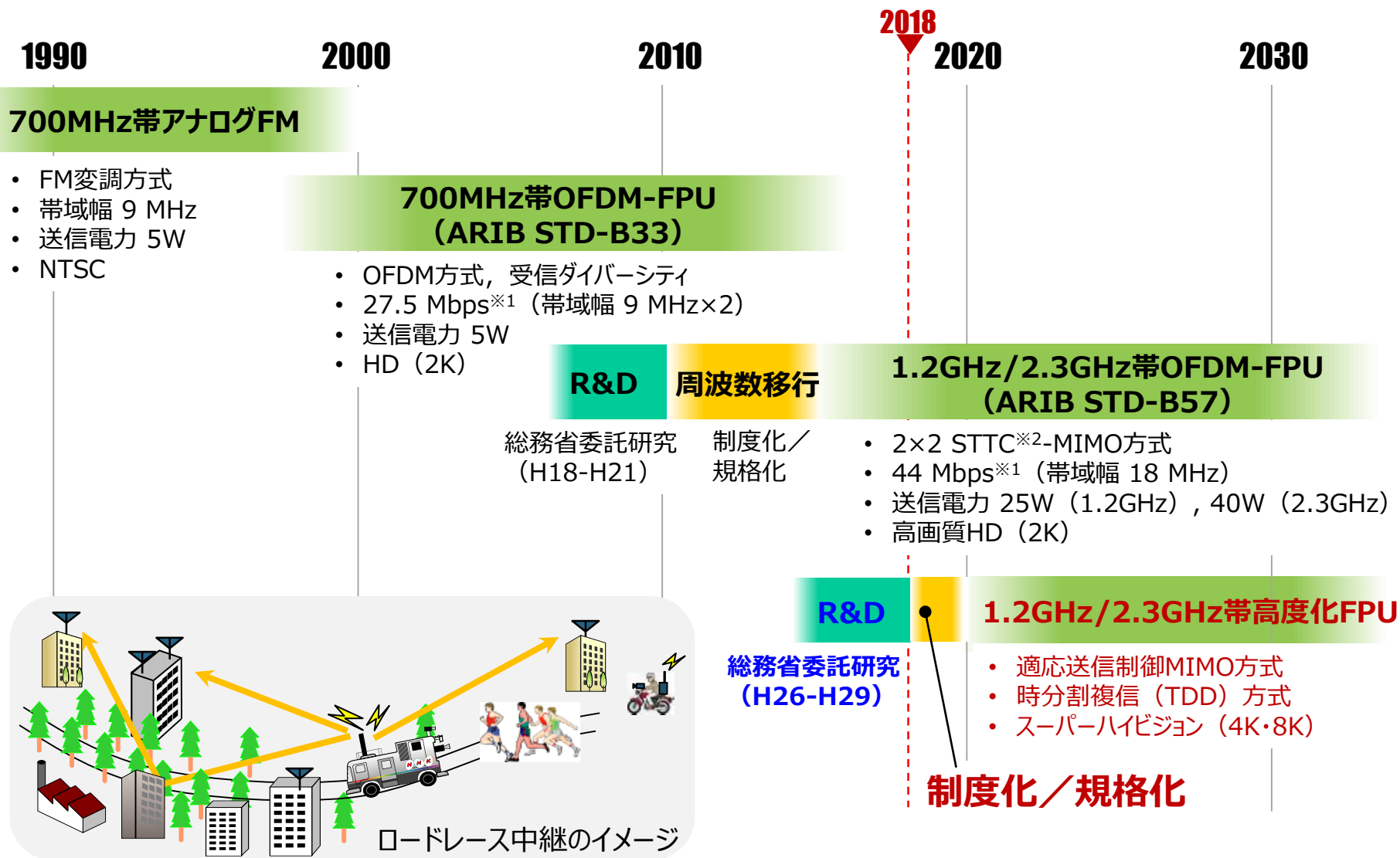

提案システムの概要

平成30年7月18日

日本放送協会

移動中継用FPUの伝送方式

主にマラソンや駅伝などのロードレース中継で使用する移動中継用FPUの変遷



※1 パケット長188byteのTSレート

※2 STTC: Space-Time Trellis Code

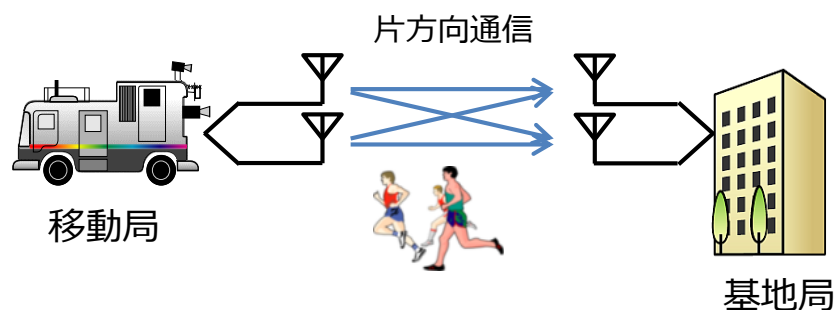
1.2/2.3GHz帯FPUの高度化技術

- 占有周波数帯幅及び空中線電力を既存システムと同等※に抑えたまま、伝送容量を増やすため、FPUを双方向化し、伝搬環境の変動に応じて動的に伝送パラメータを変更する仕組みを導入予定。

※占有周波数帯幅：17.5MHz幅／空中線電力：25W（1.2GHz帯）40 W（2.3GHz帯）

従来方式

※ ARIB STD-B57（1.2/2.3GHz帯FPUの規格）



- 最大44MbpsでHD(2K)品質を伝送可能

- **2送信2受信 MIMO**

※ STTC-MIMO方式

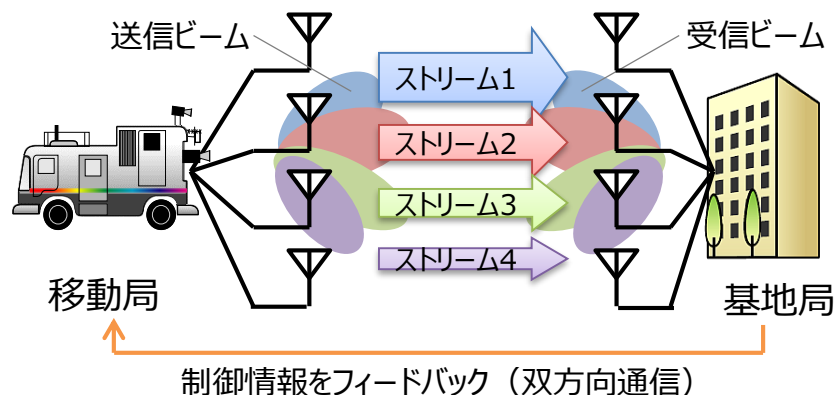
※ SISO方式や空間多重MIMO方式も別途規定

- **片方向通信**

- **変調方式や符号化率は固定**

高度化方式（新方式）

※ 総務省委託研究（H26～29）



- 最大145Mbpsで8K品質を伝送可能

- **4送信4受信 MIMO**

※ SVD-MIMO方式

- **双方向通信**

※ 時分割復信(TDD)方式

※ 送信制御情報を基地局から移動局にフィードバック

- **変調方式や符号化率を可変**

※ BPSKから最大1024QAMを適応的に割り当て

MIMO技術の分類

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 技術

複数の送受信アンテナを用いることにより、多重伝搬路（空間多重）を積極的に利用して**伝送容量を高める**こと、又は**伝送品質を高める**ことができる方式

- 複数の送信アンテナから出力される信号は、時間と空間の領域を用いて同一周波数に多重されて伝送されるため、周波数利用効率のよい伝送方式が実現可能
- 同一周波数に多重された信号（ストリームと呼ぶ）は、各ストリームが互いに干渉して受信されるが、受信側の信号処理により各ストリームを分離、検出して復号可能

