

## 次世代移動体衛星通信局用アンテナシステム (2周波共用マイクロストリップアレーアンテナ)

Josaphat Tetuko SRI SUMANTYO\*・伊藤 公一\*\*  
三浦 周\*\*\*・山本 伸一\*\*\*

### 1. はじめに

近年、移動通信の需要増加や、現地調査、無人船の操作、災害対策などの点から堅牢な通信への要求が高まっており、いつでも、どこでも、誰でも通信可能な移動体衛星通信の実現が求められている。宇宙航空研究開発機構(JAXA)より2006年2月に打ち上げ予定の技術試験衛星 VIII 型(ETS-VIII)<sup>1)</sup>では、この移動体衛星通信の技術開発、また医療、災害対策など数多くのアプリケーションに対する実証実験が行われる予定である。我が国においては、すでにS帯を用いた可搬型端末による音声を中心とした移動体衛星通信や、動画を含む移動体衛星放送サービスが行なわれているが、近い将来このシステムをさらに発展させたものとして、乗用車などに装備し、インターネットなども利用可能な移動体衛星通信システムの実現が期待される。

このような動向を受けて、我々は一般車両にも搭載可能な簡易追尾型パッチアレーアンテナについて研究を行っている<sup>2,3)</sup>。アンテナは、自動車の屋根などに搭載し、GPSやジャイロのデータを使用し、電子スイッチのON、OFF切替によって、高価な移相器などを用いずに4方向または3方向程度のビーム切替を行うことができる。そのため衛星追尾機能を比較的簡易な構造で実現することが可能であり、サイズおよびコ

ストの低下を図ることができる。

一般的にアンテナおよび通信システムの研究・開発では、実際の使用状況における特性と評価が重要である<sup>4)</sup>。しかしながら移動体衛星通信の場合、到来波が48°程度の低仰角方向であるため、車両の屋根や建物が存在するような伝搬環境下でアンテナがどのような特性を示すかを、衛星が無い状態で予想することは困難である。そこで今回我々は、仰角48°方向からの到来波を得るために8階建てビルの屋上に模擬衛星局を設け、さらにアンテナが搭載された実験車両を走行させることで、外部の環境も含めた受信特性の確認を行った。本稿では実験に向けて開発したアンテナおよび模擬衛星通信実験の概要と実験結果を含めて述べる。

### 2. アンテナの仕様と目標

表1に、目標としたETS-VIIIを用いた通信実験における移動体衛星通信用アンテナの仕様を示す。簡易なシステムで移動体衛星通信を実現することを念頭に、目標とする伝送レートを数百kbps程度、アンテナ利得を必要とする角度範囲内でアンテナ利得5dBicとして検討を行っている。仰角の角度範囲は、東京での静止衛星の仰角約48°を中心に±10°の地域、または全国での使用を考慮して38°から58°とした(図1を参照)。

### 3. 開発したアンテナの各種

本研究では、様々なアンテナを開発し、以下に示す3つの代表的なアンテナのタイプについて、報告する。アンテナはいずれも自動車の屋根に搭載することを想定し、GPSまたはジャイロのデータをもとにして、簡易な追尾系で衛星追尾が行えるように3~4の少ない

\* 千葉大学環境リモートセンシング研究センター  
〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33

