

情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会

報告書（案）

平成 28 年 12 月 9 日付諮問第 2039 号「公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する技術的条件」について

平成 29 年 2 月

目次

I. 審議事項	1
II. 委員会及び作業班の構成	1
III. 審議経過	1
1 委員会	1
2 作業班	1
IV. 審議概要	2
第1章 審議の背景等	2
1. 1 審議の背景	2
1. 2 公共ブロードバンド移動通信システムの現状	2
1. 3 公共ブロードバンド移動通信システムの標準化の動向	3
第2章 公共ブロードバンド移動通信システムの高度化	4
2. 1 高度化のための要求条件	4
2. 2 無線方式等の検討	6
第3章 他の無線システムとの共存に関する検討	19
第4章 公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する技術的条件	20
4. 1 海上利用に係る技術的条件	20
4. 2 多段中継利用に係る技術的条件	20
4. 3 測定法	22
V. 審議結果	22
別表1 陸上無線通信委員会 構成員	23
別表2 公共ブロードバンド移動通信システム高度化作業班 構成員	24
参考資料	25

I. 審議事項

陸上無線通信委員会は、平成 28 年 12 月 9 日付諮問第 2039 号「公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する技術的条件」について検討を行った。

II. 委員会及び作業班の構成

委員会及び作業班の構成は、別表 1 及び別表 2 のとおり。

III. 審議経過

1 委員会

① 第 34 回（平成 28 年 12 月 14 日）

「公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する技術的条件」の検討を開始した。検討の促進を図るため公共ブロードバンド移動通信システム高度化作業班において調査検討を行うこととした。

② 第 36 回（平成 29 年 3 月 7 日）

2 作業班

① 第 1 回（平成 28 年 12 月 15 日）

作業班の運営方針について確認を行った。

作業班の検討方針及び公共ブロードバンド移動通信システムの海上利用に係る技術的条件について検討を行った。

② 第 2 回（平成 29 年 1 月 24 日）

公共ブロードバンド移動通信システムの多段中継利用に係る技術的条件について検討を行った。

③ 第 3 回（平成 29 年 2 月 28 日）

作業班報告書の案について検討を行い、とりまとめを行った。

IV. 審議概要

第1章 審議の背景等

1. 1 審議の背景

公共ブロードバンド移動通信システムは、災害等の現場において公共機関が機動的かつ確実な映像伝送を実現するため、地上テレビジョン放送のデジタル化により空き周波数帯となった VHF 帯の一部（200MHz 帯）に導入されたシステムであり、主に陸上での対向による映像伝送に利用されている。

一方、災害等の現場では、船上で撮影した映像の関係機関への伝送などの海上での利用や、対向による伝送が困難な様々な地勢における被災地の状況の災害対策本部への伝送などの多段中継による利用に対するニーズが高まっている。

このようなニーズに対応するため、公共ブロードバンド移動通信システムの海上利用及び多段中継利用のための高度化に関する技術的条件について諮問を行うものである。

1. 2 公共ブロードバンド移動通信システムの現状

現在、公共ブロードバンド移動通信システムは、映像伝送を行うために利用される衛星通信車が容易に立ち入ることができないような災害等の現場において、初動対応通信を確保するための機動性のあるシステムとして利用されている。

公共ブロードバンド移動通信システムは、200MHz 帯を使用していることから、その特性である回り込みを利用し、通信による見通しが確保できない場所での利用に適しており、例えば、平成 28 年 4 月に発生した熊本地震の際には、国土交通省九州地方整備局において、被災地の道路状況を確認するため、見通しが確保できない現場に設置され、状況把握に活用された。

なお、送受信間の距離が長くなるような場合は、公共ブロードバンド移動通信システムによる被災地の映像を衛星通信車等により受信先へ伝送している。



図 1. 2-1 公共ブロードバンド移動通信システムの利用（現状）

1. 3 公共ブロードバンド移動通信システムの標準化の動向

公共ブロードバンド移動通信システムは、平成 23 年 3 月に、一般社団法人電波産業会により、“200 MHz 帯広帯域移動無線通信用無線設備(可搬型)”(ARIB STD-T103)として国内標準規格化が実施されている。この規格は、IEEE802.16-2009 規格のうち、“WirelessMAN-OFDMA”を基に策定されたもので、モバイル WIMAX 規格に準拠する仕様を含むモード 1 と、VHF 帯の伝搬特性を考慮した最適化を施したモード 2 により構成されており、特にモード 2 については、IEEE802.16n として国際標準規格化が完了している。

表 1. 3-1 公共ブロードバンド移動通信システムの標準化状況

年月	経過
平成 23 年 3 月	“200 MHz 帯広帯域移動無線通信用無線設備(可搬型)” ARIB STD-T103 策定
平成 23 年 5 月	ARIB STD-T103 のうちモード 2 を IEEE802.16n に提案
平成 25 年 3 月	IEEE802.16n-2003 “IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems-Amendment 2: Higher

Reliability Networks” 規格化		
平成 25 年 3 月	ARIB STD-T103	1.1 改定
平成 27 年 3 月	ARIB STD-T103	1.2 改定

第 2 章 公共ブロードバンド移動通信システムの高度化

2. 1 高度化のための要求条件

2. 1. 1 高度化のニーズ

船舶で無線局を運用している国の機関に対するアンケート及び消防関係者へのヒアリングを実施したところ、以下のとおり、公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に対するニーズがあった。

(1) 海上利用（単一回線・多段中継）に対するニーズ

① 映像伝送等のデータ通信の実現

- ・ 海上で映像伝送を行う際に現在一般的に利用されている衛星回線が実現する数百 kbps 以上の伝送速度の確保が必要。
- ・ 船舶に公共ブロードバンド移動通信システムを設置する場合に、小型船舶のような限られた設置環境においても、必要なときに設置し、運用できるといった簡便な利用を可能とすることが必要。

② 広いカバーエリアの実現（多段中継）

- ・ 船舶が航行する機会が多い沿海区域（海岸から 20 海里）をカバーエリアとして実現することが必要であり、中継による通信距離の延長が必要。

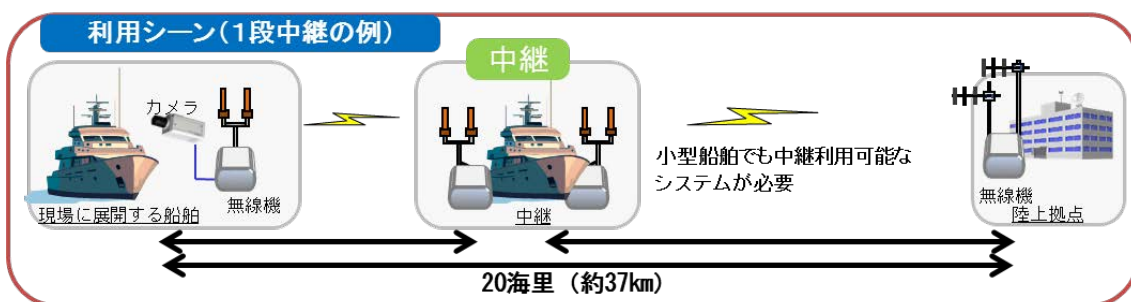


図 2. 1. 1-1 利用シーン（海上多段中継利用）

(2) 陸上での多段中継利用に対するニーズ

- ・ 建物の中から直接本部に映像伝送を行うことができない場合においても、建物内の隊員が、建物の近くの配置した中継車両を経由して、

本部に映像を伝送できるような通信環境を実現することが必要。

- ・ 遮蔽物が多い地下街等では通信環境を確保するため、多段中継による伝送が必要。

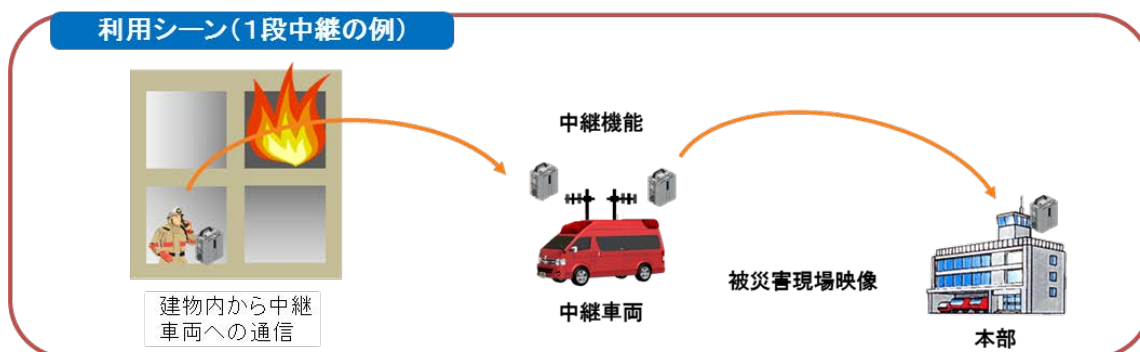


図 2. 1. 1-2 利用シーン (陸上多段利用)

2. 1. 2 高度化に向けた基本的考え方

(1) 使用周波数帯等

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの高度化であるため、使用周波数帯は、既存の公共ブロードバンド移動通信システムに割り当てられている 170MHz から 202.5MHz までの周波数帯を既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同様に TDD 方式で使用する。

(2) 無線方式

無線方式の技術的条件については、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件と同一の項目が多いほど早期の実用化が見込めることから、現行の技術的条件と同一のものとすることが可能な項目はできる限りこれを用いることとし、高度化のために新たに必要となる項目を中心に検討を行う。

(3) 他システムとの共用

隣接チャンネル漏えい電力と不要発射の強度の許容値については、既存の公共ブロードバンド移動通信システムにおけるものと同等とすることにより、隣接周波数帯を使用する既存無線システムへの影響の程度を既存の公共ブロードバンド移動通信システムによる影響の程度と同等とする。

(4) 回線の構成

海上利用及び多段中継利用ともに、基地局又は携帯基地局を介さない移動局間の対向通信を想定していることから、移動局間で回線が構成され

るものとして検討を行う。

(5) 伝送速度

公共ブロードバンド移動通信システムは、映像伝送を目的として導入されたものであり、500kbps 以上の伝送速度を確保している。海上利用及び多段中継利用においても、同様に映像伝送を行うことから、同等の伝送速度を確保することを前提として検討を行う。

2. 1. 3 高度化のための要求条件

高度化のニーズ及び基本的な考え方を踏まえた海上利用及び多段中継利用のための要求条件は、次のとおりである。

(1) 海上利用のための要求条件(単一回線)

- ・ 既存の公共ブロードバンド移動通信システムで求めている 500kbps 以上の伝送速度を確保することが可能であること。
- ・ 陸上と船舶との間、船舶相互間で通信が可能であること。

(2) 多段中継利用のための要求条件(陸上及び海上中継)

- ・ 1ch 内 (5MHz 帯域内) での中継伝送が可能な方式であること。
- ・ 既存の公共ブロードバンド移動通信システムで求めている 500kbps 以上の伝送速度が確保できること。
- ・ 空中線間の離隔距離が極力不要な方式であること。
- ・ 20 海里 (37km) 以上の通信距離が可能な方式であること。

2. 2 無線方式等の検討

上記の要求条件を踏まえ、公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する無線方式等について、次のとおり検討を行った。

2. 2. 1 海上利用のための無線方式等

海上における単一回線での公共ブロードバンド移動通信システムの利用は、環境雑音が郡部環境の雑音モデル(ルーラル)にほぼ一致すること、伝搬損失距離特性が陸上通信における大地との低遅延特性の反射である二波モデルにほぼ一致すること、さらに波の影響等を考慮してもフェージングモデルは仲上-Rice モデルにほぼ一致することから、海上における電波伝搬特性は陸上とほぼ同様の電波伝搬特性であるため、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの移動局の空中線電力、空中線利得等の技術的条件と同一の技術的条件とすることができると考えられる。(参考資料 2)

2. 2. 2 多段中継利用のための回線の構成

多段中継利用のための回線の構成として、受信した無線信号の再生／非再生の別及び中継における無線リソースの配分方法について比較検討する。

(1) 再生方式・非再生方式の比較検討

中継の際に受信した無線信号の扱いとしては、再生方式及び非再生方式が想定される。再生方式とするか非再生方式とするかの検討にあたっては、次の事項について考慮することとする。

- ・ 多段中継利用を行うための空中線の配置において、制約が少ない方式であること。
- ・ 多段中継利用を行うことで、これまでの対向による伝送と比較して、伝送距離が確保できる方式であること。

また、再生方式・非再生方式ともに TDD 通信方式を用いているため、いずれの方式についても、ギャップタイムにより生じる信号到達距離限界について考慮する必要がある。なお、ARIB STD-T103 に定められているギャップタイム 200 マイクロ秒の場合には、電波の往復時間から算出される信号到達距離限界は 30km となる。

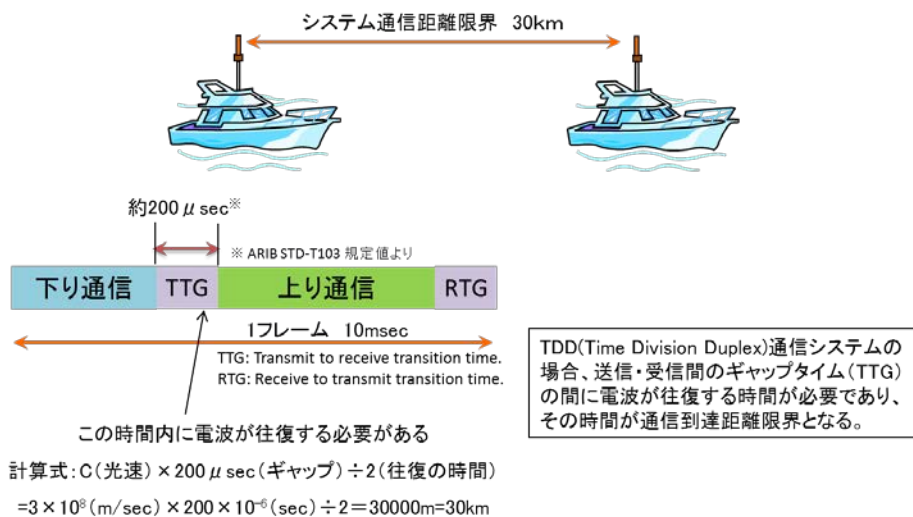


図 2. 2. 2-1 TDD 通信システムにおけるギャップタイムと通信到達距離限界概念図

非再生方式は、受信した無線信号を直接増幅し再送信する方式であり、中継の際には送受信を同時に行うため、空中線間の離隔距離を十分に確保する必要がある。非再生方式により中継をした場合には、TDD 通信方式のギャップタイムにより生じる信号到達距離限界は拡大するこ

とができないので、従来以上に最大通信距離を延ばすことはできない。

再生方式では、送受信を同時に行わないため、空中線間の離隔距離の確保は必要ない。また、送受信を同時に行わないことにより、ギャップタイムの制約も受けないため、信号到達距離限界に縛られず、非再生方式と比較して、より長い通信距離を確保することができる。

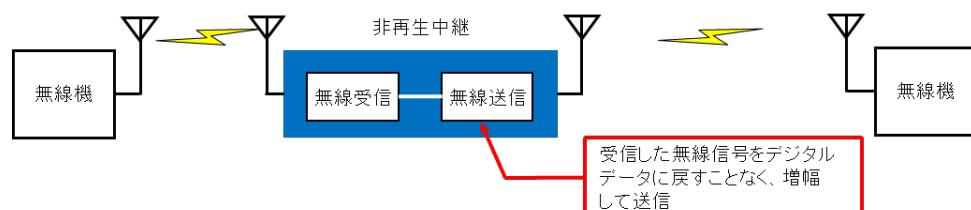


図 2. 2. 2-2 非再生方式の構成例

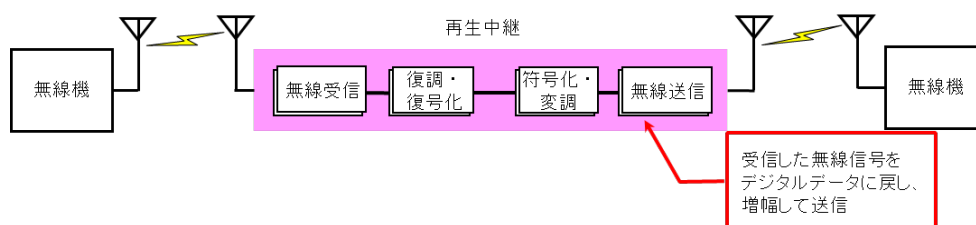


図 2. 2. 2-3 再生方式の構成例

以上の理由から、空中線間の離隔距離の確保が必要とならず、伝送距離がより確保できる再生方式を用いることが望ましい。

(2) 中継における無線リソースの配分方法の検討

既存の公共ブロードバンド移動通信システムは、多重化方式として上り OFDMA、下り OFDM と TDM の複合方式としており、中継に用いる際の無線リソースの配分方法は、周波数領域の配分方式として FDMA、時間領域の配分方式として TDMA がある。

FDMA では、周波数を帯域分割する方法(周波数チャネル分割制御方式)と、サブキャリアをインターリーブして配置する方法(セグメント分割制御方式)がある(図 2. 2. 2-4、図 2. 2. 2-5)。

TDMA は、情報を一時的に蓄積して逐次時分割で送信する方法(蓄積型時分割制御方式)である。(図 2. 2. 2-6)。

① FDMA(周波数チャネル分割制御方式)

既存の公共ブロードバンド移動通信システムのチャンネル幅である

5MHz を周波数軸上で n 分割して多段中継利用を行う。

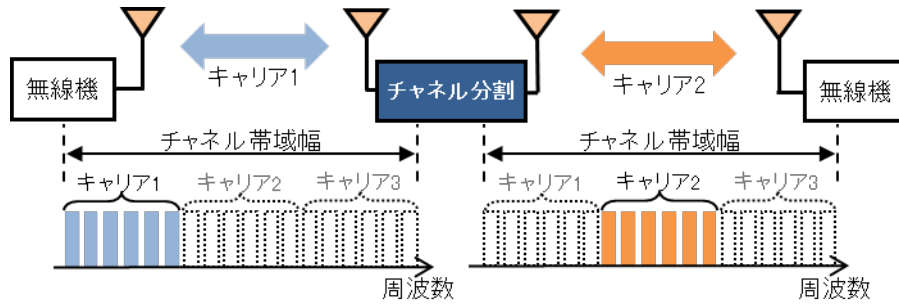


図 2. 2. 2-4 周波数チャンネル分割制御方式 ($n=3$ とした場合の例)

② FDMA (セグメント分割制御方式)

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの 5MHz 幅内において OFDM のサブキャリア間の直交性を利用して、 n のセグメントに分割して多段中継を行う。

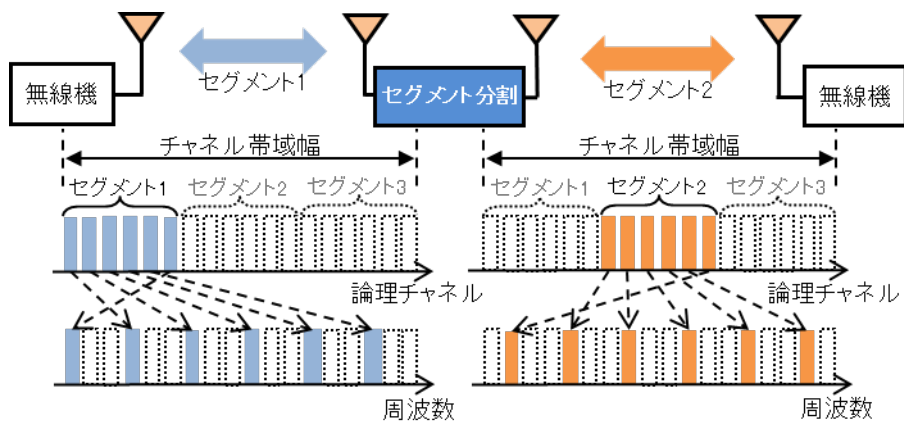


図 2. 2. 2-5 セグメント分割制御方式 ($n=3$ とした場合の例)

③ TDMA (蓄積型時分割制御方式)

受信した情報を一時的に蓄積して、送受信タイミングを n 分割し、通信データを逐次時分割で送受信することで、多段中継を行う。

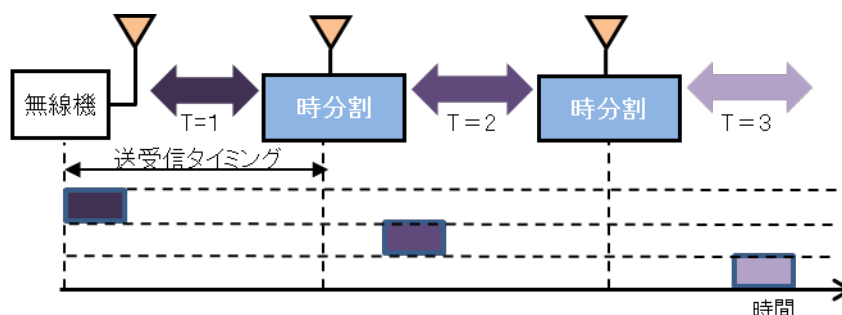


図 2. 2. 2-6 蓄積型時分割制御方式 (n=3 とした場合の例)

(3) 伝送速度及び分割数

周波数チャネル分割制御方式、セグメント分割制御方式及び蓄積型時分割制御方式のいずれも、分割数を大きくすると、中継段数を増やすことが可能となる一方で、伝送速度は低下する。多段中継利用であっても要求条件である 500kbps 以上の伝送速度を確保するため、分割数には一定の上限を設ける必要がある。

伝送速度は、TDD の比率を調整することによって、上りの速度を優先することができるが、周波数チャネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式の場合には、上り及び下りの送信が交互に繰り返されるため、伝送速度が最速となる TDD 比率は、理論的には 1:1 とした場合となる。一方、蓄積型時分割制御方式の場合には、時分割で送信・受信を行うため、上りの TDD 比率を高めることで、上りの伝送速度を周波数チャネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式よりも高速にすることが可能である。

ARIB STD-T103 に定められている TDD 比率 (下り:上り) は 9:38、35:12、26:21 の 3 通りがあり、周波数チャネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式においては、1:1 の比率に近い 26:21 の場合に伝送速度が最速となる。蓄積型時分割制御方式においては、TDD 比率を上りに優先させている 9:38 の場合に上りの伝送速度を最速にできる。

例えば、変調方式が QPSK (TDD 比率 9:38) の場合には、理論的には最大 2,772kbps の上り方向の伝送速度が得られるところ、上り方向に最も高速な伝送が可能となる TDD 比率を用いた場合における分割数に応じた伝送速度は、変調方式 (QPSK 及び 64QAM) ごとに、次のグラフの

とおりとなる。(参考資料3)

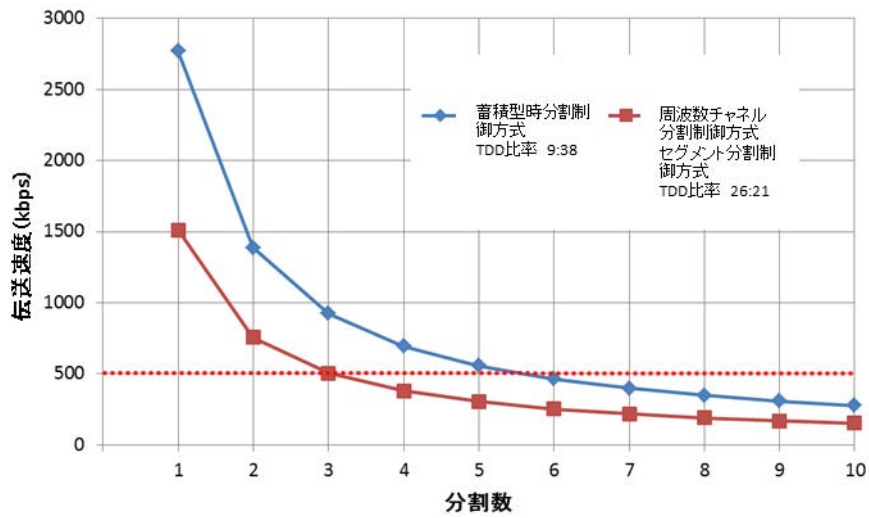


図 2. 2. 2-7 分割数に応じた伝送速度 (QPSK)

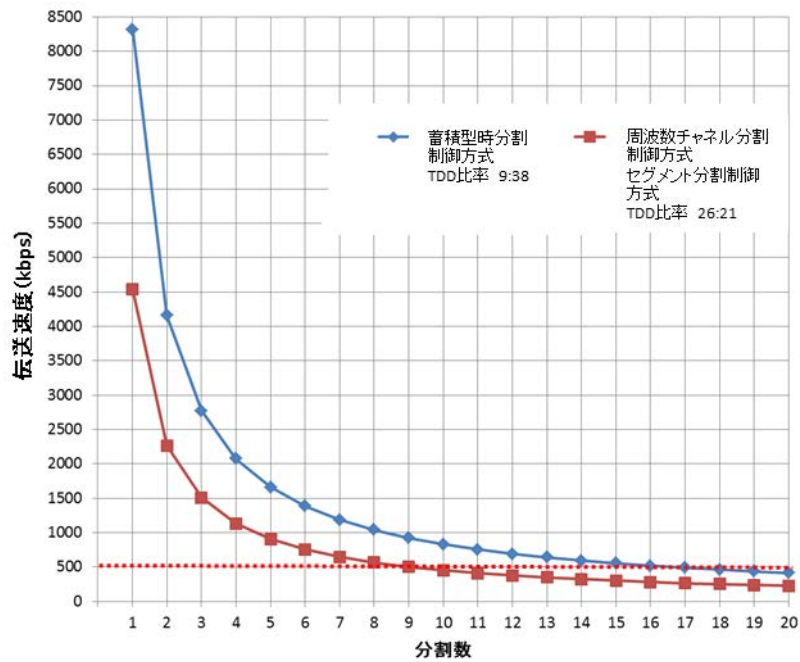


図 2. 2. 2-8 分割数に応じた伝送速度 (64QAM)

図 2. 2. 2-7 及び図 2. 2. 2-8 より、500kbps 以上の伝送速度を確保できる分割数は、以下のとおりとなる。

- ① 周波数チャネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式
QPSK の場合の最大は 3、64QAM の場合の最大は 9
- ② 蓄積型時分割制御方式
QPSK の場合の最大は 5、64QAM の場合の最大は 16
(TDD 比率を非対称として上りを優先した場合)

以上より、周波数チャネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式における分割数については最大 9 分割、蓄積型時分割制御方式における分割数については最大 16 分割とすることが適当である。

なお、既存の公共ブロードバンド移動通信システムは、IEEE 802.16-2009 を基に VHF 帯用として最適化したシステムであるところ、IEEE 802.16-2009 規格の最小帯域幅は 1.25MHz であり、これは、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの帯域幅 (5MHz) を 4 分割したものと一致している。

表 2. 2. 2-1 IEEE802.16-2009 で規定されている帯域幅

システム名		帯域幅
Mobile	IEEE	1.25MHz,5MHz,10MHz,20MHz
WiMAX	802.16-2009	3.5MHz,7MHz,14MHz,28MHz,8.75MHz,17.5MHz

(4) 多段中継利用を行う上で留意すべき事項

- ① タイミングオフセットの影響 (参考資料 4 の 1 (1))
 - ・ セグメント分割制御方式では中継区間距離の差により希望波と干渉波の伝搬遅延時間の差 (タイミングオフセット) が発生し、シンボル間干渉が発生する。このため、タイミングオフセットが CP 長 (Cyclic Prefix: 遅延到来波を考慮したガードインターバル) を超えると BER が劣化する。
 - ・ 周波数チャネル分割制御方式では、使用する周波数が異なることから、中継区間距離差によるタイミングオフセットの影響を考慮する必要はない。
 - ・ 蓄積型時分割制御方式では、同時に送信を行わないため、中継区間距離差によるタイミングオフセットの影響を考慮する必要はない。
- ② 周波数偏差 (周波数オフセット) の影響 (参考資料 4 の 1 (2))
 - ・ セグメント分割制御方式では、周波数オフセットが増加するにつれて直交性が保てなくなり、BER が劣化する傾向となる。

- ・ 周波数チャンネル分割制御方式では、使用する周波数が異なることから、周波数オフセットの影響はない。
- ・ 蓄積型時分割制御方式では、同時に送信を行わないため、同一周波数を利用するものの周波数オフセットの影響はない。

③ 周波数選択性フェージング耐性（参考資料4の1（3））

周波数チャンネル分割制御方式は、分割数が多くなると占有周波数帯幅が狭くなることにより、チャンネル帯域内のサブキャリアに一定の間隔で挿入されたフェージング補償に用いる基準信号の全消失リスクが高まる。そのため、フェージング補償（誤り訂正、歪補償等）による品質改善効果が小さくなる。

④ 中継可能位置（参考資料4の1（4））

周波数チャンネル分割制御方式における中継可能位置は、隣接チャンネル漏えい電力に起因する所要 D/U 比の関係から、中継地点に到達する信号の所要 CNR を満足する範囲となる。例えば、陸上から中継地点への距離と、船から中継地点への距離に差がある場合には、中継地点に到達する電力の大きさが異なることから、中継地点において f2 の電力が f1 の電力よりも大きくなり、f1 の電力と f2 の隣接チャンネル漏えい電力の比が所要 CNR を満足しない場合が発生する。このため、周波数チャンネル分割制御方式では、中継可能位置は送受信点と中継地点の距離差から生じる到達電力の差異に依存することとなる。なお、これは、隣接チャンネル漏えい電力を低減することで、中継可能位置の範囲を延伸できることを意味する。

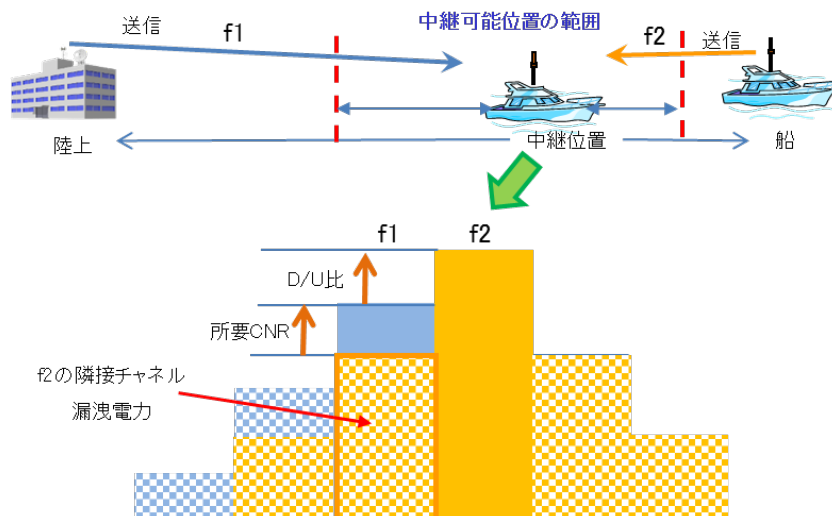


図 2. 2. 2-9 中継可能位置と D/U 比の関係

セグメント分割制御方式では、同一 OFDMA チャンネルの中で直交した送信キャリアを用い、隣接チャンネル漏えい電力の影響は受けないため、周波数チャンネル分割制御方式のような制約はない。

蓄積型時分割制御方式では、中継位置に向かって同時に送信するタイミングが存在しないため、周波数チャンネル分割制御方式のような制約はない。

⑤ 伝送遅延（参考資料 4 の 1（5））

蓄積型時分割制御方式では、送信タイミングになるまでの蓄積時間が送信機ごとに必要であることや、送信タイミングで中継を行う送信機が常に 1 つであることから送受信切替えのための時間が必要となるため、周波数チャンネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式と比較して遅延が大きくなる。

（5）各多段中継回線の構成における適用事例

各多段中継回線の構成の特徴を考慮した適用事例は、以下のとおりである。

① 周波数チャンネル分割制御方式

タイミングオフセット耐性が高く、設置場所に対する制約が少ないため、山間部等での運用に適する。

② セグメント分割制御方式

フェージング耐性が高く、移動中継伝送に適する。

③ 蓄積型時分割制御方式

中継可能区間を考慮することなく、迅速に多段中継回線を構成できるため、地下街での火災のように緊急を要する回線構築に適する。



※本部側主導による中継伝送全体の管理・制御が可能

図 2. 2. 2-10 蓄積型時分割制御方式の適用事例（2 段中継）

2. 2. 3 多段中継利用のための無線方式

(1) 多重化方式

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件は、多重化方式として、上り回線においては OFDMA、下り回線においては OFDM と TDM の複合方式とされている。多段中継利用においても、既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同様に上り回線においては OFDMA、下り回線においては OFDM と TDM の複合方式とすることが適当である。

(2) 変調方式

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件は、変調方式として、上り回線においては QPSK、16QAM 及び 64QAM、下り回線においては BPSK、QPSK、16QAM 及び 64QAM とされている。多段中継利用は、移動局間で通信が行われるものであり、変調方式は、上り下りで同一とすることが適当である。このため、多段中継利用における変調方式については、上り下りとも BPSK、QPSK、16QAM 及び 64QAM とすることが適当である。

(3) 占有周波数帯幅の許容値

① 周波数チャンネル分割制御方式

分割数の最大値は 2. 2. 2 の (3) で検討したとおり 9 であり、占有周波数帯幅の許容値は、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの占有周波数帯幅の許容値 (4. 9MHz) を分割数で除した値とし、分割数に応じて次のとおりとすることが適当である (参考資料 5)。

- ・ 2 分割 $4.9\text{MHz}/2$ 分割=2. 45MHz
- ・ 3 分割 $4.9\text{MHz}/3$ 分割=1. 64Hz
- ・ 4 分割 $4.9\text{MHz}/4$ 分割=1. 23MHz
- ・ 5 分割 $4.9\text{MHz}/5$ 分割=0. 98MHz
- ・ 6 分割 $4.9\text{MHz}/6$ 分割=0. 817MHz
- ・ 7 分割 $4.9\text{MHz}/7$ 分割=0. 7MHz
- ・ 8 分割 $4.9\text{MHz}/8$ 分割=0. 613MHz
- ・ 9 分割 $4.9\text{MHz}/9$ 分割=0. 545MHz

② セグメント分割制御方式

OFDM のサブキャリア間の直交性を利用したセグメント単位での分割であり、また、セグメント内のサブキャリアは、チャンネル帯域内からくまなく抽出するため、セグメント分割制御方式を用いた場合で

も、占有周波数帯幅は変わることはない。そのため、占有周波数帯幅の許容値は、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの占有周波数帯幅の許容値と同じ 4.9MHz とすることが適当である（参考資料 5）。

③ 蓄積型時分割制御

周波数軸の分割ではないため、蓄積型時分割制御を用いた場合でも、占有周波数帯幅は変わらない。そのため、占有周波数帯幅の許容値は、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの占有周波数帯幅の許容値と同じ 4.9MHz とすることが適当である（参考資料 5）。

(4) 空中線電力

多段中継利用に係る空中線電力については、他システムへの影響を考慮し、既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同じ基準で共用条件を満足することが必要である。既存の公共ブロードバンド移動通信システムの基準における移動局の空中線電力（5W）を電力密度換算すると 37dBm/5MHz となることから、分割数 2（チャンネル帯域幅：2.5MHz）、分割数 3（チャンネル帯域幅：1.67MHz）及び分割数 4（チャンネル帯域幅：1.25MHz）の場合の電力密度は下表のとおりとなる。分割数が 5 以上の場合も同様に、5W を分割数で除した値とすることが適当である。（参考資料 6）

表 2. 2. 3-1 多段中継利用に係る空中線電力（分割数 4 までを例として表示）

項目	パラメータ			
	1	2	3	4
1 分割数				
2 対象となる中継回線の構成	蓄積型時分割制御方式 (現行方式)	周波数チャンネル分割制御方式 セグメント分割制御方式	周波数チャンネル分割制御方式 セグメント分割制御方式	周波数チャンネル分割制御方式 セグメント分割制御方式
3 電力密度 (空中線電力)	37.0dBm/ 5MHz (5W)	34.0dBm/ 2.5MHz [*] (2.5W)	32.2dBm/ 1.66MHz [*] (1.66W)	31.0dBm/ 1.25MHz [*] (1.25W)

※セグメント分割制御方式の空中線電力は、5MHz あたりの値となる

(5) 不要発射の強度及びスプリアス発射

公共ブロードバンド移動通信システムの高度化の基本的考え方として、不要発射の強度の許容値を既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同等とすることとしているため、不要発射の強度及びスプリアス発射については、現行基準と同じとすることが適当である。

(6) 空中線利得(送信空中線絶対利得)

多段中継利用に係る空中線利得については、他システムへの影響を考慮し、既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同じ基準で共用条件を満足することが必要である。

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの基準における空中線利得(10dBi)の場合には共用条件を満足することが可能であるため、多段中継利用においても空中線利得については、この基準と同じ基準とすることが適当である。なお、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの基準と同様に、空中線電力の低減や給電線損失を補う分の増加を認めることが適当である。

(7) 隣接チャネル漏えい電力

多段中継利用に係る隣接チャネル漏えい電力については、中継を行う無線局の位置を考慮する際に必要となる。

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの基準(-21dBc以下)の場合であっても、隣接チャネル漏えい電力に起因する所要D/Uの関係から、中継が可能な区間として約7.6kmが確保できる(参考資料4の1(4))ことから、この基準を維持することとし、運用者(免許人)が自らのニーズを踏まえ、隣接チャネル漏えい電力の値を必要に応じてより低く落とすこととすることが適当である。

なお、次隣接チャネル漏えい電力については、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの基準においても隣接チャネル漏えい電力より低い値(-41dBc以下)としており、多段中継においてもこの値を遵守することは可能であるため、この基準と同じ基準とすることが適当である。

(8) 周波数の許容偏差

公共ブロードバンド移動通信システムで使用できる周波数のうち、最も高い中心周波数(200MHz)における周波数の許容偏差は現行基準(5×10^{-6})に従うと1kHzとなる。この値は、(3)①で検討した9分割し

た場合のチャンネル間隔(6kHz)よりも小さいため、分割により占有周波数帯幅を狭くしても運用に影響は生じない(参考資料7)。

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの基準と同一とすることが可能な項目は可能な限りそれを用いるという基本的考え方(2.1.2(2)参照)を踏まえ、周波数の許容偏差については、現行基準(5×10^{-6})と同じとすることが適当である。

2.2.4 多段中継利用における回線設計例

多段中継利用(周波数チャンネル分割制御方式)を行う場合の回線設計例について、以下に示す(なお、セグメント分割制御方式及び蓄積型時分割制御方式については、参考資料8を参照)。

(1) 海上多段中継利用：周波数チャンネル分割制御方式(2分割)

陸上と海上との通信を一段の中継によって中継伝送を行う構成例として、図2.2.4-1に示す構成を想定した。

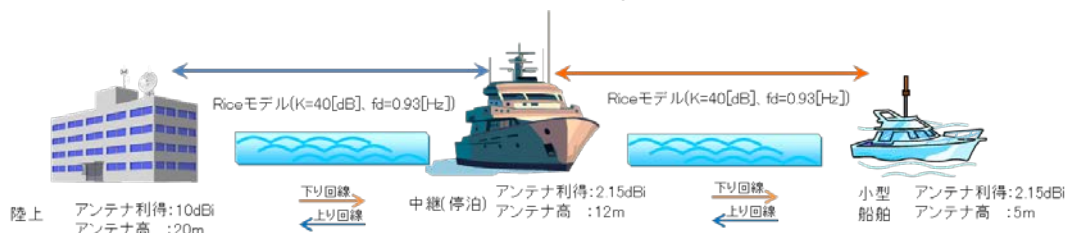


図2.2.4-1 海上多段中継利用：周波数チャンネル分割制御方式(2分割)の構成例

表2.2.4-1 海上多段中継利用：周波数チャンネル分割制御方式(2分割)の回線設計例

項番	項目	単位	海上多段中継モデル(大型船舶で中継)：周波数チャンネル分割制御方式(1/2)			
			QPSK通信		16QAM通信	
			陸上→大型船舶	大型船舶→小型船舶	陸上→大型船舶	大型船舶→小型船舶
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	空中線電力	dBm	34	34	34	34
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	4	3	4	3
7	受信給電線損失	dB	3	2	3	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/2.5MHz	-102.9	-102.9	-102.9	-102.9
12	所要SNR	dB	3	3	8	8
13	所要受信電力	dBm	-99.9	-99.9	-94.9	-94.9
14	フェージングマージン	dB	5	7	5	7
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	3	3	3	3
16	送信アンテナ高	m	20	12	20	12
17	受信アンテナ高	m	12	5	12	5
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	5	0	5	0
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	27.4	11.6	20.5	8.7
20	総合伝送距離	km	39.0		29.2	

総合伝送距離は QPSK の場合 39km であり、16QAM の場合 29.2km となっている。

- (2) 陸上多段中継利用：周波数チャネル分割制御方式（2分割）
 陸上の二地点間の通信を一段の中継によって中継伝送を行う構成例として、図2. 2. 4-2に示す構成を想定した。



図2. 2. 4-2 陸上多段中継利用：周波数チャネル分割制御方式（2分割）の構成例

表2. 2. 4-2 陸上多段中継利用：周波数チャネル分割制御方式（2分割）の回線設計例

項番	項目	単位	陸上多段中継モデル：周波数チャネル分割制御方式(1/2)			
			アーバンエリア		ルーラルエリア	
			ビル→車両	車両→車両	ビル→車両	車両→車両
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)
3	空中線電力	dBm	34	34	34	34
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	2	2	2	2
7	受信給電線損失	dB	2	2	2	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(陸上)	dBm/5MHz	-92	-92	-95	-95
11	総雑音電力	dBm/2.5MHz	-94.7	-94.7	-97.5	-97.5
12	所要SNR	dB	20	20	14	14
13	所要受信電力	dBm	-76.7	-76.7	-83.5	-83.5
14	フェージングマージン	dB	3	3	3	3
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	5	5	10	10
16	送信アンテナ高	m	40	2	40	2
17	受信アンテナ高	m	2	2	2	2
18	その他損失(樹木等の影響)	dB	0	0	5	5
19	伝送距離(拡張秦・2波モデル計算)	km	2.27	0.25	12.3	1.75
20	総合伝送距離	km	2.52		14.05	

総合伝送距離は QPSK のアーバンエリアの場合 2.5km であり、ルーラルエリアの場合 14km となっている。

第3章 他の無線システムとの共存に関する検討

隣接チャネル漏えい電力と不要発射の強度の許容値について既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同等とすることにより、隣接周波数帯を使用

する既存無線システムへの影響の程度を既存の公共ブロードバンド移動通信システムによる影響の程度と同等とするという基本的考え方((2.1.2(3)参照))を踏まえると、陸上関係無線局との共存条件は高度化した場合においても変わらないことから、改めて検討は行わない。

一方、船舶に設置される国際VHFへの干渉が新たに考えられるが、干渉検討を行った結果、離隔距離は、通常、船舶同士の近接が想定されない距離であることから、共用可能である。(参考資料10)

同一船舶内で公共ブロードバンド移動通信システムが利用される場合には、船舶内の国際VHFへの与干渉の可能性があるが、国際VHFと公共ブロードバンド移動通信システムの運用者は同一であることから調整が可能であり、共用可能である。

第4章 公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する技術的条件

公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する技術的条件は、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件をベースに、次のとおりとすべきである。

4.1 海上利用に係る技術的条件

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件のうち、移動局に係る技術的条件を海上利用においても適用する。

4.2 多段中継利用に係る技術的条件

4.2.1 周波数チャンネル分割制御方式

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件のうち、移動局に係る技術的条件を適用する。ただし、占有周波数帯幅の許容値及び空中線電力については、次のとおりとする。

(1) 占有周波数帯幅の許容値

分割数に応じて次のとおりとする。

分割数	占有周波数帯幅の許容値
2	2.45MHz
3	1.64MHz
4	1.23MHz
5	0.98MHz
6	0.817MHz
7	0.7MHz

8	0.613MHz
9	0.545MHz

(2) 空中線電力

分割数に応じて次のとおりとする。ただし、複数の送信空中線を使用する場合には、それぞれの空中線系に供給する電力の合計値とする。

分割数	空中線電力
2	2.5W以下
3	1.66W以下
4	1.25W以下
5	1W以下
6	0.833W以下
7	0.714W以下
8	0.625W以下
9	0.555W以下

4. 2. 2 セグメント分割制御方式

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件のうち、移動局に係る技術的条件を適用する。ただし、空中線電力については、次のとおりとする。

○ 空中線電力

分割数に応じて次のとおりとする。ただし、複数の送信空中線を使用する場合には、それぞれの空中線系に供給する電力の合計値とする。

分割数	空中線電力
2	2.5W以下
3	1.66W以下
4	1.25W以下
5	1W以下
6	0.833W以下
7	0.714W以下
8	0.625W以下
9	0.555W以下

