低周波帯域における人体振動特性と不快感の相関性検証*

小泉孝之^{*1}, 辻内伸好^{*1}, 吉田和弘^{*2}, 山田幸子^{*3}, 田島孝光^{*3}

Verification of the Correlation between Human Vibration Characteristic and Discomfort at the Low-Frequency Band

Takayuki KOIZUMI^{*1}, Nobutaka TSUJIUCHI, Kazuhiro YOSHIDA,
Sachiko YAMADA and Takamitsu TAJIMA^{*1} Doshisha University, Dept. of Mechanical Engineering
1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto, 610-0321 Japan

Recently, the riding comfort of car passengers became as important as the driving performance and the control stability. In order to improve the riding comfort, it is necessary to evaluate comfort quantitatively and take increasing comfort measures. In this study we analyzed the effect of vibration on the riding comfort. This research was conducted using two real cars having different riding comfort. We recognized that there were differences in the acceleration magnitude, frequency, phase, and the acceleration amplitude ratio of the driver's head response for a frequency under 3Hz. Therefore, using these as the input parameters, we investigated the sensibility characteristics in a shaking experiment, with a driving posture, to identify the parameters that affect the sensation during driving. We conducted vibration experiment using ordinary sine waves with two different directions, X (fore and aft)-Z (vertical) and Y (lateral)-Z (vertical). As a result, the riding sensation tends to depend on the frequency and the amplitude ratio. Next, we measured the human body response using input conditions which had shown differences of sensation in the experimental results of sensibility characteristics. Measurement points were pre-head, occipital, chest, pelvis, and ischium. Moreover, we analyzed human vibration responses by observing the relative movements of body parts from side-view and rear-view. We verified correlation between these responses and sensations. As a result, this study shows that riding comfort can be improved by decreasing lateral vibration at chest and pelvis.

Key Words : Ride Comfort, Human Vibration, Automobile

1. 緒 言

自動車開発では、走行性能や操縦安定性能と共に乗心地性能の向上が進められている^(1,2)。乗心地性能をより向上させる開発のため、設計段階から客観的な評価を導入する取り組みが進んでおり、その中で、過去には単軸振動における乗心地研究⁽³⁾や周波数変化に着目した人体振動応答の調査や官能評価^(4,5)が行われてきた。実車走行時に乗員に与えられる振動は多軸複合振動であり、周波数特性以外にも乗心地に影響するパラメータが存在すると考えられる。また、これら以外にも生体信号を用いた評価指標の特定⁽⁶⁾などの研究も行われている。しかし、不快感は加えられた振動により人体が振動することで引き起こされる⁽⁷⁾ため、評価指標は人体の振動応答からも設定が可能と考えられており、過去には低周波帯域における上体と頭部の挙動がフィーリングと関係していることが報告されている⁽⁵⁾。

そこで本研究では、低周波帯域で乗員が感じる乗心地フィールに影響を及ぼすようなパラメータを抽出し、複合的な振動を入力して、抽出したパラメータの変化に対する人の振動感受特性を加振実験により分析した。更に、

* 原稿受付 2010 年 11 月 12 日

^{*1} 正員, フェロー, 同志社大学工学部 (〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3)^{*2} 学生員, 同志社大学大学院工学研究科^{*3} (株) 本田技術研究所四輪 R & D センター (〒321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢 4630)

E-mail: tkoizumi@mail.doshisha.ac.jp

人体振動応答を用いてフィーリングを予測する為の評価手法の検討を行った．次に，人のフィーリングに影響を与える振動パラメータとして低周波帯域による入力加速度，位相差，振幅比，周波数を入力条件として振動感受特性を把握し，快・不快感に影響を及ぼす入力振動を抽出した．更に，不快感は振動を受け，身体が揺れることによって生じると仮定し，特定した入力振動を用いて人体振動応答の計測を行った．得られた人体振動応答と振動感受特性の関係性を調査し，乗心地評価指標を検討した．

