

人間の眼球-関節運動特性に基づく 自動車インテリア・パッケージの解析評価

田 中 良 幸*・楽 松 武*・堀 上 正 義**・宮 崎 透**
西 川 一 男**・農 沢 隆 秀**・辻 敏 夫*

An Evaluation of Automotive Interior Packages Based on Human Ocular and Joint Motor Properties

Yoshiyuki TANAKA*, Takeshi RAKUMATSU*, Masayoshi HORIUE**, Tooru MIYAZAKI**,
Kazuo NISHIKAWA**, Takahide NOUZAWA** and Toshio TSUJI*

This paper proposes a new evaluation method of an automotive interior package based on human oculomotor and joint-motor properties. Assuming the long-term driving situation in the express high way, the three evaluation indices were designed on i) the ratio of head motion at gazing the driving items; ii) the load torque for maintaining the standard driving posture; and iii) the human force manipulability at the end-point of human extremities. Experiments were carried out for two different interior packages with four subjects who have the special knowledge on the automobile development. Evaluation results demonstrate that the proposed method can quantitatively analyze the driving interior in good agreement with the generally accepted subjective opinion in the automobile industry.

Key Words: automotive interior, driving position, eye-head movement, human force manipulability

1. はじめに

われわれは視覚をはじめとする感覚器官から得た外部環境の情報を基にして、作業内容や環境変動に応じて身体各部位の姿勢や四肢先端の発揮力といった運動特性を適切に調節している¹⁾。自動車運転を例に挙げると、まずドライバはシート位置やステアリング角度を調整して運転に適した基本姿勢を取る。そして、運転中は前方視界とメータ類から把握した道路状況や車速に応じて、手足を動かしてステアリングやペダルといった操縦系を操作している。このように、自動車運転において運転者の身体動作と視覚情報には密接な関係があり、高速直進運転による長距離移動という単調な運転シーンを考えてみても、どちらか一方に不具合があれば無理な運転姿勢による疲労や運転状況の誤認を引き起こす要因になりかねない。したがって、人間の運動特性と視野の双方を十分に考慮して自動車インテリア・パッケージを設計することで、

より快適で安全な自動車操縦空間の実現が期待できる。

現在の一般的な自動車操縦空間は、自動車産業界で蓄積した熟練技能に基づいて実現されているが、限られた空間サイズとデザイン性の兼ね合いもあり、定量化した人間の実特性に基づいた設計アプローチはされていない。その原因として、どのような人間の実特性を考慮して評価・設計すべきか、そしてそれらを実用レベルで活用することの有用性が十分示されていないことが挙げられる。このような現状を踏まえて、これまでに著者らは、ロボット工学で用いられる可操作性理論²⁾に実験的に解析した四肢の単関節トルク特性を導入し、生体関節トルク特性を考慮した可操作性理論を開発した³⁾。そして、姿勢情報から人間が発揮できる四肢先端の操作力特性を楕円体指標を用いて定量評価するとともに、自動車操縦系のレイアウトに対する解析評価を試みてきた⁴⁾。しかしながら、実際にインテリア・パッケージを開発する上で重要とされる前方視界と姿勢維持による運転疲労については考慮していなかった。

一方、人間の視覚系に関する研究は運動生理学の分野で古くから数多くなされており、視覚情報を獲得する際に生じる視線移動における頭部と眼球の協調運動に着目した研究もいくつ報告されている^{5)~9)}。たとえば、山田⁶⁾は二次元平面上に映し出された指標点を被験者に注視させ、注視動作における眼球運動と頭部運動の同期性と分担比について報告し

* 広島大学大学院工学研究科 東広島市鏡山 1-4-1

** マツダ株式会社 広島県安芸郡府中町新地 3-1

* Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-hiroshima

** Mazda Motor Corporation, 3-1 Shinchii, Fuchu-cho, Aki-gun, Hiroshima

(Received April 27, 2009)

(Revised October 14, 2009)

ている。Frank ら⁸⁾は眼球のサッケード運動やパーシュート運動における眼球運動と頭部運動を計測し、加齢によって眼球運動の割合は減少する一方で、頭部運動の割合が増加することを報告している。このような運動生理学的アプローチを自動車運転者の動作解析に応用した研究もいくつか報告されている^{10)~13)}。たとえば、藤森ら¹⁰⁾は高速道路上での自動車運転における頭部・眼球運動計測を行ない、運転者が運転状況を認知・把握するために行なう特徴的な動作の抽出を試みている。しかしながら、人間の視覚系の運動特性に基づいて自動車インテリアを解析評価しようとするものではない。

そこで本論文では、人間の視覚系と筋骨格系の運動特性に基づいて、長時間の高速直進運転時を想定した運転姿勢から自動車インテリア・パッケージを定量的に解析評価する手法を提案する。以下、2章では人間の注視作業における頭部-眼球運動特性と、運転姿勢の維持および操作力発揮に寄与する関節運動特性を考慮して、自動車運転の快適性および操縦性に関する評価指標を定義する。3章では、注視作業における頭部運動と眼球運動の比率と頸部関節運動における随意最大発揮トルクを実測し、解析評価が必要となるデータベースを作成する。そして最後に、4章で同クラスの市販車2台を用いた評価実験を行ない、提案手法の有用性を検証する。

