

簡易衛星追尾型アレーアンテナの電子走査特性

金子 謙一[†] 田中 憲光[†] 高橋 応明^{††a)} 伊藤 公一^{††}

Electronic Scanning Characteristics of a Simple Satellite-Tracking Array Antenna

Kenichi KANEKO[†], Toshimitsu TANAKA[†], Masaharu TAKAHASHI^{††a)},
and Koichi ITO^{††}

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. 筆者らは移動局に搭載するアンテナとして, 方位角 3 方向にビームを切り換える簡易衛星追尾型パッチアレーアンテナの開発を行っている. 本アンテナは各素子への給電を制御回路によって電子的に “ON”, “OFF” させて衛星追尾を行う簡易な方式を用いているため, 移相器やモータを必要とせず, システムの小型化や低価格化が期待できる. 本論文では, 簡易衛星追尾アンテナに適した給電回路を提案し, 本回路を用いたアンテナのビーム切替特性の測定結果について述べる. まず, 給電制御回路として DP3T (Double Pole Three Throw) スイッチの開発を行った. 次に, 本回路をパッチアレーアンテナに搭載し, ビーム切替特性の測定を行った. その結果, 本回路を用いることで, 低い電力損でビーム切替が可能であることを確認し, 本アンテナによって簡易に衛星追尾が行えることを示した.

キーワード スイッチング回路, パッチアレーアンテナ, ETS-VIII, ビーム切替, 移動体衛星通信

1. ま え が き

人工衛星を用いた移動体衛星通信は地上の通信網を必要とせず, 広域をカバーできるといった利点から, 今後の移動体通信における有力なシステムとして考えられている. そういった中, 近年では災害対策等の観点からも, 堅牢かつ安定した通信を行えるシステムとして注目を集めている. これに伴い, 2006 年度に打上げが予定されている技術試験衛星 VIII 型 (ETS-VIII) では, S 帯 (2.50, 2.65 GHz 帯) を使用した移動体衛星通信, 災害対策など様々なアプリケーションの実証実験が行われる予定である [1], [2]. その実験項目の一つとして, 車載用移動体衛星通信システム及び移動体衛星通信用アンテナの検討が行われている. 車載を対象とした移動体衛星通信用アンテナ [3], [4] は, 追尾系のシステムとして移相器やモータ等を搭載する必要がある. そのため一般ユーザへの普及を考えた場合,

より安価で小型なシステムを実現させることが課題となっている.

筆者らは, 車両などの移動局を対象とした簡易衛星追尾型パッチアレーアンテナの開発を行っている [5]. 本アンテナは図 1 のように, 衛星の方向に対応してビームを衛星方向に向ける機能をもっている [6] ~ [10]. そのため無指向性アンテナと比較して高い利得を実現でき, 更に周囲からの雑音を受けにくいといった利点がある. 衛星追尾の方式は大きく機械式 [6] と電子式 [7] ~ [10] に分けられるが, 電子式では, 機械式と比

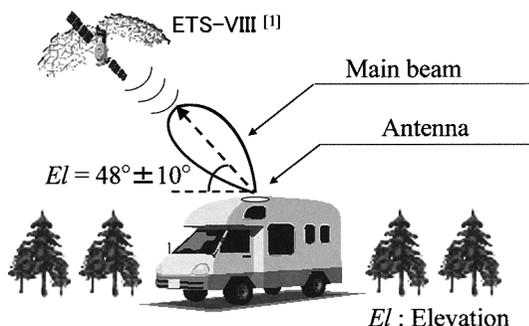


図 1 車載用移動体衛星通信アンテナ
Fig. 1 Mobile satellite communications antenna for vehicle application.

[†] 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

^{††} 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

a) E-mail: omei@m.ieice.org

較してモータのような動作部分がないため、システムの小型化、低価格化、高速追尾が可能となる。このことから本システムの追尾方式は電子式とし、更に、各素子への給電を ON, OFF 制御するのみでビーム方向を切り換える移相器を使わない簡易な方式とした。このような方式で衛星追尾を行うためには、各素子への給電を制御する高周波用スイッチング回路が必要となる。スイッチング回路はアンテナ利得の低下を抑えるために挿入損が低く、またシステム全体を小型なものにするために、アンテナに内蔵できるサイズであることが要求される。しかしながら市販されているスイッチング IC や高周波リレーの中でも、本アンテナに使用できる機能をもつタイプのもは一般的に損失が大きく、更に耐久性、サイズ、切換速度等の観点から使用することが難しい。そのため、現在までこのようなビーム切換方式に有効なスイッチング回路の提案はされておらず、スイッチング回路を含めたアンテナの放射特性に関する報告はまだない。

そこで本論文では、簡易衛星追尾型アンテナにおいてビーム切換を行う際に必要となる給電制御回路を提案し、本回路を搭載したアンテナのビーム切換特性について述べる。給電制御回路は、PIN ダイオードを用いた SPDT (Single Pole Double Through) スイッチを利用した DP3T (Double Pole Three Through) スイッチとすることで、挿入損が低くほぼ同相で出力できるため、アンテナの放射特性への影響が少ないものとすることができた。またこの回路を用いることにより、本アンテナにおいて簡易に衛星追尾が行えることを実測から確認した。2. では、簡易衛星追尾型アンテナの構成について述べる。3. では、給電部の構成について述べ、ビーム切換の際に必要なスイッチング回路について示す。4. ではスイッチング回路、及び回路を搭載した本アンテナのビーム切換特性の測定結果について述べる。最後に 5. で本論文をまとめ、今後の課題について述べる。

2. 簡易衛星追尾型パッチアレーアンテナの構成

2.1 アンテナの仕様と追尾システム

開発を行っているアンテナの目標を表 1 に示す。周波数帯域は送信が 2.65 GHz 帯、受信が 2.50 GHz 帯であり、偏波は送受ともに左旋円偏波である。本アンテナは東京都内での使用を想定していることから、仰角の目標範囲は都内から静止衛星が見える 48° を中心

表 1 アンテナの仕様と目標

Table 1 Specifications and objectives on the antenna for mobile satellite communications.

