E-2

振幅変調を用いた自動車接近報知音の印象評価と認知性に関する研究

Evaluation Impression and Perception of Amplitude Modulation Alert Sound for Hybrid and Electric Vehicles

野口尚志 [1]，　松田礼 [2]，　町田信夫 [2]
*Takashi Noguchi[1], Hiroshi Matsuda[2], Nobuo Machida[2]

Abstract: The purpose of the present research is the proposal of alert sound for hybrid and electric vehicles considering the recognition and the uncomfortable reduction. The results of the evaluation impression and the perception distance measurement of amplitude modulation alert sound was described in this report.

１．はじめに

電気自動車等の静音性が高い車は歩行者に接近した際，認知が遅れ危険な状況となる．現在は歩行者に車両の接近を認知させる自動車接近報知音（以下，報知音）が搭載されているが，報知音に対する周波数や音量に関する明確な決まりがないため，企業や研究者から様々な報知音が考案され，議論が続いている．

本研究は，歩行者が十分な回避時間を得られる認知性をもち，かつ不快感を与えない報知音モデルを作成し，実験的に検討した．報知音は周波数スペクトル，2 つの卓越周波数域間の音圧レベル差，振幅変調等に着目して作成した．本報では，報知音を振幅変調させることで認知性の向上，印象評価の変化，及び歩行者の行動を考慮したタスクの有無による認知距離の違いについて報告する．

２．印象評価実験

２－１．実験条件

実験では振幅変調させない（変動周期 0 s）報知音モデル（以下，定常音）とこれを振幅変調させた報知音モデル（以下，変動音）を作成した．また，事前調査[2)]より市販の報知音の一部は，高齢者が聴取し易いとされる 630 Hz，聴感特性において感度がよい 4000 Hz の 2 つの周波数域を卓越させていることが分かっている．

上記の結果より，定常音は周波数のパワースペクトルと音圧レベルが一定の白色雑音を加工した 1/3 オクターブバンド雑音に Table 1 に示す卓越周波数Ⅰ，Ⅱを設定した．変動音は，定常音を振幅変調させると印象評価や認知距離に影響が出るのではないかと考え，2 種類の変動周期（0.5，1 s）を設定した．また，卓越周波数Ⅰの音圧レベルを基準とし，卓越周波数Ⅱとの間に音圧レベル差（0，10 dB）を与えた．報知音モデルの音量は被験者の耳元で $L_{AeqT=20[s]}$63 dB になるよう統一した．

Table 1.　Sound conditions

卓越周波数Ⅰ Hz	卓越周波数Ⅱ Hz	音圧レベル差 dB	変動周期 s
630	2000 2500 3150 4000	0 10	0 0.5 1

２－２．実験方法

床面積 3.2 m^2，高さ 2.3 m，暗騒音 L_A30±2 dB の防音室内で，報知音用のスピーカー1 基，背景音用のスピーカー2 基の計 3 基を用いて実験を行った．被験者は健常な 22±1 歳の男子大学生延べ 16 名である．実験は，防音室内の椅子に被験者を着座させ，背景音として大学近隣の閑静な住宅街にて録音した環境音 $L_{AeqT=40[s]}$45 dB を 40 秒間暴露する．そして，背景音を暴露したまま報知音モデルを 20 秒間暴露し，その後印象評価アンケートの記入，及び安静時間を 1 分間とった．アンケート記入の際は，「ハイブリッド車や電気自動車に搭載する疑似走行音としての音色評価である」と教示した．本実験の評価項目は，各報知音モデルに対しする印象評価を「快い－不快」，「好き－嫌い」等の 12 項目の形容詞尺度で，両極 7 段階の評定尺度法により検討した．

３．認知距離測定実験

３－１．実験条件

実験は，JIS D 8301「自動車の車外騒音測定のための試験用路面」を満たす，日本大学理工学部船橋校舎の交通総合試験路（暗騒音 L_A 46±2 dB）で行った．本実験では細い道路を想定し，道幅 3 m，直線距離 100 m のコースを設定した．音条件は印象評価実験と同様である．音量は車両の前方 2 m の位置で L_A 63 dB になるようにした．また，実際に電気自動車等から報知音が発せられる時の車両速度が 20 km/h 以下のため，実験時の車両速度は 10 km/h, 20 km/h の 2 種類を設定した．

１：日大理工・院(前)・精機　２：日大理工・教員・精機

３－２．実験方法

報知音を搭載した電気自動車を被験者の後方から接近させ，道路の中心から 2 m，高さ 1.2 m に設置した騒音計に接続したレベルレコーダを用いて車両接近時の走行音を記録した．さらに，レベルレコーダと連動したスイッチを被験者に持たせ，車両の接近に気付いた時点でスイッチを押してもらい，認知距離を測定した．この時，「報知音を搭載した車両が接近してきます．接近を感じて振り向くという時にスイッチを押してください」と教示した．本実験では，歩行者が車両を認知し，安全に避けることのできる最低回避距離を定義した．これを測定結果の基準とし，認知距離として適切な距離として仮定した．最低回避距離は，車両の接近に気付いてから避けるまでに必要な回避時間を 3 s とし，回避時間に車速を乗じて求めた[1].

