

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 －

久富 茂樹 平湯 秀和 田畑 克彦

Development of Sensors for a Safety Driving System of Electric Wheelchair (3st Report)

- A Sound Sensor -

Shigeki KUDOMI Hidekazu HIRAYU Katsuhiko TABATA

あらまし 電動ビークルは、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。しかしながら、加齢による認識力の低下に起因した操作ミスによる障害物、歩行者または車との接触などの事故が多発している。そこで、本研究では、事故の危険を検知するための安全装置の一つとして、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を開発する。本年度は、車の音の検出方法を検討し、低騒音下の屋外において、10m 後方の車のクラクション音の検出と、5m 後方の車の徐行音の検出が可能であった。また、マイクロホンアレイを用いた音源分離技術を適用することで、ノイズ低減効果があることを確認した。

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、遅延和法

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。当所では本年度から、電動車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^[1,2]。

本稿では安全装置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、ロードノイズ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する。また、後方からの音を選択的に取得するために、マイクロホンアレイを使用した音源分離技術を適用してノイズ低減を図る。本年度は、車道と歩道が分離されていないような比較的狭い道路において、車が電動ビークルを追い越す状況を想定して、低騒音下の屋外で、(1) 10m 後方の車のクラクション音を検出する、(2) 5m 後方の車の徐行音を検出する、という目標を立て研究を実施した。

2. 車の音計測

2. 1 クラクション音

リニアPCMレコーダ (zoom製 H4n) を使用して、24bit 分解能、96kHzサンプリングの設定で、車のクラクション音を測定した。周囲の雑音が比較的少ない屋外で、車と測定器の距離は10mとした。また、予めクラクション音を測定し、録音レベルがオーバーしないように、レベル調整した状態で計測した。

図1にクラクション音の時系列波形の一例を示す。時系列波形から、瞬間的に大きな音圧が発生していることがわかる。環境音と比べても十分に音圧が大きく、低騒音の環境下では、音圧に適切な閾値を設定することでクラクション音の検出ができることを確認した。

2. 2 エンジン音

車のエンジン音を測定し、ウェーブレット変換による時間-周波数解析を行った。測定はクラクション音の測定と同様である。ただし、車と測定器の距離は5mとした。図2にエンジン音の時系列波形とウェーブレット変換結果の一例を示す。測定開始後約4.5sの時点で



図1 クラクション音の時系列波形

エンジンを始動している。エンジン始動時は音圧も高く、高い周波数成分まで含んでいる。しかし、その後のアイドリング状態では、音圧はそれほど高くない。10sの時点から1秒間のデータを切り出して、アイドリング状態のパワースペクトルを求めた。図3にその結果を示す。この測定では、32Hz付近と97Hz付近の周波数成分が強く現れた。

2. 3 車の走行音

同様の方法で車の走行音を測定し、ウェーブレットによる解析を行った。測定場所は、1分間に4~5台程度の車が通行する交通量で、車の走行音の他に目立った騒音はなかった。ただし、測定日は風速7~8m/sの風の強い日であった。予備測定を行い、録音レベルがオーバーしないように、測定器のレベルを調整した。

図4に測定した走行音の解析結果を示す。車の図がある時間帯に車が走行したことを示している。時系列波形を見ると、車の走行とは関係なく振幅が大きくなっている。測定した音を聞くと、振幅が大きい時間帯には、強く吹く風の音が記録されていた。ウェーブレット変換結果から、全時間域において1kHz以下の周波数成分が多く含まれていた。車の走行がなく風だけが吹いている時間帯では、1kHz以上の周波数成分は小さかったが、車が走行している時間帯では、1kHz以上の周波数成分も多く含まれることがわかった。風の強い日に車の走行音を測定した結果、車の走行音も1kHz以下の周波数成分のほうが多く含まれていた。しかし、風が強く吹くと、図4に示したように走行音の1kHz以下の周波数成分は風音に埋もれてしまい検出が困難であった。そのため、車の徐行音は1kHz以上の周波数域で評価し検出する必要があることがわかった。

