

安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発(第10報)

— センサシステムの電動車いすへの搭載 —

久富 茂樹 藤井 勝敏 窪田 直樹

Development of Sensors for a Safety Driving System of Electric Senior Vehicles (10th Report)

- Attachment of sensors -

Shigeki KUDOMI Katsutoshi FUJII Naoki KUBOTA

あらまし 高齢者の生活を支えるツールの一つである電動車いすに対して、事故の危険を検知する安全装置を開発している。これまでに、障害物を検出する超音波フェーズドアレイソナー、車線逸脱を検出するイメージセンサ、車の接近を検出する音センサをそれぞれ開発してきた。本年度は、これらの3種類のセンサシステムを電動車いすに搭載し、個々のセンサの動作検証を行った。超音波フェーズドアレイソナーでは、ガラス製自動ドアを検出して電動ビークルを停止する動作が実現できることを確認した。イメージセンサでは、Raspberry Pi3およびカメラモジュールによるシステムを構築し、電動ビークルへの搭載場所の検討を行った。音センサでは、ガソリン車の接近とクラクション音の検出ができることを確認するとともに、ハイブリッド車や電気自動車に搭載されている車両接近通報装置の音を検出することにより、電気モータ走行モードで接近してくるハイブリッド車を検知できた。

キーワード 電動車いす, 安全装置, 超音波フェーズドアレイソナー, カメラ, 音センサ

1. はじめに

高齢者の生活を支えるツールとして電動車いすは広く利用されつつあるが、認知機能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。当研究所では、電動車いすを安全に運転するため、障害物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。この安全装置は、将来的に、共同研究先である県内企業で開発された電動車いすへ、オプション装備として搭載することを目指している。なお、本研究では、開発する安全装置付きの電動車いすを“電動ビークル”と記述する。

電動ビークルの安全装置としては、既報のとおり、超音波フェーズドアレイソナー（以降、超音波PAソナーと記述）、イメージセンサ、音センサの3種類のセンサシステムを開発している。超音波PAソナーは、複数の超音波素子を制御し、任意の方向に強い超音波を送信する。障害物からの反射波を検出することで、正面だけでなく左右の広範囲に渡って障害物を検出することが可能である。カメラなどの光学系のセンサでは検出困難なガラス扉などの透明な障害物の検出も可能である。これまでに、送信系としては、音響管アレイの設計を行い送信強度の向

上を進めてきた。受信系としては、二値振幅偏変調されたBarker符号を送信し、送信信号と受信信号との相関処理を行うことで、障害物の検出能力を高めてきた^[1]。イメージセンサは、電動車いすの走行車線逸脱を検出するためのもので、カメラによって取得される路面のビデオ映像を時系列で蓄積した時系列断面画像から、衝突や転落の兆候の捕捉を検討してきた^[2]。音センサは、電動ビークルに接近する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である。特に問題となる後方からの車の接近を早く検出するためのマイクロホンアレイの設計、車の接近を判定するための評価値の検討、電動ビークル走行時に発生するノイズによる誤判定の低減手法について検討してきた^[3,4]。

本年度は、これまで開発してきた安全装置のセンサを電動車いすに搭載し動作確認を行った。超音波PAソナーについては、障害物を検出して、電動ビークルを停止させる一連の動作について検証を行った。イメージセンサについては、取り付け位置の検討を行った。音センサについては、電動車いすに搭載した状態での車接近検出の確認を行った。特にこれまで未確認であった電気モータ走行モードでのハイブリッド車の接近検出確認を行った