4. 2. 3 蓄積型時分割制御

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件のうち、移動局に係る技術的条件を適用する。

4. 3 測定法

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの測定法を適用する。

V. 審議結果

「公共ブロードバンド移動通信システムの高度化に関する技術的条件」について審議を行い、別添のとおり答申（案）を取りまとめた。

別表 1 陸上無線通信委員会 構成員

【敬称略：主任以外は五十音順】

氏 名		現 職
【主査】 委員	安藤 真	東京工業大学 理事・副学長（研究担当） 産学連携推進本部長
専門委員	飯塚 留美	(一財)マルチメディア振興センター 電波利用調査部 研究主幹
専門委員	伊藤 数子	(特非)STAND 代表理事
専門委員	大寺 廣幸	(一社)日本民間放送連盟 常勤顧問
専門委員	小笠原 守	日本電信電話(株) 技術企画部門 電波室長
専門委員	小花 貞夫 (平成 29 年 1 月 6 日から)	電気通信大学 情報理工学研究科 教授
専門委員	川嶋 弘尚 (平成 29 年 1 月 5 日まで)	慶應義塾大学 名誉教授
専門委員	河野 隆二	横浜国立大学大学院 工学研究院 教授 兼 同大学未来情報通信医療社会基盤センター長
専門委員	鈴木 薫	(一社)全国陸上無線協会 事務局長
専門委員	玉眞 博義	(一社)日本アマチュア無線連盟 専務理事
専門委員	田丸 健三郎	日本マイクロソフト株式会社 兼 技術統括室 本部長
専門委員	中原 俊二	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部長
専門委員	浜口 清	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター 副総合研究センター長
専門委員	本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
専門委員	松井 房樹 (平成 29 年 1 月 6 日から)	(一社)電波産業会 専務理事・事務局長
専門委員	松尾 綾子	(株)東芝 研究開発センター 研究主務
専門委員	三谷 政昭	東京電機大学 工学部情報通信工学科 教授
委員	森川 博之	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
専門委員	矢野 由紀子	日本電気(株)クラウドシステム研究所 シニアエキスパート
専門委員	吉田 貴容美	日本無線(株)研究所 新領域開発企画部 エキスパートリーダー
専門委員	若尾 正義 (平成 29 年 1 月 5 日まで)	元 (一社)電波産業会 専務理事

別表2 公共ブロードバンド移動通信システム高度化作業班 構成員

【敬称略：主任以外は五十音順】

氏名	現職
【主任】 藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授
阿部 敏和	消防庁 国民保護・防災部 防災課 防災情報室 課長補佐
石垣 悟	日本無線株式会社 事業統括部 担当部長
小竹 信幸	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター 技術部長
小野 光洋	富士通株式会社 ネットワークプロダクト事業本部 ワイヤレスシステム事業部 事業部長付
柿木 誠二	海上保安庁 総務部 情報通信課 システム整備室 課長補佐
加島 寛章	国土交通省 港湾局 技術企画課 技術監理室 課長補佐
加藤 数衛	株式会社日立国際電気 映像・通信事業部 技師長
金澤 昌幸	一般社団法人 電波産業会 研究開発本部 固定通信グループ 担当部長
川瀬 克行	パナソニックシステムネットワークス株式会社 システムソリューションズカンパニー 公共システム本部 公共システムセンター システムインテグレーション部 ソリューション2課 参事
岸 博之	東京都 総務局 総合防災部 防災通信課 無線総括担当 統括課長代理
小林 俊明	株式会社テレビ朝日 技術局 技術業務部 免許担当部長
佐藤 常人	国土交通省 大臣官房 技術調査課 電気通信室 課長補佐
庄司 るり	東京海洋大学 海事システム工学部門 教授
中村 栄人	日本放送協会 技術局 計画部 副部長
浜口 清	国立研究開発法人 情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター 副総合研究センター長
原田 博司	京都大学大学院 情報学研究科通信情報システム専攻 教授
福田 達也	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 海洋工学センター 海洋技術開発部 長期観測技術グループ 技術主任
八木 学	日本電気株式会社 パブリック SC 統括本部 新事業推進部 シニアエキスパート
山崎 高日子	三菱電機株式会社 社会環境事業部 社会システム第二部 技術担当部長
山崎 浩史	警察庁 情報通信局 通信施設課 課長補佐

参考資料

- 参考資料 1 既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件
- 参考資料 2 海上における電波伝搬特性についての検討
- 参考資料 3 伝送速度に関する検討
- 参考資料 4 中継伝送を行う上で留意すべき事項
- 参考資料 5 占有周波数帯幅の許容値に関する検討
- 参考資料 6 空中線電力に関する検討
- 参考資料 7 周波数の許容偏差に関する検討
- 参考資料 8 多段中継利用における回線設計例
- 参考資料 9 多段中継利用における実証試験の結果
- 参考資料 10 国際 VHF との共用に関する具体的な検討

参考資料 1

既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件

- 平成21年4月28日諮問 諮問第2028号「公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件」に対する 答申-

公共ブロードバンド移動通信システムの技術的条件については、以下のとおりとすることが適当である。

1 一般的条件

(1) 通信方式

ア TDD (Time Division Duplex : 時分割複信) 方式

(2) 多重化方式

ア 移動局 (上り回線)

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access : 直交周波数分割 多元接続) 方式

イ 基地局 (下り回線)

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 直交周波数分割多重) 方式及びTDM (Time Division Multiplexing : 時分割多重) 方式の複合方式

(3) 変調方式

ア 移動局 (上り回線)

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying : 4 相位相変調) 、16QAM (16

Quadrature Amplitude Modulation : 16 値直交振幅変調) 又は64QAM (64

Quadrature Amplitude Modulation : 64 値直交振幅変調)

イ 基地局 (下り回線)

BPSK (Binary Phase Shift Keying : 2 相位相変調) 、QPSK、16QAM又は64QAM

(4) 認証・秘匿・情報セキュリティ

不正使用を防止するための移動局装置固有の番号付与、認証手順の適用、通信情報に対する秘匿機能の運用等を必要に応じて講じること。

(5) 電磁環境対策

移動局と自動車用電子機器や医療用電子機器との相互の電磁干渉に対しては、十分な配慮が払われていること。

(6) 電波防護指針への適合

電波を使用する機器については、電波法施行規則第21条の3に適合すること。

(7) 移動局識別番号

移動局の識別番号の付与、送出手順はユーザによるネットワークの自由な選択、ローミング、通信のセキュリティ確保、無線局の監理等について十分配慮して定められることが望ましい。

(8) 移動局送信装置の異常時の電波発射停止

次の機能が同時に独立してなされること。

ア 基地局が移動局の異常を検出した場合、基地局は移動局に送信停止を要求すること。

イ 移動局自身がその異常を検出した場合は、異常検出タイマのタイムアウトにより移動局自身が送出を停止すること。

(9) その他

(2) 及び (3) にかかわらず、他の技術的条件に合致する限り、多重化方式又は変調方式については、他の方式とすることもできる。

2 無線設備の技術的条件

無線設備の種別は以下の通りと想定する。

- ・ 移動局（自律通信モード基地局を含む）
- ・ 基地局

(1) 送信装置

ア 周波数の偏差

移動局： 5×10^{-6} 以内

基地局： 5×10^{-6} 以内

イ 占有周波数帯幅

5MHzシステム：4.9MHz以下

ウ 空中線電力

移動局 : 5W以下

基地局 : 20W以下

エ 空中線電力の許容偏差

移動局 : +50%、-50%

基地局 : +50%、-50%

オ 隣接チャネル漏洩電力

170MHzを超え207.5MHz以下の周波数範囲において、次の値とする。^{注1}

移動局 :

許容値 : -21dBc以下 (離調周波数2.6MHz~7.4MHzの4.8MHz帯域)

許容値 : -41dBc以下 (離調周波数7.6MHz~12.4MHzの4.8MHz帯域)

基地局 :

許容値 : -30dBc以下 (離調周波数2.6MHz~7.4MHzの4.8MHz帯域)

許容値 : -50dBc以下 (離調周波数7.6MHz~12.4MHzの4.8MHz帯域)

注1 : ここで、隣接チャネル漏洩電力の対象としている周波数範囲は、公共ブロードバンド移動通信システムの使用する周波数範囲の外側も含んでいる。

カ 不要発射の強度の許容値

不要発射の強度の許容値については、測定を行う周波数帯に応じて、次のとおりとする。

移動局

周波数帯	不要発射の強度の許容値
9kHzを超え150kHz以下	25 μ W/1kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/1kHz以下とする。
150kHzを超え30MHz以下	25 μ W/10kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/10kHz以下とする。
30MHzを超え160MHz以下	25 μ W/100kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/100kHz以下とする。
160MHzを超え170MHz以下	-30dBm/100kHz以下
207.5MHzを超え215MHz以下	-30dBm/100kHz以下
215MHzを超え1GHz以下	25 μ W/100kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/100kHz以下とする。
1GHzを超えるもの	25 μ W/1MHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/1MHz以下とする。

基地局

周波数帯	不要発射の強度の許容値
9kHzを超え150kHz以下	25 μ W/1kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/1kHz以下とする。
150kHzを超え30MHz以下	25 μ W/10kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/10kHz以下とする。
30MHzを超え160MHz以下	25 μ W/100kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/100kHz以下とする。
160MHzを超え170MHz以下	-54dBm/100kHz以下
207.5MHzを超え215MHz以下	-25dBm/100kHz以下
215MHzを超え1GHz以下	25 μ W/100kHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/100kHz以下とする。
1GHzを超えるもの	25 μ W/1MHz以下。ただし、空中線電力が1W以下の送信設備にあつては、50 μ W/1MHz以下とする。

キ 送信空中線絶対利得

移動局：10dBi以下（ただし、空中線電力の低減や給電線損失を補う分の増加は認められる。）

基地局：10dBi以下（ただし、空中線電力の低減や給電線損失を補う分の増加は認められる。）

ク その他

搬送波を送信していないときの漏洩電力、筐体輻射の電力についても考慮すること。

(2) 受信装置

ア 副次的に発する電波等の限度

移動局：

9kHz \leq 周波数帯<150kHz： -54dBm/1kHz以下

150kHz \leq 周波数帯<30MHz： -54dBm/10kHz以下

30MHz \leq 周波数帯<1000MHz： -54dBm/100kHz以下

1000MHz \leq 周波数帯<2505MHz： -47dBm/1MHz以下

2505MHz \leq 周波数帯<2535MHz： -70dBm/1MHz

2535MHz \leq 周波数帯： -47dBm/1MHz以下

基地局：

9kHz \leq 周波数帯<150kHz： -54dBm/1kHz以下

150kHz \leq 周波数帯<30MHz： -54dBm/10kHz以下

30MHz \leq 周波数帯<1000MHz： -54dBm/100kHz以下

1000MHz \leq 周波数帯<2505MHz： -47dBm/1MHz以下

2505MHz \leq 周波数帯<2535MHz： -61dBm/1MHz以下

2535MHz \leq 周波数帯： -47dBm/1MHz以下

イ その他

受信感度、スプリアスレスポンス、隣接チャンネル選択度、相互変調特性についても考慮すること。

3 測定法

測定法については、国内で適用されている測定法に準じることが適当であるが、今後、国際電気標準会議（IEC）等の国際的な動向を踏まえて対応することが望ましい。

(1) 送信装置

ア 周波数の偏差

無変調波（搬送波）を送信した状態で、周波数計を用いて測定（バースト波にあってはバースト内の平均値）する。複数の空中線端子を有する場合は空中線ごとに測定し、それぞれの測定値のうち周波数偏差が最大となる値を周波数の偏差とすることが適当である。ただし、同一の基準周波数に位相同期している等が証明された場合には一の空中線端子にて測定することができる。

また、波形解析器等専用の測定器を用いる場合は変調状態として測定することができる。

イ 占有周波数帯幅

標準符号化試験信号（符号長511ビット2値疑似雑音系列等。以下同じ。）を入力信号として加え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、それぞれの全電力の0.5%となる周波数幅を測定する。複数の空中線端子を有する場合は空中線ごとに測定し、それぞれの空中線端子にて測定した値のうち最大となる値を占有周波数帯幅とすることが適当である。

ただし、空中線端子ごとに発射する周波数が異なる場合は、各空中線端子を校正されたRF結合器等で結合し、全ての空中線端子からの信号を合成して測定することが適当である。

ウ 空中線電力

標準符号化試験信号を入力信号端子に加えたときの平均電力を、高周波電力計を用いて測定する。複数の空中線端子を有する場合は空中線ごとに測定し、それぞれの空中線端子にて測定した値の総和を空中線電力とすること。

また、連続送信波により測定することが望ましいが、バースト送信波にて測定する場合は、送信時間率が最大となるバースト繰り返し周期よりも十分に長い期間における平均電力を測定し、その測定値に送信時間率の逆数を乗じて平均電力とすることが適当である。ただし、アダプティブアレーアンテナ（個々の空中線の電力及び位相を制御することによって空中線の指向特性を制御するものであって、一の空中線の電力を増加させた場合、他の空中線の電力を低下されることによって、複数空中線の総電力を一定に制御する機能を有するもの。以下同じ。）の場合にあたっては、空中線電力の総和が最大になる状態にて測定すること。

エ 隣接チャネル漏洩電力

標準符号化試験信号を入力信号とし、バースト波にあつては、規定の隣接チャネル帯域内の電力についてスペクトルアナライザ等を用い、掃引速度が1サンプルあたり1個以上のバーストが入るようにし、ピーク検波、マックスホールドモードで測定する。複数の空中線端子を有する場合は空中線ごとに測定し、それぞれの空中線端子にて測定した値の総和を隣接チャネル漏洩電力とすること。連続波にあつては、電力測定受信機又はスペクトルアナライザを用いて規定の隣接チャネル帯域の電力を測定し、それぞれの測定値の総和を隣接チャネル漏洩電力とすることが適当である。ただし、アダプティブアレーアンテナの場合にあつては、一の空中線電力を最大にした状態で空中線電力の総和が最大となる状態等で測定すること。

オ 不要発射の強度

スプリアス領域における不要発射の強度の測定を行う周波数範囲については、可能な限り9kHzから110GHzまでとすることが望ましいが、当面の間は9kHzから第10次高調波までとすることができる。標準符号化試験信号を入力信号として加えたときの不要発射の平均電力（バースト波にあつてはバースト内の平均電力）を、スペクトルアナライザを用いて測定する。複数の空中線端子を有する場合は空中線ごとに測定し、それぞれの空中線端子にて測定した値の総和を不要発射の強度とすること。この場合において、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は参照帯域幅に設定することが適当である。ただし、アダプティブアレーアンテナの場合にあつては、一の空中線電力を最大にした状態で空中線電力の総和が最大と

なる状態等で測定すること。

帯域外領域についても、上記に準じて測定すること。

(2) 受信装置

ア 受信感度

標準信号発生器から規定の変調方式で変調された信号を加え、規定の品質（ビット誤り率（BER））になるときの空中線端子で測定した最小受信電力であり静特性下において許容値（基準感度）以下であること。この場合において、パケット誤り率（PER）からビット誤り率へ一意の換算ができる場合は、パケット誤り率を測定し換算式を明記することにより、ビット誤り率とすることができる。

（以下同じ。）

イ スプリアスレスポンス

標準信号発生器から規定の変調方式で変調された信号を加え、標準信号発生器のレベルを技術基準で定められる希望波レベルとする。一の無変調妨害波を技術基準で定められる妨害波レベルとして、周波数を掃引し、規定の品質（規定のビット誤り率以下）以上で受信できることを確認する。

ウ 隣接チャネル選択度

標準信号発生器から規定の変調方式で変調された信号を加え、標準信号発生器のレベルを技術基準で定められる希望波レベルとする。別の標準信号発生器から隣接する搬送波周波数に配置された変調波を隣接妨害波とし技術基準で規定される妨害波レベルとして、規定の品質（規定のビット誤り率以下）以上で受信できることを確認する。

エ 相互変調特性

標準信号発生器から規定の変調方式で変調された信号を加え、標準信号発生器のレベルを技術基準で定められる希望波レベルとする。別の標準信号発生器から3次相互変調の関係にある電力が等しい妨害波として隣接チャネル周波数の無変調波と次隣接チャネル周波数の変調波の2つの妨害波を技術基準で規定される妨害波レベルとして、規定の品質（規定のビット誤り率以下）以上で受信できることを確認する。

オ 副次的に発する電波等の限度

スペクトルアナライザを用いて測定する。スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、測定帯域幅に設定することが適当である。また、複数の空中線端子を有す

る場合は空中線ごとに測定し、それぞれの空中線端子にて測定した値の総和を、副次的に発する電波等の限度とすること。

海上における電波伝搬特性についての検討

1 検討の概要

(1) 考慮すべき事項

海上における電波伝搬特性の検討は、次の事項を考慮して実施した。

- ・海面反射と陸上での大地の反射との特性の相違
- ・船舶の揺れの回線設計におけるフェージングに対する影響
- ・海上における環境雑音の振舞い（環境雑音の有無、品質への影響等）

(2) 検討方法の概要

海上における電波伝搬特性の検討は、陸上における電波伝搬モデルと比較し、回線設計や技術的条件の検討に必要なパラメータについて、平成 26 年度から平成 27 年度にかけて実施した技術試験事務において取得したデータを元にして実施した。

これにより、次の各点について整理した。

- (1) 200MHz 帯の周波数の海上での伝搬特性
- (2) フェージングモデル及びフェージングマージン
- (3) 受信ダイバシティ効果
- (4) (海上での) 環境雑音
- (5) 海上単一回線における回線設計例

2 検討結果

(1) 200MHz 帯の周波数の海上での伝搬特性

① 検討方法

以下の方法で検討を行った。

ア 前提条件

データ取得に用いる通信方式、多重化方式、周波数、空中線電力等の諸元は、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの技術基準によるものとする。（表参 2-1）

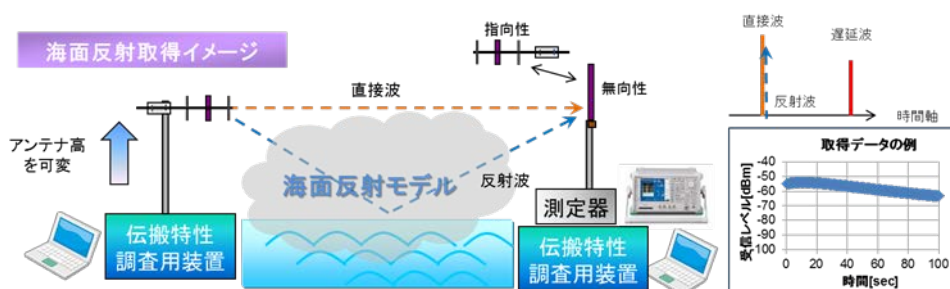
表参 2-1 送信機の諸元

項目	諸元
中心周波数	195MHz
空中線電力	5W
通信方式	TDD 方式
多重化方式	上り OFDMA 方式 下り OFMD 方式及び TDM 方式の複合方式
変調方式	QPSK、16QAM、64QAM
電波の型式	4M90X7W

イ 取得データ

(a) ハイットパターン及び受信電力の長期変動（図参 2-1）

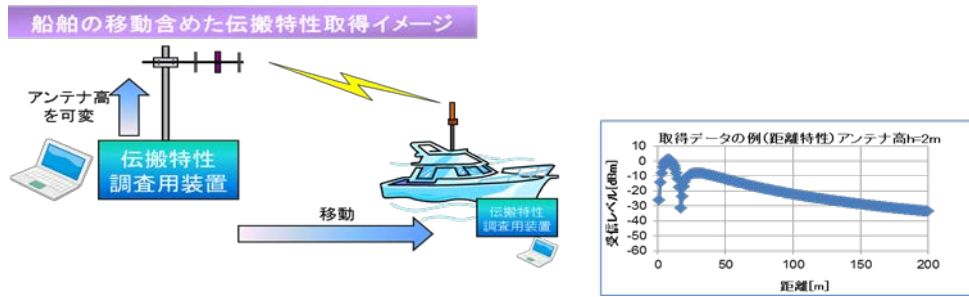
- ・陸上に設置した送信側のアンテナ高を変化させ、海を挟んだ対向の陸上に設置したアンテナで受信波形及び受信電力を測定
- ・直接波と海面からの反射波の相関を確認するため、受信電力の長期変動データについても取得(5 時間程度データを取得)
- ・指向性アンテナと無指向性アンテナの双方で測定を実施



図参 2-1 ハイットパターン及び受信電力の長期変動の測定系

(b) 伝搬損失距離特性

- ・受信側のアンテナを船舶に搭載し、船舶の移動に伴う受信レベルの距離特性を測定



図参 2-2 伝搬損失距離特性の測定系

ウ 測定条件

ハイトパターン特性の測定条件を表参 2-2 に、伝搬損失距離特性の測定条件を表参 2-3 に示す。

表参 2-2 ハイトパターン特性測定条件^{※1}

	送信アンテナ	受信アンテナ 1	受信アンテナ 2
アンテナの型式及び利得	八木 (指向性) 7.65dBi	八木 (指向性) 7.65dBi	ブラウン (無指向性) 2.15dBi
アンテナ高	1.8m~23.85m (海拔約 0.5m)	2.38 m (海拔約 9.0m)	2.38 m (海拔約 9.0m)

※1 送受信アンテナ間距離を約 8.6km としてデータを取得

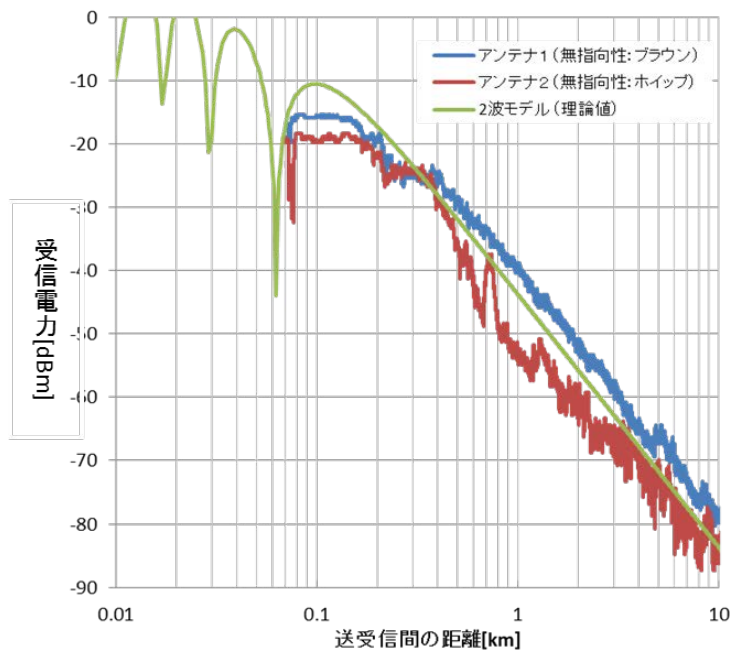
表参 2-3 伝搬損失距離特性測定条件^{※2}

	送信アンテナ	受信アンテナ 1	受信アンテナ 2
アンテナの形式及び利得	八木 (指向性) 7.65dBi	ブラウン (無指向性) 2.15dBi	ホイップ (無指向性) 2.15dBi
アンテナ高	4 m (海拔約 2.0m)	2.43 m (海拔約 9.0m)	2.38 m (海拔約 9.0m)

