

論文・解説

37

## 車両を運転する人間の姿勢変化の観察に基づく考察 Consideration Based on Observation of Human Posture Change to Drive Vehicle

徳光 文広\*1 鐵本 雄一\*2  
Fumihito Tokumitsu Yuichi Tetsumoto

### 要約

お客様が車両を運転操作した際に、「こう動かしたい」と描いたイメージと車両の応答や挙動が一致することで得られる達成感や高揚感によって、適度に脳を活性化させて元気にする。加齢に伴う脳や身体の変質の傾きも鈍化させる人間中心開発に取り組んでいる。お客様がこう動かしたいと描いたイメージと車両の応答や挙動が一致している状態を「理想の状態」「達成感を得た良い状態」として定義し、この理想の状態を実現できる設計諸元を最高の生産効率で導出する手段としてModel Base Development (以下、MBD)を活用している。理想の状態を実現できる設計諸元を導出するためには、まず設計諸元と運転操作の因果関係を解明する必要がある。ドアの開閉においてもボタン操作においても、上腕だけの局所的な運動に留まらず全身運動を伴うため、人間の運動行動の網羅的な定量化が必要となる。

本稿では、設計諸元と運転操作の因果関係を解明する前段階として、車両を運転する人間の全身運動を網羅的に定量化する計測技術および分析技術を開発して、人間の運動行動の本質を観察した結果を報告する。

### Summary

When driving a car, if vehicle's responses /behaviors match driver's vehicle motion image, the driver feels a sense of achievement and exaltation, which activates the driver's brain and vitalizes him/her. Mazda's human-centered vehicle development focuses on slowing down the aging of human body including the brain. The status that driver's intended vehicle motion matches vehicle responses and behaviors is defined as an ideal status that gives a sense of achievement to the driver. MBD is used as a means to achieve design specifications to realize the ideal status with the highest production efficiency.

For the human-centered vehicle development, a causal relationship between the design specifications and driving operations needs to be clarified. For example, to open/close a vehicle door and operate switches, the driver uses not only his/her upper arm but also upper body or even full body. Therefore, the exhaustive quantifications of human's motor behaviors are necessary. As a preliminary step, we developed measuring and analysis technologies to exhaustively quantify the changes in driving position. This paper introduces the result of the observations of the nature of human's motor behaviors, which obtained by using the technologies.

**Key words** : Human Engineering, Driving Ability, Behavior Observation, Human-centered Development

### 1. はじめに

ひと昔前であれば高価のため安易に購入できなかった車両や携帯電話などの製品も、現在では生産効率の向上に伴い低価格化が進み所有していることが当たり前となり、日常生活の一部になっている製品も多い。これらの製品の市

場は爆発的に拡大し、市場獲得に向けた競争は激化の一途を辿っている。

この市場ニーズに対応するため、性能を向上させながら低価格化する矛盾を解く技術開発に各社がしのぎを削り、高性能でありながら低価格で商品を提供して来たものの、頭打ち感や横並び感のある昨今では、独自性や利便性など

\*1 ボデー開発部  
Doors & Lids Development Gr.  
(2019.8.23時点)

\*2 エンジニアリングシステム部  
Engineering Systems Dept.

の付加価値が市場を獲得する大きな要素となっている。この中で、使い手に達成感や高揚感を提供することを目的とする人間中心開発は大きな付加価値になると考える。人間中心開発の具体化にあたり、人間がどのようなシーンでどのように動こうとしているのかを明らかにする技術と、表面的な動作と内面的な意図や心理状態そして人間の感覚機能に入力される物理量の元になる設計諸元との因果関係を解いて人間の動きを支援する設計諸元を導出できる技術が必要であると考えた。

本稿では、人間がどのようなシーンでどのように動こうとしているのかを明らかにする試みを行った結果を報告する。まず、評価対象の選定と評価方法に対する考え方について述べる。次に適用事例を示す。

