

運転環境模擬装置によるドライバ操作挙動の解析 とデータベース構築

名切末晴，武井一剛，土居俊一

Performance Analysis and Database of Driving Maneuvers Using Driving Simulator

Sueharu Nagiri, Kazukata Takei, Shun'ichi Doi

要 旨

自動車メーカーの安全装備に関わる技術者の研究開発により，ABSやAirBag等の様々な装備が実用化されている。事故後の乗員を保護する衝突安全技術はもとより，事故自体を低減しようとする予防安全技術は重要である。事故を低減するには，種々の安全制御機器を装備した車両の運動性能の向上とともに，自動車を運転するドライバの緊急時における運転特性を明らかにする必要がある。

本研究では，自車の走行レーン前方に突然障害物が飛び出す状況と，カーブ路を走行中に路面の摩擦係数が急に低下する状況を運転環境模擬装置を用いて設定し，このような緊急時における一般ドライバの回避挙動を調査した。障害物が飛び出す試験では，80%の被験者が制動操作のみの回避を行い，その行動は障害物が飛び出してから平均値で1秒以上遅れることがわかった。そして，この回避操作は壮年の方が若年より約0.25秒遅れている。

。後輪と路面との摩擦係数を低下させた場合には旋回外側へ操舵する行動が，また，前輪と路面との摩擦係数を低下させた場合には旋回内側へ切り増す操舵行動が全ての被験者に観察された。しかし，車両を安定化させるための適切なカウンタステアを行えた被験者は全体の23%と少ない。このように路面の摩擦係数を低下させる試験により，車両進行方向がドライバの意図した方向とずれた場合には，操舵操作に集中して車両を減速させる制動操作をあまり行えないことも明らかになった。

運転環境模擬装置を用いて実施した2種類の試験結果を基に，被験者の性別や年齢などを指定して該当するデータを検索し，検索結果をグラフ化する緊急回避操作データベースを構築した。このデータベースには，180人以上の1500件を超える試験データが集録されている。

Abstract

Vehicle dynamics and the driver's behavior in emergent situations are the most important factors for the analysis of avoidance performance. However, the drivers' operations before traffic accidents have hardly been clarified.

In this study, the avoiding maneuver was examined by using a driving simulator to clarify the effects of the driver's age and vehicle characteristics. In the first test, the young or old driver's operation to avoid an emergent obstacle was investigated by using a driving simulator. The vehicle dynamics model in the driving simulator had two different vehicle characteristics. As a result, most drivers avoided the suddenly emerging obstacle only by braking action. In this case, old drivers delayed about 0.25 second in avoidance action compared with

young drivers. It was derived that the driver of a vehicle with higher yaw velocity gain and less phase delay had less deviations from the road than the driver of the other vehicle with different characteristics. The second test using a driving simulator was done to investigate the drivers' maneuver in the emergent change of the road surface friction coefficient. All drivers steer vehicles to decrease the yaw-rate and the slip angle. However, most drivers cannot restrain the vehicle instability.

These two kinds of experimental conditions and the driver's operation values have been collected to construct a database system. This database system searches for the driver's operation value according to the conditions, and the searched data are obtained as a graphical image plot.

キーワード

予防安全，事故回避，車両運動，運転特性，運転環境模擬装置，データベース，ソフトウェア

1. まえがき

近年の交通事故の特徴の一つに、24歳以下の若者と65歳以上の高齢者の死者の増加がある¹⁾。実際の交通事故の分析から、事故直前の状況も少しづつ明らかにされてきているが^{2,3)}、交差点における出会い頭事故や先行車への追突のような、緊急時における一般ドライバーの運転挙動についてはあまり明らかにされていない。特に、急に車両が目前に現われた時、これを認知するまでの反応時間や、回避行動やその量についての研究は少ない。この理由は、実際の交通事故に基づく解析では、交通場面とともに変わるドライバーの詳細な行動を事後に解明することが困難なためと思われる。また、テストコース等において緊急時のドライバー挙動を調査した例はあるが⁴⁻⁶⁾、危険を伴うような試験はあまり行われていないのが現状である。

筆者らは、これまでに道路上に設置された障害物を回避する場合や、道路脇に設置した壁の裏側から障害物が飛び出してくる場合の一般ドライバーの運転行動を運転環境模擬装置を用いて解析し、試験条件がドライバーの回避運転操作を大きく左右すること等を明らかにした^{7,8)}。

本研究では、交通事故のうち緊急的な交通状況として、道路脇から車両(以後、障害物と呼ぶ)が急に飛び出すという場面を運転環境模擬装置を用いて設定し、これを回避する場合のドライバーの操作挙動を調査した⁹⁾。対象としたドライバーは、近年の交通事故で事故数の多い年齢層である24歳以下の若者と65歳以上の高齢者に着目し、社内の若年層と壮年層とした。また、運転環境模擬装置内の車両モデルとして、操舵に対するヨーレート応答の異なる2種類を用いて、この車両特性が回避挙動に及ぼす影響も調査した。

また、事故件数はあまり多くないが、重大事故で操縦不能となったケースの中で最も多いものがカーブ路における事故である¹⁰⁾。このようなカーブ路での事故は、カーブへの進入速度が高く運転操作を誤って路外逸脱や対向車との衝突になるものと考えられる¹¹⁾。そこで、走行中に車両の前輪あるいは後輪と路面との間の摩擦係数(以後、路面 μ と略す)が急変する状況を運転環境模擬装置で

