

安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発(第6報)

— 音センサ —

久富 茂樹 平湯 秀和 田畑 克彦

Development of Sensors for a Safety Driving System of Electric Senior Vehicles (6th Report)

- A Sound Sensor -

Shigeki KUDOMI Hidekazu HIRAYU Katsuhiko TABATA

あらまし 歩行の困難な高齢者が活動的な生活を送るための有用なツールの一つである電動ビークルを対象として、当所では、事故の危険を検知するための安全装置を開発している。本稿では、後方からの車の音を検出して運転者に注意喚起する音センサの開発について報告する。本年度は、電動ビークルに音センサを搭載して走行する際に問題となる電動ビークル自体の走行音の影響を調べた。電動車いすに音センサを取り付け、走行音の影響を調べたところ、振動によるノイズ音が昨年度検討した車の接近を検出するための評価指標値に影響を及ぼし、車の接近と誤検知することがわかった。ノイズ音と車の接近音の特徴の違いを利用してノイズ音を除去する処理を導入したところ、電動車いすの走行音による誤検知を低減することができた。また、電動ビークルへの搭載に向けてセンサシステムの小型化について検討した。

キーワード 電動ビークル, 安全装置, 音, マイクロホンアレイ, ノイズ

1. はじめに

高齢者の生活を支えるツールとして電動ビークルは広く利用されつつあるが、加齢による認識力低下による操作ミスが原因で、障害物との衝突、歩行者や車との接触などの事故が問題となっている。当所では昨年度から、電動ビークルを安全に運転するため、障害物の接近や危険箇所をセンサで検知し、安全な走行を実現する安全装置を開発している^[1~3]。

本稿ではその一つとして開発している音センサについて報告する。高齢になり聴覚が低下してくると、接近してくる車の音に気づかず、不用意な進路変更で車と接触事故を起こす危険がある。本研究では、特に問題となる後方からの車の接近を想定して、電動ビークル後方の車のクラクション音、エンジン音、走行音などをマイクロホンで検出し、運転者に注意喚起する装置を開発している。昨年度は、後方から接近する車の検出精度を高めるために、後方の指向性を高めたマイクロホンアレイの設計、車の接近を検出するための評価指標値の検討を行った。低騒音下の屋外において、三脚に固定したマイクロホンアレイを用い、10m 後方の車のクラクション音の検出が可能であることと、徐行して接近してくる車の走行音を5m 離れた地点で検出が可能であることを確認した。本年度は、音センサを電動ビークルに搭載した際に問題

となる電動ビークル自体の走行音の影響を検討するとともに、電動ビークルへの搭載に向けて、システムの小型化について検討したので報告する。

2. 電動ビークル走行音の影響

電動ビークルに音センサを搭載して走行すると、電動ビークル自身の走行音も音センサで検出して、接近する車の検出に影響を及ぼすことが懸念される。音センサを搭載する電動ビークルは開発中のため、今回は、当所にある電動車いすに音センサを取り付け、走行音の影響を評価した。

2. 1 測定方法

音センサは、昨年度試作したマイクロホンアレイと同様に、6個のエレクトレットコンデンサ型マイクロホンを水平方向に6cm間隔で直線上に配置した構造とし、電動車いすの座席背面に取り付けた。各マイクロホンの信号を、バンドパスフィルタ（通過周波数：1.5kHz～4kHz）に通過させた後、0～5Vの電圧レンジに収まるように、オペアンプで増幅した。その後、AD変換モジュールを介して、25.6kHzのサンプリングでコントローラ（National Instruments製 cRIO-9068）に取り込み、各信号を使用して、DS法^[4]によりビームフォーミングを形成した。図1にマイクロホンアレイの指向性を示す。電動車いす後方を0

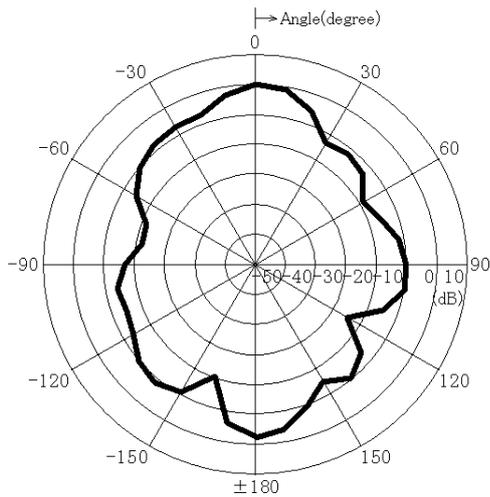


図1 マイクロホンアレイ指向性 (2kHz)