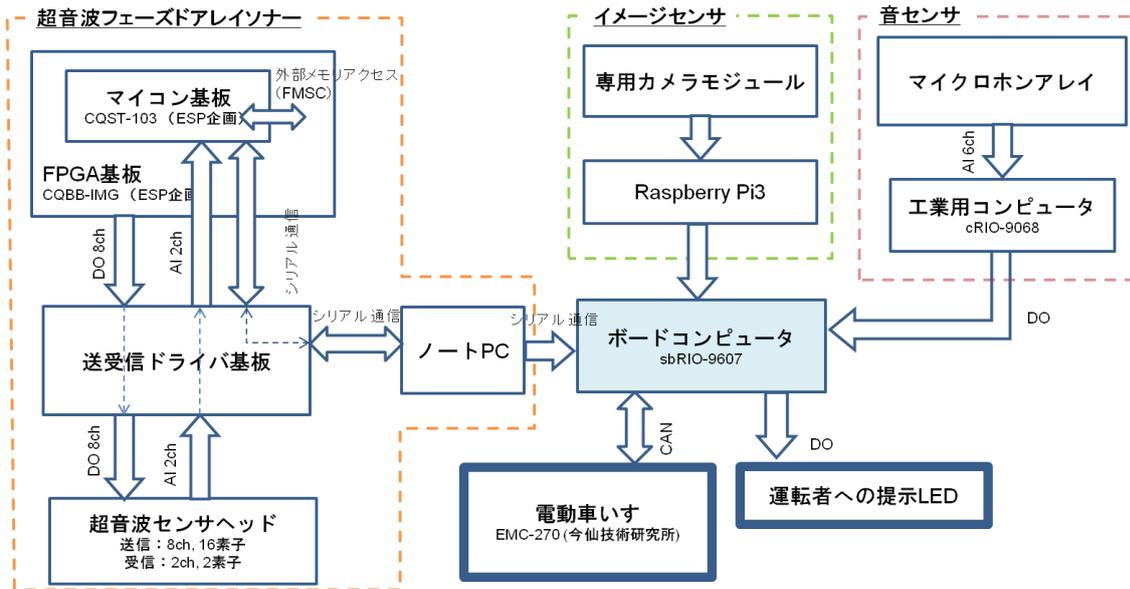


図1 システム構成

ので報告する。

2. 電動車いすへの搭載

図1に電動ビークルのシステム構成を示す。それぞれのセンサシステムの情報をボードコンピュータに集約し、電動ビークル本体のコントローラとはCANプロトコルによって通信する構成にした。各センサシステムは、将来的には、組み込みマイコンなどを使用してシステムを小型化する予定であるが、現状では、データ記録や制御のために、ノートPCや工業用コンピュータを使用したシステム構成となっている。これらのコンピュータやアンブ回路ボックスなどを電動車いすに搭載するために、図2に示すように、電動車いす (EMC-270 : 今仙技術研究所) の背面にコンテナを設置した。



図2 電動ビークル

3. 超音波PAソナー

図3に示すように、送信部と受信部が一体となったセンサヘッド部を電動ビークルのテーブル部に設置した。制御装置は後方に設置したコンテナ内に収納した。一定値以上の強度の反射波が検出された場合に障害物であると判定し、CAN通信によって電動ビークルのコントローラに非常停止の信号を送信するようにした。本センサの特徴でもあるガラス製の障害物検出を確認するため、図4に示すガラス製の自動ドアに向かって電動ビークルを走行し動作確認を行った。超音波PAソナーを、正面を0度とした場合に、-60度から+60度まで10度間隔で走査させ実験を行った。図5(a)に閉じた状態の自動ドアに接近したときの反射波強度イメージを示す。図の軸方向は、送信波と反射波の時間差から求めた超音波PAソナーと障害物との距離を示しており、その時の反射波強度に応じ



図3 超音波PAソナー

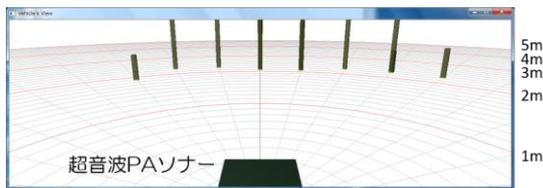
て棒の長さを表示している。この実験例では、-30度から+40度の角度において、超音波PAソナーから約2mの位置に障害物が検出された。この時点で、電動ビークルは非常停止した。超音波PAソナーと自動ドアとの距離をメジャーで実測した値とほぼ等しく、自動ドアの検出により、電動ビークルが非常停止することを確認した。図5(b)に自動ドアを開けた場合の反射波強度イメージを示す。この場合は、障害物が検出されず、電動ビークルも停止することなく通過できた。

次に、電動ビークルを2.5km/hで走行させ、自動ドアを検出したときと、電動ビークルが停止したときの距離を調べた。5回試行した結果を図6に示す。自動ドア検出時の距離が2.2mから3.5mとバラツキが大きくなった。これは、自動ドアへの接近するときの進路や角度の違いによって生じたと考えている。自動ドア検出時の距離と電動ビークル停止時の距離の差である制動距離は、5回の施行の平均で0.4mであった。

