

# 中央給電一層構造逆相給電導波管スロットアレーアンテナの開発

## The Developments of Alternating-Phase Fed Single-Layer Center-Feed Waveguide Slot Arrays

吉田 吾郎 渋谷 裕三 常光 康弘 後藤 尚久  
 Goro Yoshida Yuzo Shibuya Yasuhiro Tsunemitsu Naohisa Goto

安藤 真\* 広川 二郎\* \*東京工業大学  
 Makoto Ando Jiro Hirokawa Tokyo Institute of Technology

### 要 旨

一層構造逆相給電導波管スロットアレーアンテナは、準ミリ波やミリ波帯でも導体損失が少なく、スロット板と導波管ベースを組み合わせた簡易な構造にでき、ロープロファイル化可能という特徴を持つ。本アンテナを通信システムに採用するため、周波数特性が広帯域であり且つビームチルトが発生しない、中央給電型の一層構造逆相給電導波管スロットアレー開発を行なった。本開発では大容量計算機を導入することでアレーアンテナ全体の電磁界解析を実施し、設計最終確認を行なうことを可能とした。また、本逆相給電アレーアンテナ性能向上のため開発した方式について報告する。

### Abstract

Single-layer slotted waveguide arrays are developed for microwave and millimeter wave application. An alternating phase fed array, which is one type, consists of a slotted plate and a waveguide base, is low-profile antenna and is easy to fabricate. The center-feed type of the antenna has two important design advantages: the array bandwidth is doubled and the direction of the boresight beam is frequency-independent. JRC has developed this antenna for wireless communication systems. This project introduces to analysis whole antenna model by electromagnetic method which can confirm final trial manufacture. And this paper reports two inventions to improve side-lobe level and antenna aperture efficiency.

### 1. まえがき

一層構造逆相給電導波管スロットアレーアンテナ<sup>(1)</sup>は、準ミリ波やミリ波帯でも導体損失が少なく、スロット板と導波管ベースを組み合わせた簡易な構造にでき、ロープロファイル化可能という特徴を持つ。応用例として26GHz帯加入者無線アクセス(Fixed Wireless Access)システムの加入者局用アンテナに使用されている<sup>(2)</sup>。また、図1の将来応用例として示すように周波数利用効率を倍増させる直交偏波通信システム=偏波分割複信方式(Polarization Division Duplex: PDD)用<sup>(3)</sup>に偏波が直交するように送受信アンテナを隣接配置(図2)したものがあ<sup>(4)</sup>。

このシステムに適用されるアンテナに関しては、広帯域な周波数特性を持ち、主ビームが常にアンテナ正面方向を向く中央給電型アンテナが提案されている<sup>(5)</sup>。

この中央給電型アンテナなどの図2に示すような電気的に大きなサイズのアンテナの開発において、従来はアンテナを構成する各部位毎のモデル(放射導波管スロットアレー、給電導波管及びアンテナ給電口)を個々に解析し、その後、それらの結果を基に近似的に総合解析するというのが通常であった。この手法を採用する理由は、計算量に限

界があり、大型アレーアンテナ全体を一度で解析することが難しかったためである。

しかし、今回新たに導入した大容量計算機を用い大型アレーアンテナ全体の電磁界解析を実施し、設計の最終確認を行なうことが可能となった。本報告では全体解析の有効性につき報告する。

なお、全体解析(及び各部位の反射特性の解析)には、

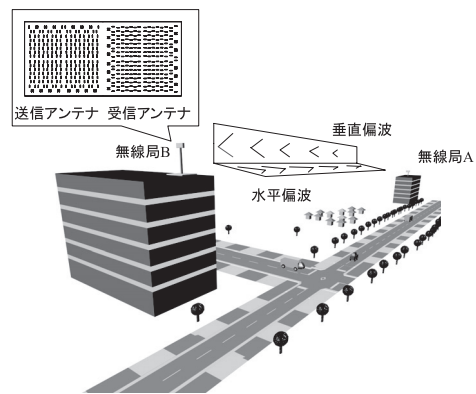
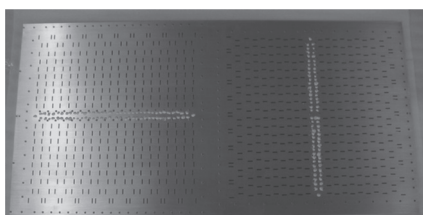


