

運転制御行動とコントロールストラテジ

小口泰平* 沢田東一**

運転者の制御行動特性をある程度定量化することができれば、自動車の第一次安全性や運転者の負担の軽減、さらに創造的な行動をはぐくむような自動車の機能を検討するうえで効果をもつものと思われる。本稿は、人・自動車系における運転者の横運動を対象とした場合の制御行動について概説し、つぎにこの運転制御行動の研究を行なう場合に一つの手段となりうる横運動試験台について述べる。さらにこの装置を用いて制御行動に関する研究の糸口をつかむために行なった運転者のコントロールストラテジの実験結果について述べる。

Man's Control Action and Control Strategy

Yasuhei OGUCHI*

Toichi SAWADA**

It seems that if we could quantity to some extent the characteristics of driver's control actions, it would have an effect on basic automobile safety, lightening the driver's burden, and would allow us to examine the functions of vehicles that promote creative movements.

We are giving an outline of driver's control actions against yawing in man-vehicle systems, and then observing dynamic simulators which can be one of the means when studying driving control actions. Finally, we refer to the experimental outcome of driver's control strategy conducted for the purpose of finding a clue to the study on control action by using this equipment.

1 はじめに

街を走る自動車は、他の交通機械とちがいで、それぞれ個性をもち、その走る様はハンドルを握る人によってずいぶんちがっている。運転者は、いわゆる人・自動車系の中核的存在であるため、運転者の生体機能、欲求や意志、感情などの生理的・心理的な活動状態が自動車の動きに現れてくる。機械としての自動車は、入力に対する出力が確定的な特性をもつものであるが、運転者の行動は不確実に基づく確率特性を含んでいると考えられる。

その場合、工学分野の立場からの興味としては、制御対象である自動車の特性のちがいによって行動や負担がどのように変わるものか、走行環境への適応行動にとって自動車の特性がどうあるのがよいのか、さらに、安全で負担が少ないというようなことだけでなく、クリエイティブな活動、創造的行動をはぐくむような車両の機能や特性はどういうものなのかと

いうことである。デザインのフレームワークづくりの段階や具体的なパラメータの検討段階で、こうした人間の行動特性に投影した評価関数を定量化してとり入れることができれば、第一次安全性の改善、負担の軽減、練習時間の短縮など、いわゆる運転しやすい自動車、クリエイティブな特性をもった興味深い自動車を考えるうえで効果をもたらすものと思う。ここで大切なことは、運転者をあくまでも生身の人間としてあつかうことである。

しかしながら、これらはいい得べくして具体的に評価の定量化を行なうとなると容易でない。まずはこれまで以上に学際的なとりくみによって、たとえ素朴なことであっても、この基本的な人間の運転行動に関する研究を蓄積していくことが当面の課題であろう。ところで、運転行動は人間そのものの活動にかかわる問題であるため、研究目的によってそのとらえ方にちがいがあ

本稿では、人・自動車系における運転者の制御行動に範囲をしばり、その一つの視点について考察する。つぎに具体的なものとして、安定性・操縦性にかかわる制御行動特性の研究やこの制御行動からみたデザインパラメータの適正範囲を実験的にとらえ

* 芝浦工業大学助教授 (自動車工学)
Associate Professor, Shibaura Institute of Technology
** 芝浦工業大学助手 (自動車工学)
Assistant, Shibaura Institute of Technology
原稿受理 昭和54年7月9日

ようとするとき、その一つの手段になりうると考えて開発した横運動試験台（横運動シミュレータ）について述べる。また、これを用いて制御行動の糸口をつかむために、実験したものの一部である運転者の操舵におけるコントロールストラテジなどについて述べることにする。

2 運転制御行動に関する一考察

2-1 運転者の情報処理過程

運転行動という言葉の意味、概念規定は単純ではない。これまで心理学分野でいわれているようなモレキュラー行動とモーター行動に運転をあてはめると、人・自動車系の情報処理を対象とするものは主として前者に属し、これに運転者の欲求や意志などを含め、環境に対する適応を対象とするものは後者に属するものと考えることができるようである。ただし、人間の運転行動をなんのために研究するかによって、とらえかたは微妙にかわってこよう。^{1), 2)}ここで対象としている運転行動は、道路や気象状態などの走行環境を場の条件として、非定常な条件は外乱としてあつかい、人と自動車を組合せたときの運転者の制御行動である。

これまでよくいわれてきたように、運転者は走行環境から視覚や聴覚、運動感覚などによって、さまざまな情報、すなわち意味をもった信号をとり入れ、認知し、短時間で判断し、その判断に基づいて操作を行ない、自動車はそれを受けて所定の運動を行なっていると考えることができる。³⁾この場合、個々の運転者の欲求や感情や意志などはたらしきによって、行動が規定されるシステムを構成している。システムとは「要素の集合で、その要素間あるいは要素の特性の間に相互関係が存在しているものである」とA.D.ホールは定義しているが、この場合要素の一つである人間を制御のための機械としてモデル化したとき、それは街を走る自動車のひとつの側面を意味することになる。

ここで、運転者の情報処理の課程を単純化して考えてみる。感覚器から感覚中枢までを入力系（情報検出系）、感覚中枢と運動中枢の部分を変換系（判断系）、そして、運動中枢から効果器までを出力系（操作系）と呼び、このように分けている。

入力系においては、感覚器を通じての刺激の受容が行なわれ、一般に視覚、聴覚、触覚、圧覚、平衡感覚、運動感覚などが考えられる。これまで視覚に関してよく論じられているが、運転と車両特性に

ついて考える場合、運動感覚や圧覚などについてもっととりあげる必要がある。変換系においては、目標に適合したすばやい判断であるほど能力がすぐれていることになるが、もう少し広げて考える必要がある。

変換系の活動は、便宜的に次の二つの段階に分けてみる。その一つは、たとえば、落ちついてゆったり行こうとか、急いでいるから飛ばそうというような、その時の心によってあやつられる本能行動、情動行動で、これが運転行動の素地になっていると考えられる。その二つは、刻々と変る走行環境に上手に対処していく適応行動と、さらに、よりよく対処しようとする創造的行動である。出力系においては、手や足の出力の大小よりは制御対象に応じた筋の調節がたくみに行なわれるかどうか重要な意味をもつ。

2-2 外乱とその影響

このような過程を経て行なわれる情報処理は、つねにスムーズに行なわれているのであれば、とりたてて述べるまでもないが、人間は機械とちがって融通性もちながら総合的判断や応用、創造などにすぐれた能力をもっている反面、処理過程に反応時間をもち、疲労などによって機能が低下したり錯覚を伴うこともあり、また、種々の外乱によって、ときには思いもよらない制御行動をとることも考えられる。

