

安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発(第9報)

— 音センサ —

久富 茂樹 田畑 克彦 藤井 勝敏

Development of Sensors for a Safety Driving System of Electric Senior Vehicles (9th Report)

- A Sound Sensor -

Shigeki KUDOMI Katsuhiko TABATA Katsutoshi FUJII

あらまし 高齢者が活動的な生活を送るための有用なツールである電動ビークルの安全性向上を目的として、後方からの車の音を検出し運転者に注意喚起する音センサを開発している。本年度は、風雑音とパルス状ノイズに対する検討を行った。風雑音に関しては、信号のアンプ部に急峻な特性をもつハイパスフィルタを導入することで、強い風が吹いた時のオーバーレンジ発生の低減を行った。また、形状の異なるマイクロホンカバーを試作してSN比を測定したところ、風速が小さいときはカバー形状により差が生じるが、風速が大きくなるとカバー形状による差はわずかであった。パルス状ノイズに関しては、評価指標値の極小値を利用する手法について検討した。

キーワード 電動車いす, 安全装置, マイクロホンアレイ, マイクロホンカバー, パルス状ノイズ

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。当研究所では、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。本稿ではこ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報告する。

高齢になり聴力が低下してくると、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。そこで、特に認識が困難な後方からの車の接近を想定して、車のエンジン音、ロードノイズなどを検出し、運転者に車の接近を知らせる装置を開発している^[1~3]。これまでに、検出周波数帯の検討や後方からの音を感度よく取得するためのマイクロホンアレイを使用したビームフォーマ、パルス状ノイズの除去方法などについて検討してきた。しかしながら、屋外で測定を行っているとき、強い風の日には、風音を車の接近として誤検出することが度々あった。本稿では、この風雑音の対策について検討したので報告する。また、パルス状ノイズの対策について、接近する車の走行状態によっては、パルス状ノイズと誤検出して車の接近を検出できないことがあったため、別の手法を検討したので報告する。

2. 風雑音に対する検討

これまでも、車の接近を判定する評価指標値として、風の影響を受けづらい1kHz~3kHzの音を用いるなど、風雑音に対する対策は行ってきたが、屋外で測定をしていると、風音の影響を受けて車の接近と判定してしまう誤検出が度々生じた。測定データを確認すると、強い風が吹いたときに、オーバーレンジが発生していることもあった。そこであらためて風雑音に対する検討を行う。

2. 1 扇風機の風の測定

自然の風は条件が一定でなく比較評価が困難なため、扇風機の風を利用することにした。ボタンの切り替えて風量が変わる家庭用扇風機を使用した。事前に風杯型風速計を使用して扇風機の風速を測定した。扇風機と風速計の距離が長くなると風速が安定しなかったため、距離を0.5mとして測定したところ風速が比較的安定し、扇風機の風量切替が「弱」で3.0m/s、「中」で4.2m/s、「強」で5.2m/sであった。

扇風機の正面の位置に0.5m離してマイクロホンを設置し風音を測定した。図1に測定の様子を示す。マイクロホンはエレクトレットコンデンサ型のもを使用し、受音面が下向きになるように固定した。マイクロホン出力をオペアンプで増幅したのち、バターワース型ローパスフィルタ（カットオフ周波数：4kHz）に通過後、25.6kHzのサンプリングでコントローラに記録した。



図1 扇風機の風測定

図2に風速5.2m/sの風の測定値のウェーブレット変換結果を示す。色の濃い部分ほどその周波数成分が多く含まれることを示している。この結果から1kHz以下の周波数成分が強く表れていることがわかる。これらの成分の影響で風が吹いた時にオーバーレンジが発生していると推測できる。車接近の評価指標値には1kHz～3kHzの周波数帯を使用しているため、1kHz以下の信号は取得する必要がない。そこで、4次チェビシェフ特性を持つハイパスフィルタを測定回路に追加した。カットオフ周波数は2kHzに設定した。評価指標値に重なる周波数ではあるが、風の周波数成分が1kHz以上になることもあり、風の影響をできるだけ避けるためこのような設定にした。

図3に風速5.2m/sの風の測定波形を示す。(a)はハイパスフィルタ導入前、(b)はハイパスフィルタ導入後である。ハイパスフィルタを導入したことにより風雑音が抑制されており、強い風が吹いた時に発生するオーバーレンジの低減が期待できる。

