

情報通信審議会 情報通信技術分科会
放送システム委員会
放送事業用無線局検討作業班
報告

(1.2GHz 帯及び 2.3GHz 帯の放送事業用無線局 (F P U) の高度化)

1. 2GHz 帯及び 2. 3GHz 帯の放送事業用無線局（F P U）の高度化のための技術的条件

1 放送事業用無線局（F P U）の大容量化技術

現在使用している 800MHz 帯 F P U は、平成 23 年 4 月に改正された周波数割当計画により、平成 31 年 3 月 31 日までに 1. 2GHz 帯又は 2. 3GHz 帯へ移行することが求められ、放送事業者と携帯電話事業者との交渉を円滑に進められるよう、まず 1 対 1 の送受信系統で構成される SISO（Single-Input Single-Output）伝送に関する技術的条件を先行して審議し、平成 25 年 1 月 25 日に開催された情報通信審議会情報通信技術分科会において諮問第 2023 号「放送システムに関する技術的条件」をもって諮問された事案のうち、「放送事業用無線局の高度化のための技術的条件」のうち、「1. 2GHz 帯及び 2. 3GHz 帯を使用する放送事業用無線局（F P U）の技術的条件」の一部答申（以下「一部答申」という）を得たところである。

一方、今日のデジタル無線方式に関する技術の進展は著しく、その進展の状況も十分勘案しなければ、短期間に陳腐な技術になってしまう恐れがあることから、本審議においては更に一定の技術を網羅することとし、現在各研究機関等において開発が行われている MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）技術の F P U への導入や国際的に標準化が進められている情報圧縮技術である H E V C についても検討を行った。

1. 1 MIMO技術

（1）MIMO技術の概要

MIMO 技術とは、複数の送受信アンテナを用いることにより、多重伝搬路^{※1}（空間多重）を積極的に利用して伝送容量を高める、あるいは伝送品質を高める伝送方式であり、図 1. 1 に示す様な例がある。複数ある MIMO 伝搬路が独立に変動するレイリーフェージング環境においては、伝送容量が送信アンテナの数に比例して増加するため、大容量（高速化）伝送や回線信頼性を向上させることができる。

代表的な MIMO の分類を参考資料 1 に示す。

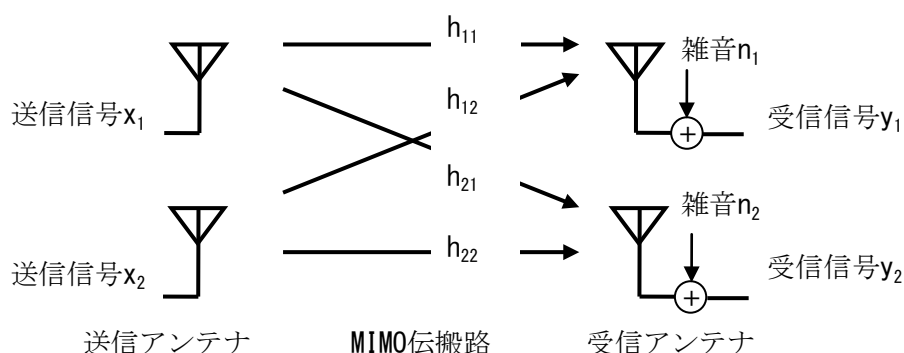


図 1.1 2×2 MIMO モデル

※1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、周波数利用効率の良い伝送が行える。また、同一周波数に多重された信号（ストリーム）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、検出して復号される。

(2) FPUへのMIMO技術の導入

FPUは単向通信方式であるため、伝搬路情報を送信側にフィードバックすることができないが、単向通信方式であっても「空間多重」と「時空間符号」を利用することが可能である。

空間多重とは、複数の送信アンテナから発射された送信信号（複数のストリーム）が空間的に多重され伝わり、その結果伝送容量を拡大するものであるが、伝搬路情報の相関が大きい見通し環境では各伝搬路の分離・検出が破綻する場合がある。これを防ぐためには受信アンテナ数を増やしたりするなど対策が必要となりハードウェアの規模が大きくなる。

一方、時空間符号は、単一のストリームを時間的・空間的に符号化を行った冗長な信号を送信するもので、これにより複数の伝搬路を分離・検出する方法である。時空間符号は、伝搬路情報の相関が高い場合でも、原理的には単一の受信アンテナでも復調可能であることから伝送が破綻する状況は起こりにくく、空間多重よりも回線が安定に利用できる方式である。

FPUは所望の伝送容量を保証する必要があるため、回線が安定な時空間符号が適している。

また、時空間符号のうち、STTC（時空間トレリス符号：Space-Time Trellis Code）は、複数の送信系統で異なる入力に対するマッピング点が遠くなるように畳込み符号とマッピング（トレリス符号化）を行い、受信では複数の受信系統で受信し、ビタビ復号法により最尤系列推定を行うものである。図 1.2 に 2×2 STTC-MIMO 方式の基本構成を示すが、送受信のダイバーシティ効果もあり伝送は誤りにくい。

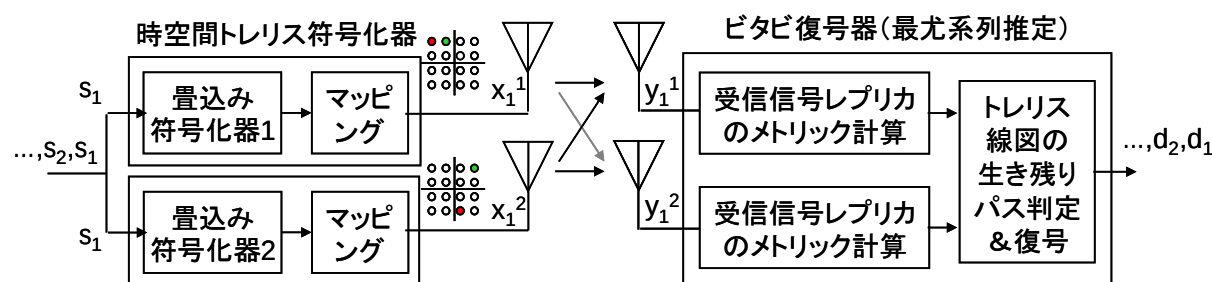


図 1.2 2×2 STTC-MIMO 方式の基本構成

(3) MIMO の改善効果の適用範囲

MIMO は電波伝搬調査の結果（参考資料 2）から各伝搬路の相関が小さい場合に改善効果が得られ、相関が大きい場合は改善効果が小さくなることを確認されている。また、移動に伴う瞬時値変動（電柱や街路樹、看板などの影響）に対しても一定の改善効果が得られている。このため、都市部や郊外での近距離伝送、中距離伝送においても電柱、街路樹や防砂林などによって遮蔽される見通し外区間を含むコースでは改善効果が期待できる。

一方、中距離伝送や長距離伝送で、かつ、受信基地局が高所で送受信が見通しとなるコースでは各伝搬路の差が小さくなる（相関が大きい）ことから改善効果は小さくなる。また、ヘリコプターによる受信も伝搬路が見通し環境となる場合は、ヘリコプター側の受信アンテナの間隔が広く取れないこともあり、改善効果は小さくなる。

なお、電波伝搬調査の結果にもあるように相関が大きくなる場合においても、伝送容量が SISO と同じ条件で SISO と同等以上の伝送特性を確保していることを確認している。

（４）MIMOに求める要件

①伝送

- ・移動中継※においても映像ビットレート 35Mbps のフルHDが伝送できるものとする
- ・移動中継※においてもハーフモードを使ってフルHDが伝送できるものとする
- ・干渉等を軽減することを目的とする場合、SISO の伝送速度と同じ伝送速度を、より小さい空中線電力で伝送できるものとする

※一部答申において映像伝送が難しいとされたモデル2を検討対象とした。

②伝搬距離

- ・固定中継において 0.1 km ～ 50km の伝搬距離を確保できること。
- ・移動中継において 0.1 km ～ 10km の伝搬距離を確保できること。

1. 2 HEVCによる情報圧縮技術（参考資料3）

新たな圧縮方式であるHEVC（High Efficiency Video Coding）が、現在ITUで検討されている。HEVCがFPUに適用可能となった場合、コーデック3段タンデム構成に必要な映像ビットレートは35Mbpsから28Mbps程度に、コーデック1段構成に必要な映像ビットレートは21Mbpsから17Mbps程度になることが予想される。現時点においては、MIMO技術とHEVCによる情報圧縮技術により、伝送に必要なC/Nをより小さくできることやハーフモードへの導入も期待できるため、FPUへの積極的な導入を図ることが適当である。

2 一部答申の検討項目とMIMO検討項目

	検討項目	一部答申	MIMO検討項目の概要	備考
1	無線周波数帯	1. 2GHz帯及び2. 3GHz帯	変更なし	
2	通信方式	単向通信方式	変更なし	
3	電波の型式	X7W	変更なし	
4	伝送容量	移動中継において映像ビットレート 21Mbps	移動中継において映像ビットレート 35Mbps	要検討
5	空間多重方式	未検討	MIMOの導入	要検討
6	キャリア変調方式	64QAM, 32QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	8PSKを追加	要検討

7	周波数の許容偏差	7×10^{-6}	変更なし	
8	占有周波数帯幅	フルモード：17.5MHz以下 ハーフモード：8.5MHz以下	変更なし	
9	誤り訂正	リードソロモン（204, 188） 畳込み符号2/3を基本	リードソロモン（204, 166）を 追加 時空間トレリス符号を基本	要検討
10	C/N及びC/N配分	固定中継（映像ビットレート35Mbps） フルモード、32QAM、19.5dB 移動中継（映像ビットレート21Mbps） フルモード、16QAM、15.1dB ハーフモード、64QAM、22dB （モデル3, 5：3km以下）	固定／移動中継 （映像ビットレート35Mbps） フルモード、16QAM、11.8dB 移動中継（映像ビットレート21Mbps） フルモード、8PSK、9.8dB ハーフモード、32QAM、15.8dB※ ※リードソロモン（204, 188）	要検討
11	瞬断率規格、不稼働率規格	年間回線瞬断率0.5%	変更なし	
12	回線設計と空中線電力	1. 2GHz帯：25W（フルモード）、 12.5W（ハーフモード） 2. 3GHz帯：40W（フルモード） 20W（ハーフモード）	各送信機の高周波増幅部出力 の総和	要検討
13	空中線電力の許容値	上限、下限：いずれも50%以内	変更なし	
14	送信スペクトルマスク	送信スペクトルマスクのブレークポイント等を規定	変更なし	
15	スプリアス及び不要発射	一般則にて規定	変更なし	
16	偏波	水平、垂直、円偏波	変更なし	
17	電波防護指針への適合性	使用が想定される空中線等の 条件で検討	最大空中線電力に変更がない ため、変更なし	
18	他の無線システムとの干渉検討	他の無線システムに応じ検討	与干渉の離隔距離の減少	要検討
19	測定法	測定項目及び測定方法を検討	MIMOのスプリアス及び不要発射の測定法を追加	要検討

3 技術的条件

3. 1 伝送容量とキャリア変調方式

3. 1. 1 伝送容量

伝送容量の検討で用いるHDTVの映像ビットレートは、ITU-R勧告 BT. 1872 (03/2010) による中継方式で ITU-T 勧告 H. 264 Level 4/High 4:2:2、水平画素数 1920 を基本とす

