われる。同様に、図5-8に停止線に対する1回目の停止位置又は1回目の徐行の最低車速位置の頻度分布を示す。停止線に対する1回目の停止及び徐行位置は、交差点の見通し距離による差は無く、停止線手前で停止しているので、一時停止線を目標に停止行動をしていると考えられる。しかし、図5-9に1回目を含めてすべての再確認停止及び再確認徐行時の最低車速の位置を示す。一時停止後の再確認停止及び確認徐行位置は、交差点進入位置に対して行われている。No.1交差点では、停止線から11mの自転車交差車線（歩道）に、No.2交差点では停止線から6mの交差点進入位置の自転車交差車線を目標に確認停止、徐行が行われていることが分かる。また見通しの悪いNo.2の交差点では、交差点進入後にも確認停止及び徐行を行う行動が見られる。

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバーの
運転行動解析

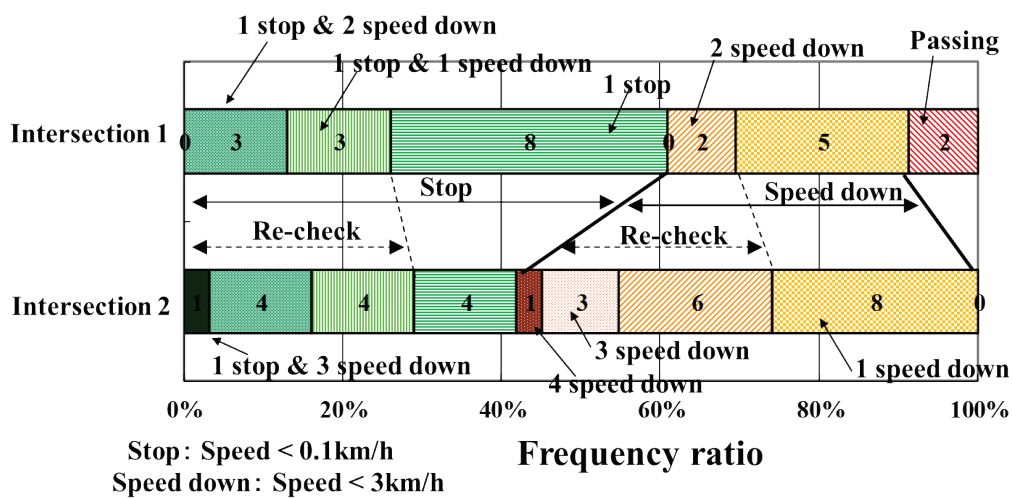


Fig.5-7 Distribution of stop maneuver at stop sign by each intersection

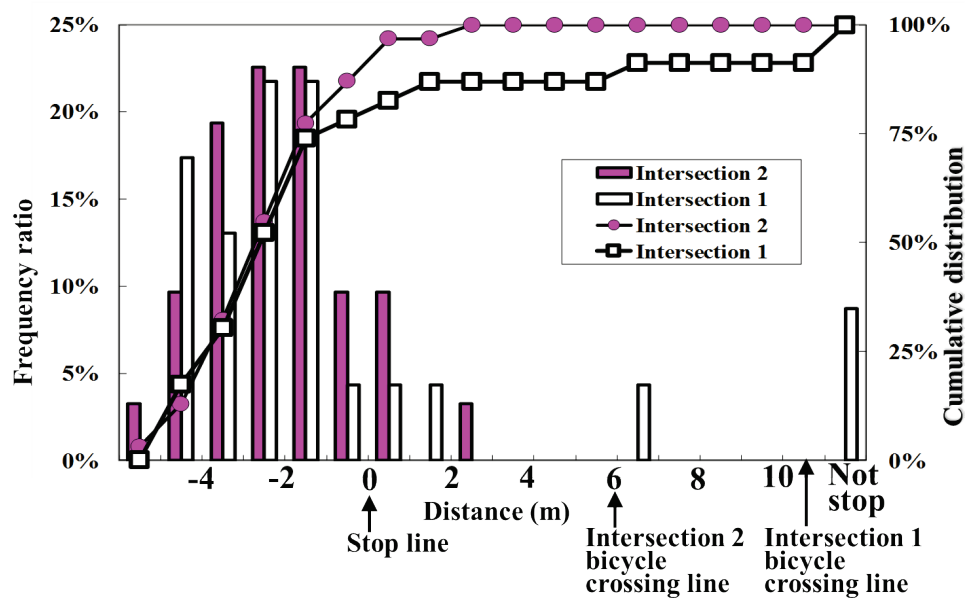


Fig.5-8 Frequency distribution of distance of first stop or first lowest speed position by each intersection

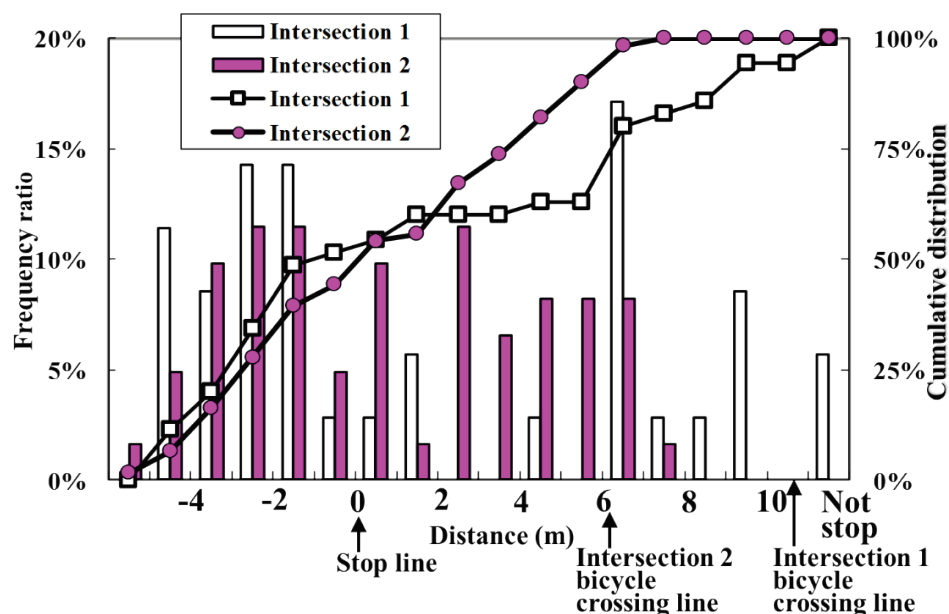


Fig.5-9 Frequency distribution of distance of all stop or lowest speed positions from stop line by each intersection

図 5-10 に制動開始時の一時停止線からの距離とその時の速度の関係を示し、 1.0m/s^2 、 2.0m/s^2 、 3.0m/s^2 、 4.0m/s^2 の一定減速度で一時停止線に停止する仮想曲線と停止線までの距離をその時の速度で割った、停止線までの仮想到達時間（TTS）が3秒の直線を重ねて表示した。その結果、ドライバーは 1.0m/s^2 前後の減速度で止まれるような速度で、また停止線までの仮想到達時間が3秒以上の余裕を持って制動を開始しており、60歳以上の高齢ドライバーと60歳未満のドライバーの停止行動に大きな差が無いことが分かった。しかし、60歳以上のドライバーの中には、数は少ないが一時停止を見落として、制動開始が遅れて停止線到達時間が3秒以下で、減速度が 2.0m/s^2 、 4.0m/s^2 の急制動するタイミングで制動を開始しているドライバーや、ノーブレーキで停止線を通過したドライバーが見られた。従って、一部の運転能力の低下した高齢ドライバーに対しては一時停止交差点の見逃しに対する一時停止情報提供の支援や一時停止誘導支援が必要になると思われる。

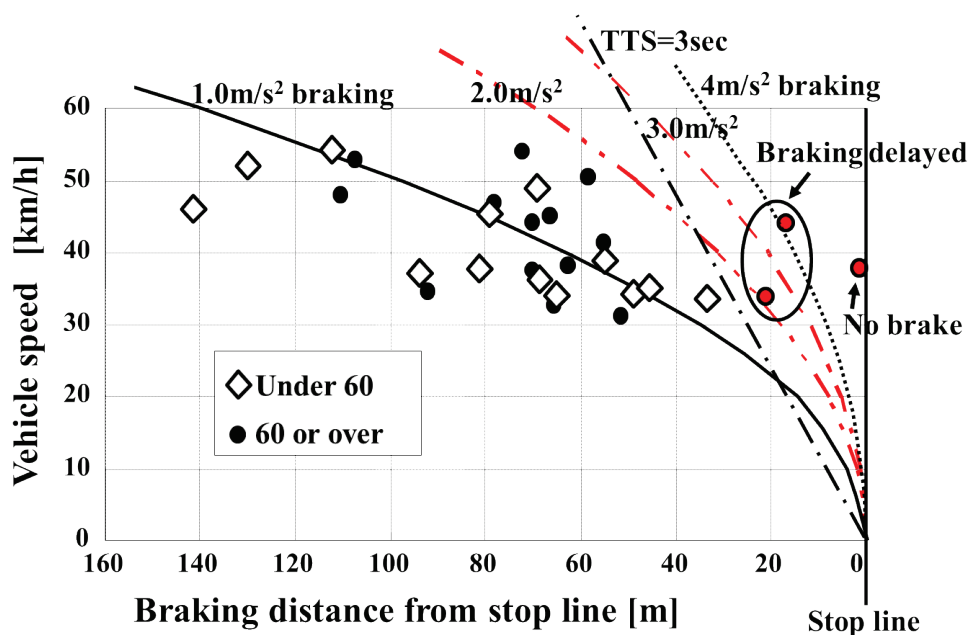


Fig.5-10 Relationship of distance from stop line and vehicle speed at braking start

5.3.2 左右確認行動の解析

一時停止交差点において、一時停止する目的は交差車両を確認する時間と交差車両との衝突を回避する時間余裕を得ることである。そこで左右の確認行動について調べた。図 5-11 に交差点の遮蔽物による見通し距離の異なる No. 1 交差点と No. 2 交差点での停止線から交差点進入（自転車交差ライン位置）までの平均通過速度の頻度分布を比べた図を示す。この図から、見通しの悪い No. 2 交差点で交差車両確認のために累積頻度で約 4km/h ほど速度が遅くなっていることが分かる。同様に、図 5-12 に平均通過速度の頻度分布を 60 歳未満のドライバーと 60 歳以上のドライバーで比べた図を示す、60 歳未満のドライバーに比べて 60 歳以上のドライバーに通過速度が高いドライバーがいることが分かる。さらに、図 5-13 に No. 1 交差点と No. 2 交差点の停止線から交差点進入までの通過時間の頻度分布を示す。図から通過時間が 2 秒以下の 60 歳以上のドライバーが 32% もいることが分かり、このドライバー達は交差車両の確認が時間的に少ないと思われる。そこで、図 5-14 に左右確認回数を、左右確認せず、左右のどちらか片側のみの確認、左右 1 往復の確認、左右 2 往復の確認、左右 3 往復の確認、の 5 種類に分類した頻度割合を示す。この図から、左右両方向の確認を一回、左右どちらか一方のみ確認、左右どちらも未確認、の左右確認が不十分なドライバーが、60 歳未満の 26% にくらべ、60 歳以上に 51% ものドライバーがいることが分かった。従って、60 歳以上の高齢ドライバーの認知能力の衰えを考えると、一時停止交差点における衝突事故リスクは非常に高くなると考えられる。

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバーの運転行動解析

また、高齢ドライバーの操作応答の遅れを考えると、それをカバーするには、交差車両との衝突回避を予期したブレーキ作動の準備つまり、交差点通過中のブレーキオンや足の構え（ブレーキペダル上）を加えた時間の頻度分布を示す。その結果、60 歳以上のドライバーの交差点通過行動では 35%がブレーキを踏む準備をしていなかったことが分かった。つまり、高齢ドライバーの一時停止交差点での運転行動から、一時停止後の交差車両の確認不足と交差車両の存在予測の不足が、高齢ドライバーの信号無し交差点での事故の多さに繋がっていると考えられる。従って、高齢ドライバーは事故直前の衝突回避能力の低下だけでなく、一時停止交差点における安全確認行動の不足が問題となっている。この出会い頭事故を防ぐには、一時停止の誘導だけでなく、交差車両の確認と発見後の回避準備の誘導や交差車両の警報支援が必要になると思われる。

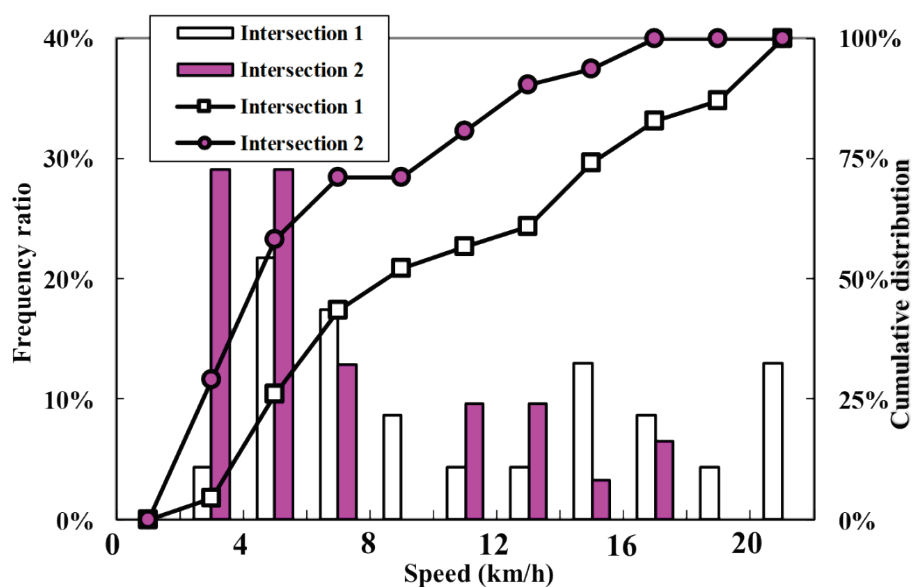


Fig.5-11 Frequency distribution of average speed from stop line to entrance of intersection by each intersection

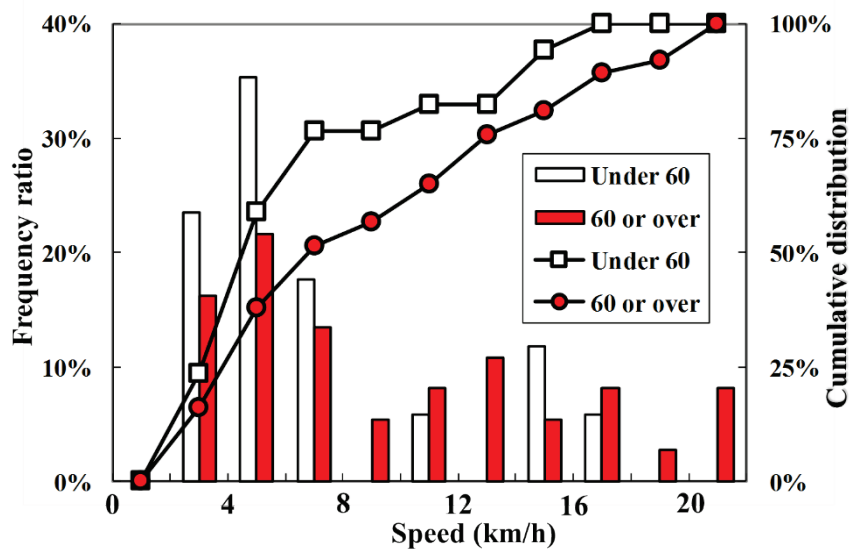


Fig.5-12 Frequency distribution of average speed from stop line to entrance of intersection by age group

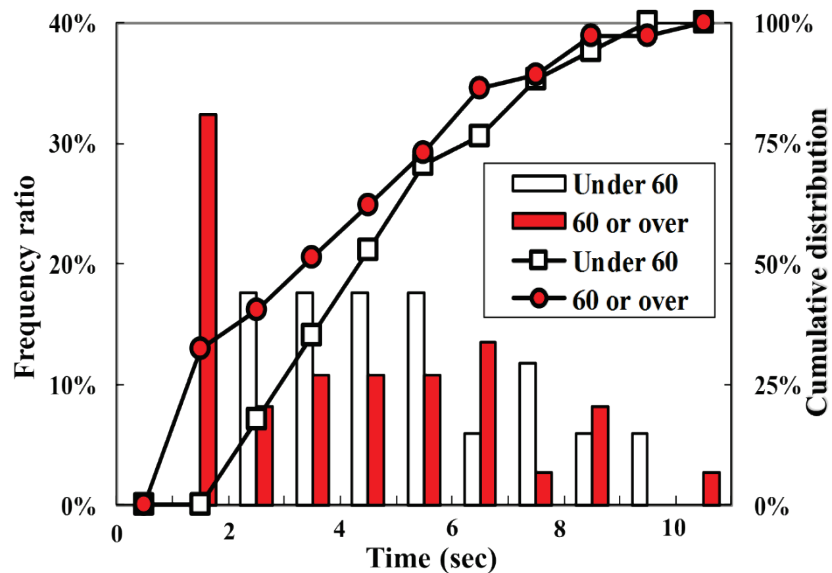


Fig.5-13 Frequency distribution of time from stop line to entrance of intersection by age group

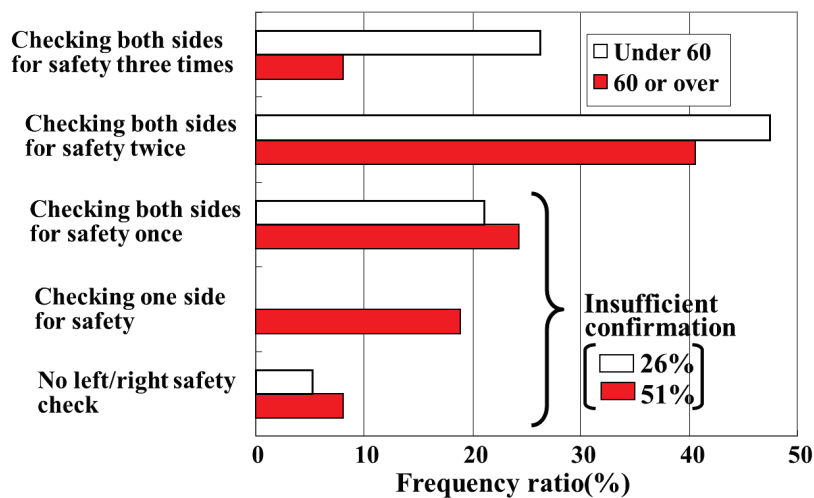


Fig.5-14 Frequency ratio of confirmation for crossing objects

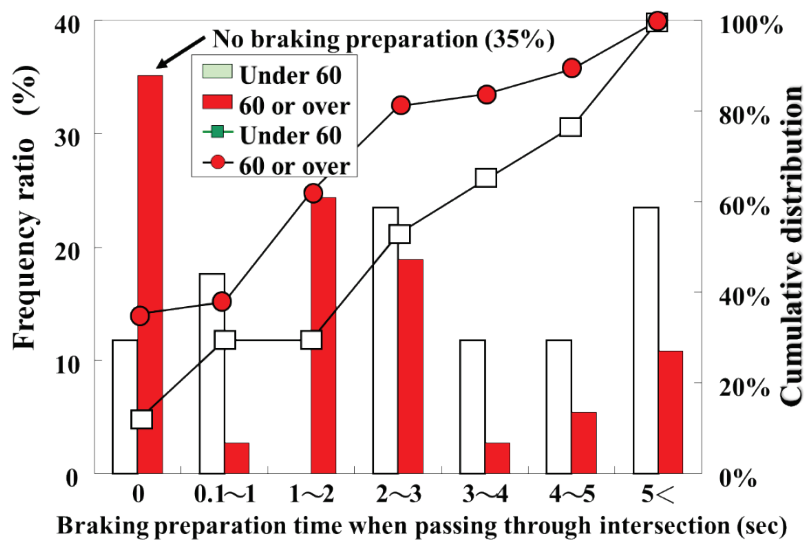


Fig.5-15 Frequency distribution of braking preparation time by age group

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバの 運転行動解析

5.3.3 交差車両との衝突余裕時間

60歳以上の高齢ドライバが60歳未満のドライバに比べて、一時停止交差点での左右交差車両の安全確認行動が不十分であることが分かったが、どの程度危険なのかが分かりにくいので、一時停止交差点での事故の発生リスク評価を行う手法を開発した。今までに、粕谷⁽³⁹⁾らは一時停止交差点の衝突リスクを見通し距離と安全確認行動から衝突の可能性がある交差車両の速度が速ければ、その速度の交差車両の存在を予測しているとして、衝突回避余裕が大きいという評価手法を提案している。また、同じ考え方で平松⁽⁴⁰⁾らは衝突の可能性がある横断歩行者の飛び出し時の歩行速度が速ければ、歩行者の急な飛び出しを予測しているとして、衝突リスクが小さいという歩行者事故のリスク評価を提案している。

自車両の運転行動が回避可能な交差対象速度、すなわちドライバが事故を回避するために、予測している交差対象速度は、論理的なリスク評価として正しいが、運転行動リスクの指標としては運転行動をどう改善すれば、事故を防げるかが分かりにくい。そこで、平均的な運転操作と交差車両速度を仮定して交差車両の左右確認タイミングから、回避可能限界の平均的な衝突回避制動に対する余裕時間を求め、もし、平均的な回避操作に対する反応時間が何秒か遅れても衝突を回避できるのかを時間として、出会い頭衝突余裕時間と定義して交差車両との衝突リスクを評価する方法を開発した。その算出方法を次に示す。

最初に、図 5-16 に示す停止可能速度曲線を求める。平均的なドライバの制動回避行動の速度線図を求めるために、制動を意図した時の右足の位置からブレーキペダルの操作による減速度の立ち上がりまでの時間を空走時間として、足がブレーキ位置に有る場合は空走時間を 0.3sec、足がアクセル位置にある場合は空走時間を 0.8sec と仮定し、さらに一般ドライバの緊急制動の制動減速度を 5.0m/s^2 と仮定すると下記計算式 (1) で制動距離：d に対する停止速度曲線：V(d) が得られる。

$$V(d) = \sqrt{2 \times d \times G + G^2 \times T^2} - G \times T \quad \dots\dots\dots(1)$$

Free running time[s] : T.