## 2. 評価対象の選定

### 2.1 選定条件

お客様が、車両に近づきドアを開けて乗車もしくは荷物を積み込む等から始まる出発地点から目的地点までに行う一連の動作は多種多様であり、基礎研究の段階からこれら全てを研究対象にすることは合理性に欠ける。

そこで、人間の本質が顕在化される無意識運動つまり記憶した運動行動計画プロファイルをトレースする動作であること。行動開始から0.5秒後に行われるとされる運動行動計画プロファイルの修正要否を判断するフィードバック情報及び人間挙動のメリハリがしっかりしていること。これらを実験対象の選定条件とし整理した模式図をFig. 1に示す。操作量を観測すれば運動行動計画プロファイルの修正要否の判断状況が推察できる。人間挙動を観測すれば運動行動計画プロファイルの修正要否の判断に至る要因系を推察できる。

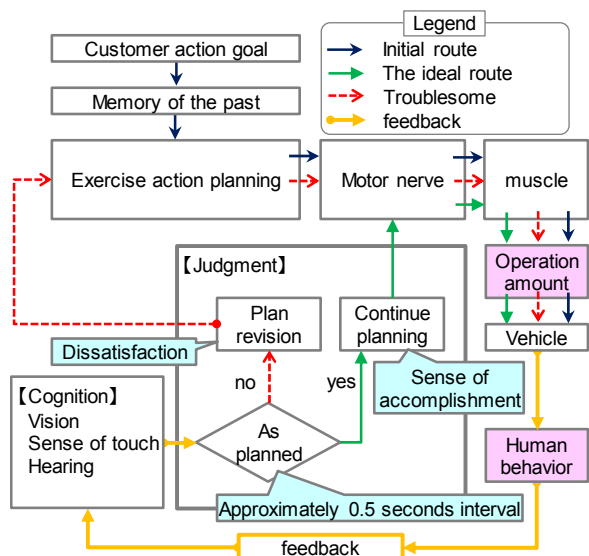


Fig. 1 Human Behavior

既知の知見として、信号が赤から青に変わるもしくは前

の車両が動き始めると、ブレーキからアクセルに踏みかえるが、アクセルの踏み込み量は無意識であり車両が動き始めた後に、足りなければ踏み足し多ければ踏み込み量を減らしている。ハンドルも同様で、初期舵角は無意識であり車両が曲がり始めた後に、足りなければ切り足し多ければ舵角を緩めている。Fig. 2に示すこれらの人間特性は誰もが知り共感できるため、人間の本質を明らかにする今回の試みに適している。

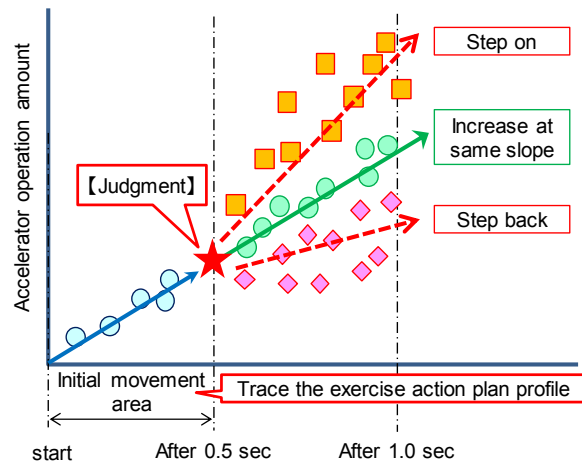


Fig. 2 Change of Exercise Action Plan

Fig. 3に示すように、人間は前方向に倒れそうになると後方へ重心を移動しようとし、右方向に倒れそうになると左方向へ重心を移動しようとする。その際に立っていると足で踏ん張り、座っていると足と腰で踏ん張っている。これも一般的に知られている動物の本能であり、動かす部分と踏ん張る部分の役割分担をした全身運動である。人間がどのようなシーンでどのように動こうとしているのかを明らかにすることは、人間が動物として普遍的に備えている機能の本質を明らかにする本研究の目的である。そこで、車両から、前後、左右、上下方向への加速度を受けながら直進加速や旋回といった運転操作を行う人間の挙動を評価対象とした。

