

誤発進抑制及び後側方死角警報機能 搭載ソナーシステム

鈴木涼太郎* 松井崇浩**
花崎泰将*
井上 悟*

Sonar System for Pedal Misapplication Prevention and Blind Spot Warning

Ryotaro Suzuki, Yasumasa Hanazaki, Satoru Inoue, Takahiro Matsui

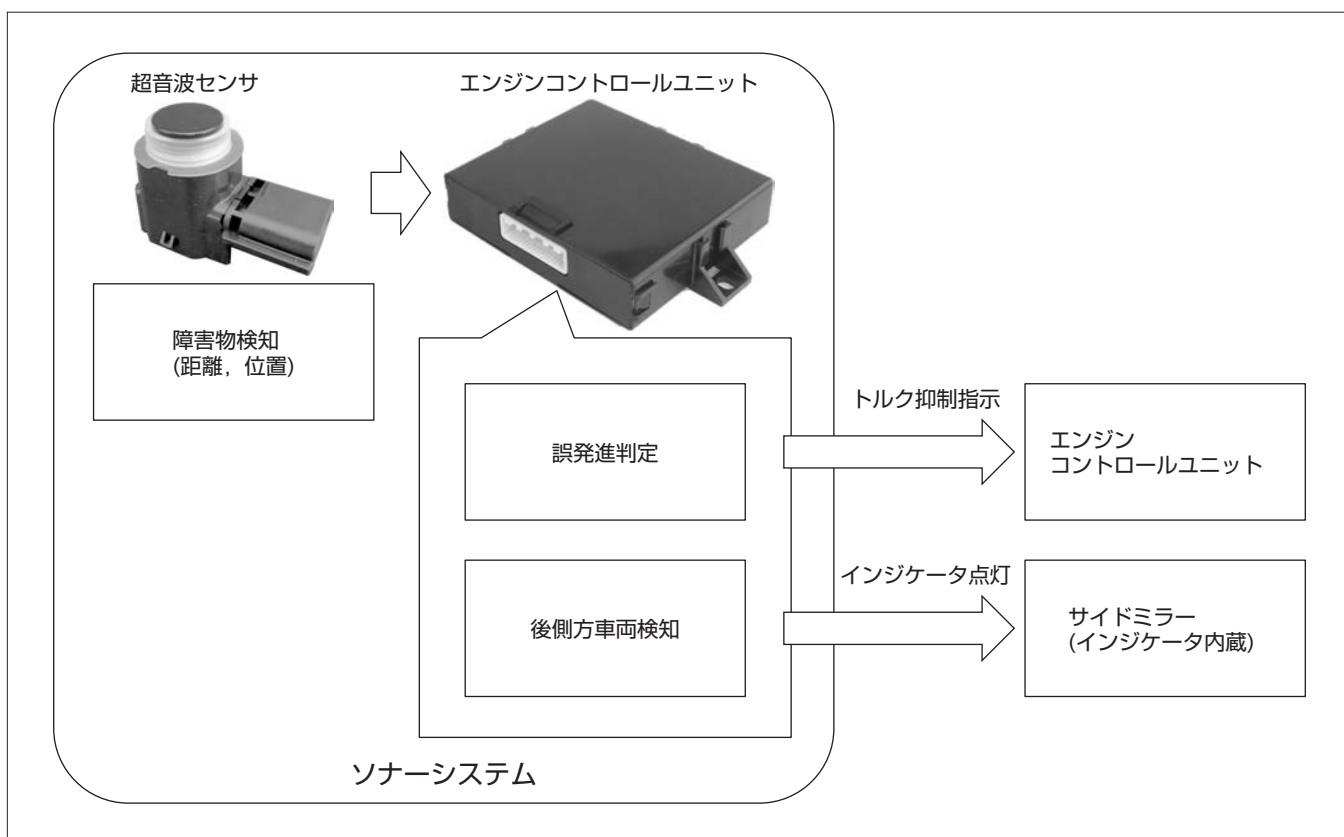
要 旨

超音波センサはカメラやレーダと比べて安価であることや、車載用途に関して法規制がなく、各国で自由に使用できる利便性を持ち、従来、駐車時等の障害物接近警報ユニットとして使われてきた。近年の衝突被害軽減機能に代表される予防安全システムの発展・普及によって、周辺監視センサの1つとして普及拡大が見込まれる。また、車載用ソナーシステムは、車両の前後バンパーに取り付けられた超音波センサを用いて、接触する可能性がある車両周辺の障害物を検出するものである。

