

加速運転時の車内音に対する嗜好性に関する研究

Study of Interior Sound Preferences at Acceleration

能 村 幸 介*

Kousuke NOUMURA

吉 田 準 史*

Junji YOSHIDA

要 旨

日本人、ドイツ人、アメリカ人それぞれ200名ずつ、計600名の被験者を対象に、自動車の加速中の車内音に対する嗜好性動向について調査をおこなった。その結果、音の好みはおおむね4種類に分類できることがわかった。そして、これらの4種類の好みの程度を客観的な数値で算出可能な評価システムを開発した。また、被験者の属性に対する関連性を調べたところ、各国の性別、年代、自動車に対する関心度合いに依存して音の好みは変化する、女性よりは男性が、高齢層よりは若年層が、自動車に関心の無い人よりは有る人のほうが、加速に伴うエンジン音が聞こえていたほうを好む傾向にあった。

ABSTRACT

This paper describes car interior sound preferences in general public. Subjective evaluation experiments were performed in Japan, Germany and the United States to investigate the interior sound preferences. Two hundred subjects in each country (600 total) participated in the experiment. As a result, four kinds of preferences were found. A sound preference evaluation system was developed to calculate numeric preference values based on sound stimuli recorded using an artificial head microphone.

Furthermore, subjects' characteristics in each kind of preference were clarified through questionnaires. The results showed that women, older people and people not interested in cars preferred quiet sound, while men, younger people, and people who like cars preferred powerful sound.

1. まえがき

自動車の車内における音質の向上を目的として、これまで、さまざまな音質評価技術に関する研究がおこなわれている。それらの研究の結果、音の大きさ、変動強さ、などの聴覚刺激を表す尺度⁽¹⁾や、高級感、スポーティ感などの複合的な感覚量を表す尺度などが提案^{(2), (3)}され、人の音に対する感覚量を定量的に評価することが可能となってきている。しかしながら、音に対する感覚量は同一にもかかわらず、嗜好性は全く異なるということも明らかになっており⁽³⁾、どのようなユーザがどのような音質を好むのかということについては詳細には明らかにされていない。

本研究では、日本、ドイツ、アメリカにおいて音に対する嗜好性についての官能評価実験と、被験者の年齢、性別などの属性についてのアンケートを実施し統計分析をおこなった。その結果、計測された車内音の好まれる程度を客観

的な数値で算出可能とし、ユーザの属性に依存して異なる嗜好性を分類することが可能となった。

本稿では、その分析結果と嗜好度の算出手法について述べ、嗜好度の算出手法を実装した嗜好度評価システムの概要について紹介する。

2. 官能評価実験

実験では、ヘッドホンから再生される加速走行中の車内音を対象に嗜好性についての官能評価実験をおこなった。

2.1. 提示音

提示音は日欧米車 18 車種の加速中の音をダミーヘッドマイクロホンによりバイノーラル録音し、エンジン回転速度の低速域(約 1000 - 3000 rpm)、中速域(約 3000 - 5000 rpm)、高速域(約 5000 - 7000 rpm)で、各 12 種類選定し

*栃木研究所

Table 1 Number of subjects

Sound type	Japanese	German	American
Low engine speed	206	207	202
Middle engine speed	206	207	202
High engine speed	206	207	202

た。これらの提示音は2秒の長さに編集し、不連続音の発生を抑えるために信号の両端 0.2 秒間に指数関数の重み付け処理を施し、コンピュータのオーディオ機能で再生可能なファイル形式で用意した。

2.2. 実験装置

実験は Fig. 1 に示すようなコンピュータとバイノーラル再生装置を用いておこなった。提示音は独自に作成した再生ソフトウェアから再生され、最大4名の被験者が同時に受聴し、官能評価がおこなえるようにした。

2.3. 被験者

被験者は、その年代と性別が、市場の自動車免許保有人数分布割合とおおむね一致するように募集した。人数は、音に対する嗜好性が多様であることが予測され、後の統計分析にて有意な結果を得るためにはより多くの被験者を必要とするため、日本人、ドイツ人、アメリカ人のそれぞれ約 200 人、合計約 600 人とした。エンジン回転速度域別の提示音ごとに実験に参加した被験者数を Table 1 に示す。