仕 様		
周波数帯域	送 信 (Tx)	2655.5 MHz ~ 2658.0 MHz
	受 信 (Rx)	2500.5 MHz ~ 2503.0 MHz
偏 波	送受ともに左旋円偏波	
目 標		
角度範囲	仰 角 (El)	東京都内 48° (全国使用の場合 $38^\circ \sim 58^\circ$)
	方位角 (Az)	$0^\circ \sim 360^\circ$
最低利得	5 dBic	
最大軸比	3 dB	
給電損	2 dB	

表 2 回線設計

Table 2 Link buget.

	単 位	受 信 (2.5 GHz)
衛星局側		
アンテナ利得	dBi	37.1
給電損	dB	1.80
EIRP	dBW	45.4
車載局側		
アンテナ利得	dBi	37.1
給電損	dB	2.00
G/T	dB/K	-20.6
総合 C/N_0	dBHz	57.2
符号化利得	dB	5.00
所要 C/N_0 (128 kbit/s)	dBHz	60.7
マージン	dB	1.50

とした。また、方位角の範囲は全方位角としている。表 2 に回線設計を示す。回線設計は、ETS-VIII の主要諸元に基づいて計算を行った。回線設計より、アンテナ利得、軸比の目標値は、128 kbit/s 程度の伝送速度で受信するために、目標角度範囲内においてアンテナ単体の利得 5 dBic 以上、軸比 3 dB 以下とした。また、今回検討を行った通信回線では、給電部の損失を 2.0 dB としていることから、電力分配器の損失、ケーブルロス考慮して、スイッチング回路は 1.0 dB 以下の損失で動作するように設計した。そのため回路の損失を含めたアンテナ利得の目標値は、全方位角において 4 dBic 以上となる。

図 2 に本アンテナを使用した衛星追尾のシステム図を示す。衛星追尾は現在普及が進んでいるカーナビゲーションシステムや光ファイバジャイロ等を利用して、移動局の位置、進行方向から衛星の方向を判断し、最適なビーム方向を選択することで行う。アンテナに

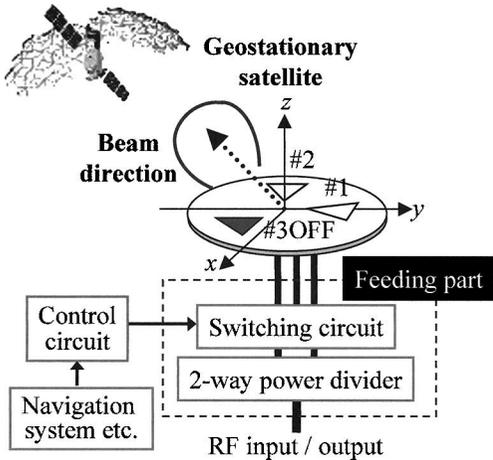


図 2 簡易衛星追尾システムの構成図
Fig. 2 Configuration of the simple satellite tracking system.

は給電制御を行うためのスイッチング回路を搭載し、追尾系からの信号を受けて素子アンテナへの給電を ON, OFF 制御することで、方位角 3 方向へビームを切り換える。

2.2 給電制御によるビーム切換

本アンテナは、ビーム切換機能をもたせるために三つの円偏波素子を 120° ずつ回転させ、等しい素子間隔で円形に配列するシーケンシャルアレイ [11] としている。この配置で各素子へ同相で給電を行った場合、素子間には回転角と等しい位相差が与えられるため、3 素子のうち一つの素子への給電を行わない場合（以下、この状態を給電 OFF と略記する）、 120° の位相差をもつ 2 素子に給電されることになる。その結果、本アンテナの偏波は左旋円偏波であることから、給電を OFF とした素子から方位角 -90° 、低仰角方向へチルトしたビームが形成される。このようにして、本アンテナでは給電 OFF とする素子を切り換えることで、水平面内に 120° ずつ 3 方向にビーム切換ができる。なお、この方式では、素子数を増やしても同様にしてビーム切換を行うことが可能である [12]。図 3 に給電素子とビーム方向の関係を示す。#1 OFF の際には、方位角 $Az = 0^\circ$ 方向に、#2 OFF, #3 OFF の際は $Az = 120^\circ, 240^\circ$ 方向を中心としたビームが形成される。また、このような配列法を利用し、更に送信素子、受信素子を交互に配置することで、送受の 2 周波共用化が可能である [5]。

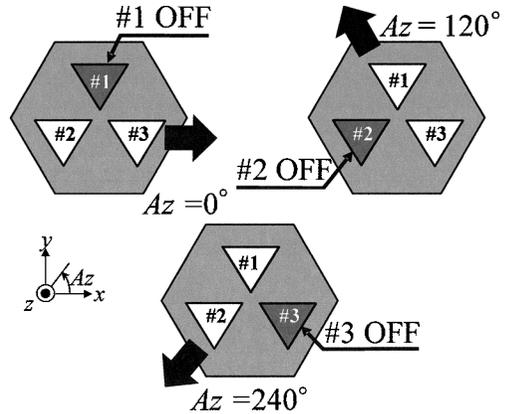


図 3 給電素子とビーム方向
Fig. 3 Feeding and beam direction.

