

R&D

2012 No.136

11

日本放送協会 放送技術研究所

次世代地上放送に向けた 伝送技術 特集号

■巻頭言 2

無線伝送技術の理解に向けての努力

早稲田大学理工学術院 教授
高畑文雄

■解説 4

次世代地上放送に向けた研究動向

次世代地上放送に向けた大容量伝送方式

■報告 16

偏波間伝送路特性差による特性劣化の改善策

マルチパス環境における偏波MIMO-超多値OFDMの伝送特性

スーパーハイビジョンの地上波伝送実験

時空間符号化を用いた移動受信用のMIMO-OFDM伝送技術

■研究所の動き 50

スーパーハイビジョンのケーブルテレビ伝送技術

大震災アーカイブス～メタデータ補完の取り組み～

論文紹介 52

発明と考案 53

学会発表論文一覧 55

研究会・年次大会等発表一覧 57

無線伝送技術の理解に向けての努力

高畑文雄

早稲田大学理工学術院 教授

本特集号に目を通される方々の多くは、地上テレビ放送の伝送技術に程度の差はあれ精通されていると判断される。しかし、その内容はあまりにも高度で最新のものであり、正確に理解するためには、相当な知識が必要である。

私の研究室に所属する学生は、主に無線通信における物理層に関する研究を進め、研究成果を修士論文や卒業論文の形でまとめることになっている。研究室の学生を観察していると、研究室に配属される学部4年当時には、修士の大学院生が発表する内容はチンプンカンプンで、難しい外国語を聞いている心境であるように思われる。1つには、十数年前からの無線通信の急速な発展により、新たに生まれた多くの難解な技術用語が日常的に使用されるようになったことが挙げられる。研究室において、そのような専門用語を何回となく耳にし、さまざまな発表に興味を持ち、自分で調査するようになると、おのずから知識が増える。その結果、3年間の研究室生活を終え、修士課程を修了するころには、無線の専門家のような顔をするようになる。確かに、いくつかの修士論文には立派な内容が記載され、努力の跡がうかがえる。論文の性格上、特定の目的に焦点を絞るため、狭いトピックに関する知識は深いが、本当に無線通信技術の本質を理解しているかは別問題である。例えば、この特集号の内容をどの程度理解できるかは甚だ疑問である。

研究室の学生について長々と記述したが、無線伝送技術を正確に理解するために、通信・放送分野を専攻する学部生、更には大学院生がどのような講義や演習を受け、知識を修得するかを、私の所属する学科の教育課程を例にとって述べてみたいと思う。当該分野の専門家の方々には釈迦に説法となるが、ひょっとして初心に帰り、大学時代の講義を思い出す契機になれば幸いである。

まず、電波または無線周波数に関する知識が必要となる。最近、地上デジタル放送やスマートホンなどに関する報道が多く流されるようになったので、通信・放送サービスごとに異なる無線周波数が使用されていることを学生は知っている様子である。しかし、無線周波数のサービスごとの具体的な割り当てや、周波数に依存した電波の性質までは理解していないと思われる。国際電気通信連合（ITU）においてサービスごとの無線周波数の配分がなされていることなどを勉強する必要がある。総務省が中心となってITUに対して国際的な周波数配分を提案するとともに、日本国内における周波数割り当てを行っている事実も常識として知るべきである。話は脱線するが、先日タクシーで総務省に向かうとき、運転手の方から「総務省は会社でいう総務部のように、国の事務作業をしているのでしょうか?」と聞かれた。返事に窮したが、無線通信関連の授業を受けなければ、大学生も同じように感じていることだろう。

無線周波数の後に「帯」を付けた無線周波数帯という語句は、無線周波数に設定された上限と下限の周波数に挟まれた部分を意味する。周波数として、直流から無限大の周波数まで想定できるが、電波の性質上、実際に使い勝手の良い無線周波数は限られている。従って、それぞれのサービスに広い無線周波数帯を割り当てていては、無線周波数が不足する。無線周波数帯は有限であり、国民の財産でもある。国民の財産である無線周波数帯を非効率に使用することは避けなければならない。そのため、無線の専門家にとって、限られた周波数帯をいかにして有効利

1972年 早稲田大学理工学部電気通信学科卒業
1974年 同大学院理工学研究科修士課程修了
1974年 国際電信電話(株)研究所入社
1988年 早稲田大学理工学部教授
1995年 英国サリー大学訪問教授
2004年 早稲田大学理工学術院(名称変更)教授。理工学術院内の所属は基幹理工学部情報理工学科(学部)、基幹理工学研究科情報理工学専攻(大学院)。
2010年 早稲田大学研究院IT研究機構機構長
2012年 一般財団法人電波技術協会理事長兼務

現在、NHK放送技術審議会委員、NHK放送技術研究所研究アドバイザー、総務省独立行政法人評価委員会委員、(社)電波産業会高度無線通信研究委員会委員長など。その他、総務省情報通信審議会委員(2003年~2011年)、NHK放送技術研究所放送技術研究委員会委員(1996年~2001年)、同委員長(2001年~2004年)、映像情報メディア学会編集長(2002年~2004年)などを歴任。電子情報通信学会フェロー、工学博士。



用するかは永遠の課題である。本特集号でも、無線周波数帯の有効利用を少なくとも1つの研究テーマとしているはずである。

次に、限られた無線周波数帯を使用した、デジタル信号の効率的な伝送を学ぶ必要がある。そのための基礎知識として、時間波形と周波数スペクトルを関係付けるフーリエ解析、周波数帯域を制限するフィルタリング、デジタル信号に対する変復調技術などがある。これらを学ぶことによって、無線周波数帯の有効利用の尺度の1つであるbps/Hz(周波数幅1Hzで、1秒間に伝送できるビット数)を導出することができる。大学の授業では、デジタル信号の伝送の前段階において必要となる知識として、信号とシステム、アナログーデジタル変換、ラプラス変換、z変換などを講義している。その他、電磁波の発生と伝搬の基礎となるマクスウエルの方程式を基に、偏波、アンテナ技術を教える電磁気学、情報源符号化、通信路符号化、シャノンの定理、誤り訂正技術などを講義する情報理論や符号理論などを受講する必要がある。

本特集号には、SFN、FPU、MIMO、OFDM、QAM、LDPC、MLDなどの略語を含む多数の技術用語が登場すると思われるが、それらは授業で学んだ基礎知識を基に、研究室における研究と演習を通して理解しなければならない。なお、無線伝搬路の推定と補償には数学的素養も要求される。卒業論文や修士論文では、各種技術をコンピューターシミュレーションによって評価することが通常であるが、そのためには、ツールとしてのプログラミング手法を講義において修得しておく必要がある。更には、私の所属する学科では、FPGA(Field Programmable Gate Array)などを用いて、ソフトウェアをデバイスに書き込むSoC(System on Chip)設計技術と呼ばれる授業が用意されている。

研究室の学生を例にとって、無線伝送技術を真に理解するために、いかにたくさんの知識が必要であるかを述べた。本特集号は、NHK放送技術研究所の放送ネットワーク研究部における研究成果の一部から構成されるが、定期的に研究開発に関して意見交換をさせていただいており、日頃から優秀な研究者による地に根を張った素晴らしい研究であると感じている。物理層の研究開発を海外に依存する風潮を強く感じる現状において、放送ネットワーク研究部のスタッフには、当該分野の研究開発を引き続き積極的にリードしてもらいたいと思う。地上放送の他に、IMT-Advanced(第4世代携帯電話)、無線LAN、ITS(高度道路交通システム)、RF-ID(電波を利用した^{した}個体識別)、衛星通信・放送、GPSなど、電波を利用したシステムは限りない。研究室の学生を叱咤^{した}激励したいのは山々であるが、筆者自身が最近の無線通信技術についていけないというのが最近の状況である。通信と放送にはそれぞれ異なる境界条件や制約条件が存在するが、両システムに共通して適用可能な技術も多数存在すると思われるので、研究者に対しては、アンテナを高くして情報収集に努めることも期待したい。

次世代地上放送に向けた研究動向

伊藤泰宏

地上テレビジョン放送の完全デジタル化は、テレビジョン放送における格段の高品質化・高機能化をもたらすとともに、公共の資源としての電波の有効利用を促進した。アナログ放送からデジタル放送へ周波数を再編した結果、アナログ放送で使用していた62チャンネル分に相当する370MHzの周波数帯域幅が、デジタル放送では40チャンネル分に相当する240MHzの周波数帯域幅に圧縮された。その結果、22チャンネル分に相当する130MHzの周波数帯域幅がマルチメディア放送や次世代携帯電話など、新たな無線システムに割り当てられることになった。当所では、電波の更なる高度な有効利用を目指して次世代地上デジタル放送の研究開発に取り組んでいる。本稿では、次世代地上デジタル放送用の大容量伝送技術と高効率な移動・携帯端末用の伝送技術を、外部動向を踏まえて解説する。

1. アナログ放送からデジタル放送へ

1953年に開始されてから約60年続いたアナログテレビジョン放送が2011年7月24日（岩手・宮城・福島の3県は2012年3月31日）に終了し、デジタル放送に完全に移行した¹⁾。まず最初に、アナログ放送からデジタル放送に完全に移行したことで、どの程度電波が有効利用されたかを考察する。アナログ放送とデジタル放送の単純な比較は難しいが、ここではテレビジョン放送における情報量の中で大部分を占める映像情報の毎秒の画素数を1チャンネルの帯域幅で割った値で比較する。1表に示すように、この値で比較すると、デジタル放送はアナログ放送の約6.7（ $=10/1.5$ ）倍電波を有効利用していることが分かる。また、耐干渉性を高め、単一周波数ネットワーク（SFN：Single Frequency Network）を組むことで周波数利用効率が向上している。電波の有効利用は主として映像符号化技術、伝送路符号化技術およびOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing：直交周波数分割多重）伝送技術による成果である。

2. 伝送効率と耐干渉性の改善を目指して

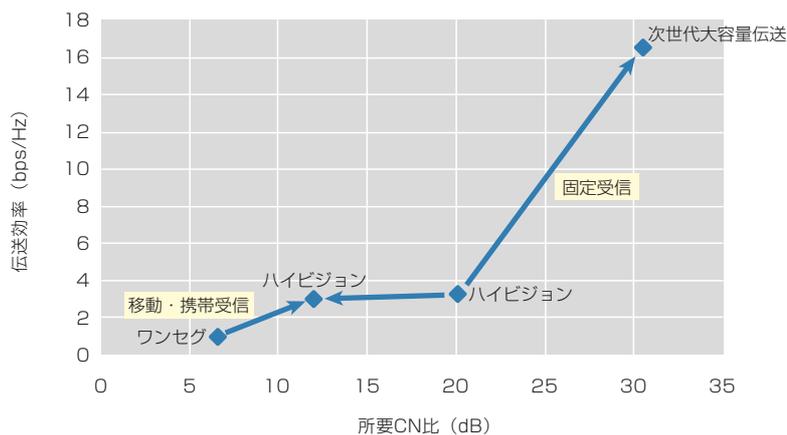
2表に現在の地上デジタル放送で運用されている伝送パラメーターと伝送効率を示す²⁾。現在の地上デジタル放送において、固定受信用のハイビジョンの伝送効率は3.27 bps/Hz（bits per second/Hz）、携帯・移動受信用のワンセグの伝送効率はその約1/3の0.97bps/Hzである。ワンセグの伝送効率は低いが、所要CN比（Carrier to Noise Ratio：搬送波電力対雑音電力比）が低く伝送耐性が高いため、アンテナ利得の低い簡易な受信アンテナでも携帯・移動受信が可能である。1図に、固定受信および移動・携帯受信における所要CN比と伝送効率の関係を示す。現在の地上デジタル放送において、固

1表 電波の有効利用から見たアナログ放送とデジタル放送の比較

地上テレビジョン放送	アナログ (SDTV)	デジタル (HDTV)
毎秒の画素数 (Mpixels/s)	0.3×30	2×30
1チャンネルの帯域幅 (MHz)	6	6
毎秒の画素数/帯域幅 (pixels/s/Hz)	1.5	10

2表 地上デジタル放送で運用されている伝送パラメーター

伝送パラメーター	ハイビジョン	ワンセグ
セグメント数	12	1
周波数帯域幅 (MHz)	5.143	0.429
変調	64QAM-OFDM	QPSK-OFDM
情報キャリア数/全キャリア数	8/9	
ガードインターバル比	1/8	
内符号	畳み込み (符号化率: 3/4)	畳み込み (符号化率: 2/3)
外符号	RS (204, 188)	
情報レート (Mbps)	16.8	0.416
伝送効率 (bps/Hz)	3.27	0.97
所要CN比 (dB)	20.1	6.6



1図 固定受信および移動・携帯受信における所要CN比と伝送効率の関係

定受信のハイビジョンの所要CN比は20.1dB、伝送効率は3.27bps/Hzであるが、次世代大容量伝送では、4096QAM (Quadrature Amplitude Modulation: 直交振幅変調) などの超多値変調, FFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) サイズの拡大によるOFDM伝送の超多キャリア化, 偏波MIMO (Multiple-Input Multiple-Output: マルチ入力・マルチ出力), 高効率な誤り訂正符号であるLDPC (Low Density Parity Check: 低密度パリティチェック) 符号の使用などによって, 所要CN比30.5 dB, 伝送効率16.5bps/Hzを達成している。所要CN比は現在のハイビジョンの固定受信より約10dB高いが, 家庭での受信を可能とするために, 今後, 干渉耐性を強化してCN比マージンを低減する研究を進める。また, 携帯・移動受信のワンセグは, 現状では所要CN比6.6dB, 伝送効率0.97bps/Hzであるが, 受信性能を向上させて, 従来の約3倍の伝送効率を目指すとともに, ハイビジョンの移動受信を可能にするために, 所要CN比を固定受信より約8 dB低減することを目指している。そのために, 伝送容量の大きい空間多重MIMOと, 伝送耐性の強い時空間符号化MIMOの両面から検討を行う。

3表 世界における地上デジタル放送方式の概要

	ATSC	DVB-T	ISDB-T	DTMB
主な採用地	北アメリカ, 韓国	ヨーロッパ, オーストラリア	日本, 南アメリカ	中国
規格書	A.52/A.53	EN 300 744	ARIB STD-B31	GB 20600-2006
周波数帯域幅 (MHz)	6/7/8			
多重化	MPEG-2 TS			
変調	単一搬送波	OFDM 2/8k FFT	BST-OFDM 2/4/8k FFT	TDS-OFDM 3780 FFT, 単一搬送波
ガードインターバル比	-	1/32, 1/16, 1/8, 1/4		1/4, 1/7, 1/9
内符号	2/3トレリス	畳み込み1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8		LDPC
外符号	RS(207, 187)	RS (204,188)		BCH (762, 752)
キャリア変調	8-VSB	QPSK, 16QAM, 64QAM		4/16/32/64QAM
伝送容量 (Mbps)	19.39 @6MHz	4.98~31.67 @8MHz	3.65~23.23 @6MHz	4.81~32.49 @8MHz

3. 次世代放送に向けた世界の動向

3表に世界における地上デジタル放送方式の概要を示す。従来の日本・アメリカ・ヨーロッパの3方式に中国のDTMB(Digital Terrestrial Multimedia Broadcast)方式が加わった³⁾。アメリカを中心とするATSC(Advanced Television Systems Committee)陣営は、次世代方式として、あらゆる先端技術を取り入れることを目指したATSC 3.0の検討を進めている。また、ヨーロッパを中心とするDVB (Digital Video Broadcasting)陣営は、256QAM-OFDMを用いて帯域幅6MHzで最大50.3Mbpsの伝送が可能なDVB-T2を既に規格化し、普及に向けた動きを進めている。このような中、2011年11月に上海でFoBTV (Future of Broadcast TV) サミットが開催され、当所を含む世界の主要な放送技術の研究・開発に関わる機関の責任者が参加し、①将来の地上放送システムの要求条件の定義、②地上放送の標準方式の統一の可能性の探究、③国際的な技術の共有・推進についての共同宣言⁴⁾を発表した。2012年4月のNAB (National Association of Broadcasters) 2012に併せて開催されたFoBTVにおいて技術委員会の新設が承認され、エンドユーザーから見た次世代の放送サービス(ユースケース)を取りまとめるアドホックグループでユースケースの提案と整理を開始した。4表にFoBTVに各機関から提出された次世代放送に向けたユースケースを示す。NHKからは、スーパーハイビジョンの固定受信、ハイビジョンの携帯・移動受信、放送内容と双方向アプリケーションの調和した表示の3つを次世代放送に向けたユースケースとして提案している。

4. おわりに

本特集号では、まず、「次世代地上放送に向けた大容量伝送方式」において、家庭における固定受信を想定した地上波での次世代大容量伝送方式を解説する。次に、従来は片方の偏波しか使用していなかった水平偏波と垂直偏波の両方を同時に用いて、できるだけ多くの伝送容量を確保するための要素技術の1つである「偏波間伝送路特性差による特性劣化の改善策」を報告する。また、地形・地物によって地上波の電波が多重反射する環境での伝送特性を「マルチパス環境における偏波MIMO-超多値OFDMの伝送特性」で報告する。更に、次世代大容量伝送の締めくくりとして、ハイビジョンの16倍の画素数を持つスーパーハイビジョンを伝送コンテンツとして実施した実験結果を「スーパーハイビジョンの地上波伝送実験」と題して報告する。最後に、固定受信用の次世代

4表 FoBTVに各機関から提出された次世代放送に向けたユースケース (2012年8月1日付)

1	共通方式による世界中での受信	DVB
2	郊外や途上国での地上波受信	RTRN
3	マルチビューサービス	Samsung
4	ユーザー別マルチビュー：次世代インターネット上でのリアルタイムマルチメディア放送・通信融合受信	R&S
5	携帯・移動端末での受信(スマートホン、タブレット、カーナビなど)	TUBS
6	ブロードバンド・放送の地上用周波数スペクトルの1次利用共用	TUBS
7	エンドユーザー：移動用ブックマーク	PBS
8	次世代TVにおける都市・郊外の両用ネットワーク構造	NERC-DTV
9	ハイパーメディア情報に基づいたインタラクティブTV	NERC-DTV
10	放送とブロードバンドの相互活用	NERC-DTV
11	シームレスなマルチスクリーンの切り替え	NERC-DTV
12	パーソナルな知的端末	NERC-DTV
13	放送ネットワークの夜間における有効活用	University of the Basque Country
14	万人向けの高いカバレッジと移動性を可能にする最適なスペクトル利用	Norkring
15	アプリケーションの分配と実行に向けた標準フレームワーク	SET
16	有効なサービスコンポーネント	SET
17	次世代3D音響	DTS
18	スーパーハイビジョン (UHDTV2) の固定受信	NHK
19	ハイビジョン番組の携帯・移動受信	NHK
20	第三者が作成した補助コンテンツの調和した表示、放送コンテンツとインタラクティブアプリケーションにおける優先表示	NHK
21	動的放送における動的TVホワイトスペース割り当て	Braunschweig Technical University
22	動的放送におけるシームレスな分配ネットワークの切り替え	Braunschweig Technical University
23	移動ソーシャルネットワーク (メディア) と放送の共用	RTRN
24	複数のWebプログラム等を組み合わせたマッシュアップサービス	Samsung
25	UHDTV放送	Samsung
26	大容量移動・携帯メディア用の配信	TDF
27	ハイブリッドTVサービス	Teamcast
28	放送用スペクトルの更なる有効利用	CRC, ETRI
29	地上デジタル放送緊急警報システム	CRC, ETRI

大容量伝送技術と並行して検討を進めている、次世代の高効率な移動・携帯端末用の放送を目指した「時空間符号化を用いた移動受信用のMIMO-OFDM伝送技術」を報告する。

本特集号を通して、電波の更なる有効利用を目指した次世代の地上放送方式に向けたさまざまな取り組みにご理解をいただければ幸いです。

参考文献

- 1) 相澤ほか：“特集 ポスト地上デジタル放送,” 映情学会誌, Vol.65, No.9, pp.1246-1292 (2011)
- 2) 電波産業会：“地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式標準規格 (2.0版),” ARIB STD-B31 (2011)
- 3) <http://www.nhk.or.jp/strl/english/FoBTV.pdf>
- 4) L. Dai, Z. Wang and Z. Yang：“Next-Generation Digital Television Terrestrial Broadcasting Systems: Key Technologies and Research Trends,” IEEE Commun. Mag., Vol.50, No.6, pp.150-158 (2012)



いとうやすひろ
伊藤泰宏

1983年NHK入局。長野放送局を経て、1986年から放送技術研究所において、電波伝搬、衛星移動体受信アンテナ、階層伝送システムの研究開発に従事。1998年から技術局で無線素材伝送設備整備とデジタルFPUの開発・標準化に対応。2003年から放送技術研究所においてケーブルデジタル伝送、緊急警報放送対応受信機の研究開発に従事。2007年から企画総務。2009年から(財)NHKエンジニアリングサービス先端開発研究部長。2011年から放送技術研究所放送ネットワーク研究部部長。博士(工学)。

次世代地上放送に向けた大容量伝送方式

村山研一

当所では、次世代の地上デジタル放送でスーパーハイビジョン（SHV：Super Hi-Vision）などの大容量コンテンツのサービスを実現するために、UHF帯の地上波を使った大容量伝送技術の研究開発に取り組んでいる。本稿では、偏波MIMO（Multiple-Input Multiple-Output：マルチ入力・マルチ出力）—超多値OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing：直交周波数分割多重）を基本とする固定受信用の伝送技術の基本構成と次世代地上放送方式の研究に関するこれまでの取り組みと今後の課題を解説する。

1. はじめに

当所では、次世代の地上デジタル放送でスーパーハイビジョン（SHV）を放送することを目指して、地上波における大容量伝送技術の研究・開発を進めている。SHVはハイビジョンの16倍の画素数を持つ超高精細映像と22.2マルチチャンネル音響で構成される次世代の映像・音響システムである。

現行のISDB-T（Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial）方式¹⁾の地上デジタル放送では、1チャンネルでハイビジョン1番組を放送することができる。しかし、情報量が非常に大きいSHV番組を地上波で放送するためには、1チャンネル当たりの伝送容量を大幅に拡大する必要がある。そこで、偏波MIMOと超多値OFDMを基本とした大容量伝送技術の研究・開発に取り組んでいる²⁾。

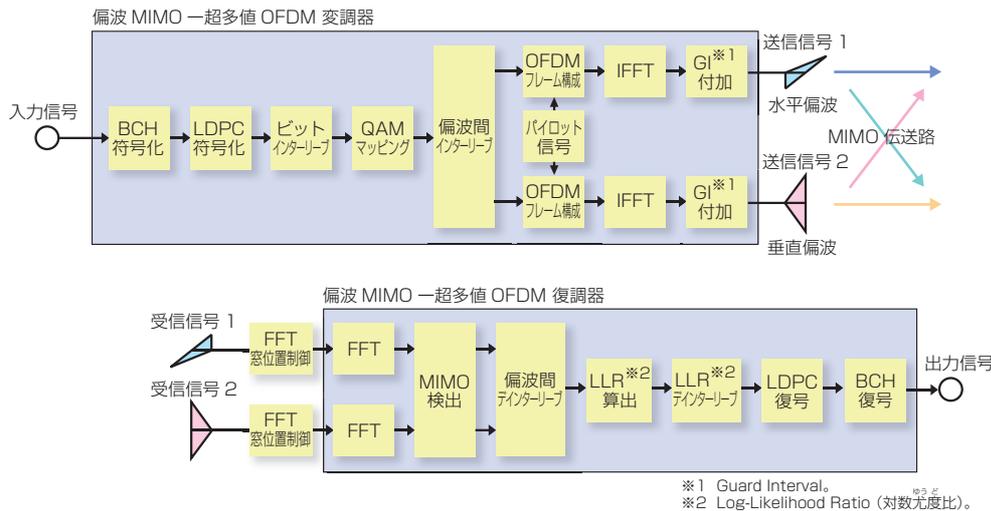
本稿では、UHF帯の地上波を利用する大容量伝送技術の概要と今後の課題を紹介する。

2. 偏波MIMO—超多値OFDM

UHF帯を利用する地上テレビジョン放送の伝送容量を拡大するために、偏波MIMO—超多値OFDM技術を用いた試作システムを開発した。1表に試作システムの基本パラメーターを、1図に試作システムの基本構成を示す。偏波MIMO—超多値OFDMの他にLDPC（Low Density Parity Check：低密度パリティチェック）符号とBCH（Bose-Chaudhuri-Hocquenghem）符号を用いた誤り訂正技術やFFT（Fast Fourier Transform：高速フーリエ変換）サイズの拡大によるガードインターバル（GI：Guard Interval）比の縮小などを行って伝送容量を拡大している。2012年5月には1表に赤字で示した伝送パラメーター（キャリア変調方式：4096QAM，FFTサイズ：32k（32,768）ポイント，LDPC符号の符号化率：3/4）を用いて、1チャンネル当たりの伝送ビットレート91.82Mbpsの野外実験に成功した。

1表 試作システムの基本パラメーター

変調帯域幅 (MHz)	5.57
キャリア変調方式	64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM
FFTサイズ (キャリア数)	8k (5,617), 16k (11,233), 32k (22,465), 64k (44,929)
誤り訂正方式	内符号：非正則LDPC符号 (符号化率：2/3, 3/4, 5/6) 符号長：64,800 外符号：BCH符号
MIMOパイロット方式	ヌルパイロット方式
MIMO検出	ゼロフォーシング



1図 試作システムの基本構成

2.1 偏波MIMO

現在の地上デジタル放送では、偏波間の干渉を避けるために、送信所ごとに水平偏波または垂直偏波のいずれか一方を使って放送を行っている。ミリ波やマイクロ波と比較して波長が長く、伝送距離が数十kmにも及ぶUHF帯を使用した地上放送の固定受信においては、アンテナを屋根の上や屋上に設置することが多く、送受信アンテナ間の伝送路が見通し環境であることが多い。また、受信に高利得の指向性アンテナを使用することが多いので、同一偏波の空間分割多重 (SDM: Space Division Multiplex) でMIMO伝送をする場合には、MIMO伝送路間の相関を十分に下げるために、複数の送信アンテナや受信アンテナを空間的に大きく離して設置する必要がある。送信側でこれを実現するためには別の送信所を新たに設置する必要があり、現実的ではない。また、受信側は一般家庭であり、平均的な広さの敷地ではアンテナ間の距離が足りない。そのため、地上デジタル放送にMIMO技術を適用して伝送容量を拡大する場合には、同一偏波ではなく、直交する2つの偏波 (例えば、水平偏波と垂直偏波) を使用し、それぞれの偏波で異なる情報を伝送する2ストリームの偏波MIMO伝送が有効であると考えられる。当所では、偏波MIMOを用いた伝送実験を実施するために、偏波共用送信アンテナ (2図) と偏波共用受信アンテナ (3図) を新たに開発した³⁾。

2.2 超多値OFDM

現在の地上デジタル放送では、キャリア変調方式に64QAM (Quadrature Amplitude Modulation: 直交振幅変調) を用いており、1キャリアシンボルで6ビットを伝送しているが、超多値OFDMでは、キャリア変調方式の多値数を大幅に増やし