Above brake pedal: T=0.3[sec]

Accelerator pedal on: T=0.8[sec]

Deceleration [m/s²] : G= 5.0[m/s²]

Speed of able to stop at crossing lane [m/s] : V

Running distance [m] : d

Running time [s] : t

図 5-16 にそれぞれの交差車両に対して計算式 (1) を用いて、自転車：Vb(d)、右側自動車：Vvr(d)、左側自動車：Vvl(d)、を回避可能な交差車線位置で停止する衝突回避停止速度曲線を示す。衝突回避可能停止速度曲線はドライバの右足の位置が変わると空想時間により空想距離が

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバーの運転行動解析

変わるので、図 5-16 では一時停止線から約 2m の地点で切り替わっている。また、自車の速度が各交差車両の衝突回避可能停止速度曲線よりも大きい所では交差車線位置手前に止まれず、衝突が回避できないことを表している。

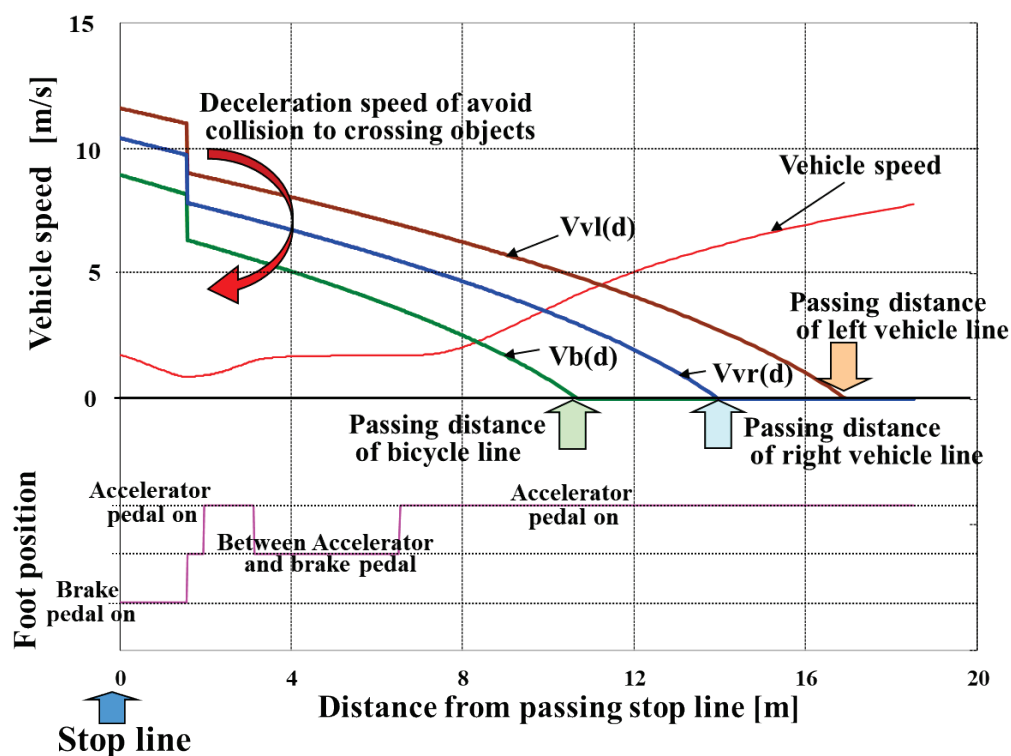


Fig.5-16 Calculation of deceleration speed to avoid collision with crossing object

次に図 5-17 に図 5-5 と同様に自車両の速度を用いて距離軸から時間軸における車両の運動を算出して、見通し距離と左右確認行動を示す。図 5-17 から自車の速度が各交差車両の衝突回避可能停止速度曲線より小さく回避可能なタイミングを停止可能限界位置タイミング(自転車: T_{db} , 右自動車: T_{dvr} , 左自動車: T_{dvl})と定義し、停止可能限界位置タイミング(T_{db} , T_{dvr} , T_{dvl})よりも手前で、対象方向に顔を向けて安全確認をした確認タイミングを最終確認タイミング(右自転車 T_{dtbr} , 左自転車 T_{dtbl} , 右自動車 T_{dtvr} , 左自動車 T_{dtvl})と定義して、最終確認タイミング(T_{dtbr} , T_{dtbl} , T_{dtvr} , T_{dtvl})の交差対象の見通し距離(右自転車 D_{br} , 左自転車 D_{bl} , 右自動車 D_{vr} , 左自動車 D_{vl})を求める。但し、50m以上の見通し距離については、すべて 50m とした。つまり、交差点進入時に最後に左右確認した時の見通し距離を求めたことになる。

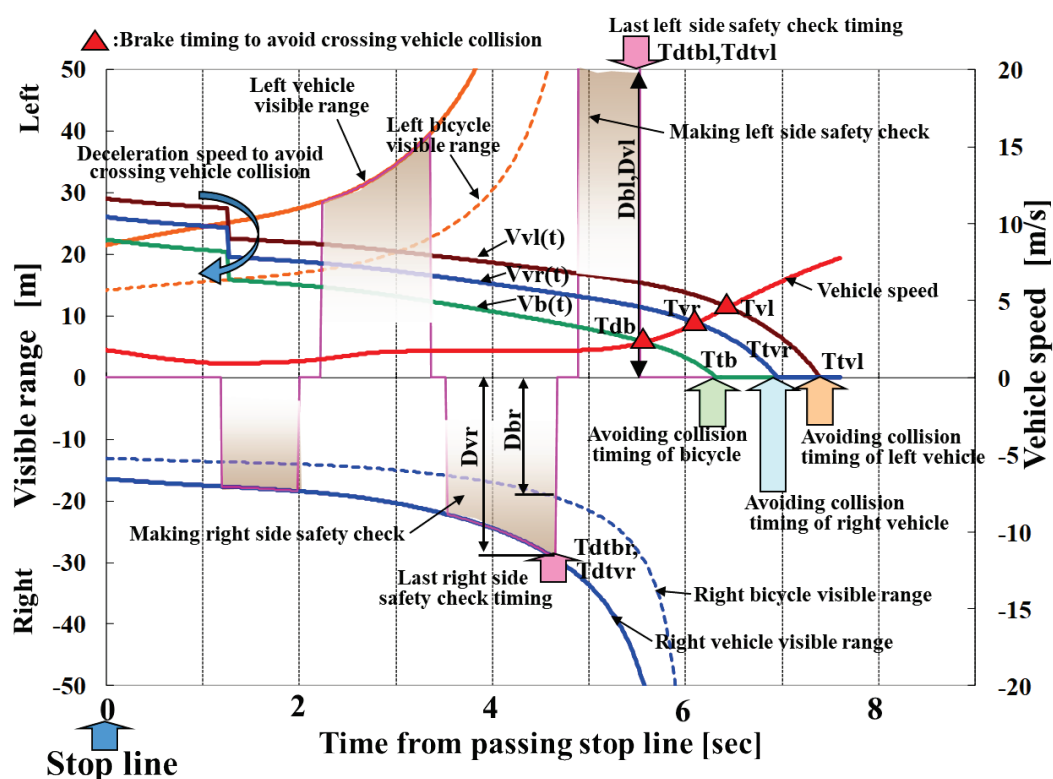


Fig.5-17 Calculation of last safety checking visible range of each crossing object

図 5-18 で最後に左右確認したタイミングから交差車両が自車両との交差点点に来るタイミングを算出する。図 5-17 で求めた最終確認タイミング (Tdtbr, Tdtbl, Tdtvr, Tdtvl) での見通し距離 (Dbr, Db1, Dvr, Dvl) で交差車両に気が付かないタイミングから、交差対象車両が一定の速度で走行してくるとして、交差車両速度を自転車は $V_b=20\text{km/h}$ 、自動車は $V_v=60\text{km/h}$ と仮定して、最終確認タイミングから交差タイミングまでの交差位置到達時間 (Tcbr, Tcbl, Tcvr, Tcvl) を式 (2), (3) で算出した。

$$T_{cb}=D_b/V_b \dots \dots \dots (2)$$

$$T_{cv}=D_v/V_v \dots \dots \dots (3)$$

Bicycle: $V_b=20\text{km/h}$

Vehicle: $V_v=60\text{km/h}$

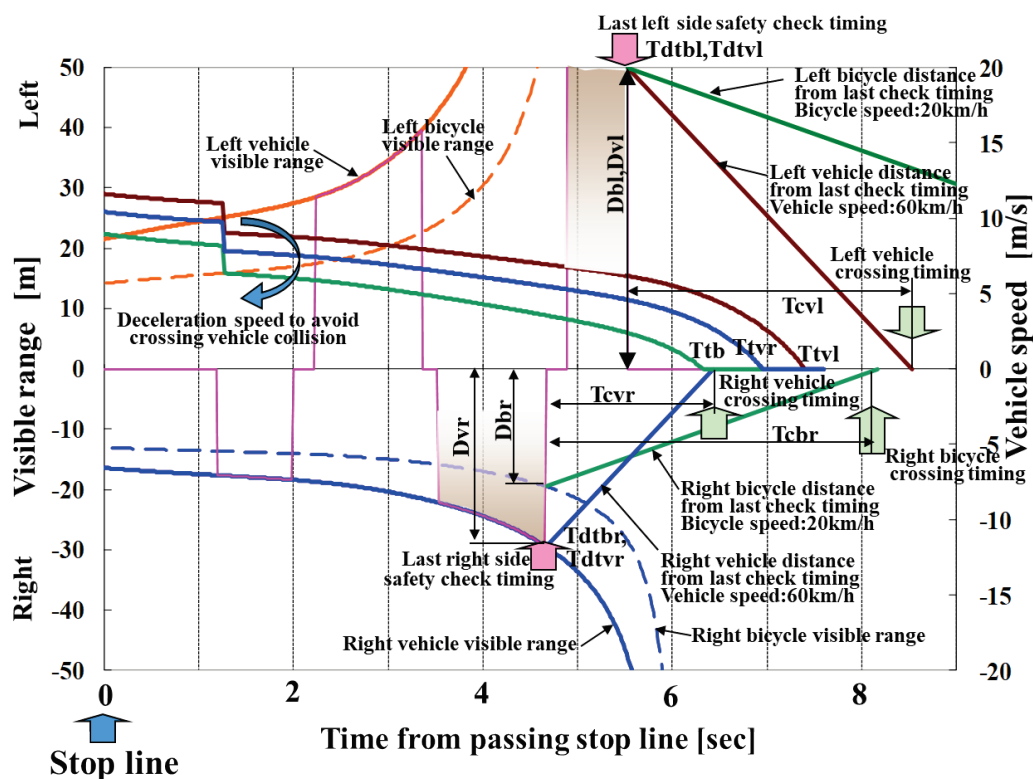


Fig.5-18 Calculation of crossing timing of each crossing object by last safety checking visible range

図 5-19 に図 5-18 で求めた最終確認タイミング (Tdtbr, Tdtbl, Tdtvr, Tdtvl) から求めた交差車両の交差到達時間 (Tcbr, Tcbl, Tcvr, Tcvl) と自車の各車両との交差位置通過時間 (Ttb, Ttvr, Ttv1) との差から、交差車両との衝突余裕時間 (Tmbr, Tmbl, Tmvr, Tmvl) を求めた。式は下記 (4), (5), (6), (7) に示す。

$$Tmbr = Tdtbr + Tcbr - Ttb \dots \dots \dots (4)$$

$$Tmbl = Tdtbl + Tcbl - Ttb \dots \dots \dots (5)$$

$$Tmvr = Tdtvr + Tcvr - Ttvr \dots \dots \dots (6)$$

$$Tmvl = Tdtvl + Tcvl - Ttv1 \dots \dots \dots (7)$$

図 5-19 の場合の交差車両に対する衝突余裕時間は、右自動車の $Tmvr = -0.559\text{sec}$ は符合がマイナスの為、最終確認後に右から 60km/h の速度で自動車が来た場合に衝突の可能性が高く、通過速度を下げたり、停止時間を長くしたり、確認回数を増やしたりして、約 0.6 秒程度の確認余裕時間を設ければ、60km/h で右から交差する車両との衝突を避けられる。また右から 20km/h で進入してくる自転車に対しては、 $Tmbr = 1.832\text{sec}$ の衝突余裕時間がある為、アクセルペダルダ

られる。

図 5-21 に右側自転車の衝突余裕時間の頻度分布割合と累積頻度割合を示す。見通しの非常に悪いNo.2 交差点では、20km/h 以上で交差する自転車に 42%の人が衝突する可能性があり、No.1 交差点の 26%にくらべて多く、衝突余裕時間も短いことが分かる。つまり、No.2 交差点の見通しの悪さに対する安全確認行動が右側自転車に対して不足していると考えられる。

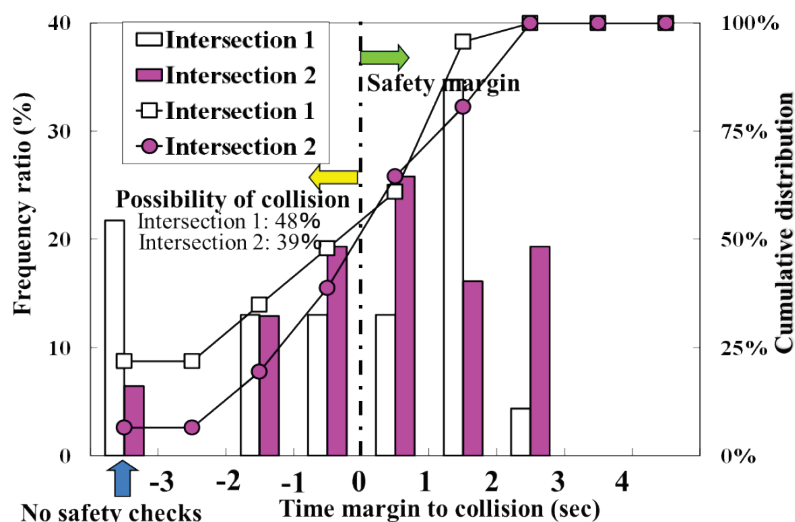


Fig.5-20 Frequency distribution of time margin for collision with vehicle coming from right in accordance with difference in visible range

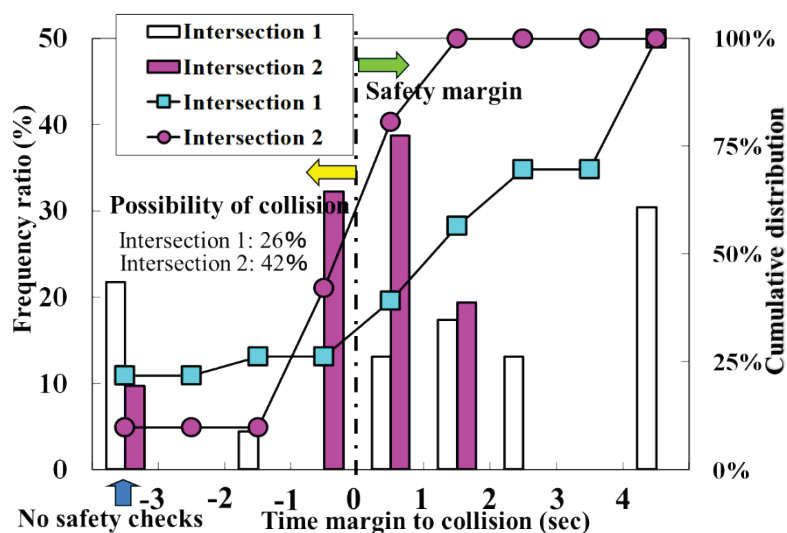


Fig.5-21 Frequency distribution of time margin for collision with bicycle coming from right in accordance with difference in visible range

第5章 ドライビングシミュレータを用いた一時停止交差点通過時の高齢ドライバーの運転行動解析

5.3.5 高齢ドライバーと衝突余裕時間の関係

交差車両との衝突余裕時間を60歳以上と60歳未満のドライバーで比較した。図5-22は右側から来る自動車の衝突余裕時間の頻度分布割合と累積頻度割合を示す。さらに、図5-23は右側自転車に対する衝突余裕時間の頻度分布割合と累積頻度割合を示す。見通しの悪い右側の交差車両に対して、60歳以上のドライバーの20%近くが右側の安全確認を行っておらず、右側からの交差車両への衝突の可能性が60歳未満の20%程度に比べ、60歳以上のドライバーでは、40~50%と高いことが分かる。つまり高齢ドライバーでは、見通しの悪い交差点で約半数のドライバーが事故を起こす可能性がある。

さらに図5-24は見通しの良い左側自動車の衝突余裕時間の頻度分布割合と累積頻度割合を示す。60歳未満のドライバーが一秒以上の余裕を持って安全確認を行っているのに対して、60歳以上のドライバーは22%が左側から60km/h以上で交差する自動車に衝突する可能性があり、衝突余裕時間が1秒以下のドライバーが25%もいる。つまり、見通しの良い交差点でも、60歳未満のドライバーに比べると60歳以上のドライバーは衝突余裕時間が1秒短い。

このように、衝突回避行動と交差車両速度を規定し、見通し距離と通過時の左右確認行動から求めた交差車両との衝突余裕時間を求めることによって、60歳以上のドライバーの安全確認行動が不足していることを定量的に評価出来る。その結果、高齢ドライバーは一時停止交差点の左右確認の不足によって非高齢ドライバーに比べ衝突余裕時間が1秒少なく、加齢による衝突回避能力の低下だけでなく、一時停止交差点における左右確認行動のような予防安全運転行動も不足していることが分かった。

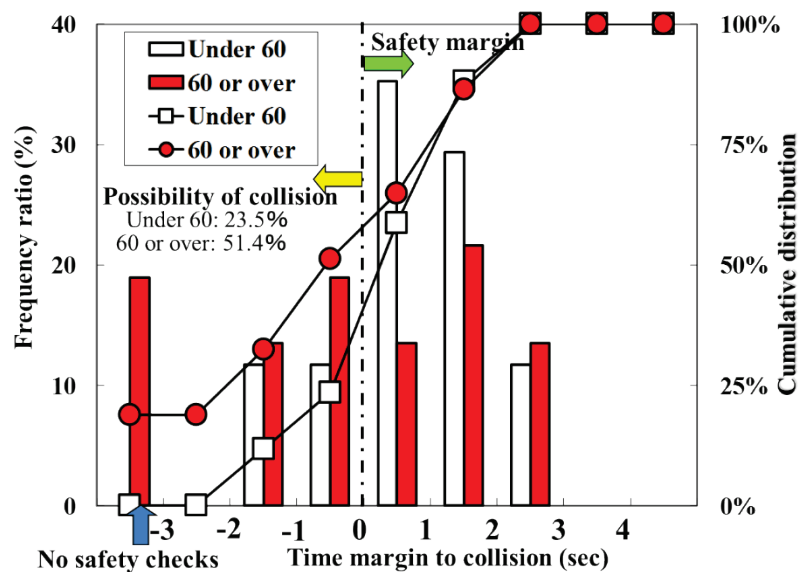


Fig.5-22 Frequency distribution of time margin for collision with vehicle coming from right for elderly drivers

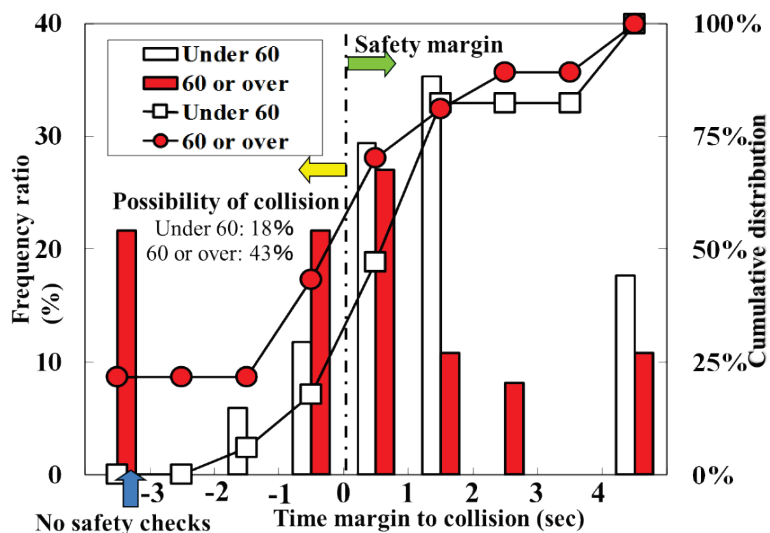


Fig.5-23 Frequency distribution of time margin for collision bicycle coming from right for elderly drivers

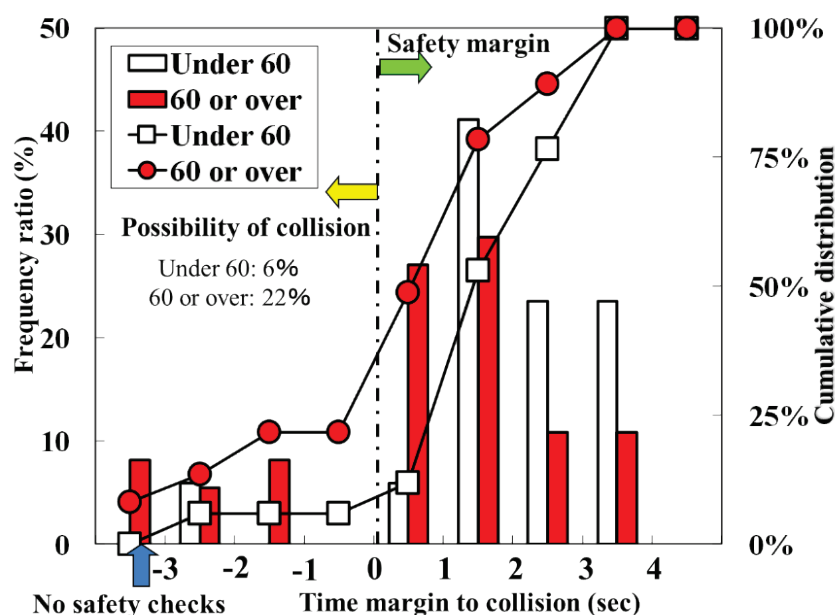


Fig.5-24 Frequency distribution of time margin for collision with vehicle coming from left for elderly drivers

