

論文・解説

42

人間特性に基づく情報伝達音の開発

Information Transmission Sounds Development Grounded
on Human Characteristics

大杉 郁代*¹ 井野 寿信*² 大池 太郎*³
Ikuyo Ohsugi Hisanobu Ino Taro Oike
浜田 康*⁴ 手島 由裕*⁵
Yasushi Hamada Yoshihiro Teshima

要 約

情報伝達音とはクルマから人に注意を促す音と、車両の機能を操作するシーンで受付状況を伝える音が対象で、コクピットにおけるヒューマン・マシン・インターフェース (HMI) の認知インターフェースの1つである。

ドライバーはクルマを運転する中で五感を通じ多くの情報を知覚・認知し、総合的に判断しながら運転操作につなげるタスクを繰り返し行っている。マツダは従来から走行安全最優先の哲学の下、コクピットHMI開発を行っている。先進安全制御システムやインフォテインメントシステムの進化に伴いドライバーに伝える情報量が増加の一途をたどる中で、この哲学を守りながら人間特性の研究と実現手段の技術開発に取り組んでいる。

新型MAZDA3の情報伝達音はメーターのワーニング文言表示など視覚情報と連携し、聴覚刺激の機能を有効に果たす制御因子を特定した音創りにより、コクピットHMIの進化を実現している。

Summary

Information transmission sounds, which include the sounds for urging attention from vehicle to user and users' operations for the vehicle functions, represent one of a cognitive interface of Cockpit Human-Machine Interface (HMI).

The drivers perceive and recognize a great deal of information through their five senses while driving, and perform the tasks linking to driving operations repeatedly while making judgments in a comprehensive manner. Mazda has been undertaking the development of Cockpit HMI under the philosophy of "Driving safety is the top priority". With the evolution of Advanced Driver Assistance System (ADAS) and infotainment system, the amount of information conveyed to the drivers goes on increasing. Under such circumstances, we are engaged in human characteristics study and technology development while keeping this philosophy. In cooperation with the visual information such as warning wording displayed on the meter, information transmission sounds of the All-New Mazda3 have contributed to the evolution of cockpit HMI by creating a sound that specifies the control factor that effectively performs the function of auditory stimulation.

Key words : Human Engineering, Human Machine Interface, Alarm/Warning, Information Transmission Sounds

1. はじめに

マツダのコクピットHMIは走行安全最優先の哲学の下、コクピット内で情報量が増えても安全性が損なわれないよう、人間の注意散漫という現象を最小化するアプローチで従来から開発している。具体的には、クルマの中で見て・聴いて・触って情報をやり取りする認知・操作インター

フェース開発において、注意散漫の要素である「見るわき見」「意識のわき見」「操作負荷」のリスクを人間特性に基づいて最小化することをねらいとしている。

新型MAZDA3は、3要素のうち特に人間の頭の中にある「意識のわき見」部分に注力して開発した。情報伝達シーンで人間が刺激を五感で知覚し認知するプロセスにおいて不必要に注意資源を費やさない認知インターフェースの実

*1, 2, 4, 5 電子性能開発部

Electrical & Electronics Performance Development Dept.

*3 情報制御モデル開発部

Infotainment and Control Model Development Dept.

現を目指した。本稿では、認知インターフェースの1つである情報伝達音開発の取り組みを報告する。

2. 聴覚刺激の機能と制御因子

情報伝達音とは、衝突の危険性やシステムの機能低下などの安全性にリスクのあるシーンでメーターやヘッドアップディスプレイのワーニング表示と連動して注意を促す音と、スイッチなどにより車両の機能を操作するシーンで受付状況を伝える音が対象である。

人間の認知プロセスにおいて不必要な注意資源を費やさない状態を実現するために、各シーンでの聴覚刺激の機能を再検討し、音に付加する情報の最適化と、その機能を有効に果たす制御因子を特定し、それをコントロールした音創りについて以下に述べる。