2図 偏波共用送信アンテナ

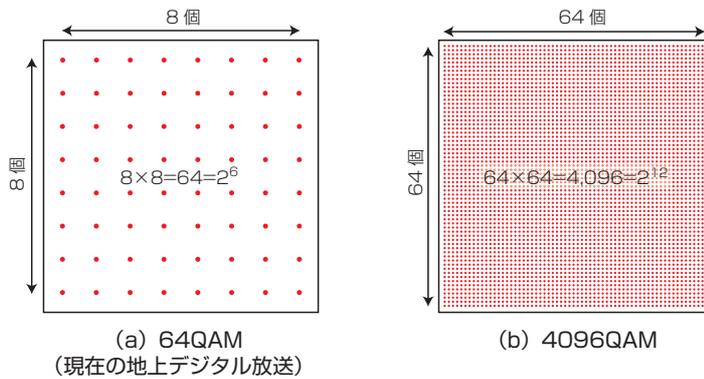


3図 偏波共用受信アンテナ

て伝送容量を拡大する⁴⁾。試作した装置で検証した変調方式は64QAM, 256QAM, 1024 QAM, 4096QAMの4通りで、それぞれ1キャリアシンボルで6ビット, 8ビット, 10ビット, 12ビットを伝送することができる。4図に64QAMと4096QAMのコンスタレーション^{*1}を示す。4096QAMの信号点間の距離は64QAMの信号点間の距離の1/8と非常に短く、雑音やシンボルタイミングのジッターによる誤りが発生しやすい。しかし、変復調にIFFT (Inverse Fast Fourier Transform: 逆高速フーリエ変換) とFFTを使用し、直交した多数のキャリアの矩形波^{くけいは}を伝送するOFDM方式では、ロールオフフィルター^{*2}を用いるシングルキャリア方式よりもシンボルタイミングのジッターに対する許容範囲が広く、正確な位相同期が不要なので、比較的容易に超多値化することができる。これは、OFDM信号にGIが付加されていることやSP (Scattered Pilot) 信号を用いて伝送路応答を推定し、伝送路等化を行っていることによる。

*1
デジタル変調信号の同相成分をx軸に、直交成分をy軸にプロットしたもの。星座の意。

*2
矩形波のデジタル信号の周波数応答を制限するためのフィルター。



4図 64QAMと4096QAMのコンスタレーション

2.3 誤り訂正

キャリア変調方式の超多値化に伴って増加する所要CN比を低減するために、誤り訂正符号に非正則LDPC符号^{*3}とBCH符号の接続符号を適用した。LDPC符号は疎な検査行列^{*4}で定義される線形ブロック符号^{*5}であり、復号には確率伝搬を反復して行うSum-Product復号^{*6}などが適用され、シャノン限界に近い特性を得ることができる。しかし、非正則LDPC符号ではCN比が高くなるに従ってビット誤り率 (BER: Bit Error Rate) が急速に減少するが、低レベルのエラーフロア^{*7}が残るので、外符号^{*8}にBCH符号を用いてエラーフロアの解消を図っている。試作装置では、符号長が64,800ビットの非正則LDPC符号を使用し、各ビットの対数尤度比 (LLR: Log-Likelihood Ratio)^{*9}の初期値はOFDM復調後のキャリアシンボルのIQ信号^{*10}を用いて算出した。5図に白色ガウス雑音 (AWGN: Additive White Gaussian Noise) 環境における各キャリア変調方式のCN比対BER特性を示す。なお、FFTサイズは32kポイント、LDPC符号の符号化率は3/4、復号における繰り返し回数は50回とした。5図は多値数の増加に伴って所要CN比が増加する様子を示している。

2.4 偏波間インターリーブ

偏波MIMO技術の導入に際し、直交する2つの偏波の組み合わせとして、6図に示す (a) 直線偏波 (水平偏波と垂直偏波)、(b) 斜め偏波 (+45° 偏波と-45° 偏波)、(c) 円偏波 (右旋偏波と左旋偏波) の3つの場合を検討した^{5) 6)}。(a) の水平偏波と垂直偏波を使用した偏波MIMO伝送においては、偏波間の伝送路応答の違いによって各偏波のBERに違いが生じ、特性が悪い方のBERによってシステム全体のBER特性が制限される。そこで、水平偏波と垂直偏波の伝送路応答に差がある場合のBER特性を改善する手法として、(b) の斜め偏波や (c) の円偏波を用いる手法を検討した。更に、他の手法として、水平偏波と垂直偏波を用い、両偏波用のOFDM信号を構成する各キャリアシンボルのデータを偏波間で並べ替えて伝送する偏波間インターリーブを検討した^{*11}。計算機シミュレーションと野外実験を行って、それらの効果を比較した結果、偏波間インターリーブを用いる手法が最も優れていることが確認できた⁷⁾。

2.5 FFTサイズの拡大

現行のISDB-T方式における固定受信用のモード3はFFTサイズが8k (8,192) ポイントでキャリア数が5,617本であるが、試作装置では、FFTサイズを最大64k (65,536) ポイント、キャリア数を44,929本まで拡大して伝送容量の拡大を図っている。FFTサイズとGIの関係を7図に示す。FFTサイズを拡大することで、OFDM信号の有効シンボル長が長くなり、GIを同じ長さに設定した場合でも、伝送シンボル全体の時間長に占

*3 検査行列の各行の重みと各列の重みが様でないLDPC符号。

*4 行列内の1の要素の数が非常に少ない行列。

*5 誤り訂正符号の1つで、固定の符号長を持つ。

*6 LDPC符号の復号法の1つで、基本復号処理を繰り返し行う反復型アルゴリズム。

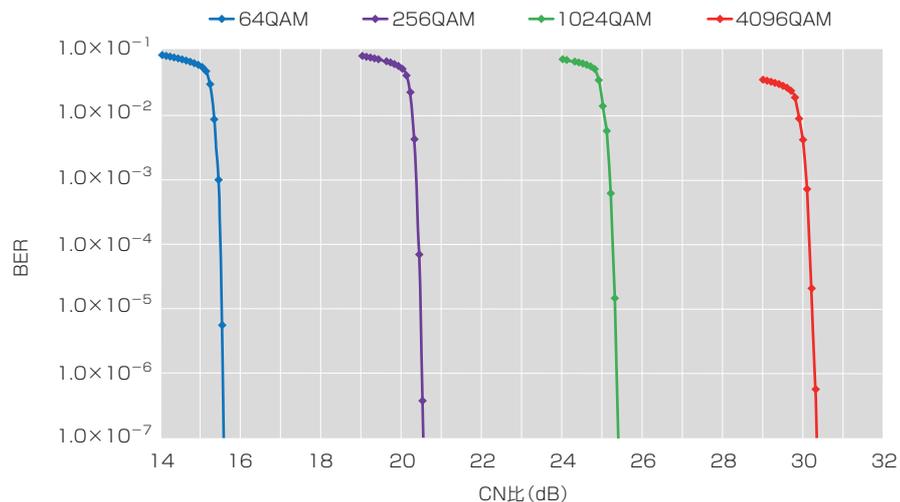
*7 小さなビット誤りが定期的に生じ、エラーフリーとならない現象。

*8 接続符号において最初に符号化を行い、最後に復号を行う訂正符号。

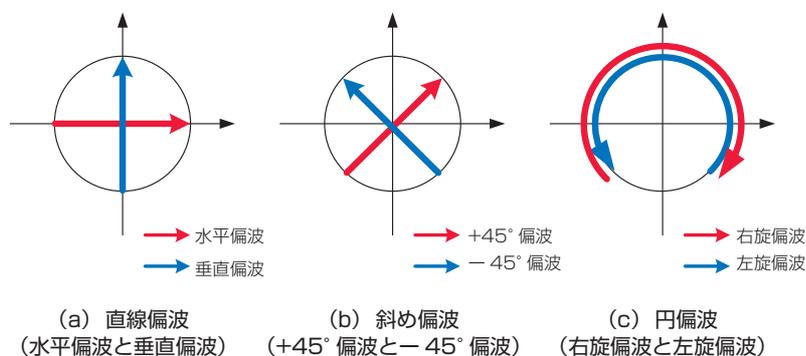
*9 信号のもっともらしさを表す数値。

*10 デジタル変調信号の同相成分をI (In-phase) 成分、直交成分をQ (Quadrature) 成分として表現したもの。

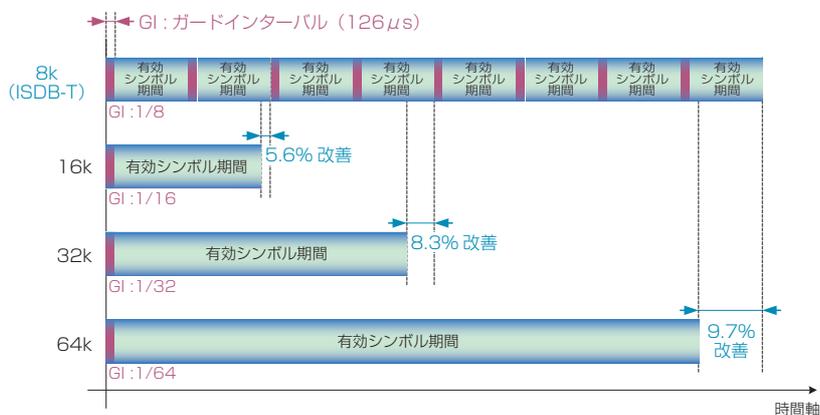
*11 本特集号の報告「偏波間伝送路特性差による特性劣化の改善策」を参照。



5図 各キャリア変調方式のCN比対BER特性



6図 直交する2つの偏波の組み合わせ

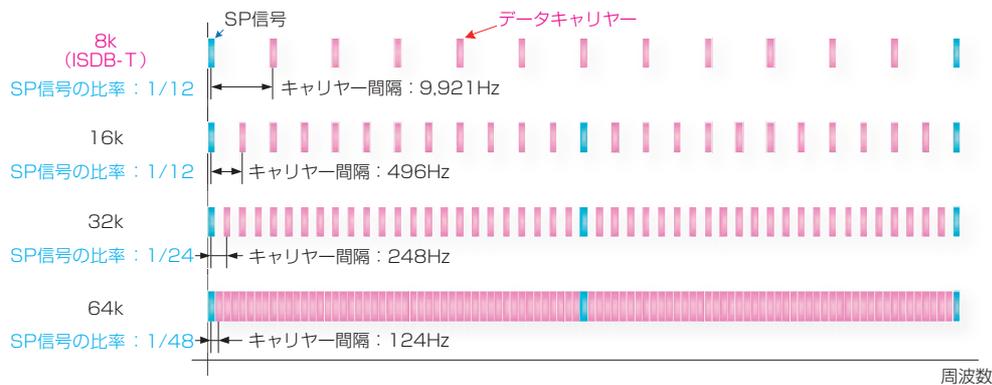


7図 FFTサイズとGIの関係

めるGIの割合（ガードインターバル比）は小さくなるので、伝送容量を拡大することができる。

2.6 パイロットキャリアの削減

FFTサイズの拡大に伴って帯域内のキャリア数が増加し、キャリア間隔が狭くなる。FFTサイズとキャリア間隔の関係を8図に示す。現行のISDB-T方式におけるモード3（8kポイント）はキャリア間隔が992Hzであるが、FFTサイズがモード4（16kポイント）の場合にはキャリア間隔が496Hzである。ISDB-Tでは1/12の比率で既知のSP信号を挿入し、伝送路応答を推定して伝送路等化を行っている。FFTサイズの



8図 FFTサイズとキャリアー間隔の関係

2表 技研公開における関連展示の変遷

技研公開	展示技術	伝送コンテンツ
技研公開2008	1024QAM-OFDM (ケーブル伝送)	-
技研公開2010	偏波MIMO-超多値OFDM 1024QAM, 畳み込み+RS符号	ハイビジョン4番組 (60Mbps/チャンネル)
技研公開2011	偏波MIMO-超多値OFDM 4096QAM, LDPC+BCH符号	ハイビジョン8番組 (70Mbps/チャンネル)
技研公開2012	偏波MIMO-超多値OFDM 偏波間インターリーブ FFTサイズ拡大 2チャンネルバルク伝送	スーパーハイビジョン1番組 (184Mbps/2チャンネル)

拡大に伴ってキャリアー間隔が狭くなるので、8図の8kポイント (ISDB-T) と16kポイントでSP信号の比率を同じ1/12とした場合には、16kポイントのシステムは8kポイントのシステムの半分の周波数間隔で伝送路応答を算出することができる。試作装置では、FFTサイズの拡大に合わせて、16kポイントFFTの場合にはSP信号の比率を1/12とし、32kポイントの場合には1/24、64kポイントの場合には1/48とすることで、全キャリアー数に対するSP信号の比率を小さくして、伝送容量を拡大している。

3. 次世代地上放送方式の開発に向けた当所の取り組み

当所では、2007年頃から地上デジタル放送の大容量化に向けた研究・開発を開始した。技研公開における関連展示の変遷を2表に示す。技研公開2008ではISDB-Tの信号形式を基本に、各キャリアーの変調多値数を1,024まで拡大した変復調器を試作して、ケーブル接続でのIF折り返しの室内実験を展示した。その後、超多値OFDMに偏波MIMO技術を導入することで伝送容量を大幅に拡大し、地上デジタル放送の1チャンネルで複数のハイビジョン番組 (技研公開2010では4番組、技研公開2011では8番組) を同時に無線伝送する実験を展示した。更に、TS分離・合成装置を新たに試作し、地上放送の2つのチャンネルを使用するバルク伝送技術を使って、技研公開2012では182Mbpsに圧縮符号化したSHV-TS信号を無線伝送する実験を展示した⁸⁾。

4. 今後の課題

次世代地上デジタル放送の要素技術として、偏波MIMO-超多値OFDMを用いた大容量伝送技術の研究・開発に取り組んできた。今後、野外実験を継続して行い、多くのデータを蓄積して偏波MIMO伝送の伝搬モデルを確立するとともに、回線設計を含むシ

システム検討を進めていく。また、超多値OFDM技術の実用化に向けて、変調多値数の増加による所要CN比の上昇を少しでも軽減するためのより高性能な誤り訂正符号の導入を検討していく。更に、回線設計における干渉・マルチパスマージンを小さくして所要電界強度を下げるための、次世代地上放送用の高度な等化・干渉除去技術を開発する予定である。

一方、現行のISDB-T方式には、1つのチャンネルで固定受信用のハイビジョンと携帯端末用のワンセグの両方を同時に放送できるという特徴がある。次世代の地上デジタル放送においても、このような特徴を継承して、1つのチャンネルで固定受信用のSHVと携帯端末用のハイビジョンを同時に放送することを目指している。そのために、階層伝送技術の検討を所要の信号帯域幅の検討と合わせて進めていきたいと考えている。

5. おわりに

次世代地上放送の要素技術として研究・開発を進めている固定受信用の大容量伝送技術について概要を紹介した。水平偏波と垂直偏波を同じチャンネルで同時に使用し、それぞれの偏波で異なる情報を伝送する偏波MIMO技術とデータシンボルの変調多値数を拡大する超多値OFDM技術を軸に地上放送の伝送容量の拡大に取り組んでいる。今後、試作したシステムをベースに詳細な野外実験を行い、移動体用のサービスの実現も視野に入れて、次世代地上放送の実現に向けた具体的なシステム検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 電波産業会：“地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式（2.0版）,” ARIB STD-B31（2011）
- 2) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷：“次世代地上放送に向けた伝送技術～スーパーハイビジョンの地上放送を目指して～,” 映情学技報, BCT2010-67, pp.37-40（2010）
- 3) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷：“偏波共用八木アンテナの試作と伝搬実験結果,” 映情学年次大, 15-3（2010）
- 4) 朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷：“次世代地上放送に向けた大容量伝送技術—4096QAM-OFDMの伝送特性～,” 映情学技報, BCT2011-40, pp.43-46（2011）
- 5) 薮, 村山, 田口, 朝倉, 渋谷：“次世代地上放送に向けた伝送技術～円・斜め偏波を用いた偏波MIMO伝送実験～,” 映情学技報, BCT2011-41, pp.1-4（2011）
- 6) T. Shitomi, K. Murayama, M. Taguchi, S. Asakura and K. Shibuya：“Technology for Next-generation Digital Terrestrial Broadcasting—Field experiments of Dual-polarized MIMO-OFDM Transmission using LDPC Codes—,” IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB 2012), MM12-16（2012）
- 7) 朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷：“次世代地上放送に向けた伝送技術～多次元インターリーブの一検討～,” 映情学技報, BCT2012-25, pp.53-58（2012）
- 8) 村山, 田口, 薮, 朝倉, 渋谷：“次世代地上放送に向けた伝送技術～UHF帯の2つのチャンネルを用いたSHV伝送実験～,” 映情学技報, BCT2012-64, pp.17-20（2012）



むらやまけんいち
村山研一

2002年入局。技術局を経て、2008年から放送技術研究所において、次世代地上放送に向けた大容量伝送技術の研究に従事。現在、放送技術研究所放送ネットワーク研究部専任研究員。

偏波間伝送路特性差による特性劣化の改善策

朝倉慎悟

Alleviation of Deterioration with the Difference of Polarized Transmission Characteristics

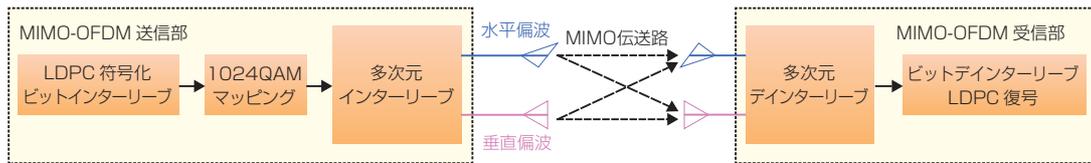
Shingo ASAKURA

要約

偏波MIMO伝送では偏波間の伝搬路特性の違いによって平均ビット誤り率（BER：Bit Error Rate）特性が劣化することが、これまでの計算機シミュレーションや実験で確認されている。そこで、従来の時間インターリーブと周波数インターリーブの他に、偏波間インターリーブを追加して行う多次元インターリーブを新たに考案し、その改善効果を計算機シミュレーションを行って検証したので報告する。

ABSTRACT

In our previous work, the average BER (Bit Error Rate) of the transmission system deteriorated due to the differences in the propagation characteristics between polarizations in dual-polarized MIMO. We developed a multi-dimensional interleaving method that simultaneously rearranges carrier symbol data in the time and frequency domains and inter-polarization. In this report, we provide a computer calculation verification of the transmission characteristics.



1 図 2×2MIMO-OFDM伝送システムの系統

1. まえがき

地上デジタルテレビジョン放送では高画質・高音質のハイビジョン放送やEPG、データ放送、双方向番組などの新たな放送サービスが可能になった。一方、当所では次世代の高臨場感映像・音響システムであるスーパーハイビジョンの研究・開発を進めている。スーパーハイビジョンは、画素数が従来のハイビジョンの16倍の超高精細映像と22.2マルチチャンネルの3次元音響で構成されるシステムである。スーパーハイビジョンは放送以外にも、医療、教育などさまざまな分野への応用が考えられている。

このような状況の下、次世代の地上デジタル放送においても、スーパーハイビジョンなどの大容量コンテンツのサービスの実現が期待されている。当所ではこれまで、水平偏波と垂直偏波を同時に用いる偏波MIMO (Multi-Input Multi-Output：マルチ入力・マルチ出力) 技術と、キャリアシンボル*1の変調多値数が最大で4,096 (12ビット) までの超多値OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing：直交周波数分割多重) 技術¹⁾を組み合わせた大容量伝送技術の検討を行ってきた^{2) 3)}。水平偏波と垂直偏波を用いる直交偏波多重伝送では、大地や建物などの反射特性が偏波によって異なるので、偏波間の受信電力に差が生じやすい。また、ビット誤り率 (BER：Bit Error Rate) は受信電力の低下に伴って指数関数的に増加する。そのため、水平偏波と垂直偏波を同じ送信電力で出力しても、その平均BERは受信電力の低い方のBERに大きく影響を受ける。そこで、2系統の受信電力を均等化することのできる円偏波 (右旋偏波と左旋偏波) と斜め偏波 (+45°偏波と-45°偏波) を使用する偏波MIMO伝送の検討を行い、改善効果が得られることを確認している⁴⁾。

しかし、円偏波や斜め偏波を用いる手法では、水平偏波と垂直偏波の伝送路特性の違いに起因する受信電力の差の情報を受信機側で利用することができない。高性能な誤り訂正符号として知られているLDPC (Low Density Parity Check：低密度パリティチェック) 符号はキャリアシンボルごとのCN比 (CNR：Carrier to Noise Ratio) を、対応するビットの尤度計算^{ゆうど}に反映させることで高い誤り訂正能力を発揮している。そこで、ビット誤りを2つの偏波の受信系統に均等に拡散するとともに偏波間の受信電力

の差に関する情報をLDPC符号の復号処理に反映することのできる方法として、現行のISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) で採用されている時間インターリーブと周波数インターリーブの他に、偏波間のインターリーブを追加して行う多次元インターリーブを考案した。本稿では、多次元インターリーブの改善効果を計算機シミュレーションで検証した結果を報告する。

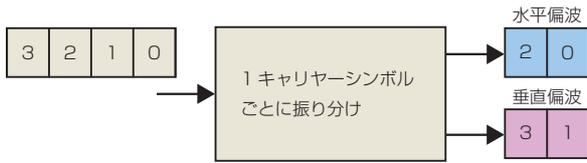
2. 多次元インターリーブの方法

1 図に2×2偏波MIMO-OFDM伝送システムの系統を示す。入力信号をLDPC符号化し、ビットインターリーブを行った後、1024QAMにマッピングする。多次元インターリーブでは、最初に現行のISDB-Tで行っている時間インターリーブを行うが、この時間インターリーブは偏波間インターリーブとは直接関係がないので本稿では説明を省略する。2×2偏波MIMOに適用する多次元インターリーブ手法として、①データを交互に振り分ける方法、②ISDB-T方式の周波数インターリーブを拡張する方法、③変換テーブルを用いて一括して再配置する方法の3種類の方法を検討した。なお、インターリーブにはデータの並び方の周期性を排除すること、実装しやすい回路規模であることなどが一般的に求められる。

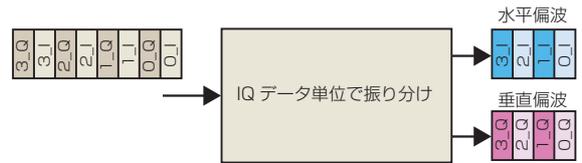
2.1 データを交互に振り分ける方法

データストリームを水平偏波と垂直偏波に交互に振り分ける方法である。最もシンプルな方法で実装も容易であるが、周波数方向に強い周期性が生じる。振り分けるデータの単位を (a) 1キャリアシンボルとする場合と、(b) キャリアシンボルの同相成分 (Iデータ) と直交成分 (Qデータ) をそれぞれ独立のデータ (以下、IQデータ単位) として扱う場合を検討した。2 図 (a) は1キャリアシンボルごとに水平偏波と垂直偏波に振り分ける場合である。なお、2 図 (a) の処理を行う前に時間インターリーブを行い、2 図 (a) の処理を行った後、偏波ごとに現行のISDB-Tと同じOFDMシンボル (13セグメント) を構成し、周波数インターリーブ (セグメント内の

*1 OFDM信号のキャリアごとのシンボル (符号)。

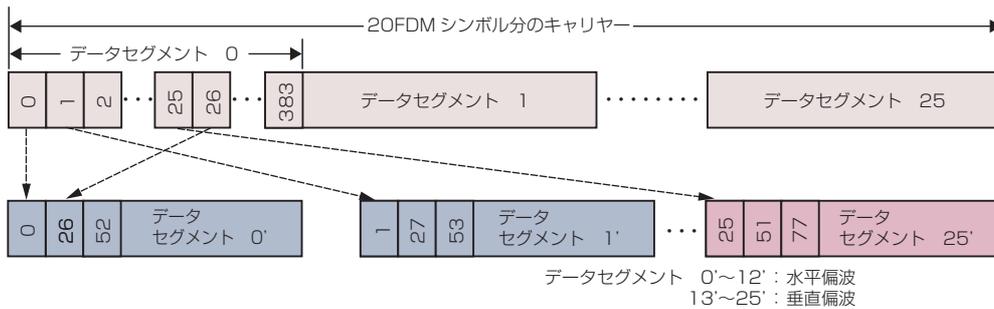


(a) キャリヤーシンボルごとに振り分ける場合

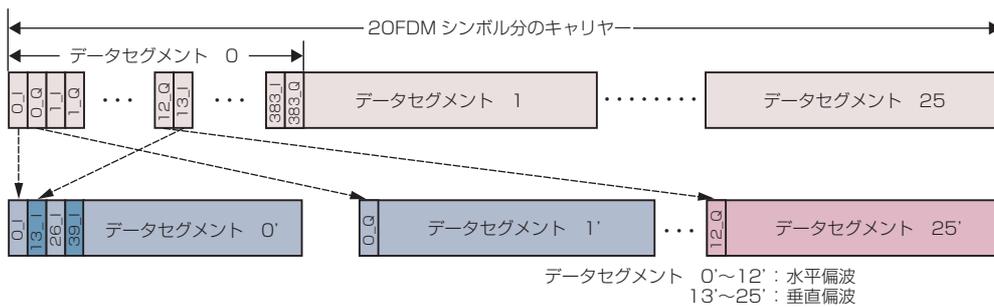


(b) キャリヤーシンボルの IQ データ単位で振り分ける場合

2図 データを交互に振り分ける方法



(a) セグメント間インターリーブ (1 キャリヤーシンボルごと)



(b) セグメント間インターリーブ (IQ データ単位)

3図 ISDB-T方式の周波数インターリーブを拡張する方法

キャリアローテーション^{*2}とキャリアランダマイズ)を行う⁵⁾。2図 (b) はIQデータ単位で水平偏波と垂直偏波に振り分ける場合である。この場合も2図 (a) の場合と同様に、2図 (b) の処理の前後でそれぞれ時間インターリーブと周波数インターリーブを行う。

2.2 ISDB-T方式の周波数インターリーブを拡張する方法

ISDB-T方式⁵⁾の周波数インターリーブを拡張するので実装が容易である。また、セグメント構造を持たせているので階層伝送^{*3}との親和性に優れている。ただし、セグメント間インターリーブの規則性に基づく周波数方向の周期性が僅かに残る。データを交互に振り分ける方法と同様

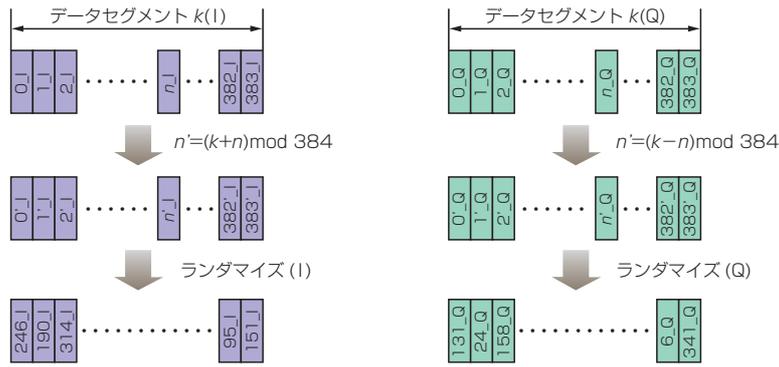
に、並び替えるデータの単位を (a) 1 キャリヤーシンボルとする場合と、(b) IQデータ単位にする場合を検討した。

現行のISDB-Tと同じセグメント構造を持つ2 OFDMシンボル (26セグメント) を1つのインターリーブの単位とし、インターリーブ後に水平偏波用の1 OFDMシンボルと垂直偏波用の1 OFDMシンボルを得る。

3図 (a) は1 キャリヤーシンボルごとにインターリーブをする場合である。2 OFDMシンボルはデータセグメント0~データセグメント25から成り、1つのデータセグメントはシンボル0~シンボル383から成る。シンボル26個おきに繰り返しインターリーブをするので、例えば、セグメント間インターリーブ後のデータセグメント0'にはシンボル0, 26, 52, ……が、データセグメント1'にはシンボル1, 27, 53, ……が並ぶ。データセグ

