

US フリーウェーのジョイント路に於ける 乗心地評価システムの開発

Development of Riding Comfort Evaluation System for Joint Road in USA Freeway

大 森 弘 喜* 五十嵐 定 之* 野 尻 裕 之*
Hiroki OHMORI Sadayuki IGARASHI Hiroyuki NOJIRI

要 旨

乗用車の乗心地に対する客観評価整備の一環として、ロスアンゼルスに代表されるアメリカのフリーウェーに多く見られるジョイント路に於ける乗心地評価指標および評価システムを開発した。

評価指標には人体の体感特性を調査したものを利用し、又、ISO^{1)~3)}に規定される人体の体感特性との比較を行った。

種々の検証により、主観評価と非常に良く一致する評価指標であることが確認できた。

ABSTRACT

We have developed the riding comfort evaluation index for joint road which appears at freeway in USA typically in Los Angeles as a part of rearrangement of objective evaluations on riding comfort of passenger vehicle. The bodily feel characteristics resulting from the survey were utilized for the evaluation index, also the comparison with bodily feel characteristics specified in ISO^{1)~3)} was made.

The various verifications demonstrated that the evaluation index is perfectly consistent with the subjective evaluations.

1. まえがき

近年、乗用車の乗心地性能は技術の発達と共に向上の一途にある。乗心地を左右する要因は多々あるが、中でも路面入力による乗心地・振動の種々の現象は非常に重要なものの一つである。

種々の路面の中で、この度、ロスアンゼルスを代表とするアメリカのフリーウェーに多く見られるジョイント路に於ける乗心地に対して、官能評価に良く一致する乗心地評価指数 HCI (Honda Choppy ride Index) およびリアルタイムにデータ処理可能な車載型乗心地評価システム [ライドメータ 2] を開発した。

このジョイント路は進行方向に対しピッチが約 5 m の連続したうねりもしくは段差のある特殊な路面で、そのうねりもしくは段差の高さは 5 ~ 10mm 程もあり、車両によってはたいへんな不快感を乗員に与える。例えば

50mile/h にて走行すると、約 5Hz を基本次数とする高次調和成分の振動が車体に入力され、車体のピッチングやバウンスを伴った振動現象となる。その振動レベル低減にはサスペンションの伝達特性やエンジン・エンジンマウント系の共振レベルの低減、あるいは車体前部と後部の位相を含めた振動のバランスを取ることが有効であることが知られている。

評価に使用したデータは足元上下・シートクッション上下・シートバック前後方向の 3 点の加速度とし、人体の体感補正処理をおこなっている。体感補正の重み付けは ISO の前身振動評価基準 ISO2631 および手腕系振動評価基準 ISO5349 に準ずるものとしたが、本現象に最適と思われる独自の体感補正の作成検討も行ったので合わせて報告する。

* 栃木研究所

2. 試験方法

2. 1. 試験路面

試験に使用した路面はロスアンジェルススのフリーウェーのプロフィールを実測し、平均値を求め、テストコース内に設置した Fig.1 に示す様なプロフィールを持つものである。

2. 2. 測定方法

走行中に乗員が受ける振動入力は主に背中・尻・足・手（ドライバのみ）であるがアシスタント席および後席の評価へも適用する事を考慮し、今回は背中・尻・足の3点について検討する事とし、それぞれ上下・前後・左右の3軸、計9データを測定し、採否の検討を行なった。

測定値は加速度とし、ISO7096に規定されているものに準じたラバー製の円形のパッドに、ひずみゲージ型加速度計を内蔵したものを作成使用した。

今回開発・計測に使用した乗心地評価システム [ライドメータ2] は Fig.2 に示す様に、センサ・アンプ・A/D・CPU・プリンタ・FDD が一体となった車載型多チャンネル信号処理システムである。測定値としての加速度データは周波数に対する体感補正の重み付け処理を施した後、rms値が算出処理され、さらに評価指数が算出される。体感補正は ISO2631・5349 の規定に準じたものを Fig.3 の様にそれぞれ適用した。

