

# 空間分割多重 MIMO 伝送方式の野外移動受信実験 — ISDB-T の移動受信特性との比較 —

成清 善一<sup>†</sup> 宮坂 宏明<sup>†</sup> 竹内 知明<sup>†</sup> 中村 円香<sup>†</sup> 土田 健一<sup>†</sup>

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

E-mail: narikiyo.y-eq@nhk.or.jp

**あらまし** 次世代地上放送の移動受信伝送方式の開発において、大容量の映像情報を安定に伝送可能とするため、送信アンテナ 2 本、受信アンテナ 2 本を用いた空間分割多重 MIMO-OFDM を検討している。次世代地上放送の移動体向けのサービスとしては、ハイビジョン級の映像を想定している。今回、ISDB-T のハイビジョンが移動体でも視聴できるエリア（移動受信エリア）と水平および垂直偏波を用いた空間分割多重 MIMO-OFDM の移動受信エリアを比較するため、熊本県人吉市の送信所を用いて野外移動受信実験を行ったので報告する。実験結果より、ISDB-T を 4 本の受信アンテナでスペースダイバーシティ受信した場合の受信特性と同等となる次世代地上放送の伝送パラメータは、キャリア変調方式 16QAM 誤り訂正の符号化率 1/2 であることがわかった。

**キーワード** 地上デジタル放送、空間分割多重 MIMO、移動受信、ISDB-T

## Field experiments of mobile reception with a space division multiplexing MIMO transmission system

— Comparison with mobile reception performance of ISDB-T —

Yoshikazu NARIKIYO<sup>†</sup> Hiroaki MIYASAKA<sup>†</sup> Tomoaki TAKEUCHI<sup>†</sup> Madoka NAKAMURA<sup>†</sup>  
and Kenichi TSUCHIDA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> NHK Science & Technology Research Laboratories 1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

E-mail: narikiyo.y-eq@nhk.or.jp

**Abstract** We are developing a next generation terrestrial broadcasting transmission system for handheld and mobile reception on a space division multiplexing MIMO (SDM-MIMO) OFDM transmission system which uses two transmission antennas and two reception antennas. This paper describes field experiments of mobile reception to compare between ISDB-T reception area and SDM-MIMO reception area in Kumamoto Prefecture. As the result, transmission parameters of SDM-MIMO to be the same as the reception area of ISDB-T with 4-branch space diversity was found to be a 16QAM and coding rate 1/2.

**Keyword** Terrestrial broadcasting transmission system, SDM-MIMO, mobile reception, ISDB-T

### 1. はじめに

NHK では次世代地上放送として固定受信向けの超高精細映像 8K(Super Hi-Vision)の伝送に加えて、移動体向けにハイビジョン級の映像を伝送できるように研究を進めている。その要素技術の一つとして、複数の送受信アンテナを用いた MIMO-OFDM (Multiple Input Multiple Output - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送方式の検討[1]~[4]を行っている。これまでに、送信アンテナ 2 本、受信アンテナ 2 本の 2x2 時空間 MIMO と 2x2 空間分割多重 MIMO の受信特性の比較[2][3]や、水平偏波と垂直偏波を用いた MIMO 伝送の野外移動受信実験を行ってきた[4]。

一方で、現在の地上デジタルテレビジョン放送方式 ISDB-T (Integrated Service Digital Broadcasting -

Terrestrial) [5]は、携帯端末向けのワンセグと固定受信向けのハイビジョンを同一チャンネルでサービスできることが大きな特徴となっている。NHK では空間的に離れた複数の受信アンテナから得られる OFDM 信号をサブキャリア毎に最大比合成するスペースダイバーシティ受信（以下、SD: Space Diversity）を提案[6]し、4 本の受信アンテナを用いた 4 ブランチ(以下、Br)-SD 受信を適用したハイビジョン移動受信の検討を行い、移動体でもハイビジョンを安定して受信できることを報告[7]した。近年では、市販の車載端末受信機で固定受信向けのハイビジョンを見ることができるようになっている。