三菱電機では、先進運転支援システム(ADAS)対応のシステムとして、誤発進抑制機能と後側方死角警報機能という2つの新規アプリケーションを搭載した次世代ソナーシステムを開発して量産化した。

三菱電機の誤発進抑制機能は、開口合成処理と独自の虚像除去処理によって高い分解能で確度の高い障害物の位置推定を行い、操舵(そうだ)で障害物を回避可能な状況を正確に判断して不要作動を抑えることができるのが特長である。

後側方死角警報機能では、従来の車載超音波センサ用途にはないノイズ環境の中でも障害物計測可能な信号処理ロジックを開発した。また、判定アルゴリズムの工夫で、不検知や瞬間的な不要検知が発生しやすい走行中の環境でも不検知が少なく、ロバスト性の高い追越し車両の検知性能を実現した。さらに、新規に採用した超音波センサ素子と指向性を高めるホーンタイプベゼルの開発で、検知性能の長距離化を実現した。



誤発進抑制及び後側方死角警報機能搭載ソナーシステム

誤発進抑制機能では、障害物とアクセルペダルの異常な踏み込みを認識した場合、エンジンコントロールユニットに対してトルク抑制の指示を行う。後側方死角警報機能は、高速走行時に自車後側方の追越し車両を検知してドライバーに注意を促す。これらの運転支援機能の実現のために、高い精度で障害物の位置を検出する開口合成処理、従来にないノイズ環境下でもセンシングできる技術及びロングレンジ対応センサを開発した。

1. ま え が き

ソナーシステムは、超音波センサで車両周辺の障害物を検知して警報音やインジケータでドライバーに危険を通知するシステムである。超音波センサはカメラやレーダと比べて安価であることや、車載用途に関して法規制がなく、各国で自由に使用できる利便性を持ち、従来、駐車時等の低速走行・近距離検知の場面で使われてきた。近年の衝突被害軽減機能に代表される予防安全システムの発展・普及によって、周辺監視センサとして普及拡大が見込まれる。

三菱電機では、ソナーシステムをベースにして、センサの検知距離性能及び耐ノイズ性能を向上させるとともに、アクセルとブレーキのペダル踏み間違いによる誤発進抑制機能、高速走行時の車線変更時に自車を追い越す車両に対してドライバーへ注意を促す後側方死角警報(Blind Spot Warning : BSW)機能を搭載した予防安全対応の次世代ソナーシステムを開発した。

本稿では、次世代ソナーシステムとその特長について述べる。

2. 誤発進抑制機能

誤発進抑制機能では、ソナーシステムが車両の走行経路上に障害物を検出している状態でアクセルペダルの異常な踏み込みを認識した場合、エンジンコントロールユニットに対して出力抑制の指示を行い、衝突の被害を軽減する。このような緊急時に作動してドライバーに取って代わって車両の動きを制御するシステムでは、通常時に不要作動しないことが特に重要となる。三菱電機の開発品では、高い分解能で障害物の位置を推定することで、操舵で障害物を回避可能な状況を正確に判断して不要作動を抑えることができる(図1)。次に、誤発進抑制機能の適用技術について述べる。

2.1 開口合成処理

超音波センサによる障害物検出では、TOF(Time-Of-Flight)方式でセンサから障害物までの距離を検出している。車載超音波センサは送受信一体型で、通常車両前後の



図1. 障害物位置推定による作動要否判定

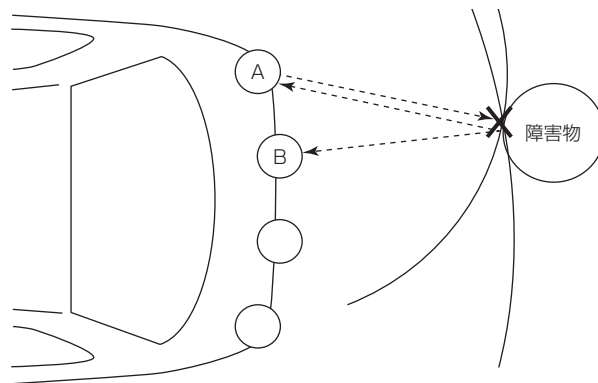
バンパーにそれぞれ複数個装着されて車幅全体又はバンパーコーナー部分の検知エリアをカバーする。そのため、一般的に水平方向の指向性は低く、従来のソナーシステムでは障害物の存在する詳細な位置までは分からなかった。

