

車載用76 GHzミリ波レーダ

76-GHz Millimeter-Wave Radar for Automotive Use

あらまし

自動車での死傷事故低減や渋滞の解消を目的に、衝突被害低減のためのプリクラッシュセーフティシステムをはじめ、新たな車両制御システムの開発が進んでいる。最近では、前方向だけでなく後方や側方への動作にも対応するシステムも実用化されてきており、自車両の周辺全体をセンシングするシステムなどが検討されている。これらのシステムには天候などの影響を受けにくく、小型化が可能なことから、ミリ波レーダが採用されている。

富士通テンでは、用途に合わせたミリ波レーダを製品化しており、「遠距離レーダ」は、角度精度に優れ、150 m以上の遠距離まで距離・相対速度を求めることができる。また「小型近距離レーダ」は、小型で広角検知、高速応答性を実現している。

本稿では、遠距離レーダと小型近距離レーダの開発事例を中心に、今後の課題についても紹介する。

Abstract

Given the effectiveness of new vehicle control systems including Pre-Crash Safety systems in reducing traffic fatalities or preventing traffic jams, such systems are being examined for reducing collision damage. Systems that detect vehicles and obstacles to the rear and side, as well as ahead have already been marketed, and soon systems that detect objects in all directions will be developed. Such systems employ millimeter-wave radar, given its weather resistance and compact structure. “Long-range radar” offers superior angle accuracy and can measure distance and relative velocity beyond 150 meters. “Compact, short-range radar” is characterized by compact size, wide-angle detection, and high-speed processing. We believe that millimeter-wave radar will find expanded applications in various systems through improved sensing performance and operation in conjunction with various other sensors in the future. This paper introduces some examples of development and describes our future challenges.



伊佐治 修（いさじ おさむ）
富士通テン（株）AE本部車両技術
統括部技術一部 所属
現在、ミリ波レーダの先行開発に
従事。



生野雅義（しょうの まさよし）
富士通テン（株）AE本部車両技術
統括部技術一部 所属
現在、ミリ波レーダの先行開発に
従事。



島 伸和（しま のぶかず）
富士通テン（株）AE本部先行開発
統括部センサ開発部 所属
現在、ミリ波レーダの先行開発に
従事。

ま え が き

自動車での死傷事故低減や渋滞の解消は、ITSが解決しないといけないテーマであり、その実現のために新たなシステム開発が進んでいる。

これらシステムに搭載される車載用のミリ波レーダは1970年ごろから開発が始まり、1990年代後半に実用化された。近年の安全意識の高まりにより、今後も採用拡大が予想されている。富士通テンではいち早く、車載用のミリ波レーダの開発に着手し、数々の製品を市場に提供してきた。

本稿では、富士通テンの76 GHzミリ波レーダの開発事例と、今後の展開について述べる。

レーダ応用システムの動向

1990年代後半の最初の実用化においては、「走行の効率化を図ることのできる利便システム」として採用された¹⁾。これは車間距離適応走行制御システムと呼ばれ、レーダにより前方車両との距離と相対速度を測定し、適切な加減速制御を行いながら追従走行するシステムである。

2000年に入ると、安全意識の高まりから「衝突被害軽減システム」へ採用され始めた。これはプリクラッシュセーフティシステムと呼ばれ、危険性を事前に判断して運転者に警告を発したり、衝突被害を軽減させる動作をしたりするシステムである。軽減させる方法としては、シートベルトを引き込んで乗員をシートに拘束したり、ブレーキを自動的に掛けたりするなどの動作が実現されている。

また前方向の制御だけでなく、後方や側方の動作へも対応するシステムも実用化されてきている。将来の周辺監視システムのイメージを図-1に示す。今

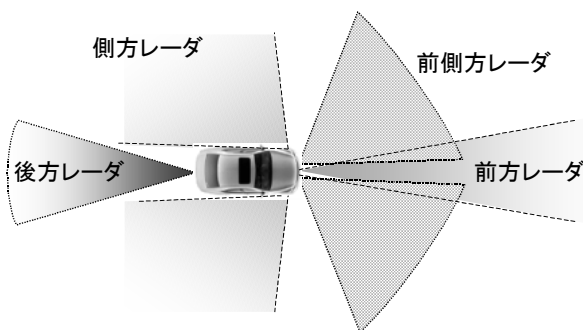


図-1 周辺監視システム
Fig.1-All direction detection system.