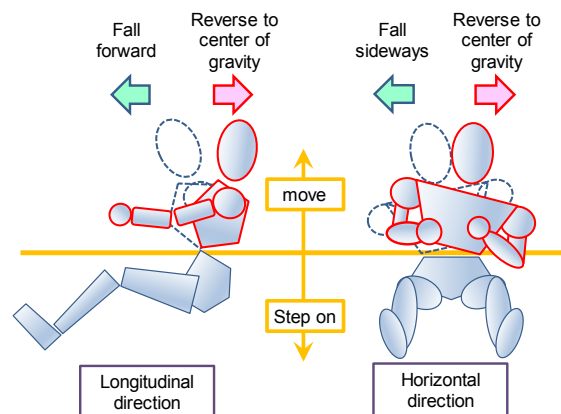


Fig. 3 Human Posture Change

2.2 評価範囲

人間の挙動から運動動作に関する人間の本質を抽出するためには、被験者固有の癖や好みが計測値に入り込まないように工夫する必要がある。前述したように、信号が赤から青に変わるもしくは前の車両が動き始めるとアクセルを踏み込んでいるが、頭の中で電卓を叩きながらアクセル踏み込み量を算出している訳でも、メジャーで測りながらアクセルを踏み込んでいる訳でもない。車両を運転する誰もが普遍的かつ自然に行っている動作であり、これくらいの力加減でアクセルを踏み込んだら、これくらいの加速度を得たという過去の記憶の中から、今回のシーンに適した加速度が得られそうな力加減を無意識に選択し、選択した力加減を無意識にトレースしてアクセルを踏み込んでいる。

これらを整理した模式図をFig. 4に示す。人間が無意識にアクセルやハンドルを操作する時間を0.5秒と仮定し、操作を開始する0.5秒前から無意識操作を終えてから0.5秒後のトータル1.5秒間に注目して、アクセルとハンドルの操作及び人間の挙動を評価することとした。

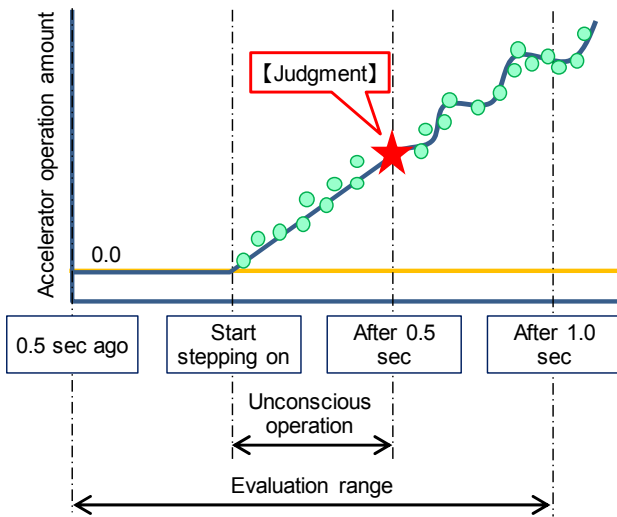


Fig. 4 Memory Trace and Motion Correction

評価方法

3.1 計測手段

人間の挙動を計測する際に多く用いられている光学式モーションセンサーは、被写体に取り付けたマーカがカメラの視野に入っていることが必須条件である。この計測技術を、本稿で紹介する車両を運転する人間の挙動の計測に適用する場合、車室内にカメラを設置する必要がある。しかし、カメラを設置する車室内は遮蔽物も多いため、被写体に取り付けたマーカを漏れなく捕捉し続けられる位置にカメラを設置することは困難を極める。加えて、カメラとマーカの相対位置からマーカの空間座標を導出しているため、カメラの位置が変化しないことも必須条件になっている。しかし、走行中の車体は絶えず変形し振動してい