今回、ISDB-T のハイビジョンの移動受信エリアと次世代地上放送の伝送方式として検討している水平およ

び垂直偏波を用いた空間分割多重MIMOの移動受信エリアを比較するため、2つの信号が同じ場所から送信可能な熊本県人吉市の送信所を用いて野外移動受信実験を行ったので、その結果を報告する。

## 2. 比較する2つの伝送システム

本稿で比較するISDB-Tと空間分割多重MIMOを用いた次世代地上放送について説明する。

### 2.1. ISDB-T

ISDB-Tの変調器の構成を図1(a)に示す。映像や音声等の信号であるTSP(Transport Stream Packet)を誤り訂正符号化した後、キャリア変調を行う。キャリア変調後の信号とパイロット信号よりOFDMフレーム構成を行った後、時間領域の信号に変換し1本の送信アンテナより送信する。

### 2.2. 次世代地上放送

次世代の地上放送の伝送方式として検討している空間分割多重MIMOの変調器の構成を図1(b)に示す。TSPを誤り訂正符号化した後、キャリア変調を行う。キャリア変調後の信号をDe-MUX(2分配)し、送信アンテナTx1とTx2から異なるデータを送信する。ISDB-Tの伝送システムと大きく違うところは、送信アンテナを2本使用している部分である。そのため、同じキャリア変調を用いた場合でも伝送レートは2倍となる。

## 3. 野外実験

### 3.1. 野外実験の概要

#### (1) 送信所の諸元

実験は、ISDB-Tの中継局と次世代地上放送の実験試験局が同じ局舎に設置されている熊本県人吉市の送信所を用いて行った。表1に送信諸元を示す。ISDB-TのUHF 25chはNHK熊本放送局のNHK教育を送信電力10Wで送信しているチャンネルであり、実験試験局のUHF 46chは水平および垂直偏波を共に10Wで送信しているチャンネルである。

実験で用いた伝送パラメータを表2に示す。ISDB-Tの伝送パラメータは比較対象とするハイビジョンのパラメータを示している。また、次世代地上放送は、ISDB-Tと帯域幅は同じであるが、FFTポイント数を拡大しており、誤り訂正符号にLDPC符号とBCH符号[8]を使用している。

#### (2) 受信系統図

測定車に搭載した受信側の系統図を図2に示す。ISDB-Tの受信では、測定車の屋根に設置した4個のクロスダイポールアンテナで受信した信号を分配し、3つの受信機(1Br,2Br-SD,4Br-SD)に入力した。次世代地上放送の受信では、偏波共用受信アンテナ(無指向

性アンテナ)で受信した信号を空間分割多重MIMO受信機に入力した。各受信機の出力信号であるTSPを記録PCに入力し、誤り訂正符号(外符号)後のPER(Packet Error Rate)を1秒毎に記録した。さらに、GPSから得られる測定車の位置情報および速度情報と受信電界強度も同時に記録した。

測定車の屋根に設置した受信アンテナの配置を図3に示す。ISDB-Tを受信する4つの受信アンテナ#1~#4は、なるべく受信信号の相関が低くなるように配置し、1Br用受信機には受信アンテナ#1を、2Br-SD用受信機には受信アンテナ#1と#2を、4Br-SD用受信機には受信アンテナ#1~#4を使用した。次世代地上放送を受信する偏波共用受信アンテナ#5、#6は中央に設置した。