2.4. 実験方法

実験では評価の判定精度が高く、判定の程度が把握可能なシェッフェの対比較法⁽⁴⁾を用いた。

被験者には、ヘッドホンから繰り返し2回再生される一対の音を受聴した後、好きな方の音の選択と好きな程度を Fig. 2 に示す基準に基づき、回答用紙に記入してもらった。12種類の提示音での比較回数は、比較順序を考慮しない組



Fig. 1 Experimental apparatus

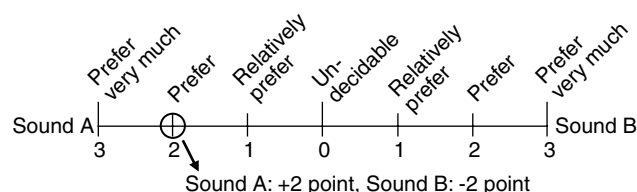


Fig. 2 Answer sheet in Sheffe's paired comparison method

Table 2 Preference value in each comparison

Sound number	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
No.1		1	1	2	-1	1	-1	-1	1	2	1	1
No.2	-1		-1	2	-2	-2	-2	-2	-1	-2	-2	1
No.3	-1	1		2	-2	-2	-1	-2	-1	-1	-2	1
No.4	-2	-2	-2		-2	-3	-2	-3	-2	-2	-2	-3
No.5	1	2	2	2		-1	1	-2	1	1	2	1
No.6	-1	2	2	3	1		-1	-1	1	-1	2	2
No.7	1	2	1	2	-1	1		-2	-1	-1	2	1
No.8	1	2	2	3	2	1	2		1	2	2	1
No.9	-1	1	1	2	-1	-1	1	-1		1	2	1
No.10	-2	2	1	2	-1	1	1	-2	-1		0	1
No.11	-1	2	2	2	-2	-2	-2	-2	-2	0		2
No.12	-1	-1	-1	3	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-2	
Ave.	-0.6	1.1	0.7	2.3	-0.9	-0.8	-0.5	-1.7	-0.5	-0.2	0.3	0.8

み合わせて66通りとなり、これをエンジン回転速度域ごとにそれぞれおこなうため、被験者一人当たりの総比較回数は198回となった。また、各国の被験者は約200人で、実験は4人同時におこなうことが可能であるため、各国での実験実施回数は50回程度となる。このとき、評価における提示順序の影響を低減するため、比較対の提示順序は実験実施回数ごとに変更している。

3. 音に対する嗜好性の定量化

各エンジン回転速度域別に実施した官能評価実験の結果に対し多変量解析をおこなうことで、音に対する嗜好性の種類を分類し、それぞれについて客観的な数値で評価可能となるよう定量化をおこなった。

3.1. 低速域の音に対する嗜好性定量化

被験者1人の官能評価実験の結果から Table 2 に示すような相対的な嗜好性の程度を表す点数が得られる。この点数から提示音ごとに平均値を算出すると、その数値は嗜好性の程度を数値で表したものとなる。以降、この数値を主観的嗜好度(Subjective Preference Value: SPV)とあらわす。

Fig. 3は、日本人、ドイツ人、アメリカ人の全被験者615名分の主観的嗜好度を算出し、12種類の提示音に対して示したものである。

この結果を見ると、各提示音に対する被験者の嗜好性は多様であり、特に提示音3, 7, 11では非常に好む被験者がいる一方で好まない被験者もあり対照的な結果になって

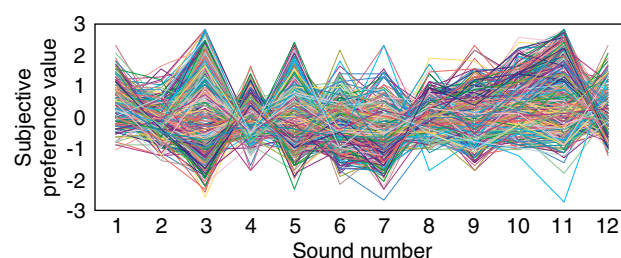


Fig. 3 Preference in each subject

いることがわかる。このことから被験者の嗜好性は一様ではなく、いくつかの種類があることが考えられる。そこで嗜好性の種類を明らかにするために、嗜好度の順序の類似した被験者を分類することができるクラスタ分析⁽⁵⁾をおこなった。