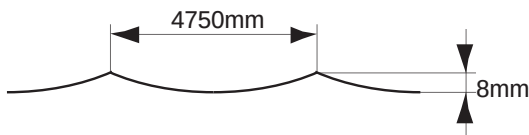


Fig.1 Road profile

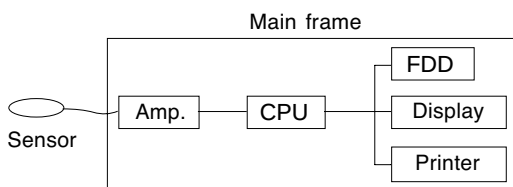


Fig.2 Ride meter 2

2. 3. 試験車両

試験に使用した車両は Fig.4 に示す 6 台で、スポーティなものから、乗心地の良い、いわゆる高級車まで幅広く用意した。

又、測定座席はアシスタント席とし、データの測定および官能評価の際はパネルに関係無く、シートポジションは変更しないものとした。

車速は 50mile/h および 70mile/h の 2 車速とした。これは車速により乗員のうけるフィーリングが大きく異なり、こうした車速依存性も含めて客観評価の精度検証の対象とした為である。

3. 官能評価

3. 1. 試験方法

官能評価に携わったパネルは女性を含む12名の乗心地評価のエキスパートとした。

評価は 6 点を許容レベルとする 10 点法にて行った。

3. 2. 結果

各試験車両に対する評価値を Fig.5 に示す。

		ISO2631 Vertical	ISO2631 Horizontal	ISO5349 Hand
Seat back	Vertical	○		
	Fore & aft		○	
	Lateral		○	
Seat cushion	Vertical	○		
	Fore & aft		○	
	Lateral		○	
Foot	Vertical			○
	Fore & aft			○
	Lateral			○

Fig.3 Application of human response filter

	Door type	Engine displacement	Product country
A	4 Door	2200 cc	Japan
B	2 Door	2000	Japan
C	4 Door	4000	Japan
D	4 Door	4500	Japan
E	4 Door	3500	Germany
F	4 Door	3800	USA

Fig.4 Test vehicle

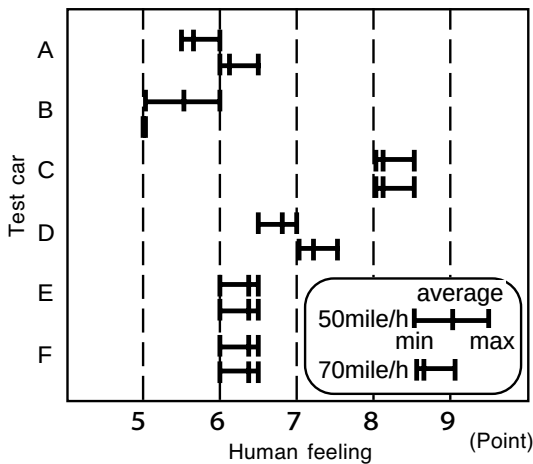


Fig.5 Result of subjective evaluation

4. 評価指数

4. 1. 評価データの選定

Fig.6に測定値と官能評価結果との相関を示す。この中で官能値と相関が高い測定値は、下記4点であった。

- ・シートクッション上下
- ・シートバック前後
- ・シートバック上下
- ・フロア上下

この内、シート3点について詳細にみても、Fig.7に示す様にシートバック上下はクッション上下との測定値間の相関が高いことから不適と考え、評価指数に用いる測定値は下記3点を採用することとした。

- 1) シートバック前後方向
- 2) シートクッション上下方向
- 3) フロア足元上下方向

採用した3点はピッチングと上下動を主体とした車体挙動の点からも妥当と考える。

4. 2. 評価指数

選定された3点の測定値と官能評価値を用いて重回帰分析を行った結果、重相関係数 $R = 0.94$ と官能評価に良く一致する回帰式を得た。

	Direction	50mile/h	70mile/h
Seat cushion	Vertical	-0.91	-0.91
	Fore & aft	-0.90	-0.66
	Lateral	-0.66	-0.39
Seat back	Vertical	-0.87	-0.82
	Fore & aft	-0.98	-0.96
	Lateral	-0.54	-0.053
Floor	Vertical	-0.81	-0.90
	Fore & aft	0.29	-0.21
	Lateral	-0.74	-0.78

Fig.6 Correlation between measurement data and human feeling

	Seat cushion vertical	Seat back vertical	Seat back fore & aft
Seat cushion vertical	1		
Seat back vertical	0.72	1	
Seat back fore & aft	0.57	0.16	1

