

自動車内の各種サイン音にとって望ましい音響特性

崔, 鍾大

<https://doi.org/10.15017/458889>

出版情報 : Kyushu University, 2004, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第2章 自動車内の各種サイン音に関する 現状調査

2.1 はじめに

第1章でも論述しているように、通常の自動車には「リバース報知音」「ライト消し忘れ報知音」「キー抜き忘れ報知音」などのほか、「タイヤ空気圧警報音」を含めて様々なサイン音が備わっており、これらの音は運転操作の確認、操作ミス防止、危険の報知など、重要な役割を果たしている。しかし、現在の市販車においては、同じメッセージを伝えるサイン音でも各メーカーや車種によっても使われている音が多種多様である。サイン音はメッセージを確実に伝えることが前提であり、その上でより快適に感じられるような音であるほうが望ましいが、現状はそうでもない。実際の自動車内の各種サイン音には耳障りで嫌悪感を与えるような音も多く存在している。

自動車内の各種サイン音に関する基礎的な研究調査として、実際の自動車に搭載されている各種サイン音を把握したところ、キー抜き忘れ報知音、ライト消し忘れ報知音、リバース報知音、ウインカー報知音、シートベルト掛け忘れ警告音、ドア開閉警告音、エンジンチェック報知音、エアコンなどの操作音が存在している。

本研究では、これらのサイン音の中から、ほとんどの乗用車に使用されている「キー抜き忘れ報知音」「ライト消し忘れ報知音」「リバース報知音」「ウインカー報知音」を対象とし、各機能イメージに相応しい音であるかどうかなどを検討するための印象評定実験を行っている。

さらに、「リバース報知音」「ライト消し忘れ報知音」「キー抜き忘れ報知音」「ウインカー報知音」の機能別に、各刺激音に対する印象と、各刺激音としての相応しい（相応しくない）音響特性との関係を調べている。

2.2 自動車内のサイン音の機能イメージに関する印象評定実験

実際に自動車内で使われている「キー抜き忘れ報知音」「ライト消し忘れ報知音」「リバース報知音」「ウインカー報知音」の4種類を対象とし、これらのサイン音が各機能イメージに相応しい音であるかどうかなどを検討するために、印象評定実験を行った。

2.2.1 実験方法

2.2.1.1 実験刺激

本研究で実験用素材として用いた刺激音は、日本、韓国、ドイツ、スウェーデンの自動車メーカーから販売されている乗用車から収録した、「キー抜き忘れ報知音（58個）」「ライト消し忘れ報知音（58個）」「リバース報知音（46個）」「ウインカー報知音（45個）」計207音である。

各刺激音の收音方法は、まず、ドライバーの耳の位置にマイクロフォン（SONY/ECM-959DT）を設置し、DAT（SONY/TDC-D10）に録音した。録音された音は、AD/DA変換機（STI/AD216）を介してPCMファイル（サンプリング周波数44,100Hz、量子化ビット数16ビット）に変換し、5~8秒の長さに編集したものを被験者に提示した。

2.2.1.2 実験手続き

それぞれのサイン音に対して、5段階の形容詞尺度を用いたSD法で印象評定実験を行った[21]。評定尺度は表2.1に示す。刺激と評定尺度は被験者ごとにランダムに提示した。被験者にはドライバとしての状況をイメージしてもらい、各サイン音の機能イメージに対する印象を評価してもらうように教示を行った。

各サイン音の種類別に印象評定実験を行い、実験終了後には、内観報告として被験者

ごとに各機能イメージに対する刺激音の印象を自由に記述するように求めた。

すべての刺激音はコンピュータに記憶させ、ヘッドフォン(SONY/MDR-CD780)を用いて被験者に呈示した。刺激音の呈示音圧レベルは、人工耳(B&K/Type4153)、騒音計(RION/NA-29)を用い、刺激音の収録時の音圧レベルに合わせた。呈示音圧レベルは、43~67dB(A)である。刺激音の継続時間は、約5秒~8秒であった。被験者は、運転経験のある22歳から31歳の学生13名(男性10名、女性3名)である。全ての被験者は、健康診断などで異常が見られず、日常生活に不自由しない聴力を有する。

2.2.2 結果

各種サイン音の機能イメージに関する印象を整理、集約するため、各印象評定尺度に対する各被験者の評定値をもとに、評定尺度を変量として主成分分析を行った。その結果、3主成分を得た。表2.1に、主成分係数行列を示す。

表2.1によると、第1主成分は「好ましい-好ましくない」「快い-不快な」「高級な-安っぽい」「相応しい-相応しくない」などに負荷が大きく、刺激音に対する嗜好、各刺激音の持つ快適性、高級感、サイン機能に対する相応しさ等を総合的に表す「評価主成分」と解釈できる。

評価主成分に対しては、さらに、「落ち着いた-慌ただしい」「静かな-やかましい」「柔らかい-固い」などの尺度の負荷も大きく、「落ち着いた」「静かな」「柔らかい」音が、快適性、高級感を有し、好ましくサイン音として相応しい音であると判断されている。さらに、評価主成分には「鋭い-鈍い」にも中程度の負荷があり、「鋭い」音はサイン音として好まれない傾向がある。

第2主成分は、「明るい-暗い」「鋭い-鈍い」などの尺度に負荷の大きい「金属性主成分」、第3主成分は、「力強い-弱々しい」「大きい-小さい」などに負荷の大きい「迫力主成分」と解釈できる。

各刺激音に対する印象と各刺激音の音響特性の関係を検討するために、各刺激音に対する主成分得点を求めた。評価主成分得点と各刺激音の周波数スペクトルを分析した結果、4kHz以上の高周波成分があまり含まれていない音において、快適で、高級感があり、サイン音としても好ましく、相応しい印象を持たれることが示された。

