

ミリ波レーダの小型化と高性能化

Small and High Performance Millimeter Wave Radar for Automobile

黒田 浩司 Hiroshi Kuroda
笹田 義幸 Yoshiyuki Sasada

近藤 博司 Hiroshi Kondo
永作 俊幸 Toshiyuki Nagasaku

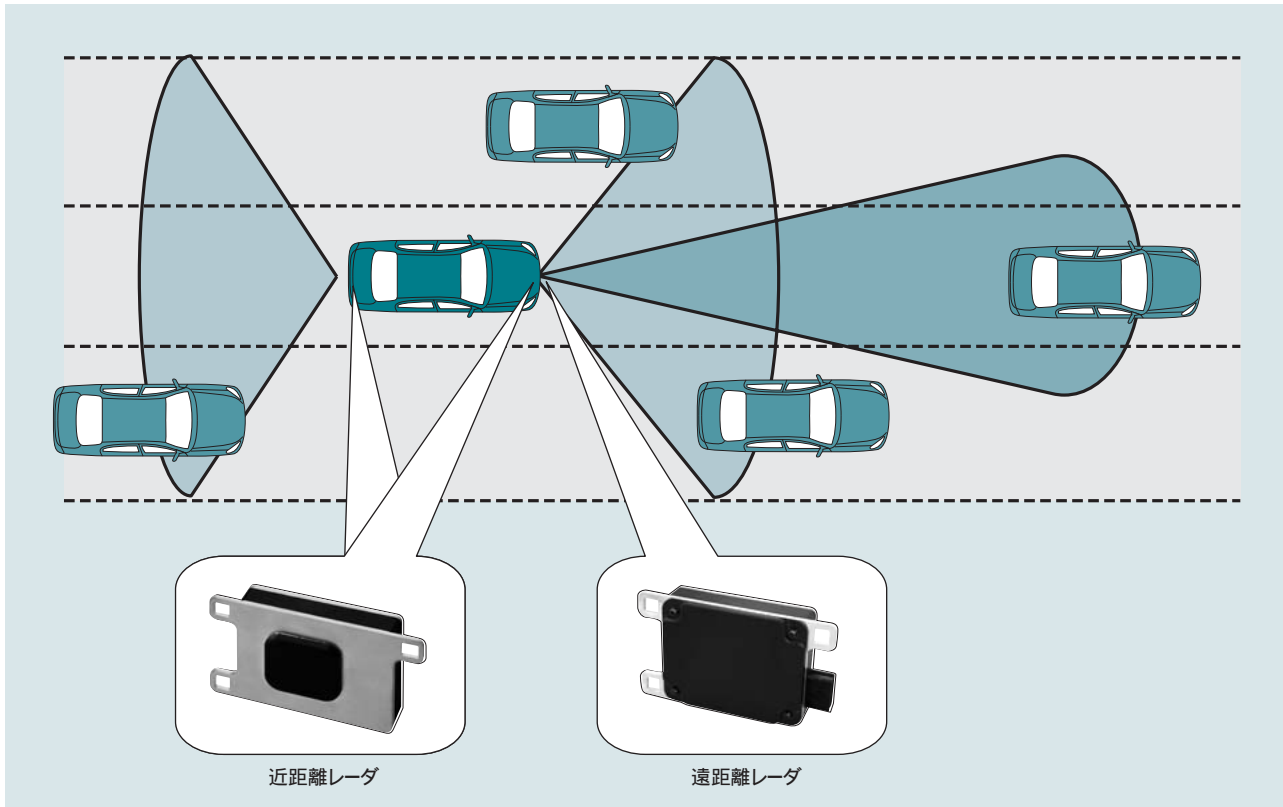


図1 小型ミリ波レーダによる外界認識

自車の前方、後方などの広い範囲をカバーする小型のミリ波レーダにより、自車の周囲を走行する他車両の位置と速度を、高精度に計測する。

自車に先行する車両や自車周囲の物体までの距離・相対速度・方向を高精度に計測するセンサーとして、ミリ波レーダが実用化されてきている。ミリ波レーダは、雨や霧などの悪天候に強いという特性があり、高速道路で先行車との距離を適切に保ちながら走行するACC(車間距離制御)をはじめ、一般道を対象とする低速度域のLSF(低速追従機能)や、衝突時の速度を低減するCMS(衝突速度低減システム)など応用範囲が広がってきている。また、自車周囲の近傍を広く検知する近距離レーダも、広角度化が容易という電波レーダの特性を使って実現されつつある。

