

## ヒューマンダイナミクスを考慮した車両評価

土居俊一

## Vehicle Dynamics Performance Evaluations Through Human Dynamic Properties

Shun'ichi Doi

## 1. まえがき

車両をとりまく環境への厳しい認識とともに、省エネルギーや軽量化に加え、車両の安全性や快適性の向上が望まれている。そして、最近の車両の高性能化に伴い、予防安全性や乗り心地、すなわち、運転のし易さとか乗り易さ<sup>1)</sup>といったドライバや乗員の感性に訴える微妙な性能特性が特に重要となっている。このような背景のもとに、車両の基本運動や振動性能の設計および評価においては、操縦性、安定性をはじめとする車両運動性能とともに、車両応答に対応して操作するドライバの運転操作挙動をも考慮する必要性が生じている。また、走行時の快適性に関連する乗員への運転負担の少なさ等の評価には熟練ドライバのみならず一般ユーザーによる評価<sup>2)</sup>に代表されるような官能評価やその評価の基準としての感覚特性を考慮

しなければならない。

一方、この分野における研究は、自動車発達のごく初期からそれぞれの時代の技術を背景にたゆまず続けられてきている<sup>3)</sup>。そして、ここでは、Fig. 1に示すように、車両走行時の人間の動的特性、いわゆるヒューマンダイナミクスを反映した評価の考え方が必要になる。車両の操縦性<sup>4,5)</sup>を例にとると、運転姿勢を考慮したドライバの操作性と車両の運動特性を踏まえ、マンマシン系とみなした特性設定がなされなければならない。すなわち、車両と人間特性を一体化した人間・自動車系の立場より運動性能の評価や設計が望まれている。

上記の観点から、ここではまず車両におけるヒューマンダイナミクスの現状を述べ、人間特性を含めた各種車両制御を概観する。最後に、人間自動車系評価解析としての現状課題と今後の展望について概説する。

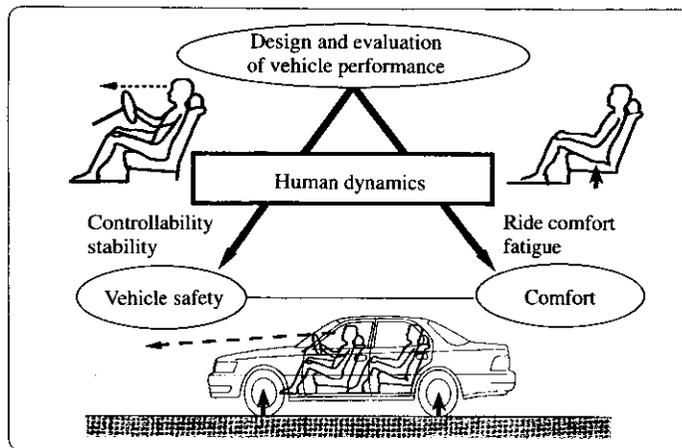


Fig. 1 Background for human dynamics study.

キーワード

車両運動評価, 人間動特性, 運動・振動制御, 人間自動車系

## 2. 車両におけるヒューマンダイナミクス

### 2.1 マンマシンシステムとしての車両特性

自動車は人間の操作による移動機械であるので、マンマシンシステムのいわば典型である。また、このシステムは、走る、曲がる、止まるといった基本性能に加え、快適に走る、意のままに操るといったいわば感性的な性能が要求される。したがって、マンマシンシステムの評価には、人間の五感の静特性（感度）およびヒューマンダイナミクスすなわち動特性の把握が前提となる。

ヒューマンダイナミクスという表現は、広くはスポーツ医学から工学にかけて、人の握る、廻すといった操作や、走る、跳ぶといった行動の特性、あるいは人体そのものの動揺や振動特性のような能動的および受動的人間行動の力学特性を示すもので、人間の動きの滑らかさやしなやかさの評価においても使われている特性である。ここで、走行時の車両において考えると、車両へは路面からの外乱入力はもちろんのこと、走行環境からの入力としてドライバの視覚情報<sup>6-10)</sup>、車両の動きに関する体全体あるいは部分的な体感等の入力に対して、ドライバは総合的に認識・判断し、また車両として操縦制御される。したがって、ここでのヒューマンダイナミクスとは、ピークルダイナミクス、すなわち、車両の動特性と対に論じられ、車両運動や振動に対するドライバや乗員の能動的あるいは受動的応答特性として位置付けられる。

### 2.2 ドライバの動作と車両運動性能

マシンとしての車両を能動的に操作する特性は、Fig. 2に示すように、基本性能としての駆動、操舵、制動時の運動性能と密接に関連して評価されている。これらの個々の装置の発達はめざましいものがあり、とりわけ、車両のブレーキやハンドリング性能、走行安定性などの予防安全性能はドライバの操作のしやすさに関連し、自動車のヒューマンインターフェイスに関する研究として広く実施されてきた<sup>11)</sup>。

一方、自動車の運動の操縦性や乗り心地の性能向上は、最近では種々の運動および振動制御装置の開発研究が盛んとなり、従来の受動的装置の能動化

をはじめ能動的装置すなわちアクティブ制御が導入されてきている<sup>12)</sup>。アクティブ制御の対象としては、駆動系<sup>13,14)</sup>、操舵系<sup>15,16)</sup>、懸架系<sup>17-21)</sup>、制動系などがある。自動車にアクティブ制御を適用することによって、路面に対するタイヤの摩擦力を最適に組み合わせ自動車単独の運動性能や限界性能を高め、さらに低周波の姿勢変動から乗り心地に関する振動の低減を図り、そしてドライバと自動車との自動車操縦系の閉ループ系に関する運動の安定性を高めることが可能となる。

### 2.3 乗員の振動感受性と乗り心地性能

乗員の走行時の快適性、乗り心地に関する研究は、航空機の乗り心地や鉄道の振動の研究と相前後して行われ、人間の振動の感受特性を含めた評価検討が積み重ねられてきている<sup>22-31)</sup>。一般的な振動評価基準は、国際標準化機構による規格<sup>32)</sup>により、上下振動の加速度および前後左右の加速度について定められている。すなわち、人間の振動感受特性が、4~8Hzの上下振動や1~2Hzの水平振動の周波数帯域に対して敏感であることなどは良く知られている。

車両の快適性の研究対象は一般に車両の“乗り易さ”と表現されるもの全てが関連すると考えられるが、走行する車両についての構成要因の分類を試みると、Fig. 3に示すようになる。走行に伴う振動は種々の周波数成分により構成され、乗員の振動や動揺感覚と密接に関係しており、入力源である路面形状とも関連して、道路-車両-人間系として体系的にとらえなければならない。一方、

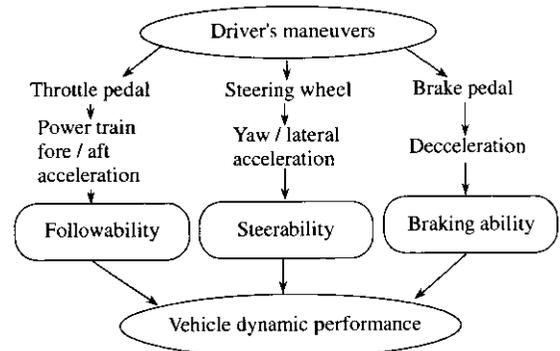


Fig. 2 Vehicle maneuverability and performance.