図1 将来応用例  
 Fig.1 Future plan



(a) 送信アンテナ (b) 受信アンテナ

(a) Transmitting antenna (b) Receiving antenna

図2 直交偏波FWAシステムにおける直交配置アレー

Fig.2 A terminal with orthogonal arrangement of arrays in a dual polarization FWA system

有限要素法による解析シミュレータHFSS™ (アンソフト・ジャパン株式会社製) を用いた。

さらに、本逆相給電アレーアンテナの性能向上を目的として考案した方式について報告する。

## 2. 中央給電導波管スロットアレーアンテナ

### 2.1 アンテナの各部位構成

図3に中央給電一層構造逆相給電導波管スロットアレーの構造を示す。設計周波数は26GHz帯である。利得30dBi以上を目標とし、スロット素子数は320素子とした。

給電導波管と放射導波管は同一平面内に構成されている一層構造の平面アンテナである。隣接する放射導波管同士は180度の逆位相で給電されるためにスロット板と放射導波管は電氣的に完全な接触は必要とせず、簡易的な製造方法で実現可能である。

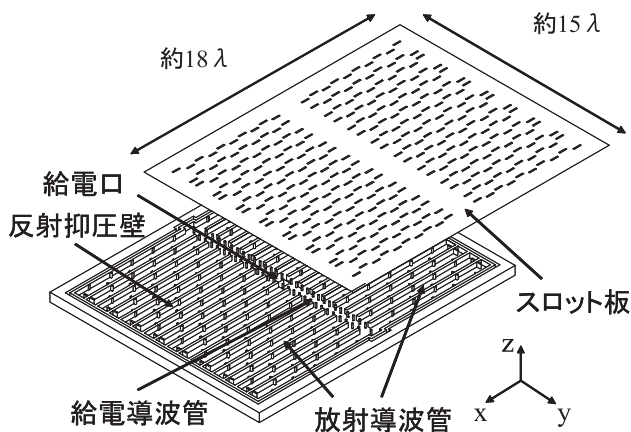


図3 中央給電一層構造逆相給電導波管スロットアレー

Fig.3 Center-Fed Single-Layer Waveguide Slot Array

図4に示すようにアンテナ中央において、背面に標準導波管を接続して給電する。図5に示す給電導波管は、十字電力分配器を縦続接続しており、各分岐にて4本の誘導性ポストを持った構造で放射導波管方向及び給電導波管への分配と反射を制御している。

スロットは導波管広壁面に形成される<sup>(6)</sup>。主ビームをアンテナ正面方向に指向させるため、従来のビームチルト<sup>(7)</sup>による反射抑圧手法は適用せず、図6に示すとおり放射導波管内に各スロットからの反射波を打ち消すための誘導性

壁構造を設け、反射抑圧効果を得ている。



図4 アンテナ給電口

Fig.4 Antenna input aperture

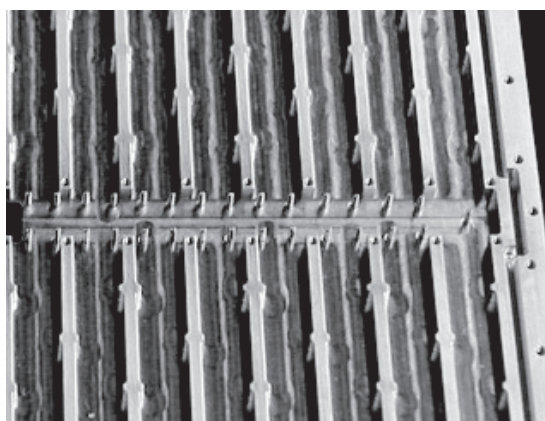


図5 給電導波管 (十字電力分配多分岐構造)