るため、車体に固定されているカメラの位置も変化している可能性も高くなり、計測精度に影響を与えている可能性を否めない。

これらの課題に対し、身体に密着するスーツに嵌め込まれたセンサー同士の相対位置によって挙動を導出する方式となるウェアラブルモーションセンサースーツであれば、カメラの設置場所を気にする必要がなく、走行中の車体の変形も気にする必要がない。その一方で、人間や動物の脊柱は多関節によって構成され直立時に加わる負荷を分散するため、側面から見ると、緩やかなS字になっていることが知られている。この機能に着目し表面的な挙動の基になっている骨格の動きを可視化することとした。具体化にあたり、ウェアラブルモーションセンサースーツの計測結果を基に逆運動学解析を行えば、脊柱に留まらず、頭部や手足など全身の骨格の動きを網羅的に可視化できる。これらのシステム構成をFig. 5に示す。

ウェアラブルモーションセンサースーツはXsens MVNを使用し、逆運動学解析はnMotion muscularを用いることとした。

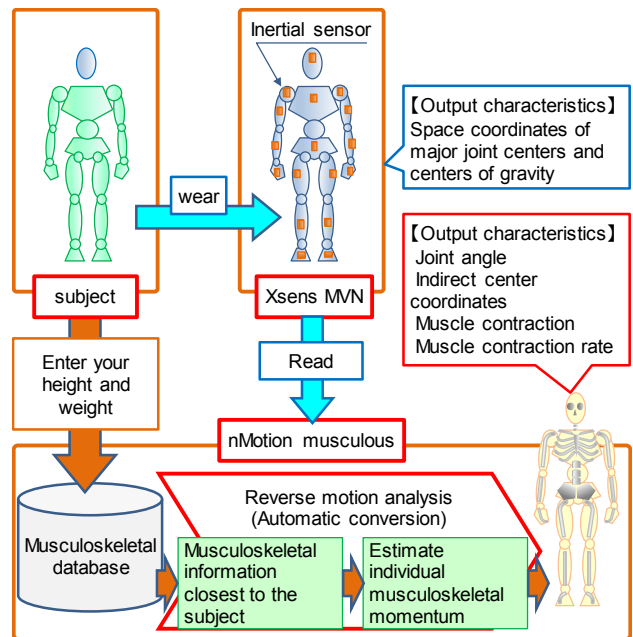


Fig. 5 System to Measure whole Body Movement

3.2 評価仕様

人間が動物として普遍的に備えている機能の本質を明らかにすることが本研究の目的であるから、匠でなければ感じ取れない微小な物理量の差になる仕様違いだと意味が無い。一般人でも違いがハッキリと分かる仕様違いを用意する必要がある。しかし、試験路を変えたり車両を変えたのでは意味がない。日時、試験路、車両、被験者を固定し、アクセル操作とハンドル操作に共通して大きく影響を与えるユニットの中からシートを選定し、誰もが「良かった」

と感じた仕様と、誰もが「普通」と感じた仕様を用意して、実機評価を試みることにした。

### 3.3 評価モード

市場でお客様に使って頂いている状況を対象にすべきだが、本稿で紹介する内容は基礎研究を対象としているため、外乱を最小とし人間が車両を運転する過程における運動する本質を抽出することを目的に、整備された試験路にて実験を行った。実験結果の中から代表的な走行モードとして加減速操作と旋回操作を選定した。

## 4. 実験結果

### 4.1 直進加速

10km/h定常走行から30km/hまで、0.2G狙いで直進加速を行った。直進加速にあたりアクセルを踏み込むために必然的に動かざるを得ない右足周り以外に顕著な挙動を示した脊椎に着目し観察を行った。