人間の振動感覚以外の五感に関する快適性要因も考慮する必要があり、触覚、視覚、聴覚等に関するシート座り心地からサポート性、車速計などのメータ類の見易さなどの車室内空間の心地良さをはじめ、走行に伴うハンドルやブレーキ等のペダルの操作のし易さ、また室内騒音や車外騒音の遮断性、さらに長時間運転による疲労など種々の要因がある。乗り心地の官能評価は、突起乗り越しのような過渡現象に限らず、路面のうねりに対する収まりを示すフラットライドをはじめ、ごつごつ、ふわふわといった擬態語で代表されるように種々の振動感覚がいろいろ混じったものである。Fig. 4に、従来より評価してきた振動乗り心地の現象を、発生周波数をもとに整理して示した。

### 3. 人間特性を含めた車両制御の現状

#### 3.1 操縦安定性の制御

従来より、人間の運転操作特性に注目した制御し易い車両特性を実現するために数多くの試みがなされてきている。駆動系においては、基本的な出力特性はもとよりドライバを複雑なミッション操作から解放したオートマチックトランスミッションが多用されており、操舵系においても、人間の走行感覚に応じて操舵反力を調整する速度感応形パワーステアリングなども高速直進安定性の保持には欠かせないものとなっている。また、制動系においてもブレーキの倍力装置の発達とともに、制動時のペダル操作の解析等の研究も盛んである<sup>33, 34)</sup>。

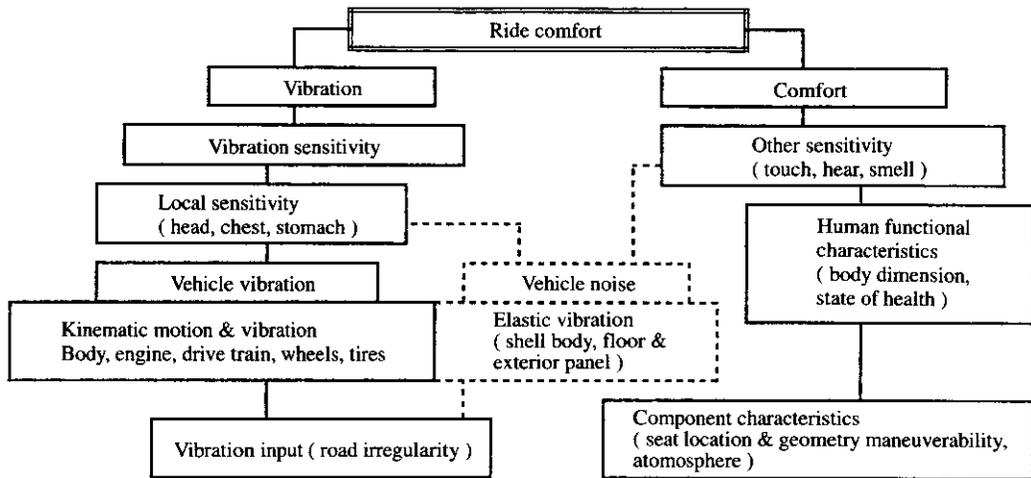


Fig. 3 Factors for vehicle comfort.

Frequency	0.4	1	3	4	5	8	10	20	30	60	100	150 (Hz)
Feeling	Flat ride		Upward shock			Rugged wheel hop			Harshness		Road noise	
origin	Sprung mass resonance				Unsprung mass resonance				Body structural resonance			
	Roll		Suspension friction									
	Pitch		Front / resr wheel phase									
	Seat / occupant resonance				E / G shake							
	Tire / uniformity						Tire eccentricity					

Fig. 4 Classification of ride evaluations.

ここでは、従来の研究の中から人間の予測特性を含んだ操舵系制御の例<sup>3,5)</sup>について概観する。この例では、前輪のみの制御を実施し、実舵角はドライバーの操作による操舵角信号と自動車の運動状態に応じて制御信号とを合成する。ここでの制御目的は、横風等の外乱に対する進路逸脱低減や安定性向上およびレーンチェンジ等における速応性向上を図ることにある。このためには、車両特性のみの制御系だけでなく車両を操舵するドライバーの操舵操作特性をも考慮して設計を行う必要がある。そこで、ドライバー特性を内包した制御系を

構築する。すなわち、最適レギュレータによりアクティブ操舵制御系の状態フィードバック制御則を求め、車両運動の速応性の向上と安定性の向上を同時に図る制御系を構成した。ドライバーの操舵モデルは、Fig. 5に示すように前方注視点Pの偏差を零にするように操舵するむだ時間と1次進み・遅れからなる。また、制御設計に用いた車両モデルは、横方向、ヨー方向に関する2自由度モデルである。車両とドライバーのモデルは、状態空間表現を用いて表わすことができ、制御ゲインを最適レギュレータ手法を用いて算出する。前述した

目的を満たすような評価関数として、ドライバーの前方注視点における偏差およびヨー角速度を最小にすること、また、ヨー角速度をハンドル角に追従させることを目的としている。すなわち、安定性向上に関する評価項の重みと車両の直進安定性が向上し、車両の安定性と速応性を両立する評価項の重みを調整する。ここで、操舵制御系の構成をFig. 6に示す。

つぎに、本制御系の制御効果予測を行いシミュレーション結果よ

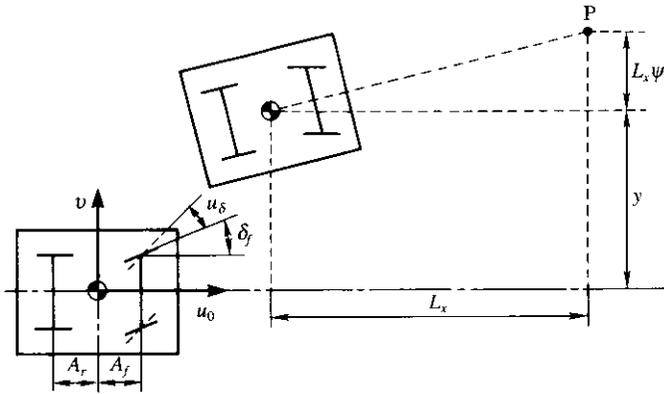


Fig. 5 Driver vehicle model.

