

## 人体を含む複雑系の数理モデル化と問題解決

### (道路橋に関連した場合)

西山 修二

広島市工業技術センター

本報は人間の感性、感覚を満足する製品開発手法として、車両開発を例にとり、新しい概念を提案している。人間の動的特性を考慮した解析技術及び車両、乗員、路面系において人体のヒューマンダイナミクスまで考慮したトータルシステムとしてモデル化する新しい試みである。人体を含む複雑系のシステムとして、車両—乗員—路面系の連成振動問題を取り上げる。路面系として解析が複雑となる道路橋に関連した、道路橋固有振動数が車両—乗員系に及ぼす影響、高架道路橋不同変位の影響、道路橋伸縮装置段差の影響、車両—乗員—道路橋—大型車両系の連成振動、道路橋に優しい車両系サスペンションなどの振動問題について数理モデル化と問題解決について示す。

## Mathematical Modeling and Problem Solving of Complicated System

### Including Human Dynamics

#### (Vehicle - Occupant Dynamic Interaction on a Highway Bridge)

Shuji Nishiyama

Hiroshima City Industrial Technology Institute

This paper presents an application of the simulation system of vehicle-occupant dynamic interaction including human body dynamics which was developed by the author. During the application of this system, influences of natural frequency of highway bridge on vehicle-passenger dynamic interaction, misalignment of highway bridge on vehicle and human comfort, expansion joint of highway bridge on vehicle and human dynamics, vibration characteristics of vehicle passenger dynamic interaction on a highway bridge induced by a large-sized vehicle, and friendly vehicle suspension for a highway bridge and passengers were investigated using this computer simulation system. Some results of mathematical modeling and problem solving of the complicated system including human body dynamics are presented.

## 1. まえがき

製品開発の時代の変遷は表1に示すように三つのステップに分類できる<sup>(1)</sup>。第1ステップは機能のみを満足した設計である。第2ステップは機能を満足し、さらに人間の静的特性すなわち人間の幾何学的特徴を考慮した設計である。第3ステップは機能を満足すると同時に人間の静的特性を考慮し、さらに人間の動的特性まで考慮した設計である。たとえば振動環境下において人体が示す振動特性などを考慮した設計がこれに相当する。

人体を含む複雑系の連成振動として工学上重要性の高いものとして、人体-自動車-路面系の連成振動が考えられる。自動車の快適性向上への要求は、近年飛躍的に高まっている。さらに市場で要求される性能も年々高度となり、乗員の感覚・感性を満足させるには、乗員も車両のダイナミクスを決める大きな要素と考えた設計、すなわち図1に示すように車両-乗員-路面系を連成系として捉え、人に優しい車両及び路面系の最適化を図る新しい先進的な設計法が必要になってきた。

本研究は、車両、乗員、路面系を連成振動として取り扱い新規性・高度性を有する振動モデルを構築し、シミュレーションシステムを開発することである。そして、開発したシステムにより、乗り心地向上を図るうえにおいて必要とされる各種要因についての影響を定量的に検討し、開発の合理化に寄与することである。

本報では人体を含む複雑系の問題として、道路橋固有振動数が車両-乗員系に及ぼす影響、高架道路橋不同変位の影響、道路橋伸縮装置段差が車両-乗員系に及ぼす影響、車両-乗員-道路橋-大型車両系の連成振動特性、道路橋に優しい車両系サスペンションの開発など車両-乗員-道路橋系の問題を取り上げ、数理モデル化及び問題解決法について示す。

