

平成 22 年 6 月 11 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760231
 研究課題名（和文） 摂動素子によりスロットを励振した高能率導波管平面アンテナの研究
 研究課題名（英文） A study of high efficiency waveguide planar antenna with a slot array excited by perturbation elements
 研究代表者
 木村 雄一（KIMURA YUICHI）
 埼玉大学・情報メディア基盤センター・准教授
 研究者番号：90334151

研究成果の概要（和文）: 本研究では、準ミリ波～ミリ波の周波数帯で高利得・高能率が期待され、かつ、量産可能な導波管平面アンテナを開発することを目的として、導波管の広壁中央に直線状に配列されたスロットを摂動素子を用いて励振する新しい逆相給電一層構造導波管スロットアレーを提案した。スロットを励振する摂動素子と反射抑圧素子を用いることにより、ボアサイト方向に主ビームを有するアレーが設計可能であることを示した。また、25GHz 帯においてアンテナを試作し、一様励振分布が実現されることを確認した。

研究成果の概要（英文）: A novel alternating-phase fed single-layer slotted waveguide array with linear slot arrangement is proposed for a high gain, high efficiency and mass-producible planar antenna. A slot is excited by a perturbation element and the reflection is cancelled out by a reflection canceling element. It is revealed that a broadside radiation can be designed by the proposed array. Furthermore, a prototype antenna is manufactured in 25 GHz and uniform excitation is confirmed by the measurement.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2008 年度 | 2,600,000 | 780,000 | 3,380,000 |
| 2009 年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：アンテナ

1. 研究開始当初の背景

新しい周波数資源の開拓を目的として、準ミリ波～ミリ波の電波の利用技術に関する研究が活発に進められている。具体的には 20～40GHz 帯における加入者系無線アクセス（FWA）システム、60GHz 帯における高速無

線 LAN システム、76GHz 帯の自動車レーダーシステムなど、高速・広帯域通信や ITS 技術などが挙げられる。近年ではミリ波デバイス等の技術開発が急速に進み、26GHz 帯の FWA システムや 76GHz 帯の自動車レーダーシステムでは実用に供されている。ミリ波で用いられるアンテナとしては、反射鏡アンテ

ナや誘電体レンズアンテナ等の立体アンテナが一般的であるが、装置の小型化や低コスト化の障害であった。他方、小形・低コスト化が可能な平面アンテナとしては、マイクロストリップラインやトリプレートラインを用いた平面アンテナが広く知られているが、ミリ波では伝送損失が大きくなるためアンテナ効率が低下する。すなわち、ミリ波の普及には低コストで量産可能であり、かつ、高能率な平面アンテナの実現が重要な課題である。

上記の要求に応えるものとして、逆相給電一層構造導波管スロットアレー（逆相給電アレー）が挙げられる。このアンテナはスロットを配列した放射導波管を複数並べ、その一端に給電導波管を同一面内に接続した構造であり、スロット板と給電溝構造を接合して実現される。このため、スロット板と給電溝構造の2つの部品で低損失な中空導波管構造を実現できる。また、隣接する放射導波管を逆位相で励振し、さらに、アンテナの周囲にチョーク構造を用いることで、スロット板と給電溝構造の電気的接合を不要にできる。以上のような特長から、逆相給電アレーは、26 GHz 帯を利用した FWA システムの加入者側端末装置の平面アンテナとして採用され、スロット板をねじ止めで固定する簡易な製作法で大量生産されている。

上記のように、逆相給電一層構造導波管スロットアレーは 26GHz 帯の FWA システムに採用されているが、様々な用途に応えるにはアンテナの一層の小型化が求められている。また、本アンテナでは、スロットアレーの反射波を抑圧するためメインビームをアンテナ正面から数度傾けなければならないため、アンテナ自体を傾けて設置する必要がある。さらに、逆相給電アレーはスロット間隔が一定とならないため、開口効率が低下する問題が存在することが判明している。

2. 研究の目的

上記の課題を克服するために、本研究では逆相給電一層構造導波管スロットアレーアンテナの更なる小型化・高能率化・高機能化を目的とする。具体的には、スロットを導波管の広壁中央に直線的に配列させ、導波管狭壁から突出させた摂動素子（スロット励振壁）によりスロットを励振し、導波管底面から突出させた反射抑圧壁によって反射波を抑圧させる新しい逆相給電アレーの構成法を提案する。スロットアレーの構成要素となる単素子構造をモデル化し、電磁界解析によりその放射特性および反射・透過特性を求め、提案するスロットアレーの設計法を確立する。提案するアレー構造のアンテナを設計・試作し、その有効性を実験的に検