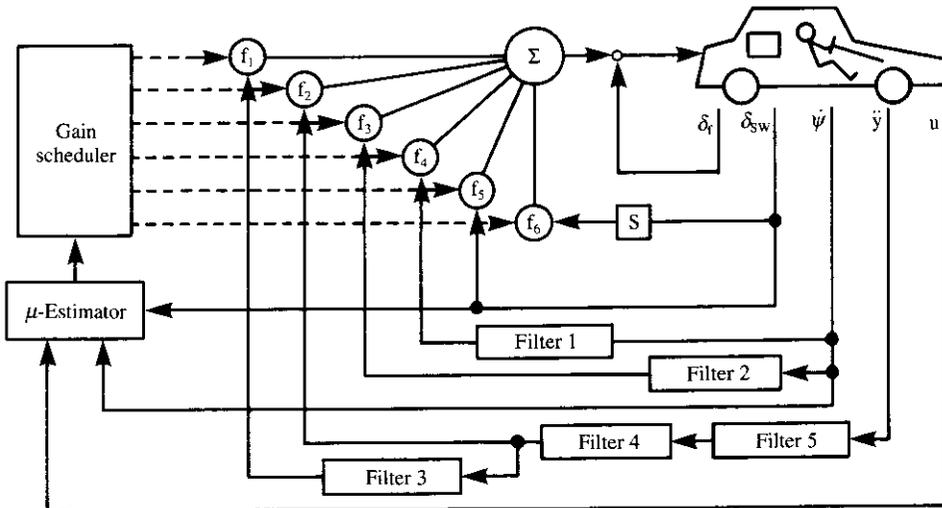


Fig. 6 Detailed active steering system.

り、外乱に対する応答性、特に車両横変位量が半減することや、レーンチェンジの場合に、ハンドルの切り始めにおける速応性とその後の安定性が向上することを確認し、さらに、実験車による車両運動制御に関する実験を行い制御の実用性を検証した。実験は横風外乱および操舵に対する車両応答、および人間・自動車系応答および操舵フィーリングを調べた。Fig. 7に一例を示すように、制御を行うとレーンチェンジ時にハンドルの操作とともにヨー角速度が立ち上がり車両の回頭性が向上し、車線変更後半から車両の横滑り角およびヨー角速度は急速に減少し車両の運動は安定に収

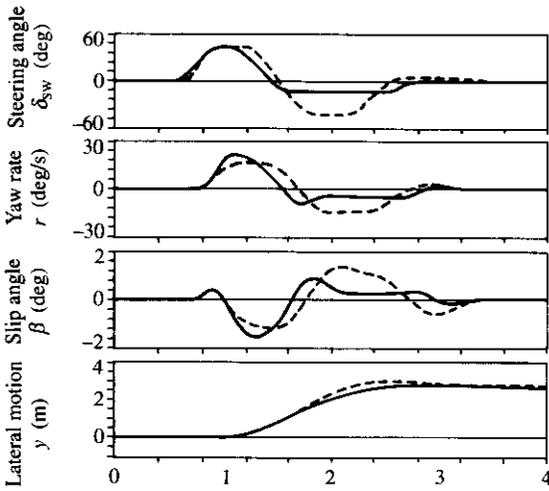


Fig. 7 Vehicle response in lane change test ( $u_0 = 70\text{km/h}$ , with (—) for active steering control, and (---) control).

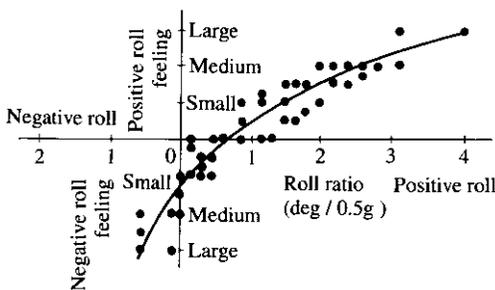


Fig. 8 Roll feeling due to roll ratio.

束する。また、制御車のハンドル修正操舵量は減少し、ドライバーにとって明らかに負担が小さくなっている。すなわち制御を行うことにより横風外乱や轍などのドライバーの予期せぬ外乱に対する車両の安定性向上と、緊急回避などのハンドル操作に対する車両の速応性の向上という相反する二つの特性をとともに向上することが可能となった。

### 3.2 車両姿勢の安定化制御

ここでは、人間の動揺に対する感覚特性を考慮した車両の姿勢制御による効果を検討する。人間のロールに対する感受特性を調べた結果の一例<sup>36)</sup>をFig. 8に示す。ドライバーの多くはロール率0.6度でそのいき値があることが分かる。これらの結果より、人間の感受性を考慮した制御目標値が明らかとなる。

能動形制御では、制御要素の遅れと車両の運動を考慮して制御要素の制御性能を充分引き出す必要があり、通常のフィードバック制御に加えてフィードフォワード制御が必要となる。そこで、操舵にともなう過渡ロール状態の制御遅れを補償するため、舵角に応じたフィードフォワード制御を試みる<sup>37), 38)</sup>。すなわち、ある車速のもとでの車両の定常状態を推定し、時々刻々変化する実舵角の瞬時瞬時に対応する定常状態のロール角を予測推定するモデルを想定する。ここで、過渡的状态量を無視して単純化を行い、フィードフォワード制御部において、車速、ハンドル角に対応する車両の定常ロール角を求め予測信号を得る。姿勢制御系の信号流れ図を、Fig. 9に示す。

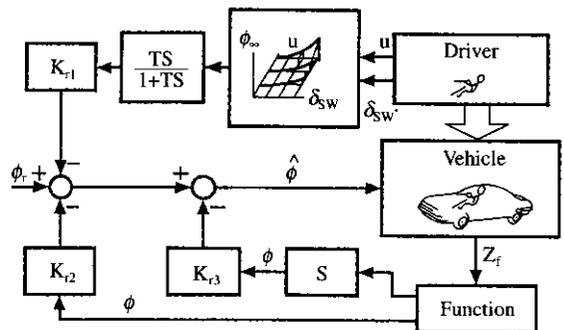


Fig. 9 Active attitude control.