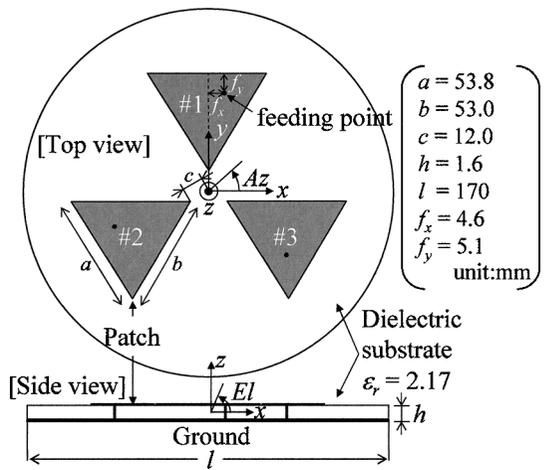


図 4 二等辺三角形パッチアレイアンテナの構造
Fig. 4 Configuration of the isosceles triangle patch array antenna.

2.3 測定用アンテナ

本検討では今回提案する給電制御回路を、将来、送受 2 周波共用三角形パッチアレイアンテナ [5] へ搭載することを想定している。本論文では単一周波数で同様の放射特性が得られる測定用のアンテナとして、3 方向にビーム切換が可能なる 1 点給電型の二等辺三角形パッチアンテナ [13] を利用したシーケンシャルアレイとした。図 4 にアンテナの構造を、図 5 に試作したアンテナを示す。アンテナのサイズは、ETS-VIII の受信周波数である 2.5 GHz を目標として、図の $a = 53.8$ mm, $b = 53.0$ mm とした。また、円錐面内のアンテナ単体利得 5dBic 以上となるビーム幅を 120° 以上とするために中心からアンテナ先端までの距離 c は 12.0 mm

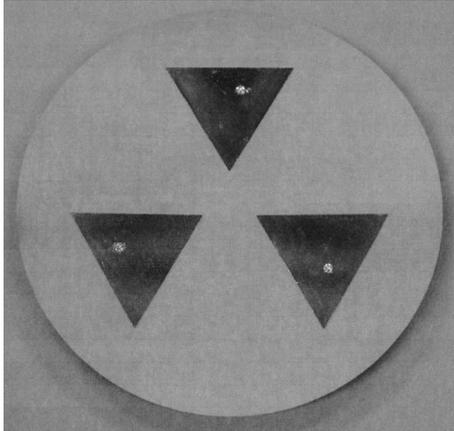


図 5 試作したアンテナ

Fig. 5 External view of the fabricated antenna.

とした。なお基板は、比誘電率 2.17, 厚さ 1.6 mm の PTFE 基板を使用した。本構造において地板を無限地板として数値解析を行った結果、動作周波数において、素子の反射係数は約 -15 dB, 素子間の透過係数は約 -28 dB であった。

3. 給電制御用スイッチング回路

3.1 給電部の構成

本アンテナでは、スイッチング回路を使用して各素子への給電を ON, OFF 制御し、ビーム方向を切り換えることで衛星追尾を行う。図 6 に検討した給電部の構成 (#1 への給電 OFF) を示す。給電部は、電力 2 分配器と各素子との間にスイッチング回路を挿入した 2 入力 3 出力の構成とした。給電は、3 素子のうち 2 素子のみに行い、給電しない素子をスイッチング回路によって制御することでビーム方向を切り換える。具体的には、素子 #1 への給電を OFF とする場合には、In1 から入力された電力が素子 #2 へ、In2 からの電力が素子 #3 へ供給される。また素子 #2 が OFF の場合には、In1 からの電力が素子 #1 へ、#3 が OFF の場合には In2 からの電力が素子 #2 へ供給される。このようにスイッチング回路を用いて、2 分配器からの電力を 3 素子のうち 2 素子に振り分けることでビーム切替を実現する。そのため、3 分配器を使用したときのように一つの素子の給電を OFF とした場合にも、 $50\ \Omega$ 終端抵抗器によって電力の $1/3$ を消費することなく有効に活用することができる。

3.2 スwitchング回路の構成

図 7 に給電部で使用するスイッチング回路の回路図

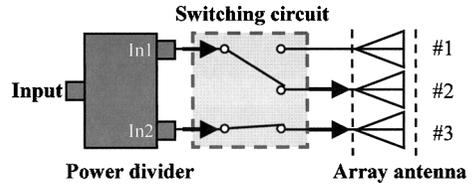


図 6 給電部の構成 (#1 OFF)

Fig. 6 Configuration of the feeding part (#1 OFF).

