

4-5 車載局

4-5 *Land Mobile Station for ETS-Ⅷ Mobile Satellite Communications Experiments*

三浦 周 山本伸一 佐藤正樹

MIURA Amane, YAMAMOTO Shin-ichi, and SATOH Masaki

要旨

本稿では技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)を用いた移動体通信実験に向けて整備された車載局の概要を述べる。車載局の通信システムは、端局装置、140 MHzとS帯(2.6 /2.5 GHz)を周波数変換するU/CとD/C、送信出力50 WのSSPA及びLNAなどで構成される。機械式走査を要するアンテナのために、車載局のルーフキャリアにはアンテナ回転台(AZ、EL2軸)及びレドームが設置された。アンテナ指向制御方式としては、車の姿勢情報と衛星方向の情報を用いたオープンループ方式の指向制御を使用できる。移動局の鍵となる開発要素である移動局アンテナとしては、S帯アクティブフェーズドアレーアンテナ及びS帯階段型アンテナが開発された。S帯アクティブフェーズドアレーアンテナは、クローズドループ追尾機能を有する送受信可能な電子ビーム走査型アンテナである。S帯階段型アンテナは送受信可能な固定ビームアレーアンテナであり、AZ方向にのみ機械式追尾を行うことで衛星を捕捉する。共にアンテナ利得は12 dBi程度である。これらの車載装置への電力はガスタービン発電機から供給される。本車載局は、ETS-Ⅷ打ち上げの初期チェックアウト後の基本実験フェーズにおいて、種々の移動体通信実験や移動局用アンテナの評価試験に供される。

This paper describes the Land Mobile Station (LMS) developed for the mobile satellite communications experiments on the Engineering Test Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ). The LMS has a communications system consisting of terminal equipment, an up-converter (U/C) and a down-converter (D/C). These converters convert the signal frequency between 140 MHz and S-band (2.6/ 2.5 GHz). It also has a 50-W solid state power amplifier (SSPA) and a low noise amplifier (LNA). An antenna rotator capable of azimuth and elevation rotation and covered with a radome is installed on the LMS roof-top. An open-loop antenna tracking control by using the LMS attitude and a satellite direction is available. An S-band active phased array antenna and an S-band stairs type antenna were developed as the mobile antenna. These are key components of the mobile terminal. The S-band active phased array antenna uses electronic beam-scanning to transmit and receive signals. It can track the satellite by using closed-loop control. The S-band stairs type antenna is a fixed-beam array antenna. This can track the satellite by using mechanical tracking in the azimuth direction. The antenna gain of these antennas is about 12 dBi. A gas-turbine generator supplies power to the equipment onboard the LMS. The LMS during the phase after the initial checkout of the satellite after launch will be dedicated to the mobile satellite communications experiments and the evaluation of the mobile antenna using the ETS-Ⅷ.

[キーワード]

技術試験衛星Ⅷ型, S帯, 車載局, 移動体衛星通信, アンテナ追尾システム, 移動局アンテナ
ETS-Ⅷ, S-band, Land mobile station, Mobile satellite communications, Antenna tracking system, Mobile antenna

1 まえがき

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)は、S帯を用いた移動体衛星通信・放送技術を実証することを目的として開発が進められている[1]。ETS-Ⅷプロジェクトでは、衛星搭載大型展開アンテナを用いたパーソナル移動体衛星通信の技術実証のための実験が計画されている。これらの実験を実施するため、通信総合研究所では車載局を整備した。本稿では車載局の通信システム、アンテナ追尾システム、開発されたアンテナの構成とその機能を中心に述べる。

2 車載局装置

2.1 全体システム

図1に車載局の外観を示す。ルーフキャリア前方にはアンテナ回転台(AZ、EL2軸)が設置されている(図はS帯階段型アンテナを設置したところ。レドームは外してある)。車載局の構成図を図2に示す。端局装置としては140MHzでインターフェースできる端局装置を搭載することができる。周波数変換部は、140MHzをS帯(2.6GHz帯)に周波数変換するアップコンバータ(U/C)とS帯(2.5GHz帯)を140MHzに周波数変換するダウンコンバータ(D/C)を有する。周波数変換部の諸元を表1に、U/CとD/Cのレベルダイアグラムをそれぞれ図3、4に示す。車載局はまた、送信出力50Wの固体化電力増幅器(Solid State Power Amplifier：SSPA)及び雑音指数(Noise Figure：NF)が0.4dB以下の低雑音増幅器(Low Noise Amplifier：LNA)を具備する。

