論　文

脳波の測定結果を用いた
自動車の乗り心地の評価

芝﨑 智貴[1]・吉原 健太[2]・鋤柄 あかね[3]・倉橋 貴彦[2]・池田 富士雄[4]

[1] 長岡技術科学大学 機械創造工学課程
（Department of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology）
[2] 長岡技術科学大学大学院 機械創造工学専攻
（Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Nagaoka University of Technology）
[3] 長岡技術科学大学大学院 機械創造工学専攻
(現：株式会社先端力学シミュレーション研究所)
（Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Nagaoka University of Technology）
[4] 機械工学科
（Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Nagaoka College）

Evaluation on comfortable vehicle using measurement data of brain wave

Tomoki SHIBASAKI[1], Kenta YOSHIHARA[2], Akane SUKIGARA[3],
Takahiko KURAHASHI[2] and Fujio IKEDA[4]

Abstract

In this paper, we present an evaluation method of comfortable vehicle using measurement data of brain wave. In general, the comfortable car is evaluated by the actual driving test, and the result depends on the driver. To solve this problem, the measured brain wave is introduced to numerically evaluate the comfortable car. The measured brain wave is evaluated by using the face scale score.

Key Words : *comfortable vehicle, brain wave, face scale score*

１．はじめに

近年，自動車業界において「自動運転」に関する研究・開発が盛んに行われている．製造メーカ各社の試作車の多くは“目的地に到達する”という目標は実現されつつある．そこで重要視されているのが「乗り心地」という観点である．自動運転車は，ハンドル操作・アクセル操作などを全てコンピュータ制御で行うため，如何に乗り心地の良い走行を実現するかが製造メーカ各社で期待されている [1)].

乗り心地を評価する手法のうち最も一般的なものは，熟練ドライバーによる官能試験である．しかし，これは人間が評価する以上，主観的な評価にならざるを得ない [2) 3)]．そのため，現在に至るまで客観的な評価手法の確立が期待され続けており，様々な研究機関で研究・開発が進められている．中でも，乗員(以下被験者とする)の生体情報の一つである「脳波」を用いた評価が比較的多く見られることから，脳波が乗り心地評価の指標として十分有益なものであると考えられる．本論文では，フェイススケー

ル・スコアを用いた評価手法を導入し，検討結果に関する考察を行う．

２．脳波の概要

２．１　脳波とは

脳内にはたくさんの神経細胞(ニューロン)が詰まっており，情報を伝達する役割を担っている．一つの神経細胞内では電気信号，神経細胞と神経細胞の間では化学物質によって情報を伝達する．このときの電気信号を電極で捉えたものが脳波である．脳波は常に変化しており，測定により得られた脳波に対し周波数解析をすることで，脳の意識状態を調査することが可能となる[4]．

２．２　脳波の種類

脳波は，周波数 f[Hz]の帯域によって，δ 波($0 \leq f < 4.0$)，θ 波($4.0 \leq f < 8.0$)，$\alpha 1$ 波($8.0 \leq f < 9.7$)，$\alpha 2$ 波($9.7 \leq f < 11.3$)，$\alpha 3$ 波 ($11.3 \leq f < 13.0$)，β 波($13.0 \leq f \leq 30.0$)の 7 種類に分類される．各種類の意識状態は，δ 波は睡眠，θ 波は眠気，$\alpha 1$ 波はリラックス，$\alpha 2$ 波は意識集中，$\alpha 3$ 波は緊張集中，β 波は意識分散・緊張であるとされている[5][6]．

本論文では，脳波データのうち睡眠時のみ出現するとされている δ 波を省略し，θ 波～β 波の 6 種類を使用した．(δ 波が出現した場合は，振動などに起因する低周波ノイズであるとみなした．)

２．３　脳波の優勢率

各帯域の脳波が測定時間全体でどれだけ出現したかを表す割合を，(その帯域の)優勢率と定義する．算出の手順を以下の①～③に示す[6]．

①　分布率の算出

1 秒間毎に，各帯域(θ 波～β 波)における電位比率を算出する．算出方法を式(1)に示す．

$$\text{分布率}[\%] = \frac{\text{各帯域の電位の平均}[\mu V]}{\text{電位の測定限界値}[\mu V]} \times 100 \quad (1)$$