る。

MIMOにおいては、次の3つの条件を検討する。

- (1) 移動中継においても固定中継と同様に伝送品質重視のコーデック3段タンデム構成とし、映像ビットレート35Mbps、TSビットレートは41.3Mbpsとする場合。
- (2) 移動中継においてもハーフモードを使って映像ビットレート21Mbps、TSビットレートを26.1Mbpsを伝送する場合。
- (3) 与干渉軽減のため、最少となる空中線電力により、固定中継でTSビットレートを41.3Mbps、移動中継でTSビットレートを26.1Mbpsで伝送する場合。

3. 1. 2 キャリア変調方式

MIMO技術を用いることにより伝送容量が増加する。このため、 2×2 MIMOの伝送性能においてフルHD伝送が可能なキャリア変調方式を選定した(参考資料4)。

検討結果によれば、フルHDの伝送は、従来の変調方式に加え固定中継では16QAM、移動中継では8PSKが必要な伝送速度を有しており、使用可能であった。

なお、8PSKはSISOの伝搬性能も優れていることから、従来の変調方式に加えて利用することが望ましい(参考資料5)。

よって、これ以降の検討に当たっては、空中線の設置場所の都合から最も導入が容易な 2×2 MIMOの場合を例に検討を行うこととする。 4×4 MIMO等その他構成のMIMOについては、より広い設置場所が必要となるが 2×2 MIMOに比べ性能が向上することが期待される。

3. 2 回線品質

3. 2. 1 誤り訂正

FPUは通信方式が単向通信であるため、伝送エラーが発生した時に再送要求を送り返すことができず、誤り訂正処理を行うことが困難である。そのため、生中継における映像素材伝送では、常に送信と受信間の伝送が成立している状態に維持する必要がある。受信側において誤り訂正処理が可能となるよう、送信側で強力な誤り訂正符号を付与する必要がある。

誤り訂正については、伝送での信頼性を向上させるため、誤り訂正符号を二重に行うことで誤り訂正機能の向上を図るが、MIMO方式においても外符号として短縮化リードソロモン符号、内符号として時空間トレリス符号(STTC)を用いる。ただし、LDPC符号やターボ符号などについても今後の技術動向を勘案しつつ使用できることとした。

外符号では、伝搬路情報の相関が大きくなり伝送特性が劣化する場合を考慮し、SISO方式の短縮化リードソロモン符号であるRS(204, 188)に加えて、誤り訂正可能なバイト数がその約2.5倍となるRS(204, 166)も採用する。また、内符号としては、誤り訂正能力が高い時空間トレリス符号を基本とする。時空間トレリス符号は、畳込み符号化器の構成要素であるレジスタの数で決まる状態数が多いほど、同じ変調多値数では、誤

り訂正能力が高くなる。

外符号の短縮化リードソロモン符号、内符号の時空間トレリス符号の何れも、従来と同様な復号アルゴリズムが使用できることから、MIMO 方式の装置実現において支障はない。また、SISO 方式と同様にデータのインターリーブ処理を併用し、連続的に発生したエラーを細分化し、ランダム的に存在するエラーに並べなおし、連続エラーによる誤り訂正能力の低下を回避することも可能である。

3. 2. 2 所要 C/N

伝搬路シミュレータを用いてマルチパス環境における 2×2 MIMO の伝送特性の評価を行い、伝送路情報が実際のロードレースコースの状況に近い典型相関（図 2-1 で送信相関係数（伝搬路情報 h_{11} と h_{12} 、及び h_{21} と h_{22} の相関係数）が 0.7 と受信相関係数（伝搬路情報 h_{11} と h_{21} 、及び h_{12} と h_{22} の相関係数）が 0.3）の場合の変調方式毎の所要 C/N を参考資料 6 に示す。参考資料 6 で評価に用いた時空間トレリス符号は、QPSK が 16 状態、8PSK が 32 状態、16QAM が 64 状態のものである。外符号が RS(204, 188) の所要 C/N については、同じ変調方式で畳込み符号 1/2、RS(204, 188) の SISO の所要 C/N と同じ値であった。また、外符号が RS(204, 166) の所要 C/N については、外符号が RS(204, 188) の所要 C/N よりも 1dB 低い値であった。このことから、変調方式が 32QAM、64QAM の時空間トレリス符号の所要 C/N については、外符号が RS(204, 188) では、同じ変調方式で畳込み符号 1/2、RS(204, 188) の SISO の所要 C/N と同じ値とし、外符号が RS(204, 166) では、外符号が RS(204, 188) の所要 C/N よりも 1dB 低い値とした。

なお、雑音配分の割合は一部答申時の検討と変更がないので、熱雑音、歪雑音、干渉雑音等は所要 C/N に対し一部答申と同様の割合で配分する。

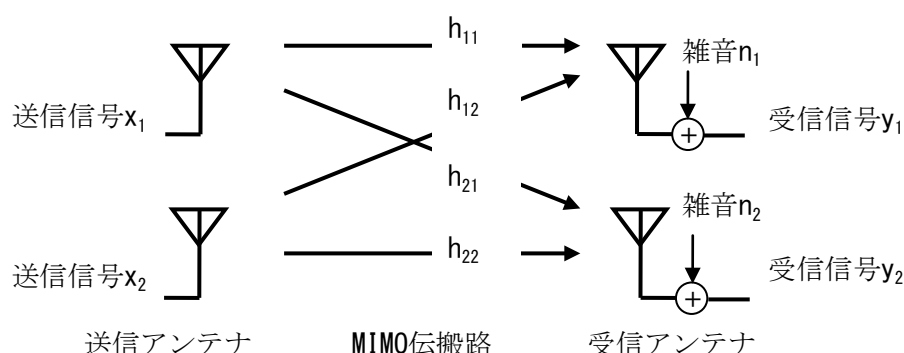


図 2-1 2×2 MIMO

(1) フルモードの C/N 配分（参考資料 7）

TS ビットレート 26.1Mbps をフルモードで伝送可能となる変調方式としては、8PSK、16QAM、32QAM、64QAM がある。また、TS ビットレート 41.3Mbps をフルモードで伝送可能となる変調方式は、16QAM、32QAM、64QAM がある。

固定中継（TS ビットレート 41.3Mbps）を行う場合、16QAM で RS(204, 166) の誤り訂正を行うと他の変調方式等と比較して所要 C/N が最少となるため、所要 C/N はこの時の C/N の理論値 7.8dB に送受信装置の固定劣化 4dB を含めて 11.8dB とする。

また、移動中継（26.1Mbps）を行う場合、8PSK で RS（204, 166）の誤り訂正を行うと他の変調方式等と比較して所要 C/N が最少となるため、所要 C/N はこの時の C/N の理論値 5.8dB に送受信装置の固定劣化 4dB を含めて 9.8dB とする。

（２）ハーフモードの C/N 配分（参考資料 7）

TS ビットレート 26.1Mbps をハーフモードで伝送可能となる変調方式は、32QAM で RS（204, 188）、64QAM で RS（204, 166）又は RS（204, 188）があるが、TS ビットレート 41.3Mbps をハーフモードで伝送可能となる変調方式は無い。

移動中継（26.1Mbps）を行う場合、32QAM で RS（204, 188）の誤り訂正を行うと他の変調方式等と比較して所要 C/N が最少となるため、所要 C/N はこの時の C/N の理論値 11.8dB に送受信装置の固定劣化 4dB を含めて 15.8dB とする。

3. 3 空中線電力と回線設計

3. 3. 1 空中線電力の許容値

最大空中線電力は、一部答申と同じとする。

MIMO は複数の送信機から構成されるため、一つの情報を複数の送信機から電波を発射することとなり、また、複数の受信機が一体となって情報を送受信する方式であることから、一つの情報伝送に係る全ての送信機の高周波増幅部の出力の総和をもって F P U 送信機の空中線電力とすることが適当である。

表 空中線電力の総和の許容値

	フルモード	ハーフモード
1. 2GHz 帯 (MIMO 2×2 の例)	25W (12.5W+12.5W)	12.5W (6.25W+6.25W)
2. 3GHz 帯 (MIMO 2×2 の例)	40W (20W+20W)	20W (10W+10W)

注：括弧内は送信機 2 台の場合における 1 台当たりの送信機の出力

3. 3. 2 回線設計例

一部答申において設定した運用モデル（参考資料 8）のうち、最悪条件となるモデル 1（固定中継の 50km）及びモデル 2（移動中継の 10km）において回線設計を行った。

表 計算に用いたマージン（一部答申において設定したマージンの再掲）

	固定中継	移動中継
所要フェージングマージン	5.1dB	10dB
障害物透過損マージン	—	5dB
伝送マージン	15dB 以上	15dB 以上

(1) 伝送品質重視の回線設計

伝送品質重視とは、再生中継を3回程度繰り返しても画質が劣化しない3タンデム構成となる中継をいう。

既に固定中継はSISOで伝送可能であるので、ここでは、移動中継で41.3Mbpsを伝送する場合を想定することとした。使用可能な変調方式については、参考資料4からハーフモードに該当する変調方式が無いので、フルモードについて検討（参考資料9）し、その結果を以下のとおり示す。

① 1.2GHz 帯 F P U（フルモード）

	変調方式等	TSビットレート (規格値)	所要 C/N	空中線電力
SISO	16QAM 畳込み符号 2/3 RS(204, 188)	26.1Mbps	15.1dB	25W
MIMO	16QAM STTC RS(204, 166)	41.3Mbps	11.8dB	25W (12.5W+12.5W)

② 2.3GHz 帯 F P U（フルモード）

	変調方式等	TSビットレート (規格値)	所要 C/N	空中線電力
SISO	16QAM 畳込み符号 2/3 RS(204, 188)	26.1Mbps	15.1dB	40W
MIMO	16QAM STTC RS(204, 166)	41.3Mbps	11.8dB	40W (20W+20W)

(2) 移動中継のためのハーフモードの回線設計

移動中継の1コーデック構成によりフルHD（TSビットレート：26.1Mbps）を中継することを検討（参考資料10①）し、その結果を以下に示す。

モデル2の回線設計では最大空中線電力12.5W(1.2GHz帯)／20W(2.3GHz帯)を超えており、モデル2を運用する場合には回線の安定度に対し制限を受けることが考えられるが、モデル3の回線設計では最大空中線電力内にあることから適切に運用できる。

① 1.2GHz 帯 F P U (ハーフモード)

	変調方式等	TS ビットレート (規格値)	所要 C/N	空中線電力
SISO	(モデル 2 では伝送できなかった)			
MIMO モデル 2	32QAM STTC RS (204, 188)	26.1Mbps	15.8dB	28W (14W+14W)
モデル 3				5.4W (2.7W+2.7W)

② 2.3GHz 帯 F P U (ハーフモード)

	変調方式等	TS ビットレート (規格値)	所要 C/N	空中線電力
SISO	(モデル 2 では伝送できなかった)			
MIMO モデル 2	32QAM STTC RS (204, 188)	26.1Mbps	15.8dB	38W (19W+19W)
モデル 3				8.6W (4.3W+4.3W)

また、モデル 2 の場合において、最大空中線電力での伝送距離を検討（参考資料 10 ②）した結果を以下の表に示す。以下の伝送距離よりも短い伝送距離の場合、フル HD (TS ビットレート：26.1Mbps) の中継が可能となる。

	変調方式等	TS ビットレート (規格値)	空中線電力	伝送距離
1.2GHz 帯	32QAM STTC RS (204, 188)	26.1Mbps	12.5W (6.25W+6.25W)	6.7km
2.3GHz 帯			20W (10W+10W)	7.3km