2. 眼球運動特性と関節運動特性に基づく評価指標

高速直進運転では、運転者は前方を注視しながら頭部姿勢を含めて運転に適した基本姿勢の維持が求められる。そこで本論文では、高速直進運転で運転者に求められる主要な運動を選定し評価項目として、①視界確保に影響する頭部運動と眼球運動の分担比率、②基本姿勢維持に要する関節負担、③運転者が四肢先端で発揮可能な操作力の大きさに着目する。これら3つの評価指標を組み合わせることで、高速直進運転における自動車操縦空間の総合評価が行なうことができると考える。以下では、Fig. 1 に示す片半身の身体モデルにおいて各評価指標を定義する。

2.1 注視作業負担に関する指標： E_{eye}

運転者は基本姿勢を維持した状態で、前方視界だけでなく視線を移動させて各種計測器やミラーなどのインテリア・アイテムから運転情報を素早く正確に把握しなければならない。このとき、眼球に比べて大きな質量と慣性をもつ頭部の運動は、注視作業において基本姿勢の変化と視界のぶれを誘発してしまい、ひいては運転者の疲労へとつながる。そこで本論文では、前方注視から各アイテムへの視線移動における頭部運動を作業負担として捉え、評価指標 E_{eye} を

$$E_{eye} = \sum_{h=1}^N \left(\frac{\|\theta_{head}^{(h)}\|}{\|\theta_{eye}^{(h)}\| + \|\theta_{head}^{(h)}\|} \right)^{-1} \quad (1)$$

と定義する。ここで、 $\|X\|$ はベクトル X のノルムであり、 $\theta_{head} = (\theta_{head,x}, \theta_{head,z})^T$, $\theta_{eye} = (\theta_{eye,x}, \theta_{eye,z})^T \in \mathbb{R}^2$ はそれぞれ頭部姿勢と眼球姿勢、 N はメータなど評価対象とするインテリア・アイテムの個数、変数 θ の右上付き添え字 (h)

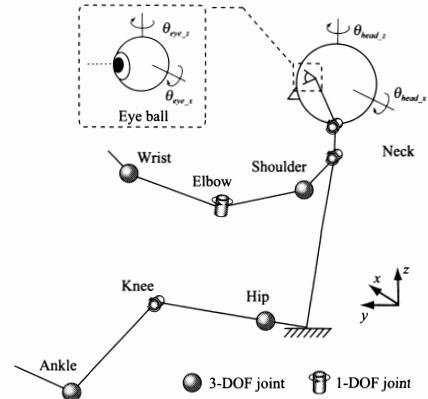


Fig. 1 A link model of a human driver

は第 h 番目のアイテムを示す。 E_{eye} の値が大きいほど、アイテムを注視する際の作業負担は少ないことを示す。

2.2 関節負担に関する指標： E_{load}

車両の加減速が微小である高速直進運転では、運転者は基本姿勢を維持する上で、頭部と四肢の自重に耐えうる関節トルクを発揮せねばならない。したがって、長時間運転における基本姿勢の維持に要する重力負担は、できるだけ小さいことが望まれる。そこで、各関節で異なる発揮可能な最大トルクまでも考慮して、関節負担に関する評価指標 E_{load} を

$$E_{load} = \left(\sum_{i=1}^2 \left| \frac{\tau_{g-neck}^{(i)}(\theta_{neck}^{(i)})}{\tau_{max-neck}^{(i)}(\theta_{neck}^{(i)})} \right| \right)^{-1} + \sum_j^{R,L} \left(\sum_{i=1}^7 \left| \frac{j\tau_{g-arm}^{(i)}(j\theta_{arm}^{(i)})}{j\tau_{max-arm}^{(i)}(j\theta_{arm}^{(i)})} \right| \right)^{-1} + \sum_j^{R,L} \left(\sum_{i=1}^7 \left| \frac{j\tau_{g-leg}^{(i)}(j\theta_{leg}^{(i)})}{j\tau_{max-leg}^{(i)}(j\theta_{leg}^{(i)})} \right| \right)^{-1} \quad (2)$$

と定義する。ただし、変数 τ, θ の右上付き添え字 (i) は各身体部位における関節番号を示し、 $\tau_{g-neck} \in \mathbb{R}^2$ は重力に対して頭部姿勢を維持するのに要する頸部関節トルク、 $j\tau_{g-arm}, j\tau_{g-leg} \in \mathbb{R}^7$ ($j \in \{R: Right, L: Left\}$) は四肢姿勢を維持するのに要する関節トルク、 $\tau_{neck-max} \in \mathbb{R}^2$ と $j\tau_{max,k} \in \mathbb{R}^7$ ($k \in \{arm, leg\}$) はそれぞれ頭部と四肢の各関節が発揮できる随意最大関節トルクである。 E_{load} の値が大きいほど、基本姿勢を維持による関節負担が小さいことを示す。