クラスタ分析の結果、低速域では Fig. 4 に示すように3種類のクラスタに分類できることがわかった。すなわち、被験者の好みの基準が個人ごとに全く異なるというのではなく、主に3種類の基準が存在し、ほとんどの人がそのどれかに属すると考えることができる。

各クラスタの人数割合は Fig. 5 に示すように、クラスタ1が最も多く、全被験者の約70%を占める。いいかえると、クラスタ1に属する被験者に好まれる音質を実現できれば、市場の70%程度のユーザが好きだと判断するということがある。なお、分析により統計的に有意ではない被験者についてはその他として分類した。

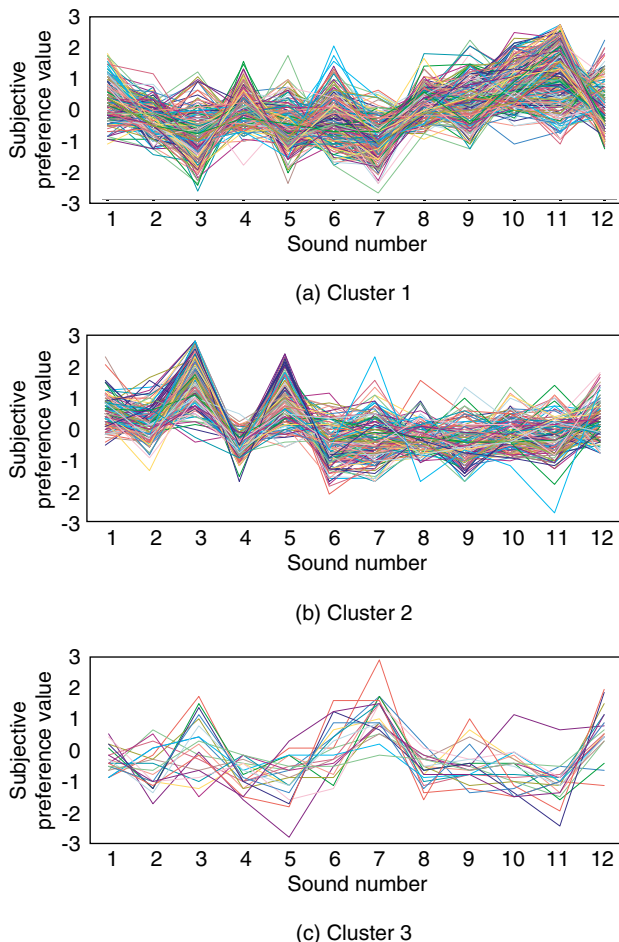


Fig. 4 Subjective preference value in each cluster

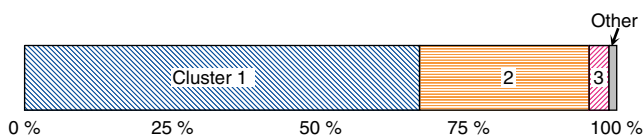


Fig. 5 Preference groupings at low engine speed

次に、各クラスタに属する被験者が好む音質を明らかにするために重回帰分析⁽⁵⁾をおこなった。重回帰分析の目的変量には、各クラスタにおける被験者の主観的嗜好度の平均値を用い、説明変量にはダミーヘッドマイクロホンで計測された実測値から算出される Honda 音質評価尺度⁽³⁾である、高級感、滑らか感、大きさ感、スポーティ感、軽快感、迫力感を用いた。