移動局アンテナが指向性アンテナの場合、衛星を捕捉するためにアンテナ指向制御を必要とする。そのため本車載局にはアンテナ追尾システムが整備されている。図1に示したように、車載局はルーフキャリア上にアンテナ回転台(AZ、EL2軸)とこれを覆う半球状のレドームを有する。回転速度はAZ、EL共に最大30°/秒である。RF信号は通過帯域がDC～50GHzのロータリージョイントを、制御信号はスリップリングを通して車内とインターフェースされる。一方、アンテナ指向制御方式としては、車体姿勢情報と衛星位置情報を用いたオープンループ方式による

アンテナ自動追尾制御方式が整備される。本方式は通信総合研究所が移動体衛星通信用に開発したもので、車体姿勢情報に光ファイバジャイロ(FOG)及び磁気センサ(MAG)から取得した情報を併用する[2][3]。表2にアンテナ追尾システムの諸元を示す。

機械式追尾を要するアンテナ以外に、車載局には電子ビーム走査型のS帯アクティブフェーズドアレーアンテナ(2.2.1で記述)が搭載される。本アンテナシステムは図2に示したように制御ユニット内のU/C及びD/Cの140MHz端で端局装置と接続される。また、車載局には以上に述べた通信装置以外に、OBP(On-Board Processor)用に開発した通信装置一式も搭載される予定である[4]。

車載装置への電力はガスタービン発電機(出力2.6kVA)から供給される。



図1 車載局外観

写真はアンテナ回転台にS帯階段型アンテナを設置したところ。レドームは外してある。

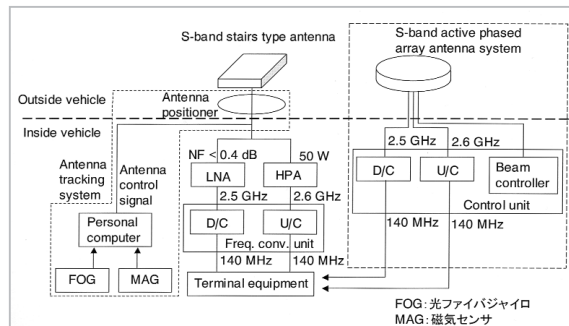


図2 車載局構成図

表1 アップ/ダウンコンバータユニット諸元

項目	諸元
U/C部	
IF IN	140 MHz±2.5 MHz, -10 dBm
RF OUT	2657.5±2.5 MHz, 0 dBm
帯域内振幅偏差	1 dBp-p以内
BPFアイソレーション	50 dB以上
3次相互変調積	-63 dBc(2信号入力: -10 dBm@139 MHz, 141 MHz)
出力スプリアス	-70 dBm以下
位相雑音	IN: 140 MHz, OUT: 2657.5 MHz 300 Hz: -88 dBc/Hz
D/C部	
RF IN	2502.5 MHz±2.5 MHz, -30 dBm
IF OUT	140 MHz±2.5 MHz, 0 dBm
雑音指数	14 dB
帯域内振幅偏差	1 dBp-p以内
LPFアイソレーション	50 dB以上
3次相互変調積	-64 dBc(2信号入力: -30 dBm@2501.5 MHz, 2503.5 MHz)
出力スプリアス	-70 dBm以下
位相雑音	IN: 2502.5 MHz, OUT: 140 MHz 300 Hz: -72.5 dBc/Hz
基準信号(内部/外部)	10 MHz, 0 dBm
ユニット寸法	W420×D300×H150 [mm]
ユニット重量	13.2 kg
電源電圧, 消費電力	AC100 V, 66 VA

