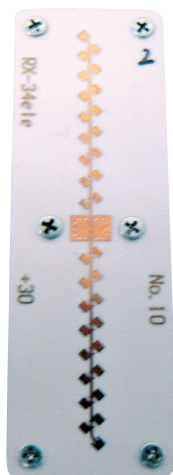


小型・高性能なミリ波帯アンテナ

Compact and High-performance Millimeter-wave Antennas

上	里	良	英	Yoshihide	UEZATO
吉	竹	弘	晃	Hiroaki	YOSHITAKE
生	野	雅	義	Masayoshi	SHONO
藤	本	正	彦	Masahiko	FUJIMOTO
山	脇	俊	樹	Toshiki	YAMAWAKI



要 旨

当社は、前身の富士通時代を含め、ミリ波帯（30～300GHz）を使用した自動車用レーダを継続して開発し、2003年より量産を開始している。本論では、30余年の当社レーダ開発の歴史を紹介するとともに、電波の出入り口であるアンテナ開発の経緯に焦点を当て、車載用として特徴的な導波管スロットアンテナと、2003年から量産化を行った平面タイプのトリプレートアンテナについて解説する。

また車載用レーダのさらなる価格低減のため、構造が非常にシンプルで低コスト化に有効なマイクロストリップアンテナの開発を行い、従来比1/5の低コスト化を実現した。ここで取組んだ、伝送損失の低減設計や基板材料開発の内容について説明する。

Abstract

Fujitsu Ten has been developing automotive radar using the millimeter-wave (30GHz to 300GHz) since before we were separated from Fujitsu, and we started its mass production in 2003. In this article, we introduce our history of our own radar development for more than 30 years. In addition, we explain a waveguide slot antenna for automotive application and a low-profile triplate antenna whose mass production was started in 2003, focusing on the background of the antenna development.

For further reduction of the cost of the automotive radar, we developed microstrip antennas effective in lowering cost with its extremely simple structure and then reduced the cost by 80%. We also explain our efforts of the design for reduction of transmission loss and the development of printed board materials.

1

はじめに

当社は1980年代に、導波管スロットアンテナを使って車載評価用V型レーダを試作し自動車レーダの実用化の目処を得た。1990年代には、搭載性向上とカーブでの検知性能向上のために、トリプレートアンテナを採用したメカニカルスキャン方式レーダを開発し2003年に製品化した。現在、アンテナの低価格化を目指し、コムライン型マイクロストリップアンテナの設計技術確立と製品化開発を行っている。

アンテナ開発を進めていくなかで、立体アンテナから平面アンテナへと形状が変化し、材料も金属を使った導波管から誘電体が変わった。本文では、そのアンテナ開発の歴史と現在の取り組みについて述べる。

2

自動車レーダ開発の歴史

2.1 開発のはじまり

1970年代から、増加する自動車事故の低減対策として自動車レーダの必要性が認識され始めた。また当時の郵政省による40GHz以上の周波数割当方針が決まり、技術的には50GHz帯の簡易無線が実用化されるなど、社会的なニーズ、電波行政動向、技術面で自動車レーダの開発環境が整い始めた。

1974年に富士通株式会社（以下富士通）は、自動車用レーダ開発をするためにモトロニクス開発部を新設した。ここではまず初めに、ミリ波帯での自動車レーダの可能性検討を行った。検出性能を優先し、高利得で直径が約30cmある大型のカセグレンアンテナを使用し実験用モデルを試作した。この試作機を使い検出性能を評価することで、ミリ波帯が自動車レーダとして有効であることを確認した。

1979年に富士通の自動車用レーダ開発は開発体制を維持したまま当社に移管された。

1980年代に当社は、高周波デバイス開発を富士通に委託、アンテナは小型で高利得の導波管スロットアンテナを自社開発し、車載可能なV型レーダを試作した。トヨタ自動車工業株式会社（当時名称）の協力を得てソアラに搭載し一般道路での走行試験、寒冷地試験を実施した。このレーダは固定ビーム方式のため、カーブでの探知性能低下という方式上の課題はあるが、本試験により先行車の探知性能、隣接車両との分離など、自動車レーダに必要な特性を満足していることを確認できた。

