

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2006～2009  
 課題番号：18560393  
 研究課題名 (和文) ユビキタス・スペースネットワークのためのアンテナシステムに関する研究  
 研究課題名 (英文) Study on antenna systems for ubiquitous space network

研究代表者  
 出口 博之 (DEGUCHI HIROYUKI)  
 同志社大学・理工学部・教授  
 研究者番号：80329953

研究成果の概要 (和文) : ユビキタス・スペースネットワーク構築のためのアンテナシステムの要素技術として, リフレクトアレーアンテナの広帯域化・高精度化ならびにフィルタ特性を利用した透過型平面アレーアンテナ等の次世代アンテナ形式について検討した. また, 多モードの合成による成形ビームホーンや広帯域低交差偏波ホーン等の給電系に対する最適化設計技術について開発した. さらに, 測定評価技術についても平面走査近傍界測定システムを基にして基礎的検討を行った.

研究成果の概要 (英文) : Advanced radio-wave techniques in future antenna systems have been studied for achieving ubiquitous space network. First, broad-band array-elements for reflectarray antennas and transmission planar-array antennas using filter property based on coupled resonances have been proposed as next-generation aperture antennas. And also, optimization design approach for multimode horns with shaped beam and low cross-polarization components have been developed as a high-performance feed. Besides, for accurately evaluating the performance of such antennas and feeds, fundamental measurement techniques have been studied by using planar scanning near-field measurement systems.

## 交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	900,000	0	900,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,500,000	780,000	4,280,000

研究分野：アンテナ工学, 電磁界理論, マイクロ波工学

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：移動体通信, アンテナ, リフレクトアレーアンテナ, ホーンアンテナ, 最適化, ビーム成形, 交差偏波, 広帯域化

## 1. 研究開始当初の背景

ユビキタス・スペースネットワークの実用化には、高度な移動体衛星通信技術と、携帯電話で用いられている最新の無線技術の融合が不可欠であり、さらなるブレークスルーによって斬新なアンテナシステムを提案していかなければならない。移動体衛星通信の例を見ると、宇宙局アンテナの利得を上げるために展開形式の大口径パラボラ反射鏡アンテナが用いられているが、実際にはパラボラ面を形成することが非常に難しく、利得低下が深刻な問題である。また、地上のミリ波大型アンテナやコンパクトレンジアンテナ装置でも同様の問題がある。このような用途にレーダ用平面アレーアンテナを応用することも考えられるが、アレー給電回路が複雑で実用的ではない。加えて、従来の一次放射系や給電導波管回路は、小型・軽量化に適した構造とは言い難い。それゆえ、アレー給電回路の不要な平面構造のアンテナ形式が得られれば非常に有用なものとなる。また、一次放射系については、すでに研究代表者が考案してきた多モードホーンの考え方を発展させ、新たな機能をもたせた給電系の開発も重要である。そして、これら新しいアンテナの性能をより詳細に評価する方法についても検討を行うこと等で、ユビキタス・スペースネットワーク構築に必要な電波応用技術について明らかにしていく。

## 2. 研究の目的

(1) 次世代アンテナ形式：アレーアンテナの複雑な給電回路を取り除き、空間給電によってアレー素子を励振するリフレクトアレーは次世代のアンテナとして注目されているが、広帯域特性を得ることが難しいという問題がある。本研究では、アレー素子形状の最適化を行い、広帯域特性の実現を目指す。また、人工媒質の特性等も取り入れ、薄型化、軽量化についての検討を行う。

(2) 小型・高性能給電系：導波管の接続部で用いられているチョーク構造をホーン内部に複数段装荷すれば円形ホーンの広帯域化が期待できる。また、周波数選択膜のような導体素子を多数配列した特殊な膜をさらに導入すれば、より広範囲な特性の制御が可能となり、このようなホーン的设计法について明らかにしていく。また、方形ホーンについては、直交する2つの偏波で同一の楕円ビームを放射し、かつ低交差偏波特性を実現する新しい構成について明らかにし、ミリ波帯での製作に適した構造を検討していく。その