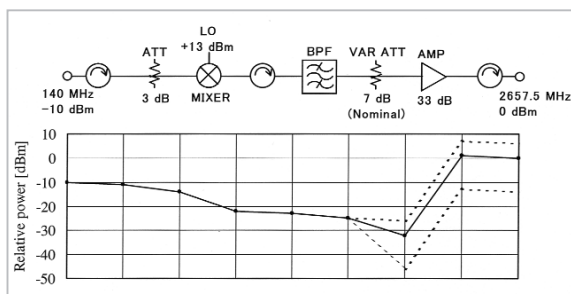


図3 U/Cレベルダイアグラム

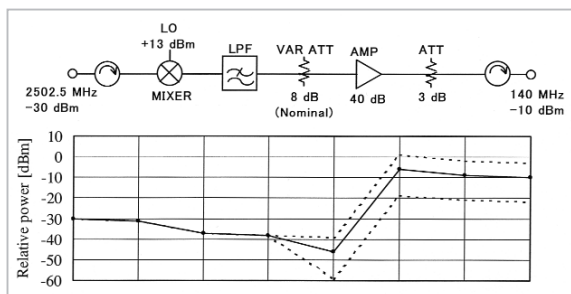


図4 D/Cレベルダイアグラム

表2 アンテナ追尾システム諸元

項目	諸元
アンテナ回転台	AZ, EL2軸機械式回転機構
動作範囲	AZ: 0°~359.9°, 天頂方向からの俯角: ±62.5° (機械ストッパー約±65.0°)
角度分解能	0.1°
最大動作速度	AZ: 30.0°/sec, EL: 30.0°/sec
角度精度	AZ: ±1.0°, EL: ±1.0°
RFケーブル	ロータリージョイント(DC-50 GHz)方式
DC電源供給	スリッパリング方式
追尾制御方式	車体姿勢情報, 衛星位置情報等を用いたオープンループ方式による自動追尾

2.2 移動局アンテナ

移動局アンテナ技術は、移動体衛星通信システム開発の鍵となる基盤技術の一つである。これまでに通信総合研究所では車載局、航空機やヘリコプターを対象とした移動体衛星通信システム用の移動局アンテナを開発してきた[5]-[8]。ETS-VIIIプロジェクトにおいては、移動体通信実験の一環として、移動局-基地局間で伝送速度1 Mbps程度の双方向通信を可能とする移動局用アンテナの開発を進めている。S帯アクティブフェーズドアレーアンテナ[9]はクローズドループ追尾機能を有する送受信可能な電子ビーム走査型アンテナである。S帯階段型アンテナ[10]はロープロファイルな階段状アレーアンテナで構成される送受信可能な固定ビームアンテナであり、AZ方向のみの機械式追尾で衛星を捕捉する。共にアンテナ利得は12 dBi程度である。

2.2.1 S帯アクティブフェーズドアレーアンテナ[9]

S帯アクティブフェーズドアレーアンテナは、増幅器をアンテナ素子直下に置くアクティブ型のフェーズドアレーアンテナである。増幅器を合成器入力端に置くパッシブ型のフェーズドアレーと比較すると、空間電力合成であるため、一定電力に対する増幅器当たりの電力配分が小さくなることから電力効率の高い増幅器を使用でき、加えてG/Tを大きくすることができる。

本アンテナシステムの外観を図5に、ブロック図を図6に、電気性能諸元を表3に示す。本アンテナシステムは、車外に搭載するアンテナと車内に搭載する制御ユニットからなる。アンテナは18素子の送受一体型セルフダイプレクシング

アンテナを有する。送受間アイソレーションはアンテナ素子のみで20dB以上である。送信周波数は2655.5～2658.0MHz、受信周波数は2500.5～2503.0MHzである。ビーム走査範囲は仰角方向がアンテナ正面方向を90度として45度から90度の範囲であり、方位角方向は全周方向である。走査範囲内でのアンテナ利得の設計値は送受共に12dBi以上とし、仰角45度で送信アンテナが12.3dBi、受信アンテナが14.5dBiを有した。伝送速度1Mbpsを達成するための回線設計に基づき、EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) は25.01dBW以上、G/Tは-14dB/Kを設計値とし、測定値はこれを満たした。

本アンテナシステムの移相器にはダブルバランスドミキサを用いたアナログ移相器[11]を採用した。本移相器は、制御電圧を与えることにより、入力RF信号の移相と振幅をそれぞれ独立に設定することが可能である。

本アンテナシステムの制御及び状態の監視は制御部に接続されたパーソナルコンピュータによって行われる。制御部は、受信アンテナを使用したクローズドループ方式による自動追尾制御を行う。自動追尾方式には、比較評価のため、和信号を用いた粗追尾と差信号を用いた精追尾の2種類を用意した。追尾動作速度は方位角方向で30°/秒以上、システム立上げ時の初期捕捉時間は1秒以内、ブロッキング等によって受信電波が遮断された後の再捕捉時間は1秒以内である。

なお、送信アンテナの追尾は受信アンテナに従属動作させる方式をとっている。衛星方向以外への放射を防ぐため、送信アンテナの動作は受信アンテナの衛星捕捉時にのみ行われる。このほかに本アンテナシステムは、車載局のアンテナ追尾システムで計算した方位角、仰角の情報を得ることによりオープンループ方式の自動追尾を行うことも可能である。