日立グループは、ミリ波帯の高周波モジュールからレーダの信号処理まで、小型で高性能なレーダの実現のため、幅広く技術開発を推進している。

1.はじめに

先行車までの車間距離を適切に保って走行するACC(Adaptive Cruise Control:車間距離制御)システムが実用化されている。ACCは、制御可能範囲が高速道路での走行を対象としたシステムから、一般道をも対象とするシステムへと制御適用範囲が拡大し、よりドライバーに利便性を与えるシステムへと発展してきている。また、危険な状態になったことを判断し、自動的にブレーキを作動させるCMS(Collision Mitigation Brake System:衝突速度低減システム)も実用化が始まった。ミリ波帯の電波を送受信して先行車や周囲物体までの距離・相対速度・方向を計測するミリ波レーダは、これらのシステムで利用される重要なセンサーの一つである。

ミリ波帯の電波は直進性がよく、小さな物体からでも反射されることから、所定の周波数帯が自動車用レーダに開放さ

れている。またミリ波レーダは、距離と相対速度の同時検出が可能であり、光を使うレーザーレーダに比べて波長が長いので、雨や霧などの気象条件に強いという特徴がある。一方、ミリ波帯という、これまで民生用途では使われていなかった高周波領域の信号を利用するため、高周波で動作するデバイスや各コンポーネントの開発が必要となる。

日立グループは、ミリ波帯のデバイスやモジュールからレーダの信号処理までの各要素技術と、レーダを使う応用システムを開発しており、低コストで高性能なミリ波レーダの実現に取り組んでいる(図1参照)。

ここでは、ACCなどで使われる遠距離レーダの次世代版を中心に、各要素技術について述べる。

2. 高周波モジュールおよび回路技術

2.1 セラミックモジュール

ミリ波レーダにおいては、低コスト化はもとより、車両の取り付け位置に自由度を与える小型化が重要な課題である。

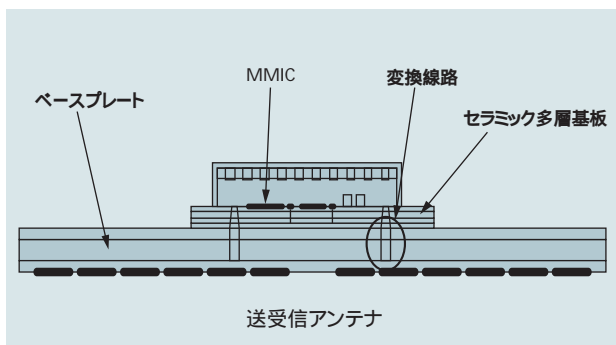
日立グループは、これらの課題に対応し、セラミック多層基板を用いたミリ波送受信モジュールを開発した。このモジュールは、セラミック多層基板の表裏に、MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuit)が実装された高周波回路と送受信アンテナを配置し、両者を多層基板内にビアホールで形成された同軸線路で接続する構造になっている。

この構造により、ミリ波送受信モジュールの外形寸法は縦26×横25×厚さ3.4(mm)を実現し、さらに、組立性の向上および部品点数削減を図っている。

2.2 アンテナ接続部の変換構造

セラミック多層基板の表面に実装されたアンテナは広角度なものだが、ACCなどのアプリケーションでは比較的狭い角度で、150 m以上の距離まで車両を検知する遠距離レーダが必要となる。

一般にアンテナの検知角度を狭くするにはアンテナのサイズ



注:略語説明 MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuit)