2. 4 評価指標の検討

実際に電動ビークルに搭載する際には、逐次信号処理をしてクラクション音、徐行音を検出する必要がある

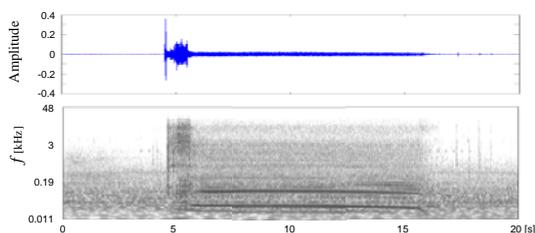


図2 エンジン音の時系列波形とウェーブレット変換

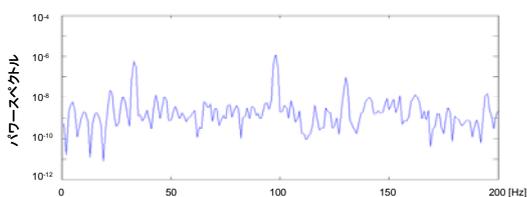


図3 アイドリング状態のパワースペクトル

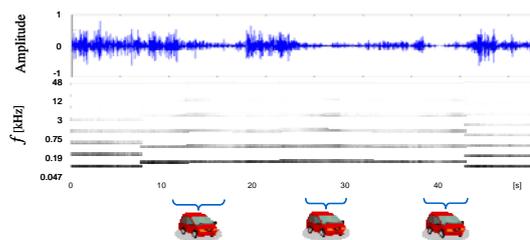


図4 走行音の時系列波形とウェーブレット変換

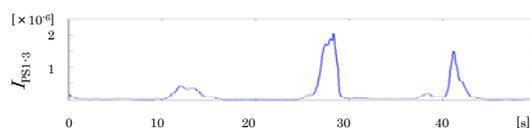


図5 評価指標値

る。特に検出が難しいと予想される車の徐行音について、2.3 節で測定したデータに対して、以下のような手順で処理を行い、評価指標値 (I_{psl-3} と記述する) を求めた。

- (1) 9,600個 (0.1秒間) のデータの切り出し
- (2) 窓関数 (Hanning 窓)
- (3) パワースペクトルを求め、1~3kHzの合計を算出
- (4) 移動平均 (平均数: 5)

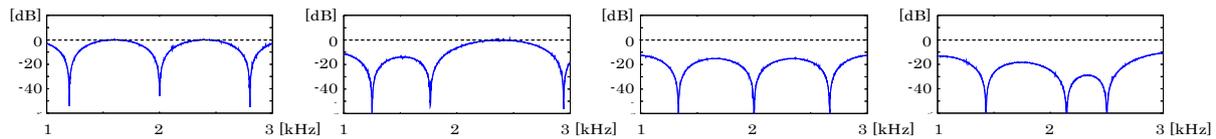
評価指標値の結果を図5に示す。車の種類や走行状態によって大きさは異なるが、車の通過時に評価指標の値が大きくなっており、車の走行音を検出できることがわかった。

3. マイクロホンアレイ

3. 1 マイクロホンアレイの設計

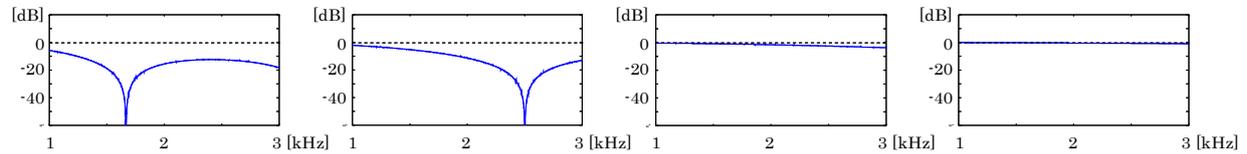
クラクション音は環境音に比べて音圧が十分に高く、その検出は比較的容易であるが、徐行音は音圧が小さく周囲の雑音によって検出が困難になることが予想される。複数のマイクロホン (マイクロホンアレイ) を使用し、所望の到来方向の音を選択的に取得する方法として音源分離技術がある^[3]。筆者らはこれまでに、この技術を利用して、切削加工時における加工音を選択的に取得し、工具摩耗評価を行う研究を行ってきた^[4]。今回は、前述の研究でも使用し、比較的計算負荷の少ない遅延和法 (DS法) を用いて、電動ビークル後方の音を選択的に取得して車の徐行音を検出することとする。そこで、今回の計測に適したマイクロホンアレイの設計を行うためにシミュレーションによる検討を行った。

はじめに、アレイ長 (両端のマイクロホンの距離) を0.6mに固定して、マイクロホン数を2, 4, 6, 8個と変えた。アレイの正面方向を0degとして、ホワイトノイズが 45deg方向から到来した時の各チャンネルの波形を計算し、DS法を適用した場合の信号についてパワ