5.4 まとめ

ドライビングシミュレータを用いて、一時停止交差点における高齢ドライバーの停止、左右確認の運転行動を調査した結果、以下のことが分かった。

1. ほとんどの停止行動は60歳以上の高齢ドライバーと60歳未満の非高齢ドライバーに大きな違いはないが、一時停止の見落としや発見遅れによる一時不停止・ブレーキ開始遅れが、60歳以上の高齢ドライバーに確認された。
2. 停止線付近での停止後、左右確認なし、又は 確認不十分（左右確認2往復未満）のままの一気の加速通過が、60歳未満の非高齢ドライバーでは26%ほどであったが、60歳以上の高齢ドライバーでは倍の51%もあり、高齢ドライバーは確認行動が不十分。
3. 衝突回避行動と交差車両速度を規定し、見通し距離と通過時の左右確認行動から求めた交差車両との衝突余裕時間によって、60歳以上の高齢ドライバーの安全確認行動が不足しており、60歳未満の非高齢ドライバーに比べ、衝突余裕時間が1秒少ない。

高齢ドライバーは加齢による衝突回避能力の低下だけでなく、一時停止交差点における左右確認行動のような予防安全運転行動も不足しているドライバーがいることが分かった。

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの 市街地運転行動と身体・認知機能の関係解析

6.1 目的

日本では、高齢者人口の増加により、高齢ドライバの自動車運転の機会が増え、高齢ドライバによる交通事故が増加し、交差点における出会い頭事故が多いので、第2章で開発したDSを用いて、第5章で高齢ドライバの一時停止交差点での予防安全運転行動の左右確認行動の評価指標を提案し、左右確認行動が不足している高齢ドライバが存在する可能性を示した。

高齢ドライバの事故は、身体特性や認知機能などの人間特性の衰えと、運転時の危険な場面を避ける予防安全運転行動の不足によって起こると考えられ、特に予防安全運転行動に導く、運転支援や運転訓練を考える必要がある⁽⁴²⁾。

そこで、DSを用いて調べた高齢ドライバの一時停止交差点での左右確認行動の不足が、実路走行においても同じかどうかを、運転行動を測定し確認する実験を行う。そのために、出会い頭事故の起きやすい一時停止線のある交差点を含む市街地を、自動車教習所の運転指導員が助手席に同乗して、高齢ドライバに運転教示を行いながら走行し⁽⁴¹⁾、運転行動を測定した。そして各高齢ドライバの身体特性や認知機能と一時停止交差点での運転行動、教示頻度との関係を調べて、加齢による認知身体の衰えと予防安全運転行動の間に関係性があるかを確認する。

6.2 実験方法

6.2.1 被験者

被験者は男女各12名、計24名の高齢ドライバを、4名の運転指導員が助手席で、被験者を指導した。表6-1に指導員と被験者の組み合わせを示す。

被験者は名古屋近郊のドライバで、年齢は50-59歳7名、60-69歳6名、70-79歳11名となっている。天候については、一部で雨の日もあったが、時間帯は午前1回、午後1回で平日に計測を行った。

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と
身体・認知機能の関係解析

Table.6-1 Details of driving instructors and subjects

Is	Is:Age (Instruct years)	Id	Id: Age	Gender	Start time	Record time	Weather	Id	Id: Age	Gender	Start time	Record time	Weather
1	42 (18)	5-1	57	Female	9:29:39	0:22:49	Fine	5-5	75	Male	9:30:35	0:22:48	Rain
		5-2	54	Female	10:37:30	0:24:01	Fine	5-6	70	Male	10:32:48	0:23:08	Rain
		5-3	74	Female	10:34:03	0:24:54	Cloudy	5-7	70	Male	9:24:08	0:24:32	Fine/snow
		5-4	75	Female	9:28:57	0:17:36	Cloudy	5-8	77	Male	10:33:49	0:20:49	Fine/snow
2	46 (19)	2-1	67	Female	14:07:33	0:17:08	Fine	2-4	68	Female	15:16:30	0:31:54	Cloudy
		2-2	76	Female	15:07:27	0:19:51	Fine	2-5	54	Female	13:55:36	0:28:09	Rain
		2-3	70	Male	13:58:59	0:32:47	Cloudy	2-6	65	Female	15:05:33	0:26:34	Rain
3	48 (23)	3-1	66	Male	9:19:19	0:23:18	Fine	3-3	68	Male	9:15:40	0:22:50	Fine
		3-2	59	Male	10:29:00	0:21:58	Fine	3-4	64	Female	10:25:28	0:24:49	Fine
4	44 (18)	4-1	79	Female	14:13:47	0:20:05	Fine/snow	4-4	77	Male	15:11:44	0:29:52	Fine
		4-2	73	Female	15:16:18	0:27:31	Fine/snow	4-5	50	Male	13:45:07	0:32:51	Fine
		4-3	52	Male	14:01:42	0:30:01	Fine	4-6	55	Male	14:55:44	0:27:27	Fine

6.2.2 測定方法

図 6-1 に測定に使用した走行ルートを示す。そのコースは名古屋大学周辺の住宅街路の 1 周回コース（交差点⑤→⑥→⑨→①→④→⑤）を 17～30 分間、周回した時のデータを比較した。その周回コースには、10 箇所の交差点があり、一時停止の交差点の左折が 3 箇所、一時停止の交差点の直進が 2 箇所、カーブミラーのある一時停止無しの交差点の左折が 1 箇所、一時停止無しの交差点の直進が 4 箇所その内の 1 箇所は黄点減信号交差点で、見通しの良くない一時停止交差点が多い、一時停止無しの左折交差点と一時停止無しの直進交差点の 2 箇所に横断歩道がある。走行路の半分は一方通行となっており、一方通行路とセンターライン無しの双方向道路共に、道幅は狭く対向車や駐車車両、歩行者、自転車などの回避には徐行や回避余裕が必要で、安全走行速度は 20 km/h 前後と低い。解析に用いた 5 カ所の一時停止交差点は同じように見通しの悪い交差点であり、カーブミラーは無く交差角度も直角と変化はないが、いろんな環境にも対応できる単純で同じ安全運転行動が高齢ドライバには必要と考え、環境を同じにした。

被験者は運転指導員が助手席に同乗して、教習所内で運転練習を約 15 分行い車両に習熟したのち、運転指導員がナビゲーション、補助ブレーキ操作を含む運転指導を行いながら、測定コースまで約 15 分の慣熟走行を行った後で計測を行った⁽⁴¹⁾。そして走行実験の前に被験者ドライバに対して MMSE (Mini-Mental State Examination) と Trail-Making

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と 身体・認知機能の関係解析

Test (TMT) Part A & B, 有効視野 UFOV (Driving Health Inventory の評価の中の Visual information processing speed のテスト)などの認知機能検査, さらに警察庁方式 CRT 運転適性検査器 (竹井機器工業(株))を使用した運転適性検査を行い, 路上教習との関係を調べた⁽⁷⁾. 図6-2 に走行データの測定例を示す. GPS および加速度センサが内蔵された Yupiteru 社製のドライブレコーダ BU-DRHD421 を使用し, 車両前方と車内ドライバを撮影するカメラの映像を含めて常時記録した.

被験者ドライバ・運転指導員に対しては, 実験内容について事前 に説明を行い, インフォームド・コンセントを得た. 本実験 は名古屋大学未来社会創造機構の倫理審査によって承認を得て実験を行った.



Fig.6-1 Driving course of experiment

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と身体・認知機能の関係解析



Fig6-2 Example of driving-recorder viewer

6.2.3 解析方法

表 6-2 にドライブレコーダの音声記録から運転指導員の運転教示内容について、指導員が発言した言葉を書落とし、その時の時間、場所、状況と運転行動との発言タイミングから教示のタイミングを事前、直前、操作中、直後、振り返りの5種類に分類した例を示す。発言内容から教示の意図として、情報提供、注意喚起、運転教示、経路案内、交差点通過行動への教示無しの5種類に分類し、さらに発言内容から運転行動の教示内容として、確実な停止を指示、停止位置を停止線手前に指示、制動指示、左右確認指示、徐行指示、左寄せ指示（キープレフト）、発進許可指示、経路案内指示の8種類に分類し、これらの頻度を抽出した。

さらに、図 6-2 のドライブレコーダのビューラーを用いて、一時停止交差点における左右確認行動として、ドライバ映像の顔向きから一時停止交差点における左右確認回数 (N_{clr}) を求めた。さらに図 6-3 に示すように交差点進入タイミング (T_{ie}) を前方画像のボンネットラインが交差点のセンターマークに接するタイミングとした。この地点は交差点センターから約 2.5m 手前となり、5.0m 道路で交差車両が通過可能な交差点進入位置と考えることが出来る。一時停止タイミングとして制動終了時間 (図 6-4 の T_{be}) と交差点進入タイミングとの差を一時停止交差点における左右確認時間 ($T_{clr} = T_{be} - T_{ie}$) として求めた。

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と
身体・認知機能の関係解析

Table.6-2 Example of driving instruction analysis

Round No	Map No	Road situation	Driving	Time	Driving instruction comment (Japanese)	Instruction intention		Timing	Driving instruction		
0	10→11	One way traffic	Straight way	9:29:20	あの赤の点滅信号のところで、左折しますからね。	Navigation		In advance	Navigation		
0	11	One way intersection	Intersection straight	9:29:24	ゆっくりですよ。見通し悪いですから。徐行。	Instruction		Immediately before	Slow down		
0	11	One way intersection	Intersection straight	9:29:28	加速の仕方も緩やかにね。	Instruction		Immediately after	Mild accelerate		
0	12	One way stop sign intersection	Stop sign straight	9:29:31	止まれね。停止線を越えないように、はい、ブレーキ、ブレーキ、しっかりとブレーキ、ストップ。	Caution	Instruction	Immediately before	Braking	Stop	Stop position
0	12	One way stop sign intersection	Stop sign straight	9:29:39	また、のぞいて見ながら確認ね。	Instruction		During maneuver	Left and right check		
0	12→5	One way traffic	Straight way	9:29:43	その止まれを左折して行きますね。ここを左折ね。	Navigation		Immediately before	Navigation		
0	5	One way red flash signal intersection	Stop sign turn left	9:29:46	しっかりとブレーキ。あんな感じで車がくるかもしれませんからね。	Instruction	Caution	Immediately before	Braking		
0	5	One way red flash signal intersection	Stop sign turn left	9:29:53	そう点滅信号は一時停止ですよ。止まれの標識と同じ意味合いですからね。	Information	Caution	Immediately before	Stopping		
0	5	One way red flash signal intersection	Stop sign turn left	9:29:58	はいじゃ、ちよこつとづつ前に行きますね。ハンドル回しながらね。ブレーキももっとかけておいて。	Instruction	Instruction	During maneuver	Left and right check	Slow down	Steering
0	5	One way red flash signal intersection	Stop sign turn left	9:30:04	狭いので、戻して	Instruction		During maneuver	Steering maneuver		
1	5→6	Two way traffic both side parked vehicles and a pedestrian	Avoid parked vehicles and a pedestrian	9:30:09	ブレーキかけたまま行きましょう。狭いですから。ブレーキ、ブレーキ。もっとブレーキ、もっとブレーキ。	Instruction	Instruction	During maneuver	Braking	Slow down	

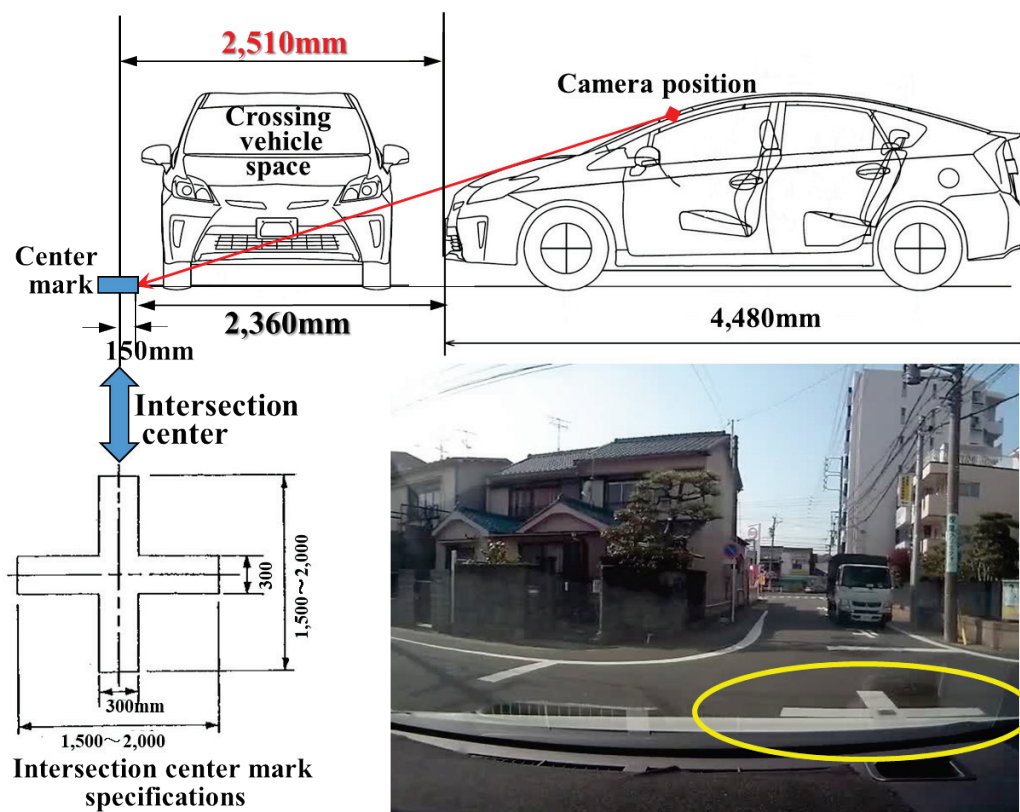


Fig.6-3 Intersection entering timing (Tie)

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と身体・認知機能の関係解析

図6-4にドライブレコーダのデータの解析例を示す。速度はGPS信号で算出した速度を用い、加速度はドライブレコーダの加速度センサの値を用いた。GPS信号による速度は、GPS信号のサンプリング周波数（約1Hz）で1秒毎のGPS位置信号から算出するため、信号の受信遅れにより1から2秒の応答遅れがあり、極低速の精度も低いため、速度ゼロは映像と加速度から停止の判断を行い求めた。従って、GPS信号による速度の応答遅れから加速度は図6-4の速度-時間グラフの速度勾配と一致しない。加速度センサ信号には信号のドリフトと路面傾斜誤差が含まれるため、加速度を積分した速度を使わずに、平均加速度及び減速距離は、時間当たりの速度変化によって算出した。一時停止交差点の見逃しなどがあると制動開始タイミング遅れるため、先読み安全運転の指標として、制動開始タイミングの特性値として制動持続時間（ $T_b = T_{be} - T_{bs}$ ）と制動減速度（ $V_{bs} - V_{be}$ ）から1回の制動当たりの平均減速度（ $G_{ave} = (V_{bs} - V_{be}) / T_b$ ）、減速に要した制動距離（ $D_b = T_b * (V_{bs} + V_{be}) / 2$ ）から制動開始時の制動停止余裕時間（ $T_{mb} = D_b / V_{bs}$ ）を算出した。さらに、減速中の予期せぬ危険に対する急な追加制動や追従車両などの周辺車両への安全配慮として、制動のスムーズさを表す指標を求めた。1回の制動当たりの最大減速度（ G_{max} ）と平均減速度（ G_{ave} ）の比の一定減速度率（ $R_g = G_{max} / G_{ave}$ ）を算出した。そして左右確認行動として、制動終了時間から交差点進入時間までを左右確認時間（ $T_{clr} = T_{be} - T_{ie}$ ）と仮定して求め、ドライバ映像から左右確認回数（ N_{clr} ）を読み取った。表6-3に図6-4の評価指標を算出した例を示す。この評価指標と指導員の教示頻度とドライバの運転行動の関係を調べた。車両運動のデータはドライブレコーダの性能から実際の運動に比べて精度的に劣る可能性もあるが、指導員とドライバの相対的な比較は可能と考え、結果をまとめた。

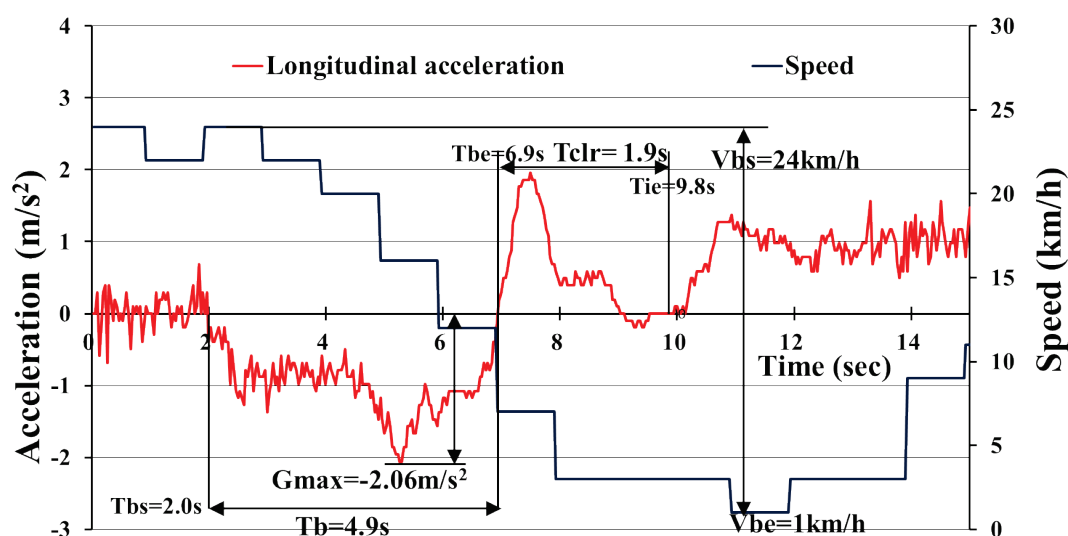


Fig.6-4 Example of the driving-recorder data analysis

Table.6-3 Example of driving behavior calculation of Fig.6-4 graph.

Driving behavior	Symbol and Equation	Value
Braking start speed	Vbs	24km/h
Braking end speed	Vbe	1km/h
Braking start time	Tbs	2.0sec
Braking end time	Tbe	6.9sec
Braking time	$Tb = Tbs - Tbe$	4.9sec
Braking distance	$Db = Tb \times (Vbs + Vbe) \div 3.6 \div 2$	17.0m
Time margin of braking	$Tbm = Db \div Vbs \times 3.6$	2.45sec
Braking average deceleration	$Gave = (Vbs - Vbe) \div Tb$	2.06m/sec ²
Ratio of max and average deceleration	$Rg = Gmax \div Gave$	1.51
Intersection entering time	Tie	9.8sec
Left and right checking time	$Tclr = Tie - Tbe$	2.9sec
Number of left and right checks	Nclr	4times

6.3 実験結果

6.3.1 指導員の教示内容について

図6-5は24名の高齢ドライバの全走行における指導員の教示件数（3117件）の走行場所の割合を示す。一時停止交差点の通過時に交差車両や歩行者への譲り合いなどがあると、その遭遇頻度や相手の動きにより、個々の被験者の教示内容や運転行動が変化して、左右確認時間などに大きく影響するので、このような場面を除いた他車両との干渉が無い状態の一時停止交差点（1004件）について、教示と運転行動の分析を行った。

図6-6は分析に用いた一時停止交差点の教示意図の割合を示す。この中の運転教示に注目し、各ドライバの中で運転教示回数の多いドライバの運転能力が低いと考えて、教示頻度と運転行動、認知機能、身体特性との関係を調べた。また、図6-7は一時停止交差点での経路案内、情報提供、注意喚起、運転教示、運転介入を含めて、指導員が教示した内容を分類したもので、一時停止交差点では、確実な停止、停止線手前での停止、徐行発進からの左右確認が指導員からの多い教示となっている。

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と
身体・認知機能の関係解析

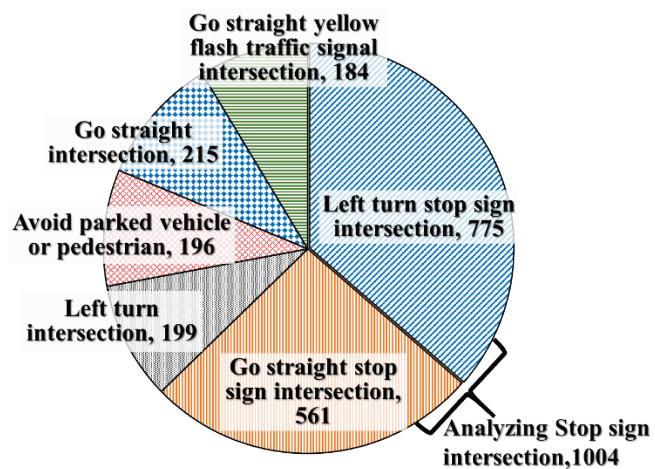


Fig.6-5 Distribution of driving situations where instruction was given (Total: 3117)

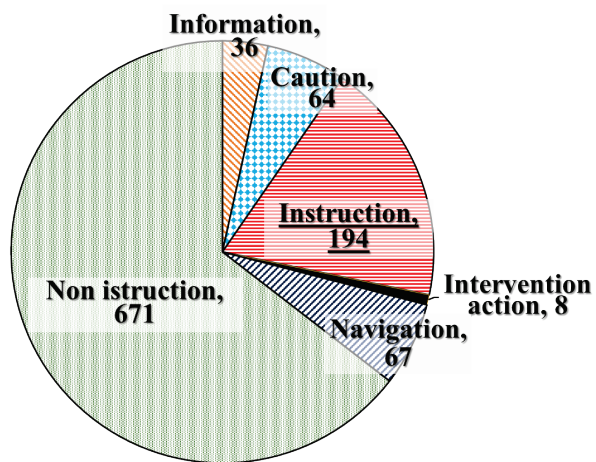


Fig.6-6 Distribution of the intention of instructions given at stop sign intersections

