

3-6 SHV 伝送実験

小島政明 鈴木陽一 河村侑輝 中澤 進 青木秀一 長坂正史 松崎敬文
 小泉雄貴 亀井 雅 大槻一博 筋誠 久 橋本明記 土田健一 斎藤恭一
 中村直義 田中祥次 齊藤知弘 木村武史 正源和義

NHK では次世代の放送メディアとして、高精細映像・音声システムである「4K/8K スーパーハイビジョン」の研究・開発を行ってきており、衛星による 4K/8K 放送の実現を目指してきた。本稿では、Ka 帯広帯域実験衛星「きずな (WINDS)」の利用により、8K 多チャンネル伝送の実証や性能評価、方式の機能検証の成果を報告する。

1 まえがき

NHK では、4 K/8 K スーパーハイビジョン [1] の大容量信号を衛星によって各家庭に伝送し、放送サービスとして実現することを目指してきた。8 K の映像信号は、7,680 × 4,320 の画素数を持ち、既存サービスである 2 K ハイビジョンと比較すると 16 倍となる。8 K の情報ビットレートは非圧縮で最大 144 Gbps であり、伝送ビットレートは最新の映像圧縮技術 (HEVC) [2] の利用で約 80 ~ 100 Mbps を想定している。

放送衛星の周波数は国際的な取決めにより 12 GHz 帯 (11.7-12.75 GHz) と 21 GHz 帯 (21.4-22.0 GHz) に割り当てられている。12 GHz 帯衛星放送は、現在、右旋円偏波を利用して 1 チャンネル当たりの占有帯域幅 (34.5 MHz) で ISDB-S 方式により約 52 Mbps の伝送容量を確保している。これに加えて、左旋円偏波の利用も可能となり、ISDB-S3 方式 [3]-[5] で 1 チャンネル当たり約 100 Mbps の伝送容量を確保し、4 K/8 K の衛星放送が可能となった。また、21 GHz 帯衛星放送は、600 MHz [6] の帯域を 2 つに分割した 300 MHz 級の広帯域伝送を想定しており、8 K 多チャンネル伝送等の放送用大容量伝送路としての利用を進めている [7]-[9]。

NHK は、12 GHz 帯と 21 GHz 帯における 4 K/8 K 伝送の研究開発に向けて様々な伝送実験を行い、放送

衛星を模擬した伝送路として WINDS 衛星を利用してきた。

本稿では、12 GHz 帯衛星放送を想定した ISDB-S3 方式の機能検証 [10] と 21 GHz 帯衛星放送を想定した広帯域変復調器の性能検証を、WINDS 衛星を用いて行ったので、それらの成果を報告する。

2 12 GHz 衛星放送を想定した伝送実験

2.1 ISDB-S3

12 GHz 帯衛星放送における新伝送方式 (ISDB-S3) の主な伝送パラメータを表 1 に示す。8 K 放送の伝送容量は HEVC 圧縮技術により約 80 ~ 100 Mbps となることを想定している。ISDB-S3 はローオフ率 0.03、シンボルレート 33.7561 Mbaud を採用し、現行の BS デジタル放送 (ISDB-S) と比較して周波数利用効率が約 17 % 向上している。また新たな変調方式として APSK を採用しており、表 1 のうち変調方式 (符号率) で 16 APSK (7/9) を使用したとき、約 100 Mbps の伝送容量を確保することができ、12 GHz 帯衛星 1 チャンネル (占有帯域幅 34.5 MHz) で 8 K 伝送が可能となった。

またトランスポート層における規格では放送通信連携を実現するために MPEG-H MMT を導入した。物理層における伝送性能とトランスポート層における同

表 1 ISDB-S3 の主な伝送パラメータ

変調方式	$\pi/2$ シフト BPSK, QPSK, 8 PSK, 16 APSK, 32 APSK
シンボルレート	33.7561 Mbaud
ロールオフ率	0.03
情報ビットレート (例)	16 APSK (7/9): 99.95 Mbps
誤り訂正符号	LDPC (内符号) + BCH (外符号)
LDPC (内符号) 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
制御信号	TMCC