2. 台上加振実験による感受特性把握

フィールに影響を与える入力条件を設定するため，運転者姿勢における加振実験によって振動感受特性を把握し，感度マップを作成した．実験の被験者は大学生と大学院生(年齢 21-24 歳)から公募した．被験者には事前に実験目的，実験方法を口頭と書面で十分に説明し，書面による同意を得た．また，本大学内で，実験の安全性や実験による被験者への影響などの項目に対する倫理審査承認を得ている．

2・1 フィールに影響する入力パラメータの特定

乗心地フィールが異なる 2 種類の車両 A,B(B は A より優れる)を選定し，実路走行でのドライバー頭部の加速度応答を計測した．結果の一例を図 1 に示す．車両 A と比較すると車両 B は頭部加速度リサージュの絶対値，加速度振幅比は小さく，位相差が大きいことがわかる．また，周波数もフィーリングと関係していることから⁽⁵⁾，本研究では並進 2 軸振動の入力加速度の大きさ，位相差，振幅比および周波数を入力パラメータとした．そして，加振試験により各入力パラメータが変化した時の感受特性の把握実験を行った．座標軸はシートに着座した被験者に向かって前後方向を X，左右方向を Y，上下方向を Z と設定し，2 軸加振機にて，X，Z 方向の各々独立に正弦波入力を与えた．またシートの設置方向を変更し，Y，Z 方向への入力を同様に与えた．入力加速度の大きさ，位相差および振幅比の値は実路走行時の車体床面振動に基づいて設定した．X-Z，Y-Z 複合の入力加速度はある実路走行時の加速度の値を元に 1.62m/s^2 および 1.00m/s^2 とした．乗心地向上のためには 3Hz 以下での不快感予測が重要とされている⁽⁸⁾ことから，加振周波数は 1.0-3.5Hz とした．入力加速度と周波数は全入力振動に共通なパラメータとした．入力振動のパラメータを表 1 に示す．次節で，実験装置と 4 つの入力パラメータ(入力加速度，周波数，位相差，振幅比)の感受特性把握実験について述べる．

Table 1 Parameter of input vibration

Input acceleration [m/s^2]	Amplitude ratio		Phase difference	
	1.62	1.00	1.62	1.00
Frequency [Hz]	1.0-3.5	1.0-3.5	1.0-3.5	1.0-3.5

Fig.1 Head response

2・2 実験装置

実験装置の構成を図 2 に示す．加振機は 2 本のサーボ型油圧アクチュエータと 1.2m 四方の加振台，油圧ユニットから成り，上下と水平方向の計 2 方向に作動する．入力波形の加速度と周波数は，主制御盤と油圧回路開閉

盤に接続されている PC によって制御する．この台上にシート，ステアリングホイール，シートベルト，ペダルを設置した．台上からシートまでの高さ，シートに対するシートベルト，ステアリングホイール，ペダルの位置関係は実車レイアウト相当とした．図 3 に加振機上に再現したシート系を示す．実験時中，被験者はステアリングホイールを握り，ペダルに足を載せ，シートベルトを装着した姿勢とした．X 方向のシート位置は被験者が任意で設定した位置で，シートクッション角度とバックレスト角度(Z 軸に対して12deg)は実験を通して一定とした．

Fig.2 Experimental measurement system

Fig.3 Seat layout

2・3 実験方法

2・3・1 入力加速度変化

入力加速度の変化に対する感受特性を把握するため，被験者 10 名を対象に，一対比較法を用いて振動評価を行った．一対比較法とは，基準振動に対する評価を比較振動毎に行う評価方法である．基準振動は入力加速度 1.00m/s^2 の $1.0\text{--}3.5\text{Hz}$ とし，比較振動は入力加速度 1.62m/s^2 の $1.0\text{--}3.5\text{Hz}$ とした．この実験では，各入力加速度に対して周波数 $1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5\text{Hz}$ の 2 軸複合正弦波振動を再現して，被験者に入力した．加振方向は X-Z と Y-Z の 2 通りとし，基準振動と比較振動の加振方向は同一とした．入力振動を次式に示す．ここで， a_x は X 方向の加速度， a_y は Y 方向の加速度， a_z は Z 方向の加速度である．