Fig.7 Correlation among measurement data

乗心地評価指数 HCI は、

$$HCI = 10 \times \log (A \times SCz + B \times SBx + C \times FLz + D)$$

A, B, C, D, : 定数

SCz : シートクッション上下加速度パワー値

SBx : シートバック前後加速度パワー値

FLz : フロア足元上下加速度パワー値

この回帰式により求めた HCI と官能評価の関係を Fig.8 に示す。

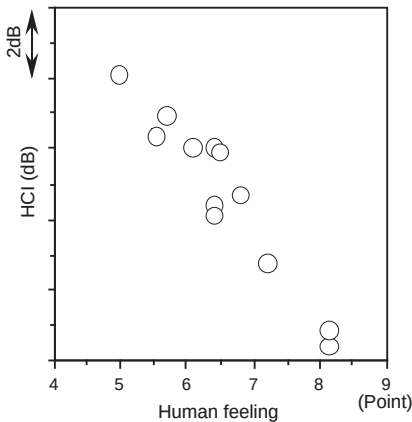


Fig.8 Correlation between HCI and human feeling

5. 乗心地評価指数 HCI の分解表現

乗心地の評価には種々の用語が用いられ、混乱を生ずる事が有り、本現象も例外ではない。用語整理のため先に実施した官能評価と同時に次のような試験を実施した。

比較的よく用いられ、次に示す 13 の用語について、10 点法にて官能評価を実施した。

- ・硬さ感 ・突き上げ感
- ・スムーズ感 ・ショック感
- ・フラット感 ・ヒョコヒョコ感
- ・変位感 ・つんつん感
- ・ピッチング感 ・ぶるぶる感
- ・バウンシング感・前後感
- ・上下感

その結果の因子分析より、次の二つの重要な因子を得た。

- ・第一因子：フラット感・スムーズ感に
代表される周波数領域の因子。
- ・第二因子：バウンシング・ピッチング
に代表される挙動の質の因子。

一方、評価指数を利用し、乗用車を開発する者にとって、そのオーバオールレベルだけでなく、周波数域別の指数があれば非常に有効と考える。そこで先の第一因子に着目して、低周波を代表する言葉としてフラット感、高周波を代表する言葉としてスムーズ感を用い、それぞれの指数としてフラット感指数 HCIf およびスムーズ感指数 HCIs を表わす回帰式を作成した。これにより、単に評

価だけでなく、改善の必要な周波数領域も合わせて得ることが出来るようになった。

フラット感指数

$$HCIf = 10 \times \log (A \times SCz1 + B \times SBx1 + C)$$

スムーズ感指数

$$HCIs = 10 \times \log (D \times SBxh + E \times FLzh + F)$$

$SCz1$, $SBx1$: SCz , SBx の低周波域成分

$SBxh$, $FLzh$: SBx , FLz の高周波域成分

A, B, C, D, E, F: 定数

Fig.9 および Fig.10 に官能値との関係を示す。

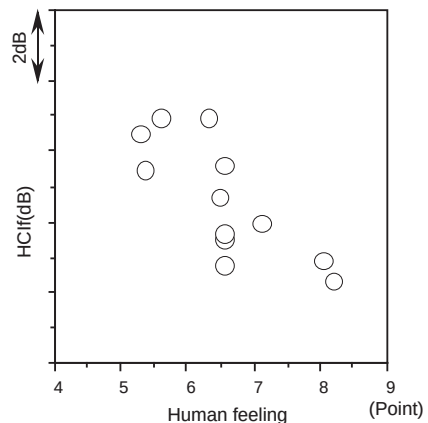


Fig.9 Correlation between HCIf and human feeling

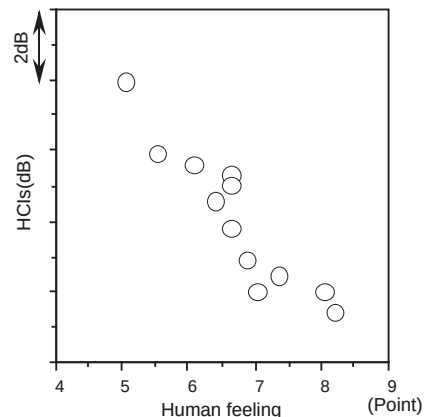


Fig.10 Correlation between HCIs and human feeling

6. USフリーウェーのジョイント路乗心地評価に最適な体感特性の調査

前項までの結果にて、官能評価に良く一致する数値評価法が得られたが、体感補正に用いたISOに規定された特性はその生い立ちから、必ずしも本テーマの条件とは一致していない。本テーマに最適と思われる体感特性を得ることにより、より精度の高い数値評価法が完成するとの考えより、新たに体感特性の調査を行った。

