

## ハイブリッド車等の静音性対策に関する検討の進捗概要 —交通安全環境研究所の取り組みを中心として—

関根道昭\*                      田中丈晴\*\*  
坂本一郎\*\*\*                  森田和元\*\*\*\*

低炭素化社会の構築に向け、ハイブリッド車や電気自動車等の環境負荷の小さい車両の大幅な普及が見込まれている。一方、これらの車両は、構造的に音がほとんど発生しないため視覚障害者を含む歩行者の安全性への影響が懸念される。そこで国土交通省は「ハイブリッド車等の静音性に関する対策検討委員会」を設置し、対策案を一般に公表した。本稿ではこれらの検討経緯や対策案を解説し、特に交通安全環境研究所における主な取り組みについて紹介する。

### Progress Report on Examination of Quiet-car Measures for Hybrid and Other Vehicles : The Work of the National Traffic Safety and Environment Laboratory

Michiaki SEKINE\*                      Takeharu TANAKA\*\*  
Ichiro SAKAMOTO\*\*\*                  Kazumoto MORITA\*\*\*\*

In furtherance of a low-carbon society, vehicles with low environmental impact such as hybrid vehicles and electric vehicles are expected to gain widespread use. However, deep concern has been expressed about the safety of pedestrians, including the visually impaired in particular, because vehicle design causes these vehicles to generate virtually no engine and exhaust noise. Japan's Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) has established the Study Committee on Measures against the Near-silence of Hybrid and Other Vehicles, which subsequently published its guidelines. This report provides a historical background of studies on quiet vehicles and proposes mitigation measures, with a particular emphasis on the key initiatives of the National Traffic Safety and Environment Laboratory (NTSEL).

\* 独立行政法人交通安全環境研究所・自動車安全研究領域  
主席研究員

Chief Researcher, Automotive Safety Research Dept.,  
National Traffic Safety and Environment Laboratory

\*\* 独立行政法人交通安全環境研究所研究コーディネーター  
Research Coordinator,

National Traffic Safety and Environment Laboratory

\*\*\* 独立行政法人交通安全環境研究所・環境研究領域上席研  
究員

Principal Researcher, Automotive Safety Research  
Dept.,

National Traffic Safety and Environment Laboratory

\*\*\*\* 独立行政法人交通安全環境研究所・自動車安全研究領  
域副領域長

Deputy Director, Automotive Safety Research Dept.,  
National Traffic Safety and Environment Laboratory

原稿受理 2011年3月24日

1. はじめに

低炭素化社会の構築に向け、ハイブリッド車や電気自動車等(以下、ハイブリッド車等)の環境負荷の小さい車両の大幅な普及が見込まれている。一方、これらの車両は、構造的に音がほとんど発生しないため視覚障害者を含む歩行者の安全性への影響が懸念され、早急な対策の実施が要望されている<sup>1)</sup>。

これを踏まえ、国土交通省は平成18年度に「車両接近通報装置の特性評価と基準化に関する調査」<sup>2)</sup>を実施した。さらに平成21年に学識経験者、視覚障害者団体、メーカー団体等からなる「ハイブリッド車等の静音性に関する対策検討委員会」を設置し、翌年1月、対策をとりまとめ一般に公表した<sup>3)</sup>。本稿はこれらの検討経緯や交通安全環境研究所における主な取り組みなどについて概括する。

2. ハイブリッド車の走行音

Fig.1はハイブリッド車のモータ走行における騒音をガソリン車と比較したものである。騒音は車速に応じて変動するが、ハイブリッド車では概ね速度15~20km/h以下において騒音レベルが大きく低下し、停止時ではガソリン車よりも約20dB(A)程度低いことが確認されたため、20km/h以下の低速走行時における対策の必要性が示唆される。

3. 車両接近通報音の受容性調査

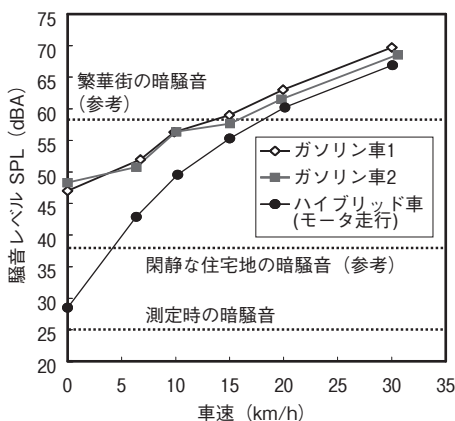
ハイブリッド車両の存在や接近を歩行者に気づきやすくするために、国土交通省より自動車の存在や接近を人工音で知らせる装置(車両接近通報装置)要