②　優勢脳波の抽出

1 秒間毎に，分布率が最も大きい周波数帯域を抽出する．

③　優勢率の算出

測定時間全体における，各優勢脳波の出現時間の割合を算出する．算出方法を式(2)に示す．

$$\text{優勢率}[\%] = \frac{\text{各優勢脳波の出現回数} \times 1[\mathrm{s}]}{\text{測定時間}[\mathrm{s}]} \quad (2)$$

３．脳波測定のための自動車走行試験

本論文では，自動車走行時の被験者の脳波データが必要不可欠である．そのため，脳波測定のための自動車走行試験を行う．

３．１　試験車

試験に使用する自動車は，乗用車(以降，試験車①と呼ぶ)を 1 台，軽自動車(以降，試験車②と呼ぶ)を 1 台の計 2 台とした．試験車①の外観を**図-1** に，試験車②の外観を**図-2** に示す．また，各試験車の主な仕様を**表-1** に示す．

図-1　試験車①の外観

図-2　試験車②の外観

表-1　各試験車の主な仕様(試験時)

	試験車①	試験車②
製造メーカ	NISSAN	HONDA
車種	TIIDA	LIFE
車両重量	1250 [kg]	900 [kg]
総排気量	1.49 [L]	0.65 [L]
駆動方式	2WD	2WD
変速方式	4 速 AT	4 速 AT

３．２　車内での脳波測定

まず，脳波測定に使用する機器を**表-2** に，また車内における被験者や機器の配置を**図-3** に示す．なお，被験者は助手席に着座するものとし，センサは被験者の左右頭頂部，左耳たぶに配置した．

表-2　脳波測定に使用する主な機器一覧

機器の名称	形式など	製造メーカ
脳波計	Brain Pro FM-929	FUTEC
脳波解析ソフト	パルラックスプロ	FUTEC
測定用センサ	センサープロ	FUTEC
ノートパソコン	CF-SZ5	Panasonic

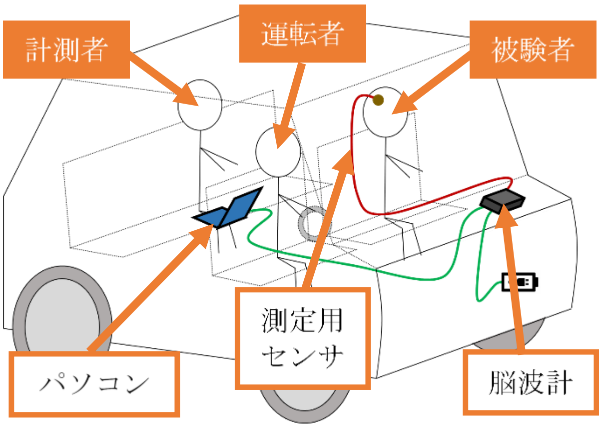

図-3　試験車の車内の概略図

被験者の脳波データはセンサを介して脳波計にて連続的に測定される．同時に，測定したデータはパソコン内の脳波解析ソフトによって FFT 解析(高速フーリエ変換)され，記録される．

３．３　試験条件

まず，被験者の試験条件について述べる．被験者は，各試験車においてそれぞれ①耳栓なし，アイマスクなし，②耳栓あり，アイマスクなし，③耳栓なし，アイマスクあり，④耳栓あり，アイマスクありの全 4 パターンの条件で測定するものとした．これは，視覚障害者や聴覚障害者が自動車に搭乗する場合を想定したものであり，視覚情報や聴覚情報の有無が乗り心地に及ぼす影響について考察することを目的とする．測定時の様子を**図-4 に示す**．

次に，試験時のその他条件について述べる．本論文では，長岡技術科学大学付近の比較的平坦で直線的な道路(全長約 1[km])にて試験を行うものとした．道路の外観を**図-5** に示す．また，試験時の各種環境条件を**表-3** に示す．なお，運転者は，運転に慣れたそれぞれの試験車の所有者とした．

図-4　脳波測定時の様子

図-5　試験を行った道路の外観

表-3　試験時の各種環境条件

	試験車①	試験車②
試験日	2018年11月12日	2018年11月16日
天気	くもり	くもり
車内温度	25 [℃]	25 [℃]
車内湿度	66 [%]	54 [%]
被験者の人数	1人	
被験者の年齢	21歳	
路面の状態	平坦，乾燥	
走行速度	40～50 [km/h]	
測定時間	120 [s]	
測定限界値	12.5 [μV]	