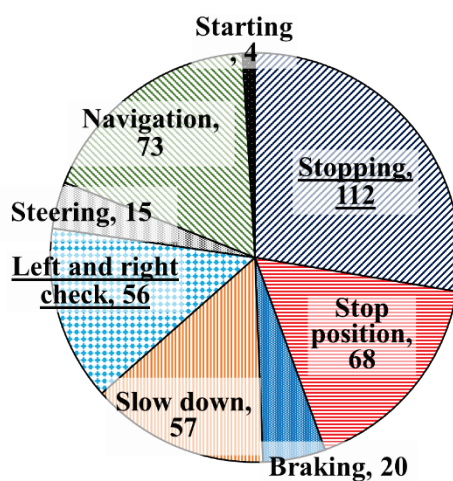


Fig.6-7 Distribution of the types of driving maneuvers that warranted instructions at stop sign intersections

6.3.2 運転教示頻度と運転行動の相関について

表 6-4 に、各被験者の運転行動、認知機能試験および運転適性試験の運転指導頻度および測定平均データを示す。この特性指標のデータに基づいて、一般的な相関分析に用いる式(1)～(5)を用いて各指標間の相関係数を算出し、各特性指標の関係を調べた。人間行動や人間特性などは、ばらつきが大きいために統計的に相関係数の有意な信頼度を得ることは、非常に多くの被験者やデータが必要になり、大変難しい。そこで、相関係数が 0.3 以上の場合、その指標に相関がある可能性があると仮定し、特性指標毎の傾向を調べた。

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と
身体・認知機能の関係解析

Table.6-4 Driving instruction frequency and all measured data of each subject

Id: No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Id: Age	57	54	74	75	75	70	70	77	67	76	70	68	54	65	66	59	68	64	79	73	52	77	50	55
Gender 1: Male 2: Female	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1
Instruction frequency at stop sign intersection	26	19	29	23	11	18	16	9	1	2	0	1	0	0	2	7	4	7	6	9	1	3	3	1
Driving maneuver by driving recorder Braking max deceleration :Gmax(g)	-0.20	-0.16	-0.21	-0.19	-0.20	-0.18	-0.13	-0.21	-0.22	-0.18	-0.18	-0.16	-0.20	-0.21	-0.16	-0.15	-0.18	-0.21	-0.12	-0.13	-0.17	-0.23	-0.14	-0.16
Driving maneuver by driving recorder Left and right checking time :Tclr(sec)	3.8	4.7	4.5	4.8	4.0	3.1	4.8	3.6	1.8	2.0	1.5	3.6	4.0	1.6	3.8	3.2	2.9	3.3	5.1	3.8	3.3	3.4	3.1	3.4
Driving maneuver by driving recorder Braking start speed : Vbs (km/h)	15.7	14.6	17.6	19.3	16.4	15.6	17.7	21.0	20.9	21.0	23.1	20.4	20.6	22.8	17.8	20.4	21.6	20.3	17.6	18.9	21.5	21.7	21.8	21.6
Driving maneuver by driving recorder Braking average deceleration :Gave(m/s2)	0.98	0.92	1.20	1.17	1.03	0.91	1.05	1.56	1.18	1.11	1.22	0.96	1.05	1.13	1.21	1.17	1.31	1.46	0.80	0.97	1.25	1.08	1.07	1.20
Driving maneuver by driving recorder Ratio of max and average deceleration :Rg(max/ave)	2.28	1.92	1.92	1.64	2.05	2.11	1.24	1.39	1.86	1.70	1.55	1.77	1.93	1.89	1.30	1.26	1.40	1.49	1.53	1.39	1.40	2.25	1.25	1.37
Driving maneuver by driving recorder Braking distance :Db(m)	11.2	9.8	11.7	12.7	10.4	10.8	11.8	11.0	14.8	15.7	16.7	17.5	16.1	17.9	10.2	14.7	14.1	11.2	15.6	14.5	14.5	18.3	17.5	15.3
Driving maneuver by driving recorder Time margin of braking :Tbm(sec)	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.4	1.8	2.4	2.7	2.6	3.0	2.8	2.8	2.0	2.5	2.3	1.9	3.0	2.7	2.4	2.9	2.8	2.5
Driving maneuver by driving recorder Number of left and right check :Nclr	4.1	3.5	4.6	4.3	4.1	4.3	4.9	3.6	3.2	3.2	2.1	5.5	4.8	2.6	5.0	4.5	4.8	4.3	3.8	3.8	4.5	3.4	4.2	3.6
Standard deviation of driving maneuver Braking max deceleration :Gmax(g)	0.038	0.035	0.048	0.039	0.029	0.023	0.020	0.040	0.053	0.031	0.030	0.024	0.040	0.026	0.024	0.035	0.026	0.035	0.023	0.022	0.030	0.046	0.019	0.028
Standard deviation of driving maneuver Left and right checking time :Tclr(sec)	0.75	1.37	0.94	1.14	1.17	1.20	0.70	0.72	1.06	0.93	0.98	1.02	0.80	0.52	0.56	0.76	0.53	0.74	1.29	1.13	0.85	1.02	0.88	0.85
Standard deviation of driving maneuver Braking start speed : Vbs (km/h)	4.2	4.8	5.0	4.1	3.7	3.1	3.0	4.0	4.6	3.1	3.9	3.9	4.4	3.7	3.8	3.9	5.4	4.6	3.8	3.2	3.8	6.7	4.0	4.6
Standard deviation of driving maneuver Braking average deceleration :Gave(m/s2)	0.34	0.33	0.47	0.29	0.23	0.26	0.23	0.35	0.28	0.24	0.31	0.24	0.23	0.21	0.19	0.28	0.26	0.29	0.16	0.19	0.21	0.34	0.15	0.18
Standard deviation of driving maneuver Ratio of max and average deceleration :Rg(max/ave)	0.93	0.89	0.61	0.45	0.64	0.78	0.31	0.41	0.44	0.60	0.40	0.56	0.53	0.45	0.23	0.26	0.38	0.53	0.32	0.34	0.34	0.78	0.18	0.24
Standard deviation of driving maneuver Braking distance :Db(m)	7.1	4.4	6.5	4.2	3.4	3.5	3.0	3.4	7.0	3.6	4.4	6.4	5.0	5.6	3.2	5.9	5.2	3.8	7.0	4.0	3.6	8.9	5.1	5.4
Standard deviation of driving maneuver Time margin of braking :Tbm(sec)	0.96	0.61	0.88	0.45	0.41	0.62	0.42	0.41	0.71	0.69	0.52	0.82	0.52	0.53	0.28	0.67	0.40	0.32	0.89	0.48	0.30	0.85	0.42	0.45
Standard deviation of driving maneuver Number of left and right check :Nclr	1.06	0.91	1.42	1.29	1.24	1.49	0.90	1.02	0.92	0.99	0.50	1.45	1.09	0.76	0.96	0.92	0.93	0.90	0.97	1.10	0.95	1.05	0.84	1.25
MMSE (Mini-Mental State Examination)	29	30	30	28	27	27	29	28	28	28	27	28	30	27	30	27	30	30	30	30	28	26	30	30
TM T-A(sec) Trail-Making Test-A	23	27	35	48	57	43	27	45	32	42	26	20	20	24	28	28	43	46	41	45	26	37	32	24
TM T-B(sec) Trail-Making Test-B	54	65	100	180	124	137	72	92	139	104	98	52	48	124	66	68	88	111	155	97	46	123	56	79
UFOV (ms) Driving Health Inventory	100	100	350	363	100	337	117	100	100	100	130	100	100	340	133	100	100	100	257	207	100	100	100	100
Left eye static vision	0.8	1	0.5	0.6	0.8	0.6	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.8	0.5	0.7	0.6	1.2	0.7	0.8	0.9	0.4	0.9	0.7	0.8	0.8
Right eye static vision	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.8	0.9	0.8	0.8	0.6	0.7	1	0.9	0.5	0.7	0.6	1	0.8	0.7	0.7
Both eye static vision	0.9	0.7	0.5	0.6	1.1	0.5	0.9	0.6	0.6	0.9	1.3	0.9	1	0.7	0.4	1.4	1.3	0.9	0.9	0.7	1.4	0.6	0.8	1
Emergency response time (ms)	366	403	398	441	275	344	335	533	467	542	528	512	265	555	262	246	241	365	357	309	262	266	288	307
Driving Aptitude Testing																								
Emergency response variation coefficient (100*SD/M) Driving Aptitude Testing	29.7	27.8	32.0	44.8	5.0	33.0	23.7	24.4	35.7	19.4	12.6	19.1	14.4	28.6	15.2	7.2	8.6	32.0	36.7	12.8	8.2	10.8	24.8	40.6
Accelerator pedal response time (ms) Driving Aptitude Testing	578	511	638	749	791	569	533	546	518	662	623	565	458	468	408	480	565	490	578	474	412	494	421	433
Accelerator pedal response variation coefficient (100*SD/M) Driving Aptitude Testing	28.4	21.6	28.2	28.7	20.7	19.9	34.8	28.5	30.2	16.9	19.0	28.4	13.9	23.9	12.8	15.7	23.3	19.5	24.3	16.9	30.9	30.0	22.7	23.9
Overall evaluation scores Driving Aptitude Testing	2	2	3	2	2	3	4	3	2	3	4	2	4	2	3	4	4	3	2	3	3	4	3	3

$$x = \{x_i\} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

$$y = \{y_i\} \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{((\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2))^{1/2}} \quad (5)$$

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と身体・認知機能の関係解析

運転行動の評価指標として、制動開始速度(Vbs), 1回の制動当たりの最大減速度(Gmax)と平均減速度(Gave), 制動のスムーズさを表す指標として平均減速度と最大減速度の比の一定減速度率(Rg), 減速に要した制動距離(Db), 制動開始時の時間余裕(Tmb), 制動終了時間から交差点進入時間までの左右確認時間(Tclr), 左右確認回数(Nclr), の8指標の値と標準偏差に対する各ドライバの運転教示頻度の相関係数を表6-5に示す。

Table.6-5 Correlation coefficient of instruction frequency and driving behavior
(mean values and standard deviations)

Driving behavior (Mean value)	Correlation with instruction frequency	Driving behavior (Standard deviation)	Correlation with instruction frequency
Braking start speed : Vbs (km/h)	<u>-0.740</u>	Vbs standard deviation (km/h)	-0.023
Braking max deceleration Gmax (g)	-0.065	Gmax standard deviation (g)	0.219
Braking average deceleration Gave (m/s ²)	-0.186	Gave standard deviation (m/s ²)	<u>0.582</u>
Ratio of max and average deceleration Rg (max/ave)	<u>0.335</u>	Rg standard deviation(max/ave.)	<u>0.499</u>
Braking distance Db (m)	<u>-0.660</u>	Db standard deviation(m)	-0.032
Time margin of braking Tbm(sec)	<u>-0.344</u>	Tbm standard deviation (sec)	<u>0.306</u>
Left and right checking time Tclr (sec)	<u>0.575</u>	Tclr standard deviation (sec)	0.278
Number of left and right check Nclr	0.209	Nclr standard deviation	<u>0.438</u>

表6-5の項目毎の傾向を見てみると、一時停止交差点における教示頻度は、運転特性と関連のある項目があることが分かる。図6-8は教示頻度と制動初速度(Vbs)の散布図を示す。教示頻度の多いドライバは制動初速度(Vbs)が低い傾向がある。図6-9は教示頻度と左右確認時間(Tclr)の散布図を示す。教示頻度の多いと左右確認時間(Tclr)が長い傾向がある。これは、前述の指導員の一時交差点での教示の確実な停止指示が制動初速度を下げ、停止線で停止した後に徐行しながら左右確認の指示があるために、頻繁な教示によって左右確認の時間が長くなったと仮定すると、指導員の運転教示頻度が多いドライバにその傾向が強く働いたための、運転教示の効果と考えられる。また、教示頻度が多いと制動距離(Db)と、制動余裕時間(Tbm)が短くなり制動タイミングが遅れる傾向がある。図6-10に教示頻度と平均加速度(Gave)と最大加速度(Gmax)の比率(Rg)の散布図を示す。教示頻度が多いと加速度の平均と最大の比率(Rg)が大きくスムーズな制動が行われない傾向がある。各運転行動の標準偏差(Standard deviation)も大きいドライバは指導員の教示が多い傾向があり、指導員がこのような運転行動から運転能力の低さを感じて、教示が多くなっている可能性がある。

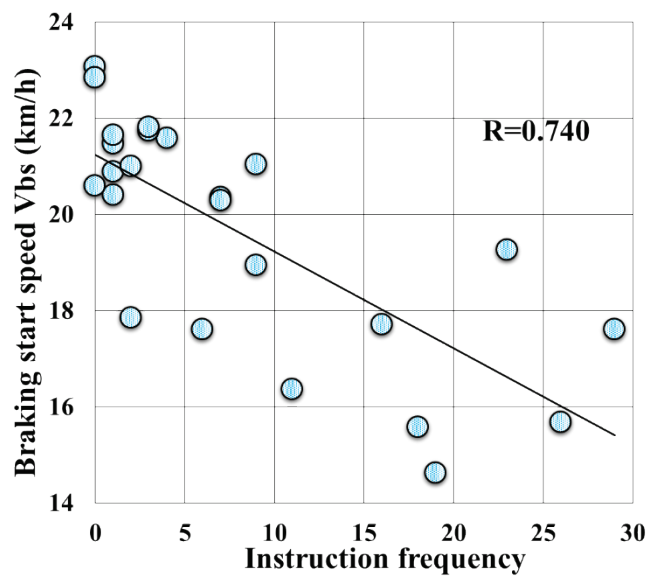
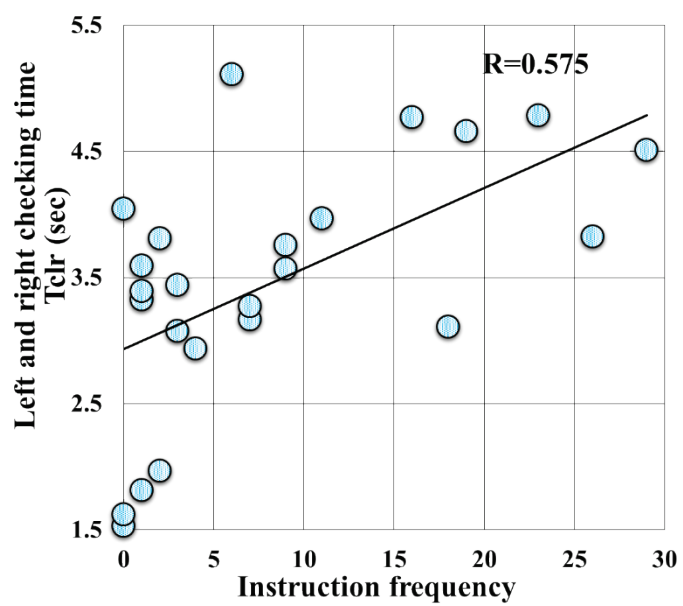


Fig.6-8 Correlation of instruction frequency and braking start speed



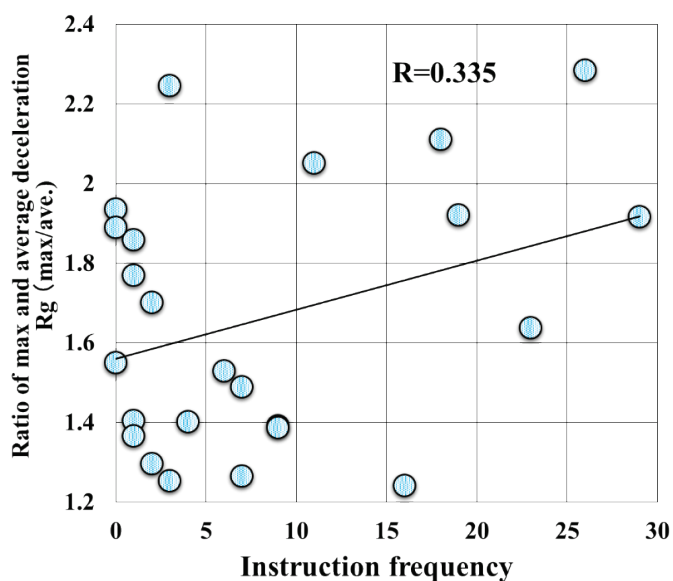


Fig.6-10 Correlation of instruction frequency and ratio of max and average deceleration

6.3.3 認知機能及び視覚能力と運転教示頻度、運転特性との相関について

表 6-6 に運転教示頻度、運転特性と認知機能検査テストと、視力との相関係数を示す。この表から有効視野 UFOV の評価が良くないドライバの教示頻度が多くなっていることが分かる。図 6-11 に教示頻度と有効視野 UFOV の散布図を示す。DHI の UFOV 課題の値の時間 (ms) は視野中心の刺激が正解した上で、周辺刺激位置の正答率が 75%以上の刺激提示時間の最小値を示す。図 6-11 の UFOV 測定値は、最小表示間隔が 100ms であったため、100ms 未満の応答の評価は出来なかった。従って 100ms のデータが重なっており、データの回帰直線を得るには無理がある。そこで、図 6-12 に 100ms のデータを除いた回帰直線を示す。データの数は一時的に減少しているが、教示頻度の多い被験者の UFOV が良くない傾向が見られる。指導員は交通環境の認識能力の低い被験者に適応して指導を与えたと考えられる。また視力についても視力の弱いドライバの教示頻度が多くなっている。これから指導員がドライバの周辺環境認識及び情報処理能力に応じて、教示を増やしている可能性が考えられる。その他の認知機能検査については、運転特性の項目と相関が見られた。図 6-13 に MMSE と左右確認時間の散布図を示す。MMSE の点数が低いと左右確認時間が少ない傾向があり、表 6-6 から MMSE の点数が低いと確認回数も少ない傾向で不安全傾向になっており、一定減速度率は大きく、運転操作が良くない傾向が見られる。また TMT-A の

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と
身体・認知機能の関係解析

認知機能が低いと制動距離や制動余裕時間が少ない傾向が見られる。つまり，認知機能の低下が運転行動として，不安全側で運転が下手な傾向になっていると考えられる。また，視力が良いと制動初速度が高く，制動距離や制動余裕時間も長くなっており，知覚能力に対応した運転になっていると思われる。

Table.6-6 Correlation coefficient of instruction frequency, driving behavior, cognition scores and eyesight scores

Driving behavior (Mean value)	MMSE	TMT- A(sec)	TMT- B(sec)	UFOV (ms)	Left eye static vision	Right eye static vision	Both eye static vision
Instruction frequency	0.132	0.239	0.175	<u>0.451</u>	-0.008	<u>-0.460</u>	<u>-0.347</u>
Braking start speed Vbs (km/h)	-0.227	-0.193	-0.051	-0.208	-0.133	<u>0.429</u>	<u>0.333</u>
Braking max deceleration Gmax (g)	<u>0.398</u>	-0.144	-0.255	-0.048	<u>0.362</u>	0.240	0.195
Braking average deceleration Gave (m/s ²)	-0.017	0.157	-0.052	-0.213	-0.145	-0.024	0.098
Ratio of max and average deceleration Rg (max/ave)	<u>-0.373</u>	0.016	0.241	0.202	-0.185	-0.259	-0.298
Braking distance :Db (m)	-0.249	<u>-0.348</u>	-0.023	-0.064	-0.032	<u>0.489</u>	0.263
Time margin of braking Tbm(sec)	-0.169	<u>-0.303</u>	0.027	0.105	0.056	<u>0.373</u>	0.127
Left and right checking time Tclr (sec)	<u>0.443</u>	0.141	-0.026	0.163	0.193	-0.142	-0.202
Number of left and right check Nclr	<u>0.375</u>	-0.051	<u>-0.384</u>	-0.082	0.147	0.123	0.021

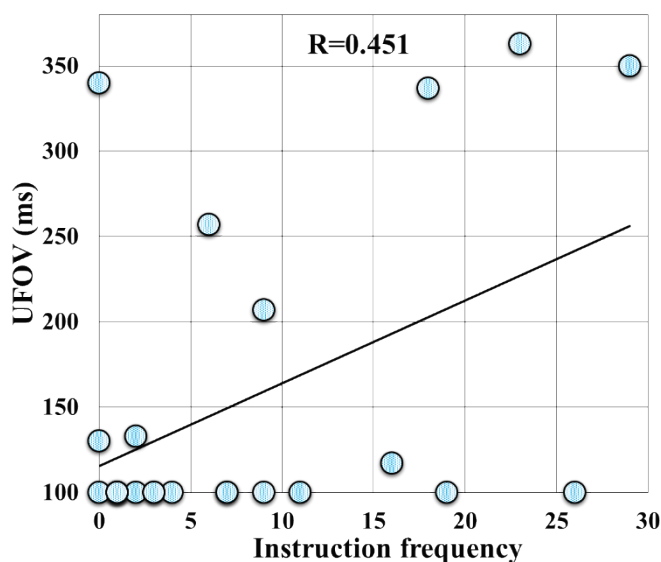


Fig.6-11 Correlation of instruction frequency and UFOV test score
UFOV: Useful Field of View

