

令和 5 年 4 月 14 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04491

研究課題名（和文）リフレクトアレーを用いた新方式衛星通信用アンテナの開発

研究課題名（英文）Development of new satellite communication antenna using reflect array

研究代表者

牧野 滋（Makino, Shigeru）

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：40393524

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：衛星通信においては、異なる周波数と偏波とを組み合わせた4種類のビームを用いたマルチスポットビームにより、所望のサービスエリアをカバーする。アンテナ構成は、各ビームに対応したTx（送信）/Rx（受信）共用の4式のパラボラ鏡面となる。本研究では、マルチスキャンビームによりサービスエリアをカバーするリフレクトアレーを用いることによりTx、Rxをそれぞれ1式のアンテナで構成する方式を提案し、その実現性をシミュレーションと実験により実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リフレクトアレーにおいては、2つの設計パラメータである「鏡面構成」と「金属素子」との組み合わせにより、その持つ能力を最大限に生かす機能を実現できる。提案するマルチスキャンビーム方式は、ビームシフトを実現する「鏡面構成」と偏波によってビーム方向を変える「金属素子」との組み合わせたものであり、新方式の衛星通信用アンテナを実現するものである。リフレクトアレーは、鏡面が平面であることによる低交差偏波特性、金属素子の大きさを変えるだけで放射ビーム形状を制御できる柔軟性に加え、リフレクトアレーが有する前記独自機能により、幅広い応用が期待できる高機能デバイスとして社会に貢献していくものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In satellite communications, a desired service area is covered by multi-spot beams using four kinds of beams that combine different frequencies and polarizations. The antenna configuration consists of four parabolic reflectors for Tx (transmitting) and Rx (receiving) corresponding to each beam. In this research, we proposed a method of constructing Tx and Rx with one set of antennas by using a reflectarray that covers the service area with multi-scanning beams, and verified its feasibility by simulation and experiment.

研究分野：アンテナ工学

キーワード：リフレクトアレー 衛星搭載用アンテナ マルチスキャンビームアンテナ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

衛星通信においては、異なる周波数と偏波とを組み合わせた4種類のビームを用いたマルチスポットビームにより、所望のサービスエリアをカバーする。アンテナ構成は、各ビームに対応したTx(送信)/Rx(受信)共用の4式のパラボラ鏡面である。これに対し、リフレクタレーを用いることによりアンテナ数を2式に削減する方式が報告され、注目を浴びている。しかし、これらはいずれも1式のアンテナでTx/Rxを共用する必要があるが、Ka帯のようにTxとRxの周波数帯域が離れている場合には、ビーム幅が異なるためにビーム配列が困難である、給電回路が複雑になるなどの問題がある。

本研究では、マルチスキャンニングビームによりサービスエリアをカバーするリフレクタレーを用いることによりTx、Rxをそれぞれ1式のアンテナで構成する方式を提案し、その実現性を実証する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、TxアンテナとRxアンテナとを分離した2式のアンテナ構成により、マルチスポットビームの場合と同等のサービスをユーザーに提供することである。

本研究では、周波数によってビーム方向を変えるマルチスキャンニングビームによってサービスエリアをカバーするリフレクタレーによって、この課題を解決する。マルチスポットビーム方式では、隣接する周波数帯域である f_1 と f_2 とでそのビーム方向を変えることができないために2式のアンテナが必要となるが、マルチスキャンニングビーム方式では、 $f_1 + f_2$ の全周波数帯域を用いたスキャンニングビームを用いるために1式のアンテナで実現できる。

