

放送衛星を用いた 32APSK 信号の伝送実験

小泉 雄貴[†] 小島 政明[†] 鈴木 陽一[†] 斎藤 恭一[†] 田中 祥次[†] 西田 隼人[‡]

[†] 日本放送協会 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

[‡] 株式会社 放送衛星システム 〒151-0063 東京都渋谷区富ヶ谷 1-16-4

E-mail: [†] {koizumi.y-hq, kojima.m-iw, suzuki.y-fw, saito.k-hg, tanaka.s-gw}@nhk.or.jp,
[‡] nishida@bsat.co.jp

あらまし 衛星による 4K/8K スーパーハイビジョン放送開始に向けて、標準規格(ARIB STD-B44 ver.2.0)が策定された。本規格を実証するために、規格準拠の全変調方式・符号化率に対し、放送衛星中継器 (BSAT-3b) を用いた伝送特性を評価した。このとき中継器の出力バックオフ(OBO)は 2.2dB に設定した。一方、32APSK 信号は伝送路非線形歪の影響を受けやすく、符号化率ごとに最適なバックオフ値も異なる。本稿では、32APSK 信号において、OBO を可変にしたときの伝送性能を実験により評価したので報告する。

キーワード ARIB STD-B44 ver.2.0, 32APSK, 非線形歪, バックオフ

Transmission Experiments for 32APSK over Satellite Transponder

Yuki KOIZUMI[†] Masaaki KOJIMA[†] Yoichi SUZUKI[†] Kyoichi SAITO[†] Shoji TANAKA[†]
and Hayato NISHIDA[‡]

[†] NHK Science&Technology Research Laboratories 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

[‡] Broadcasting Satellite System Corporation 1-16-4 Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo, 151-0063 Japan

E-mail: [†] {koizumi.y-hq, kojima.m-iw, suzuki.y-fw, saito.k-hg, tanaka.s-gw}@nhk.or.jp,
[‡] nishida@bsat.co.jp

Abstract A technical standard for a satellite transmission system (ARIB STD-B44 ver.2.0) has been drawn up for 4K/8K UHDTV services. We evaluated the transmission characteristic for all types of modulations and coding rates over satellite transponder (BSAT-3b) to verify this system. In this case, we set the transponder output back-off to 2.2dB. By contrast, 32APSK signals are vulnerable to the non-linearity distortion of transmission path, and have the different optimal back-off (OBO) values due to the coding rates. In this paper, we report the transmission performance that we experimented with the variable OBOs in 32APSK signals.

Keyword ARIB STD-B44 ver. 2.0, 32APSK, non-linearity distortion, back-off

1. まえがき

2015年7月の4K・8Kフォローアップ会合において、超高精細度テレビジョンの衛星放送(以下、4K・8K衛星放送)のロードマップが報告され、2016年試験放送、2018年実用放送の開始となっている。これに先立ち、2014年3月に情報通信審議会答申(以下、情通審答申)[1]、2014年7月にはARIB標準規格[2]が策定され、4K・8K衛星放送方式の標準化がほぼ終了した。情通審答申に関する報告において、8KにHEVC/H.265方式[3]を適用した場合、主観評価実験の結果として、約80~100Mbpsまで圧縮可能であることが報告されている。

8Kを現行の衛星放送と同じ34.5MHzの帯域幅で伝送するために、今回採用された高度広帯域伝送方式[4]では、帯域制限のためのロールオフフィルタの係数(ロールオフ率)を0.03とし、スペクトルの減衰特性

を急峻にすることで、シンボルレートを33.7561Mbaudまで高速化した。また変調方式16APSKを採用し、LDPC符号化率7/9との組み合わせにより、放送衛星1トラポン当たり約100Mbpsの伝送が可能となった。文献[1]においては、1トラポンのサービス利用イメージとして、4Kを3番組、または8Kを1番組放送可能としている。一方、現行の衛星放送では20番組以上のデジタルハイビジョン番組が放送されており、今後の4K・8K衛星放送の展開によっては更なる伝送容量の増大が求められる可能性がある。これへの対応として、情通審答申およびARIB標準規格では32APSKについても規定されているが、注としてサービス時間率の適切な確保を課題としている。

