

## 21GHz 帯衛星放送中継器を利用した伝送実験への取り組み

長坂 正史<sup>†</sup> 中澤 進<sup>†</sup> 筋誠 久<sup>†</sup> 田中 祥次<sup>†</sup>

<sup>†</sup>NHK 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

E-mail: <sup>†</sup>{nagasaka.m-hm, nakazawa.s-ie, sujikai.h-dy, tanaka.s-gw}@nhk.or.jp

**あらまし** 2017年9月30日(日本時間)に放送衛星 BSAT-4a が打ち上げられた。BSAT-4a には、12GHz 帯右旋・左旋用の中継器に加えて、21GHz 帯の実験用中継器が搭載されている。今後、21GHz 帯中継器を用いて広帯域伝送実験や降雨減衰特性測定等の評価が行われる予定であり、その実験に向けた取り組みとして、開口径 1.5m の 21GHz 帯受信アンテナを整備した。受信周波数は 21.4~22.0GHz とし、偏波は右旋および左旋とした。測定の結果、整備した受信アンテナは、利得 48dBi 以上、交差偏波識別度 32dB 以上であり、放射パターンは勧告 ITU-R BO.1900 の参照パターンを満たすことを確認した。

**キーワード** 衛星放送, 21GHz 帯, 衛星中継器, パラボラアンテナ, 受信アンテナ

### Efforts toward Transmission Experiments

### Utilizing Transponder of 21-GHz Band on Broadcasting Satellite

Masafumi NAGASAKA<sup>†</sup> Susumu NAKAZAWA<sup>†</sup> Hisashi SUJIKAI<sup>†</sup> Shoji TANAKA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Science & Technology Research Laboratories, Japan Broadcasting Corporation

1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

E-mail: <sup>†</sup>{nagasaka.m-hm, nakazawa.s-ie, sujikai.h-dy, tanaka.s-gw}@nhk.or.jp

**Abstract** The broadcasting satellite BSAT-4a was successfully launched on September 30<sup>th</sup>, 2017 (JST). BSAT-4a has a 21-GHz-band experimental transponder in addition to the 12-GHz-band broadcasting transponders using right- and left-hand circular polarization. We are planning to use the 21-GHz-band transponder for various experiments, for example, on wideband-transmission and rain-attenuation measurement. As one of the efforts toward the experiments, we fabricated a 21-GHz-band receiving antenna with a 1.5 m parabolic reflector. The receiving frequency is 21.4 to 22.0 GHz and the polarizations are right- and left-hand circular polarization. Measured results showed that the antenna gain and cross-polarization discrimination were more than 48 dBi and 32 dB, respectively. We also confirmed that the fabricated antenna satisfied the reference pattern of Rec. ITU-R BO.1900.

**Keyword** Satellite Broadcasting, 21-GHz band, Satellite Transponder, Parabolic Antenna, Receiving Antenna

#### 1. はじめに

2017年9月30日(日本時間)に放送衛星 BSAT-4a が打ち上げられた[1]。この衛星には、12GHz 帯の右旋円偏波用中継器に加えて左旋円偏波用中継器が搭載されており、2018年12月開始の超高精細度テレビジョン(4K・8K)衛星放送に利用される予定である[2]。さらに、BSAT-4a には、21GHz 帯(21.4~22.0GHz)の実験用中継器が搭載されている[3]。

21GHz 帯は、その広帯域性から、立体放送など将来の大容量コンテンツの伝送路として利用が検討されている。筆者らは、21GHz 帯の衛星中継器やアンテナについて研究開発を進めており[4,5]、帯域幅 278MHz の広帯域中継器とし、変調方式を 8PSK(符号化率 3/4)とすれば、1 中継器あたり約 540Mbps の伝送が可能となる[6]。

21GHz 帯実験用中継器を利用して、広帯域伝送特性の評価実験や、21GHz 帯ビーコン信号による降雨減衰特性評価を実施する予定である。衛星中継器を用いた広帯域伝送実験で C/N 対ビット誤り率測定を精度よく行うためには、開口径が大きい受信アンテナで高い受信 C/N を得る必要がある。また、21GHz 帯は降雨による電波の減衰(以下、降雨減衰)が大きいので、伝送実験における安定受信や、降雨減衰特性測定におけるダイナミックレンジ確保のためにも、受信アンテナの開口径は大きいほうが望ましい。