### 記号の説明

本報で使用する主な記号は以下のとおりである。

乗員系

$m_i, (i=1,2,\dots,4)$  : 頭部と頸部、胴体部、大腿部、下腿部の質量

$I_i, (i=1,2,\dots,4)$  : 乗員各部の慣性モーメント

$\theta_i, (i=1,2,\dots,4)$  : 乗員各部の回転変位

$\theta_0$  : シートバックの初期角度

$\beta$  : フットレスト角度

$\xi, \zeta$  : 腰ジョイント点の  $x, z$  方向変位

$l_A, l_B$  : 車体重心からシート固定位置寸法

$x_i, z_i, (i=1,2,\dots,4)$  : 乗員各部重心の  $x, z$  座標

$k_i, (i=1,2,\dots,5)$  : 乗員支持点のばね定数

$c_i, (i=1,2,\dots,5)$  : 乗員支持点の粘性減衰係数

$T_i, (i=1,2,3)$  : 頸部、腰部、膝部関節のフリクションモーメント

$\delta_i, (i=1,2,\dots,5)$  : ばね・ダンパの動的たわみ

$\delta_{i0}, (i=1,2,\dots,5)$  : ばね・ダンパの初期たわみ

$l_i, (i=1,2,\dots,7)$  : 乗員各部の寸法

$l_k, l_j, l_o, l_p, l_q$  : シート各部の寸法

$F_p$  : 乗員が車両に及ぼす作用力

$M_p$  : 乗員が車両に及ぼすモーメント  
車両系

$V$  : 車両走行速度  $z$  : 車体重心変位

$z_i, z_r$  : ばね下質量の変位  $m$  : 車体質量

$m_r, m_r$  : ばね下質量

$I$  : ピッチング方向車体慣性モーメント

$\theta$  : 車体ピッチング角  $g$  : 重力加速度

$k_{1r}, k_{1r}$  : 懸架装置のばね定数

$c_{1r}, c_{1r}$  : 懸架装置の粘性減衰係数

$f_r, f_r$  : サスペンション系フリクション

$k_{2r}, k_{2r}$  : タイヤのばね定数

$c_{2r}, c_{2r}$  : タイヤの粘性減衰係数

$l$  : 軸間距離  $l_r, l_r$  : 車体の重心水平位置

$F_{1r}, F_{1r}$  : サスペンションの作用力

$F_{1r}, F_{1r}$  : タイヤの作用力

$F_{1r}, F_{1r}$  : エンジンが車体に及ぼす作用力  
道路橋系

$z_o(x, t)$  : 荷重載荷点の路面表面の上下変位

$z_{oi}(t)$  : タイヤ接地点の路面表面の凹凸

$w_r, w_r$  : タイヤ接地点の上下変位と凹凸の和

$l_r$  : 支間長  $\zeta_n$  : 粘性減衰係数 (n次)

$E I$  : 曲げ剛性  $C_b$  : 外部粘性減衰係数

$\rho A$  : 単位長さ当たりの道路橋の質量

$\omega_n$  : 道路橋の固有円振動数 (n次)

$\psi_n(t)$  : n次振動モードの時間関数  
 $Q_n(t)$  : 荷重関数 (n次)  
 $f_b$  : 道路橋固有振動数  
 $d$  : 不同変位量  
 $\lambda$  : 無次元不同変位量  $15000 \times d / l$

## 2. 人体を含む車両運動シミュレーション

人体を含む複雑系の連成振動特性として、まず車両-乗員-路面系の連成振動を考慮した上下・前後・ピッチング振動解析<sup>(2)(3)</sup>について詳細な検討が可能なシミュレーションシステムを開発した。開発した振動モデルを図2に示す。

車両、乗員、路面系の各ダイナミクスが連成した人体系6自由度、車両系6自由度、総計12自由度の新規性・高度性のある車両-乗員-路面系の振動モデルを構築した。各種パラメータの同定法を示し、理論的解析を確立し、シミュレーションシステムを開発した。懸架装置のサスペンション系フリクション、間接部のフリクションモーメント等のパラメータは非線形性を考慮し特性を双曲線正接関数で近似しプログラム化を容易にした。開発したシミュレーションシステムによる計算結果は実測結果とよく一致した。

表1 製品開発の時代の変遷

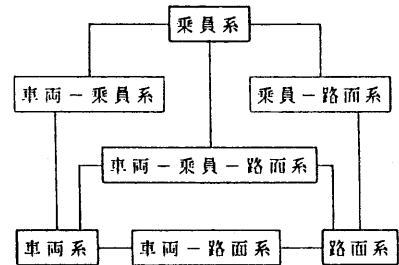
設計要件	必要機能	人間の静的特性	人間の動的特性
ステップ			
第1ステップ (必要機能)	○		
第2ステップ (好適設計)	○	○	
第3ステップ (最適設計)	○	○	○