提案するアンテナ構成において、Txアンテナ、あるいは、Rxアンテナは次のように設計される。

- 一次放射器は、隣接する一次放射器による中心周波数 f_0 のビーム方向が2ビーム幅間隔となるように正三角配列で複数本配置する(図1, 2の緑のビーム)。
- 周波数が f_L および f_H のビーム方向が中心周波数 f_0 のビーム方向から ± 1 ビーム幅離れるよう(図1, 2の黒のビーム)、リフレクタレーの鏡面構成におけるイメージホーンの傾き角 θ を決定する。
- これにより、1本の一次放射器に対応するビームは ± 1 ビーム幅のビームシフトを有するスキャンニングビームとなる。このとき、従来方式と同様に3dBの利得低下を許せば、それぞれのユーザーはその位置で最も高い利得となるビームの周波数を中心に $(f_H - f_L) / 2$ の周波数帯域を利用できることになる。また、N本の一次放射器を配置することにより、 $(2N - 1)$ ビーム幅の縦長のエリアをカバーするスキャンニングビームを実現できる。なお、図2には $N = 3$ の場合のスキャンニングビームを示している。
- 1本の一次放射器から放射されたV偏波とH偏波によるビーム方向が、水平方向に互いに $\sqrt{3}/2$ ビーム幅離れるようにリフレクタレーの金属素子を設計する。その結果、V、H両偏波のビームによりサービスエリアを隙間なくカバーできる(図3)。

従来のマルチスポットビーム方式では、各ユーザーは f_1 または f_2 の決められた周波数帯域を利用するのに対し、提案するマルチスキャンニングビーム方式では、各ユーザーはその位置で決まる最適な周波数帯域を利用する点が異なるが、すべてのユーザーが3dB以下の利得低下で $(f_H - f_L) / 2$ の周波数帯域を利用できる点は同じである。また、この設計に必要なリフレクタレーは平面単層構造であり、曲面(パラボラ)構造や多層構造のリフレクタレーに比べて、低コスト、低損失、低交差偏波となる。

3. 研究の方法

本研究においては、スキャンニングビーム設計理論を確立(R2年度)すると共に、偏波によって

ビーム方向を変える金属素子の設計・解析ツールを開発（R3年度）した上で、試作モデルにより妥当性を検証（R4年度）する。

4. 研究成果

本研究により、シミュレーションにおいては所望のマルチスキャンニングビームによってサービスエリアをカバーするリフレクタレーの実現性が実証できた。しかし、測定装置の借用を予定していた三菱電機の事情により、研究期間内での試作モデルの測定が完了できなかった。研究期間終了後に実施する予定である。