件などを含む対策ガイドラインが示された<sup>4)</sup>。平成18年度に実施された調査<sup>2)</sup>では、車両の接近を知らせる各種の音(以下、通報音)が一般の歩行者や近隣住民にとっての新たな騒音源となる可能性があるため、適切な通報音の種類や提示方法について考察している。本稿では、通報音として使用される「音」が、「うるささ」を感じさせずに歩行者や近隣住民の主観を通じて受け入れられる可能性のことを「受容性」と定義し、以下に交通安全環境研究所が実施した各種の通報音の受容性を調査した実験を紹介する。

3-1 サンプル音の選定

最初に通報音の種類に関する検討を行った。通報音は歩行者にとって馴染みがある音であることが望まれる。また通報音は静かな住宅地だけでなく、賑やかな繁華街でも利用されるため、両方の環境において聞き落とされにくく、かつ、うるさすぎない性質の音であることが理想である。馴染みのある音の例として、従来のガソリン車から発生される音を録音し、当該装置から再生するという方法が考えられる。あるいは既存の報知音や新しく作成した人工音を通報音として活用することも可能である。そこで、いくつかの通報音のサンプルを用意して評価を行った。

サンプル音の特性の記述方法として、ここでは音楽性と時間変動という二つの次元を想定した(Fig.2)。サンプル音は二次元マトリクスの中から偏りがないように選択した。自動車の機械音(機能音)としては排気量などが異なる2種類の実車のアイドル車外音を収集した。また、音楽性の強い人工音(メロディ)としては、鉄道で利用されている既存の発車メロディ1種類と独自の創作音2種類を利用した。さらに、音楽性が中程度で時間変動が少ないチャイムと和音を1種類ずつ、単調な音が連続する音を2種類選択した(Table 1)。



注) 測定点：車両走行中心左2m、地上1.2m。  
資料) 参考文献3) のグラフを一部修正。

Fig. 1 ハイブリッド車とガソリン車の騒音比較

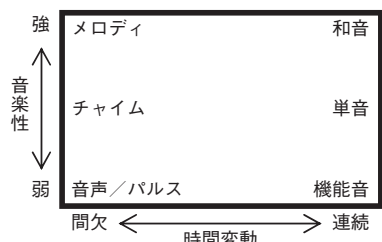


Fig. 2 サンプル音の基本属性マトリクス

### 4. 接近通報音の受容性に関する調査

#### 4-1 室内実験

最初に通報音の受容性の基本特性を調査するために外乱の少ない半無響室（交通安全環境研究所の音響実験棟）の中でモニターによる聴取実験を実施した。この実験では、サンプル音の等価騒音レベルと周囲環境の背景音の大きさが受容性に与える影響を調べた。通報音の等価騒音レベルが小さい場合でも、静寂な環境であれば受容性が低下すると予想した。

#### 4-2 方法

実験には20歳代から50歳代の男性20名、女性25名が参加した。半無響室の中心付近に無指向性スピーカを設置した。5名から8名のモニターがスピーカの中心から3m離れた位置に背中を向けて着座し、サンプル音の聴取とアンケートの回答を行った(Fig. 3)。

サンプル音は20秒から30秒の長さであり、等価騒音レベルを約50dB (LAeq) に揃えたものを用意し、ここから6dB増加させた条件と6dB 減衰させた条件を比較した。サンプル音は次に説明する3種類の背景音に重畳された条件と、背景音がない場合のいずれかの条件で試聴された。背景音には、騒音に係る