そこで、BSAT-4a の 21GHz 帯中継器を利用した伝送実験への取り組みとして、開口径 1.5m の 21GHz 帯受信アンテナを整備した。本稿では、現在計画している伝送実験の概要を示すとともに、整備した 21GHz 帯受信アンテナの電気特性について述べる。

## 2. 21GHz 帯広帯域衛星中継器の研究開発

21GHz 帯放送衛星を想定し、広帯域中継器の研究開発が進められている。図 1 に、21GHz 帯のチャンネル配置を示す。周波数帯域幅を 278MHz の広帯域中継器とすることで、1 チャンネル (1 中継器) あたりの情報レートは、変調方式 QPSK(1/2) で約 250Mbps, 8PSK(3/4) で約 540Mbps となる [6]。

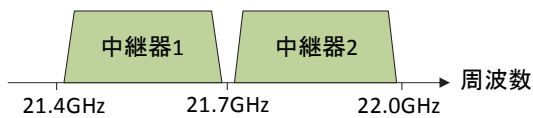
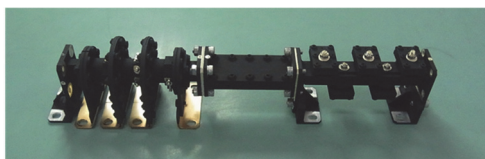


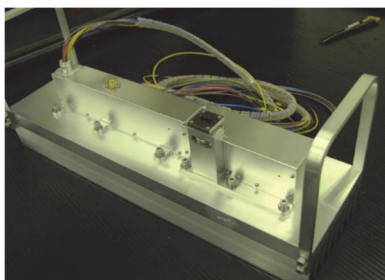
図 1 21GHz 帯のチャンネル配置

2012～2015 年度には、総務省の「次世代衛星放送システムのための周波数有効利用促進技術の研究開発」を受託し、ハードウェアによる実証を行った [7]。21GHz 帯に隣接する 22.21～22.5GHz には電波天文帯域があり、21GHz 帯衛星放送の出力 (地表面電力束密度) を許容される最大値の -105dB(W/m<sup>2</sup>/MHz) とした場合、この帯域における所要抑圧量は 65.6dB である [8]。そこで、21GHz 帯衛星中継器の不要波を急峻な特性で抑圧する出力フィルタについて研究開発を進めた。

図 2 に、試作した 21GHz 帯出力フィルタと進行波管増幅器 (以下、TWTA) を示す。出力フィルタに TWTA を接続し、シンボルレート 250Mbaud の広帯域変調信号を用いて、伝送特性を評価した [9]。測定は、衛星搭載を模擬した熱真空環境で行った。図 3 に、TWTA と出力フィルタを接続した時の出力波形 (周波数特性) を示す。22.21～22.5GHz における抑圧量は 65dB 以上であることを確認した。



(a) 21GHz 帯出力フィルタ



(b) 21GHz 帯 TWTA

図 2 試作した出力フィルタと TWTA

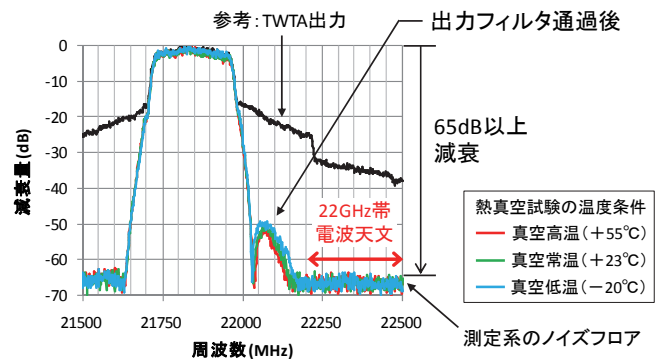


図 3 TWTA と出力フィルタを接続した時の出力波形

## 3. 21GHz 帯衛星中継器を用いた実験の概要

### 3.1. 広帯域伝送実験

BSAT-4a の 21GHz 帯実験用中継器は、周波数帯域幅が 250MHz を超える広帯域中継器である [3]。そこで、シンボルレート 250Mbaud 以上の広帯域変調信号を用いて伝送実験を行う予定である。複数の変調方式について、C/N 対ビット誤り率を測定し、衛星折り返しにおける伝送特性を評価する。