Fig.5 Feed waveguide (Cross-junction power divider)

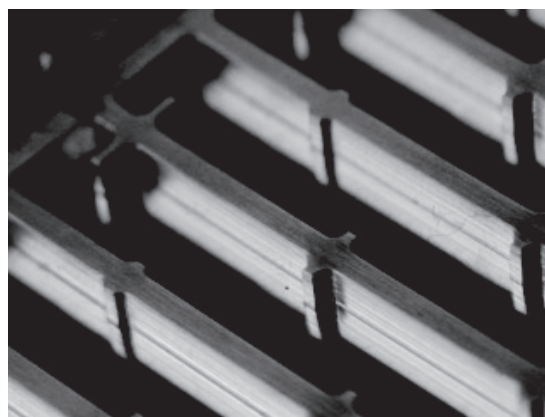


図6 放射導波管構造

Fig.6 Radiating waveguide

### 2.2 反射特性<sup>(8)</sup>

反射特性は有限要素法による電磁界解析シミュレータHFSSを用いて評価した。各構成部位 (アンテナ給電口、16分配電力多分岐と1列スロットアレー) とアンテナ全体の反射特性を解析した。解析時間は全体対象の場合約2時間である。

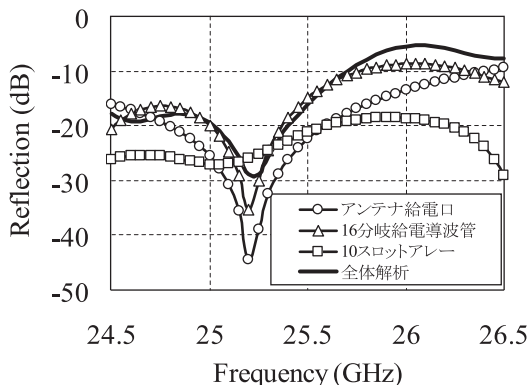


図7 各部位とアンテナ全体の反射特性特性 (計算値)  
Fig.7 Reflection characteristics of each component and whole model (Cal.)

### 2.3 放射指向性

一層構造とするためアンテナ中央に給電導波管を配置した。そのためスロットが配置できない箇所が生じる。このブロッキングエリアと呼ばれる箇所により、サイドローブの上昇とアンテナ放射効率の低下を引き起こす。サイドローブの上昇を抑えるために、給電導波管を中心として対称にテイラー分布状の振幅テーパをかけ、第1サイドローブを-10dBから-15dBまで改善している。ただし、アンテナ開口効率は約45%と低い問題点があった。一様分布の場合は、約59%である。

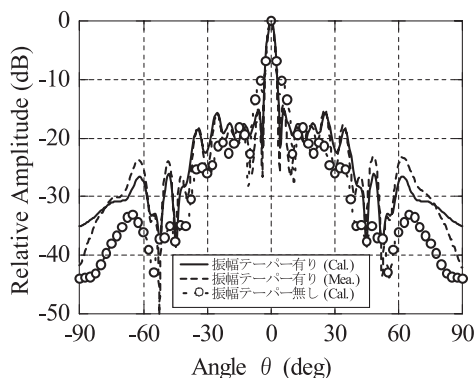


図8 H面放射指向性 (ブロッキングを含む面内)  
Fig.8 H-plane radiation pattern including blockage area by feed waveguide

## 3. 給電導波管と放射導波管の改善

### 3.1 E面方向十字分岐<sup>(9)</sup>

ブロッキングの影響を軽減し、サイドローブレベル劣化を極力低減するため、図9に示すように給電導波管部分はE面導波管を用いた。各放射導波管へは結合窓を通して電力を分配し、窓からの反射を給電導波管底面(狭壁面)の反射抑圧ノッチで抑圧する。