表 2.1 主成分係数行列

評定尺度	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
好ましいー好ましくない	0.849	0.156	-0.070
快いー不快な	0.836	0.078	-0.200
高級なー安っぽい	0.796	-0.030	0.061
相応しいー相応しくない	0.781	0.197	0.095
落ち着いたー慌しい	0.743	-0.150	-0.110
ゆったりしたーせかせかした	0.717	-0.140	-0.080
静かなーやかましい	0.673	-0.190	-0.450
柔らかいーかたい	0.606	-0.380	-0.260
明るいー暗い	0.206	0.673	0.123
澄んだー濁った	0.075	0.671	-0.050
はっきりしたーぼんやりした	-0.260	0.615	0.428
鋭いー鈍い	-0.470	0.559	0.216
力強いー弱々しい	-0.030	0.171	0.828
小さいー大きい	0.346	-0.180	-0.710
重いー軽い	0.254	-0.480	0.601
寄与率 (%)	33.8	14.5	14.3

さらに、音の鋭さ (sharpness) 及び音の大きさ (loudness) と各主成分得点の相関関係を調べた結果、sharpness と評価主成分得点の間には有意水準 1%未満で有意な相関 ($r=0.546$) がみられた。sharpness の値が低いほど、好ましく、相応しい印象を持たれていることが分かった。図 2.1 に各刺激音の sharpness と評価主成分得点の対応関係を示す。

また、sharpness と金属性主成分得点の間にも有意水準 1%未満で有意な相関 ($r=-0.787$) がみられた。sharpness の値が高いほど、明るく、鋭い印象を持たれている

傾向である。図 2.2 に各刺激音の sharpness と金属性主成分得点の対応関係を示す。

loudness と各主成分得点との間の相関を求めた結果、loudness と迫力主成分得点の間には有意水準 1%未満で、有意な相関 ($r = -0.694$) がみられた。loudness の値が大きいくほど、力強く、重い印象を持たれている。図 2.3 に各刺激音の loudness と迫力主成分得点の対応関係を示す。

さらに、各機能別に、評価主成分得点の相応しい側の上位 5 個と相応しくない側の上位 5 個の刺激音を検討対象として、各サイン音として相応しい（相応しくない）音響特性を検討する。