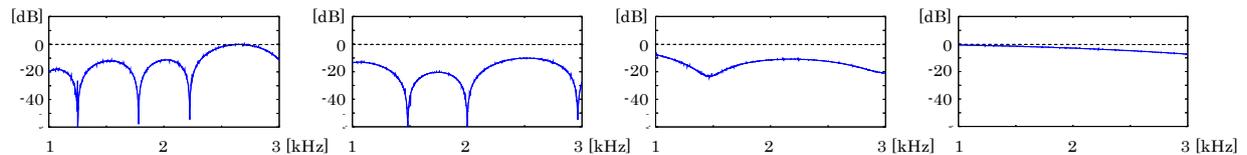


マイク数:2(マイク間隔:0.6 [m]) マイク数:4(マイク間隔:0.2 [m]) マイク数:6(マイク間隔:0.12 [m]) マイク数:8(マイク間隔:0.0857 [m])

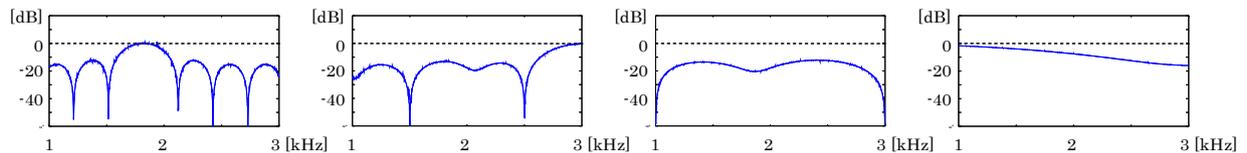
図6 DS法シミュレーション (マイク数の影響)



アレイ長:1 [m], 音源方向:10 [deg] アレイ長:0.6 [m], 音源方向:10 [deg] アレイ長:0.3 [m], 音源方向:10 [deg] アレイ長:0.1 [m], 音源方向:10 [deg]



アレイ長:1 [m], 音源方向:40 [deg] アレイ長:0.6 [m], 音源方向:40 [deg] アレイ長:0.3 [m], 音源方向:40 [deg] アレイ長:0.1 [m], 音源方向:40 [deg]



アレイ長:1 [m], 音源方向:70 [deg] アレイ長:0.6 [m], 音源方向:70 [deg] アレイ長:0.3 [m], 音源方向:70 [deg] アレイ長:0.1 [m], 音源方向:70 [deg]

図7 DS法シミュレーション (アレイ長と音源方向の影響)

ースペクトルを求めた。図6にシミュレーション結果を示す。横軸は周波数で、今回解析対象とする1~3kHzの範囲について表示した。縦軸はDS法を行った後の信号のパワースペクトルで、元の信号のパワースペクトルを基準にデシベルで表示した。マイクロホン数が2個および4個の時は、信号の減衰効果がほとんどない周波数帯が存在するのに対し、6個および8個の時は、1~3kHzのすべての周波数域において10dB以上信号が減衰した。コスト面でもできるだけマイクロホン数は少ない方がよいため、マイクロホン数は6個として設計することにした。

次に、マイクロホン数を6個に固定して、アレイ長、音源方向をパラメータとして変化させた。図7にシミュレーション結果を示す。音源方向が10degの時は、車の接近方向であり、できるだけ減衰しないことが好ましい。斜め方向(40deg)や横方向(70deg)からの音に関しては、ノイズと見なして、できるだけ減衰量を大きくするという方針で各結果を検証した。その結果、アレイ長が0.3mの時に、これらの条件を両方とも満足しているため、アレイ長は0.3mとした。なお、これは電動ビークルに実装可能なサイズである。

3. 2 マイクロホンアレイの試作

前節の設計に基づき、マイクロホンアレイを試作した。マイクロホンはエレクトレットコンデンサマイク

(DBProducts製 C9767BB422LF-P)を使用した。三次元造形機でカバーを製作し、6cm間隔で下向きに並べてアレイにした。試作したマイクロホンアレイとアンプを図8に示す。風によるレンジオーバーを防ぐために、マイクロホンの前面にスポンジのフードを取り付け、アンプ部には、Sallen-Key形3次ハイパスフィルタ(カットオフ周波数:1kHz)を実装して、解析に不必要な低周波数域をカットするようにした。なお、マイクロホンを下向きに取り付けると、前向きに比べて約3dB(at 2kHz)感度が低下したが、最終的に必要となる防雨構造を考慮してこのような構造にした。