○: 考慮される設計要件

モデル化及び開発したシミュレーションシステムの妥当性が確認でき有効なモデルであることが立証され、信頼性・有用性を有するシステムであることを示した。周波数応答特性における周波数軸の離散点の設定法については、対象領域を精度よく算出するのに有効なアルゴリズムを考案した。

開発したシミュレーションシステムの適用例として、乗員挙動に及ぼす最終座着姿勢の影響<sup>(4)</sup>、乗員挙動に及ぼす乗員・シート系パラメータの影響<sup>(5)</sup>、

乗員挙動に及ぼすシート位置の影響<sup>(6)</sup>、乗員挙動に及ぼす道路橋伸縮装置段差の影響<sup>(7)</sup>、乗員挙動に及ぼすエンジン振動の影響<sup>(8)</sup>など工学的に重要性の高い項目について詳細に検討した。



路面系 : 路面の凹凸  
 道路橋の動的たわみ  
 道路橋不同変位  
 道路橋伸縮装置段差  
 等を含む

図1 車両-乗員-路面系の相互作用

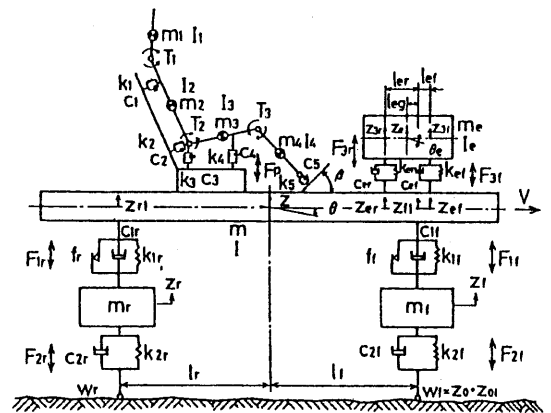


図2 人体を含む車両-路面系の振動モデル

さらに、制動時及び駆動時の人体-車両系の動的挙動解析を可能とする数理モデル化及び問題解決を行った<sup>(9)</sup>。解析モデルを図3に示す。

次に、図4に示すように車両-乗員-路面系の連成振動を考慮した上下・左右・ローリング振動解析<sup>(10)</sup>について研究した。シミュレーションシステムを開発し、乗員挙動に及ぼすシートのばね定数・減衰係数の影響、シートの乗員支持点位置の影響など