*2 セグメントごとに異なる移動量でキャリアシンボルを規則的にずらす方法。

*3 セグメントごとに符号化方式や変調方式を変えて伝送する方式。



4図 セグメント内インターリーブ (IQデータ単位)



5図 変換テーブルを用いて一括して再配置する方法

メント0' ~データセグメント12' を水平偏波用の1 OFDMシンボルとし、データセグメント13' ~データセグメント25' を垂直偏波用の1 OFDMシンボルとする。更に、この後、現行のISDB-Tで行っているキャリアランダムイズを行う。

3図 (b) はIQデータ単位でインターリーブをする場合である。データ26個おきに繰り返しインターリーブをするので、セグメント間インターリーブ後の偶数のデータセグメントのデータは全てIデータとなり、奇数のデータセグメントのデータは全てQデータとなる。セグメント間インターリーブを行った後、4図に示すように、セグメント内のインターリーブをIデータのセグメントとQデータのセグメントで別々に行い、データセグメント0' ~データセグメント12' を水平偏波用の1 OFDMシンボル、データセグメント13' ~データセグメント25' を垂直偏波用の1 OFDMシンボルとする。この後、現行のISDB-Tで行っているキャリアランダムイズを行う。

2.3 変換テーブルを用いて一括して再配置する方法

1つのインターリーブブロック (2 OFDMシンボ

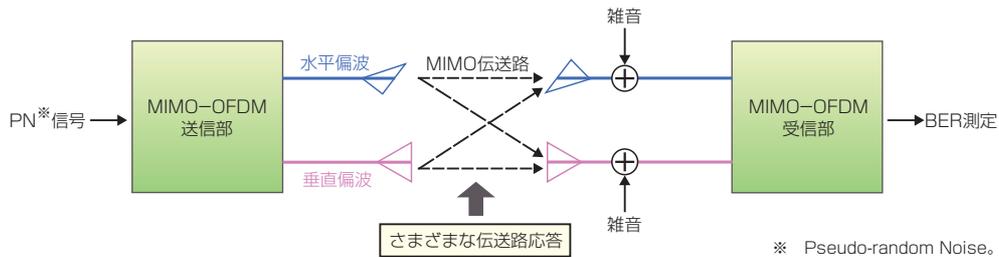
ル) 内の全データを1つの変換テーブルを用いて一括してランダムに再配置する方法である。周期性を極めて低くすることができるが、変換テーブルを記憶するためのメモリなどハードウェアの規模が大きくなる。また、ISDB-T方式のようなセグメント構造を想定していないので、階層伝送には適さない。先の2つの方法と同様に並び替えるデータの単位を (a) 1キャリアシンボルとする場合 (5図 (a)) と、(b) IQデータ単位にする場合 (5図 (b)) を検討した。

3. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーション行って、提案した3種類のインターリーブ方法の効果を検証した。

3.1 計算機シミュレーションの系統

計算機シミュレーションの系統を6図に示す。データシンボルやパイロットシンボルなどのキャリアシンボルの配置、形式、キャリア間隔はISDB-Tのモード3をベースとした。また、各キャリアの変調方式を1024 QAMとした。主な伝送パラメーターを1表に示す。

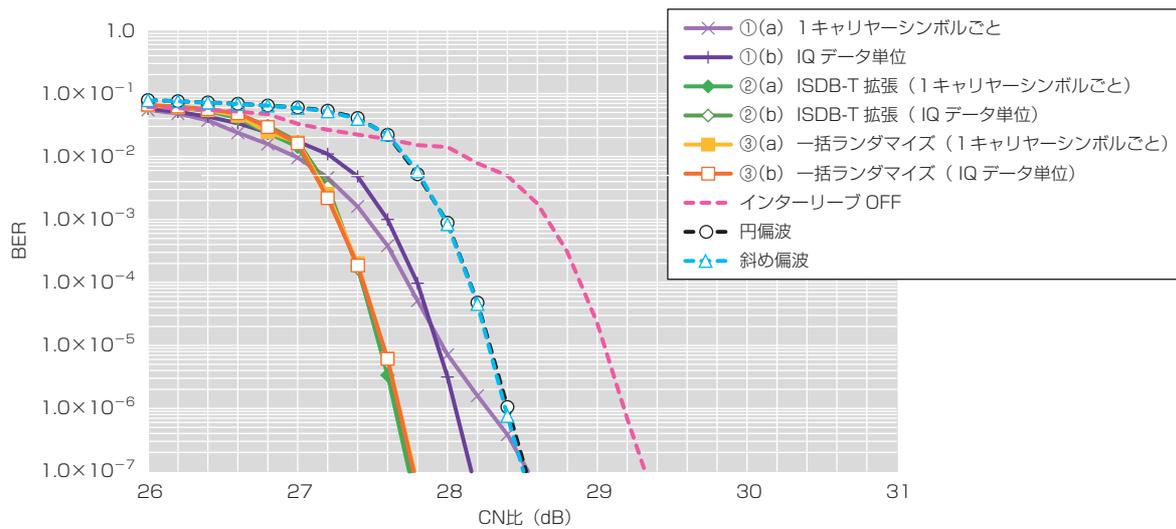


6図 計算機シミュレーションの系統

1表 伝送パラメーター

周波数帯域幅 (MHz)	5.57
FFTサイズ	8k (ISDB-T モード3)
GI ^{*1} 比	1/8
FEC ^{*2}	LDPC符号 符号長: 64,800 符号化率: 3/4 繰り返し復号回数: 20回
伝送容量 (Mbps)	約65.8 (両偏波)
MIMO復調アルゴリズム	ゼロフォーシング

*1 Guard Interval.
*2 Forward Error Correction.



7図 水平偏波と垂直偏波の受信電力の差が6dBの場合のBER特性

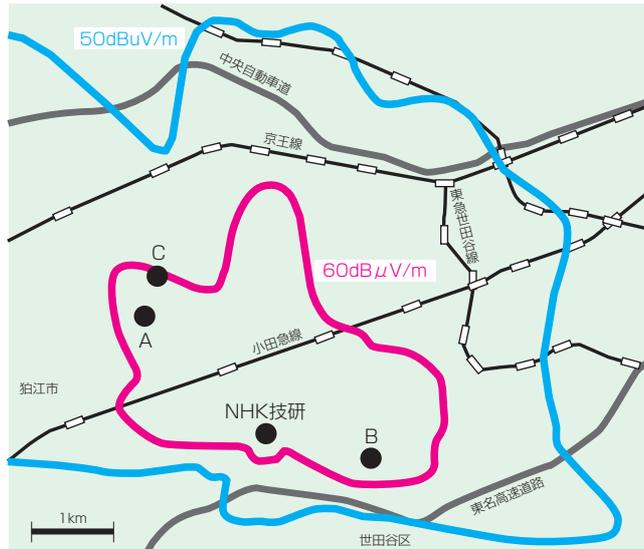
3.2 伝送路応答

伝送路応答として、

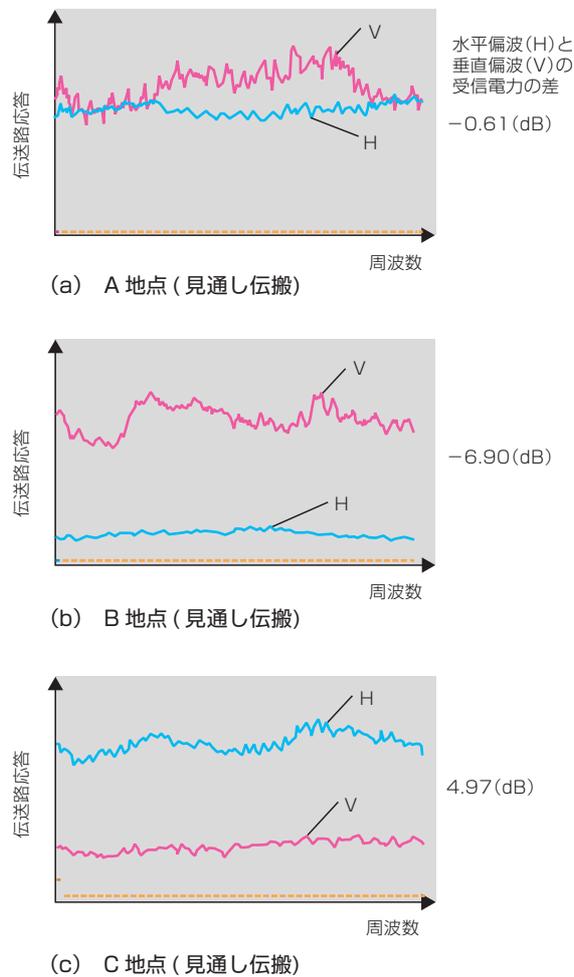
- (i) 水平偏波と垂直偏波の受信電力の差が6 dBの場合
 - (ii) 野外実験で取得した実際の伝送路応答⁶⁾の場合
- の2通りをシミュレートした。また、外符号にBCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 符号を使用すると仮定し、外符号復号後に擬似エラーフリーとなるLDPC復号後のBERの値 1.0×10^{-7} が得られるCN比 (dB) を所要CN比 (dB) とした。

3.3 シミュレーション結果

- (i) 水平偏波と垂直偏波の受信電力の差が6 dBの場合
- シミュレーション結果を7図に示す。横軸はCN比、縦軸はBERを示す。7図には、多次元インターリーブを行わないで、水平偏波と垂直偏波を用いる場合 (インターリーブOFF) と、円偏波 (右円偏波と左円偏波) を用いる場合、斜め偏波 (+45° 偏波と-45° 偏波) を用いる場合を併せて示した。CN比が同じ場合にはBERが低い方が優れているので、プロットされた曲線が内側 (左側) にあるほど性能が良いことになる。7図は、②のISDB-T



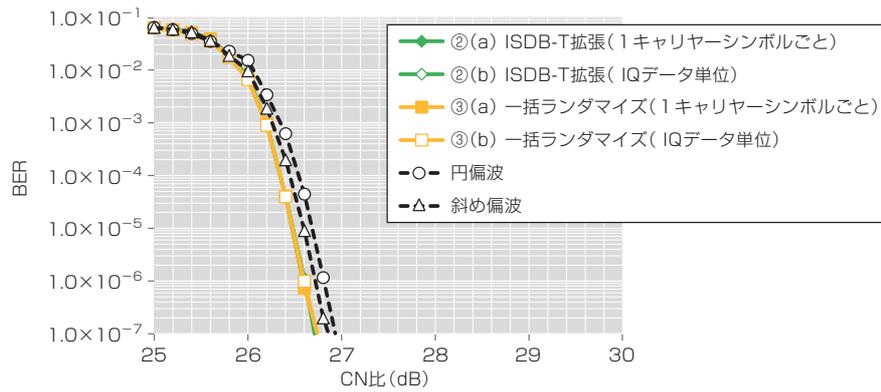
8図 野外実験の各受信点位置



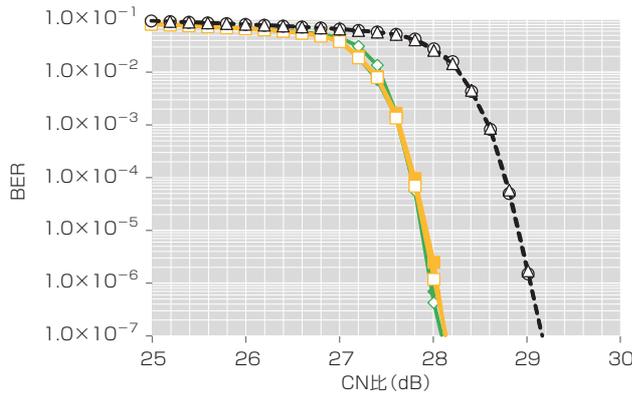
9図 伝送路応答の実測値

方式の周波数インターリーブを拡張する方法や③の変換テーブルを用いて一括して再配置する方法が最も優れていることを示している。また、セグメント間インターリーブ

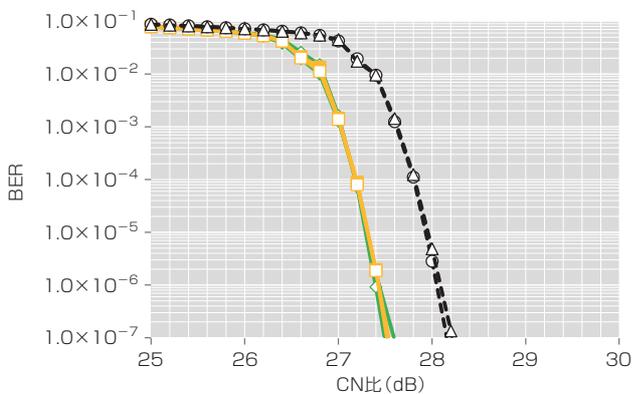
を1キャリアシンボルで行う場合とIQデータ単位で行う場合にはほとんど差がないことを示している。
(ii) 野外実験で取得した実際の伝送路応答の場合



(a) A地点



(b) B地点



(c) C地点

10図 実際の伝送路応答を用いた場合のBER特性

当所の周辺で実施した偏波MIMO-超多値OFDMの野外実験⁶⁾において測定した3か所の受信点(A, B, C)の伝送路応答を用いた。受信点(A, B, C)の位置を8図に示す。また、3か所の受信点で得られた伝送路応答を9図に示す。伝送路応答の実測値を用いて、計算機シミュレーションを行った結果を10図に示す。10図は、②のISDB-Tの周波数インターリーブを拡張する方法と③の変換テーブルを用いて一括してランダム化する方法には大きな特性差はなく、円偏波や斜め偏波を用いる方法よりも

優れていることを示している。また、この場合においてもセグメント間インターリーブを1キャリアシンボルで行う場合とIQデータ単位で行う場合には差がないことを示している。

3.4 総合的な検討

ISDB-Tの周波数インターリーブを拡張する方法と変換テーブルを用いて一括して再配置する方法は、伝送路応答やセグメント間インターリーブを行う単位によらず、ほぼ同等の改善結果があり、他の方法よりも優れていることが

分かった。このうち、ISDB-Tの周波数インターリーブを拡張する方法は現行のISDB-Tと同様に階層伝送との親和性が高い。また、ハードウェアの規模が小さく、実装が容易なので、この方法が最も優れていると考えられる。

4. おわりに

水平偏波と垂直偏波を用いる偏波MIMO伝送で、偏波間の受信電力に差がある場合には、受信電力の低い方のBERの影響を受けて、全体のBER特性が大きく劣化する。この対策として、従来の時間インターリーブと周波数インターリーブの他に、偏波間でもインターリーブを追加して

行う多次元インターリーブを考案し、計算機シミュレーションを行って改善効果を検証した。その結果、ISDB-T方式の周波数インターリーブを拡張する方法が最も優れていることが確認できた。今後、野外実験を行い、提案方法の効果を詳細に解析する予定である。

本稿は映像情報メディア学会技術報告に掲載された以下の論文を元に加筆・修正したものである。

朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷: “次世代地上放送に向けた伝送技術—多次元インターリーブの一検討—,” 映情学技報, Vol. 36, No.6, BCT2012-25, pp.53-58 (2012)

参考文献

- 1) 朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷: “次世代地上放送に向けた大容量伝送技術—4096QAM-OFDMの伝送特性—,” 映情学技報, Vol.35, No.10, pp.43-46 (2011)
- 2) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷: “偏波共用八木アンテナの試作と伝搬実験結果,” 映情学年次大, 15-3 (2010)
- 3) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷: “次世代地上放送に向けた伝送技術—スーパーハイビジョンの地上放送を目指して—,” 映情学技報, Vol.34, No.36, pp.37-40 (2010)
- 4) 薮, 村山, 田口, 朝倉, 渋谷: “次世代地上放送に向けた伝送技術—円・斜め偏波を用いた偏波MIMO伝送実験—,” 映情学技報, Vol.35, No.13, pp.1-4 (2011)
- 5) 電産産業会: “地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式 (2.0版),” ARIB STD-B31 (2011)
- 6) M. Taguchi, K. Murayama, T. Shitomi, S. Asakura and K. Shibuya: “Field Experiments on Dual-polarized MIMO Transmission with Ultra-multilevel OFDM Signals Toward Digital Terrestrial Broadcasting for the Next Generation,” IEEE BMSB2011, MM11-13 (2011)



あさくらしんご
朝倉慎悟

2006年入局。岡山放送局を経て、2010年から放送技術研究所において、次世代地上大容量伝送技術の研究に従事。

マルチパス環境における 偏波MIMO—超多値OFDMの伝送特性

部 拓也

Transmission Performance of Dual-polarized MIMO, Ultra-multilevel OFDM in Multipath Environment

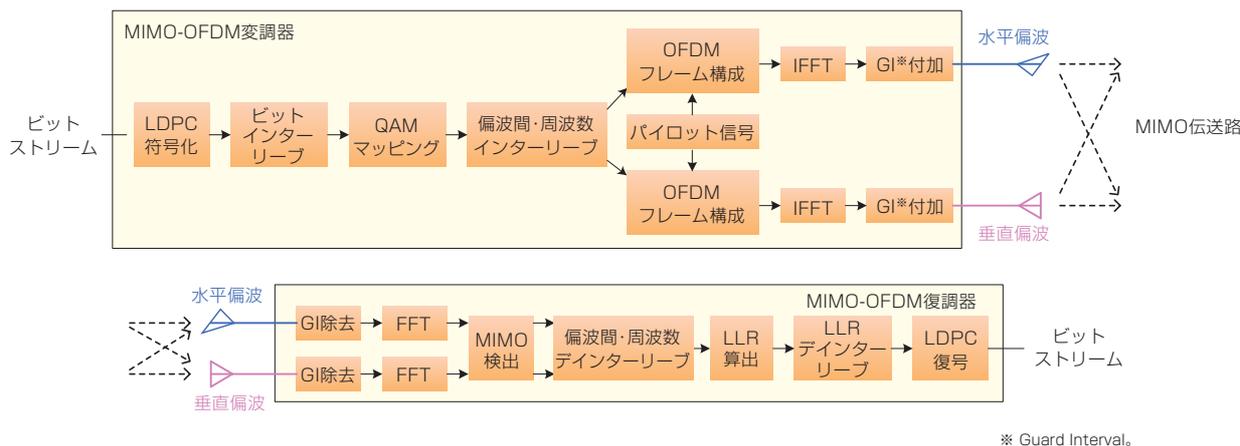
Takuya SHITOMI

要約

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 直交周波数分割多重) 信号はマルチパス妨害に対して優れた耐性を持つので、地上デジタル放送ではSISO (Single-Input Single-Output : シングル入力・シングル出力) のOFDMが用いられている。しかし、OFDMには希望波と妨害波の受信電力の比、すなわち、DU比 (Desired to Undesired Signal Ratio) が0 dBに近づくと、伝送特性が急激に劣化するという性質がある。そのため、地上デジタル放送のSISOには、さまざまな対策が考案されている。一方、当所では、次世代地上放送の伝送方式として、偏波MIMO (Multiple-Input Multiple-Output : マルチ入力・マルチ出力) —超多値OFDMの検討を進めている。そこで、マルチパス環境における偏波MIMO—超多値OFDMの伝送特性を評価するとともに、DU比の小さいマルチパス環境における伝送特性の劣化を軽減する方法を考案し、計算機シミュレーションを行ってその有効性を検証した。

ABSTRACT

The OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) transmission technique is robust against multipath distortion, but the transmission performance rapidly deteriorates when the D/U, or desired to undesired signal ratio, comes very close to 0dB. Various methods have been studied and implemented for a SISO (Single-Input Single-Output) transmission system in order to minimize the degradation. We describe here the transmission characteristics of a dual-polarized MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), ultra-multilevel OFDM scheme in a multipath environment. This scheme has been developed for a next-generation digital broadcasting system. We also propose a method to improve the transmission characteristics in an adverse multipath environment and report on the simulation we carried out to verify its improvement.



1 図 偏波MIMO-超多値OFDM変復調器の構成

1. まえがき

日本の地上デジタル放送方式であるISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial) では、伝送方式としてマルチパス妨害に強いOFDMが採用されている。OFDMの採用によって、サービスエリアの重なる複数の送信所から同じ周波数で放送を行うSFN (Single Frequency Network: 単一周波数ネットワーク) が可能となっている。SFNのサービスエリアでは周波数の利用効率は高いが、希望波を送信している局以外からの放送波がマルチパス妨害となり、伝送特性を劣化させることが課題となっていた。

次世代地上放送の伝送方式として検討を進めている偏波MIMO-超多値OFDM^{1)~3)}については、これまで、UHF (Ultra High Frequency: 極超短波) 帯の地上波を用いた野外実験^{4) 5)}を行って伝送特性を検証してきた。その結果、水平偏波と垂直偏波の伝送特性に差がある場合には、伝送系全体の特性が劣化することが分かった。そこで、この課題を解決するために偏波間インターリーブ⁶⁾を考案し、計算機シミュレーションを行ってその改善効果を確認した。

今回、偏波間インターリーブを適用した偏波MIMO-超多値OFDMの、マルチパス環境における伝送特性を計算機シミュレーションを行って評価した。更に、マルチパス妨害に起因する伝送特性の劣化を軽減する手法を考案し、その改善効果を検証したので報告する。

2. 偏波MIMO-超多値OFDM変復調器の構成

伝送特性の評価に用いた偏波MIMO-超多値OFDM変復調器の構成を1図に示す。誤り訂正符号をLDPC (Low Density Parity Check: 低密度パリティ検査) 符号*1とし、符号長64,800、符号化率3/4の既存の検査行列⁷⁾を使用した。変調器では1系統のビットストリームの

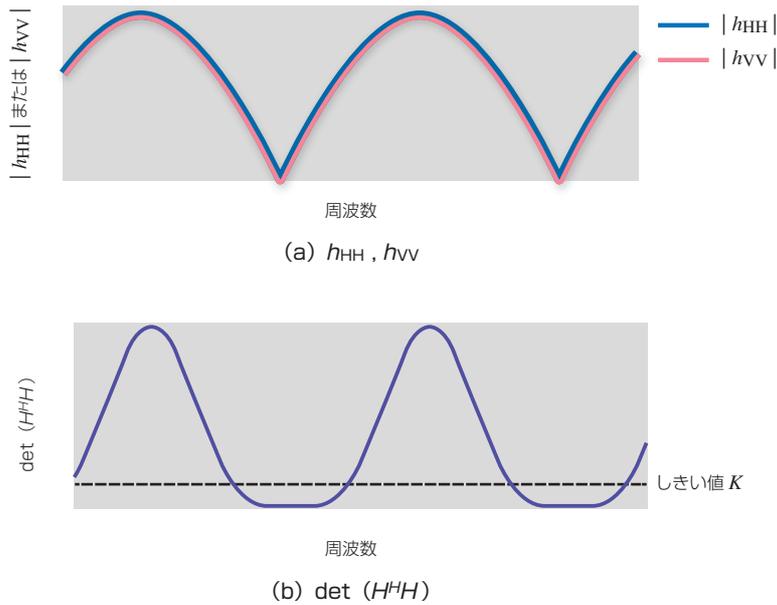
入力から、水平偏波用と垂直偏波用の2系統のOFDM信号を生成し、出力する。復調器では水平偏波用と垂直偏波用のアンテナで受信した2系統のOFDM信号をFFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換) し、周波数領域のキャリアシンボルに変換した後、MIMO検出を行い、各偏波の信号を分離・等化する。分離・等化後の水平偏波と垂直偏波のキャリアシンボルを偏波間・周波数デインターリーブした後、LLR (Log Likelihood Ratio: 対数尤度比) を算出する。LLRは伝送されたビットが0であるか1であるかの尤もらしさを表す数値である。このLLRの値を使ってLDPC符号を復号し、伝送されたビットストリームを得る。入力数と出力数が共に2であるMIMO伝送の2つの伝送路に水平偏波と垂直偏波を用いることで、伝送路間の相関を低くすることができ、計算量が最も小さいMIMO検出手法であるゼロフォーシング (ZF: Zero-Forcing) アルゴリズム*2で高い精度の信号分離が可能となる。

3. 伝送特性の改善手法

マルチパス環境におけるOFDM伝送を考える。マルチパス妨害波が希望波と同位相で合成されるキャリアの受信電力は大きくなり、逆位相で合成されるキャリアの受信電力は小さくなる。このため、マルチパス環境ではキャリアごとにCN比 (Carrier to Noise Ratio: 搬送波電力対雑音電力比) が異なり、受信CN比が小さいキャリアのキャリアシンボルから得られるLLRの信頼度は低い。そこで、この信頼度の低いLLRをLDPC符号の復号に反映させないようにして、復号の精度を上げる。本稿では、

*1 検査行列が疎 (1である要素が少なく、多くの要素が0である行列) で、計算量が少なく、誤り訂正能力が非常に高い符号化方式。

*2 伝送路応答行列の逆行列演算を行って干渉成分を分離し、信号を検出する手法。



2図 マルチパス環境 ($\phi_H = \phi_V$) における伝送路応答

ZFアルゴリズムを用いたMIMO検出の信号処理過程において、キャリアごとの信頼度を反映したLLRの算出方法を検討し、信頼度を反映したLLRをLDPC符号の復号に使用した場合には、マルチパス環境においてビット誤り率 (BER : Bit Error Rate) 特性が改善されることを示す。

3.1 ZFアルゴリズムにおける消失キャリアの判定

一般に、MIMO伝送は (1) 式で表すことができる。

$$y = Hx + z \quad \text{————— (1)}$$

ここで、 x は送信信号ベクトル、 y は受信信号ベクトル、 H は伝送路応答行列、 z は雑音ベクトルである。水平偏波と垂直偏波を用いた偏波MIMO伝送における x, y, H, z は (2) 式で表される。

$$x = \begin{bmatrix} x_H \\ x_V \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_H \\ y_V \end{bmatrix}, \quad \text{————— (2)}$$

$$H = \begin{bmatrix} h_{HH} & h_{HV} \\ h_{VH} & h_{VV} \end{bmatrix}, z = \begin{bmatrix} z_H \\ z_V \end{bmatrix}$$

ここで、下付きの添え字のHは水平偏波、Vは垂直偏波を表す。理想的な偏波MIMO伝送路における伝送路応答行列 H の各成分は、 $h_{HH} = 1, h_{VV} = 1, h_{HV} = 0, h_{VH} = 0$ であり、水平偏波と垂直偏波は完全に分離されている。

ZFアルゴリズムでは受信信号ベクトル y に一般化逆行列*³ H^+ を乗算し、送信信号ベクトル x を推定する。な

お、OFDM伝送ではキャリアごとにZFアルゴリズムを適用し、キャリアごとに送信信号ベクトル x を推定する。 H^+ は一般に (3) 式で表される。

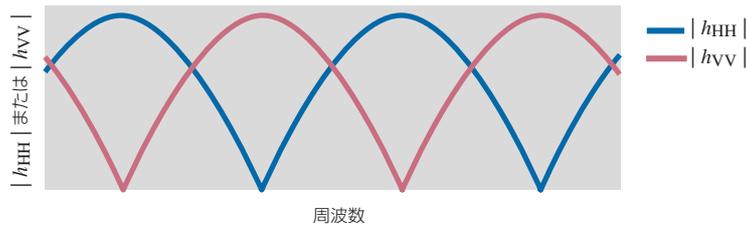
$$H^+ = (H^H H)^{-1} H^H \quad \text{————— (3)}$$