2.3 操作力に関する指標： E_{force}

基本姿勢維持におけるステアリングやペダルなどの自動車操縦系は、ドライバが十分な操作力を発揮しやすい配置であることが望まれる。そこで、運転者が上肢/下肢姿勢 $j\theta_k \in \mathbb{R}^7$ においてステアリング/ペダルの可動方向へ発揮可能な手先/足先による操作力に関する評価指標 E_{force} を、

$$E_{force} = \sum_j^{R,L} \sum_k^{arm,leg} \|jF_k(j\theta_k)\| \quad (3)$$

と定義する。操作力 $jF_k \in \mathbb{R}^3$ は、次式で与えられる生体関

節トルク特性を考慮した操作力楕円体^{3),4)}における可動方向への楕円半径である。

$${}^jF_k^T \left({}^jJ_k {}^jT_k^{-1} \right) \left({}^jJ_k {}^jT_k^{-1} \right)^T {}^jF_k \leq 1 \quad (4)$$

ここで, ${}^jJ_k \in \mathbb{R}^{7 \times 3}$ はヤコビ行列, ${}^jT_k \in \mathbb{R}^{7 \times 7}$ は, i 番目の関節角度 ${}^j\theta_k^{(i)}$ において, 回転方向 $r \in \{\text{extension}, \text{flexion}\}$ に発揮できる最大関節トルクの絶対値 ${}^j\tau_{max,k,r}^{(i)}$ を要素とする対角行列である. E_{force} の値が大きいほど手先や足先で大きな操作力を容易に発揮でき, 評価が高くなることに注意されたい.

3. 頭部-眼球運動比率と頸部関節トルク特性

前章で定義した3つの生体運動特性に基づく評価指標は, 先に著者らが報告した四肢の各関節運動による随意最大発揮トルク特性^{3),4)}に加えて, 頭部・眼球協調運動の特性と頸部の各関節運動による随意最大発揮トルク特性が新たに必要となる. そこで本章では, 頭部-眼球運動比率と頸部関節トルク特性の計測とモデル化を行なう.

3.1 視線移動における頭部-眼球運動の分担比

被験者は健康な男子大学生3名 (Subs.I ~ III) とし, 実験内容を十分に説明してから本計測を行なった. 被験者に関する情報を, Table 1(a) に示す.

Fig. 2 に, 前方注視からの視線移動における眼球・頭部運動特性を解析するために構築した実験システムの概略を示す. 本システムは, 被験者の視線を計測する視線計測部, 頭部姿勢を計測する姿勢計測部, 注視目標点を提示する表示部から構成される. ここで, 視線計測部ではアイマークレコーダ EMR-8B (NAC Image Technology, 計測範囲: 40 deg., 検出レート: 30 Hz, 眼球運動分解能: 0.1 deg., 瞳孔径分解能: 0.02 mm) を, 姿勢計測部では3台のステレオカメラからなる光学式モーションキャプチャシステム MAC3D (NAC Image Technology, サンプルング: 60 Hz) を用いた.

計測実験では, 被験者をスクリーンの前方 50 cm に背筋を伸ばして椅子に座らせ, 視野中心に前方注視点 (Fig. 2 (b) 中の■印) をスクリーン上に配置した. そして, スクリーン上に直径 2 cm の円 (○印) で注視目標点を提示し, 頭部運動と眼球運動でできるだけ速く注視するように教示した. 注視目標点は, 前方注視点を中心に 45 deg. 刻みの 8 方向にピッチ 10 deg. で設定した 40 点の中からランダムに提示した. これを 1 セットとし, 被験者は 3 セットの計 120 試行を行なった.

Fig. 3 に計測した頭部眼球運動波形と目標波形の一例を示す. 横軸は経過時間, 縦軸は角度となっており, (a) の眼球角度と (b) の頭部角度の和が視線角度となる. 図より, 提示したターゲットに対しての頭部と眼球的応答を計測できていることがわかる. 視線安定時の眼球角度と頭部角度を用いて, 各計測点における眼球運動と頭部運動の分担比を求めた.

Fig. 4 に被験者3名の計測結果を用いて作成した頭部・眼球運動のデータマップを示す. ○印は計測点であり, 計測点以外の値は Delaunay 三角形分割¹⁴⁾ (分割数 500) に基づく