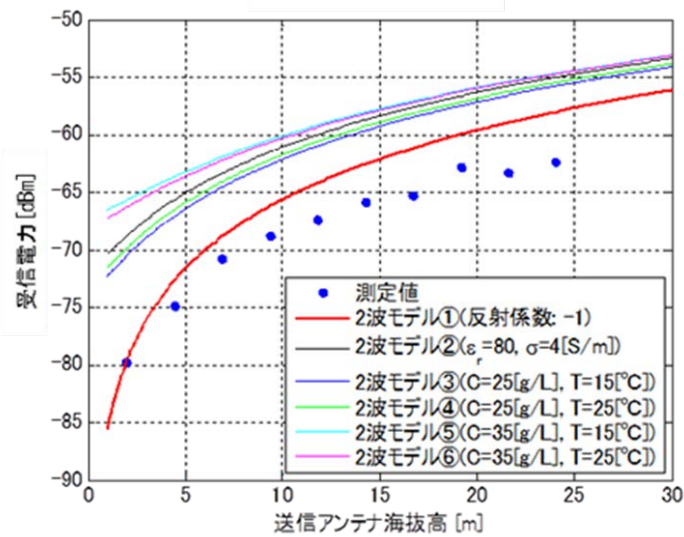
※2 受信アンテナを陸上の送信アンテナから約 10km の距離まで移動させ、データを取得

② 測定結果

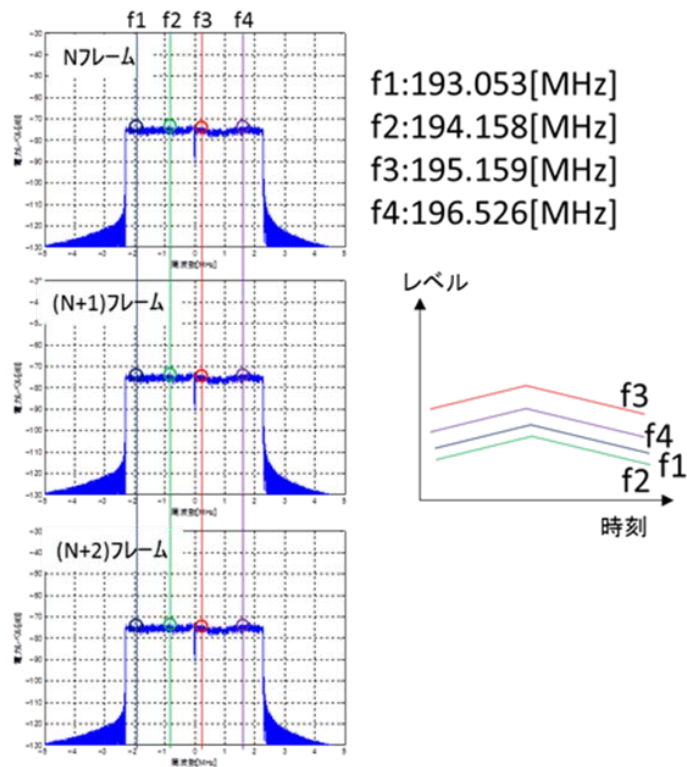
伝搬損失距離特性は、二波モデル (理論値) にほぼ一致した (図参 2-3)。ハイトパターンは、二波モデルのうち反射係数を -1 とするものにほぼ一致した (図参 2-4)。また、周波数軸方向においては、フラットな変動であることが確認できた (図参 2-5)。



図参 2-3 伝搬損失距離特性測定結果



図参 2-4 ハイパターン特性測定結果



図参 2-5 周波数軸方向の変動特性確認結果

③ 検討結果

図参 2-3 から図参 2-5 の結果を踏まえると、海上での伝搬は、直接波及び直接波が海面で反射することにより発生する海面反射波の2つにより構成される二波モデルと考えることができる。

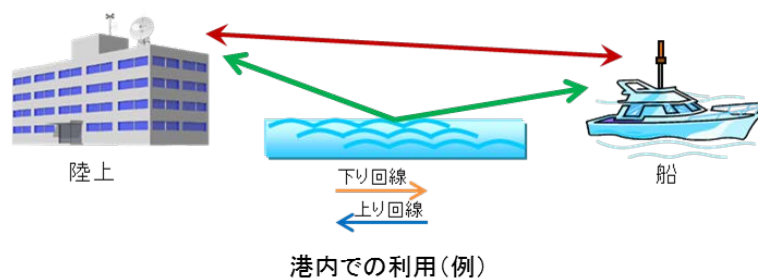
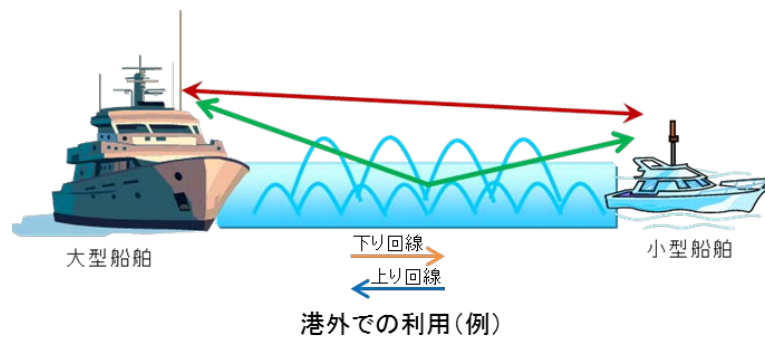
(2) フェージングモデル及びフェージングマージン

① フェージングモデル

海上におけるフェージングモデルについて、利用環境ごとに、港外におけるフェージングモデルと港内におけるフェージングモデルに分けて検討する。検討するモデルを表参 2-3 及び図参 2-6 に示す。

表参 2-4 海上における利用環境

利用形態	想定される通信形態	波による影響	その他の要因
港外	船舶間の通信が主になる	港内と比べて厳しくなる	—
港内	陸上に設置した無線局との通信が多くなる	比較的穏やか	陸地の建造物や橋等による反射



図参 2-6 海上における利用 (例)

ア 港外におけるフェージングモデルの検討

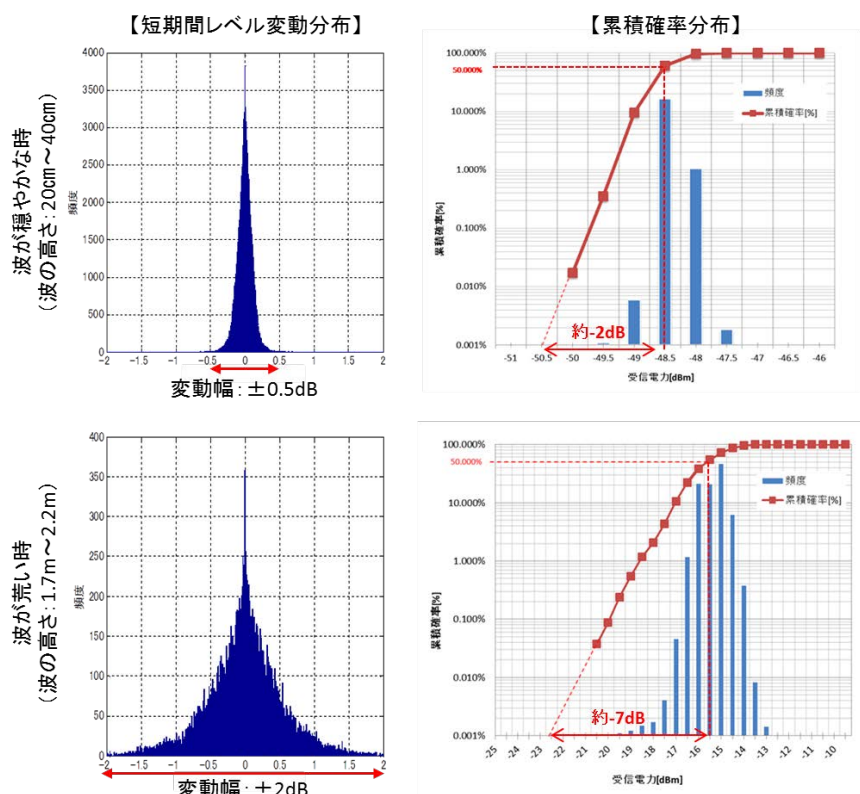
(a) 検討の方法

波が穏やかなとき（波の高さが 20cm～40cm）と、波が比較的高いとき（波の高さが 1.7m～2.2m）の受信レベル変動特性を観測し、波の影響（反射）を考慮した 1 秒間の受信レベルを取得し、そこから累積確率分布特性を作成の上で検討を行った。

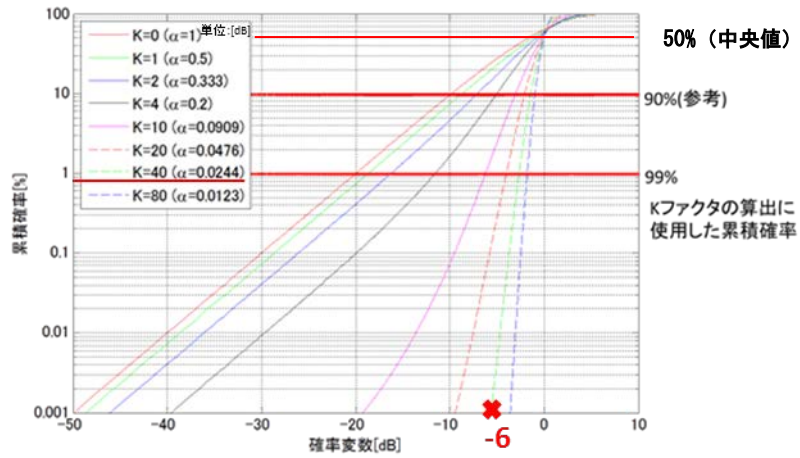
(b) 測定結果

波が穏やかなときは、累積確率の中央値（累積確率 50%の値）から累積確率 0.001%となるまでの幅が約-2dB であった。また、波が比較的高いときは、累積確率の中央値（累積確率 50%の値）から累積確率 0.001%となるまでの幅が約-7dB であった（図参 2-7）。

適用しているフェージングモデルの仲上-Rice モデルでは、直接波と反射波の電力比により特性が変わるため、図参 2-7 の結果を参考に仲上-Rice の累積確率分布との比較（中央値から 0.001%までの変動幅の比較）を行ったところ、K ファクタ（直接波と反射波の電力比）が 40dB のとき（確率変数：-6dB）に比較的高いときのレベル変動に近い結果が得られた（図参 2-8）。



図参 2-7 波の影響を考慮したときの短期間受信レベル変動分布と累積確率分布特性



図参 2-8 仲上-Rice の累積確率分布

(c) 検討結果

図参 2-7 及び図参 2-8 の結果を踏まえると、波による影響を考慮した場合のフェージングモデル（港外での利用）は、 $K=40$ [dB] としたときの仲上-Rice モデルを使用することが適当である。

イ 港内におけるフェージングモデルの検討

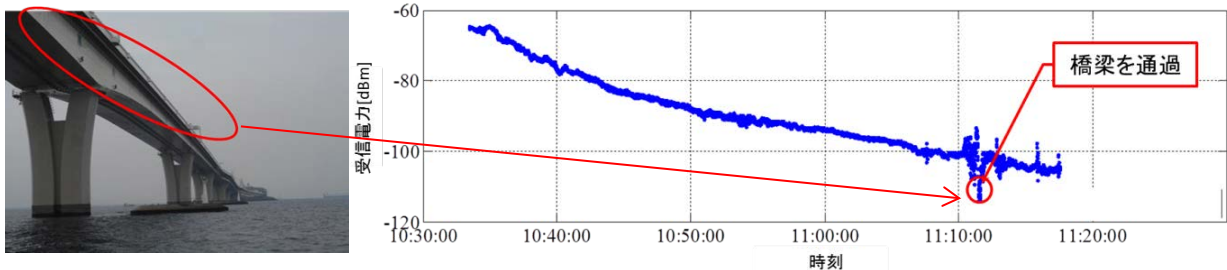
(a) 検討の方法

港内での利用においては、周囲の建物や橋梁の通過の影響など周囲からの反射波によるマルチパスの影響について考慮が必要である。このため、これらの条件を満たす地域（東京湾内）を選定し、受信電力を計測した。

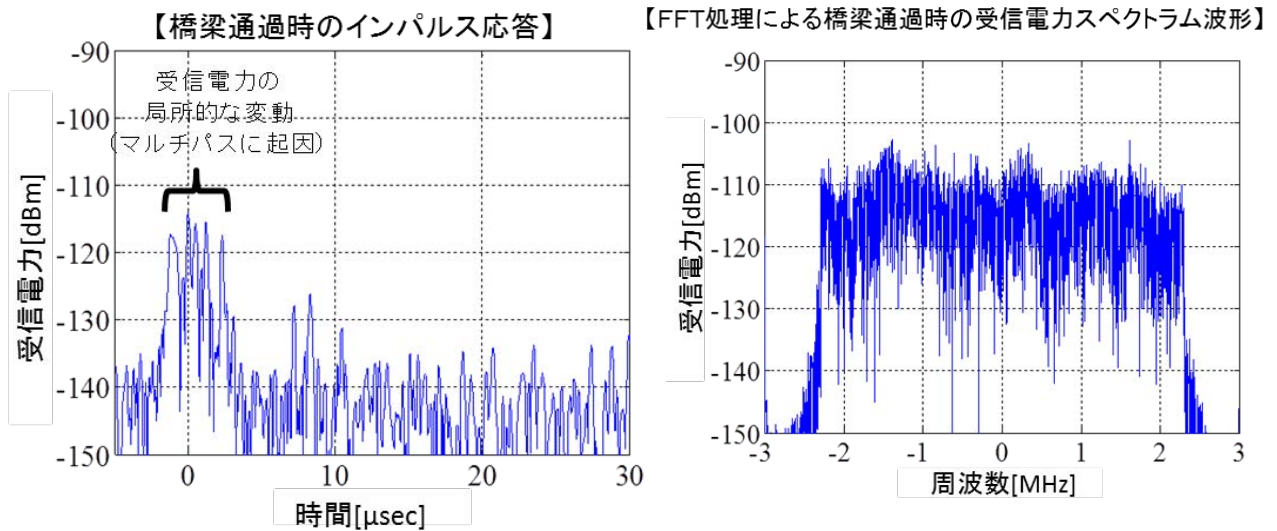
(b) 測定結果

橋梁の下を通過した際に、電力レベルが大きく低下した（図参 2-9）。

橋梁の下を通過したときの受信電力についてインパルス応答と FFT 処理によるスペクトラム波形を調べたところ、マルチパスに起因する局所的な変動を確認した（図参 2-10）。



図参 2-9 橋梁通過時の風景と電力変動



図参 2-10 橋梁通過時のインパルス応答と FFT 処理によるスペクトラム波形

海上伝搬は Rice モデルを使用することが適当であるが、図参 2-10 に示すように港内での伝搬ではマルチパスに起因する受信電力の低下が生じることがある。そのため、このような環境を想定した伝搬モデルを選定するにあたり、文献 (3GPP TS 45.005) に紹介され、広く一般に認知されている Rice モデルを含むフェージングモデル (表参 2-5) の中から、適切なパス数を有するモデルである COST 207 Rural Area モデルを選定した。

確認のため、公共ブロードバンドシステムの送信波 (OFDM 波) に COST 207 Rural Area モデルを適用してスペクトラムアナライザで周波数特性を測定したところ、橋梁通過時のスペクトラム波形と類似の傾向となる波形 (図参 2-11) が得られた。

表参 2-5 Rice モデルを含むフェージングモデル例

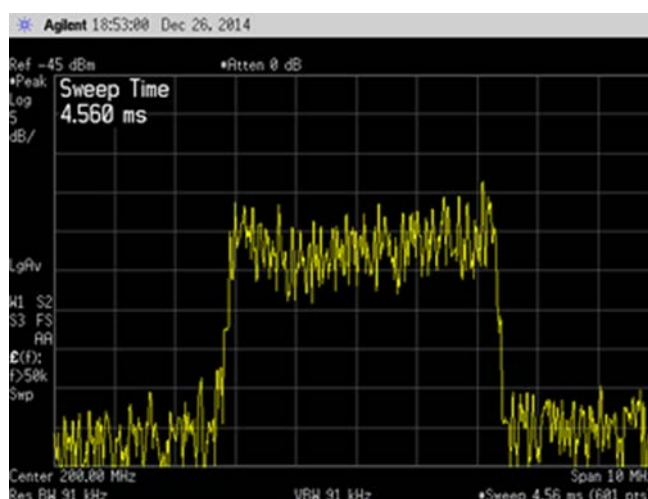
モデル名	フェージングモデル	Riceモデルの直接波と反射波の電力比[dB]	パス数
TETRA Rural Area	Riceモデル	0	1
COST 207 Rural Area	Riceモデルを含むマルチパスモデル	6.9	6
3GPP Rural Area	Riceモデルを含むマルチパスモデル	-5.9	10

表参 2-6 COST 207 Rural Area モデルのパラメータ

【COST 207 Rural Areaのパラメータ】

モデル	直接波と反射波の電力比[dB]	Riceモデルからの遅延量[nsec]	Riceモデルとの電力比[dB]
Rice	6.9	-	-
Classical	-	100	-4
Classical	-	200	-8
Classical	-	300	-12
Classical	-	400	-16
Classical	-	500	-20

(出典) 3GPP TS 45.005 v12.3.0(2014-08) C.3.1 Typical case for rural area (RAX)



図参 2-11 OFDM 波に COST 207 Rural Area モデルを適用した場合のスペクトラム波形

(c) 検討結果

図参 2-9 及び 2-10 の結果を踏まえると、港内のような、周囲の建物や橋梁の通過の影響など周囲からの反射波による影響がある環境でのフェージングモデルとしては、仲上-Rice モデルを含むマルチパスモデル (COST 207 Rural Area モデル) を使用することが適当である。

② フェージングマージン

フェージングマージンに影響を与える要因として、以下の 3 点についてそれぞれ検討する。

- ・ 波による影響
- ・ 船舶の揺れによる影響
- ・ 船舶が通過するときの影響

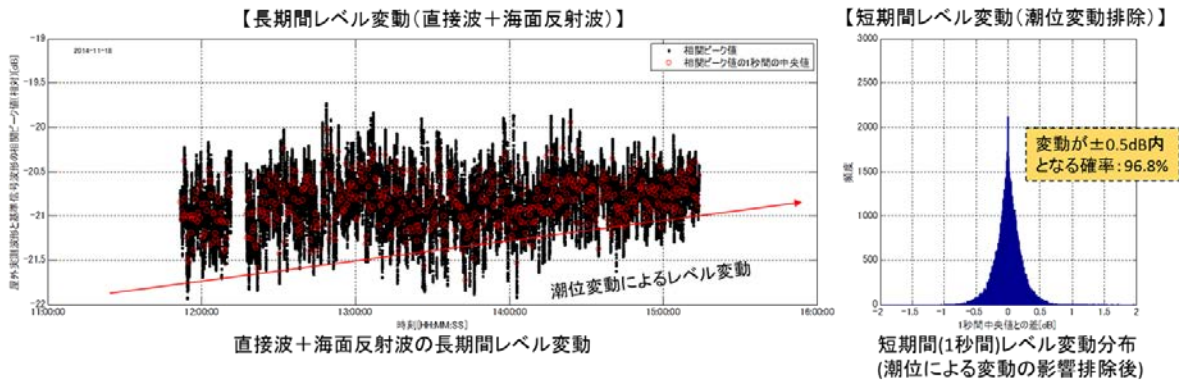
ア 波による影響

(a) 検討の方法

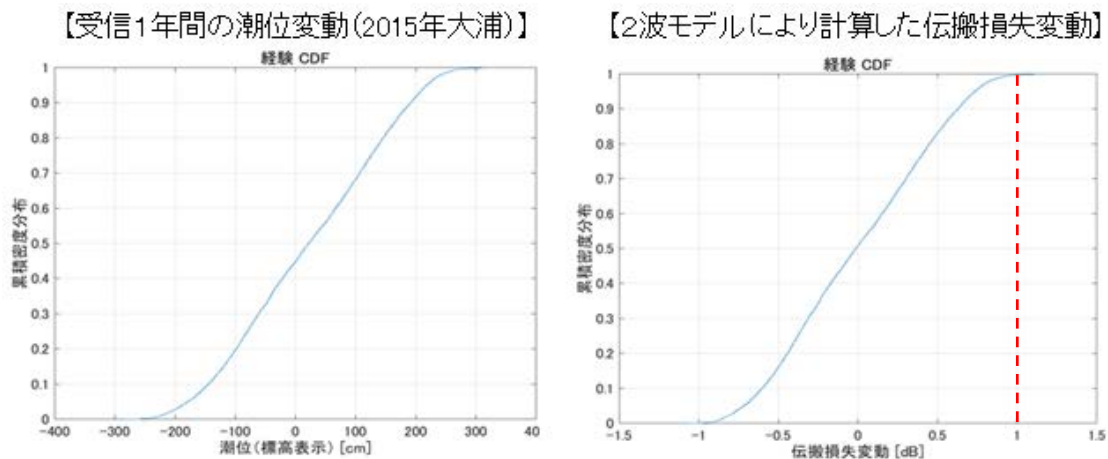
波による影響を検討するために、潮位変動を含む数時間の受信レベル変動特性を取得し、変動値について検討した。

(b) 測定結果

長期間（5時間）レベル変動特性及び潮位変動を除いた短期間（1秒間）レベル変動分布から、潮位変動を除いた波の反射による変動は $\pm 0.5\text{dB}$ 程度であることが確認できた（図参 2-12）。潮位による伝搬損失特性は、潮位の変動が最も大きく観測された大浦において、潮位変動を二波モデルに換算したところ、 1dB 以内であることが確認できた（図参 2-13）。



図参 2-12 長期間レベル変動特性及び短期間レベル変動特性



図参 2-13 大浦の潮位による伝搬損失変動

(c) 検討結果

図参 2-12 及び 2-13 の結果を踏まえると、波による影響は、潮位による受信電力変動を含めた場合には、 $\pm 0.5\text{dB}$ （波の反射による変動） $+1\text{dB}$ （潮位による変動）と考えることができるため、 $\pm 2\text{dB}$ のフェージングマージンを確保することが適当である。