2.2 製品化への取り組み

1990年代に入って、自動車のデザインが箱型からスラントノーズへと変化し始め、自動車メーカーからはレーダに対し、より小型・薄型化の要求が強くなり、その要求に対し有効な平面タイプのアンテナ導入の検討を開始した。導入にあたっては、高効率の導波管スロットアンテナなみの利得維持が課題だった。当時BSアンテナ用として高効率の平面タイプであるトリプレートアンテナを製品化していた日立化成工業株式会社（以下日立化成工業）とミリ波帯自動車用平面アンテナの開発を開始した。

同じく1990年代に郵政省（当時名称）と、レーダメーカー、自動車メーカーが周波数割当実現のためのワーキンググループを発足した。その成果として1997年自動車用ミリ波レーダに60GHz帯の周波数が割り当てられた。周波数割当が実現したことにより、製品化に向けた法規制の大きな壁がなくなり、各メーカーの製品化の動きは急速に活発化した。

当社は、トリプレートアンテナを導入し、アンテナの薄型、軽量の特徴を活かしてアンテナをメカニカルにスキャンすることにより、カーブでも探知性能が落ちない高分解能メカニカルスキャン方式レーダを開発し、2003年に製品化した。その後、2006年には後方監視レーダを製品化した。

2.3 低価格化への取り組み

自動車レーダの普及に伴い、レーダの低価格化が課題になっている。エッチングでパターンニングするプリント基板タイプのマイクロストリップアンテナは低価格化に有効である。しかし、ミリ波帯では損失が大きく、効率が低いためこれまで使われてこなかった。

しかし、近年、放射素子と給電線路を直接結合し、損失の低い高効率のマイクロストリップアンテナが提案されている^{(3) (4)}。当社は、この技術を応用し、日本ピラー工業株式会社と共同で材料開発を行い、マイクロストリップアンテナの実用化開発に取り組んでいる。

3

アンテナ開発の歴史

図1に、アンテナ開発の歴史を示す。当社では導波管スロットアンテナからスタートし、トリプレートアンテナ、さらに小型・軽量、低価格化を目指して、マイクロストリップアンテナへと開発を進めている。