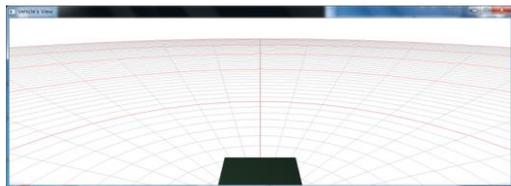
今回の実験では、障害物を検出した際、電動ビークル



図4 検出対象のガラス製自動ドア



(a) 閉状態



(b) 開状態

図5 反射波強度イメージ

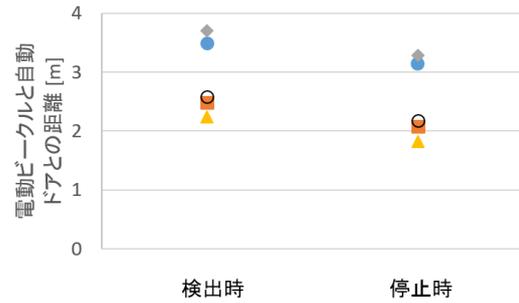


図6 電動ビークルと自動ドアとの距離

は非常停止する制御であったが、非常停止を行うことが適切であるとは言えないため、今後、どのような動作制御を行うと安全であるか検討したい。

4. イメージセンサ

イメージセンサによる安全装置サブシステムは、カメラモジュールで路面の映像を撮影し、画像処理用マイコンボードで解析した結果を信号出力する機能で構成する予定である。試作するシステムでは、マイコンボードに Raspberry Pi3(OS:Raspbian Jessie)、カメラモジュールには Raspberry Piカメラモジュール(Rev1.3)を使用した。

使用したカメラモジュールは約25mm角の基板に取り付けられており、厚さ10mm弱と小型である。また長さ2mまでのフラットケーブルで引き回しが可能であることから、電動ビークル上ではマイコンボードの設置場所に制約されずに配置が可能である。

そこで今回、路面が撮影可能で電動ビークル上の出来るだけ前方かつ搭乗者の視界に入らない場所として、操縦ボックスの裏側に取り付けた(図7)。このカメラでの撮影画像の一例を図8に示す。

イメージセンサに期待する役割は、操縦者の不注意による車線逸脱の警告や、超音波センサで検知できない路面の凹部のような障害の検知である。そのため、その入力装置であるカメラの取り付け方は、図8のように、電動ビークルの進行方向の路面を広く撮影できるように調整している。

5. 音センサ

5. 1 車の接近音検出とクラクション音検出

図9に示すように、マイクロホンアレイ部を電動ビークル背面パーに取り付けた。コントローラとして使用している工業用コンピュータはコンテナ内に収納した。車の接近音検出とクラクション音検出の確認を行った。どちらかの音が検出された場合、電動ビークルの操作レバー付近に取り付けたLEDが点滅するようにした。隣接する車道を通行する車が接近してくると、接近音を検出して



図7 イメージセンサ



図8 撮影画像例

て、車両接近通報装置を搭載したHVにおける電気モータ走行モード時の通報音を検出できるか実験を行った。図10(a)に示すように、電動ビークルの後方に約10m離れた位置から、HVが電気モータ走行モードで通報音を出しながら、停止している電動ビークルに向かって0.6m/sのゆっくりとしたスピードで接近した。図10(b)に示すように、電動ビークルの手前約5mの位置で停止するまでの車接近評価値を測定した。評価指標値は、既報で検討したように、0.1秒間のデータの1kHzから3kHzのパワースペクトルの合計値として求めた^[3]。また、パルス状のノイズを除去するための処理を行った^[4]。ただし、アンプのゲインを調整したため、評価値の大きさは既報の時とは異なっており、それに合わせて判定閾値も再調整した。図11にHVの接近検出結果を示す。時間0sの時にスタートし、HVが電動ビークルに接近するにつれて評価値は高くな

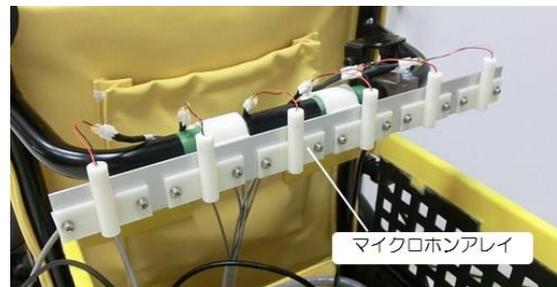


図9 マイクロホンアレイ

LEDが点滅し、運転者に車の接近を知らせることができた。また、約10m後方からクラクションを鳴らすと、その音に反応してLEDが点滅することを確認した。しかしながら、完全には車の接近を検出することができておらず、また、電動ビークル走行によるノイズによって、車の接近と誤検出することもあった。判定プログラムの見直しにより検出精度を高めたい。