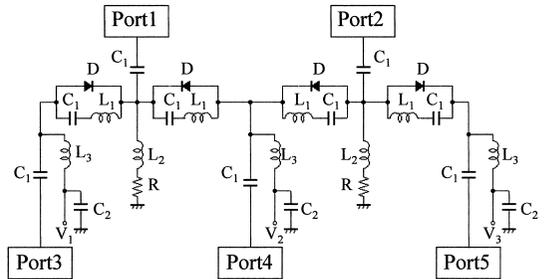


図 7 スwitchング回路の回路図

Fig. 7 Layor of the switching circuit.

表 3 回路素子の値

Table 3 Values of the circuit element.

L_1	6.8 nH	C_1	10 pF
L_2	33 nH	C_2	100 pF
L_3	22 nH	R	200 Ω

表 4 出力ポートとバイアス電圧の関係

Table 4 Relation between the output port and the bias voltage.

OFF Port	V_1	V_2	V_3
3	-	+	-
4	+	OFF	-
5	+	-	+

を、表 3 に回路素子の値を示す。図の Port 1, Port 2 が入力部, Port 3, Port 4, Port 5 が出力部である。スイッチング回路の構成は、PIN ダイオードを用いた基本的な SPDT (Single Pole Double Throw) スイッチを組み合わせた、DP3T (Double Pole Three Throw) スイッチとした。また目的の周波数における特性を向上させるために、図のように PIN ダイオードと並列に L と C を挿入することで並列共振回路を構成した [14]。各ポートへのスイッチングは、表 4 のようにバイアス電圧を加えることで可能となる。なお表中の“OFF”は、バイアス電圧を加えないことを示している。このようにバイアスをかけない状態においても、PIN ダイオードと並列に構成された L, C は、並列共振回路としての特性を示す。この特性を利用すること

で、本回路は出力端子と同数の単純なバイアス部のみで実現できる．また今回の検討では回路の構成を簡易なものとするために、出力を OFF とする場合には、 $50\ \Omega$ 終端抵抗器に接続せず開放としている．なお本アンテナでは、給電 OFF とする素子に $50\ \Omega$ 終端抵抗器を接続した場合と、開放にした場合において、特性の変化はほぼ生じない．本回路の目標値は、ETS-VIII の受信周波数である $2.5\ \text{GHz}$ において、ON 端子への挿入損は回線設計より $1.0\ \text{dB}$ 以下、入力端子と OFF 端子間及び出力端子間のアイソレーションは $20\ \text{dB}$ 以上とした．図 8 に本回路のプリントパターンを示す．このパターンを用いて数値解析を行った結果、本回路において目標値を達成していることを確認した．数値解析に用いた回路素子のパラメータはメーカーからの公称値を用いたが、試作の際には公称値との誤差を考慮して、 L_1 の値を調整し動作周波数の設定を行った．図 9 に試作した回路を示す．写真の上部の端子が入力、側部と下部の端子が出力である．また本回路のサイズは $1.9 \times 6.2 \times 0.1\ \text{cm}$ であり、アンテナに十分搭載可能なサイズとした．なお基板は、比誘電率 2.17、厚さ $0.8\ \text{mm}$ の PTFE 基板を、PIN ダイオードはルネサステクノロジ製 HVU131 [15] を使用した．

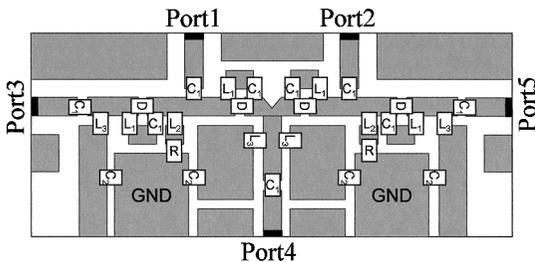


図 8 回路のプリントパターン
Fig. 8 Print pattern of the circuit.

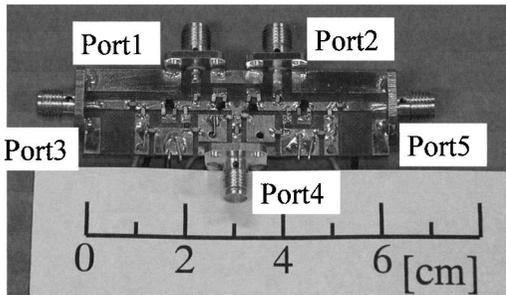


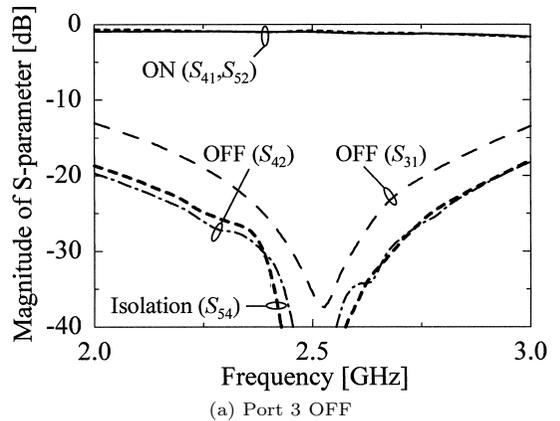
図 9 試作した回路
Fig. 9 External view of the fabricated circuit.