機械としての自動車は、入力に対する出力が確定的な特性をもつものであるが、これを操る運転者の行動およびその特性は一義的に決まるとは限らない。高速道路などを走行中に突風にあおられたり、路面の突起やうねりなどがきっかけとなって、それまでとちがった挙動をとることがある。心配ごとや怒り、突然のできごとに驚いたりすると普段のスムーズな運転ができなくなることがある。これらは外乱を意味する。

外乱とは、本来もっている能力をまわりから乱すものと定義される。一般には外因性のものを対象にすることが多いが、運転行動における制御についてとらえる場合には、運転者や車両の内因性の外乱の方が問題を含んでいるため、これらを加えて外乱を広義に解釈すると、そのシステムにおける現象を整理するうえで便利である。たとえば、運転者においては、怒りをさそうような割り込み、イライラやあせりをさそう極度の渋滞、げん惑などは心理的、生理的な外因性外乱と考えることができる。内因性外

乱としては心配ごとや疲労、痛み、飲酒などが考えられる。自動車においては、横風や突風、路面の凹凸などが外乱による外因性外乱となり、内因性外乱としてはタイヤのバースト、ブレーキ系やステアリング系の故障などが考えられる。

2-3 横運動制御行動の研究と課題

安定性・操縦性にかかわる運転の内容については、進路変更と進路保持があり、それにはコース追従とコース設定の二つの重要な機能が含まれていると考えられる。コース追従性は主として運転制御に、コース設定は主として運転行動に強くかかわっている。運転中にハンドルを操作して進路を変更する場合、その直接動機はコースの偏差を修正するためではなく、心理ポテンシャルを最小にするような運転行動に基づくものであり、人間の心理状態や道路環境条件のちがいにより、操舵パターンは異なった様式を示すのが普通である。したがって、従来の理論的な数学モデルによる検討にとどまらず、実験の積み重ねによる具体的な解析、そして、最終的には人間を中心にすえた評価が不可欠となる。

これらを対象とした工学分野におけるごく最近の研究をとり上げてみると、車両の運動力学的な面からのアプローチとしては、たとえば、運転者に対する自動車のデザインパラメータの適合性を主として周波数応答により追求した研究^{4),5)}、運転者の負担を軽減し、事故回避能力を改善するために望まれる自動車の応答特性に関する研究^{6),7),8)}、自動車のレスポンスパラメータの主なものについて、運転者にとって制御しやすい領域を明らかにした研究^{9),10)}、自動車のコントローラビリティを考える場合の運転者の応答特性の仮定とその有用性の検討¹¹⁾、シミュレータを用いて自動車のレスポンスパラメータと性能評価項目との相関の検討¹²⁾、コンピュータシミュレーションによりレスポンスパラメータの評価を試みた研究¹³⁾、実走行により横風外乱を受けたときの制御成績とフィードバックへの影響の検討¹⁴⁾、シミュレータを用いて舵の重さと横力外乱と制御成績の関係を論じた研究¹⁵⁾などがある。

運転者の評価の面からのアプローチとしては、自動車のレスポンスパラメータと運転者の制御のしやすさからみた評価の研究^{16),17)}が注目される。運転者の評価尺度には、たとえば、二次タスクを用いることや反応時間テストを用いることが有効であるとする研究も発表されている^{18),19)}。

ここで参考までに、これからの研究課題の例をあ

げると、運転者の情報処理過程に関連したものとして、運転時に自動車の横運動を規定している物理量の何に注目しているのか、たとえばヨーレート、横向加速度、横変位、姿勢角に対する閾値やこれらの重みづけ、運転時のパーソナルスペース、コース設定のストラテジと運転者のカテゴライズ、速度感覚の定量化、危険感の定量化、緊急時における挙動、ブレークアウト時の挙動などが考えられる。

また、制御行動における運転の評価関数、カテゴリージャッジメントの検討、制御成績の評価法の確立、内因性外乱の定量化など大きな問題もある。運転者にとって適正な車両特性を検討するものとして、操舵力や操舵ギヤ比が制御成績、運転行動に及ぼす影響、ステアリングやサスペンションなど各種コンポーネントの特性と運転制御行動との関連、定常応答特性や過渡応答特性の適正な範囲、さらに、創造的な運転行動をはぐくむような新しいサブシステムの検討などがある。これらはいずれもクローズドループとしてあつかわれるものである。

3 横運動試験台について

3-1 概略と主な特徴

このような実験を行なう場合、フィールド実験が理想的であるが、安全性や実験の再現性、計測などの点で困難なことが少なくない。1963年に発表されたドラム式シャシダイナモメータ²⁰⁾は、自動車の運動性能などを研究する本格的な走行試験台としてその道をひらき、その後オディエのドラム²¹⁾も発表されている。運転を模擬するドライビングシミュレータには高速自動車シミュレータ²²⁾やダイナミックシミュレータ²³⁾などがあり、これらは計算機を駆使して車両の重さや走行環境を模擬し、運転者への視覚情報や車両運動のフィードバックをたくみに組み込んでいる。

車両の運動特性、運転者の制御や行動、人間と自動車の適合などを対象とする場合は、車両の運動性能を直接解析できる実車を用いた試験台と生身の人間を組合せ、走行環境はそのときの目的に応じて単純化したモデルをデバイスとして組込むことが効果的であると考えられる。このようなことから、人・自動車系の横運動を対象とした実車を用いる試験台に、運動を模擬するトラッキング装置および横力外乱付加装置を組込んだ横運動試験台²⁴⁾を開発しているのでその概要を述べる。なお、本装置は動力吸取は行なわずに、車両の横運動を模擬していることから、横運動シミュレータと呼ぶこともできよう。

Fig. 1はこの概略図を示す。車両の走行は、車輪の駆動によらずにドラムを駆動して、いわゆる路面が移動することにより相対運動として車両の走行が実現される。本装置の主要部分は、仮装走路を構成しているドラムおよび駆動装置などの本体、車両の姿勢を制御するヨーイングコントロール装置、運転の目標値および追従値の表示と計測を行なうトラッキング装置、制御成績をオンラインで算出する演算装置、横力外乱付加装置などである。