2.1 情報伝達シーンにおける聴覚刺激の機能

人間の認知プロセスにおける五感の割合は視覚が約8割、聴覚が約1割、触覚がそれ以下と言われているが、クルマの運転環境下での情報伝達シーンにおける認知の機能配分を検討し、聴覚刺激の機能は以下の4つと定義した。

安全性にリスクがあるシーンで注意を促す音の機能はⅠ～Ⅲ、車両の機能を操作シーンで受付状況を伝える音の機能はⅣである。

- Ⅰ. 即座に気づかせる
- Ⅱ. 緊急性の高低を伝える
- Ⅲ. 意識を向けるべき方向に誘導する
- Ⅳ. 受付状況が不確かなケースでサポートする

(1) 安全性にリスクがあるシーン

このシーンでは、視覚と聴覚刺激の優位性を以下に示す3つの観点で検討し「音で気づき、表示で状況・対処方法を理解する」という認知の機能配分とした。

1) 知覚の速さ

物理的には光速は秒速30万km、音速は秒速340m(1気圧・湿度0%・気温15℃)であるため、知覚の速さとしては視覚の方が遥かに優位である。ただ、クルマの運転環境下では視覚で周囲のクルマや歩行者などの動きを常に確認しながら走行しており、車外に意識が向いている状況が多い。このように他に意識が向いている状況下では視覚は能動的な刺激であるため、表示デバイスにワーニングを表示しても気づくタイミングが遅れてしまうケースがある。一方、聴覚は受動的な(無意識下の)刺激であるため、他に意識が向いている状況下でも即座に気づくことができる。衝突の危険性やドライバーの誤操作などその瞬間に気づいてもらう必要のある情報や走行に関わる失陥などの緊急対応が必要な情報を伝えるシーンでは、聴覚刺激を付加することで知覚を早める効

果がある。

以上より、確実に即座に気づかせる機能を聴覚にもたせる認知の機能配分とした。

従来車では、聴覚刺激を付加すべきシーンについて明確な考えがなかったが、新型MAZDA3では上記に基づいた設計指針を新たに設定した。

2) 状況・対処の理解

ドライバーに伝えたい情報は「(どこで)何が発生し、どう対処すればよいか」である。聴覚刺激だけでどこまでの情報を理解できるかを検証するため、ブレーキ・ハンドル・スイッチ操作を想定させる試験音源を操作ごとに数種類ずつ製作し、各音が3択のどの操作を示すか回答してもらった実験を行った⁽¹⁾。なお、本研究で行った全ての被験者実験は、試験開始前にインフォームドコンセントを得て行っている。結果をFig. 1に示す。これは各操作の選択割合が最も高かった試験音源の結果のみグラフ化したものである。

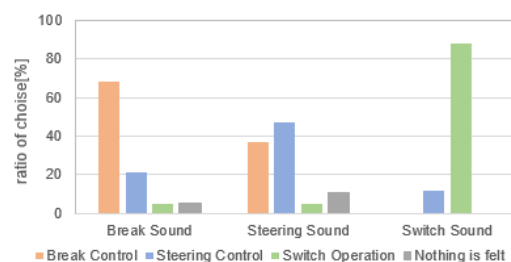


Fig. 1 Operation Associated from Sound

ブレーキとスイッチ操作を連想させることをねらった試験音源については選択割合が60%を超え、ねらいどおりの操作をイメージした被験者が多かったが、ハンドル操作を連想させる試験音源は選択割合が50%に満たず、ブレーキ操作をイメージして選択した割合も多い結果となった。これをどう解釈すべきか判断するために、回答に至った思考プロセスを被験者に聞き取り調査した。その結果、いずれの操作も音のイメージが直接操作に結びついたのでなく、各操作が必要なシーンでの緊急性のイメージと音から感じる緊急性の高低を結びつけた、という回答が多かった。

本実験は3択のため、この思考プロセスでもブレーキやスイッチ操作は正解が多かったが、クルマには多くのシステム・機能が存在し、安全性にリスクがあるシーンでの伝達情報は100種類を超える中で、これら全ての状況や対処方法をこの思考プロセスにより聴覚刺激だけで正確に理解するのは極めて困難であると判断した。