ここで、上付きの添え字の H はエルミート転置*⁴ を表す。

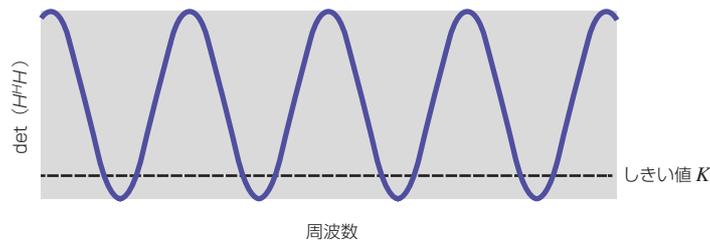
MIMO伝送路の条件が悪い場合、すなわち、行列式 $\det(H^H H)$ が小さい場合には、ZFアルゴリズムを使って推定した x の雑音成分は大きくなる。MIMO伝送路の条件が悪い場合の例として、希望波とマルチパス妨害波の受信電力が等しい場合、すなわち、DU比が0 dBのマルチパス環境を考える。また、水平偏波と垂直偏波のマルチパス妨害波の遅延時間は同じであると仮定する。水平偏波の希望波とマルチパス妨害波の位相差 ϕ_H と、垂直偏波の希望波とマルチパス妨害波の位相差 ϕ_V が同じ場合 ($\phi_H = \phi_V$) の伝送路応答 h_{HH}, h_{VV} と $\det(H^H H)$ を2図に示す。また、位相差 ϕ_H と ϕ_V が 180° 異なる場合 ($\phi_H = \phi_V + 180^\circ$) の h_{HH}, h_{VV} と $\det(H^H H)$ を3図に示す。なお、2図と3図は、伝送路応答の非対角成分 h_{HV}, h_{VH} が共に0であると仮定した場合である。2図および3図は $|h_{HH}|$ または $|h_{VV}|$ が0に近いとき、 $\det(H^H H)$ が小さくなることを示している。 $\det(H^H H)$ が小さい場合には、ZFアルゴ

* 3 逆行列の概念を正方でない行列に対しても一般化したもの。

* 4 行列の要素の複素共役を転置する操作。



(a) h_{HH}, h_{VV}



(b) $\det(H^H H)$

3図 マルチパス環境 ($\phi_H = \phi_V + 180^\circ$) における伝送路応答

リズムを使って推定した x の雑音成分は大きくなるので、この x を使って算出される LLR の信頼度は低くなる。そこで、キャリアごとに $\det(H^H H)$ の値を計算し、 $\det(H^H H)$ がしきい値 K より小さいキャリア（以下、消失キャリアと呼ぶ）を使って算出した LLR が LDPC 符号の復号時に影響を与えないようにした。すなわち、消失キャリアから算出された LLR の値を 0 にした。

3.2 信頼度を反映した LLR の算出

AWGN (Additive White Gaussian Noise : 加法性白色ガウス雑音) 伝送路において、受信側でキャリアシンボル x が検出されたと仮定する。また、キャリアシンボル x の i 番目のビットに関する LLR の値 λ_{LLR} を (4) 式で定義する。

$$\lambda_{LLR} = \frac{d_1^2 - d_0^2}{2\sigma^2} \quad \text{————— (4)}$$

ここで、 d_0, d_1 は I-Q (Inphase-Quadrature) 平面上のユークリッド距離で、受信側で検出されたキャリアシンボル x と i 番目のビットが 0 または 1 となる理想シンボル点との距離の最小値である。また、 σ^2 は雑音電力である。(4) 式から明らかなように、キャリアシンボル x が、 i 番目のビットが 0 となる理想シンボル点と一致する場合には $d_0 = 0$ となり、 λ_{LLR} は正の値を取る。また、キャリアシンボル x が、 i 番目のビットが 1 となる理想シンボル点と一致する場合には $d_1 = 0$ となり、 λ_{LLR} は負の値を取る。従って、 λ_{LLR} が正の場合にはキャリアシンボル x の i 番目のビットは 0 である確率が高く、負の場合

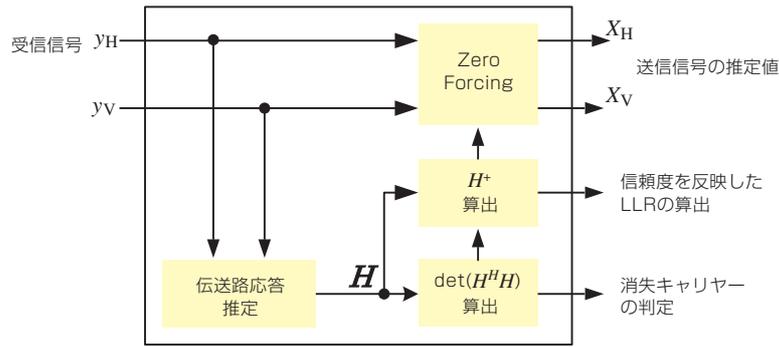
には 1 である確率が高くなる。また、雑音電力が大きくなるほど λ_{LLR} は 0 に近づき、キャリアシンボル x の i 番目のビットが 0 または 1 である確率は共に 0.5 に近づくので、ビットの判定が困難になる。既に述べたように、消失キャリアと判定された場合の λ_{LLR} は 0 であり、ビットが 0 または 1 である確率は共に 0.5 である。

マルチパス環境ではキャリアごとに CN 比が異なるので、(4) 式における σ^2 をキャリアごとに算出するのが望ましい。そこで、水平偏波と垂直偏波それぞれの受信信号の伝送帯域全体の雑音電力を算出し、この雑音電力に補正係数を掛けて、キャリアごとの雑音電力を推定した。次に、キャリアごとに推定した雑音電力を用いて、キャリアシンボル x の信頼度を反映した λ_{LLR} を算出した。

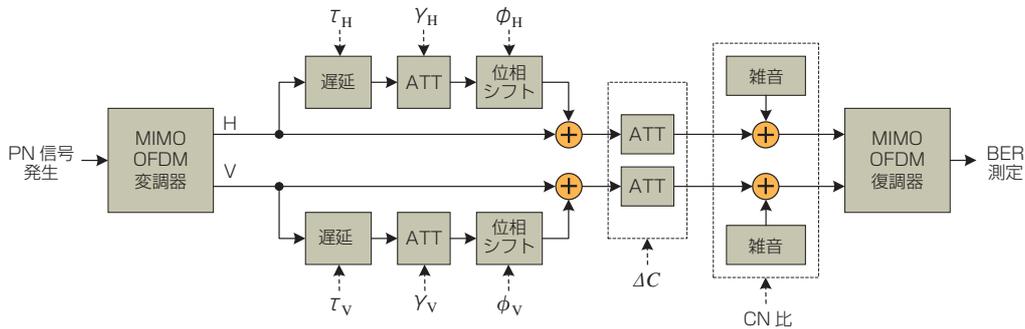
実際には、OFDM 信号の AC (Auxiliary Channel) と TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control) のキャリアを使って、MIMO 検出した後の水平偏波と垂直偏波の受信信号の伝送帯域全体の雑音電力 σ_H^2, σ_V^2 を測定した。次に、水平偏波と垂直偏波の受信信号の i 番目のキャリアの雑音電力 $\hat{\sigma}_{H_i}^2, \hat{\sigma}_{V_i}^2$ をそれぞれ (5) 式と (6) 式で求めた。

$$\hat{\sigma}_{H_i}^2 = \frac{|w_{HHi}|^2 + |w_{HVi}|^2}{E(|w_{HHi}|^2 + |w_{HVi}|^2)} \sigma_H^2 \quad \text{————— (5)}$$

$$\hat{\sigma}_{V_i}^2 = \frac{|w_{VHi}|^2 + |w_{VV_i}|^2}{E(|w_{VHi}|^2 + |w_{VV_i}|^2)} \sigma_V^2 \quad \text{————— (6)}$$



4図 MIMO検出のブロック図



5図 計算機シミュレーションの系統

ここで、 w_{HHi} 、 w_{HVi} 、 w_{VHi} 、 w_{VVi} は (7)式に示す i 番目のキャリアーに関する一般化逆行列 H_i^+ の各要素で、 $E(\cdot)$ は消失キャリアーを除く全キャリアーについての相加平均である。

$$H_i^+ = \begin{bmatrix} w_{HHi} & w_{HVi} \\ w_{VHi} & w_{VVi} \end{bmatrix} \quad \text{————— (7)}$$

本手法におけるMIMO検出のブロック図を4図に示す。一般的なZFアルゴリズムの演算過程で生じる途中結果を利用して、消失キャリアーの判定、キャリアーごとの信頼度を反映したLLRを算出している。

4. 伝送特性の評価

消失キャリアー処理とキャリアーの信頼度を反映したLLRを算出する方法を提案法、消失キャリアー処理とLLRの算出にキャリアーの信頼度を反映しない方法を従来法とする。従来法では、全キャリアーの信頼度が一定であると仮定して、全てのビットのLLRを算出した。

4.1 シミュレーションの諸元

計算機シミュレーションの系統を5図に示す。水平・垂直の両偏波にマルチパス妨害をそれぞれ1波加え、BERを算出して伝送特性の評価を行った。マルチパス妨

害波の遅延時間 τ 、DU比 γ 、位相差 ϕ および水平偏波と垂直偏波の受信電力の比 ΔC をパラメータとし、水平偏波と垂直偏波の受信信号にそれぞれ同じ電力の雑音を付加した。前述したように、パラメータの下付きの添え字のHは水平偏波、Vは垂直偏波を表す。また、CN比は水平・垂直の両偏波で受信した全受信電力に対する全雑音電力とした。シミュレーションに用いた伝送パラメータを1表に示す。伝送路応答行列の推定に使用するパイロット信号の比率をISDB-Tと同じ8.3%とし、MIMO伝送用のパイロット信号¹⁾*5を使用した。また、LDPC符号の繰り返し復号回数はAWGN環境で誤り訂正効果が飽和する50回とした。

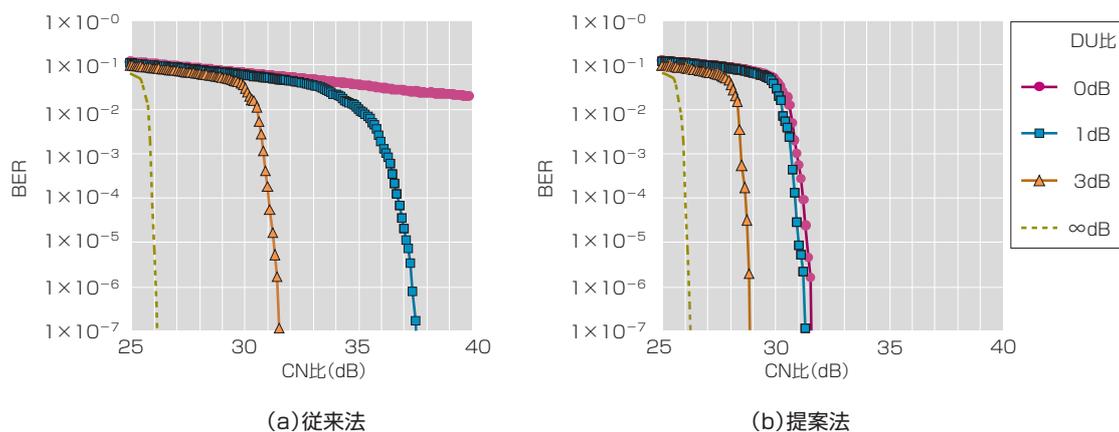
4.2 BER特性

受信電力比 ΔC を 0 dB、遅延時間 τ_H 、 τ_V を共にGI (Guard Interval) 内の $120\mu s$ 、位相差を $\phi_H = \phi_V$ 、DU比を $\gamma_H = \gamma_V$ とした場合の1波マルチパス環境におけるBER特性を6図に示す。提案法と従来法を比較すると、マルチパス妨害がない環境 (DU比: ∞ の場合) ではBER特性は同じであるが、DU比が小さくなるに従って、提案法の改善効果の方が大きくなっている。従来法ではマルチパス妨害を受けて信頼度が低くなったLLRがLDPC符号の

*5 水平偏波と垂直偏波の伝送路応答を推定するための2直交パイロット信号。

1表 伝送パラメーター

帯域幅 (MHz)	5.57
キャリア変調	1024QAM
FFTサイズ	8k (ISDB-T モード3)
GI比	1/8 (126 μ s)
FEC	LDPC符号 符号長: 64,800, 符号化率: 3/4 繰り返し復号回数: 50回
パイロット信号の比率 (%)	8.3
伝送容量 (Mbps)	約65.8 (両偏波)



6図 1波マルチパス環境のBER特性

復号特性を劣化させているが、提案法では信頼度が低い LLRを0とするとともにキャリアの信頼度を反映した LLRを算出しているため復号特性の劣化が軽減されていると考えられる。なお、提案法では消失判定のしきい値 K を 1.0×10^{-3} とした。

4.3 しきい値 K の検討

提案法における消失判定のしきい値 K の値を検討するために、位相差が $\phi_H = \phi_V$ または $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$ の場合の所要 CN比の評価を行った。所要 CN比は QEF (Quasi Error Free: 擬似エラーフリー) となる LDPC 符号の復号後の BER が 1.0×10^{-7} 以下となる CN比とした。

受信電力比 ΔC を 0 dB, 遅延時間 τ_H, τ_V を共に 120μ s, DU比 γ_H, γ_V を共に 0 dB とした場合のしきい値 K と所要 CN比の関係を図 7 に示す。

図 7 は、 $\phi_H = \phi_V$ の場合には、しきい値 K を大きくするほど所要 CN比が高くなることを示している。しきい値 K を大きくするほど消失キャリアが増加し、強制的に 0 にする LLR の数が増加し、破棄される情報が増加するので、伝送特性が悪くなっていると推測される。

一方、 $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$ の場合には、しきい値 K の両端で所要 CN比が高くなる特性になる。 $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$ の場

合には、伝送路応答行列の対角成分 h_{HH} と h_{VV} が 3 図 (a) のようになり、しきい値 K を極端に小さな値にすると、 h_{HH} または h_{VV} の一方だけが大きいキャリアが消失キャリアと判定されなくなる。 h_{HH} または h_{VV} の一方だけが大きいキャリアの場合には、MIMO 検出に伴って雑音急速に大きくなるので、LLR に大きな誤差が含まれるようになり、LDPC 符号の復号特性を劣化させる要因になったと考えられる。

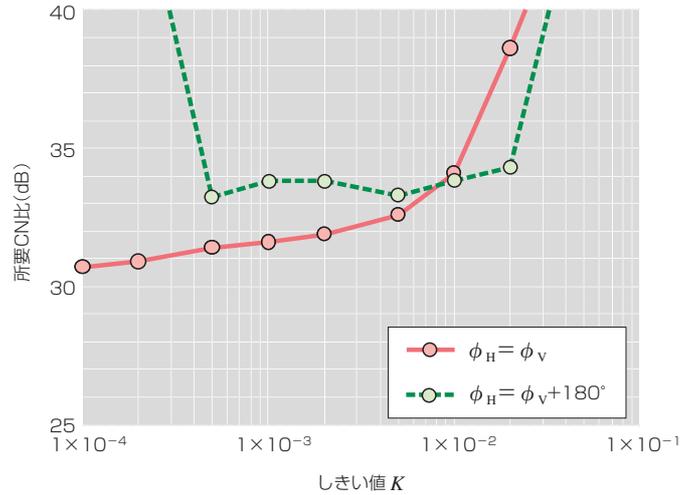
以上のことを考慮して、シミュレーションではしきい値 K を 1.0×10^{-3} とした。

4.4 マルチパス妨害波の DU比に対する所要 CN比

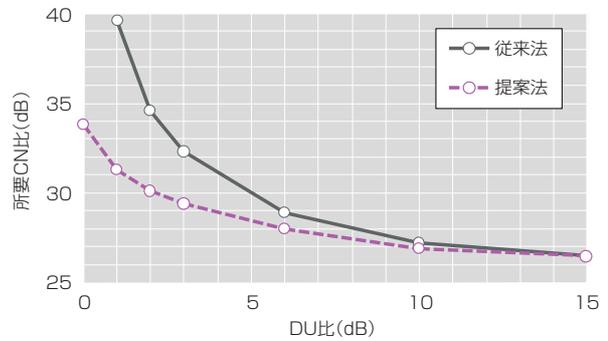
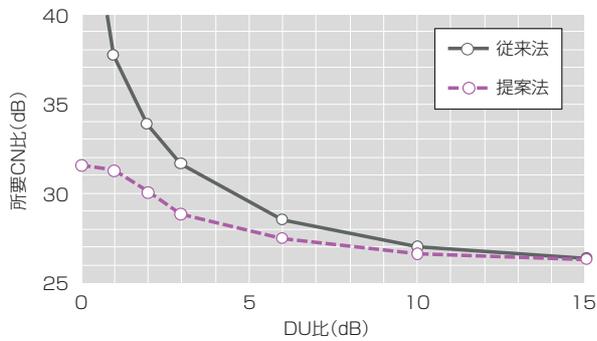
1 波マルチパス環境において、マルチパスの DU比に対する所要 CN比を受信電力比 ΔC が 0 dB と 6 dB の場合で評価する。シミュレーションでは、遅延時間 τ_H, τ_V を共に 120μ s, 位相差を $\phi_H = \phi_V$ または $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$, DU比を $\gamma_H = \gamma_V$, 消失判定のしきい値 K を 1.0×10^{-3} とした。

図 8 に ΔC が 0 dB の場合の結果を示す。図 8 は、 $\phi_H = \phi_V$ または $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$ のいずれの場合においても、DU比が小さいほど提案法による所要 CN比の改善効果が大きいことを示している。

図 9 に ΔC が 6 dB の場合の結果を示す。図 9 は、水平



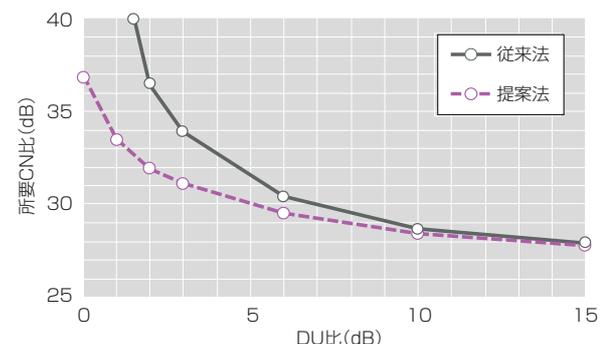
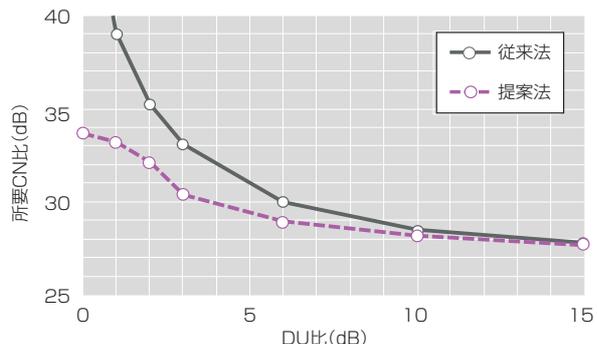
7図 しきい値 K に対する所要CN比



(a) $\phi_H = \phi_V$

(b) $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$

8図 DU比に対する所要CN比 (ΔC が0dBの場合)



(a) $\phi_H = \phi_V$

(b) $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$

9図 DU比に対する所要CN比 (ΔC が6dBの場合)

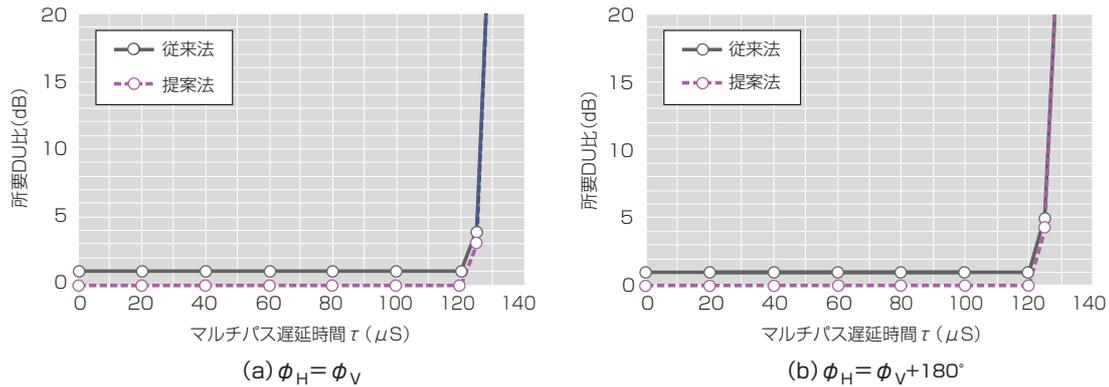
偏波と垂直偏波の受信電力に差がある環境においても提案法が有効であることを示している。

4.5 マルチパス妨害波の遅延時間に対する所要DU比

1波マルチパス環境におけるマルチパス妨害波の遅延時間に対する所要DU比を検討する。なお、CN比を40dB

としてLDPC符号の復号後のBERが 1.0×10^{-7} 以下となるマルチパス妨害波のDU比の最小値を所要DU比と定義する。

受信電力比 ΔC を 0 dB, 遅延時間を $\tau_H = \tau_V$, 位相差を $\phi_H = \phi_V$ または $\phi_H = \phi_V + 180^\circ$, DU比を $\gamma_H = \gamma_V$, 消失判定のしきい値 K を 1.0×10^{-3} とした場合のマルチパス妨害



10図 マルチパス妨害波の遅延時間に対する所要DU比

波の遅延時間に対する所要DU比を10図に示す。

10図は、位相差にかかわらずキャリア変調方式が1024QAMの偏波MIMO-超多値OFDM伝送の所要DU比は従来法では1 dBであるが、提案法では0 dBにおいてもQEFを達成できる可能性があることを示している。

5. おわりに

誤り訂正符号にLDPC符号を用いた偏波MIMO-超多値OFDMのマルチパス環境における伝送特性を計算機シミュレーションを行って評価した。その結果、キャリア変調方式が1024QAMの偏波MIMO-超多値OFDMにお

いて、DU比が0 dBのマルチパス環境においてもQEFが達成できる可能性を見いだした。今後、野外実験を行い、実際の伝送路の特性を評価する予定である。

本稿は映像情報メディア学会技術報告に掲載された以下の論文を元に加筆・修正したものである。

藤, 村山, 田口, 朝倉, 渋谷: “次世代地上放送に向けた伝送技術—LDPC符号を用いた偏波MIMO-超多値OFDM伝送のマルチパス環境での特性とその改善手法—,” 映情学技報, Vol.36, No.15, BCT2012-49, pp.1-6 (2012)

参考文献

- 1) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷: “次世代地上放送に向けた伝送技術—スーパーハイビジョンの地上放送を目指して—,” 映情学技報, Vol.34, No.36, pp.37-40 (2010)
- 2) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷: “偏波共用八木アンテナの試作と伝搬実験結果,” 映情学年次大, 15-3 (2010)
- 3) 朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷: “次世代地上放送に向けた大容量伝送技術—4096QAM-OFDMの伝送特性—,” 映情学技報, Vol.35, No.10, pp.43-46 (2011)
- 4) M. Taguchi, K. Murayama, T. Shitomi, S. Asakura and K. Shibuya: “Field Experiments on Dual-polarized MIMO Transmission with Ultra-multilevel OFDM Signals toward Digital Terrestrial Broadcasting for the Next Generation,” IEEE BMSB2011, MM11-13 (2011)
- 5) T. Shitomi, K. Murayama, M. Taguchi, S. Asakura and K. Shibuya: “Technology for Next-generation Digital Terrestrial Broadcasting—Field Experiments of Dual-polarized MIMO-OFDM Transmission Using LDPC Codes,” IEEE BMSB2012, MM12-16 (2012)
- 6) 朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷: “次世代地上放送に向けた伝送技術—多次元インターリーブの一検討—,” 映情学技報, Vol.36, No.6, pp.53-58 (2012)
- 7) ETSI EN 302 755 V1.1.1, “Digital Video Broadcasting (DVB) ; Frame Structure Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)” (2009)



しどみ たくや
部 拓也

2005年入局。大阪放送局を経て、2009年から放送技術研究所において、次世代地上放送に向けた無線伝送技術の研究に従事。現在、放送技術研究所放送ネットワーク部に所属。

スーパーハイビジョンの地上波伝送実験

田口 誠

Terrestrial Transmission Test of Super Hi-Vision

Makoto TAGUCHI

要約

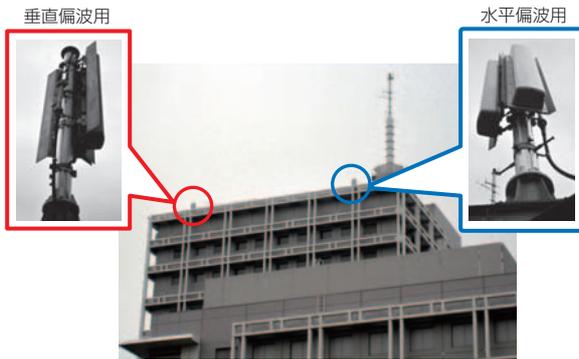
当所では、スーパーハイビジョン（SHV：Super Hi-Vision）などの大容量コンテンツのサービスを地上波で実現するために、大容量伝送技術の研究開発を進めている。これまでに、現行の地上デジタル放送の伝送方式であるISDB-T（Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial）を基本として、偏波MIMO（Multiple-Input Multiple-Output：マルチ入力・マルチ出力）技術と超多値OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing：直交周波数分割多重）技術を適用した新たな伝送方式を検討してきた。本稿では、まず、誤り訂正符号にLDPC（Low Density Parity Check：低密度パリティ検査）符号とBCH（Bose-Chaudhuri-Hocquenghem）符号を適用した試作変復調器を用いて、当所の周辺の市街地で実施した野外伝送実験の結果を報告する。次に、UHF帯の2つのチャンネルを同時に用いるバルク伝送技術を組み合わせて伝送容量を更に拡大し、圧縮・符号化したスーパーハイビジョン信号を地上波で伝送した野外実験の結果を報告する。

ABSTRACT

NHK STRL is conducting research on large-capacity transmission technology using terrestrial waves to enable large-volume content services such as Super Hi-Vision. We have studied a new transmission system based on a conventional digital terrestrial television broadcasting system, ISDB-T, that uses dual-polarized MIMO and ultra-multilevel OFDM. First, this paper describes field experiments conducted around the NHK STRL building (an urban area) using a prototype modulator and demodulator applying LDPC code and BCH code to FEC (Forward Error Correction). Next, it describes a terrestrial transmission field experiment with an encoded and compressed Super Hi-Vision signal in which transmission capacity was greatly increased by applying a bulk transmission scheme using two channels in the UHF band.