(3) 与干渉軽減の回線設計

与干渉軽減とは、MIMO を利用することにより、要求された伝送性能（固定中継：41.3Mbps、移動中継：26.1Mbps）を維持しつつ所要 C/N の低減（空中線電力の低減）により与干渉を軽減することをいう。

フルモードについて検討（参考資料 11）し、その結果を以下に示す。

① 1.2GHz 帯 F P U （フルモード）

		変調方式等	TSビットレート (規格値)	所要 C/N	空中線電力
固定 中継	SISO	32QAM 畳込み符号 3/4 RS (204, 188)	41.3Mbps	19.5dB	22.4W
	MIMO	16QAM STTC RS (204, 166)	41.3Mbps	11.8dB	7.6W (3.8W+3.8W)
移動 中継	SISO	16QAM 畳込み符号 2/3 RS (204, 188)	26.1Mbps	15.1dB	24.2W
	MIMO	8PSK STTC RS (204, 166)	26.1Mbps	9.8dB	14.2W (7.1W+7.1W)

② 2.3GHz 帯 F P U （フルモード）

		変調方式等	TSビットレート (規格値)	所要 C/N	空中線電力
固定 中継	SISO	32QAM 畳込み符号 3/4 RS (204, 188)	41.3Mbps	19.5dB	37.6W
	MIMO	16QAM STTC RS (204, 166)	41.3Mbps	11.8dB	12.8W (6.4W+6.4W)
移動 中継	SISO	16QAM 畳込み符号 2/3 RS (204, 188)	26.1Mbps	15.1dB	32.2W
	MIMO	8PSK STTC RS (204, 166)	26.1Mbps	9.8dB	19W (9.5W+9.5W)

以上のように MIMO を導入することにより、必要な空中線電力は SISO 方式に比べてほぼ半減する。さらに、伝送容量改善のケースと同様に、伝搬路情報の相関が典型相関よりも大きくなる、すなはち見通しとなり各伝搬路のパラメータがほぼ同じとなる様な場合には MIMO による改善効果が想定より小さくなることがある。

このため、MIMO を運用するに場合は、空中線電力にマージンを持たせることが望ましい。

3. 3 他システムとの与干渉、被干渉

MIMO の空中線電力（複数送信機の高周波増幅部の出力の総和）は、一部答申を超えるものではないので、一部答申で求められた運用調整や運用を行うことにより、他システムとの共用は可能である。

また、与干渉を軽減するために MIMO を利用する場合、空中線電力は SISO 方式のほぼ半分となるため、参考資料 1 2 にあるように F P U からの与干渉が SISO の場合に比べ以下のように軽減される。

被干渉無線システム	SISO での離隔距離	MIMO での離隔距離
特定ラジオマイク	2750m	2320m
特定小電力無線局	1200m	1000m
画像伝送用携帯局	120m	100m

3. 4 測定方法

MIMO 技術を用いた F P U システムにおける技術的条件を確認するための測定法は、以下のとおりとする。

3. 4. 1 周波数の許容偏差

各送信機から無変調波を出力し、周波数計を用いて送信周波数を測定し、それぞれの測定値のうち、周波数の偏差が最大であるものを周波数の偏差とする。ただし、無変調波にできない場合には、変調状態とし、波形解析器等を用いて測定することができる。

3. 4. 2 占有周波数帯幅の許容値

各送信機で変調信号を出力したときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分における電力の和が、それぞれ全電力の 0.5% となる周波数幅を測定し、それぞれの測定値の最大値を占有周波数帯幅とする。

3. 4. 3 空中線電力の許容値

各送信機から変調信号を出力した状態で送信出力を最大に設定し、高周波電力計を用いて平均電力を測定し、各測定値の和を空中線電力とする。

3. 4. 4 スプリアス発射の強度の値及び不要発射の強度の許容値

3. 4. 4. 1 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値

各送信機から無変調搬送波を出力した状態で、送信出力を最大に設定し、スペクトルアナライザを用いて平均電力を測定し、周波数毎に各測定値の和を求めスプリアスの強度とする。

なお、適合性を判断するために用いる基準値は、各送信機の空中線電力の総和に基づき設定すること。

3. 4. 4. 2 スプリアス領域における不要発射の強度

各送信機から変調信号を出力した状態で、送信出力を最大に設定し、スペクトルアナライザを用いて平均電力を測定し、周波数毎に各測定値の和を求め不要発射の強度とする。

なお、適合性を判断するために用いる基準値は、各送信機の空中線電力の総和に基づき設定すること。

3. 4. 5 スペクトルマスク

各送信機から変調信号を出力した状態で、送信出力を最大に設定し、スペクトルアナライザを用いて測定し、周波数毎に各測定値の和を求め不要発射の強度とする。

なお、適合性を判断するために用いる基準値は、各送信機の空中線電力の総和に基づき設定すること。

情報通信技術分科会 放送システム委員会 放送事業用無線局検討作業班 構成員
(敬称略、構成員は五十音順)

氏 名		主 要 現 職
主任	高田 潤一	東京工業大学 大学院理工学研究科 国際開発工学専攻 教授
主任代理	大槻 知明	慶應義塾大学 理工学部情報工学科 教授
構成員	池田 哲臣	日本放送協会 放送技術研究所 放送ネットワーク研究部 主任研究員
"	泉本 貴広	日本放送協会 技術局 計画部 チーフエンジニア
"	片柳 幸夫	日本テレビ 放送網株式会社 技術統括局技術戦略 部長
"	斉藤 一	株式会社テレビ 東京 技術局 技術開発部
"	斉藤 彦一	株式会社NHKアイテック マルチメディア・映像事業部 主幹
"	高田 仁	一般社団法人日本民間放送連盟 企画部主幹
"	高室 孝章	株式会社テレビ 朝日 技術局技術統括部戦略担当部長
"	滝沢 和史	日本放送協会 技術局 報道施設部 副部長
"	野路 幸男	池上通信機株式会社 開発本部 マーケティング 部 技監
"	深澤 知巳	株式会社 TBS テレビ 技術戦略室 JNN 技術統括部 部次長
"	保科 徹	日本電気株式会社 放送映像事業部 第一技術部 プロジェクトディレクター
"	宮下 敦	株式会社日立国際電気 映像・通信事業部 製品設計統括本部 通信装置設計本部 放送設備設計部 部長
"	森本 聡	株式会社フジテレビジョン 技術開発局技術開発室開発推進部 副部長
"	安江 浩二 (H25.3.31 まで)	国土交通省 航空局交通管制部管制技術課 航空管制技術調査官
"	宮園 誠 (H25.4.1 から)	国土交通省 航空局交通管制部管制技術課 航空管制技術調査官

参考資料 1 MIMO の分類

MIMO 技術は、複数の送信アンテナ及び複数の受信アンテナを用いて同一周波数で複数の信号波形を無線伝送することにより、1 本の送信アンテナ及び 1 本の受信アンテナで無線伝送を行う従来の SISO 方式に比べて、周波数利用効率（伝送容量）や回線信頼性（途切れ難さ）を向上させる技術である。

MIMO 技術においては、伝搬路の数が（送信アンテナ数）×（受信アンテナ数）の分だけ増加し、それぞれの伝搬路が似通っていない（図 1-1 の 2×2 MIMO（送信アンテナ数=2、受信アンテナ数=2）モデルで伝搬路情報 $h_{11} \sim h_{22}$ の相関が小さい）環境では、アンテナ数倍（図 1-1 のモデルでは 2 倍）の独立した通信路を実現できる。

MIMO 技術においては、複数の送信信号が空間で合成され、混信した状態で受信されるが、受信側で送信アンテナと受信アンテナ間のそれぞれの伝搬路情報を推定して、受信信号と伝搬路情報を基に信号処理により送信信号を分離するか、あるいは最尤推定により送信信号を推定する。代表的な MIMO 技術について図 1-2 に示す。

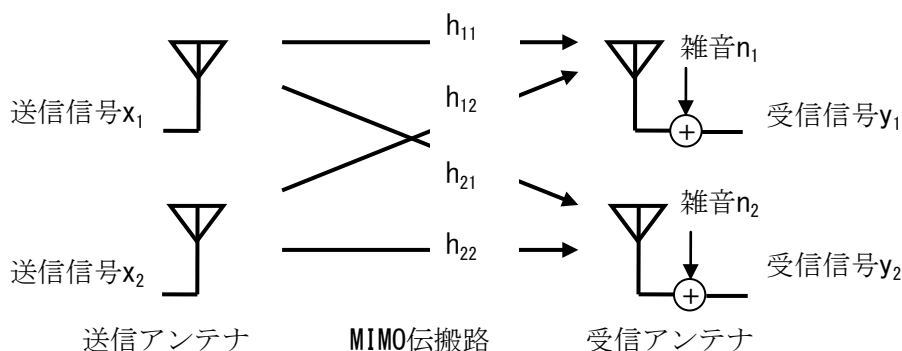
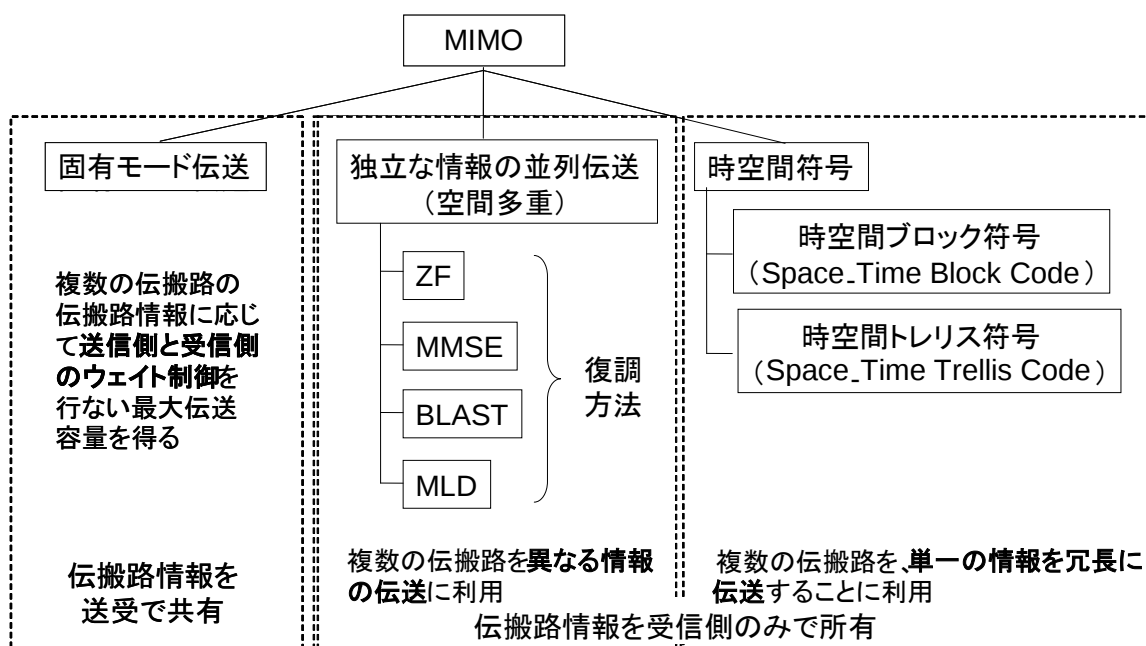