次世代ソナーシステムでは、コントロールユニット内の受信回路を追加して、送受信センサに隣接する他のセンサでも同時に反射波の受信を行えるようにした。これによって、障害物からの反射波を複数のセンサで受信して、各センサの位置と伝搬時間の差から障害物の存在する方位を計算する(図2)。装着されている各センサは順番に送受信センサとして測定を行うが、このとき隣接するセンサを受信用センサとして兼用することで装着センサ数を増やす必要がなく、システムコスト上昇を抑制している。また、障害物を検知したい方位角の範囲に比べて受信センサ間の距離が長くなるため、1つの送受信センサユニットに複数の受信素子を組み込む場合よりも高い方位分解能を実現している。

2.2 虚像除去処理

開口合成処理での障害物位置推定結果には、センサの測定距離誤差や、異なる物体からの反射波を開口合成することで、実際には物体が存在しない位置に障害物位置推定結果(虚像)が現れる場合がある。次世代ソナーシステムでは、測定に使用する複数センサのどのセンサからでも送信することができるという特長を活用した虚像除去アルゴリズムを開発した。先に述べた原因で現れる虚像は、送信するセンサを変えた場合に、センサの測定距離誤差や反射点が変わるため現れなくなったり、別の位置に現れたりするという傾向を持つ。そこで、バンパーに装着される各センサを送信センサとした複数回の測定結果を総合して、推定障害物位置の度数分布で障害物の存在位置と確度を判定する方法とした。

度数計算の基となる推定障害物位置の計算結果は、1つの送受信センサと別の受信センサの測定結果から求められ、各区分でこの計算結果の数をカウントする(図3)。さらに、同じ区分内に存在する2つの障害物推定結果が互いに双対



センサAで送信して障害物からの反射波を受信、センサBで反射波を受信して、伝搬距離から障害物の位置を得る

図2. 開口合成による障害物位置推定

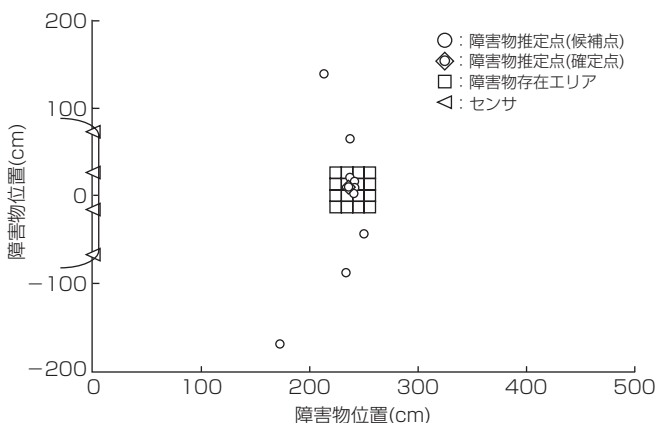


図3. 度数分布による障害物推定位置の評価

のセンサ組合せから求められたものであれば、確度が高い推定結果とみなして度数を追加することで、真の障害物位置と虚像との区別がつきやすくなるロジックとした。この方式も、先に述べた送信センサ位置を変えると虚像の出現有無、位置が変わるといった特徴を利用している。

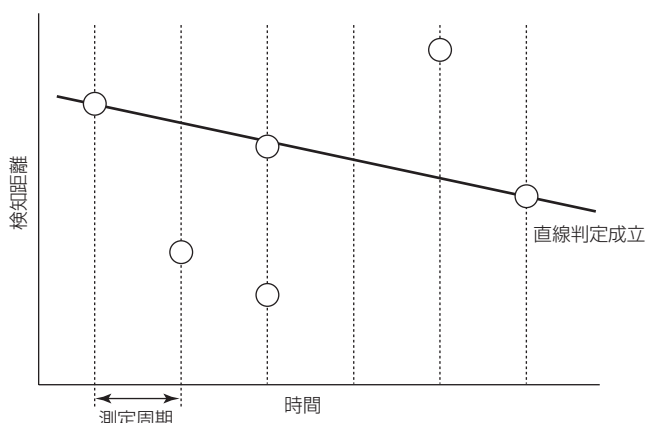
3. 後側方死角警報機能

後側方死角警報(BSW)機能は、高速走行時に自車後側方の追越し車両を検知して追越し車両が存在する場合には、サイドミラーに内蔵されるインジケータ及びブザー警報でドライバーに注意を促す。追越し車両を検知するため、超音波センサはリヤバンパーの斜め後方向きにこの機能専用のセンサとして装着される。また、追越し車両が自車真横に位置してドライバーが直接視認できる場合や、路上構造物等、警報対象でない場面及び物体を識別するため、フロントバンパーの自車真横方向にもこの機能専用のセンサが装着される。