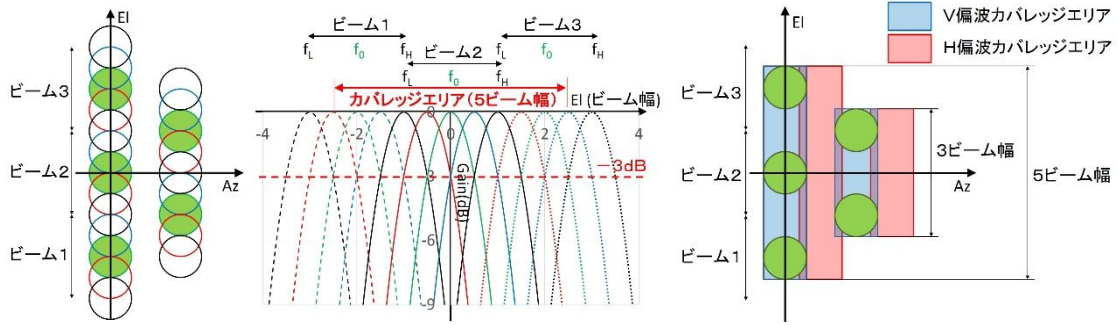


図1 . ビーム配置 図2 . マルチスキャンニングビーム

図3 . カバレッジエリア

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 深谷芽衣, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌	4. 巻 J105B
2. 論文標題 リフレクタレーアンテナの測定による利得低下の要因分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 14-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 皆森勇甫, 重光賛志郎, 瀧能翔太, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 リフレクタレーアンテナにおける残留収差の簡易評価法
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Takino, Shigeru Makino, Sanshiro Shigemitsu, Yusuke Kaimori
2. 発表標題 One Layer of Reflectarray Antenna Changing Beam Direction by Polarization
3. 学会等名 ISAP2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Kaimori, Shigeru Makino, Shota Takino, Sanshiro Shigemitsu
2. 発表標題 Adaptation of Reflectarray Antenna to Yield Scanning-Spot Beam
3. 学会等名 ISAP2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sanshiro Shigemitsu, Syota Takino, Shigeru Makino, Hiromasa Nakajima, Michio Takikawa
2. 発表標題 Shaped-Beam Reflectarray Antenna Optimized at Multiple Frequency
3. 学会等名 ISAP2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Takino, Sanshiro Shigemitsu, Shigeru Makino, Hiromasa Nakajima, Michio Takikawa
2. 発表標題 Reflectarray Antenna with High Efficiency and Low Side Lobe
3. 学会等名 2021 IEEE APS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Kaimori, Shota Takino, Sanshiro Shigemitu, Shigeru Makino, Hiromasa Nakajima, Michio Takikawa
2. 発表標題 New Scanning-Spot Beam Reflectarray Antenna Design
3. 学会等名 2021 IEEE APS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 重光賛志郎, 牧野滋, 瀧能翔太
2. 発表標題 複数の周波数で最適化した成形ビームリフレクトアレーアンテナ
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀧能翔太, 重光賛志郎, 皆森勇甫, 牧野滋
2. 発表標題 偏波によってビーム方向を変化させるリフレクトアレーアンテナの1層化の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 皆森勇甫, 牧野滋, 瀧能翔太, 重光賛志郎
2. 発表標題 スキャンングスポットビームリフレクトアレーアンテナの研究
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 皆森勇甫, 牧野滋, 瀧能翔太, 重光賛志郎, 西岡泰弘, 中嶋宏昌
2. 発表標題 スキャンングスポットリフレクトアレーアンテナの測定結果
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高尾昌誠, 牧野滋, 瀧能翔太, 皆森勇甫, 西岡泰弘, 中嶋宏昌
2. 発表標題 スプリット矩形ループ素子を用いた一層化リフレクトアレーアンテナの研究
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重光賛志郎, 深谷芽衣, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 リフレクタレーアンテナにおける一次放射器の位相誤差に対する利得周波数特性への影響
3. 学会等名 2020電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧能翔太, 深谷芽衣, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 リフレクタレーアンテナの共振素子間隔の検討
3. 学会等名 2020電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光賛志郎, 深谷芽衣, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 簡易評価法を用いて試作した成形ビームを放射するリフレクタレーアンテナ
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瀧能翔太, 深谷芽衣, 重光賛志郎, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 高能率・低サイドローブとなる共振素子間隔の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mei Fukaya, Ryota Obata, Shigeru Makino, Michio Takikawa, Hiromasa Nakajima
2. 発表標題 A Dual polarized Stacked Reflectarray Antenna with Changing Beam direction
3. 学会等名 2020 IEEE AP-S Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sanshiro Shigemitsu, Mei Fukaya, Shigeru Makino, Michio Takikawa, Hiromasa Nakajima
2. 発表標題 Measurement Result of Shaped Beam Reflectarray Antenna in Ka Band
3. 学会等名 2020 IEEE AP-S Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sanshiro Shigemitsu, Mei Fukaya, Shigeru Makino, Shota Takino, Michio Takikawa, Hiromasa Nakajima
2. 発表標題 Shaped-Beam Reflectarray Antenna Using Simple Evaluation Method
3. 学会等名 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shota Takino, Mei Fukaya, Sanshiro Shigemitsu, Shigeru Makino, Michio Takikawa, Hiromasa Nakajima
2. 発表標題 Reflectarray Antenna Changing Beam Direction by Polarization
3. 学会等名 2020 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 重光賛志郎, 瀧能翔太, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 多周波で最適化した成形ビームを放射するリフレクタレーアンテナ
3. 学会等名 2021電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀧能翔太, 重光賛志郎, 皆森勇甫, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 偏波によりビーム方向の異なるリフレクタレーアンテナの一層化の検討
3. 学会等名 2021電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 皆森勇甫, 瀧能翔太, 牧野滋, 瀧川道生, 中嶋宏昌
2. 発表標題 スキャンングスポットリフレクタレーアンテナの検討
3. 学会等名 2021電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 反射鏡アンテナ装置	発明者 牧野滋, 中嶋宏昌, 山本伸一, 西岡泰弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/006562	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------