図 1-1 2×2 MIMO モデル



○シミュレーション結果（ここでの MIMO は STTC-MIMO を指す）

2×2 MIMO における 16 状態の QPSK-STTC と 64 状態の 16QAM-STTC、及び現行 F P U が用いている SISO における 16QAM 畳込み符号 1/2 と 32QAM 畳込み符号 1/2 について、伝搬路シミュレータを用いてマルチパス環境で伝送特性の評価を行った結果を図 2-1 に示す。上記シミュレーションで用いたチャネルモデルは、800MHz 帯の見通し伝搬路で取得した典型的な遅延プロファイルに基づくものである。また、MIMO の相関特性については低相関、高相関、典型相関の 3 通りのケースを仮定している。低相関は送信相関係数（伝搬路情報 h_{11} と h_{12} 、及び h_{21} と h_{22} の相関係数）と受信相関係数（伝搬路情報 h_{11} と h_{21} 、及び h_{12} と h_{22} の相関係数）がともに 0.3、高相関は送信相関係数と受信相関係数がともに 0.9、典型相関は、送信相関係数が 0.7 で受信相関係数が 0.3 と仮定している。

図 2-1 から分かるように、MIMO の BER カーブは、低相関では平均受信 C/N が大きくなると急峻な減少傾向を示し、高相関では伝送特性が劣化して BER が緩やかな減少傾向を示す。RS (204, 188) 符号を適用する場合の所要 BER を 2.0×10^{-4} とし、その BER を下回る平均受信 C/N の値を所要 C/N と定義する。MIMO (16QAM-STTC) と SISO (16QAM 畳込み符号 1/2) の伝送特性を比較すると、低相関の MIMO は SISO よりも所要 C/N が低くなることから、低相関の MIMO は SISO よりも伝送特性が良いことが分かる。典型相関の MIMO は SISO と所要 C/N が同じであり、同じ伝送特性であることが分かる。高相関の MIMO は SISO よりも所要 C/N が高くなり、SISO (32QAM 畳込み符号 1/2) と同等の伝送特性となる。このときの伝送レートは MIMO (16QAM-STTC) が 47.7Mbps、SISO (32QAM 畳込み符号 1/2) が 29.8Mbps、SISO (16QAM 畳込み符号 1/2) が 23.9Mbps であることから、低相関または典型相関の環境では STTC-MIMO は SISO に比べて 2 倍の情報量を伝送することができ、高相関の環境では伝送できる情報量は減少するものの SISO に比べて約 1.6 倍の情報量を伝送することができる。このように、MIMO は伝搬路の相関により送れる情報量が変化するので、伝搬路の特性を理解して適切な変調方式及び符号化率を選択する必要がある。

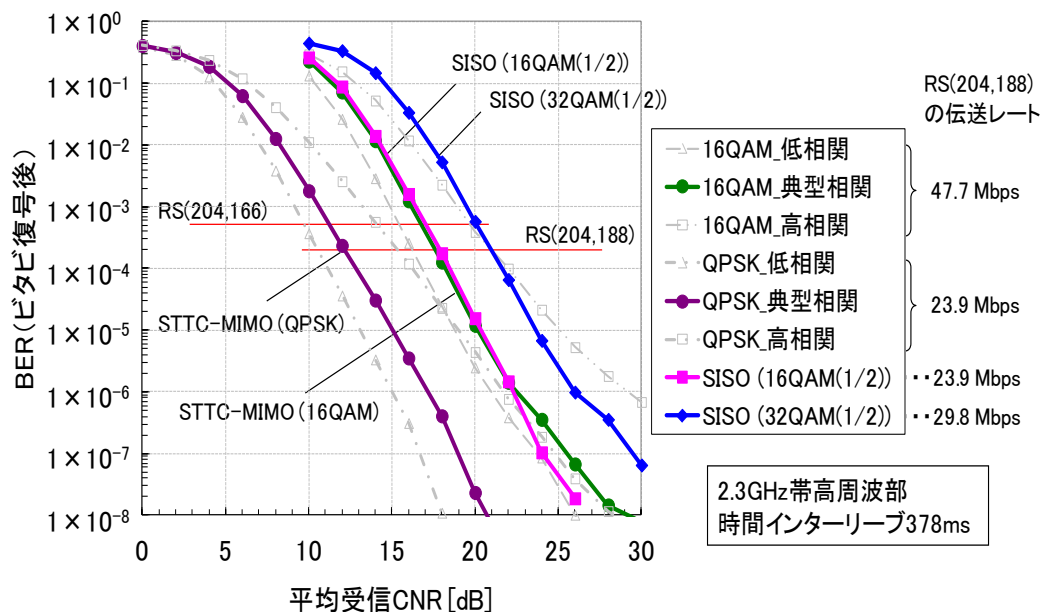


図 2-1 2 × 2 STTC-MIMO の伝送シミュレーション

○試験結果

MIMO の伝送試験を行った都市部と郊外の間中型コース（京都駅伝コース及び広島駅伝コース）における電波伝搬試験の結果について述べる。

電波伝搬試験においては、映像伝送により、現行800MHz帯 F P U の SISO 方式に対して、送信出力や変調方式を変えた 1.2GHz 帯、2.3GHz 帯の SISO 方式又は 2 × 2 MIMO の受信エリア（正常に受信できる範囲）やコース上の誤り率の分布を比較した。

なお、簡易ではあるが、映像伝送と同時に受信電力や BER も測定した。ここでは、1.2GHz 帯、2.3GHz 帯の SISO（16QAM 畳込み符号 1/2）と MIMO（16QAM-STTC）の受信電力対 BER（ビタビ復号後）を比較した。

< 中間型コース（京都）2.3GHz 帯 >

京都における電波伝搬試験では、映像伝送時に測定した受信電力と RS 復号部の誤り検出結果から簡易に求めた換算 BER により評価した。図 2-2 及び図 2-3 に中間型コースでの結果を示す。ビタビ復号後の BER が 10^{-3} を超える領域では、RS 符号による訂正が不可能な状態（RS fail）となるが RS fail のデータは、代表値として 1.0×10^{-1} としてプロットした。また、SISO の復調器からは誤り率の指数部（-5、-6、-7）及び OVR（誤り率の指数部が -4 以上）、UDR（誤り率の指数部が -8 以下）の情報のみ出力されるため結果が離散的になっている。BER が測定限界以下（BER が 1.0×10^{-8} 以下）の場合は、 1.0×10^{-9} にデータを置換して表示した。主に見通し環境であるマンションを受信点としたコースにおける結果を図 3-2 に示す。また、主に見通し外環境である病院を受信点としたコースにおける結果を図 2-3 に示す。これらの図には、BER のプロットから最小二乗近似で求めた高次多項式の近似曲線も併せて示してある。

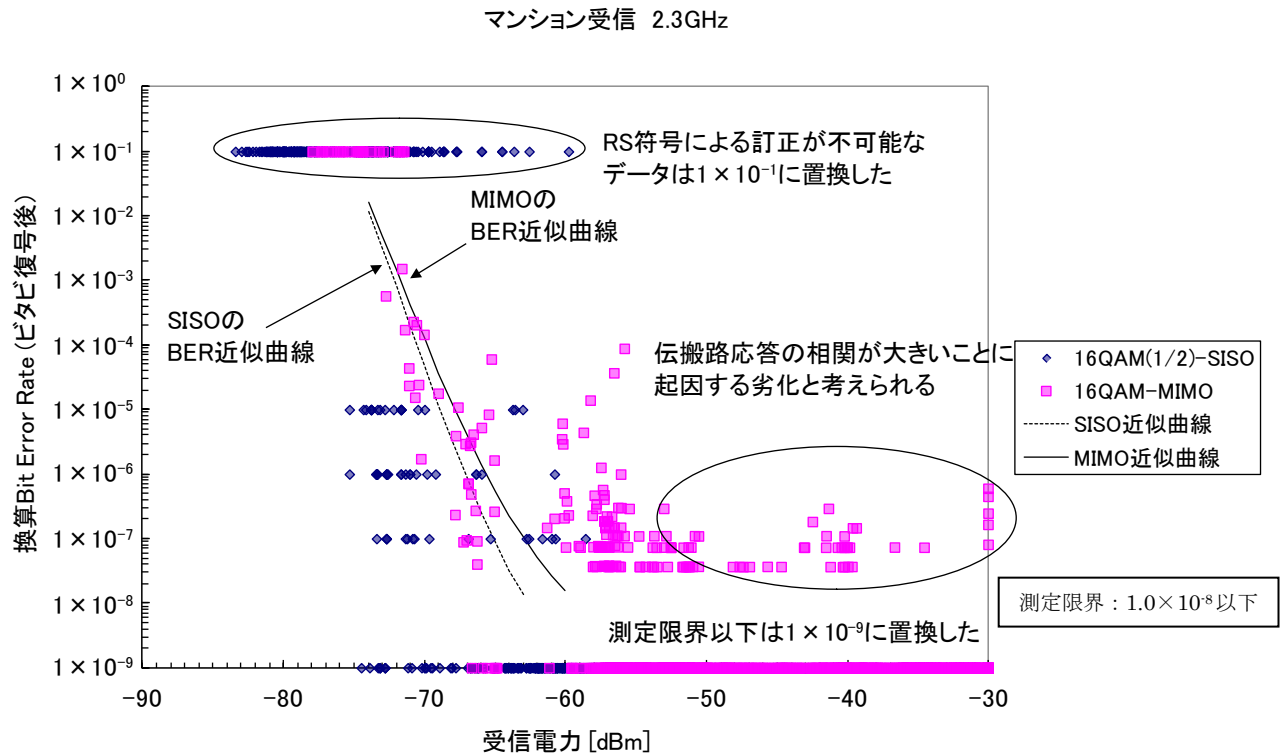


図 2-2 2.3GHz 帯受信電力対換算 BER (マンション受信)

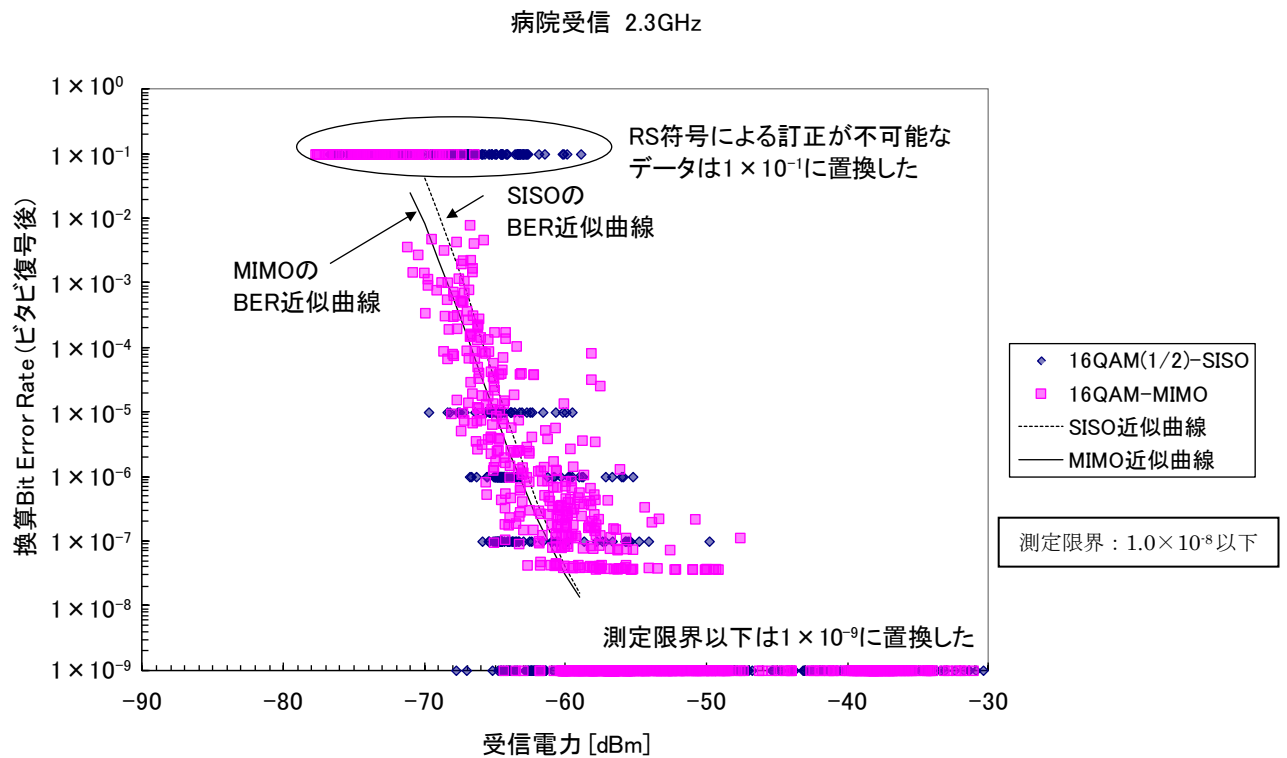


図 2-3 2.3GHz 帯受信電力対換算 BER (病院受信)