設定し、カーブ路におけるドライバーの運転操作を調査した。

本稿では、上記2種類の試験における一般ドライバーの運転挙動解析結果と、これらの試験結果を基に構築したデータベースの内容を報告する。

2. 実験方法

2.1 運転環境模擬装置

試験に用いた運転環境模擬装置を、Fig. 1に示す。本装置では、ドライバーの操作量に基づいてパーソナルコンピュータで車両モデルを解き、計算された車両の位置と向きからコンピュータで描かれた道路画像をドライバー前方2.5mに設置したスクリーンに投影している。車両モデルは、横運動、ヨー運動および前後運動の3自由度で構成した。タイヤはマジックフォーミュラにより定式化した。運転環境模擬装置内の車両モデルは、A車とB車の2種類である。Fig. 2に、2種類の車両モデルの操舵角に対するヨーレートの周波数特性を比較して示す。A車はヨー共振周波数が約1.0Hzである。これに対して、B車はヨー共振周波数が約1.5Hzである。また、1.0Hz以下のゲインは、A車よりB車の方が少し大きくなっている。

本運転環境模擬装置は、並進レールに沿った横方向とコックピット下の軸を中心としたロール方向の動揺付加が可能である。コックピットの横方向の動きは、演算された車両横加速度の高周波成分により制御され、ロール方向の運動は、車両横加速度の低周波成分により制御される。これによ

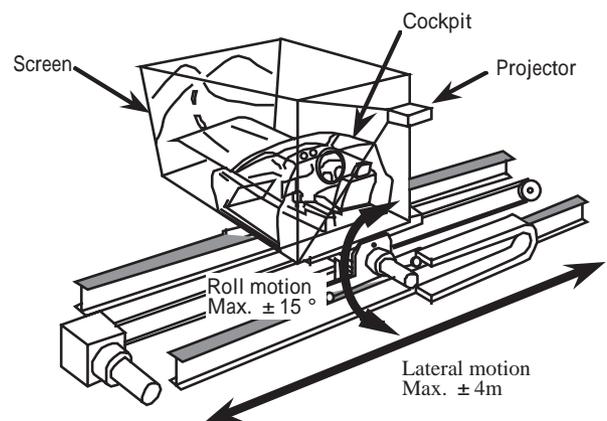


Fig. 1 Driving simulator.

り、急なレーンチェンジ等の横加速度や定常旋回時の横加速度を模擬することができる。

2.2 飛び出し障害物回避試験

試験は、直線路と曲線路を組み合わせた対向レーンのある片側1車線のコース途中で側壁を設け、この側壁の裏から障害物を飛び出させて行った。Fig. 3に、走行コースを示す。走行コースの全長は約10kmで、レーン幅は3.5mである。試験では、走行を始めて前半の5kmでは道路脇に設けた側壁からは障害物の飛び出しを行わない。後半の5kmを走行する間に、道路脇に設けた側壁から障害物が飛び出さすように設定している。このような設定には、二つの狙いがある。一つは、被験者が前半の5kmを走行する間に運転環境模擬装置に慣れてもらうことで、もう一つは前半の5km間に障害物が飛びささない側壁を設けることにより、後半で行う障害物飛び出しの予測を行わせないためであ

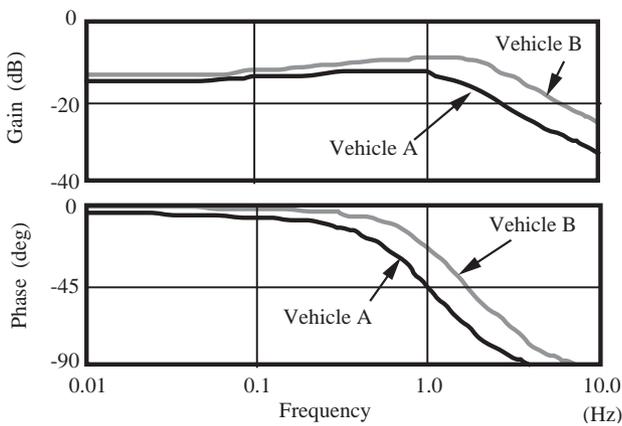


Fig. 2 Comparison of vehicle A and vehicle B. (Transfer function : yaw rate / steering angle)

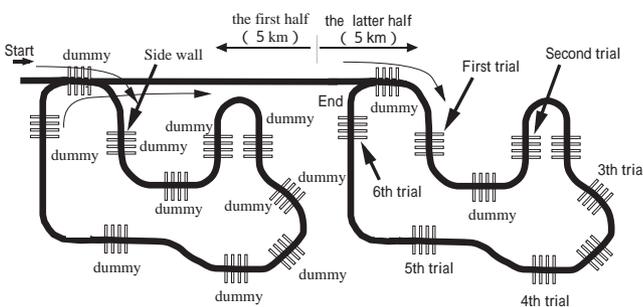


Fig. 3 Driving course at obstacle avoidance test. (The case of vehicle velocity 16.7m/s)

る。被験者に指示する車速は、60km/h{16.7m/s}と100km/h{27.8m/s}とした。Fig. 3は指示車速が60km/hの場合で、指示車速が100km/hの場合の走行コースは、これよりカーブの曲率を小さくした。Fig. 4に、障害物の飛び出し状況を示す。障害物の飛び出しは、車速V m/sと自車から障害物を配置した位置までの距離L mから、L/Vが2.0, 2.5, 3.0sのいずれかになった時とした。

被験者は、Fig. 5に示す若年層10名と壮年層10名の合計20名である。被験者には、障害物が飛び出すことや車両特性の違い等については予告せずに試験した。若年および壮年の半数が最初に指示車速60km/hで車両Aを運転し、指示車速と運転車両が偏らないように配慮した。

2.3 路面摩擦係数急変時のカーブ路走行試験

走行コースは、Fig. 6に示すカーブ路と直線路を組み合わせたもので、全長は1周約6kmである。被験者への指示車速は、60km/hである。この車速でコースの中で最も急なカーブである半径100mの道

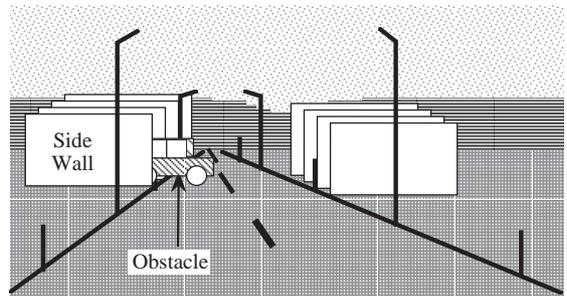


Fig. 4 The situation of emerged obstacle viewed from subject.

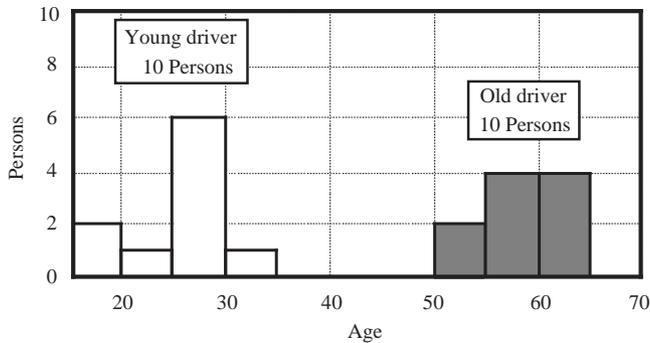


Fig. 5 Age of subjects at obstacle avoidance test.

路を走行する時の車両横加速度は約 2.8m/s^2 であり、スピンやドリフト等の挙動が発生しにくい。そこで、Fig. 7で示す方法により路面 μ を低下させて、スピンやドリフト挙動を誘発した。すなわち、後輪の路面 μ を低下させると、後輪横力が小さくなりヨーレートが急増して旋回内側へ巻き込むスピンの誘発され、また、前輪の路面 μ を低下させると前輪横力が小さくなって車両がカーブ路の外側へふくらむドリフト挙動が誘発される。

ドライバから見た道路風景をFig. 8に示す。試験は、コースを3周して行った。1周目は運転環境模擬装置に慣れるための走行とし、2周目に後輪の路面 μ を低下させ、3周目に前輪の路面 μ を低下させる。本試験の被験者は、90名である。この試験においても、飛び出し障害物回避試験の場合と同様に、

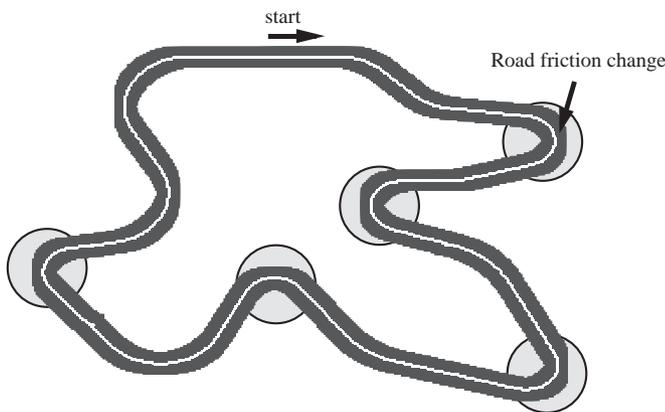


Fig. 6 The driving course of the road surface friction coefficient emergency change test.

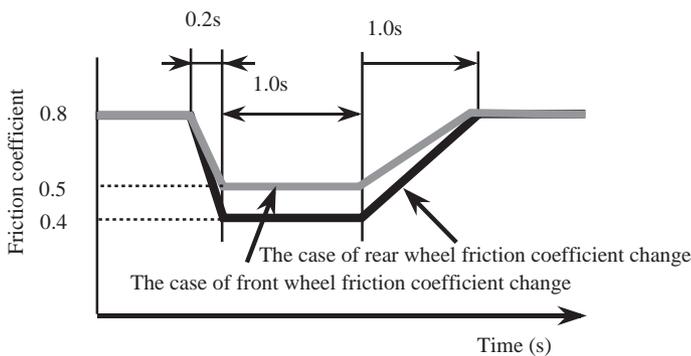


Fig. 7 Change method of the road surface friction coefficient.

に、カーブ途中で路面の μ が変化することは予告せずに行った。

3. ドライバ操作挙動解析

3.1 飛び出し障害物回避試験

若年層と壮年層を比較して被験者の年齢差による回避挙動の違いについて示す。Fig. 9(a)に、最初の障害物回避における回避パターンを示す。若年および壮年とも、80%が制動操作のみの回避（以後、制動回避と呼ぶ）を行い、20%が操舵と制動操作を併用した回避（以後、複合回避と呼ぶ）を行った。



Fig. 8 Driving scene of the road surface friction coefficient emergency change test.

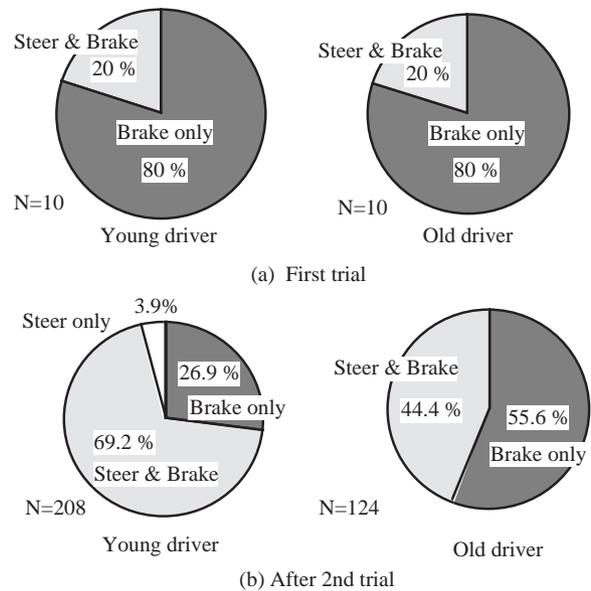


Fig. 9 Comparison of avoidance pattern between young and old driver.

このように、予期せぬ障害物が急に現われるという緊急事態では、年齢差による回避パターンの差はなく制動主体の回避行動を行うと考えられる。Fig. 9(b)には、2回目以降の回避パターンを示す。若年および壮年とも複合回避が増加している。特に若年の被験者にこの傾向が強く見られる。また、ケースとしては少ないが、操舵操作のみの回避（以後、操舵回避と呼ぶ）を行う若年ドライバーもいた。

Fig. 10に、最初の障害物回避における反応時間を、障害物が飛び出し始めた時刻を基準として示す。アクセルペダルから足を離すまでの反応時間は、若年と壮年であまり違いは見られない。ところが、ブレーキペダルを踏むまでの制動反応時間は、若年より壮年の方が平均で約0.25秒大きい。Fig. 11に、複合回避を行った全ての試験ケースにおける制動反応時間と操舵反応時間の関係を示す。いずれも操舵操作より制動操作が早い傾向にあり、壮年層は若年層に比べて反応時間が大きいことがわかる。

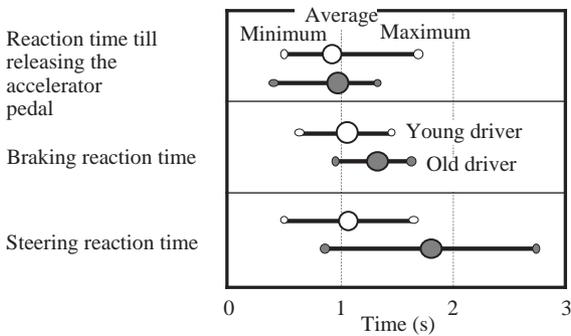
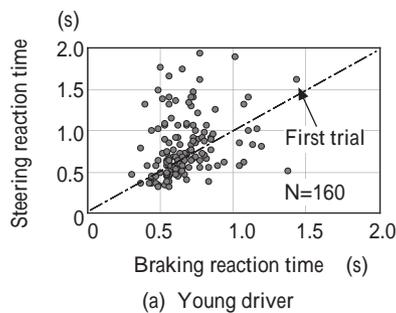


Fig. 10 Reaction time of first trial at obstacle avoidance test.



次に、操舵に対してヨーレート応答の異なる2種類の車両を被験者が運転した時の回避挙動の違いについて述べる。Fig. 12に、2種類の車両についての回避パターンを、全ての試験ケースについて示す。Fig. 12から、複合回避の割合は、車両Bの方が車両Aより若干多いことがわかる。これは、“操舵により障害物を回避し易い”と試験終了後に答える被験者が多かったことと関連すると思われる。Fig. 13に指示車速100km/hでのコース逸脱状況を示

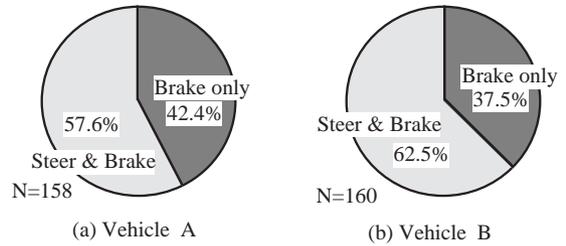


Fig. 12 Comparison of avoidance pattern between vehicle A and vehicle B.

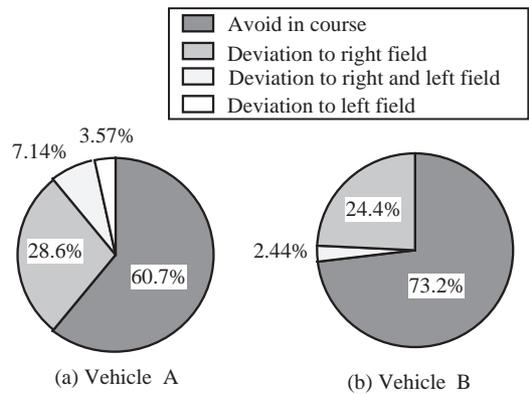


Fig. 13 Comparison of deviation from road between vehicle A and vehicle B.

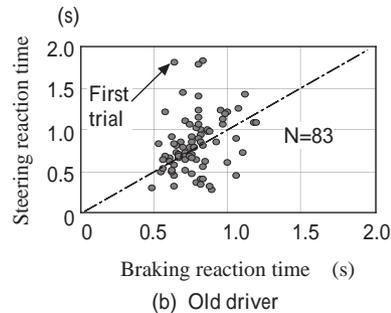


Fig. 11 Relationship with the steering reaction time and braking reaction time.

すが、車両Aの方が車両Bより道路から逸脱するケースが多い。左側から飛び出した障害物を回避するため、右方向へ操舵して道路の右側へ逸脱するケースは、車両Aと車両Bであまり変わらない。しかし、障害物回避後の道路左側への逸脱とその後の右側への逸脱は、車両Aの方が車両Bより多くなっている。Fig. 14に、同一被験者の車両Aと車両Bにおける操舵角とヨーレートのリサージュ波形の例を示すが、車両Aは車両Bより操舵に対するヨーレートの遅れが大きいことがわかる。このヨーレートの遅れが、Fig. 13に示した車両特性差による道路逸脱状況の違いと関連すると思われる。

3.2 路面摩擦係数急変時のカーブ路走行試験

後輪の路面 μ を低下させた場合には、適切な操作を行わないと、車体の横すべり角とヨーレートが増大して最終的には車両がスピンするという不安定挙動に陥る。Fig. 7で示した手法で後輪の路面 μ を低下させた場合は、77%がスピンとなった。

後輪路面 μ 低下時のハンドル操作の方向は、全ての被験者がヨーレートが増加する方向と逆方向へ操舵を行っていた。これは、スピンという不安定挙動を回避するドライバーの本質的な操作と考えられる。回避操舵の波形は、Fig. 15に示す3つの操舵パターンに分類される。

操舵パターンAは、定常旋回時の操舵角から反対方向へ操舵した後、数回の切り戻し操舵を行うものである。操舵パターンBは、定常操舵角と反対方向への操舵の後一度だけ切り戻すものである。操舵パターンCは、反対方向の操舵を行った後、その舵角量を保持する場合である。これらの操舵パターンについて、車両がスピンに至らずに道路内を走行できた回避成功割合をFig. 16に示す。回避成功割合は、操舵パターンAが最も大きく、操舵パターンBと操舵パターンCは小さい。

次に、前輪の路面 μ を低下させた場合に路外へ逸脱せずに道路内を走行できた割合は88%で、後輪

の路面 μ を低下させた場合に比べて高い。操舵方向は、ほぼ全被験者が旋回内側へ切り増しして進行すべきカーブ路をトレースしようとする。

4. ドライバ操作挙動データベース

4.1 データベースの構成と機能

3章に示した飛び出し障害物回避試験と路面 μ 変化時のカーブ路走行試験におけるドライバーの操作挙動より、緊急回避操作データベースを構築した。

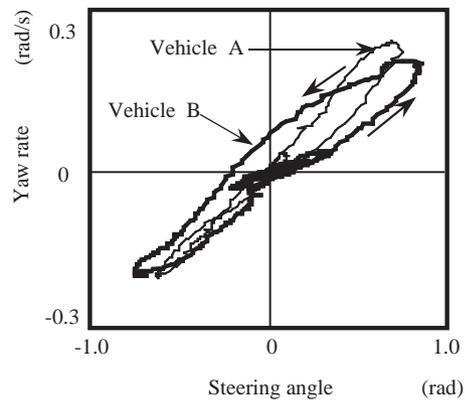


Fig. 14 Lissajous characteristics of the steering angle versus yaw rate.

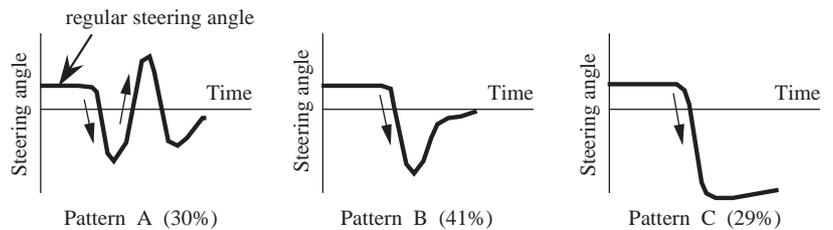


Fig. 15 Steering patterns at the case of rear wheel friction coefficient change test.

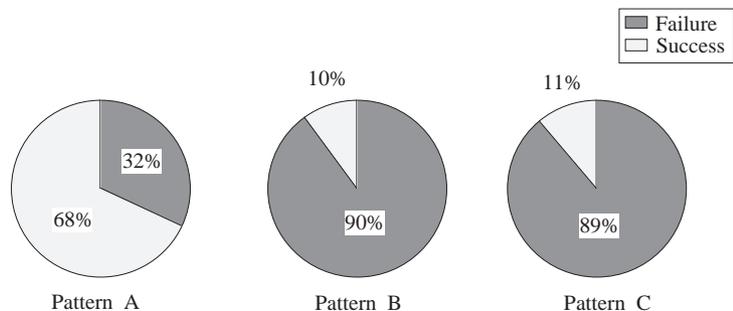


Fig. 16 Success rate at individual steering patterns.

飛び出し障害物回避試験に関するデータは、本稿で報告した20名の被験者を含めた合計97名の1060件を集録し、被験者の性別や回避パターン等の約30項目が整理されている。また、路面 μ 変化時のカーブ路走行試験に関するデータは、90名の被験者の483件を集録している。この場合の整理項目は約70である。

このデータベースは、パーソナルコンピュータの2つのオペレーティングソフト (MacOSとWindows95) 上で作動するMicrosoft社のソフトウェアExcelを使用して構築した。GUI (Graphical User Interface) を基本とした操作により利用できる。また本データベースには、使用上の注意事項や集録データの試験方法等も記載している。

データベースは、集録データを指定した条件で絞りこむ検索部分と検索されたデータをグラフ化する後処理部分から構成されている。検索部分では、被験者の性別や回避パターン等の項目を指定し、該当するデータを抽出する。抽出されたデータを更に絞りこむこともできる。後処理部分では、検索により抽出されたデータから、次の5つ処理と処理結果のプリンタへの出力を行う。

- (1) 散布図作成：X軸項目とY軸項目の関係を散布図で表示する。Y軸項目は、3種類を選択できる。
- (2) 円グラフ作成：被験者の性別等の予め決まっている項目について、その割合を円グラフで表示する。
- (3) 統計処理：データの平均や分散等を計算し、その結果を表示する。ここでは4種類までの項目を一度に指定することができる。
- (4) ヒストグラム作成：指定項目の個別頻度と累積頻度分布を計算し、結果を表と棒グラフにて表示する。
- (5) ファイル名の保存：検索データのファイル名を、別のファイルに保存する。これは、そのファイル名に対応する時間軸波形の検討を行う場合に使用する。

4.2 データベースの操作方法と使用例

Fig. 17に、本データベースで行う処理の流れを示す。緊急回避操作データベースは、[DB in Avoidance]ファイルをダブルクリックするかExcel

からファイルを開くことによって起動する。起動時の初期画面をFig. 18に示す。この画面で、『Run Out』か『Curve』を選択して、飛び出し障害物回避試験あるいは路面 μ 変化時のカーブ路走行試験データの検索やデータの後処理を行う。検索や後処理の操作方法は、2つの試験とも同様なので、本稿では飛び出し障害物回避試験結果を解析するデータベースの操作方法を示す。

Fig. 18で『Run Out』を選択すると、飛び出し障害物回避に関するデータの検索や後処理に移行する。『Read Me First』ボタンをクリックすると、本

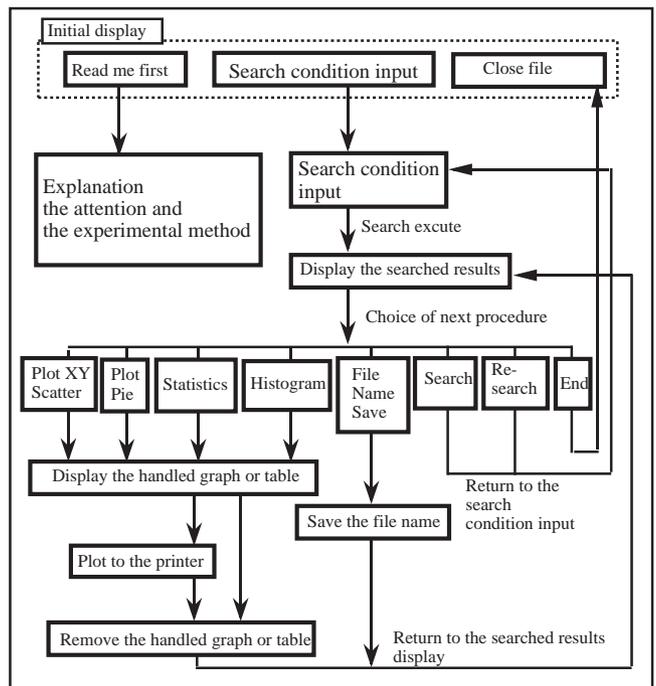


Fig. 17 Flow chart of process in constructed database.

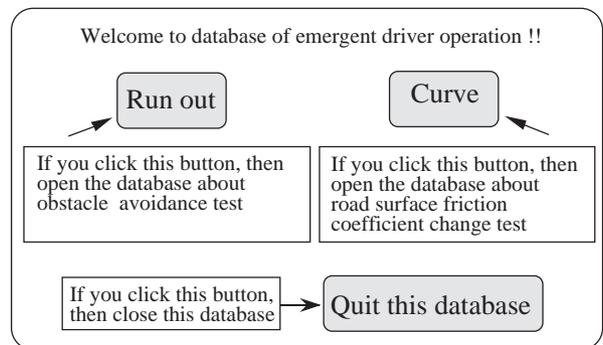


Fig. 18 Initial display.

データベースシステムの構成や注意事項，集録したデータの試験方法およびデータ項目の説明を見ることができる。

データの検索は，『Search』ボタンをクリックしてFig. 19の検索条件入力ダイアログで条件を入力して行う。検索条件の入力し同図右上の『OK』ボタンをクリックすると，検索条件に該当するデータが検索され，Fig. 20に示すようなデータが表示される。Fig. 20には，検索されたデータの他に，追加検索を行う『Search』および再検索を行う『Re-search』ボタンと，後処理を選択するボタン（『Plot XY Scatter』，『Plot Pie』，『Statistics』，『Histogram』，『Filename save』）も表示される。追加検索と再検索の操作方法は，検索と同様である。

散布図作成は，Fig. 20の『Plot XY Scatter』を選択して，X軸項目とY1軸からY3軸項目を入力して行う。円グラフ作成は，Fig. 20の『Plot Pie』を選択し，予め決まっている文字列データ項目を指定

して行う。統計処理は，Fig. 20の『Statistics』を選択し，4項目までを指定して行う。ヒストグラム作成は，Fig. 20の『Histogram』を選択し，Fig. 21のダイアログで項目を指定して行う。Fig. 22は，ヒストグラム処理の例である。ファイル名保存は，Fig. 20の『Filename save』を選択し，保存するファイル名や形式，保存先を指定して行う。

5. まとめ

運転環境模擬装置を用いて障害物が突然飛び出す場合とカーブ路を走行中に路面の摩擦係数が急変する緊急状況を設定し，一般ドライバーの運転挙動調査と操作挙動データベースを構築した。得られた主な知見を以下に記す。

(1) 障害物が飛び出すことを全く予期できないような状況では，ほとんどの被験者はブレーキ操作のみによる制動回避を行う。障害物が飛び出し始めてからのブレーキ操作を行うまでの制動反応時

		OK	Cancel
1.name(1-101)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	14.first_reaction_time(sec) <input type="text"/>
2.age	<input type="text"/>	<input type="text"/>	15.lead_time(sec) <input type="text"/>
3.sex	<input type="text"/>	<input type="text"/>	16.lead_distance(m) <input type="text"/>
4.number	<input type="text"/>	<input type="text"/>	17.max_ma(deg) <input type="text"/>
5.S&B_pattern	<input type="text"/>	<input type="text"/>	18.max_ma_vel(km/h) <input type="text"/>
6.judgement	<input type="text"/>	<input type="text"/>	19.max_brake_stroke(%) <input type="text"/>
7.runout_time(sec)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	20.mean_decel_obstacle(m/sec ²) <input type="text"/>
8.runout_X_point(m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	21.mean_decel_min_vel(m/sec ²) <input type="text"/>
9.runout_Y_point(m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	22.max_decel(m/sec ²) <input type="text"/>
10.vehicle_vel(km/h)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	23.max_decel_time(sec) <input type="text"/>
11.accel_reaction_time(sec)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	24.stop_before_obstacle <input type="text"/>
12.ma_reaction_time(sec)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	25.max_brake_stroke_vel_time(sec) <input type="text"/>
13.brake_reaction_time(sec)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	26.max_brake_stroke_vel(m/sec) <input type="text"/>

Fig. 19 Dialog of search condition input at obstacle avoidance database.

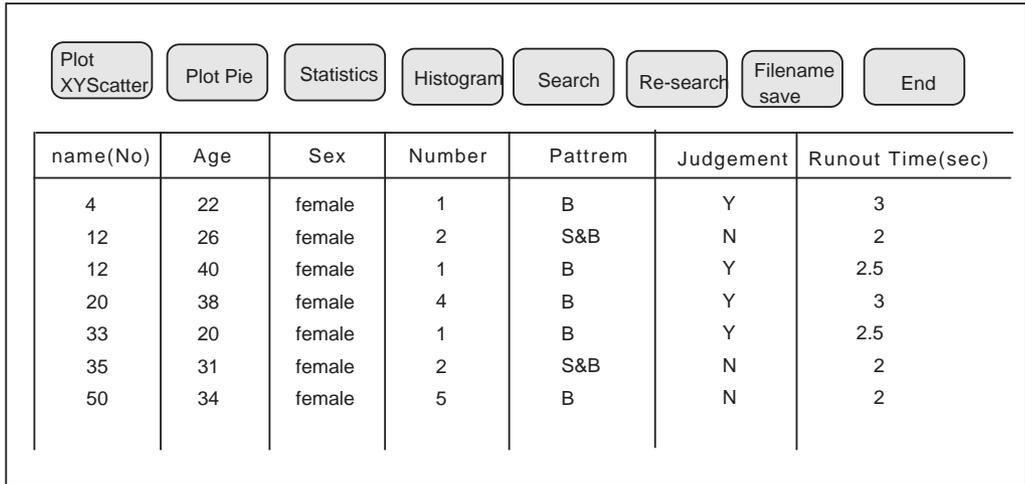


Fig. 20 Display of searched results at obstacle avoidance database.

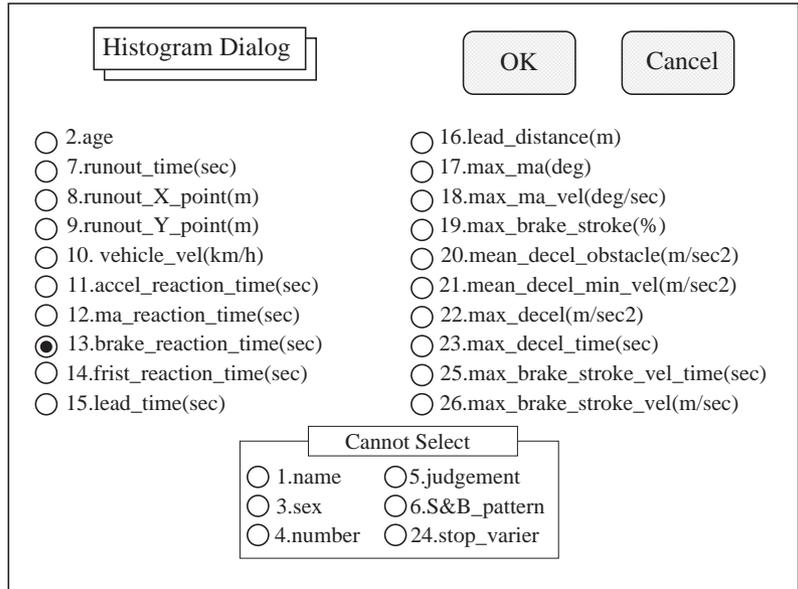


Fig. 21 Dialog of histogram item input at obstacle avoidance database.

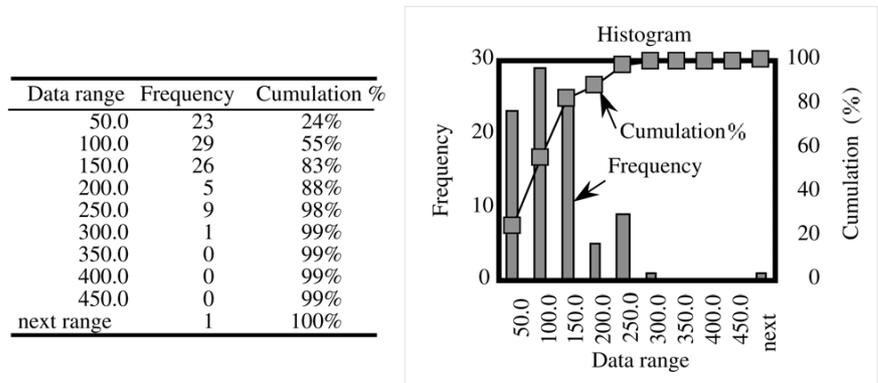


Fig. 22 An example of histogram results at obstacle avoidance database.

間の平均値は、若年で約1秒であり、壮年は若年より更に0.25秒遅れる結果となった。また、操舵に対してヨーレートのゲインが高く位相遅れの小さな車両の方が、障害物回避後に路外へ逸脱するケースが少なかった。

(2) カーブ走行中に後輪の路面 μ を低下させスピン挙動を誘発させた場合には、全ての被験者は車両姿勢を安定化させようとする旋回外側への操舵を行い、前輪の路面 μ を低下させドリフト挙動を誘発させると、旋回内側へ切り増し操舵を行うことが確認された。

(3) 運転環境模擬装置を用いた上記2種類の試験で得られた一般ドライバーの運転挙動について、緊急回避操作データベースを構築した。このデータベースには、180人以上の1500件を越える試験結果が集録されており、被験者の性別や試験条件等に応じて必要なデータを検索することが可能である。このデータベースは、人間・自動車系として回避性能を評価する時のドライバモデルのパラメータ設定等に利用している。

参考文献

- 1) 交通事故統計年報平成7年版, (財)交通事故総合分析センター
- 2) 前田公三: "夜間交通事故の実態の解明", 自動車技術, 49-9(1995), 78
- 3) 上山勝, 他3名: "自動記録装置による交通事故発生メカニズムの研究", 自動車技術会学術講演会前刷集, 956, (1995), 37
- 4) 山本敦: "マンーマシン系を考慮した事故回避性能の向上", 自動車技術, 49-12(1995), 10
- 5) 筒井悟, 米川隆: "緊急時のドライバ特性", 自動車技術会学術講演会前刷集, 956, (1995), 5
- 6) 森山剛, 米川隆: "緊急回避時の車両運動と向上技術", 自動車技術, 49-12(1995), 22
- 7) 名切末晴, 他3名: "ドライビングシミュレータによる一般ドライバーの回避挙動の解析", 自動車技術会学術講演会前刷集, 941, (1994), 17

- 8) 名切末晴: "緊急時におけるドライバ運転挙動解析", 豊田中央研究所R & Dレビュー, 30-3(1995), 67
- 9) 名切末晴, 他3名: "緊急時における一般ドライバーの回避挙動の解析", 自動車技術会学術講演会前刷集, 962, (1996), 161
- 10) 大庭幸夫, 他3名: "予防安全向上にむけて", TOYOTA Tech. Rev., 45-1(1996), 8
- 11) 小島幸夫, 永井正夫: "初心運転者と熟練運転者の運転特性", 自動車技術会学術講演会前刷集, 965, (1996), 189

著者紹介



名切末晴 Sueharu Nagiri
 生年：1956年。
 所属：人間工学研究室。
 分野：予防安全に関する研究。
 学会等：自動車技術会会員。



武井一剛 Kazukata Takei
 生年：1961年。
 所属：人間工学研究室。
 分野：予防安全に関する試験・研究。
 乗り心地や制動時のフィーリングに関する試験・研究。
 学会等：自動車技術会会員。



土居俊一 Shun'ichi Doi
 生年：1947年。
 所属：人間工学研究室。
 分野：車両運動・予防安全および人間機械系解析分野の研究。
 学会等：日本機械学会，計測自動制御学会，自動車技術会会員。
 1985年 IR100選入賞。
 1993年 計測自動制御学会技術賞
 武田賞受賞。
 工学博士。