証する。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、はじめに、アレーの構成要素となる単素子モデルの解析を行う。このモデルでは方形導波管の広壁中央にスロットが切れ、導波管狭壁より突出された励振壁がスロットに近接配置されている。さらに、励振壁からの反射波を抑制するため、導波管底面より突出された反射抑圧壁が導入されている。解析には、3次元有限要素法を用いた電磁界シミュレータである Ansoft HFSS を使用し、その散乱行列を求める。

次いで、単素子モデルにより求められた散乱行列を基にアレー設計を行う。ここでは、アンテナ利得が最大となる一様開口励振を目標とする。設計方針は、各々のスロットからの放射量は励振壁の挿入長により制御し、反射抑圧壁の高さおよびその設置位置を調整することにより各スロットからの反射が最小となるように設定する。また、スロット長は共振スロットとなるように設定する。

最後に、設計されたスロットアレーを有する 16×16 素子の平面アンテナを試作し、実験により検証を行う。設計周波数は 25 GHz 帯とし、試作アンテナの大きさは約 18 cm 四方とする。

4. 研究成果

図 1 に本研究で提案される直線上に配列されたスロットを摂動素子により励振する逆相給電一層構造導波管スロットアレーの構造を示す。スロットアレーを有する放射導波管は $1/2$ 管内波長毎に T 分岐が配列された給電導波管により励振され、隣接する放射導波管は逆位相で励振される。スロットは放射導波管の広壁面中央に約 $1/2$ 波長間隔で配列される。スロットは狭壁に設置された誘導性の励振壁により励振され、導波管底面に設置された容量性の反射抑圧壁により各素子で反射が抑制される。このため、進行波動作が可能となる。

はじめに、アレーの構成要素となる単素子モデルの解析を行った。図 2 に単素子モデルの構造図を示す。導波管の広壁中央にスロットが置かれ、励振壁の位置はスロットの中央とする。反射抑圧壁は導波管底面に置かれている。解析周波数は 25.33 GHz とし、励振壁の長さを l_1 、反射抑圧壁の高さを h 、スロット長を l_2 、壁と壁の距離を d とした。なお、解析は電磁界解析シミュレータ HFSS を使用した。外部領域については図 2 に示すように、周囲のスロットとの相互結合を考慮するため周期境界条件と放射条件を設定した。

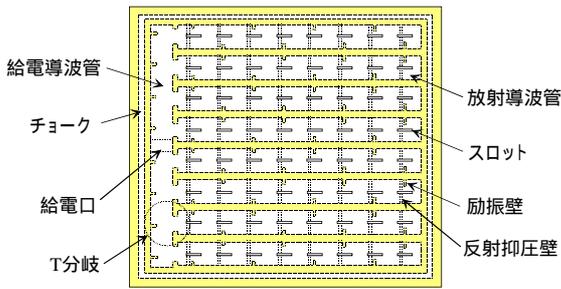


図1 摂動素子により励振される逆相給電一層構造導波管スロットアレー

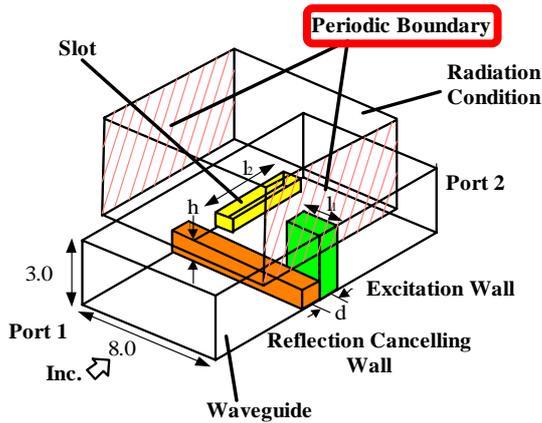


図2 周期条件を用いた単素子解析モデル

図3に d を変化させたときの反射量と透過位相の変化を示す。このとき、 $l_1 = 1.0 \text{ mm}$, $h = 0.8 \text{ mm}$, $l_2 = 5.6 \text{ mm}$ とした。反射抑圧壁の位置を調整することにより、反射が最も抑制される位置が存在することが確認された。また、容量性の反射抑圧壁を用いることで透過位相も小さく抑えられている。図4に放射量の変化を示す。励振壁の長さに応じて放射量が増加している。また、励振壁の長さを大きくすると、反射抑圧壁を高くすることで反射を抑制でき、かつ透過位相を小さいまま放射量を調整できることを確認した。以上の解析により、アレーを設計するために必要な単素子のデータを得ることができた。