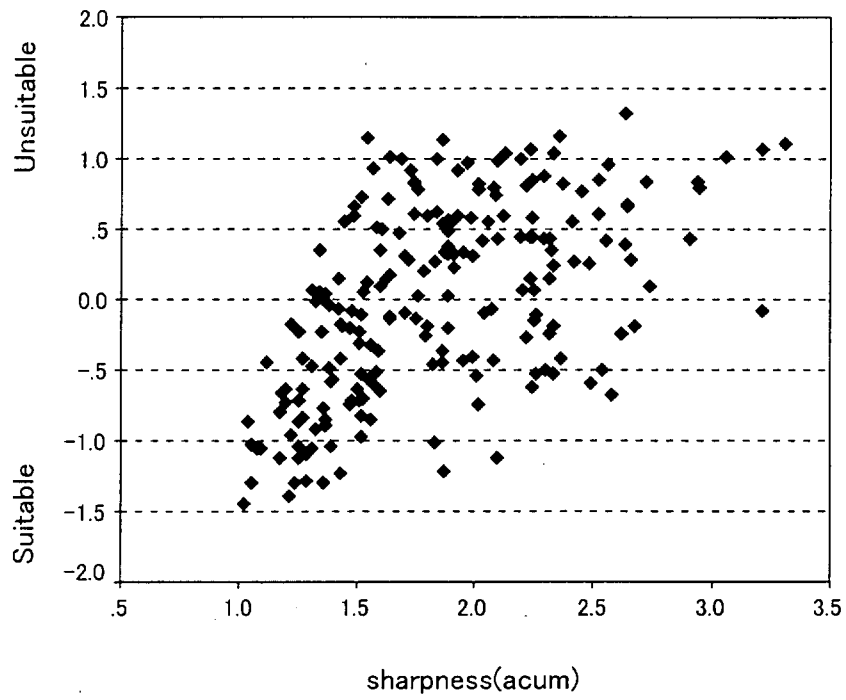


図 2.1 各刺激音の sharpness と評価主成分得点の対応関係

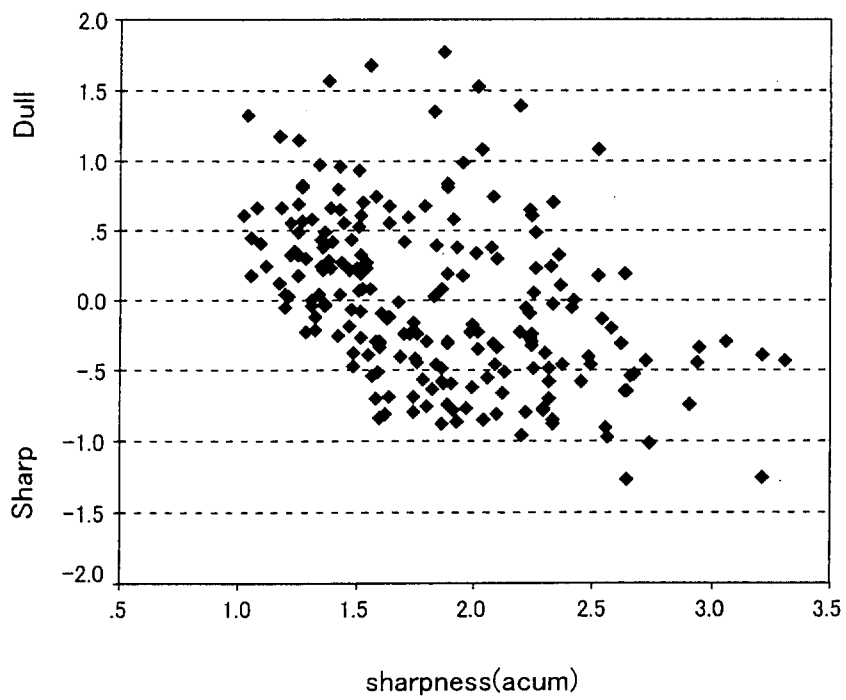


図 2.2 各刺激音の sharpness と金属性主成分得点の対応関係

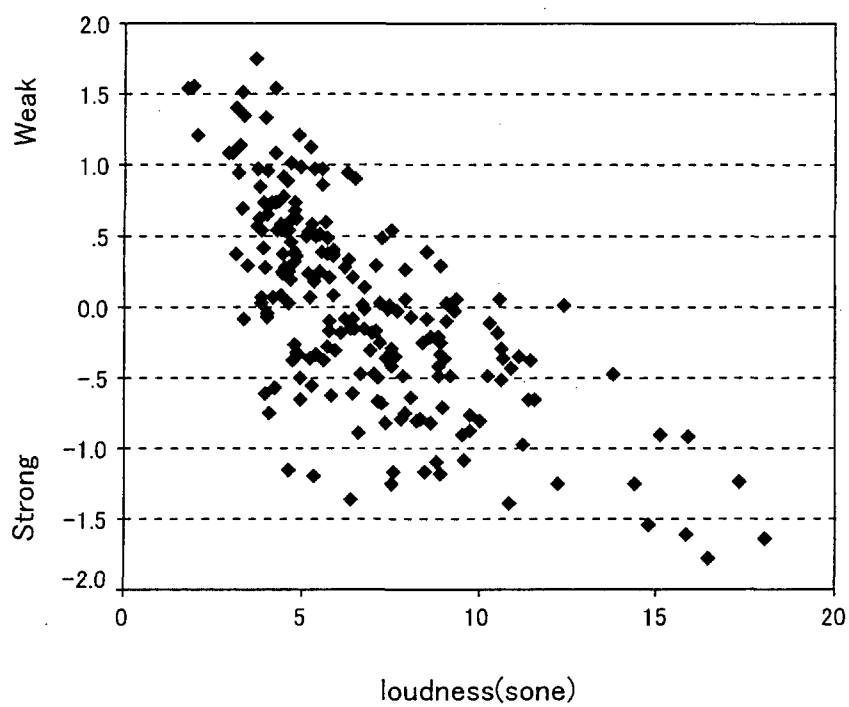


図 2.3 各刺激音の loudness と迫力主成分得点の対応関係

2.2.2.1 リバース報知音

本研究で用いたリバース報知音は、すべて、一定の休止時間において短音が繰り返される。ただし、各音によって断続パターンが異なり、このパターンの差が評価主成分得点に影響している。リバース報知音のうち評価主成分得点の相応しい側の上位 5 個の刺激音を分析した結果、リバース報知音として相応しい断続パターンは、330ms~400ms の吹鳴時間（音がなっている時間）、620ms~750ms の休止時間（音がなっていない時間）の断続音であることが分かった。逆に、評価主成分得点の相応しくない側の上位 5 個の刺激音を分析した結果、吹鳴時間が 350ms~450ms、休止時間が 200ms~250ms であった。

評価主成分得点と吹鳴時間、休止時間の間の相関を求めた結果、吹鳴時間 ($r=0.502$)、休止時間 ($r=-0.756$) とともに評価主成分得点と有意水準 1%未満で有意な相関がみられた。吹鳴時間は相応しさにあまり大きな影響を及ぼしていない傾向であるが、休止時間は、リバース報知音の相応しさに大きな影響を及ぼし、休止時間が短い断続パターンはリバース報知音として相応しくないということが示された。

また、リバース報知音として相応しい音（評価主成分得点の相応しい側の上位 5 個の刺激音）の周波数スペクトルを分析した結果、基本周波数が 2kHz 程度で、第 2 倍音の 4kHz 以上の高周波成分があまり含まれていない音であることが分かった。図 2.4 と図 2.5 に、最も相応しいと判断された音と、最も相応しくないと判断された音のスペクトルを示す。sharpness と評価主成分得点の関係を検討した結果、1~1.5acum の音がリバース報知音として相応しく、2.5~3.5acum の音が相応しくない音であった。また、評価主成分得点と sharpness の間の相関を求めた結果、有意水準 1%未満で有意な相関 ($r=0.534$) がみられた。sharpness の値が低いほうが相応しい印象を持たれている。

内観報告によると、リバース報知音の場合は、休止時間が長い方がゆったりとした印象で相応しく、好ましく感じられたと答えた被験者が多数いた。その理由として、速いテンポの音はバックする時に焦るからということであった。また、音の高さが高いと慌しさを感じて不快であったとの指摘もあった。これらの内観報告の内容は、印象評定実験で得られた傾向と一致する。