4. 測定結果

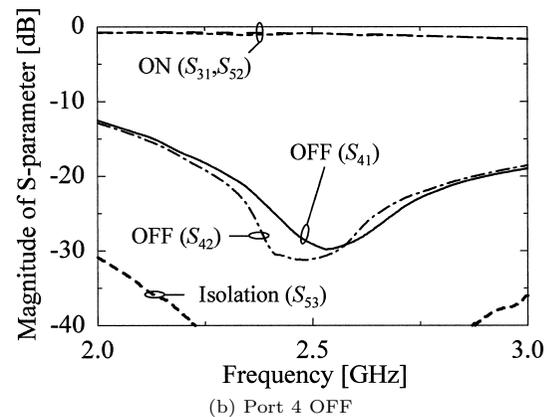
4.1 スwitching回路の測定結果

Switching回路について、バイアス電圧を $3\ \text{V}$ とし ON, OFF 時の測定を行った．なお PIN ダイオードに流れる電流は、 $200\ \Omega$ の抵抗を使用していることから約 $15\ \text{mA}$ となる．

本回路の入力特性の平均値は、入力側ポートで約 $-13\ \text{dB}$ 、出力側ポートでは、ON 時で約 $-12\ \text{dB}$ 、OFF 時で約 $-1.0\ \text{dB}$ であった．図 10 に Port 3、及び Port 4 出力を OFF にした際の周波数特性の測定結果を示す．また、表 5、表 6 にそれぞれ $2.5\ \text{GHz}$ における本回路の挿入損と位相の測定結果を示す．図、表より、本アンテナの動作周波数 $2.5\ \text{GHz}$ において、Port 3 出力を OFF にした際の ON 端子への挿入損は $0.99\ \text{dB}$ (S_{41})、 $0.81\ \text{dB}$ (S_{52}) であり、目標としている $1.0\ \text{dB}$



(a) Port 3 OFF



(b) Port 4 OFF

図 10 スwitching回路の周波数特性
Fig. 10 Frequency performances of the switching circuit.

表 5 各端子への給電を OFF にした際の挿入損 ($f = 2.5 \text{ GHz}$)

Table 5 Insertion loss of each output port ($f = 2.5 \text{ GHz}$).

OFF Port	ON 端子への挿入損 [dB]	OFF 端子とのアイソレーション [dB]	出力端子間のアイソレーション [dB]
3	0.99, 0.81	36, 42	64
4	0.88, 0.86	29, 31	61
5	0.82, 0.91	34, 30	39

表 6 各端子を OFF にした際の位相 ($f = 2.5 \text{ GHz}$)

Table 6 Phase of each output port ($f = 2.5 \text{ GHz}$).

OFF Port	出力端子の位相 [deg]
3	140.1(S_{41}), 141.2(S_{52})
4	142.0(S_{31}), 141.1(S_{52})
5	142.2(S_{31}), 141.7(S_{42})

以下を達成した。しかしながら本回路の構成では、図 8、図 9 のように回路中央部に T 字型のオープンスタブができていたため、その影響によって下部の Port 4 へ出力する際に損失が大きくなっていると考えられる。また、左右の端子 Port 3、Port 5 への出力に関しても同様に、回路中に T 字型のスタブが確認できる。これらスタブの影響については、回路を小型化することで改善できるが、本検討ではスイッチング回路の各出力端子の特性についての検討を行うため各端子へコネクタを設置する必要があり、コネクタの設置が可能な大きさで回路の設計、製作を行った。実際に本回路をアンテナに搭載して使用する際には、アンテナの背面に電力 2 分配器とともに回路基板をプリントすることを想定している。この場合、回路にコネクタを設置する必要がないため、回路の小型化が可能となり、挿入損の低減を図ることができる。

入力端子と OFF 端子間とのアイソレーションは、36 dB (S_{31})、42 dB (S_{42})、出力端子間のアイソレーションは 64 dB (S_{54}) であり、それぞれ目標値を達成している。しかしながら表より、Port 3、Port 5 の出力端子間のアイソレーションに 25 dB の差が確認できる。差異の原因としては、回路素子を設置する際に使用するはんだの量や、設置位置のずれから生じるインピーダンスの変化によるものであると考えられる。なお数値解析結果からは、両者が一致することを確認している。また、各出力端子の位相差は、最大で 1.1° であることから、各端子へほぼ同相で出力されている。以上より、本回路が DP3T スwitchング回路として良好に動作していることを実測から確認した。なお本回

路は設計周波数を変化させても同様の特性が得られるため、回路素子の値を調節することで送信用としても適用することが可能である。

4.2 スwitchング回路使用時のビーム切替特性

図 11～図 14 に、スイッチング回路の動作確認のため行った測定結果を示す。各図とも実線がアンテナにスイッチング回路搭載時の測定値、破線がスイッチング回路非搭載時（アンテナのみ）の測定値を示している。アンテナのみの場合の測定においては、理想的な状態とするため OFF とする素子に 50Ω 終端抵抗器を接続した。また、測定結果にはセミリジットケーブル、電力 2 分配器の損失は含めておらず、スイッチング回路の損失のみを考慮している。なお、アンテナの素子 #1、#2、#3 にそれぞれ、スイッチング回路の Port 3、Port 4、Port 5 を接続、放射特性の測定周波数は、製作したアンテナの動作周波数である 2.475 GHz とした。表 7 に、 2.475 GHz におけるスイッチング回路の各値を示す。表より、 2.475 GHz と 2.5 GHz の特性はほぼ同様のものとなっているため、周波数を変化させたことによる放射特性への影響は少ないと考えられる。なお、 2.475 GHz における測定用アンテナの素子の反射係数、及び素子間の透過係数はともに -25 dB 以下である。