車体の支持方式は、Fig. 1に見られるように新たに開発した直線近似運動リンクを用いている。横方向には車体を支持する中央のボールジョイントが直線運動を行ない、前後方向には車両を拘束することができる。中央部はロッドを上下にオフセットしており、車両のバウンシングに対してもワットリンクとして作動し、上下の拘束もない。車両のヨー運動による負の復元モーメントは復元ばねによって補償される。また、各ボールジョイントの許容作動角は十分大きくとれるため、三軸まわりの運動を拘束することもない。実路走行との近似性は、操舵トルクについてはタイヤ中心をドラム中心に対してオフセットすることにより可能であり、車両のヨー運動は

ヨーイングコントロール装置および車体支持装置の復元ばねによって補償されるため、問題にならない程度に設定することができる。

本装置の主な特徴は、次のとおりである。

- (1)車両の横運動は5mの範囲において自由に行なうことができる。
- (2)人・自動車系に再現性のある外乱を与えることができ、また、運転制御行動などをこまかく観察することができる。
- (3)風や路面状態の変化などの影響を受けないため再現性に富む。
- (4)高速走行時の激しい横運動を安全に行なうことができる。
- (5)限界領域の実験を行なうことができる。
- (6)直径1.2mのドラムを代替路面としているため、タイヤの対路面特性が実路面と完全には一致しない。
- (7)舵角固定は定常状態に限られる。
- (8)空力作用がともなわない。(ただし、横風外乱はモデル化した状態で任意に与えられる。)

3-2 車両動特性の検討例

本装置に車両を搭載して走行させたときの車両動特性を検討するために、数学モデル²⁵⁾による理論計算

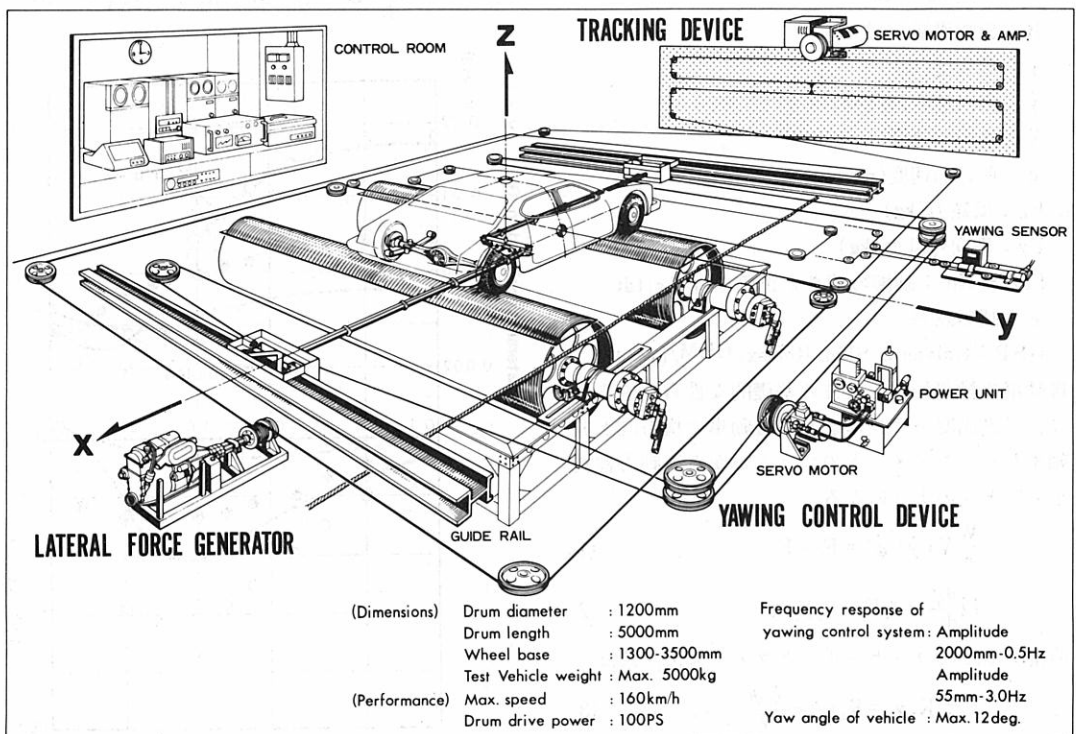


Fig. 1 横運動試験台の全体図
General view of lateral motion simulator

値と実験値を対応させたところ、比較的よく一致している。ここでは、ヨーレート応答と横加速度応答特性について示す。

理論計算および実験値の記号は次のとおりである。

- W : 車両重量(kg)
- l : ホイールベース(m)
- l₁, l₂ : 前後車軸から重心までの水平距離(m)
- I : 鉛直軸まわりの慣性モーメント (kg・m・sec²)
- F₁, F₂ : 前後タイヤのコーナリングフォース (kg)
- k₁, k₂ : 前後タイヤのコーナリングバワ (kg/deg)
- n : ステアリングギヤ比
- α : 操舵角(deg)
- β : 前輪実舵角(deg)
- γ₁, γ₂ : 前後タイヤの横すべり角(deg)
- γ : 重心横すべり角(rad)
- γ̇ : 重心横すべり角速度(rad/sec)
- ψ : ヨー角(deg)
- ψ̇ : ヨーレート(rad/sec)
- SM : スタビリティファクタ(sec²/m²)
- V : 車速(m/sec)
- R : 旋回半径(m)
- y : 横変位(m)
- ẏ : 横向速度(m/sec)
- ÿ : 横向加速度(m/sec²)
- g : 重力加速度(m/sec²)
- F_α : 操舵力(kg)
- F_y : 横向外乱力(kg)
- ITAE No. : 制御の速さと正確さ(∫₀^t |ε| t dt)
- ε : 制御誤差
- GSR : Galvanic Skin Reflex(OHM/OHM)

自動車の横運動応答特性の基礎的な性質をみるために、二自由度モデルにより、自動車の横方向と鉛直軸まわりのモーメントのつりあいから運動方程式を求めると次のようになる。

$$\frac{W}{g} V (\dot{\gamma} + \dot{\psi}) = F_1 + F_2 \quad (1)$$

$$I_z \frac{d\dot{\psi}}{dt} = l_1 F_1 - l_2 F_2 \quad (2)$$

前後タイヤのコーナリングフォース F₁, F₂ は、

$$F_1 = K_1 \gamma_1 = K_1 (\beta - \frac{l_1 \dot{\psi}}{V} - \gamma) \quad (3)$$

$$F_2 = K_2 \gamma_2 = K_2 (\frac{l_2 \dot{\psi}}{V} - \gamma) \quad (4)$$

となる。これらを(1)(2)式に代入して整理すると、

$$\frac{W}{g} \cdot V \cdot \dot{\gamma} = \left(-\frac{W}{g} \cdot V - \frac{K_1 l_1 - K_2 l_2}{V} \right) \dot{\psi} - (K_1 + K_2) \gamma + K_1 \beta \quad (5)$$

$$I_z \frac{d\dot{\psi}}{dt} = -\frac{K_1 l_1^2 + K_2 l_2^2}{V} \dot{\psi} - (K_1 l_1 - K_2 l_2) \gamma + K_1 l_1 \beta \quad (6)$$