について両輪加振と片輪加振した場合について車両及び乗員挙動への影響を検討した。

上下・前後・ピッチング系の振動解析及び上下・左右・ローリング振動解析のシステム開発により車両ー乗員ー路面系の三次元的な挙動解析が可能となった。

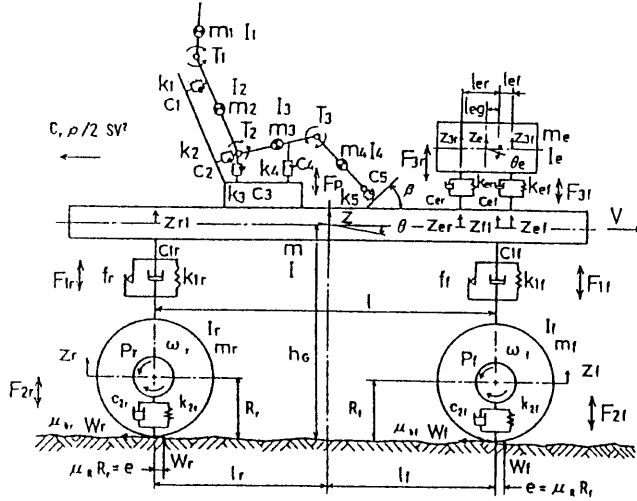


図3 前後輪の回転運動を考慮したモデル

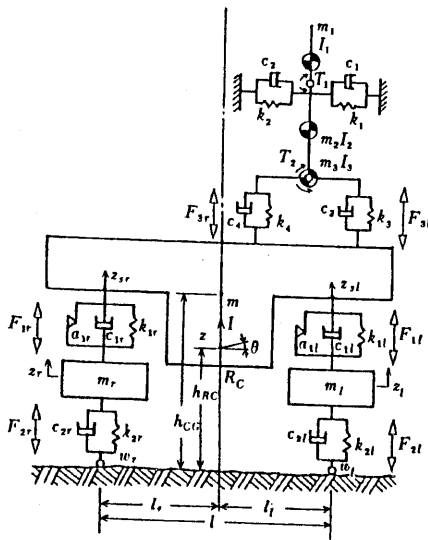


図4 上下・左右・ピッチング系の解析モデル

さらに、臥位人体の振動特性として、救急車内の臥位人体の振動特性<sup>(11)</sup>についての研究を実施した。救急車両、搬送用ベッド、人体系の振動特性を明確

にした。

### 3. 人体を含む複雑系の振動・乗り心地実測

人体を含む複雑系の振動現象を解明するために、現象をモデル化し、数理モデルを構築し、システム開発し、種々の特性について検討することになる。システム開発にあたり、各種の人間ー自動車系の最適化として、人間と自動車の主要な接点であるシートは非常に多くの要件とかがわっている。長時間乗車する機会が多い現在、人と車のインタフェースとしてドライビングポジション及びシート等の重要性が益々注目を集めている。着座姿勢を決定するこれらの要因が乗員の振動特性に及ぼす影響について検討し、乗員挙動に及ぼす最終着座姿勢の影響を把握することは重要である。

人体・シート系の振動特性として三軸振動試験装置の加振台上に乗用車用実シートを設置し、シートに着座した各被験者の人体各部に受ける振動の影響を実測した<sup>(12)</sup>。着座姿勢が人体挙動に及ぼす影響、人体各部の振動特性の相違、被験者による影響等について検討した。着座姿勢による影響を検討するにあたり、シートの座面角度とシートバック角度を変化させて人体各部の振動伝達特性を実測した。測定位置は着座状態において頭部、胴体部、大腿部、下腿部の重心位置と尻下部とした。被験者は年齢、性別、体型などが異なる成年男女2名、高齢者男子2名、児童女子1名、生徒男子1名について実施した。加振入力には正弦波加振及び一般路面走行を模擬したランダム加振について実施した。実測にあたり、頭部、胴体部、大腿部、下腿部の三軸方向及び尻下部の上下方向の加速度を計測可能とするために、各部専用のセンサ取付用装置も開発した。実測結果は理論解析におけるパラメータの同定に活用した。また、ドライバーが車両を運転中、乗員はシート、ステアリングホイール、ペダル類等に常に接している。人体・シート・ステアリングホイール・ペダル系の振動特性を把握することは重要である。上腕部と前腕部との相対角度すなわちアームアングルを90度から180度まで変化させて、アームアングルが人体各部の振動特性に及ぼす影響を11名(女性

2名含む)の被験者について、正弦波加振及びランダム加振の場合について実測した<sup>(13)</sup>。

#### 4. 人体を含む車両-道路橋系の振動問題

##### 4. 1 広島市の交通事情

広島市はデルタ地形に発展した都市である。西から太田川放水路、天満川、太田川、元安川、京橋川、猿候川の六つの大きな河川が北から南に向かって流れている。また国道2号線など幹線道路が東西に縦貫している。さらに各河川の兩岸は川に沿って道路となっている。道路橋も多く、2m以上の橋の数は

2540個にもおよぶ。その中で15m以上の道路橋は540個(15~50m:337、50~100m:130、100~200m:41、200m以上:32)存在する。中でも相生橋は上空から見るとT字形の橋として世界でも例を見ない形状として知られている。道路橋が多く河川の兩岸が道路となっているため、道路橋の両端は信号交差点となっている場合が多い。従って、自動車は交通渋滞あるいは信号待ちなどで道路橋の上で停車することだ頻繁である。車両-乗員-道路を取り巻く物理学及び工学上重要な種々の問題が発生する。