6. 1. 試験条件

Fig.11の様に、乗用車用シートを用いて被検者の体感と加速度値との関係を調査した。

上下加振においては尻下上下方向、前後加振においては背中前後方向、足部上下加振においては足元上下方向の加速度を測定した。尚、上下加振および前後加振に於ては事前に数名の被検者をもって、他の部位・方向の加速度をも測定したが、官能値との相関が低く不適と判断した。

試験手順としては、4～30Hzの試験信号を数Hz毎に変化させ、基準信号と同等と感じる信号レベルを記録した。試験信号のレベルは被検者自身が調整可能とした。又、基準信号は背中・尻・足ともに8Hzとし、振動レベルは実走行におけるレベルを基に、背中は0.08G・尻は0.03G・足は0.1Gとした。パネラは実走行の官能評価を行ったメンバとした。

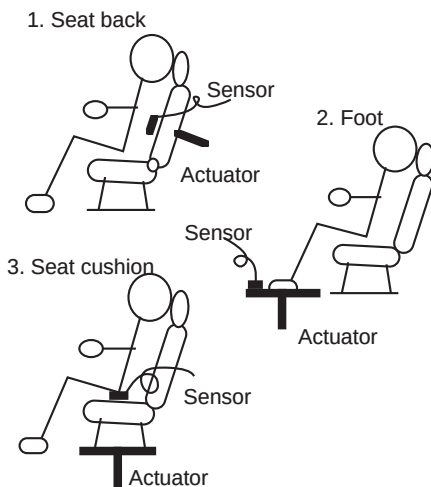


Fig.11 Test method of human vibration response

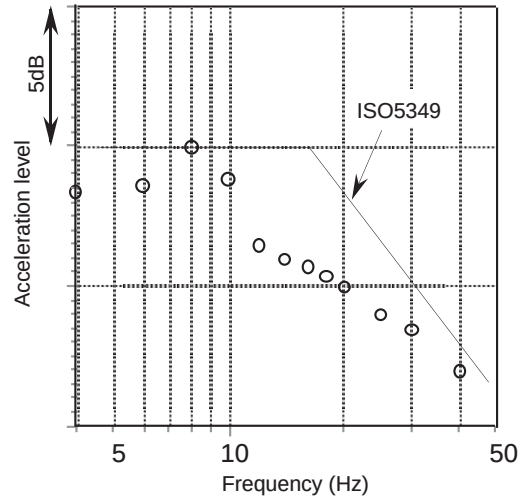


Fig.12 Human vibration response of foot vertical direction

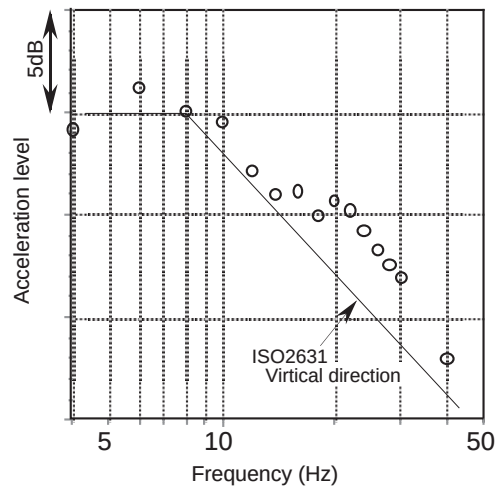


Fig.13 Human vibration response of body vertical direction

6. 2. 試験結果

求められた体感特性をFig.12～14に示す。この内、足の特性はISO5349に規定されるものとはかなり異なるものとなった。

6. 3. 評価指数作成

以上によって求められた体感特性を用いて、4. 2項と同様の手法にて評価指数の作成を行った結果、次に示す回帰式が求められた。

乗心地評価指数

$$H C I_2 = 10 \times \log (A \times S C_z + B \times S B_x + C \times F L_z + D)$$