横向加速度 ÿ = V (γ̇ + ψ̇) であるため

$$\frac{W}{g} \ddot{y} = -\frac{K_1 l_1 - K_2 l_2}{V} \dot{\psi} - (K_1 + K_2) \gamma + K_1 \beta \quad (7)$$

ここで、操舵角入力に対する車両の動特性を伝達関数によって表すために、これら運動方程式をベクトル形式で表示し、ラプラス変換を行なって、操舵角入力に対するヨーレートおよび横向加速度の伝達関数を求めると次のようになる。

$$\frac{\dot{\Psi}(S)}{A(S)} = \frac{\frac{K_1}{n} \left(\frac{W}{g} l_1 S + \frac{K_2 l}{V} \right)}{I_z W S^2 + \frac{1}{V} \left\{ (K_1 + K_2) I_z + (K_1 l_1^2 + K_2 l_2^2) \frac{W}{g} \right\} S + \frac{K_1 K_2 l^2}{V} (1 + SMV^2)} \quad (8)$$

$$\frac{\ddot{Y}(S)}{A(S)} = \frac{\frac{K_1}{n} (I_z S^2 + \frac{1}{V} K_2 l_2 l S + K_2 l)}{I_z W S^2 + \frac{1}{V} \left\{ (K_1 + K_2) I_z + (K_1 l_1^2 + K_2 l_2^2) \frac{W}{g} \right\} S + \frac{K_1 K_2 l^2}{V} (1 + SMV^2)}$$

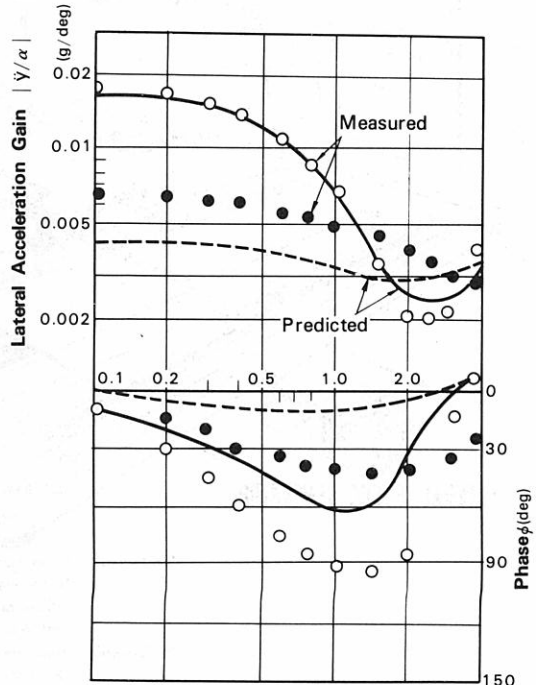


Fig. 2 ヨーレート周波数応答の検討例
Yaw rate frequency response

$$\frac{W}{g} \left\{ S + \frac{K_1 K_2 \ell^2}{V} (1 + SMV^2) \right\} \quad (9)$$

この式(8)、(9)を用いて周波数伝達関数を求め、実験値との比較を行なった結果をFig. 2、Fig. 3に示す。

Fig. 2は、車速40、80km/hにおけるヨーレートゲインと位相の関係であり、Fig. 3は同様の車速における横向加速度ゲインと位相の関係を表している。いずれの場合も実線および破線は理論計算値であり、点は実験値を表している。とくに位相に関しては、操舵周波数が大きくなるにつれてその差が目立つが、

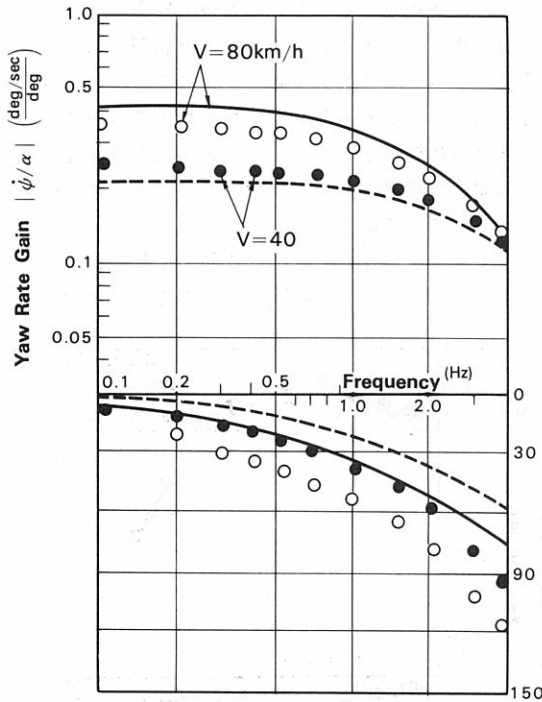


Fig. 3 横向加速度周波数応答の検討例
Lateral acceleration frequency response

これは単純化した二自由度モデルであることや操舵系の剛性の影響が現れているものと考えられる。また、実際の運転においては操舵周波数1.0Hz附近までが対象となると考えてよい。したがって、以上のことを考慮すると、本装置における動特性の取扱いは十分許容されるものと思う。

4 コントロールストラティジに関する実験

4-1 目的

前述したように、運転者の制御行動は生理的、心理的な活動状態が自動車の動きに現れることは容易に想像できるところである。まして、運転の条件を設定された場合とそうではない場合とでは自動車の動きは変わる。高速道路を直進する場合でも、一本の線を引いて、その線上を走るように指示された場合と、ある車線幅を与えられて、その車線内において自由に走行する場合とでは、制御行動にちがいがでてくる。現実の運転は限られた車線幅ではあるが、それぞれの運転者はその車線内において、なんらかのコントロールストラティジをもって制御しているものと思われる。

そこで、横運動（直進走行もハンドル操作によって実現しているため横運動に含まれる）における運転者の制御行動の一例として、高速道路を走行するとき、また自動車が横力外乱を受けたとき、そして、車両特性としての操舵力ゲインの差異（位相は一定）によって、幅広い層の運転者はそれぞれどのようなコントロールストラティジをとるものかを実験的に検討する。すなわち、①いわゆる未熟な運転者、熟練運転者の制御のちがいを、②ハンドルの重さのちがいによる制御への影響、③横風外乱を受けたときの制御への影響、④制御成績にあらわれない運転者の負担を、生体反応によってとらえることができるものなのか、を調べようとするものである。

Table 1 Subjects

Subject*	Age	Driving experience (Yrs.)	How often use a car	Occupation
Sub. A ₁	34	12	Every day	R&D test driver of an auto manufacturer
Sub. A ₂	42	22	"	"
Sub. B ₁	24	4	Every day	Graduate student
Sub. B ₂	21	2	Sometimes	College student
Sub. B ₃	35	14	Every day	Lecturer (University)
Sub. B ₄	28	7	Rarely	Assistant (University)

*All subjects are males.