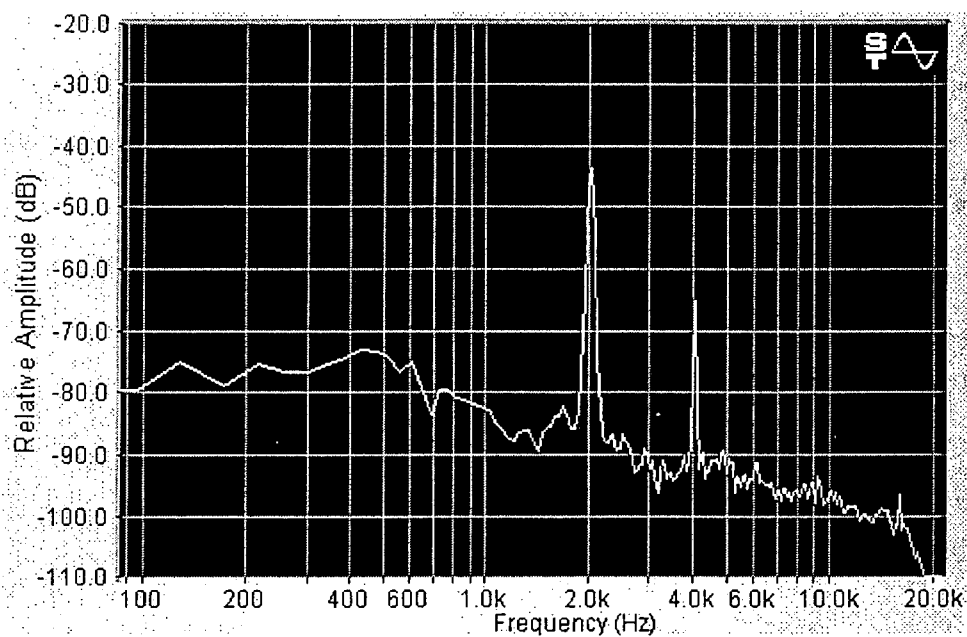


図 2.4 リバース報知音として最も相応しいと判断された音の周波数スペクトル

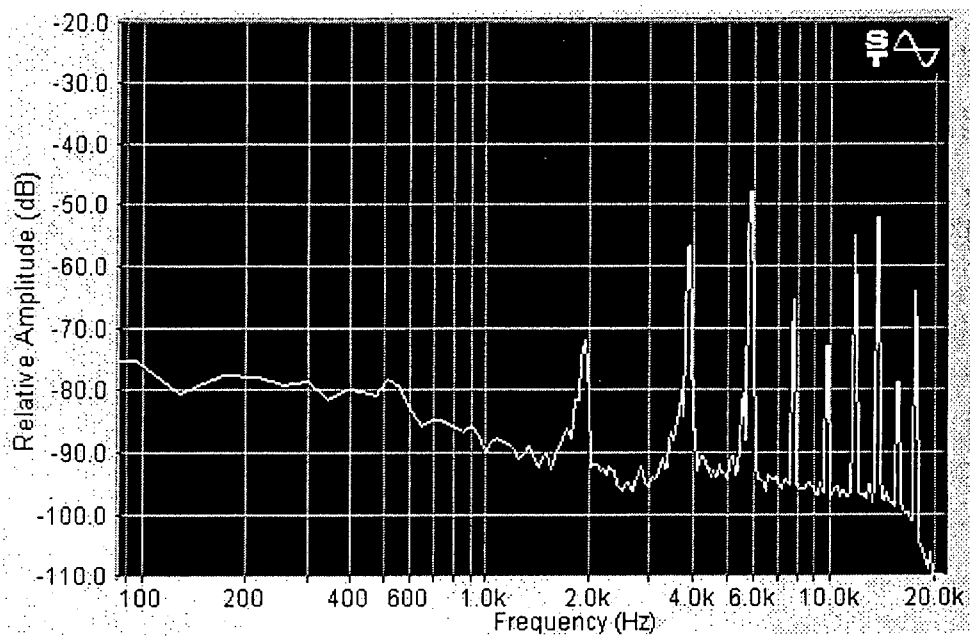


図 2.5 リバース報知音として最も相応しくないと判断された音の周波数スペクトル

2.2.2.2 ライト消し忘れ報知音

ライト消し忘れ報知音の場合、58 個の刺激音の中には、鳴りっぱなしの持続音（41 個）と断続音（11 個）が存在する。評価主成分得点の相応しくない側の上位 5 個の刺激音のうち 4 音が持続音である。相応しい側の上位 5 個の刺激音は、いずれも断続音であり、持続音はライト消し忘れ報知音として相応しくないと判断されている。吹鳴時間が 450ms~500ms、休止時間が 500ms~550ms というパターンと、吹鳴時間が 950ms~1000ms、休止時間が 100ms~120ms というパターンの 2 種類の断続音である。ただし、持続音の中でも相応しい側の上位 5 個に入らないまでも、ある程度相応しいと判断された音もある。持続音の中で、比較的主成分得点が高い音と低い音の周波数スペクトルを比較すると、相応しいと判断された音では、1kHz から 4kHz の成分のエネルギーが優勢であるのに対し、相応しくないと判断された音では、2kHz から 8kHz の成分が優勢である。高域成分が優勢な持続音が、最も相応しくないと判断されている。

sharpness との対応関係を検討した結果では、相応しいと判断されている音で 1~1.5acum、相応しくないと判断されている音では 2.1~3.2acum であった。

評価主成分得点と sharpness の間の相関を求めた結果、有意水準 1%未満で有意な相関 ($r=0.700$) がみられた。sharpness の値が低いほうが相応しい印象を持たれている。図 2.6、図 2.7 にライト消し忘れ報知音として相応しい音（断続音）と相応しくない音（持続音）の周波数スペクトルを示す。高域成分を多数含んでいるのが、相応しくない音の特徴となっている。

内観報告によると、断続音、持続音いずれの場合においても、鋭い音は不快感を感じる、柔らかい音の方が相応しい、好ましい、高級感が高まるとの回答であった。これらの回答も、評定実験結果と一致する。