SISO
(Single-Input
Single-Output)
送受信ともに
1本のアンテナ

複数の伝搬路で
異なる情報を伝送し
伝送容量を拡大

マルチストリーム伝送

シングルストリーム伝送

複数の伝搬路で
一つの情報を伝送し
確実に情報を伝送
(ダイバーシチ利用)

高度化方式

固有モード伝送(SVD)

空間多重※1, ※2

時空間符号

時空間ブロック符号(STBC)

時空間トレリス符号(STTC)※1

従来方式

伝搬路状態情報(CSI)
を送信側が**保有**
(受信側からの**フィードバックが必要**)

送信側の電力や変調方式を
適切に制御※することが可能になり、
優れた特性を得ることが可能

伝搬路状態情報(CSI)
を送信側が**保有しない**
(受信側のみが保有)

送信側は受信側の状況によらず
一定の方法で送信せざるを得ず、
伝搬路の状態によっては
伝送が破綻する可能性

※伝搬路を特異値分解(SVD)し、
送受信ウェイトを各固有モードを実現する
固有ベクトルとすることで、固有値数分の
並列伝送が可能となる

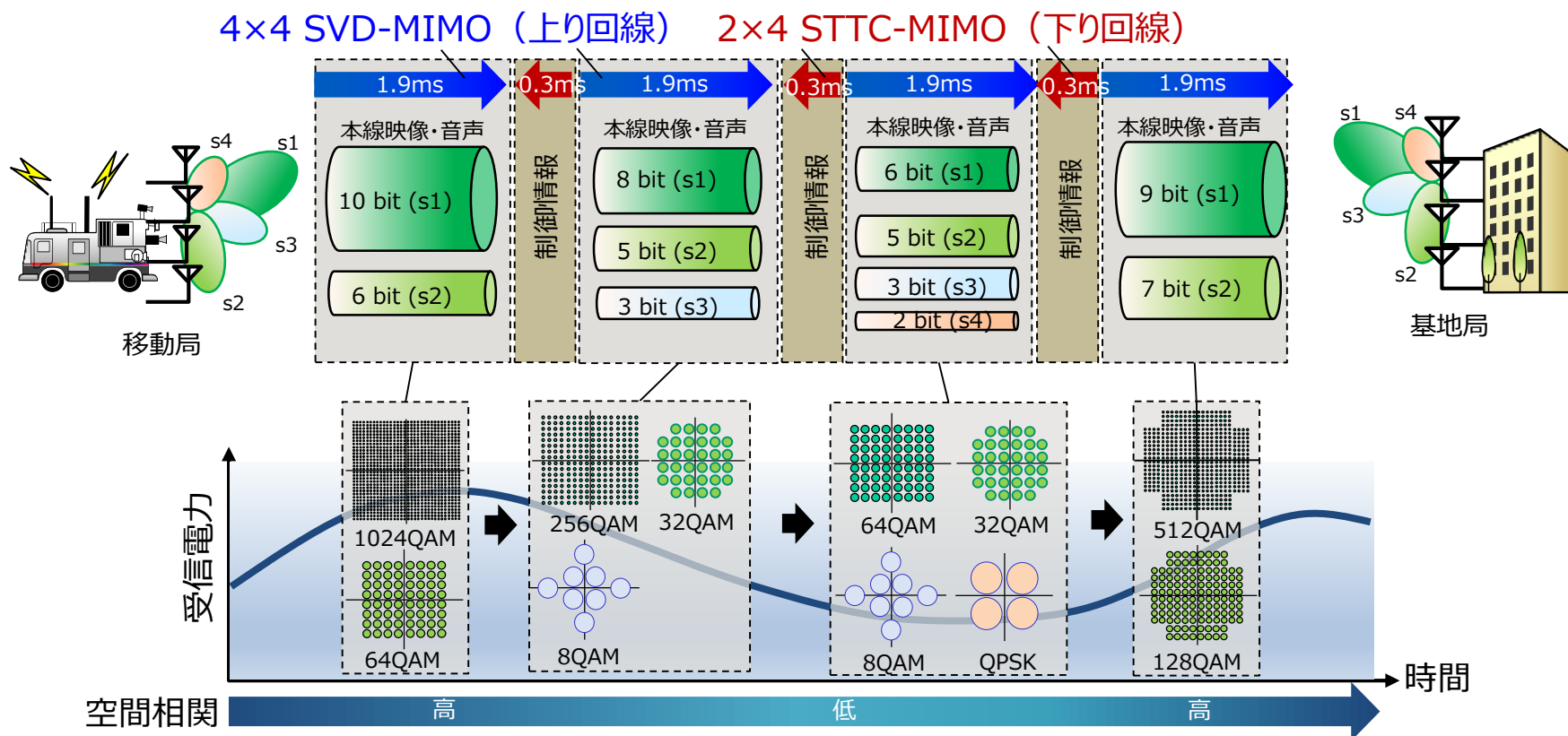
※1 ARIB STD-B57で規定
※2 ARIB STD-B71で規定

CSI : Channel State Information
SVD : Singular Value Decomposition
STBC : Space-Time Block Code
STTC : Space-Time Trellis Code