4-2 実験条件

Subject は、Table 1 に示すように、免許歴、運転の頻度、運転テクニックに対する評判などを考えあわせて6名の男性を選んでいる。いわゆる下手なドライバーからテストドライバーまで幅広い層を対象とした。

供試車両は、ラック&ピニオン式パワーステアリングの小型車両を用いている。このパワーステアリングは、パワアシスト量を3種類に設定できるようになっている。SE type I は重いハンドル、SE type III は極めて軽いハンドル、SE type II はその中間である。この3種類の操舵力特性は、操舵角周波数に対する操舵力ゲインで示すとFig. 4 のようになっている。そして、いずれの操舵力特性の場合も車両のヨー応答特性、横加速度応答特性はFig. 5、Fig. 6 のように同一に保たれている。

横向外乱は、Fig. 1 に示した横力外乱附加装置により、Fig. 7 に示すような横力を車両の空力中心附近に加えらる。

種々のデータは、データレコーダに記録したあと、デジタルコンピュータで処理している。制御成績をあらわすITAE No. は計測と同時にオンラインで計算される。

4-3 実験結果と考察

Fig. 8 は、各Subject の特性を知るために、高速道路の直線部を自由に走行しているときを想定した

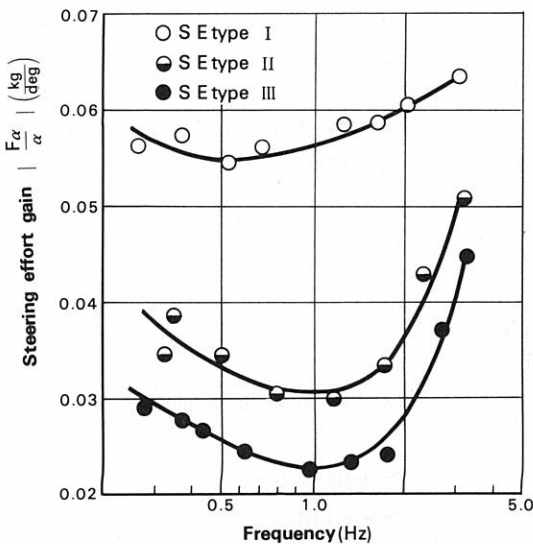


Fig. 4 供試車両の操舵力周波数応答
Steering effort frequency response of test vehicle

場合の車両の横変位と操舵角の関係を調べたものである。実験は、移動可能なガードレールで2.6m、4.6mの車線幅を規制し、車速は100km/hに相当する車両の動特性に設定し、車両の操舵力特性はSE type Iを用いている。車線幅(4.6m)に余裕がある場合は、車両の横変位は運転者によってその差が大きい、車線幅(2.6m)がせまくなると、その差は少なくなる。

この事実は運転者による横変位の感知能力の差ではなく、運転者の横変位に対する許容幅をどのように定めているか、という意志にかかわっていることをうかがわせる。

また、熟練運転者はコース追従の場合は、コースからの横ずれが少ないほどすぐれた制御であるとするとき、コースずれは極めて少なくなる。コース設定の場合、すなわち与えられた車線内を自由に走行するときは操舵をひかえて、与えられた車線幅を有効に使い、車両の激しい運動を避けようとする行動がめだっている。

Fig. 9 は、車線幅がせまい場合の直進自由走行のとき、すなわちコース設定の場合の操舵角のパワ

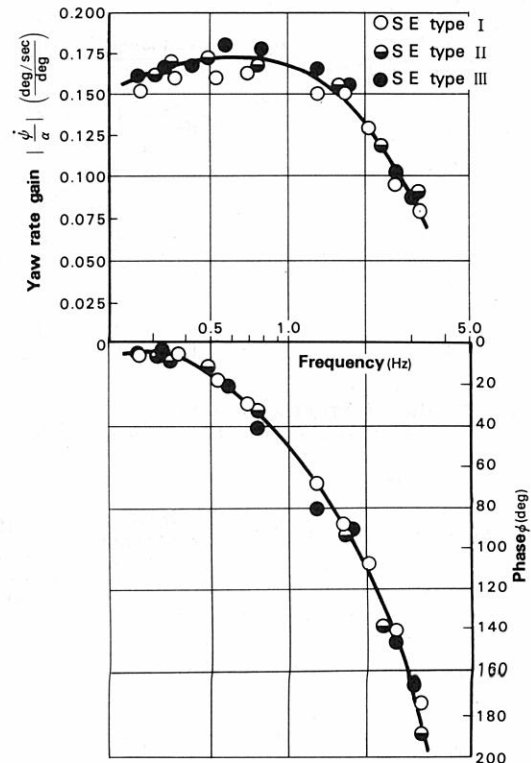


Fig. 5 供試車両のヨーレート周波数応答
Yaw rate frequency response of test vehicle

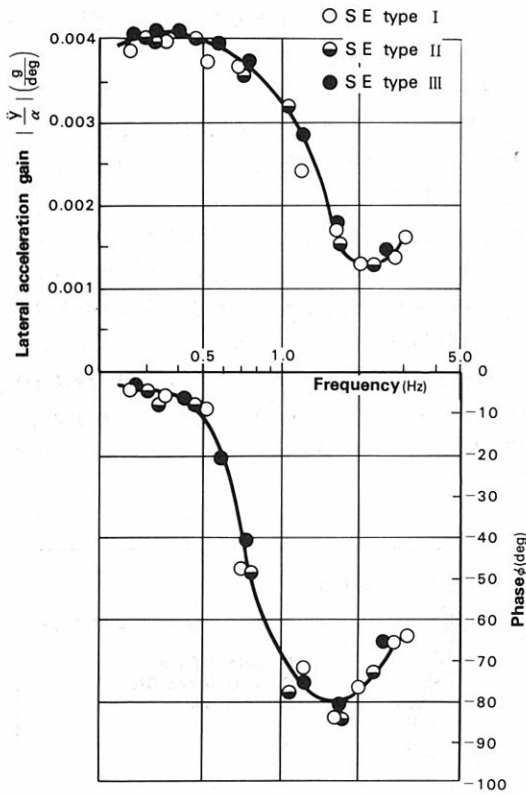


Fig. 6 供試車両の横加速度周波数応答
Lateral acceleration frequency response of test vehicle

ベクトル密度を示す。このようにハンドルが極めて軽い場合は、大きな舵角で進路を修正する運転者ほどせわしいハンドル操作となる。いわゆる未熟運転者はその傾向が顕著である。