本稿では、32APSKの伝送性能改善を目的として、衛星搭載用TWTA(進行波管増幅器)の非線形増幅特性の

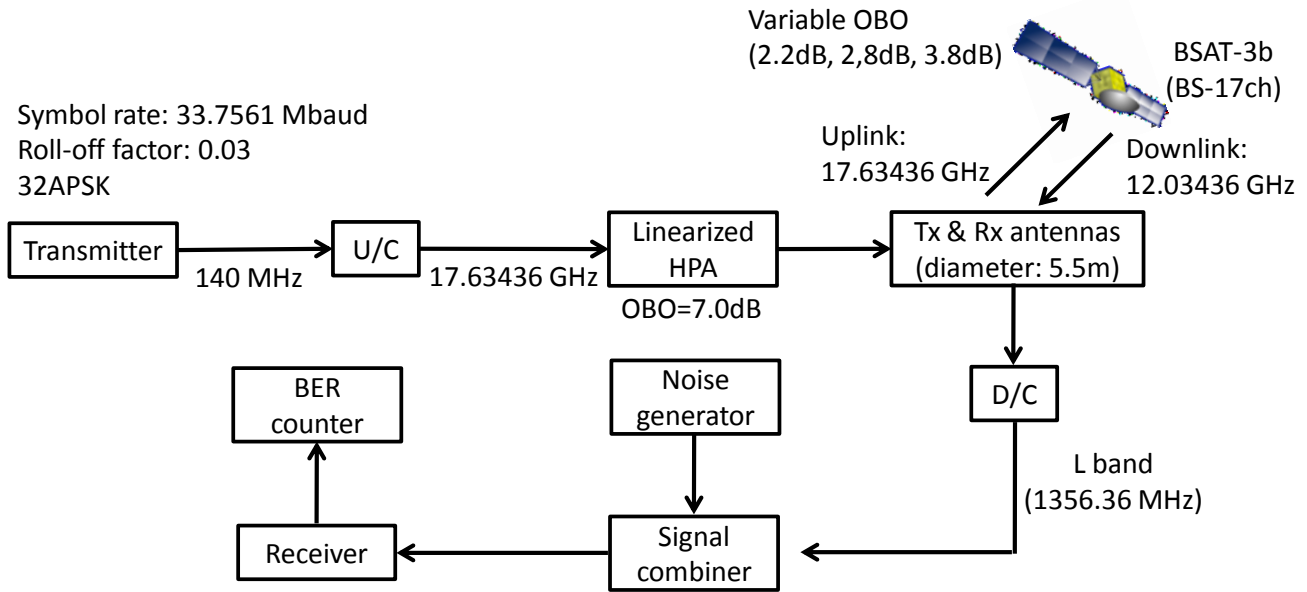


図 1. 伝送実験系統図

影響を評価するため、増幅器の動作点を示す OBO(Output Back Off)をパラメータとした伝送性能の評価結果を報告する。

2. 高度広帯域衛星デジタル放送伝送方式の概要

高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式 (ARIB STD-B44 ver.2.0)の概要を表 1 に示す。π/2 シフト BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK の 5 種類の変調方式と LDPC 符号の 11 の符号化率 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 7/9, 4/5, 5/6, 7/8, 9/10 を利用可能としており、サービス時間率や伝送容量などの要求に応じた伝送方式の選択が可能である。

3. 32APSK 衛星伝送実験系統

放送衛星中継器 (BSAT-3b) を用い、BS-17ch を利用した伝送実験の系統図を図 1 に示す。実験パラメータは表 1 に示す通りであるが、変調方式については 32APSK のみを使用した。地球局は 5.5m の送受信共用アンテナを用い、HPA は OBO=7.0dB (50.4dBm) に設定した。また衛星中継器の OBO は変調信号の符号化率に応じて 2.2dB (全符号化率), 2.8dB (符号化率: 3/5, 2/3, 3/4, 7/9, 4/5), 3.8dB (符号化率: 4/5, 5/6, 7/8, 9/10) に設定した。ここで OBO は、OMUX フィルタ出力 (アップリンク OBO は地球局 HPA 出力) における無変調波信号ピーク電力に対する変調波信号動作電力の比と定義した [2][5][6]。