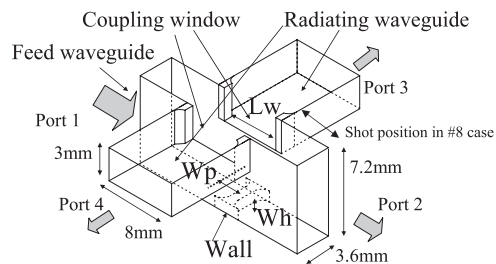


図9 E面方向十字分岐の一例  
Fig.9 The structure of an E-to H-plane cross-junction

図10にE面方向十字分岐をアンテナに適用した写真を示す。図11にはこのアンテナのH面放射指向性解析及び実測結果を示す。ブロッキングエリアによる第1サイドローブ劣化が低減されることを確認した。尚、本指向性解析結果はアレー全体の電磁界解析により求めたものであり、実測値と良好な一致を示しており、全体解析による設計確認の有効性が確認された。

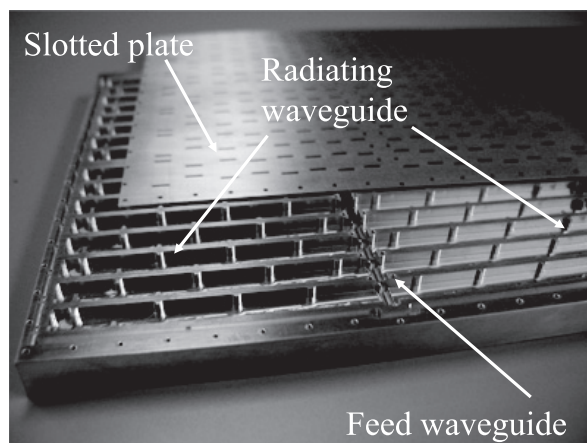


図10 E面方向十字分岐を適用した導波管スロットアレー  
Fig.10 Photo of the E-to H-plane cross-junction center-feed waveguide slot array antenna

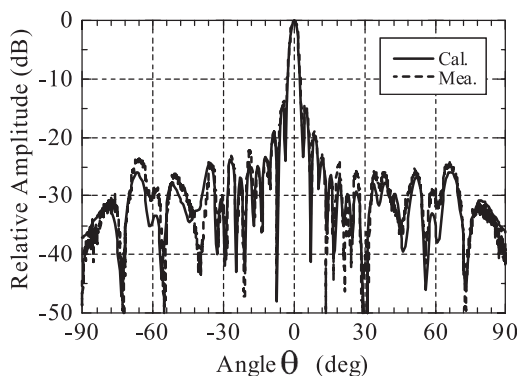
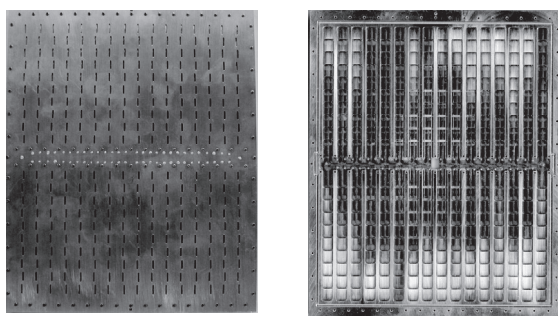


図11 給電導波管改良後のH面放射指向性  
Fig.11 H-plane radiation pattern of the array with E-to H-plane cross-junction

### 3.2 階段状段差構造反射抑圧導波管スロットアレー<sup>(10)</sup>

スロットからの反射を抑圧する方法として、スロットと放射導波管側壁から伸びる誘導性壁の組み合わせを紹介した。欠点としては、スロットアレー終端に近づく毎に放射量を増す必要があり、スロットオフセット量が増加することである。オフセット量が増加すると、不要な方向(例45度面内)のサイドローブが上昇してしまい、全体としてアンテナ開口効率の低下につながる。

そこで、放射スロットと放射導波管広壁面の底面に階段状の段差を設け、1ユニット(スロット+段差)で反射をキャンセルする。そのため、管内波長の半分ごとにスロットを配置することが出来、メインビームは正面方向を向く。また、アレー終端に近づくにつれて段差となる狭壁面の高さが狭くなるため、スロットと放射導波管内部電磁界との結合が強くなる。その結果、オフセット量が少なくても所望の放射量を得ることが出来、オフセット量をほとんど変化させずに一様分布を実現可能である。本手法を用いたアンテナ構成例を図12に、指向性実測結果を図13に示す。本手法により、不要な方向でのサイドローブレベル劣化が低減可能なことが確認できた。また不要方向への電波放射を抑えることで、アンテナの開口効率は74%という高効率を実現した。