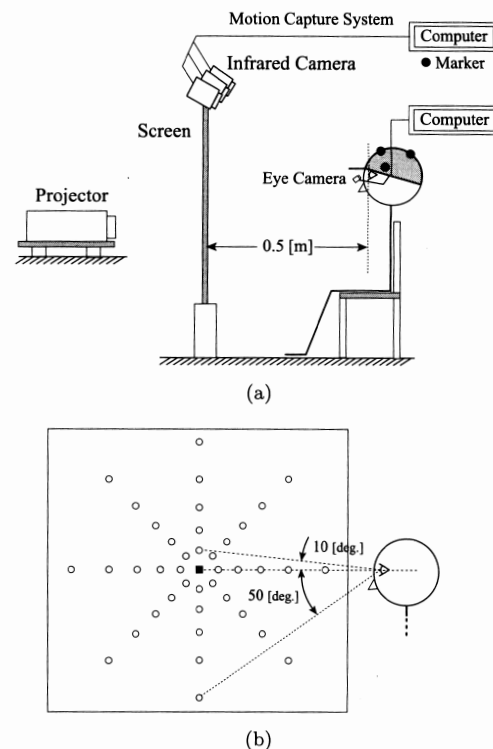


Fig. 2 An experimental apparatus for measuring eye-head movements

Table 1 Physical data of subjects participated in the measurement experiments

(a)				
Subject	Age	Stature [m]	Weight [kg]	Eyesight
Sub.I	23	1.72	60	1.2
Sub.II	23	1.58	53	1.5
Sub.III	22	1.66	52	1.0

(b)			
Subject	Age	Stature [m]	Weight [kg]
Sub.1	22	1.73	52
Sub.2	22	1.80	73
Sub.3	23	1.74	68
Sub.4	23	1.66	60

キュービック補間をしている. また, 横軸は z 軸周りの頭部と眼球的姿勢角度の和 $\phi_z (= \theta_{eye-z} + \theta_{head-z})$, 縦軸は x 軸周りの和 $\phi_x (= \theta_{eye-x} + \theta_{head-x})$ である. 図より, 前方注視点から上方向に離れた注視目標点に対しては眼球運動が増加して頭部運動が減少し, 下方向に対しては反対の傾向が見られる. この傾向は目標注視点 が 30 deg. 付近から現われ, 50 deg. に対して最も顕著となっていることがわかる.

3.2 頸部関節による随意最大発揮トルク

被験者は健康な男子大学生4名 (Subs.1 ~ 4) とし, 実験内容を十分に説明してから本計測を行なった. 被験者に関する情報を, Table 1(b) に示す.

Fig. 5 (a) に, 頸部関節トルク特性を計測するために構築した実験装置の概略を示す. アーム先端には6軸力覚センサ (ニッタク株式会社, 定格荷重: Z 軸 400 N; XY 軸 200 N, 分解能: $1/16384$) を取り付けている. 実験では, 被験者の頭

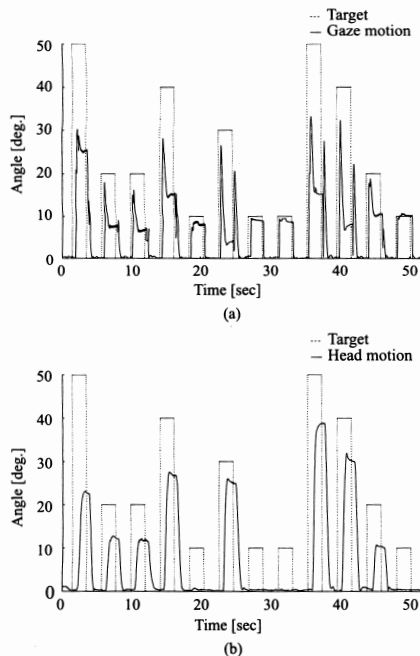


Fig. 3 Examples of eye-head movements measured

部を力センサのプッシャに当てさせ、等尺性運動の最大努力にて印加力 F_z を5秒間発揮させた。そして、Fig. 5 (a) の頭部・頸部モデルから、 F_z に等価な関節発揮トルクを算出した。

以上の計測手順にて、頸部第1関節と頸部第2関節は独立に関節トルクを発揮できるものと仮定し、胴体と頸部リンクの相対関節角度を $\theta_{neck}^1 = 0, 15, 30, 45$ deg., 頸部リンクと頭部リンクの相対関節角度を $\theta_{neck}^2 = 15, 30, 45, 60$ deg. と設定して各関節の屈曲・伸展運動に対して計測を実施した。なお、直立時の頸部・頭部姿勢 $(\theta_{neck}^1, \theta_{neck}^2) = (0, 15)$ deg. を基準とし、各関節可動域を考慮して計測角度を決定した。また、直進運転時の主な頸部運動は屈曲・伸展方向であるため、本論文では側屈と旋回を省略した。

Fig. 5 (b) に頸部関節トルク特性の計測結果の一例を示す。図より、屈曲運動では関節角度によらず最大発揮トルクは一定であるが、伸展運動では基準姿勢から頸部を前後に曲げるほど発揮トルクが小さくなる傾向が見られる。同様な傾向は、全被験者において確認することができた。したがって、頭部姿勢を維持するための頸部負担は、その姿勢に依存して変化することが推測される。そこで本論文では、頸部の各関節における随意最大発揮トルク $\tau_{max_neck}^{(i)}$ を

$$\tau_{max_neck}^{(i)}(\theta_{neck}^{(i)}) = a_3(\theta_{neck}^{(i)})^3 + a_2(\theta_{neck}^{(i)})^2 + a_1\theta_{neck}^{(i)} + a_0 \quad (5)$$