$S C_z$: 体感補正付シートクッション

上下振動パワー値

$S B_x$: 体感補正付シートバック

前後振動パワー値

$F L_z$: 体感補正付足上下振動パワー値

$A \cdot B \cdot C \cdot D$: 定数

官能試験結果との関係をFig.15に示す。これによると、結果的には4.2項のISOの体感特性を用いたものと大差のないものとなった。これは本テーマの現象の周波数範囲が比較的狭いものであることおよび足の寄与が低い事が要因として考えられる。

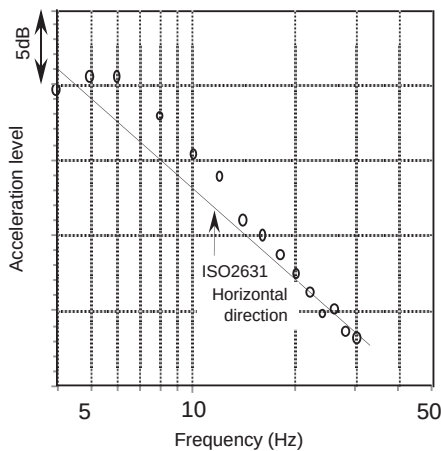


Fig.14 Human vibration response of body horizontal direction

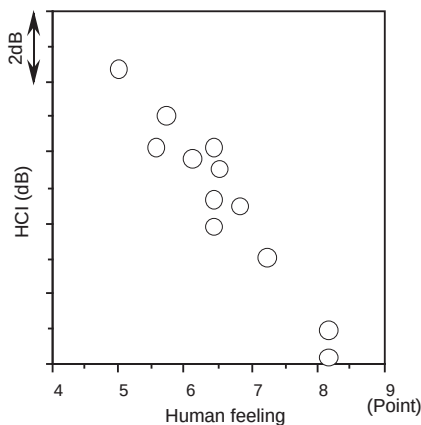


Fig.15 Correlation between $H C I_2$ and human feeling

7. 乗心地評価指数 HCI の検証

HCIの検証として、官能試験結果との一致性を下記試験にて確認した。

7. 1. 試験車両変更

回帰式を求めた際に使用したのとは異なる試験車両を用いて、確認を行った。

結果をFig.16に示す。官能試験と相関の高い結果が得られた。

7. 2. 後席での確認

後席における確認結果をFig.17に示す。前席と同様の良い結果が得られた。

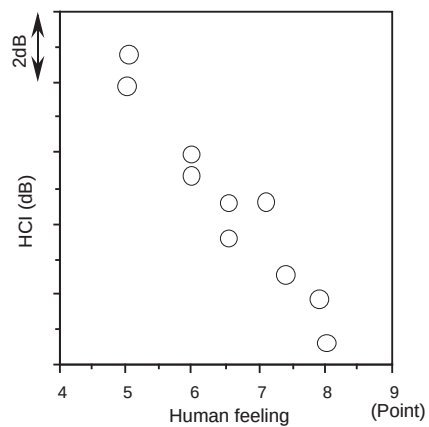


Fig.16 Correlation between HCl and human feeling

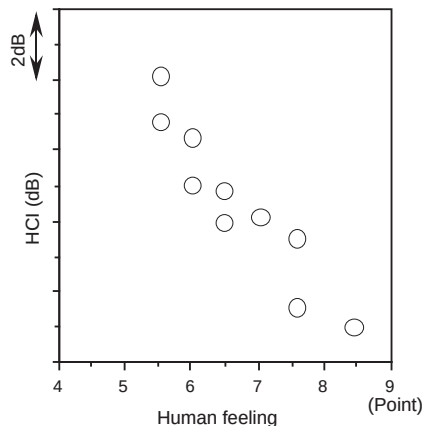


Fig.17 Correlation between HCl and human feeling in rear seat

7. 3. シートポジション違いの確認

同一車両にて、シートバックの角度を変化させ、確認した。結果を Fig.18 に示す。シートバックの傾きを大きくすると、シートクッションよりもシートバックからの入力が増し、不快度の増す事が、HCI においても表現されている。