図2 電動車いす走行音の実験

度とし、10度間隔で角度を変えて、2kHzの正弦波の音をスピーカから出力した。そのときのマイクロホンアレイ出力を測定し、FFT解析を行い2kHzのパワースペクトル値を求めた。0度方向の値を基準としてそれぞれの方向の値をデシベルで示した。電動車いすの前後方向からの音に対して感度が高く、横方向からの音に対して感度が低くなっていることがわかる。これによって、後方からの車の接近に対する音の指向性を高めた。

2. 2 電動車いす走行音の解析

図2に示す石畳状になっている歩道での電動車いす走

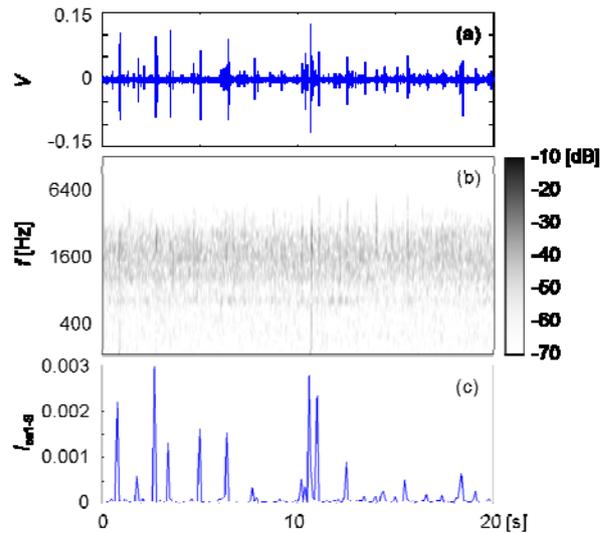


図3 電動車いす走行音

(a) 時系列波形, (b) ウェーブレット変換, (c) 評価指標値

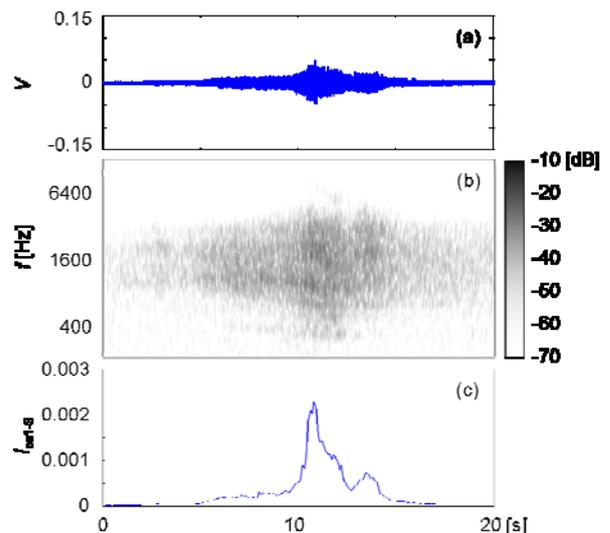
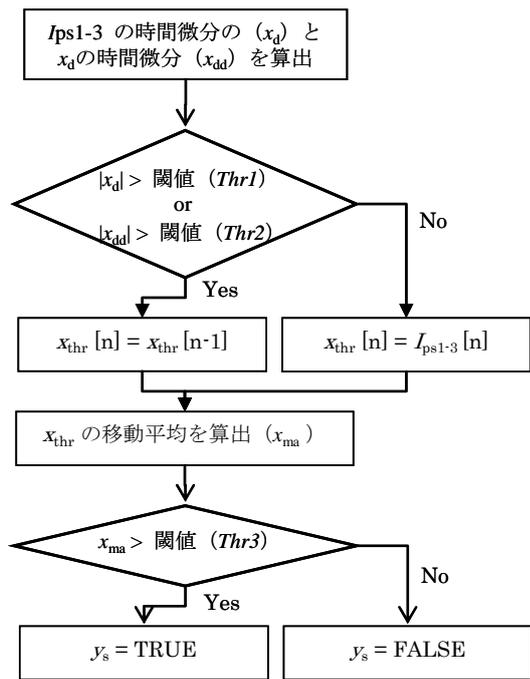


図4 車の通過音

(a) 時系列波形, (b) ウェーブレット変換, (c) 評価指標値

行音を取得した。図3に走行音の測定結果を示す。図3(a)はマイクロホンアレイの出力電圧波形を、電圧レンジを基準として正規化し、平均値が0になるようにオフセットした波形である。図3(b)はウェーブレット変換により時間一周波数解析を行った結果である。また、図3(c)には、昨年度と同様にして求めた車接近の評価指標値 (I_{ps1-3})^[3]を示す。