図 11 の素子 #2 OFF における軸比の周波数特性（方位角 $Az = 120^\circ$ 、仰角 $El = 48^\circ$ ）より、軸比が 3 dB 以下となる帯域はアンテナのみで 0.8%、スイッチング回路を搭載した場合で 0.7% であり、回路の影響はほとんど見られない。図 12 に #1 OFF、#2 OFF とした際の利得と軸比の垂直面内放射特性を示す。#1 OFF 時の利得のピーク方向は仰角 $El = 66^\circ$ であり、スイッチング回路を搭載しても変化しない。またアンテナ単体、スイッチング回路搭載時のピーク利得はそれぞれ約 8.2 dBic、約 7.0 dBic であり、両測定値の利得差約 1.2 dB は、ほぼスイッチング回路の損失分に相当している。なお数値解析におけるアンテナのピーク利得は、仰角 $El = 66^\circ$ において約 8.3 dBic であり、アンテナ単体の測定結果と良好に一致している。しかしながら軸比に関しては、仰角 $El = 60^\circ$ よりも低仰角の方向において、両測定値に差異が生じている。#2 OFF 時における垂直面内の放射特性は、アンテナ単体、スイッチング回路搭載時ともにピーク方向は仰角 $El = 66^\circ$ であり、#1 OFF の際と同様にスイッチング回路を搭載しても変化しない。ピーク利得はアンテナ単体で約 8.0 dBic、スイッチング回路搭載時で

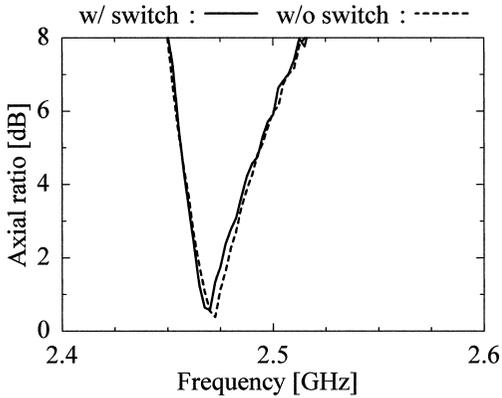


図 11 仰角 48° 方向における軸比の周波数特性 (#2 OFF)

Fig. 11 Frequency performances of axial ratio for an elevation $El = 48^\circ$ (#2 OFF).

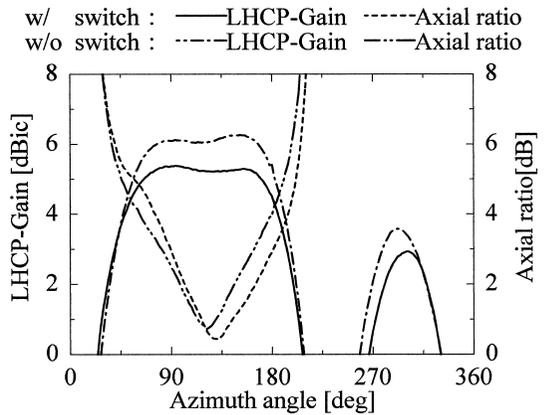
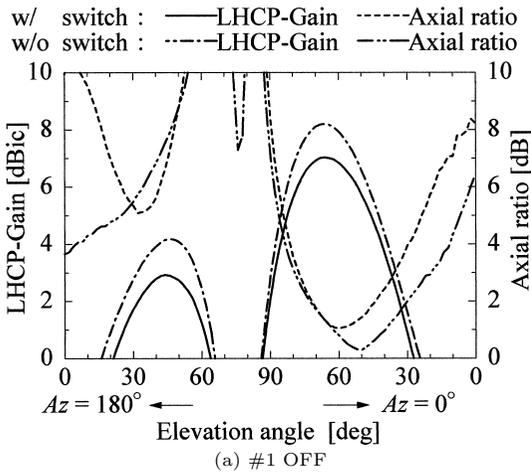
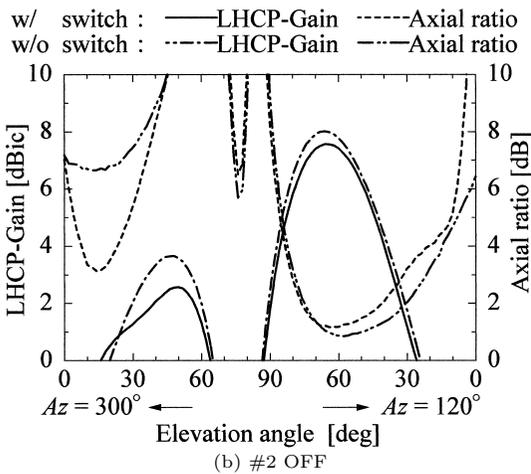


図 13 仰角 48° における円錐面内指向性 (#2 OFF)

Fig. 13 Radiation characteristics in the conical-cut direction for an elevation $El = 48^\circ$ (#2 OFF).