この機能では、高速走行時に移動物を測定するという従来と全く異なる場面で超音波センサを利用している。そのため、従来の用途では想定されていないノイズ環境の中でも障害物計測可能であること、また、センサで検出した障害物の中から接近する移動物と警報対象外の物とを的確に識別することが重要となる。次に、BSW機能に向けて開発した技術について述べる。

3.1 ノイズ除去と適応処理

高速走行中の超音波センサ測定での大きなノイズ要因は、風切り音と水しぶきや雪の巻き上げによるノイズである。また、従来のソナーシステムから想定されていたノイズ要因のうち、バイクや大型車のエンジン音、排気音、エアブレーキ音、ロードノイズについても、高速走行中はノイズが発生する頻度やレベルが上昇する。従来のソナーシステムでは、測定前に先に述べた外来ノイズを検出した場合、外来ノイズが収まるまで測定を一時停止していたが、この機能の動作環境ではこれらのノイズが発生する環境が通常的环境であるため測定を停止することはできない。そこで、



任意の3周期分の測定点の組合せから、直線的に並走又は接近するパターンを探索する

図4. 接近判定

BSWセンサでは他のセンサよりも受信ゲインを下げてノイズ信号の影響を受けにくくした。受信ゲインを下げることで障害物の検知性能が低下する分は、後に述べるロングレンジ化で適用した技術で補っている。風切り音や他車の発する音から受けるノイズでは、超音波受信信号のバックグラウンドレベルが上昇する。BSW障害物測定機能では、センサ測定前の外来ノイズ検出時にノイズのバックグラウンドレベルを測定して、その後の障害物測定で使用する検出しきい値がノイズレベルに対して一定以上の余裕を持つようにしきい値を補正することで、ノイズ信号の誤検知を抑えている。また、水しぶきや雪の巻き上げでは水滴や雪の粒がセンサ面に衝突するため、受信信号にスパイクノイズとなって現れる。先に述べた外来ノイズ検出処理でこのスパイクノイズのピークレベル及び発生頻度を検出して、ピークレベルに応じたタップ数の移動平均フィルタを受信信号に適用することでノイズの誤検知を抑えている。

これらのノイズ対策信号処理は障害物検知性能とのトレードオフとなるので通常は動作せず、外来ノイズ検出区間で検出されたノイズに応じて処理が適用される。さらに、ノイズのレベル及び頻度が高い場合にはS/N(Signal to Noise)比の低い遠方の障害物検出処理を停止して、次の段階では測定自体を停止する構成として、ノイズ環境下でも誤検知を抑えて段階的に機能を落としながらも可能な限り測定を継続できるようにした。

3.2 障害物接近判定

BSW機能では、相対速度10km/h以内で後側方に接近する追越し車両を識別して警報を行う必要がある。追越し車両を判別するため、センサで検出された距離の履歴から、並走(傾き0 km/h)~接近(傾き10km/h)傾向を満たすパターンを探索する。過去の一定時間内に得られた検知距離情報の全ての組合せを探索することで、検知ロストや瞬間的な不要検知が発生しやすい走行中の環境でも不検知が少ないロバスト性の高い判定を実現した(図4)。