##### 4. 2 道路橋固有振動の影響

道路橋の固有振動数は人体系の共振振動数域とほぼ同じ領域に存在する<sup>(18)</sup>。道路橋上を車両に乗車して走行すると道路橋の振動が車両及び人体系に影響を及ぼす。車両が道路橋上を走行する場合、道路橋の動的たわみが車両内の乗員挙動に及ぼす影響について定量的に把握することは乗り心地を向上するうえにおいて重要である。さらに、近年、快適性が重要視され最適設計を行なうためには走行荷重による道路橋の動力学的特性及び道路橋の動的たわみ等に起因した人体の動力学的特性等を考慮に入れた、道路橋の最適設計と合理的評価の重要性が高まっている。道路橋の振動を考慮にいれた車両-乗員-道路橋系の連成振動特性<sup>(14)</sup>について研究した。道路橋の運動方程式をモーダルアナリシス法を適用して理論解析し、車両・乗員挙動に及ぼす位相速度( $V_p$ )及び Crossing Frequency Ratio( $V_c$ )による影響を検討した。道路橋中央点の上下方向加速度と乗員各部の

加速度との比すなわち加速度比にピークとなる  $V_p$  及び  $V_c$  が存在することが明らかとなった。

##### 4. 3 高架道路橋不同変位の影響

高架道路橋に関連した現象として、道路橋不同変位による影響が考えられる。地震あるいは老朽化による高架道路橋不同変位などは、直接乗り心地を左右する要因である。車両-乗員-高架道路橋系を連成振動としてモデル化<sup>(15)</sup>し、図5に示すように経年あるいは地震等により発生が予測される高架道路橋不同変位の数種のパターンを考慮し、高架道路橋不同変位が車両・乗員挙動に及ぼす影響について検討した。

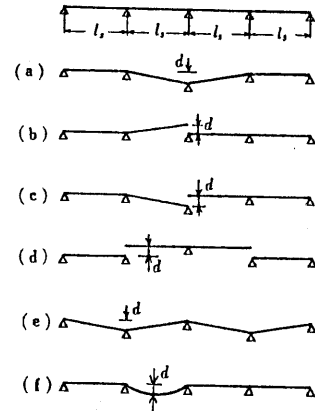


図5 高架道路橋不同変位

さらに快適な乗り心地が得られるための高架道路橋の常時の保守基準、盛土構造物に対する沈下等の規制値等についても検討した。

##### 4. 4 道路橋伸縮装置段差の影響

道路橋伸縮装置など路面上に段差が発生すると、この部分を通過する車両は激しい衝撃を受け、車両内の乗員の乗り心地を低下するばかりでなく交通騒音・振動等の公害の原因となる。車両が道路橋伸縮装置段差を通過する場合の人体の振動特性を明らかにし、段差が生じた場合の保守基準を定量的に定めることは乗り心地向上をはかると同時に道路橋の損傷、交通騒音・振動等の公害を防止するうえにおいても極めて重要である。さらに、段差の形状による影響についても検討した<sup>(7)</sup>。図6は道路橋伸縮装置

段差を有する路面形状をフーリエ級数を用いて数値モデル化したものである。級数の項数と段差形状の関係を示す。

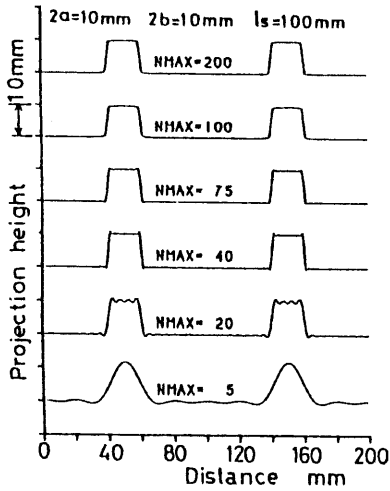


図6  $N_{max}$ と伸縮装置段差形状

#### 4. 5 車両—乗員—道路橋—大型車両系

人体を含むさらに複雑系のシステムとして、車両—乗員—道路橋—大型車両系の連成振動の現象を解析した<sup>(16)(17)</sup>。図7に物理モデルを示す。

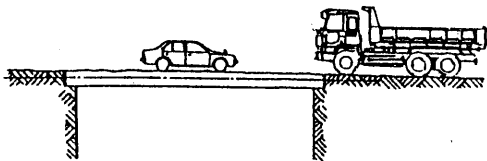


図7 車両-乗員-道路橋-大型車両系のモデル

渋滞あるいは信号待ちなどで、道路橋上で車両が停車中に、反対車線を大型車両が通過すると、道路橋は走行車両の活荷重により振動する。道路橋上に停車している車両—乗員系は道路橋の振動の影響を受けて複雑な振動系を構成し、乗員は不快感あるいは不安感を持つことがある。道路橋の諸元、大型車両の重量、走行速度及び道路橋上に停車している車両の停車位置等が乗員挙動に及ぼす影響について定量的に検討した。さらに、図8に示すように道路橋上で想定される走行モードパターンによる影響につい

ても検討した。

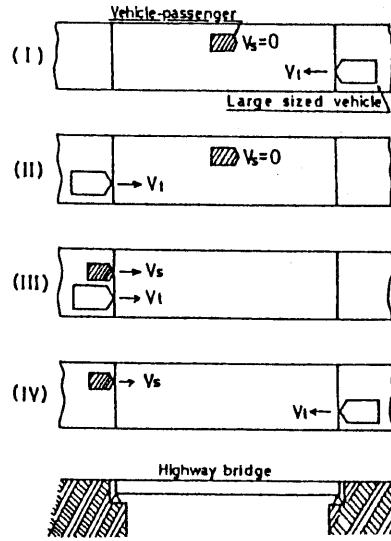


図8 走行モードパターン

#### 4. 6 人体と道路橋に優しい車両

人体と道路橋に優しい車両開発についての研究も実施した<sup>(18)(19)</sup>。サスペンションのばね及びダンパ特性が異なる5種類の実現可能性を有するサスペンションと空気ばねの場合について、人体と道路橋に優しい車両系サスペンションを示した。図9に解析モデルを示す。

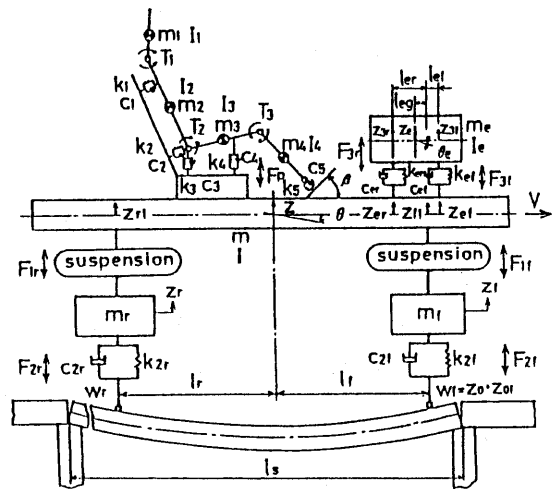


図9 道路橋に優しい車両検討モデル

## 5. 人体を含む複雑系の振動現象の課題と展望

人体を含む複雑系の計算システムの今後の課題として、高速のCPUとグラフィック機能によってリアルタイム表示および出力のアニメーション表示等を可能とすれば現象把握がさらに容易となる。乗り心地解析に感性にかかわる性能の定量評価法をシステム内に考慮することも今後の課題として必要である。車体、エンジン振動はステアリング装置を介して腕にも伝達される。腕-ステアリング系を考慮した乗員モデルの高精度化も必要であろう。人体の胴体部は多数の脊椎で構成されており、人体のモデル化にあたり、胴体部を弾性体でモデル化すればさらに検討可能な範囲が拡大しよう。

乗り心地に及ぼす乗員・シート系パラメータの影響については、人間の関節の力学的特性値は緊張時と弛緩時ではかなりの差が生じる。人間は視覚情報などにより筋肉の緊張の度合いが異なると関節の回転特性は異なり、乗員挙動に大きく影響を与えることが予測される。また人体に振動刺激を呈示し続けているとその振動刺激に対する感度が低下する振動感覚順応現象が観測される。これらの視覚情報、振動感覚順応等に依存した関節特性をシステムにクローズドループとして考慮することも今後は必要となろう。

乗員の幾何学的特性の違いにより振動特性に差異が生じることが明らかとなった。今後は各車両ユーザの体型にフィットしたシート提供が望まれる。エンジン振動の影響については、エンジンの小型化・軽量化・高性能化は今後益々追求されていく研究課題である。エンジン自体の回転振動及び車両走行により発生するエンジン振動など乗員への影響度は常に考慮しておく必要がある。

路面入力あるいは車速に応じてシート位置を最適に制御し、快適な乗り心地を得ることも可能と考えられる。この種の車両開発すなわちシートのアクティブ制御は今後の課題となろう。サスペンションをアクティブ制御し、車体振動を完全に抑制することは現在の技術では限界があるものと思われる。2次的にシートをアクティブ制御し、快適な乗り心地を得る技術開発が期待される。制御すべき因子<sup>(5)</sup>が明

らかとなっているのでシートのアクティブ制御も将来実車に装備されよう。

車両が段差を高速で通過する場合、タイヤが路面から非接地状態となることが予測される。タイヤの跳躍現象を考慮に入れた解析も必要である。また変位が急変する路面では実現象をさらに詳細に把握するためにはタイヤ接地圧分布等を考慮に入れたタイヤモデルの開発及び数値モデル化も必要であろう。

車両-乗員-道路橋-大型車両系の現象解明では、主に標準諸元との相対的評価で特性を明確にされている。道路橋の最適設計を行なううえにおいて絶対的評価も必要であろう。そのためには、道路橋の基本周波数の存在領域、特に2~3Hzの周波数域におけるシート着座状態での人間工学的特性を詳細に把握することが必要である。振動に対する感覚実験を実施し、道路橋上での乗員の実感にできるだけ近い評価尺度を求めることが必要となる。

人体を含む振動現象の解析及び計測法・評価法に関して残された課題も多い。人体の幾何学的特徴あるいは性別、年齢差等の違いによる人体の動的特性に関するデータは乏しく、計測法・評価法の高度化を図り、これらについての実測データを蓄積していくこと、併せて活用できるよう基準化していくことが必要である。人体は機械以上に複雑な構造をしているため、計測が困難であるばかりなく再現性が乏しいため本研究で示した人体のダイナミクスまで考慮した解析技術は、工学的価値が高く、人間の動作の改善、障害等に対する評価、人体にかかわる機器設計のための事前評価など多方面への応用が可能であろう。

その他、人体を含む複雑系のシステムとして、人間-鉄道車両系、人間-航空機・宇宙系、人間-船舶系、人間-土木建設・鉱山機械系、人間-農業機械系など人体を含む動力学的現象を解明し、設計に反映できる技術資料を体系化することが望まれる。さらに、人体の状態も立位、臥位状態なども対象となる。しかし、これらは、本報で示した研究の延長線上にあり、同様の手法を適用すれば問題解決は可能であろう。

## 6. あとがき

人体を含む複雑系の振動特性の数理モデル化と問題解決について論じた。製品を市場に出すには多くの性能を短時間で満足させる必要がある。例えば車両の乗り心地は車両の商品性を左右する重要な性能の一つである。人体を含む解析技術は車両の振動乗り心地に関する設計と評価に際して、特に初期段階における車両全体の諸元決定や各システムの基本設計を合理的に見通しを立てながら行えるようにすることであり、開発の課程での方向づけを可能にする。従来の車両系のみを単独システムとしての解析では不十分であり、路面、タイヤ、サスペンション、車体、シート、人体をトータルなシステムとして捉えた取り扱いが必要である。すなわち人間を車両に含む連成系としての解析をし、人体各部で受ける振動乗り心地等の官能評価をシステム設計の中に組み込み、人体の運動を車両-乗員-路面系として体系化する新しい試みである。人に優しい車両開発が一層重要視される現在この種の試みは今後のキーテクノロジーの一つになりえよう。自動車開発において、人体のヒューマンダイナミクスまで考慮した解析技術は、今後ますます重要性を増していくであろう。