以上より、状況・対処を伝える機能は視覚に、音から直観的に理解できる緊急性の高低を伝える機能は聴覚に

もたせる認知の機能配分とした。

従来車の情報伝達音も緊急性を伝える機能はもたせているが、それだけではなく状況を伝える機能もねらいシステム・機能ごとに違う音を割り当てている。その結果、音の種類数が増加の一途をたどっていた。新型MAZDA3では、この機能配分を見直した。

3) 方向の特定

人間は生活の中で無意識に周囲の音をモニターし、その変化から状況を把握している。また、異常を感じる音が聞こえると、反射的に音が聞こえる方向を確認する行動特性をもっている。この特性を踏まえて、車両後方の衝突危険を伝えるシーンでの情報手段として聴覚と視覚を比較検討すると、まず車両後方から聴覚で伝えた場合、知覚と同時に方向を特定→バックミラーや直視で後方確認し状況を理解、という認知プロセスとなる。一方、視覚の場合は車両後方に視覚情報を呈示しても視野角外は気づかないケースがあるため、車両前方の表示デバイスで伝える場合を想定すると、表示点灯を知覚→二次元の情報を三次元に置き換え方向を特定→バックミラーや直視で後方確認し状況を理解、という認知プロセスとなる。車両後方の特定は視覚よりも聴覚刺激の方が早く、認知プロセスにおける情報処理負荷が少ないという研究結果もある²⁾。

人間の音方向知覚の弁別限は、周波数や到来方向によって差はあるが5~25°と言われており³⁾、この精度で瞬時に音の到来方向を特定できる。ただ、車室内特有の音場環境では、窓ガラスの反射などにより車両の前後方向は直観的に特定できるが、左右方向や前後方向でも更に細かい角度は特定し難いことが自他銘柄車の官能評価実績から判っている。

以上より、「どこで何が発生しているか」の伝達情報のうち方向を伝える機能は聴覚にもたせる認知の機能配分とした。具体的には、車両後方に意識を向けるべきシーンでは車両後方から音が聞こえる状態とし、それ以外のシーンでは状況・対処方法を理解できる表示デバイスがある正面方向から音が聞こえる状態とした。

(2) 車両の機能を操作するシーン

このシーンでは、視覚と聴覚、触覚の優位性を以下に示す観点で検討し「基本は触覚で受付タイミングを理解する。受付タイミングや状態変化が不確かなケースは聴覚で理解する」という認知の機能配分とした。

このシーンは安全性にリスクがあるシーンで注意を促す音とは異なり、スイッチ操作など自らの意図した行動が情報伝達のトリガになるため「何がいつ、どう変化するか」の情報は基本的に理解できている。「いつ」の情

報は、短操作タイプのスイッチであれば操作時のクリック感(触覚)でクルマの受付タイミングを理解できるという解釈である。ただ、以下のように例外となるケースもある。

まず、受付のタイミングの理解が不確かなケースは、音声認識のように触覚フィードバックがない操作や、長操作タイプのスイッチのように受付が確定するまで押し続ける必要がある操作シーンである。次に、状態変化の理解が不確かなケースは、何らかの理由により意図した状態に変化しない、つまり受付が拒否されるシーンである。

このような受付状況の理解が不確かとなるケースでは、視覚や聴覚で認知をサポートする必要があると判断した。伝達機能は以下の2点を理由に聴覚刺激にもたせることとした。理由の1つ目は従来からの検証により家電などの生活環境の中で形成されたメンタルモデルを活用した音創りにより、視覚情報がなくとも聴覚刺激から直接的に受付・拒否・終了などの事象を特定できることである。2つ目は聴覚刺激を伝達手段とすることで運転中の操作における「見るわき見」のリスクが減ることである。