Table 1 使用されたサンプル音

時間変動	音楽性	カテゴリ	ID	備考
間欠	強	メロディ	11	既存音*1
間欠	強	メロディ	37	創作音
間欠	強	メロディ	39	創作音
間欠	中	チャイム	22	既存音*2
連続	中	和音	42	創作音
連続	中	単音	43	創作音
連続	中	単音	46	創作音
連続	弱	機械音	53	疑似エンジン音
連続	弱	機械音	エンジン1	L4, 1496cc
連続	弱	機械音	エンジン2	V8, 4292cc

注) \*1: 鉄道駅ホームの列車出発警告音、\*2: 鉄道駅ホームの案内コーナーサイン音。



Fig. 3 室内実験の様子

環境基準<sup>5)</sup>の三つの地域類型に該当する地域の路上において収録した音を使用した。

- (1)地域類型AA相当（昼間50dB以下、閑静な住宅街）
- (2)地域類型AおよびB相当（同55dB以下、幹線道路近傍）
- (3)地域類型C相当（同60dB以下、駅前の繁華街）

質問紙にはサンプル音のうるささや印象を評価するための質問を設けた。一つは絶対的マグニチュード推定法(ME法)によりサンプル音の「うるささ」を正の数字で得点化する方法であった<sup>6)</sup>。もう一つは対立する形容詞対を用いて7段階の評価を行う方法（セマンティックディファレンシャル法、SD法）であった。尺度には「騒々しい-静かな」「気になる-気にならない」「不快な-快い」の3種類を用いた。

実験の前にすべてのモニターに対して実験の目的を教示し、電動車両の接近をイメージしながらサンプル音を聴取するように強調した。質問紙への記入はサンプル音が提示されている間に行った。最初に背景音なしの条件を実施した後に3種類の背景音の条件をランダムな順序で実施した。1集団の実験には休憩を含めて約2時間を要した。

#### 4-3 室内実験1の結果と考察

最初にME法による評価の結果を示す。ME法ではモニターによって使用する数値の範囲が異なるため、平均値と標準偏差を用いて評定値をモニターごとに標準化してから処理を行った。背景音なし条件におけるME得点の平均値をFig.4左に示した。全体的な傾向として、サンプル音の等価騒音レベルが高まるとME得点が上昇する傾向が観察された。個別のサンプル音を比較すると、チャイムやメロディのような音楽性の高い音のME得点は低く、逆にエンジン

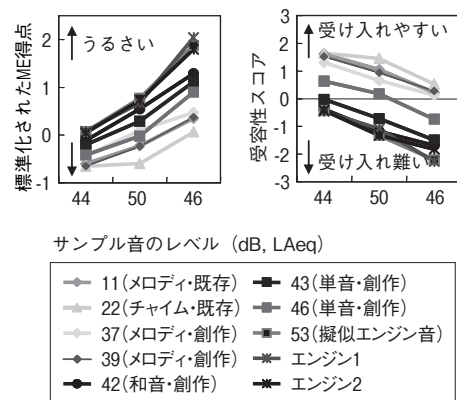


Fig. 4 暗騒音がない条件の実験結果

音や単音のME得点は高いことがわかった。

次に形容詞による印象評定の結果を示す。各尺度における7段階の評価を「騒々しい」「気になる」「不快な」をマイナスに、「静かな」「気にならない」「快い」をプラスとして、-3から+3までの数値に変換して集計した。3種類の尺度は類似した傾向を示したため、平均値を求めた (Fig.4右)。以下、この平均値を受容性スコアと称する。全体としてサンプル音の等価騒音レベルが高くなるほど受容性スコアは低くなる傾向が観測された。また、すべての等価騒音レベルの受容性スコアにおいてメロディとチャイムが高く、単音とエンジン音系統は低い傾向が明らかとなった。

背景音を受容性スコアに及ぼす影響を検討するためにサンプル音22、39、43、53における等価騒音レベル50dB(LAeq)の受容性スコアを背景音の関数としてプロットしたところ、Fig.5に示す結果が得られた。サンプル22と39ではいずれの背景音においても受容性スコアがほぼ一定であったが、43、53においては背景音の等価騒音レベルが増加すると受容性スコアが上昇した。これは背景音によってサンプル音の印象がよくなるというより、背景音の等価騒音レベルが増大すると、単音やエンジン音はチャイムやメロディよりも聞こえにくくなることに関係があると思われる。