また受信 C/N は受信信号へ付加するノイズ量により設定し、BER は 10¹⁰ ビットのデータに対する誤りビット数を BER カウンタで測定した。そして BER=1×10⁻¹¹ に対応する C/N を外挿補間で求め、その値を所要 C/N

と定義した [2]。

表 1. 伝送実験パラメータ

変調方式	π/2 シフト BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK	
シンボルレート	33.7561 Mbaud	
ロールオフ率	0.03	
誤り訂正方式	内符号	LDPC 符号 (符号長: 44880)
	符号化率	1/3(41/120), 2/5(49/120) 1/2(61/120), 3/5(73/120) 2/3(81/120), 3/4(89/120) 7/9(93/120), 4/5(97/120) 5/6(101/120), 7/8(105/120) 9/10(109/120) (近似値(真値))
	外符号	BCH(65535, 65343) 短縮符号
伝送制御信号	TMCC	
フレーム構造	120 スロット/フレーム	
伝送信号	MPEG-2 TS, TLV (Time Length Value)	

4. 伝送特性

4.1. 地球局の伝送特性

32APSK は非線形歪による影響を受けやすいため、地球局 HPA についても OBO を設定する必要がある。しかし歪を低減するために OBO を大きく設定すると、その分受信 C/N の低下につながるため、歪の影響と受信 C/N を考慮した OBO を設定することが必要である。そこで地球局 HPA の出力信号について、地球局 HPA の OBO をパラメータとした OBO 対所要 C/N 特性を測定した。ここでは高い符号化率ほど非線形歪

の影響を受けやすいため、32APSK(9/10)についてその特性を評価したので結果を図2に示す。

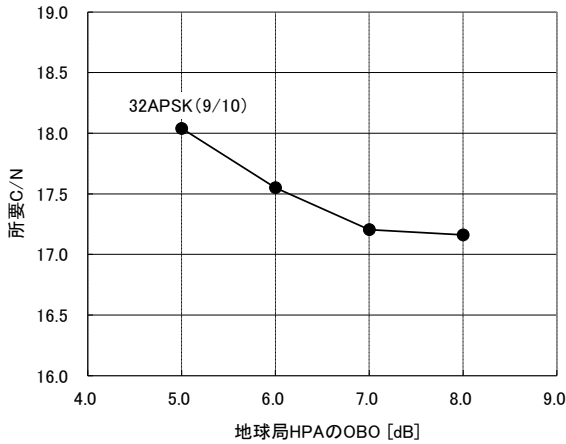
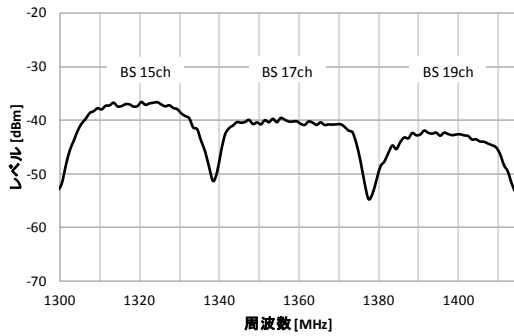


図2. 地球局 HPA の OBO 対所要 C/N 特性

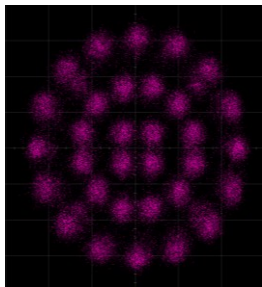
図2より OBO を大きくすると地球局 HPA の非線形歪の影響が抑制され、所要 C/N が改善していることがわかる。また所要 C/N の改善は OBO=7.0 で飽和する結果となった。これらの結果より本稿の伝送実験では地球局 HPA を OBO=7.0dB に設定した。

4.2. 地球局および衛星中継器経由の伝送特性

32APSK(4/5) 信号について、衛星中継器を OBO=2.2dB と設定したときの受信スペクトルおよびコンスタレーションを図3に示す。



周波数スペクトル



コンスタレーション

図3. 受信スペクトルおよびコンスタレーション (32APSK(4/5), OBO=2.2dB)