図2 遠距離レーダモジュールの断面構造

セラミックモジュール基板とアンテナを中間の金属ベースプレートを介して接続する変換構造を開発し、低損失での接続を実現する。

を大きくする必要がある。遠距離レーダ用には、コストと性能の両方の観点から、アンテナと高周波回路基板の材料に求められる特性が異なるため、アンテナと高周波回路基板をそれぞれ別に形成したものを使用する。

日立グループは、前述のセラミック多層基板による高周波回路と、別に形成したアンテナを組み合わせることで、次世代遠距離レーダ用のモジュールを開発している。この構造では、それぞれ別の材料で形成された高周波回路基板とアンテナを接続し、ミリ波信号を低損失で伝送する必要がある。そこで、新たに両者を低損失で接続する接続構造を開発した。この接続構造は、セラミック多層基板とアンテナとを中間の金属プレートを通じて接続するために、MMICが実装・接続されているセラミック多層基板上のマイクロストリップ線路から、導波管線路へ変換する構造を採用している。この変換構造は、近距離レーダ用のセラミックモジュール同様に、多層基板内のビアホールと配線パターンによって実現されており、多層基板配線による小型化と、組立性の向上および部品点数の削減を実現している。また、回路基板とアンテナとの合わせ誤差も考慮し、合わせ位置のずれに対して許容度のある設計になっている。

この変換構造により、セラミック多層基板と遠距離レーダ用のアンテナ間において、1dB以下の通過損失を実現し、両者の組み合わせによる遠距離レーダ用モジュールを実現している(図2参照)。

3. 信号処理技術

3.1 小型化をめざした開発

レーダの搭載位置の主流は以下のとおりであり、レーダサイズとしては、厚み方向に薄いことが要求されている。

(1) バンパ内埋め込み

(2) グリルとラジエータ間のすきま

日立グループは、第2世代ミリ波レーダ(以下、GEN2と言う。)においてはプリント基板を3枚積層して使用していたものを、第3世代ミリ波レーダ(以下、GEN3と言う。)では基板数を1枚に低減した。基板数を低減するためにGEN2で使用していた複数のマイコンを、よりハイパワーな32ビットRISC(Reduced Instruction Set Computer)マイコンに変更してマイコンの数を減らした。これにより、GEN3の基板の厚みをGEN2比で約50%に低減した。

また、日立グループは、ACCシステムもミリ波レーダと同じシリーズのマイコンで開発しており、ミリ波レーダの内部へ実装することも容易である。これにより、ACCシステム用コントロールボックスを不要としたACCシステム一体型ミリ波レーダの提供も可能とした。

3.2 改良技術

GEN2は距離検知方式としてFSK(Frequency Shift Keying)変調方式を採用した。FSK変調方式は,他の代表的な変調方式であるFMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)と比較して相対速度精度が一けた高いという利点がある。これにより,日立グループが開発したミリ波レーダを使用したACCはきわめて滑らかな制御を行うことができる。しかし,先行する車両との相対速度がゼロになると検知することが困難であるという課題を有していた。

そこで,FSK変調方式にFM変調を付加する方式を導入することにより,高精度な相対速度をそのままに,相対速度がゼロの先行する車両も検知することを可能とした。改良型変調方式による実験結果の例を図3に示す。

三脚に固定したレーダが車両を検知し始めてから車両が停止し,レーダとの相対速度がゼロの状態となったときまで安定して検知していることがわかる。また,距離1 m以下の至近距離まで検知している。

GEN2は角度検知方式としてモノパルス方式を採用しており,他の代表的なマルチビームフォーミング方式と比較して高価な高周波モジュールの構成がシンプルであり,小型化・低コスト化に有利である。さらに,モノパルス方式での複数の先行する車両の分離検出性能を向上させるために,角度方向の新しい信号処理技術を開発し,高周波モジュールのシンプルな構成はそのままに,性能を向上させた。