後に向けては、自車両の周辺全体をセンシングし、総合的に制御するシステムなどが検討されている。

ミリ波レーダの特長

ミリ波は30～300 GHz（波長10～1 mm）と波長が短い電波なので、アンテナを小さくして、レーダを小型化することができる。また光を利用したセンシングシステムと比較して昼夜・天候（雨、雪、霧など）の影響を受けにくいことから、自動車用として適している。

なお、使用する周波数としては国際的に割り当てられている76 GHz帯を採用している。

遠距離レーダ

富士通テンは2003年6月に遠距離用のミリ波レーダを製品化した²⁾。このレーダは一つのアンテナを用いて時分割で送受信することにより、小型化を実現している。

● 遠距離レーダへの要求性能

このレーダ開発においては以下の性能が要求された。

(1) 物体検知能力

小型バイクから大型車両まで様々な物体を検知すること。

(2) ロバスト性

150 m以上の距離においても道路条件や気象条件、時間帯によらず物体を安定検出すること。

(3) 角度精度

自レーンに存在する車両か否かを識別できる相対横位置精度を持つこと。

(4) 搭載性

車両の意匠や冷却性能、衝突安全性に影響を与えない寸法であること。

● レーダ仕様

仕様としては視野角16°、検知距離150 m、相対速度±200 km/h、大きさ89×107×70 mmを実現している。遠距離レーダの外観を図-2に示す。

● レーダ方式

測距方式としては、比較的簡易な構成で距離と相対速度を同時に高精度で計測でき、かつ相対速度がゼロのときも計測できるFM-CW（Frequency Modulated-Continuous Waves）方式を採用している。

また高い角度分解能を実現するために、狭いビーム幅の放射性能を持つアンテナを採用した。これを機械的に走査させるメカニカルスキャン方式により、角度を計測している。

● レーダ構成と特長

レーダはアンテナ部、ミリ波送受信器、スキャナ部、アナログ回路部、デジタル信号処理部、通信インタフェースから構成される。アンテナはミリ波送受信器に接続され、後段の信号処理部で障害物の位置を演算している。これらの演算結果は通信インタフェースを介して車両側の制御コンピュータへ出力される。

以下に主な構成部分の特長を示す。

(1) アンテナ部

トリプレート型の平面アンテナを開発し、レーダの薄型化を実現している。トリプレート構造の並列給電アンテナは利得が高く、周波数特性が良いなどの特長がある。

(2) ミリ波送受信器

富士通グループで共同開発したシングルチップMMIC (Monolithic Microwave IC) を搭載している。MMICチップの写真を図-3に示す^{(3),(4)}

プロセスはInGaP/InGaAsヘテロ接合を持つP-HEMT (Pseudomorphic HEMT) をベースにしており、ゲート長 $0.15\mu\text{m}$ である。MMICのチップ面積は 8.46mm^2 であり、従来の開発チップの総合計面積の3分の1に集積化している。また250本以上の金ピラーを配置することにより、回路間の干渉を防止している。

(3) デジタル信号処理部

スキャナ部、ミリ波送受信器の制御機能やFFT

などの信号処理を一つのCPUで実現できるASICを開発し、小型化を実現している。このASICは富士通製で32ビットRISCコントローラを内蔵している。

(4) スキャナ部

ベアリングを採用し、高精度な組立てにより、車の静寂性に影響を与えない静音化を実現している。

この遠距離レーダは角度精度に優れ、多くの自動車メーカーに採用いただいている。

小型近距離レーダ

死傷事故低減への新たなシステムに対応できるレーダの開発要求が高まり、2006年6月に小型近距離レーダを製品化した⁽⁵⁾

● 近距離レーダの要求性能

近距離レーダは前述の遠距離レーダと比較して、以下の点が異なる。

(1) 角度検知範囲

遠距離より、広い角度範囲の検知ができること。

(2) 高速応答性

至近距離での高速な制御指示が必要となるため、レーダの処理周期は数十msとすること。

(3) 小型化

バンパー内部の限られたスペースに搭載できること。

● レーダ仕様

仕様としては視野角 30° 、検知距離45 m、相対速度 $\pm 100\text{ km/h}$ 、大きさ $87\times 67\times 46\text{ mm}$ を実現している。開発品の外観を図-4に示す。

● レーダ方式

測距方式としては、遠距離レーダと同じFM-CW方式を踏襲し、高い距離精度を実現している。

測角方式については、広角度を瞬時に検知し、な

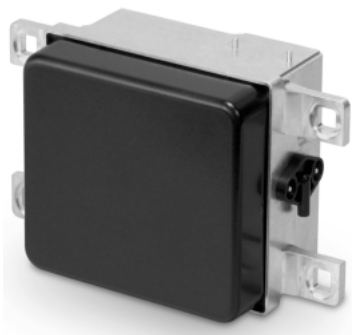


図-2 遠距離レーダ
Fig.2-Long range radar.