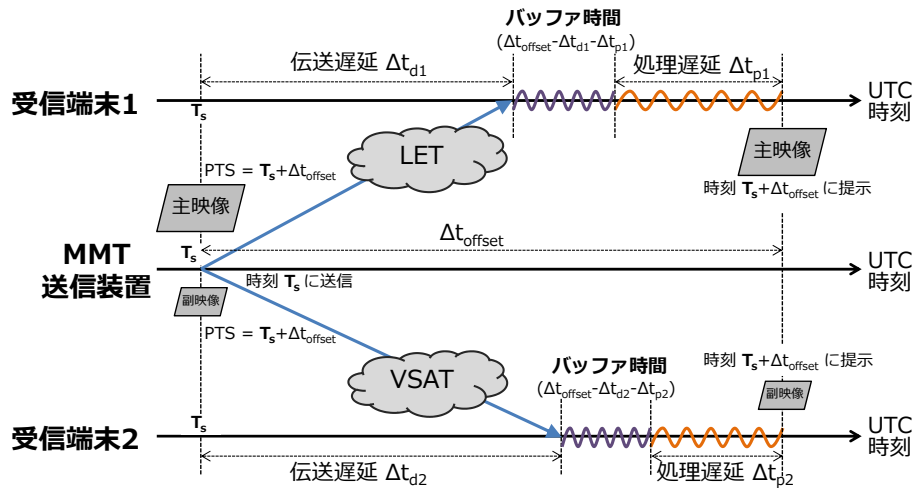


図1 同期の仕組み

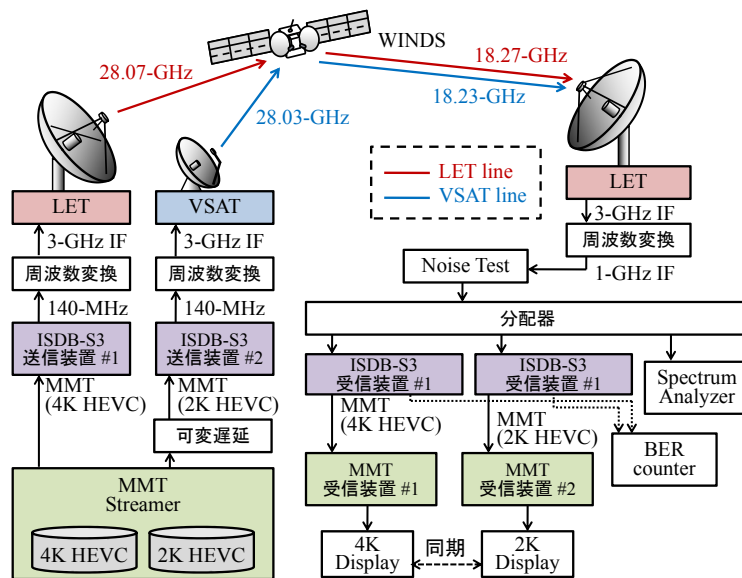


図2 WINDS 衛星伝送実験の構成 (ISDB-S3)

同期機能を評価した結果を以下で示す。

2.2 MMT 信号と実験の構成

MMT による同期の仕組みを図1に示す。送信側では、伝送遅延と処理遅延を考慮した提示時刻タイムスタンプ(PTS)を付加して伝送する。受信側では、NTPサーバより取得した協定世界時(UTC)とPTSの時刻を比較して映像を表示することで同期をとっている。

WINDS 衛星による実験の構成を図2に示す。実験の検証目的は異なる回線から受けた2番組の時刻同期であるため、大型固定局(LET)と車載局(VSAT)の2系統のアップリンク設備を利用した。LET側に4K信号を、VSAT側に2K信号を同時に送信し、WINDS衛星を経由し、LETアンテナで2波を受信し

た。またLETからアップリンクされる変調波信号の中心周波数は28.07 GHz、VSATは28.03 GHzとし、チャンネル間隔を40 MHzとした。また対応するダウンリンクの2波の中心周波数は、それぞれ18.27 GHz、18.23 GHzとなり、LET及びVSATのアンテナ外観を図3に、1 GHz帯IF受信スペクトラムを図4に示す。

2.3 伝送性能結果(物理層)

WINDS衛星折返し[LET - WINDS - LET及びVSAT - WINDS - LET]におけるC/N対BER特性を図5に示す。変調方式は16 APSK (3/4)、16 APSK (7/9)、32 APSK (3/4)で評価した。まずLETとVSATを所要C/N(@1E-11)で比較すると、VSATのときの方が0.2~0.5 dB程度劣化した。次にIF折返しとWINDS衛星折返し[VSAT - WINDS -