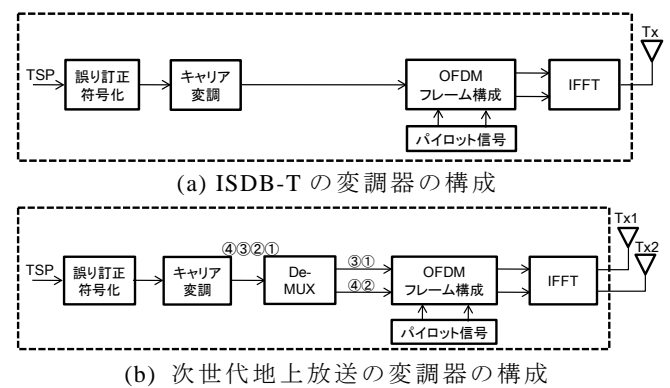


図1 各伝送システムの変調器の構成

表1 送信諸元

	ISDB-T	次世代地上放送
チャンネル	UHF 25ch	UHF 46ch
偏波	水平	水平, 垂直
送信電力	10 W	10 W(水平, 垂直両方)
ERP	125 W	140 W
海拔高	643.0 m	632.2 m
送信アンテナ	双ループ 6L 2段 2面	多段型ダイポール 偏波共用 1段 1面

表2 伝送パラメータ

	ISDB-T	次世代地上放送
伝送方式	OFDM	空間分割多重 MIMO-OFDM
帯域幅	5.6MHz	5.6MHz
FFTポイント数	8192	16384
サブキャリア数	5617	11233
有効シンボル長	1008μs	2016μs
ガードインターバル比	1/8 (GI長: 126μs)	1/16 (GI長: 126μs)
時間インターリーブ長	約 0.2 秒	約 0.4 秒
キャリア変調	64QAM	16QAM, 64QAM
誤り訂正符号 (内符号) 符号化率	畳み込み符号 R=3/4	LDPC符号 R=1/2, 2/3, 3/4
誤り訂正符号 (外符号)	RS符号	BCH符号

### (3) 測定ルートと評価手法

測定したルートを図4に示す。表2に示す次世代地上放送のキャリア変調と誤り訂正符号（内符号）の符号化率を変えて同じコースを周回した。1周は約72kmの一般道で、平均時速は約40km/hであった。1回の測定サンプル数は約7000サンプルであった。

今回の実験では、1秒毎の測定データについて、1パケットも誤りが無いサンプル（PER=0.0）を正受信サンプルとして受信電界強度毎の正受信率を算出した。正受信率は、各受信電界強度の全サンプル数を分母、分母に含まれる正受信サンプル数を分子とした場合の割合とした。また、取得した測定データの中から、信号待ちなどで測定車が止まっているサンプルは排除した。

## 3.2. 野外実験結果

### (1) 受信電界強度と正受信率

測定ルートにおける全サンプルに占める各受信電界強度の割合を図5に示す。これより、受信電界強度が40dB以上の広い範囲にわたる受信環境で測定できていることがわかる。

各伝送パラメータにおける受信電界強度と正受信率の結果を図6に示す。図中の点線はISDB-Tの1Br, 2Br-SD, 4Br-SDの受信特性を示し、実線は次世代地上放送の各伝送パラメータの受信特性を示している。

正受信率90%と比較すると、ISDB-T 4Br-SDとほぼ同等の特性となる次世代地上放送の伝送パラメータは16QAM 符号化率 1/2 の場合であり、その場合の受信電界強度は約53dB $\mu$ V/mであった。各伝送パラメータにおけるセグメント（428.57 kHz）当たりの伝送レートと、正受信率90%を満たす受信電界強度を表3に示す。表3より、次世代地上放送の伝送パラメータが16QAM 符号化率 1/2 の時に、ISDB-Tの伝送レートとほぼ一致し、4Br-SDの受信電界強度とほぼ同じとなることから、ISDB-Tの場合には4本の受信アンテナが必要であったのに対して、次世代地上放送は水平偏および垂直偏波用の2本の受信アンテナで同じ受信エリアが確保出来ることを示している。

また、ISDB-T 2Br-SDと近い特性となる次世代地上放送の伝送パラメータは16QAM 符号化率 2/3 と符号化率 3/4 の間であり、次世代地上放送の方が伝送レートを多く確保出来ることがわかる。