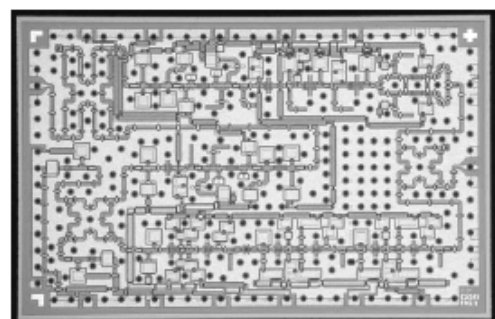


図-3 シングルチップMMIC
Fig.3-Single chip integrated MMIC.

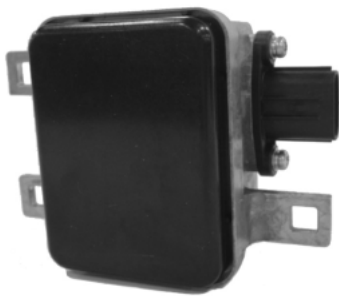


図-4 小型近距離レーダ
Fig.4-Compact and short range radar.

おかつ小型である要求に応えるため、位相モノパルス方式を採用した。

この方式は二つのアンテナを配置し、到来電波の方向角度を各アンテナで受信した信号の位相差によって求める。この方式によれば、広いビーム幅の小型アンテナを使用でき、かつ遠距離レーダにあるスキャナが不要であるため、レーダを小型化できる。またアンテナの数も少ないので、処理負荷を低減でき高速化が可能である。

● レーダ構成と特長

以下に主な特長を示す。

(1) アンテナ部

三つのアンテナを持つ専用のトリプレートアンテナを開発した。モノパルス方式は基本的に二つのアンテナで構成できるが、三つにすることで、さらに角度検出性能を向上させている。

(2) ミリ波送受信器

複数のアンテナに電力を分配するためのDP3T-SW (2対3系統の切替えスイッチ) MMICを、新たに富士通グループで開発し搭載した。そのほかのデバイスは遠距離レーダの技術を流用することで、共通化を図っている。

今後の課題

(1) 検知性能の向上

前後だけでなく、横方向を含めた2次元的な物標検知が必要になる。角度性能を向上させる電波の到来方向推定のような技術も必要になってくる。

(2) コスト

すべての人に安全なシステムを提供するためには、

コストは大きな課題となる。検査の簡素化や高集積化により、低価格で提供できる高周波プロセスの実現を図っていく。

(3) 小型化

小さくできれば車のデザインへの影響が少なくなるため、すべての車両に搭載することが可能となる。部品の小型化、高集積化を進める必要がある。

(4) 他センサとの協調

今後の車両制御システムは、道路環境を選ばない全速度域での走行支援へと発展していく。そのためには、車載されているほかのセンシングシステムや、通信インフラと協調する（データを共有したり連携したりする）など、総合的なアルゴリズム開発が必要になる。

これらの要求を、いかに実現するかが今後の開発のかぎになると考えられる。

む す び

本稿では、富士通テンの76 GHzミリ波レーダの開発事例を中心に紹介した。

ミリ波レーダは、自動車の安全性向上とITSの実現を担い、様々なシステムに展開されていくと推測される。これらニーズを実現するミリ波レーダを開発していくことで、今後も自動車の安全性向上に貢献していきたい。

参 考 文 献

- (1) 堀松哲夫ほか：実用化を迎えたミリ波レーダシステム．電子情報通信学会誌，Vol.87，No.9，p.756-758 (2004)．
- (2) 山野真市ほか：シングルチップMMIC応用自動車用76 GHzミリ波レーダ．富士通テン技報，Vol.22，No.1，p.12-19 (2004)．
- (3) 青木芳雄ほか：76 GHz車載レーダ用HEMT MMIC．FJITSU，Vol.51，No.3，p.190-194 (2000)．
- (4) 大橋洋二ほか：76 GHzシングルチップMMIC高周波ユニットの開発．富士通テン技報，Vol.20，No.1，p.23-31 (2002)．
- (5) 本田加奈子ほか：76 GHz後方近距離ミリ波レーダの開発．富士通テン技報，Vol.25，No.2，p.59-63 (2007)．