### 3.2. 降雨減衰特性測定

21GHz 帯は降雨減衰が大きいため、システム設計を進めるうえで降雨減衰特性は重要なパラメータとなる。表 1 に、代表的な 4 地点について、勧告 ITU-R P.837 [10] から求めた年間 0.01% 降水量を示す。例えば、那覇の年間 0.01% 降水量は札幌の約 2 倍であるなど、降雨には地域性があるため、降雨減衰特性の測定は、日本の複数地域で行うことを想定している。

表 1 日本各地の年間 0.01% 降水量

札幌	36.65 mm/h
東京	47.80 mm/h
鹿児島	65.53 mm/h
那覇	76.70 mm/h

これまで、21GHz 帯の降雨減衰特性は、12GHz 帯衛星放送の受信レベルを各地で測定して、ITU-R の計算式を適用し、21GHz 帯に換算することで評価してきた [11]。今後は、BSAT-4a の 21GHz 帯ビーコン信号を受信することで、21GHz 帯の電波で降雨減衰特性の測定が可能となる [3]。まず、2018 年度に東京 (NHK 放送技術研究所) で測定を開始し、順次、各地に測定設備を設置する予定である。

## 4. 21GHz 帯実験用受信アンテナ

BSAT-4a の 21GHz 帯中継器を用いた伝送実験や降雨減衰測定を行うためには、受信アンテナが必要となる。そこで、開口径 1.5m の 21GHz 帯受信アンテナを整備した。その諸元と電気特性について述べる。

### 4.1. アンテナの諸元

表 2 に、整備した 21GHz 帯受信アンテナの諸元を示す。C/N 対ビット誤り率測定による伝送特性評価や降雨減衰測定を想定し、開口径は 1.5m とした。21GHz 帯衛星放送帯域の全域について、右旋円偏波（以下、右旋）および左旋円偏波（以下、左旋）を同時に受信できる構成とし、低雑音コンバータ（以下、LNB）も新規に設計・製作した。

表 2 21GHz 帯受信アンテナの諸元

アンテナ形式	オフセットパラボラ
開口径	1.5 m
受信周波数	21.4~22.0 GHz
受信偏波	右旋および左旋
LNB 局部発振周波数	18.84375 GHz
LNB 出力周波数	2556.25~3156.25 MHz
LNB 電源電圧	DC 15 V

図 4 に、パラボラアンテナの構成を示す。焦点距離と開口径の比 (F/D) は 0.6 とした。21GHz 帯は波長が短いので、12GHz 帯と比較して鏡面精度の影響を受けやすい。そこで、反射鏡の鏡面精度を測定したところ誤差は 0.34mm RMS であり、この誤差で生じる利得低下は 0.4dB という見込みを得た[12]。

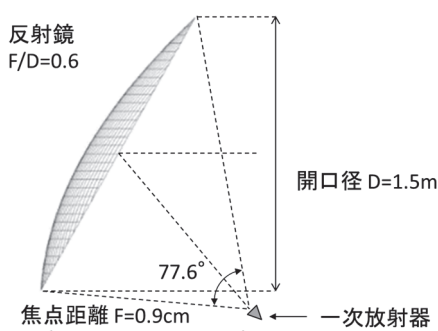


図 4. パラボラアンテナの構成

### 4.2. 一次放射器

図 5 に一次放射器の外観を示す。ホーンアンテナにセプタム型円偏波発生器[13]を接続し、受信した右旋と左旋の信号を分離する構成とした。ホーンアンテナの開口径は 27mm（約 2 波長）とした。出力導波管は一般的な矩形導波管（WRI-220）であり、屋外で使用するため防水フランジを用いた。