2. 2 マイクロホンカバーの検討

これまでに雨対策として円筒状のマイクロホンカバーを試作した^[2]。しかしながら、風雑音に対するカバーの円筒長の検討は行っていなかったため、今回その検討を行った。開口部での風切り音の発生を抑制する目的で、球状のカバーも試作し評価を行った。図4(a)に試作したマイクロホンカバー形状、同図(b)に三次元造形機で試作したマイクロホンカバーの外観を示す。(A)～(E)は円筒状カバーで、音が入りこむ開口部が下側になっており、各カバーで開口部の位置が同じになるように三脚に固定した。開口部の直径は6mmで、開口部からマイクロホンまでの距離は(A)～(E)でそれぞれ、0mm、10mm、20mm、30mm、40mmである。(F)、(G)は球状カバーであり、球の直径は35mmである。球内部にマイクロホンが埋め込んでいる。(F)は開口部が後ろ(取り付け部側)になるように設計し、(G)は開口部が下向きになるように設計した。(F)、(G)ともに開口部の直径は6mmで開口部とマイクロホンの距離は20mmである。

これらのマイクロホンを使用して以下のようにSN比(x_{SN})を求めた。はじめに、前章と同様に扇風機の正面の0.5m離れた位置にマイクロホンを設置して扇風機の風音を測定した。0.1秒ごとに評価指標値(1kHz～3kHzのパワースペクトルの累積値)を求め、3秒間分を積算し

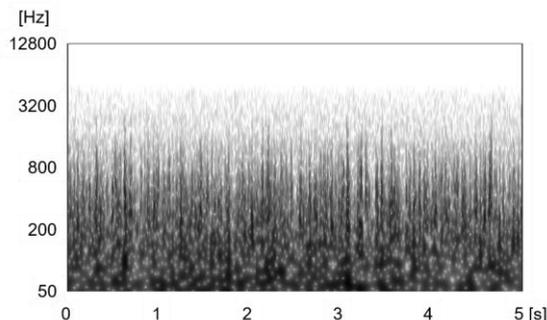
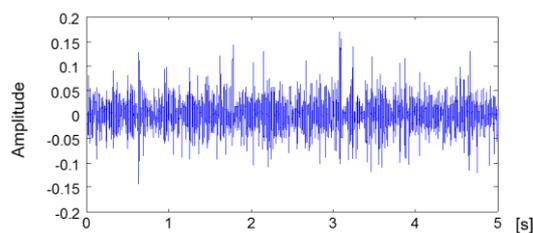
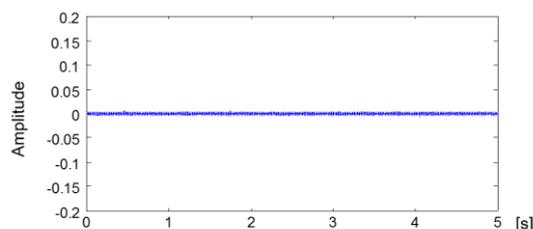