32APSK の各符号化率について衛星中継器の

OBO=2.2dB(全符号化率), 2.8dB(符号化率: 3/5, 2/3, 3/4, 7/9, 4/5), 3.8dB(符号化率: 4/5, 5/6, 7/8, 9/10)としたときの C/N 対 BER 特性をそれぞれ図4~6に示す。また C/N 対 BER 特性から各 OBO に対する符号化率ごとの所要 C/N 及び、OBO=2.2dB を基準とした所要 C/N の改善量を表2に示す。表2において、伝送容量として約 130Mbps を確保できる 32APSK 符号化率 4/5 を例にとると、OBO=2.2dB, 2.8dB, 3.8dB に対する所要 C/N はそれぞれ 16.6dB, 16.1dB, 15.9dB となり、OBO 増加による伝送路歪軽減の効果が確認できる。他の符号化率でも同様に OBO 増加による所要 C/N 改善がみられ、高い符号化率であるほど改善量大きいことを確認した。

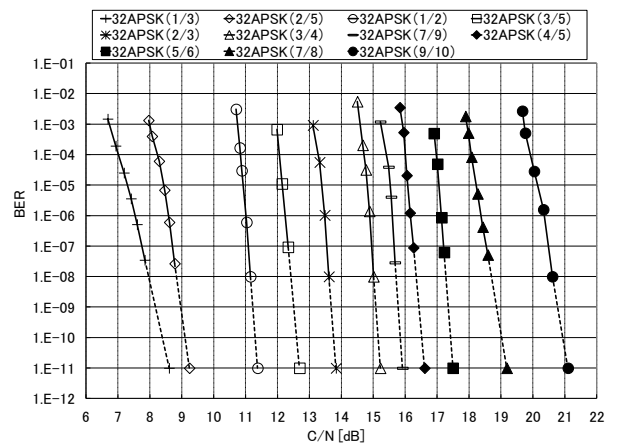


図4. C/N 対 BER 特性(OBO=2.2dB)

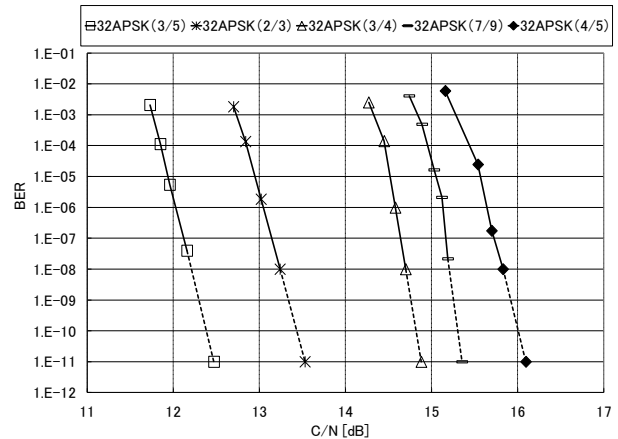


図5. C/N 対 BER 特性(OBO=2.8dB)

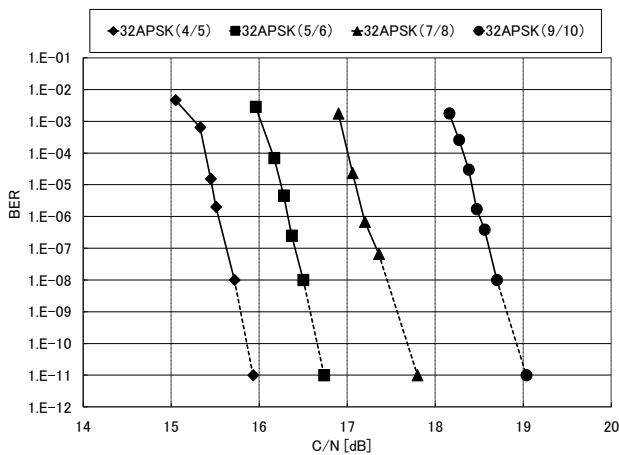


図 6. C/N 対 BER 特性(OBO=3.8dB)

表 2. 各 OBO に対する符号化率ごとの所要 C/N 及び OBO=2.2dB を基準とした所要 C/N 改善量

符号化率 \ OBO	所要 C/N [dB]			OBO2.2dBを基準とした 所要C/N改善量 [dB]	
	2.2 dB	2.8 dB	3.8 dB	2.8 dB	3.8 dB
1/3	8.6	-	-	-	-
2/5	9.2	-	-	-	-
1/2	11.4	-	-	-	-
3/5	12.7	12.5	-	0.2	-
2/3	13.8	13.5	-	0.3	-
3/4	15.2	14.9	-	0.3	-
7/9	15.9	15.4	-	0.6	-
4/5	16.6	16.1	15.9	0.5	0.7
5/6	17.5	-	16.7	-	0.8
7/8	19.2	-	17.8	-	1.4
9/10	21.1	-	19.0	-	2.1