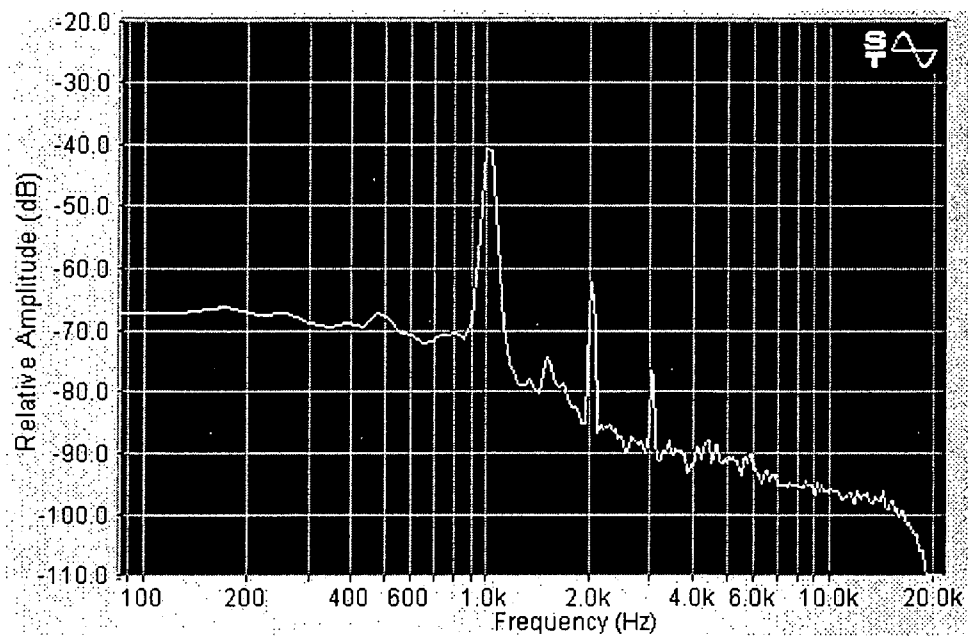


図 2.6 ライト消し忘れ報知音として最も相応しいと判断された音のスペクトル

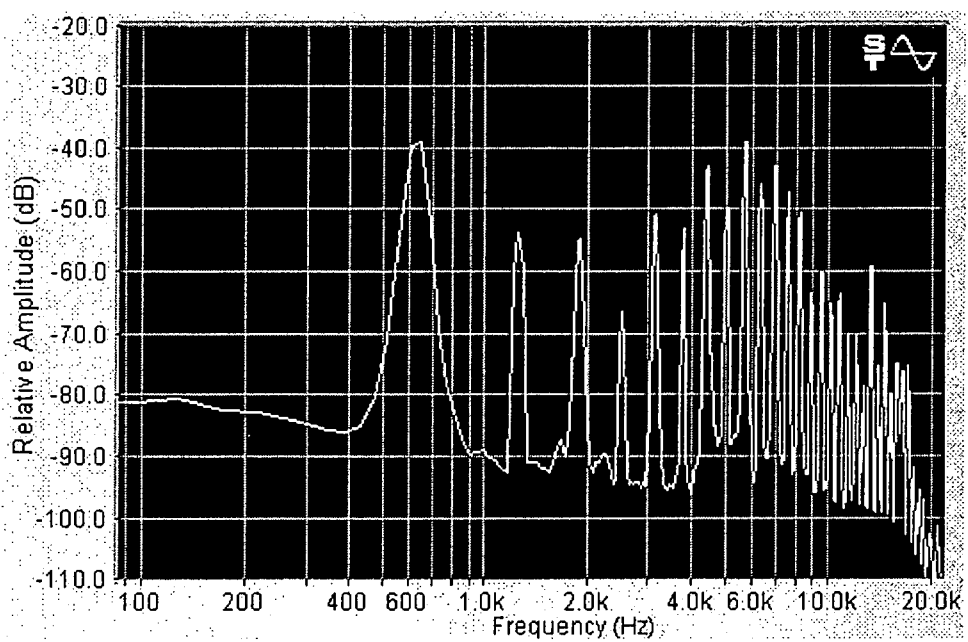


図 2.7 ライト消し忘れ報知音として最も相応しくないと判断された音のスペクトル

2.2.2.3 キー抜き忘れ報知音

キー抜き忘れ報知音の場合も、58 個の刺激音の中には、持続音が1つあったが、他はすべて断続音であった。評価主成分得点の相応しい側の上位5個の刺激音は、いずれも700ms~940msの短音が休止時間なしで繰り返す断続音（「ピーピーピー」といった感じ）である。これらの音のスペクトルを分析すると、基本周波数750Hz程度で、5kHz程度までの倍音が含まれている。図2.8に、最も相応しいと判断された音の周波数スペクトルを示す。

評価主成分得点の相応しくない側の上位5個の刺激音は、4回繰り返される目覚まし時計のような断続音と鳴り続ける持続音である。断続音の場合には、図2.9に示すように、吹鳴時間60ms~80msの短音が40ms~60msの休止時間をおいて、4回ずつ繰り返される（「ピピピピ、ピピピピ、・・・」といった感じ）。パターンとパターンの間には540ms~560msの休止時間がある。これらの音では、基本周波数が2kHz程度で、8kHz程度以上の高周波成分が含まれている。キー抜き忘れ報知音として、最も相応しくないと判断された音は、持続音であり、その周波数スペクトルを図2.10に示す。

sharpness との対応関係を検討した結果、相応しいと判断された音では1.05~1.43acumで、相応しくないと判断された音では1.54~2.63acumであった。

評価主成分得点とsharpnessの間の相関を求めた結果、有意水準1%未満で有意な相関($r=0.630$)がみられた。sharpnessの値が低いほうが相応しい印象を持たれている。

内観報告では、4回繰り返される断続音（「ピピピピ、ピピピピ、・・・」）は、目覚まし時計を連想してやかましい、安っぽい、好ましくないとの回答を得ていた。柔らかい音色なら好印象で高級感を感じると答えた被験者もいた。このようなパターンの音の持つ悪いイメージが評定値に影響を及ぼしているようである。