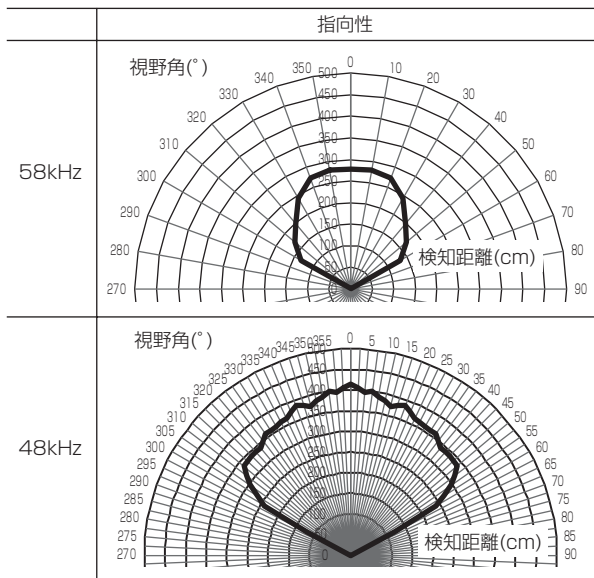


図 5. 48kHzと58kHzの検知距離性能比較

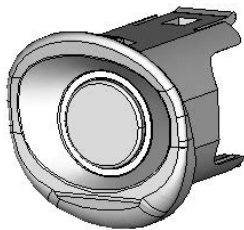


図 6. ホーンベゼル

4. ロングレンジ対応センサ

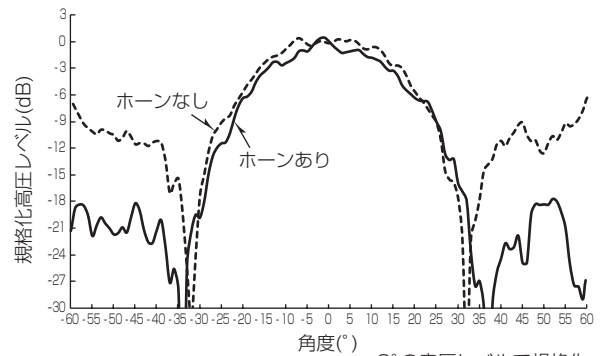
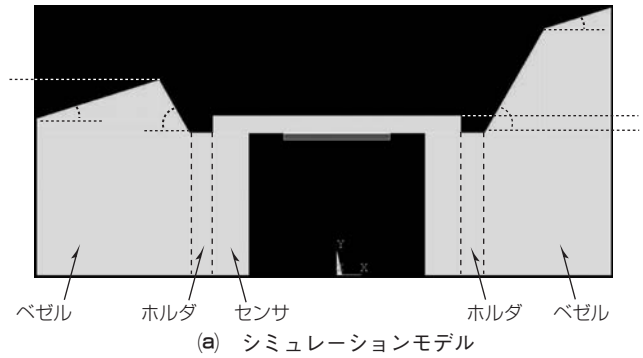
誤発進抑制機能及びBSW機能では、ともにできるだけ遠方の障害物を検知できることが望ましい。今回開発したソナーシステムの目標値は最大検知距離4mであり、従来の超音波センサの検知距離約2mに対して大幅に性能を向上させる必要がある。遠距離検知達成のために適用した技術について次に述べる。

4.1 48kHzセンサ素子

次世代ソナーシステムでは、従来機種で使用している共振周波数58kHzの超音波センサ素子に代えて、新設計の48kHzセンサ素子に変更した。この48kHzセンサでは、共振周波数の変更による空中伝播(でんぱ)時の減衰量減少、圧電素子の駆動耐圧を高くすることによる振動変位の増加、の2点の特長で超音波の送信音圧を向上させている(図5)。

4.2 ホーンベゼル

BSWセンサは、移動物を検知するため、特に検知距離の向上が求められる。その際、音波が広く発信されると地面からの不要な反射が発生して障害物との分別が困難になる。そこで、センサをバンパーに固定する際に使用するベゼルの表面形状をホーン型にして(図6)、センサ指向性を



(b) 指向特性(シミュレーション結果)

図 7. ホーンベゼル音圧シミュレーション結果

高めて障害物からの反射と不要反射とのS/N比を向上させた(図7)。

5. む す び

次世代ソナーシステムでは、誤発進抑制機能と後側方死角警報機能という2つの大きな新規アプリケーションを搭載した。また、その要素技術として開口合成処理、ノイズ除去、適応的センシング及びロングレンジ対応センサを開発して多くの新規技術を盛り込み、従来の駐車時障害物接近警報ユニットの枠を超えたADAS機能を備えるソナーシステムを実現した。

近年、ADASシステムは急速に発展しており、各種センサユニットに求められる機能、性能、信頼性のレベルが大幅に上がってきている。今後も高機能化するADASシステムに合わせてソナーシステムも更に幅広い用途に用いられることが想定される。世の中のトレンドを的確に掴(つか)み、ニーズに合ったソナーユニットの開発を継続的に進め、車載安全・安心システムの発展に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 井幡光詞, ほか: ロングレンジ超音波センサの低サイドロープ化の検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, A-11-1 (2015)