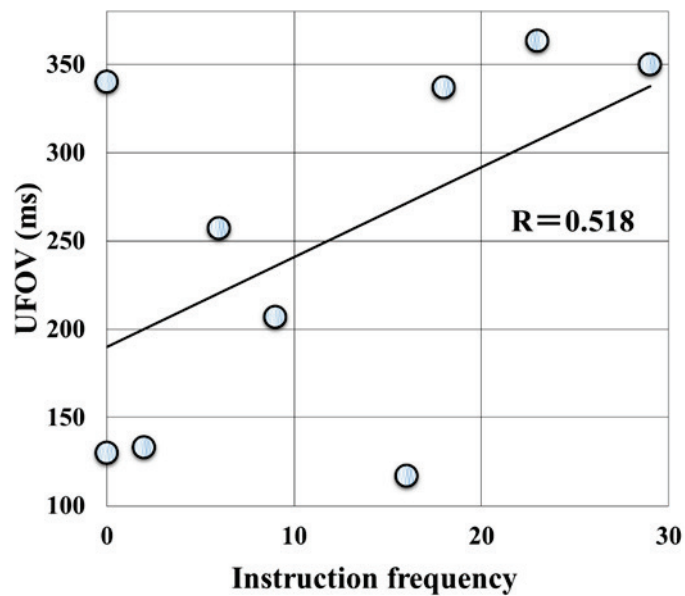


Fig.6-12 Correlation of instruction frequency and UFOV test score
(Excluding data of 100ms)

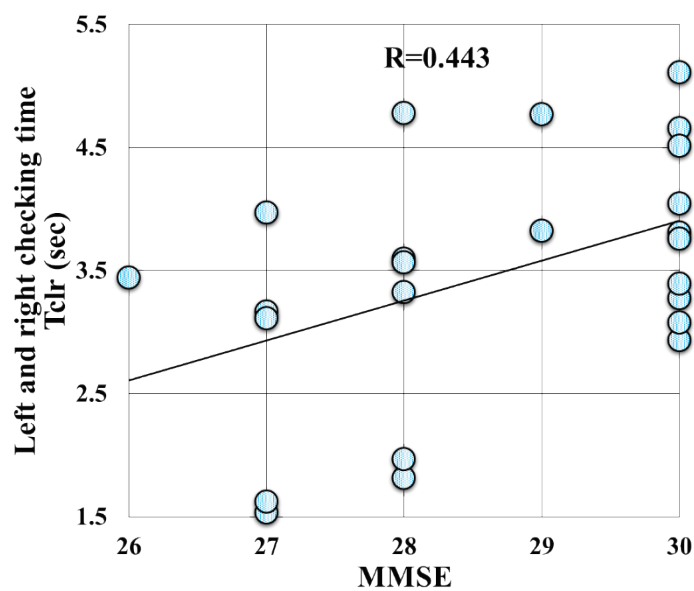


Fig.6-13 Correlation of MMSE (Mini-Mental State Examination) score and left
and right checking time

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と身体・認知機能の関係解析

6.3.4 CRT 運転適性検査結果と運転教示頻度、運転特性との相関について

表 6-7 に教示頻度、運転特性と認知機能検査テストと CRT 運転適性検査結果との相関係数を示す。CRT 運転適性検査の中から反射神経系の反応時間に注目した項目との相関を調べた。緊急時反応はディスプレイの赤丸表示出現時にペダルオフ反応、緊急時反応の反応時間のバラツキ ($100 \times \text{標準偏差} / \text{平均}$)、アクセルペダル反応はディスプレイの青丸表示時にペダルオンで赤丸表示出現時にペダルオフ反応、アクセル反応時間のバラツキ ($100 \times \text{標準偏差} / \text{平均}$)、総合評価（主な4項目の相対的評価の合計点の相対的評価で3点が平均）この5項目について、運転特性との関係を調べた。図 6-14 に指導員の教示頻度とアクセルペダル反応の散布図を示す。教示頻度が多いとアクセルペダル反応が遅い傾向があり、緊急時反応のばらつきも大きい（表 6-7）傾向が見られた。指導員がこれらの認知身体機能の衰えに対応したのかもしれない。図 6-15 に緊急時反応と左右確認回数の散布図を示す。緊急時反応が遅いドライバの左右確認回数が少ない傾向があり、左右確認時間も（表 6-7）少ない傾向がある。これは、運転動作の遅さが一時停止交差点での左右確認動作の不足に関係している可能性が考えられる。図 6-16 に総合評価の点数と減速度の最大と平均の比率の散布図を示す。総合評価の点数が良いドライバは減速度の最大と平均の比率が小さく、スムーズな制動を行っている傾向があり、表 6-7 から制動初速度も高く、平均減速度が大きい傾向が見られる。運転が上手く運転適性の高いドライバの運転が過信した運転になっているのかもしれない。第3章と第4章で述べた高齢ドライバの認知身体特性の衰えと思われる事故直前の衝突回避の能力の低下と運転適性検査の中の反射神経系の反応時間に対応すると考えられ、認知身体特性の衰えを安全運転行動がどう補うことが出来るかどうかが重要になると思われる。

第6章 運転指導員の路上教習における高齢ドライバの市街地運転行動と
身体・認知機能の関係解析

Table.6-7 Correlation coefficient of instruction frequency, driving behavior and CRT
driving aptitude test scores

	CRT Emergency response time (ms)	CRT Emergency response variation coefficient (100*SD/M)	CRT Accel. pedal response time (ms)	CRT Accel. pedal response variation coefficient (100*SD/M)	CRT overall evaluation point
Frequency of instruction	0.003	<u>0.392</u>	<u>0.467</u>	0.287	-0.255
Braking start speed Vbs (km/h)	0.202	-0.204	<u>-0.306</u>	0.024	<u>0.385</u>
Braking max deceleration Gmax (g)	-0.288	-0.046	-0.251	-0.173	0.070
Braking average deceleration Gave (m/s ²)	0.138	-0.068	-0.119	0.062	<u>0.317</u>
Ratio of max and average deceleration Rg (max/ave)	0.165	0.104	<u>0.369</u>	0.132	<u>-0.339</u>
Braking distance Db (m)	0.143	-0.164	-0.259	0.032	0.199
Time margin of braking Tbm(sec)	0.052	-0.072	-0.089	-0.014	-0.025
Left and right checking time Tclr (sec)	<u>-0.389</u>	0.197	0.147	0.193	-0.146
Number of left and right check Nclr	<u>-0.519</u>	-0.143	-0.104	0.035	0.108

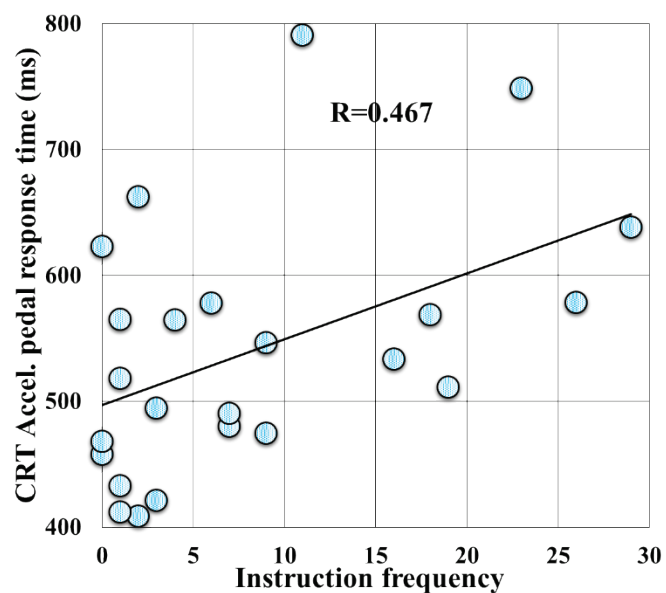


Fig.6-14 Correlation of instruction frequency and accelerator pedal response
time in CRT driving aptitude tests

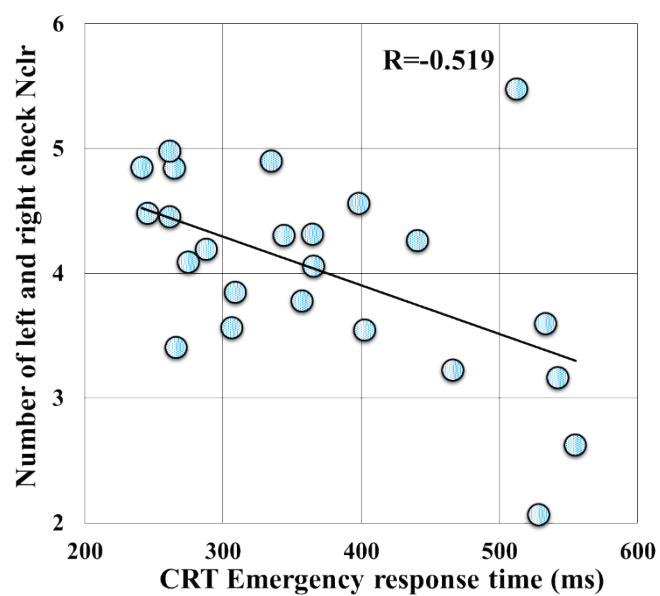


Fig.6-15 Correlation of CRT emergency response time and number of left and right checks

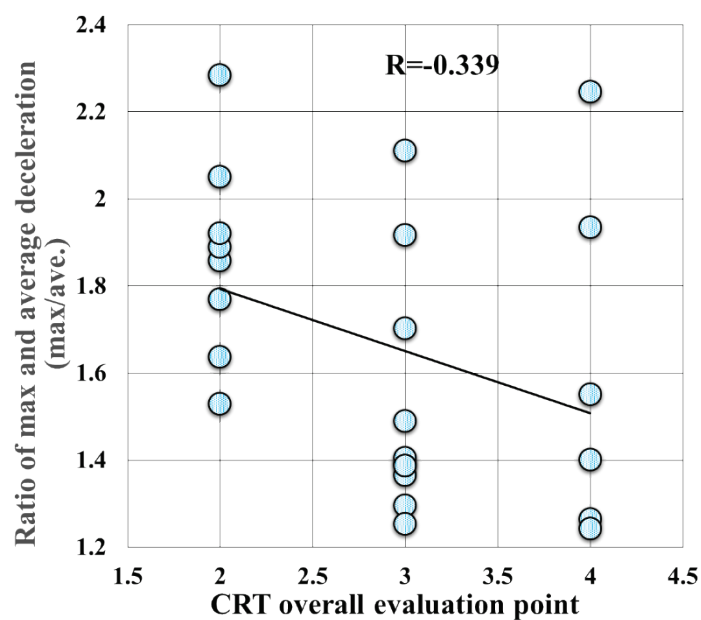


Fig.6-16 Correlation of CRT overall evaluation score and ratio of max and average deceleration

6.4 まとめ

第5章のDSによる一時停止交差点での高齢ドライバの左右確認行動に問題があることが分かったので、実走行における一時停止交差点における行動を確認するために、自動車教習所の運転指導員が助手席に同乗して、高齢ドライバに運転教示を行い、一時停止交差点での教示頻度と一時停止時の運転行動を用いて、認知・身体特性との関係を分析した。

その結果次のことが分かった。

指導員の一時停止交差点での教示は停止線手前での確実な停止からの最徐行による左右確認の指示が多く、運転教示を多く受けたドライバは、走行速度が低く、左右確認のための交差点進入時間が長くなり、左右確認回数も多くなり、教示の効果があったと考えられる。

高齢ドライバの認知、身体特性と運転教示頻度及び運転行動との相関について、運転教示を多く受けたドライバは、有効視野(UFOV)課題成績から周辺刺激への反応が低い傾向、認知機能の低下が見られるドライバ(MMSE 点数低、TMT-A 大、TMT-B 大)は左右確認の回数や確認時間が少なく、ブレーキの開始が遅く、一定減速度のスムーズな制動が出来ずに、運転行動のばらつきが大きい傾向がある。

認知身体特性の衰えが見えるドライバの安全運転行動が不足する傾向があり、認知身体特性と安全運転行動が関係している可能性があるかもしれない。

以上の結果から、教習所指導員は、被教習者の能力を判断し、それに応じた、運転教示を行っており、教示により一時停止の確実性と左右確認行動の改善があったと考えられる。

ドライブレコーダによる高齢ドライバの運転行動と指導員の教示頻度の関係から、一時停止交差点での左右確認時間と左右確認回数の教示システムが高齢ドライバへ有効であり、安全運転行動の評価指標の一つと考えられる。また、一回の制動の平均減速度と最大減速度の比の一定減速度率と制動距離及び制動余裕時間が運転の巧さの評価指標になると考えられる。

第7章 ドライブレコーダによる高齢ドライバの運転行動評価の検討

7.1 目的

第6章で一時停止交差点での運転行動と認知身体特性との関係を調べ⁽⁷⁾，加齢による認知身体特性の衰えが安全運転行動に影響している可能性が出て来たので，第6章で検討した市販のドライブレコーダで計測された一時停止交差点での減速停止と左右確認行動から，運転指導員の運転を模範として，高齢ドライバを含む運転者の安全運転行動を評価する方法と評価基準を提案する．そしてその評価法を用いて，個々の高齢ドライバが認知身体能力の衰えを認識し，事故を防ぐための安全運転を行っているかに注目して，運転行動と認知身体能力の低下との関係を考察する．

7.2 実験方法

7.2.1 被験者

表 7-1 に被験者と走行の概要を示す．第6章の被験者 70 歳代 11 名（男 6，女 5），60 歳代 6 名（男 2，女 4），50 歳代 8 名（男 5，女 3），と新たに若者の代表としてこのプロジェクトの関係者 28～37 歳 6 名（男 4，女 2）と，模範運転として 44～50 歳の自動車教習所の運転指導員 4 名（男 4）を加えた，計 35 名の運転を調べた．試験コースは第6章と同じ市街地周回コースを 17 分～57 分で 5～18 回を周回（表 7-1）した．第6章で使った同じドライブレコーダのデータを用いて，その中の一時停止交差点の減速停止と安全確認の行動のみを抽出した．さらに一時停止交差点で交差車両や歩行者への譲り合いなどの運転行動への干渉が有った場合を除いた．表 7-1 に示すように，一人当たり 18～80 回のお車両の干渉のない一時停止交差点における減速停止と左右確認行動のデータを用いて解析を行った．

Table.9-1 Details of driving instructors and subjects.

No	Age	Gender or instructor	Driving duration	Driving laps	Analyzed stopping data
1	79	Female	0:20:05	5	18
2	77	Male	0:29:52	10	43
3	77	Male	0:20:49	10	52
4	76	Female	0:19:51	7	31
5	75	Female	0:17:36	4	23
6	75	Male	0:22:48	6	33
7	74	Female	0:24:54	7	41
8	73	Female	0:27:31	7	33
9	70	Male	0:32:47	11	64
10	70	Male	0:23:08	6	36
11	70	Male	0:24:32	8	39
12	68	Female	0:31:54	9	42
13	68	Male	0:22:50	11	46
14	67	Female	0:17:08	6	27
15	66	Male	0:23:18	11	52
16	65	Female	0:26:34	11	53
17	64	Female	0:24:49	11	51
18	59	Male	0:21:58	12	54
19	58	Male	0:18:54	7	37
20	57	Female	0:22:49	7	34
21	55	Male	0:27:27	12	62
22	54	Female	0:28:09	9	44
23	54	Female	0:24:01	7	35
24	52	Male	0:30:01	10	40
25	50	Male	0:32:51	15	79
26	50	Instructor	0:57:34	18	80
27	48	Instructor	0:42:31	14	58
28	46	Instructor	0:40:58	12	57
29	44	Instructor	0:33:46	12	55
30	37	Female	0:17:42	7	27
31	33	Female	0:24:18	7	27
32	32	Male	0:22:06	6	26
33	30	Male	0:24:19	7	32
34	29	Male	0:20:10	6	29
35	28	Male	0:24:39	8	41

7.2.2 測定方法

走行ルートは、第6章と同じ名古屋大学周辺の住宅街路の周回コースを17～57分間、周回した時のデータを比較した。被験者は運転指導員が助手席に同乗して、運転練習を行い車両に習熟したのち、運転指導員がナビゲーション、補助ブレーキ操作介入を含む運転指導を行いながら、公道での実験走行を行った。⁽⁴¹⁾ 高齢ドライバの認知身体能力の衰えと安全運転行動の関係から、個々の高齢ドライバの事故リスクの評価の可能性を調べるために認知身体特性として、被験者番号1～25番(19は除く)のドライバに対しては、MMSE(Mini-Mental State Examination)とTrail-Making Test (TMT) Part A & B、有効視野 UFOV(Driving Health Inventory (DHI)中の“Visual information processing speed”課題)等の認知機能検査、さらに警察庁方式 CRT 運転適性検査器(竹井機器工業(株))を使用した運転適性検査を行い、アンケートとして運転スタイルチェックシート(DSQ)⁽⁴³⁾などの5種を実施して、この認知身体特性の加齢による低下を認知身体能力の衰えとして運転行動との関係を調べた。⁽⁴²⁾ 走行データの測定は、GPSおよび加速度センサが内蔵されたYupiteru社製の市販ドライブレコーダBU-DRHD421を使用した。車両前方と車内ドライバを撮影するカメラの映像を含めて常時記録した。

被験者ドライバ・運転指導員に対しては、実験内容について事前に説明を行い、インフォームド・コンセントを得た。本実験は名古屋大学未来社会創造機構の倫理審査によって承認を得て実験を行った。

7.2.3 解析方法

第6章の解析方法と運転行動特性指標を用いて、前述の表7-1の一人当たり18～80回のお他車両などの干渉のない一時停止交差点における減速停止と左右確認行動データの平均値を各ドライバの評価指標として、40～50歳の指導員の模範運転と30歳前後のプロジェクスタッフと50～79歳の被験者の一時停止交差点の運転行動として、制動開始タイミングの指標と制動のスムーズさを示す一定の減速度比率と安全な左右確認行動の指標の3指標を比較し、個々の高齢ドライバの認知身体能力の衰えと安全運転行動の関係から、事故リスクを考察した。

7.3 実験結果

7.3.1 一時停止前の制動開始タイミングについて

図 7-1 に制動開始タイミングを表す，制動距離（一時停止位置前の制動開始距離）と制動開始時の速度との関係を，各ドライバ（図中の番号は表 7-1 の被験者番号を示す）の制動開始距離と制動開始速度の平均値をプロットした図で示す．図 7-1 から一時停止における減速行動は平均減速度（Gave） 1.0m/s^2 前後での減速に合わせた制動開始タイミングで減速していると考えられ，車両速度 6m/s （ 21.6km/h ）程度で制動停止余裕時間（Tbm） 2.5sec ，制動終了地点への到達 2.5 秒前に制動を開始している．指導員はやや高めの平均減速度（被験者番号 26, 28, 29）と低めの減速度（被験者番号 27）の指導員がいる．

図 7-2 は，一時停止標識のある交差点で一時停止する為に，どの程度余裕を持って制動

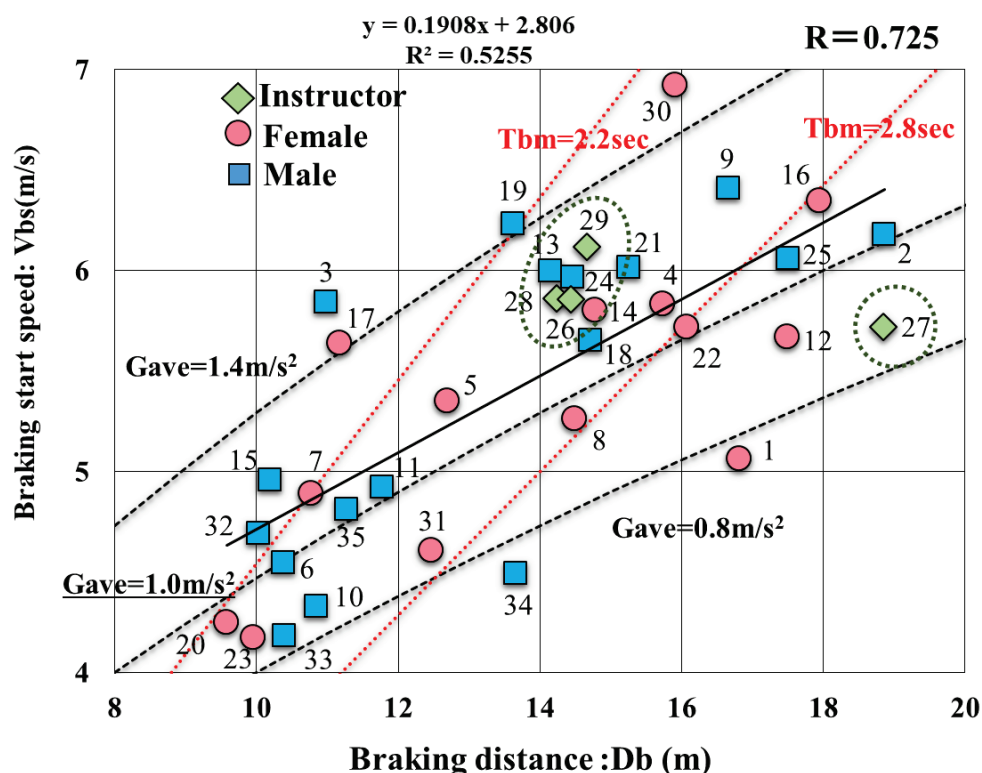


Fig.7-1 Relationship of braking distance and braking start speed

を開始したかを示す制動停止余裕時間（Tbm）と年齢の関係を示す．指導員は， 2.2sec 以上の制動余裕時間で制動を開始しており，高齢ドライバは余裕時間が短いドライバと長いドライバにばらついており，特に最高齢の 79 歳の女性ドライバ（被験者番号 1）の時間余裕は長い．被験者番号 3, 7, 15, 17, 19, 32 は余裕時間が短い．

図 7-3 は平均減速度（Gave）を年齢との関係で示す．特に年齢による傾向は見られず，指導員は平均減速度が 1.4m/s^2 以下の減速度で制動しており，被験者番号 3, 17, 19, 30 の制動減速度は他の被験者に比べ高い．被験者番号 1 の最高齢 79 歳のドライバは余裕を持って小さい減速度で早めに制動を開始している．