本章では、当社で開発したアンテナについて、各アンテナの構成、特徴について詳細を述べる。

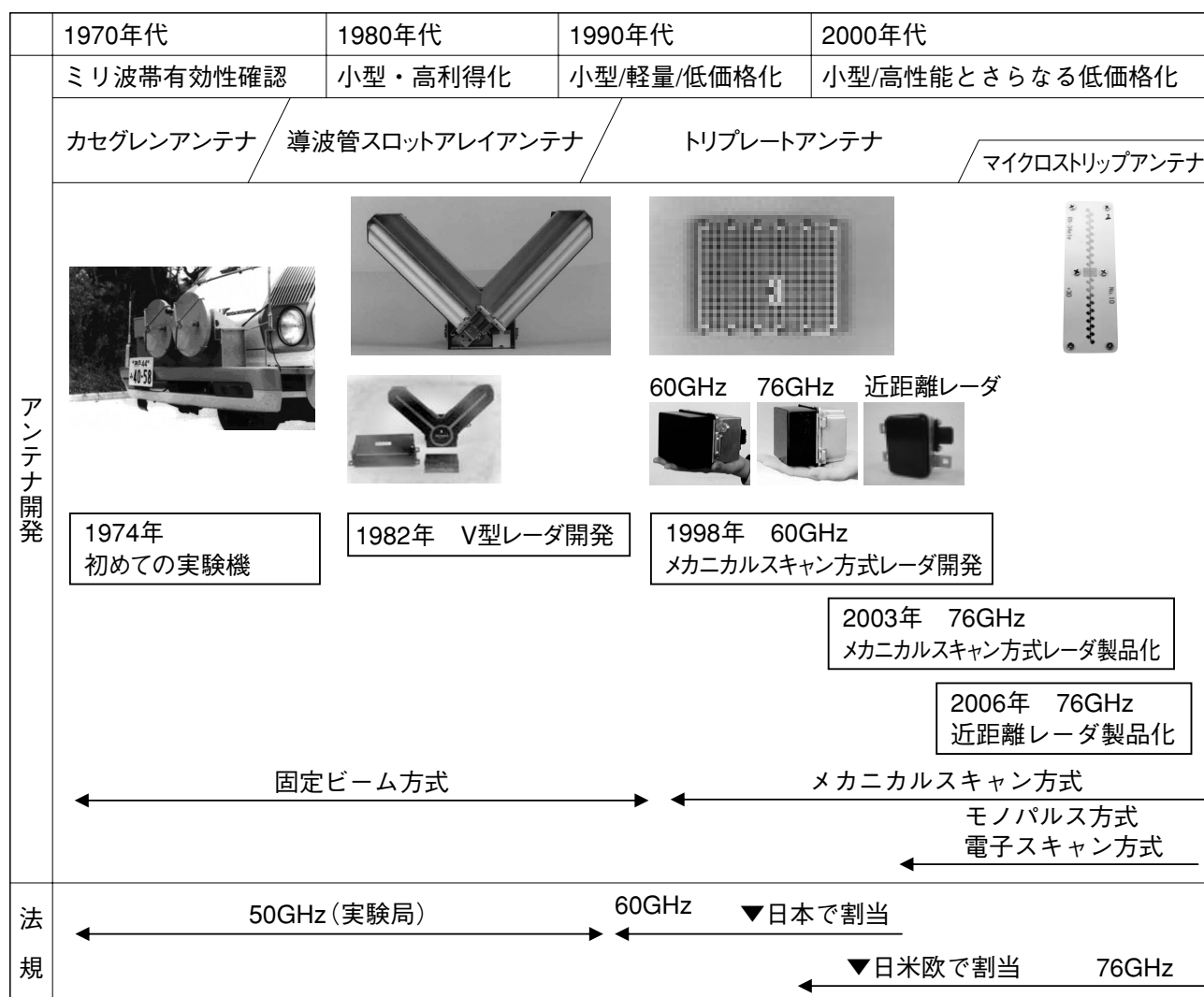


図1 アンテナ開発の歴史
Fig.1 History of Antenna Development

3.1 導波管スロットアンテナ

車載評価用モデルの試作にあたり、隣接車両との分離、路面反射の影響などを考慮して最適ビーム幅を検討した。

最適ビーム幅を実現するためのアンテナ方式として、チーズアンテナ、導波管スロットと円筒パラボラの複合アンテナなど数タイプのアンテナを使ったアンテナを試作評価した。なかでも、送信側と受信側のアンテナをV字型に組み合わせビームを合成するタイプでは、小型でシャープなビームを形成することが可能となった。

このアンテナを使用したV型レーダは、高周波部の各デバイス間を直結し簡素化することで、検出性能、搭載性に優れた車載評価モデルにすることができた。1982年から約10年間にわたり、一般道路での走行試験を実施し、以後のレーダ用アンテナおよびレーダとしての仕様を確立した。

3.1.1 導波管スロットアンテナの構造

図2 (a) に示すように、送信アンテナまたは受信アンテナは、導波管スロットアレイアンテナの一次放射器で 2° を、円筒パラボラ反射器で 6° のビーム幅を形成している。このビーム幅 $2^\circ \times 6^\circ$ の送・受ビームを図2 (b)のように直交に組み合わせて、 $2^\circ \times 2^\circ$ の送受合成ビームを得ている。

対向車の電波干渉を避けるため 45° 偏波を行っている。図2 (c) に示す偏波面が互いに直交するロンジチューディナルシャントスロットとエッジシャントスロットを送信、受信アンテナとして使用し、かつV字型に直交して配置することで送受アンテナの偏波面を 45° 方向にそろえている。

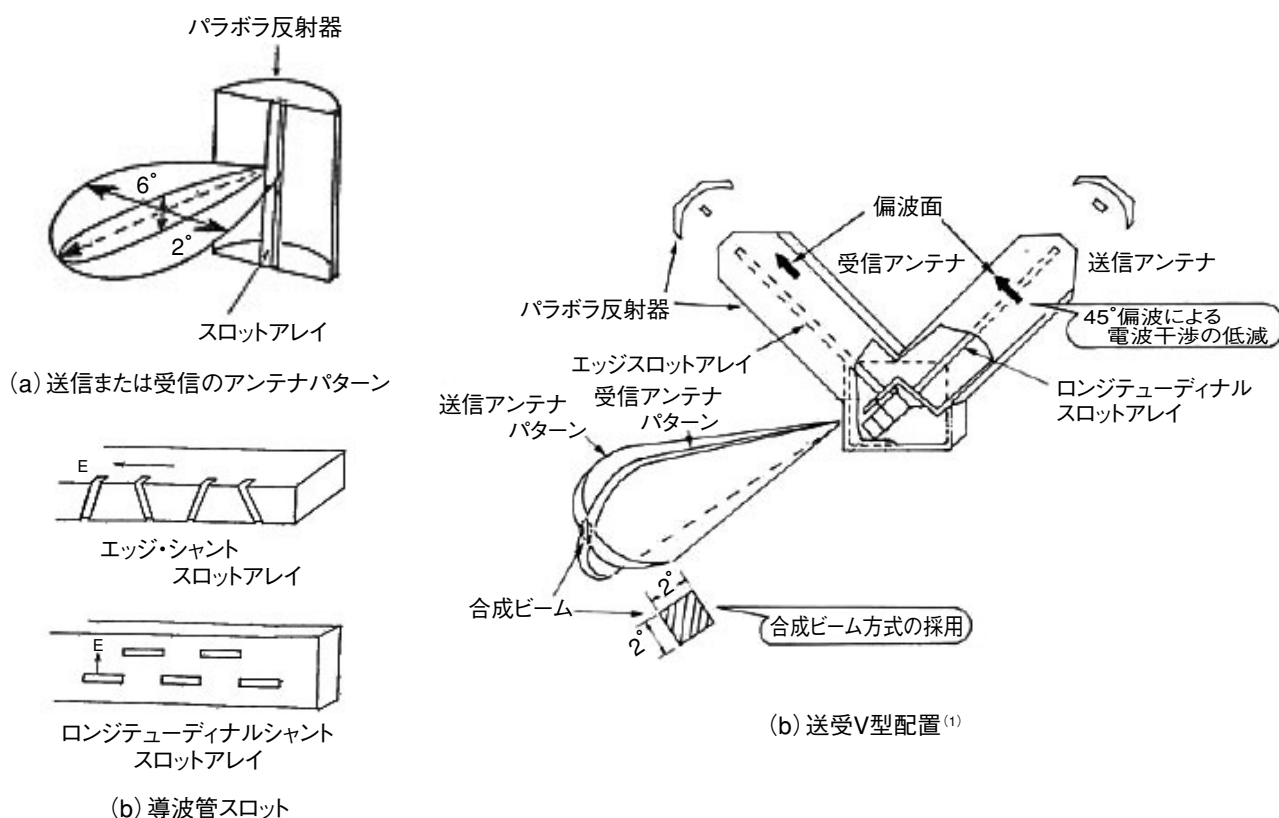


図2 導波管スロットアンテナの構成⁽¹⁾
Fig.2 Structure of Waveguide Slot Antenna⁽¹⁾

3.2 トリプレートアンテナ

高効率のミリ波帯平面アンテナを製品化するために、自動車レーダ用アンテナとしての仕様検討と評価を当社が担当し、アンテナの設計・試作を日立化成工業が担当して共同開発を実施した。

3.2.1 トリプレートアンテナの構造

図3 (a) に示すように、非常に薄いフィルム基板にエッチングした銅箔パターン（給電線路、パッチ）と上下の平行平板（スロット板、地導体）、およびフィルム基板を保持する発泡材から構成される。給電線路からパッチまでの伝送線路部分を図3 (b) のような上下を平行平板で挟んだトリプレート伝送線路で構成している。

トリプレート伝送線路は、給電線路を構成する内部に樹脂基板のような誘電体材料を使用しないため、材料に依存する誘電体損失が小さく、また信号が上下の平板により遮蔽され空間への放射損失がない。よって、損失が上下の平板を流れる電流による導体損失のみとなり、アンテナの給電線路に使用すると放射効率が高い平面タイプのアンテナが実現できる。

4

低価格アンテナの開発

搭載性とスキャン機能を両立するために、平面タイプのアンテナは必要不可欠になった。また、自動車レーダの用途の拡大と普及に伴い低価格の要求が高まっている。

平面アンテナのなかでは構造がシンプルなマイクロストリップ方式の方が低価格化に有効である。しかし、樹脂基板を使っているため伝送損失が大きくなり、効率が低下するという課題がある。

この課題を解決する方策に、放射素子と給電線路を直結する手法がある⁽⁴⁾。この技術を用いると、各放射素子までの伝送線路損失を低減できるため、高効率のマイクロストリップアンテナが実現できる。当社は(株)豊田中央研究所の協力を得て、このタイプのアンテナを最適設計した製品化開発に取り組んだ。

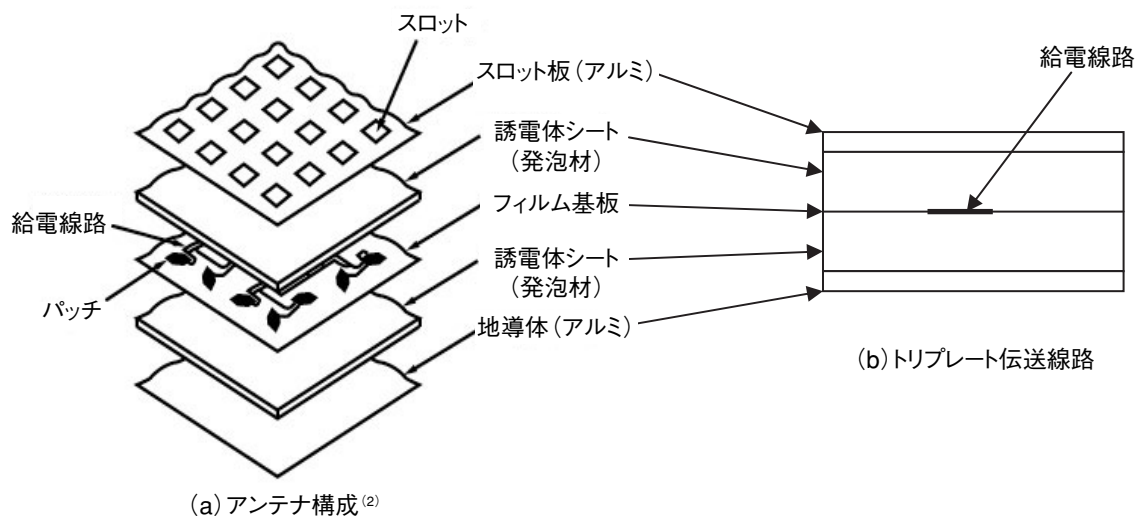
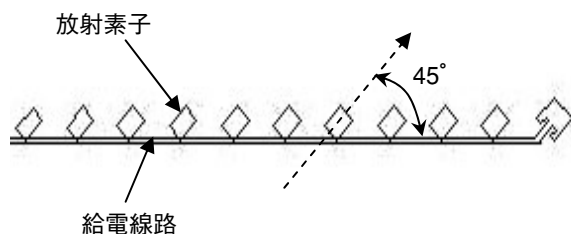


図3 トリプレートアンテナの構成
Fig.3 Structure of Triplate Antenna

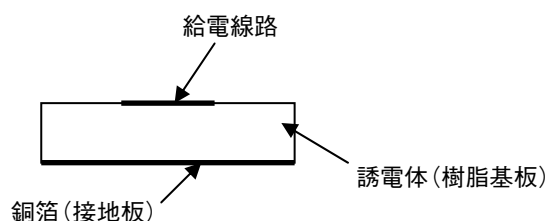
4.1 マイクロストリップアンテナの構成

マイクロストリップアンテナにおける給電線路と放射素子の構成を図4 (a) に、マイクロストリップ基板構成を図4 (b) に示す。

上述したように各放射素子に信号を送る中央の給電線路と放射素子を直結している。さらに放射素子を45° 傾けることにより、45° 偏波も同時に実現している。



(a) 給電線路と放射素子の構成



(b) マイクロストリップ基板構成

図4 45度偏波コムライン型マイクロストリップアンテナの構成
Fig.4 45-degree Polarized Comb-line Microstrip Antenna