<中間型コース（広島）1.2GHz 帯>

広島における電波伝搬試験では、PN 符号による BER 測定の結果を用いて評価した。主に見通し区間で一部に見通し外区間を含む NHK 広島受信の結果を図 2-4 に示す。

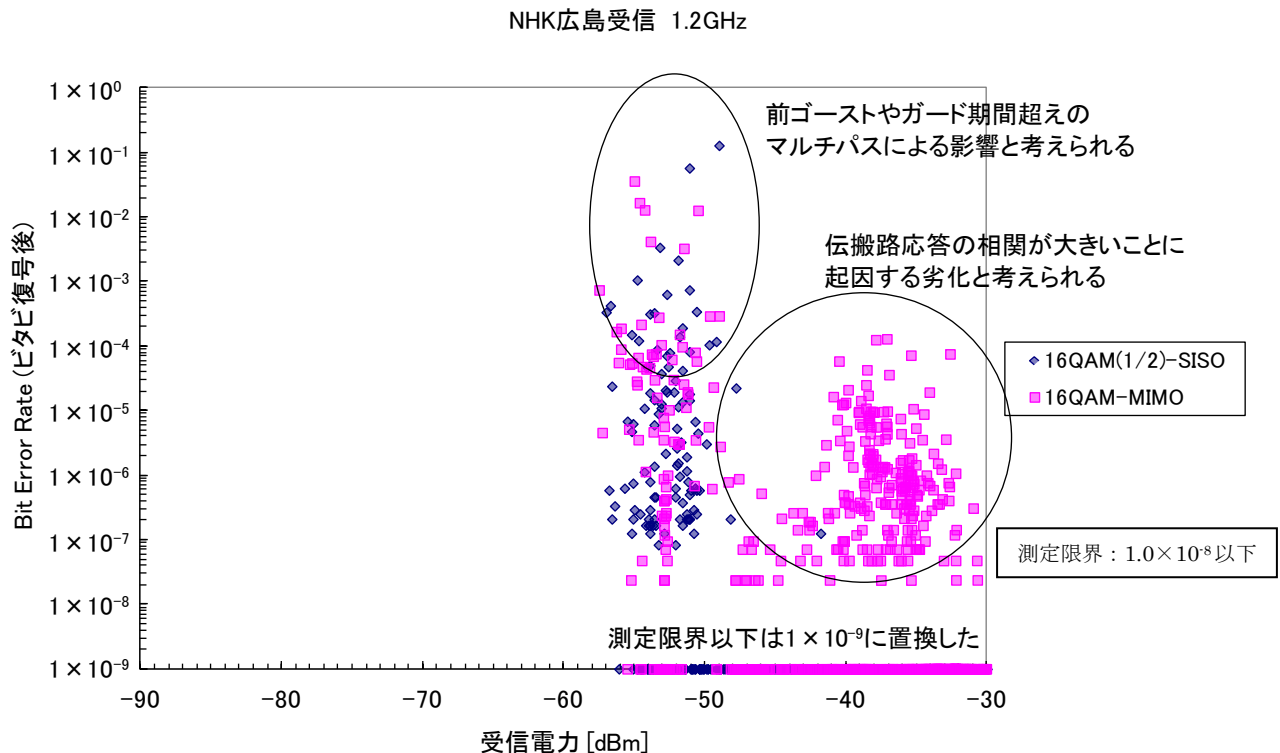


図 2-4 1.2GHz 帯受信電力対 BER（NHK 広島受信）

○考察

試験結果から伝搬路情報の相関に伝送特性が左右される MIMO の有効性について考察する。

京都駅伝コースの一部で行った電波伝搬試験では、受信点をコース沿道の中層ビルの屋上に設け、アンテナを 2.5m 間隔で設置した。

主に見通し環境のマンション受信では、図 2-2 において、右側の実線の囲みで示すように、受信電力の高い範囲（-60dBm 以上）で MIMO の BER の劣化が観測された。この BER の劣化は、高相関の MIMO のシミュレーション（図 2-1）で示したように、伝搬路情報の相関が大きいことに起因したものと考えられる。

MIMO の BER の近似曲線は、受信電力が -70dBm 以上の領域で SISO の近似曲線に対して傾きがやや緩やかとなり、僅かに BER の上昇が見られる。この BER の上昇は、-60dBm 以上の受信電力で生じた散発的な BER の劣化に起因するものである。

なお、主に見通し環境のマンション受信のコースは伝搬路情報の相関が大きいコースであると考えられるが、BER は 1.0×10^{-4} 以下であり RS 符号による訂正が可能な領域であるため、MIMO に RS (204, 166) 符号を適用することにより、十分な伝送特性が得られると考えられる。

一方、主に見通し外環境の病院受信では相関が小さいコースであると考えられ、図 2-3

において、受信電力の高い範囲（-60dBm 以上）で見通し環境で生じた MIMO の BER の劣化が観測されなかった。また、受信電力が低い範囲における MIMO の BER の近似曲線は SISO の近似曲線を下回り、若干良い特性を示した。すなわち、図 2-3 に示す 16QAM-MIMO の BER 特性は、図 2-1 で示した低相関の MIMO のシミュレーションと同様な傾向を示し、SISO よりも良い特性が得られた。このように、見通し外となる受信環境では伝搬路応答の相関が小さくなり、MIMO が有効に機能することが分かる。

広島駅伝コースの一部で行った電波伝搬試験では、受信点をコース沿道の高層ビルの屋上に設け、アンテナを 5m 間隔で設置した。BER の劣化が SISO 方式と MIMO 方式の両方で観測された領域においては、見通し外の一部で沿道にある高層ビルの遮蔽の影響が大きくなり、前ゴーストやガードインターバル超えのマルチパスの影響で BER が劣化したと考えられる。MIMO 方式については、京都での試験のマンション受信と同様に、受信電力の高い範囲で BER の劣化が観測された。これについても、伝搬路情報の相関が大きいことに起因すると考えられる。広島での試験の方が大きな劣化となったのは、ガードインターバル超えのマルチパスの程度と伝搬路情報の相関の両方が考えられる。これについても、リードソロモン符号による訂正が不可能となるほどの劣化には至っていないため、MIMO 方式を適用しても良い領域と考えられるが、安心して運用するためには、伝搬路情報の相関が小さくなるように受信方法を工夫することが望ましい。

参考資料3 HEVCの動向

次世代映像符号化方式であるHEVC (High Efficiency Video Coding) については、AVC/H.264 に対して、最高2倍の圧縮性能を基本目標とし、多様な映像信号フォーマットに対応する方式である。

テストモデルを使用し、HEVCとAVC/H.264の圧縮性能を比較した結果、H.264と比較して約20%の圧縮効果となった。HEVCがFPUに適用可能となった場合、コーデック3段タンデム構成に必要な映像ビットレートは35Mbpsから28Mbps程度に、コーデック1段構成に必要な映像ビットレートは21Mbpsから17Mbps程度に低減することが推測される。

なお、コーデックによる遅延が許容される特殊なFPUの運用条件においては、映像ビットレートのさらなる低減が可能である。

- ・ テストモデルを使用(HEVC:HM8, H.264:JM18.4)
- ・ BD-Rate評価(同一 $PSNR_{avg}$ でのビット削減率)

$$PSNR_{avg} = (6 \times PSNR_Y + PSNR_U + PSNR_V) / 8$$

	All Intra	Random Access	Low Delay
Class A (UHDTV)	-23.3%	-36.9%	
Class B (HDTV)	-22.6%	-39.5%	-41.2%
Class C (Wide VGA)	-20.0%	-30.7%	-32.7%
Class D (Wide QVGA)	-16.7%	-28.7%	-30.2%
Class E (720P)	-28.6%		-43.2%
Average	-21.9%	-34.3%	-36.7%

出典: B. Li, et al., "Comparison of Compression Performance of HEVC Draft 8 with AVC High Profile and Performance of HM8.0 with Different Delay Characteristics", JCTVC-K0279, Oct. 2012.

(ARIB 次世代デジタル放送伝送技術検討作業班 講演資料)

規格化のスケジュールについては、民生用途であるHEVC ver. 1が2013年1月に最終規格案化されているが、業務用途については2014年1月に業務用拡張が行われる予定である。

	用途等	スケジュール
HEVC ver. 1	民生用途 4:2:0 8, 10bit	2013年1月 (FDIS)
HEVC range extensions	業務用拡張 4:2:2, 4:4:4 12bit	2014年1月 (FDAM)
HEVC scalable extension	スケーラブル符号化拡張	2014年6月 (FDIS)

参考資料 4 MIMOキャリア変調方式のTSビットレート

表4-1 フルモード (17.5MHz)

変調方式	外符号	TS レート (Mbps)	41.3Mbps	26.1Mbps
BPSK	RS (204,166)	10.438	×	×
	RS (204,188)	11.930	×	×
QPSK	RS (204,166)	20.877	×	×
	RS (204,188)	23.859	×	×
8PSK	RS (204,166)	31.315	×	○
	RS (204,188)	35.789	×	○
16QAM	RS (204,166)	41.754	○	○
	RS (204,188)	47.718	○	○
32QAM	RS (204,166)	52.192	○	○
	RS (204,188)	59.648	○	○
64QAM	RS (204,166)	62.630	○	○
	RS (204,188)	71.578	○	○

表4-2 ハーフモード (8.5MHz)

変調方式	外符号	TS レート (Mbps)	41.3Mbps	26.1Mbps
BPSK	RS (204,166)	5.219	×	×
	RS (204,188)	5.965	×	×
QPSK	RS (204,166)	10.438	×	×
	RS (204,188)	11.930	×	×
8PSK	RS (204,166)	15.658	×	×
	RS (204,188)	17.894	×	×
16QAM	RS (204,166)	20.877	×	×
	RS (204,188)	23.859	×	×
32QAM	RS (204,166)	26.096	×	×
	RS (204,188)	29.824	×	○
64QAM	RS (204,166)	31.315	×	○
	RS (204,188)	35.789	×	○