イ 船舶の揺れによる影響

(a) 船舶と陸上との間の通信における影響の検討

(i) 検討の方法

船舶の揺れによる影響を検討するため、東京湾内において停泊中の小型船舶（20 トン未満）と大型船舶（20 トン以上）を用いて、船舶で 5 時間の受信レベル変動特性を取得し、確認する。実際に使用した船舶の諸元を表参 2-7 に、船舶の外観を図参 2-14 に示す。

表参 2-7 実証試験に使用した船舶の諸元

使用した船舶の諸元	大型船舶	小型船舶
総トン数	425 トン	19 トン
全長	49.9m	17.8m
全幅	10.0m	4.3m
海面からのアンテナ高	約 15.2m	約 7.3m
受信ダイバシティのアンテナ間距離	約 2.8m	約 3.5m
計測時の状況	停泊中	停泊中

大型船舶



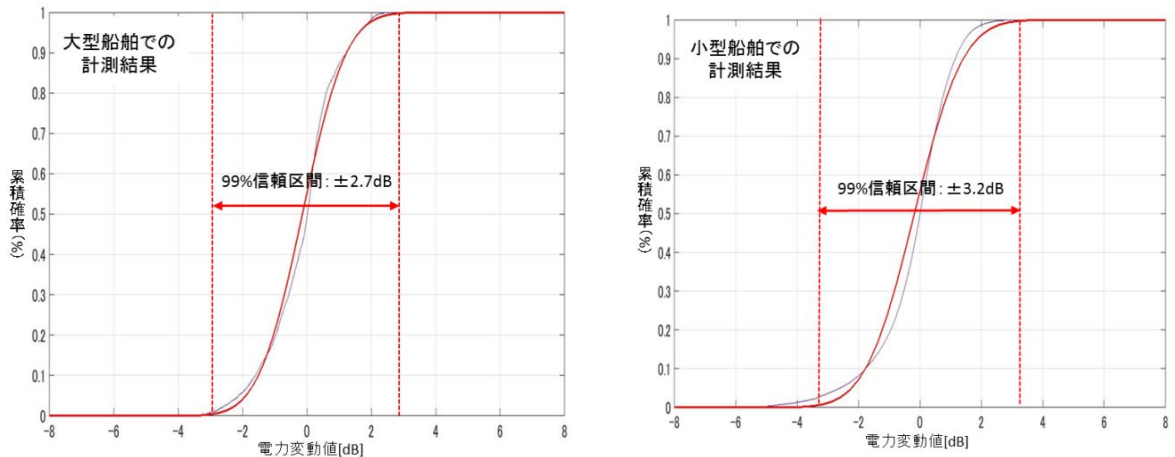
小型船舶



図参 2-14 実証試験に使用した船舶の外観

(ii) 測定結果

大型船舶と小型船舶での受信レベル変動を計測し、受信電力変動値の累積確率分布から、99%の信頼区間における電力変動値は大型船舶及び小型船舶においてそれぞれ $\pm 2.7\text{dB}$ 、 $\pm 3.2\text{dB}$ であることが確認できた(図参 2-15)。



図参 2-15 大型船舶と小型船舶の受信レベル変動特性の累積確率分布

(iii) 検討結果

図参 2-15 の結果を踏まえると、船舶の揺れによる影響は、船舶と陸上との間の通信においては、大型船舶では $\pm 2.7\text{dB}$ 、小型船舶では $\pm 3.2\text{dB}$ であることから、 $\pm 4\text{dB}$ のフェージングマージンを確保することが適当である。

なお、船舶の揺れ（ロール、ピッチ等）成分を分析したところ、受信レベル変動の要因は、船舶の揺れ成分によるものはほとんどなく、潮位変動や波の影響によるものが支配的であることが確認された。

(b) 船舶間通信における影響の検討

(i) 検討の方法

船舶の揺れによる影響をさらに検討するために、船舶間通信時の影響について検討する。東京湾内において、移動している小型船舶（20 トン未満）と停泊している大型船舶（20 トン以上）との間の受信レベル変動特性を取得し、検討する。実際に使用した船舶の諸元を表参 2-8 に、船舶の外観を図参 2-16 に示す。

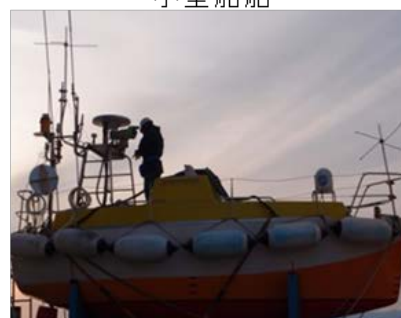
表参 2-8 実証試験に使用した船舶の諸元

使用した船舶の諸元	大型船舶	小型船舶
総トン数	8687 トン	3 トン
全長	128.6m	6.0m
全幅	19m	2.6m
海面からのアンテナ高	約 20.2m	約 4.0m
受信ダイバシティのアンテナ間距離	約 6.1m	約 5.3m
計測時の状況	停泊中	移動中

大型船舶



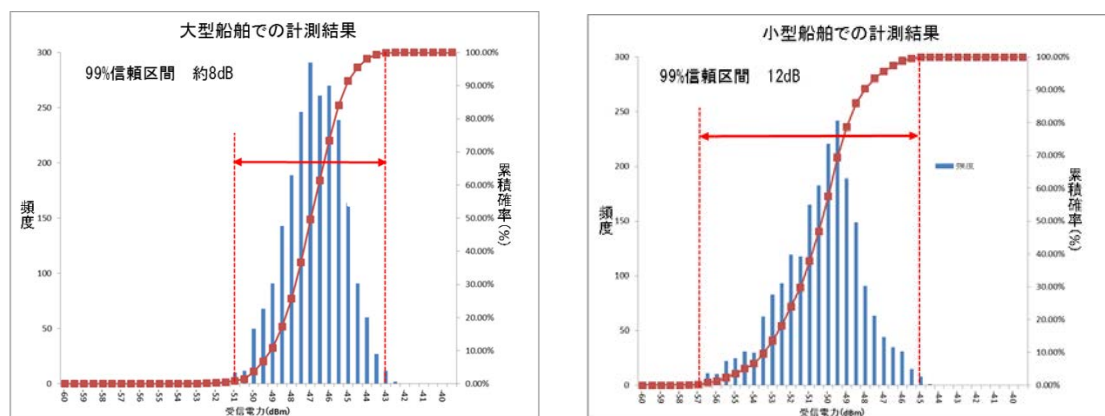
小型船舶



図参 2-16 実証試験に使用した船舶の外観

(ii) 測定結果

大型船舶と小型船舶のそれぞれで受信レベル変動を計測し、受信電力変動値の累積確率分布から、99%の信頼区間における電力変動値は大型船舶及び小型船舶においてそれぞれ±4dB、±6dB であることが確認できた（図参 2-17）。



図参 2-17 大型船舶と小型船舶の受信レベル変動特性の累積確率分布

(iii) 検討結果

図参 2-17 の結果を踏まえると、船舶の揺れによる影響として、船舶間の通信において、大型船舶では±4dB、小型船舶では±6dB であることから、±6dB のフェージングマージンを確保することが適当である。

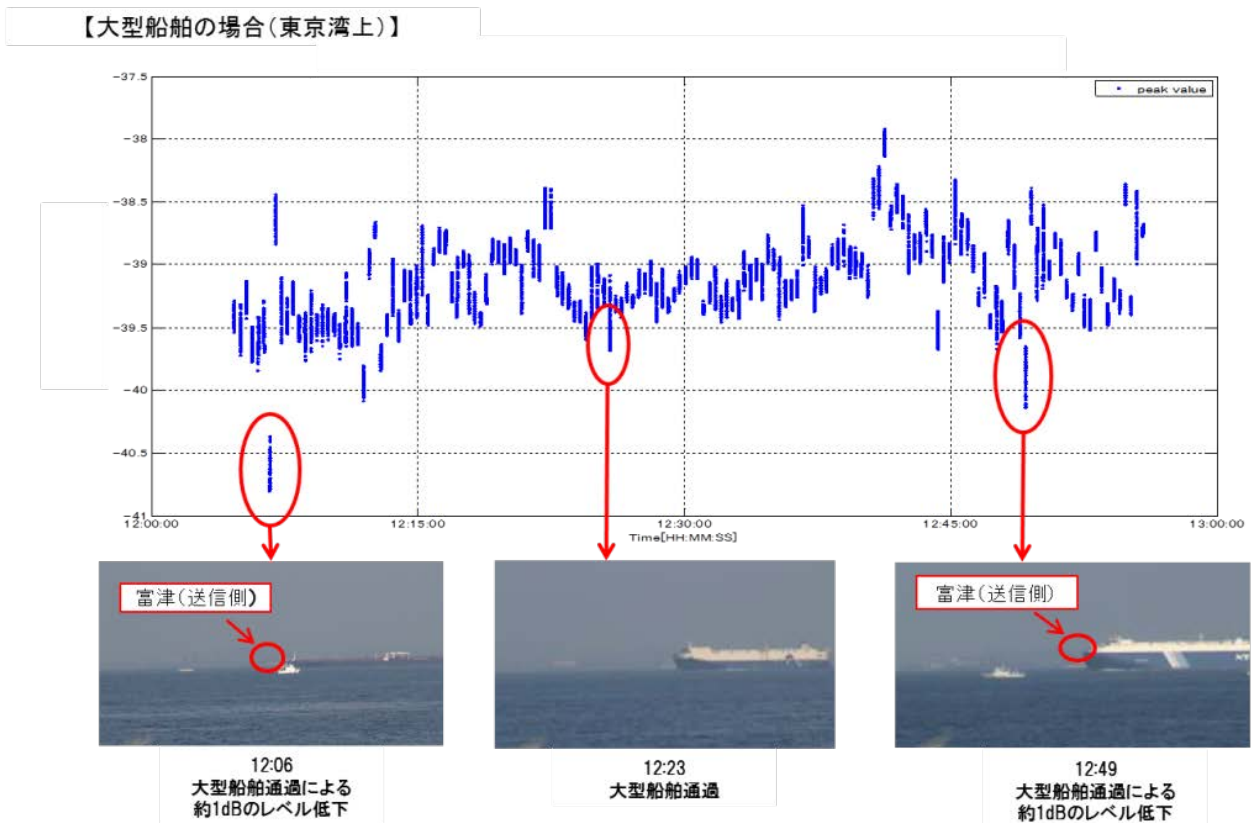
ウ 船舶が通過するときの影響の検討

(a) 検討の方法

海上利用において、通信路に他の船舶が通過することによる影響について検討する。東京湾を横断する方向に通信路を形成し、東京湾を航行する船舶を観察しながら受信レベル変動特性を確認する。

(b) 測定結果

大型船舶が通過したときに、約-1dB 程度受信電力が低下することが確認できた（図参 2-18）。



図参 2-18 受信レベル変動特性と船舶の通過の様子

(c) 検討結果

図参 2-18 の結果を踏まえると、大型船舶が通過したときに約-1dB 程度受信電力が低下していることから、船舶の通過については-1dB のフェージングマージンを確保することが適当である。

エ フェージングマージンまとめ

以上の検討結果を踏まえると、利用シーンごとのフェージングマージンは表 2-9 のとおりとなる。

表参 2-9 海上利用におけるシーンごとのフェージングマージン一覧

	陸上⇔陸上（海上を挟む）	陸上⇔船舶	船舶⇔船舶
波の影響	±2dB（潮位変動含む）	—	
船舶の揺れによる影響	—	±4dB	±6dB
船舶通過時の影響	-1dB	-1dB	-1dB
合計	-3dB	-5dB	-7dB

(3) 受信ダイバシティ効果

① 検討方法

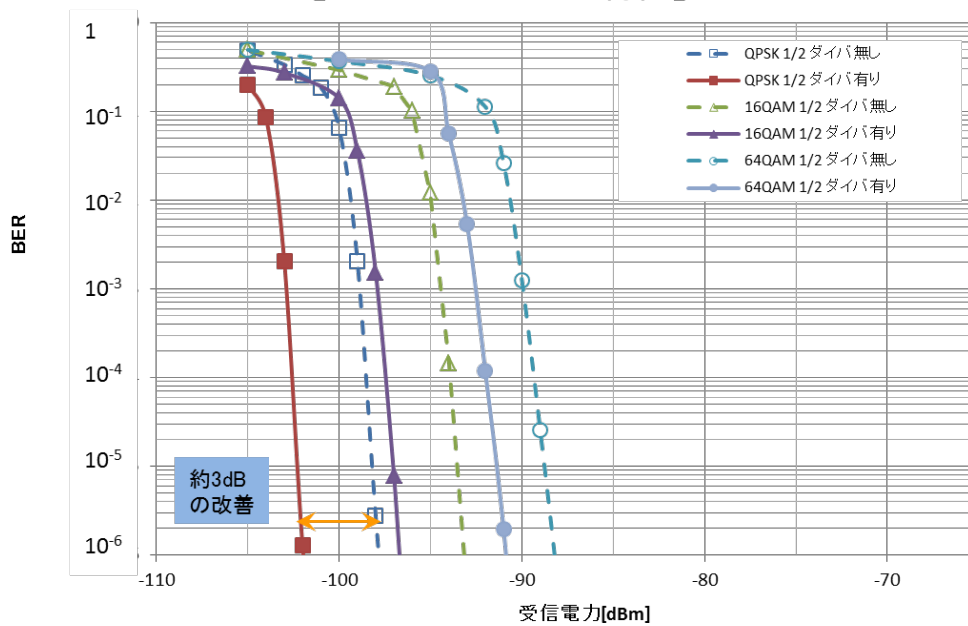
港外モデルを仲上-Rice モデル、港内モデルを COST 207 Rural Area モデルとした場合の受信ダイバシティ改善効果について、BER 特性から検討を行う。

② 測定結果

ア 仲上-Rice モデル適用時の BER 特性

仲上-Rice モデル適用時の変調方式ごと、ダイバシティの有無別の BER 特性の屋内試験結果から、受信ダイバシティにより、BER が 1×10^{-6} において約 2~3dB の改善が得られることが確認できた（図参 2-19）。

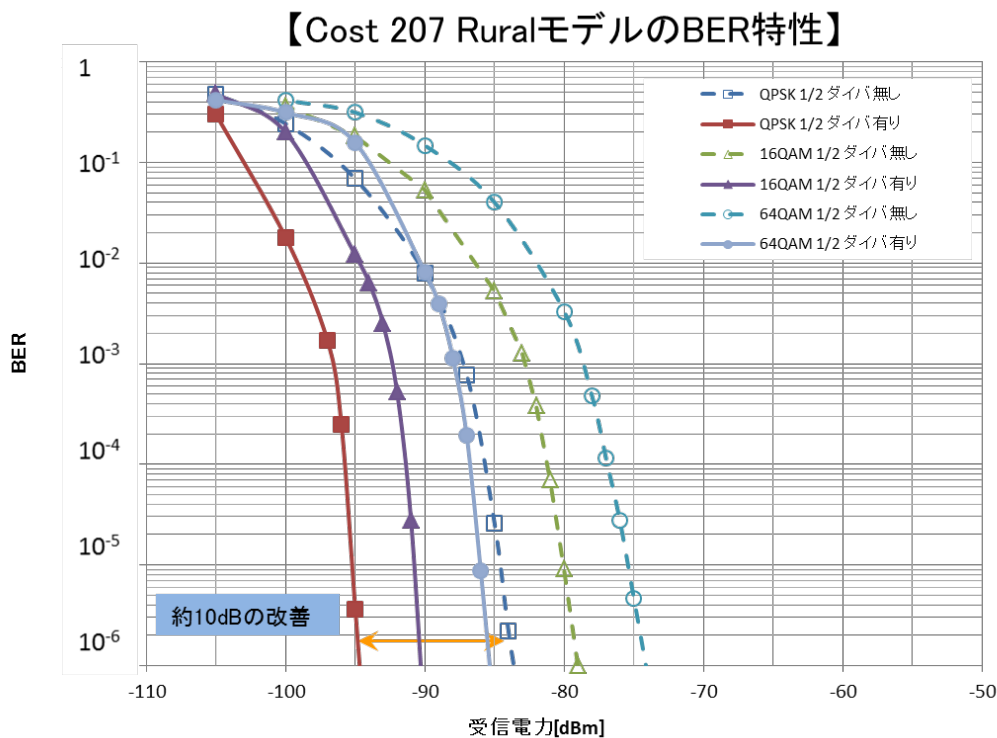
【RiceモデルのBER特性】



図参 2-19 仲上-Rice モデル適用時の変調方式毎の BER 特性

イ COST 207 Rural Area モデル適用時の BER 特性

COST 207 Rural Area モデル適用時の、ダイバシティの有無別の BER 特性の屋内試験結果から、受信ダイバシティにより、BER が 1×10^{-6} において約 10dB の改善が得られることが確認できた（図参 2-20）。



図参 2-20 COST 207 Rural Area モデル適用時の変調方式毎の BER 特性

③ 検討結果

図参 2-19、図参 2-20 の結果から、フェージングモデルごとに異なる受信ダイバシティの改善（仲上-Rice モデルでは約 3dB、COST 207 Rural Area モデルでは約 10dB）を得ることができる。

(4) (海上での) 環境雑音

① 検討方法

海上における環境雑音の影響について、陸上に測定器を設置し、海上方向に指向性アンテナを向けて測定を実施した。測定箇所としては、東京湾周辺において都市雑音の影響を受けにくい箇所を選定した。

② 測定結果

5カ所で測定したところ、いずれの場所においても $-100\text{dBm}/5\text{MHz}$ ～ $104\text{dBm}/5\text{MHz}$ 程度の雑音電力が確認できた(図参 2-21、図参 2-22)。

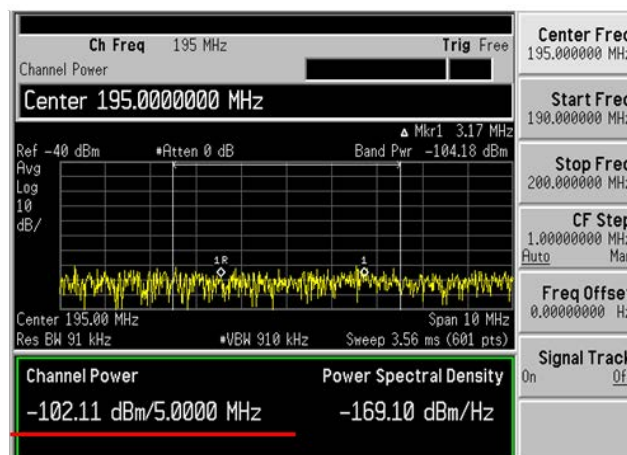
また、ITU-R 勧告 P. 372-9 に従って導出した環境雑音を表参 2-10 及び図参 2-23 に示す。

測定箇所	使用アンテナ	測定時刻	dBm/5MHz
猿島 ①	八木アンテナ	11/28 10:20	-102.11
富津 ②	八木アンテナ	11/30 9:40	-103.91
海辺つり公園 ③	八木アンテナ	12/6 10:30	-101.64
金谷港付近 ④	八木アンテナ	12/3 10:10	-100.28
測定フロアノイズ (終端)	-	11/28 10:15	-104.02



出典: Geospatial Information Authority of Japan
「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web)『東京湾、浦賀水道付近』掲載)」

図参 2-21 海上における環境雑音測定結果一覧

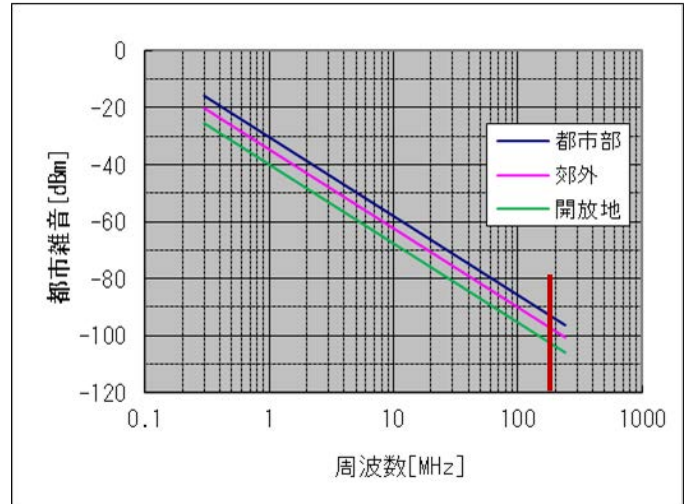


図参 2-22 猿島での八木アンテナによる測定結果(スペクトラムアナライザによる測定結果)

表参 2-10 ITU-R 勧告での環境雑音

ITU-R 勧告 P.372-9 に従って導出

周波数[MHz]	195
帯域[MHz]	5
気温[°C]	6
都市雑音 (dBm/5MHz)	
都市部	-93.79
郊外	-98.09
開放地 (ルーラル)	-103.39



図参 2-23 環境雑音周波数特性

③ 検討結果

測定結果を踏まえると、熱雑音 (kTB) のみを考慮した場合の雑音電力は-107dBm であることから、環境雑音の測定値は熱雑音よりも 3~5 dB 程度高く、モデルとしては解放地 (ルーラル: 郡部環境) の雑音のモデルに近いと考えることが適当である。

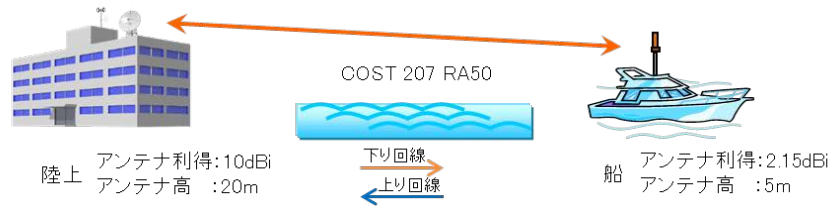
3 海上単一回線における回線設計例

2(1)~(4)の検討結果から、海上単一回線における回線設計例を検討する。

港内での利用モデルにおける回線設計例を図参 2-24 及び表参 2-11 に示す。また、港外での利用モデルにおける回線設計例を図参 2-25 及び表参 2-12 に示す。