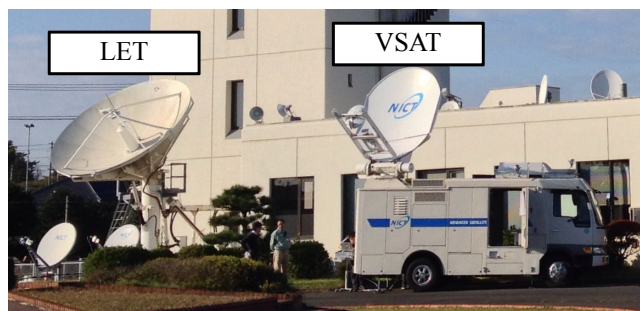


図3 LET 及び VSAT のアンテナ外観

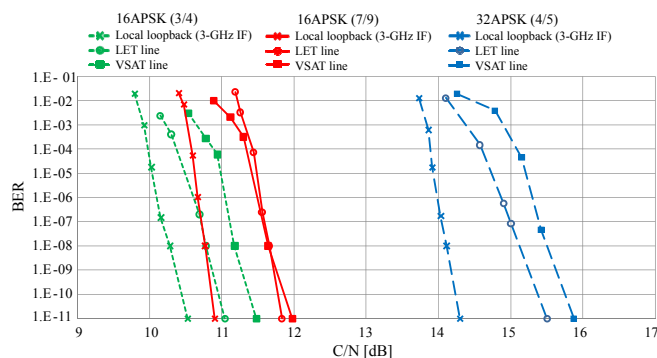


図5 WINDS 衛星折返しにおける C/N 対 BER 特性 (ISDB-S3)

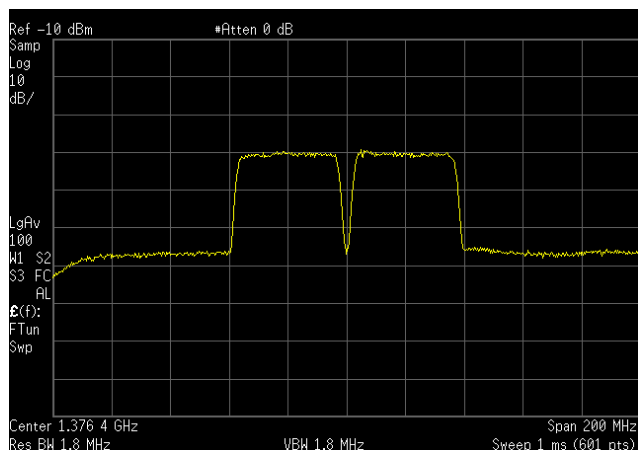


図4 受信スペクトラム (1GHz帯 BS-IF 信号)



図6 MMT 機能により同期のとれた4K映像と2K映像

LET]を所要 C/N で比較すると、16 APSK (3/4) は 1.0 dB、16 APSK (7/9) は 1.1 dB、32 APSK (3/4) は 1.6 dB の劣化となり、多値化に伴い、衛星伝送による影響が大きい傾向となった。また 32 APSK (4/5) の WINDS 衛星折返し [VSAT - WINDS - LET] のときであっても所要 C/N は 15.9 dB 程度であり、図 4 の受信スペクトラムより受信 C/N は 20 dB 以上あると推定されることから、すべての変調波信号に対し、C/N マージンをもって伝送できることになる。

2.4 同期機能検証結果 (トランスポート層)

次に受信性能を確認した変調波信号を利用したときの MMT による同期機能を検証する。メインの映像を 4 K とし、LET 経由にて、図 2 の MMT 受信装置 #1 で信号を受信、映像信号をデコードし、4 K 映像を表示する。サブの映像を 2 K とし、VSAT 経由にて、MMT 受信装置 #2 で信号を受信し、2 K 映像を表示する。MMT 機能により時刻同期のとれた 4 K 映像と 2 K 映像の様子を図 6 に示す。また機能の性能検証用として、VSAT 経由の MMT ストリーマ出力部に可変遅延を設置した。VSAT 系統における遅延量に対する同期性能結果を表 2 に示す。結果より、2 秒の遅延であっても同期可能であることを確認した。また同期性能は変調方式等による物理層のパラメータに依存