参考資料５ ８ＰＳＫ（ＳＩＳＯ）の回線設計

（１）８ＰＳＫのＴＳビットレートに対する所要Ｃ／Ｎ

表5-1 フルモード（17.5MHz）によるフルＨＤ伝送

畳込み 符号化率	TSビットレート (Mbps)	所要C/N (dB)	固定伝送 41.3Mbps	移動伝送 26.1Mbps
1/2	17.894	10.8	×	×
2/3	23.859	13.1	×	×
3/4	26.842	14.5	×	○
5/6	29.824	15.5	×	○

表5-2 ハーフモード（8.5MHz）によるフルＨＤ伝送

畳込み 符号化率	TSビットレート (Mbps)	所要C/N (dB)	固定伝送 41.3Mbps	移動伝送 26.1Mbps
1/2	8.947	10.8	×	×
2/3	11.930	13.1	×	×
3/4	13.421	14.5	×	×
5/6	14.912	15.5	×	×

(2) 8PSK (SISO) による回線設計

表5-3 モデル2 (中継車から受信基地局へ移動中継 : 10km)

周波数帯	1. 2GHz	1. 2GHz	2. 3GHz	2. 3GHz
	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数 f [GHz]	1. 27	1. 27	2. 35	2. 35
送信出力 W [W] / アンテナ	21. 0	26. 5	28. 0	35. 3
送信出力 W [dBm]	43. 2	44. 2	44. 5	45. 5
送信アンテナ利得 G_t [dBi] (4段コーリニア)	7. 2	7. 2	7. 2	7. 2
送信給電線損失 L_t [dB]	1. 4	1. 4	1. 4	1. 4
実効放射電力 ($W G_t / L_t$) [dBm]	49. 0	50. 0	50. 3	51. 3
伝送距離 d [km]	10. 0	10. 0	10. 0	10. 0
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4\pi d$) ² [dB]	114. 5	114. 5	119. 8	119. 8
障害物透過損マージン [dB]	5. 0	5. 0	5. 0	5. 0
一区間瞬断時間率 [%]	0. 5	0. 5	0. 5	0. 5
所要フェージングマージン F_{mr_rice} [dB]	10. 0	10. 0	10. 0	10. 0
受信アンテナ利得 G_r [dBi] (12素子)	14. 0	14. 0	-	-
受信アンテナ利得 G_r [dBi] (26素子)	-	-	18. 1	18. 1
受信給電線損失 L_r [dB]	1. 5	1. 5	1. 5	1. 5
受信電力 C_i [dBm]	-67. 9	-66. 9	-67. 9	-66. 9
ボルツマン定数 k [W / (Hz · K)]	1. 38E-23	1. 38E-23	1. 38E-23	1. 38E-23
ボルツマン定数 k [dBm / (Hz · K)]	-198. 6	-198. 6	-198. 6	-198. 6
標準温度 T_0 [dBK]	24. 8	24. 8	24. 8	24. 8
信号帯域幅 B [MHz]	17. 2	17. 2	17. 2	17. 2
信号帯域幅 B [dBHz]	72. 4	72. 4	72. 4	72. 4
受信機雑音指数 F [dB]	4. 0	4. 0	4. 0	4. 0
受信機熱雑音 $N_i = k T_0 B F$ [dBm]	-97. 4	-97. 4	-97. 4	-97. 4
受信機熱雑音 C/N [dB]	29. 5	30. 5	29. 5	30. 5
所要 C/N [dB]	14. 5	15. 5	14. 5	15. 5
伝送マージン [dB]	15. 0	15. 0	15. 0	15. 0

伝送方式

変調方式

誤り訂正 (内符号)

誤り訂正 (外符号)

TSビットレート (Mbps)

○	○	○	○
SISO	SISO	SISO	SISO
8PSK	8PSK	8PSK	8PSK
3/4	5/6	3/4	5/6
RS (204, 188)	RS (204, 188)	RS (204, 188)	RS (204, 188)
26. 842	29. 824	26. 842	29. 824

参考資料 6 MIMOキャリア変調方式と所要C/N（シミュレーション結果による）

表6-1 フルモード（17.5MHz）

変調方式	外符号	TS レート (Mbps)	所要 C/N (dB)
BPSK	RS (204,166)	10.438	3.2
	RS (204,188)	11.930	4.2
QPSK	RS (204,166)	20.877	6.1
	RS (204,188)	23.859	7.1
8PSK	RS (204,166)	31.315	9.8
	RS (204,188)	35.789	10.8
16QAM	RS (204,166)	41.754	11.8
	RS (204,188)	47.718	12.8
32QAM	RS (204,166)	52.192	14.8
	RS (204,188)	59.648	15.8
64QAM	RS (204,166)	62.630	17.4
	RS (204,188)	71.578	18.4

表6-2 ハーフモード（8.5MHz）

変調方式	外符号	TS レート (Mbps)	所要 C/N (dB)
BPSK	RS (204,166)	5.219	3.2
	RS (204,188)	5.965	4.2
QPSK	RS (204,166)	10.438	6.1
	RS (204,188)	11.930	7.1
8PSK	RS (204,166)	15.658	9.8
	RS (204,188)	17.894	10.8
16QAM	RS (204,166)	20.877	11.8
	RS (204,188)	23.859	12.8
32QAM	RS (204,166)	26.096	14.8
	RS (204,188)	29.824	15.8
64QAM	RS (204,166)	31.315	17.4
	RS (204,188)	35.789	18.4

C/N 配分

1. フルモード

(1) 固定中継の場合 (16QAM-OFDM、RS (204, 166))

所要 C/N		(個別要因毎の C/N)
11.8dB	熱雑音 (48%)	15.0dB
	歪雑音 (2%)	28.8dB
	干渉雑音 (50%)	14.8dB
	同一伝搬路	16.8dB (19.8dB × 2 波)
	異伝搬路	19.2dB (22.8dB × 2 波)

(2) 移動中継の場合 (8PSK-OFDM、RS (204, 166))

所要 C/N		(個別要因毎の C/N)
9.8dB	熱雑音 (48%)	13.0dB
	歪雑音 (2%)	26.8dB
	干渉雑音 (50%)	12.8dB
	同一伝搬路	14.8dB (17.8dB × 2 波)
	異伝搬路	17.2dB (20.2dB × 2 波)

2. ハーフモード

(1) 移動中継の場合 (32QAM-OFDM、RS (204, 188))

所要 C/N		(個別要因毎の C/N)
15.8dB	熱雑音 (48%)	19.0dB
	歪雑音 (2%)	32.8dB
	干渉雑音 (50%)	18.8dB
	同一伝搬路	20.8dB (23.8dB × 2 波)
	異伝搬路	23.2dB (26.2dB × 2 波)

参考資料 8 運用モデル（一部答申の再掲）

表8-1 現行800MHz帯 F P U の運用モデル

運用モデル	利用用途	標準的な送信電力	送信空中線	受信空中線	伝搬距離 (標準距離)	見通し外 通信の有無	利用番組
モデル 1	固定中継 (緊急報道時に取材現場から中継車等まで、または中継車から受信基地局等までの中継に使用)	5 W	八木アンテナ	電磁ホーン 八木アンテナ	～50km	無	・情報系番組 ・緊急報道を含む 報道番組
モデル 2	移動中継 (マラソン等ロードレース中継用に中継車から受信基地等までの中継に使用)	5 W	コーリニアアンテナ ホイップアンテナ	八木アンテナ	10km	有	・ロードレースを含む スポーツ中継
モデル 3	移動中継 (市街地の短距離区間でマラソン等ロードレース中継用に中継車から受信基地等までの中継に使用)	5 W	コーリニアアンテナ ホイップアンテナ	八木アンテナ	3km	有	・ロードレースを含む スポーツ中継、イベント中継
モデル 4	移動中継 (マラソン等ロードレース中継用に中継車からヘリまでの中継に使用)	5 W	コーリニアアンテナ ホイップアンテナ	電磁ホーン 平面アンテナ	～2km	有	・ロードレースを含む スポーツ中継
モデル 5	移動中継 (カメラマン等が背負い、移動しながらイベント等の中継に使用) 例：取材先における生放送、緊急報道	1 W	コーリニアアンテナ ホイップアンテナ	電磁ホーン 平面アンテナ 八木アンテナ コーリニアアンテナ	～1km	有	・情報系番組 ・緊急報道を含む 報道番組 ・サッカー等を含む スポーツ中継
モデル 6	移動中継 (マラソン等ロードレース中継用にバイクから中継車までの中継に使用)	1 ～ 5 W	コーリニアアンテナ ホイップアンテナ	電磁ホーン 平面アンテナ コーリニアアンテナ	～1km	無	・ロードレースを含む スポーツ中継

- ①モデル1は固定中継で取材現場や中継車から受信基地局まで伝搬距離50kmまでの伝送を行う。
- ②モデル2は移動中継でロードレース中継で中継車から受信基地局まで伝搬距離10km程度の伝送を行う。
- ③モデル3は移動中継で市街地の比較的近距離の区間で中継車から受信基地局に伝搬距離3km程度の伝送を行う。
- ④モデル4はロードレース中継などで中継車からヘリコプターに向けて伝送距離約2kmの伝送を行う。
- ⑤モデル5はF P U など機材をカメラマンなど人が背負い、緊急報道やスポーツ中継などで最寄りの中継車に1kmまでの伝送を行う。
- ⑥モデル6はロードレース中継でバイクから中継車に1kmまでの伝送を行う。

参考資料 9 伝送品質重視

(1) フルモードの伝送容量算出のための回線設計例を以下に示す。

表 9-1 モデル 1 (中継車から受信基地局へ固定中継 : 50km) 1.2GHz 帯

周波数帯	800MHz	1.2GHz					
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
送信出力W[dBm]	37.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
送信アンテナ利得Gt[dBi](8素子)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
送信給電線損失Lt[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	47.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5
伝送距離d[km]	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$) ² [dB]	124.3	128.5	128.5	128.5	128.5	128.5	128.5
障害物透過損マージン[dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr[dB]	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子)	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-65.3	-65.5	-65.5	-65.5	-65.5	-65.5	-65.5
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	35.2	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
所要C/N[dB]	15.0	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	20.2	20.2	19.2	17.2	16.2	14.6	13.6
伝送方式	SISO	○	○	○	○	○	○
変調方式	16QAM	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	41.75	47.72	52.2	59.6	62.6	71.6

表 9-2 モデル 1 (中継車から受信基地局へ固定中継 : 50km) 2.3GHz 帯

周波数帯	800MHz	2.3GHz					
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
送信出力W[dBm]	37.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
送信アンテナ利得Gr[dBi](8素子)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	47.6	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6
伝送距離d[km]	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$) ² [dB]	124.3	133.8	133.8	133.8	133.8	133.8	133.8
障害物透過損マージン[dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr[dB]	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子2スタック)	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-62.2	-65.7	-65.7	-65.7	-65.7	-65.7	-65.7
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	38.3	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8
所要C/N[dB]	15.0	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	23.3	20.0	19.0	17.0	16.0	14.4	13.4
伝送方式	SISO	○	○	○	○	○	○
変調方式	16QAM	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	41.75	47.72	52.2	59.6	62.6	71.6