次に、高速道路を走行中に横風に遭遇したときを想定して、各Subject がどのようなコントロールストラテジをとるものかを調べた実験結果の一例を示す。Fig. 10は、予告なしに横力外乱附加装置により、L F Level I の横力外乱を加えたときの操舵角と横変位の時間的推移を示したものである。なお、車両の操舵力特性は S E type I である。

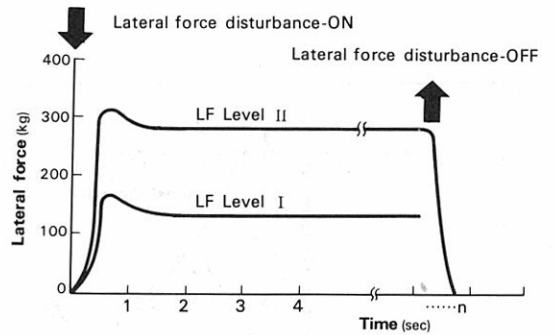


Fig. 7 横力外乱のパターン
Lateral force disturbance

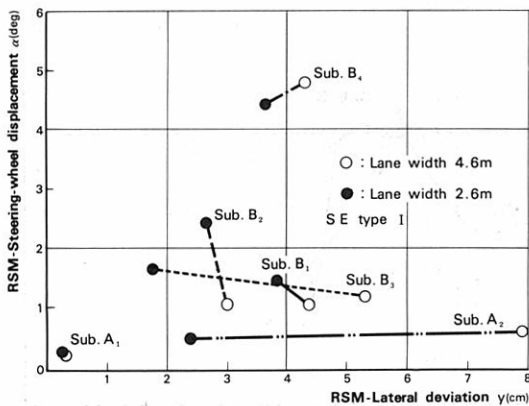


Fig. 8 直進自由走行における横変位と操舵角
Steering-wheel displacement versus lateral deviation during straight running

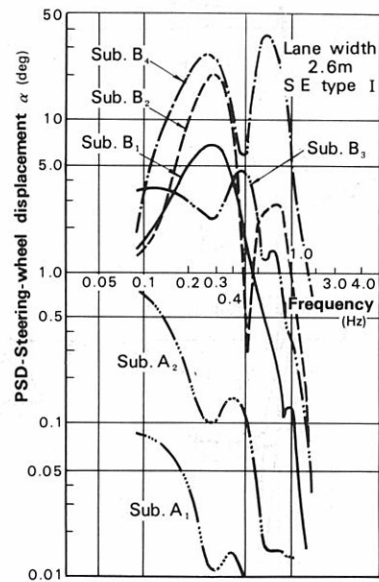


Fig. 9 直進自由走行における操舵角のパワスペクトル密度
Power spectral density of steering wheel displacement during straight running

この実験の範囲内では、横力外乱時の操舵のコントロールストラテジは巨視的にみると三つのタイプに分けられる。Sub.タイプIは、横変位をゆるして、ハンドルを急いで切ることをしないで、ヨー角にまどわされずに、車両の横変位の動向をみながらむだのないハンドル操作をするタイプである。Sub.タイプIIは、横変位をおさえようとして、せわしくハンドルを切るが、横変位のおさまりは決してよくなく、むだのおおいタイプである。Sub.タイプIIIは、ヨー角にまどわされ、急いで、しかもハンドルをせわしく大きく切って、なおかつ横変位をおさえきれないタイプである。

以上は主として運転者のコントロールストラテ

ジについて調べたものであるが、次に、運転者にとって好ましい車両の操舵力特性とはどのようなものを調べる実験結果の一例を示す。

実験は、定値制御の直進走行中に、予告なくFL Level IIの横力外乱を加え、運転者の生体反応（本実験ではGSRを用いている）が平常に戻ったことを確認したあと、予告なく横力外乱を取り除く。いずれの場合も運転者は、できるだけやく車両を定位置に復帰させることが要求される。車両の操舵力特性は3種類を対象としている。

Fig.11はSEtype I、II、IIIについて、横力外乱ON、OFFの5回の繰り返しの制御成績とその平均を、ITAEN₀により各Subjectごとに示したものである。