電動車いすが歩道の石畳の隙間を通過する際の振動により電動車いすの機構部から発生した音や、歩道の小枝や小石を踏んだときの音がマイクロホンで検出された。図3(a)で時折パルス状に音圧が高くなっている部分はその信号に該当する。図3(b)のウェーブレット変換結果



x_d : I_{psl-3} の時間微分
 x_{dd} : x_d の時間微分
 x_{thr} : の整形値 (ノイズ除去)
 x_{ma} : 改良した評価値
 y_s : 車接近の判定結果

図5 車接近判別のフローチャート

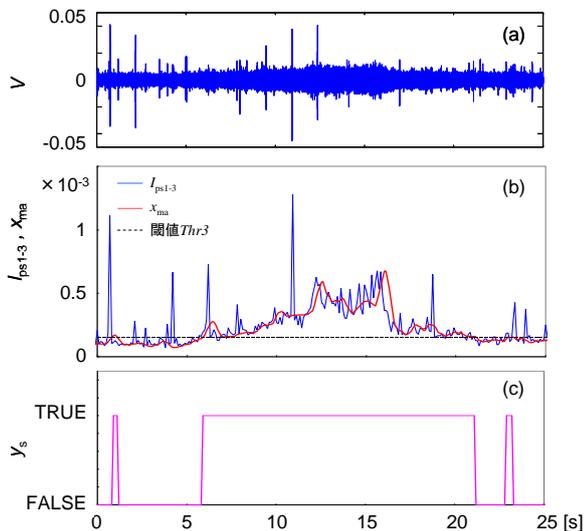


図6 車接近音検出結果

(a) 時系列波形, (b) 評価指標値, (c) 車接近の判定結果

から、その音の周波数特性は広い帯域に渡っており、車

の接近を判別する評価指標値で使用している1kHz～3kHz帯にも含まれることが確認できる。そのため、図3(c)に示すように、ノイズ音により評価指標値が大きくなり、車の接近と誤検出する。なお、電動車いすのモータなどの駆動音は音圧が小さく、評価指標値に大きな影響を与えるものではなかった。

2. 3 車接近判別アルゴリズムの改良

前節で示したように、昨年度示した車接近判別の評価指標値では、電動車いす自体の走行時のノイズ音により、頻繁に誤検出することがわかった。開発する電動ビークルでも同様の問題が生じることは十分に予想されるため、その対策が必要である。

車の接近音と比較するために、電動車いすは停止状態とし、図2に示す道路で、電動車いすの後方から車道を走行して接近し追い越していく車の走行音を測定した。歩道と車道とは約2m離れている。図4に測定した結果を示す。結果の構成は図3の場合と同様である。図3(c)と図4(c)を比較すると、図4(c)では I_{psl-3} が徐々に変化する波形であるのに対して、図3(c)ではパルス状の波形になっていることがわかる。そこで、 I_{psl-3} の変化が急激な場合はその値を採用しないようにするアルゴリズムを検討した。図5にフローチャートを示す。

まず、 I_{psl-3} の変化量を知るために、 I_{psl-3} の時間微分(x_d)と、 x_d の時間微分(x_{dd})を求める。パルス状の波形の場合、速度成分に相当する x_d や加速度成分に相当する x_{dd} は大きくなるはずである。そこで、 x_d の大きさ、または、 x_{dd} の大きさが閾値以上になった場合にはその値は採用せず、1サンプリング前の値を採用することにした。次に、データ数を5とした移動平均を求めたことでデータを平滑化した(x_{ma})。求めた値と閾値($Thr3$)を比較し、閾値を超えていれば、車接近の判定結果(y_s)をTRUEにした。予備実験の結果から、今回のシステムでは、閾値 $Thr1$ と閾値 $Thr2$ はともに0.001に、閾値 $Thr3$ は 1.5×10^{-4} に設定した。

2. 4 車接近音検出

改良したアルゴリズムを使用して、車の接近音を検出する実験を行った。2.1節で述べた装置を用いて、2.2節と同様に、図2の石畳状の歩道を電動車いすで走行した。そのときに、隣の車道を後方から接近し追い越していく車の走行音を測定した。結果の一例を図6に示す。図6(a)は、マイクロホンアレイの出力電圧波形を、電圧レンジを基準として正規化し、平均値が0になるようにオフセットした波形、図6(b)は、評価指標値 I_{psl-3} と改良したアルゴリズムで求めた x_{ma} 、図6(c)は、閾値によって車の接近を判定した結果である。

図6(b)の I_{psl-3} を見ると、所々値がパルス状に急激に変化している。これは、2.2節で示したように、電動車いすの走行により発生したノイズ音の影響である。5s付近から、車道を走行する車の接近に伴い、 I_{psl-3} が徐々に増大している。12s付近で一度ピークになり14s付近にかけて