高度化技術①：適応送信制御SVD-MIMO

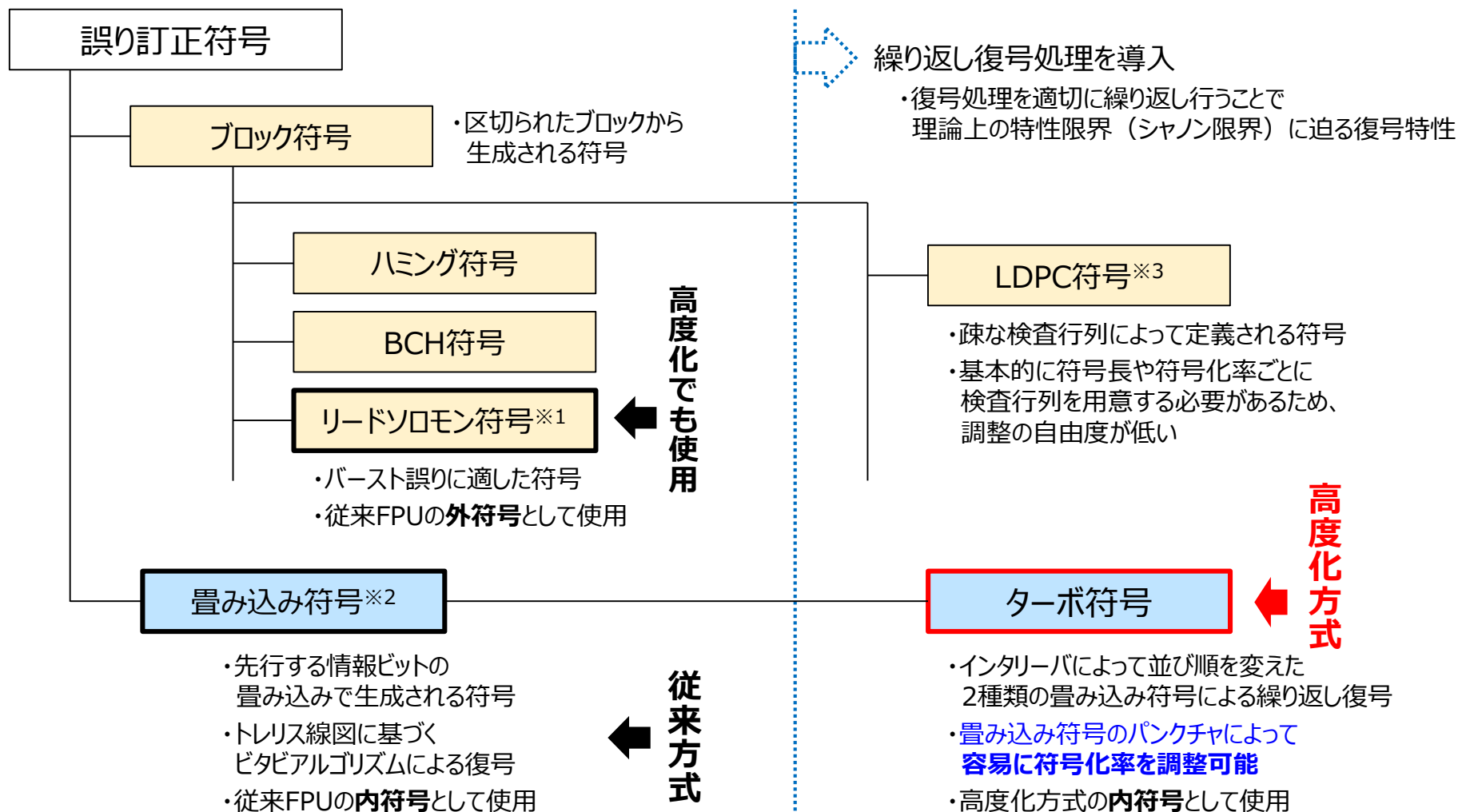
- 伝搬路状況のフィードバックを受けるため、時分割復信（TDD）による双方向伝送を導入
- 変動する伝搬路に応じてMIMOストリーム数や変調多値数等の伝送パラメータを適応的に変更
 - ・ 伝搬環境が見通しの場合は、少ないMIMOストリームにビット数を集中し、
 - ・ 伝搬環境が反射波の多い場合は、多数のMIMOストリームに変調ビット数を分散
 - ・ トータルの変調ビット数は一定

→ 瞬時瞬時の伝搬路状況に適した伝送パラメータを選択することで、無駄なく大容量伝送を実現



※見通しがよい場合は空間相関は高い、逆に反射波が多い場合は空間相関は低い

誤り訂正符号の分類



※1 ARIB STD-B57の外符号として規定

※2 ARIB STD-B57(SISO方式)の内符号として規定

※3 ARIB STD-B71の内符号として規定

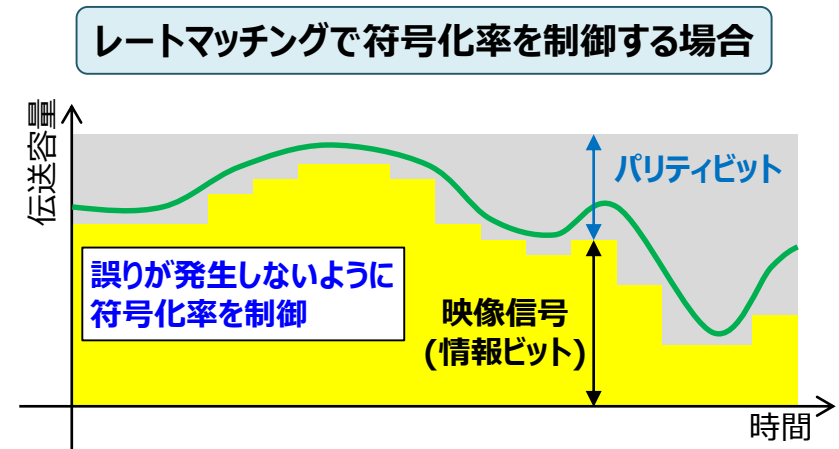
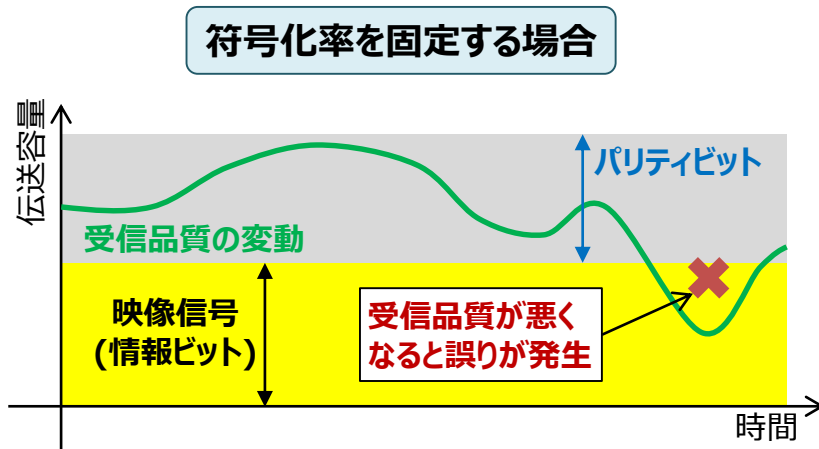
BCH : Bose-Chaudhuri-Hocquenghem

LDPC : Low Density Parity Check

高度化技術②：ターボ符号を用いたレートマッチング技術

- 伝搬路に応じて誤り訂正符号の符号化率を適応制御（レートマッチング）
 - 伝搬環境が良い場合、符号化率を高くする（伝送マージンを極力減らし伝送容量を増大）
 - 伝搬環境が悪い場合、符号化率を低くする（伝送容量は下がるが、誤り耐性を高め映像伝送を継続）
 - 誤り訂正符号は、内符号（ターボ符号）の符号化率を、 $R=0.92\sim 0.33$ で制御（52～145Mbpsで可変）
 - 符号化後のビット列から、送信しないビットを間引いて（パंकチャ）符号化率を変更