この制御則を適用する場合の制御効果評価のためシミュレーションを行い、ステップ状に操舵した場合のアクティブなロール制御により初期ロールの発生を抑え、制御なしの場合に比較してロール角が半減することがわかった。さらに、実験車による制御効果に関する検討を行い、定常時の運動特性、コーナリング応答および運転フィーリングを調べた。定常円旋回試験の結果として、求心加速度が0.5Gにおけるロール角の大きさは、非制御車に対して70%低減している。また、コーナリング試験でハンドルをステップ状に操舵すると、制御車の初期ロール角が非制御車に対して約50%に抑制されている。Fig. 10にレーンチェンジ試験の結果を示す。制御車のロール角のピーク値は非制御車に対して約50%低減している。この時の操舵フィーリングは、ロールの現れ方の少ない制御車の運転が容易となっている。また、ハンドル操作に注目すると、ロールの大きさによってハンドルの戻し方が変わり、非制御車ではハンドルを戻

す際に保舵時間があるのに対し、ロールの小さい場合は保舵時間がほとんどなく滑らかなハンドル操作になっている。

### 3.3 走行に伴う乗り心地制御

走行に伴う乗員の操作動作変化や振動状況の変動に対する対応<sup>39-42)</sup>についても種々の計測解析が試みられている。例えば、高速道路走行中の運転負担の評価を試みたものなどがある。運転操作性の良い車両と通常の車を比較すると、長時間走行時の被験者の意識低下や疲労と操舵の頻度や走行時等の操作に伴う心拍変動量等の生理指標に相関のあることが分かる。

走行に伴う乗員への振動は、動作負担や快適性の阻害要因となるので人間の振動感受特性を考慮した車両の振動制御が様々な様式で実施されてきている。すなわち、乗員の感度が振動周波数に依存することに注目しこれを制御の評価関数に積極的に反映する手法が検討されている<sup>43-45)</sup>。これらの手法は単に時間領域の状態量を最小化するのではなく、周波数領域において重み付けをして最適化を図るものである。ここでは、乗員の体感周波数域での制御と車両姿勢制御とのトレードオフをいかに設定するかを考慮し、車両懸架系制御に上記の周波数成形最適制御手法の適用を試みた<sup>46-49)</sup>例について述べる。まず、制御要素の遅れ特性を含めて線形化した懸架系の振動モデルに状態フィードバック制御を適用し車両の振動制御系を構築する。さらに、車両の振動成分に注目して周波数領域で重みをつけた制御目標に即した制御系の設計を試みる。このアクティブ懸架系制御のモデルと制御の流れをFig. 11に示す。ここでは、乗り心地に関連するばね上の振動加速度と、運動に関連する振動変位を評価量とし、人間の振動感度の高い周波数領域とばね上共振より低い周波数領域に注目して、重み付けフィルタを設計した。

これらの制御則を懸架系減衰力制御に適用した実走行試験により制御効果の検討を行った。一般路や悪路を走行し定常走行時の振動特性を調べ、本実験システムを搭載した制御車とパッシブな減衰力特性を備える非制御車の比較を行った。非制御車の減衰力特性は高低二段の特性であり、減衰力は、ばね上ばね下相対速度に応じて一義的に決

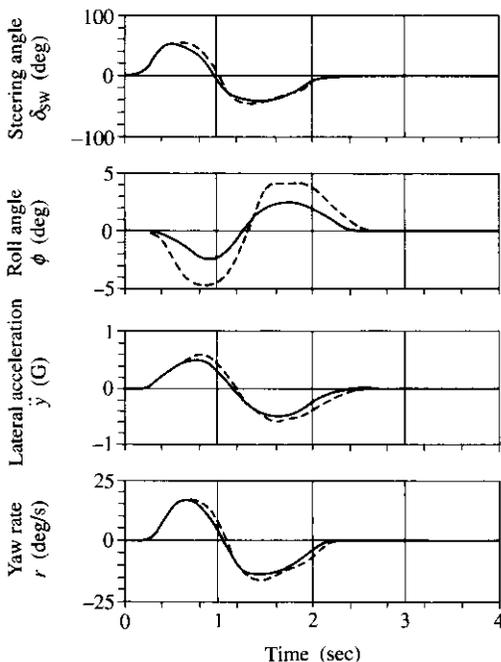


Fig. 10 Attitude control in lane-change maneuver (70km/h, with (—) for active control, and without (---) control).

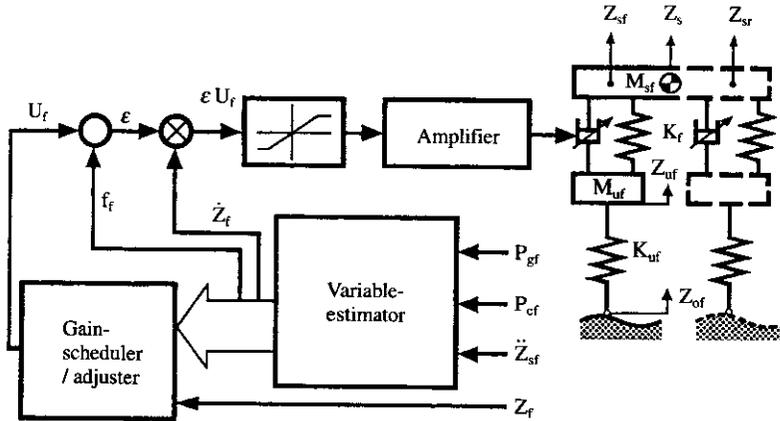


Fig. 11 Semi-active ride-comfort control system.

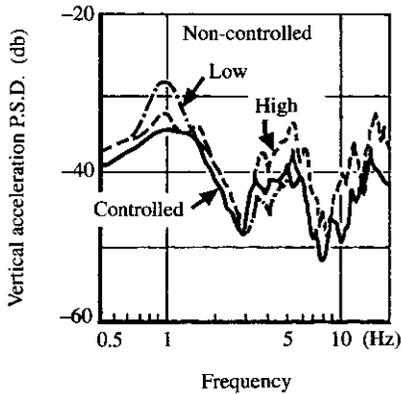


Fig. 12 Floor vibration P.S.D.

まる。Fig. 12に、走行時の車両フロアにおける上下加速度特性を示す。図の一点鎖線で示す非制御車の低減衰力時の特性では、車両のばね上共振周波数である1Hz付近のふわふわした振動レベルが高くなる。また、図の破線で示す高減衰力時の特性では、人間の振動を敏感に感じる4～8Hzのごつごつした振動のレベルが高くなる。このように、パッシブな減衰力特性ではふわふわした振動とごつごつした振動のレベルを同時に低減することはできない。一方、制御車の振動は、ふわふわとごつごつの振動のレベルを共に低減していることがわかる。

#### 4．人間自動車系評価解析の課題と展望

##### 4．1 ドライバの動作モデリング

ドライバは走行環境やタスクに応じて、前方路面情報を認知、判断し、かつ自車両の応答を視野の変化や体感を参照して適切に車両を操縦する。ドライバの運転行動すなわち操縦動作は、車両の走行に係わるスロットルペダルやミッションレバーの操作、旋回や緊急回避のためのステアリング操作および注意走行や車両停止のためのブレーキペダル操作に分けられる。これらの一連の操作動作は、認知・判断・操作のシーケンスに従う場合とあらかじめプログラムされている場合、また咄嗟の反応として生じる場合とがあり、これは運転の経験度合いをはじめ、走り慣れた道路あるいは初めての道路によってもその発現の仕方が異なる。したがって、一般ユーザーの車両性能の評価には、ドライバの操作と車両応答との適応性を含めた運転負担や制御負担の評価を踏まえて考えなければならない。