以上より、車両の機能を操作するシーンではクルマの受付状況の理解が不確かなケースのみ、事象を伝える機能を聴覚刺激にもたせる認知の機能配分とした。

2.2 聴覚刺激の機能を果たす制御因子と音仕様

2.1で述べたI~IVの機能ごとに、その機能を有効に果たす制御因子を人間特性に基づいて特定し、音創りや発音体のレイアウトや発音制御といった設計仕様に落とし込む活動を行った。各機能の制御因子は以下と結論づけた。

安全性にリスクがあるシーンで注意を促す音

I. 即座に気づかせる:

音の立ち上がり特性・S/N比(信号対雑音比)

II. 緊急性の高低を伝える:

音の種類数・倍音構造とスペクトル重心の違い

III. 意識を向けるべき方向に誘導する:

周波数・両耳の音圧差と時間差

車両の機能を操作するシーンで受付状況を伝える音

IV. 受付状況が不確かなケースでサポートする:

音の長さ・発音周期・音階や音圧変化(メンタルモデルの活用)

(1) 安全性にリスクがあるシーンで注意を促す音

このシーンでの聴覚刺激の機能であるI~IIIのうち、新型MAZDA3の1番の進化ポイントである「II. 緊急性の高低を伝える」の制御因子について検討内容を報告する。

従来車はブザーを発音体としており、その構造から制御できる音特性は限られていた。単一周波数音を前提に、周波数は1.5kHz・1.8kHz・2kHz・2.8kHzのいずれか、音の

長さや発音周期（ピピピ、ピピピピッ、ピーピーピーなど）は自由に設定でき、これらの組み合わせで緊急性の高低を表現していた。しかし、2.1 (1) 2)で述べたようにシステム・機能ごとに違う音を割り当てる考えから音の種類数は100を超える状況となり、机上での比較評価では緊急性の違いが分かるが、走行中の複合タスク下では違いが分かり難く、総じて高周波の類似した音に聞こえる傾向にあった。

新型MAZDA3の進化として、音の違いを区別しやすく、緊急性の高低が分かり易い音創りを目指し、制御因子を以下の2つに特定し、音創りの設計仕様を具体化した。

1) 音の種類数

人間が無意識に区別できる音の種類数は3~4音といわれている。新型MAZDA3の注意を促す音は、緊急性をFig. 2に示す重要度3段階と対処への猶予4段階で定義し、合計4種類の音設定とした。

従来車のシステム・機能ごとに違う音を割り当てる考えはなくし、全てをこの4種類に割り当てる考えとした。

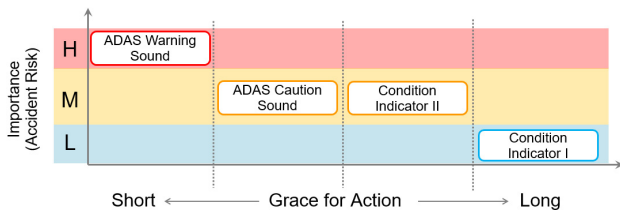


Fig. 2 Definition of Sound Classification

2) 倍音構造とスペクトル重心の違い

音の違いを区別しやすく、緊急性の高低が分かり易い音創りの制御因子は、倍音構造とスペクトル重心である。これらに違いをもたせることがポイントとなる。

まず、音の違いを区別しやすい制御因子である倍音構造について説明する。音の3要素は、音の強さ（音圧）・音の高さ（周波数）・音色である。例えば、同じオクターブのラをトランペットとフルートで奏でた場合、人間は楽器の違いを認識できる。これは音の3要素のうち音色の違いを聴き分けているためである。注意を促す4種類の音に、この特性を活用することで、区別しやすい音創りができると考えた。

音色の構成要素を分解すると、スペクトル要素では基本周波数と倍音構造、時間要素では音の立ち上がり特性・持続性・減衰特性があり、このうち、音色への寄与度が高いのは倍音構造である。倍音構造の特性は、Fig. 3に示すように基音（f）に対する倍音成分の周波数（2f以上）と各倍音の音圧バランスで決まる。