1表 送受信設備の諸元

送信周波数 (MHz)	599.142857 (34ch)
送信出力 (W)	水平偏波：1, 垂直偏波：1
送信アンテナ	4L型双ループアンテナ 1段2面
送信アンテナの地上高 (m)	74
受信アンテナ	偏波共用8素子八木アンテナ
受信アンテナの地上高 (m)	10

1図 送信アンテナの位置と外観
(4L型双ループアンテナ (1段2面))

1. はじめに

当所では、あたかも自分がある場にいるような没入感や臨場感を再現することのできる次世代の高臨場感テレビジョン放送の実現を目指して、スーパーハイビジョンの研究開発を進めている。スーパーハイビジョンは、画素数が従来のハイビジョンの16倍の超高精細映像と22.2マルチチャンネルの3次元音響で構成される映像・音響システムである。スーパーハイビジョンなどの大容量コンテンツのサービスを地上波で実現するためには、高効率な大容量伝送技術の開発が必要不可欠である。

当所では、これまでに、現行の地上デジタル放送方式であるISDB-Tを基本として、キャリア変調の多値数を拡大し、水平・垂直の両偏波を同時に使用する偏波MIMO技術を導入することで、伝送容量を大幅に拡大する研究^{1)~7)}を行ってきた。また、UHF帯の2つのチャンネルを同時に使用するパルク伝送技術を組み合わせることで伝送容量を更に拡大し、圧縮・符号化されたスーパーハイビジョン信号を地上波伝送する野外実験に世界で初めて成功した。本稿では、偏波MIMO-超多値OFDMの野外伝送実験の結果とスーパーハイビジョンの地上波伝送実験の結果を報告する。

2. 野外伝送実験

偏波MIMO-超多値OFDMの市街地での伝送特性を解明するために、PN (Pseudo-random Noise: 擬似ランダム

2図 受信アンテナの外観
(偏波共用8素子八木アンテナ)

雑音) 信号を使って野外伝送実験を実施した。

2.1 送受信設備の諸元

送受信設備の諸元を1表に示す。送信周波数は599.142857MHz (34ch)、送信出力は水平偏波・垂直偏波共に1Wである。

当所の屋上に既設の2基の送信アンテナを利用して水平偏波と垂直偏波の電波を別々に送信した。送信アンテナの位置と外観を1図に示す。1図に示すように、送信アンテナの位置は同じ建物の屋上ではあるが、厳密な意味での同一場所ではない。送信アンテナの形式は両偏波共に4L型双ループアンテナ (1段2面) で、送信アンテナの地上高は74mである。

受信アンテナには水平偏波と垂直偏波を同時に受信できる偏波共用8素子八木アンテナを使用した。受信アンテナの外観を2図に示す。受信アンテナの利得は水平偏波側が9.2dBd^{*1}、垂直偏波側が10.3dBd、交差偏波識別度^{*2}は正面方向で20dB以上である。また、受信アンテナの地上高は10mである。

2.2 伝送パラメーター

実験で使用した伝送パラメーターを2表に示す。伝送周波数帯域幅は5.57MHz、キャリア変調方式は256QAM, 1024QAM, 4096QAMの3種類、FFTサイズは8k (8,192) ポイント、キャリア数は5,617本、ガードインターバルは126 μ s、ガードインターバル比は1/8、内符号には符号長が64,800ビットの非正則LDPC符号^{*3}を使用し、符号化率を3/4とした。また、外符号にはBCH符号を使用した。キャリア変調方式が4096QAMの場合の最大伝送容量は片偏波当たり39.5Mbps、両偏波で78.9Mbps

*1 半波長ダイポールアンテナを基準としたアンテナ利得。

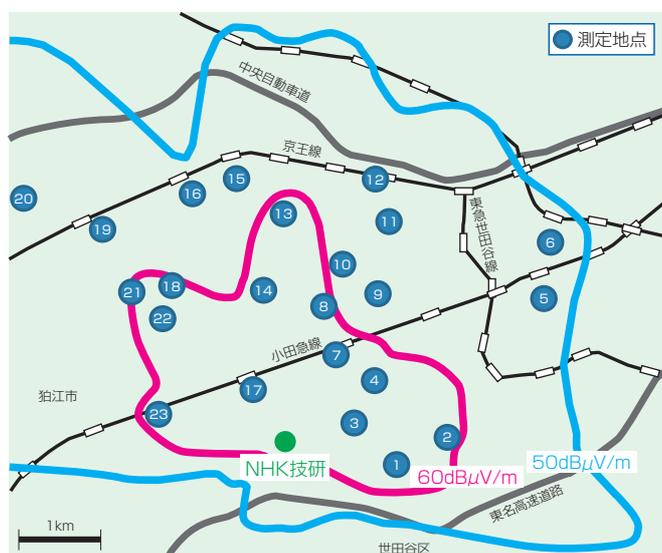
*2 水平偏波と垂直偏波の分離度。例えば、水平偏波用のアンテナに混入する垂直偏波の受信電力が-20dB以下の場合を交差偏波識別度が20dB以上であると言う。

*3 各行の1の数 (行重み) と各列の1の数 (列重み) が一定ではない検査行列を持つLDPC符号。

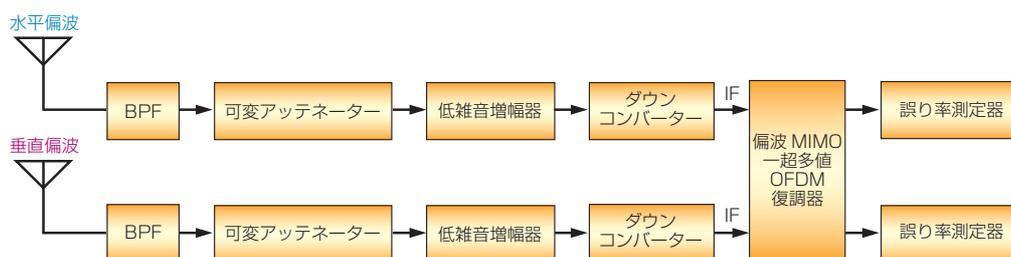
2表 実験で使用した伝送パラメーター

伝送パラメーター	
周波数帯域幅 (MHz)	5.57
キャリア変調方式	256QAM, 1024QAM, 4096QAM
FFTサイズ	8k (キャリア数: 5,617)
ガードインターバル (μ s)	126
ガードインターバル比	1/8
FEC* (誤り訂正)	内符号 非正則LDPC符号 (符号長: 64,800, 符号化率: 3/4)
	外符号 BCH符号
伝送容量 (Mbps)	39.5 (4096QAM, 片偏波使用) 78.9 (4096QAM, 両偏波使用)
測定地点数	23

* Forward Error Correction。



3図 測定地点の位置



4図 受信系統図

である。なお、水平偏波と垂直偏波をそれぞれ異なるPN信号で変調した。

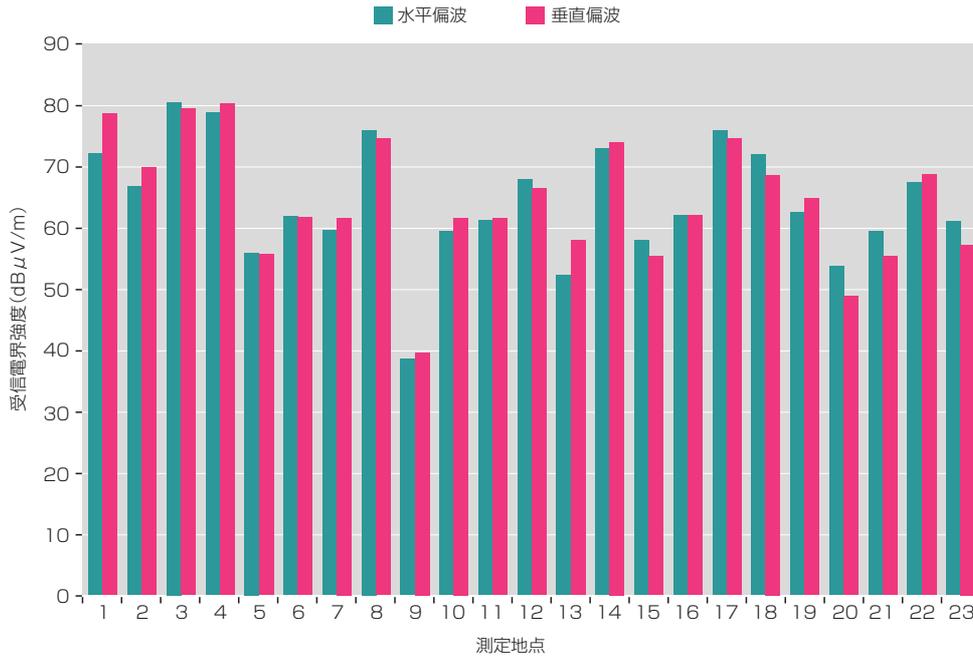
2.3 測定地点

水平偏波の電界強度が $50\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 以上と推定される地域で、長時間の測定が可能な当所周辺の23か所を測定地点とした。測定地点を3図に示す。3図中のNHK技研が送信点である。青線が水平偏波の電界強度が $50\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$

と推定される線、赤線が電界強度 $60\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ と推定される線であり、青丸が測定地点である。23か所の測定地点はいずれも市街地にあり、送受信点間の距離は $0.9\text{km}\sim 4.6\text{km}$ である。

2.4 実験系統

変調器から出力された水平偏波用と垂直偏波用の2つの変調波を2基の送信アンテナから送信し、1基の偏波



5図 各測定地点における受信電界強度

共用八木アンテナで受信した。4図に受信系統を示す。受信アンテナから出力される2系統の受信信号をそれぞれBPF(Band-Pass Filter)で帯域制限し、可変アッテネーター(減衰器)で減衰させた後、低雑音増幅器で増幅し、ダウンコンバーターでIF(Intermediate Frequency: 中間周波数)信号に変換した。2系統のIF信号を偏波MIMO—超多値OFDM復調器に入力して復調・復号処理を行い、復調器から出力される偏波ごとのビットストリームの誤り率(BER: Bit Error Rate)を誤り率測定器で測定した。測定地点ごとに受信電界強度、LDPC復号後のBER、所要電界強度(LDPC復号後のビット誤り率が 1×10^{-7} 以下で、BCH復号後に擬似エラーフリー(QEF: Quasi Error Free)となる最小の受信電界強度)の測定および伝送路の見通し確認を実施した。

2.5 実験結果

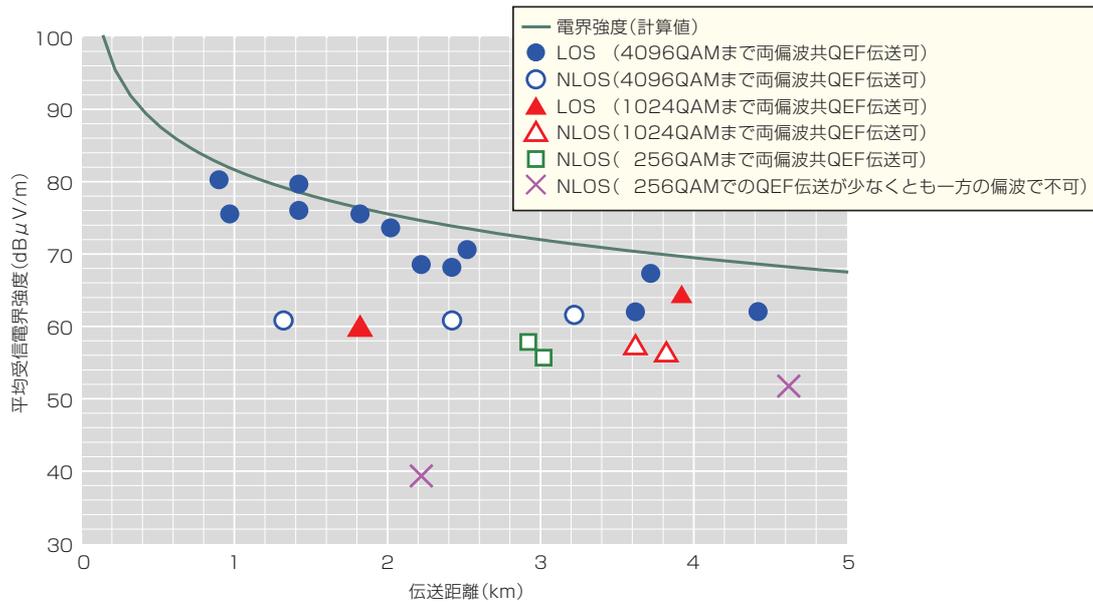
23か所の測定地点における受信電界強度の測定結果を5図に示す。横軸が測定地点、縦軸が受信電界強度である。5図から、受信電界強度は $40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m} \sim 80\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ の範囲にあり、水平偏波と垂直偏波の受信電界強度の差は最大で6.5dBであることなどが分かる。なお、23か所の測定地点のうち、伝送路が見通し(LOS: Line of Sight)である地点は14か所、見通し外(NLOS: Non Line of Sight)である地点は9か所であった。また、測定地点9は建物の陰であったので受信電界強度が極端に小さくなった。

水平偏波と垂直偏波の受信電界強度の平均を平均受信電

界強度とし、6図に伝送距離と平均受信電界強度の関係を示す。横軸が伝送距離、縦軸が平均受信電界強度である。伝送路がLOS環境の12か所(●)では4096QAMまで水平偏波・垂直偏波共QEF伝送が可能であり、2か所(▲)では1024QAMまで水平偏波・垂直偏波共QEF伝送が可能であった。一方、伝送路がNLOS環境であっても、3か所(○)では4096QAMまでQEF伝送が可能であり、2か所(△)では1024QAMまでQEF伝送が可能であった。また、NLOS環境の2か所(□)では256QAMでのQEF伝送が可能であり、2か所(×)では、256QAMでの伝送も不可能であった。6図の実線は伝搬損失が自由空間損失だけであると仮定して計算した受信電界強度(以下、計算電界強度)である。伝送路がLOS環境の14か所の平均受信電界強度は計算電界強度にほぼ近いが、伝送路がNLOS環境の9か所の平均受信電界強度は計算電界強度よりも10dB以上小さいことが分かる。

3表に水平偏波・垂直偏波共QEF伝送が可能である測定地点の数をキャリア変調方式ごとにまとめた。このように、NLOS環境においても、受信電界強度が高い場合には、4096QAMでQEF伝送が可能であることが確認できた。

23か所の測定地点で、各偏波の受信アンテナ出力に挿入している可変アッテネーターを変化させて、偏波ごとにLDPC復号後のBERを測定し、キャリア変調方式ごとに所要電界強度を求めた。4表に測定した所要電界強度の平均値を示す。256QAMの場合には22地点の水平偏波と



6図 伝送距離と平均受信電界強度の関係および受信の可否

3表 水平偏波・垂直偏波共QEF伝送が可能な測定地点の数

キャリアー変調方式	LOS環境 (14か所中)	NLOS環境 (9か所中)
4096QAM	12	3
1024QAM	14	5
256QAM	14	7

4表 キャリヤー変調方式ごとの平均所要電界強度

キャリアー変調方式	平均所要電界強度 (dBμV/m)
256QAM	46.2
1024QAM	51.3
4096QAM	56.7

21地点の垂直偏波の所要電界強度の平均値であり、1024QAMの場合には水平偏波・垂直偏波共20地点の所要電界強度の平均値である。また、4096QAMの場合には19地点の水平偏波と16地点の垂直偏波の所要電界強度の平均値である。4表は所要電界強度の平均値はキャリアー変調方式が256QAMの場合には46.2dBμV/m、1024QAMの場合には51.3dBμV/m、4096QAMの場合には56.7dBμV/mであることを示している。

このように、マルチパスがある程度存在する市街地の伝搬環境においても偏波MIMO-超多値OFDM伝送でQEF伝送が可能であることが確認できた。

3. スーパーハイビジョンの地上波伝送実験

UHF帯の1つのチャンネルで、偏波MIMO-超多値

OFDM伝送した場合の伝送容量は78.9Mbpsであり、スーパーハイビジョンを高画質に伝送することはできない。そこで、偏波MIMO-超多値OFDM技術の他に、UHF帯の2つのチャンネルを同時に使用するバルク伝送技術を組み合わせて、伝送容量が2倍以上(183.6Mbps)の伝送装置を試作した。伝送容量を拡大するために、FFTサイズを32k(32,768)ポイントに拡大するとともに、伝送パラメーターの最適化を行った。また、試作した伝送装置には偏波間インターリーブを実装し、偏波間の受信特性の差によって生じる伝送特性の劣化を改善した*4。更に、バルク伝送用に1つのSHV-TS(Transport Stream)信号を2つのTS信号に分割・合成するTS分割・合成装置を開発した。試作した伝送装置を用いて、圧縮・符号化したスーパーハイビジョン信号(182Mbps)を地上波伝送する野外実験を行った。

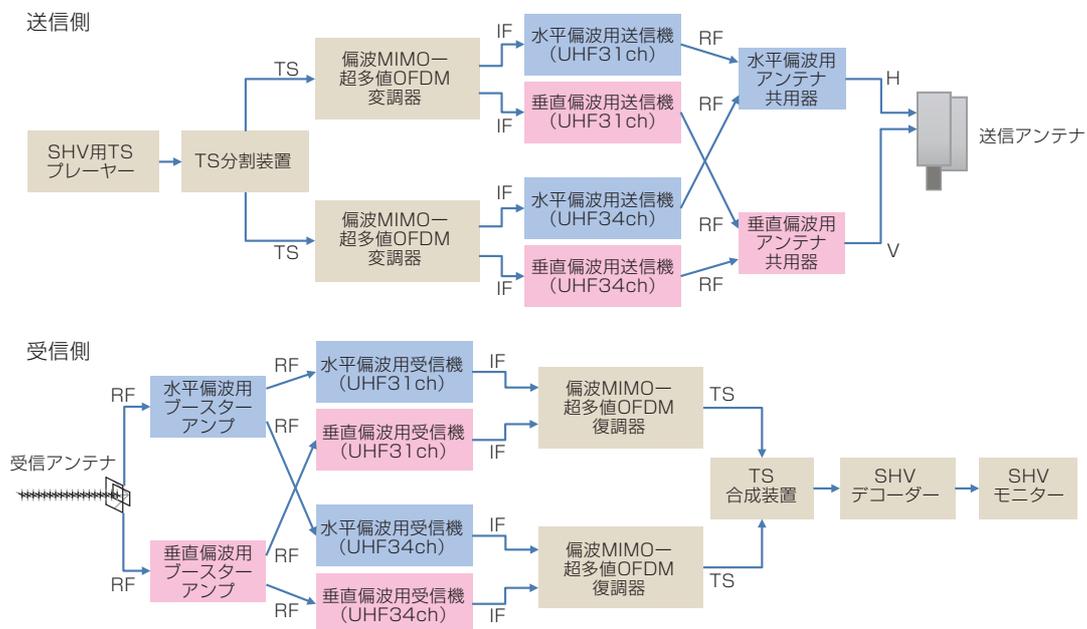
3.1 偏波共用送信アンテナ

1基で水平・垂直の両偏波を同時に送信できる偏波共用送信アンテナを試作し、当所の屋上に設置した。実験に使用した偏波共用送信アンテナの外観を7図に示す。防

*4 本特集号の報告「偏波間伝送路特性差による特性劣化の改善策」を参照。



7図 偏波共用送信アンテナの外観



8図 スーパーハイビジョンの地上波伝送実験の系統

雪カバーの内側には、水平偏波用と垂直偏波用のダイポール素子をそれぞれ多段に配置しており、現行の地上デジタル放送の中継局で使用されている双ループアンテナ（4ループ形）と同等の利得と指向性を得ている。また、水平面内の約150°の範囲で25dB以上の交差偏波識別度が得られている。

3.2 TS分割・合成装置

1つのSHV-TS信号を2つのチャンネルを使用してパルク伝送を行うためには、SHV-TS信号を2系統のTS信号に分割して伝送し、受信後に合成して元の1系統のSHV-TS信号に復元する装置が必要である。そのために、TS分割装置とTS合成装置を新たに開発した。

3.3 実験の系統

8図にスーパーハイビジョンの地上波伝送実験の系統を示す。8図の上段が送信側で、下段が受信側である。送信側では、あらかじめ圧縮・符号化して生成したSHV-TS信号をSHV-TSプレーヤーで再生し、TS分割装置に入力した。TS分割装置は入力されたSHV-TS信号を2系統のTS信号に分割し、それぞれを偏波MIMO-超多値OFDM変調器でIF帯の信号に変調した。次に、4系統の変調信号をそれぞれの送信機でUHF31ch, 34chのRF（Radio Frequency：無線周波数）信号に変換し、規定の送信出力1Wに電力増幅した。RF信号の2系統の水平偏波と2系統の垂直偏波をそれぞれアンテナ共用器で合成

5表 SHV伝送実験の諸元

キャリア変調方式	4096QAM
FFTサイズ	32k (キャリア数: 22,465)
ガードインターバル (μ s)	126
ガードインターバル比	1/32
誤り訂正方式	LDPC (符号化率: 3/4) + BCH
インターリーブ	ビット, 周波数, 時間, 偏波間
2チャンネルでの伝送容量 (Mbps)	183.6
送信出力 (W)	31ch (H): 1 31ch (V): 1 34ch (H): 1 34ch (V): 1
送信周波数 (MHz)	581.142857 (UHF 31ch) 599.142857 (UHF 34ch)
映像符号化方式	MPEG-4 AVC/H.264
圧縮符号化後のTSLレート (Mbps)	182

6表 SHV伝送実験諸元

チャンネル	31ch		34ch	
	水平	垂直	水平	垂直
電界強度 (dB μ V/m)	62.1	58.9	60.0	58.0
MER (dB)	42.1	39.5	38.7	35.7

して、当所の屋上に設置した偏波共用送信アンテナから送信した。

受信側では、1基の偏波共用八木アンテナで水平・垂直の両偏波を同時に受信した。受信アンテナから出力される2系統の受信信号(RF信号)をブースターアンプで増幅し、それぞれを2分配した後、各チャンネルの受信機に入力して4系統のIF信号に変換した。4系統のIF信号を各チャンネル用の偏波MIMO-超多値OFDM復調器で復調・復号しTS信号に変換した。復調器から出力された2系統のTS信号をTS合成装置で1系統のSHV-TS信号に変換し、SHVデコーダーでSHV映像信号に変換した。

3.4 実験の諸元

5表にSHV地上波伝送実験の諸元を示す。試作した伝送装置の伝送容量(2チャンネルで183.6Mbps)以下になるように、スーパーハイビジョンの映像信号をMPEG-4 AVC/H.264方式で182Mbpsに圧縮・符号化した。当所の屋上に試作した多段ダイポール型の偏波共用送信アンテナを設置して試験電波を放射した。アンテナの送信高は地上高で74mである。

受信点は送信点から北北西に4.2km離れた建物の屋上で、偏波共用8素子八木アンテナで受信した。送受信点間の伝搬路は市街地であり、受信点から見た送信点の方向には樹木があったので準見通し伝搬であった。

3.5 実験結果

受信点で電界強度と受信信号の変調誤差比(MER: Modulation Error Ratio)*5を測定した。結果を6表に示す。各チャンネル、各偏波の電界強度はいずれも約60 dB μ V/mである。一方、MERの値は34chの垂直偏波だけが特に低い。これは、送信点方向に近い方向から到来する地上デジタル放送の放送波が、同一チャンネルの干渉波として受信されることが原因と考えられる。このように、同一チャンネル干渉が存在する伝搬環境ではあったが、SHVデコーダーから誤りの無い安定したSHV映像信号が出力されることが確認できた。

4. おわりに

スーパーハイビジョンのサービスが可能な次世代地上テレビジョン放送を実現するために大容量伝送技術の研究開発を進めてきた。既に開発していた偏波MIMO-超多値OFDM伝送技術と、UHF帯の2つのチャンネルを用いるバルク伝送技術を組み合わせてスーパーハイビジョンの地上波伝送実験を実施した。実験では、FFTサイズを32kポイントに拡大するとともに、誤り訂正符号にLDPC符号とBCH符号を用いた。また、偏波間の受信特性の差によって生じる伝送特性の劣化を改善する偏波間インターリーブを実装するとともに、TS分割・合成装置を試作し、SHV-TS信号を2系統のTS信号に分割して伝送した。実験の結果、送信点から4.2km離れた準見通し環境の市街地において、SHV映像を誤り無く安定に受信できることが確認できた。今後、測定地点数を増やし、さまざまな伝送路での特性を詳細に解析する予定である。

*5 コンスタレーション上の理想点の電力と受信信号の理想点からのずれの電力の比。受信状態が良いほど大きな値になる。

本稿は IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB 2012) と映像情報メディア学会技術報告に掲載された以下の論文を元に加筆・修正したものである。

T. Shitomi, K. Murayama, M. Taguchi, S. Asakura and K. Shibuya : “Technology for Next-generation Digital Terrestrial Broadcasting—Field Experiments of Dual-

polarized MIMO – OFDM Transmission using LDPC Codes—,” IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB 2012), mm 12-016 (2012)

村山, 田口, 薮, 朝倉, 渋谷 : “次世代地上放送に向けた伝送技術—UHF帯の2つのチャンネルを用いたSHV伝送実験—,” 映情学技報, Vol.36, No.30, BCT2012-64, pp.17-20 (2012)

参考文献

- 1) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷 : “次世代地上放送に向けた伝送技術—スーパーハイビジョンの地上伝送を目指して—,” 映情学技報, Vol.34, No.35, BCT2010-67, CE2010-37, pp.37-40 (2010)
- 2) 村山, 田口, 薮, 濱住, 渋谷 : “偏波共用八木アンテナの試作と伝搬実験結果,” 映情学技報, 2010映情学年大, 15-13 (2010)
- 3) 朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷 : “次世代地上放送に向けた大容量伝送技術—4096QAM-OFDMの伝送特性—,” 映情学技報, Vol.35, No.10, BCT2011-40, pp.43-46 (2011)
- 4) 薮, 村山, 田口, 朝倉, 渋谷 : “次世代地上放送に向けた伝送技術—円・斜め偏波を用いた偏波MIMO伝送実験—,” 映情学技報, Vol.35, No.13, BCT2011-41, pp.1-4 (2011)
- 5) M.Taguchi,K.Murayama,T.Shitomi, S.Asakura and K.Shibuya : “Field Experiments on Dual-polarized MIMO Transmission with Ultra-multilevel OFDM Signals toward Digital Terrestrial Broadcasting for the Next Generation,” IEEE BMSB2011, MM11-13 (2011)
- 6) 朝倉, 村山, 田口, 薮, 渋谷 : “次世代地上放送に向けた伝送技術—多次元インターリーブの一検討—,” 映情学技報, Vol.36, No.6, BCT2012-25, pp.53-58 (2012)
- 7) 薮, 村山, 田口, 朝倉, 渋谷 : “次世代地上放送に向けた伝送技術—LDPC符号を用いた偏波MIMO—超多値OFDM伝送のマルチパス環境での特性とその改善手法—,” 映情学技報, Vol.36, No.15, BCT2012-49, pp.1-6 (2012)



たぐち まこと
田口 誠

2001年入局。長崎放送局を経て、2005年から放送技術研究所において、ワンセグ、地上デジタル放送の研究に従事。現在、放送技術研究所放送ネットワーク研究部。

時空間符号化を用いた移動受信用のMIMO-OFDM伝送技術

成清善一 高田政幸

MIMO-OFDM Transmission Technology for Mobile Reception Using Space Time Block Code

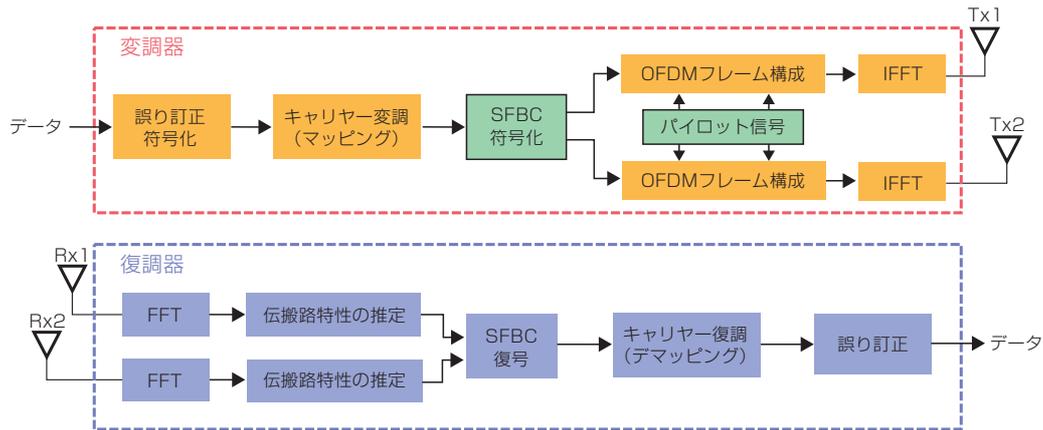
Yoshikazu NARIKIYO, Masayuki TAKADA

要約

次世代の地上デジタル放送の伝送方式の開発においては、現行のISDB-Tと同様に移動受信用と固定受信用の階層伝送が可能で、移動受信用でハイビジョン放送ができるシステムを目指している。そのために、複数の送受信アンテナを用いるMIMO (Multiple-Input Multiple-Output: マルチ入力・マルチ出力) -OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: 直交周波数分割多重) 伝送方式の検討を行っている。MIMO伝送方式においては、各送信アンテナから各受信アンテナまでの伝搬路特性を個別に推定する必要がある。今回、直交化SP (Scattered Pilot) 信号を用いて伝搬路特性を個別に推定する場合の移動受信特性を、計算機シミュレーションを行って検討したので報告する。送信アンテナ2本、受信アンテナ2本の 2×2 MIMO-OFDMの所要CN比は送信アンテナ2本、受信アンテナ1本の 2×1 MISO (Multiple-Input Single-Output: マルチ入力・シングル出力) -OFDMの所要CN比より4 dB改善されること、畳み込み符号の代わりにターボ符号を用いると更に3 dB改善されることなどが確認できた。

ABSTRACT

We are developing a next-generation terrestrial television broadcasting system for handheld and mobile reception of HDTV and examining a MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) -OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system using two transmission antennas and two receiving antennas. In the case of the MIMO system, the channel responses from each transmission antenna to each reception antenna must be estimated. This paper describes a computer simulation of reception performance in dynamic environments using Walsh code for the scattered pilot. Compared with the MISO (Multiple-Input Single-Output) system, the MIMO system improved the required C/N by 4 dB and the use of turbo code instead of convolutional code improved it by 3 dB.