これらのドライバの操縦動作に注目した人間自動車系の挙動を解析する研究は、1960年代より活発となり数多くのドライバーの制御動作モデルが提案されてきている。そして、航空機や大規模プラントの運転制御といったいわゆるマンマシン系の解析と同様に、その後の制御理論の発達とともに車両のマンマシン系解析として発達してき

た。この分野の研究は30年以上の歴史を持ち数多くの優れたレビューが各時代ごとに出されている<sup>50-57)</sup>。また、各種の制御手法の導入により、種々のタスクにおけるドライバーの認知判断および操縦動作のモデル化が進み、基礎的なPIDモデルから状態フィードバックモデル、最適制御モデル、さらに、タスクの難易度合いへのドライバーの適応性を含めた適応制御モデル、あるいは非線形解析によるモデル化等も近年著しく進展してきている<sup>58-77)</sup>。

これらのドライバーの制御動作のモデリングは、近年の事故予防への関心の高まりとともに、対象とする走行条件も緊急回避挙動や加減速旋回時等に向けられるようになってきている。ここでは、緊急回避時と加減速旋回のモデル化についての検討結果を紹介する<sup>78,79)</sup>。実車両の走行試験における操縦動作挙動の解析結果より、ドライバーモデルをFig. 13に示すような構成とした。すなわち、ドライバーは将来の車両位置・挙動を予測し、目標コースとの偏差を最小にするよう操縦するという仮定のもとに、予測機構、目標生成機構および制御機構を合わせ持つ形である。実験では、運転技能の異なるドライバーによる走行を行い、技能差

の操舵動作への影響を把握し、モデルによる模擬を試みた。実験と計算結果はFig. 14に示すようにほぼ一致し、熟練者と一般のドライバーの運転技能差も表現しうることが分かる。また、旋回走行時における加減速操作モデルでは、カーブへの進入退出時に操向制御と車両速度制御にドライバーの予測・体感依存行動とがどのように関与するかが問題となる。例えば、ドライバーはハンドルトルクと角度の協調制御を行い、加減速操作は一定加速度で行おうとする傾向がある。

一方、旋回走行時のみならず直進走行時の減速操作を含むモデル化に関する研究も、オートドライブレや車間距離警報などの運転支援装置の開発に関連して重要な課題となっている。高速道路など

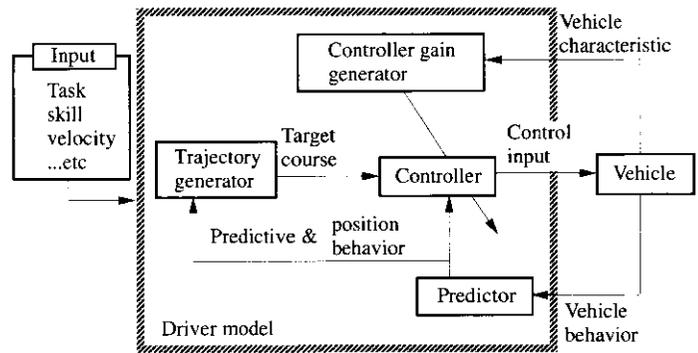


Fig. 13 Schematic diagram of driver model.

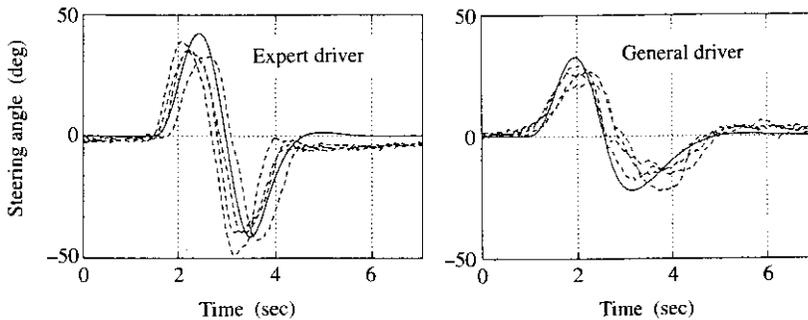


Fig. 14 Comparison of expert and general driver  
(---: experimental results, —: simulation results).

の先行車追従走行時の後続車のドライバの減速動作モデルの例<sup>80)</sup>では、減速行動を詳細に調べドライバの操作タイミングを状態遷移形モデルとして解析している。これらの研究におけるドライバの認知・判断の解析は、ドライバと車両とのインターフェイスをどのように構築するかを示すために重要な課題の一つである。

以上述べたように、種々の走行条件および走行タスクによってさらに詳細なモデル化が必要となってくる。回避運転動作に加え、人間の認知判断に係わる複雑な行動モデルと人間の運転心理や生理の機構に根ざした明解なモデルが今後の展開に待たれる。車両開発においても、さらに安全な車両制御の在り方についての検討が、車両制御を含む人間自動車系としてなされなければならない。

最後に、これらの人間特性解析の手法について触れる。すなわち、車両操作時の一般ドライバや

乗員の行動特性をつぶさに観察し、その結果を基に挙動データベースを構築しモデルや評価に展開するには、各種走行状況を想定する模擬試験が必要となる。そこで、従来より走行状態を模擬する各種のシミュレータ技術が発達しており、多くの技術紹介や技術開発例がある<sup>81-89)</sup>。当所においても、車両の動きを再現する数種の運転模擬装置（一例をFig. 15に示す）を用いた研究が進められている。今後とも、ドライバの種々の状況下での挙動解析と通常の試験環境では不可能な事故状況模擬のために臨場感の高い運転模擬装置が必要となり、模擬技術を構成する諸技術のレベル向上が期待されている。