各クラスタについて重回帰分析をおこない、クラスタ1の結果を式(1)に、クラスタ2の結果を式(2)に、クラスタ3の結果を式(3)に示す。この式は、左辺の値が目的変量である主観的嗜好度と高い相関を維持するように右辺の項が選定されたものであり、左辺の値は客観的な嗜好度となる。以降、客観的嗜好度(Objective Preference Value: OPV)とあらわす。したがって、右辺の各項が各客観的嗜好度の音質を形容するものとなる。

$$OPV\ 1\ (Cluster\ 1) \\ = -5.2 \times \text{大きさ感} + 0.4 \times \text{滑らか感} - 1.3 \quad (1)$$

$$OPV\ 2\ (Cluster\ 2) \\ = -3.2 \times \text{大きさ感} + 1.3 \times \text{迫力感} - 0.4 \times \text{軽快感} - 0.7 \quad (2)$$

$$OPV\ 3\ (Cluster\ 3) \\ = 3.5 \times \text{大きさ感} + 0.8 \quad (3)$$

式(1)-(3)により算出される客観的嗜好度の音質は、クラスタ1は「小さくて、滑らかな音」を好み、クラスタ2は「軽快でなく迫力のある音」を好み、クラスタ3は「大きい音」を好む被験者であることがわかった。Fig. 6に、官能評価実験結果から得られた主観的嗜好度と、式(1)-(3)から算出した客観的嗜好度との散布図とその相関係数を示す。いずれのクラスタにおいても高い相関係数を達成しており、主観的嗜好度が定量化できているものと考えられる。

3.2. 中速域の音に対する嗜好性定量化

低速域と同様に中速域においても各被験者の嗜好度算出、

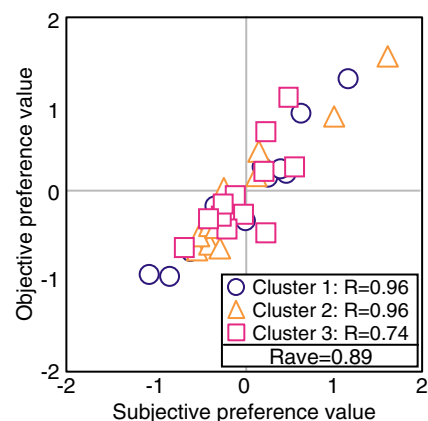


Fig. 6 Correlation between subjective and objective preference values at low engine speed

クラスタ分析、重回帰分析の順で嗜好性の定量化をおこなった。

クラスタ分析の結果、中速域ではクラスタが4種類に分かれた。その人数割合を Fig. 7 に示す。

Fig. 7 によると人数割合は、クラスタ1が最も多く 50% 程度であり、クラスタ2の人数割合も 40% 程度と高く、低速域の結果とは異なっている。

低速域と同様に、各クラスタについて重回帰分析をおこない、クラスタ1の結果を式(4)に、クラスタ2の結果を式(5)に、クラスタ3の結果を式(6)に、クラスタ4の結果を式(7)に示す。

$$\begin{aligned} OPV 1 (\text{Cluster 1}) \\ = -3.4 \times \text{大きさ感} + 1.2 \times \text{滑らか感} + 0.1 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} OPV 2 (\text{Cluster 2}) \\ = -1.1 \times \text{大きさ感} + 0.8 \times \text{迫力感} - 0.8 \times \text{軽快感} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} OPV 3 (\text{Cluster 3}) \\ = 1.1 \times \text{大きさ感} + 0.5 \times \text{軽快感} - 0.3 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} OPV 4 (\text{Cluster 4}) \\ = -3.9 \times \text{大きさ感} + 0.6 \times \text{軽快感} \end{aligned} \quad (7)$$

式(4)-(7)より、クラスタ1は「小さくて、滑らかな音」を好み、クラスタ2は「軽快ではなく迫力のある音」を好み、クラスタ3は「大きく軽快な音」を好み、クラスタ4は「小さく、軽快な音」を好む被験者であることがわかった。そして、Fig. 8 に示すように、中速域の各クラスタの主観的嗜好度に対する客観的嗜好度においても高い相関係数を達成することができた。