(a) スロット板 (b) 導波管ベース

図12 階段状段差構造を適用したアンテナ

Fig.12 Single-Layer Slotted Waveguide Array with Reflection Canceling Stairs

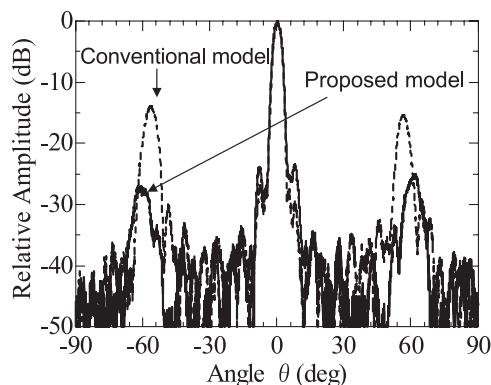


図13 45度面内指向性実測結果

Fig.13 The 45degree-plane radiation pattern

### 4. あとがき

中央給電一層構造逆相給電導波管スロットアレーアンテナの開発を行ない、全体解析の有効性を確認した。また、性能向上手法につき効果を確認した。現在、中央給電型の更なる広帯域化を目指して部分並列給電等の方式を開発中である。

今後のミリ波帯における通信の発展に寄与することができれば我々は幸いである。

#### 参考文献

- (1) N. Goto, "A Planar Waveguide Slot Antenna of Single Layer Structure," IEICE Tech. Rep., AP88-39, Jul. 1988.
- (2) 日本無線株式会社 26GHz帯無線アクセスシステム [http://www.jrc.co.jp/jp/product/26g\\_fwa/index.html](http://www.jrc.co.jp/jp/product/26g_fwa/index.html)
- (3) 周波数利用効率2倍を達成する新通信システムを開発 <http://www.jrc.co.jp/jp/whatsnew/20070612/index.html>
- (4) Y. Tsunemitsu, J. Hirokawa, M. Ando, Y. Miura, Y. Kazama, and N. Goto, "Polarization Isolation Characteristics Between Two Center-Feed Single-Layer Waveguide Arrays Arranged Side-by-Side," ACES JOURNAL, VOL. 21, NO.3, pp. 240-247, November 2006.
- (5) S. Park, Y. Tsunemitsu, J. Hirokawa, and M. Ando, "Center Feed Single Layer Slotted Waveguide Array," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.54, No05, pp.1474-1480, May 2006.
- (6) R. S. Elliott and L.A. Kurtz, "The Design of Small Slot Arrays," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.26, pp.214-219, March 1978.
- (7) R. E. Collin and F. J. Zucker, "Antenna Theory," part1, Sec. 14.8, McGraw-Hill, 1969.
- (8) Y. Tsunemitsu, S. Park, J. Hirokawa, M. Ando, Y. Mimura, Y. Kazama, and N. Goto, "Reflection Characteristics of Center-Feed Single-Layer Waveguide Arrays," IEICE Trans. Commun., vol. E88-B, No.6, pp.2313-2319, June 2005.
- (9) Y. Tsunemitsu, S. Matsumoto, Y. Kazama, J. Hirokawa, and M. Ando, "Reduction of Aperture Blockage in the Center-Feed Alternating-Phase Fed Single-Layer Slotted Waveguide Array Antenna by E- to H-plane Cross-Junction Power Dividers," IEEE Trans., Vol.56, No. 6 pp.1787-1790, June 2008.
- (10) Y. Tsunemitsu, G. Yoshida, N. Goto, J. Hirokawa and M. Ando, "Single-Layer Slotted Waveguide Array with Reflection Canceling Stairs," IEICE Tech. Rep., AP2007-78, Sep. 2007.