#### 4.2 乗員の振動感覚特性評価

走行中のドライバおよび乗員は、いろいろな振動状況に遭遇する。車両姿勢の動揺度合いも、継続的な振動が突起や段差の乗り越しのような過渡的な振

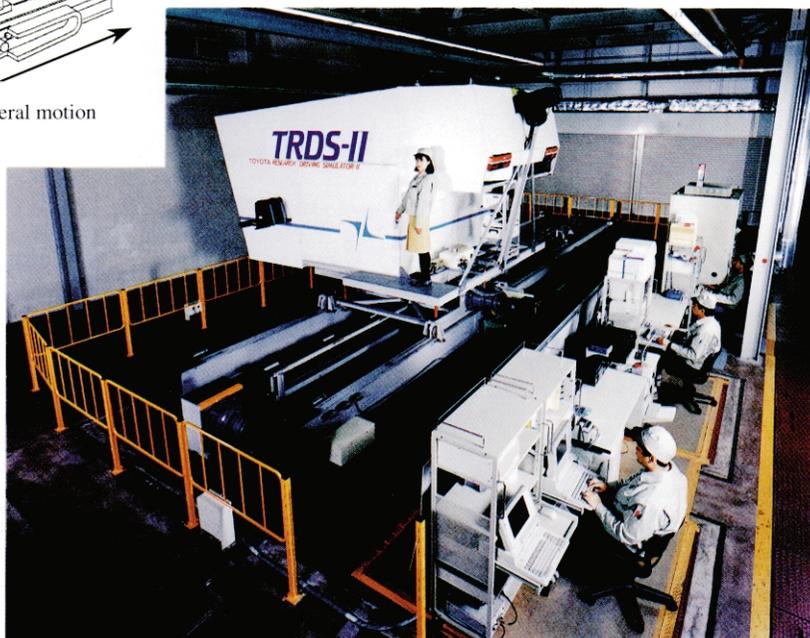
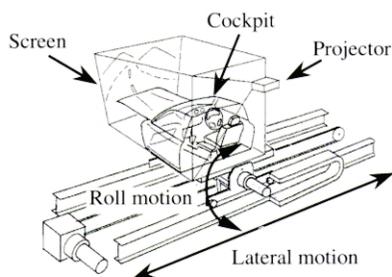


Fig. 15 Driving simulator.

動かによっても千差万別な結果となる。そして、その振動感受性や振動感覚は極めて個人差の大きいものである。人間の振動感覚<sup>90, 91)</sup>に関する基礎的な研究としては、従来より多くの研究がなされてきている。この中には、1960年代より欧州で盛んに実施されたシート着座時の振動挙動解析があり、人間の脊柱における振動応答特性が詳細に調べられた<sup>92)</sup>。これらの実験結果によると、シート上の人間への加振刺激は3~4Hz領域で大きく、さらに、垂直方向の振動中の着座姿勢における胃の振動特性にも同様な性質があることが報告されている。また、これらの単軸加振特性のみならず、人間への複合振動に対する感受特性を考慮した振動乗り心地の評価基準の研究がある<sup>93-96)</sup>。これらの報告より、上下振動と前後振動の発生比率を種々に変化させてそのときの人間の快不快感を調べた結果、複合振動に対する感度の重み付け度合いが明らかとなり、人間は種々の複合した振動状況により乗り心地を評価していることがわかる。したがって、車両走行中の振動には種々の振動の複合状況が考えられるので、それぞれの現象別にみた複合振動の評価が必要となる。

これらの振動感受特性の研究は近年の快適性向上の要望の高まりとともに重要となってきている。ここでは、人間の振動感受性の計測例として人間の頭部の振動の個人差について調査した結果を紹介する。この検討は、車両走行状況を振動付加装置上で再現し、乗員への複合振動を解析しようとするものである。Fig. 16は、図中に示すピッチ加振状況での被験者の頭部振動に注目した例であり、走行時に段差等を横切った状況での現象に相当する。このような状況では、リラックス状態と走行時のような緊張状態とで前後左右の頭部共振周波数が異なり、緊張に伴い周波数が高くなる傾向があり、首の筋肉の支持剛性の個人差にも影響を受けることを示している。これらの振動感受性の解析は、乗員の走行に伴う疲労蓄積

を軽減し、走行の快適性を向上するための車両姿勢制御の設計目標を明らかにするため重要な資料となる。

これらの人間の振動特性とその感受特性を考慮した設計法の導入は、今後の車両特性設定法の開発に極めて重要な知見を与えるものと考えられる。上記の例のような首の振動についても、人間の頭部および上肢の振動モデルにより、乗員の体格に関する振動感受性の解析が試みられるようになってきている<sup>97-105)</sup>。

この分野の人間の感受性解析においては、従来から加振機の利用が進められているが、並進および回転振動の模擬に加え、多自由度連成振動を再現することも重要である。すなわち、走行状態を着実に再現するため、任意の動揺を模擬する6自由度の加振装置が必要となる。Fig. 17に示した振動再現装置はその一例<sup>106)</sup>であり、これらのニーズに対応するものとして今後活用が進められるものと期待される。

## 5. あとがき

マンマシン系としての自動車の性能評価には、ニーズの多様化に対応すべく新たな評価規範の設定が望まれている。今後の技術向上を期するためには、本稿において取り上げた視点の導入が不可

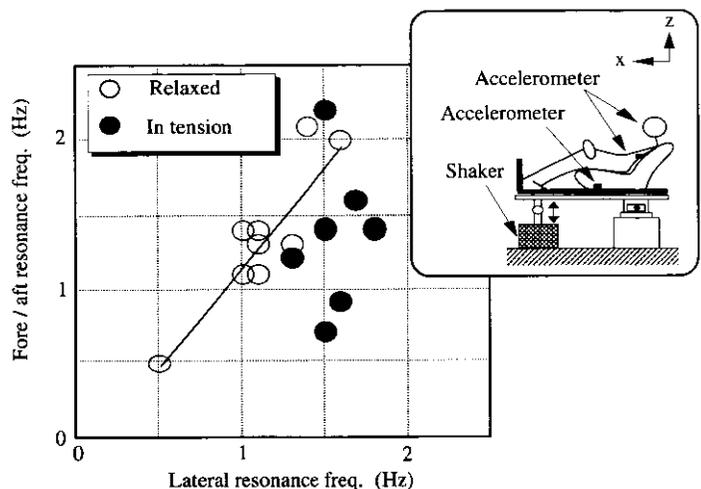


Fig. 16 Resonance frequency of human head.

欠となる。すなわち，Fig. 18に示すようにユーザーとしての人間の動的感覚を中心に，車両基本構成，感受特性評価，環境模擬技術および各要素開発の境界を埋めていかねばならない。そして，車両性能において，一般のユーザーに分かり易い，取り廻しの良い，心地よい総合性能が実現されねばならない。そのために，この分野の研究には，深い人間動特性の理解とその機構解明，ユーザーの評価基準の正確な解析と豊富なデータベース，さらに，詳細な行動分析に根ざした物理的力学的モデル化

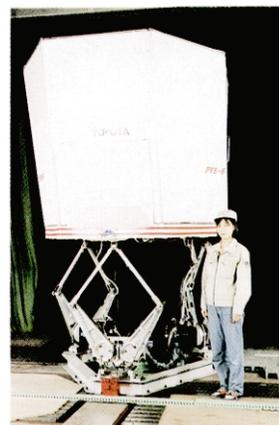
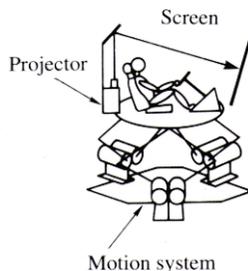


Fig. 17 A new analytical system of evaluating motion sensation.