4. 車の音検出

DS法による音源分離アルゴリズムと2章で検討した車のクラクション音、徐行音の検出アルゴリズムをコントローラ(National Instruments製 cRIO-9068)に組み込んだ。マイクロホンアレイの各信号はAD変換モジュールを介して、25.6kHzのサンプリング速度でコントローラに取り込み、2,560サンプリング(0.1s)ごとにデータ処理を行った。

4. 1 徐行音とクラクション音の検出

処理したデータに対して閾値を設定し、閾値以上になったとき、モニタ上に作成したLEDを2秒間点灯させ

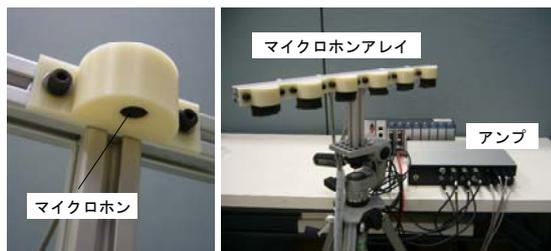


図8 試作したマイクロホンアレイとアンプ

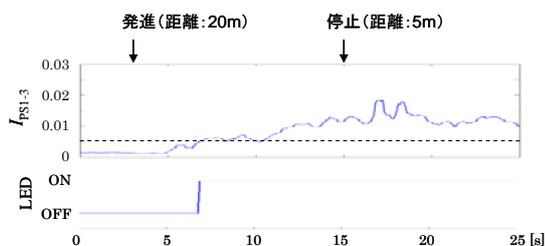


図9 徐行音の評価指標とLEDのON/OFF状態

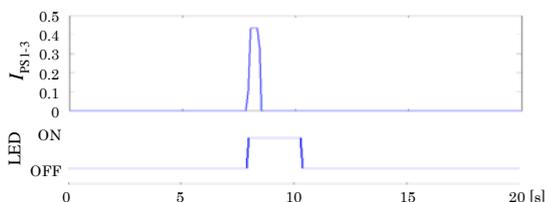


図10 クラクシヨンの評価指標とLEDのON/OFF状態



図11 横方向からのノイズの評価指標とLEDのON/OFF状態

るプログラムを作成した。マイクロホンアレイから20m離れた位置から、5mの位置まで徐行して接近した時の評価指標値とLEDのON-OFFの状態を図9に示す。車の接近を判定するための評価指標の閾値は0.005とした(図中の破線)。測定開始後、約3s後に車が発進すると徐々に評価値は高くなり設定した閾値を超えた時点でLEDが点灯した。15sの時点で5mまで接近したときに車を停止し、アイドリング状態を維持した。車の停止後に評価指標値が2度大きくなっているが、これはセレクトレバー操作とパーキングブレーキ操作の音によるものである。別の車種での実験でも同様に5m以上離れた位置で徐行音を検出することができた。

マイクロホンアレイと車との距離を10mにして、車のクラクシヨンを鳴らしたときの評価指標値とLEDのON-OFFの状態を図10に示す。判定に使用したプロ

ラム及びパラメータ値は、徐行音検出で使用したものと同一である。クラクシヨンを鳴らすとほぼ同時にLEDが点灯し、2秒間その状態を保っていた。同じプログラムで、車の徐行音とクラクシヨンの検出を行うことができた。

4. 2 マイクロホンアレイのノイズ低減効果

エンジンをかけて停車している車をノイズ源と見なし、マイクロホンアレイの真横から音が到来するようにして測定を行った。車とマイクロホンアレイの距離は5mとした。図11に結果を示す。評価指標値は閾値に達しておらずLEDは点灯しなかった。横方向からの音に関しては、マイクロホンアレイの設計どおり、DS法によって信号が減衰していることを確認した。

5. 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、低騒音下の屋外において、10m後方の車のクラクシヨンの検出と、5m後方の車の徐行音の検出を行うことができた。また、マイクロホンアレイを使用してDS法を適用することにより、横方向からのノイズ低減効果があることを確認した。

今後は、電動ビークルに組み込めるように装置の小型化を進めるとともに、電動ビークルから発生する音の影響を調べ、対策を考えていきたい。

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)ーカメラセンサー”, 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)ー超音波フェーズドアレイセンサー”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp.15-20, 2015.
- [3] 浅野太, “音のアレイ信号処理ー音源の定位・追跡と分離ー”, pp.69-102, コロナ社, 2011.
- [4] 久富茂樹, 坂東直行, “音源分離技術を用いた切削音による工具摩耗評価”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第14号, pp.33-36, 2013.