

研究速報

簡易衛星追尾アンテナシステムの実証実験

田中 憲光^{†a)} (学生員) 保前 保[†] (学生員)
 金子 謙一[†] (正員) 山本 伸一^{††} (正員)
 高橋 応明^{†††} (正員) 伊藤 公一^{††††} (正員)

Demonstration Experiment of a Simple Satellite Tracking System

Toshimitsu TANAKA^{†a)},
 Tamotsu HOUZEN[†], Student Members, Kenichi KANEKO[†],
 Shin-ichi YAMAMOTO^{††}, Masaharu TAKAHASHI^{†††}, and
 Koichi ITO^{††††}, Members

[†] 千葉大学大学院自然科学研究科, 千葉市

Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 Japan

^{††} (独) 情報通信研究機構新世代ワイヤレス研究センター, 鹿嶋市

New Generation Wireless Communications Research Center of National Institute of Information and Communications Technology, Kashima-shi, 314-8501 Japan

^{†††} 千葉大学フロンティアメディカル工学研究開発センター, 千葉市

Research Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 Japan

^{††††} 千葉大学工学部, 千葉市

Faculty of Engineering, Chiba University, Chiba-shi, 263-8522 Japan

a) E-mail: toshi.tanaka@m.ieice.org

あらまし 技術試験衛星 VIII 型 (ETS-VIII) の打上げ予定に伴い, S 帯を用いた移動体衛星通信実験が計画されている。筆者らは, これまで車載用簡易衛星追尾アンテナシステムの実現を目的として, パッチアレーアンテナ及び給電制御用電子スイッチの開発を行ってきた。本論文では, これまで開発した電子スイッチと汎用の光ファイバジャイロを用いて, 自動的にアンテナの方位角を検知し給電を制御する簡易衛星追尾システムを構成し, 実証実験を行った結果について報告する。実験により, 電子スイッチと光ファイバジャイロを制御することで方位角 3 方向へのビーム切替及び簡易衛星追尾の有効性を確認した。

キーワード 移動体衛星通信, 衛星追尾, パッチアレーアンテナ, ビーム切替

1. ま え が き

人工衛星を用いた移動体衛星通信は, 災害に強く広範囲なエリアをカバーできるという観点から, 移動体通信における有力なシステムとして期待されている。筆者らは, 一般車両を対称とした車載用簡易衛星追尾型アンテナシステムの開発を行っており [1], [2], 近く技術試験衛星 VIII 型 (ETS-VIII) [3] を用いた移動体衛星通信実験を予定している。このアンテナは, 車両の屋根に搭載し, 車の移動に合わせて衛星方向に指向

性ビームを切り換える衛星追尾型の平面アンテナである。衛星追尾の方式としては, アンテナの小型化, 追尾の高速化の観点から, モータなどの機械系を使用せず, 電子スイッチによる簡易な給電の “ON”, “OFF” 制御によってビーム切替を行う方法を提案している [2]。これまで, このシステムに有効なアンテナ及びスイッチング回路について, 数値計算, 実測を通して各々の有効性を確認したものの [2], [4], 提案した簡易衛星追尾アンテナシステム全体の試作, 検証は行われていなかった。

そこで本論文では, アンテナの方向測定に光ファイバジャイロを利用した追尾制御システム [5] を構成し, アンテナの方向に合わせて自動追尾させた際の放射特性について検討を行った。以下, 追尾システムの構成と実証実験から得られた結果について報告する。

2. アンテナシステムの構成

図 1 に, 簡易衛星追尾型アンテナシステムの構成を示す。システムは, 3 素子円偏波パッチアレーアンテナ, アンテナ給電制御用の DP3T スwitching 回路, 方位角測定用の光ファイバジャイロと地磁気センサ (若しくは GPS) にて構成されている。衛星追尾は, 光ファイバジャイロ及び地磁気センサにより得られた車両の方位角データをもとに, PC によってスイッチング回路を制御し, 3 素子アレーアンテナのビーム切替を行う。車両の動揺などにより発生する光ファイバジャイロの累積誤差は, 地磁気センサ若しくは GPS を用いて補正する [5], [6]。なお, 詳細は 3. に示すが, 本検討にて行った電波無響室内での追尾実験では, 破線で示した磁気センサ, GPS は使用していない。

図 2 にシステムに用いるアンテナの基本構成を示す。アンテナは三つの左旋円偏波放射素子を 120° 間隔で円形配列したシーケンシャルアレーである。この配列で各素子に同相給電を行った場合, 素子間には, 回転

3-element patch array antenna

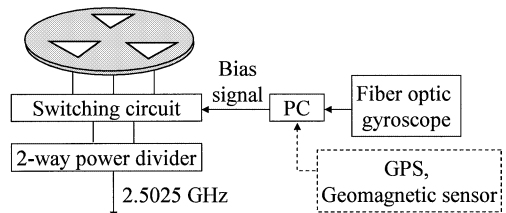


図 1 簡易衛星追尾アンテナシステムの構成

Fig. 1 Configuration of the simple satellite tracking antenna system.