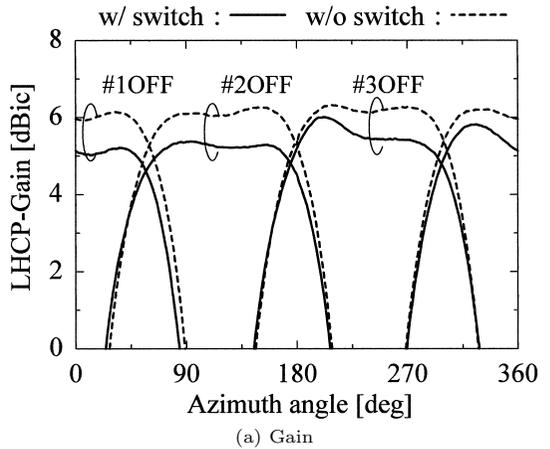
(a) #1 OFF



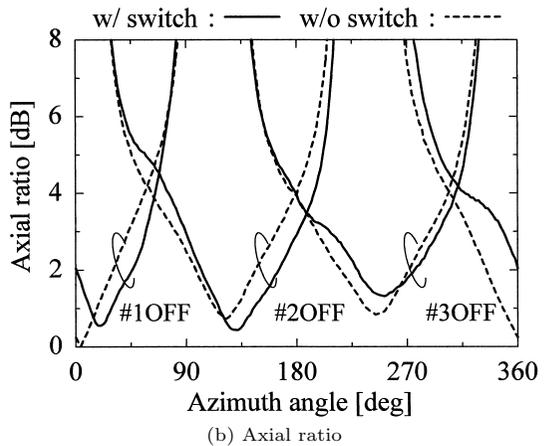
(b) #2 OFF

図 12 垂直面内放射特性

Fig. 12 Radiation characteristics in the elevation plane.



(a) Gain



(b) Axial ratio

図 14 ビーム切換時の円錐面内放射特性 (仰角 48°)

Fig. 14 Beam-switching in the conical-cut direction ($El = 48^\circ$).

表 7 各端子への給電を OFF にした際の挿入損 ($f = 2.475 \text{ GHz}$)Table 7 Insertion loss of each output port ($f = 2.475 \text{ GHz}$).

OFF Port	ON 端子への挿入損 [dB]	OFF 端子とのアイソレーション [dB]	出力端子間のアイソレーション [dB]
3	0.96, 0.82	32, 42	47
4	0.86, 0.87	28, 31	60
5	0.81, 0.89	32, 27	35

約 7.6 dBic であり、この利得差約 0.4 dB は、素子 #2 OFF 時のスイッチング回路の損失である約 0.9 dB に対して低くなっている。この原因としては、測定誤差や、回路をアンテナに接続する際に使用しているセミリジットケーブルからの散乱による影響などが考えられる。特に仰角 $El = 60^\circ$ 以下の低仰角方向においてはこれらの影響が大きくなるため、#1 OFF、#2 OFF ともにスイッチング回路の有無によって軸比の値に差異が生じていることが確認できる。しかしながら実際にアンテナを使用する際には、アンテナ背面に回路基板をプリントするため、このようなケーブル等の影響は改善され、回路の挿入損のみが放射に作用すると考えている。

図 13 に、東京都内から静止衛星が見える、仰角 $El = 48^\circ$ 円錐面内の利得と軸比の放射特性 (素子 #2 OFF) を示す。図から、素子 #2 OFF 時のビームの中心である方位角 $Az = 120^\circ$ における両測定値の利得差は約 0.8 dB であり、スイッチング回路の損失にほぼ相当している。また、利得、軸比ともにスイッチング回路の有無による放射方向の変化はなく、同様の傾向となっている。次に、ビーム切替時の利得及び軸比の円錐面内放射特性を図 14 に示す。この図は、各素子への給電を OFF にした際に形成されるアンテナ利得の放射特性を、方位角を基準に三つ重ねたものである。本回路を用いることで良好にビーム切替が行えていることが確認できる。また利得に関して、隣接するビームとの交点をビーム切替点としたとき、ビーム切替点における最低利得の値は、アンテナ単体で約 5.3 dBic、スイッチング回路搭載時では約 4.7 dBic であり、利得差は 0.6 dB となった。このことから、目標としている仰角 $El = 48^\circ$ 、全方位角において、スイッチング回路による挿入損 1.0 dB 以下であり、回路の損失を含めた目標値である利得 4 dBic 以上を実現した。しかしながら軸比に関しては、スイッチング回路の有無によってビーム切替点付近において差異が生じているた

め、測定方法も含めて今後検討する必要がある。

以上より、円錐面内の放射特性から本回路を用いることでビーム切替が行えることを確認し、ビームの中心方向においては垂直面内での測定値と同様に、スイッチング回路の損失分のみが放射に影響することを確認した。なお電力 3 分配器を使用した構成では、 50Ω 終端抵抗器によって入力電力の 1/3 である 1.8 dB が消費され、更にスイッチング回路の損失が加わることから、2 dB 以上の損失となるのに対し、今回提案した 2 入力 3 出力の構成とすることで、損失を低く抑えられることを示した。

5. む す び

各素子への給電を ON、OFF 制御するだけでビーム方向を切り換える、簡易衛星追尾型パッチアレーアンテナについて、2 入力 3 出力の給電部の構成を提案し、給電制御用回路として DP3T スwitching 回路を開発した。開発したスイッチング回路は、挿入損が低く、アンテナに十分搭載可能なサイズとなった。更に、スイッチング回路をアンテナに搭載し、ビーム切替特性の測定を行った結果、ビームの放射方向などアンテナの特性を変えることなく、3 入力の構成と比較して低い電力損で、方位角 3 方向にビーム切替が可能であることを確認した。この回路を用いることで、本アンテナによって簡易に衛星追尾が行えることを示した。今後は ETS-VIII を用いた移動体衛星通信実験に向けて、スイッチング回路の挿入損の低減、ビーム切替時におけるビット誤り率の評価、送受 2 周波共用化アンテナへの搭載を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、平成 16 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B)) (2) 課題番号 16360185) により行われた。