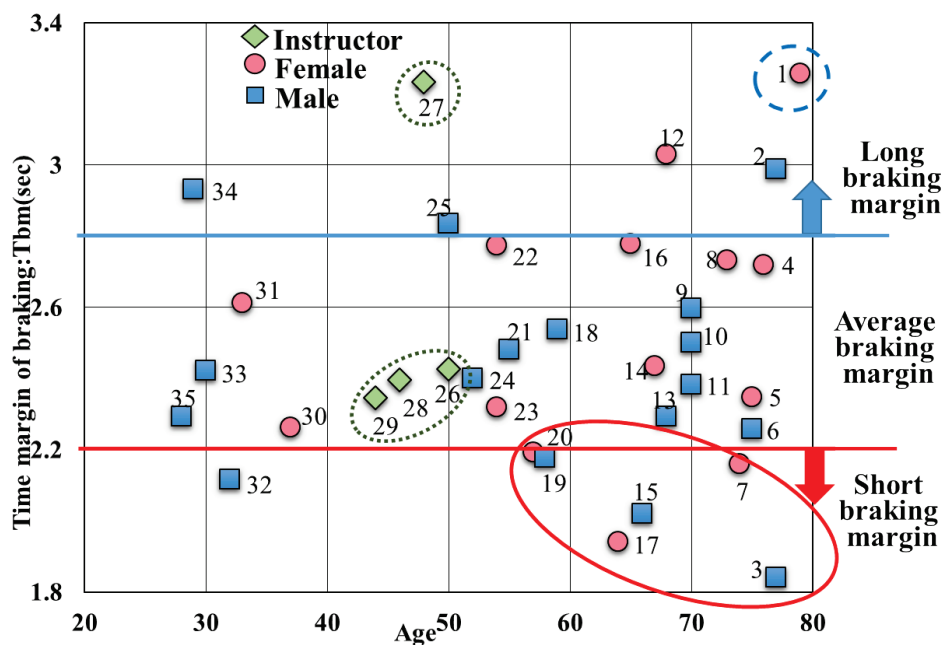


Fig.7-2 Relationship of age and time margin of braking

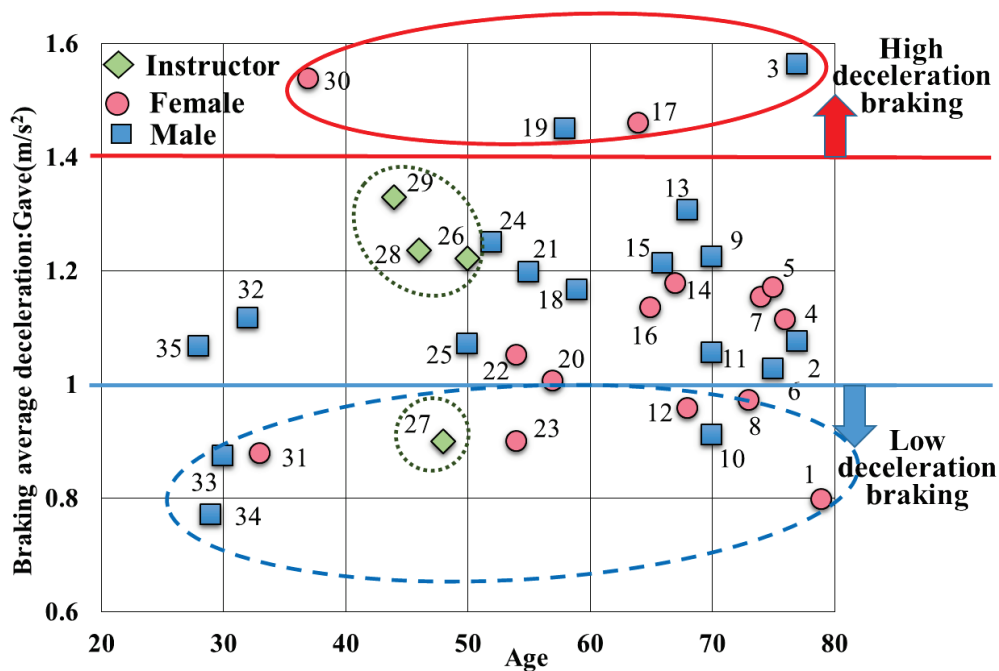


Fig.7-3 Relationship of age and braking average deceleration

7.3.2 一定の減速度を維持した制動について

上手な安全運転として急なブレーキ操作を行わず，一定の減速度で意図した位置に停止することが，追従車両を含む周辺車両への安全配慮となると考えられる．そこで図 7-4 に平均減速度（Gave）と最大減速度（Gmax）の関係を示す．平均減速度（Gave）に対する最大減速度（Gmax）の一定減速度比率（ $R_g = G_{max} / G_{ave}$ ）が 1.5 倍前後に分布している．特に指導員は 1.5 倍以下でブレーキを制御している．

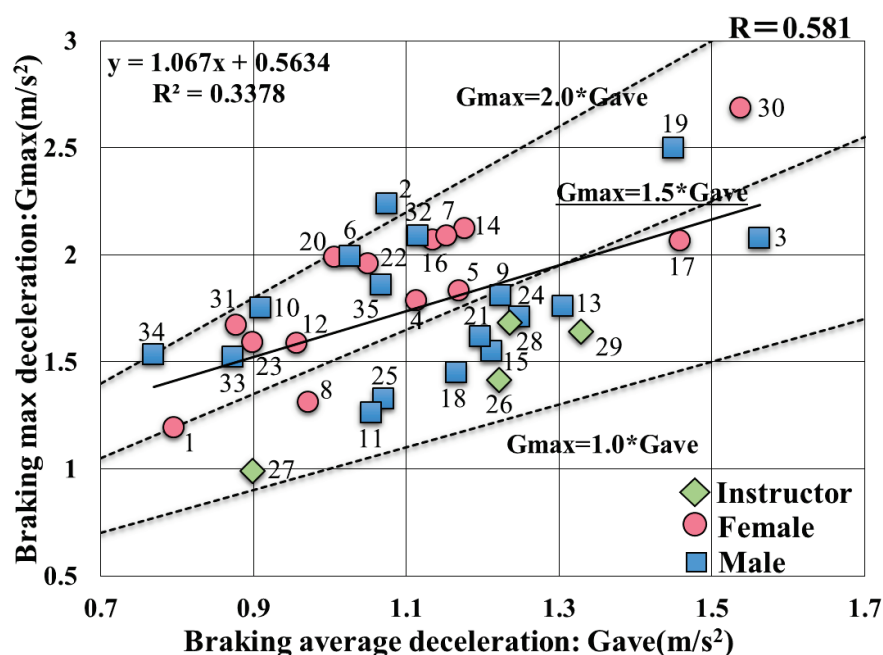


Fig.7-4 Relationship of braking average deceleration and braking max deceleration

図 7-5 に平均減速度（Gave）に対する最大減速度（Gmax）の一定減速度比率（ $R_g = G_{max} / G_{ave}$ ）を年齢との関係で示す．特に年齢による傾向は見られないが，指導員が一定減速度比率（ $R_g = G_{max} / G_{ave}$ ）1.5 以下のスムーズな減速を行っていることが分かる．また全体的に女性ドライバと若いドライバにスムーズなブレーキ制御が出来ていないことが分かる．特に被験者番号 2, 6, 10, 20, 31, 34 のドライバは，ぎくしゃくした荒いブレーキ操作である．

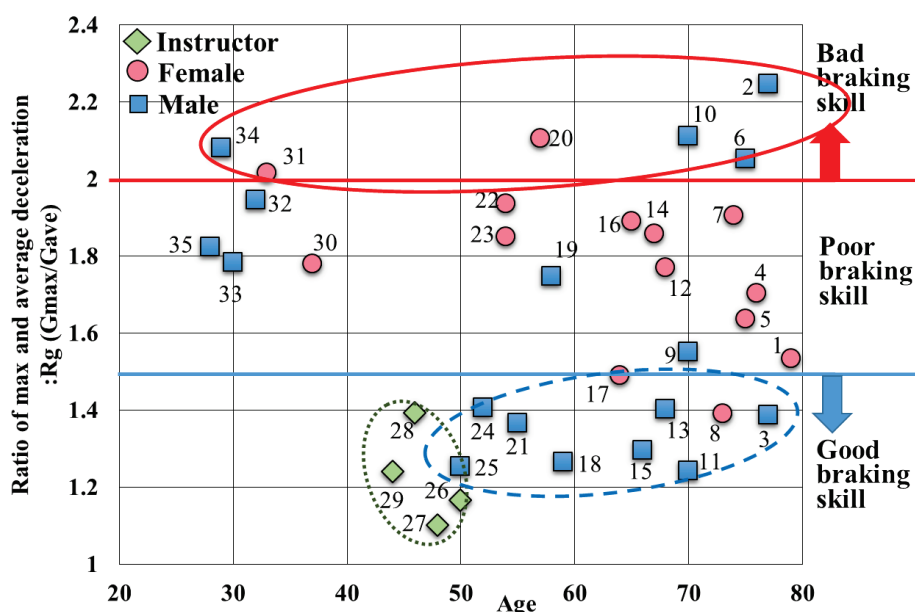


Fig.7-5 Relationship of age and ratio of max and average deceleration

7.3.3 一時停止交差点における左右確認行動について

高齢ドライバにとって、事故リスクの高い一時停止交差点における出会い頭事故を防ぐ重要な左右確認行動の左右確認回数と確認時間の関係を図7-6に示す。図7-6から、左右確認回数が増えると必然的に確認時間も多くなるが、個々のドライバによって大きな差があることが分かる。また指導員は多くの確認回数を一回当たりの確認時間を短くして、左右を出来るだけ同時に確認しようとしていると考えられる。

図7-7に左右確認回数(Nclr)と年齢の関係を示す。図7-7ではプロジェクトスタッフ

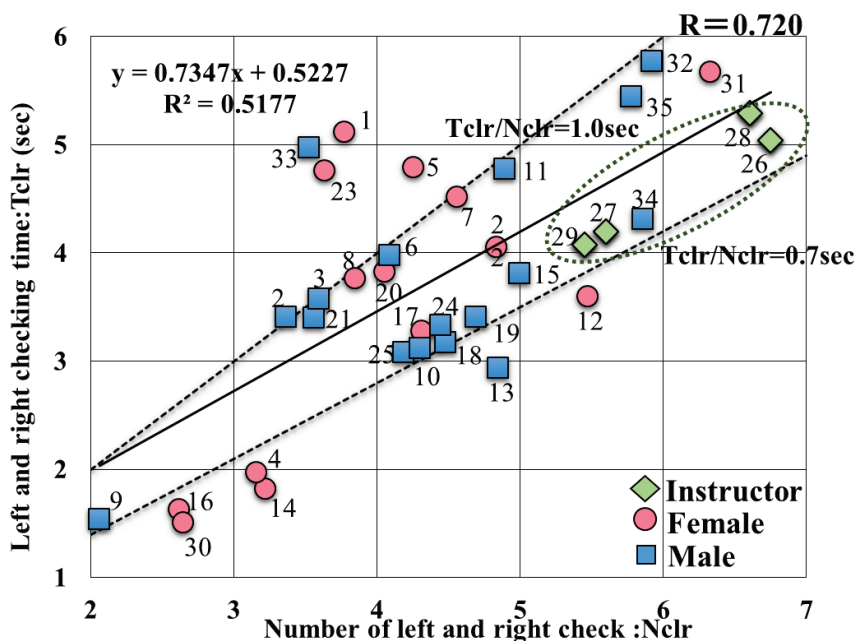


Fig.7-6 Relationship of checking number and checking time

の4名の若いドライバと指導員の左右確認回数が5~6回と多いため、年齢が高くなると確認回数が少なくなるように見えるが、被験者番号33と30の30歳代にも左右確認回数の少ないドライバがいるため、年齢の影響だけではないと思われる。

一時停止交差点での安全確認行動の安全性を定量的に評価するには、第5章に示した、交差点形状に合わせて左右確認タイミングでの見通し距離を評価する必要があるが、そのためには詳細な交差点の地図データと車両の進入に合わせた左右確認タイミングのデータが必要になり、市販のドライブレコーダの計測では困難と考えられる。また認知身体能力の衰えた高齢ドライバにとって、交差点の見通しに臨機応変に対応して安全確認を省略するのは、事故リスクが高いと考えられる。そこで、見通し環境に影響されずに見通しの悪い場面における指導員の左右確認行動を単純なワンパターンの行動基準とすれば、高齢ドライバに分かりやすい基準になるとと思われる。そこで指導員の回数から、最低でも左右4回（2往復）、安全確認としては左右6回（3往復）が見通しの悪い交差点の左右確認として望ましいと考えられる。被験者番号1, 2, 3, 4, 8, 9, 14, 16, 21, 23, 30, 33のドライバは左右確認の回数が不十分であり、人数的には比較的多く、特に70歳代の高齢ドライバが多くなっている。

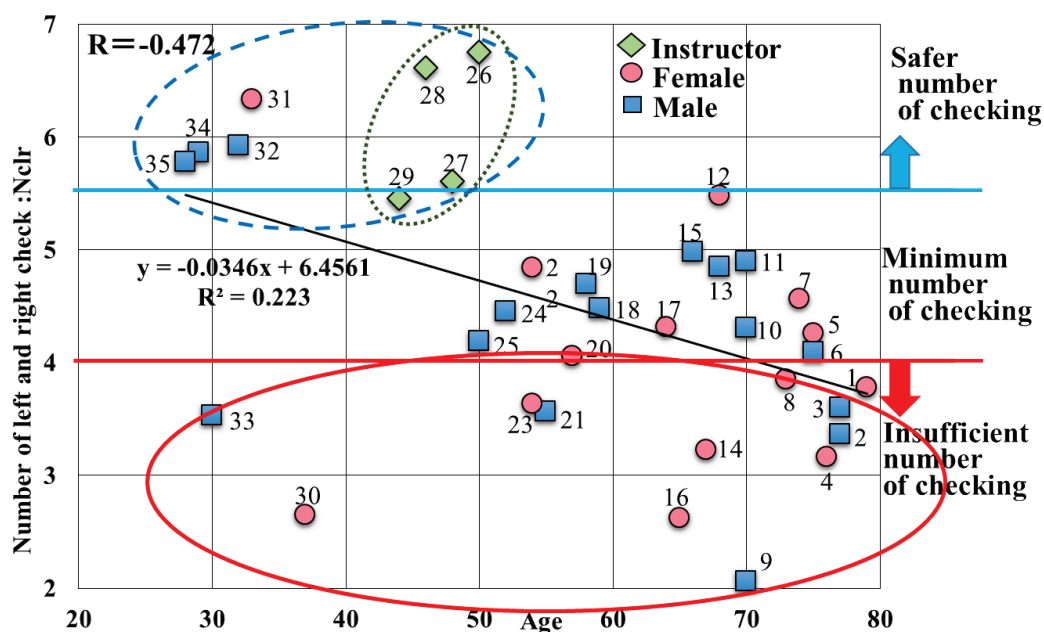


Fig.7-7 Relationship of age and number of left and right check

図 7-8 に一時停止後、交差点進入までの左右確認時間 (Tclr) を年齢別に示す。指導員の左右確認時間から、4 秒以上が望ましく、3 秒以下は確認時間が不十分と考えられる。特に被験者番号 4, 9, 14, 16, 30, 確認時間 2 秒以下のドライバは確実な一時停止を行っていない場合があった。また 70 歳代のドライバに左右確認時間の長いドライバが比較的多い。

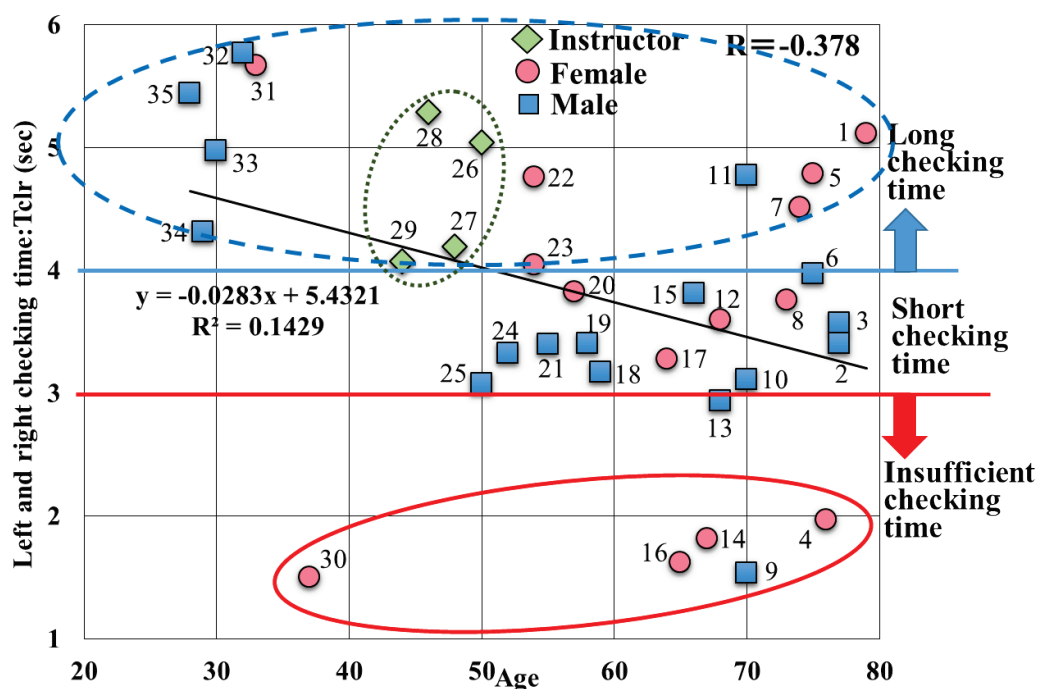


Fig.7-8 Relationship of age and left and right checking time

図 7-9 に左右確認の一回当たりの確認時間 (Tmlrco=Tclr/Nclr) と年齢の関係を示す。図 7-9 から指導員が一回の確認当たり 0.8 秒で 5~6 回の確認を行っており、短時間に左右を確認しないと、片側を注視している間に反対側からの交差車両が来る可能性があり、出会い頭の衝突のリスクを低減していることが分かる。これに対して、70 歳代のドライバの一回当たりの確認時間が長く認知時間の衰えの可能性もある。しかし、ドライバ映像で左右確認の様子を観察すると指導員や若いドライバの首振りの速度が 70 歳代のドライバに比べて速いため、認知機能だけでなく首振りの運動能力の低下の可能性が考えられる。最高齢の 79 歳の女性ドライバは左右確認時間の長さからしっかりと確認しようと

いう意識は感じられるので、何らかの左右の首振りと認知機能の訓練による支援で改善できるのではなかと思われる。一時停止時の左右確認行動として、被験者番号 30 の若い 37 歳の女性ドライバと被験者番号 4, 14, 16 の 76 歳, 67 歳と 65 歳の女性ドライバと被験者番号 13 の 68 歳男性ドライバは一時停止交差点における出会い頭事故リスクが高い可能性がある。

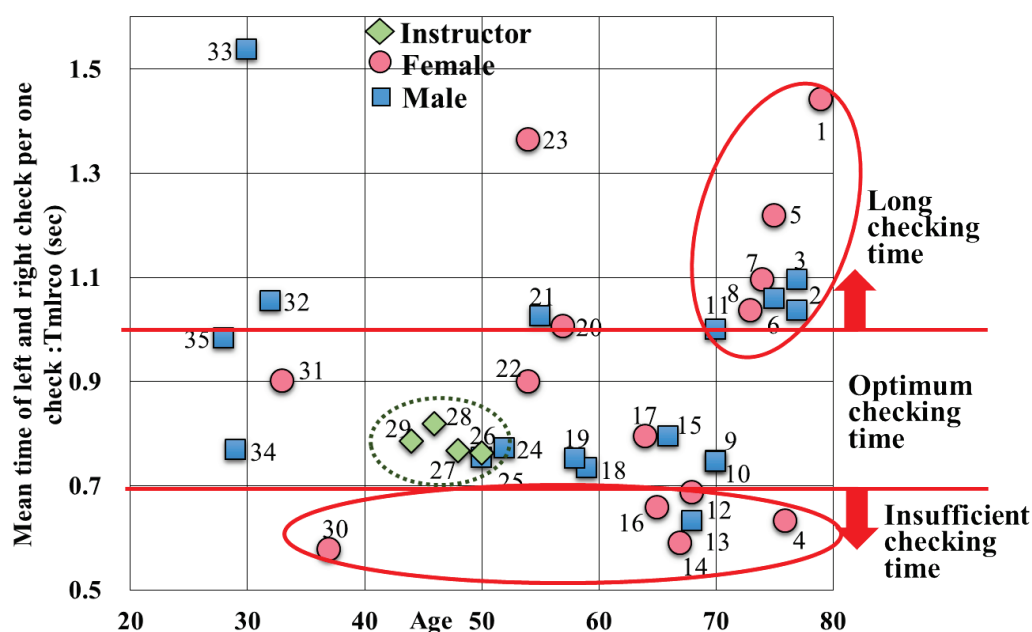


Fig.7-9 Relationship of age and checking mean time per one check

7.4 考察

7.4.1 一時停止時の運転行動評価と認知機能や緊急時反応及び運転への自信との関係

身体認知機能と運転適性及びアンケートの調査を行った被験者番号1～25番(19は除く)の50～79歳のドライバについて、運転行動との関係を調べた。図7-10に、認知機能の特性として、比較的年齢との相関がみられた Trail-Making Test Part B (TMT-B の時間が長いと認知機能が低下と推定)と左右確認時間 (Tclr) の関係を示す。TMT-B の値については、機能障害として色々な評価基準があるが、55-64歳の健常者平均が 83.3sec とい

う例^(4 4)を参考にすると認知機能の衰えが見える被験者番号 1, 5 の 79 歳と 75 歳の女性ドライバは、認知能力の衰えが見えるが、左右確認時間が長いため運転行動で事故リスクを補う可能性がある。逆に被験者番号 4, 14, 16 の 76 歳, 67 歳と 65 歳の女性ドライバと被験者番号 9 の 70 歳の男性ドライバは、若干の認知機能の衰えがあるにも関わらず左右確認時間が非常に少なく、出会い頭事故のリスクが大きい可能性がある。高齢ドライバに認知機能の衰えを自覚させて、安全運転行動の改善に導く支援が役に立つと思われる。