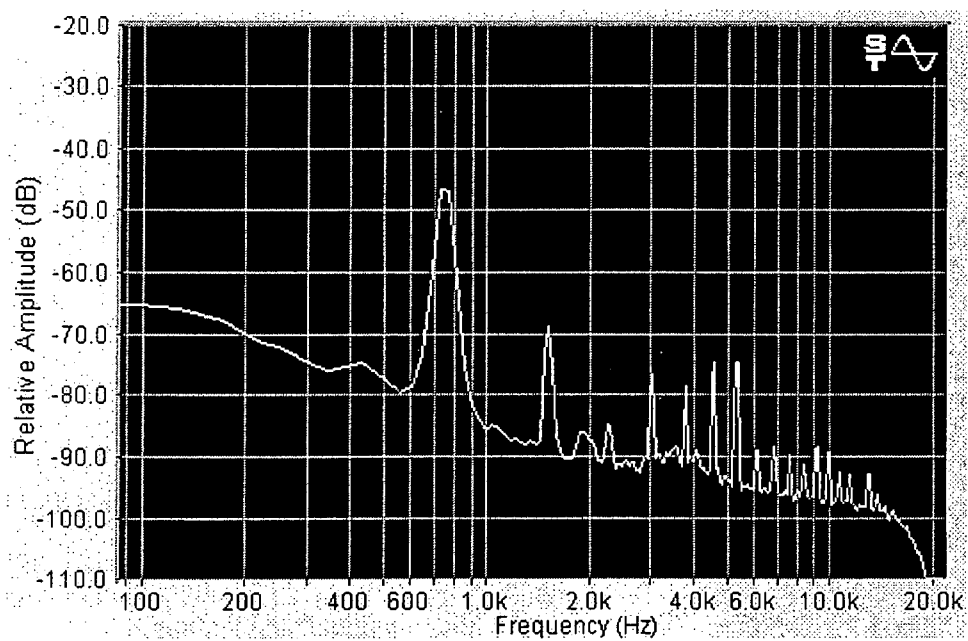


図 2.8 キー抜き忘れ報知音として最も相応しいと判断された音の周波数スペクトル

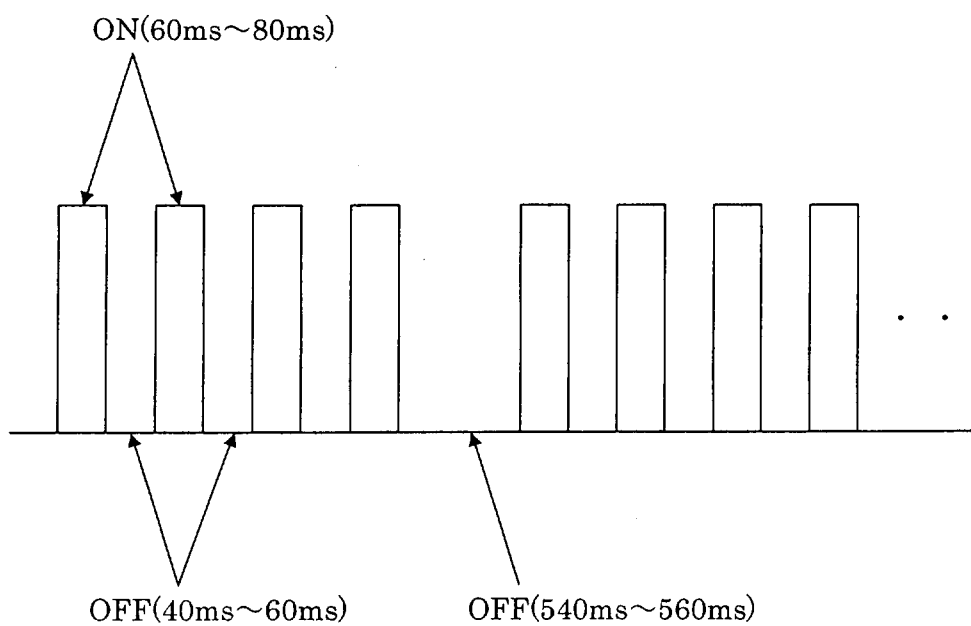


図 2.9 相応しくないキー抜き忘れ報知音の断続周期

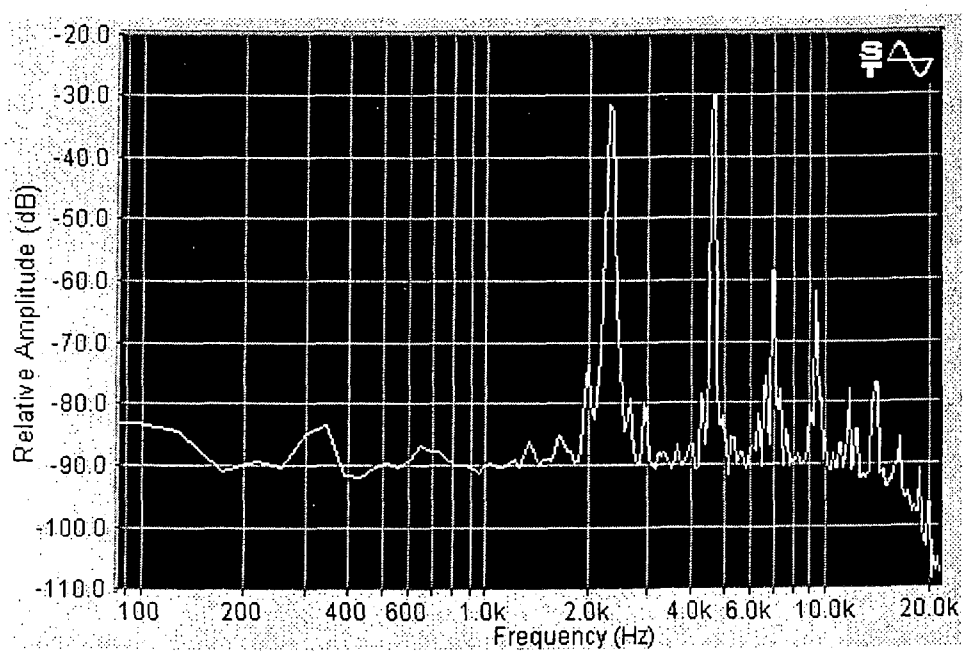


図 2.10 キー抜き忘れ報知音として最も相応しくないと判断された音の周波数スペクトル

2.2.2.4 ウィンカー報知音

ウィンカー報知音には、パルス状の2音の繰り返しパターンが用いられる（「カチカチカチ」といった感じ）。評価主成分得点の相応しい側の上位5個の刺激音と、相応しくない側の上位5個までの刺激音の特徴を分析した結果、相応しいと判断されている音では、およそ8kHz程度以下の周波数帯域にエネルギーが集中していることが分かった。図 2.11 に、最も相応しいと判断された音の周波数スペクトルを示す。相応しくないと判断されている音では、およそ8kHz程度をはるかに超える高周波数成分が多く含まれていることが分かった。図 2.12 に、最も相応しくないと判断された音の周波数スペクトルを示す。

相応しいと判断されている音は、第1音と第2音の間隔が360ms~400msで、第2音と第1音の間隔は330ms~400msであった(図 2.13)。また、相応しくないと判断されている音では、第1音と第2音の間隔が310ms~340msで、第2音と第1音の間隔は310ms~380msであった。評価主成分得点と第1音、第2音の長さとの相関を求めた結果、低い相関ではあるが、第1音 ($r = -0.381$)、第2音 ($r = -0.440$)とも評価主成分得点と有意水準1%未満で有意な相関がみられた。ウィンカー報知音は、第1音から第2音までの間隔、第2音から第1音までの間隔が長いほど、相応しい傾向であることが示された。

sharpness との対応関係を検討した結果では、相応しいと判断されている音は、1.43~2.26acum で、相応しくないと判断されている音では2.02~2.64acum であった。また、評価主成分得点と sharpness の間には、相関がみられなかった。

内観報告では、落ち着いた音が高級車のイメージが強い、やかましい音はずっと運転していると嫌である、第1音と第2音に個性がありすぎると不快感を生じる、等間隔なものや2音の音色の差が小さいものが好ましく相応しいという回答が寄せられた。