また，被験者に新聞を読んでもらう軽度のタスクを与えて実験を行い，報知音聴取状況の違いによる認知距離への影響を検討した．

４．実験結果

報知音モデルについて因子分析を行った結果，第Ⅰ因子は評価因子，第Ⅱ因子は質感因子，第Ⅲ因子を活動性因子とし，累積寄与率は 51.60 %であった．

Figure 1 に各報知音モデルと第Ⅰ因子の代表的な評価項目の平均値との関係を示す. 変動周期 1 s の報知音モデルではほぼ全条件において定常音より“快い”，“好き”と評価する傾向がみられた．しかし，変動周期 0.5 s の報知音モデルではほぼ全条件において定常音よりも“不快”，“嫌い”と評価される傾向がみられた．このことより, 変動周期 1 s を用いることで不快感を与えない報知音モデルの作成ができないかと考える．

認知距離測定実験における車速 20 km/h 時の認知距離の結果を Figure 2 に示す. 全条件で車速 20 km/h の最低回避距離（16.8 m）より長くなった．また，変動周期を与えることで定常音の報知音モデルよりも認知距離が長くなり，騒音になり得ることが分かった．

タスク有の車速 20 km/h における認知距離の結果を Figure 3 に示す. 報知音モデル毎に Figure 2 と比較すると, 認知距離は平均 40%程度短くなる傾向がみられた．

本実験では最低回避距離を認知距離として適切な距離とし，最低回避距離に近い報知音モデルが適していると考えた．また，タスクの有無で認知距離が大きく変化しない報知音モデルが認知性が良いと考え，本条件中では卓越周波数 2500 Hz，変動周期 1 s，音圧レベル差 0，10 dB の報知音モデルが適していると考える．

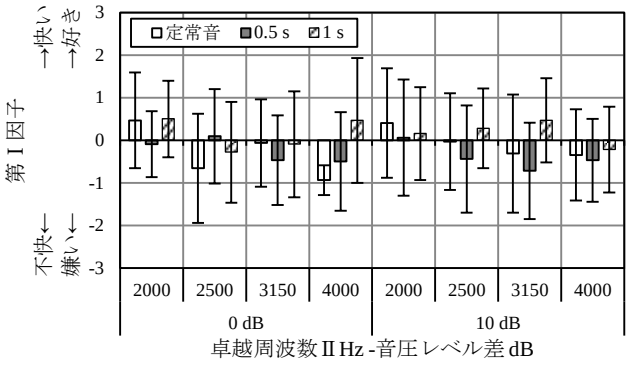

Figure 1. Relationship between first-order factor and peak frequency, sound pressure level difference

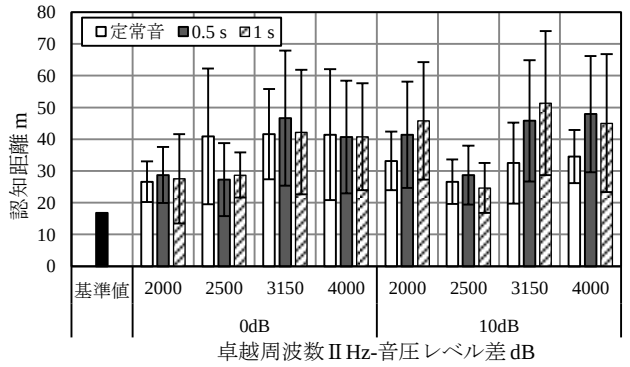

Figure 2. Perceptual distance of alert sound model in vehicle speed 20 km/h

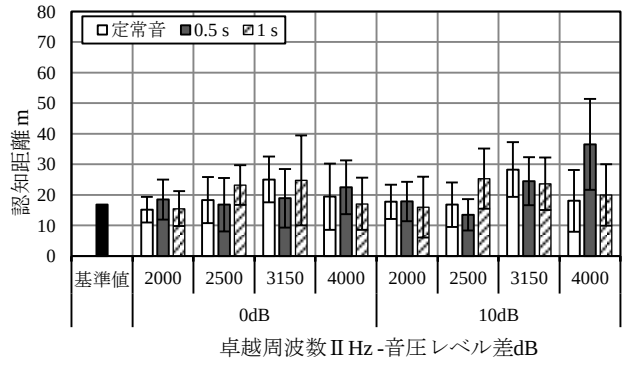

Figure 3. Perceptual distance of alert sound model within task in vehicle speed 20 km/h

５．おわりに

作成した報知音モデルにおいて，印象評価実験より変動周期 1 s のモデルは定常音，変動周期 0.5 s のモデルより“快い”，“好き”と評価されることが分かった．認知距離測定実験では変動周期を付加することで認知距離が長くなり，タスクを与えると認知距離が短くなった．今後は報知音モデルの音量低減，また，歩行者の状況を考慮した報知音が求められると考えられる．

６．参考文献

[1]　野口他:「自動車接近報知音の認知性に関する研究－報知音聴取時の状況の違いについて－」，日本音響学会講演論文集，2015