$$\sqrt{a_x^2 + a_z^2} = \text{const} = 1.62, 1.00\text{m/s}^2 \quad (1)$$

$$\sqrt{a_y^2 + a_z^2} = \text{const} = 1.62, 1.00\text{m/s}^2 \quad (2)$$

$$a_x = a_{x\text{max}} \sin(2\pi ft), a_y = a_{y\text{max}} \sin(2\pi ft), a_z = a_{z\text{max}} \sin(2\pi ft) \quad (3)$$

この比較実験では，入力する振動周波数は一定とし，2 つの入力加速度を変化させた．これらの条件下で，基準振動の評点を 10 点(基準点)とし，比較振動を 0-20 点で評価を行った．基準振動より不快と感じた場合は，基準点(10 点)を上回る点数を，快適に感じた場合は基準点を下回る点数とした．

2・3・2 周波数変化

基準振動を 1.0Hz とし，比較振動は $1.5\text{--}3.5\text{Hz}$ とした．被験者 5-10 名を対象とし，2.1 節で述べた入力加速度 1.62m/s^2 と 1.00m/s^2 に対して，それぞれ X-Z 方向と Y-Z 方向の 2 軸複合正弦波振動を与えた．振動の入力方向と評価方法は 2.3.1 節と同様とした．

2・3・3 位相差変化

位相差は X, Y 方向に対して Z 方向に $-90, -45, 0, 45, 90\text{deg}$ の計 5 種類とした．入力加速度が 1.62m/s^2 において，被験者への入力振動の X と Y 方向に対して Z 方向の位相差が 0deg 時の入力加速度が 1.62m/s^2 ，また，入力方向が Z 方向に対して 12.5deg となるように加速度振幅を設定した．入力加速度 1.00m/s^2 についても同様とした．位相差変化における入力振動(X-Z)を図 4 に示す．

位相差の変化に対する評価を行うために基準振動を 0deg, 比較振動を-90, -45, 45, 90deg に設定した。基準振動の評点を 5 点(基準点)とし, 基準振動に対して比較振動を一对比較法を用いて 0-10 点で評価した。被験者数は 5-10 名とし, 入力方向は前節と同様とした。

2・3・4 振幅比変化

振幅比は 2 軸複合の入力加速度を一定に保ち, X-Z および Y-Z の加速度振幅を変化させた。振幅比は入力角で見ると, Z 方向に対して-25, -12.5, 0, 12.5, 25deg の 5 種類とした。振幅比パターンを表 2, 3 に示す。

振幅比の変化に対する評価を行うために, 基準振動を-12.5deg, 比較振動を-25, 0, 12.5, 25deg に設定した。基準振動の評点を 5 点(基準点)とし, 基準振動に対して比較振動を 0-10 点で評価した。なお, 振幅比の基準振動と 2.3.3 節で述べた位相差の基準振動は同一波形とした。被験者数は 5-10 名とし, 入力方向, 振動評価方法は前節と同様とした。振幅比変化における入力振動(X-Z)を図 5 に示す。

Fig.4 Input vibration of phase difference (X-Z)

Fig.5 Input vibration of amplitude ratio (X-Z)

Table 2 Condition of input vibration for amplitude ratio
when vibration magnitude is 1.62 m/s^2

Input angle[deg]	Z [m/s^2]	X,Y [m/s^2]
-25.0	1.47	-0.69
-12.5	1.58	-0.35
0.0	1.62	0
12.5	1.58	0.35
25.0	1.47	0.69

Table 3 Condition of input vibration for amplitude ratio
when vibration magnitude is 1.00 m/s^2