でモデル化した。ただし、変数 τ, θ の右上付き添え字 (i) は頸部における関節番号を示している。そして、被験者4名の頭部姿勢に対する発揮トルク値を最小二乗法でフィッティングをして、上式の係数 a_m ($m = 0, \dots, 3$) を Table 2 のとおり決定した。

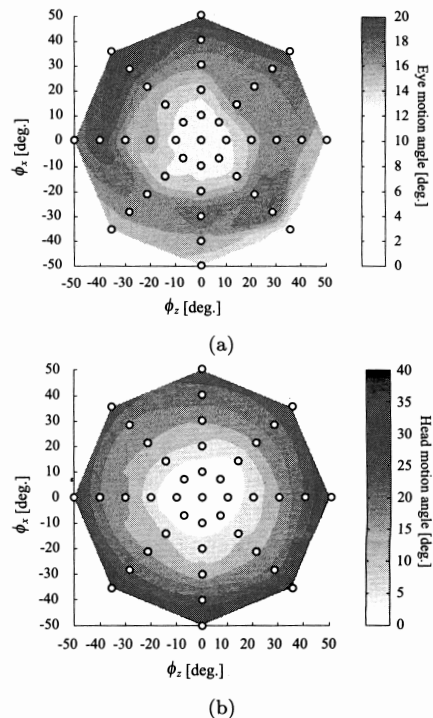


Fig. 4 Experimental results of the gaze and head motion

4. 自動車インテリア・パッケージの解析評価

提案法の有用性を確認するため、Fig. 6 (a) に示す2種類の市販車インテリア・パッケージを評価対象として実験を行った。被験者は、自身が取った姿勢をほぼ再現できる自動車に精通した成人男性4名 (Subs. A ~ D) とした。なお、負担評価指標で用いる身体各部の質量と慣性は、Table 3 に示す各被験者の身長と体重から文献 15) を基に算出した。

4.1 計測実験

被験者を運転席に座らせてステアリングを両手で保持させ、直進運転時の基本運転姿勢を取るようにステアリングとシートの位置・傾きを自由に調節させた。そして、被験者の身体と評価アイテムに取り付けたマーカの三次元位置情報を、座標計測装置 (Kosaka Laboratory Ltd.) を用いて計測した (Fig. 6 (b) 参照)。直進運転時の基本姿勢は概ね左右対称となることから、本論文では右半身の姿勢のみを計測・評価した。また、評価アイテムとしては速度メータ、スイッチパネル、ルームミラー、サイドミラーを選定し、各アイテムの中心座標を計測した。なお、各種の規格において、速度メータはステアリング内に視認できる場合はステアリング頂点下方1度以上に、右側のサイドミラーは水平視野角55度以下に配置するようにとおおよその位置が指針されている^{16)~18)}。

まず初めに、Sub. A に対して計測した評価アイテムの位置座標を、Y-Z 平面上でプロットした結果を Fig. 7 (a) に示す。評価対象とした自動車間の各アイテムの配置に相違はあるが、ほぼ似通っていることがわかる。速度メータの相違が相対的に小さいのは、規格で指針されている配置領域が他ア

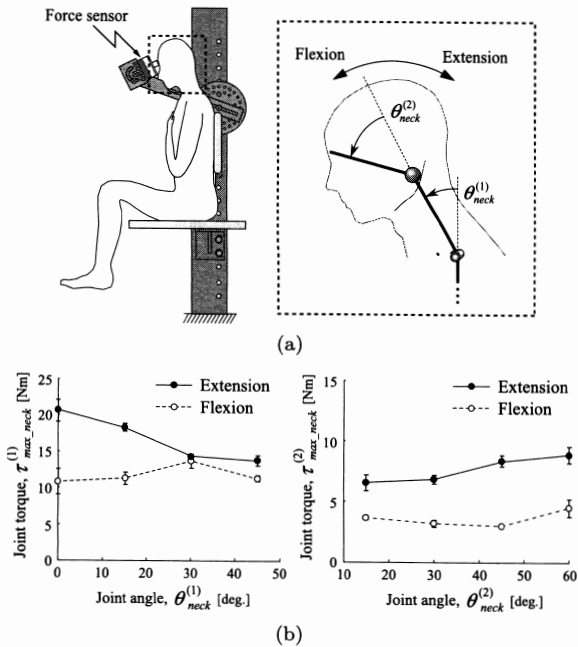


Fig. 5 An experimental apparatus for measuring human neck-joint torque and typical results

Table 2 Coefficient values in the angle-torque model of the neck joint

		a_3	a_2	a_1	a_0
$\tau_{max_neck}^{(1)}$	Flexion	-16.302	14.518	-1.082	16.135
	Extension	-6.888	27.630	-24.207	25.771
$\tau_{max_neck}^{(2)}$	Flexion	16.357	-2.011	0.255	5.868
	Extension	5.916	1.348	1.824	11.046