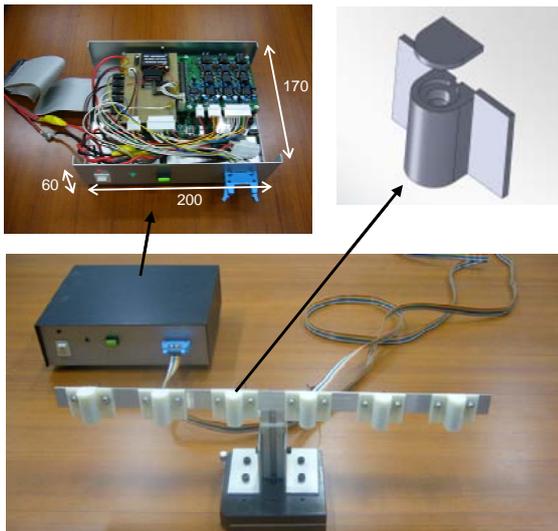


図7 小型化した計測システム

一時減少し、16s付近でもう一度ピークを迎えてその後徐々に減少している。この間も電動車いすの走行によるノイズ音が時々重畳している。なお、14s付近で一時的に減少傾向にあるのは、図1で示したようにマイクロホンアレイが電動車いす後方の音を強調して取得できるように設計されているため、車道を走行する車が電動車いすの横を通りすぎる時には、指向性が悪くなり、 I_{ps1-3} が減少する。車が電動車いすを追い越すと、前方からの音が回折してマイクロホンアレイに到達するため、再び指向性が高くなり、 I_{ps1-3} が増大していると考えられる。

今回改良した評価値である x_{ma} を見ると、電動車いす走行時のノイズ音の影響を受けることなく、車の接近に伴う緩やかな変化成分のみが抽出できていることがわかる。閾値で車の接近を判定した結果である y_s を見ると、若干誤判定しているところはあるが、電動車いす走行時に発生するノイズ音の影響による誤検出が低減できていることがわかる。

開発する電動ビークルと今回実験で使用した電動車いすとは、構造が異なることから、発生する走行音は異なる可能性がある。しかし、今回の実験と同様にパルス状のノイズ音の発生が十分に考えられるため、今回得られた知見を今後の開発に活用する。

3. 計測装置の小型化

前章で使用したシステムは、開発の容易性を優先させたことと、データ保存が必要であったため、ノートPCとコントローラを使用したセンサシステムであった。その状態では電動ビークルに搭載することが困難であることから、システムの小型化を検討した。

図7に小型化したシステムを示す。入出力と計測コントローラ部には、マイコンとFPGAが搭載されている基板

(National Instruments製 sbRIO-9623)を使用した。マイクロホンのアンプ・フィルタ回路部の小型化と安定化のため専用基板を設計した。これにより、計測コントローラとアンプ・フィルタ回路を $200 \times 170 \times 60\text{mm}$ のボックスに収まるサイズになった。マイクロホンアレイについては、より小型のマイクロホンを使用して小型化を図るとともに、マイクロホンが雨に濡れないよう円筒型のカバーを設計・試作した。円筒の下側から音が回折により入り込む構造になっており、風音の影響を低減するために円筒内部には防風用のスポンジを入れた。小型化により、電動ビークルへの実装に対して、寸法上の目処がついた。

今後、前章で検討したアルゴリズムを実装して、車の接近音検出を検証する。

4. まとめ

電動ビークルの安全装置の一つとして開発している音センサについて、電動ビークル自体の走行音の影響を調べた。走行時に発生するノイズ音が、車の接近を検出するための評価指標値に影響を及ぼし、車の接近と誤検知することがわかった。ノイズ音と車の接近音の特徴の違いを利用してノイズ音を除去する処理を導入したところ、走行音による誤検出を低減することができた。また、電動ビークルへの搭載に向けてセンサシステムの小型化を実施した。

今後は、いろいろな環境で走行実験を行い、ノイズ音の影響を評価しその対策を検討する。

謝辞

本研究で試作した部品の一部は、公益財団法人JKAの補助事業で導入した三次元造形機で製作しました。

文献

- [1] 平湯秀和, 田畑克彦, 久富茂樹, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第1報) -カメラセンサ”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp.9-14, 2015.
- [2] 田畑克彦, 平湯秀和, 久富茂樹, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第2報) -超音波フェーズドアレイソナー”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp.15-20, 2015.
- [3] 久富茂樹, 平湯秀和, 田畑克彦, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第3報) -音センサー”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp.21-24, 2015.
- [4] 浅野太, “音のアレイ信号処理 -音源の定位・追跡と分離-”, pp.71-79, コロナ社, 2011.