4.2 製品化に向けての取組み

マイクロストリップアンテナの製品化に向けた主な取り組みを以下に示す。

- ①基板材料の選定
- ②アンテナパターン特性の改善設計
- ③ロバスト設計

上述の取り組みのなかで、ここでは、①基板材料の選定と、②アンテナパターン特性の改善設計について検討した内容を以下に述べる。

4.2.1 基板材料の選定

基板材料は、電気特性、機械的強度、耐環境性など、あらゆる特性について検討を行った。特にミリ波帯域で使用するということで電気特性が重要な課題となる。

基板の主な電気特性として、誘電率と誘電体損失がある。誘電率は、大きいほど周波数帯域が狭くなるため、アンテナ材料としては3以下が適している。今回は、誘電率3以下の基板のなかから、液晶ポリマー基板のLCP (liquid crystal polymer)、フッ素樹脂基板のPTFE (poly-tetra-fluoro-ethylene) に絞込み、評価した。

誘電体損失は、給電線路内の損失に影響し、損失が大きくなる場合放射効率が低下するため重要な指標となる。

給電線路の損失は、給電線路のみの評価サンプルを試作し線路両端間の損失を測定した。LCPの場合、給電線路の損失が大きくアンテナ効率がトリプレート方式より大きく劣るという結果となった。

一方、PTFEは損失が小さく、コムライン型マイクロストリップアンテナの基板材料として使用すると高効率のア

ンテナが実現できる可能性が大きいという結果を得た。

4.2.2 アンテナパターン特性の改善設計

放射素子を直線状に配置した場合（図4（a））、誘電率の温度特性がアンテナパターン特性に影響する。誘電率が温度によって変化すると誘電体内の波長が変化し各放射器から放射される信号の位相が変化する。各放射素子から放射される信号の位相が同相の場合はアンテナ正面（アンテナ面から垂直方向）で各信号の位相がそろってメインローブのピークがアンテナ正面になるが、各信号に位相変化があると、アンテナのメインローブのピーク位置が変化する（ビームが傾く）。そこで誘電率の温度特性がアンテナパターン特性に及ぼす影響の対策として、下記（a）に述べる中央給電方式を採用し、アンテナパターン特性の改善設計をする方向で量産化開発に取り組んだ。本方式は、給電部がアンテナ中央部に位置することにより、新たなサイドローブ比劣化の課題を生じるが、下記（b）の対策により改善した。

（a）中央給電方式の採用

中央給電では、図5（a）に示すように給電部を境にして左右の放射素子の位相変化の符号が逆になるため、アンテナ正面で位相変化が打ち消されピーク位置は変化しない。しかし、給電部がアンテナ中央に存在することにより、中央部付近からの放射ができなくなるため、アンテナパターン特性のサイドローブ比が低下する。

中央給電方式採用の最も大きな課題はサイドローブ比劣化の低減にあり、以下に低減に向けた取り組みを示す。

（b）サイドローブ比劣化の低減

給電部は図5（b）に示すように導波管部と変換器部とで構成されている。変換器は、RF部との接続用導波管とアンテナの給電線路（マイクロストリップ線路）との間を信号が伝搬する時、反射や損失を少なくする機能を持つ。中央給電方式の場合、給電部に入力される信号を2分配して左右の放射素子に供給する必要がある。ここでは変換器の機能に2分配機能を付加することで、給電部のサイズを従来と同程度におさえた。それにより、放射できないエリアを最小にすることができ、サイドローブ比の劣化を低減した。図6にアンテナパターンの評価結果を示す。自動車レーダ用アンテナとして使用可能な利得、サイドローブ比を実現した。

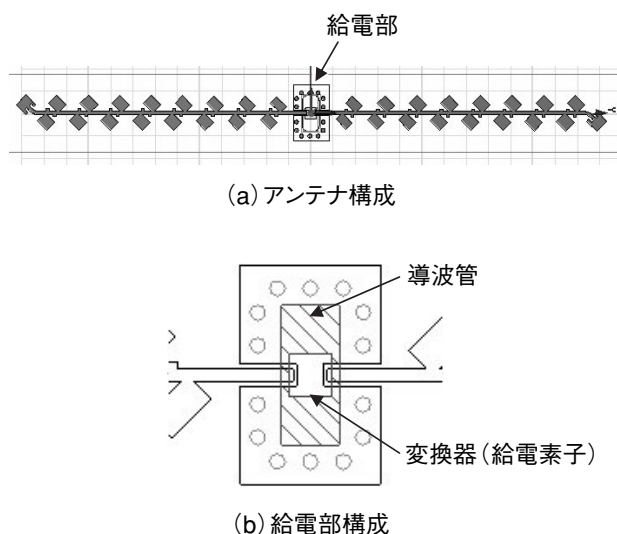


図5 中央給電方式マイクロストリップアンテナの構成と給電部構成
Fig.5 Structure of Center-fed Microstrip Antenna and its Feeding Point