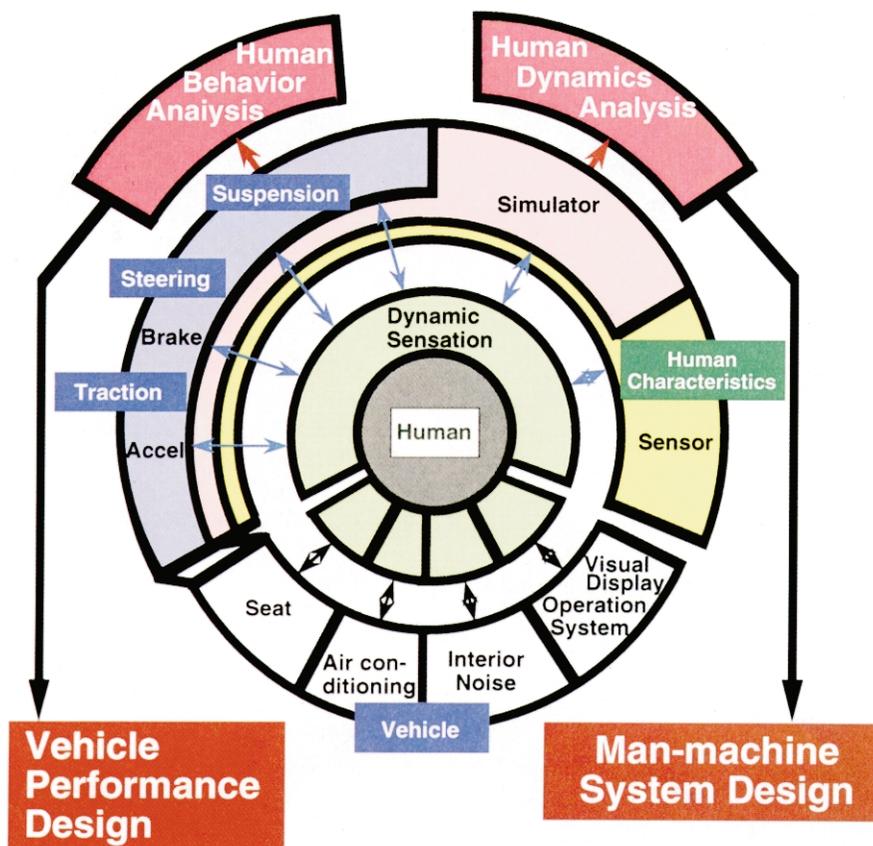


Fig. 18 Interdisciplinary approach for man-vehicle system.

技術が必要となり、これらの技術の体系化においては人間挙動解析と人間自動車系解析を車の両輪のように進めなければならない。また、近年発達著しい認知科学との境界領域を探索し、新しい手法に根ざしたアプローチも重要である。

このような観点による解析評価技術により、環境と車両とが人間を介してはじめて有機的に統合され、予測しやすい安全なしかも快適な走行環境が実現することができる<sup>107)</sup>。さらに、将来をめざした新交通システムや自動車の未来社会のあるべき姿を想定すると、社会インフラの整備や車両の情報化もこれらの評価を踏まえなければならない<sup>108)</sup>。以上述べたように、ヒューマンダイナミックスを考慮した車両評価技術は、着実にその一歩を踏み出した。今後、各分野の技術がそれぞれの特徴を活かした境界領域でのシステム構築を進めていくことに期待したい。

### 参 考 文 献

- 1) 林靖享：トヨタ技術会誌, 35-2(1983), 71
- 2) 杉本軍司：自技会中部支部報, 32(1983), 39
- 3) 自動車技術会：自動車工学便覧, 第2編, 2-50(1982)
- 4) 井口雅一：自動車技術, 39-3(1985), 229
- 5) Schilke, N., et al. : Proc. Transp. Electron., IEEE & SAE, (1988), 97
- 6) Shinar, D. : Human Factors, 19-1(1977), 63
- 7) 樋渡絹二：自動車技術, 36-4(1982), 365
- 8) 三浦利章：電気情報関連学会連合大会前刷集3(1987), 151
- 9) 萩原亨, 加来照俊：自動車技術会論文集, 22-4(1991), 112
- 10) Nagata, M., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.820415, (1982), 9p
- 11) 古川修：自動車技術, 41-3(1987), 307
- 12) 吉田和夫, 野波健造：日本機械学会論文集C編, 57-534(1991), 345
- 13) 岩間紀男ほか8名：豊田中央研究所研究報告, TR-55(1989)
- 14) Amano, Y., et al. : Proc. 11th IFAC World Congr., (1990), 130
- 15) 林靖享ほか3名：豊田中央研究所研究報告, TR-60(1990)
- 16) Ono, E., et al. : Automatica, 30-11(1994), 1639
- 17) Thompson, A. G. : Veh. Syst. Dyn., 5-4(1976), 187
- 18) 永井正夫：自動車研究, 12-2(1990), 41, 12-6(1990), 203
- 19) 土居俊一ほか4名：日本機械学会論文集C編, 57-534(1991), 606
- 20) 小野英一ほか4名：計測自動制御学会論文集, 28-5(1992), 610
- 21) Ono, E., et al. : Proc. of AVEC'94, (1994), 373
- 22) Janeway, R. N. : SAE Tech. Pap. Ser., No.750166, (1975), 24p
- 23) Dieckmann, D. : ATZ, 59-10(1957), 297
- 24) Lee, R. A. and Pradko, F. : SAE Trans., 77-6(1968), 346
- 25) Miwa, T. and Yonekawa, Y. : J. Acoust. Soc. of Jpn, 27-1(1971)
- 26) 原田宏：自動車技術, 23-10(1969), 1989
- 27) 伊藤英夫：日産技報, 15(1979), 143
- 28) Wood, J. J. and Leatherwood, J. D. : SAE Tech. Pap. Ser., No.850981, (1985), 7p
- 29) 小沢義彦ほか2名：自動車技術会論文集, 31(1985), 148
- 30) Kozawa, Y., Sugimoto, G. and Suzuki, Y. : SAE Tech. Pap. Ser., No.860430, (1986), 8p
- 31) Brown, T. L., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.922141, (1992), 12p
- 32) 国際標準化機構：ISO-2631-1(1985)
- 33) Rompe, K., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.870335, (1987), 7p
- 34) Leffler, H. : SAE Tech. Pap. Ser., No.940832, (1994), 10p
- 35) 林靖享ほか3名：計測自動制御学会論文集, 28-7(1992), 834
- 36) 武馬修一ほか5名：日本機械学会論文集C編, 57-534(1991), 599
- 37) 土居俊一ほか4名：自動車技術会論文集, 22-3(1991), 69
- 38) Yasuda, E., et al. : Trans. of SAE, (1991), 890
- 39) 中嶋敦史ほか2名：自動車技術会1993年秋季学術講演会前刷集, 936(1993), 249
- 40) 渥美文治：自動車技術会1994年秋季学術講演会前刷集, 946(1994), 133
- 41) 田口敏行ほか3名：自動車技術会1994年秋季学術講演会前刷集, 946(1994), 137
- 42) 福井勝彦ほか2名：自動車技術会論文集, 24-1(1993), 137
- 43) Gupta, N. K. : J. Guid. and Control, 3-6(1980), 529
- 44) 吉田和夫ほか3名：日本機械学会論文集C編, 57-534(1991), 592
- 45) 川谷亮造ほか3名：計測自動制御学会論文集, 27-5(1991), 554
- 46) 土居俊一ほか2名：日本機械学会論文集C編, 54-503(1988), 1475
- 47) Doi, S., et al. : Proc. IMecE. Adv. Suspens., C433/88(1988), 119
- 48) 土居俊一ほか3名：日本機械学会論文集C編, 58-549(1992), 1392
- 49) 勝田隆之ほか3名：自動車技術会論文集, 23-2(1992), 81
- 50) 古谷国貴, 古川修：自動車技術, 29-12(1975), 1053
- 51) 吉本堅一：人間工学, 18-6(1982), 301
- 52) 伊藤宏司ほか2名：計測自動制御学会論文集, 14-2(1978), 149