表 9-3 モデル 2 (中継車から受信基地局へ移動中継 : 10km) 1.2GHz 帯

周波数帯	800MHz	1.2GHz							
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
送信出力W[dBm]	37.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
送信アンテナ利得Gt[dBi](4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	42.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8	46.8
伝送距離d[km]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$)[dB]	110.3	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5
障害物透過損失マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr, rice[dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得Gr[dBi](12素子)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-70.0	-70.2	-70.2	-70.2	-70.2	-70.2	-70.2	-70.2	-70.2
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	30.5	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
所要C/N[dB]	15.0	9.8	10.8	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	15.5	17.4	16.4	15.4	14.4	12.4	11.4	9.8	8.8
		○	○	○	○	○	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	8PSK	8PSK	16QAM	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	31.3	35.8	41.8	47.7	52.2	59.6	62.6	71.6

表 9-4 モデル 2 (中継車から受信基地局へ移動中継 : 10km) 2.3GHz 帯

周波数帯	800MHz	2.3GHz							
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
送信出力W[dBm]	37.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0
送信アンテナ利得Gt[dBi](4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	42.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8
伝送距離d[km]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$)[dB]	110.3	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8
障害物透過損失マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr, rice[dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子)	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-65.9	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	34.6	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
所要C/N[dB]	15.0	10.8	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4	18.4
伝送マージン[dB]	19.6	17.2	16.2	15.2	13.2	12.2	10.6	9.6	9.6
		○	○	○	○	○	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	8PSK	16QAM	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	35.8	41.8	47.7	52.2	59.6	62.6	71.6	71.6

参考資料 10 移動中継におけるハーフモード運用可能性

① ハーフモードの空中線電力算出のための回線設計例を以下に示す。

表10-1 モデル2（中継車から受信基地局へ移動中継：10km）1.2GHz帯

周波数帯	800MHz	1.2GHz			
		ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード
送信周波数 f [GHz]	0.788	1.27	1.27	1.27	1.27
送信出力 W [W]／アンテナ	5.00	11.14	14.03	20.27	25.52
送信出力 W [dBm]	37.0	40.5	41.5	43.1	44.1
送信アンテナ利得 G_t [dBi] (4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失 L_t [dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力($W G_t / L_t$)[dBm]	42.8	46.3	47.3	48.9	49.9
伝送距離 d [km]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
自由空間伝搬損失($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	110.3	114.5	114.5	114.5	114.5
障害物透過損マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージン $F_{m,rice}$ [dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得 G_r [dBi] (12素子)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
受信給電線損失 L_r [dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力 C_i [dBm]	-70.0	-70.7	-69.7	-68.1	-67.1
ボルツマン定数 k [W/(Hz·K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数 k [dBm/(Hz·K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度 T_0 [dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅 B [MHz]	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
信号帯域幅 B [dBHz]	69.3	69.3	69.3	69.3	69.3
受信機雑音指数 F [dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音 $N_i = k T_0 B F$ [dBm]	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	30.5	29.8	30.8	32.4	33.4
所要 C/N [dB]	15.0	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	15.5	15.0	15.0	15.0	15.0
		×	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	26.1	29.8	31.3	35.8

表10-2 モデル3（市街地中継車から受信基地局へ移動中継：3km）1.2GHz帯

周波数帯	800MHz	1.2GHz			
		ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード
送信周波数 f [GHz]	0.788	1.27	1.27	1.27	1.27
送信出力 W [W]／アンテナ	5.00	2.09	2.64	3.81	4.80
送信出力 W [dBm]	37.0	33.2	34.2	35.8	36.8
送信アンテナ利得 G_t [dBi]（3段コーリニア）	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
送信給電線損失 L_t [dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力($W G_t / L_t$)[dBm]	41.6	37.8	38.8	40.4	41.4
伝送距離 d [km]	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
自由空間伝搬損失($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	99.9	104.0	104.0	104.0	104.0
障害物透過損 マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージン F_{mr_rice} [dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得 G_r [dBi]（8素子）	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
受信給電線損失 L_r [dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力 C_i [dBm]	-62.8	-70.7	-69.7	-68.1	-67.1
ボルツマン定数 k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数 k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度 T_0 [dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅 B [MHz]	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
信号帯域幅 B [dBHz]	69.3	69.3	69.3	69.3	69.3
受信機雑音指数 F [dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音 $N_i = k T_0 B F$ [dBm]	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	37.7	29.8	30.8	32.4	33.4
所要 C/N [dB]	15.0	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	22.7	15.0	15.0	15.0	15.0
		×	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	26.1	29.8	31.3	35.8

表10-3 モデル2（中継車から受信基地局へ移動中継：10km）2.3GHz帯

周波数帯	800MHz	2.3GHz			
		ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード
送信周波数f[GHz]	0.788	2.35	2.35	2.35	2.35
送信出力W[W]／アンテナ	5.00	14.84	18.68	27.00	34.00
送信出力W[dBm]	37.0	41.7	42.7	44.3	45.3
送信アンテナ利得Gt[dBi](4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt／Lt)[dBm]	42.8	47.5	48.5	50.1	51.1
伝送距離d[km]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
自由空間伝搬損失($\lambda / 4 \pi d$)2[dB]	110.3	119.8	119.8	119.8	119.8
障害物透過損失[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr_rice[dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子)	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-65.9	-70.7	-69.7	-68.1	-67.1
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	69.3	69.3	69.3	69.3
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5
受信機熱雑音C/N[dB]	34.6	29.8	30.8	32.4	33.4
所要C/N[dB]	15.0	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	19.6	15.0	15.0	15.0	15.0
		×	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	26.1	29.8	31.3	35.8

表10-4 モデル3（市街地中継車から受信基地局へ移動中継：3km）2.3GHz帯

周波数帯	800MHz	2.3GHz			
		ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード
送信周波数f[GHz]	0.788	2.35	2.35	2.35	2.35
送信出力W[W]／アンテナ	5.00	3.43	4.32	6.25	7.86
送信出力W[dBm]	37.0	35.4	36.4	38.0	39.0
送信アンテナ利得Gt[dBi](4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt／Lt)[dBm]	42.8	41.2	42.2	43.8	44.8
伝送距離d[km]	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
自由空間伝搬損失($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	99.9	109.4	109.4	109.4	109.4
障害物透過損マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr_rice[dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得Gr[dBi](12素子)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-59.6	-70.7	-69.7	-68.1	-67.1
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	69.3	69.3	69.3	69.3
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5
受信機熱雑音C/N[dB]	40.9	29.8	30.8	32.4	33.4
所要C/N[dB]	15.0	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	25.9	15.0	15.0	15.0	15.0
	×	×	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	26.1	29.8	31.3	35.8

- ② 最大空中線電力におけるハーフモードの伝送距離算出のための回線設計例を以下に示す。

表 10-5 モデル 2（中継車から受信基地局へ移動中継）1.2GHz 帯

周波数帯	800MHz	1.2GHz			
		ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード
送信周波数 f [GHz]	0.788	1.27	1.27	1.27	1.27
送信出力 W [W]／アンテナ	5.00	11.14	6.25	6.25	6.25
送信出力 W [dBm]	37.0	40.5	38.0	38.0	38.0
送信アンテナ利得 G_t [dBi] (4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失 L_t [dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力($W G_t / L_t$)[dBm]	42.8	46.3	43.8	43.8	43.8
伝送距離 d [km]	10.0	10.0	6.7	5.6	5.0
自由空間伝搬損失($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	110.3	114.5	111.0	109.4	108.4
障害物透過損マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージン F_{mr_rice} [dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得 G_r [dBi] (12素子)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
受信給電線損失 L_r [dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力 C_i [dBm]	-70.0	-70.7	-69.7	-68.1	-67.1
ボルツマン定数 k [W/(Hz·K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数 k [dBm/(Hz·K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度 T_0 [dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅 B [MHz]	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
信号帯域幅 B [dBHz]	69.3	69.3	69.3	69.3	69.3
受信機雑音指数 F [dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音 $N_i = k T_0 B F$ [dBm]	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	30.5	29.8	30.8	32.4	33.4
所要 C/N [dB]	15.0	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	15.5	15.0	15.0	15.0	15.0
		×	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正 (内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正 (外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	26.1	29.8	31.3	35.8

表 10-6 モデル 2（中継車から受信基地局へ移動中継）2.3GHz 帯

周波数帯	800MHz	2.3GHz			
		ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード	ハーフモード
送信周波数f[GHz]	0.788	2.35	2.35	2.35	2.35
送信出力W[W]／アンテナ	5.00	14.84	10.00	10.00	10.00
送信出力W[dBm]	37.0	41.7	40.0	40.0	40.0
送信アンテナ利得Gt[dBi](4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt／Lt)[dBm]	42.8	47.5	45.8	45.8	45.8
伝送距離d[km]	10.0	10.0	7.3	6.1	5.4
自由空間伝搬損失($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	110.3	119.8	117.1	115.5	114.5
障害物透過損マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr_rice[dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子)	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-65.9	-70.7	-69.7	-68.1	-67.1
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	69.3	69.3	69.3	69.3
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5	-100.5
受信機熱雑音C/N[dB]	34.6	29.8	30.8	32.4	33.4
所要C/N[dB]	15.0	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	19.6	15.0	15.0	15.0	15.0
		×	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	26.1	29.8	31.3	35.8

参考資料 1 1 空中線電力低減

(1) フルモードの空中線電力量算出のための回線設計例を以下に示す。

表 11-1 モデル 1 (中継車から受信基地局へ固定中継 : 50km) 1.2GHz 帯

周波数帯	800MHz	1.2GHz					
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	3.81	4.80	7.60	9.57	13.83	17.42
送信出力W[dBm]	37.0	35.8	36.8	38.8	39.8	41.4	42.4
送信アンテナ利得Gt[dBi](8素子)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
送信給電線損失Lt[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	47.5	46.3	47.3	49.3	50.3	51.9	52.9
伝送距離d[km]	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$)[dB]	124.3	128.5	128.5	128.5	128.5	128.5	128.5
障害物透過損マージン[dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
一瞬間断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr[dB]	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子)	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-65.3	-70.6	-69.6	-67.6	-66.6	-65.0	-64.0
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	35.2	26.8	27.8	29.8	30.8	32.4	33.4
所要C/N[dB]	15.0	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	20.2	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
伝送方式	SISO	○	○	○	○	○	○
変調方式	16QAM	16QAM	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSLレート (Mbps)	15.9	41.75	47.72	52.2	59.6	62.6	71.6

表 11-2 モデル 1 (中継車から受信基地局へ固定中継 : 50km) 2.3GHz 帯

周波数帯	800MHz	2.3GHz					
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	6.39	8.04	12.75	16.05	23.20	29.21
送信出力W[dBm]	37.0	38.1	39.1	41.1	42.1	43.7	44.7
送信アンテナ利得Gr[dBi](8素子)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	47.6	48.7	49.7	51.7	52.7	54.3	55.3
伝送距離d[km]	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$)[dB]	124.3	133.8	133.8	133.8	133.8	133.8	133.8
障害物透過損マージン[dB]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
一瞬間断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr[dB]	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子2スタック)	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-62.2	-70.6	-69.6	-67.6	-66.6	-65.0	-64.0
ボルツマン定数k[W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	38.3	26.8	27.8	29.8	30.8	32.4	33.4
所要C/N[dB]	15.0	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	23.3	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
伝送方式	SISO	○	○	○	○	○	○
変調方式	16QAM	16QAM	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSLレート (Mbps)	15.9	41.75	47.72	52.2	59.6	62.6	71.6