Table 3 Physical data of subjects participated in the evaluation test

Subject	Age	Stature [m]	Weight [kg]
Sub.A	38	1.70	66
Sub.B	51	1.67	63
Sub.C	44	1.76	82
Sub.D	47	1.73	65

アイテムよりも限られているためと考えられる。一方, Fig. 7 (b) は同被験者の眉間を原点とする極座標系で表示した結果であり, 被験者が見ているであろう視界で表示している。ここで, 濃淡は Fig. 4 で示した実験結果を基に (1) 式を用いて求めた眼球運動比率であり, 色が濃いほど眼球運動が小さいことを示す。ユークリッド空間では車種によって評価アイテムのレイアウトに明らかな相違が見られたが, 視界ではほぼ一致していることがわかる。

Fig. 8 に, 各自動車の評価アイテムの配置と, Sub.A の基本姿勢に加えて, (4) 式で求めた手先・足先の操作力楕円を示す。実線は Interior I, 点線は Interior II に対する結果であり, 被験者の大転子を原点として重ね描いている。2 台の自動車間で基本姿勢が異なっており, それに応じて操作力楕円の大きさや方向も変化していることがわかる。このことはつまり, 被験者はステアリングやペダルといった自動車操縦系よりもむしろ, 運転状況を提示する評価アイテムのレイア

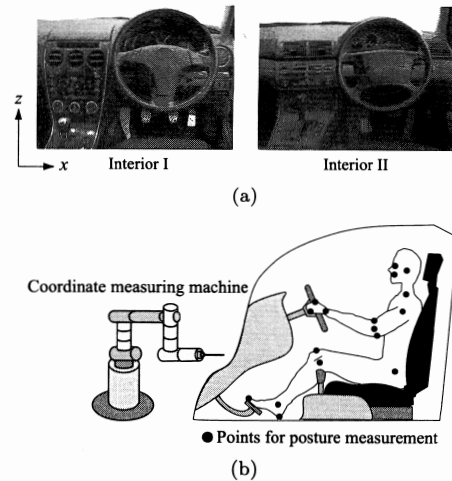


Fig. 6 An experimental apparatus for evaluation tests

Table 4 Evaluation results using the defined indices for all subjects

Sub.		E_{eye}	E_{load}	E_{force}				
			head	arm	leg	Sum	arm	leg
A	I	1.67	9.83	5.15	1.45	16.43	80.54	271.32
	II	1.55	15.21	4.63	1.46	21.30	74.51	330.24
B	I	1.63	9.81	5.50	1.56	16.86	71.21	282.68
	II	1.47	10.79	5.36	1.61	17.76	74.49	326.98
C	I	1.85	7.04	4.21	1.08	12.33	71.35	227.81
	II	1.81	9.56	3.58	1.14	14.27	66.91	314.69
D	I	1.78	7.24	4.68	1.32	13.24	68.09	218.74
	II	1.58	7.04	5.12	1.44	13.61	76.42	340.26

ウトを優先させて基本姿勢を決定していることを強く示唆している。同様の傾向は, 全被験者において確認することができた。

次節では, 評価アイテムのレイアウトに応じた基本姿勢に対して, (1)~(3) 式で定義した評価指標を用いて運転負担を定量評価する。

4.2 評価結果

Table 4 に, 対象とした 2 台の自動車インテリア・パッケージで計測した被験者の基本姿勢と評価アイテムのレイアウトに対する評価結果を示す。全被験者は評価アイテムのレイアウトに応じて基本姿勢を取ったことから, E_{eye} はほぼ同じ評価となっている。一方, E_{load} と E_{force} に関しては, Interior II のほうが高い評価となった。このことはつまり, 評価アイテムのレイアウトの良し悪しが, 頸部および四肢の関節負担と四肢先端の操作力特性に大きな影響を与えることを示唆している。

最後に, スケールの異なる各評価値を規格化して評価指標 E を定義し, 自動車インテリアの総合評価を試みた。

$$E = w_1 \Lambda_{eye} + w_2 \Lambda_{load} + w_3 \Lambda_{force} \quad (6)$$

ここで, $\Lambda_X = \frac{E_X}{\bar{E}_X}$ ($X \in \{eye, load, force\}$) であり, $\bar{E}_X$ は全車種に対する各評価項目の全被験者による平均値, w_n ($n = 1, 2, 3, \sum_{n=1}^3 w_n = 1$) は設計評価の目的に応じて設定する重み係数である。総合評価指標 E が 1 よりも大きけれ