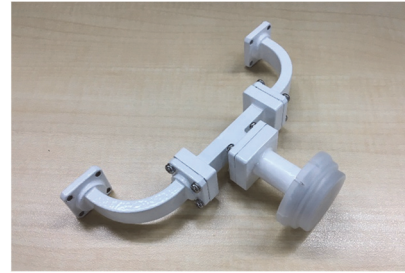


図 5. 一次放射器

表 3 に一次放射器の VSWR 測定結果を示す。偏波は、一次放射器の偏波を記載した。表 3 より、VSWR は 1.1 未満であり、円偏波発生器を含めて整合が取れていることを確認した。

表 3 一次放射器の VSWR 測定結果

周波数	右旋	左旋
21.4 GHz	1.04	1.04
21.7 GHz	1.07	1.04
22.0 GHz	1.06	1.04

### 4.3. 低雑音コンバータ(LNB)

図 6 に LNB の外観を示し、表 4 に測定結果を示す。21GHz 帯の衛星放送帯域において、LNB のコンバータ利得は 57dB 以上、雑音指数は約 1.5dB であることを確認した。また、イメージ帯域(15.6875~16.2875GHz)に対して 71dB 以上の抑圧量を得た。

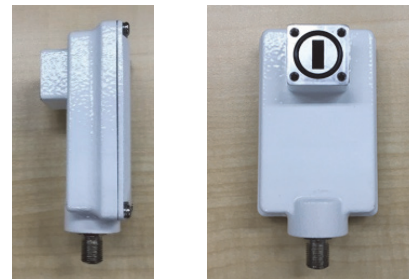


図 6. LNB

表 4 LNB の測定結果

項目	測定値
コンバータ利得	57.0~58.5 dB
雑音指数	1.48~1.55 dB
イメージ妨害抑圧比	71.6~80.4 dB

### 4.4. パラボラアンテナの特性

図 7 にパラボラアンテナの外観（測定時）を示す。電波無響室で、アンテナ利得、交差偏波識別度（以下、XPD）、放射パターンを測定した。測定には、球面走査型ニアフィールド測定装置[14]を用いた。

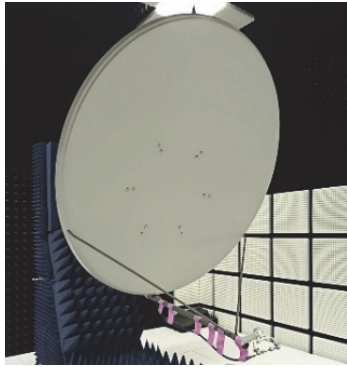


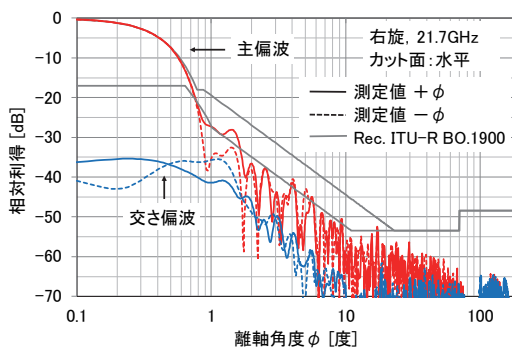
図 7. 21GHz 帯受信パラボラアンテナ (測定時)

表 5 に、アンテナ利得および XPD の測定結果を示す。偏波は、パラボラアンテナの偏波を記載した。測定の結果、アンテナ利得 48dBi 以上 (開口効率 55%以上)、XPD 32dB 以上を得た。

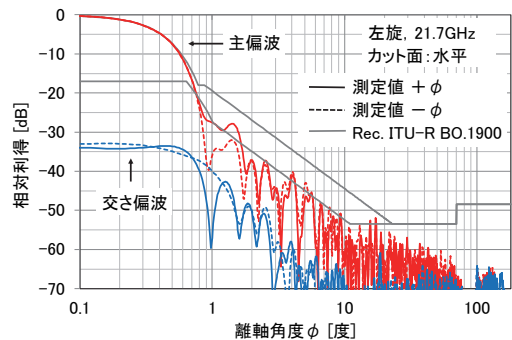
表 5 パラボラアンテナの利得・XPD 測定結果

周波数	利得		XPD	
	右旋	左旋	右旋	左旋
21.4 GHz	48.2 dBi	48.3 dBi	40.0 dB	33.8 dB
21.7 GHz	48.3 dBi	48.3 dBi	38.1 dB	33.4 dB
22.0 GHz	48.2 dBi	48.3 dBi	37.2 dB	32.8 dB