この結果より、港内モデルで最大 15km、港外モデルで最大 12km 程度の運用が可能であることがわかる。

(例1) 港内での利用

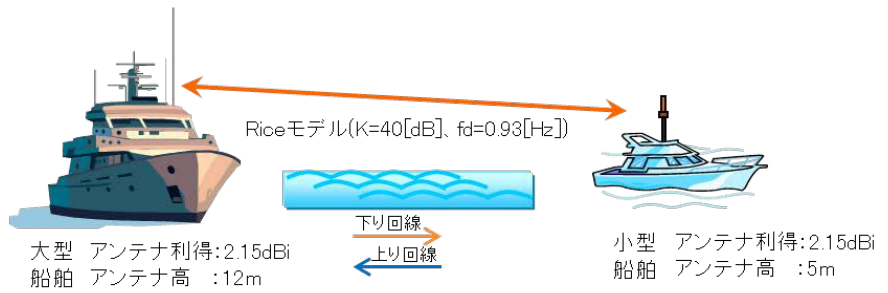


図参 2-24 港内での利用を想定した回線設計の基本モデル

図表 2-11 港内での利用を想定した回線設計例

項番	項目	単位	海上単一回線(港内での海上伝搬モデル)			
			QPSK通信		16QAM通信	
			船→陸上	陸上→船	船→陸上	陸上→船
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	空中線電力	dBm	37	37	37	37
4	送信空中線利得	dBi	2.15	10	2.15	10
5	受信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
6	送信給電線損失	dB	2	4	2	4
7	受信給電線損失	dB	4	2	4	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/5MHz	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9
12	所要SNR	dB	14	14	19	19
13	所要受信電力	dBm	-85.9	-85.9	-80.9	-80.9
14	フェージングマージン	dB	5	5	5	5
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	10	10	10	10
16	送信アンテナ高	m	5	20	5	20
17	受信アンテナ高	m	20	5	20	5
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	5	5	5	5
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	14.9	14.9	11.1	11.1

(例2) 港外での利用



図参 2-25 港外での利用を想定した回線設計の基本モデル

図表 2-12 港外での利用を想定した回線設計例

項番	項目	単位	海上単一回線(港外での海上伝搬モデル)			
			QPSK通信		16QAM通信	
			大型→小型	小型→大型	大型→小型	小型→大型
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	空中線電力	dBm	37	37	37	37
4	送信空中線利得	dB	2.15	2.15	2.15	2.15
5	受信空中線利得	dB	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	3	2	3	3
7	受信給電線損失	dB	2	3	2	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/5MHz	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9
12	所要SNR	dB	3	3	8	8
13	所要受信電力	dBm	-96.9	-96.9	-91.9	-91.9
14	フェージングマージン	dB	7	7	7	7
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	3	3	3	3
16	送信アンテナ高	m	12	5	12	5
17	受信アンテナ高	m	5	12	5	12
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	0	0	0	0
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	11.6	11.6	8.7	8.7

4 検討結果まとめ

海上における電波の伝搬特性についての検討結果は、次のとおりである。

- (1) 200MHz 帯の周波数の海上での伝搬特性は、直接波と海面反射波で構成される二波モデルとほぼ一致
- (2) 海上利用におけるフェージングモデルとフェージングマージン
 - ア 波の影響のみを考慮する環境（港外）のモデルとして仲上-Rice モデルが
適当
 - イ 陸地の建造物や橋梁等からの反射波による影響が考慮される環境（港内）
のモデルとして COST 207 Rural Area 50km/h が適当
 - ウ 海上利用におけるフェージングマージンは、通信区間ごとに 3dB から 7dB
を
見込むことが適当
- (3) 利用モデルごとに異なる受信ダイバシティ合成利得（3dB～10dB 程度）を考慮す
ることが適当
- (4) 海上の環境雑音は、郡部環境の雑音のモデルに近い
- (5) 上記検討結果から、海上利用における回線設計例を示した

5 まとめ

海上における単一回線での公共ブロードバンド移動通信システムの利用は、環境雑音が郡部環境の雑音モデル（ルーラル）に近いこと、伝搬損失距離特性が陸上通信における大地との低遅延特性の反射である二波モデルにほぼ一致すること、さらに波の影響等を考慮してもフェージングモデルは仲上-Rice モデルで近似できることから、陸上とほぼ同様の電波伝搬特性であるため、既存の公共ブロードバンド移動通信システムの移動局の空中線電力、空中線利得等の技術的条件と同一の技術的条件とすることができると考えられる。

伝送速度に関する検討

公共ブロードバンド移動通信システムの分割数 1 の場合の伝送速度を算出した結果を示す。

1 伝送速度の算出方法

以下の①～④の値を乗じることにより伝送速度を算出する。

- ① 1サブキャリアあたりの情報ビット数
変調方式で決まる情報ビット数
- ② 1フレームあたりのサブキャリア数
ARIB STD-T103 で規定される OFDM サブキャリア数 840 本及び TDD 比率により算出
(制御情報に相当するサブキャリアを除く)
- ③ 1秒あたりのフレーム数
ARIB STD-T103 で規定されるフレーム長 10 ミリ秒より算出
- ④ 符号化率
ARIB STD-T103 で規定される符号化率

2 各変調方式の伝送速度計算値

TDD 比率 9:38 の場合には、2.772~8.316Mbps (表参 3-1)、TDD 比率 26:21 の場合には、1.512~4.536Mbps (表参 3-2) となる。

表参 3-1 各変調方式の伝送速度計算値 (TDD 比率 9:38)

項目	単位	QPSK	16QAM	64QAM
① 1サブキャリアあたりの情報ビット数	[bit / subcarrier]	2	4	6
② 1フレームあたりのサブキャリア数	[subcarrier / frame]	18480	18480	18480
③ 1秒あたりのフレーム数	[frame / sec]	100	100	100
④ 符号化率	[データ比率]	3/4	3/4	3/4
⑤ 伝送速度 (①×②×③×④)	[bit / sec]	2,772,000	5,544,000	8,316,000

表参 3-2 各変調方式の伝送速度計算値 (TDD 比率 26:21)

項目	単位	QPSK	16QAM	64QAM
① 1サブキャリアあたりの情報ビット数	[bit / subcarrier]	2	4	6
② 1フレームあたりのサブキャリア数	[subcarrier / frame]	10080	10080	10080
③ 1秒あたりのフレーム数	[frame / sec]	100	100	100
④ 符号化率	[データ比率]	3/4	3/4	3/4
⑤ 伝送速度 (①×②×③×④)	[bit / sec]	1, 512, 000	3, 024, 000	4, 536, 000

多段中継利用を行う上で留意すべき事項

公共ブロードバンド移動通信システムで多段中継を行う上で留意すべき事項について検討する。

1. 考え方

中継回線を構成する際に、特に留意すべき事項は以下のとおり。

- (1) タイミングオフセットの影響（セグメント分割制御方式）
- (2) 周波数偏差（周波数オフセット）の影響（セグメント分割制御方式）
- (3) 周波数選択性フェージング耐性（周波数チャンネル分割制御方式）
- (4) 中継可能位置（周波数チャンネル分割制御方式）
- (5) 伝送遅延（蓄積型時分割制御方式）

(1) タイミングオフセットの影響

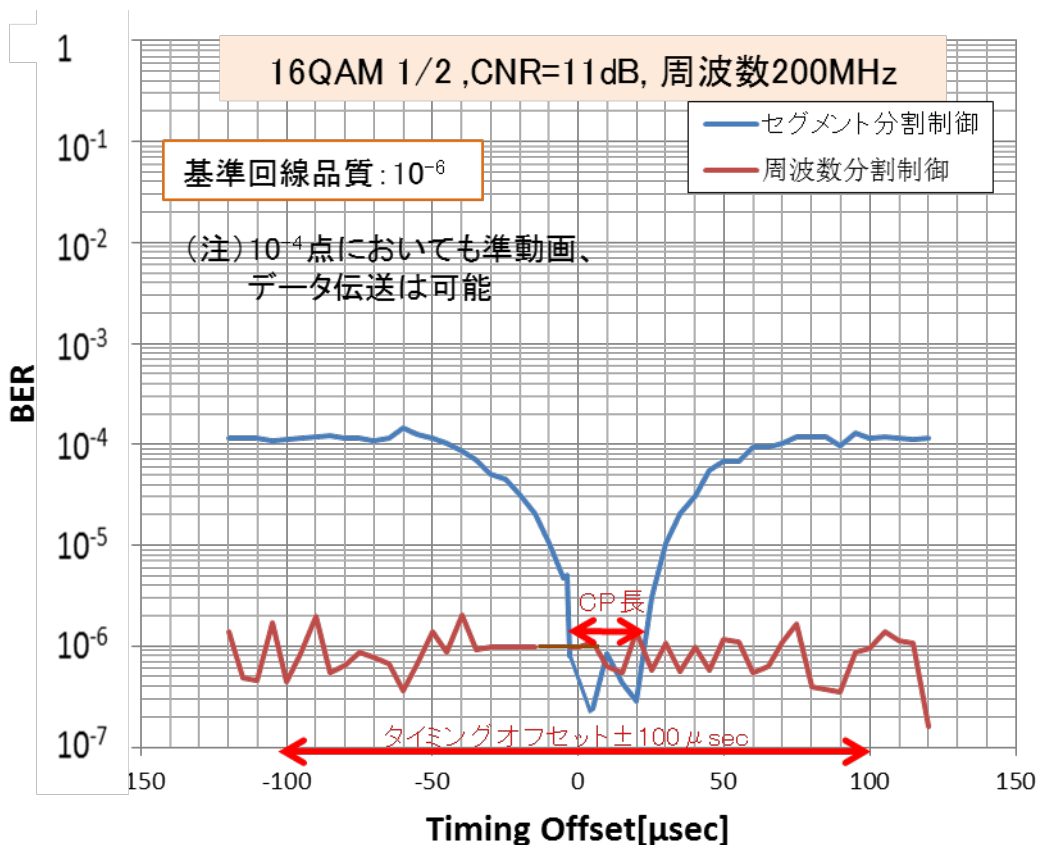
ア タイミングオフセットの検討モデルと BER 特性

タイミングオフセットの検討モデルとして、図参 4-1 のとおり、タイミング同期の基準となる無線局を A1 及び A2 とし、追従する無線局を B1 及び B2 とした場合における無線局 B1 の BER の劣化を評価する。



図参 4-1 タイミングオフセットの検討モデル

無線局 B1, B2 の受信する信号は、中継区間①と中継区間②の距離に応じて到来時間に差が発生し、その差はシンボル間干渉となり回線品質劣化の要因となる。この現象は、同一チャネル内における干渉試験により模擬できるため、上記モデルの中継区間①の信号を希望波、中継区間②の信号を干渉波として室内実験系を構築し、実機にて影響を確認した。



(出典)「公共分野におけるブロードバンド移動通信システムの利用拡大のための技術的条件に関する調査検討」(平成26年度)

図参 4-2 タイミングオフセットによる BER への影響の実測結果

イ タイミングオフセットの影響

実測結果 (図参 4-2) より確認された結果は、以下のとおりである。

- ① セグメント分割制御方式では中継区間距離の差により希望波と干渉波の伝搬遅延時間の差 (タイミングオフセット) が発生し、シンボル間干渉が発生する。このため、タイミングオフセットが CP 長 (Cyclic Prefix: 遅延到来波を考慮したガードインターバル) を超えると BER が劣化する。
- ② 周波数分割制御方式では、使用する周波数が異なることから、中継区間距離差によるタイミングオフセットの影響を考慮する必要はない。
- ③ 蓄積型時分割制御方式では、同時に送信を行わないため、中継区間距離差によるタイミングオフセットの影響を考慮する必要はない。

(2) 周波数偏差（周波数オフセット）の影響

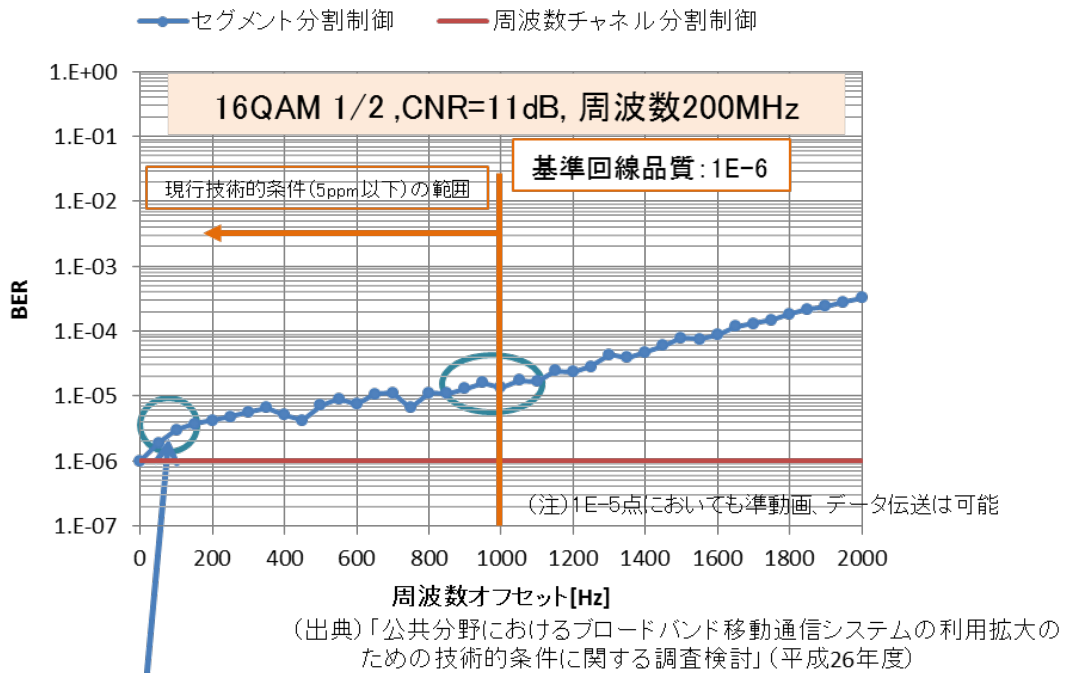
ア 周波数偏差（周波数オフセット）の検討モデルと BER 特性

周波数オフセットの検討モデルとして、図参 4-3 のとおり、タイミング同期の基準となる無線局を A1 及び A2 とし、追従する無線局を B1 及び B2 とした場合における無線局 B1 の BER の劣化を評価する。



図参 4-3 周波数オフセットの検討モデル

無線局 B1, B2 の受信する信号は、中継区間①と中継区間の周波数オフセットに応じて周波数軸上で信号の重なりとして観測され、重なった電力分が干渉波となって回線品質劣化の要因となる。この現象は、同一チャネル内における干渉試験により模擬できるため、上記モデルの中継区間①の信号を希望波、中継区間②の信号を干渉波として室内実験系を構築し、実機にて影響を確認した。



無線局Bは無線局Aに制御されることにより周波数を追従した動作となるが、追従誤差が約100Hz程度生じることから、BERがわずかに劣化する。

図参 4-4 周波数オフセットによる BER への影響の実測結果

イ 周波数オフセットの影響

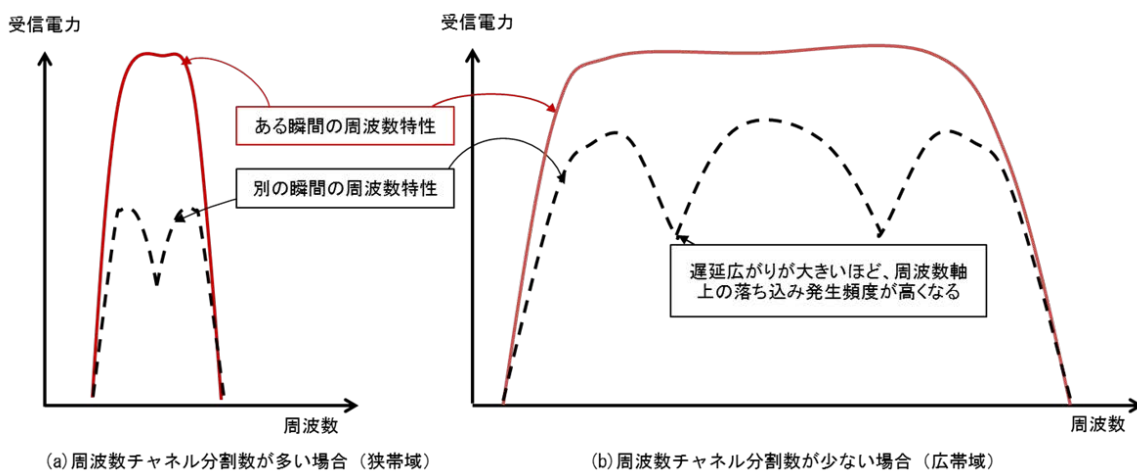
実測結果（図参 4-4）より確認された結果は以下のとおりである。

- ① セグメント分割制御方式では、周波数オフセットが増加するにつれて直交性が保てなくなり、BER が劣化する傾向となる。
- ② 周波数チャネル分割制御方式では、使用する周波数が異なることから、周波数オフセットの影響はない。
- ③ 蓄積型時分割制御方式では、同時に送信を行わないため、同一周波数を利用するものの周波数オフセットの影響はない。

(3) 周波数選択性フェージング耐性

周波数チャンネル分割制御方式では、分割数によって占有周波数帯幅が異なり、分割数が多いほど占有周波数帯幅は狭くなる。一方、セグメント分割制御方式及び蓄積型時分割制御方式は、分割数に依存せず、占有周波数帯幅は 4.9MHz で一定であるため、周波数チャンネル分割制御方式と比較して、周波数選択性フェージングに対する耐性は高い。

図参 4-5 に占有周波数帯幅が狭い場合及び広い場合の周波数選択性フェージングに対する耐性についての概念図を示す。



図参 4-5 周波数帯域による周波数選択性フェージングの影響

ア 周波数チャンネル分割数が多く、占有周波数帯幅が狭い場合

周波数チャンネル分割制御方式は、分割数が多くなると占有周波数帯幅が狭くなることにより、チャンネル帯域内のサブキャリアに一定の間隔で挿入されたフェージング補償に用いる基準信号の全消失リスクが高まる。

そのため、フェージング補償（誤り訂正、歪補償等）による品質改善効果が小さくなる。

イ 周波数チャンネル分割数が少なく、占有周波数帯幅が広い場合

周波数選択性フェージングの影響を全帯域に渡って受けるが、チャンネル帯域内のサブキャリアに一定の間隔で挿入されたフェージング補償に用いる基準信号の受信確率が高まる。

そのため、フェージング補償（誤り訂正、歪補償等）による品質改善効果が大きくなり、より高い回線品質が期待できる。

(4) 中継可能位置

周波数チャンネル分割制御方式においては、隣接チャンネル漏えい電力の影響によるチャンネル間の相互干渉が生じ、その干渉の度合いにより、中継可能な位置が決まることから、中継可能位置の範囲について検討しておく必要がある。

セグメント分割制御方式では、同一 OFDMA チャンネルの中で直交した送信キャリアを用い、隣接チャンネル漏えい電力の影響は受けないため、周波数チャンネル分割制御方式のような制約はない。

蓄積型時分割制御方式では、中継地点に向かって同時に送信するタイミングが存在しないため、周波数チャンネル分割制御方式のような制約はない。

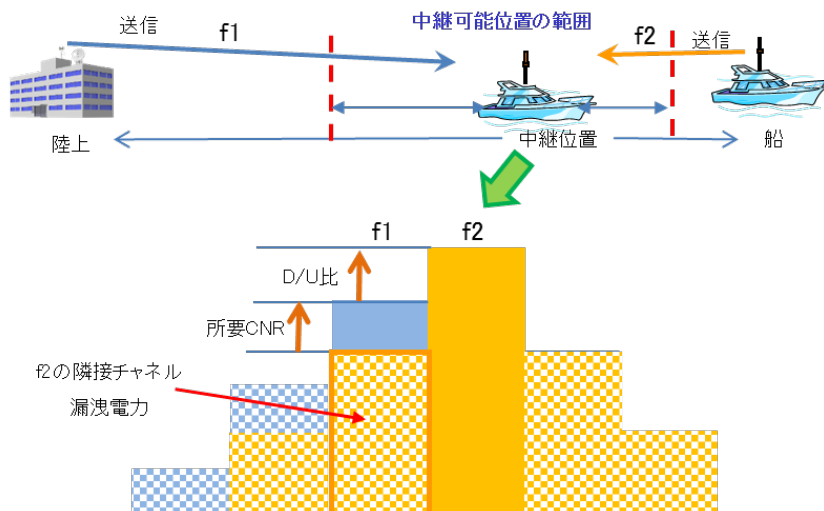
以下に周波数チャンネル分割制御方式における中継可能位置の範囲についての検討結果をまとめる。

ア 隣接チャンネル漏えい電力が及ぼす影響

周波数チャンネル分割制御方式における中継可能位置は、隣接チャンネル漏えい電力に起因する所要 D/U 比の関係から、中継地点に到達する信号の所要 CNR を満足する範囲となる。

例えば、陸上から中継地点への距離と、船から中継地点への距離に差がある場合、中継地点に到達する電力の大きさが異なることから、中継地点において f2 の電力が f1 の電力よりも大きくなり、f1 の電力と f2 の隣接チャンネル漏えい電力の比が所要 CNR を満足しない場合が発生する。

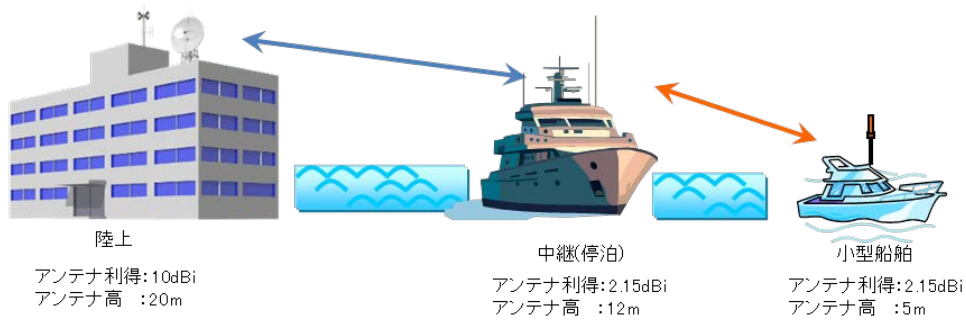
このため、周波数チャンネル分割制御方式では、中継可能位置は送受信点と中継地点の距離差から生じる到達電力の差異に依存することとなるが、これは、隣接チャンネル漏えい電力を低減することで、中継可能位置の範囲を延伸できることを意味する。