4-4 室内実験2

前項の室内実験では、メロディやチャイムの受容性は単音やエンジンの音に比べて高い傾向が示された。この結果をより多くのモニターによって追認するために、当研究所の一般公開時来場者のうち89名のモニターに対して簡略化した実験を行った。サンプル音は22、39、43、エンジン音1であり、等価騒音

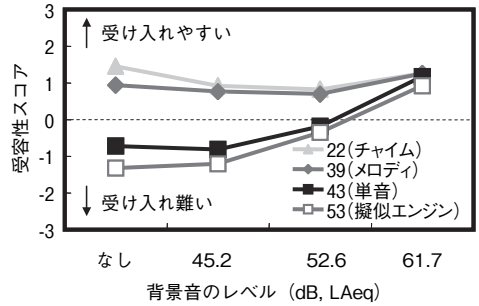


Fig. 5 暗騒音の影響

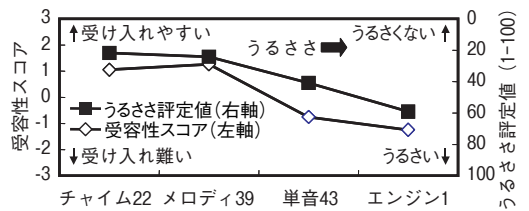


Fig. 6 一般来場者モニター89名における実験結果

音レベルは50 dB(LAeq)のみとし、背景音は省略した。この実験では、サンプル音をヘッドホンにより4名まで同時に提示した。モニターはサンプル音のうるさを1点から100点までの数値で得点化するとともに、前述の形容詞対を用いた印象評定を行った。所要時間は約10分であった。

以上の実験により得られたうるささの評定値と受容性スコアの平均値をFig.6に示した。ここでもチャイムやメロディのうるささ評定値は低く、受容性スコアは高かった。単音とエンジン音は逆の傾向であった。従って、室内実験2においても室内実験1とほぼ同様の結果が得られたと結論できる。

5. 実車聴取実験

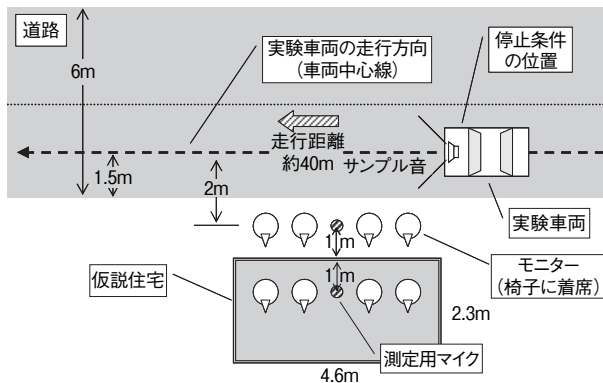


Fig. 7 実車聴取実験の配置概要図(左)と実験の様子(右)



前項の室内聴取実験が音響的に統制された理想的な環境下において検討されたのに対し、実車聴取実験は現実的な聴取条件に近い状態で通報音を聴取する場合について検討した。歩行者が路上で立ち止まった状態や室内において考え事をしている状況を想定し、接近通報音を与える影響を調べた。

### 5-1 方法

20歳代から50歳代の男性28名、女性31名が実験に参加した。前項の室内実験には参加していないモニターであった。

実験は、当研究所構内の6m幅の道路とその場所に設置した遮音度の比較的低い仮設プレハブ住宅内において実施した。車両と居住者(または歩行者)との距離が近くなる場所を設定した(Fig.7)。実験場所は「騒音に係る環境基準」における地域類型AおよびB相当(中間55dB以下、実測値50から55dB)の暗騒音に該当する箇所であった。仮設住宅は室外音の4kHz以下の帯域を5~10dB程度減衰させる音響的な特性を有していた。

沿道と住宅内に道路を背面にして椅子を4台ずつ設置した。モニターはこの椅子に着席した状態でサンプル音の試聴と評価を行った。ただし、天候の関係で室内に7台の椅子を設置して実施した場合もあった。

自動車メーカーが試作した接近通報装置の試験車両(ハイブリッド車)を用いて実験を行った。この車両はバンパーの背後に設置した小型のスピーカーから任意の音を再生することができるようになっていた。比較のためにガソリン乗用車を2台使用した。この2台は最新騒音規制に適合した自動車で十分に整備された状態にあった。