しないことも表 2 から読み取れる。

3 21 GHz 衛星放送を想定した伝送実験

3.1 8K 多チャンネル伝送

8 K 多チャンネル伝送の構成を図 7 に示す。衛星伝送路における送信側は、NICT 鹿島宇宙技術センターにあるアップリンク地球局 (送信アンテナ径 4.8 m) を利用し、受信側は NHK 放送技術研究所内に 2.4 m 系のアンテナを設置し、8 K 信号を受信した。伝送番組については、札幌市のさっぽろテレビ塔に設置した 8 K カメラからの映像信号をテストベッドネットワークである JGN2 plus を利用して NICT 鹿島宇宙技術センターまで IP 伝送し、生中継を実現した。また、アップリンク地球局において、生中継の 8 K 信号のほかに、ストリーマを 2 式用意し、合計で 3 つの 8 K 信号を多重化した。多重化後の変調波はシンボルレート 250 Mbaud で帯域 300 MHz 級の広帯域信号となる。広帯域変復調器の主な伝送パラメータを表 3 に示す。WINDS 衛星経由の伝送実験により、8 K の生中継番組及び多チャンネルの伝送が可能であることを実証した。

表 2 時間遅延をかけたときの同期性能

LTE (4 K) 変調方式	VSAT (2 K) 変調方式	VSAT (2 K) の遅延時間				
		0 sec	1.0 sec	2.0 sec	3.0 sec	4.0 sec
16 APSK (3/4)	16 APSK (3/4)	OK	OK	OK	NG	NG
	16 APSK (7/9)	OK	OK	OK	NG	NG
	32 APSK (4/5)	OK	OK	OK	NG	NG
16 APSK (7/9)	16 APSK (3/4)	OK	OK	OK	NG	NG
	16 APSK (7/9)	OK	OK	OK	NG	NG
	32 APSK (4/5)	OK	OK	OK	NG	NG
32 APSK (4/5)	16 APSK (3/4)	OK	OK	OK	NG	NG
	16 APSK (7/9)	OK	OK	OK	NG	NG
	32 APSK (4/5)	OK	OK	OK	NG	NG

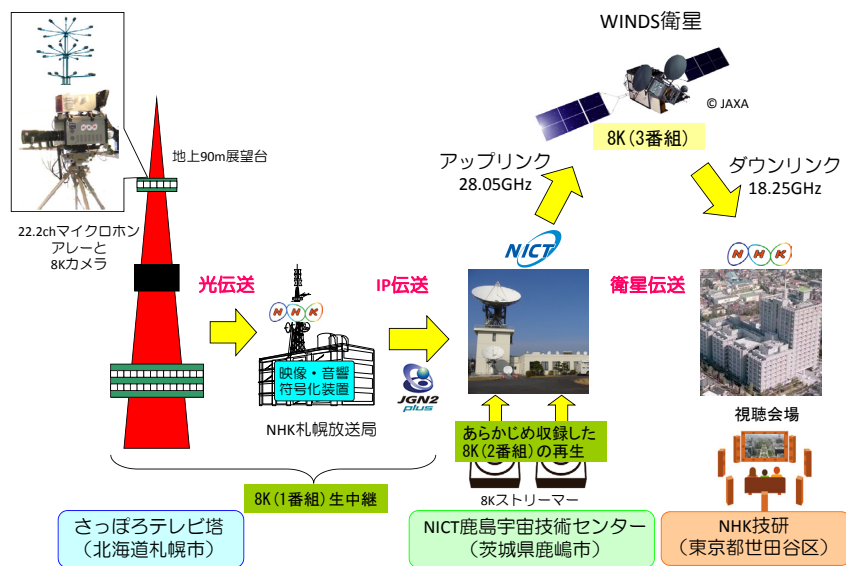


図 7 8K 多チャンネル伝送実験の構成 (広帯域伝送)

3.2 位相基準バースト信号による同期性能強化

現行衛星放送の伝送方式 (ISDB-S) では、雑音に対する性能強化のため位相基準バースト信号が採用されている。広帯域変復調器について、変調方式が $\pi/2$ シフト BPSK の位相基準バースト信号を適用した。位相基準バースト信号のフレーム構成を図 8 に示す。187 シンボルのデータ長ごとに位相基準バースト信号を割当て、シンボル長 “P” を 1 ~ 16 の範囲で割当て可能な仕様とした。

3.3 同期強化による伝送性能結果

IF 及び WINDS 衛星折返しにおける位相基準バースト信号のシンボル長 “P” 対所要 C/N (@1 E-6) 特性結果を図 9 に示す。変調方式は 8 PSK とし、LDPC 内符号の符号化率は 1/2、3/5、2/3 とした。他の伝送パラメータは表 3 記載のとおりとし、ロールオフ率は 0.1 で固定した。図 7 記載のアップリンク地球局 (ア