図 8 に放射パターン測定結果を示す。図中には、勧告 ITU-R BO.1900[15]の 21GHz 帯受信アンテナ参照パターンも記載した。測定結果より、製作した受信アンテナの放射パターンは ITU-R 勧告を満足することを確認した。



(a) 右旋アンテナ



(b) 左旋アンテナ

図 8. パラボラアンテナの放射パターン測定結果

## 5. まとめ

21GHz 帯衛星中継器を利用した実験への取り組みとして、開口径 1.5m の 21GHz 帯受信アンテナを整備した。測定の結果、整備した受信アンテナは、利得 48dBi 以上、交差偏波識別度 32dB 以上であり、放射パターンは勧告 ITU-R BO.1900 の参照パターンを満たすことを確認した。

**謝辞** 本研究の一部は、総務省の電波資源拡大のための研究開発「次世代衛星放送システムのための周波数有効利用促進技術の研究開発」による委託研究として実施した。

## 文 献

- [1] (株) 放送衛星システム：報道資料 (Sep. 2017) <http://www.b-sat.co.jp/>
- [2] 総務省：“BS・東経 110 度 CS による 4K・8K 実用放送の業務等の認定の実施” (Jan. 2017) [http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01ryutsu11\\_02000082.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu11_02000082.html)
- [3] AIAA 衛星通信フォーラム：Space Japan Review, no. 95 (Jan. 2017) <http://satcom.jp/95/index.html>
- [4] 田中祥次, 山田哲也, 村田孝雄：“放送衛星搭載用フェーズドアレイ給電反射鏡アンテナの放射パターンの検討”, 信学技報, A・P2001-169
- [5] 中澤進, 小泉雄貴, 長坂正史, 小島政明, 鈴木陽一, 斎藤恭一, 田中祥次, 斉藤知弘：“21GHz 帯衛星放送システムの広帯域衛星中継器を用いた 8K-SHV 信号伝送実験”, 2016 信学総大, 通信(1), BI-1-3, pp. SS-44-SS-45
- [6] 長坂正史, 中澤進, 斉藤知弘, 田中祥次, 正源和義：“21GHz 帯放送衛星の送信電力の一検討”, 2010 信学総大, 通信(1), B-3-10, p. 323
- [7] 電波資源拡大のための研究開発第 9 回成果発表会 [http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/H27\\_RD03.pdf](http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/fees/purpose/pdf/H27_RD03.pdf)
- [8] 亀井雅, 長坂正史, 中澤進, 田中祥次：“21GHz 帯放送衛星搭載用広帯域出力フィルタの開発”, 映像学技報, BCT2015-55
- [9] 小島政明, 亀井雅, 長坂正史, 中澤進, 鈴木陽一, 小泉雄貴, 斎藤恭一, 田中祥次, 斉藤知弘：“熱真空環境下での 21GHz 帯放送衛星中継器試作モデルの広帯域伝送特性”, 信学技報, SAT2015-74
- [10] Recommendation ITU-R P.837-7
- [11] 亀井雅, 中澤進, 田中祥次：“年間降水量の異なる地点における短時間降水量に対する降雨減衰分布の検討—21GHz 帯放送衛星の放射パターン制御による降雨減衰補償に向けた基礎検討—”, 信学技報, SAT2014-15
- [12] 電子情報通信学会 (編)：“アンテナ工学ハンドブック (第 2 版)”, オーム社, 東京, p. 315 (2008)
- [13] 海田正大, 松本浩平, 木村公洋, 小川英夫, 浅山信一郎：“電波干渉計 VSOP-2 のための K 帯導波管セブタム型ポーラライザ”, 信学論 C, vol. J93-C, no. 10, pp. 339-345 (Oct. 2010)
- [14] JEITA CPR-5103A
- [15] Recommendation ITU-R BO.1900-0