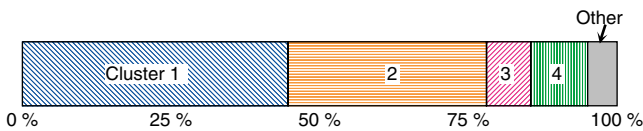


Fig. 7 Preference groupings at middle engine speed

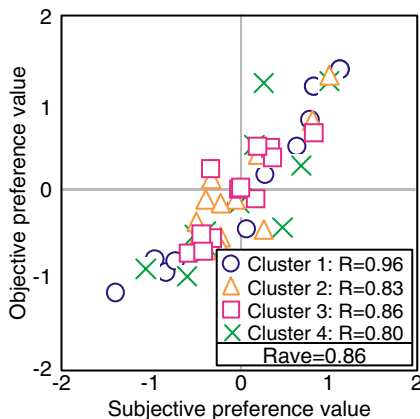


Fig. 8 Correlation between subjective and objective preference values at middle engine speed

3.3. 高速域の音に対する嗜好性定量化

低、中速域と同様に高速域においても各被験者の嗜好度算出、クラスタ分析、重回帰分析の順で嗜好性の定量化をおこなった。

クラスタ分析の結果、高速域では中速域と同様にクラスタが4種類に分かれた。その人数割合を Fig. 9 に示す。

低、中速域と同様に、各クラスタについて重回帰分析をおこない、クラスタ1の結果を式(8)に、クラスタ2の結果を式(9)に、クラスタ3の結果を式(10)に、クラスタ4の結果を式(11)に示す。

$$\begin{aligned} OPV 1 (\text{Cluster 1}) \\ = -2.9 \times \text{大きさ感} + 1.0 \times \text{滑らか感} + 1.7 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} OPV 2 (\text{Cluster 2}) \\ = -5.3 \times \text{大きさ感} + 2.1 \times \text{迫力感} - 0.4 \times \text{軽快感} - 0.2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} OPV 3 (\text{Cluster 3}) \\ = 2.5 \times \text{大きさ感} - 1.2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} OPV 4 (\text{Cluster 4}) \\ = -2.3 \times \text{大きさ感} + 0.4 \times \text{軽快感} + 0.8 \end{aligned} \quad (11)$$

式(8)-(11)より、中速域とほぼ同様にクラスタ1は「小さくて、滑らかな音」を好み、クラスタ2は「軽快ではなく迫力のある音」を好み、クラスタ3は「大きい音」を好み、クラスタ4は「小さく、軽快な音」を好む被験者であることがわかった。そして、Fig. 10 に示すように、高速域の各クラスタの主観的嗜好度に対する客観的嗜好度においても高い相関係数を達成することができた。

以上のように、加速時の車内音に対する嗜好性は低速域

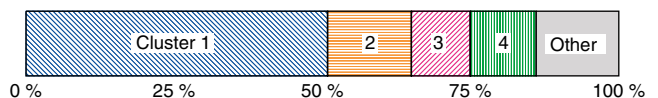


Fig. 9 Preference groupings at high engine speed

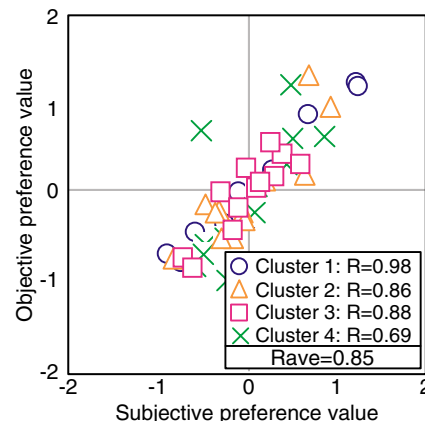


Fig. 10 Correlation between subjective and objective preference values at high engine speed

で3種類、中、高速域では4種類存在することがわかった。中、高速域で定量化された「小さく、軽快な音」が低速域で定量化されなかった理由としては、低速域ではエンジン回転速度が低いため、軽快感を知覚するのに必要な高次数成分音が小さいことによるものと考えられる。