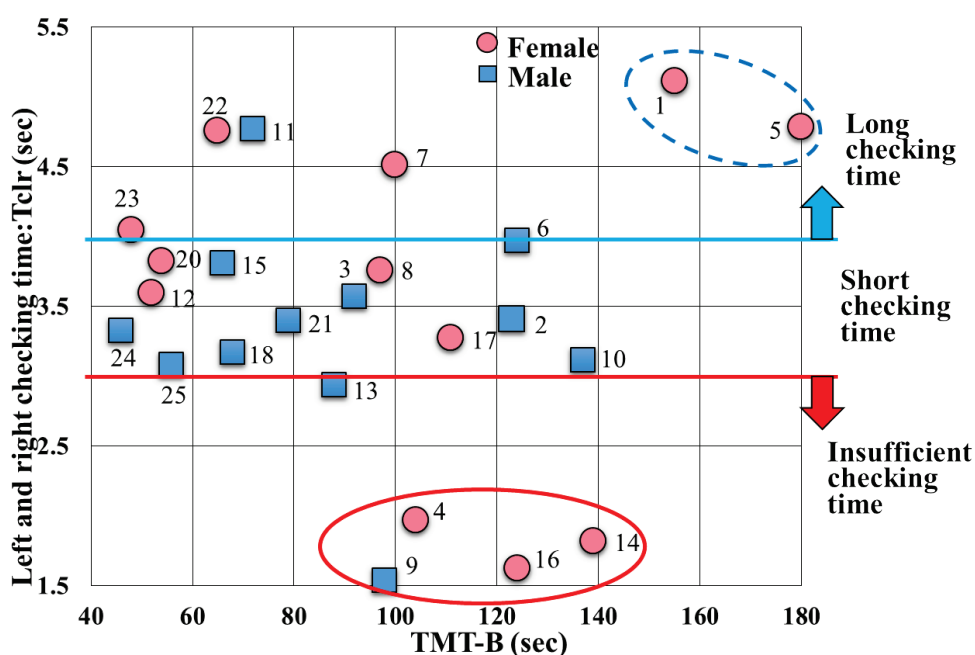


Fig.7-10 Relationship of Trail-Making Test Part B (TMT-B) and checking time

CRT 運転適性検査器で得られた運転適性検査の中で、比較的年齢との相関がみられた緊急時の反応時間と左右確認回数との関係を図 7-11 に示す。60-69 歳の平均反応時間が 339ms^(4 5)という評価基準から女性ドライバに緊急反応が遅れる傾向が見られる。被験者番号 12 の 68 歳の女性ドライバは、緊急反応が遅れているが、左右確認回数が多いため交差車両の発見が早くなり緊急反応の遅れを補い、事故リスクを低減する可能性がある。逆に被験者番号 4, 14, 16 の 76 歳, 67 歳と 65 歳の女性ドライバと被験者番号 3, 9 の 77 歳と 70 歳の男性ドライバは緊急反応が遅いにも関わらず、左右確認回数が少なく、出会い頭事故リスクが高い可能性がある。

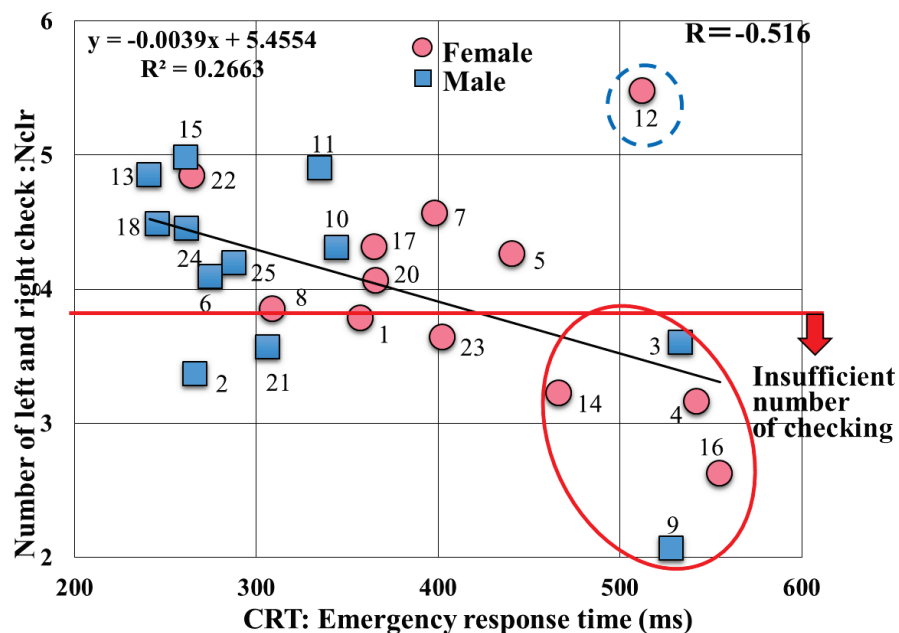


Fig.7-11 Relationship of emergency response time and number of left and right check

運転に関するアンケートの中から、運転スキルへの自信と左右確認回数の関係を図 7-12 に示す。運転スキルへの自信のあるドライバーは男性の方が多い。左右確認回数の少ない被験者番号 9, 21 の 70 歳と 55 歳男性ドライバーは運転に自信があり、被験者番号 14, 16 の 67 歳と 65 歳女性ドライバーは運転に自信がない。運転に自信のないドライバーは、素直に一時停止支援などに従う可能性があり、自信のあるドライバーは支援に対する受容性が低くなる可能性があると思われる。

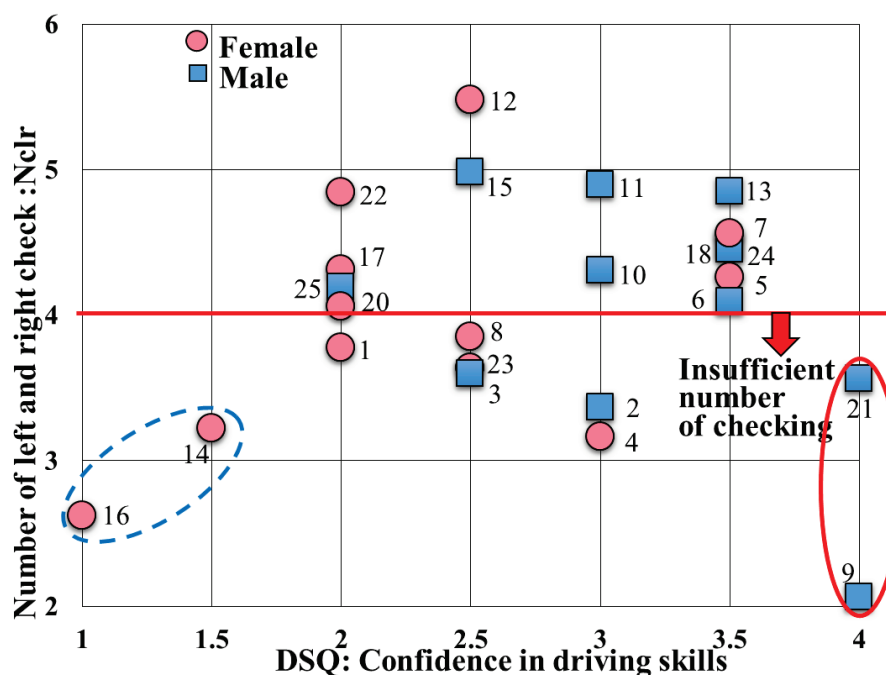


Fig.7-12 Relationship of confidence in driving skills and number of left and right check

7.5 まとめ

高齢ドライバに認知身体能力の衰えを自覚させて、安全運転行動を改善させることにより、事故リスクを低減することを目標にして、高齢ドライバの一時停止交差点での安全運転行動を市販のドライブレコーダで計測し、評価する指標と基準を検討した。模範運転として自動車教習所の運転指導員4名を含む、28歳から79歳の計35名のドライバに一時停止交差点が多い市街地を運転してもらい、市販のドライブレコーダを用いて運転行動を計測した。その結果から安全運転行動の評価指標として一時停止交差点での減速開始タイミングを表す平均減速度とスムーズな減速を表す一定減速度比率、そして安全確認を表す左右確認時間と左右確認回数、の評価基準を指導員の模範運転を基に提案した。ドライブレコーダの記録をフィードバックして高齢ドライバを安全運転に誘導する安全運転行動目標として、

一時停止交差点での減速開始タイミングは、停止までの平均減速度（ G_{ave} ）が $1.4m/s^2$ 以下になるタイミングで、車両速度 $6m/s$ （ $21.6km/h$ ）程度の時、制動停止余裕時間（ T_{bm} ） $2.2sec$ 以上で、制動を開始するが良い。

急な制動を避けてスムーズな減速をするには、最大と平均減速度の比率の一定減速度比率（ $R_g = G_{max}/G_{ave}$ ）は 1.5 以下が良い。

安全確認を表す左右確認回数（ N_{clr} ）は $5\sim 6$ 回以上、一時停止から交差点進入までの左右確認時間（ T_{clr} ）は 4 秒以上が良い。

この運転行動と高齢ドライバの認知身体能力の関係から、認知身体能力の衰えに対して、安全運転行動を行っているドライバと安全運転行動を行っていないドライバがおり、年齢による認知身体能力や運転適性能力の衰えに対して、安全運転行動で事故リスクを補うために、ドライブレコーダによる運転行動評価を行い、安全運転行動の改善を支援することにより、高齢ドライバの出会い頭事故リスクを低減する可能性があると思われる。

第8章 結 論

8.1 各章の結果と結論

日本の超高齢化社会に向けた、高齢ドライバのモビリティ問題は大きな課題として、早急な対策が叫ばれている。公共機関を含めた高齢者のモビリティを活用した、健康寿命の延伸に向けた活動が必要であり、その中で高齢ドライバの運転寿命の延伸に取り組んでいる。しかし、交通事故死傷者は減少してきているが、人口の高齢化により高齢ドライバの事故割合が増加している。従って、高齢ドライバ特有の身体的衰えに対応した支援システムや運転行動改善訓練などの対策が急務となっている。そこで、高齢ドライバの身体的衰えによる運転能力の低下と安全運転行動がどのように交通事故に影響を及ぼすかを明らかにして、高齢ドライバの事故を防止する方法を開発する必要がある。

第1章では、高齢ドライバの運転の必要性や本研究の課題、目的、研究の概要について述べた。特に高齢ドライバの交通事故について交通事故統計から、高齢ドライバの事故形態は、出会い頭、追突、歩行者、右折事故の順に多く、追突以外の事故形態の割合が非高齢者より多くなっている。また事故時の法令違反は、安全不確認、脇見、動静不注視、運転操作不適、漫然運転、一時不停止の順に多く、非高齢者より安全不確認、運転操作不適、一時不停止の違反割合が多い。運転寿命延伸のためには、高齢ドライバの事故を防ぐ運転支援システム等が必要であることを述べた。

第2章で、高齢ドライバの交通事故の原因は、認知身体能力の衰えによる運転ミス、もしくは事故場面への遭遇リスクを低減する予防安全運転行動の不足と考えられるので、その事故要因を分析するためには事故場面における事故を再現する実験が可能な、ドライビングシミュレータ(DS)が必要になる。しかし、通常のDSで事故直前の臨場感や現実感を被験者に与える事は難しく、没入感のあるシミュレータでは、特に高齢者はシミュレータ酔いを起こしやすいという問題が有った。そこで、運転時の臨場感があり、シミュレータ酔いを起こにくくするために、模擬運転装置付きの実車両を搭載し、全周囲の映像と体感加速度を模擬する装置を備えた、被験者に模擬運転であることを極力感じさせない、限りなく実走

行に近い試験環境が模擬可能なDSを開発した。開発したシミュレータは、最大加速度 0.5 Gで横 20m、前後 35mの水平移動と $\pm 25^\circ$ の傾斜角により車両の体感加速度を模擬して、通常走行の加速減速における臨場感を再現した。また高齢ドライバ多い出会い頭事故環境の市街地交差点走行の違和感を低減し右左折時の酔いを低減するために、映像ドーム内の回転角 $\pm 330^\circ$ ターンテーブルにより、旋回時のヨー運動を模擬した。運転時の視野模擬は 360° の全周囲に8台のプロジェクタで投影し没入感のある視界を模擬した。この開発過程で、減速停止において、加速度模擬の大きさを変えて、制動行動を実路の運転行動と比較したところ車両の加速度模擬を大きくして実加速度に近づけると実路の制動行動に近くなり、加速度模擬量が制動操作に影響していることを示した。また、制動開始判断に影響する、停止目標に対する距離感を実路と比較した結果、開発したDSでは100mの距離で20m以上近く感じるため、停止行動の開始が早くなっており、DSの画像の解像度を改善するとその違いが少なくなったので、制動開始の距離感が画像の解像度に影響されることが分かった。さらに体感模擬手法の前後加速度を前後の傾斜角で模擬する方法について、傾斜角加速度と前庭器官による動眼反射が酔いの原因と考えて、傾斜角加速度の量を変化させて、酔いを比べたところ傾斜角加速度が小さいほうが、酔いが少なくなることが分かった。ドライバの運転時の多種多様な運転感覚の複雑さの知見を織り込みながら調整を行った結果、小型のシミュレータでは再現できない制動停止行動や臨場感のある衝突回避が可能になり、シミュレータ酔いの起こりやすい市街地交差点での加速減速、右左折における酔いを市街地30分走行の完走率で50%から75%に改善し、高齢被験者の測定歩留まりを改善する事が出来た。

開発したDSを用いて、第3、4、5章で、高齢ドライバの事故は、加齢による認知身体特性の衰えによる運転能力の低下、もしくは高齢ドライバの予防安全運転行動の不足が原因と考えて、どちらが主原因かを調べるために、高齢ドライバが事故に至る経緯を調べる実験と予防安全運転行動を調べる実験を行った。高齢ドライバに多い事故形態の出会い頭事故、追突事故、歩行者事故、右折事故の中で、事故に至る経緯は事故発生場面の模擬が比較的容易な追突事故（第3章）と右折事故（第4章）を実験し、予防安全運転行動は出会い頭事故を想定した一時停止交差点での運転行動（第5章）を調べた。

第3章では、追従走行中のわき見状態で、前方車両の急減速、停止に対する追突警報時の追突回避行動及び警報の有効性の評価実験の中で、高齢ドライバを含めて全体の90%のドライバが警報の意味を理解せずにブレーキ操作により衝突回避行動を行っており、追突警報の効果を確認した。この実験において、高齢ドライバのわき見時間が優位に少ない結果になり、高齢ドライバのマルチタスク能力が低下し、わき見が出来ない事可能性を示唆した。また、警報に気付かない高齢ドライバや警報に気付いても反応が遅れて衝突前にブレーキが全く踏めない高齢ドライバや、強く踏めず高い減速度を出せない高齢ドライバがいることが分かった。従って追突事故の実験から、事故場面に遭遇する前の運転行動は非高齢ドライバに劣ることは無いが、高齢ドライバの事故直前の衝突回避能力が劣る可能性が示された。さらに、高齢ドライバは衝突直前でステアリングによる緊急回避をするドライバが多く、高齢ドライバがドアミラーやバックミラーによる周辺監視が不十分で、周辺環境によらず咄嗟にステアリングで緊急回避をしている可能性があり、大きな事故につながる可能性があることも示唆した。

第4章では、事故統計で非高齢ドライバに比べて高齢ドライバの事故が多いとされている、信号交差点の右折時の事故について、事故原因は認知身体能力の衰えか、もしくは高齢ドライバの安全運転行動の不足が原因かを確認するために、DSを用いて、信号交差点での右折時に対向車両の影からの直進二輪車が飛び出す事故場面での衝突回避行動を、高齢ドライバを含む291名のドライバで調べた。この右折行動において約半数のドライバが事故場面を予期し安全に右折を完了したが、残りの被験者は何らかの危険に遭遇した。その中で衝突に至る運転行動の要因の一つは、交差点進入タイミングを遅くして一時停止せず、対向直進車の通過タイミングに合わせて速度調整し対向車通過直後に速度を落とさず交差点を右折する行動と考えられ、交差点進入後に右折待ちで一時停止すると二輪車が停止車両の影に入る前に確認が可能になり、二輪車の通過を待つて右折が可能になり一番安全な行動になる可能性がある。停止車両の影の二輪車に気が付かなくても、右折速度が低いと二輪車を発見後に停止回避が可能になる場合があり、交差点内の右折速度と停止車両の影の自転車や二輪車の予測が重要であることが分かった。

シミュレータでの衝突直前の緊急ブレーキ反応が、米国の実際の事故のEDRのデータと

対応したため、実際の事故を再現している可能性があり、衝突1～2秒前の急制動が事故回避に結び付いている事が示された。この場面での高齢ドライバの運転行動の違いは、高齢ドライバは他の年齢層に比べて、二輪車に気が付いてブレーキを踏むが回避出来ずに衝突する割合が多い。つまり交差点右折速度もそれほど高く無く、注意深く右折して二輪車を発見するが、反応時間が遅く、ブレーキも強く踏めてないために、衝突すると考えられる。従って高齢ドライバの予防安全運転行動は非高齢ドライバと差は無く、高齢ドライバの身体的衰えによる衝突直前の反応遅れが衝突に結びついている可能性を示した。

第5章では、事故直前の衝突回避能力ではない予防安全運転行動について、高齢ドライバの事故が多い交差点の出会い頭事故を分析する為に、一時停止交差点の通過行動をDSで調べ通過行動による事故の可能性を調べた。一時停止交差点の停止行動については、高齢ドライバの一部に一時停止標識の見逃しによる急制動や一時停止無視が見られたが、停止位置については約0.1G程度の減速度で停止線を目標に停止線手前で停止している。この停止位置はDS特有の現象で実走行路と異なるため、停止後の左右確認行動に注目して左右確認位置と顔向きから交差自転車や交差自動車の確認を行った時の見通し距離を算出し、詳細な左右確認における交差車両との衝突回避の可能性を自転車は交差速度20 km/h、自動車は交差速度60 km/hとした時の衝突前の余裕時間として求めて、交差車両との衝突の可能性を高齢ドライバとその他の年齢層と比較した。その結果、高齢ドライバは左右確認回数や確認時間も少なく、左右確認の偏りや不確認もあり、衝突の可能性を定量的に評価する左右確認時の衝突余裕時間を算出したところ、その時間も約1秒短い事が分かり、一時停止交差点における高齢ドライバの左右確認行動不足による出会い頭事故の可能性の高さが示唆された。

第6章では、第5章のDS実験により高齢ドライバの出会い頭事故に至る要因が左右確認行動の不足である可能性が示されたので、実走行の一時停止交差点において高齢ドライバがどのような運転行動をしているかを調べた。その方法として自動車教習所の指導員による市街地路での高齢ドライバへの運転指導を行い、それをドライブレコーダの記録から分析し、高齢ドライバの運転行動の問題点を調査した。ドライブレコーダに記録された指導員の運転教示、指導の頻度を高齢ドライバの運転能力と考えて、高齢ドライバへの教示頻度と対応する運転行動指標を探した。その結果、高齢ドライバの運転行動評価として、

第8章 結 論

一時停止交差点での左右確認時間と左右確認回数，減速のスムーズさを示す減速度比率と制動距離及び制動余裕時間が使える可能性を見出した．また運転教示を多く受けたドライバは，走行速度が低く，左右確認のための交差点進入時間が長くなり，左右確認回数も多くなり，教示の効果が確認された．その高齢ドライバの運転行動と事前に調べた認知身体能力の関係から，運転教示を多く受けたドライバは，有効視野(UFOV)課題成績から周辺刺激への反応が低い傾向があり，認知機能の低下が見られるドライバ(MMSE 点数低，TMT-A 大，TMT-B 大)は左右確認の回数や確認時間が少なく，ブレーキの開始が遅く，一定減速度のスムーズな制動が出来ずに，運転行動のばらつきが大きい傾向があった．これらから高齢ドライバの認知・身体特性の衰えが安全運転行動の不足と相関がある可能性を示した．

第7章で，第6章で得られた一時停止交差点での左右確認時間と左右確認回数の安全運転行動の評価指標と一回の制動の平均減速度と最大減速度の比の一定減速度率と制動距離及び制動余裕時間の運転の巧さの運転行動評価指標について，高齢ドライバの安全運転行動が不足していると考えて，模範運転として自動車教習所の運転指導員4名を含む，28歳から79歳の計35名のドライバの一時停止交差点の運転行動を，市販のドライブレコーダを用いて計測し比較した．その結果から安全運転行動の評価基準を指導員の模範運転を基に評価基準を設定した．一時停止交差点での減速開始タイミングは，停止までの平均減速度が 1.4m/s^2 以下になるタイミングで，車両速度 6m/s (21.6km/h) 程度で制動停止余裕時間は 2.2sec 以上を基準とした．平均減速度と最大減速度の比の一定減速度比率は 1.5 以下を基準とした．安全確認を表す左右確認回数は $5\sim 6$ 回以上，一時停止から交差点進入までの左右確認時間は 4 秒以上を基準とした．これらの基準を基に，運転行動の評価指標と高齢ドライバの認知身体能力の関係から，認知身体能力の衰えを補う安全運転を行っているドライバと認知身体能力が劣っているにもかかわらず安全運転行動が不足しているドライバがいることが分かった．認知身体能力の衰えを自覚させて，安全運転指標をフィードバックして高齢ドライバの安全運転行動へ誘導が必要と考えられる．

第8章で，結論として，この研究の成果をまとめると，開発した現実感のあるDSを用いて高齢ドライバの事故に至る要因を解析した結果から，認知身体特性の衰えと思われ

る衝突回避操作の遅れや操作不十分と一時停止交差点の左右確認行動のような、潜在的な危険に対する予防安全運転行動の不足が事故に結び付いている可能性が明らかになった。そこで、実走行でのドライブレコーダのデータから高齢ドライバの一時停止交差点での安全運転行動を評価する指標を抽出し、その指標の評価基準を求めた。一般的な認知身体能力評価と安全運転行動の評価指標との関係から、高齢ドライバの交通事故を防ぐには、加齢による認知身体能力の衰えによる運転能力の低下を自覚させて、予防安全運転行動に誘導し事故環境に近づかない運転を習慣付けることが有効な手段と考えられる。そのための、高齢ドライバ向けの運転教示システムや介入支援システム、指導訓練手法などの開発と適用が高齢ドライバの事故低減策の今後の課題と考える。