### (2) 受信可能区間の比較

測定ルートにおいて、100m毎に区切った各範囲内で正受信サンプルの割合が90%以上は受信可とし、90%未満は受信不可として、受信可能区間を比較した。

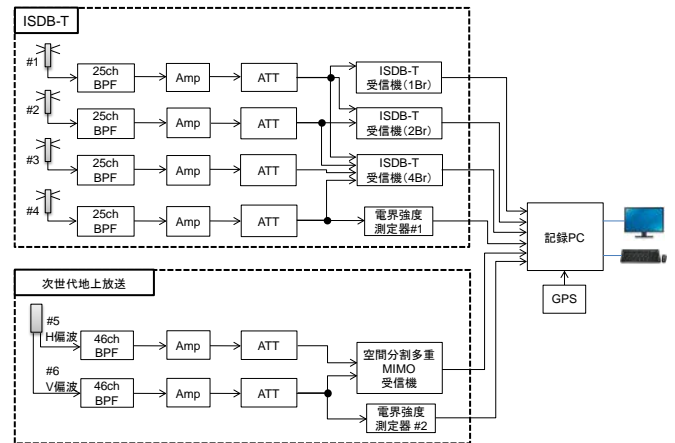


図2 受信系統図

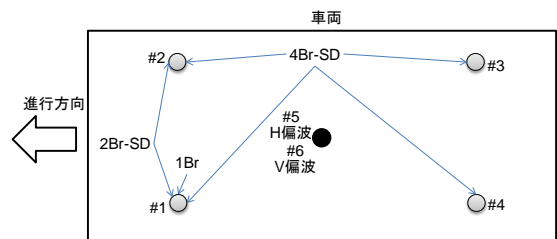


図3 受信アンテナの配置



図4 測定ルート

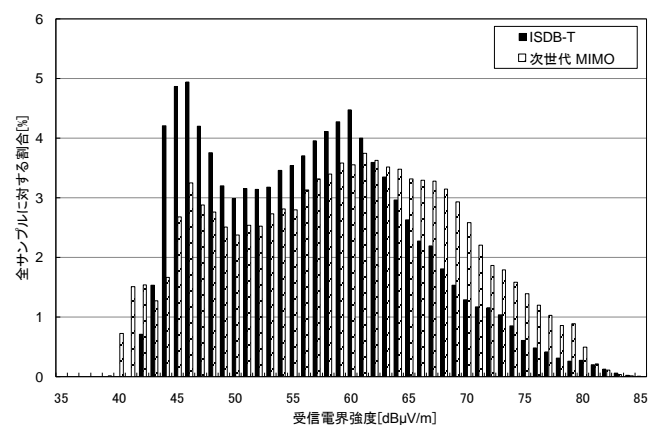


図5 測定場所ルートにおける受信電界強度

最初に、図6において受信特性が同等に近い ISDB-T 4Br-SD と次世代地上放送 16QAM 符号化率 1/2 の受信可能な区間の比較を図7に示す。図中には、両方の受信機で受信可であった区間、次世代地上放送のみが受信可であった区間、ISDB-Tのみで受信可であった区間、両方共に受信不可であった区間の4種類で色分けしている。今回の測定ルートと解析手法においては、全726区間中 ISDB-T 4Br-SD は約62%が受信可であり、次世代地上放送は約71%が受信可であった。受信可能区間から見ても、次世代地上放送 16QAM 符号化率 1/2 は ISDB-T 4Br-SD と同じ受信エリアを確保出来る。

次に、ほぼ同じ伝送レートで、受信アンテナ数も同じ2本の場合を比較するために、ISDB-T 2Br-SD と次世代地上放送 16QAM 符号化率 1/2 の受信可能区間の結果を図8に示す。図7同様、各区間を4種類で色分けしている。全区間中、ISDB-T 2Br-SD は約25%が受信可であった。次世代地上放送は図7と同様約71%が受信可であるため、同じ受信アンテナ数で比較すると、大きく受信エリアが拡大していることがわかる。