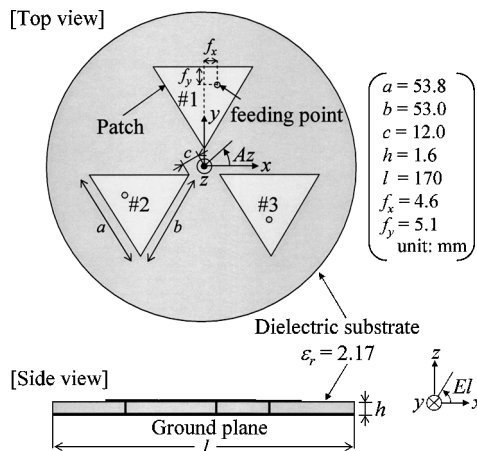


図2 円偏波二等辺三角形パッチアレーアンテナ
Fig. 2 Configuration of the isosceles triangular patch array antenna.

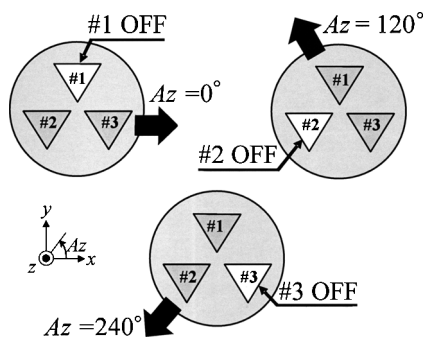


図3 給電素子とビーム方向
Fig. 3 Feeding elements and beam direction.

角と等しい位相差が与えられる．そのため，3素子のうち1素子を 50Ω 負荷へ接続（以下給電 OFF と略記する）すると，空間的に 120° 位相差をもつ2素子のみが給電されることとなり，低仰角方向にチルトしたビームが形成される．最大放射方向は，素子数，偏波に依存するが，本アンテナの場合，素子数を3素子，偏波を左旋円偏波としているため，給電 OFF とした素子から方位角 -90° の方向となる [2]．このように本アンテナは，給電を OFF する素子を切り換えることで，図3に示すように， 120° 間隔の3方向へビーム切換を行う．

図4にアンテナ給電部に用いたスイッチング回路の構成を示し，表1にバイアス電圧と出力ポート及びビーム方向について示す．本スイッチング回路は，PIN ダイオードを用いた基本的な SPDT (Single Pole Double Throw) スイッチを二つ組み合わせた DP3T

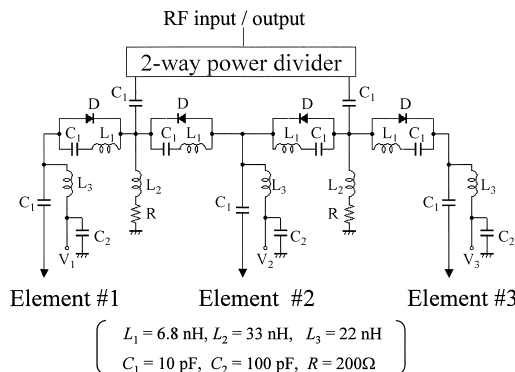


図4 スwitching回路の構成
Fig. 4 Configuration of the switching circuit.

表1 出力ポートとバイアス電圧の関係
Table 1 Relation between the output port and the bias voltage.

OFF element	V_1	V_2	V_3
#1 OFF	—	+	—
#2 OFF	+	OFF	—
#3 OFF	+	—	+

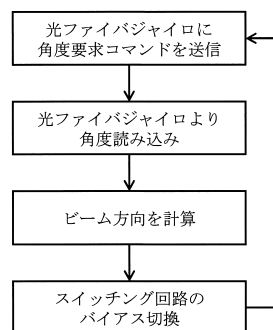


図5 簡易衛星追尾アンテナの制御フロー
Fig. 5 Control flow of the simple satellite tracking antenna.