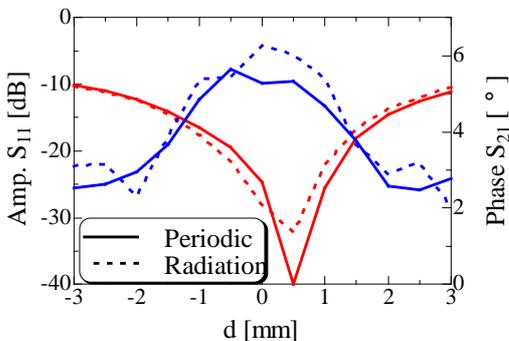


図3 d を変化させたときの反射量と透過位相

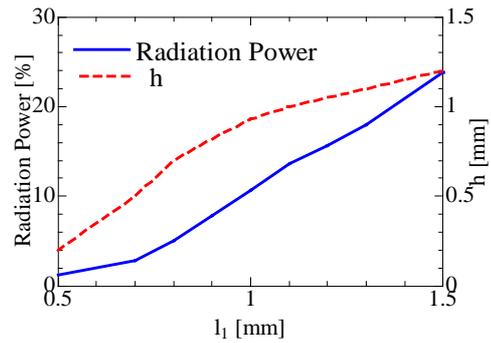


図4 励振壁に対する放射量の変化と h の最適値

次に単素子の解析結果を基にボアサイト方向にビームを有する16素子アレーを設計した。設計周波数は25.33 GHzとした。単素子の解析と同様、放射空間に周期条件を適用した。また、スロット間隔は図6に示すようにボアサイト方向にビームを向けるため、単素子での透過位相の解析結果を基に終端側から一つずつスロットを設計した。図5に設計された16素子アレーの励振分布を示す。なお、解析にはHFSSを用いた。得られたアレーの振幅分布は $\pm 1 \text{ dB}$ の偏差、位相の分布は ± 10 度の偏差となり、良好な一様分布が設計された。

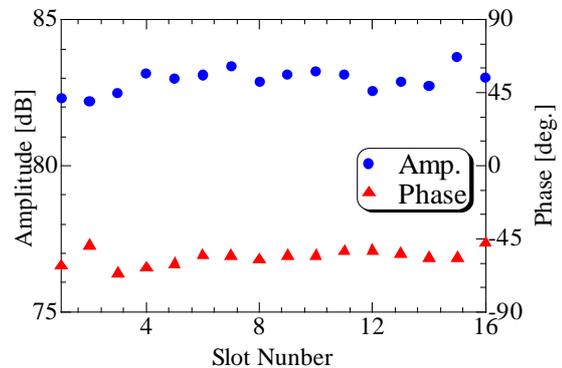


図5 設計された16素子アレーの励振分布

HFSSにより解析を基に、 16×16 素子のアンテナを試作した。図6に試作アンテナの利得とリターンロス特性を示す。25.33 GHzにおける利得の実測値は29.4 dBiであり、反射量は-8.8 dBであった。図7に放射導波管方向(H面)の放射パターンを示す。H面の放射パターンは25.33 GHzで実験値とシミュレーション値でほぼ一致し、設計周波数において一様励振が実現されていることが確認された。また、ボアサイト方向に主ビームが得られることが確認できた。図8に給電導波管方向(E面)の放射パターンを示す。E面パターンは低域側の25.13 GHzにおいて所望の放射パターンと一致することが確認され、この

周波数で一樣励振となっている。

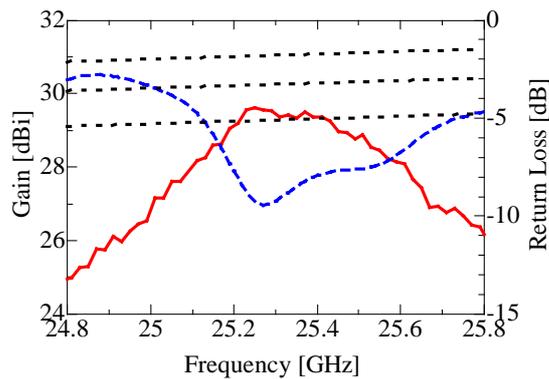


図6 利得とリターンロス特性

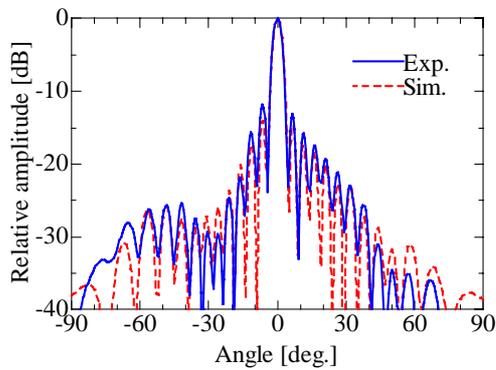


図7 H面放射パターン (25.33 GHz)