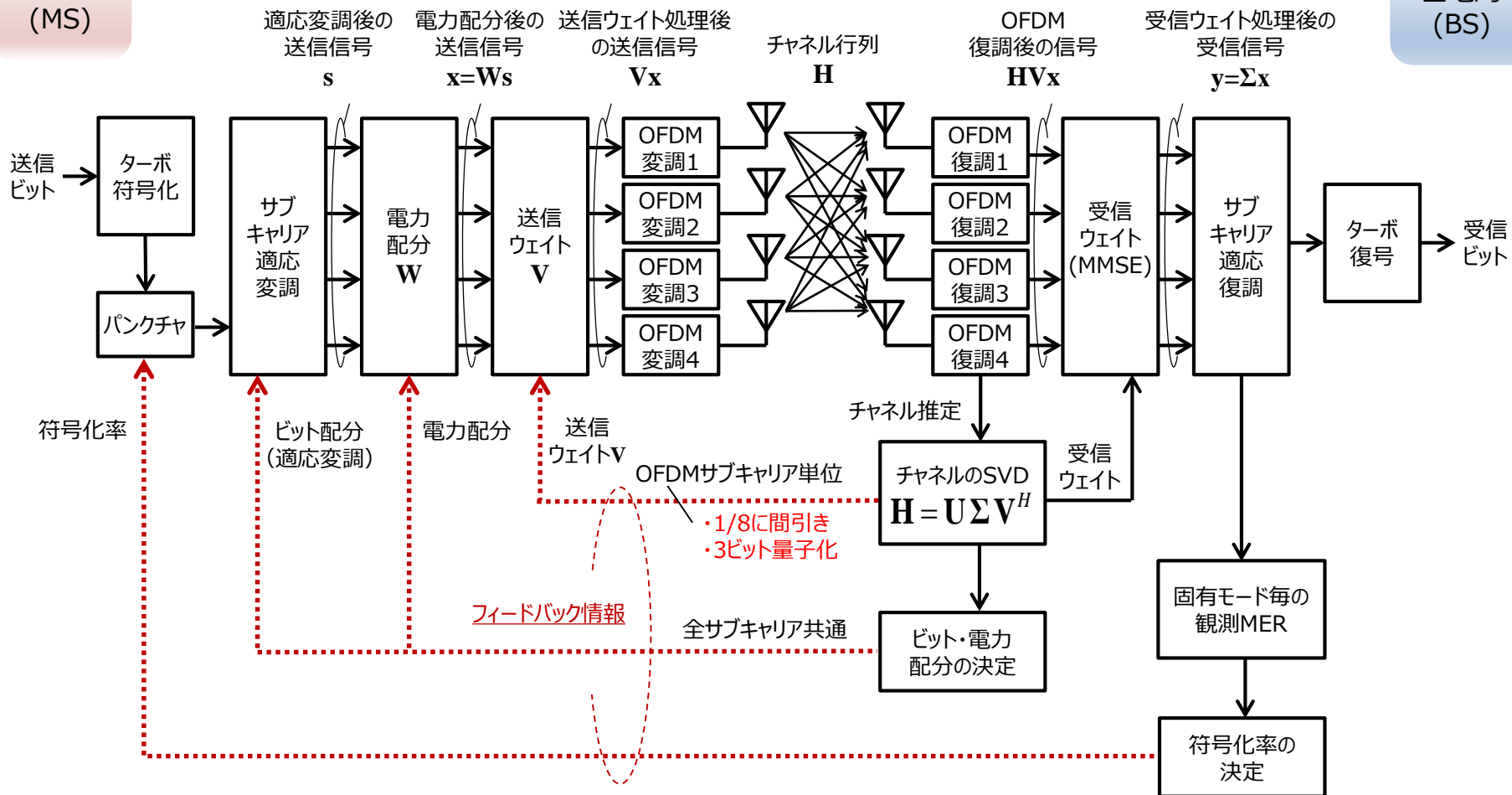
→ 状況に応じてビットレートを制御し、途切れのない映像伝送を実現



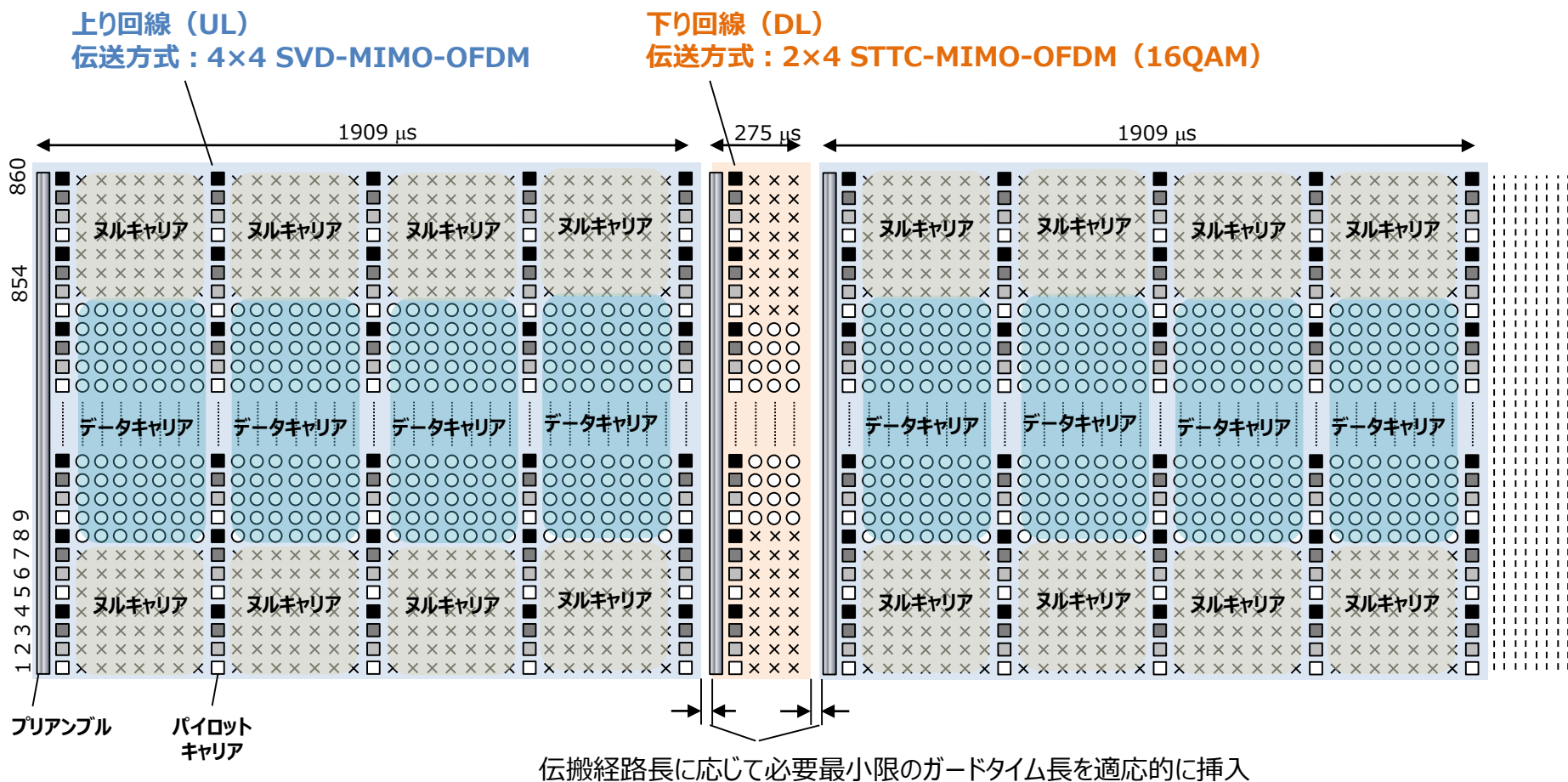
高度化システムの信号処理ブロック図

移動局 (MS)

基地局 (BS)