他に、これまで考慮していないモードや非回転対称なテーパ形状について詳細な解析を行い、その設計法を明らかにしていく。その他に、周波数選択膜を共振素子とするこれまでにないタイプの導波管フィルタを検討しており、さらなる小型化を目指した検討を行う。また、遺伝的アルゴリズムを平面回路の設計に適用すれば、新しいストリップ導体形状をもつ回路構成が得られる可能性があり、基礎的検討を行っていく。

(3) 測定評価技術：コンパクトレンジ測定に不可欠な平面波成分を発生させるアンテナについても平面構造で構成する方法について検討を行い、ミリ波測定の高精度化について検討していく。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究調査

最新の技術について次のような学会で調査し研究を進める。

①国内の学会：電子情報通信学会総合大会・ソサイエティ大会、アンテナ・伝播研究会、電気学会電磁界理論研究会、輻射科学研究会ほか

②国内外の国際会議：IEEE AP-S/URSI (米国)、EuMW (欧州)、AP-RASC (アジア)、ISAP (国内) ほか

### (2) 設計・解析

次のような手法を基にプログラム開発を行い、提案するアンテナの設計・解析を行う。

①モード整合法：ホーン内部の不連続部の影響を解析して最適化設計に用いるため、モード展開した電磁界を境界条件を満足させるように整合させ、一般化散乱行列を求めめる。

②一般化多モード伝送方程式法：テーパ導波路の線路特性を、連立常微分方程式で表し、数値計算によって伝送特性を解析する。

③モーメント法：周期境界条件を基にスペクトラム領域でリフレクトアレー素子の解析を行い、リフレクトアレーの反射位相特性を求め、素子形状と共振特性の関係について詳細に検討する。

④開口面法、電流分布法：ホーンアンテナやリフレクトアレーアンテナ等の開口面アンテナの放射特性を求めめる。

⑤最適化(2次計画法、マルカート法、遺伝的アルゴリズム)：上の解析法と組み合わせ、与えられた制約条件のもとで最適化設計を行う。

### (3) 数値シミュレーションによる評価

次のような電磁界シミュレータを用いて、

設計したアンテナの特性をより正確に評価する。

- ①有限要素法 HFSS (3 ユーザ)
- ②FDTD 法 XFDTD (1 ユーザ)
- ③モーメント法 SNAP (1 ユーザ)

#### (4) 実験による評価

次のような測定装置を用いて実験を行い、得られた測定値と、すでに求められた設計値および数値シミュレーションを比較することにより提案している方法の妥当性を検証し、設計したアンテナの有効性を確認する。

- ①ネットワークアナライザによって、アンテナの VSWR 特性を測定評価する。
- ②電波無反射室 (6m×6m×6m) において、エッチングで試作したリフレクタレーあるいは切削等で試作したホーンアンテナの放射パターン (主偏波成分, 交差偏波成分) および利得を測定評価する。
- ③2次元周期素子配列したリフレクタレーアレーを試作し、円弧アーム測定装置を用いて反射位相特性を測定評価する。
- ④平面走査近傍界測定装置によって開口面アンテナの近傍界を測定し、独自に開発したフィールド変換プログラムによって放射特性および開口面分布を求め、より詳細な検討を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 次世代アンテナ形式

①複数共振アレー素子からなるリフレクタレーアンテナ： 単層構造でも2共振反射位相特性を用いれば広帯域な特性が得られることを見出した。これをさらに発展させ、マイクロストリップ素子の3つの異なる共振現象を巧みに利用した新しい単位素子配列を提案している。このアレー素子は、1オクターブにわたって良好な反射位相特性が得られていることを実験でも確認している。さらに、リフレクタレーアンテナの周波数特性については、アレー素子の周波数特性で決まるため、アレー素子の設計の際に周波数特性を考慮することが重要となり、提案する素子では、このような特性を広帯域に制御することが可能である。これを基にアレー素子形状を設計し、リフレクタレーアンテナを試作、測定したところ、広帯域にわたって良好な放射特性が得られることを数値計算ならびに実験結果の両面から検証している。このアンテナは、電気的な共振現象を利用しているため、フェーズドアレーアンテナのような位相制御によるビーム形成にも応用でき、今後の新しい開口面アンテナとして非常に期待できるものである。