４．脳波の評点に基づく乗り心地の評価

４．１　優勢率の評点化

本論文では，脳波の優勢率を評点化することにより脳波データを 1 つの数値に圧縮する．評点化に当たっては，「フェイススケール・スコア(FSS)」を元に行うものとした [5]．フェイススケール・スコアを**図-6** に示す．

		θ 波が優勢	α1 波が優勢	α2 波が優勢	α3 波が優勢	β 波が優勢
各優勢率区間における脳波の評点	優勢脳波が85[%]以上	-48	-28	8	28	48
	優勢脳波が71～85[%]	-44	-24	4	24	44
	優勢脳波が56～70[%]	-40	-20	0	20	40
	優勢脳波が40～55[%]	-36	-16	-4	16	36
	優勢脳波が39[%]以下	-32	-12	-8	12	32

図-6　フェイススケール・スコア(FSS) (※評点のみ) [5)]

ここで，フェイススケール・スコアについて述べる．これは，各帯域(θ 波～β 波)それぞれの優勢率を5等分し，全25種の優勢率にそれぞれ脳の意識状態を定義したものである．さらに，全 25 種それぞれを評点化(数値化)している．まず，安静状態の α2 波の出現率が中央値(56%以上 70%未満)の優勢率に 0 点と設定し，それを基準に 4 点ずつ評点を加算している．なお，周波数帯域間の評点の差は 20 点ずつに設定している．このように，全 25 種の脳の意識状態を，-48 点(最小値)～+48 点(最大値)に評点化する仕組みとなっている [6)]．本論文では，各帯域(θ 波～β 波)それぞれの評点の総和を，その脳波全体の総合評点として扱うものとした．

４．２　乗り心地の定義

「乗り心地」とは，路面の凹凸によって生ずる，車体の低周波振動に対する乗員の感覚であるとされている．しかし，乗り心地の良/悪については個人の主観に大きく左右されることもあり，定義が曖昧である．そこで，本論文では，乗り心地の定義を“安静時にどれだけ近いか”で評価するものとした．つまり，脳波の評点で言えば，安静時の評点に近づけば近づく程，“乗り心地が良い”という判断になる．

４．３　乗り心地の評価

本論文では，脳波の評点を用いて乗り心地の評価を行う．まず，各条件下における脳波の優勢率と総合評点を，以下の 1～5 項目の**図-7**～**図-15** に示す．総合評点は各脳波に対する評点の和を表している．

被験者状態：安静時 (試験車①にて測定)

優勢率[%]

θ 波	α1 波	α2 波	α3 波	β 波
19.17	13.33	60.00	7.50	0.00

評点

θ 波	α1 波	α2 波	α3 波	β 波	総合評点
-32	-12	0	12	32	**0**

図-7　安静時の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓なし，アイマスクなし

優勢率[%]

θ 波	α1 波	α2 波	α3 波	β 波
53.33	14.17	23.33	9.17	0.00

評点

θ 波	α1 波	α2 波	α3 波	β 波	総合評点
-36	-12	-8	12	32	**-12**

図-8　試験車①の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓なし，アイマスクなし

優勢率[%]

θ 波	α1 波	α2 波	α3 波	β 波
63.33	9.17	15.00	10.83	1.67

評点

θ 波	α1 波	α2 波	α3 波	β 波	総合評点
-40	-12	-8	12	32	**-16**

図-9　試験車②の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓あり，アイマスクなし

優勢率[%]

θ波	α1波	α2波	α3波	β波
65.00	16.67	10.83	7.50	0.00

評点

θ波	α1波	α2波	α3波	β波	総合評点
-40	-12	-8	12	32	-16

図-10　試験車①の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓あり，アイマスクなし

優勢率[%]

θ波	α1波	α2波	α3波	β波
80.83	10.00	2.50	5.83	0.83

評点

θ波	α1波	α2波	α3波	β波	総合評点
-44	-12	-8	12	32	-20

図-11　試験車②の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓なし，アイマスクあり

優勢率[%]

θ波	α1波	α2波	α3波	β波
0.00	15.83	49.17	35.00	0.00

評点

θ波	α1波	α2波	α3波	β波	総合評点
-32	-12	-4	12	32	-4

図-12　試験車①の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓なし，アイマスクあり

優勢率[%]