従来車のブザー音は、ブザーの構造上倍音がほとんど出ない周波数特性（単一周波数音）で、倍音構造は制御できていない要素である。ブザー音のような単一周波数

音の基本周波数のみ制御した音よりも、倍音構造に違いをもたせた複合音の方が、緊急性の表現幅も広くなるということが判っている(4)。

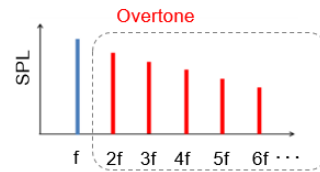


Fig. 3 Overtone Structure

次に、緊急性の高低を分かりやすく表現する制御因子であるスペクトル重心について説明する。周波数の高低と人間が感じる緊急性の高低は、ほぼ比例関係にあることが従来からの検証で判っている。この特性を活用し、重要度3段階は、Fig. 4に示すスペクトル重心の要件を適用した複合音を製作した。最も緊急性が高い音のスペクトル重心を2kHzとしたのは人間の周波数対音圧感度を示した等ラウドネスレベル曲線(6)から音圧感度が最も高い周波数帯域であること、加齢により聞こえにくくなる高周波帯域は除くこと、走行騒音にマスキングされ難い帯域であることが理由である。緊急性が中レベルのスペクトル重心は、聴覚の臨界帯域幅(6)の特性から2kHzに対して容易に周波数の違いを区別できる1kHz、緊急性が低レベルのスペクトル重心も同様の考えで500Hzとした。スペクトル重心の要件に幅をもたせているが、これも同様の考えで設定している。Fig. 4の要件は、広帯域の発音体が必要なことを意味しており、従来のブザーでは実現できず、新型MAZDA3ではスピーカーを採用した。

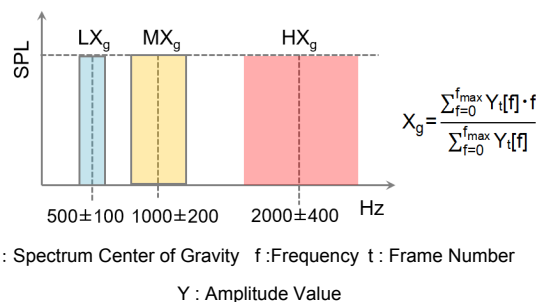


Fig. 4 Important Matter of Spectrum Center of Gravity

以上、新型MAZDA3の注意を促す音は、音の種類数の適正化と、倍音構造とスペクトル重心に違いをもたせた音創りにより、音の違いを区別しやすく、緊急性の高低が分かりやすい音特性を実現した。

(2) 車両の機能操作シーンで受付状況を伝える音

このシーンでの聴覚刺激の機能は「IV. 受付状況が不確かなケースでサポートする」である。この機能を有効に果

たすための音創りの制御因子は、音の長さ・発音周期・音階や音圧変化が主因子である。

このシーンの対象音は、受付音・拒否音・終了音・ウインカー音・リバース音・音声認識の発話開始音・電話着信音などの10種類の事象である。受付であれば短音や音階上昇音、終了は長音や音階下降音、拒否は否定感のある低い不協和音や短音の2~3回繰り返し音、ウインカーはカッチカッチを表現する短い繰り返し音など、各事象に対して音をイメージできる。これは、2.1 (2)で述べたようにクルマや家電、携帯電話など生活環境の中でメンタルモデルが形成されているためである。

従来車では、受付音や拒否音、ウインカー音など単一周波数でも音の長さや発音周期の制御でメンタルモデルに近い音創りができていたが、新型MAZDA3ではコクピット内の全ての音を対象にしたことから電話着信音などの新たな表現が必要となり、これらのメンタルモデルに合致させるためには、従来からの音の長さや発音周期の制御に加え、音階や音圧の時間軸での制御も必要と判断した。

従来、単一周波数音で表現していたウインカー音なども音階や音圧変化の制御を加えたことで、事象を特定する機能性をより高め、更に、複合音を活用した音創りにより落ちつき感のある音表現など商品性も高めることができた。