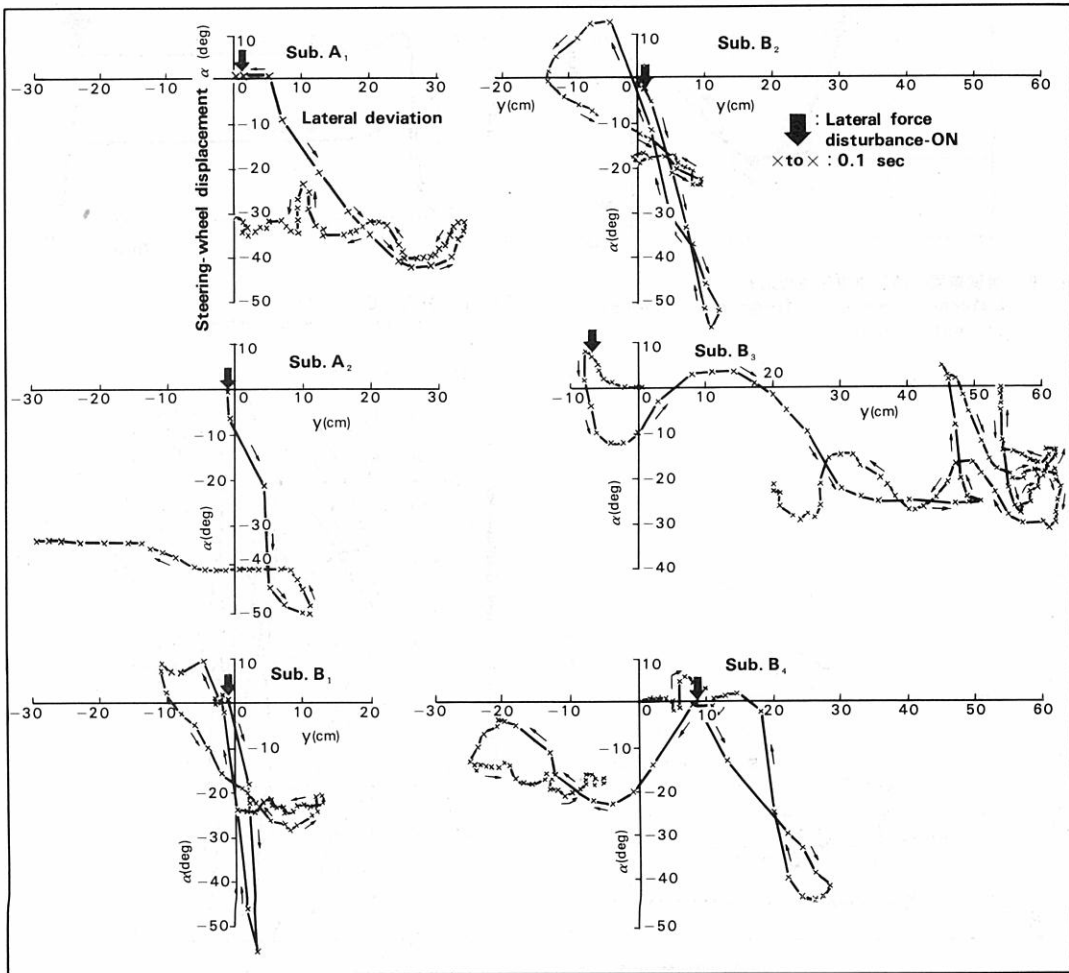


Fig. 10 横力外乱附加後の操舵角と横変位の推移
Time history of steering-wheel displacement versus lateral deviation of vehicle during lateral force disturbance applied

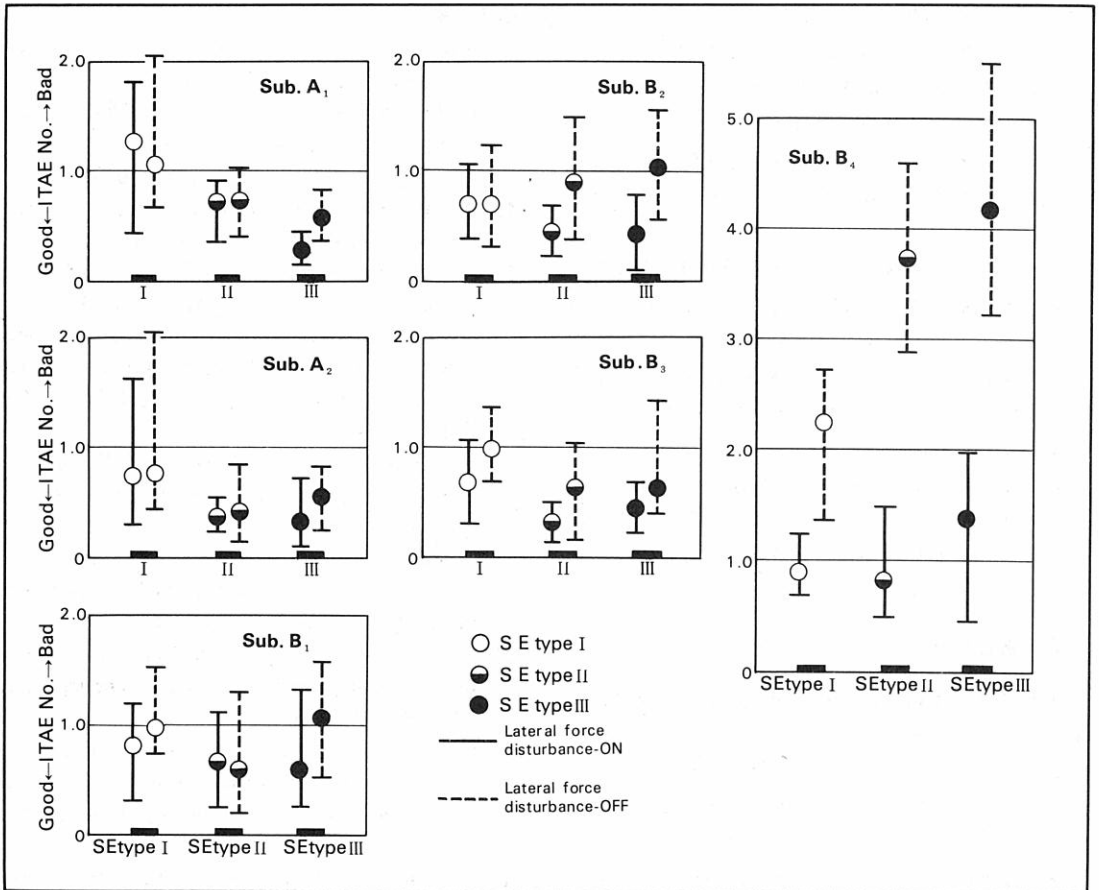


Fig. 11 横力外乱附加、除去時の制御成績
Tracking performance during lateral force disturbance applied and after removed

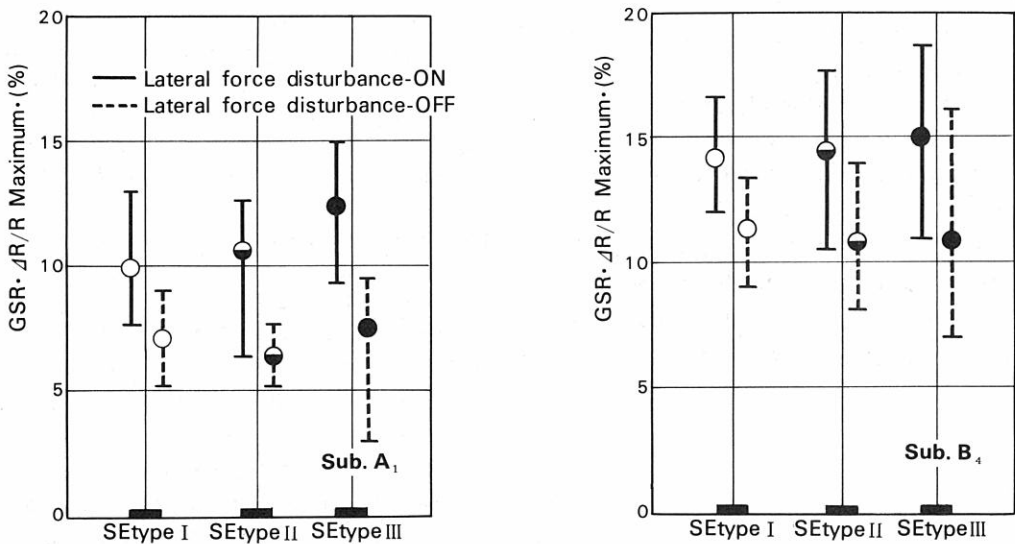


Fig. 12 横力外乱附加、除去時の運転者のGSRの変化
Changes of GSR during lateral force disturbance applied and after removed