(Double Pole Three Throw) スイッチであり，三つの制御用バイアスによって給電を制御する [4]．なお，回路の構成を簡易なものとするため，給電 OFF とする出力ポートは 50Ω 終端せずには開放としているが， 50Ω 終端した場合と，ほぼ同等の放射特性が得られることを確認している．

図5に，上記デバイスを利用した本アンテナシステムの追尾制御フローを示す．制御プログラムは，まず，アンテナに搭載された光ファイバジャイロから RS232C シリアルポートを介し，アンテナの相対回転角情報を取得する．この情報と地磁気センサ若しくは GPS のデータを用いて絶対方位角を計算する．この

方位角情報をもとに、最も適したビーム方向を3方向から選ぶ。ビームを切り換える必要があれば、PCに搭載されたDA変換ボードによって直接スイッチング回路のバイアスを制御し、ビーム切換を行う。プログラムがこの作業を繰り返すことで、アンテナは衛星追尾を行い、常に一定の利得を確保する。

3. 簡易衛星追尾実験

3.1 測定系

実験は、電波無響室内に模擬衛星局、模擬車載局を設置し、周波数は、ETS-VIIIを利用した通信実験に使用する2.5025 GHzにて行った。実験に用いた測定系を図6に示す。模擬衛星局側を送信、模擬車載局側を受信とした。送信側アンテナには円形パッチアンテナを用い、受信側からの仰角が約45°となる位置に設置した。東京都内から静止衛星を望む仰角は約48°であるが、本実験では電波無響室の天井高の関係から、仰角は45°とした。受信側は、アンテナ、光ファイバジャイロなどシステムを回転台（アジマステーブル）上に設置し、回転台を0~360°回転させることで車両のカーブを模擬して測定を行った。回転台は水平に設置され、かつ1方向、1回転のみの測定であったため、光ファイバジャイロの累積誤差は2~3°程度の良好な相対回転角データを示した。そのため、実験の際には地磁気センサを利用した誤差の補正を行わず、光ファイバジャイロ単独で測定を行った。なお、アンテナのビーム切換点については、事前に各々のビームの放射特性を測定し、69°、193°、316°とした。以上の測定系を用いて、簡易追尾を行った際にアンテナで受信したCW信号の受信電力を、スペクトルアナライザに

て測定した。

3.2 測定結果

図7に、簡易衛星追尾を行った際の放射特性を示す。また、追尾を行わないときの各ビームの放射特性も併せて示した。図の縦軸は受信電力の最大値を0 dBとして規格化した値であり、横軸は相対回転角を示している。本実験では電波無響室内に測定器を設置し、更にアンテナの近くにはジャイロが設置されているため、散乱による放射特性の乱れが発生している。しかしながら、図5に示したアンテナの制御フローで、本追尾システムが良好に追尾を行えることを測定結果から確認した。追尾を行うことで全方位角におけるレベル変動は、約3 dB以下に抑えられている。また、#1 OFFから#2 OFF、#2 OFFから#3 OFFへのビーム切換時に0.5 dB程度のレベル変動が見られる。この原因は、使用しているプログラムの実行速度が遅いこと、及びビーム切換時に行うPINダイオードへのバイアス設定値の更新において、毎回すべてのダイオードのバイアスを設定し直すため、再設定直前にバイアス電圧の瞬断が起こるためである。この対策には、バイアスの制御方法の改善が挙げられる。図3に示すように、ビーム方向が切り換わっても必ずどちらか1素子は継続して使用するため、その素子への給電は継続して行うことにより、アンテナからの放射が完全に途絶えることは回避される。

実際に本追尾システムを運用した場合は、今回の実験にて得られた受信レベル低下のほかに、方位角を計測するセンサの誤差によるレベル低下が考えられる[5]。センサの誤差補正を行いながら追尾を行うシステムの一つに、地磁気センサとジャイロを利用した

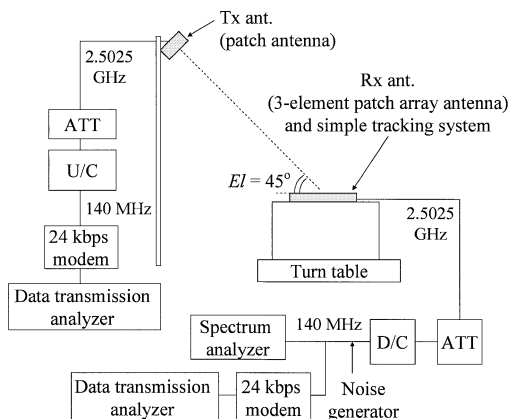


図6 測定システム

Fig. 6 Measurement system.