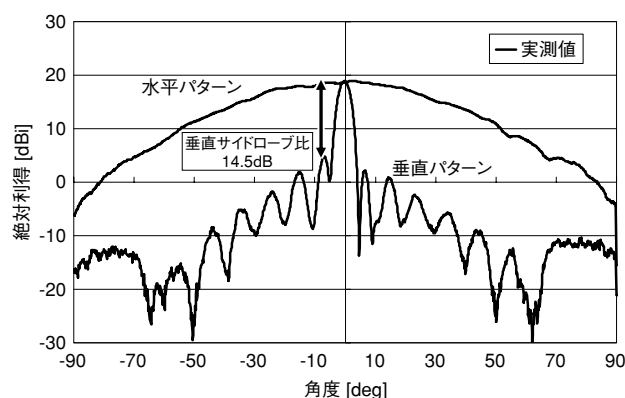


図6 アンテナパターン評価結果
Fig.6 Evaluation Result of Antenna Pattern

5

おわりに

当社のミリ波レーダの進化に伴い、そこに使用されるアンテナも、導波管スロットアンテナからトリプレートアンテナ、マイクロストリップアンテナへと開発を進めてきている。開発するアンテナの変遷に伴い材料や構造が大きく変わり、新しい構成での効率、温度特性、耐環境性など課題が生まれたが、そのつど検討を重ね製品化の可能性を見出してきた。今後は、加工誤差に強いロバスト設計を取り入れることで、より小型・低価格なアンテナを追求したミリ波帯マイクロストリップアンテナの量産化設計技術確立し製品化を目指していく予定である。

参考文献

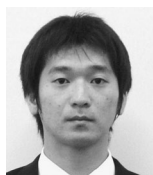
- 1) 野上、上里、阪本、磯貝：自動車へのミリ波レーダの
応用 富士通テン技報 VOL3 No.2
- 2) 山脇、山野：60GHz帯自動車用ミリ波レーダ、富士通
テン技報 VOL15 No.2
- 3) 飯塚、渡辺、佐藤、西川：Millimeter-wave Microstrip
Line to Waveguide Transition Fabricated on a Single
Layer Dielectric Substrate IEICE TRANS. COMMUN.,
vol E-85B, No.6 June 2002
- 4) 飯塚、渡辺、佐藤、西川：Millimeter-wave Microstrip
Array Antenna for Automotive Radars IEICE TRANS.
COMMUN., vol E-86B, No.9 September 2003

筆者紹介



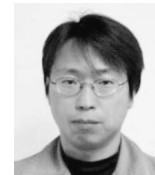
上里 良英
(うえざと よしひで)

1972年入社。以来、ミリ波レーダシステムの設計に従事。ITS技術本部システム統括部技術二部在籍後、2010年9月定年退職。



吉竹 弘晃
(よしただ ひろあき)

2008年入社。以来、ミリ波レーダ用アンテナの設計に従事。現在ITS技術本部システム統括部技術二部在籍。



生野 雅義
(しょうの まさよし)

1988年入社。以来、自動車用電装製品の開発に従事。1991年よりミリ波レーダシステムの開発・設計に従事。現在ITS技術本部システム統括部技術二部在籍。



藤本 正彦
(ふじもと まさひこ)

1982年入社。以来、ICの開発・設計、自動車用電装製品の開発・設計、ミリ波レーダシステムの開発・設計に従事。現在ITS技術本部システム統括部技術二部在籍。



山脇 俊樹
(やまわき としき)

1984年入社。以来、カーオーディオ製品の生産技術、カーオーディオ用ハイブリッドICの開発・設計、ミリ波レーダの開発・設計に従事。現在ITS技術本部システム統括部技術二部長。