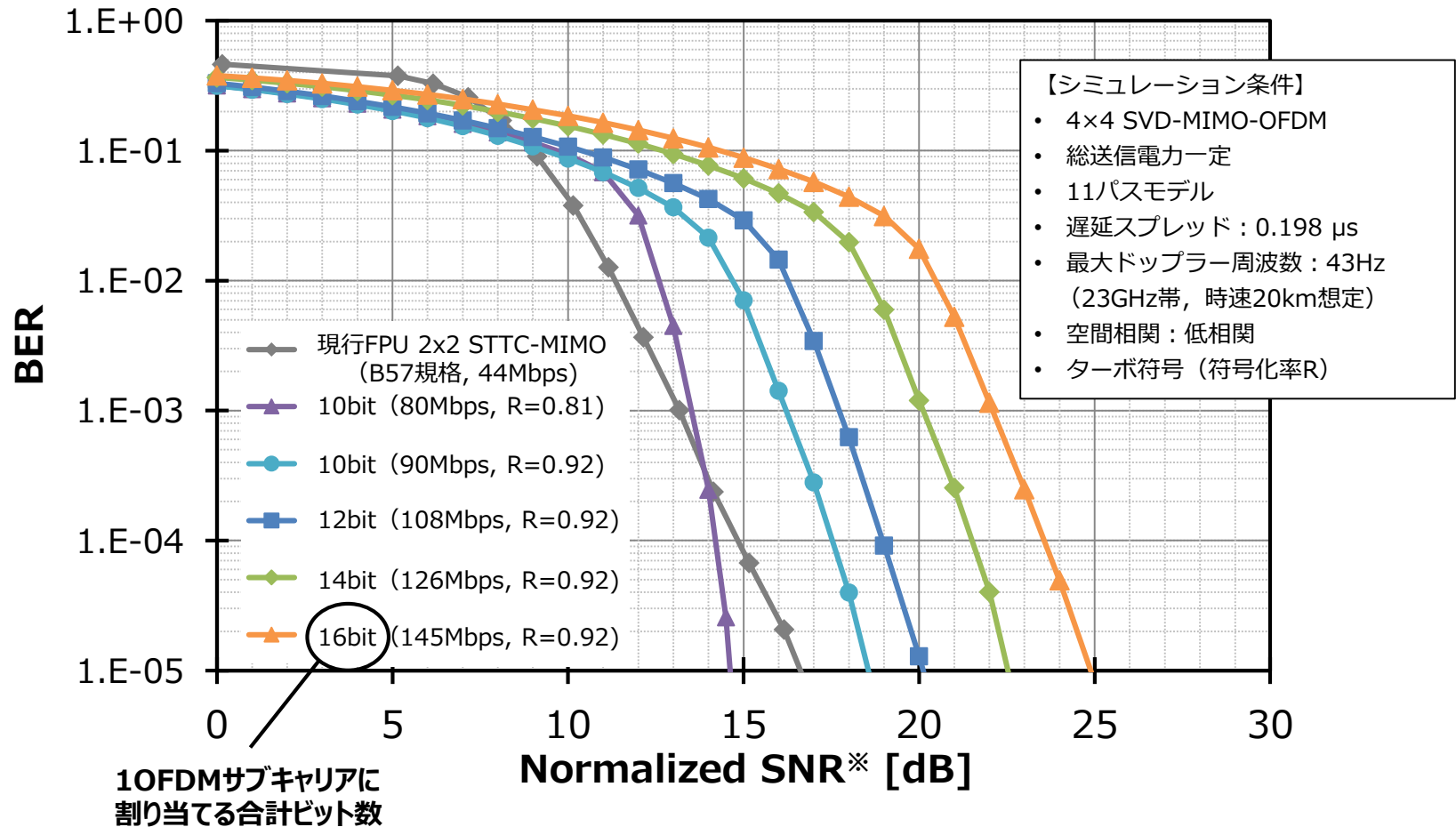
TDDフレーム構成とサブキャリア配置の一例



- データキャリア
- × ヌルキャリア
- 送信アンテナ 1 用パイロットキャリア
- ◻ 送信アンテナ 2 用パイロットキャリア
- 送信アンテナ 3 用パイロットキャリア
- 送信アンテナ 4 用パイロットキャリア

高度化方式（4×4 SVD-MIMO）の伝送特性

計算機シミュレーションによる伝送特性評価



高度化方式では、変調次数**1ビット増加**で所要SNRは約**1dB**増加（低相関モデル）

※各アンテナから等しい電力で送信されたと仮定した場合の受信SNR

試作装置の主な諸元

	上り回線（本線映像）	下り回線（制御情報）
周波数帯	2.3 GHz帯	
信号帯域幅	17.5 MHz	
複信方式	時分割複信（TDD）	
送信電力	40 W	20 W
TDDフレーム長 （UL長 + DL長）	2.2 ms （1.9 ms + 0.3 ms）	
伝送方式	4×4 SVD-MIMO （受信ウエイト：MMSE）	2×4 STTC-MIMO
空間多重数	2～4（適応制御）	2
1次変調方式	OFDM （シンボル長：56.33 μs, FFTサイズ：1K（1024）, GI長：6.26 μs）	
2次変調方式	BPSK～1024 QAM	16QAM
内符号（情報ビット長 ／符号化率R）	ターボ符号（1632bit/ R=0.33～0.92の12種類を自動切換）	STTC*（R=0.5） *重み付け係数はARIB STD-B57準拠
時間インターリーブ	10 ms～640 msの7種類から選択	0 ms（なし）
外符号	RS(204, 188)	RS(211, 195)
最大伝送レート （最小伝送レート）	145 Mbps （52 Mbps）	5 Mbps

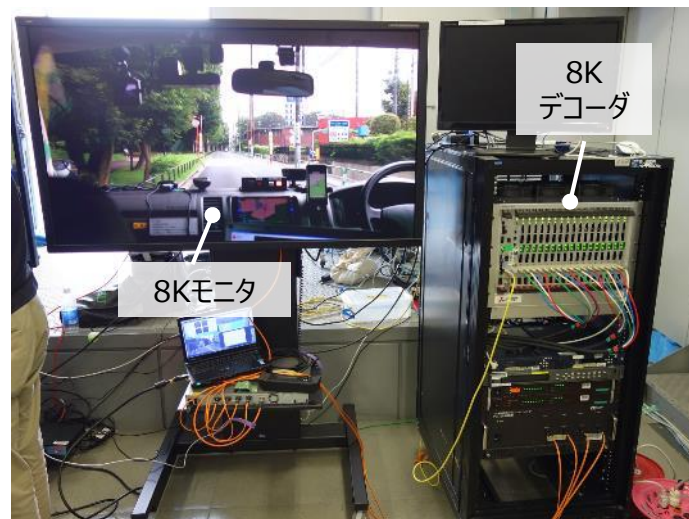
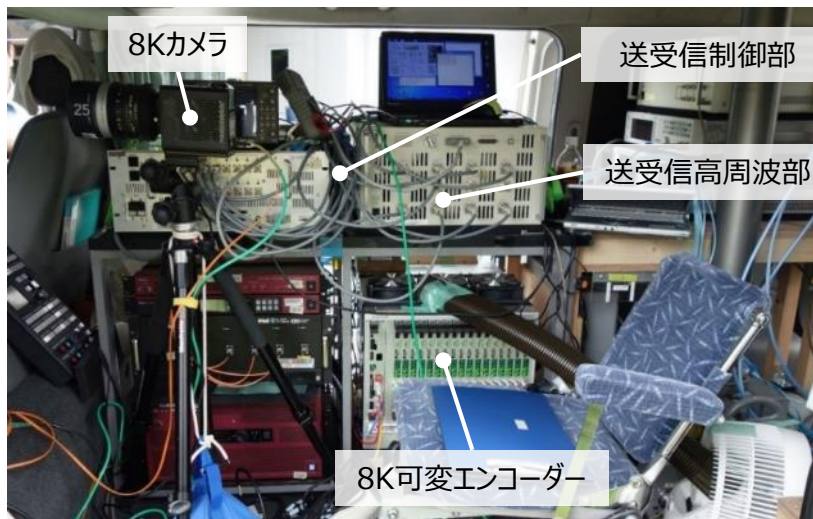
試作装置を用いた野外実験