②マッシュルーム構造素子からなるリフレクタレーアンテナ： リフレクタレーの新しい素子形状として、マッシュルーム構造の

素子を検討し、地導体とパッチをつなぐビア位置の偏移量を調整して反射位相を制御する新しい方法について提案した。通常の人工媒質と大きく異なる点は、周期構造ではないことで、リフレクタレー面上の所望の反射位相を実現するために非周期構造の設計を行っている。そして、ストリップ素子の形状ならびにビアの位置のオフセット量が反射位相特性に及ぼす効果を詳細に検討した結果、リフレクタレー素子に応用できる見通しが得られた。しかしながら、広帯域な特性には至っておらず、今後の課題である。

③任意形状アレー素子からなるリフレクタレーアンテナ： リフレクタレーに任意形状アレー素子を用いることを提案している。モーメント法と遺伝的アルゴリズムを組み合わせた最適化によって、直線的で平行移動した反射位相の周波数特性で、かつ360度の反射位相量をもたせた素子形状を決定している。そして、試作したリフレクタレーは、不要なサイドローブが十分抑えられた良好な放射特性が得られることを実験および計算より確認しており、今後、複数共振特性をもたせた任意形状アレー素子の検討によって、より一層の高性能化が期待できる。

#### (2) 小型・高性能給電系

①円形開口ホーン： 導波管の接続部で用いられているチョーク構造に類似の形状をホーンアンテナの内部に複数段装荷することによって、高次モードを広帯域に発生制御できることを見出している。これを利用すれば、回転対称な主ビームで低交差偏波特性が広帯域に実現できることを確認している。この構造を同軸キャビティと呼び、このキャビティの寸法を変えることによって、高次モードの発生量を大幅に変化させ、従来にない成形ビームホーンが得られることを確認している。そして、さらにホーンアンテナのより一層の高性能化を達成するため、リングを装荷した新しい高次モード発生機構も提案している。このホーンを用いれば、円形導波管モードから励振される同軸導波管モードを、より正確に制御することができ、リングを装荷しない構造のホーンアンテナに比べて広帯域な特性が得られることを確認している。例として、円形カバレッジを高い利得で照射できるホーンアンテナを設計しており、X帯で試作したアンテナにおいて良好な放射特性が広帯域にわたって実現できることを実験によって検証している。

②方形開口ホーン： だ円ビームを得る方形ホーンの小型化について検討を行った。このホーンでは、側面だけにステップ状不連続を設けた扇形テーパと、上下面だけに設けたものを交互に接続することで、不要な高次モードの発生を抑え、直交する2つの偏波特性を

合わせることができる。このようなホーンは、グローバル成形ビームアンテナとして用いることができ、先に述べたリフレクタレー等の空間給電開口面アンテナの一次放射器としても有効である。

### (3) 測定評価技術

導体パターン<sup>1)</sup>の透過近傍界が所定の分布となるよう透過係数を制御する修整ホログラム膜を提案し、平面波展開を基にした最適化を行った。その結果、一枚のホログラムで振幅・位相分布の制御がある程度可能であることを見出し、これを利用すればミリ波コンパクトレンジ測定装置の新たな構成が期待できる。