本アンテナシステムの物理諸元を表4に示す。アンテナ部の寸法は直径が440mmで高さが117mm、重量は18.7kgである。アンテナ部は防水処理されており、実験車両のルーフキャリア上に設置される。アンテナ部は側面に放熱用のフィンを有している。車両内部に設置される制御部とアンテナ部を結ぶラインは3本のRF信号線(送信用信号、受信用和信号、受信用差信号)、2

本の制御信号線(送信用、受信用)及びDC電源供給線である。制御部の寸法は19インチサイズのラックに合わせて製造してある。本アンテナシステムはAC100V電源で動作し消費電力は約354Wである。

本アンテナのSSPA送信出力は20W程度であり、送信時には人体とアンテナとの距離を電気通信技術審議会の答申である送信電波の防護基準を満たす距離、すなわち約3mまで取る必要がある(1.5GHz～300GHzにおける電波防護基準である電力密度1mW/cm²を、最大電力密度となるアンテナ正面方向(アンテナ利得17.6dB)の電力密度に対して適用)。

本アンテナシステムは端局装置とインターフェースするために制御ユニット内にIF周波数140MHzの送信周波数変換部(U/C)及び受信周波数変換部(D/C)を有している。U/CのIF最大許容入力レベルは-20dBm(このときSSPAは非線形領域で動作、EIRPは26.3W)である。入力

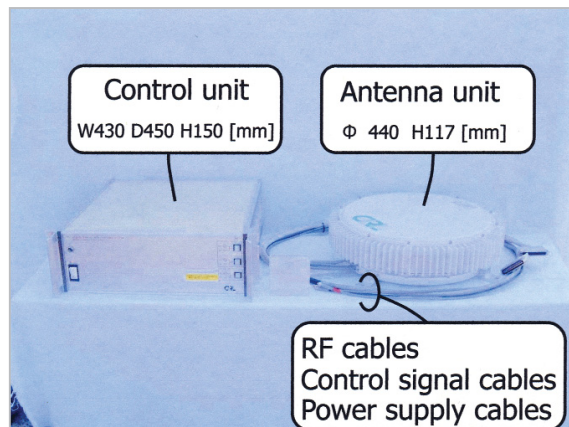


図5 S帯アクティブフェーズドアレーアンテナの外観

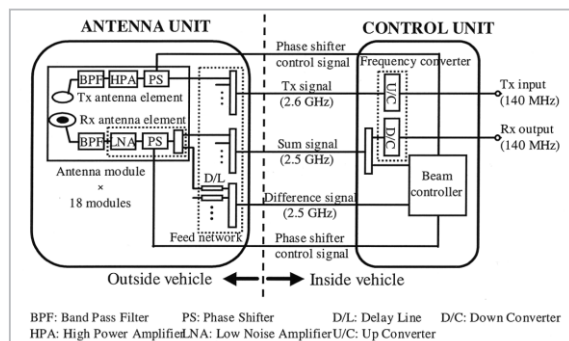


図6 S帯アクティブフェーズドアレーアンテナのブロック図

表3 S帯アクティブフェーズドアレーアンテナの電気性能諸元

項目	諸元
周波数	Tx: 2655.5 - 2658.0 MHz Rx: 2500.5 - 2503.0 MHz
偏波	送受とも左旋円偏波
走査範囲	方位角: 0° - 360° 仰角: 45° - 90° (アンテナ正面方向を仰角90°とする)
アンテナ利得	12 dBi以上 (設計値*) Tx: 12.3 dBi (測定値**) Rx: 14.5 dBi (測定値**)
ビーム半値幅	Tx: 30°, Rx: 28° (測定値**)
軸比	Tx: 約1.5 dB (測定値**) Rx: <0.5 dB (測定値**)
G/T	-14 dB/K以上 (設計値*) -12.3 dB/K (測定値**)
EIRP	25.01dBW以上 (設計値*) 26.3 dBW (測定値**)

*走査範囲内

**仰角45°での値

表4 S帯アクティブフェーズドアレーアンテナの物理諸元

項目	諸元
アンテナ部	
素子アンテナ	セルフダイプレクシングアンテナ 上層: 円形パッチ (送信) 下層: 円環パッチ (受信)
素子数	18
素子配列	三角配列
素子間隔	72 mm (送信: 0.64λ, 受信: 0.60λ)
HPA	20 W 程度 (SSPA18素子総合)
LNA	HEMT (NF: 0.94 dB)
移相器	無限移相器 (ダブルパラスタドミキサ型)
寸法	φ440 × H117 (mm) (レドーム含む)
重量	18.7 kg
制御部	
寸法	W430 × D450 × H150 (mm)
重量	17.0 kg
消費電力	354 W (AC 100V)