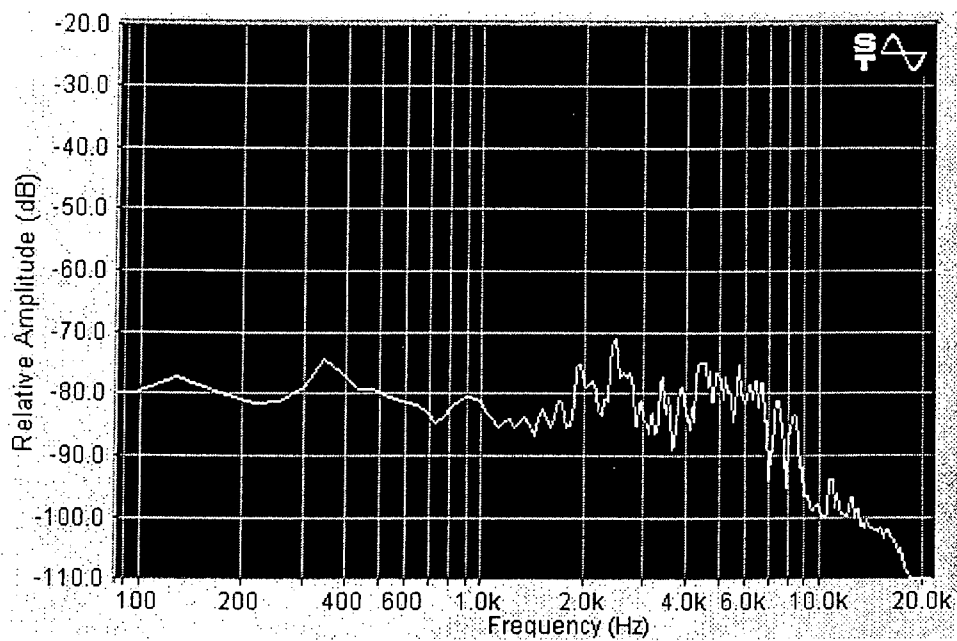


図 2.11 ウィンカー報知音として最も相応しいと判断された音の周波数スペクトル

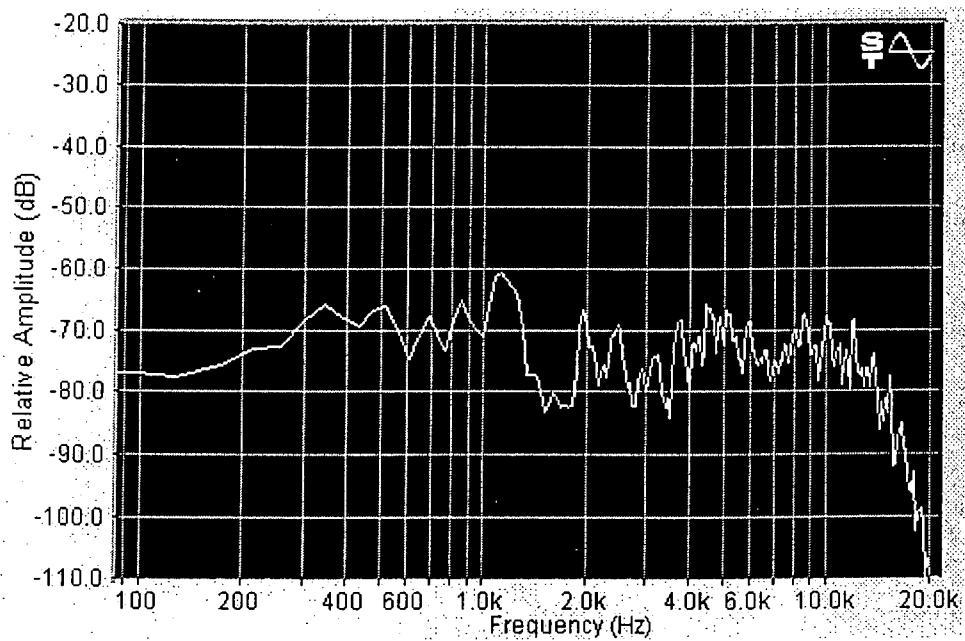


図 2.12 ウィンカー報知音として最も相応しくないと判断された音の周波数スペクトル

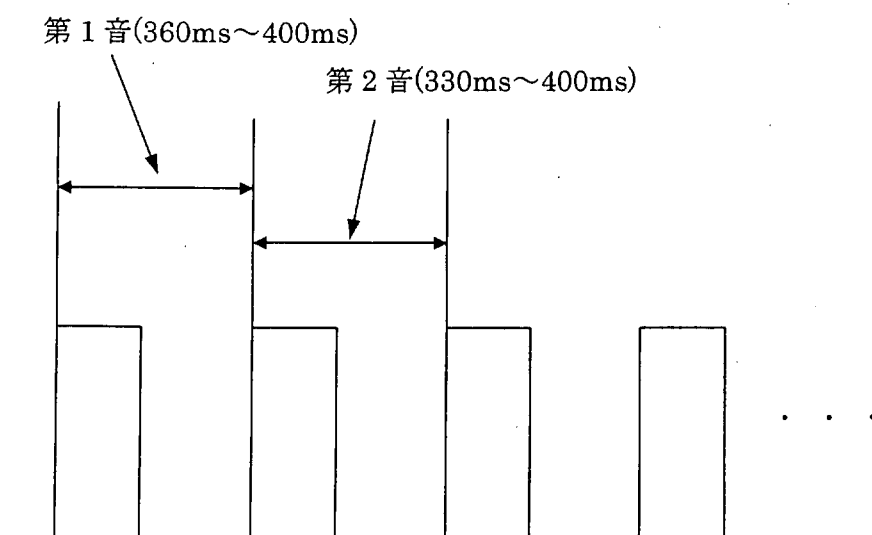


図 2.13 相応しいウインカー報知音の断続周期

2.3 本章のまとめ

本章では、通常の自動車内で使われている「キー抜き忘れ報知音 (58 個)」「ライト消し忘れ報知音 (58 個)」「リバース報知音 (46 個)」「ウインカー報知音 (45 個)」計 207 音を対象として印象評定実験を行い、各機能に相応しい音響的特徴を検討した結果、一般的な傾向としては、4kHz 以上の高周波成分があまり含まれていない音において、好ましく、快適で、高級感があり、サイン音として相応しいことが示された。また、sharpness の値が高いほど、鋭い印象を与え、自動車内のサイン音としては好ましくなく、相応しくない印象を持たれている傾向が分かった。つまり、現在、自動車内に使われている各種サイン音には不快で好まれていない音、各機能イメージにも相応しくない音のデザインが含まれていることを示唆している。

さらに、各機能別に、評価主成分得点の相応しくない側の上位 5 個と、相応しい側の上位 5 個の刺激音を検討対象とし、各サイン音としての相応しい (相応しくない) 音響特性を検討した。その結果、リバース報知音として相応しいと判断された断続パターンの場合、吹鳴時間より休止時間の方が大きな影響を及ぼしている傾向が示された。休止時間が短い断続パターンは、リバース報知音として相応しくないことが示された結果である。また、相応しい音の周波数スペクトルを分析した結果、基本周波数が 2kHz 程度で、第 2 倍音の 4kHz 以上の高周波成分があまり含まれていない音が相応しい傾向にあることが示された。