5. 放送衛星システムを考慮した考察

情通審答申[1]においては、衛星搭載増幅器出力 200W、OBO=2.2dB の条件のもと、衛星 EIRP=60dBW を確保した検討がなされている。本稿の実験結果に上記条件を適用し、OBO=2.2dB、2.8dB、3.8dB の所要 C/N 測定結果から 32APSK の受信 C/N マージンを評価した。OBO=2.2dB を上回る場合は衛星出力が低下し、受信 C/N マージンが低下する。本稿では、受信アンテナ径 60cm を想定した 32APSK の受信 C/N マージンを簡易的に以下の式により求めた。

$$[\text{受信 C/N マージン}] = [\text{晴天時受信 C/N}] - [\text{所要 C/N}] - [\text{衛星出力の低下量}]$$

衛星 EIRP=60dBW、受信アンテナ径=60cm の回線設計に基づき、晴天時受信 C/N=22.4dB を適用した。受信 C/N マージンの評価結果を表 3 に示す。表 3 より、全ての符号化率において、受信 C/N マージンが確保でき

ることを確認した。また、符号化率 9/10 については OBO=3.8dB の方が OBO=2.2dB より C/N マージン量が大きくなることを確認した。

表 3. 60cm 径アンテナで受信した際の衛星出力低下量を考慮した受信マージン

符号化率 \ OBO	OBO2.2dBを基準とした 衛星出力の低下量[dB]		60cmアンテナの受信C/N(22.4dB)に対する マージン量 [dB]		
	2.8dB	3.8dB	2.2dB	2.8dB	3.8dB
1/3	-	-	13.8	-	-
2/5	-	-	13.2	-	-
1/2	-	-	11.0	-	-
3/5	0.6	-	9.7	9.3	-
2/3	0.6	-	8.6	8.3	-
3/4	0.6	-	7.2	6.9	-
7/9	0.6	-	6.5	6.5	-
4/5	0.6	1.6	5.8	5.7	4.9
5/6	-	1.6	4.9	-	4.1
7/8	-	1.6	3.2	-	3.0
9/10	-	1.6	1.3	-	1.8

6. まとめ

実用放送衛星中継器の OBO をパラメータとした 32APSK 信号の伝送性能を C/N 対 BER 特性測定により評価した。

実際の衛星放送運用の条件において、受信アンテナ径 60cm を想定した場合、測定した全ての符号化率において受信 C/N マージンが確保できることを確認した。また、符号化率 9/10 については OBO=3.8dB、その他の符号化率については OBO=2.2dB に設定した方が伝送性能上有利であることを確認した。

文 献

- [1] http://www.soumu.go.jp/menu_sosiki/singi/02tsushin_10_03000182.html
- [2] ARIB STD-B44 2.0 版, “高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式”, (平成 26 年 7 月 31 日)
- [3] Recommendation ITU-T H.265 “High efficiency video coding”.
- [4] Y. Suzuki, K. Tsuchida, Y. Matsusaki, A. Hashimoto, S. Tanaka, Tetsuomi Ikeda and N. Okumura, “Performance evaluation of transmission system for 8K Super Hi-Vision satellite broadcasting,” in Proc. 2014 IEEE Global Communications Conference, Austin, TX, SAC-18-SVC, pp.2928-2933.
- [5] 小島政明, 鈴木陽一, 橋本明記, 筋誠久, 田中祥次, 木村武史, 正源和義: “高度 BS デジタル放送用多値変調方式における最適 OBO 値の検討”, 映像学技報, vol.32, no.5, BCT2008-24, 2008, p.23-28
- [6] 小島政明, 橋本明記, 鈴木陽一, 木村武史, 田中祥次, 齊藤知弘: “信号点誤差推定に基づく衛星伝送路歪補償送信装置の試作検証”, 信学技報, vol.110, no.136, SAT2010-26, 2010, p.91-96