θ波	α1波	α2波	α3波	β波
5.83	59.17	33.33	1.67	0.00

評点

θ波	α1波	α2波	α3波	β波	総合評点
-32	-20	-8	12	32	-16

図-13　試験車②の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓あり，アイマスクあり

優勢率[%]

θ波	α1波	α2波	α3波	β波
1.67	55.83	37.50	5.00	0.00

評点

θ波	α1波	α2波	α3波	β波	総合評点
-32	0	-8	12	32	4

図-14　試験車①の優勢率と総合評点

被験者状態：耳栓あり，アイマスクあり

優勢率[%]

θ波	α1波	α2波	α3波	β波
5.00	20.00	50.83	24.17	0.00

評点

θ波	α1波	α2波	α3波	β波	総合評点
-32	-12	-4	12	32	-4

図-15　試験車②の優勢率と総合評点

次に，各条件下の総合評点と安静時の総合評点の差とその平均値を**図-16**, **図-17** に示す．総合評点と安静時の総合評点の差は，安静時の総合評点が 0 点であるため，「差の平均」は，「総合評点の絶対値の平均値」を示している．

	アイマスクなし	アイマスクあり	
耳栓なし	12	4	差の平均
耳栓あり	16	4	9

図-16　試験車①の総合評点の差の平均値

	アイマスクなし	アイマスクあり	
耳栓なし	16	16	差の平均
耳栓あり	20	4	14

図-17　試験車②の総合評点の差の平均値

まず，**図-16** および**図-17** より，総合評点の差の平均値は，試験車①＜試験車②であることが分かる．本論文では，安静時との差が小さい程，“乗り心地が良い”と定義した．従って，試験車②よりも試験車①の方が，乗り心地が良いと思われる．

また，**図-7**～**図-15** より，視覚情報や聴覚情報が遮断されている場合の方が，乗り心地がより向上することが分かる．これは参考文献[5)]でも報告されている．聴覚情報の観点から説明すると，聴覚遮断なしの場合は交感神経機能が優位になるのに対し，聴覚遮断ありの場合は副交感神経機能が優位になることに起因するとされている[5)]．(一般的には，活動時や昼間に交感神経機能が優位になり，安静時や夜に副交感神経機能が優位になる[7)]．つまり，自律神経機能の観点では，副交感神経機能が優位になる程，リラックスしている．) また，視覚情報の観点から

説明すると，脳神経においては視覚情報が意識レベルに大きく関与していることに起因するとされている [5]．これらのことから本検討で得られた結果は妥当であると考えられる．

５．おわりに

本論文では，脳波の測定結果を用いた自動車の乗り心地評価方法に対する検討を行った．評価法としてフェイススケール・スコアを導入した検討を行った．結果としてフェイススケール・スコアにより，自動車の乗り心地を定量的に評価できるものと考えられる．

謝辞：本研究を行うにあたり，科学研究費補助金（基盤(C)）18K03897 の援助を受けた．ここに謝意を表す．

参考文献

1) 山門誠, “「乗り心地」が,自動運転車の価値を決める！”,夢ナビ,https://yumenavi.info/lecture.aspx?GNKCD=g008378,2019 年 5 月 27 日閲覧.
2) 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”,生産研究,東京大学生産技術研究所,第 62 巻第 3 号,pp.267-270,2010.
3) 武井一剛,石黒陸雄, “乗員の官能評価にもとづく乗り心地評価”,豊田中央研究所 R&D レビュー,Vol.30,No.3,pp.47-56,1995.
4) 大須理英子,古畑裕之, “脳波(EEG)およびアイトラッキングによる生体反応の測定”,オペレーションズ・リサーチ,日本オペレーションズ・リサーチ学会,pp.442-448,2016.
5) 坂本和義,小林こずえ,馬場健, “バス乗車時の感覚遮断条件における生体反応の研究”,人類働態学会 第 49 回全国大会号,pp.29-30,2014.
6) 坂本和義,齊藤徳翁,脇元幸一,嵩下敏文, “慢性疼痛患者に対する除痛シート使用による除痛効果の脳波研究”,慢性疼痛,日本慢性疼痛学会,pp.217-228,2013.
7) タケダ健康サイト, “自律神経の乱れ”,武田コンシューマーヘルスケア株式会社,https://takeda-kenko.jp/navi/navi.php?key=jiritsumidare,2019 年 5 月 27 日閲覧.

（2019. 8. 1 受付）