4. アンケートによる被験者の属性調査

音に対する嗜好性と被験者の属性との因果関係を見出すために、官能評価実験に参加してもらった全被験者に対して、さらにアンケート調査を実施した。アンケート内容は下記5項目に関連した質問で構成した。

(1) 被験者個人情報

性別、年齢、職種、など

(2) 車関係情報

所有車、車への関心、車選定基準、など

(3) オピニオンリーダー性

新製品に興味有、人と広く付き合うのが好き、など

(4) 生活スタイル

仕事に重点を置く、田舎に暮らしたい、など

(5) 趣味、余暇の過ごし方

旅行に行く、スポーツをする、など

どのような被験者がどのような音質を好むのかということを確認するために、アンケートにより得られた被験者の属性ごとに、各クラスターの人数割合、すなわち嗜好性の人数分布の割合(以降、嗜好性分布割合)がどのように変化するかを分析した。

Fig. 11は、属性ごとに分ける前の全被験者を対象とした場合の嗜好性分布割合を表し、どの回転速度域においてもクラスター1の割合が高く、次にクラスター2の割合が高い。

次に、自動車の文化が全く同じではない日本、ドイツ、アメリカで嗜好性分布割合が異なるか否かは興味のあるところである。そこで、国別に分析したものを Fig. 12 に示す。これを見ると、各国ごとに若干の違いはあるものの、おおむね同様であるということがわかった。

ここからは、さまざまな被験者の属性に対して嗜好性分布割合を分析し、特に全被験者の嗜好性分布割合と比較して変化の大きかったものについて示す。

Fig. 13に年代別での嗜好性分布割合を示す。この結果から年代が高いほど小さくて滑らかな音を好む人が多く、年

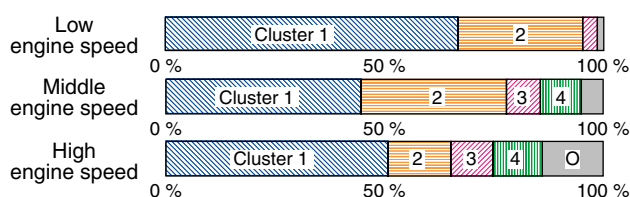


Fig. 11 Preference groupings among all subjects

代が低いほど軽快ではなく迫力のある音を好む人が多いことがわかった。特に30代以下の被験者は、中速域では軽快ではなく迫力のある音を好む人が多い。

Fig. 14 に性別での嗜好性分布割合を示す。この結果から、男性は軽快ではなく迫力のある音を好む人が多く、女性は小さくて滑らかな音を好む人が多い。また、女性に比べると男性は、大きくて軽快な音を好む人の割合が高い。

Fig. 15では、車に対する関心の有無での嗜好性分布割合を示す。この結果から、車に関心がある人は軽快ではなく迫力のある音を好む人が多く、関心がない人は小さくて滑らかな音を好む人が多い。