図2 風速5.2m/sの風のウェーブレット変換



(a) ハイパスフィルタ導入前



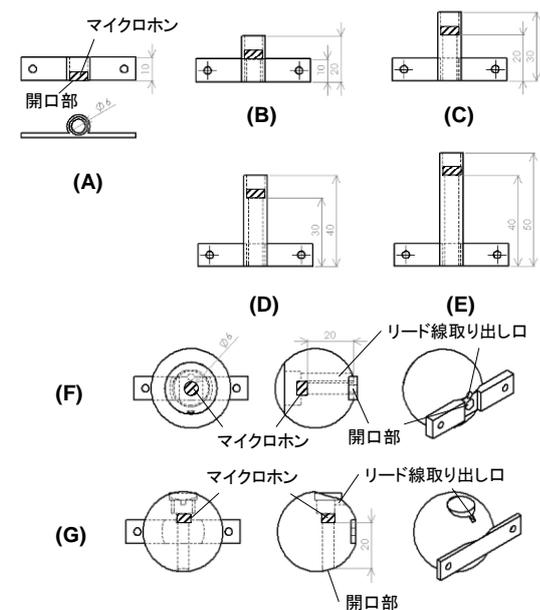
(b) ハイパスフィルタ導入後

図3 風速5.2m/sの風の測定波形

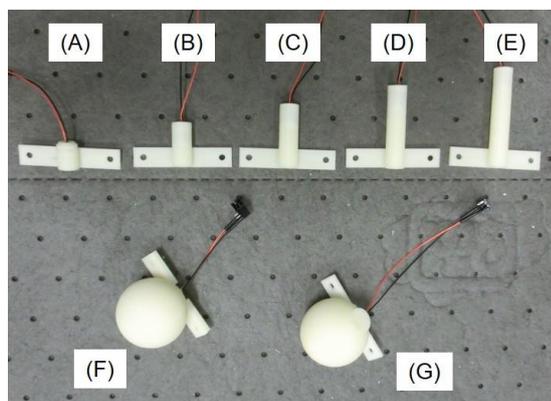
I_N とした。次にマイクロホンから1.5m離れた位置にスピーカを設置し1kHz～3kHzの周波数成分を含んだ音を再生した。同様に測定データから0.1秒ごとに評価指標値を求め、3秒間分を積算し I_S とした。はじめに測定した扇風機の風音にはモータの駆動音等も含まれるため、扇風機の側面方向に0.5m離してマイクロホンを設置することでマイクロホンに風が当たらないようにし、送風時のモータ駆動音、ファンの風切り音のみを測定した。同様に評価指標値の積算値を求め I_F とした。これらの値から(1)式のようにSN比を定義し算出した。

$$x_{SN} = 10 \log \left\{ \frac{I_S}{(I_N - I_F)} \right\} \quad \dots (1)$$

図5に測定値から算出したSN比を示す。風速3.0m/sの弱い風の場合は、カバー形状の違いが顕著であった。特に球状カバーである(F)や(G)のSN比が高くなった。球状にすることで風の流れがスムーズになり、風音が抑えられたためではないかと考えている。筒状カバーでは長さを30mmにした(D)のカバーのSN比が高くなった。カバーの筒部分が共鳴管の役割を果たし、長さが30mmの場合に2.7kHz付近の音が共鳴しやすくなったのではないかと考



(a) マイクロホンカバー形状



(b) 試作したマイクロホンカバーの外観

図4 マイクロホンカバー

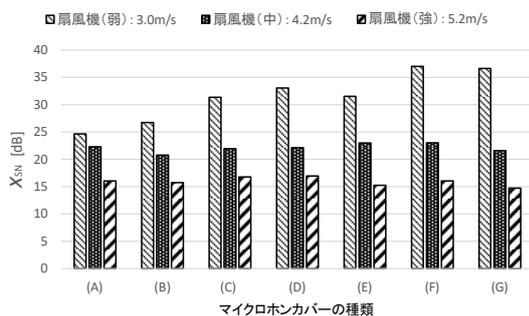


図5 マイクロホンカバーによるSN比

えられる。風速を4.2m/s, 5.2m/sにしたときは、カバー形状の差が小さくなった。風速が大きくなると空気の流れが大きく乱れ、カバー形状による差が生じなくなったためではないかと考えている。

3. パルス状ノイズ対策

昨年度の研究で、電動車いすの走行時にパルス状のノイズが発生することを確認し、その波形の特徴からパルス状ノイズを除去するアルゴリズムを検討した²⁾。パルス状ノイズの場合には、評価指標値の変化量が大きいため、閾値以上の変化量の場合には評価指標値を前の時間に求めた値に据え置くという手法であった。しかし、接近する車の走行状態によっては、パルス状ノイズと誤検出して車の接近を検出できないことがあった。そこで今回は別の観点からパルス状ノイズを低減する手法について検討した。