\*\* 千葉大学大学院自然科学研究科  
〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33

\*\*\* 独立行政法人情報通信研究機構鹿島宇宙通信研究センター  
〒314-8501 茨城県鹿嶋市平井893-1

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 44, NO. 4, 2005

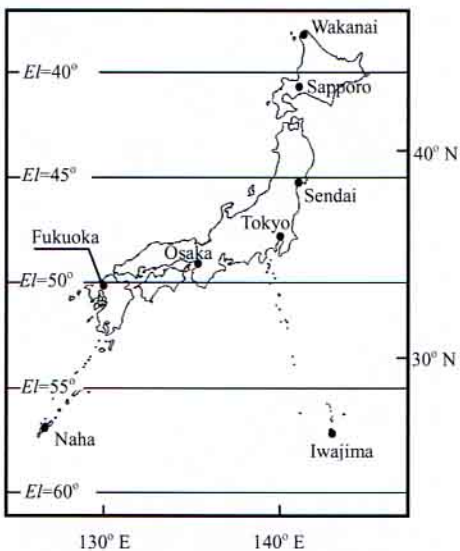


Fig. 1 Japan map: elevation angle of beam direction

Table 1. Specifications on the antenna for ETS-VIII

SPECIFICATIONS		
frequency bands	transmission (Tx)	2655.5 to 2658.0 MHz
	reception (Rx)	2500.5 to 2503.0 MHz
polarization	Left-Handed Circular Polarization (LHCP) for both transmission and reception	
TARGETS		
elevation angle ( $El$ )	$48^\circ$ (centered at Tokyo) $\pm 10^\circ$	
azimuth angle ( $Az$ )	$0^\circ$ to $360^\circ$	
minimum gain	5 dBic	
maximum axial ratio	3 dB	
maximum isolation	20 dB	

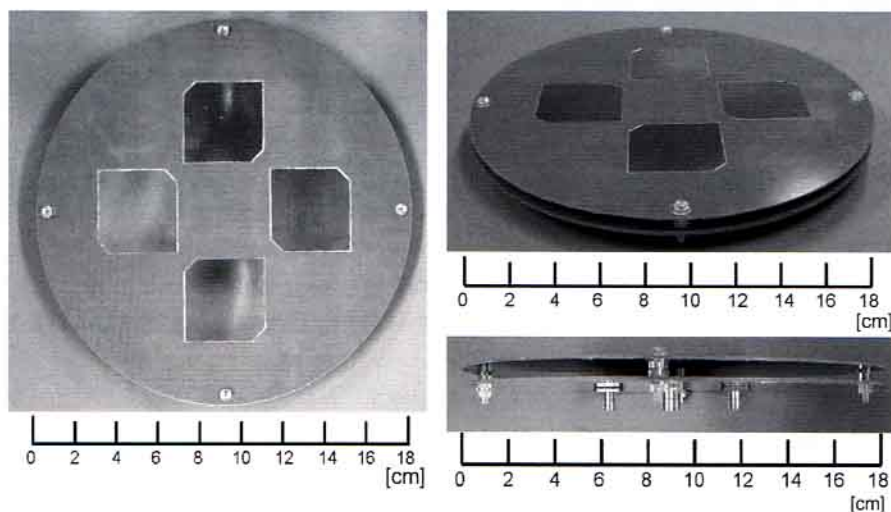


Fig. 2 Stacked type single band patch array antenna

ビームを切り替えることによって全方位角をカバーする。また、垂直面内にビーム幅が広い為、仰角方向での追尾は行わないものとしている。

まず、図2に示すアンテナは、4方向のビームを切り替えて、東京都内において、5 dBic以上の利得を得られるように設計を行ったモデルである<sup>5)</sup>。このアンテナは放射素子と無給電素子から構成する。アンテナ素子は円偏波を発生するために、方形パッチに切り欠けを入れた1点給電型円偏波パッチアンテナを用いた。このアンテナ素子を、給電点が内側になるように

$90^\circ$ ずつ回転させて4素子配置した。さらに利得向上を目的として無給電素子を配置し、2層構造のパッチアンテナとした。

図3は正三角形パッチアレーを使用した2周波共用アンテナの構造を示す。アンテナは乗用車の屋根に搭載することを目標に開発されたものであり、直径約200 mmで、厚さ1.6mmの薄い平面構造でビーム切替および送信・受信の2周波共用の機能をもつ<sup>6)</sup>。基板には比誘電率2.17のテフロン基板を使用し、素子アンテナには、円形配列を行った際に最も小さく考えられ



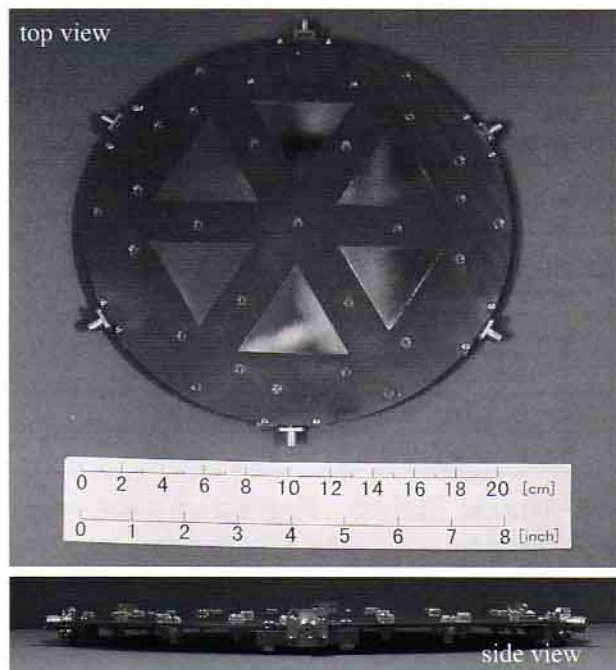


Fig. 3 Dual band triangular patch array antenna (1)

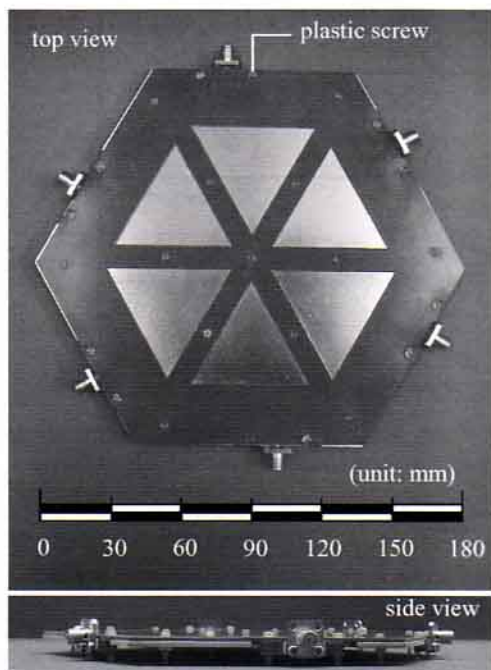


Fig. 4 Dual band triangular patch array antenna (2)

る正三角形パッチアンテナを採用した。円偏波を実現するため、電磁結合を利用した2点給電とした。素子アンテナとしてこの三角形パッチアンテナを受信用と送信用の2種類設計し、設計した素子を同一平面内に交互に円形配列することで、2周波共用化を行っている。

図4は改善した2周波共用三角形パッチアレーアンテナの構造を示す<sup>7)</sup>。このアンテナは直径180mm、厚さ1.6mmの薄い平面構造で、ビーム切替および送信・受信の2周波共用の機能をもつ。基板は、上述したアンテナと同様に比誘電率2.17のテフロン基板を使用した。円偏波を実現するための電磁結合2点給電を改善して、上述したアンテナより小型化できた。本アンテナは送信・受信ともに、3つの素子を120°ずつ回転させて配列したアレーアンテナである。この3素子のうち、1つの素子の給電をOFFすることで、OFFした素子から-90度の方向にチルトビームが形成されるため、水平面内に120°ずつ3方向にビームを切り替えることが可能である。垂直面内、水平面内においてビーム幅が広く、切り替えるビーム数が少ないので、最終的なアンテナシステムとしては、カーナビなどの情報を利用した簡易な追尾で実現可能と考えている。また、ラジオなどのように応用するために、本アンテナの単周

波型も開発した<sup>8)</sup>。

本研究では、仰角48°方向からの到来波を得るために8階建てビルの屋上に模擬衛星局を設け、さらにアンテナが搭載された実験車両を走行させることで、外部の環境も含めた受信特性の確認を行った。次節では、アンテナおよび模擬衛星通信実験の概要と、実験結果について述べる。

#### 4. 模擬衛星局および実験車両の構成

本研究で開発したアンテナを実際に衛星通信に利用した場合の仰角  $EI = 48^\circ \pm 10^\circ$  方向 (図1も参照) における伝搬特性を把握するために千葉大学内にて模擬衛星通信実験を行った。なお、本アンテナは、通信用であり2周波共用機能を持たせているが、実験免許の関係でダウンリンク (受信) のみの実験とした。図5に実験の概要を示す。模擬衛星局のシステムおよびアンテナはビルの屋上に設置し、模擬衛星局アンテナからの到来波が仰角  $48^\circ \pm 10^\circ$  となる道路を測定路とした。また、模擬衛星局のアンテナは半値幅の広い1素子円偏波スパイラルアンテナ (Marconi社ASM-1874A) を使用し、アンテナの最大放射方向を測定路上の仰角48°ポイントへ向けることで、仰角38°~58°の範囲内に

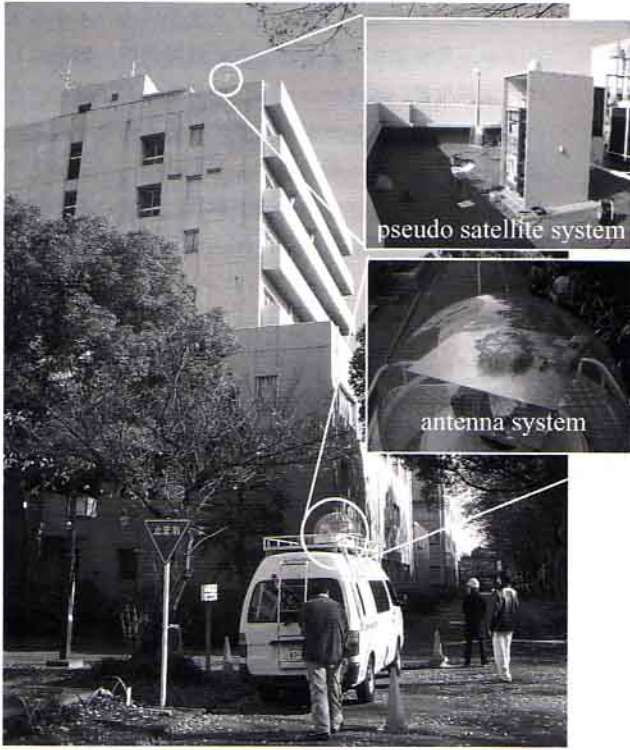


Fig. 5 Outdoor experiments

おける利得の変化が最小 (0.3dB 以内) となるよう設定した。

衛星模擬局および、車載局 (通信実験車両) に搭載された通信、図5に示すような構成とした。将来行われる移動体衛星通信に近い状況で測定することを目指し、伝送レートは288kbps、スルーリピータでの使用を想定している。車載局側は、図4に示すパッチアレーアンテナを通信実験車両の屋根に設置し、図5のように半球状のレドームを被せた。

仰角 $38^\circ$ 、 $48^\circ$ 、 $58^\circ$ の各ポイントにて、車両および伝搬環境を含めた状況での放射指向性を測定した。測定結果を図6に示す。測定時はアンテナの素子#1を給電OFFにすることで方位角 $Az=0^\circ$ 方向へヘルトビームを形成した。実験時は各ポイントでの模擬衛星の方向を方位角 $0^\circ$ とし、実験車両に搭載されている回転台を利用して受信電力を測定した。なお、グラフの値は測定結果、計算結果それぞれの最大値で規格化したものである、計算値は数値計算による結果を利用した。