当初の計画では、操作を開始する0.5秒前から操作開始後1.0秒までを評価対象としていたが、操作を開始する0.5秒前には既に加速Gに備えて前傾姿勢をとっており、加速Gが抜ける操作開始から後5.0秒後には脊椎の関節角度が、ほぼ定常走行中の状態に復帰していることが確認されたため、全体像を把握することを目的に評価範囲を加速開始1.0秒前から加速開始後5.0秒まで拡大した。

Fig. 6は、加速開始1.0秒前を基準とし脊椎の前後方向の関節角度の時刻歴変化を示す。

この中でシートの仕様に関わらず、加速開始0.5秒前には同量程度の前傾姿勢を取っていることに着目し、被験者に確認したところ無意識であったことから、本能的な加速Gに備えた予備運動を行っているかと推察できる。

### 4.2 直進加速とアクセルペダルの操作量

10km/h定常走行から30km/hまで、0.2G狙いで直進加速を行った過程のアクセルペダル操作量の時間経過をFig. 7に示す。

直進加速にあたりアクセルペダルを踏み込むために足首が動き始めた瞬間を基準つまり0.0秒とし、シートの仕様が異なってもアクセルペダル操作量が一定になり始める1.5秒間の右足首角度の変化量を示す。アクセルペダル操作量だけを観察すると、アクセルペダル操作量が増加する傾きについて、シートの仕様違いによる差異はあるものの、線形性には顕著な差異が認められない。しかし「普通」と言われているシート仕様1は「アクセルペダルが踏み難い」「良い」と言われているシート仕様2は「アクセルペダルが踏み易い」という官能評価には普遍性があるため、実測値の観察の仕方や考え方を工夫する必要があると考えた。