1 図 2×2MIMO-OFDMの変復調器の構成

1. はじめに

2012年3月31日に東北3県を含む日本全国で、地上アナログテレビジョン放送が終了し、地上デジタルテレビジョン放送(ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial)¹⁾へ完全に移行した。現行のISDB-Tでは、1つのチャンネルで移動受信用のワンセグと固定受信用のハイビジョンが同時に放送可能である。

当所では、次世代の地上デジタル放送として、移動受信用にハイビジョンを、固定受信用にスーパーハイビジョンを放送できる伝送方式の研究・開発を進めている。本稿では、次世代の移動受信用の伝送方式に関する技術を報告する。

要素技術の1つとして、複数の送受信アンテナを用いるMIMO-OFDM伝送方式の検討²⁾を行っている。複数の送信アンテナを使用するシステムでは、各送信アンテナから各受信アンテナまでの伝搬路特性を個別に推定する必要がある。現行のISDB-Tでは、伝搬路特性を推定するために、既知のSP信号を伝送している。一方、MIMO-OFDM伝送方式においては、複数の伝搬路特性を個別に推定するために直交化したSP信号を用いる。

今回、2×1 MISO伝送方式と2×2 MIMO伝送方式の受信特性に及ぼすマルチパスの遅延時間とフェージング^{*1}の影響を、計算機シミュレーションを行って比較したので報告する。また、参考のために、送信アンテナ1本、受信アンテナ2本の1×2 SIMO (Single-Input Multiple-Output: シングル入力・マルチ出力) 伝送方式の計算機シミュレーションの結果を併せて報告する。

2. MIMO-OFDM伝送方式

2×2 MIMO-OFDMの変復調器の構成を1図に示す。変調器では、まず、キャリア変調(マッピング)後のデータキャリアをSFBC (Space Frequency Block

Code: 周波数空間ブロック符号)で符号化し、符号化後の2系列の信号をそれぞれOFDMフレーム化する。次に、IFFT (Inverse Fast Fourier Transform: 逆高速フーリエ変換)を行ってOFDM変調した後、2つの異なる送信アンテナTx1とTx2から同一周波数で送信する。復調器では、2つの受信アンテナRx1とRx2で受信した信号をそれぞれFFT (Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換)して復調し、伝搬路特性を推定した後、SFBC復号、キャリア復調(デマッピング)、誤り訂正を行う。

今回のMIMO伝送は同じ情報を2つの送信アンテナから送信する方式であり、送信データの容量を増やすことが目的ではなく、送信ダイバーシティー^{*2}を利用して移動受信環境における耐性を高くすることが目的である。

2.1 SFBC符号

キャリア変調後の信号を2分配し、送信アンテナTx1とTx2からSFBC符号化した信号を送信する。Tx1とTx2から送信するデータキャリアの配置を2図に示す。Tx1から送信するデータキャリアの配置はSFBC符号化前の配置と同じである。Tx2から送信するデータキャリアの配置はキャリア(周波数)方向に隣接するキャリア番号 $2n$ と $2n+1$ ($n=0, 1, 2, \dots$)のデータキャリアをAlamoutiの直交時空間ブロック符号³⁾^{*3}を用いてSFBC符号化する。

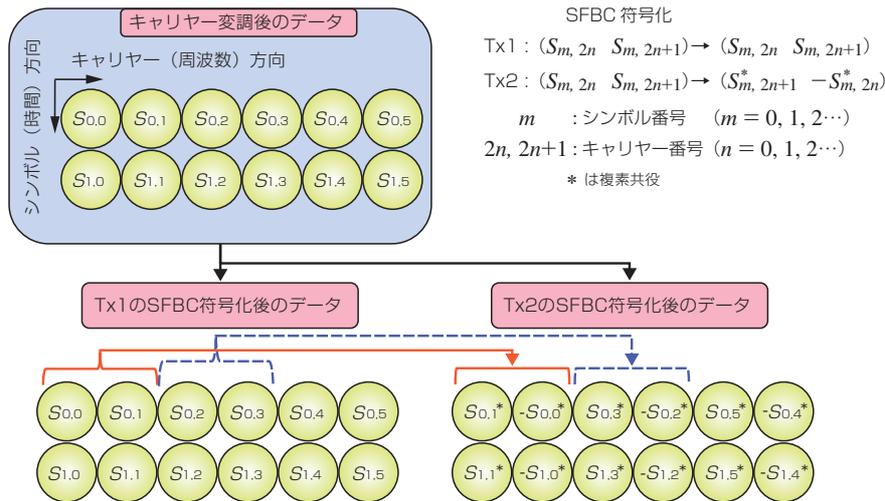
2.2 SP信号と伝搬路特性の推定

複数のアンテナから送信するMISOやMIMO伝送では、受信点で各送信アンテナから到来する信号の伝搬路特性を個別に推定する必要がある。そのために、既知のSP信号

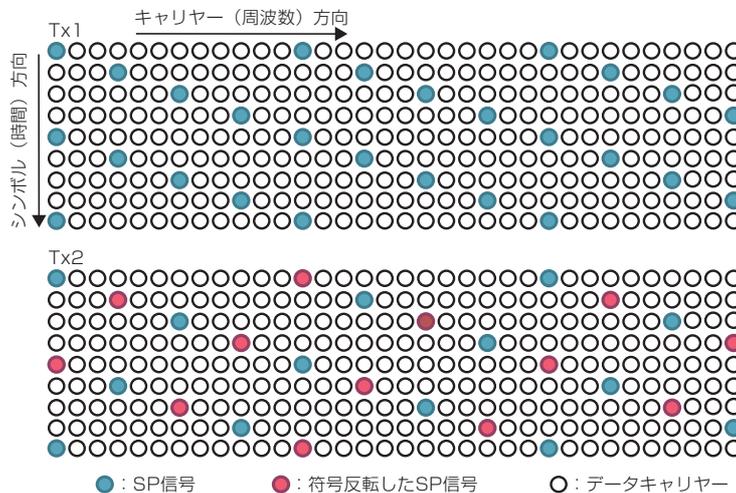
*1 電波の受信レベルが変動する現象。

*2 2つの受信信号を合成して、受信信号の品質を向上させる技術。

*3 Alamoutiが考案した送信ダイバーシティー用の符号で、2本のアンテナから送信する信号を時間・空間的に直交化した符号。2本の受信アンテナを用いる受信ダイバーシティーとはほぼ同等の効果がある。



2図 SFBC符号化後のデータキャリアの配置



3図 直交化SP信号の配置

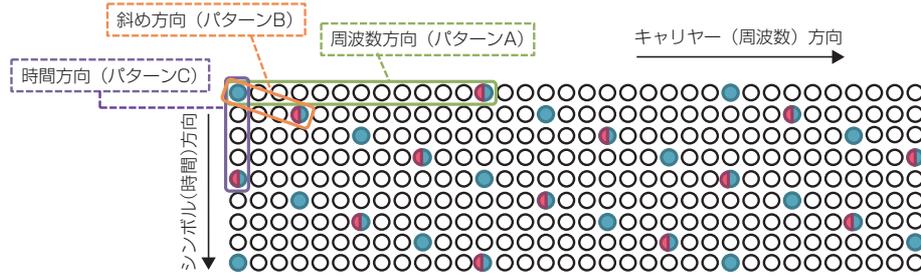
を送信する。送信する2系列のSP信号に同じSP信号を使用したのでは受信側で伝搬路特性を個別に推定することができないので、Tx2からは一部のSP信号を符号反転し、Tx1のSP信号と直交するSP信号を伝送する²⁾。Tx1とTx2から送信する直交化SP信号の配置を3図に示す。Tx1のSP信号の配置はISDB-Tと同じで、キャリア(周波数)方向には12キャリアごとに、シンボル(時間)方向には4キャリアごとに配置する。Tx2の符号反転したSP信号の配置は3図の●の位置である。また、3図の○で示すデータキャリアの配置は2図のとおりであり、3図のSP信号を除いてSFBC符号化されている。

受信アンテナRx1とRx2では、Tx1とTx2から送信された信号が混ざって受信される。伝搬路特性を推定するためのSP信号もTx1とTx2のSP信号が混ざって受信される。従って、ISDB-Tなどで用いられているSP信号を抽出して伝搬路特性を推定する方法をそのまま利用することは

できない。そこで、SP信号とそれに隣接するSP信号を組み合わせ、Tx1からの伝搬路特性とTx2からの伝搬路特性を個別に推定する方法を検討した²⁾。検討した3種類のSP信号の組み合わせを4図に示す。周波数方向に隣接するSP信号を組み合わせさせた場合をパターンA、斜め方向に隣接するSP信号を組み合わせさせた場合をパターンB、時間方向に隣接するSP信号を組み合わせさせた場合をパターンCとする。以下、パターンAの組み合わせで伝搬路特性を推定する方法を説明する。

Tx1のSP信号を $S_{p1(l,k)}$ 、 $S_{p1(l,k+12)}$ 、Tx2のSP信号を $S_{p2(l,k)}$ 、 $S_{p2(l,k+12)}$ とすると、 $S_{p2(l,k+12)}$ だけを符号反転している(1)式が成り立つ。ここで、 l はシンボル番号、 k はキャリア番号である。

$$\begin{aligned}
 S_{p1(l,k)} &= S_{p2(l,k)} \\
 S_{p1(l,k+12)} &= -S_{p2(l,k+12)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



4図 伝搬路特性を推定するために検討したSP信号の組み合わせ

1表 計算機シミュレーションの諸元

伝送方式	SIMO, MISO, MIMO
周波数帯域幅 (MHz)	5.6
キャリア数	5,617
有効シンボル長 (μs)	1,008
ガードインターバル (μs)	126
ガードインターバル比	1/8
時間インターリーブ	$l = 2$ (約0.2s)
キャリア変調	16QAM-OFDM
誤り訂正符号	畳み込み符号 (拘束長: 7)
	ターボ符号 (符号長: 19,968ビット, 反復回数: 8)
符号化率 R	1/2

送信アンテナTx1から受信アンテナRx1までの伝搬路特性を $h11$, 送信アンテナTx2から受信アンテナRx1までの伝搬路特性を $h12$ とすると, 受信信号 $r_x1(l, k)$, $r_x1(l, k+12)$ は(2)式で与えられる。

$$\begin{aligned} r_x1(l, k) &= h11(l, k)S_{P1}(l, k) + h12(l, k)S_{P2}(l, k) \\ r_x1(l, k+12) &= h11(l, k+12)S_{P1}(l, k+12) + h12(l, k+12)S_{P2}(l, k+12) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで, キャリヤー k とキャリヤー $(k+12)$ 番目の周波数間隔が狭く, 伝搬路特性が等しいと仮定すると, $h11(l, k) = h11(l, k+12)$, $h12(l, k) = h12(l, k+12)$ が成り立つので, (1)式と(2)式から(3)式が得られる。

$$\begin{aligned} r_x1(l, k) &= (h11(l, k) + h12(l, k))S_{P1}(l, k) \\ r_x1(l, k+12) &= (h11(l, k) - h12(l, k))S_{P1}(l, k+12) \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式を解いて(4)式が得られる。

$$\begin{aligned} h11(l, k) &= \frac{1}{2} \left(\frac{r_x1(l, k)}{S_{P1}(l, k)} + \frac{r_x1(l, k+12)}{S_{P1}(l, k+12)} \right) \\ h12(l, k) &= \frac{1}{2} \left(\frac{r_x1(l, k)}{S_{P1}(l, k)} - \frac{r_x1(l, k+12)}{S_{P1}(l, k+12)} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

同様に, 送信アンテナTx1とTx2から受信アンテナRx2までの伝搬路特性を推定することができる。ここでは, パターンAを例に伝搬路応答を推定する方法を説明したが, パターンBやパターンCの場合も同様の方法で推定することができる。

3. 計算機シミュレーション

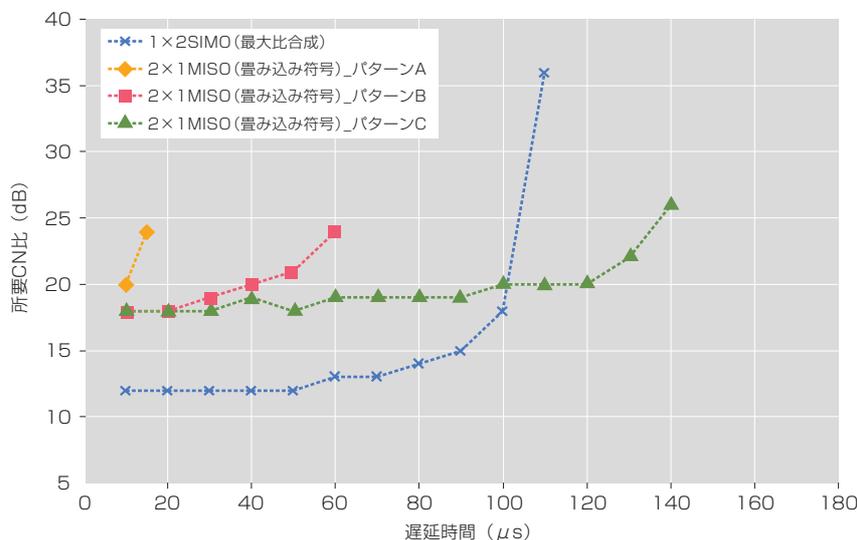
3.1 計算機シミュレーションの概要

計算機シミュレーションの諸元を1表に示す。伝送方式として, 2×1 MISO, 2×2 MIMO, 1×2 SIMOの3方式を検討した。 1×2 SIMOはISDB-Tの2ブランチのスペースダイバーシティー受信による最大比合成*4とした。送信電力を同じにするために, 2×1 MISOと 2×2 MIMOの2本の送信アンテナから送信する電力をそれぞれ 1×2 SIMOの1本の送信アンテナから送信する電

*4 合成後の受信信号のSN比が最大となるように, 2つの受信信号に重みを付けて合成する方法。

2表 GSM/TU6チャンネルモデル

経路	1	2 (主波)	3	4	5	6
遅延時間 (μs)	0.0	0.2	0.5	1.6	2.3	5.0
DU比 (dB)	3.0	0.0	2.0	6.0	8.0	10.0



5図 1波マルチパス環境における受信特性 (畳み込み符号を用いた場合)

力の半分とした。また、 2×1 MISOと 2×2 MIMOの誤り訂正符号として、現行のISDB-Tで使用されている畳み込み符号 (復号はビタビ復号) を用いる場合と、ターボ符号*5を用いる場合を検討した。キャリア数、キャリア間隔、パイロット配置などはISDB-Tのモード3相当である。

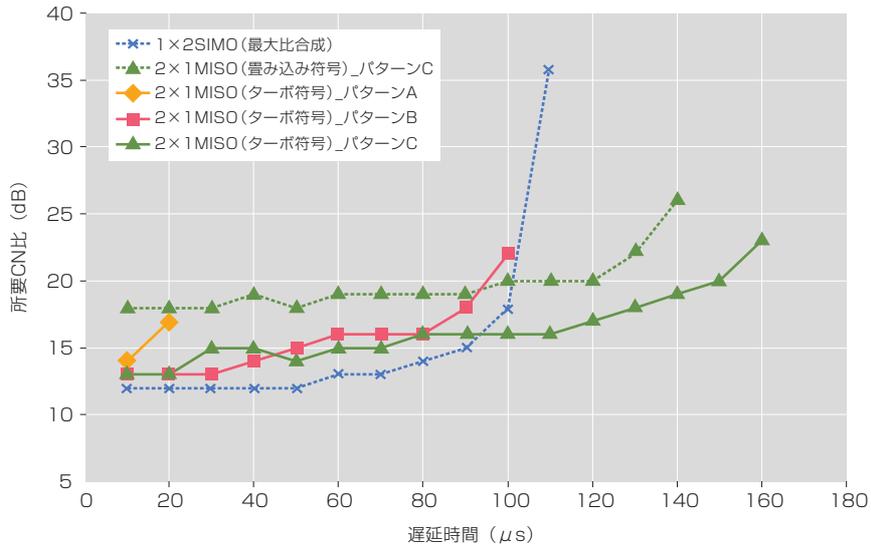
マルチパスの遅延時間が受信特性に及ぼす影響を調べるために、伝搬路に1波マルチパス環境を使用し、DU比 (Desired to Undesired signal ratio) を3dBとして計算機シミュレーションした。また、マルチパスのフェージングが受信特性に及ぼす影響 (移動受信環境) を調べるために、伝搬路に2表に示すGSM/TU6チャンネルモデル⁴⁾ (都市型6波マルチパスフェージング) を使用して受信特性を計算機シミュレーションした。GSM/TU6チャンネルモデルでは経路2が主波で、経路1と経路3～経路6が妨害波である。2表のDU比は主波と妨害波の電力比であり、遅延時間は経路1の妨害波からの遅延時間である。なお、評価に用いた所要CN比は内符号 (畳み込み符号またはターボ符号) 復号後のBER (Bit Error Rate) が 2.0×10^{-4} となるCN比であり、このBERであれば外符号 (RS: Reed-Solomon) 復号後に擬似エラーフリーとなる。

*5 1993年に開発された高性能な誤り訂正符号で、シャノン限界に近い伝送容量が実現できる符号。

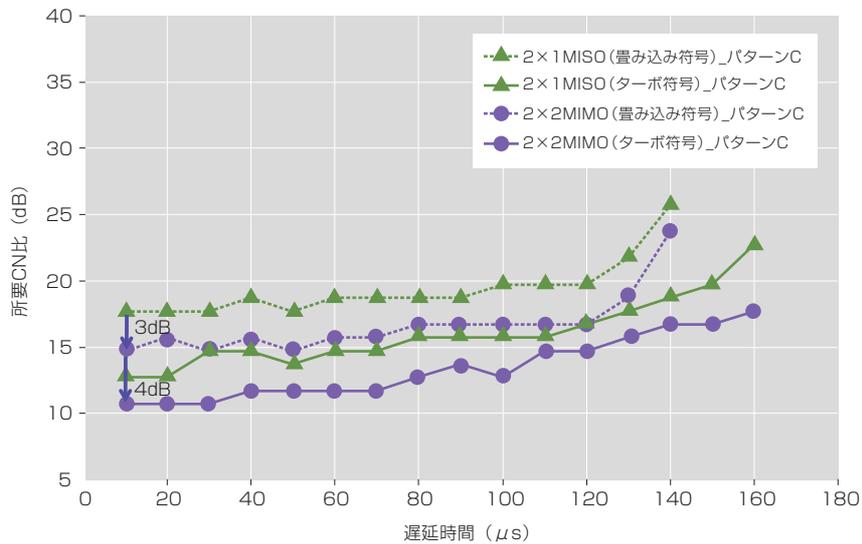
3.2 マルチパスの遅延時間が受信特性に及ぼす影響 (1波マルチパス環境における受信特性)

マルチパスの遅延時間を変化させて、1波マルチパス環境における受信特性を計算機シミュレーションした。誤り訂正符号として畳み込み符号を用いた場合の 2×1 MISOの受信特性と 1×2 SIMOの受信特性の結果を5図に示す。横軸はマルチパスの遅延時間、縦軸は所要CN比である。 2×1 MISOで比較すると、パターンCの結果が最も良い。これは、時間変動のない1波マルチパス環境においては、パターンCのように同一周波数の伝搬路特性が等しいと仮定した場合の誤差の方が、パターンAのように異なる周波数の伝搬路特性が等しいと仮定した場合の誤差よりも小さいことによる。また、 1×2 SIMOと 2×1 MISOを比較すると、遅延時間が $100 \mu\text{s}$ 以下でSIMOの方が受信特性が良い。これは、送信アンテナ1本当たりで比較すると、 1×2 SIMOの送信電力が 2×1 MISOの送信電力の2倍であり、送信信号のSN比がSIMOの方がMISOより良いことによると考えられる。なお、 1×2 SIMOでは遅延時間がガードインターバル ($126 \mu\text{s}$) に近づくと従ってシンボル間干渉が起り、受信特性が急激に悪くなっている。

誤り訂正符号としてターボ符号を用いた場合の 2×1 MISOの1波マルチパス環境における受信特性の結果を



6図 1波マルチパス環境における受信特性（ターボ符号を用いた場合）



7図 1波マルチパス環境における受信特性（パターンCを使って推定した場合）

6図に示す。ターボ符号を用いた場合においてもパターンCの受信特性が最も良いこと、ターボ符号を用いた場合には畳み込み符号を用いた場合よりも約5 dB改善できることなどが分かった。

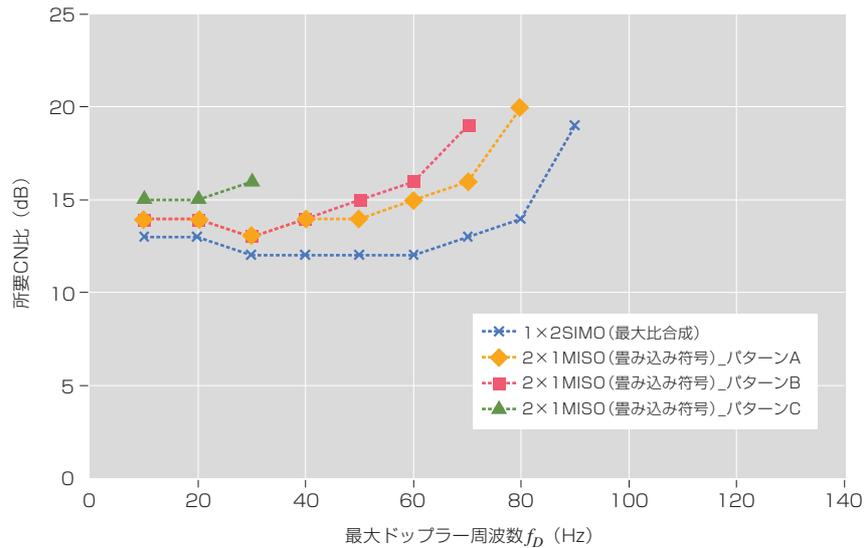
1波マルチパス環境で最も推定精度の良いパターンCを使って推定した2×1 MISOの受信特性と2×2 MIMOの受信特性の結果を7図に示す。誤り訂正符号として、畳み込み符号とターボ符号の2種類を検討した。畳み込み符号を使用した2×1 MISOと2×2 MIMOを遅延時間10μsで比較すると、2×2 MIMOの所要CN比は2×1 MISOの所要CN比より約3 dB改善されている。また、2×2 MIMOで畳み込み符号の代わりにターボ符号を用いると更に約4 dB改善できることが分かる。更に、

ターボ符号を用いた場合にはガードインターバル（126 μs）を大きく超える遅延時間160μsまで受信できることが分かった。

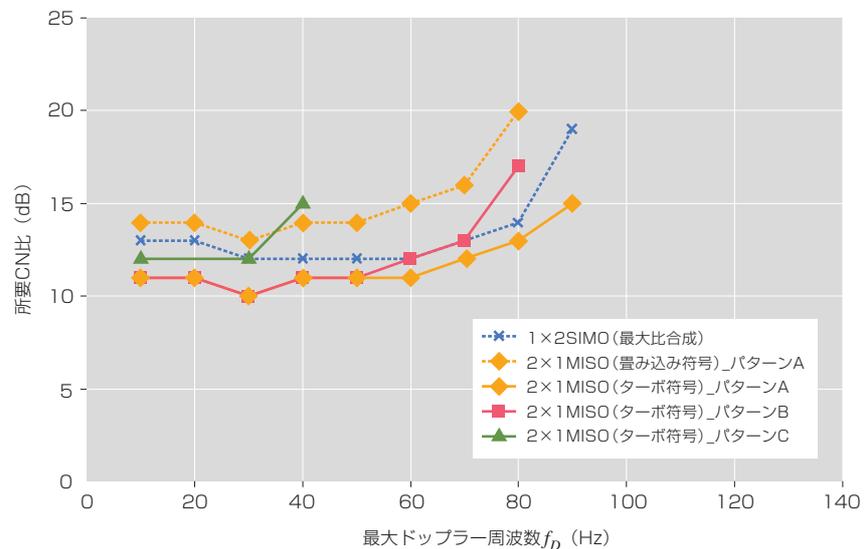
3.3 マルチパスのフェージングが受信特性に及ぼす影響（移動受信環境における受信特性）

移動体の速度を変化させて、移動受信環境における受信特性を計算機シミュレーションした。移動受信では移動体の受信アンテナが移動することによって、受信信号の周波数が増える。その最大の周波数シフト量を最大ドップラー周波数といい、最大ドップラー周波数が大きいほど移動速度が速いことを意味している。

誤り訂正符号として畳み込み符号を用いた場合の2×1 MISOの受信特性と最大比合成した1×2 SIMOの受信



8図 移動受信環境における受信特性（畳み込み符号を用いた場合）



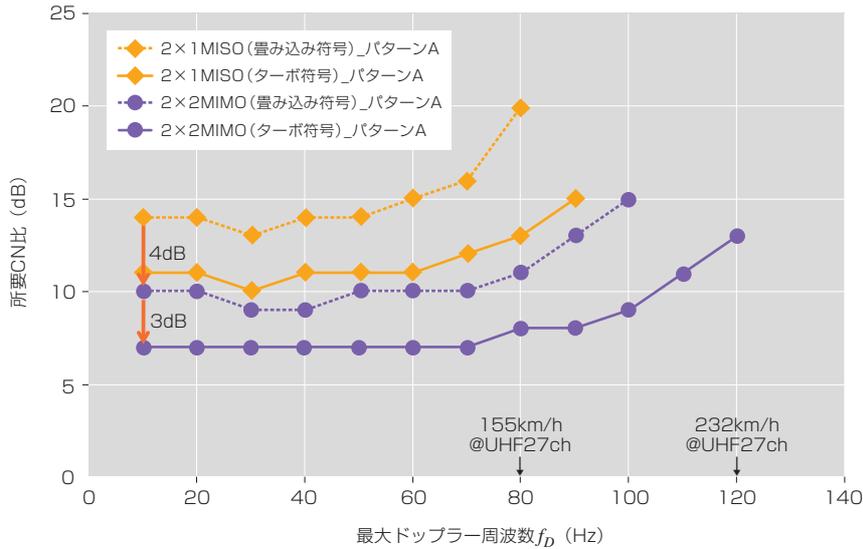
9図 移動受信環境における受信特性（ターボ符号を用いた場合）

特性の結果を8図に示す。8図の横軸は最大ドップラー周波数 f_D で、 f_D が大きく、所要CN比が小さな方式ほど移動受信に対する耐性が高いことを示している。2×1 MISOだけで比較すると、 f_D が40Hz以上の範囲では、パターンAが最も良い。これは、時々刻々と変化する伝搬路に対しては、周波数方向で伝搬路特性が同じと仮定するパターンAの方がより適切な推定であることを意味している。また、1×2 SIMOより2×1 MISOの方が所要CN比が高くなった理由としては、1波マルチパス環境のときと同様に、アンテナ1本当たりの送信電力を1/2にしたことが考えられる。