4. 次世代ミリ波レーダ

4.1 第3世代遠距離ミリ波レーダ

今後,ミリ波レーダの普及を大きく進ませるためには以下が

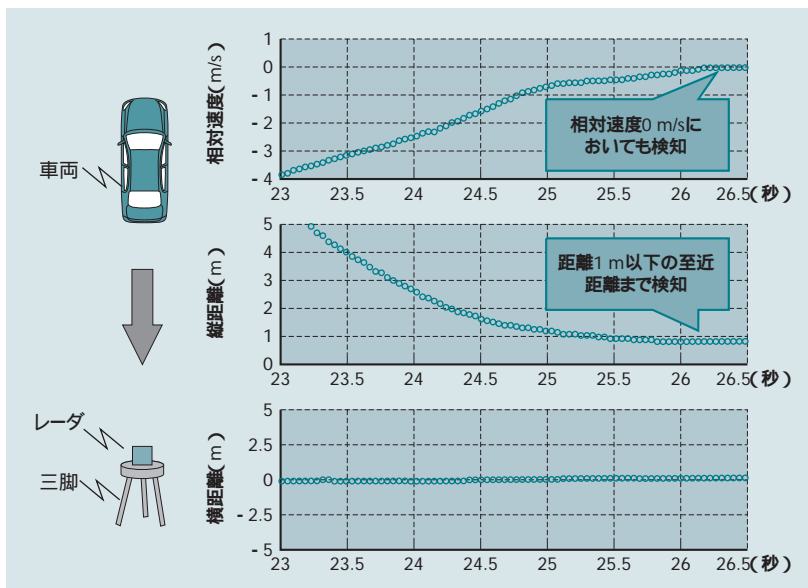


図3 改良型変調方式による実験結果の例

三脚に固定したレーダが車両を検知し始めてから車両が停止し,レーダとの相対速度がゼロの状態となった時まで安定して検知していることがわかる。また,距離1 m以下の至近距離まで検知している。

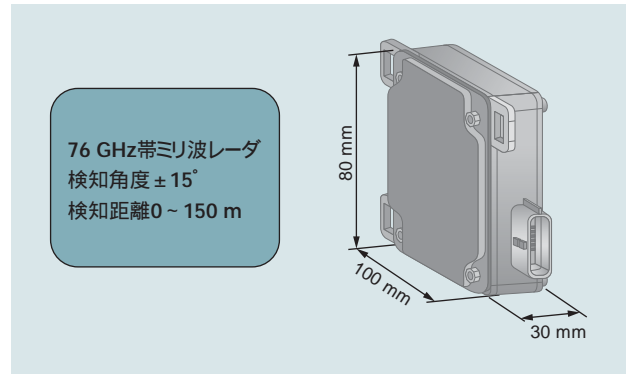


図4 第3世代遠距離ミリ波レーダの外観図

広角度検知(±15°を可能とし,低速時のカーブにおいても先行車両の検知を可能とした。また,小型・薄型化を行い,車両適合を容易にした。

重要と考えている。

- (1) ACC ,CMS ,LSF(Low Speed Following:低速追従走行), ストップアンドゴーに使えること
- (2) 多くの車種への車両適合が容易であること
- (3) 低コストであること

これらに対応するために開発しているGEN3の特徴は以下のとおりである。

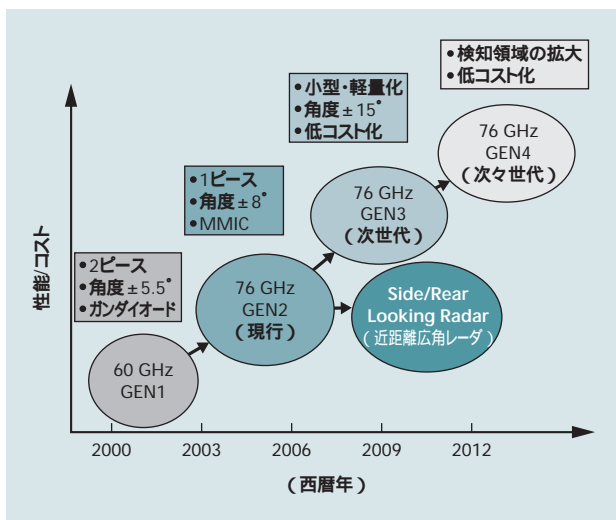
- (1) 広角度検知(±15°を可能とし,低速時のカーブにおいても先行車両の検知を可能とした。また,高精度相対速度とし,ストップアンドゴーの繰り返し時においても,レーダの出力する相対速度が滑らかである。
- (2) 小型・薄型化を行い,車両適合を容易にした(図4参照)
- (3) ミリ波レーダのコアパーツであるMMIC,高周波モジュール,アンテナを日立グループ内で開発し,低コスト化をハードウェア全体で進めていくことができる。