※ 偏波の構成は一例。
VH偏波で送信された電波が、反射によって偏波回転しても安定して受信できるよう、基地局側ではLR偏波が使われることもある。

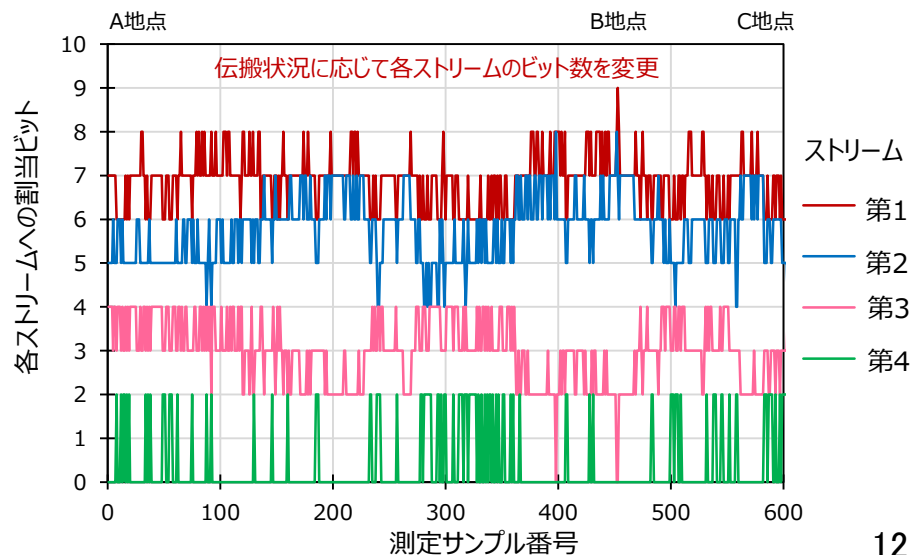
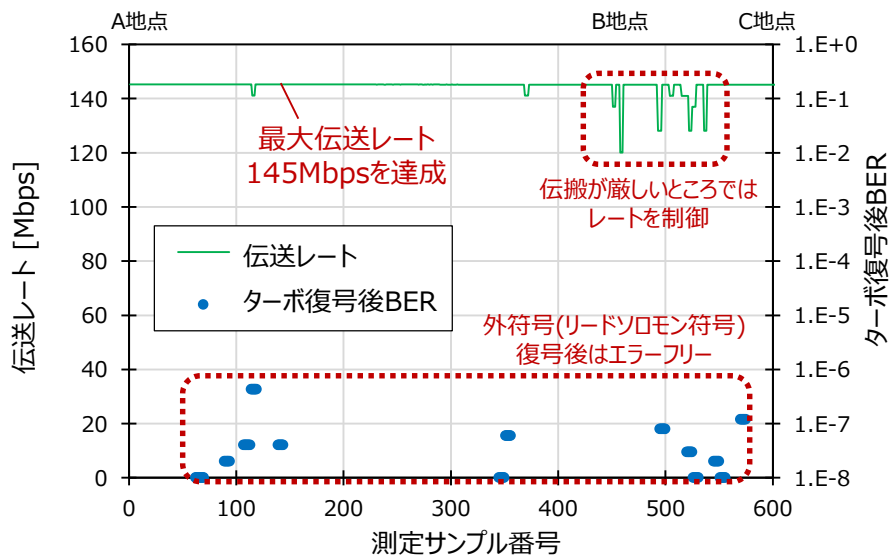
移動局



