

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23500136

研究課題名(和文)ハイブリッド車等の静音性対策における空間音響と聴覚心理の適用

研究課題名(英文)An application of spatial audio and psychoacoustics in design of sign signal for EV/HEV

研究代表者

金子 格 (Kaneko, Itaru)

東京工芸大学・工学部・准教授

研究者番号：70386902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：EV/HEVの接近報知音の評価方法を検討した。Bフォーマットマイク(Sound Field ST450)を4本用いた評価システムの構成を構築した。報知音の定位の評価方法を構築し、「EV/HEVの報知音を想定した漸増刺激音の定位の主観評価(応用音響)」電子情報通信学会技術研究報告等で発表した。たとえばトーン性の妨害音がノイズ性の目標音の定位を妨害する効果が、妨害音が目標音の臨界帯域内であるか否かにかかわらずほぼ7dB程度であること、など有益な知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：We developed an evaluation method of approaching sign signal of EV/HEV. We developed sound evaluation system using four of B-format microphones. We developed evaluation method of sound localization and presented in IEIEC. For an example, interference of tone signal to the limited band noise signal, is constant 7dB regardless frequency of the first signal is within the critical band of second signal. Which is new and valuable finding in this area.

研究分野：マルチメディア・データベース

キーワード：EV/HEV 報知音 空間音響 聴覚心理 Bフォーマット

1. 研究開始当初の背景

電気自動車・ハイブリッド車(以下 EV/HEV)等の静穏性が高いことにより、接触事故の増加が懸念され、国土交通省は2010年1月「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」をまとめた。その対策では接近報知音が推奨されるが、その学術的研究はまだ端緒についたばかりである。

研究代表者は、ISO/IEC 13818-7 AAC など音響技術の国際標準化の経験があり、公共性を持つ技術の開発では共通のスコア=「評価尺度」を確立することが重要であると考え研究テーマに選んだ。電気自動車、ハイブリッド車の静音性対策においては以下2つの要素の評価が重要と考えられる。

第1の評価尺度は、聴覚心理的な認知性の尺度である。AACの開発においては「聴覚心理的に認知されない最大エネルギーのノイズ」を制御するために多くの聴覚実験が繰り返されたが、逆に「聴覚心理的に認知される最少エネルギーのノイズ」についての詳細な調査が必要と考えられる。この評価では、ITU-R BS.1116, ITU-R BS.1534 に代表される、聴覚実験や、その評価尺度に関する学術研究が応用できる。

第2の評価尺度は、空間音響的な認知性の尺度である。自動車走行時にある種の走行音を発生する場合、その音源方向の認知がいかにか素早く、正確に行われるかが重要なファクターとなる。このような評価尺度には近年発達している、HRTF を利用した音像定位の主観評価試験法などが適用できる。

参考: 国土交通省報道発表資料「ハイブリッド車等の静音性に関する対策について(報告)」の取りまとめ等について

http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000049.html

2. 研究の目的

空間音響技術を用い、電気自動車、ハイブリッド車等に適した合成走行音を開発する。自動車が走行する様々な状況における環境騒音を採取し聴覚実験の環境を整備する。走行音の認知性の判定に適した聴覚心理モデルを構築する。

聴覚心理モデルと環境騒音データベースを適用し、合成走行音と、周辺騒音下の認知性の関係を明らかにする。

音像定位の評価技術を用い、合成走行音のパラメータと、音像定位(前後、左右、上下、距離感、スピード)などの認知性の関係を明らかにする。

以上の段階により、従来の自動車よりも静音性に優れ、安全性も高い(音の認知性や音像定位において優れている)合成走行音の実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究は EV/HEV の静音性対策に関するが、具体的には歩行者が気付くための合成走行音

に関する研究である。この合成走行音を以下、接近報知音と呼ぶ。接近報知音は本研究以外にも活発に提案、実施され、たとえば参考文献[4]などに、多くの検討項目が紹介されている。しかし既存の議論や研究は、音の周波数スペクトルや音量の評価にとどまっており、本研究はそれらと比較して2つの新たな着眼点を持っている。すなわち、(1) 音の空間的特性と定位特性、および、(2) 聴覚心理的特性と制御、の2つである。これらについて以下で説明する。

(1) 音の空間的特性と定位特性

タンバリンの音は図1の(a)に示すように逆符号の音波が合成されたもので、それらが複雑に干渉しあい、空間的に複雑な波面を形成する。タンバリンの音をマイクで収録しスピーカで再生すると(b)に示すように球面波となるが、距離とともに弱まるだけで周波数スペクトル波形は空間上どの点でもほぼ同一で、実物のタンバリンのような空間的に複雑な波面は生じない。このような空間的な波面の違いによる性質を「空間音響」と呼んでいる。研究代表者等の研究[2],[3]によれば空間音響的な特性が音の認知に与える影響は非常に大きい。

自動車走行音の評価においても空間音響的な自動走行音(c)と、単純な構造のスピーカによる疑似走行音(d)では自動車までの距離や自動車の方向の誤認に影響すると予想される。本研究では、当初空間音響的な特性を明らかにすることを目標とした。研究を進める中で、空間音響的な録音再生が可能であればそのような空間音響的な音の評価が可能であると考え、空間音響的録音再生による接近報知音の分析評価装置を構築することにした。

そして4本のBフォーマットマイクロホンを利用した実験装置の構成を検討することとした。

(2) 聴覚心理的特性と制御

デジタル放送や iPod では AAC と呼ばれる国際標準オーディオ符号化方式が利用されているが、その基盤技術となっているのが聴覚心理技術である。聴覚心理技術は、AAC 等のオーディオ符号化では以下の(i)の目的で利用されるが、これを応用し、走行音を知覚可能な最小レベル近くに制御すれば、静穏性を保持し、少し離れたところでは聞こえない、必要最小限度の走行音とすることが可能になる、と当初考えて研究を進めた。