8.2 残された課題

高齢ドライバ特有の事故形態を防ぐための予防安全システムの効果や受容性などの評価を行うには、運転能力に衰えが見られる高齢被験者に対して、危険な場面での支援システムの作動効果を調べる必要が有る。そのために運転時の臨場感があり、高齢ドライバに多いシミュレータ酔いを起しにくいドライビングシミュレータ（DS）を開発してきた。このDSを用いて、高齢ドライバを含む一般ドライバの事故が起きやすい場面での運転行動を計測する実験を行ってきた。その過程で、通常の減速で思った位置、例えば交差点手前の一時停止線にスムーズな減速でピタッと止められるDSによる模擬が一番難しく、シミュレータの酔いも大きい事が分かった。これらの知見から、映像の高解像度化や運動模擬の応答性の改善と映像と運動の同期が必要と考えられる。また、この大型DSの実験経験から、小型のDSは限られた場面でのシステムのHILSとしての開発用途としては役立つが、高齢ドライバを含む一般ドライバを被験者とした支援システムなどの評価実験は難しく、実走行試験との確認対応が必要であると思われる。

開発したDSを用いて高齢ドライバの運転特性を実験した結果、高齢ドライバは認知身体能力の衰えから、マルチタスク運転能力の低下とそれを含む周辺監視能力や空間認識能力の低下、緊急回避時の認知判断操作の応答遅れ、特に衝突直前の制動回避能力の低下が事故に

結び付いていると考えられる。また、一時停止交差点での運転行動から認知身体特性の衰えによる運転能力の低下を補う予防安全運転行動も高齢ドライバは不足していると考えられる。しかしながら、高齢ドライバの運転能力のバラツキは大きく、自分の運転能力がどのレベルにあるのかを理解するのは難しいが、加齢に伴い認知身体能力の低下を自覚することは可能と考えられる。従って、これらの運転能力低下を補うには、単に事故を自動回避するのではなく、事故の起きやすい環境や行動を回避し、遭遇確率を下げる運転行動に導く事が良いと考えている。それには、高齢ドライバの事故の多い一時停止交差点での運転行動の調査から確実な停止と左右確認行動の改善が必要であり、教習所指導員の運転教示内容を参考にした、エージェント教示システムが有効と思われる。例えば認知能力の衰えたドライバに対しては、運転動作の逐次教示により、ドライバをアクチュエータとした教示による言葉の自動運転というようなレベルまでも考えられる。また、高齢ドライバの運転能力に合わせて、一時停止交差点を通らない経路ナビゲーションシステムなども考えるべきと思う。しかしながら、高齢ドライバに自ら運転能力の衰えを自覚させて、その運転能力に合わせた教示を行い、運転行動を改善するには、普段の運転をドライブレコーダで記録し、運転の問題点をフィードバックして、適切で納得性のある教示が必要になると考えている。今回の運転指導員が同乗した教示と運転行動から、運転行動の評価指標として、一時停止交差点での左右確認回数と確認時間による潜在リスクの回避行動と制動行動の先読みと前出しによるスムーズな余裕を持った減速度制御の指標として、最大と平均の減速度比率、と制動開始時のタイミングとして減速終了時までの平均減速度や制動開始時の余裕時間が有効と考えて、見出した運転行動指標について教習所指導員の規範的運転行動との比較から、定量的な評価基準をの設定した。今後はこれらの指標の自動検出方法の開発に取り組み、インテリジェントなナビゲーションとドライブレコーダの連携、連動を考えて行いく必要がある。また、高齢ドライバのドライブレコーダデータの IOT 化によるデータ収集を増やし、高齢者教習のような場面で高齢ドライバへの運転教示により運転行動の改善と向上に結び付ける活動が望ましい。

高齢ドライバの個人適応した運転支援を構築するためには、ドライブレコーダは必須のツールと考えられ、ドライブレコーダを用いた高齢ドライバの通常の運転行動データから、高齢ドライバの認知・身体機能の衰えによるヒヤリハットや危険場面の運転行動から個

第8章 結 論

人適応した事故の可能性を予測して、高齢ドライバを対象としたこれからの新しい運転支援システムの開発が必要と思われる。

最後に、高齢化した自分自身にとって、どのような予防安全運転行動の改善や運転支援システムの導入が有効かを考え実行しながら、運転寿命の延伸を試みて行きたい。

謝 辞

本研究において、教習所指導員による路上教習の実験計測は国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム」の支援によって行われました。COI プログラムの「運転寿命延伸を目指したドライバ運転特性研究」の研究メンバーが中部日本自動車学校の協力を得て、4名の指導員の添乗指導を記録したデータを使用させていただきました。感謝申し上げます。

そして大規模なドライビングシミュレータ（DS）の開発は、トヨタ自動車（株）制御システム先行開発部をリードとして、車両運動模擬装置：MIS Systems Co.，映像模擬装置：三菱プレジジョン（株），車両運動計算機：富士通テン（株），システムソフトウェア：トヨタテクニカルディベロップメント（株），モーションアルゴリズム：（株）豊田中央研究所，車両運動シミュレーションソフト：（株）バーチャルメカニクスとの協力を得て共同開発で行われました。開発関係者にお礼申し上げます。

また、このDSを用いた高齢ドライバを含む実験はトヨタ自動車（株）制御システム先行開発部第2制御システム先行開発室において行われました。この実験研究に関与したDS担当グループに感謝申し上げます。

本論文作成にあたり、主査の名古屋大学工学研究科の鈴木達也教授と副査の名古屋大学未来社会創造機構の武田一哉教授、名古屋大学工学研究科の水野幸治教授、名古屋大学工学研究科の稲垣伸吉准教授、名古屋大学未来社会創造機構の青木宏文特任教授には、大変多くの、ご指導、ご助言をいただきました。感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 米川 隆, 阿賀 正巳, 門脇 美佐, 名切 末晴, 坂口 靖雄, 荒木 厚, 市街地走行で現実感のあるドライビングシミュレータの開発, *自動車技術会論文集* Vol. 39 No. 6, pp. 29-34, 文献番号: 20086025 2008 年 11 月
- (2) Takahiko Murano, Takashi Yonekawa, Masami Aga, Sueharu Nagiri, Development of High-Performance Driving Simulator, *SAE International Journal of Passenger Cars -Mechanical Systems* 2(1), pp. 661-669, SAE Technical Paper No. 2009-01-0450 (2009. 4).
- (3) 里見 洋平, 村野 隆彦, 阿賀 正巳, 米川 隆, ドライビングシミュレータを用いた追突警報時のドライバの特徴分析, *日本機械学会第 18 回交通・物流部門大会講演論文集* 2009 年 12 月 No. 09-65, pp. 283-286 文献番号 3204.
- (4) Takashi Yonekawa, Takahiko Murano, Katsuhiko Iwazaki, Accident analysis on intersection right turning by using driving simulator, *Int. J. Vehicle Safety*, Vol. 7, No. 1, pp. 17-36 (2014)
- (5) Takashi Yonekawa, Kazuya Sasaki, Katsuhiko Iwazaki, Driving Behavior Analysis of Elderly Drivers Passing Through Stop Sign Intersection Using Driving Simulator, *Int. J. Automotive Engineering*, Vol. 5, No. 4, pp. 137-144, Paper No. 20144202 (2014)
- (6) 米川 隆, 田中 貴紘, 青木 宏文, 山岸 未沙子, 吉原 佑器, 竹内 栄二郎, 高橋 一誠, 二宮 芳樹, 金森 等, 鈴木 達也, 高齢ドライバの市街地運転に対する運転指導員の安全運転教示の分析, 一運転寿命延伸を目指したドライバ運転 特性研究 (4) 一, *自動車技術会 2015 年秋季大会学術講演予稿集*, No. 20156054, No. 12-15A, pp. 276-281 (2015)
- (7) Takashi Yonekawa, Takahiro Tanaka, Hirofumi Aoki, Misako Yamagishi, Yuki Yoshihara, Ei-jiro Takeuchi, Issey Takahashi, Yoshiki Ninomiya, Hitoshi Kanamori, Tatsuya Suzuki, Makoto Inagam, Relationship between Senior Drivers' Cognitive and Physical Functions and Urban Driving Behaviors during Behind-the-Wheel Driving Education Sessions with Driving

- Instructors, *Journal of Transportation Technologies*, Vol.7 No.2, pp.148-166 (2017).
- (8) 条田 佳奈, 高齢ドライバの頻出事故分析手法の検討, *自動車技術*, No. 20154017, Vol. 69, No. 1, pp.90-95 (2015).
- (9) 条田, 北村, 小木, 西村, 道路形状別暴露量を考慮した高齢ドライバ事故の特徴把握(第2報), *自動車技術会 2014 年春季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20145142, No.71-14, pp.1-3 (2014)
- (10) 細川, 橋本, 平松, 吉田, 高齢運転者の実運転場面に基づく一時停止規制のある無信号交差点での不安全行動分析, *自動車技術会論文集*, No. 20144540, Vol.45 No.3, pp.553-558 (2014)
- (11) 細川, 橋本, 平松, 木下, 吉田, 高齢運転者の日常運転行動の把握と一時停止規制のある無信号交差点での行動分析, *自動車技術会 2012 年秋季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20125568, No.131-12, pp.1-4 (2012)
- (12) 佐藤, 竹中, 永井, 無信号交差点における高齢ドライバの運転行動の解析, *自動車技術会論文集*, No. 20164343, vol.47 no.3, pp.767-773 (2016)
- (13) 杉本, 佐藤, 高橋, 毛利, 永井, 熟練および高齢ドライバの無信号交差点通過行動の分析 - 模擬市街路実験データに基づいたシミュレーション -, *自動車技術会 2014 年秋季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20145778, No.97-14, pp.1-6 (2014)
- (14) 小竹, 宇積, 鎌田, 無信号交差点通過時の運転行動に基づく高齢者の衝突リスク知覚評価指標, *自動車技術会 2015 年秋季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20156050, No. 11-15A, pp.256-259 (2015)
- (15) 小竹, 木村, 二瓶, 鎌田, 高齢運転者の認知特性と実環境における不安全行動の関連性の検討, *日本機械学会論文集(C 編)* 78 巻 794 号 pp.3362-3373 (2012-10)
- (16) 中野, 小椋, 加藤, 山崎, 山田, 重松, 渡邊, 日常の運動習慣による高齢者の運転能力向上の検討, *自動車技術会 2015 年春季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20155038, No.8-15S, pp.213-218 (2015)
- (17) 中野, 山田, 山本, 小竹, ドライバの運転能力評価と高齢ドライバの支援, *自動車技術*, No. 20104566, Vol.64 No.10, pp.72-77 (2010)

- (18) 石川, 鈴木, 倉内, 鶴見, 中山, 高齢者講習受講結果の分析と高齢者の運転行動評価, *自動車技術会論文集*, No. 20154494, Vol. 46 No. 4, pp. 805-810 (2015)
- (19) 自動車安全運転センター, 高齢運転者に関する調査研究(III) , 平成25年度調査研究報告書, (2014)
- (20) 細川, 橋本, 平松, 寸田, 吉田, 一時停止規制のある交差点における高齢運転者に対する運転支援の効果検討, *自動車技術会 2015年秋季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20156051, No. 11-15A, pp. 260-265 (2015)
- (21) 久保田, 白木, 樋口, 倉橋, 見市, 佐々木, 加藤, 安藤, 高齢ドライバーの一時停止交差点支援に関する実証実験, *自動車技術会 2014年春季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20145080, No. 5-14, pp. 1-6 (2014)
- (22) 田中, 米川, 青木, 山岸, 高橋, 稲上, 金森, 高齢ドライバーの一時停止交差点通過時の運転行動と生体機能の分析, *自動車技術会 2016年春季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20165297, No. 64-16S, pp. 1577-1582 (2016)
- (23) 国松志保, 視野狭窄が運転へ与える影響, *自動車技術*, No. 20164132, Vol. 70 No. 3, pp. 25-29 (2016)
- (24) 中村, 大門, 織田, 二重課題法を用いた交差点接近時の高齢ドライバーの認知パフォーマンスに関する基礎的研究, *自動車技術会論文集*, No. 20154238, Vol. 46 No. 2, pp. 521-526 (2015)
- (25) L.D. Chen et al., NADS AT THE UNIVERSITY OF IOWA: A TOOL FOR DRIVING SAFETY RESEARCH, *Proceedings of the 1st Human-Centered Transportation Simulation Conference*, (2001)
- (26) Y. Asano et al.: Improvement of Driver's Feeling by Turning Cabin Driving Simulator, *DSC05NA*, Orlando, Florida, November, (2005)
- (27) P. Grant et al.: Motion Drive Algorithm Development for a Large Displacement Simulator Architecture with Redundant Degrees of Freedom, *DSC Asia/Pacific 2006 - Tsukuba - May/June 2006*
- (28) 大谷, 米川, 荒木 厚, 榎本, 名切, 杉浦: ドライビングシミュレータの映像表示装置の開発, *自動車技術会論文集*, No. 20094491, Vol. 40 No. 4, pp. 1107-1112 (2009)

- (29) 米川 隆, 村野 隆彦, 阿賀 正巳, 門脇 美佐, 名切 末晴, 坂口 靖雄, 荒木 厚, 現実感のあるドライビングシミュレータの開発と応用, *日本機械学会第17回交通・物流部門大会講演論文集* 2008年 12月 No.08-68, pp.289-292 文献番号 2105.
- (30) 坂口, 名切, 大桑, 米川, 阿賀, 酒井, 大規模ドライビングシミュレータのモーション制御法, *自動車技術会 2008 年春季大会 学術講演会 講演予稿集*, No. 20085142, No.36-08, pp.7-10 (2008)
- (31) Shoji Ito, Takashi Yonekawa, Kastuhiko Iwazaki, Takahiro Adachi, Motion Sickness Improvement of Highly Realistic Driving Simulator, *FAST-Zero'13 Proceedings*, JSAE.No20134599, No.0S3-2-3, pp.1-6 (2013)
- (32) Takahiro Adachi, Takashi Yonekawa, Yoshitaka Fuwamoto, Shoji Ito, Katsuhiko Iwazaki, Sueharu Nagiri, Simulator Motion Sickness Evaluation Based on Eye Mark Recording during Vestibule-Ocular Reflex, *SAE 2014 World Congress, Detroit(USA)*, *SAE Paper* No.2014-01-0441, pp.1-6 (2014)
- (33) Lee, J.D., McGehee, D.V., Brown, T.L., and Reyes, M.L. Collision Warning Timing, Driver Distraction, and Driver Response to Imminent Rear-End Collision in a High-Fidelity Driving Simulator, *Human Factors* 44(2), pp.314-334 (2002)
- (34) 自動車安全運転センター, 運転行動計測機を活用した安全運転教育手法に関する調査研究(Ⅱ), *調査研究報告書 平成11年度*
- (35) 細川, 橋本, 田川, 吉田, 新田, 高齢者の運転特性抽出のための分類に関する研究, *自動車技術会 2008 年秋季学術講演会予稿集*, No20085634, No.151-08, pp.5-10 (2008)
- (36) Najm, W.G. "Understanding Pre-Crash Scenarios with Event Data Recorder (EDR) Data," *Presented at the Government/Industry Meeting* on May 12, 2008.
- (37) Hirofumi Aoki, Masami Aga, Yoshiki Miichi, Yoshiaki Matsuo, and Shin Tanaka, Safety Impact Methodology (SIM) for Effectiveness Estimation of a Pre-Collision System (PCS) by Utilizing Driving Simulator Test and EDR Data Analysis, *SAE 10B-0038, SAE 2010 World Congress, Detroit, MI, 2010.*
- (38) 加門, 梅原, 小坂, 西谷, 溝口, 小花, 佐々木, 車両速度・左右確認動作・ペ

- ダル操作に基づいた無信号交差点非優先側通過行動の危険度評価, *自動車技術会 2009 年春季大会学術講演予稿集*, No. 20095397, No. 4-09, pp. 1-4 (2009)
- (39) 粕谷, 梅原, 野田, 西谷, 佐々木, 安全確保速度 (HAS) を用いた模範的な交差点通過行動の探索, *自動車技術会 2010 年春季大会学術講演予稿集*, No. 20105110, No. 37-10, pp. 13-16 (2010)
- (40) 平松, 寸田, 小竹, 鎌田, 潜在リスクに対するドライバの危険感度定量化手法の研究, *自動車技術会 2012 年春季大会学術講演予稿集*, No. 20125588, No. 85-12, pp. 1-4 (2012)
- (41) 吉原, 竹内, 二宮: 住宅街路における運転指導員と高齢者ドライバの運転行動データ収集と解析-高齢者に適合した規範運転モデルの構築に向けて-, *自動車技術会 2015 年春季大会学術講演予稿集*, No. 20155241, No. 53-15, pp. 1246-1251 (2015)
- (42) 山岸, 青木, 田中, 高橋, 河野, 佐藤, 赤松, 金森, 運転寿命延伸を目指したドライバ運転特性研究 (2) -高齢ドライバの基礎的人間特性データと運転との関係の分析-, *自動車技術会 2015 年春季大会学術講演予稿集*, No. 20155209, No. 45-15, pp. 1095-1100 (2015)
- (43) 赤松 幹之ほか: 質問紙調査による運転スタイルの抽出とドライバータイプの特徴, *人間工学*, Vol. 37, 特別号, pp. 470-471 (2001).
- (44) 安部 光代ほか: 前頭葉機能検査における中高年健常日本人データの検討, *脳と神経*, 56 巻 7 号, pp. 567-574 (2004).
- (45) 大塚 博保ほか: 警察庁方式 CRT 運転適性検査の開発, *科学警察研究所報告交通編*, Vol. 31, No. 1, pp. 57-63 (1990).
- (46) 細川, 橋本, 平松, 寸田, 吉田, 一時停止規制のある交差点における高齢運転者を対象とした運転支援の効果と受容性の検討, *自動車技術会 2016 年秋季大会学術講演予稿集*, No. 20166103, No. 1-118, pp. 545-550 (2016)
- (47) 安部, 佐藤, 内田, 福島, 高齢と非高齢の違いによる視認行動への影響, *自動車技術会 2016 年秋季大会学術講演予稿集*, No. 20166101, No. 1-118, pp. 533-538 (2016)
- (48) 森澤, 今井, 小竹, 森川, 石田, ドライブレコーダーを活用した高齢運転者の安全運転診断, *自動車技術会 2016 年秋季大会学術講演予稿集*, No.

参考文献

- 20166276, No. 1-154, pp.1451-1456 (2016)
- (49) Y. Papelis et al.: Study of ESC Assisted Driver Performance Using a Driving Simulator, *The National Advanced Driving Simulator Project Report*, The university of IOWA, Document ID: N04-003-PR 2004
- (50) Donald L. Fisher et al.: Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology, *CRC Press*, 2011
- (51) Trent Victor et al.: Analysis of Naturalistic Driving Study Data: Safer Glances, Driver Inattention, and Crash Risk, *SHRP 2 Report S2-S08A-RW-1*, 2015
- (52) 米川 隆, 田中 貴紘, 青木 宏文, 山岸 未沙子, 吉原 佑器, 稲上 誠, 藤掛 和広, 木下 史也, 金森 等, 二宮 芳樹, 鈴木 達也, ドライブレコーダによる高齢ドライバの運転能力評価の検討, 一運転寿命延伸を目指したドライバ運転 特性研究 (10) ー, *自動車技術会 2017 年春季大会学術講演予稿集*, No. 20175495, No.105-17, pp.2704-2709 (2017)
- (53) Marc Green, : “How Long Does It Take to Stop?” Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times, *TRANSPORTATION HUMAN FACTORS*, 2(3), pp.195-216, (2000)
- (54) Thomas Stoffregen et al.: An Ecological Critique of the Sensory Conflict Theory of Motion Sickness, *ECOLOGICAL PSYCHOLOGY*, 3(3), pp.159-194 (1991)
- (55) Charles M. Oman,: Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory, *Can. J. Physical. Pharmacol* 68, pp.294-303 (1990)
- (56) Baris Aykent et al.: Motion sickness evaluation and comparison for a static driving simulator and a dynamic driving simulator, Proc. IMechE, Part D: *Journal of Automobile Engineering*, pp.1-12 (2002)
- (57) Cheryl Roe et al.: Factors Associated with Simulator Sickness in a High-Fidelity Simulator, *DSC 2007 North America - Iowa City - September 2007*
- (58) J.O. Brooks et al.: Simulator sickness during driving simulation

参考文献

- studies, *Accident Analysis and Prevention* 42, pp.788-796 (2010)
- (59) R.S. Kennedy, et al.: Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness, *International Journal of Aviation Psychology*, No.3, pp.203-220(1993)
- (60) M. Akamatsu, et al. : Development of Hi-Fidelity Driving Simulator For Measuring Driving Behavior, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 13, No. 4, pp.409-418(2001)
- (61) Vicki L. Neale, et al., An Overview of the 100-Car Naturalistic Study and Findings, *Research Gate*, Paper Number05-0400, pp.1-10(2005)
- (62) Katsuhiko Iwazaki, Shoji Ito, Takahiro Adachi, Takashi Yonekawa, Yoshitaka Fuwamoto, Motion Cueing Algorithm for Prevention of Simulator Sickness Caused by Unnecessary Vestibule-Ocular Reflex, *Proceedings of FISITA*, pp.1-10 (2014)
- (63) 交通事故総合分析センター, 特集 信号交差点における右折事故, *イタルダイインフォーメーション*, No.95 (2012)
- (64) 小坂ほか, 無信号交差点非優先側通過時の速度プロファイル特徴解析, *自動車技術会論文集*, No. 20094044, Vol.40 No.1, pp.39-44 (2009)
- (65) 米川 隆, 村野 隆彦, 阿賀 正己, ドライビングシミュレータを用いた交差点右折時の事故解析, *第20回機械学会交通・物流部門大会講演論文集* 2011年12月, pp.363-366, 文献番号 3110.