ンテナ径 4.8 m) で送受信とも行い、ダウンリンク後の信号にノイズを付加し、C/N を設定した。その結果、符号化率 1/2 及び 3/5 ではシンボル長 “P” の増加に伴い、所要 C/N の改善も見られるが、符号化率 2/3 では改善がほとんど見られなかった。

IF 及び WINDS 衛星折返しにおける変調方式 8 PSK、符号化率 1/2、3/4、9/10 に対する C/N 対 BER 特性を図 10 に示す。図 9 の結果より 8 PSK (1/2) のときのみ P=16 とし、他はすべて P=0 に固定した。その結果、IF から WINDS 衛星折返しにしたときの所要 C/N 劣化は 0.3 ~ 0.4 dB 程度となった。

4 むすび

12 GHz 帯衛星放送と 21 GHz 帯衛星放送を想定し、それらの機能や性能を実衛星伝送路である WINDS 衛星を用いて検証を行った。12 GHz 帯衛星放送におい

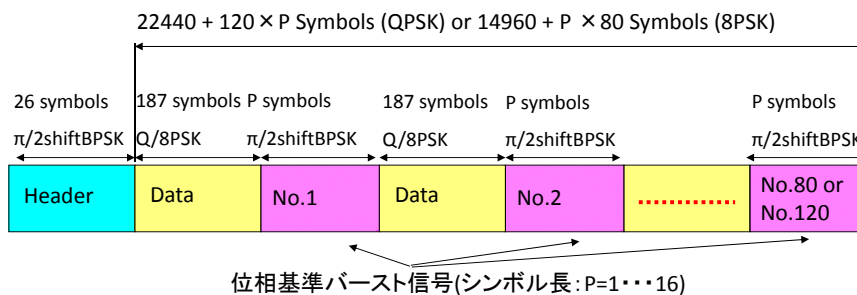


図8 位相基準バースト信号のフレーム構成

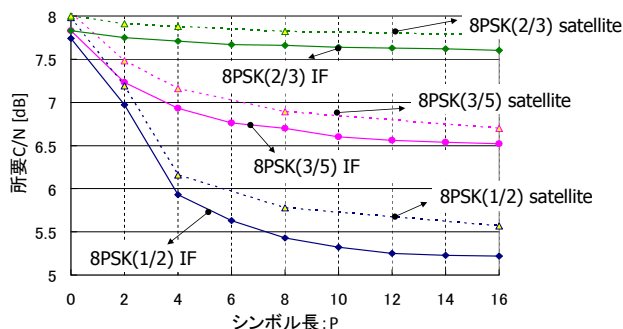


図9 シンボル長対所要 C/N 特性

表3 広帯域変復調器の伝送パラメータ

変調方式	QPSK, 8 PSK
シンボルレート	250 Mbaud
ロールオフ率	0.1, 0.2, 0.35, 0.5
情報ビットレート (例)	QPSK (3/4): 370 Mbps, 8 PSK (2/3): 500 Mbps
誤り訂正符号	LDPC (内符号) + BCH (外符号)
LDPC (内符号) 符号化率	1/2, 3/5, 2/3, 4/5, 5/6, 7/8, 9/10

ては、得られた成果が4 K/8 Kの試験放送(2016年8月開始)や実用放送(2018年開始予定)の実現につながった。また21 GHz帯衛星放送においては、得られた成果の一部がITU-Rレポート(BO.2007-2 Annex 2)に寄与された。

謝辞

本実験は、情報通信研究機構(NICT)と共同で行われた。協力いただいた関係各所に感謝の意を示す。

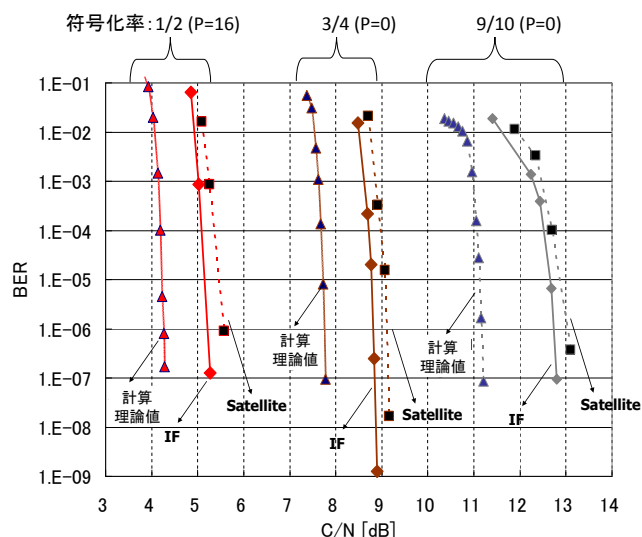


図10 WINDS衛星折返しにおけるC/N対BER特性(8PSK)