以上のように、さまざまな被験者の中で特に高齢層や女性は小さくて滑らかな音を好む人が多く、若年齢層や男性、車に関心のある人は軽快ではなく迫力のある音を好む

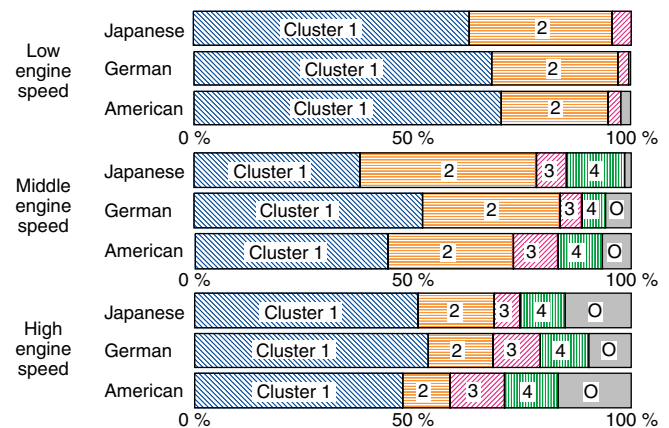


Fig. 12 Preference groupings for each nationality

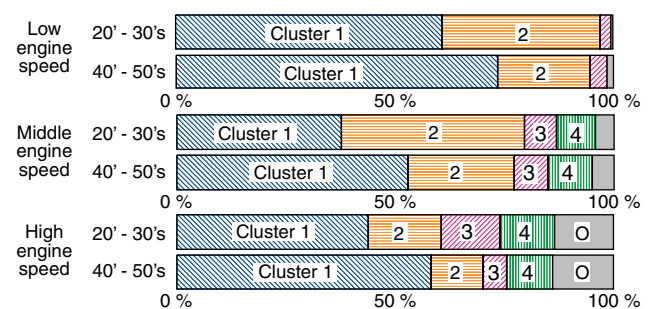


Fig. 13 Preference groupings for each generation

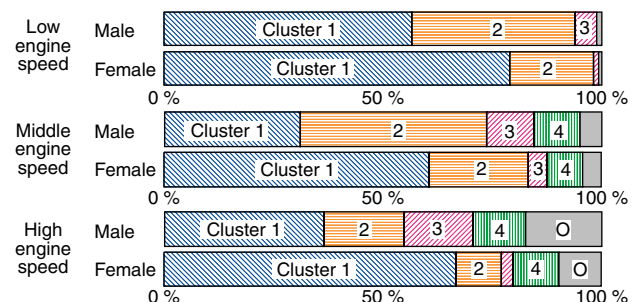


Fig. 14 Preference groupings for each gender

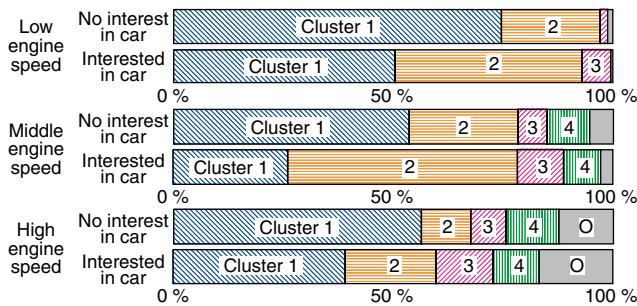
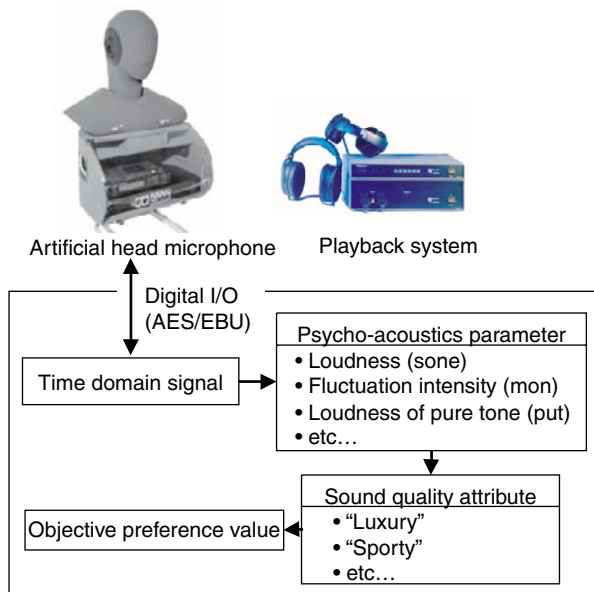


Fig. 15 Preference groupings depending on subject's car interest

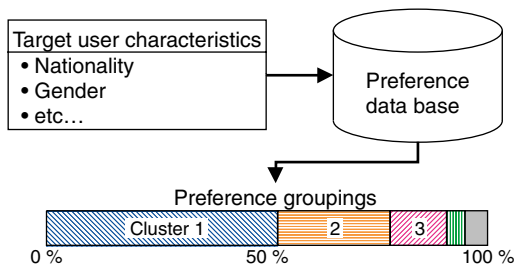
人が多い。また女性に比べ男性は大きくて軽快な音を好む人が多いことが明らかになった。