レベルがこれ以上になると SSPA に対して過大入力となり SSPA を損傷する危険がある。D/C の IF 出力レベルは標準で (アンテナ給電端受信電力が -124dBW のとき) -10dBm である。

2.2.2 S帯階段型アンテナ^[10]

移動体衛星通信の車載局用アンテナの一つとして、風の影響を受けにくく搭載性の良いロー

プロファイル・小型・軽量のS帯階段型アンテナを開発した。S帯階段型アンテナの外観を図7に示す。S帯階段型アンテナは4×4素子で構成され、1×4素子アレーをシーケンシャルアレー構成とし、前方の2列が送信アンテナ、後方の2列が受信アンテナとして使用される。東京におけるETS-VIIIの仰角に合わせて、各素子を48°傾けている。その上で、送受信アンテナとも前方の1列と後方の1列を位相調整し、衛星方向で同相となるように給電している。アルミ地板上には、軸比を改善するために3mmの電波吸収材を敷いている。寸法は縦50cm、横34cm、高さ5cmである。

衛星の追尾は、方位角は機械式追尾を前提とし、仰角の追尾は省略した(車の動揺による追尾誤差は、仰角方向の放射パターンを広角にすることで吸収する)。衛星方向の仰角(EL=48°)±10°内の目標利得は、2.2.1のS帯アクティブフェーズドアレーアンテナと同様に12dBi以上とし

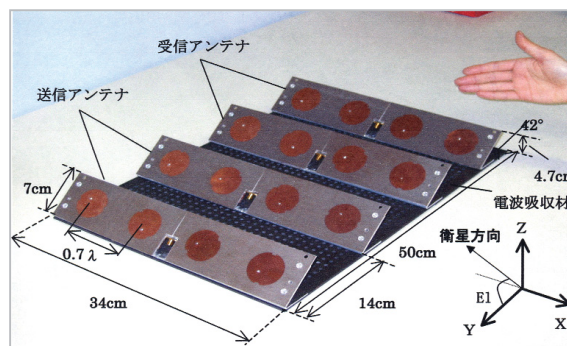


図7 S帯階段型アンテナの外観

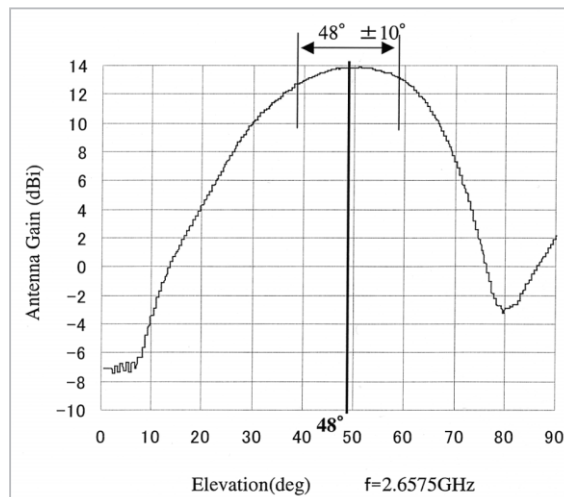


図8 S帯階段型アンテナの送信パターン

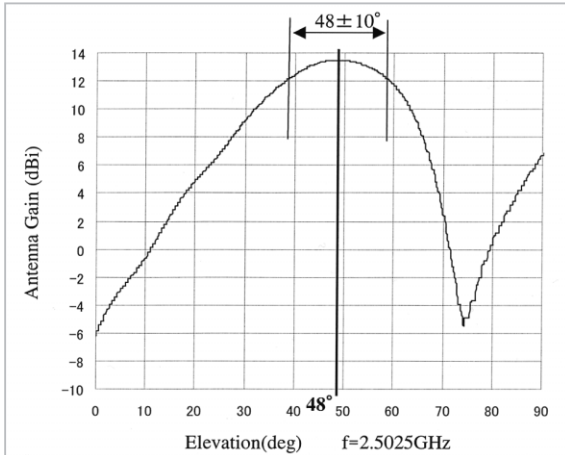


図9 S帯階段型アンテナの受信パターン

た。送受信パターンの測定結果をそれぞれ図8、9に示す。衛星方向(EL=48°)±10°内で送信アンテナ利得が12.6dBi以上、受信アンテナ利得は12.0dBi以上が得られ、軸比は1dB以下に抑えられている。また、送受間アイソレーションは、送信周波数2.6575GHzと受信周波数2.5025GHz間において40dB以上が得られた。S帯階段型アンテナの諸元を表5に示す。