【参考文献】

- 1 Recommendation ITU-R BT.2020, "Parameter Values for Ultra-high Definition Television Systems for Production and International Programme Exchange," Oct. 2015.
- 2 Recommendation ITU-T H.265, "High Efficiency Video Coding," April 2015.
- 3 情報通信審議会答申 諮問2023号「放送システムに関する技術的条件」のうち「超高精度テレビジョン放送に関する技術的条件」のうち「衛星基幹放送及び衛星一般放送に関する技術的条件」(平成26年3月35日)
- 4 (社)電波産業会標準規格: ARIB STD-B44 2.1版, 高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式, (2014年7月)
- 5 Recommendation ITU-R BO.2098-0, "Satellite Transmission for UHDTV Satellite Broadcasting," Oct. 2016.
- 6 ITU-R Radio Regulations, Edition of 1992, Resolution 525.
- 7 筋誠久, 鈴木陽一, 小島政明, 橋本明記, 田中祥次, 正源和義, "衛星「きずな(WINDS)」を利用したスーパーハイビジョン伝送実験," 信学技報, vol.109, no.72, SAT2009-3, 2009, pp.13-18.
- 8 Y. Suzuki, A. Hashimoto, M. Kojima, S. Tanaka, T. Kimura, and K. Shogen, "Performance Evaluation of the Phase Reference Burst Signal Implemented in the LDPC Coded Wide-band Modem via "KIZUNA (WINDS)" Satellite," 17 Ka and Broadband Communications Navigation and Earth Observation Conference, Oct. 2011.
- 9 Y. Suzuki, A. Hashimoto, S. Tanaka, and T. Kimura, "KIZUNA (WINDS)" Satellite Transmission Test using the Phase Reference Burst Signal Implemented and LDPC Coded Wideband Modem," IEICE Technical Report JC-SAT 2011, vol.111, no.336, SAT2011-41, Dec. 2011.
- 10 Y. Kawamura, M. Kojima, Y. Suzuki, K. Otsuki, N. Nakamura, T. Kimura, and S. Tanaka, "Transmission and Functionality Test of MMT-Based Next-Generation Satellite Broadcasting System over "KIZUNA (WINDS)" Satellite," Transactions of JSASS, vol.114, no.ists20, 2016, pp.Pj_1-Pj_6, July 2016.

小島政明 (こじま まさあき)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
博士(工学)
衛星伝送、非線形補償

小泉雄貴 (こいずみ ゆうき)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
衛星伝送

鈴木陽一 (すずき よういち)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
衛星伝送

亀井 雅 (かめい まさし)

一般財団法人海外通信・放送コンサルティング協力
衛星放送

河村侑輝 (かわむら ゆうき)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
マルチメディア情報システム、コンテンツ流通

大槻一博 (おおつき かずひろ)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
上級研究員
多重化方式、データ符号化及び伝送方式

中澤 進 (なかざわすすむ)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
衛星放送用アンテナ

筋誠 久 (すじかい ひさし)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
上級研究員
衛星伝送

青木秀一 (あおき しゅういち)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
博士(情報理工学)
マルチメディア伝送技術、IP ネットワーク

橋本明記 (はしもと あきのり)

日本放送協会技術局送受信技術センター企画部
副部長
放送用伝送システム

長坂正史 (ながさか まさふみ)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
衛星放送用アンテナ

土田健一 (つちだ けんいち)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
上級研究員
地上放送システム

松崎敬文 (まつさき よしふみ)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
素材伝送、ミリ波

斎藤恭一 (さいとう きょういち)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
上級研究員
デジタル放送多重方式

中村直義 (なかむら なおよし)

日本放送協会メディア企画室
副部長
博士(工学)
光ファイバー伝送、変調方式

田中祥次 (たなか しょうじ)

日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
上級研究員
衛星放送用アンテナ

斉藤知弘 (さいとう ともひろ)

日本放送協会放送技術研究所
研究主幹
衛星・地上伝送

木村武史 (きむら たけし)

元日本放送協会放送技術研究所
伝送システム研究部
上級研究員
衛星・地上伝送、多重方式

正源和義 (しょうげん かずよし)

(株)放送衛星システム
総合企画室
専任部長
博士(工学)
放送衛星システム、無線伝送技術