試験車両からのサンプル音およびガソリン車のエンジン音は、それぞれの車両が停止した状態(停止

条件)と低速(10km/h以下)で走行した状態(走行条件)において評価された。停止条件のサンプル音は試験車両の駆動系を完全に停止した状態で提示された。サンプル音すべてについて基準となる等価騒音レベル50dB(LAeq、車両前方2m、1.2m高において約1分間計測)および基準から6dB増減させた条件を評価対象とした。停止条件のエンジン音はアイドリング状態(ガソリン車1約700rpm、ガソリン車2約750rpm)において発生する音が評価された。停止条件におけるサンプル音とエンジン音の聴取時間は、いずれも約1分間であった。

試験車両の走行条件ではガソリンエンジンを停止し、電動駆動モードにおいて走行している状態でスピーカーからサンプル音を再生した。このとき、サンプル音以外の走行音はほとんど聞こえない状態であった。仮設住宅前の約40mを約30秒間かけて走行した。走行条件では基準音圧のサンプル音9種類と三つのサンプル音について基準音圧から6dB増減させた条件を評価対象とした。ガソリン車はATのクリープ走行により時速10km/h以下の速度で同様の走行を行った。

現実場面において注意を集中して車両接近音を聴取することは少ないと思われるため、モニターはクロスワードパズル<sup>7)</sup>により、注意をそらした状態でサンプル音を試聴した。サンプル音が聞こえる間はパズルに専念し、サンプル音が途切れた時点でアンケートに回答するように教示した。モニターはサンプル音のうるさを1点から100点までの数値で得点化するとともに、前述の形容詞対を用いた印象評定を行った。

### 5-2 実車聴取実験の結果と考察

うるさを1から100までの数字で評定した結果、停止条件における評定値は全体的に室内よりも室外で高かった。また、室内外のいずれにおいてもチャイムやメロディの評定値は実車のアイドリング音よりも低かった。

形容詞による印象評定の結果について、これまでと同様に受容性スコアを求めた。サンプル音の等価騒音レベルの増加とともに、受容性スコアは低くなった。基準等価騒音レベル(50dB、LAeq)における一部サンプル音の結果をFig.8に示した。これまでの結果と同様に、メロディやチャイムの評価は高かったが、ガソリン車のアイドリング音の評価は低かった。室内の受容性スコアは屋外よりも高く、この差は単音やガソリン車において顕著であった。

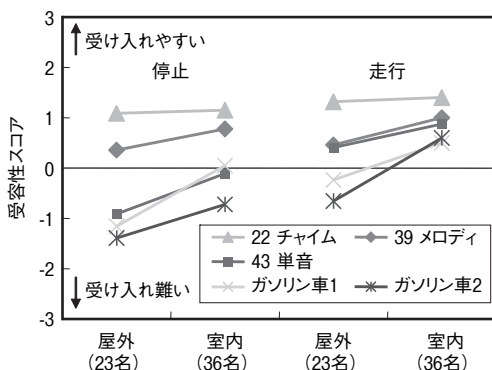


Fig. 8 実車聴取実験の結果 (一部)

走行条件は停止条件よりも受容性が高かった。停止条件では1分間ほぼ同一音圧レベルの音に曝されるのに対し、走行条件では時間を追って音圧レベルが変化すること、車両が接近して通過するまでの時間が短いことが関係していると思われる。

以上の結果から、車両接近通報音の受容性は、従来のガソリンエンジンの音よりも、メロディやチャイムなどの人工的な音のほうが高いことが判明した。

## 6. ハイブリッド車等の静音性対策の検討会

平成18年度の調査<sup>2)</sup>では、受容性の調査の他、日本自動車研究所が中心となってどのくらいの距離で車両の接近が認知されるかという認知性に関する実験が行われた。3次元マイクロホンで収録した音圧波形を実験室内で再生し、実路と同様の3次元音場を再現して歩行者の車両認知性評価実験（被験者20名、背景音2条件）を行った。その結果、後方で停止しているハイブリッド車の認知度は0%、また、定常走行時のハイブリッド車の認知度は、速度が概ね15km/h以下で、ガソリン車よりも低下することが確認された。また、メロディやチャイム音は、ガソリン音よりも離れた場所でも車両の接近に気づかれやすいということがわかった。しかし、これらの音が実際に車両の接近の通報音として適切かどうか、予備知識のない歩行者が車両として認知できるかなどについては別途検討する必要があると思われる。