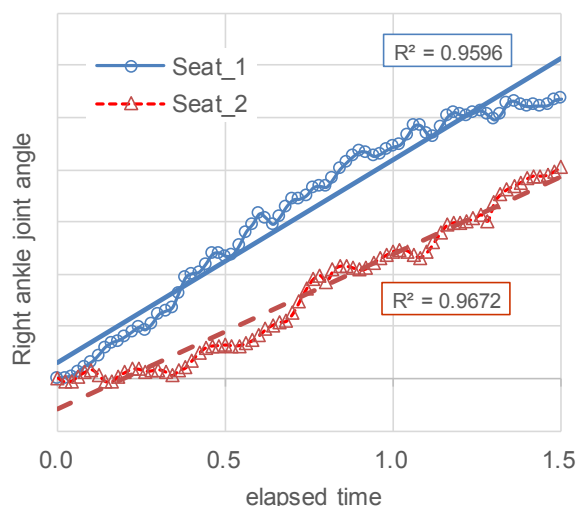


Fig. 7 Relationship between Time and Right Ankle

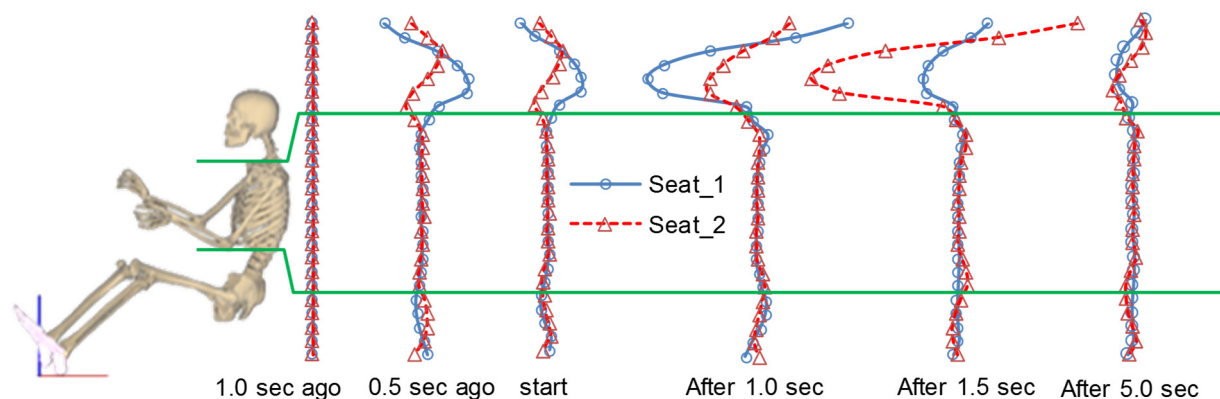


Fig. 6 Joint Angle in Anteroposterior Direction of Spine



4.3 直進加速と右股関節の角度

アクセルペダルを踏み込むために人間はどのように動く必要があるのかを考えた場合、着座及び踵を支点に足首に回転運動をさせる前提では、右股関節を動かすことが最も合理的となる骨格に着目した。前項に示した1.5秒間の右足首角度の変化量と同条件にて右股関節角度の変化量をFig. 8に示す。「普通」と言われるシート仕様1は、加速開始0.5秒以降の右股関節角度が振幅運動しており最小二乗誤差（以下R2）も約0.6であり線形性が損なわれている。「良い」と言われるシート仕様2は、加速開始0.5秒以降も右股関節角度が一定の傾きでありR2も約0.9であり線形性が保たれている。これらを考察すると、シート仕様1は描いたイメージどおりに動いていないと脳が判断し補正が入り、シート仕様2は描いたイメージどおりに動いていると脳が判断し計画を続行したと考えられる。

右股関節角度と右足首角度の関係を見ると、シート仕様1よりもシート仕様2の方が2倍近いR2の値つまり高い加法性を示しており体の中心から足先に向けた運動のリレーが安定して行われていることを示している。意のままに車両を扱うためには、人間自身が意のままに動ける必要がある。