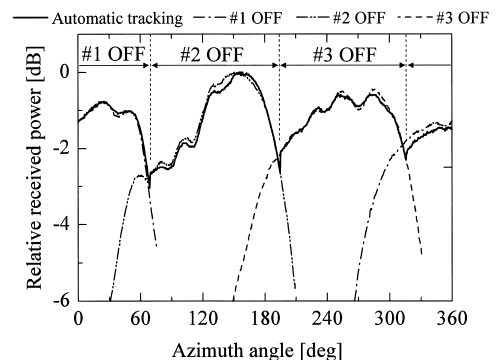


図7 簡易衛星追尾時の放射特性

Fig. 7 Radiation characteristics by use of the simple satellite tracking system.

追尾システム [5], [6] がある. このシステムを本アンテナに採用し, 追尾誤差の最大値を 10° と設定すると, 受信電界強度の低下は, 本アンテナ単体での放射特性 [2], [4] から, 最大 1.0 dB となる.

また, 24 kbit/s の QPSK で変調波を出力し, スイッチング操作時のビット誤りについても測定を行った. C/N_0 をエラーフリー (エラーパルスが発生しない状態) となる最低の 70 dBHz 程度とした状態で, ビーム切替を行ったところ, 平均 10 個のビット誤りが発生した. これは, 前述したビーム切替時における回路の瞬断が原因である.

スイッチング動作によるビット誤りは, 誤り訂正を行うことで, エラーの発生を改善できる. 確認のため, 拘束長 7, 符号化率 1/2 の畳込み符号化, 8 値軟判定によるビタビ複号を用いて誤り訂正を行ったところ, スイッチング動作時にもエラーは観測されなかった. 前述のとおり, スイッチング制御の最適化によっても, エラーの発生を改善できる可能性があるため, 運用中にビーム切替が行われても安定した通信が可能であると考えられる.

4. むすび

本実験では, 光ファイバジャイロより得られたデータをもとに, スイッチング回路の ON, OFF 給電制御によって 3 方向ビーム切替を行う簡易衛星追尾システムの実証実験を電波無響室内にて行った. その結果, 方位角情報が得られれば, システムは電子的に衛星追尾を行うことを実証した.

また, ビーム切替時のビット誤り率測定から, ビーム切替時のビット誤りは誤り訂正を入れることで十分対応できる程度であることを確認した. 今後は, スイッチング回路の制御アルゴリズムの改善及びアンテ

ナとの一体化を行い, システムのコンパクト化を目指す. また, 実際の車両に搭載した際にも正確な方向測位が行えるよう, ジャイロの誤差補正, 追尾精度について検討し, G/T 20.6 dB/K, C/N_0 67.6 dBHz, 誤り率 1×10^{-5} , マージン 8.2 dB 程度にてシステムを動作させることを目指す.

謝辞 本研究の一部は, 平成 18 年度科学研究費補助金 (特別研究奨励費課題番号 182011), 平成 18 年度戦略的情報通信研究開発推進制度資金 (特定領域重点型研究開発) により行われた.

文 献

- [1] ヨサファットテトコスリスマンティヨ, 伊藤公一, “ETS-VIII を用いた簡易衛星追尾型三角形パッチアレーアンテナ,” 信学技報, A-P2003-243, Jan. 2004.
- [2] 田中憲光, J.T. スリスマンティヨ, 金子謙一, 石出大輔, 高橋応明, 伊藤公一, 山本伸一, 三浦 周, “簡易衛星追尾型 2 周波共用三角形パッチアレーアンテナ,” 信学論 (B), vol.J88-B, no.9, pp.1760-1771, Sept. 2005.
- [3] JAXA ホームページ, “技術試験衛星 VIII 型 (ETS-VIII)” <http://www.jaxa.jp/missions/projects/sat/tsushin/ets8/index.j.html>
- [4] 金子謙一, 田中憲光, 高橋応明, 伊藤公一, “簡易衛星追尾型アレーアンテナの電子走査特性,” 信学論 (B), vol.J89-B, no.9, pp.1696-1704, Sept. 2006.
- [5] 山本伸一, 田中健二, 若菜弘充, 大森慎吾, “陸上移動体衛星通信用アンテナ追尾方式,” 信学論 (B-II), vol.J72-B-II, no.6, pp.307-316, June 1994.
- [6] 山本伸一, 田中健二, 鈴木健治, 若菜弘充, “陸上移動体衛星通信用アンテナ追尾方式 磁気的外乱が発生する環境下における方位角推定方式,” 信学技報, SANE94-54, Oct. 1994.
- [7] Y. Suzuki, N. Miyano, and T. Chiba, “Circularly Polarized Radiation from -0.Singly-Fed Equilateral-Triangular Microstrip Antenna,” Proc. IEE, vol.134, Pt.H, pp.194-198, 1987.

(平成 18 年 8 月 24 日受付, 9 月 12 日再受付)