横力外乱ONとOFFとの成績を比較すると、熟練ドライバー (Sub. A₁, A₂)には大きなちがいはみられないが、特にSub. B₄は横力外乱がOFFのときに著しく劣っている。操舵力の影響は、未熟ドライバーほど軽すぎるハンドルは制御成績を悪化させることをうかがわせる。熟練ドライバーは成績でみる限りこの傾向はない。

Fig. 12はこの実験でのSub. A₁とSub. B₄のGSRの変化率の最大値を、その平均値とともに示したものである。未熟ドライバーは操舵力があまり軽くなるとFig. 11にみられるように横力外乱を受けたときの制御成績が低下し、かつ心理的緊張も増大することがわかる。熟練ドライバーはFig. 11にみられるように、むしろ操舵力が軽いほど成績がすぐれているが、Fig. 12にみられるように、実は心理的緊張を増していることがその裏にかくされていると考えてよいようである。

5 あとがき

運転者の横運動における制御行動は、巨視的にみるといくつかのタイプに分けられそうであり、また、コントロールストラテジは一見まちまちのようにみえても、ある程度の解析は可能のように思われる。コントロールストラテジの実験にみられるように、たとえば熟練ドライバーは、車両の特性が変わっても、それに柔軟に適用できる制御メカニズム、車両の運動を正確にコントロールするすぐれたフィードバック制御能力、プログラム制御能力をそなえている。しかし、一方では心理的負担がそのかげにかくれていることが推察される。

ここでは、こうした制御行動と車両特性の関連について、ごくわずかな糸口をつかむ程度にとどまったが、学際的土壌を育み、より本質にきりこむことが今後に残されている課題のように思われる。

おわりにあたって、本稿のコントロールストラテジに関する実験に際し、種々御協力を賜った本田技術研究所主任研究員佐野彰一氏、古川修己氏、本学講師中谷弘能氏に深く感謝します。

参考文献

- 1) 平尾：人間のかかわる機械系のシーケンス制御、日本機械学会誌、Vol.77, No.671, 1974
- 2) 長山：運転行動に関する最近の研究動向、自動車技術会誌、Vol.29, No.2, 1975
- 3) 井口：人間・機械系、共立出版、1969
- 4) M. Mitschke: Kraftfahrzeug-Fahrer-aktive Sicherheit, No.4-6, FISITA 16th Tokyo, 1976
- 5) M. Mitschke: Wichtige Daten für die Kurshaltung von Kraftfahrzeugen, 80-6, ATZ, 1978-5
- 6) S. Tsuchiya et al.: Some experimental and theoretical analyses on the disturbed motion of vehicle as a closed loop system, No.4-7, FISITA 16th Tokyo, 1976
- 7) 土屋ほか：ドライバー操舵特性と事故回避性能について、自動車技術会学術講演会前刷集、1976-7
- 8) D. McRuer, R. Klein: Effects of automobile steering characteristics on driver/vehicle performance for regulation tasks, SAE Paper, 760778
- 9) D.H. Weir, R.J. DiMarco: Correlation and evaluation of driver/vehicle directional handling data, SAE Paper, 780010
- 10) D.H. Weir, R.J. DiMarco, D.T. McRuer: Evaluation and correlation of driver/vehicle data, Vehicle System Dynamics, Vol. 1 Summary report, PB-278 068/1GA, 78-12, 1978-6
- 11) K. Yoshimori: Vehicle controllability and human response characteristics, SAE Paper, 760780
- 12) B.S. Repa et al.: Study of vehicle steering and response characteristics in simulated and actual driving, SAE Paper, 780011
- 13) S.L. Chiang, D.S. Starr: Using computer simulation to evaluate and improve vehicle handling, SAE Paper, 780009
- 14) 杉本ほか：高速道路における人間-自動車系の横風応答測定、自動車技術会論文集, No.14, 1978-3
- 15) Y. Oguchi, H. Satoh, S. Sano, H. Nakaya: Experimental facility for examining lateral motion of motor vehicles and research in control strategies using the facility, FISITA 17th, No.1.5.4, 1978-6
- 16) 安部, 平尾：人間-機械系の評価に関する研究、東京大学生産技術研究所報告、第25巻、第3号、1976-1
- 17) W. Bergman: Relationships of certain vehicle handling parameters to subjective ratings of "ease of vehicle control", FISITA 16th Tokyo, 1976
- 18) W.W. Wierwill, J.C. Gutmann: Comparison of primary and secondary task measures as a function

- of simulated vehicle dynamics and driving conditions, *Human Factors*, Vol. 20, No.2, 1978-4
- 19) H. Laurell, H.O. Lisper: A validation of subsidiary reaction time against detection of roadside obstacles during prolonged driving, *Ergonomics*, Vol. 21, No.2, 1978-2
 - 20) O. Hirao et al.: Versuche an Kraftfahrzeugen auf dem Prüfstand, *ATZ*, Vol. 68, No.1, 1966
 - 21) J.A. Odier: Conception et étude d'une nouvelle machine d'essai simulant la tenue sur route d'une automobile, 12^e Congrès de la FISITA, Barcelone, Mai, 1968
 - 22) 菊地ほか：高速自動車シミュレータの開発とその利用法，機械技術研究所報告，第89号，1976
 - 23) W. Lincke et al.: Simulation and Measurement of Driver Vehicle Handling Performance, SAE Paper, 730489
 - 24) 小口ほか：人・自動車系の横運動安全性に関する研究（第2報横運動シミュレータについて），芝浦工大工学研究所報告，第16号，1976
 - 25) A. Watari: Lateral Stability of an Automobile, Report of the Institute of Industrial Science the University of Tokyo, Vol. 24, No.6, 1975