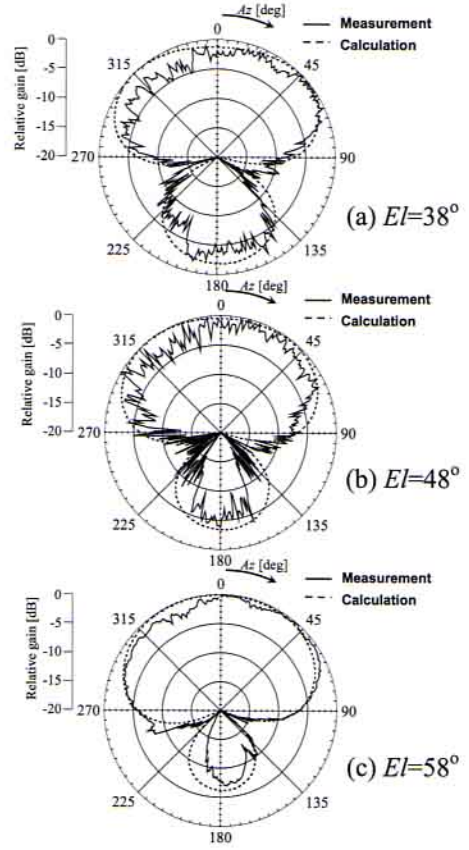


Fig. 6 Radiation pattern at  $EI=38^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $58^\circ$

図7は、測定路における測定結果を示す。図の計算値は、送信電力、給電損失、自由空間伝搬損、アンテナ利得から導出したものである。なおパッチアレーアンテナの利得はモーメント法を用いた無限地板解析に

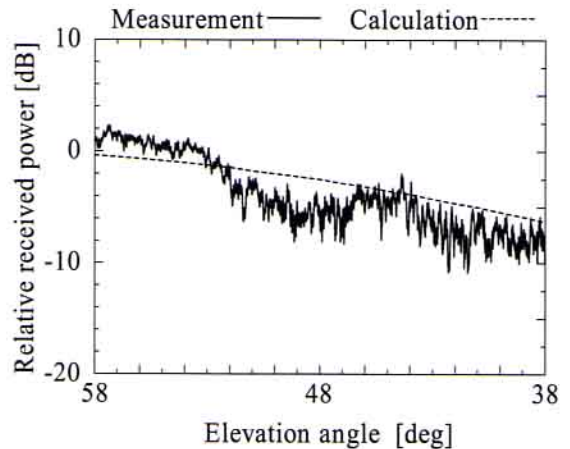


Fig. 7 Relative received power at  $EI=38^\circ\sim 58^\circ$



よって得られた結果を用いている。実測値は計算値の傾向をほぼ捉えているが、計算値と実験値を比較すると、仰角53°以上の高仰角において実験値が計算値より1 dB程度高くなっている。この原因の一つの可能性としてアンテナ利得の計算結果に含まれる誤差の影響が考えられる。計算値は無限地板モデルにより得た結果であるが、実際のアンテナは、地板の形状が無限ではなく有限であるため、高仰角では無限地板による計算値より実際の利得が高く、低仰角方向では低くなったと考えられる<sup>5)</sup>。また、仰角52°から46°の範囲では、計算値よりも受信電力が低くなる傾向が確認できるが、2003年に寄生素子付4素子パッチアレーアンテナで同様の実験を行った際にも同じ傾向が確認されているため、アンテナではなく車両の屋根など、周囲の影響である可能性が考えられる。

## 5. まとめと今後の研究課題

ETS-VIIIを用いた移動体衛星通信実験にむけて、放射素子と無給電素子から構成する方形パッチアレーを使用した1点給電型円偏波パッチアンテナ、送信と受信の2周波に対応する三角形パッチアレーアンテナを開発した。また、実際の使用状況におけるアンテナの受信特性を調べるために、衛星通信模擬実験を行った。実験では仰角48°方向からの到来波を得るために8階建てビルの屋上に模擬衛星局を設け、さらにアンテナが搭載された実験車両を走行させて測定を行った。測定の結果より、アンテナ単体での性能に近い特性が得られる可能性を確認した。