図6に電動車いすで石畳を走行した時の時系列波形(a)と評価指標値(b)を示す。この間に車の走行はない。この評価指標値の極大値を○印で、極小値を×印で同図中にプロットした。極大値と極小値の差が大きく、極大値は大きな値を示しているが、極小値は小さい値に収まっていることがわかる。電動車いすは停止した状態で、車の走行音を測定した時の時系列波形(a)と評価指標値(b)を図7に示す。先ほどと同様に、極大値を○印で、極小値を×印で同図中にプロットした。石畳走行時とは異なり、極大値と極小値の差が小さく、評価指標値は小刻みに変動しながら、車の接近とともに、極大値、極小値とも徐々に増大し、車が遠ざかるとともに徐々に減少していることがわかる。図8に石畳走行時と車走行音が重なった時の時系列波形(a)と評価指標値(b)を示す。同様に極大値と極小値を図中にプロットした。時系列波形、評価指標値ともに図6の石畳走行時の結果と類似しているが、極小値をみると、車が最接近したと思われる6s付近の値が大きくなっている。車の接近に伴って評価指標値が全体的に大きくなったため、極小値も大きくなったと思われる。ただし、図6の結果と比較して極小値の増大幅はそれほど大きくなく、値も安定していない。そのためパルス状ノイズが発生しやすい状況下で、本手法のみで車の接近を検出することは困難である。従来実施してきた波形の特徴からパルス状ノイズを除去する手法と併用する手法を考えることが、パルス状ノイズ対策に重要である。

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、風雑音とパルス状ノイズに対する検討を行った。風雑音に関しては、信号のアンブ部に急峻な特性をもつハイパスフィルタを導入することで、強い風が吹いた時に発生するオーバーレンジの低減を行った。また、形状の異なるマイクロホンカバーを試作してSN比を測定したところ、風速が小さいときはカバー形状により差が生じるが、風速が大きくなるとカバー形状による差はわずかであった。今後、マイクロホンをアレイ化した時の特性も調べカバー形状を選定していきたい。パル

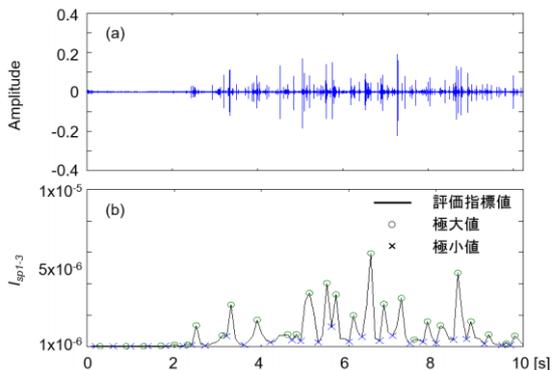


図6 石畳走行時の時系列波形(a) と評価指標値(b)

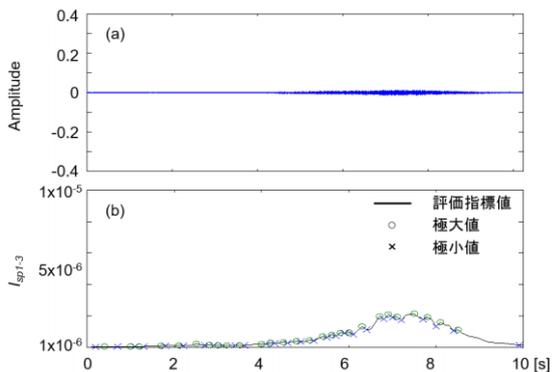


図7 車走行音の評価指標値

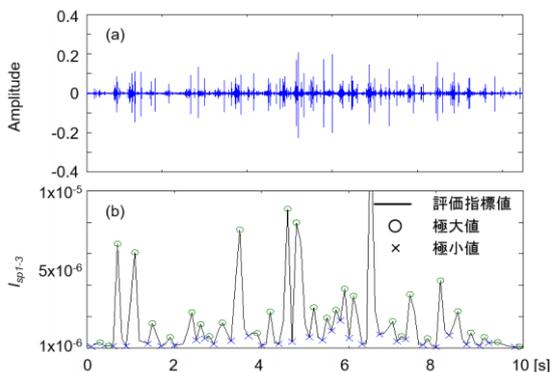


図8 石畳走行時と車走行音が重なった時の評価指標値

ス状ノイズに関しては，評価指標値の極小値を利用する手法について検討した．今後は，従来進めてきた波形の特徴からパルス状ノイズを除去する手法と併用する手法を考え，パルス状ノイズ対策の向上を図りたい．

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た．

文 献

- [1] 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.
- [2] 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）－音センサー”，岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号，pp.12-15，2016.
- [3] 久富茂樹，田畑克彦，藤井勝敏，“高齢者用電動ビークルのための自動車接近音検出”計測自動制御学会計測部門第33回センシングフォーラム，pp250-253，2016.