Input angle[deg]	Z [m/s^2]	X,Y [m/s^2]
-25.0	0.91	-0.43
-12.5	0.98	-0.22
0.0	1	0
12.5	0.98	0.22
25.0	0.91	0.43

2・4 各感受特性に対する実験結果

図 6 に Y-Z 加振時の入力加速度変化における感受特性を示す。この図は全被験者の評点の平均値と周波数の関係を表しており, 縦軸は比較振動(1.62 m/s^2)の評点, 横軸は周波数を示す。この図から評点が全周波数で 10 以上であることから入力加速度 1.62 m/s^2 は 1.00 m/s^2 よりフィーリングが低下する傾向であることが分かった。

X-Z 加振時の周波数変化に対する感受特性を図 7 に示す。この図は全被験者の評点の平均値と周波数の関係を表しており, 縦軸は評点を示し, 横軸は周波数を示す。図 7 より, 周波数の増加に伴いフィーリングは低下する傾向となることを確認した。

X-Z 加振時の位相差変化に対する感受特性を図 8 に示す。この図は全被験者の評点の平均値と位相差の関係を表しており, 縦軸は比較振動の評点, 横軸は位相差を示す。図 8 より, 低周波領域では, 位相差の変化に対して評点に大きな変化はなかった。

X-Z 加振時の振幅比変化に対する感受特性を図 9 に示す。この図は全被験者の評点の平均値と振幅比の関係を表しており, 縦軸比較振動の評点を示し, 横軸は振幅比を入力角で示す。

Fig.6 Evaluating value of 1.62m/s^2 for input acceleration (Y-Z)

Fig.7 Evaluating value for frequency (X-Z)

Fig.8 Evaluating value of 1.62m/s^2 for phase difference (X-Z) Fig.9 Evaluating value of 1.62m/s^2 for Amplitude ratio (X-Z)

2・5 感度マップの導入

パラメータの変化に対する感受特性の変化を容易に把握するために感度マップを導入した。2・4節での結果を用いて4つの独立した各感受特性の重み付けを行い、各パラメータを比較した。ここでは、複数のパラメータを合成し、感度マップを作成することでフィールに寄与する複合的な振動を分析した。重み付けの方法を次項に示す。また、重み付けの手順を図10に示す。

2・5・1 周波数補正

異なる周波数の振幅比や位相差の評点を比較するため、周波数感受特性から周波数の重み付けを行った。周波数変化実験から得られた基準振動(1Hz)に対する比較振動(1.5-3.5Hz)の評点比率を、位相差と振幅比の実験で得られた同周波数の全評点に乘ずることで重み付けを行った。ここでは、位相差、振幅比が変化した場合においても、周波数感受特性(ある特定の入力周波数に対する評点・不快感)は等しいと仮定した。

2・5・2 パラメータ違い補正

位相差実験と振幅比実験の基準振動は同一波形であるため、両振動の評点は等しくなる必要がある。しかし、周波数補正により両振動の評点に差異が生じたため、各周波数に対して振幅比実験の基準振動の評点を位相差実験の基準振動の評点と等しくなるように補正した。更にこの際の補正倍率を算出し、周波数毎で、基準波形を補正した際に乗じた倍率を比較振動の評点に乘じ、データを処理した。

2・5・3 入力加速度補正

パラメータの補正後、入力加速度 1.00m/s^2 における全評点と 1.62m/s^2 における全評点を比較可能にするために重み付けを行った。1-3.5Hzの各周波数に対して入力加速度 1.00m/s^2 に対する 1.62m/s^2 の評点比率を算出し、その比率を入力加速度 1.62m/s^2 における同周波数の全評点に掛けることで補正を行った。ここでも2・5・1項と同様に、位相差、振幅比が変化した場合においても、入力加速度変化に対する感受特性は等しいと仮定した。