- 53) Reid, L. : Acid. Anal. & Prev., 15-1(1983), 23  
 54) 安部正人 : 自動車技術, 38-3(1984), 293  
 55) 永井正夫 : 自動車技術, 39-5(1985), 486  
 56) 堀内伸一郎 : 自動車技術, 45-3(1991), 5  
 57) 袖原直弘 : 日本機械学会交通物流部門第3回学術講演会前刷集, (1994)  
 58) Sheridan, T. : IEEE Trans. HFE, 7-2(1966), 91  
 59) McRuer, D. and Jex, H. : IEEE Trans. HFE, 8-3(1967), 231  
 60) 大野俊一 : 自動車技術, 20-5(1966), 413  
 61) Kondo, M. and Ajimine, A. : SAE Tech. Pap. Ser., No.680104, (1968)  
 62) Kleinman, D., Baron, S., et al. : IEEE Trans. AC, 16-6(1971), 824  
 63) 土屋俊二ほか2名 : 自動車技術会論文集, 13(1977), 54  
 64) Maeda, T., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.770130, (1977)  
 65) Weir, D. H. and DiMarco, R. J. : SAE Tech. Pap. Ser., No.780010, (1978)  
 66) MacAdam, C. C. : IEEE Trans. Syst. Man & Cybern., 11-6(1981)  
 67) Allen, R. W. : SAE Tech. Pap. Ser., No.820303, (1982)  
 68) Kramer, U., et al. : Ergonomics, 25-10(1982), 891  
 69) Rasmussen, J. : IEEE Trans. Syst. Man & Cybern., 13-3(1983), 257  
 70) Furukawa, Y., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.905036, (1990)  
 71) Riedel, A., et al. : Proc. FISITA13(1990)  
 72) 永井正夫ほか2名 : 自動車技術会論文集, 31(1985), 141  
 73) Godthelp, H. : Human Factors, 28-2(1986), 211  
 74) Hayashi, Y. : Proc. 10th IASVSD Symp., (1987), 145  
 75) 原田宏 : 日本機械学会論文集C編, 58-546(1992), 418  
 76) 藤岡健彦, 田久保宣晃 : 自動車技術会論文集, 22-2(1991), 69  
 77) 景山一郎, 渡辺良則 : 日本機械学会論文集C編, 59-563(1993), 2213  
 78) 天野也寸志ほか3名 : 自動車技術会1992年秋季学術講演会前刷集, 924(1992), 185  
 79) 天野也寸志ほか2名 : 日本機械学会学術講演会前刷集, 940(1994), 163  
 80) 服部義和ほか3名 : 自動車技術会1993年秋季学術講演会前刷集, 936(1993), 157  
 81) Lincke, W. and Richter, B., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.730489, (1973)  
 82) 林靖享 : 自動車技術, 36-3(1982), 256  
 83) 福井勝彦, 林靖享 : 自動車技術, 42-3(1988), 342  
 84) Fukui, K., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.880641, (1988), 11p  
 85) 末富隆雅, 畑秀二 : 自動車技術, 45-3(1991), 26  
 86) 三木一生, 吉本堅一 : 自動車技術, 48-4(1994), 5  
 87) 名切末晴ほか3名 : 自動車技術会1994年春季学術講演会前刷集, 941(1994), 17  
 88) Drosdol, J., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.850334, (1985), 17p  
 89) Freeman, J. S., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.950174, (1995), 10p  
 90) 宮岡徹 : 自動車技術, 45-12(1991), 14  
 91) 山崎信寿ほか2名 : 自動車技術会1991年秋季学術講演会前刷集, 902(1991), 1425  
 92) Dupuis, H. and Christ, W. : Int. Z. Angew. Physiol., 22(1966), 149  
 93) Griffin, M. J. and Whitham, E. M. : J. Sound & Vib., 54-1(1977), 107  
 94) Parsons, K. C. and Griffin, M. J. : Ergonomics, 21-8(1978), 615  
 95) Griffin, M. J. : SAE Tech. Pap. Ser., No.860047, (1986)  
 96) Fairley, T. E. and Griffin, M. J. : J. Sound and Vib., 124-1(1988), 141  
 97) Garg, D. P. and Ross, M. A. : IEEE Trans. Syst. Man & Cybern., 6-2(1976), 102  
 98) Varterasian, J. H., et al. : SAE Tech. Pap. Ser., No.770249, (1977), 10p  
 99) Tien, C. S. and Huston, R. L. : SAE Tech. Pap. Ser., No.850438, (1985)  
 100) 北原孝 : 自動車技術, 32-7(1978), 667  
 101) 朝倉吉隆 : 日本機械学会関西支部東海支部第26回座談会資料, (1993)  
 102) 吉村卓也ほか2名 : 日本機械学会講演論文集, 940-59H(1994), 106  
 103) 蔦紀夫, 白傑 : 日本機械学会論文集C編, 59-565(1993), 57  
 104) 武井一剛ほか4名 : 自動車技術会1993年春季学術講演会前刷集, 931(1993), 181  
 105) 西山修二 : 日本機械学会論文集C編, 59-567(1993), 1392  
 106) 三村宣治 : 日本機械学会ロボ・メカ講演会94講演論文集(1994), 237  
 107) 山本真規 : 自動車技術, 47-12(1993), 18  
 108) Hamm, L., et al. : 23th FISITA Congr., Tech. Pap. No.905181, (1990), 485

## 著者紹介



土居俊一 Shun'ichi Doi  
 生年 : 1947年。  
 所属 : 人間機械系研究室。  
 分野 : 車両運動および人間自動車系解析分野の研究。  
 学会等 : 日本機械学会, 自動車技術会, 計測自動制御学会会員。  
 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。