#### 4. まとめ

ISDB-T のハイビジョンの移動受信エリアと次世代地上放送の伝送方式として検討している偏波を用いた空間分割多重 MIMO の移動受信エリアを比較するため、野外移動受信実験を行った。正受信率 90% で比較した場合、ISDB-T の 4 ブランチスペースダイバーシティ受信と同等の特性となる次世代地上放送の伝送パラメータは 16QAM 符号化率 1/2 であることがわかった。

#### 文 献

- [1] 岡野, 成清, 古田, 高田, 中原: “直交化スキャタードパイロットを用いた MISO-OFDM 伝送方式の検討”, 映情学技報, vol135, No.35, pp.33-36, BCT2010-66, CE2010-36 (Sep.2010)
- [2] 成清, 中村, 実井, 高田: “直交化スキャタードパイロットを用いた MISO-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環境下での時空間 MIMO と空間多重 MIMO の比較-”, 映情学技報, vol137, No.9, pp.53-56, BCT2013-51 (Feb.2013)
- [3] 成清, 宮坂, 中村, 実井, 高田: “時空間 MIMO と空間多重 MIMO の移動受信における伝送特性の野外実験による比較”, 2014 映情学年大, 6-3 (2014)
- [4] 成清, 中村, 実井, 高田: “水平・垂直偏波を用いた SFBC-MIMO の野外移動受信実験”, 2013 信学総大, B-5-174 (2013)
- [5] “地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式標準規格”, 社団法人電波産業会, ARIB STD-B31
- [6] 浜住, 伊藤, 宮沢: “広帯域信号移動受信用分割型ダイバーシティ合成受信方式の特性”, 信学論, B-2, Vol.J80-B-2, No.6, pp466-474 (Jun.1997)
- [7] 土田, 岡野, 高田: “4 ブランチダイバーシティ受信による地上デジタル HDTV 移動受信エリア”, 映情学技報, vol29, No.44, pp.25-28, BCT2005-79 (Jul.2005)
- [8] “Digital video broadcasting (DVB); frame structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2),” ETSI, Tech. Rep. EN 302 755 V1.3.1, Apr. 2012.

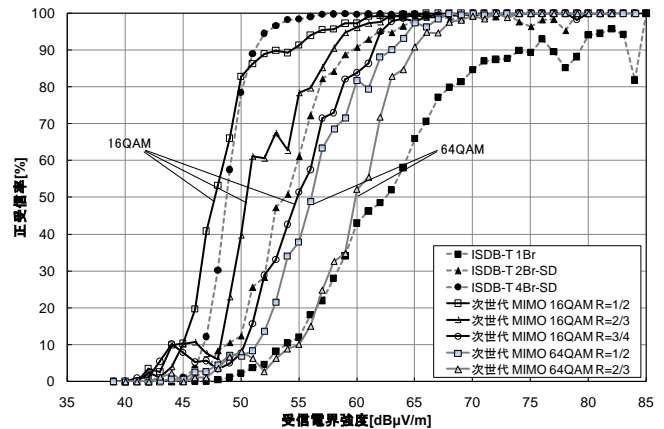


図6 受信電界強度と正受信率

表3 セグメント当たりの伝送レートと正受信率 90% の受信電界強度

	キャリア変調	符号化率	セグメント当たりの伝送レート [Mbps]	受信電界強度 [dBμV/m]
ISDB-T	64QAM	3/4	1.404	2Br:60
				4Br:52
次世代地上放送	16QAM	1/2	1.434	53
	16QAM	2/3	1.917	58
	16QAM	3/4	2.156	62
	64QAM	1/2	2.154	63
	64QAM	2/3	2.879	65



図7 ISDB-T 4Br-SD との比較



図8 ISDB-T 2Br-SD との比較