研究を進める中で、接近報知音においては、音が識別できるか否かという問題と同時に、その音の接近方向が重要であるとの結論に至った。そこでこの研究でも、接近報知音の音の方向(以下定位)に重点を置きその特性を説明することとした。

4. 研究成果

本研究は、EV/HEV の走行音が静かであることから歩行者にわかりやすい報知音が求められ

ているという背景から、接近報知音の空間音響的特性の評価と聴覚心理による最適な接近報知音の評価方法の適用を行った。空間音響録音再生方法と聴覚心理的な特性の評価方法を確立した。

2011年度は、立体音響録音再生システムについて検討し、波面合成 (wave field synthesis)、頭部伝達関数合成 (HRTF synthesis)、アンビソニック (ambisonic) などを比較検討し、図1に示すBフォーマットマイク (Sound Field ST450) を選択した。

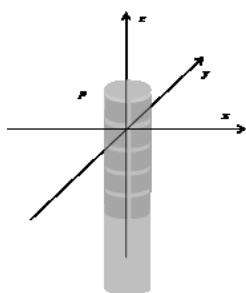


図1 Bフォーマットマイクロホン

Bフォーマットマイクロホンは x, y, z の直行する3軸の流速と空気圧を1点において計測することで、音源が1方向であった場合にその点における音源の到来方向と音圧を記録することができる。

聴覚心理的実験方法の検討も開始した。Bフォーマットマイクロホンを図2のように当初計画の2本から4本に増やし、4点における空間音場記録が可能な録音方法を構築した。

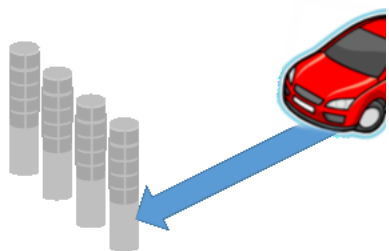


図2 Bフォーマット4点同時測定法

4本のマイクロホンにより表1のように6通りの移動距離における定位の評価が可能となった。

表1 4点の測定による6通りの距離

	マイクロホン			
	#1	#2	#3	#4
#1からの距離[cm]	0	10	40	60
#2からの距離[cm]			30	50
#3からの距離[cm]				20

また評価実験の結果を金子他「EV/HEVの報知音を想定した漸増刺激音の定位の主観評価 (応用音響)」電子情報通信学会技術研究報告：信学技報で報告した。2013年度は実験を継続し、竹内、金子、「漸増刺激法によるEV/HEVサイン音の音像定位評価に影響を与える誤差要因の検討」映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集 (2013), 2-10-1-2-10-2”他数件の発表を行った。

2014年度はこれまへの実験結果を整理し画像情報学会、音響学会への投稿を行った。

この中では、たとえばトーン性の妨害音がノイズ性の目標音の定位を妨害する効果が、妨害音が目標音の臨界帯域内であるか否かにかかわらずほぼ7dB程度であることなどの新たな発見があった。

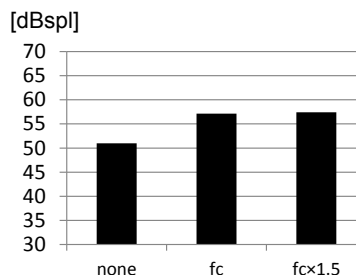


図3 ノイズ性の目標音 (帯域雑音) の周波数 fc と、純音の妨害音の周波数関係と定位の妨害効果の関係

本研究による第一の成果としてハイブリッド車等の接近報知音を空間音響的に再現しながら評価することが可能な評価方法を構築した。第二の成果として聴覚心理的評価方法で、定位に関する多くの有益な知見が得られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0件)

[学会発表] (計 7件)

- ① 竹内 大貴, 中村 紀道, 小貴 匡広, 金子 格, 反射音、残響音が音源定位に与える影響の漸増刺激法による評価, (Proceedings of the auditory research meeting 44(2), pp. 119-124) 2014-03-05, 音響学会聴覚研究委員会, 愛知淑徳大学

(愛知県星ヶ丘)

- ② 竹内 大貴, 小杉 征也, 青柳 祐馬, 金子格, 音源特性が音源定位に与える影響の漸増刺激法による評価, (Proceedings of the auditory research meeting 44(2), pp. 113-118) 2014-03-05, 音響学会聴覚研究委員会, 愛知淑徳大学(愛知県星ヶ丘)
- ③ 竹内 大貴, 金子格, 漸増刺激法によるEV/HEVサイン音の音像定位評価に影響を与える誤差要因の検討, (映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集 (2013), 2-10-1-“2-10-2”) 2013-12-18, 映像情報メディア学会, 芝浦工業大学(東京都)
- ④ 竹内 大貴, 金子格, 漸増刺激法によるEV/HEV車サイン音の音像定位評価の安定性, (情報科学技術フォーラム講演論文集 12(3), pp. 357-358) 2013-08-20, 鳥取大学(鳥取県)
- ⑤ 竹内 大貴, 大山 貴紀, 金子格, EV/HEVサイン音の音源定位評価を目的とした主観評価手法の検討, (Proceedings of the auditory research meeting 43(1), pp. 13-18) 2013-02-02, 音響学会聴覚研究委員会, 金沢大学(石川県金沢市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子格 (KANEKO, Itaru)

東京工芸大学・工学部コンピュータ応用学
科・准教授

研究者番号：70386902