表5 S帯階段型アンテナの諸元

項目	諸元
周波数	Tx: 2655.5 - 2658.0 MHz Rx: 2500.5 - 2503.0 MHz
偏波	送受とも左旋円偏波
アンテナ利得	仰角48°±10°の範囲において Tx: 12.6 dBi以上 Rx: 12.0 dBi以上 (方位角は機械式追尾を行う)
素子間隔	84 mm (Tx: 0.74λ, Rx: 0.70λ)
給電損失	1.0 dB以下
アンテナ素子	円形パッチ 4×4素子 1×4素子を一段とする シーケンシャルアレー
寸法	W340 × D500 × H50 (mm)
重量	4.0 kg以下

3 むすび

ETS-Ⅷ移動体通信実験用車載局の概要を説明した。本車載局は、ETS-Ⅷ打ち上げの初期チェックアウト後の基本実験フェーズにおいて、種々の移動体通信実験や移動体通信用アンテナの評価試験に供される。

参考文献

- 1 Y. Kawakami, S. Yoshimoto, Y. Matsumoto, T. Ohira, and T. Ide, "S-band Mobile Satellite Communications and Multimedia Broadcasting Onboard Equipment for ETS-Ⅷ", IEICE Trans. Commun., Vol. E82-N, No. 10, 1659-1666, 1999.
- 2 山本, 田中, 若菜, 大森, "陸上移動衛星通信用アンテナ追尾方式", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J77-B-II, No. 6, 307-316, 1994.
- 3 山本, 田中, 鈴木, 若菜, "陸上移動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法", 電子情報通信学会技術研究報告, SANE94-54, 35-41, 1994.
- 4 橋本, 山本, "OBP用実験端局", 本特集.
- 5 M. Tanaka, S. Yamamoto, N. Obara, H. Saito, and R. Miura, "Ka-band Mobile-Vehicular Active Phased Array Antenna System for Mobile Satellite Communications", 16th AIAA ICSSC, AIAA-98-1306-CP, 1998.
- 6 S. Taira, M. Tanaka, and S. Ohmori, "High Gain Airborne Antenna for Satellite Communications", IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol. 27, No. 2, 354-360, 1991.
- 7 H. Wakana, H. B. Li, A. Miura, Y. Nirei, and M. Arakida, "Airborne Imaging and Ka-band Satellite Communications in An Experimental Disaster Management System", Space Communications, Vol. 18, 157-166, 2002.
- 8 M. Satoh, H. B. Li, Y. Fujino, H. Wakana, A. Miura, Y. Ozaki, H. Satou, E. Watanabe, and M. Sawa, "Helicopter-Satellite Communication System Developed for Transmission of Disaster and Emergency Information", 21st AIAA ICSSC, AIAA-2003-2319-CP, April 2003.

- 9 A. Miura, Y. Fujino, S. Taira, T. Ojima, and K. Sakauchi, "S-band Mobile Vehicular Active Phased Array Antenna for Satellite Communications using ETS-VIII Satellite", 21st AIAA ICSSC, AIAA-2003-2212-CP, April 2003.
- 10 森井, 田中, 若菜, "ETS-VIII用階段型アンテナ", 電子情報通信学会技術研究報告, SAT2001-146, 13-19, 2002.
- 11 三浦, 藤野, 田中, 尾島, 坂内, "ダブルバランスドミキサを用いたフェーズドアレーアンテナ用S帯移相器", 電子情報通信学会技術研究報告, SAT2001-157, 97-104, 2002.



みうら 周
三浦 周

無線通信部門鹿島宇宙通信研究センター
モバイル衛星通信グループ主任研究
員 博士 (情報科学)
アンテナ、衛星通信



やまもと しんいち
山本伸一

無線通信部門鹿島宇宙通信研究センター
モバイル衛星通信グループ主任研究
員
移動体衛星通信



さとう まさき
佐藤正樹

無線通信部門鹿島宇宙通信研究センター
モバイル衛星通信グループ 主任研
究員
衛星通信