表 11-3 モデル 2 (中継車から受信基地局へ移動中継 : 10km) 1. 2GHz 帯

周波数帯	800MHz	1.2GHz							
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	7.13	8.97	11.30	14.22	22.54	28.38	41.02	51.64
送信出力W[dBm]	37.0	38.5	39.5	40.5	41.5	43.5	44.5	46.1	47.1
送信アンテナ利得Gt[dBi](4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	42.8	44.3	45.3	46.3	47.3	49.3	50.3	51.9	52.9
伝送距離d[km]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$)[dB]	110.3	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5	114.5
障害物透過損失マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr_rice[dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得Gr[dBi](12素子)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-70.0	-72.6	-71.6	-70.6	-69.6	-67.6	-66.6	-65.0	-64.0
ボルツマン定数k[W/(Hz·K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz·K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	30.5	24.8	25.8	26.8	27.8	29.8	30.8	32.4	33.4
所要C/N[dB]	15.0	9.8	10.8	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	15.5	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
		○	○	○	○	○	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	8PSK	8PSK	16QAM	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	31.3	35.8	41.8	47.7	52.2	59.6	62.6	71.6

表 11-4 モデル 2 (中継車から受信基地局へ移動中継 : 10km) 2. 3GHz 帯

周波数帯	800MHz	2.3GHz							
		フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード	フルモード
送信周波数f[GHz]	0.788	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35
送信出力W[W]/アンテナ	5.00	9.50	11.95	15.05	18.95	30.03	37.80	54.64	68.79
送信出力W[dBm]	37.0	39.8	40.8	41.8	42.8	44.8	45.8	47.4	48.4
送信アンテナ利得Gt[dBi](4段コーリニア)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
送信給電線損失Lt[dB]	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
実効放射電力(WGt/Lt)[dBm]	42.8	45.6	46.6	47.6	48.6	50.6	51.6	53.2	54.2
伝送距離d[km]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
自由空間伝搬損失($\lambda/4\pi d$)[dB]	110.3	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8	119.8
障害物透過損失マージン[dB]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
一区間断時間率[%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr_rice[dB]	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
受信アンテナ利得Gr[dBi](26素子)	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
受信給電線損失Lr[dB]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
受信電力Ci[dBm]	-65.9	-72.6	-71.6	-70.6	-69.6	-67.6	-66.6	-65.0	-64.0
ボルツマン定数k[W/(Hz·K)]	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k[dBm/(Hz·K)]	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6	-198.6
標準温度T0[dBK]	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
信号帯域幅B[MHz]	8.5	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
信号帯域幅B[dBHz]	69.3	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4
受信機雑音指数F[dB]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
受信機熱雑音Ni=kT0BF[dBm]	-100.5	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4	-97.4
受信機熱雑音C/N[dB]	34.6	24.8	25.8	26.8	27.8	29.8	30.8	32.4	33.4
所要C/N[dB]	15.0	9.8	10.8	11.8	12.8	14.8	15.8	17.4	18.4
伝送マージン[dB]	19.6	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
		○	○	○	○	○	○	○	○
伝送方式	SISO	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)	MIMO(2×2)
変調方式	16QAM	8PSK	8PSK	16QAM	16QAM	32QAM	32QAM	64QAM	64QAM
誤り訂正(内符号)	畳込み 2/3	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2	STTC'1/2
誤り訂正(外符号)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)	RS(204,166)	RS(204,188)
TSレート (Mbps)	15.9	31.3	35.8	41.8	47.7	52.2	59.6	62.6	71.6

参考資料 1 2 MIMO 導入に伴う F P U 与干渉からの他の無線システムとの離隔距離

表 12-1 特定ラジオマイク（希望波：ARM^{*1}、DRM^{*2} 妨害波：F P U、入力=-63dBm）

		FPU 1.2GHz 帯	所要 D/U	離隔距離
ARM 1 本 (10mW)	SINAD=40	F P U 帯域内 (f=1249MHz)	0dB	1058. 5m
		F P U 帯域外 (f=1240MHz)	-37dB	21. 6m
	SINAD=50	F P U 帯域内 (f=1249MHz)	+13. 6dB	2315. 8m
		F P U 帯域外 (f=1240MHz)	-26dB	76. 7m
DRM 1 本 (50mW)	BER= 1 × 10 ⁻⁴	F P U 帯域内 (f=1249MHz)	-7dB	509. 3m
		F P U 帯域外 (f=1240MHz)	-35dB	20. 3m
	BER= 1 × 10 ⁻⁵	F P U 帯域内 (f=1249MHz)	-6dB	571. 4m
		F P U 帯域外 (f=1240MHz)	-34dB	22. 8m

<RM 条件>

送信アンテナ高：1.5m（手持ちハンズヘルプ型送信機を想定）

受信アンテナ高：4.0m（スタジオ、屋外中継用受信機を想定）

*1：Analog Radio Microphone：アナログ特定ラジオマイク

*2：Digital Radio Microphone：デジタル特定ラジオマイク

表 12-2 特定小電力無線局

特定小電力無線局通常運用時 1.2GHz帯FPUの干渉		モデル 1		モデル 2		モデル 3		モデル 4		モデル 5		モデル 6	
		16kHz	32kHz	16kHz	32kHz	16kHz	32kHz	16kHz	32kHz	16kHz	32kHz	16kHz	32kHz
① 送信周波数[GHz]		1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525	1.2525
② 送信出力W[W]/アンテナ		12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
③ 送信出力W[dBm/17.5MHz]		41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
④ 帯域換算送信出力[dBm/チャンネル]		10.6	13.6	10.6	13.6	10.6	13.6	10.6	13.6	10.6	13.6	10.6	13.6
⑤ 送信アンテナ利得G[dBi]		12.0	12.0	7.2	7.2	6.0	6.0	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
⑥ 水平面指向特性		-10.0	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑦ 垂直面指向特性		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑧ 送信アンテナ高[m]		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.0	2.0	2.5	2.5
⑨ 送信給電線損失L[dB]		1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
⑩ 実効放射電力(WGt/Lt)[dBm/チャンネル]	④+⑤+⑥+⑦-⑨	11.1	14.1	16.4	19.4	15.2	18.2	14.4	17.4	14.4	17.4	14.4	17.4
⑪ 建物等による遮蔽損[dB]		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
⑫ 壁等による減衰[dB]		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
⑬ 受信アンテナ利得G[dBi]		2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
⑭ 水平面指向特性		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑮ 垂直面指向特性		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑯ 受信アンテナ高[m]		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
⑰ 受信給電線損失L[dB]		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑱ 干渉量[dBm/チャンネル]	⑩-⑪-⑫+⑬+⑭-⑰	-16.8	-13.8	-11.5	-8.5	-12.7	-9.7	-13.5	-10.5	-13.5	-10.5	-13.5	-10.5
⑲ 送信信号帯域幅[MHz]		17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
⑳ 受信信号帯域幅[チャンネル][MHz]		0.016	0.032	0.016	0.032	0.016	0.032	0.016	0.032	0.016	0.032	0.016	0.032
㉑ 帯域換算(チャンネル当たり)換算		-30.4	-27.4	-30.4	-27.4	-30.4	-27.4	-30.4	-27.4	-30.4	-27.4	-30.4	-27.4
㉒ 通常運用受信電力		-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.0
㉓ DU比		11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
㉔ 許容干渉電力[dBm/17.5MHz]	㉒-㉓	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0
㉕ 帯域換算許容干渉電力[dBm/チャンネル]	㉒-㉓	-107.4	-104.4	-107.4	-104.4	-107.4	-104.4	-107.4	-104.4	-107.4	-104.4	-107.4	-104.4
㉖ キャリアセンスレベル[dBm/17.5MHz]	㉒-㉓												
㉗ 帯域換算キャリアセンスレベル[dBm/チャンネル]	㉒-㉓												
㉘ 所要結合損[dB]	㉕-㉖	90.6	90.6	95.9	95.9	94.7	94.7	93.9	93.9	93.9	93.9	93.9	93.9
㉙ 離隔距離(km)(自由空間)		0.65	0.65	1.20	1.20	1.04	1.04	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
㉚ 自由空間伝搬損失による離隔距離		0.65	0.65	1.20	1.20	1.04	1.04	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
㉛ 球面大地伝搬損失による離隔距離*1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
㉜ 平面大地伝搬損失による離隔距離		-	-	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-

*1 GRWAVE ITU-R P.526-12 球面大地伝搬損失計算ソフト

表 12-3 画像伝送用携帯局

画像伝送携帯局 通常運用時 1.2GHz帯FPUの干渉		モデル1	モデル2	モデル3	モデル4	モデル5	モデル6
① 送信周波数f[GHz]		1.2815	1.2815	1.2815	1.2815	1.2815	1.2815
② 送信出力W[W]/アンテナ		12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
③ 送信出力W[dBm/17.5MHz]		41.0	44.0	41.0	41.0	41.0	41.0
④ 帯域換算送信出力[dBm/チャンネル]		36.3	39.4	36.3	36.3	36.3	36.3
⑤ 送信アンテナ利得Gt[dBi]		12.0	7.2	6.0	5.2	5.2	5.2
⑥ 水平面指向特性		-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑦ 垂直面指向特性		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑧ 送信アンテナ高[m]		3.5	3.5	3.5	3.5	2.0	2.5
⑨ 送信給電線損失Lt[dB]		1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
⑩ 実効放射電力(WGt/Lt)[dBm/チャンネル]	④+⑤+⑥+⑦-⑨	36.8	45.2	40.9	40.1	40.1	40.1
⑪ 建物等による遮蔽損[dB]		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
⑫ 壁等による減衰[dB]		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑬ 受信アンテナ利得Gr[dBi]		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
⑭ 水平面指向特性		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑮ 垂直面指向特性		-25.0	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0
⑯ 受信アンテナ高[m]		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
⑰ 受信給電線損失Lr[dB]		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
⑱ 与干渉量[dBm/チャンネル]	⑩-⑪-⑫+⑬+⑭+⑮-⑰	7.3	15.7	11.4	10.6	10.6	10.6
⑲ 送信信号帯域幅[MHz]		17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
⑳ 受信信号帯域幅(チャンネル)[MHz]		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
㉑ 帯域換算(チャンネル当たりに換算)		-4.6	-4.6	-4.6	-4.6	-4.6	-4.6
㉒ 通常運用受信電力		-40	-40	-40	-40	-40	-40
㉓ DU比		17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
㉔ 許容干渉電力[dBm/17.5MHz]	㉒-㉓	-56.5	-56.5	-56.5	-56.5	-56.5	-56.5
㉕ 帯域換算許容干渉電力[dBm/チャンネル]	㉔+㉑	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1
㉖ キャリアセンスレベル[dBm/17.5MHz]	㉒-㉓						
㉗ 帯域換算キャリアセンスレベル[dBm/チャンネル]	㉖+㉑						
㉘ 所要結合損[dB]	㉕-㉗or㉗	68.47	76.80	72.57	71.77	71.77	71.77
㉙ 離隔距離[km](自由空間)		0.05	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07
離隔距離	自由空間伝搬損失による離隔距離	0.05	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07
	球面大地伝搬損失による離隔距離*1	-	-	-	-	-	-
	平面大地伝搬損失による離隔距離	-	-	-	-	-	-
*1 GRWAVE ITU-R P.526-12 球面大地伝搬損失計算ソフト							