## 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9件)

- (1) H. Deguchi, M. Tsuji, K. Yonemori, S. Yamamoto, "Effective behavior of groove loaded in sectoral horn with elliptical beam for orthogonal polarization use," Asia-Pacific Radio Science Conference Proceedings, 2010, 査読有(to be published)
- (2) H. Deguchi, T. Kabayashi, M. Tsuji, "Compact low cross-polarization multimode horn with ring-loaded coaxial grooves," IEEE AP-S International Symposium Proceedings, 2010, 査読有(to be published)
- (3) T. Kobayashi, H. Deguchi, M. Tsuji, K. Omori, "Compact multimode horn with coaxial corrugation for circular coverage," IEICE Trans. on Communications, E-93-3-1, pp.32-38, 2010, 査読有.
- (4) H. Deguchi, K. Mayumi, M. Tsuji, T. Nishimura, "Broadband single-layer triple-resonance microstrip reflectarray antennas," European Microwave Conference Proceedings, pp.29-32, 2009, 査読有.
- (5) H. Deguchi, K. Omori, M. Tsuji, "Multimode horn with two types of coaxial cavities for circular coverage," IEEE AP-S International Symposium Proceedings, pp.1-4, 2008, 査読有.
- (6) H. Deguchi, M. Tsuji, H. Watanabe, "Low-sidelobe multimode horn design for circular coverage based on quadratic programming approach," IEICE Trans. on Communications, E-91-C-1, pp.3-8, 2008, 査読有.
- (7) 渡辺浩章, 出口博之, 辻 幹男, "同軸キャビティ装荷による低交差偏波多モードホーンの小型化," 電子情報通信学会論文誌(B), J-90-B-6, pp.585-591, 2007, 査読有.
- (8) H. Urata, M. Ohira, H. Deguchi, M. Tsuji, "Multiple-step rectangular horn with two orthogonal sectoral tapers for elliptical beam," IEICE Trans. on Communications, E-90-C-2, pp.217-223, 2006, 査読有.
- (9) H. Deguchi, H. Watanabe, M. Tsuji, "Compact spline-profile horn with coaxial cavities for wideband use," European Microwave Conference Proceedings, pp.634-637, 2006, 査読有.

[学会発表] (計23件)

- (1) 小林貴志, 野々山尚希, 出口博之, 辻 幹男, "円形カバレッジホーンのためのリング装荷同軸グループ多モードホーン," 電子情報通信学会総合大会, B-1-174, 2010年3月18日, 仙台市.
- (2) 小林貴志, 出口博之, 辻 幹男, "多段同軸グループによる円形カバレッジホーンの高性能化," 電子情報通信学会アンテナ伝播研究会, A-P2009-166, pp.63-68, 2010年1月21日, 宇部市.
- (3) 眞弓貴一, 出口博之, 辻 幹男, "複数共振素子をもつオフセット単層マイクロストリップリフレクタレーの周波数特性," 電子情報通信学会総合大会, B-1-66, 2009年3月17日, 松山市.
- (4) 小林貴志, 出口博之, 辻 幹男, "円形カバレッジのための同軸グループ装荷多モードホーンの高性能化," 電子情報通信学会総合大会, B-1-54, 2009年3月17日, 松山市.
- (5) 眞弓貴一, 出口博之, 辻 幹男, "単層3共振マイクロストリップ・リフレクタレーの周波数特性," 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会, A-P2008-146, pp.37-42, 2008年12月11日, 東京都港区.
- (6) 小林貴志, 出口博之, 辻 幹男, "マルチモードホーンにおける多段同軸キャビティの効果," 電気学会電磁界理論研究会, EMT-08-111, pp.163-168, 2008年11月20日, 高山市.
- (7) 川久保康平, 出口博之, 辻 幹男, "スロット装荷パッチ素子を配列した平面レンズアンテナ," 電気関係学会関西支部連合大会, G7-8, 2008年11月9日, 京都市.
- (8) 小林貴志, 出口博之, 辻 幹男, "同軸キャビティ装荷による広帯域円形カバレッジホーン," 電気関係学会関西支部連合大会, G7-25, 2008年11月9日, 京都市.
- (9) 眞弓貴一, 出口博之, 辻 幹男, "3共振素子によるリフレクタレーの広帯域化," 電子情報通信学会総合大会, B-1-88, 2008年3月21日, 北九州市.
- (10) 松井祐介, 出口博之, 辻 幹男, "直交偏波だ円ビーム多段ステップホーンの小型化," 電子情報通信学会総合大会, B-1-67,