## 参考文献

- (1) 西山修二・矢川元基、人体を含む複雑系の振動特性の現状と動向、機械の研究、第47巻 第6号、pp.661-669.
- (2) 西山修二、車両-乗員系連成振動シミュレーションシステムの開発、(第1報、理論解析及びシステム検証)、日本機械学会論文集、第59巻 第568号、C編(1993-12)、pp.3613-3621.
- (3) Nishiyama, S., Development of a Vehicle-Occupant Dynamic Interaction Simulation System, Proceedings of the ASIA-PACIFIC VIBRATION CONFERENCE '93, (1993-11), vol.2, pp.825-830.
- (4) 西山修二、車両-乗員系連成振動シミュレーションシステムの開発、(第2報、乗員挙動に及ぼす最終着座姿勢の影響)、日本機械学会論文集、第59巻 第568号、C編(1993-12)、pp.3622-3629.
- (5) 西山修二、車両-乗員系連成振動シミュレーションシステムの開発、(第3報、乗員挙動に及ぼす乗員・シート系パラメータの影響)、日本機械学会論文集、第60巻 第573号、C編(1994-5)、pp.1509-1516.
- (6) 西山修二、乗員挙動に及ぼすシート位置の影響、日本機械学会中国四国支部第32期 総会・講演会講演論文集、No.945-1(1994-3)、pp.180-182.
- (7) 西山修二、車両-乗員系連成振動シミュレーションシステムの開発、(第4報、乗員挙動に及ぼす道路橋伸縮装置段差の影響)、日本機械学会論文集、第60巻 第575号、C編(1994-7)、pp.2220-2226.
- (8) 西山修二、人体を含む複雑系の連成振動特性に関する研究、第22回 中国工業技術研究所研究講演会講演要旨集 1995年11月.
- (9) 西山修二、車両-乗員系連成振動シミュレーションシステムの開発(第5報、前後輪の回転運動を考慮した場合) 日本機械学会第5回交通・物量部門大会講演論文集 No.91-51(1996-12)、pp.197-200.
- (10) 西山修二、車両-乗員系連成振動を考慮した乗員の上・下・左右振動解析、日本機械学会論文集、第59巻 第567号、C編(1993-11)、pp.3239-3246.
- (11) 西山修二・上杉憲雄、救急車内の臥位人体の振動特性に関する研究、日本機械学会中国四国支部第33期講演論文集 No.955-1(1995-3)、pp.243-244.
- (12) 西山修二・武田史郎・竹島 透、着座姿勢が人体各部の振動特性に及ぼす影響(実験的研究)、日本機械学会論文集、第61巻 第590号、C編(1995-19)、pp.2220-2226.
- (13) 西山修二 外、人体・シート・ステアリングホイール・ペダル系の振動特性に関する研究、日本機械学会中国四国支部第35期講演会(1997年3月発表予定)
- (14) Nishiyama, S., Computational Human Dynamics of Vehicle-Passenger Dynamic Interaction on a Highway Bridge, Proceedings of the International Conference on Computational Engineering Science, July 30-August 3, 1995, Hawaii, USA, Volume 2, Springer pp.2623-2628.
- (15) 西山修二、車両-乗員-高架道路橋系連成振動特性に関する研究(車両と乗員挙動に及ぼす高架道路橋不同変位の影響)、日本機械学会論文集、第59巻 第565号、C編(1993-9)、pp.2613-2620.
- (16) 西山修二、車両-乗員-道路橋-大型車両系連成振動特



- 性に関する研究、日本機械学会論文集、第 60 巻第 569 号、  
C 編 (1994-1),pp.16-23.
- (17)西山修二、走行自動車荷重を受ける道路橋上の車両一  
乗員の動的応答特性に関する研究、自動車技術会論文集、  
vol.25,No.4(1994-10),pp.1-6.
- (18)西山修二、道路橋と人体に優しい車両系サスペンション、  
日本機械学会 VsTech'95 振動・音響新技術シンポジウム  
講演論文集、No.95-16(1995-6),pp.74-77.
- (19)西山修二、道路橋と人体に優しい車両系サスペンション日  
本技術士会中・四国支部創立 30 周年記念  
第 3 回西日本技術士 研究・業績発表年次大会論文集、  
p p. 99-102.
- (20)西山修二、人体を含む複雑系の振動特性の現状と動向、  
第 26 回 日韓技術士会議資料, 1996 年 11 月, pp.2-14,  
日本技術士会.