ライト消し忘れ報知音の場合、時間パターンとして、鳴りっぱなしの持続音と断続音が存在しているが、持続音はライト消し忘れ報知音として相応しくないと判断された。しかし、ほとんどの自動車のライト消し忘れ報知音は持続音である。また、高域成分が優勢な持続音が数多く存在しており、ライト消し忘れ報知音としては相応しくないと判断された。

キー抜き忘れ報知音の場合、相応しいと判断された音響特性としては、吹鳴時間が 700ms~940ms の休止時間なしで繰り返す断続音で、基本周波数 750Hz 程度で、5kHz 程度までの倍音が含まれている音であった。逆に、相応しくないと判断された音の場合、4 回繰り返される目覚まし時計のような断続音と鳴り続ける持続音であり、いずれも基本周波数が 2kHz 程度で、8kHz 程度以上の高周波成分が多く含まれていた。

ウインカー報知音の場合には、パルス状の「カチカチ」といった2音の繰り返しパターンが用いられているが、ウインカー報知音として相応しい（相応しくない）繰り返しパターンを調べた結果、第1音から第2音までの間隔、第2音から第1音までの間隔が長いものが相応しいと判断された。また、周波数スペクトルを分析した結果では、およそ8kHz以上の高周波数成分が多く含まれている刺激音に対して、相応しさは低下する傾向であることが示された。

本章では、自動車内で利用されている各種サイン音に関する基礎的な研究調査として、リバース報知音、ライト消し忘れ報知音、キー抜き忘れ報知音、ウインカー報知音を対象とし、これらのサイン音の機能イメージに相応しい（相応しくない）音響的特徴を調べた。その結果、耳につくような高域成分を含まない、「柔らかい」音が一般的に好ましく、相応しい音のようであった。また、断続パターンを用いられる場合、比較的ゆったりとしたパターンが好まれる傾向にあることが示唆された。

しかし、本実験では、市販車で実際に使用されているサイン音を録音し、実験刺激としたため、様々な物理量の影響が交錯しており、その物理量の最適値は明確ではない。本章の実験結果を基に、刺激音を合成し、徹底的な検討が必要であると考えられる。