Fig.10 The procedure of weighting

2・6 フィールドに影響する入力振動の特定

2・5 節の補正後に、得られた評点から、各入力条件に対するフィーリングをカラー色で表現したカラーマップ（感度マップ）を作成した。すべての感度マップにおいて、色が赤から青へ変化するほどフィーリングが良好となる傾向であることを表す。

X-Z 複合振動について述べる。結果の一例として入力加速度 1.62m/s^2 における位相差および振幅比に対するカラーマップをそれぞれ図 11(a), (b) に示す。ここで図 11(a) は横軸に周波数、縦軸に位相差を示し、図 11(b) は横軸に周波数、縦軸に振幅比を入力角で示している。図 11(a) から、同一周波数では位相差変化によるフィーリングの大きな変化は見られなかった。図 11(b) から、入力角(振幅比)が小さい場合はフィーリングが良好となる傾向であることが分かった。

次に Y-Z 複合振動について述べる。入力加速度 1.62m/s^2 における位相差および振幅比に対する感度マップをそれぞれ図 12(a), (b) に示す。周波数低下に対してフィーリングが良好となる傾向となった。

次章で、この実験結果を用いて人体振動特性を調査し、乗心地の評価指標の検討を行う。フィーリングが振動応答により予測可能となれば、乗心地の評価に有効な手段となり得る。

Fig.11 The characteristics of vibratory sensibility at 1.62m/s^2 (X-Z direction) Fig.12 The characteristics of vibratory sensibility at 1.62 m/s^2 (Y-Z direction)

3. 感受特性と人体振動応答の関係性検証

前章で特定した快適な振動と不快な振動に対する人体各部の振動応答の差異を確認し、乗心地の評価指標となる人体振動応答について検討した。

3・1 被験者への入力振動

感度マップの中から特に評点の変動が大きかった入力加速度 1.62 m/s^2 の振幅比に着目し、感度マップから各周波数に対して、評点が最も高かった入力、評点が中間の入力、評点が最も低かった入力を選定した。続いて、その評点に対応した振動を被験者に入力した。選定した振動を表4に示す。

Table 4 Input vibration to subject

(a)X-Z direction

Frequency [Hz]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
Input angle[deg]	-25.0	-25.0	-25.0	-12.5	-25.0	-25.0
	-12.5	-12.5	0.0	12.5	-12.6	12.5
	12.5	25.0	25.0	25.0	12.5	25.0

(b)Y-Z direction

Frequency [Hz]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
Input angle[deg]	-25.0	-25.0	-25.0	0.0	0.0	-25.0
	0.0	0.0	-12.5	12.5	12.5	12.5
	12.5	12.5	0.0	25.0	25.0	25.0

3・2 人体振動の計測方法

被験者の人体振動を把握するために加速度計を取り付け、時間波形を計測した。乗心地予測のためには乗員体幹の振動応答が重要な評価項目とされている⁽⁸⁾。また、ノイズの影響を考慮し、脂肪の少ない頭部2点、胸郭、骨盤、坐骨に加速度計を取り付けた。頭部の加速度計測では、ゴムバンドに加速度計を固定し、そのバンドを頭部に巻くことで計測を行った。胸郭、骨盤の加速度は、両面テープで皮膚に加速度計を固定することで計測した。坐骨の加速度を計測するために、自動車シートに加速度計を両面テープで固定し、その加速度計の上に坐骨が乗るように被験者は着座した。各加速度計を取り付けた状態を図13に示す。被験者は年齢21-24歳までの男性8人で構成した。実験には図3に示した装置を用いた。

(a)Pre-head and occipital

(b)Chest and pelvis

(c)Ischium

Fig.13 Sensor layout

3・3 フィーリングと人体振動応答の相関性検証

各入力条件に対する人体振動応答として計測した加速度をもとに人体各部のリサージュ波形を作成した。そして、評点とリサージュ波形の相関性を検証し、乗心地の評価指標について検討した。