今後の研究課題として、平成18年にETS-VIIIを使用して、関東地方における地上実験を行なう予定である。移動しながら伝搬環境が変わった場合における測定結果の比較や、アンテナと車両の屋根を含めた放射指向性の検証などの解析を行う予定である。実験により得られた結果をもとに、システム全体の解析を行い、さらにアンテナ自身の小型化や放射特性改善を目指す。

本研究で開発したアンテナは車載と船舶における移動体通信サービスを対象にするため、自動車と船舶産業を目標にする。このアンテナにより次世代インテリジェントカーの誕生になると期待している。これにより、車内・船内におけるマルチメディア情報伝送サービス、陸上・海上ナビゲーション、銀行サービス等、

様々な分野に応用可能である。さらに近い将来、大量データ・UWBレーダ搭載遠隔操作飛行機、人体救命システム、災害救助・不整地走行ロボット遠隔制御、無人制御船、遠隔医療マネジメントまたはモバイルホスピタル、危険物質や放射性物質の運搬追跡、離島における遠隔教育、放送サービス、防災支援対策等に、本研究の成果が幅広い分野に貢献できる。新たな産業と市場、特に自動車・船舶産業と衛星通信・リモートセンシング産業における新発想が新たに生まれると確信している。本研究の成果は、国内特許と国際特許にも出願した。

## 特許出願

1. 移動体通信用アンテナ, 日本特許2003-014301
2. 移動体通信用アンテナ, 国際特許 PCT/JP03/05162
3. 移動体通信用三角形マイクロストリップラインアンテナ, 日本特許と国際特許 (出願中)

## 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。

## 参考文献

- 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](http://www.jaxa.jp/missions/projects/sat/tsushin/ets8/index_j.html).
- 2) 伊藤公一, 田中憲光, グビッド・ドゥローン, 大西輝夫, J.T. スリ スマンティヨ, “ETS-VIII を用いた移動体衛星通信実験用簡易衛星追尾型アンテナ”, 第46回宇宙科学技術連合講演会, pp.1156-1161, Oct. 2002.
- 3) J.T. スリ スマンティヨ, 伊藤公一, “移動体衛星通信用ロープロファイル衛星追尾型2周波共用パッチアレーアンテナ”, 信学技報, AP2004-136, vol. 104, no. 395, pp.19-24, Oct. 2004.
- 4) 山本伸一, 田中健二, 小原徳昭, 若菜弘充, 大森慎吾, “陸上移動体衛星通信実験(ETS-V/EMSS) - 車載用アンテナシステムの開発と高速道路電測実験結果 -”, 電子情報通信学会技術研究報告, SAT92-8, pp.39-44, May 1992.
- 5) J.T. Sri Sumantyo, K. Ito, D. Delaune, T. Tana-

- ka, T. Onishi, and H. Yoshimura, "Numerical analysis of ground plane size effects on patch array antenna characteristics for mobile satellite communications", *International Journal. of Numerical Modelling*, Vol. 18, No. 2, pp.95-106, 2005.
- 6) J.T. Sri Sumantyo and K. Ito, "Simple satellite-tracking dual-band triangular-patch array antenna for ETS-VIII applications", *Radiomatics - Journal on Communications Engineering*, 2004 (in press).
- 7) J.T. Sri Sumantyo, K. Ito, and M. Takahashi, "Dual band circularly polarized equilateral triangular patch array antenna for mobile satellite communications", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation* (in press).
- 8) J.T. Sri Sumantyo and K. Ito, "Circularly polarised equilateral triangular patch array antenna for mobile satellite communications", *IEE Proc. Microwaves, Antennas & Propagation* (in press).