4.2 ロードマップ

高度な環境認識を行うためには,後側方の障害物検知や,ACC用レーダで死角となる近距離を,さらに広い範囲で検知するレーダが要求される。これらの用途に対応するために,24 GHzの近距離広角レーダを複数個使って実現しようというコンセプトが欧州を中心に提案されている。

日立グループは,わが国,米国,および欧州の電波規格に適合する76 GHzを前提に,図5に示すロードマップに沿って開発を進めている。

GEN3の派生機種としてアンテナをさらに広角化した近距離広角レーダ(Side/Rear Looking Radar 先開発中である。検知範囲については,日立グループ内でアンテナ設計と信号処理を並行して開発



注:略語説明 GEN1(第1世代ミリ波レーダ), GEN2(第2世代ミリ波レーダ)
GEN3(第3世代ミリ波レーダ), GEN4(第4世代ミリ波レーダ)

図5 日立グループが開発するミリ波レーダのロードマップ
日米欧の電波規格に適合する76 GHzを前提とした開発を行っている。

し、上位システムからの要求に答えている。また、アンテナ以外のハードウェアをGEN3と共通化し、数量効果によるコスト低減を可能としている。

現在、将来に向けて検知領域を拡大し、さらなる低コスト化をめざす第4世代ミリ波レーダ(GEN4)を開発している。上位システムの要求仕様を低コストで実現でき、かつ、各種車両への適合が容易となるように、要素技術から開発を進めている。

執筆者紹介



黒田 浩司
1984年日立製作所入社、オートモティブシステムグループ
電子統括本部 電子設計本部 ECU第一設計部 所属
現在、予防安全システムの開発に従事
工学博士
電気学会会員、電子情報通信学会会員



笹田 義幸
1996年日立製作所入社、オートモティブシステムグループ
電子統括本部 電子設計本部 ECU第一設計部 所属
現在、ミリ波レーダの開発に従事

5. おわりに

ここでは、自動車の周囲物体までの距離・相対速度・方向を高精度に計測するミリ波レーダについて述べた。

ミリ波レーダは、これまで民生品で使われていなかった高い周波数帯の電波を使う装置であるが、高周波デバイスや回路の要素技術を、レーダ信号処理まで含めた統合的な見地から開発を推進することで、小型化・低コスト化がさらに進むものとする。

一方、車両の外界認識センサーとしては、車両だけでなく、歩行者まで検知し、予防安全システムを実現したいというニーズがある。このように高度な外界認識システムを1種類のセンサーで実現するのは困難である。日立グループは、ミリ波レーダをはじめとする個々のセンサーの性能向上とともに、個々のセンサーの特徴を活用させる複合センシングの開発にも取り組んでいく考えである。

参考文献

- 1) H. Nagaishi, et al.:76 GHz MMIC Transceiver Modules with Thick-Film Multi-Layer Ceramic Substrate for Automotive Radar Applications, IEEE Int. Microwave Symp. Dig(2003)
- 2) H. Shinoda, et al.:Composite Patch Array Antenna with built-in Polarizer for Reducing Road Clutter Noises for 76 GHz Automotive Radars, IEEE Int. Microwave Symp. Dig(2007)
- 3) 高野, 外:安全走行支援システムを支える環境認識技術, 日立評論, 86, 5, 375 ~ 378(2004.5)



近藤 博司
1994年日立製作所入社、中央研究所 所属
現在、高周波、特にミリ波応用技術開発に従事
Ph.D
IEEE会員、電子情報通信学会会員



永作 俊幸
1997年日立製作所入社、中央研究所 ソリューションLSI研究センター無線システム研究部 所属
現在、ミリ波応用の技術開発に従事
IEEE会員