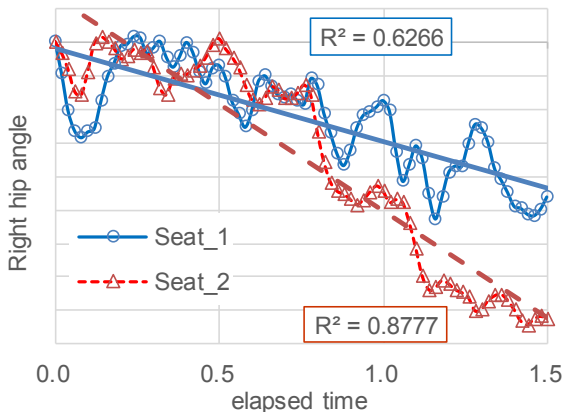


Fig. 8 Relationship between Time and Right Hip

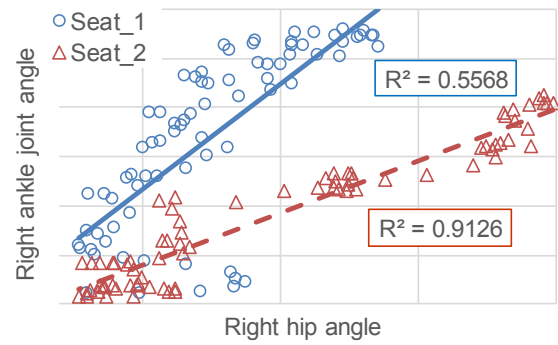


Fig. 9 Relationship between Right Hip and Right Ankle

4.4 旋回と脊椎の関節角度

30km/h一定速度にて連続的に右旋回から左旋回を行った。旋回にあたりハンドルを操作するために必然的に動かざるを得ない上腕以外に顕著な挙動を示した脊椎に着目し観察を行った。当初の計画では、操作を開始する0.5秒前から操作開始後1.0秒までを評価対象としていたが、直進加速と同様に操作を開始する0.5秒前には既に横Gに備えた予備運動を開始し、旋回を終え横Gが抜ける操作開始から後15.0秒後には脊椎の関節角度が、ほぼ定常走行中の状態に復帰していることが確認されたため、全体像を把握することを目的に評価範囲を旋回開始1.0秒前から旋回開始後15.0秒まで拡大した。Fig. 10は、右旋回開始1.0秒前を基準とし脊椎の左右方向の関節角度の時刻歴変化を示す。シートの仕様に関わらず、操舵開始0.5秒前には同方向かつ同程度に腰椎を動かしている。被験者に確認したところ無意識であったことから、横Gに備えた予備運動であると推察した。その一方で、右旋回を終え舵角がゼロになった瞬間の腰椎に着目するとシート仕様1は腰仙関節角度が大きくなり直進安定域に入っても残っている。被験者に確認したところシート仕様1は旋回すると着座位置が動き座り直しを要すが、シート仕様2は旋回しても着座位置が動かず座り直し不要とのことから、旋回後の座り直しは覚醒運動であり労力も伴うため、煩わしさが顕著に感じられるためと推察した。

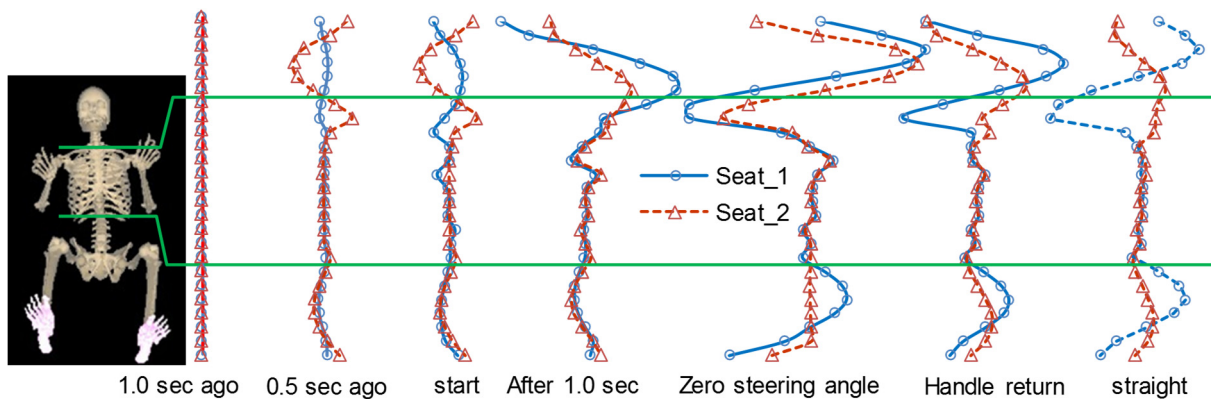


Fig. 10 Joint Angle of Lateral Direction of Spine

#### 4.5 旋回と腰仙の関節角度

ハンドルを回転させるために人間がどのように動く必要があるのかを考えた場合、着座姿勢を前提にすると骨盤を支点に上体を左右方向に回転させることが最も合理的となる人間の骨格に着目した。直進加速と同様に操作対象物に接している上腕の動きにはシートの仕様違いによる差異は確認できなかった。顕著な差異が確認できた腰仙関節角度について旋回開始から1.0秒間の時刻歴変化をFig. 11に示す。0.5秒以降の変遷に着目すると「普通」と言われるシート仕様1は、全域にわたり顕著な振幅が発生しているが、「良い」と言われるシート仕様2はなだらかな放物線を描いている。