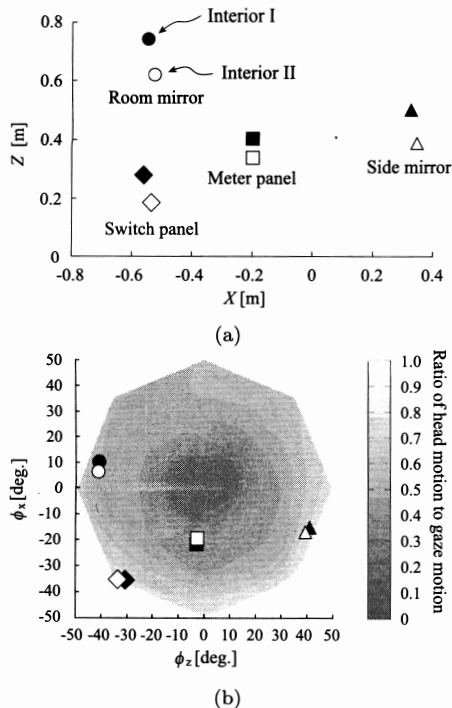


Fig. 7 Positions of the target items on the ratio map of the eye motion at gazing

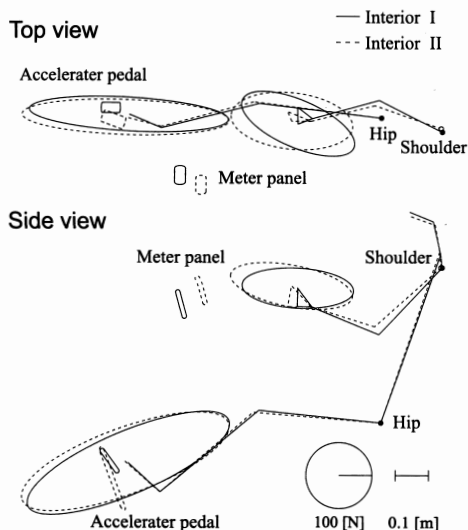


Fig. 8 Driving postures and force manipulability ellipses for Sub. A

ば、評価対象群において平均以上であることを示す。

Fig. 9 に、今回対象とした 2 台の自動車インテリアに対して各評価項目を等分 ($w_n = 1/3$) で評価した結果を、全被験者による平均値と標準偏差で示す。各評価項目で差が見られ、特に操作力に関しては有意水準 1% (t-検定) で顕著な差が認められた。そして総合的に評価した結果、関節負担と操作力に優れる Interior II が高くなった。

Interior II の自動車は長時間の高速直進運転に優れた性能を有する高級車として広く認識されており、提案法による評価結果はそのような主観的な一般論と一致した上で、その要

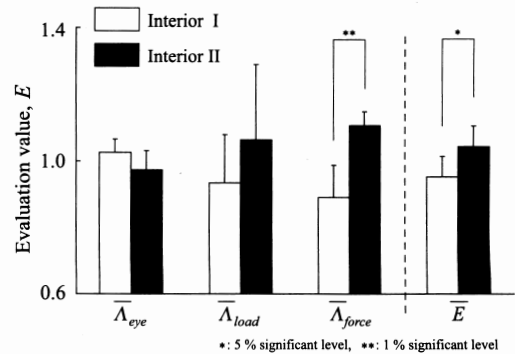


Fig. 9 Total evaluation results for the two type of automobile interior-package

因を明確に示している。より多くの被験者によるさらなる追加検証が必要ではあるが、以上の結果から従来の多次元尺度では説明できなかった自動車間の相違点とその程度を定量的に示すことができ、提案法の有用性を確認することができた。

5. まとめ

本論文では、人間の頭部-眼球運動比率と頸部関節トルク特性を実測してモデル化するとともに、自動車的高速直進運転を想定した運転姿勢から自動車インテリア・パッケージを定量的に解析評価する手法を提案した。そして、同クラスの市販車 2 台の自動車インテリアに対する評価実験を実施し、提案手法による評価結果が自動車業界で一般的に定着している主観の評価とうまく一致することを示した。各評価指標に用いるデータベースの質的向上とともに他の自動車インテリア情報を追加していけば、本手法の有用性がさらに向上するものと期待できる。

今後は、本手法による評価結果に対する被験者の主観評価と生理指標との関係を詳しく解析していく一方で、頸部・頭部角度の分配比率を計測し注視アイテムと運転シートの相互作用を考慮する予定である。さらには、奥行き方向の視覚特性と頭部の側屈運動も考慮に入れてコーナリング時など運転者の基本姿勢が車両運動で変化する状況にも対応できるようにしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 伊藤宏司：身体知システム論—ヒューマンロボティクスによる運動の学習と制御—、共立出版 (2005)
- 2) 吉川恒夫：ロボット制御基礎論、コロナ社、第 4 章 (1988)
- 3) 田中、山田、正守、辻：生体関節トルク特性を考慮した下肢操作特性の解析、計測自動制御学会論文集、40-6、612/618 (2004)
- 4) Y. Tanaka, N. Yamada, K. Nishikawa, I. Masamori and T. Tsuji: Manipulability Analysis of Human Arm Movements during the Operation of a Variable-Impedance Controlled Robot, *Proceedings of the 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems*, 3543/3548 (2005)
- 5) D. Poynter: Contrast Sensitivity and Image Recognition: Applications to the Design of Visual Displays, *Displays Technol. Appl.*, 13-1, 35/43 (1992)
- 6) 山田光穂：2 次元平面状の指標を注視させたときの頭部運動