- 2008年3月20日,北九州市.
- (11) 崎田聡史, 出口博之, 辻 幹男, "リフレクトアレーに及ぼす複数ストリップ素子共振の効果について," 電子情報通信学会電磁界理論研究会, OPE2007-179, pp.193-198, 2008年1月29日, 寝屋川市.
  - (12) 井上陽一, 出口博之, 辻 幹男, "スロット結合パッチ素子を配列した平面レンズアンテナの検討," 電気関係学会関西支部連合大会, G7-18, 2007年11月18日, 神戸市.
  - (13) 川久保康平, 三好剛史, 出口博之, 辻 幹男, "Viaによる2共振特性を利用した単層リフレクトアレー," 電気関係学会関西支部連合大会, G7-17, 2007年11月18日, 神戸市.
  - (14) 真弓貴一, 出口博之, 辻 幹男, "広帯域化した2共振素子リフレクトアレーとその実験的検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-66, 2007年9月11日, 鳥取市.
  - (15) 三好剛史, 出口博之, 辻 幹男, "ビアの位置を調整したマッシュルーム型リフレクトアレー," 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会, A・P2007-11, pp.59-63, 2007年4月19日, 三田市.
  - (16) 三好剛史, 出口博之, 辻 幹男, "マッシュルーム構造のリフレクトアレーへの応用," 電子情報通信学会総合大会, B-1-185, 2007年3月21日, 名古屋市.
  - (17) 崎田聡史, 出口博之, 辻 幹男, "2共振素子を用いた単層リフレクトアレーの設計," 電子情報通信学会総合大会, B-1-184, 2007年3月21日, 名古屋市.
  - (18) 崎田聡史, 出口博之, 辻 幹男, 真弓貴一, "2共振位相特性を用いた単層リフレクトアレーの高性能化に関する検討," 輻射科学研究会, RS-06-18, 2007年3月15日, 寝屋川市.
  - (19) 三好剛史, 出口博之, 辻 幹男, "マッシュルーム構造左手系媒質を用いたリフレクトアレー," 電気関係学会関西支部連合大会, G8-12, 2006年11月26日, 枚方市.
  - (20) 出口博之, 渡邊浩章, 辻 幹男, "円形カバレッジのための同軸キャビティ装荷多モードホーン," 電気学会電磁界理論研究会, EMT-06-140, pp.13-18, 2006年10月28日, 松江市.
  - (21) 崎田聡史, 出口博之, 辻 幹男, "複数共振による位相特性を用いた単層リフレクトアレーの設計," 電気学会電磁界理論研究会, EMT-06-139, pp.7-12, 2006年10月28日, 松江市.
  - (22) 崎田聡史, 出口博之, 辻 幹男, "2共振素子を用いた単層リフレクトアレーの広帯域化に関する検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-52, 2006年9月21日, 金沢市.
  - (23) 出口博之, 辻 幹男, 渡邊浩章, "広帯域多

モードホーンの同軸キャビティ装荷による小型化," 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会, A・P2006-48, pp.55-60, 2006年7月6日, 広島市.

[図書](計2件)

- (1) 出口博之(分担執筆), オーム社, アンテナ工学ハンドブック, 6章, 6.2, 6.4, 6.11.7, pp. 293-299, 307-310, 371-373. 2008.
- (2) 出口博之(分担執筆), オーム社, アンテナ無線ハンドブック, IV編, 第1章, 1.2, pp. 278-286, 2006.

[その他]

ホームページ等

<http://www1.doshisha.ac.jp/~hdeguchi/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

出口 博之 (DEGUCHI HIROYUKI)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号: 80329953

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし