

機関番号：55201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800080

研究課題名(和文)変動感による認知性と受容性を考慮した電気自動車用接近音の設計

研究課題名(英文) A warning sound for pedestrians based on detectability of approaching electric vehicle and consumer acceptability by fluctuation sound

研究代表者

安井 希子 (Nozomiko, Yasui)

松江工業高等専門学校・情報工学科・助教

研究者番号：80607896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円、(間接経費) 720,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の最終的な目的は、様々な変動を用いて、歩行者が気づきやすく、周辺の住民やドライバーに対して受け入れられる、すなわち、認知性と受容性を考慮した電気自動車(EV)のための接近音を提案することである。まず、変動の速度、周期的な変動における時間および振幅方向の変動によって気づきやすさが変わり、特に、変動感が最大となる接近音は気づきやすい音であることが確認された。次に、振幅包絡の形状を変え、正弦波を用いることで比較的気にならない音になることが確認された。

以上の結果より、変動の速さなどの変動感に影響を与える特徴、振幅包絡の形状を変えることによって、目的の接近音を合成できることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Although the motors equipped on electric vehicles (EVs) are designed to provide calm environments to drivers, pedestrians have trouble recognizing their approach because they are too quiet. Warning sounds have been developed to solve this. However, it is still problematic for pedestrians. This study proposes a warning sound for pedestrians by using amplitude fluctuations for sounds to enhance their ability to be detected and acceptable for neighborhoods. The warning sound with characteristics of the fluctuation of the gasoline engine was synthesized using a procedure proposed in our previous study. A detectability and acceptability by pedestrians were assessed. The result revealed that fluctuating motor sounds effectively enabled people to notice the approaching electric vehicles, and that those sounds are relatively acceptable.

研究分野：音響心理学、音響情報処理

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：電気自動車 接近音 変動感 認知性 排気音

1. 研究開始当初の背景

近年、ガソリン車よりも静音性に優れた電気自動車(Electric Vehicle, EV)が市場に普及しており、今後も増加するとみられている。しかし、低速走行時の音は、環境騒音と比べて静かであるため、歩行者がその接近に気づくことが困難である。これに伴い、国土交通省はハイブリッド車等の静音性に関するガイドラインを定めているが、現在、EV に搭載されている音や先行技術で合成された音はガイドラインを満たしているとは言い難い。また、それ以外の静音性対策も議論されているが、現実的かつ効果的な対策は提案されていない。

2. 研究の目的

ガイドラインを満たすためには、ガイドラインで定められている「EV の接近を気づかせることができる」、すなわち、認知性を確保する必要がある。また、「騒音問題にならない音の大きさ」、言うなれば、ドライバーや屋内の住民など、EV の接近を気づく必要がない人間にとって気にならない、すなわち、受容性の確保が必要であると言える。

歩行者が、自動車が接近してきたと認識する一つの手段として、排気音を聴取することが考えられる。排気音は、音の大きさが周期的に変動しているだけでなく、周期的な変動における時間および振幅方向の変動が含まれている。このような変動音を聴取した際には変動感が知覚されると言われており、変動感が大きい音の方がより気づきやすくなると予想される。このような変動音を聴取した際には変動感が知覚されると言われており、変動感が大きい音の方がより気づきやすくなると予想した。

そこで、本研究では、音の大きさに対する変動感に着目し、国土交通省が定めるガイドラインに沿った、すなわち、認知性と受容性を考慮した接近音を設計する。

3. 研究の方法

過去に、研究代表者は、オートバイの排気音を調査対象とし、変動感に影響を及ぼす特徴として、変動の平均速度、周期的な変動からの時間および振幅方向の逸脱、爆発音における振幅包絡の形状を提案している。また、変動の平均速度に起因する変動を 1 次変動、時間および振幅方向の逸脱に起因する変動を 2 次変動、振幅包絡における形状の変動を 3 次変動と呼んでいる。過去の研究の調査結果より、2 次変動が大きくなると、変動感が大きくなることが示されているため、排気音に含まれる 2 次変動を大きくすることで、音を大きくせずに自動車の接近状態を想起させる接近音が合成できると考えられる。

そこで、ガソリン車の排気音のように音の大きさが変動するモーター音(模擬モーター音)を合成し、1~2 次変動によって認知性を考慮することが可能か否かを検討した。また、

振幅包絡の形状は音の印象に影響を与えるので、その変動である、3 次変動によって受容性を考慮することが可能か否かを検討した。

4. 研究成果

(1) 模擬モーター音の合成

モーター音に、抽出した排気音の 2 次変動を付与することで、排気音のように変動するモーター音を合成することができ、かつ、変動感を知覚させることによって、EV の接近を歩行者に気づかせることもできると考えられる。ただし、その方法では収録音のパターンのみ、すなわち 1 通りの 2 次変動しか付与することができず、様々な大きさの 2 次変動をもつ音を合成することができない。そこで、過去の研究で用いられていたオートバイ排気音の合成方法に基づいて、様々な大きさの 2 次変動をもつ模擬モーター音を合成する。模擬モーター音の合成の処理方法を図 1 に示す。模擬モーター音の合成は、主に排気音からの時間および振幅逸脱の抽出、抽出した逸脱における特徴の抑制または強調、抑制または強調された各逸脱のモーター音への付与に分かれている。

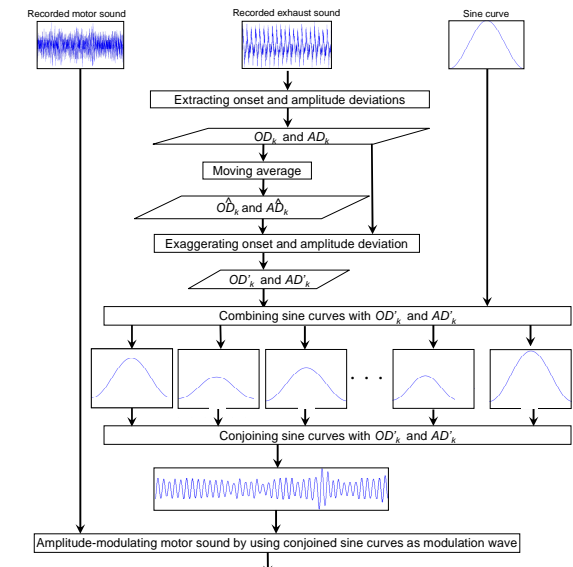


図 1 模擬モーター音の合成方法

時間および振幅逸脱の抽出

時間および振幅逸脱の抽出では、過去の研究と同様に、抽出した振幅包絡を用いて発音時刻を推定し、得られた発音時刻と逸脱がない状態における発音時刻のずれを算出し、それを時間逸脱量 OD_k ($k=1 \sim N$) とする。 k は排気音における爆発音の ID, N は爆発音の総数を表わす。また、得られた発音時刻の振幅と排気音の最大振幅のずれを算出し、振幅逸脱量 AD_k とする。

各逸脱に対する特徴強調

様々な大きさの 2 次変動を含む模擬モーター音を合成するために、過去の研究と同様に、

時間および振幅逸脱を強調する。その強調方法では、各逸脱の「記録データに含まれる逸脱量と逸脱傾向の差分 $p_{i,1}$ 」,「逸脱傾向における全体の変動幅 $p_{i,2}$ 」,「逸脱傾向における隣接2音間の差分 $p_{i,3}$ 」,および「逸脱傾向と逸脱がない状態における値の差分 $p_{i,4}$ 」を操作することにより、逸脱の変化傾向を保持した特徴強調を実現している。

各逸脱のモーター音への付与

1および2次変動を付与した波形を合成し、それをエンベロープとしてモーター音に付与することで、そのような問題を改善した模擬モーター音を合成する。

まず、図1で示したようなサイン波を用意し、それに対して、各発音時刻における時間および振幅逸脱を付与する。時間逸脱を付与する場合は、合成する音における1次変動の周期を算出し、時間逸脱を付与した際の発音間隔を求める。求めた時間長のサイン波を合成する。振幅逸脱を付与する場合は、時間逸脱を付与したサイン波の振幅に振幅逸脱を掛け合わせる。時間および振幅逸脱を付与した各サイン波をそれぞれつなぎ合わせることで、振幅変調音における変調波を合成する。最後に、得られた変調波を5秒のモーター音にかけることで、模擬モーター音を合成する。

(2) 認知性に対する成果

調査概要

人間は様々な環境音の聴取下において、EVの接近を気づかなければならないため、そのような状況下であっても、モーター音の場合よりも低い提示レベルで模擬モーター音の存在がわかれば、EVの接近を気づかせやすい接近音として模擬モーター音を提案できる。そこで、環境音聴取下における、モーター音や模擬モーター音の聴取可能な提示レベルを調査することで、EVの接近をより気づかせやすい、認知性を考慮した接近音を検討する。本研究では、環境音を聴取している状態で接近音も同時に聴取可能な状態のことを「電気自動車の接近を気づくことができる状態」とする。その際の接近音の提示レベルが小さければ小さいほど、騒音問題にならない音の大きさをEVの接近を歩行者に気づかせることができるという理由から、ガイドラインで示された条件を満たしていると言える。そこで、2次変動の大きさが異なる模擬モーター音間で、電気自動車の接近を気づくことができる最小の提示レベルを比較する。

まず、基本的な変動の特徴、変動の速さ、すなわち、1次変動による変動感が認知性に影響を与えるか否かを調査した。変動の速さとは、エンベロープの基本周波数を意味している。次に、周期的な変動における時間および振幅方向の変動、すなわち2次変動による変動感が認知性に影響を与えるか否かを調査した。

具体的には、防音室内で評価者5名に対し

て環境音聴取時における模擬モーター音の有無を判断させた。用いた刺激音は、各特徴を変化させた模擬モーター音と収録した1通りのモーター音、用いた環境音は定常的なピンクノイズである。実験は、極限法を用いて行なわれており、刺激音と環境音における音響パワーの差を1dB増加または減少させたものを聴かせ、刺激音が「聞こえた」または「聞こえない」を回答させており、最初の回答結果と異なる回答が4回続くまで、環境音と刺激音を重ね合わせた音を呈示した。

調査結果

各評価者による各呈示音に対する回答結果から絶対閾(AL)を求め、各刺激音におけるALの平均を算出した。

図2に、変動の速さに対する調査結果を示す。図2内の $Sf, od, ad (f=4, 8, 12, 16, 20, 22; od=0; ad=0)$ は模擬モーター音、 S_M はモーター音を意味している。図2より、 Sf, od, ad におけるALの平均値は S_M におけるALの平均値よりも小さいことが確認できる。また、 $S_{4,0,0}$ における平均値が最も低いことが確認できる。よって、模擬モーター音の方が、収録したモーター音よりも、環境音聴取時において刺激音を聴取可能な最小の提示レベルが小さいことが確認できる。変調周波数が約4~8Hzの時に変動感が大きくなり、それ以外の範囲では変動感は小さくなるが示されている。よって、4Hzの時は変動感が大きいと、気づきやすかったと考えられる。エンベロープの基本周波数が大きくなる、すなわち、変動感が小さくなるにつれてALの平均が大きくなることから、認知性に1次変動による変動感が影響を与えていることが確認された。

図3に2次変動に対する調査結果を示す。図3より、2次変動を付与することで、絶対閾の平均が小さくなることが確認できる。よって、2次変動によって変動感を大きくさせることで、認知性が向上することが示唆された。

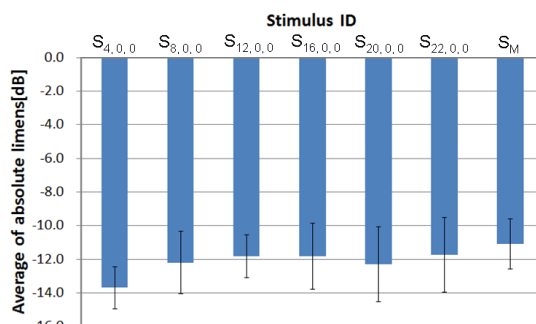


図2 変動の速さに対する調査結果

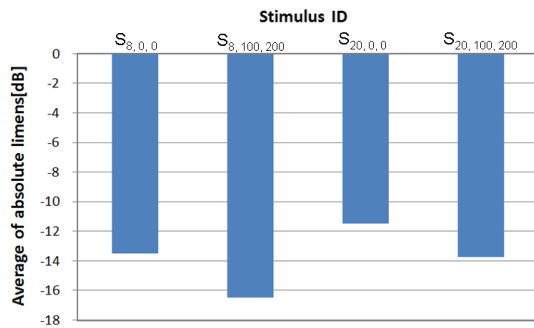


図3 2次変動に対する調査結果

以上の結果より、変動感に影響を与える特徴によって認知性を考慮できることが示唆された。

(3) 受容性に対する成果

(2)で示された、認知性を考慮した模擬モーター音における変動の形状、すなわち、接近音における振幅包絡の形状を変えることによって、印象が変わるか否かをアンケート調査した。その結果、正弦波を用いた場合、比較的、気にならない音になることが確認された。よって、接近音における振幅包絡の形状によって受容性を考慮できることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

Nozomiko YASUI, Masanobu MIURA, “Relationship between characteristics of amplitude fluctuation and detectability of warning sounds for electric vehicle”, 7th Forum Acusticum 2014 (2014).

安井希子, 三浦雅展, “変動感による気づきやすさへの影響に基づいたEV接近報知音の設計と評価”, 日本音響学会2013年秋季研究発表会, 2-5-6, pp. 1501-1504 (2013)

Nozomiko YASUI, Masanobu MIURA, “Effect of non-periodic fluctuation sound for detectability of approaching quiet vehicle”, Proc. Inter-noise 2013, DVD-ROM, 667 (2013).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安井 希子 (YASUI, Nozomiko)

松江工業高等専門学校・情報工学科・助教

研究者番号：80607896