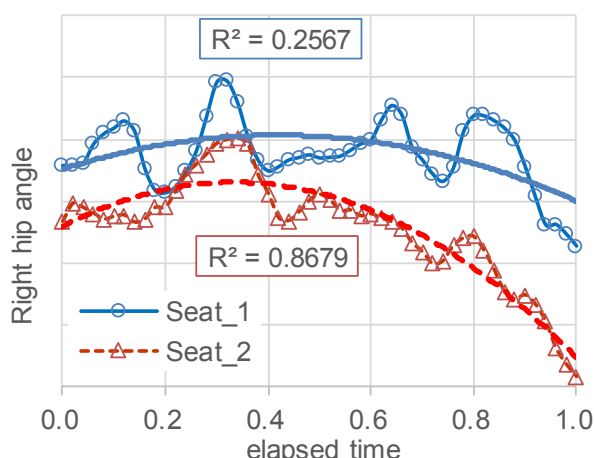


Fig. 11 Joint angle of Lumbar Sac in Left and Right Direction

#### 4.6 直進加速と旋回に共通する傾向

衆多が「普通」と評価するシート仕様1は加速Gが抜けた直後の姿勢と定常走行中の姿勢の差が大きく、衆多が「良い」と評価するシート仕様2は加速Gが抜けた直後の姿勢と定常走行中の姿勢の差が小さい傾向にある。初動域はシートを替えても、アクセルやハンドルの操作量に変化がないが人間の挙動に差異が発生していた。同一の目標であれば運動行動計画も同一となり、初動域における操作量も同一であった。足首角度の変化は同一だが、姿勢が崩れることで、アクセル踏み込み量に差異が発生し、車両の加速度が変化し狙いの加速度を得るために操作量の補正が入る。

切り返しにおける人間挙動の差異が最も顕著であった。初回の操舵による横Gによって崩された姿勢が定常走行中の姿勢に復帰する前に切り返しを行うため、窮屈な姿勢のまま反対方向からの横Gに耐えながら狙いの操舵量を達成することは容易ではないと考えられる。

#### おわりに

コースや車両や人を固定し、直進加速と旋回といった走

り方のみ変更し、人間の全身の姿勢変化を時刻歴で観察することで、直進加速や旋回が終了した時点で最小の運動エネルギーで定常走行中の姿勢に復帰できるように、直進加速や旋回による姿勢変化に備えて予備運動を行っていることが分かった。直進加速や旋回によって姿勢が崩されないようにバランスを取る中で、動かす部分と踏ん張る部分で役割分担を行っていることも分かった。加えて、被験者にヒヤリングした結果からも、直進加速や旋回が終わり、Gが抜けた時点で、定常走行中の姿勢に復帰できていることが望ましいとの知見を得た。

これらのことから、予備運動の方向と量を観察していると、どのように動こうとしているのかを推察可能であり、お客様がこう動かしたいと描いたイメージどおりに運転操作ができると、姿勢の補正量が小さくなることも解った。よって、姿勢の補正量を小さくする設計諸元を見つけることが「人間中心開発」の具体化になるとの方向性も得た。

本稿で紹介した事例は、直進加速と旋回といった車両を運転する際の基本的な人間の動作を観測対象とし、自動車試験場というクローズドされた環境下における基礎研究の範囲に留まる。しかし、ドアを開けて乗車もしくは荷物を積み込む等から始まる出発地点から目的地点までの間に行う一連の動作全てにおいても、共通して使える技術であり、分野を超えて全体像を描き網羅的かつ効率的に因果関係を解いて適正な方向性を示すMBDという手法を基礎技術開発に応用した事例でもある。

その一方で、ロボティクスの分野では統計学的な機械学習を用いて人間の運動行動計画を予測する技術の開発が進み、人間と協業するロボットが開発され実用化もされている。これらの技術と今回の試みによって得られた知見を連携し、車両を運転すればする程に適度に脳が活性化されて人間が元気になる。加齢などに伴う脳や身体の変化の傾きも鈍化させる「人間中心開発」の具体化を加速させて、豊かな社会造りに貢献して行きたい。

#### 参考文献

- (1) 田口玄一：田口玄一論説集<第三巻>，日本規格協会，P413-438 (2012)

#### ■ 著 者 ■



徳光 文広



鐵本 雄一