基地局

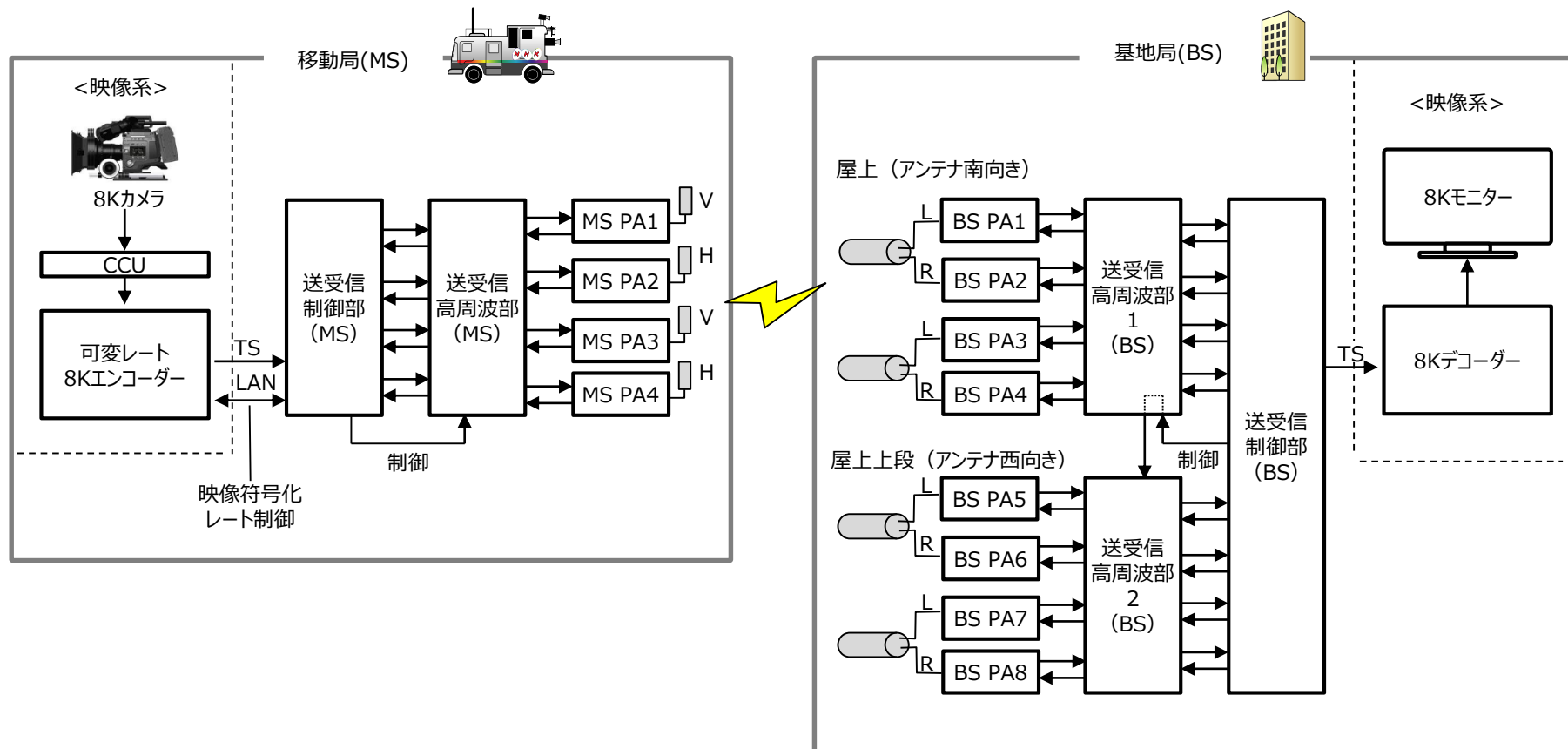


試作装置を用いた野外実験 【実験結果】



複数基地局映像中継機能の実験 【系統図】

- 南向きにLR偏波共用アンテナ 2本を、西向きにLR偏波共用アンテナ 2本を設置
- アンテナを自動で適切に切り替えることで伝送エリアを拡大

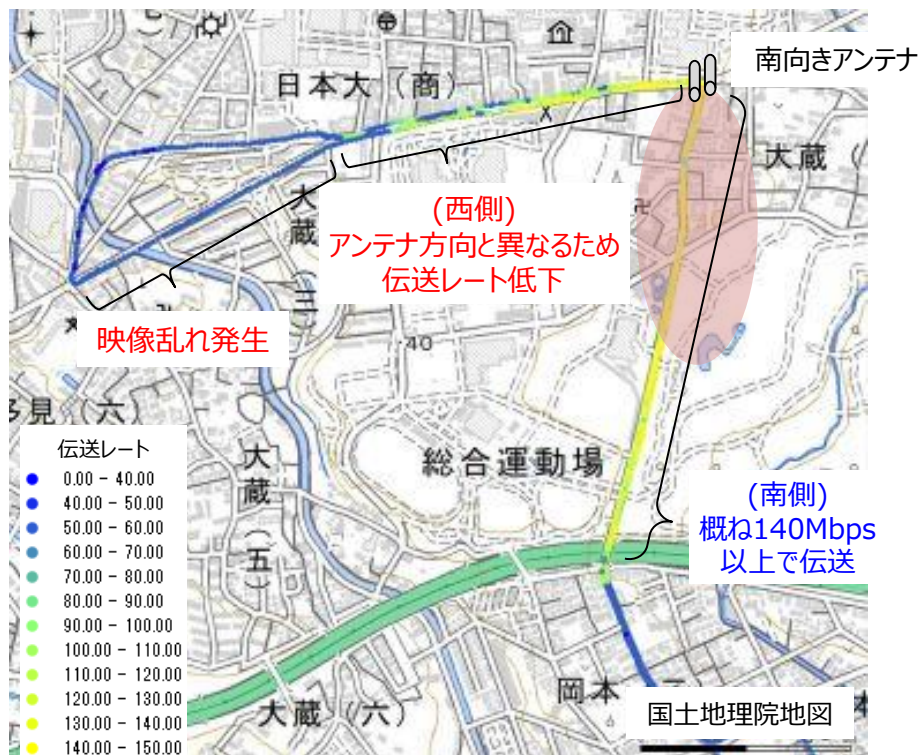


※ 偏波の構成は一例。
VH偏波で送信された電波が、反射によって偏波回転しても安定して受信できるよう、基地局側ではLR偏波が使われることもある。

複数基地局映像中継機能の実験 【結果】

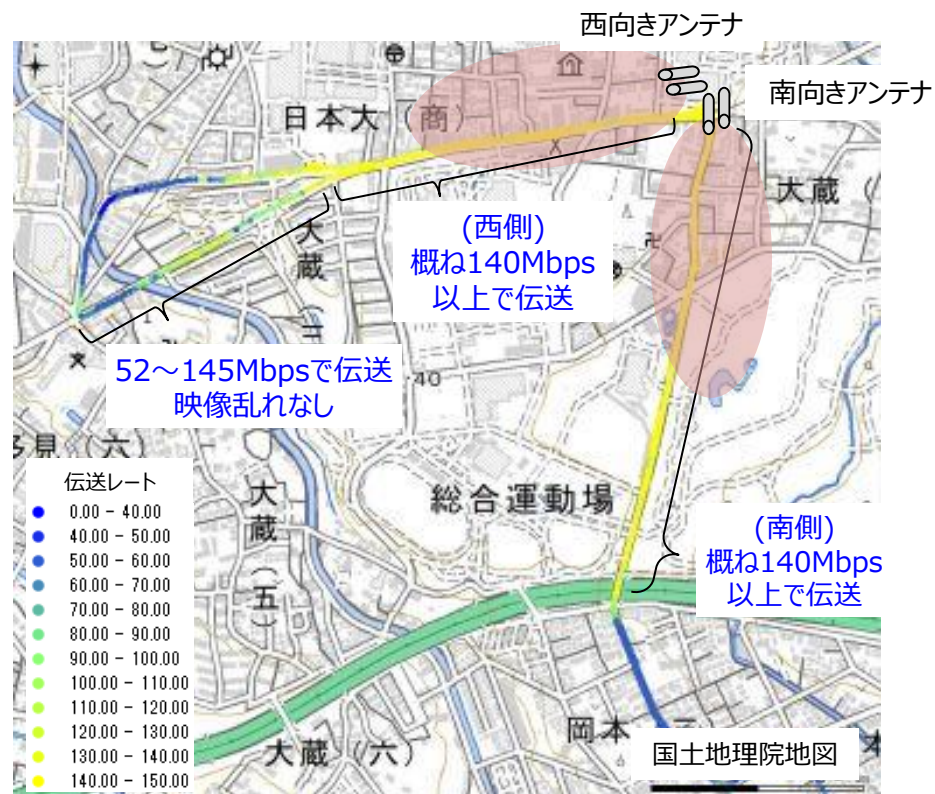
【複数基地局映像中継機能なし】

西側エリアの伝送エリアが狭い



【複数基地局映像中継機能あり】

西側エリアの伝送エリアが拡大



1.2/2.3GHz帯FPUの高度化に向けて、 総務省委託研究で研究開発したシステムの概要をご説明

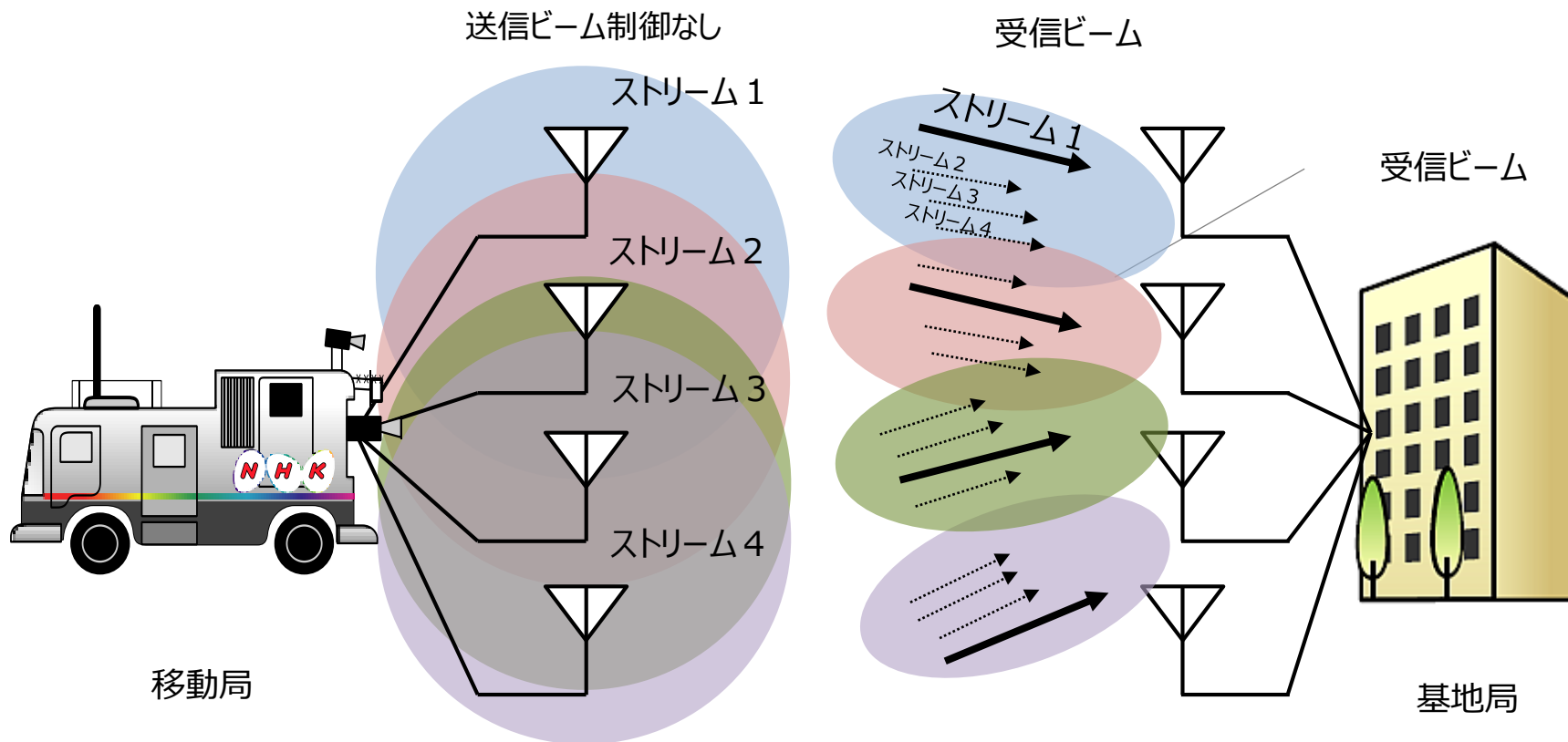
● 高度化技術の概要

- 占有周波数帯幅及び空中線電力を既存システムと同等に抑えたまま伝送容量を拡大するためFPUをTDDにより双方向化し、動的に伝送パラメータを変更する仕組みを導入
 - 4送信4受信の適応送信制御SVD-MIMO
伝搬路に応じてMIMOストリーム数や変調多値数等の伝送パラメータを適応的に変更して大容量伝送を実現
 - レートマッチング技術
伝搬路に応じて誤り訂正符号の符号化率を適応制御し途切れのない映像伝送を実現

● 装置試作・野外伝送実験結果のご紹介

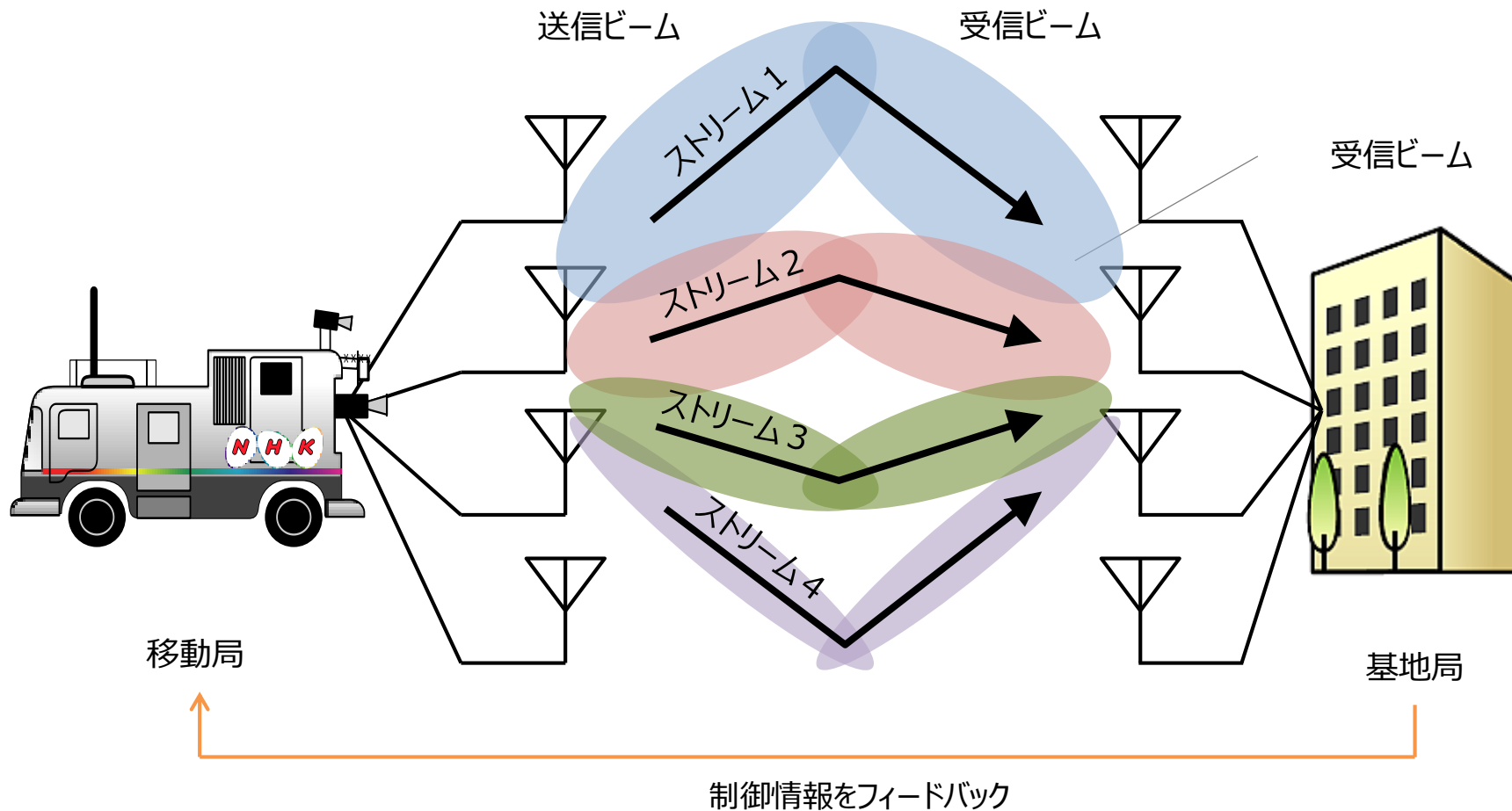