3. 統一感のある音創り要件

新型MAZDA3では、2.で述べた機能性の追求に加え、コクピット空間との統一感も目指した音創りを行った。

具体的には、マツダが目指すブランド表現のキーワードを上げ、それらがどういった音の表現要素につながるか、シンプルなメロディーを複数の楽器で奏で比較評価しながら特定する検討を行った。特定した要素は音創りのベース要件とし、緊急性の高い音源以外の全てに適用することで、統一感をもたせた。緊急性が高い音源は、2.2 (1) 2)で述べたように音の違いを区別しやすい音創りの要件として倍音構造(音色)を制御する必要があるため、機能音の要件を優先することとした。

4. 部品の機能統合

新型MAZDA3は、音の種類数削減などの人間特性からの機能統合と合わせて、部品の機能統合も行った。従来車と新型MAZDA3の情報伝達音システム構成の違いをFig. 5に示す。

従来車はメーター内のブザー以外にシステム固有のブザーが存在し、車室内では最大で5つの発音体を設定していた。また、発音制御するコントロールユニットも複数存在していた。新型MAZDA3では、倍音構造とスペクトル重心を制御するために広帯域の音創りが可能なスピーカーを発音体とし、車両の前後2か所に情報伝達音の専用スピーカーを設定した。2か所に設定したのは、2.1 (1) 3)で述べた方向

を特定する機能をもたせるためである。また、発音制御のコントロールユニットは1つに統合した。

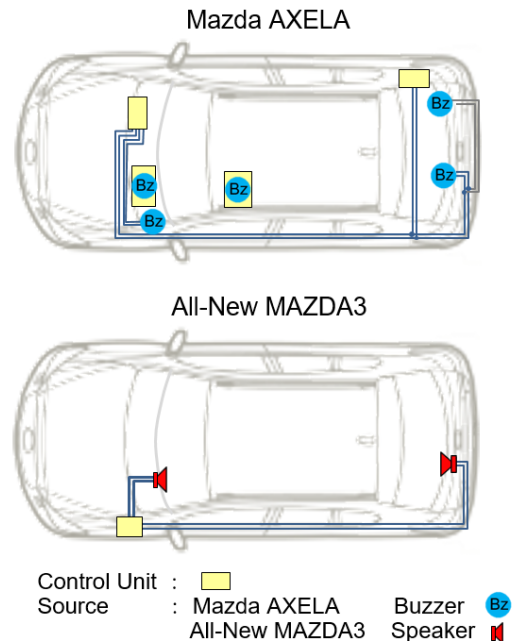


Fig. 5 Construction of Information Transfer Sound System

5. おわりに

新型MAZDA3の情報伝達音は、コクピットHMIの進化を目指し、認知プロセスにおいて不必要に注意資源を費やさない認知インターフェースの実現を目指して開発した。人間特性に基づき情報伝達シーンでの聴覚刺激の機能を再検討し、音に付加する情報の最適化と、その機能を有効に果たす制御因子を特定し、それをコントロールした音創りを行った。機能性だけでなくコクピット空間での統一感もねらった音創りにより、商品性も進化したと自負している。今後も継続的な進化を目指し、取り組む所存である。

参考文献

- (1) 世良：サイン音の緊急感のレベルを制御するために必要な音響特性の検討，九州大学修士論文，2016.
- (2) 茂木ほか：脳活動計測に基づく情報音の音像定位による方向認知支援，自動車技術会論文集，46巻6号，pp.1093-1098，2015
- (3) 飯田ほか：空間音響学，東京，コロナ社，2010
- (4) 田口：自動車内のサイン音の音響特性と高級感、快適感、警報感の対応関係。九州大学修士論文，2007
- (5) 城戸：音響工学講座(1) 基礎音響工学，東京，コロナ社，1990.

■ 著 者 ■



大杉 郁代



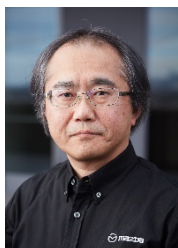
井野 寿信



大池 太郎



浜田 康



手島 由裕