図参 4-6 中継可能位置と D/U 比の関係

イ 中継位置検討モデル（中継距離 20 海里 (37km)）の机上検討

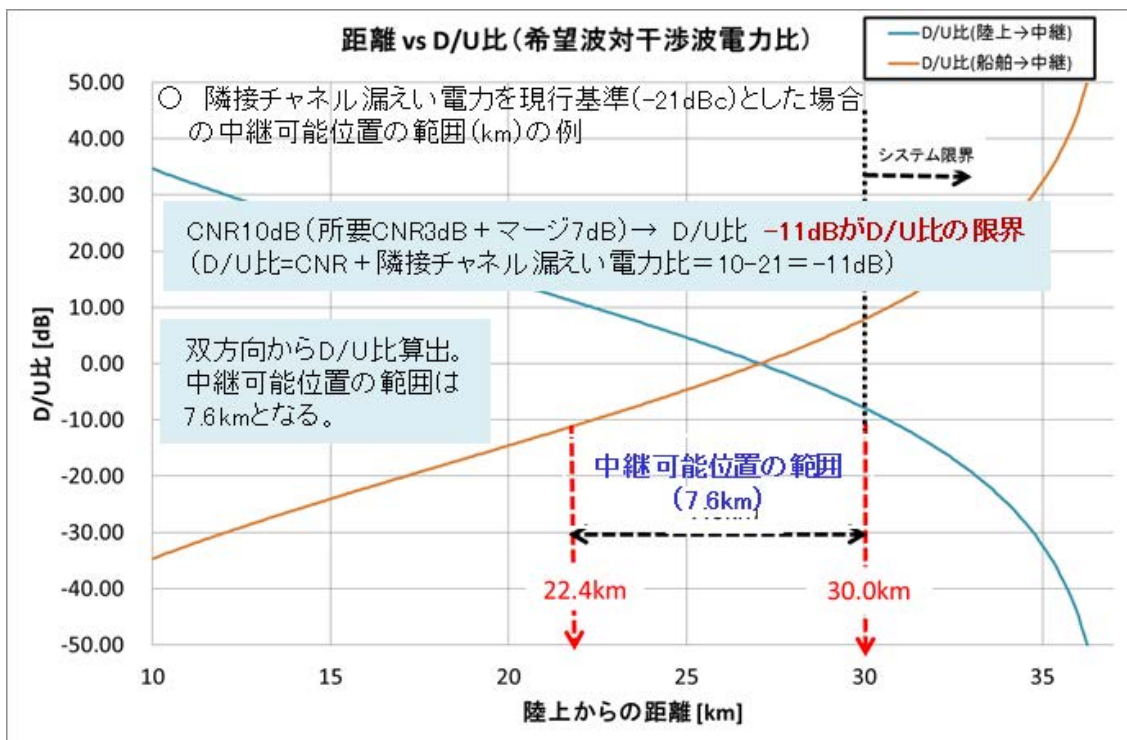
要求条件である 20 海里以上の中継を実現する際に、隣接チャネル漏えい電力に応じて制限をうける中継可能区間について机上検討する。検討モデルとしては、図参 4-7 に示すように、陸上側はビルの屋上に設置する指向性アンテナを用い、中継局となる中型船舶（無指向アンテナ）を経由して、20 海里 (37km) 先の小型船舶（無指向アンテナ）と通信を行う形態を想定する。



図参 4-7 中継位置検討モデル

① 隣接チャネル漏えい電力の値と中継位置の検討

現行の技術的条件である隣接チャネル漏えい電力(-21dBc)において中継が可能な位置を検討した。図参 4-8 に示すとおり、中継可能区間は 7.6km となる。



図参 4-8 距離と D/U 比の関係(隣接チャネル漏えい電力-21dBc の場合)

(参考) 海上伝搬モデルにおける受信電力

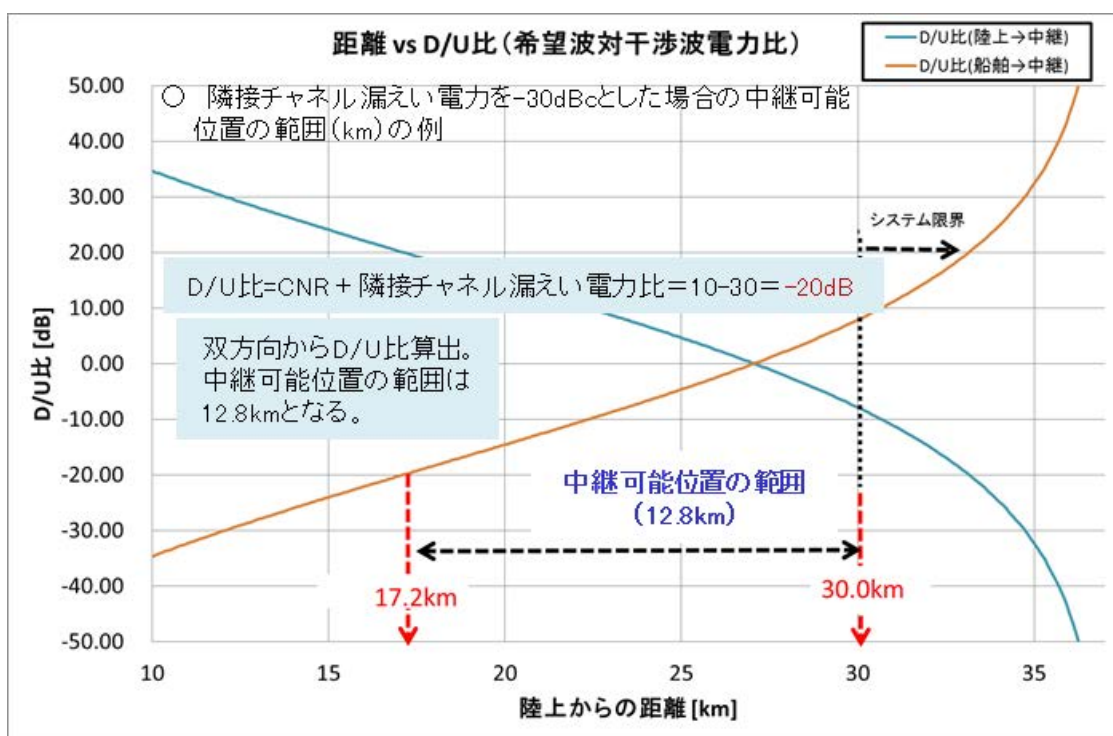
D/U 比の算出にあたり、使用した計算式を下記に示す。

- ・ 受信電力 = $Tx_Power + Tx_ANT - Tx_Loss + Lp + Rx_ANT - Rx_Loss - Margin + Div_Gain - Other_Loss + Lp$
- ・ 伝搬損失 Lp (二波モデル) = $-40 * \log_{10}(d) + 20 * \log_{10}(Ht * Hr)$

Tx_Power:送信電力[dBm]	Rx_ANT :受信アンテナゲイン[dBi]
Tx_ANT :送信アンテナゲイン[dBi]	Rx_Loss :受信フィーダーロス[dB]
Tx_Loss :送信フィーダーロス[dB]	Margin :フェージングマージン[dB]
d :送受信間距離[m]	Div_Gain :受信ダイバシティ合成利得[dB]
Ht :送信アンテナの設置高[m]	Other_Loss:その他損失
Hr :受信アンテナの設置高[m]	Lp :伝搬損失

② 隣接チャネル漏えい電力の値と中継位置の検討（低減効果の確認）

隣接チャネル漏えい電力をさらに低減（-30dBc）することで、中継可能区間を拡張することが可能である。図参 4-9 に示すとおり、中継可能区間は 12.8km となる。



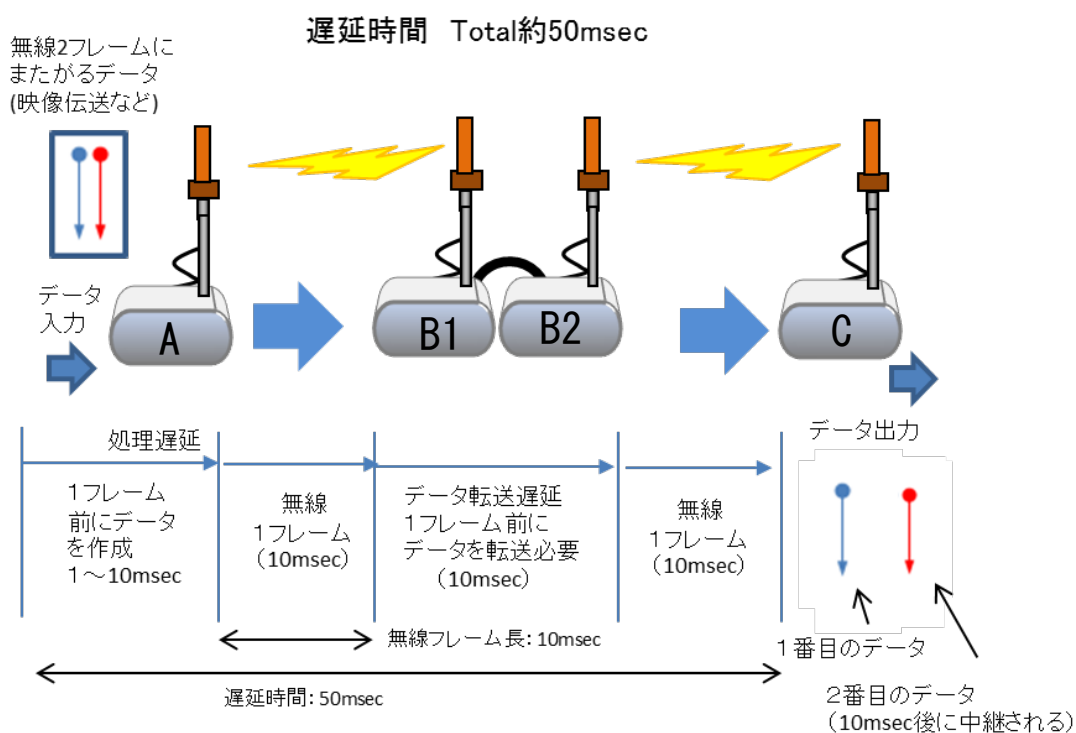
図参 4-9 距離と D/U 比の関係(隣接チャネル漏えい電力-30dBc の場合)

(5) 伝送遅延

中継回線の構成ごとに遅延時間の検討を行う。

ア 周波数チャネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式の遅延時間

図参 4-10 は周波数チャネル分割制御方式又はセグメント分割制御方式を用いて、無線局 A から、無線局 B1 及び無線局 B2 で構成される中継機能を介して、無線局 C に二つの無線フレーム分のデータを転送する場合の所要時間を示している。

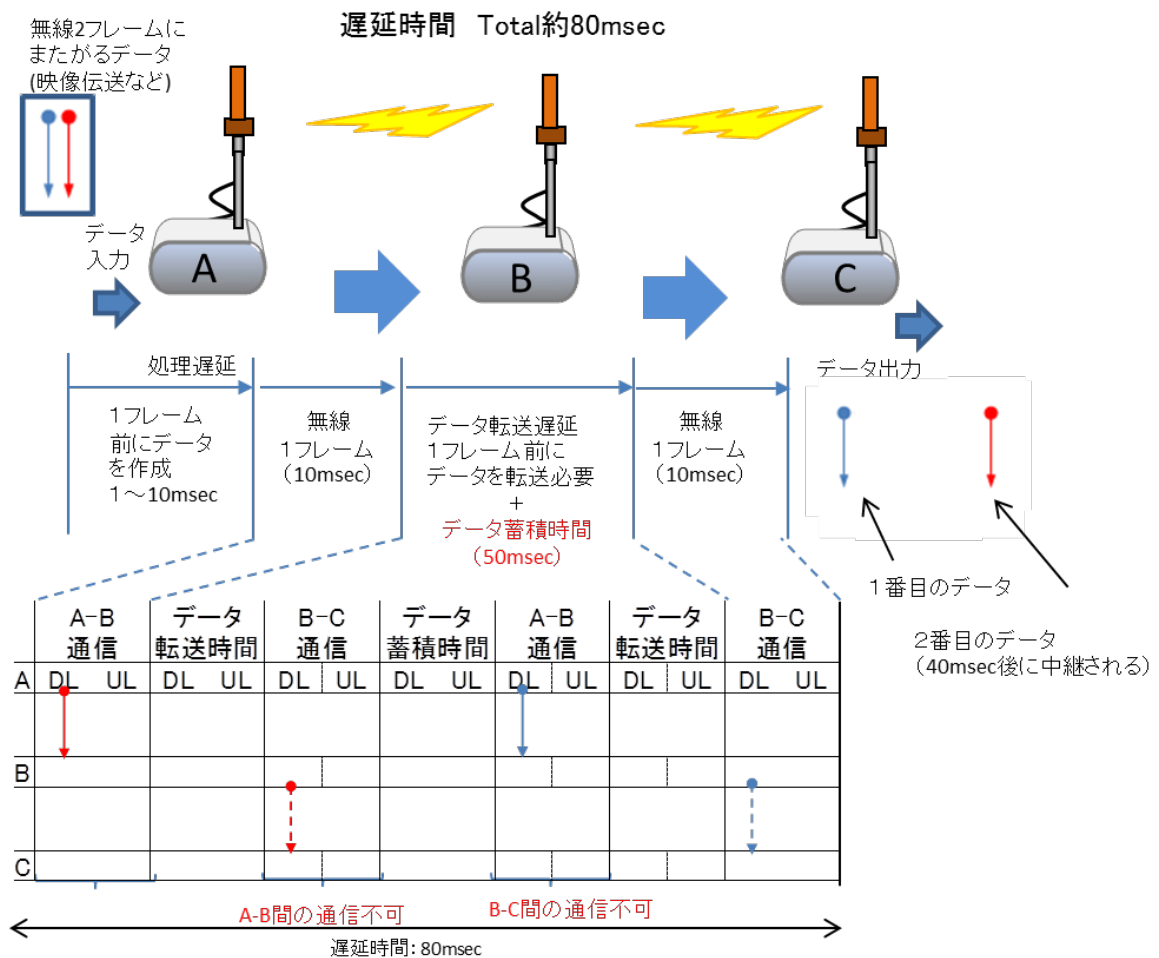


図参 4-10 周波数チャネル分割制御方式・セグメント分割制御方式の遅延時間内訳

周波数チャネル分割制御方式及びセグメント分割制御方式では、図参 4-10 のとおり各区間の処理遅延が単純に加算される。2つの無線フレームにまたがるデータは連続して出力されるため、40msec後に最初のデータが出力された後、無線フレーム単位である10msec後に連続してデータ出力される。以上により、遅延時間の合計は50msecとなる。

イ 蓄積型時分割制御方式の遅延時間

図参 4-11 は蓄積型時分割制御方式を用いて、無線局 A から、中継局 B を介して、無線局 C に 2 つの無線フレーム分のデータを転送する場合の所要時間を示している。なお、蓄積型時分割制御方式では、中継機能を一つの無線機で構成することができる。



図参 4-11 蓄積型時分割制御方式の遅延時間内訳

蓄積型時分割制御方式は A-B 間と B-C 間は同時に無線通信を行うことができないため、無線局 B では、送受信切替えのためにデータ蓄積時間を必要とする。データ蓄積時間及び中継区間で同時通信が不可となるタイミングがあるため、40msec 後に 2 番目のデータは出力される。以上により、遅延時間の合計は 80msec となる。

2. まとめ

以上の検討結果により留意すべき事項をまとめると、表参 4-12 のとおりとなる。

表参 4-12 留意すべき事項まとめ

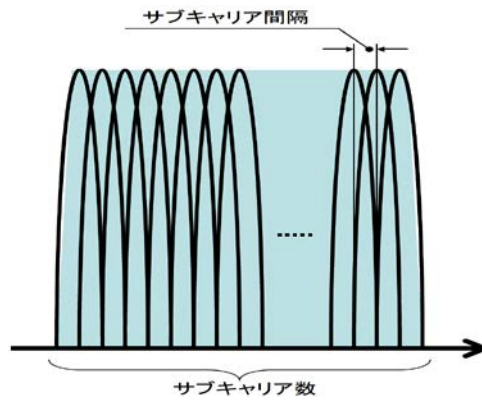
	比較項目	周波数 分割制 御方式	セグ メント分 割制御 方式	蓄積時 分割制 御方式	補足
1	タイミングオフセットの影響	○	△	○	CP 長の 22.8 μ sec を超えると劣化
2	周波数偏差(周波数オフセット)の影響	○	△	○	セグメント分割制御方式は 5ppm の周波数偏差において劣化
3	周波数選択性 フェージング耐性	△	○	○	周波数チャネル分割制御方式は、分割数が多くなると 1 区間あたりの周波数帯幅が狭くなり、周波数選択性フェージングの影響が大きくなる(耐性が落ちる)
4	中継可能位置	△	○	○	周波数チャネル分割制御方式の中継可能位置は隣接チャネル漏えい電力の影響を受ける
5	伝送遅延	○	○	△	1 段中継時の遅延量 (msec)
6	500kbps 以上の通信速度が可能な最大分割数	9	9	16 [*]	64QAM 変調で比較 ※単位時間あたりの分割数

占有周波数帯幅の許容値に関する検討

次の点を前提として、本システムの占有周波数帯幅の許容値の妥当性について検討した結果を表参5-1から図参5-3に示す。

○ チャンネル帯域幅5MHzのOFDMを前提とする。

なお、この場合に必要な占有周波数帯幅は、図参5-1に示すとおり、サブキャリア間隔とサブキャリア数で決定される。サブキャリア間隔とサブキャリア数については、ARIB STD-T103に規定されるOFDMパラメータでは、サブキャリア間隔は5.5kHz、サブキャリア数は840本とされていることから、これらのパラメータ想定し、占有周波数帯幅の許容値の検討を行った。



図参5-1 OFDMの波形イメージ

表参5-1 OFDMパラメータ例および占有周波数帯幅の許容値
(周波数チャネル分割型制御方式)

項 番	項目	単 位	OFDMパラメータ							
			2	3	4	5	6	7	8	9
1	分割数	-	2	3	4	5	6	7	8	9
2	サブキャリ ア間隔	kHz	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
3	サブ キャリア数	-	420	280	210	168	140	120	105	93
4	必要な 帯域幅	kHz	2297	1532	1149	919	766	657	575	509
5	占有周波数 帯幅の 許容値	MHz	2.45	1.64	1.23	0.98	0.817	0.7	0.613	0.545

(既存の公共ブロードバンド移動通信システムの占有周波数帯幅の許容値は4.9MHzとなっている。分割数の最大値は9であり、分割した場合の占有周波数帯幅の許容値は、4.9MHzを分割数で除した値となる。)

表参5-2 OFDMパラメータ例および占有周波数帯幅の許容値
(セグメント分割型制御方式)

項 番	項目	単 位	OFDMパラメータ							
			2	3	4	5	6	7	8	9
1	分割数	-	2	3	4	5	6	7	8	9
2	サブキャリ ア間隔	kHz	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
3	サブ キャリア数	-	420	280	210	168	140	120	105	93
4	必要な 帯域幅	kHz	4594	4594	4594	4594	4594	4594	4594	4594
5	占有周波数 帯幅の 許容値	MHz	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9

表参5-3 OFDMパラメータ例および占有周波数帯幅の許容値
(蓄積型時分割制御方式)

項番	項目	単位	OFDMパラメータ
1	分割数	-	1
2	サブキャリア間隔	kHz	5.5
3	サブキャリア数	-	840
4	必要な帯域幅	kHz	4594
5	占有周波数帯幅の許容値	MHz	4.9

空中線電力に関する検討

本システムの空中線電力に関して、次の点を踏まえ、各分割数（2～9）と電力密度を一定とした空中線電力の関係は、表参 6-1 のとおりである。

- ① 空中線電力は、他システムへの影響を考慮し、既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同一の技術的条件を満足することが必要であることから、空中線電力密度を既存の公共ブロードバンド移動通信システムと同一とする。
- ② 現行基準における陸上移動局の空中線電力（5W）を電力密度換算した場合には 37dBm/5MHz となる。

表参 6-1 多段中継利用に係る空中線電力

項番	項目	単位	空中線電力									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	分割数	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	中継回線の構成	-	蓄積型及び現行型	周波数チャネル分割 セグメント分割								
3	電力密度	-	37.0dBm/ 5MHz	34.0dBm/ 2.5MHz	32.2dBm/ 1.66MHz	31.0dBm/ 1.25MHz	30.0dBm/ 1.0MHz	29.2dBm/ 0.833MHz	28.5dBm/ 0.714MHz	28.0dBm/ 0.625MHz	27.5dBm/ 0.555MHz	
4	空中線電力	W	5.0	2.5	1.66	1.25	1.0	0.833	0.714	0.625	0.555	

（既存の公共ブロードバンド移動通信システムの空中線電力は5Wとなっている。分割数の最大値は9であり、分割した場合の空中線電力は、5Wを分割数で除した値となる。）

周波数の許容偏差に関する検討

1 検討の概要

(1) 概要

本システムの周波数の許容偏差の妥当性について検討する。周波数の変動要素の和に対して、十分な許容可能範囲が確保されているかどうか（隣接周波数帯に干渉を及ぼすことがないかどうか）について検討した。

(2) 検討条件

検討にあたって考慮すべき条件として以下のとおりとした。

- ・ 中心周波数： 200MHz
- ・ チャネル間隔： 0.556MHz （周波数チャネル分割制御方式 9分割を想定）
- ・ 占有周波数帯幅： 0.544MHz（周波数チャネル分割制御方式 9分割を想定）
- ・ 移動局の移動速度： 180km/h

2 検討結果

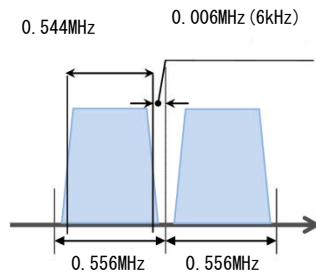
(1) 周波数の変動要素

周波数の変動要素は、周波数の偏差とドップラー周波数である。次のとおり、高速道路や鉄道等の移動手段によって、陸上を端末が移動することによるドップラー効果による変動は数十 Hz オーダであり、周波数の変動値の大部分の要素は周波数の偏差が占める。

- ① 中心周波数が 200MHz である場合の周波数の偏差は、1kHz となる。
周波数の偏差： $200 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-6} = 1\text{kHz}$
- ② 移動局の最大移動速度が 180km/h である場合のドップラー周波数は 33Hz となる。
ドップラー周波数： $180 \times 10^3 / 3600 / (3 \times 10^8) \times 200 \times 10^6 \doteq 33.3\text{Hz}$

(2) 周波数変動の許容範囲

チャネル間隔が 0.556MHz、占有周波数帯幅が 0.544MHz である場合の周波数変動の許容範囲は、図参 7-1 のとおり、6kHz 以内となる。



図参 7-1 周波数チャンネル 9 分割のスペクトル

3. まとめ

(1) 及び (2) より、周波数の変動要素の和 (1kHz+33kHz) に対し、周波数変動の許容範囲 (6kHz) は十分に大きく、隣接周波数帯に干渉を及ぼすことはないと認められる。