3・3・1 フィーリングに寄与する人体振動の特定

X-Z 方向(side view), Y-Z 方向(rear view)の頭部, 胸郭, 骨盤の人体振動を表したリサージュ波形を作成した。作成したリサージュ波形の一例を図 14, 15 に示す。図 14 は胸郭のリサージュ波形, 図 15 は骨盤のリサージュ波形を示している。各図の(a)は評点が低く快適な状態(入力条件: Y-Z 加振, 1.5Hz, 入力角 0deg), (b)は評点が高く不快な状態(入力条件: Y-Z 加振, 3Hz, 入力角 25deg)を示しており, 縦軸は Z 方向の加速度, 横軸は Y 方向の加速度を表している。各図の(a)と(b)を比較すると, 評点が低い場合には主軸の大きさが小さかった。また, 図 14(a)と図 15(a)を比較すると, 人体各部の主軸の傾きの差(主軸間の相対角度)が小さく, 同様に, 図 14(b)と 15(b)を比較すると主軸間の相対角度が大きかった。図 14 の(a)と(b)を比較すると, フィーリングが良いと感じる場合において位相差は小さかった。図 15 の(a)と(b)を比較すると, フィーリングが良いと感じる場合で主軸の傾き(Z 軸と主軸の成す角)が小さかった。以上より, リサージュの位相差, 主軸の大きさ, 主軸の角度, 主軸間の相対角度がより小さい場合がフィーリングが良いと感じる状態であると推測し, これらの 4 つの要因とフィーリングの相関性の検証を行った。

Fig.14 Chest movement for Y-Z of amplitude ratio

Fig.15 Pelvis movement for Y-Z of amplitude ratio

3・3・2 位相差とフィーリングの相関性検証

人体各部のリサージュ波形における位相差を求める。全被験者に対して Z 方向に対する X, Y 方向の振動波形の位相差を算出した。そして, 全被験者における人体各部の位相差平均値を算出し, 単回帰分析を用いて位相差と評点の相関性を検証した。後頭部における X-Z と Y-Z 方向の結果をそれぞれ図 16(a), (b)に示す。縦軸は位相差, 横軸は評点を表している。図 16(a)より, X-Z 方向の後頭部における位相差と評点の相関は見られなかった。図 16(b)より, Y-Z 方向の後頭部における位相差と評点の相関係数は $0.64(p < 0.1)$ となった。有意確率が 0.05 未満 ($p < 0.05$) を満たしておらず, ばらつきもあることから, 後頭部(Y-Z)における位相差と評点の相関は低いと考えられる。また, この結果と同様に他の全ての部位に対しても位相差とフィールとの相関はなかった。

Fig.16 Relationship between phase difference and evaluating value in occipital

3・3・3 主軸の大きさとフィーリングの相関性検証

全被験者の人体各部に対する主軸の大きさとその平均値を算出し、更に、単回帰分析を用いて主軸の大きさと評点の相関性を検証した。その結果の一例として、前頭部におけるX-ZとY-Z方向の結果をそれぞれ図17(a),(b)に示す。縦軸が主軸の大きさ、横軸は評点を表している。図17より、X-Z、Y-Z方向の前頭部における主軸の大きさは評点の増大に対して増加傾向を示しており、相関係数は0.81以上($p<0.05$)となった。また、他の全部位における主軸の大きさとフィーリングの相関係数も0.75($p<0.05$)となり、リサージュ波形における2軸複合の加速度が減少するとフィーリングが良好と感じる傾向となった。

Fig.17 Relationship between magnitude and evaluating value

3・3・4 主軸の傾きとフィーリングの相関性検証

主軸とZ軸のなす角度を評価指標として、全被験者の平均角度を算出した。そして、角度と評点の相関性を検証した。骨盤でのX-Z方向に対する結果を図18(a)に、Y-Z方向に対する結果を図18(b)に示す。図18(a)より、X-Z方向の骨盤における角度と評点の相関は見られなかった。一方、図18(b)より、Y-Z方向の骨盤における角度は評点の増加に伴い増加する傾向を示しており、相関係数は0.69($p<0.05$)となった。このことから、骨盤における左右方向の加速度振幅がフィーリングへの相関が高いと考えられる。