次に、ターボ符号を用いた場合の2×1 MISOの受信特性の結果を9図に示す。 f_D が50Hz以上の範囲では、パ

ターンAが最も良い。パターンAで比較すると、畳み込み符号をターボ符号にすることで、 f_D が50Hz以下で約3 dB、 f_D が60Hz以上で約4 dB以上改善できることが分かる。また、パターンAでターボ符号にすることで、1×2 SIMOより1 dB～2 dB改善できることが分かった。

移動受信環境で最も推定精度の良いパターンAを使って推定した2×1 MISOと2×2 MIMOの最大ドップラー周波数と所要CN比の関係を10図に示す。誤り訂正符号として、畳み込み符号とターボ符号の2種類を検討した。畳み込み符号を用いた2×1 MISOと2×2 MIMOを最大ドップラー周波数10Hzで比較すると、2×2 MIMOの所要CN比は2×1 MISOの所要CN比より4 dB改善されている。また、2×2 MIMOで畳み込み符号の代わり



10図 移動受信環境における受信特性（パターンAを使って推定した場合）

にターボ符号を用いると更に3 dB改善できることが分かる。なお、UHF27ch（中心周波数557.142857MHz）で f_D を移動速度に換算すると、 $f_D=80\text{Hz}$ は約155km/h、 $f_D=120\text{Hz}$ は約232km/hであり、高速度の移動に対する耐性が向上していることが分かる。

4. おわりに

移動受信の次世代地上デジタル放送の伝送方式の基礎検討として、複数の送受信アンテナを用いるMISO伝送方式とMIMO伝送方式の伝送特性を計算機シミュレーションを行って比較した。直交化SP信号を使用して伝搬路特性を推定する方法を検討した結果、1波マルチパス環境でマルチパスの遅延時間を変化させた場合には時間方向に隣接するSP信号を組み合わせる方法が最も良く、移動受

信環境（GSM/TU6チャンネルモデル）の場合には周波数方向に隣接するSP信号を組み合わせる方法が最も良いことが確認された。また、2x2 MIMO伝送方式の有効性や、ターボ符号の優位性を確認した。今後、実験用に試作した変復調器を用いて、計算機シミュレーションの結果を検証する予定である。

本稿は映像情報メディア学会技術報告に掲載された以下の論文を元に加筆・修正したものである。

成清, 岡野, 高田: “直交化スキャタードパイロットを用いたMIMO-OFDM伝送方式に関する基礎検討—計算機シミュレーションによる移動受信特性—,” 映像学技報, Vol.35, No.41, BCT2011-66, pp.49-52 (2011)

参考文献

- 1) 電波産業会：“地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式標準規格（2.0版）,” ARIB STD-B31（2011）
- 2) 岡野, 成清, 古田, 高田, 中原：“直交化スキャッタードパイロットを用いたMISO-OFDM伝送方式の検討,” 映像学技報, Vol.35, No.34, BCT2010-66, CE2010-36, pp.33-36（2010）
- 3) S. M. Alamouti：“A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications,” IEEE J. Sel. Areas Commun., Vol.16, No.08, pp.1451-1458（1998）
- 4) ETSI EN 300 910 V8.5.1：“Digital Cellular Telecommunications System（Phase 2+）；Radio Transmission and Reception”（2000）



なりきよよしかず
成清善一

2002年入局。2002年から放送技術研究所において、地上デジタル放送の中継局補償器技術、ワンセグ再送信技術、ハイビジョン放送の移動受信技術、移動体用の次世代地上デジタル放送の伝送方式の研究に従事。現在、放送技術研究所放送ネットワーク研究部に所属。



たかだまさゆき
高田政幸

1988年入局。1988年から放送技術研究所において、FM多重放送、地上デジタル放送の研究・開発に従事。2001年、カナダCommunication Research Centerにおいて半年間滞在研究員、2002年～2003年、NHKエンジニアリングサービス、2004年から放送技術研究所において次世代地上デジタル放送の伝送方式の研究に従事。現在、放送技術研究所放送ネットワーク研究部主任研究員。

スーパーハイビジョンのケーブルテレビ伝送技術

スーパーハイビジョンをケーブルテレビで家庭に届けるための研究を進めている。スーパーハイビジョンはハイビジョンの16倍の画素数を持つ大容量のコンテンツで、ケーブルテレビの1チャンネルでは伝送することができない。そこで、スーパーハイビジョンの信号を複数のチャンネルに分割して、ケーブルテレビの既存の伝送方式を使って伝送することにした。

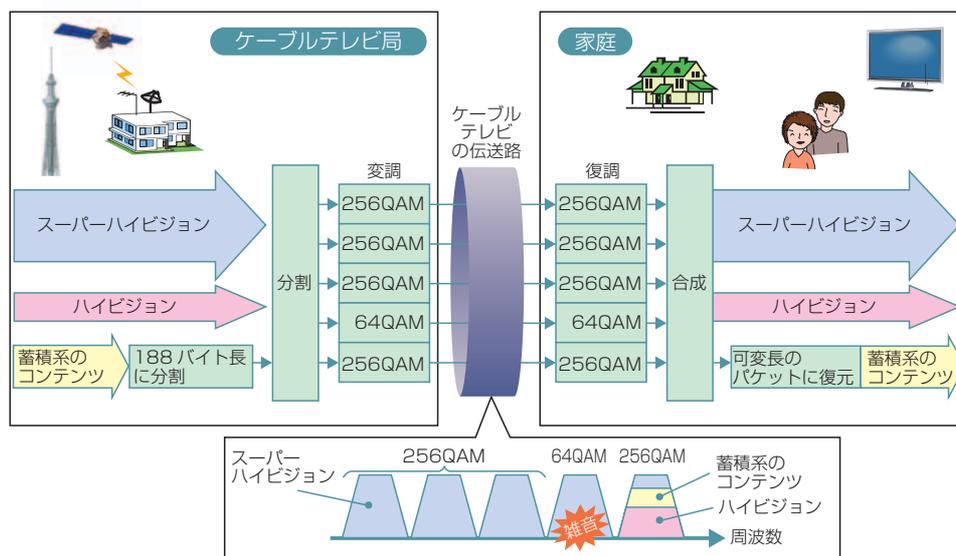
現在のケーブルテレビでは、デジタル放送のハイビジョン番組を固定長の多重フレーム*1に多重化して、64QAM (Quadrature Amplitude Modulation)*2の1つの搬送波を用いて伝送している。今後、64QAMよりも伝送容量の大きい256QAMが導入される予定である。そこで、大容量のスーパーハイビジョン信号をケーブルテレビ局の送信装置で分割して、256QAMの複数の搬送波で伝送する技術を開発した。振幅・位相面上でシンボル密度の高い256QAMは64QAMよりも雑音や歪みの影響を受け、信号のビット誤りを生じやすいので、雑音や歪みの大きさによっては64QAMでなければ伝送できない場合があると考えられる。そこで、チャンネルを効率よく利用するために、搬送波ごとに64QAMまたは256QAMで変調し、それらを混在させて伝送する技術を開発した(1図)。伝送速度が異なる64QAMと256QAMの搬送波の信号を受信機で同期合成するために、64QAMと256QAMの伝送速度の整数比(3:4)に基づいて決められる複数の多重フレームを単位とするスーパーフレームを定義した(2図)。1つのスーパーフレームを64QAMでは3つの多重フレームで、256QAMでは4つの多重フレームで構成し、1つのスーパーフレームを送る時間を等しくした。送信装置では、スーパーハイビジョンの信号をスーパーフレーム単位に分割し、複数の搬送波を用いて伝送する。受信機では、複数の搬送波の信号をスーパーフレーム単位で合成して、スーパーハイビジョンの信号を得る。

また、多重フレームの機能を拡張して、1図に示すように、スーパーハイビジョンや複数のハイビジョン番組と共に蓄積系のコンテンツを配信するための可変長パケットなども伝送できるようにした。すなわち、可変長パケットを188バイト長のパケットに分割して、デジタル放送で用いられているパケットと共に効率よく多重フレームに多重化した。

今後、開発した方式を用いて実際のケーブルテレビ局の施設でスーパーハイビジョンの伝送実験を行う予定である。

*1 複数の番組を多重化して伝送するためのフレーム。1フレームは53個の-slotから成り、1-slotは188バイトで構成される。

*2 搬送波の振幅と位相に1シンボル当たり6ビットの情報を乗せるデジタル変調方式。



1図 複数の搬送波を用いたスーパーハイビジョンのケーブルテレビ伝送



2図 64QAMと256QAMの信号の同期合成

大震災アーカイブス

～メタデータ補完の取り組み～

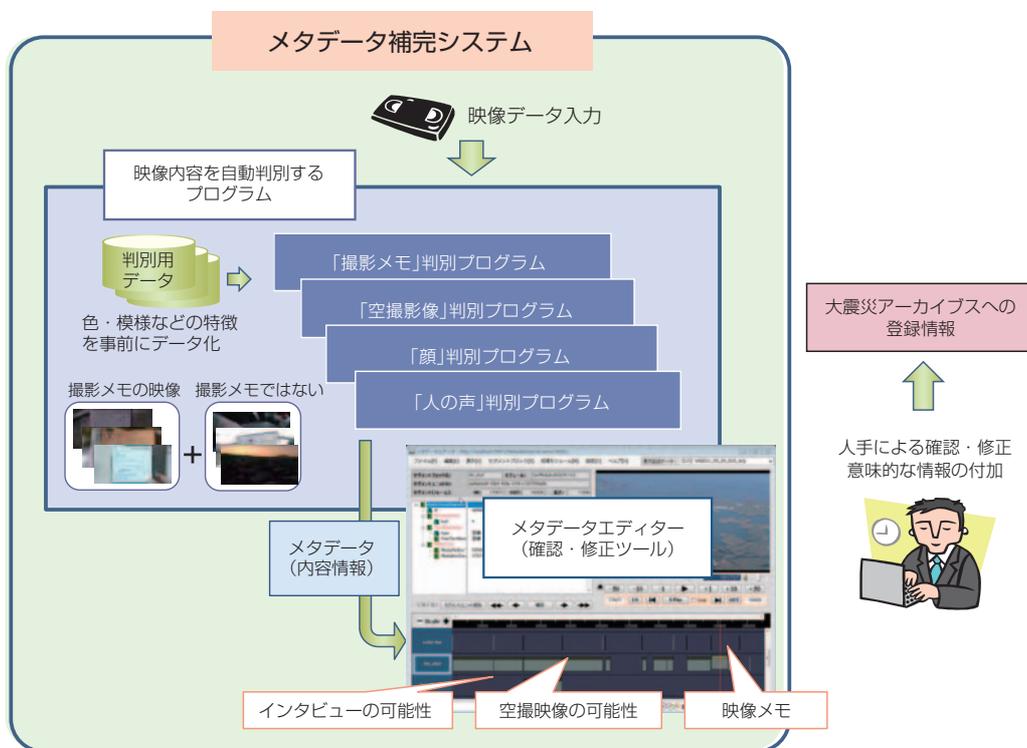
2011年の東日本大震災では、当初の約1か月間で20,000時間を超える映像が撮影された。このときの映像を整理し蓄積して、放送やインターネットを通して公開し防災や減災に役立てることは、NHKに課せられた使命であり、2012～2014年度NHK経営計画の4つの課題の1つでもある。しかし、膨大な映像のどこに何が映っているのかといった内容を全て人手でデータ化していたのでは、コストと時間が大きくかかる。そこで、当所で既に開発していた、映像や音声の解析技術と映像内容の記述情報であるメタデータを効率的に作るための仕組みを応用して、人手による作業をできるだけ削減するメタデータ補完システムを開発した（1図）。

素材映像を活用するためには、撮影された場所や人、出来事などが映像のどこ（時間的な位置）に入っているのかという情報が必要である。映像を再生しながら、時間情報と映像内容を記録していくが、どこに何が映っているのか分からなければ、全ての映像を見なければならない。また、撮影者とは異なる担当者が時間情報や映像内容を入力することが多く、撮影者が現場を撮影した後、いつ、どこで、何を撮影したかなどの情報を書いた紙を撮影した「撮影メモ」の映像を参照しながらこの作業を行う。このような作業を効率的に行うために、機械処理と人手による作業を以下のように分けた。

- ・機械処理：映像区間の分割と「撮影メモ」、「空撮」、「人の顔」の検出
- ・人手による作業：確認・修正と意味的な情報の付加

最初に、映像を機械処理でショット*1に自動分割する。次に、ショットに含まれる映像が「撮影メモ」であるかどうか、「空撮」や「人の顔」であるかどうかを判別する。また、音声データからは人の声の有無を判断し、人の顔と人の声が同時に現れる区間をインタビュー区間とする。このように、抽出精度が高く、メタデータとして有効な映像区間を自動抽出する。その後、自動抽出された結果を人手により確認・修正するとともに、機械では付加できなかった意味的な情報を入力して、メタデータの精度とメタデータを付加する作業効率を向上させた。

*1 切れ目無く撮影された映像の単位。



1図 大震災アーカイブスへのメタデータ登録作業

直交偏波を用いた42GHz帯MIMO多重伝送の見通し内伝送特性の評価

映像情報メディア学会誌, Vol.66, No.3, pp.J88-J92 (2012)

鈴木慎一, 中川孝之, 池田哲臣

100Mbps級に圧縮したハイビジョン映像を無線伝送するために、42GHz帯の電波の広帯域利用とMIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 多重伝送技術の開発を進めている。複数の送受信アンテナを使用するMIMO多重伝送技術は、従来の1送信・1受信の伝送と比較して、数倍の伝送容量を実現することができる。しかし、伝搬路の相関が高い見通し環境では伝送特性が大幅に劣化する。そこで、屋外の見通し環境における伝送特性を向上させるために、偏波変換板を用いて試作した垂直および水平偏波の直交偏波MIMO多重伝送を、42GHz帯全指向性アンテナを用いて検討した。屋外で伝送実験を行った結果、直交偏波によって伝搬路間の相関を軽減することができ、伝送特性を大幅に向上できることが確認された。また、直交偏波にすることで受信CN比 (Carrier to Noise Ratio) が減少し、伝送可能な範囲が狭くなるが、この現象に対応するために、受信CN比の減少を最小限に抑えて伝搬路の相関を十分に抑制する適切な交差偏波識別度 (水平偏波と垂直偏波の分離度) を考察した。

地上デジタル放送のSFN放送波中継局用干渉キャンセラ

電子情報通信学会論文誌, B, Vol.J95-B, No.5, pp.649-661 (2012)

竹内知明*, 成清善一, 横畑和典, 今村浩一郎, 濱住啓之, 渋谷一彦

※ NHK-ES

地上デジタル放送の中継局に放送信号を配信する手段の1つである放送波中継は信号配信のための新たな周波数が不要で設備コストが小さいという利点がある。しかし、上位局と中継局の間の伝送路に信号の品質を劣化させるさまざまな干渉妨害が存在するので、その対策が必要である。そこで、上位局波の受信に同一チャンネルの干渉妨害および送受アンテナ間結合により生じる自局送信波の回り込み妨害が存在するSFN (Single Frequency Network) 放送波中継局において、両方の干渉妨害を同時に除去する干渉キャンセラーを提案する。計算機シミュレーションおよび試作機を用いた野外実験を行った結果、提案法が有効であり、同一チャンネル干渉環境にある中継局において、自局送信波の回り込みを除去し、SFN放送波中継が実現できることが確認された。

Angular Spacing Control for Segmented Data Pages in Angle-multiplexed Holographic Memory

Japanese Journal of Applied Physics, Vol.50, No.9, pp.09ME02.1-09ME02.6 (2011)

木下延博, 室井哲彦, 石井紀彦, 上條晃司, 菊池 宏, 清水直樹, 安藤敏男*, 正木一嘉*, 清水健博* ※ 新日鉄住金化学(株)

次世代光記録技術として注目されているホログラムメモリーは2次元データ配列 (ページデータ) を記録媒体の微小領域に参照光の入射角度を変えて多重記録できるので大容量記録に適している。記録容量を更に増やすために、ページデータを複数の領域に分割し、領域ごとに多重する角度間隔を変えて、多重数を領域ごとに向上させる手法を提案する。通常、多重可能な角度間隔は参照光とページデータで変調された信号光とがなす角で決定される。しかし、参照光は平面波で、信号光はレンズで収束させるので、領域によって参照光と信号光のなす角が異なる。そこで、今回、ページデータを参照光側と反対側の2領域に分割し、それぞれの領域を多重可能な最小の角度間隔で多重した。全体を1度に多重する場合の多重数は130であったが、2領域に分割した結果、多重数をそれぞれ130と170にすることができた。すなわち、1方の領域の多重数を提案手法で従来手法より40増加することができた。また、記録層の厚さが1mmの記録媒体へ多重記録した結果、 10^{-3} 台の良好な平均ビット誤り率を得た。

A Camera System Using Three 33-megapixel CMOS Image Sensors for UHDTV2

SMPTE Motion Imaging Journal, Vol.120, No.8, pp.24-31 (2011)

山下誉行, 船津良平, 柳 忠明*¹, 三谷公二, 野尻裕司*², 吉田哲男*¹

※1 (株)日立国際電気 ※2 (株)NHKアイテック

SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) 2036-1規格においてUHDTV2として規定されているイメージフォーマットに準拠した、世界初の3板式カラーカメラシステムを試作した。UHDTV2は水平7,680画素、垂直4,320画素、フレームレート59.94Hzの順次走査システムであり、NHKが開発するスーパーハイビジョンの現行試作システムと同等の規格である。3板式カラーカメラシステムを試作するために、2.5インチ光学系3,300万画素撮像素子、超高精細レンズ、倍率色収差補正機能を含むリアルタイム信号処理装置を新たに開発した。試作カメラを用いて撮像実験を行った結果、撮影画像の限界解像度はUHDTV2でターゲットとしている4,000TV本を超え、従来の4板画素ずらし方式によるカメラシステムと比較して全周波数帯において変調度が向上していることが確認できた。また、カメラヘッド-CCU間のインターフェースとして10G-SDIモジュールを用いたWDM (Wavelength Division Multiplexing) 信号伝送装置を開発し、HDTVの制作に使用している光カメラケーブルで接続できるようにした。

発明と考案 (2012年 7月~2012年 8月)

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2012-128509	概念処理装置及びプログラム	出来事の内容を説明するための適切な構成要素を得ることのできる概念処理装置およびプログラム
特開2012-129650	符号化装置、復号装置及びプログラム	原信号の画像の輝度と色差を表す、少なくとも2つのコンポーネント信号を符号化する符号化装置、復号装置およびプログラム
特開2012-129276	光電変換素子	色分解特性を向上させる光電変換素子
特開2012-128188	テキスト修正装置およびプログラム	発話単位等の長さに依存しないで、所定の限られた遅延時間で、音声認識結果を修正してテキストとして逐次出力することのできるテキスト修正装置およびプログラム
特開2012-129370	有機エレクトロルミネッセンス素子	低電圧で駆動でき、発光効率が高く、劣化の少ない有機エレクトロルミネッセンス素子およびこれを用いた表示装置を低コストで提供する手法
特開2012-134643	無線送受信装置および方法	フェーズドアレイアンテナの量子化ローブ（メインローブから比較的離れた所に現れるレベルの高いサイドローブ）のエネルギー平均値を低減することのできる無線送受信装置および方法
特開2012-133615	リモート編集システム、編集処理装置およびそのプログラム	編集命令の実行順序が命令受付順序と異なる場合であっても、同じ編集結果を得ることのできる編集処理装置およびプログラム
特開2012-134799	適応光学を用いた撮像装置及び制御方法	被観測物体からの光の波面の乱れを補償し、撮像される被観測物体のぼやけを低減して解像度を向上させる、適応光学を用いた簡易構成の撮像装置および制御方法
特開2012-134907	TCP転送装置およびそのプログラム	高速再転送アルゴリズムが採用され、論理回線ごとの遅延差によってTCP (Transmission Control Protocol) パケットの到着順序が入れ替わる場合においても、TCP伝送のスループットを向上させることのできるTCP転送装置およびそのプログラム
特開2012-138874	差分情報生成装置およびそのプログラム	編集ファイルを指定時刻に高速で作成することのできる差分情報生成装置およびそのプログラム
特開2012-141402	空間光変調器	画素の選択性を向上させた磁気光学式の空間光変調器
特開2012-142769	符号化装置及び復号化装置	符号側から効率的にデータを伝送し、復号側の信号品質を向上させる符号化装置および復号化装置
特開2012-142836	復号装置及びそのプログラム	非可逆符号化方式で原信号を符号化処理して生成した符号化信号に、原信号から喪失した情報を補完し、元の信号を復元することが可能な復号装置およびそのプログラム
特開2012-142898	画像サイズ変換装置、方法およびプログラム	視覚的な違和感や画像全域にわたる画質の劣化を生じさせることなく、入力画像の画像サイズを縮小または拡大することのできる画像サイズ変換装置、方法およびプログラム
特開2012-147053	テキスト解析装置、イントラ予測モード判定装置及びイントラ予測装置、並びにこれらのプログラム	入力画像の方向別の相関を解析し、解析結果をイントラ予測に用いるテキスト解析装置、イントラ予測モード判定装置、イントラ予測装置およびプログラム
特開2012-146021	関連コンテンツ検索装置及びプログラム	ユーザーの好みに合ったコンテンツを新たな視点から検索する関連コンテンツ検索装置およびプログラム
特開2012-146444	有機エレクトロニクスデバイスの製造方法及び有機エレクトロニクスデバイス	低粘度のインクを用いた印刷で、高精細なパターン印刷の再現性に優れ、有機エレクトロニクス層の膜厚をその端部まで均一に成膜できる有機エレクトロニクスデバイスの製造方法および有機エレクトロニクスデバイス
特開2012-147198	利用者端末および配信トポロジ組替プログラム	コンテンツを配信する配信ツリーに属する利用者端末に、安定してコンテンツを配信することのできる配信トポロジ組み替えプログラム
特開2012-146356	磁気再生ヘッド及びこれを用いた磁気記録媒体再生装置	高出力・低ノイズ・高分解能を実現する磁気再生ヘッドおよびこれを用いた磁気記録媒体再生装置
特開2012-147205	離散サイン変換回路、逆離散サイン変換回路、併用回路、符号化装置、復号装置及びプログラム	広く普及している既存のDCT回路またはIDCT回路を利用して実現した、コストおよび消費電力の低い離散サイン変換回路、逆離散サイン変換回路、併用回路、符号化装置、復号装置およびプログラム
特開2012-147252	画像縮小装置及び画像拡大装置、並びにプログラム	解像度変換で拡大が予定されている受信側に、高効率で画像を転送するための画像縮小装置、画像拡大装置およびプログラム
特開2012-147334	クロストーク量測定装置、これを用いた色補正装置およびクロストーク量測定方法	固体撮像素子の隣接画素へのクロストーク量を安価で簡易に測定することのできるクロストーク量測定装置、色補正装置およびクロストーク量測定方法

発明と考案 (2012年 7月～2012年 8月)

公開番号	発明考案の名称	技術概要
特開2012-151535	電子透かし埋め込み装置、電子透かし埋め込みプログラム、電子透かし検出装置および電子透かし検出プログラム	コンテンツの違法コピーを高速に検知して効率よく排除するシステムや、放送局において番組または放送素材を効果的に識別するシステムを構築可能な電子透かし埋め込み装置、電子透かし埋め込みプログラム、電子透かし検出装置および電子透かし検出プログラム
特開2012-151632	鍵管理装置、署名鍵更新用部分鍵生成装置、署名鍵発行装置、アプリケーションサーバおよび受信端末、ならびに、それらの制御プログラム	署名鍵の容易な失効や更新を可能とする鍵管理装置、署名鍵更新用部分鍵生成装置、署名鍵発行装置、アプリケーションサーバ、受信端末およびそれらの制御プログラム
特開2012-151751	画像縮小装置、画像拡大装置、及びこれらのプログラム	原画像列を縮小して縮小画像列を生成する画像縮小装置と、縮小画像列を拡大して復元する画像拡大装置およびこれらのプログラム
特開2012-151755	テキスト解析装置、イントラ予測モード判定装置及びイントラ予測装置、並びにこれらのプログラム	テキスト画像を分析するテキスト解析装置と、このテキスト解析装置を使って分析した結果をイントラ予測やパターン認識へ応用したイントラ予測モード判定装置、イントラ予測装置およびこれらのプログラム
特開2012-151809	応答装置及び応答システム	放送と通信の特徴を生かした放送サービスを提供する応答装置および応答システム
特開2012-156575	符号化装置、復号装置及びプログラム	復号側の動きベクトル探索範囲を適応的に制限する符号化装置、復号装置およびプログラム
特開2012-156818	立体撮像システム、補正装置およびそのプログラム	レンズアレイおよび光学部材が含まれる光学系において、画質劣化を防ぎ、色収差による歪みを容易に補正することのできるインテグラル方式の立体撮像技術、補正装置およびそのプログラム
特開2012-156819	映像信号伝送システム	カメラ制御信号等の制御情報を確実に伝送することができ、ケーブル付きカメラを用いた場合と同等の機能を有する無線の映像信号伝送システム
特開2012-155573	画像領域分割装置及びプログラム	原画像の信号を直交変換した後、帯域ごとに空間領域の分割を行って画質を向上させる画像領域分割装置およびプログラム
特開2012-160619	撮像素子の製造方法、及び、撮像素子	単板式の積層型の撮像素子に含まれる有機光電変換膜の劣化を抑制することで、量子効率を改善する撮像素子の製造方法および撮像素子
特開2012-164147	画像縮小装置、画像拡大装置、及びこれらのプログラム	原画像列を縮小して縮小画像列を生成する画像縮小装置と、縮小画像列を拡大して復元する画像拡大装置およびこれらのプログラム
特開2012-165195	聴覚臨場感評価装置及び聴覚臨場感評価プログラム	聴覚の臨場感を客観的に評価することが可能な聴覚臨場感評価装置および聴覚臨場感評価プログラム
特開2012-165196	判定装置及び判定方法	低いSNRで小さい誤り率を達成することのできる高効率な判定装置および判定方法
特開2012-165203	間引きフィルタ及びプログラム	入力画像信号の局所的な特徴を復元するための、局所的に適切に変化する間引きフィルタおよびプログラム
特開2012-128396	空間光変調器およびその画素駆動方法	磁性細線（細線状の磁性体）を用いた簡易な構造で、開口率を向上させた空間光変調器および画素駆動方法

NHKの特許・実用新案は有償で利用できます。
 これらの特許等の実施およびノウハウの供与についてのお問い合わせは
 ■ (財) NHKエンジニアリングサービス Tel. (03)5494-2409 にお問い合わせください。

学会発表論文一覧 (2012年 1月~2012年 6月)