と眼球運動の協調関係の分析, 電子情報通信学会論文誌 D-II, **J75-D-II-5**, 971/981 (1992)

- 7) H.M. Goossens and A.J. Van Opstal: Human Eye-head Coordination in Two Dimensions Under Different Sensorimotor Conditions, *Experimental Brain Research*, **114**, 542/560 (1997)
- 8) F.A. Proudlock, H. Shekhar and I. Gottlob: Age-related Changes in Head and Eye Coordination, *Neurobiology of Aging*, **126**, 41/54 (1999)
- 9) B.S. Oommen, R.M. Smith and J.S. Stahl: The Influence of Future Gaze Orientation Upon Eye-head Coupling During Saccades, *Experimental Brain Research*, **155**, 9/18 (2004)
- 10) 藤森, 上迫, 川村: 高速道路運転における頭部運動と視線挙動, 計測自動制御学会論文集, **37-1**, 36/43 (2001)
- 11) F. Bellotti, A. De Gloria, A. Poggi, L. Andreone, S. Damiani and P. Knoll: Designing Configurable Automotive Dashboards on Liquid Crystal Displays, *Cogn Tech Work*, **6**, 247/265 (2004)
- 12) F. Bellotti, A. De Gloria, R. Montanari, N. Dosio and D. Morreale: COMUNICAR: Designing A Multimedia, Context-aware Human-machine Interface for Cars, *Cogn Tech Work*, **7**, 36/45 (2005)
- 13) 三好, 中易, 鈴木: 運転時の周辺視野画像の眼球運動への影響, 人間工学会誌, **43-2**, 97/100 (2007)
- 14) C.B. Barber, D.P. Dobkin and H.T. Huhdanpaa: The Quickhull Algorithm for Convex Hulls, *ACM Trans. on Mathematical Software*, **22-4**, 469/483 (1996)
- 15) 阿江通良: 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数, *Japanese Journal of Science* **15-3**, 155/162 (1996)
- 16) 日本規格協会: JIS ハンドブック自動車部品, 350/354 (2001)
- 17) 自動車技術会: 自動車技術ハンドブック 設計編, 363/364 (1991)
- 18) 自動車基準認証国際化研究センター: 自動車法規フォロー, EEC77/649, EEC2003/97

[著者紹介]

田中良幸 (正会員)



2001年広島大学大学院工学研究科博士課程後期修了。同年広島市立大学情報科学部助手, 2002年より広島大学大学院工学研究科助手, 2008年より同研究科助教, 現在に至る。博士(工学)。主として, 人間の随意運動制御メカニズム, マン・マシンシステムに関する研究に従事。ロボット学会, 日本人間工学会, IEEEなどの会員。

楽松武



2010年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了見込み。主として, 自動車操作系における人間の運動制御に関する研究に従事。自動車技術会の学生会員。

堀上正義



2007年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年マツダ株式会社入社。自動車車両の実験研究領域に従事し, 車両実研部クラフトマンシップ開発グループに所属, 現在に至る。自動車の操作性, スペース・乗降性の研究に従事。自動車技術会の会員。

宮崎透



1990年九州芸術工科大学(現九州大学)芸術工学部卒業。同年マツダ株式会社入社。自動車車両の実験研究領域に従事し, 2002年より同社車両実研部クラフトマンシップ開発アシスタントマネージャー, 現在に至る。自動車の操作性・視認性, 視界性能, スペース・乗降性の研究に従事。日本人間工学会, 自動車技術会の会員。

西川一男



1986年明治大学工学部卒業。同年マツダ株式会社入社。自動車車両の実験研究領域に従事し, 2004年より同社車両実研部クラフトマンシップ開発マネージャー, 現在に至る。自動車の操作性・視認性, 視界性能, 内装質感, 室内異音の研究に従事。日本人間工学会, 産業保健人間工学会, 自動車技術会の会員。

農沢隆秀



1980年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年マツダ株式会社入社。自動車車両の実験研究領域に従事し, 2005年より同社車両実研部部長, 現在に至る。工学博士。自動車車体の空気力学, 空力騒音に関する研究, インテリアの人間工学, 感性工学に関する研究などに従事。日本機械学会, 日本流体力学会, 日本人間工学会, 自動車技術会などの会員。

辻敏夫 (正会員)



1959年12月25日生。85年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年広島大学工学部助手。94年同助教授を経て, 2002年より同大学大学院工学研究科教授, 現在に至る。工学博士。本会学術奨励賞(86), 論文賞(2002, 2008), バイオメカニズム学会論文賞(90), 日本義肢装具学会論文賞(2000), 日本医科器械学会論文賞(2003), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門学術業績賞(2004), IEEE R&A Society The K. S. Fu Memorial Best Transactions Paper Award(2004)などを受賞。人間とロボットの運動制御, 生体信号解析, ニューラルネット, ヒューマン・マシンシステムなどの研究に従事。