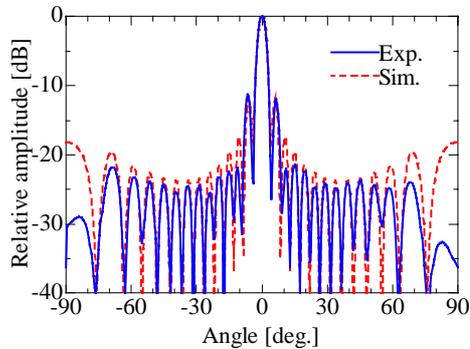


図8 E面放射パターン (25.13 GHz)

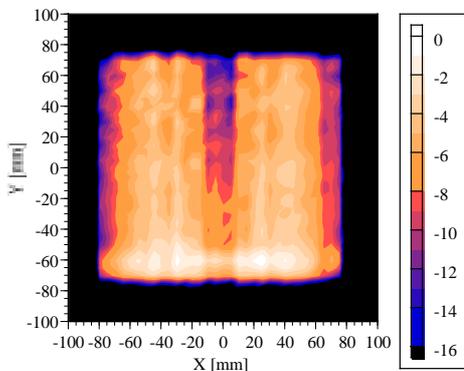


図9 開口面振幅分布 (単位 dB)

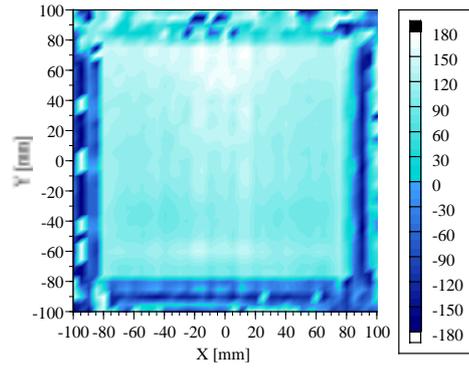


図10 開口面位相分布 (単位 deg.)

図9および図10に設計周波数25.33 GHzにおける近傍界測定による開口面振幅分布、位相分布を各々示す。振幅分布は、放射導波管方向に ± 2 dBの偏差で、給電導波管方向に ± 3 dBの偏差であった。位相分布は放射導波管方向に ± 20 度の偏差、給電導波管方向に ± 15 度の偏差であった。これらの結果より、設計周波数において概ね良好な一樣励振が実現されている。

以上のことから、本研究により提案された導波管の広壁中央に直線的に配列されたスロットを導波管狭壁から突出させた摂動素子によりスロットを励振し、導波管底面から突出させた反射抑圧壁によって反射波を抑圧する新しい逆相給電アレーの構成法および周期条件を用いた単素子モデルによるスロットアレーの設計法の有効性が確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計4件)

- 1) Y. Kimura, K. Sayama, and M. Haneishi, "Experimental study of an alternating-phase fed single-layer slotted waveguide array with linear slot arrangement," 2009 IEEE Antennas Propagat. Society Int. Symp. Dig. 421.3, pp. 1-4, Jun. 2009, Charleston, SC. (査読有)
- 2) 佐山 健太, 木村 雄一, 羽石 操, "幅の広い壁構造の励振素子を用いて構成された逆相給電一層構造導波管スロットアレー," 2009年電子情報通信学会総合大会, B-1-81, 2009年3月20日, 愛媛大学(松山市).

- 3) 佐山 健太, 木村 雄一, 羽石 操, “壁構造の励振素子と反射抑圧素子を用いて構成された逆相給電一層構造導波管スロットアレーの試作特性,”2008 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-158, 2008 年9月 19 日, 明治大学 (川崎市).
- 4) Y. Kimura, K. Sayama, and M. Haneishi, “Design of a slot array with perturbation walls for an alternating-phase fed single-layer waveguide array,” 2008 IEEE Antennas Propagat. Society Int. Symp. Dig. 226.8, pp. 1-4, Jul. 2008, San Diego, CA. (査読有)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 雄一 (KIMURA YUICHI)
埼玉大学・情報メディア基盤センター・准教授
研究者番号：90334151

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：