7. 4. ロスアンジェルス現地での確認

以上の試験はテストコース内におけるものであったが、検証として現地一般路において、米国人パネラを用いた確認試験を行った。結果を Fig.19 に示す。今までと同様、官能試験結果と良く一致する結果が得られ、米国人と日本人エキスパートの体感に差のないことが解った。

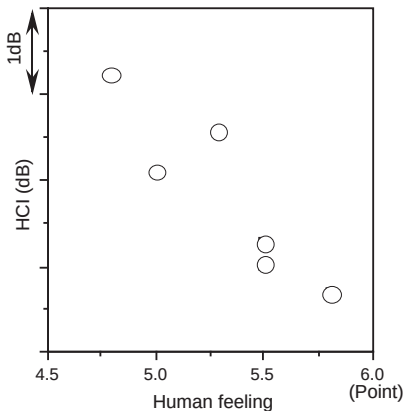


Fig.18 Correlation between HCI and human feeling in front seat changed seat back angle

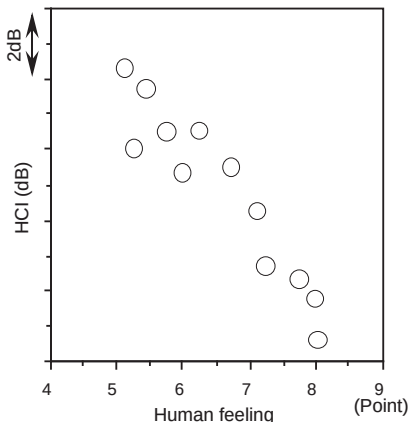


Fig.19 Correlation between HCI and human feeling of american people

Method 1



Method 2



Fig.20 Flow of data analysis

8. ライドメータ 2

今回開発したライドメータ 2 のデータ処理フローは Fig.20 の手法 1 および 2 を比較検討した結果、手法 1 を採用した。

手法 1 は一旦 FFT 処理を行い、パワー値を算出することによる誤差が懸念されたが、平均化処理によって手法 2 とほぼ同等の結果が得られることが判明し、又、以下のメリットを重視し採用した。

- ・体感補正データが自由に設定・選択可能。
- ・時系列データおよび FFT 処理データが保存可能。

尚、データ処理は測定とほぼ同時に開始され、結果表示・プリントアウト・FDD への記録までの一連の作業は試験車が試験路を引き返し、再度試験を開始するまでに行われ、官能評価と照合しつつ試験を進めることが出来るため、機動性に優れた開発ツールであると自負している。

9. まとめ

今回の数値評価法の作成および検証に於て、次の事を知り得た。

- 1) USA フリーウェーのジョイント路の乗心地は、背中・尻・足の三点のデータにて体感を表現し得る。
- 2) ISO2631 に規定される体感特性は乗用車用シートに着座した人体の体感特性とは必ずしも一致しない場合がある。ただし、比較的狭い範囲の周波数においては充分適用可能であると考ええる。
- 3) アメリカ人の乗心地に対する体感と日本人のそれとはほぼ一致している。

10. あとがき

本研究及びライドメータ2の開発は過去4～5年前に遡るが、実際の開発現場での検証を重ね正式に採用された為、此処に報告する。

尚、本システムのプログラム作成に関してはローゼルエレクトロニクス株式会社の吉本直人氏に多大なるご協力をいただきました。この場を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) ISO 7096, 1982
- 2) ISO 5349 Mechanical vibration-Guideline for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration, 1986
- 3) ISO 2631 Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, 1978
- 4) 小澤義彦 他、「乗心地の解析」自動車技術会学術講演会前刷集、842068, 1984
- 5) 中村郁夫 他、「シートを考慮した乗り心地評価についての一考察」、自動車技術会学術講演会前刷集、851023, 1985
- 6) 三輪俊輔、「全身振動の評価法（ISO/ TC108/DIS 2631を中心として）」日本音響学会誌、29巻4号、1973
- 7) Richard A. lee and Fred Pradko, 「Analytical Analysis of Human Vibration」SAE, 680091, 1968

■著 者■



大森 弘 喜



五十嵐 定之



野尻 裕之