Fig.18 Relation between evaluating value and angle in pelvis

3・3・5 人体各部位間の主軸の相対角度とフィーリングの相関性検証

主軸間の相対角度を評価指標として、全被験者の平均相対角度を算出した。そして、相対角度と評点の相関性を検証した。胸郭-骨盤での X-Z 方向に対する結果を図 19(a)に、Y-Z 方向に対する結果を図 19(b)に示す。縦軸が相対角度、横軸は評点を表す。図 19(a)より X-Z 方向の胸郭-骨盤における相対角度と評点の相関性は得られなかった。これに対して、図 19(b)より、Y-Z 方向の胸郭-骨盤における相対角度は評点の増加に伴い増加する傾向を示しており、相関係数は $0.74(p<0.05)$ となった。

以上より、胸郭と骨盤(Y-Z)の主軸の傾きの差異が増大すると評点が低下する傾向があった。よって、胸郭と骨盤の振動方向を統一すること、そして、前節の結果を踏まえると両者の左右振動を低減し、振動方向を上下に統一することが乗心地を向上できる要素となり得る可能性がある。

Fig.19 Relation between evaluating value and relative angle in chest - pelvis

4. 結 語

本研究では、実車振動計測データを基に入力加速度、位相差、振幅比、周波数を入力パラメータとして、振動感受特性を把握し、乗心地フィールに影響を及ぼす入力パラメータを調査した。また、人体振動を計測し振動特性と感受特性の相関性を検証し、乗心地の評価指標について検討した。本研究で得られた結論を以下に示す。

- 1.) 位相差の変化に対しフィーリングの変化は小さかった。
 - 2.) 周波数と振幅比の低減と乗心地フィール向上の相関性が高かった。
 - 3.) 骨盤の左右振動の低減はフィーリング向上要素として考えられる。
 - 4.) 胸郭と骨盤の振動方向の統一、胸郭と骨盤の左右振動の低減、更に振動方向を上下方向に統一した場合、乗心地を向上できる要素として見込まれる。
 - 5.) 人体各部の振動レベルの低減は乗心地向上の要素となり得ると推測できる。
- 今後は、人間の属性を含めた検討を進めてゆく。

文 献

- (1) 天坂格郎, “官能評価の基礎と応用”, 日本規格協会, (2003).
- (2) EBELING, S., NEUBERT, E., “自動車の一般品質特性としての快適性”, *VDI-Berichte (Verein Deutscher Ingenieure)*, No. 1613 (2001), pp. 95-113.
- (3) Hacaambwa, T.M., Giacomini, J., “Subjective response to seated fore-and-aft direction whole-body vibration”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 37 (2007), pp. 61-72.
- (4) KAZUSHIGE, E., MICHAEL J. GRIFFIN, “Quantitative prediction of overall seat discomfort”, *Ergonomics*, Vol. 143, No.6 (2000), pp. 791-806.
- (5) 阿部洋志, “人体振動応答による乗り心地評価手法の提案”, 同志社大学修士論文, (2006).
- (6) 岡本裕司, 中野公彦, 大堀真敬, 多加谷敦, 須田義大, 堀重之, “筋電位測定による自動車の乗り心地評価”, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集, Vol. 18th (2009), pp. 301-304.
- (7) 岡村昌浩, 小泉孝之, 辻内伸好, 小浜明久, “水平・垂直連成振動における人体動特性を考慮した乗り心地評価”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 68, No. 674 (2002), pp. 2865-2871.
- (8) 菅家徹, 吉村卓也, 玉置元, 加藤和人, 北崎智之, “自動車用シート着座時における人体-シート連成モデルの作成”, 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演論文集, Vol. 2006 (2006).