その後、ハイブリッド車等が大幅に増加し、視覚障害者団体や一部の研究者などから、構造的に音のしない電気自動車やハイブリッド車による歩行者の安全性への影響が指摘され、国に対して早急な対策の実施が求められることとなった。また、同時に米国でも全米盲人連合(NFB)から同様の問題が提起され、国連の自動車基準調和世界フォーラム(WP29)へ基準化を求める要請も行われた。

これらを踏まえ、国土交通省は平成21年に学識経験者、視覚障害者団体、メーカー団体等からなる「ハイブリッド車等の静音性に関する対策検討委員会」(以下、検討会)を設置した。検討会は、東京大学高齢社会総合研究機構長の鎌田実教授を委員長とし、政府機関から3名(国土交通相、警察庁、内閣府)、大学・研究機関から3名(筑波大学、慶応大学、交通研)、自動車関係団体から3名(JAMA、JA PIA、JAIA)、視覚障害者団体から1名(日本盲人連合会)、ユーザー団体から2名(全国消費生活相談員協会、

JAF)の計13名で構成された。今回は自動車の研究機関による実験室的な調査だけでなく、広く社会に開かれた問題として議論が進められた。そのため、検討会はすべて公開で行われた。

検討会では、ハイブリッド車を用いた駐車場等での実地調査の結果、通報音は歩行者の車両認知性の向上に一定の効果があるもののガソリン車に劣り、通報音の一般への周知の必要性等が示唆された。検討会では、上記の各調査に加え、視覚障害者の歩行に及ぼす影響の調査事例が報告され、視覚障害者にとっては幹線道路に繋がる路地を横断する際に接触事故の危険性が高まること等が示された。第2回検討会ではハイブリッド車が走行しているときの音を実際に聞いてもらう体験会を実施した。

### 6-2 「体験会(公開走行試験)」の実施と結果

検討会では、ハイブリッド車等からの発音の有無による車両接近時の気づきを一般車と比較するため、5台のハイブリッド車等(一般車含む)を用いた「体験会」(参加者40名(視覚障害者等15名含む))を実施した(Fig.9)。走行は①停止・発進時、②10km/h以下での走行、③25km/h程度での走行の3条件とし、4種類のサンプル音(メロディ、単音、チャイム、疑似エンジン音)と3種類の試作音を用い、音量はガソリン車と同程度(前方2mでLAeq=50dB)に設定した。その結果、一般車と比べて停止・発進時や10km/h以下の走行では、ハイブリッド車等のモータ走行では気づかない人が多い一方で、25km/hでの走行や発音させた場合には、ほとんどの人が気づくことが確認された。

### 6-3 検討会での論点と対策の検討

その後、第4回までの検討会により議論が総括された。まず一番困っている人の立場に立った当面の対策が求められ、それには音による対策が有効と結論された。しかし、平成18年度の調査<sup>2)</sup>において受容性が高いと結論されたメロディやチャイムによる



Fig. 9 体験会の様子

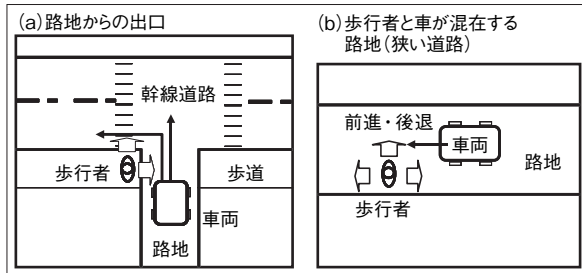


Fig. 10 対策が必要となる状況

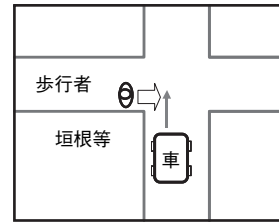


Fig. 11 ドライバーが歩行者に気づかない状況

通報音は、特別に周知しない限り「車両から発せられている音」として認知されにくいことが問題点として考えられた。

さらに、検討会では①自然に無理なく一般車同様に歩行者が気づくことができるか、②ハイブリッド車等の長所である「静音性」、運転者の多様性等を考慮して、以下の六つの論点が検討された<sup>3)</sup>。