論文名	発表者	誌名	巻号
Video Face Tracking and Recognition with Skin Region Extraction and Deformable Template Matching	サイモン クリピングデル, 藤井真人	International Journal of Multimedia Data Engineering and Management (IJMDEM)	Vol.3, No.1, pp.36-48
Experimental Investigation of Controlling Light Polarization in Optical Waveguides with Magneto-optical Materials GdFe	西林一彦 (東京工業大学), 米田仁紀 (電気通信大学), Laosunthara, A. (東京工業大学), 須田慶太 (東京工業大学), 久我 淳, 橋本佑介, 宗片比呂夫 (東京工業大学)	Journal of the Magnetism Society of Japan	Vol.36, No.1-2, pp.74-77
Magnetic Domain Structures and Domain Wall Motions in Co/Pd Multilayered Nanowires with Perpendicular Magnetic Anisotropy	Noh, Su Jung (高麗大学校), 宮本泰敬, 奥田光伸, 林 直人, Kim, Young Keun (高麗大学校)	Journal of Nanoscience and Nanotechnology	Vol.12, No.1, pp.428-432
Development of a Driving Method Suitable to Ultra-high-speed Shooting in 2M-fps, 300k-pixel Single Chip Color Camera	米内 淳, 新井俊希, 林田哲也, 大竹 浩, 並木 純 (日立国際電気), 吉田哲男 (日立国際電気), 江藤剛治 (近畿大学)	IS&T/SPIE 24th Annual Symposium on Electronic Imaging 2012	SPIE, Bellingham, Vol.8298-22, pp.8298Q.1-8298Q.8
Orientation of a Bacteriorhodopsin Thin Film Deposited by Dip Coating Technique and its Chiral SHG as Studied by SHG Interference Technique	山田俊樹 (NICT), 春山喜洋 (NICT), 笠井克幸 (NICT), 照井通文 (NICT), 田中秀吉 (NICT), 梶貴 博 (NICT), 菊池 宏, 大友 明 (NICT)	Chemical Physics Letters	Vol.530, pp.113-119
A 300-kpixel Ultrahigh-Speed Charge-Coupled Device With a Dynamic Range of 48.6 dB at 1 Million Frames Per Second	新井俊希, 北村和也, 米内 淳, 大竹 浩, 林田哲哉, 丸山裕孝一, Van Kuijk, Harry (テレデザイン・ダルサ), 江藤剛治 (近畿大学)	IEEE Transactions on Electron Devices	Vol.59, No.4, pp.1107-1113
直交偏波MIMOを用いた42GHz帯ワイヤレスカメラの見通し内伝送特性の評価	鈴木慎一, 中川孝之, 池田哲臣	映像情報メディア学会誌	Vol.66, No.3, pp.J88-J92
地上デジタル放送ISDB-Tのハイビジョン移動受信特性	成清善一, 岡野正寛, 高田政幸	日本信頼性学会誌	Vol.34, No.2, pp.149-154
高速光ディスク装置のトラッキング誤差オフセットと高次高調波外乱の抑圧制御系	名畑雄太 (長岡技術科学大学), 中崎竜也 (長岡技術科学大学), 尾形頭國 (長岡技術科学大学), 大石 潔 (長岡技術科学大学), 宮崎敏昌 (長岡技術科学大学), 佐沢政樹 (長岡技術科学大学), 小出大一, 高野善道, 徳丸春樹	電気学会論文誌, D	Vol.132, No.3, pp.347-356
Spin Transfer Switching of Current-Perpendicular-to-Plane GMR with Various Gd-Fe Free Layer Compositions	青島賢一, 橋本佑介, 船橋信彦, 町田賢司, 久我 淳, 菊池 宏, 清水直樹, 石橋隆幸 (長岡技術科学大学)	Journal of Applied Physics	Vol.111, No.7 pt.3, 07C911, pp.07C911.1-07C911.3
Effects of Notch and Anti-notch on Magnetic Domain Wall Motion in Nanowires with In-plane or Perpendicular Magnetic Anisotropy	Noh, Su Jung (高麗大学校), 宮本泰敬, 奥田光伸, 林 直人, Kim, Young Keun (高麗大学校)	Journal of Applied Physics	Vol.111, No.7, 07D123, pp.07D123.1-07D123.3
Development of Hybridcast-Advanced Hybrid Broadcast and Broadband System	馬場秋繼, 松村欣司, 三矢茂明, 武智 秀, 藤沢 寛, 浜田浩行, 砂崎俊二, 加藤久和	IEEE Consumer Electronics Magazine	Vol.1, No.2, pp.43-52
Analysis of the Influence of Sputtering Damage to Polymer Gate Insulators in Amorphous InGaZnO4 Thin-Film Transistors	中田 充, 佐藤弘人, 中嶋宜樹, 辻 博史, 藤崎好英, 武井達哉, 山本敏裕, 藤掛英夫	Japanese Journal of Applied Physics	Vol.51, No.4 issue 1, 044105, pp.044105.1-044105.5
Magnetic Domain Wall Motion by Current Injection in CoPt Nanowires Consisting Notches	Noh, Su Jung (高麗大学校), 宮本泰敬, 林 直人, Lee, Ji Sung (高麗大学校), Kim, Young Keun (高麗大学校)	Solid State Communications	Vol.152, No.12, pp.1004-1007
Wikipediaを利用した上位下位関係の詳細化	山田一郎, 橋本 力 (NICT), 呉 鍾勲 (NICT), 鳥澤健太郎 (NICT), 黒田 航 (早稲田大学), De Saeger, Stijn (NICT), 土田正明 (日本電気), 風間淳一 (NICT)	自然言語処理	Vol.19, No.1, pp.3-23
Spectral Features for Perceptually Natural Phoneme Replacement by Another Speaker's Speech	田高礼子, 世木寛之, 都木 徹, 清山信正	IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	Vol.E95-A, No.4, pp.751-759

学会発表論文一覧 (2012年 1月~2012年 6月)

論文名	発表者	誌名	巻号
Thermally Stable Anthracene Derivative Host for High Efficiency Blue Electrofluorescence by Triplet-Triplet Annihilation	深川弘彦, 清水貴央, 大邊範幸 (東京理科大学), 時任静士 (山形大学), 徳丸克己 (筑波大学), 藤掛英夫	Organic Electronics	Vol.13, No.7, pp.1197-1203
後方感度抑圧マイクロホンの小型化	杉本岳大, 岩城正和, 小野一穂, 安藤彰男, 映像情報メディア学会誌, 石井武志 (三研マイクロホン), 今永敬嗣 (三研マイクロホン), 千葉 裕 (三研マイクロホン)		Vol.66, No.5, pp.J151-J157
"Super Hi-Vision" System Parameters for Next-Generation Television	山下誉行, 正岡頭一郎, 大村耕平, 江本正 喜, 西田幸博, 菅原正幸	SMPTE Motion Imaging Journal	Vol.121, No.4, pp.63-68
地上デジタル放送のSFN放送波中継局用干渉キャンセラ	竹内知明, 成清善一, 横畑和典, 今村浩一 郎, 濱住啓之, 渋谷一彦	電子情報通信学会論文誌, B	Vol.J95-B, No.5, pp.649-661
Efficiency of Semicylindrical Acoustic Transducer from a Dielectric Elastomer Film	杉本岳大, 小野一穂, 安藤彰男, 森田雄一 (フォスター電機), 細田康介 (フォスター電機), 石井大策 (フォスター電機)	Acoustical Science and Technology	Vol.33, No.3, pp.208-210
An Analytical Model to Study the Transfer of Magnetic Pattern from Videotape to Garnet Film	野村龍男 (静岡理科大学), 岸田雅彦, 林 直人, 岩崎勝博 (FDK), 梅澤浩光 (FDK)	IEEE Transactions on Magnetics	Vol.48, No.5 pt.2, pp.1863-1868
Complementary Field Offset Sampled-scanning for GRB Video Elements	岡野文男 (NHK-ES), 金澤 勝 (NHK-ES), 日下部裕一, 古屋正人 (JVCケンウッド), 内山裕治 (JVCケンウッド)	IEEE Transactions on Broadcasting	Vol.58, No.2, pp.291-295
ローラー式ナノインプリント法で作製したフレキシブル液晶素子用嵌め込みスペーサ	西村 和 (東京理科大学), 藤掛英夫, 古江広和 (東京理科大学), 佐藤弘人	電子情報通信学会論文誌, C	Vol.J95-C, No.6, pp.117-122
Ambipolar Behavior of Hydrogen-Bonded Diketopyrrolopyrrole-Thiophene Cooligomers Formed from Their Soluble Precursors	砂 有希 (東京工業大学), 西田純一 (東京工業大学), 藤崎好英, 山下敬郎 (東京工業大学)	Organic Letters	Vol.14, No.13, pp.3356-3359
Trench-filled Cellular Polyene Electret for Piezoelectric Transducer	Feng, Y. (東京大学), 萩原 啓, 井口義則, 鈴木雄二 (東京大学)	Applied Physics Letters	Vol.100, No.26, 262901, pp.262901.1-262901.5
地上デジタル放送用カードインターバル越えマルチパス等化器の等化特性改善	竹内知明, 今村浩一郎, 濱住啓之, 渋谷一彦, 齊藤正典	映像情報メディア学会誌	Vol.66, No.7, pp.J196-J206
韻律を構成する音響特徴量を用いた聞きやすい高速話速変換技術	今井 篤, 田澤直幸 (NHK-ES), 岩鼻幸男 (NHK-ES), 都木 徹, 清山信正, 田中敏明 (東京大学), 伊福部達 (東京大学)	映像情報メディア学会誌	Vol.66, No.7, pp.J214-J220
ダイナミックレンジ補償機能を付加した200万枚/秒30万画素単板式放送用超高速カラーカメラ	新井俊希, 米内 淳, 北村和也, 大竹 浩, 映像情報メディア学会誌, 林田哲哉, 並木 純 (日立国際電気), 吉田哲男 (日立国際電気)		Vol.66, No.7, pp.J221-J226

研究会・年次大会等発表一覧 (2012年 7月～2012年 8月)

題目	発表者	発表先/誌名	資料番号	発表年月日
Influence of Oxide Semiconductor Thickness to TFT Characteristics	中田 充, 辻 博史, 佐藤弘人, 中嶋宜樹, 藤崎好英, 武井達哉, 山本敏裕, 藤掛英夫	Nineteenth International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD'12)	L-2, pp.43-44	2012.07.04
344-Gb/s Dual-Polarization OTDM Transmission of Uncompressed Ultra-High Definition Video Signal	黒須隆行 (産業総合技術研究所), 谷澤 健 (産業総合技術研究所), 並木 周 (産業総合技術研究所), 中戸川剛, 小山田公之	17th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2012)	5B3-3, pp.461-462	2012.07.05
A Development of a Broadcast Sound Receiver for Elderly Persons	小森智康, 今井 篤, 清山信正, 田高礼子, 都木 徹, 及川靖広 (早稲田大学)	13th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2012)	pp.681-688	2012.07.11
Multi-Directional Simultaneous Estimation of Head-Related Transfer Functions by Prediction-Error Method	徳住ゆりか (慶應義塾大学), 石川健太郎 (慶應義塾大学), 丸田一郎 (慶應義塾大学), 足立修三 (慶應義塾大学), 松井健太郎, 安藤彰男	16th IFAC International Symposium on System Identification (SYSID 2012)	WeA06.5	2012.07.11
SID2012報告 --Emissive Displays--	本山 靖	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.27, IDY2012-29, pp.27-29	2012.07.12
FPUシステムにおける再送制御方式の検討	吉田鉄平 (日本工業大学), 鈴木尊基 (日本工業大学), 小川知将 (日本工業大学), 平栗健史 (日本工業大学), 西森健太郎 (新潟大学), 鶴澤史貴, 光山和彦, 池田哲臣	電子情報通信学会技術研究報告 CS 通信方式	Vol.112, No.118, CS2012-45, pp.125-129	2012.07.13
12/21GHz Dual-Band Feed for Circularly Polarized Satellite Broadcasting Receiving Antenna	長坂正史, 中沢 進, 田中祥次	IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting	IEEE, 511.3	2012.07.13
立体的に配置したスピーカによる音の包み込まれ感	大出訓史, 澤谷郁子, 小野一穂, 小澤賢司 (山梨大学)	日本音響学会研究会資料 聴覚	Vol.42, No.5, H-2012-78, pp.425-430	2012.07.19
2x2 STTC-MIMO-OFDMシステムの野外実験	中川孝之, 鶴澤史貴, 光山和彦, 池田哲臣	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.30, BCT2012-62, pp.9-12	2012.07.19 ~20
VHF-Low帯マルチメディア放送の移動受信特性	中村円香, 成清善一, 実井 仁, 岡野正寛, 高田政幸	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.30, BCT2012-63, pp.13-16	2012.07.19 ~20
次世代地上放送に向けた伝送技術~UHF帯における2チャンネルバルク伝送を用いたSHV伝送実験~	村山研一, 田口 誠, 部 拓也, 朝倉慎悟, 渋谷一彦	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.30, BCT2012-64, pp.17-20	2012.07.19 ~20
びわ湖毎日マラソンの移動中継における伝搬特性の改善	小郷直人, 矢田貝昌宏, 村上文弘, 池田哲臣	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.30, BCT2012-70, pp.41-44	2012.07.19 ~20
21GHz帯放送衛星用鏡面修整反射鏡アンテナエンジニアリングモデル	中沢 進, 長坂正史, 田中祥次	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.30, BCT2012-71, pp.45-48	2012.07.19 ~20
屋内および屋外撮影環境におけるMIMO伝搬路応答特性の測定	鈴木慎一, 中川孝之, 池田哲臣	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.30, BCT2012-72, pp.49-52	2012.07.19 ~20
ISDB-T地上デジタル混信局探索装置の開発	峯松史明, 渋谷一彦, 小原良之, 岩崎 徹	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.30, BCT2012-75, pp.61-64	2012.07.19 ~20
21GHz帯衛星放送の国際標準化動向	正源和義 (放送衛星システム), 亀井 雅, 田中祥次	電子情報通信学会技術研究報告 SAT 衛星通信	Vol.112, No.150, SAT2012-13, pp.31-35	2012.07.26
日本語から手話への固有名詞の翻訳	宮崎太郎, 加藤直人, 金子浩之, 井上誠喜, 梅田修一, 清水俊宏, 比留間伸行, 長嶋祐二 (工学院大学)	情報処理学会研究報告 NL 自然言語処理	Vol.2012-NL-207, No.7	2012.07.26
ランダムウォークを利用した番組類似性評価	山田一郎, 宮崎 勝, 住吉英樹, 古宮弘智, 田中英輝	情報処理学会研究報告 NL 自然言語処理	Vol.2012-NL-207, No.12	2012.07.26

研究会・年次大会等発表一覧 (2012年 7月~2012年 8月)

題目	発表者	発表先/誌名	資料番号	発表年月日
145インチスーパーハイビジョン用プラズマディスプレイの開発	薄井武順, 石井啓二, 村上由紀夫, 本山 靖, 山本浩子 (パナソニックプラズマディスプレイ), 牧野航介 (AVCネットワークス), 石橋 将 (AVCネットワークス), 高木一樹 (AVCネットワークス), 関 昌彦 (NHK-ES)	映像情報メディア学会技術報告	Vol.36, No.32, IDY2012-33, pp.5-8	2012.07.27
スケーラブルオーディオ符号化のための可聴化雑音の抑圧	安藤彰男	電子情報通信学会技術研究報告 EA 応用音響	Vol.112, No.171, EA2012-56, pp.13-18	2012.08.02
予測誤差法を用いた頭部伝達関数の多方向推定における同時推定方向数の検証	石川健太郎 (慶應義塾大学), 丸田一郎 (京都大学), 足立修一 (慶應義塾大学), 松井健太郎, 安藤彰男	電子情報通信学会技術研究報告 EA 応用音響	Vol.112, No.171, EA2012-63, pp.55-60	2012.08.02
RGB積層イメージセンサの開発状況	相原 聡, 瀬尾北斗, 堺 俊克, 久保田節	応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会誌	Vol.23, No.3, pp.163-168	2012.08.03
ディスプレイの時間特性と画質	栗田泰市郎	2012年日本視覚学会夏季大会		2012.08.06
Method of Estimating Degree of Kandoh Emphasized by Spatical Sound Impressions	大出訓史, 安藤彰男	13th ACIS International Conference (SNPD 2012)	IEEE, pp.555-560	2012.08.08
Radiation Pattern of Array-fed Imaging Reflector Antenna in 21 GHz-band	長坂正史, 中沢 進, 田中祥次, 正源和義 (放送衛星システム)	Thailand-Japan MicroWave (TJMW 2012)	IEICE, TH3-1	2012.08.09
Subjective Listening Tests about Front Images on Frontal Double Layered WFS System	Yoo, Jae-hyoun (ETRI), Choi, Keunwoo (ETRI), Seo, Jeongil (ETRI), Kang, Kyeongok (ETRI), 大久保洋幸	41st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-noise 2012)	-	2012.08.20
Services and R&D to Make Television Accessible in Japan	伊藤崇之	SET Conference	-	2012.08.21~22
Transmission Technology for Next Generation of ISDB-T -Field Experiment of SUPER Hi-VISION Transmission Using Two Channels in the UHF Band-	村山研一	SET Conference	-	2012.08.21~22
Innovation : A Story of Research Laboratories in Broadcasting Technology	伊藤崇之	SET Conference	-	2012.08.21~22
Effect of Human Posture on Antenna Performance of Push-to-Talk Transceiver in VHF and UHF Bands	小郷直人, 池田哲臣	32nd Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2012)	p.468	2012.08.21
A New Approach to Smart TV Interface Using Human Activity Recognition : UTAN	苗村昌秀	BIT's 1st Annual World Congress of Emerging InfoTech (WCEIT-2012)	p.35	2012.08.28
カメラ姿勢推定手法における頑健化の一考察	三ツ峰秀樹, 藤井真人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	1-3	2012.08.29~31
MEMSセンサーと粒子画像流速測定法を用いたカメラの動きデータ計測手法の検討	加藤大一郎, 武藤一利, 岡本浩幸 (ライテックス), Moro, Alessandro (ライテックス), 関 敏一 (多摩川精機), 水上慎太郎 (多摩川精機)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	1-4	2012.08.29~31
Android端末用簡易TVMLプレイヤーの開発	井上誠喜, 金子浩之, 浜口齊周, 道家 守	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	4-4	2012.08.29~31
野外実験による超低レベルISDB-T信号検出装置の動作検証	成清善一, 中村円香, 実井 仁, 岡野正寛, 高田政幸	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	5-7	2012.08.29~31
デジタル放送のためのサイマルスクランブル方式	井上友幸, 小川一人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	5-9	2012.08.29~31
ワイヤー導出型3次元座標計測手法によるカメラ位置の計測に関する基礎実験	武藤一利, 加藤大一郎, 岡本浩幸 (ライテックス), Moro, Alessandro (ライテックス)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	6-3	2012.08.29~31
映像の被写体領域抽出を目的とした時空間領域分割手法の検討	大久保英彦, 藤井真人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	8-2	2012.08.29~31
人の感覚に合致した顔表情の強度推定と分類	奥田 誠, 藤井真人, 佐藤洋一 (東京大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	8-5	2012.08.29~31
SNSユーザによるCG映像コンテンツ制作	道家 守, 金子浩之, 浜口齊周, 井上誠喜	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	8-6	2012.08.29~31

研究会・年次大会等発表一覧 (2012年 7月～2012年 8月)

題目	発表者	発表先/誌名	資料番号	発表年月日
人物不特定可変テンプレートを用いた顔画像検出	サイモンクリビングデル, 藤井真人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	9-3	2012.08.29 ~31
色域体積の算出におけるカラーアピランスモデルの比較	正岡顕一郎, Berns, Roy S. (RIT), Fairchild, Mark D. (RIT), 浅野雄太 (RIT)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	9-14	2012.08.29 ~31
フレキシブル制作システムの実装概要	金子 豊, 竹内真也, 黄 珉錫, 和泉吉則 (NHK-ES)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	10-6	2012.08.29 ~31
垂直磁化磁性細線における複数磁区の一斉電流駆動	奥田光伸, 宮本泰敬, 宮下英一, 林 直人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11-6	2012.08.29 ~31
高精細ビットデータを用いたホログラム記録における波面制御	室井哲彦, 木下延博, 石井紀彦, 上條晃司, 川田善正 (静岡大学), 菊池 宏	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11-7	2012.08.29 ~31
ホログラムメモリにおける再生等価器の実験的評価	木下延博, 室井哲彦, 石井紀彦, 上條晃司, 菊池 宏	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11-8	2012.08.29 ~31
超高精細映像のリアルタイムファイル化技術	梶山岳士, 川那真弓, 宮下英一, 林 直人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	11-10	2012.08.29 ~31
DCTを利用した複数の直交変換によるインター符号化	市ヶ谷敦郎, 杉藤泰子, 境田慎一	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12-1	2012.08.29 ~31
スーパーハイビジョン画像におけるHEVCとAVC/H.264との符号化性能比較	杉藤泰子, 松尾康孝, 市ヶ谷敦郎, 境田慎一	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	12-5	2012.08.29 ~31
ホログラフィ立体表示用スピン注入型空間光変調器の開発	加藤大典, 青島賢一, 町田賢司, 金城秀和, 久我 淳, 石橋隆幸 (長岡技術科学大学), 菊池 宏, 清水直樹	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	14-7	2012.08.29 ~31
極薄フィルム上に形成した酸化物半導体TFTの湾曲評価	佐藤弘人, 中田 充, 本村玄一, 中嶋宜樹, 辻 博史, 藤崎好英, 武井達哉, 山本敏裕, 藤掛英夫 (東北大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	15-1	2012.08.29 ~31
酸化物半導体TFTの半導体膜厚依存性	中田 充, 辻 博史, 佐藤弘人, 中嶋宜樹, 藤崎好英, 武井達哉, 山本敏裕, 藤掛英夫 (東北大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	15-2	2012.08.29 ~31
フレキシブル有機ELディスプレイ用反射電極のスクリーン印刷形成	清水貴央, 本村玄一, 深川弘彦, 山本敏裕, 藤掛英夫 (東北大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	15-3	2012.08.29 ~31
アモルファスIGZO TFTのシミュレータの開発	辻 博史, 中田 充, 佐藤弘人, 中嶋宜樹, 藤崎好英, 武井達哉, 山本敏裕, 藤掛英夫 (東北大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	15-4	2012.08.29 ~31
8インチフレキシブル有機ELディスプレイの試作	中嶋宜樹, 武井達哉, 中田 充, 佐藤弘人, 辻 博史, 藤崎好英, 清水貴央, 本村玄一, 深川弘彦, 山本敏裕, 藤掛英夫 (東北大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	15-5	2012.08.29 ~31
個人向け番組宣伝スポット提示システム	有安香子, 中川俊夫	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	16-3	2012.08.29 ~31
CGストーリーミングを用いた番組連動手話映像配信・合成システム	浜口斉周, 馬場秋継, 金子浩之, 井上誠喜	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	16-5,	2012.08.29 ~31
視覚障害者向けデジタル放送受信機の開発	半田拓也, 坂井忠裕, 清水俊宏	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	18-2	2012.08.29 ~31
やさしい日本語ニュースへの書き換え支援ツール	美野秀弥, 田中英輝	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	18-6	2012.08.29 ~31

研究会・年次大会等発表一覧 (2012年 7月~2012年 8月)

題目	発表者	発表先/誌名	資料番号	発表年月日
フルスベックSHVイメージセンサ用12ビットカラム並列2段サイクリックADCの低消費電力設計	渡部俊久, 北村和也, 澤本岳秀 (ブルックマンテクノロジー), 小杉智彦 (ブルックマンテクノロジー), 赤堀知行 (ブルックマンテクノロジー), 飯田哲也 (ブルックマンテクノロジー), 磯部圭吾 (ブルックマンテクノロジー), 渡辺恭志 (ブルックマンテクノロジー), 島本 洋, 大竹 浩, 青山 聡 (ブルックマンテクノロジー), 川人祥二 (静岡大学), 江上典文	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	19-5	2012.08.29 ~31
スーパーハイビジョン用小型カメラヘッドの開発	船津良平, 山下誉行, 添野拓司, 柳 忠明 (日立国際電気), 高橋雄大 (リンク), 吉田哲男 (日立国際電気)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	19-6	2012.08.29 ~31
pnpn4層裏面照射構造を用いた先端科学技術用撮像素子	江藤剛治 (立命館大学), Dao, Vu Truong Son (立命館大学), 山田哲生 (東京工芸大学), 新井俊希	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	19-7	2012.08.29 ~31
低遅延デジタルラジオマイクシステムの開発	中村円香, 岡野正寛, 居相直彦, 濱住啓之	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	20-1	2012.08.29 ~31
120GHz帯FPUの開発	岡部 聡, 津持 純, 杉之下文康	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	20-2	2012.08.29 ~31
ゴルフ中継用ミリ波帯送り返し伝送システムの開発	鈴木慎一, 池田哲臣	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	20-3	2012.08.29 ~31
偏波MIMO-超多値OFDMのROF伝送実験報告	朝倉慎悟, 村山研一, 田口 誠, 藤 拓也, 渋谷一彦, 中戸川剛, 川本潤一郎, 小山田公之	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	20-6	2012.08.29 ~31
TSMFを拡張した多重フレームを用いるケーブルテレビ大容量伝送装置の開発	袴田佳孝, 中村直義, 小山田公之	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	20-9	2012.08.29 ~31
多視点ロボットカメラシステムを用いた映像表現手法	池谷健佑, 久富健介, 片山美和, 岩館祐一	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	21-1	2012.08.29 ~31
カルコパイライト型半導体を適用した光電変換膜の基礎検討	菊地健司, 為村成亨, 松原智樹, 宮川和典, 久保田節	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	22-1	2012.08.29 ~31
31万画素裏面照射型超高速CCDの100万枚/秒時フルダイナミックレンジ動作	新井俊希, 米内 淳, 大竹 浩, 林田哲哉, Van Kuijk, Harry (テレダイン・ダルサ), 江藤剛治 (立命館大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	22-6	2012.08.29 ~31
感度13倍改善した31万画素裏面照射型超高速CCD	新井俊希, 米内 淳, 大竹 浩, 林田哲哉, Van Kuijk, Harry (テレダイン・ダルサ), 江藤剛治 (立命館大学)	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	22-7	2012.08.29 ~31
クローズドキャプションと画像特徴を考慮した反復的学習に基づく映像検索システム	河合吉彦, 藤井真人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	23-7	2012.08.29 ~31
色リストに基づくショットの統合による番組映像のシーン系列生成	福田直記 (フジテレビ), 望月貴裕, 佐野雅規, 藤井真人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	23-8	2012.08.29 ~31
被写体領域に重きを置いたサブブロック設定による画像検索	望月貴裕, 住吉英樹, 佐野雅規, 藤井真人	映像情報メディア学会年次大会講演予稿集	24-4	2012.08.29 ~31
Flexible AMOLED Display Driven by Oxide-TFTs on an Ultrathin Polyimide Film	本村玄一, 中嶋宜樹, 中田 充, 佐藤弘人, 山本敏裕, 藤掛英夫 (東北大学)	The 12th International Meeting on Information Display (IMID 2012)	52-2, pp.385-386	2012.08.31

編集委員会

編集長	池沢 龍
委員	岩城 正和／加藤 隆／藤井 亜里砂／居相 直彦 三科 智之／山内 結子／井口 義則／田中 克
オブザーバー	中須 英輔
事務局	石井 紀彦
幹事	黒住 幸一／西澤 香奈子

NHK技研R&D No.136 (2012年11月)

2012年11月15日発行

編集・発行	日本放送協会 放送技術研究所 © 2012 日本放送協会 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11 電話 03-5494-1125 ホームページ http://www.nhk.or.jp/str/
制作	株式会社オーム社 〒101-8460 東京都千代田区神田錦町3-1 電話 03-3233-0641
表紙デザイン	マブチデザインオフィス
デザイン・印刷	株式会社東京研文社 〒162-0802 東京都新宿区改代町45

※本誌は、「著作権法」によって著作権等の権利が保護されている著作物です。

※本誌に掲載されている会社名・製品名は、一般に各社の商標または登録商標です。