5. 2 ハイブリッド車の接近検出

近年、環境問題、エネルギー問題への関心が高まり、日本での乗用車保有台数を見ると、ハイブリッド車（以降、HVと記述）、電気自動車（以降、EVと記述）の割合は1割を超えている^[5]。EVは当然のこと、HVも電気モータだけで走行するモードの場合は、エンジン音がなく静かに走行可能である。その反面、歩行者等がこれらの車の接近に気づくのが遅れるという危険性もある。そのため、国土交通省では、HVやEV等に歩行者等に自動車の接近を音で知らせる車両接近通報装置の装備を義務付けるよう省令を改正した（新型車の場合の適応時期：平成30年3月8日）。自動車メーカ各社ではこれまでも車両接近通報装置をHVやEVに装備しているが、今後は、当該装置の作動を停止できないようになることから、電気モータだけで走行する場合には、確実に通報装置の音がすることになる。

そこで、これまでの車両接近検出アルゴリズムについ

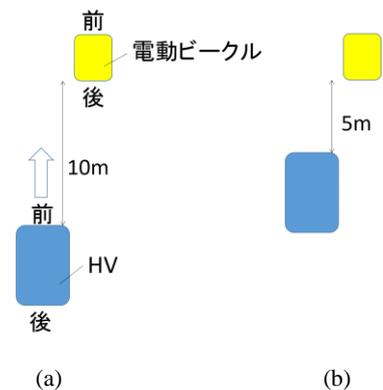


図10 電動ビークルと自動ドアとの距離

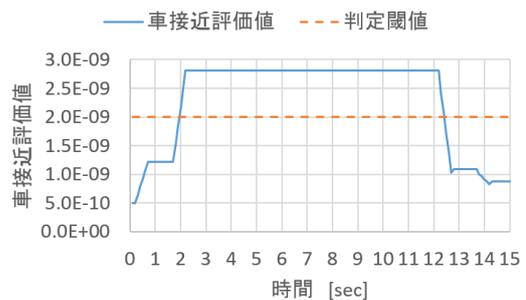


図11 HVの接近検出

り、2s後には評価値が判定閾値を超えてHVの接近を検出できた。この時のHVと電動ビークルとの距離は約8mであった。その後も検出状態はHVが停止するまで続いた。車両接近通報装置は車が停止している時は音が出ないため、車が完全に停止すると評価値も急激に低下している。今回は1車種のみでしか確認していないが、他の車種についても、車両接近音通報装置の通報音は人が聞き取りやすい周波数の音を使用して設計される。本研究で評価値として使用している周波数帯域である1kHz～3kHzの範囲に入ると考えられるため、他車種でも検出可能であると考えている。

6. まとめ

これまで開発してきた安全装置のセンサを電動車いすに搭載し、動作検証を行った。障害物を検出する超音波PAソナーでは、ガラス製自動ドアを検出して電動ビークルを停止する動作を確認した。車線逸脱を検出するイメージセンサでは、Raspberry Pi3およびカメラモジュールによるシステムを構築し、電動ビークルへの搭載場所の検討を行った。音センサでは、電動ビークルに搭載した状態で、ガソリン車の接近とクラクション音の検出ができることを確認した。また、HVやEVに搭載されている車両接近通報装置の音を検出することにより、電気モータ走行モードで接近してくるハイブリッド車の検出も可能であった。

今後、センサシステムで使用しているハードウェアの共有化を図りシステムを小型化するとともに、実証試験を進めて、各センサシステムの検出精度向上のためのソフトウェア改良、パラメータ調整を実施する予定である。

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た。

文 献

- [1] 田畑克彦, 久富茂樹, 藤井勝敏, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第8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18号, pp.37-40, 2017.
- [2] 藤井勝敏, 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7報) —イメージセンサ—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp.34-36, 2017.
- [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—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp.21-24, 2015.
- [4] 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6報) —音センサ—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号, pp.12-15, 2016.
- [5] 一般財団法人自動車検査登録情報協会 統計情報 <https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>