#### 1) 対策の適用範囲

発進時にエンジンが始動する構造のものは、一般車同様気づきやすいことから、対策の適用範囲は、「モータ走行が可能なハイブリッド車および電気自動車等を対象とする」とされた。

#### 2) 対策が必要な場面

静音性の対策が最も必要な場面は、路地からの出口において自動車が停止状態から発進しようとしているときや、歩行者と車が混在する道路での低速走行時である (Fig.10)。これらの場面で歩行者等へ自動車の接近を知らせるため「発進時から車速20km/hまでの速度域および後退時」における対策が必要とされた。

#### 3) 発音の種類と音の満たすべき性質

社会に周知しなくとも、自動車の接近、離脱等の挙動が自然に無理なくわかり、かつ、周辺環境や運転者への受容性、加齢による聴力低下も考慮した気づきやすいことが必要であるとして、音の種類等は「自動車の走行状態を想起させる音」とされた。

#### 4) 発音の方法

見通しの悪い交差点等でドライバーが歩行者に気づいていない場合 (Fig.11)、手でドライバーがスイッチを押した時だけ発音する方法では効果がなく、そこで「自動車の速度に応じ自動で発音するシステムとし、標準状態をシステムONとするが、一時発音停止スイッチの装備を可とする。ただし、発音停止状態のままにならないような方法を設定する」とされた。

#### 5) 音量

一般エンジン車と同程度に歩行者に気づいてもらえる音量とする必要がある一方で、環境騒音への悪影響を避けなければならないことから、音量は「一般エンジン車と同程度となるような音量とする」とされた。

#### 6) 対策の普及方策

新車には義務づけをめざし、条件の整備を図る一方で、任意装備できるようにして早期普及をめざす観点から、対策は「規制内容等必要な検討を行った上で新車に可能な限り早期に義務づけをする。また、義務づけの準備が整うまでの間であっても、一定の要件を満たす装置を任意装備できるようにし、早期普及を図る。あわせて、早期普及の観点から手動式の発音装置の活用も検討する。使用過程車については、一定の要件を満たす後づけ装置の開発を促進し、早期に普及が図れる方策を検討する」とされた。

### 7. まとめ

ハイブリッド車等の静音性対策の検討経緯を概括した。今回示された対策は、まだ詳細が未確定な部分も多いが、世界に先駆けて対策の方向性を示したものであり、今後、国内で社会的な検証が望まれる。また、国際的な場での基準化の議論も本格化しており、現在、日本として積極的に貢献している状況にある。

[謝辞]

本稿をまとめるにあたり、ご協力ならびにご助言を賜った国土交通省自動車交通局技術安全部および(社)日本自動車工業会における関連WGおよび(財)日本自動車研究所など関係各位に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 中野泰志、井手口範男、布川清彦、金沢真理「視覚障害者の路地横断における車両音の効果

- ーハイブリッド車とガソリン車の比較」『ヒューマンインターフェースシンポジウム2005論文集』pp.523-528、2005年
- 2) 国土交通省自動車交通局「車両接近通報装置の特性評価と基準化に関する調査報告書」2007年
  - 3) 国土交通省自動車交通局「ハイブリッド車等の静音性に関する対策について(報告)」国土交通省ホームページ[http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07\\_hh\\_000049.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000049.html)、2010年
  - 4) 国土交通省自動車交通局「ハイブリッド車等の静音性に関する対策のガイドライン」国土交通省ホームページ<http://www.mlit.go.jp/common/000057372.pdf>、2010年
  - 5) 環境省「騒音に係わる環境基準」<http://www.env.go.jp/kijun/oto1-1.html>、2005年
  - 6) 難波精一郎、桑野園子『「ME法」、音の評価のための心理学的測定法』コロナ社、pp.50-72、1998年
  - 7) ぼけないためのSHINOZAKIホームページ：雑学クロスワード <http://www8.plala.or.jp/shinozaki/cros-index.htm>