5. 客観的嗜好度評価システムの開発

車両の開発コンセプトに応じて対象となるユーザーがおおよそ推定できると、本手法により重視すべき客観的嗜好度を選定することができ、その音の成分構成を明確にすることができる。これを商品開発の中で効率良く運用するために客観的嗜好度を評価可能なシステムを開発した。このシ



(a) Calculation of preference value



(b) Calculation of preference rate

Fig. 16 Preference evaluation system

ステムでは、ダミーヘッドマイクロホンを用いて計測された音圧信号を演算処理することにより、「大きさ」、「変動強さ」などの聴覚刺激量、「軽快感」、「滑らか感」などの複合的音質評価尺度、さらにこれらの値を利用して算出される低、中、高速域における各嗜好度が算出可能である。Fig. 16にシステムの概要を示す。

次に解析事例として、A車、B車の急加速中の中速域の室内音を分析した結果を Fig. 17 に、対象とするユーザーを日本人で車に関心のある 20 代と 30 代とした時の嗜好性分布割合を Fig. 18 に示す。

この結果を見ると、B車の方がA車に比べ、軽快ではなく迫力のある音であり、対象とするユーザーの多くに好まれるものと判断することができる。

以上のように、計測した音に対する客観的嗜好度を算出し、その音質が対象ユーザーに対し好まれる音質であるか否かを容易に評価可能なシステムとなっている。

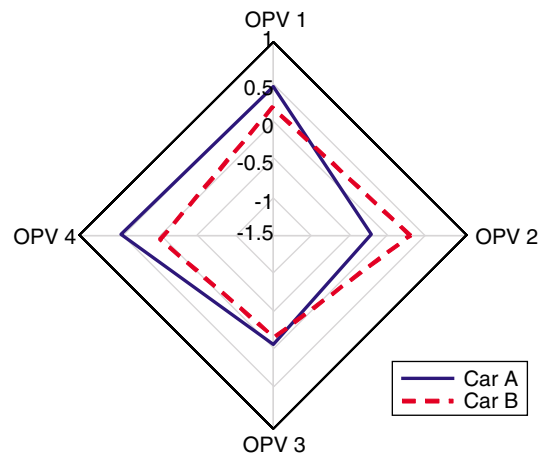


Fig. 17 Calculated preference value

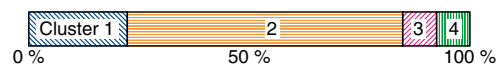


Fig. 18 Preference groupings in selected subject's characteristics

6. まとめ

本研究では、日本、ドイツ、アメリカにおいて計約 600 人の被験者を対象に官能評価実験とアンケート調査とその分析をおこない、加速中の車内音に対する嗜好性に対して以下の結果を得た。

- (1) 音に対する嗜好性はエンジン回転速度の低速域では 3 種類、中、高速域では 4 種類に分類できることがわかった。
- (2) 分類された主観的な各嗜好性を、客観的な数値で表現可能となった。

- (3)被験者の属性の中で、特に性別、年齢、自動車に対する関心の有無が、音に対する嗜好性を大きく分ける要因であることがわかった。
- (4)ユーザに好まれる音質の実現にむけて、音の改善指針がより明確に検討可能な客観的嗜好度評価システムを開発した。

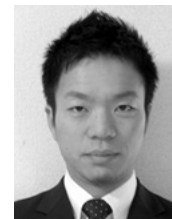
参考文献

- (1) 能村幸介, 岡田義裕: 聴覚特性を考慮した自動車音質評価手法, HONDA R&D Technical Review, Vol.9, p.131-139
- (2) 石井康夫, 山下剛, Brandl,F.K., Thomann,S., Biermayer,W.: スポーツカー室内音の客観的評価ソフトウェアツールの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.13, No.1, p.131-138
- (3) 能村幸介, 吉田準史: 自動車室内音に対する, 市場の違いを考慮した高級感, スポーティ感の定量化, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.237-246
- (4) 難波精一郎, 桑野園子: 音の評価のための心理学的測定法, コロナ社, p.221(1998)
- (5) 石村貞夫: すぐわかる多変量解析, 東京図書, p.201 (1992)

■ 著 者 ■



能村 幸介



吉田 準史