- 実際のハードウェアで変調方式や符号化率を変更する動作が実現できることを確認
- 既存システムと同等の占有周波数帯幅及び空中線電力で最大145Mbpsの移動伝送を達成
- 大規模中継に必要な複数基地局の自動切替も可能であることを確認

(参考) 片方向通信のMIMO方式イメージ



ストリーム間の干渉を受信側で除去する必要あり。
除去できない場合は受信特性が大きく劣化。

(参考) 双方向通信のMIMO方式イメージ



送信・受信ビーム制御でストリーム間の干渉がない独立した伝搬路を形成

(参考) 映像フォーマットとビットレート

■ 映像フォーマット



8K (SHV)	7680×4320 約3300万画素	デュアルグリーン (4:2:2, 60p, 10bit)	24Gbps (HD×16)
		フル解像度 (4:4:4, 60p, 10bit)	72Gbps
		フルスペック (4:4:4, 120p, 12bit)	> 150Gbps
2K (HDTV)	1920×1080 約200万画素	4:2:2, 60i, 10bit	1.5Gbps (HD-SDI)

■ 番組素材 (圧縮) のビットレート (映像レート)

コーデック	2K (AVC/H.264)	4K (HEVC/H.265)	8K (HEVC/H.265)
(固定中継) 3段タンデム接続	35Mbps	145Mbps	285Mbps
(固定中継) 2段タンデム接続	27Mbps	145Mbps	188Mbps
(移動中継) 1段のみ	21Mbps	96Mbps	140Mbps

※ 2K …… ARIB素材伝送用AVCコーデック評価JTG：素材伝送用AVCコーデック画質評価実験報告書（2009）
4K・8K …… ARIB素材伝送用HEVCコーデック評価JTG：素材伝送用HEVCコーデック画質評価実験報告（2017）