文 献

- [1] 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).
- [2] i-Space ホームページ, “ETS-VIII の概要” (<http://i-space.jaxa.jp/satellite/ETS-VIII.htm>).
- [3] S. Ohmori, “Vehicle antennas for mobile satellite communications,” IEICE Trans., vol.E74, no.10, pp.3210–3221, Oct. 1991.
- [4] K. Nishikawa, “Land vehicle antennas,” IEICE Trans. Commun., vol.E86-B, no.3, pp.993–1004, March 2003.
- [5] 田中憲光, ヨサファット テトオコ 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.

- [6] A. Kuramoto, T. Yamane, and N. Endo, “Mechanically steered tracking antenna for land mobile satellite communications,” 1988 IEEE Int. Antennas Propagat. Symp. Dig., vol.26, pp.1314–1317, June 1988.
- [7] 西川訓利, 佐藤和夫, 藤本美俊, “自動車搭載衛星通信用電子走査アンテナ” 信学論 (B-II), vol. J72-B-II, no.7, pp.323–329, July 1989.
- [8] 堀 俊和, 寺田矩芳, 鹿子嶋憲一, “高角度ビーム走査の可能な球面配列スイッチングアレーアンテナ” 信学論 (B), vol. J69-B, no.11, pp.1400–1407, Nov. 1986.
- [9] 三浦 龍, 田中豊久, 堀江章夫, 関口高志, 井上 隆, 唐沢好男, 猪股英行, “車載 DBF セルフビームステアリングアレーアンテナによる衛星電波の追尾受信実験” 信学論 (B-II), vol. J80-B-II, no.7, pp.547–557, July 1997.
- [10] 大森慎吾, 田中健二, 山本伸一, 松永 誠, 土屋牧夫, “衛星通信用車載型フェーズドアレーアンテナ” 信学技報, A・P90-75, SANE90-41, Oct. 1990.
- [11] 手代木扶, 中條 渉, 伊藤猛夫, 小室英雄, “シーケンシャル円偏波アレーアンテナ” 信学技報, A・P83-57, Aug. 1983.
- [12] D. Delaune, T. Tanaka, T. Onishi, J.T. Sri Sumantyo, and K. Ito, “Simple satellite-tracking stacked patch array antenna for mobile communications experiments aiming at ETS-VIII applications,” IEE Proc. Microwaves, Antennas and Propagation, vol.151, no.2, pp.173–179, April 2004.
- [13] Y. Suzuki, N. Miyano, and T. Chiba, “Circularly polarized radiation from singly-fed equilateral-triangular microstrip antenna,” Proc. IEE, vol.134 (Pt. H) pp.194–198, 1987.
- [14] 市川裕一, 青木 勝, GHz 時代の高周波回路設計, pp.79–127, CQ 出版社, 2003.
- [15] ルネサステクノロジホームページ, “HVU131 仕様” http://documentation.renesas.com/jpn/products/diode/rjj03g0320_hvu131.pdf
(平成 17 年 12 月 14 日受付, 18 年 3 月 28 日再受付)



金子 謙一 (学生員)

平 16 千葉大・工・都市環境システム卒。
平 18 同大学院博士前期課程了。同年
(株)日立製作所入社。在学中, 移動体衛星
通信用アンテナ及び追尾システムに関する
研究に従事。



田中 憲光 (学生員)

平 13 千葉大・工・電気電子卒。平 16 同
大学院博士前期課程了。現在同大学院博
士後期課程在学中。平 18 本会学術奨励賞
受賞。小型・平面アンテナの高機能化及び
移動体衛星通信システムに関する研究に
従事。IEEE 会員。日本学術振興会特別研

究員。



高橋 応明 (正員)

平元東北大・工・電気卒。平 6 東工大
大学院博士課程了。同年武蔵工大・工・電気・
助手。同大講師を経て, 平 12 東京農工大・
工・電気電子・助教授。平 16 千葉大・フロ
ンティアメディカル工学研究開発センター・
助教授。衛星放送受信アンテナ, 平面ア
ンテナ, 小型アンテナ, RLSA, 環境電磁工学, 人体と電磁波
の研究に従事。工博。IEEE シニア会員。



伊藤 公一 (正員)

昭 49 千葉大・工・電子卒。昭 51 同大
大学院修士課程了。同年東工大・工・助手。
昭 54 千葉大・工・助手, 平元同助教授, 平
9 同教授, 平 15 同大フロンティアメディ
カル工学研究開発センター教授, 平 18 同
大工・教授となり, 現在に至る。主として,
がん治療用マイクロ波アンテナ等の医療応用, 移動通信用ブ
リントアンテナ, 携帯端末用小形アンテナ, ファントムを用い
た人体と電磁波との相互影響評価の研究に従事。工博。著書
「Handbook of Microstrip Antennas」(UK, 共著), 「ミリ波
技術の基礎と応用」(共著)など。IEEE Fellow, AAAS, 映
像情報メディア学会, 日本ハイパーサーミア学会, 日本シミュ
レーション学会各会員。