多段中継利用における回線設計例

1 検討の概要

多段中継利用を行う場合の回線設計例について、海上及び陸上におけるそれぞれの利用シーンごとに以下を検討した。

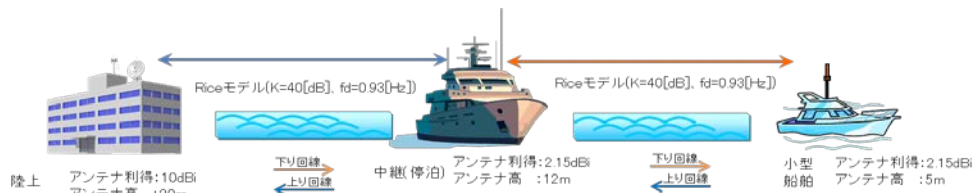
- ① 海上多段中継利用：周波数チャネル分割制御方式 分割数2の場合
- ② 海上多段中継利用：セグメント分割制御方式 分割数3の場合
- ③ 海上多段中継利用：蓄積型時分割制御方式の場合
- ④ 陸上多段中継利用：周波数チャネル分割制御方式 分割数2の場合
- ⑤ 陸上多段中継利用：セグメント分割制御方式 分割数3の場合
- ⑥ 陸上多段中継利用：蓄積型時分割制御方式の場合

2 利用シーンごとの回線設計例

海上利用については変調方式（QPSK、16QAM）ごとに、陸上利用については変調方式をQPSKとしてアーバンエリア及びルーラルエリアごとに、それぞれ回線設計を行った。海上利用の伝搬距離は2波モデルとし、陸上利用の伝搬距離は、アーバンエリアは拡張秦モデル、ルーラルエリアは2波モデルにより計算した。

なお、分割数に応じた空中線電力の低減分は、分割による総雑音電力の低下に伴う所要受信電力の増加分に等しくなることから、分割によって総合伝送距離は変化しない。

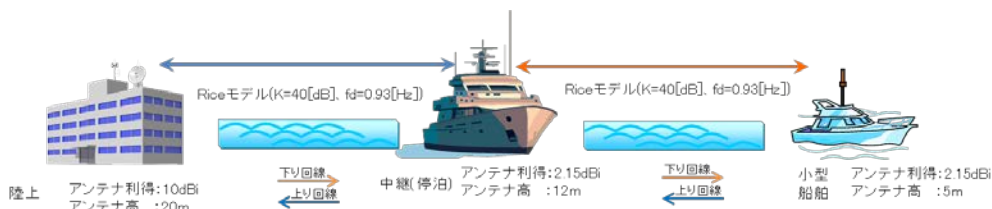
① 海上多段中継利用：周波数チャネル分割制御方式 分割数 2 の場合



項番	項目	単位	海上多段中継モデル(大型船舶で中継):周波数チャネル分割制御方式(1/2)			
			QPSK通信		16QAM通信	
			陸上->大型船舶	大型船舶->小型船舶	陸上->大型船舶	大型船舶->小型船舶
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	空中線電力	dBm	34	34	34	34
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	4	3	4	3
7	受信給電線損失	dB	3	2	3	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/2.5MHz	-102.9	-102.9	-102.9	-102.9
12	所要SNR	dB	3	3	8	8
13	所要受信電力	dBm	-99.9	-99.9	-94.9	-94.9
14	フェージングマージン	dB	5	7	5	7
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	3	3	3	3
16	送信アンテナ高	m	20	12	20	12
17	受信アンテナ高	m	12	5	12	5
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	5	0	5	0
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	27.4	11.6	20.5	8.7
20	総合伝送距離	km	39.0		29.2	

図参 8-1 周波数分割数 2 を用いた海上多段中継時の回線設計例

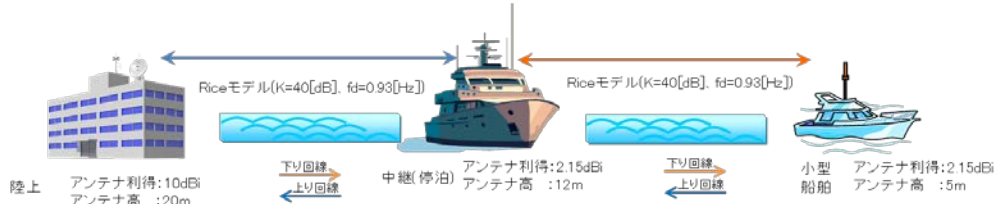
② 海上多段中継利用：セグメント分割制御方式 分割数 3 の場合



項番	項目	単位	海上多段中継モデル(大型船舶で中継):セグメント分割制御方式(1/3)			
			QPSK通信		16QAM通信	
			陸上->大型船舶	大型船舶->小型船舶	陸上->大型船舶	大型船舶->小型船舶
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	空中線電力	dBm	32	32	32	32
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	4	3	4	3
7	受信給電線損失	dB	3	2	3	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/1.66MHz	-104.9	-104.9	-104.9	-104.9
12	所要SNR	dB	3	3	8	8
13	所要受信電力	dBm	-101.9	-101.9	-96.9	-96.9
14	フェージングマージン	dB	5	7	5	7
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	3	3	3	3
16	送信アンテナ高	m	20	12	20	12
17	受信アンテナ高	m	12	5	12	5
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	5	0	5	0
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	27.4	11.6	20.5	8.7
20	総合伝送距離	km	39.0		29.2	

図参 8-2 セグメント分割数 3 を用いた海上多段中継時の回線設計例

③ 海上多段中継利用：蓄積型時分割制御方式の場合



項番	項目	単位	海上多段中継モデル(大型船舶で中継)：蓄積型時分割制御方式			
			QPSK通信		16QAM通信	
			陸上→大型船舶	大型船舶→小型船舶	陸上→大型船舶	大型船舶→小型船舶
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	空中線電力	dBm	37	37	37	37
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	4	3	4	3
7	受信給電線損失	dB	3	2	3	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/5MHz	-99.9	-99.9	-99.9	-99.9
12	所要SNR	dB	3	3	8	8
13	所要受信電力	dBm	-96.9	-96.9	-91.9	-91.9
14	フェージングマージン	dB	5	7	5	7
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	3	3	3	3
16	送信アンテナ高	m	20	12	20	12
17	受信アンテナ高	m	12	5	12	5
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	5	0	5	0
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	27.4	11.6	20.5	8.7
20	総合伝送距離	km	39.0		29.2	

図参 8-3 蓄積型時分割を用いた海上多段中継時の回線設計例

④ 陸上多段中継利用：周波数チャネル分割制御方式 分割数2の場合



項番	項目	単位	陸上多段中継モデル：周波数チャネル分割制御方式(1/2)			
			アーバンエリア		ルーラルエリア	
			ビル→車両	車両→車両	ビル→車両	車両→車両
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)
3	空中線電力	dBm	34	34	34	34
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	2	2	2	2
7	受信給電線損失	dB	2	2	2	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(陸上)	dBm/5MHz	-92	-92	-95	-95
11	総雑音電力	dBm/2.5MHz	-94.7	-94.7	-97.5	-97.5
12	所要SNR	dB	20	20	14	14
13	所要受信電力	dBm	-74.7	-74.7	-83.5	-83.5
14	フェージングマージン	dB	3	3	3	3
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	5	5	10	10
16	送信アンテナ高	m	40	2	40	2
17	受信アンテナ高	m	2	2	2	2
18	その他損失(樹木等の影響)	dB	0	0	5	5
19	伝送距離(拡張系・2波モデル計算)	km	2.27	0.25	12.3	1.75
20	総合伝送距離	km	2.52		14.05	

図参 8-4 周波数分割数 2 を用いた陸上多段中継時の回線設計例

⑤ 陸上多段中継利用：セグメント分割制御方式 分割数3の場合



項番	項目	単位	陸上多段中継モデル：セグメント分割制御方式(1/3)			
			アーバンエリア		ルーラルエリア	
			ビル→車両	車両→車両	ビル→車両	車両→車両
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)
3	空中線電力	dBm	32	32	32	32
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	2	2	2	2
7	受信給電線損失	dB	2	2	2	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(陸上)	dBm/5MHz	-92	-92	-95	-95
11	総雑音電力	dBm/1.66MHz	-96.5	-96.5	-99.3	-99.3
12	所要SNR	dB	20	20	14	14
13	所要受信電力	dBm	-76.5	-76.5	-85.3	-85.3
14	フェージングマージン	dB	3	3	3	3
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	5	5	10	10
16	送信アンテナ高	m	40	2	40	2
17	受信アンテナ高	m	2	2	2	2
18	その他損失(樹木等の影響)	dB	0	0	5	5
19	伝送距離(拡張帯・2波モデル計算)	km	2.27	0.25	12.3	1.75
20	総合伝送距離	km	2.52		14.05	

図参 8-5 セグメント分割数 3 を用いた陸上多段中継時の回線設計例

⑥ 陸上多段中継利用：蓄積型時分割制御方式の場合



項番	項目	単位	陸上多段中継モデル：蓄積型時分割制御方式			
			アーバンエリア		ルーラルエリア	
			ビル→車両	車両→車両	ビル→車両	車両→車両
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	QPSK(1/2)
3	空中線電力	dBm	37	37	37	37
4	送信空中線利得	dBi	10	2.15	10	2.15
5	受信空中線利得	dBi	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	2	2	2	2
7	受信給電線損失	dB	2	2	2	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(陸上)	dBm/5MHz	-92	-92	-95	-95
11	総雑音電力	dBm/5MHz	-91.7	-91.7	-94.5	-94.5
12	所要SNR	dB	20	20	14	14
13	所要受信電力	dBm	-71.7	-71.7	-80.5	-80.5
14	フェージングマージン	dB	3	3	3	3
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	5	5	10	10
16	送信アンテナ高	m	40	2	40	2
17	受信アンテナ高	m	2	2	2	2
18	その他損失(樹木等の影響)	dB	0	0	5	5
19	伝送距離(拡張帯・2波モデル計算)	km	2.27	0.25	12.3	1.75
20	総合伝送距離	km	2.52		14.05	

図参 8-6 蓄積型時分割を用いた陸上多段中継時の回線設計例

多段中継利用における実証試験の結果

1. 実証実験の概要

(1) 確認事項

多段中継利用における屋外実証実験を実施し、下記の要求条件を満たすことを確認した。

- ・ 1ch内（5MHz帯域内）での中継伝送が可能な方式であること。
- ・ 既存の公共ブロードバンド移動通信システムで求めている500kbps以上の伝送速度が確保できること。
- ・ 空中線間の離隔距離が極力不要な方式であること。
- ・ 20海里（37km）以上の通信距離が可能な方式であること。

(2) 実証実験の具体的内容

①海上多段中継利用

実証試験機により、東京湾において、中継回線を構成し、スループット確認等を実施した。なお、中継回線の実証試験に先立ち、海上単一回線の試験を行い、陸上と船舶との間及び船舶間における近距離及び遠距離のスループット確認等を実施した。

②陸上多段中継利用

実証試験機により、アーバンエリアとして東京都千代田区（大手町付近）において、指向性アンテナを使用した通達距離試験、伝搬距離特性の検討及び都市雑音の測定を実施した。また、ルーラルエリアとして東京都あきるの市において、伝搬距離特性の検討及び都市雑音の測定を実施した。さらに、参考として、多段中継の利用シーンの一つと考えられるビル建屋内における受信電力変動の確認も実施した。

(3) 実証試験機の諸元

使用した実証試験機の諸元は、海上多段中継利用については表参 9-1、陸上多段中継利用については表参 9-2 とおりである。また、実証試験の構成例は、海上多段中継利用については図参 9-1、陸上多段中継利用については図参 9-2 のとおりである。

表参 9-1 分割方式ごとの諸元（海上多段中継利用）

#	項目	単位	海上単一回線	多段中継伝送 (周波数チャネル分割制御方式)
1	分割数		-	2(周波数軸)
2	周波数	MHz	195	195
3	チャネル帯域幅	MHz	5	2.5
4	占有周波数帯幅	MHz	4.9	2.45
5	空中線電力	W	5W 37dBm/5MHz	2.5W 34dBm/2.5MHz
6	アンテナ利得(基地局側)	dBi	7.6(三素子八木アンテナ)	
7	アンテナ利得(移動局側)	dBi	2.15(ブラウンアンテナ)	

表参 9-2 分割方式ごとの諸元（陸上多段中継利用）

#	項目	単位	多段中継伝送		
			蓄積型時分割制御方式	周波数チャネル分割制御方式	セグメント分割制御方式
1	分割数		2(時間軸)	2(周波数軸)	3(周波数軸)
2	周波数	MHz	195	195	195
3	チャネル帯域幅	MHz	5	2.5	5
4	占有周波数帯幅	MHz	4.9	2.45	4.9
5	空中線電力	W	5W 37dBm/5MHz	2.5W 34dBm/2.5MHz	1.66W 32dBm/5MHz
6	アンテナ利得(基地局側)	dBi	アーバン: 7.6(三素子八木アンテナ) ルーラル: 2.15(ホイップアンテナ)		
7	アンテナ利得(移動局側)	dBi	2.15(ホイップアンテナ)		



図参 9-1 実証試験の構成例（海上多段中継利用）



図参 9-2 実証試験の構成例（陸上多段中継利用）

2. 海上多段中継試験の結果

中継を用いることで最大43kmの通達距離が可能であった。図参9-3に実証試験場所及び実証試験風景を示す。なお、海上単一回線の試験においては、64QAMで2km程度、QPSKで14km程度の距離で通信を確認した。



<実証試験機 船内設置状況>



出典：Geospatial Information Authority of Japan

「(国土地理院の地理院地図 (電子国土 Web))

地図上：『東京湾付近』掲載」

地図下：『駿河湾、相模湾付近』掲載)

図参 9-3 実証試験場所及び実証試験風景 (海上多段中継利用)

3. 陸上多段中継試験の結果

(1) 通達距離試験の結果

① アーバンエリアにおける通達距離試験の結果

アーバンエリアにおける試験結果を図参9-4に示す。都市部においては64QAMで1.3km程度、16QAMで2.6km、QPSKで4km程度まで通信可能であり、中継を用いることで最大1.5kmの通達距離延伸が可能であった。



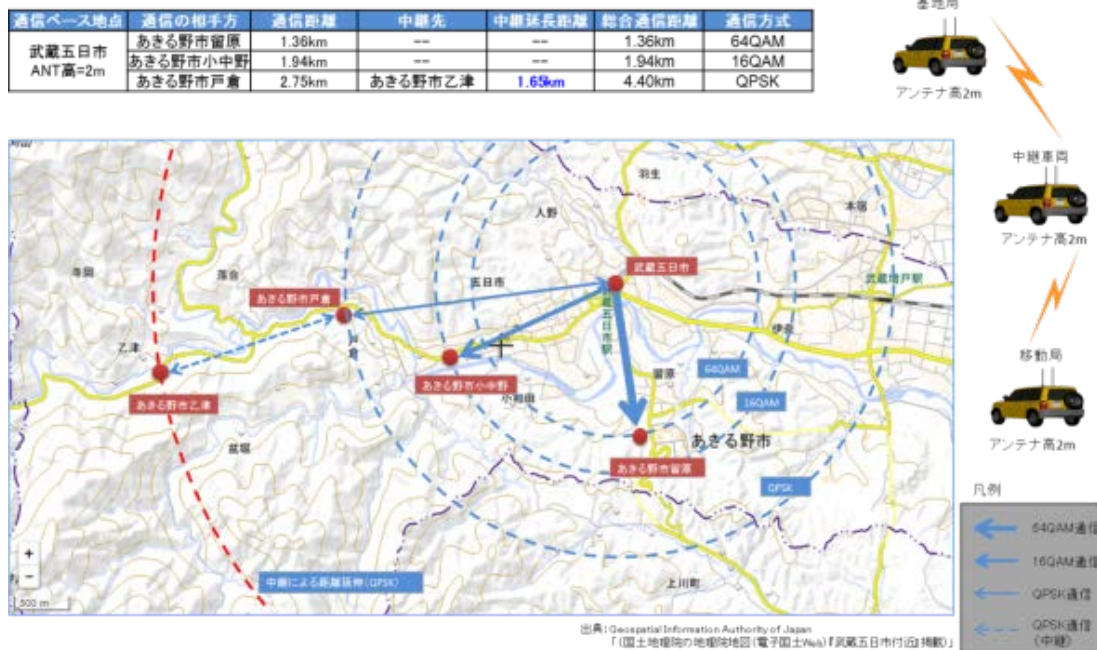
図参 9-4 通達距離(アーバンエリア・指向性アンテナを使用)



図参 9-5 実証試験時の風景(アーバンエリア)

②ルーラルエリアにおける通達距離試験の結果

ルーラルエリアにおける試験結果を図参 9-6 に示す。本試験では、無線局は全て車両に設置して実施しており、ルーフトップアンテナを用いた車両間の通信により、64QAM で 1.4km 程度、16QAM で 1.9km、QPSK で 2.8km 程度まで見通し外通信が可能であることを確認した。さらに、中継を用いることで最大 1.6km 程度通達距離延伸が可能であった。



図参 9-6 通達距離(ルーラルエリア・無指向性アンテナを使用)



図参 9-7 実証試験時の風景(ルーラルエリア)

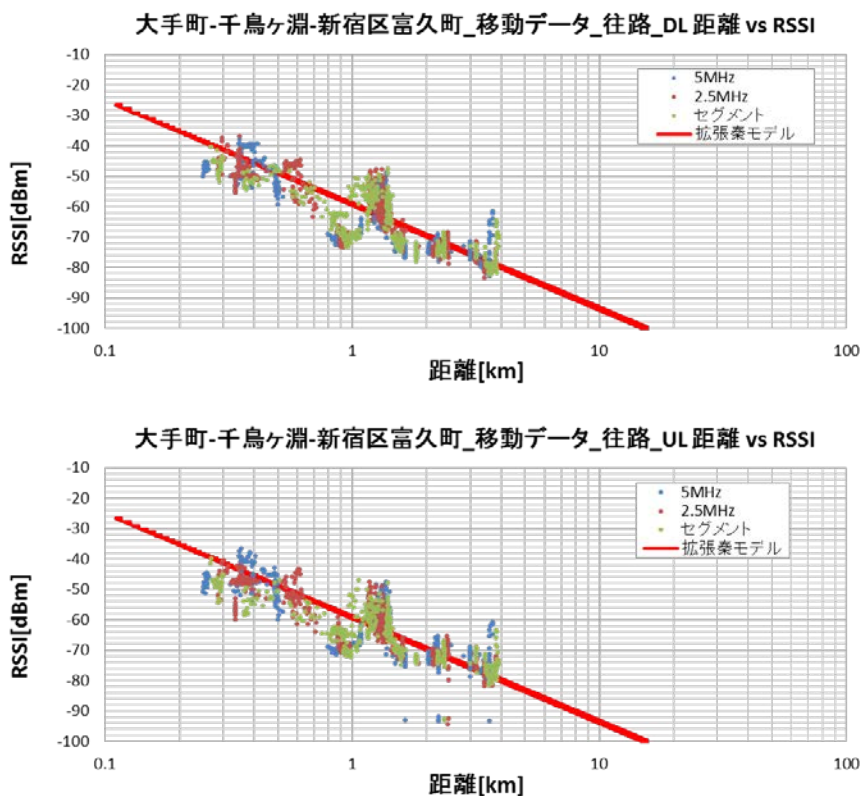
(2) 伝搬距離特性の検討の結果

実証試験機を使用して取得したデータから、伝送距離特性を検討した。アーバンエリアにおける伝送距離特性は拡張秦モデルにほぼ一致し、ルーラルエリアにおける伝送距離特性は二波モデルにほぼ一致する結果を得た。

① アーバンエリアにおける伝送距離特性の検討の結果

アーバンエリアにおける伝送距離特性の検討の結果を、図参 9-8 に示す。大手町のビルに設置した無線局と新宿方面に走行する車両内に設置した無線局で通信を行い、それぞれの受信レベルを測定した。

測定データは伝搬特性は拡張秦モデル（アーバン）とほぼ一致する傾向を示した。



走行ルート



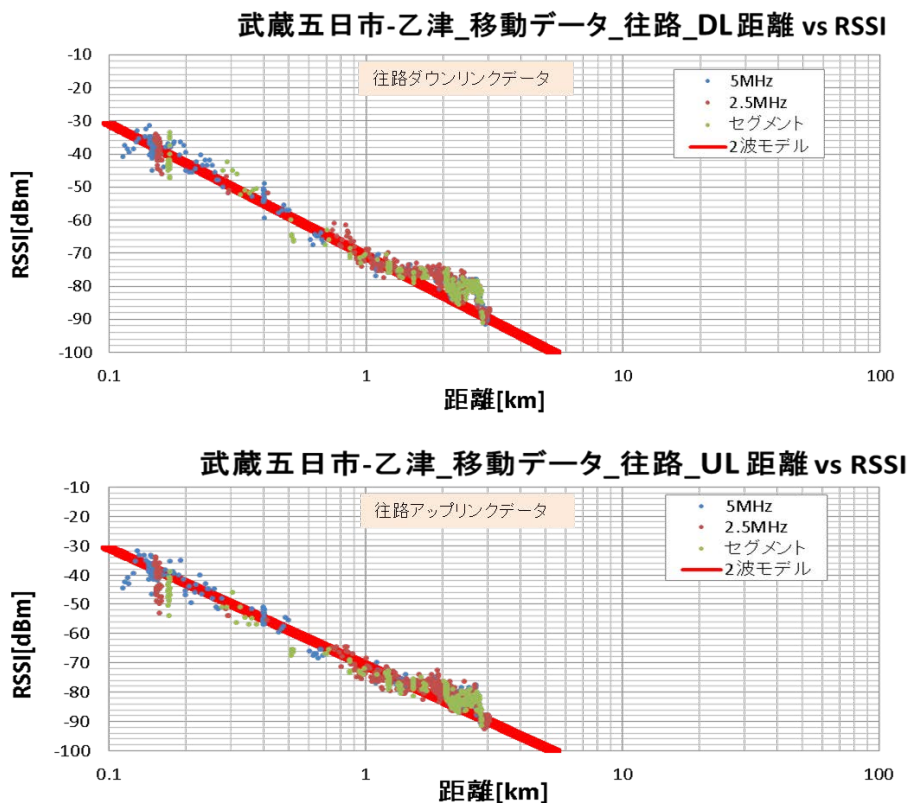
出典: Geospatial Information Authority of Japan
「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web)『千代田区付近』掲載)」

図参 9-8 伝搬距離結果 (アーバンエリア)

② ルーラルエリアにおける伝送距離特性の検討の結果

ルーラルエリアにおける伝送距離特性の検討の結果を、図参9-9に示す。都内山間部に近い JR 武蔵五日市駅前に駐車した車両に設置した無線局と、奥多摩方面に走行する車両に設置する無線局との間で通信を行い、それぞれの受信レベルを測定した。

伝搬特性の測定データは二波モデルとほぼ一致する傾向を示す結果が得られた。



走行ルート



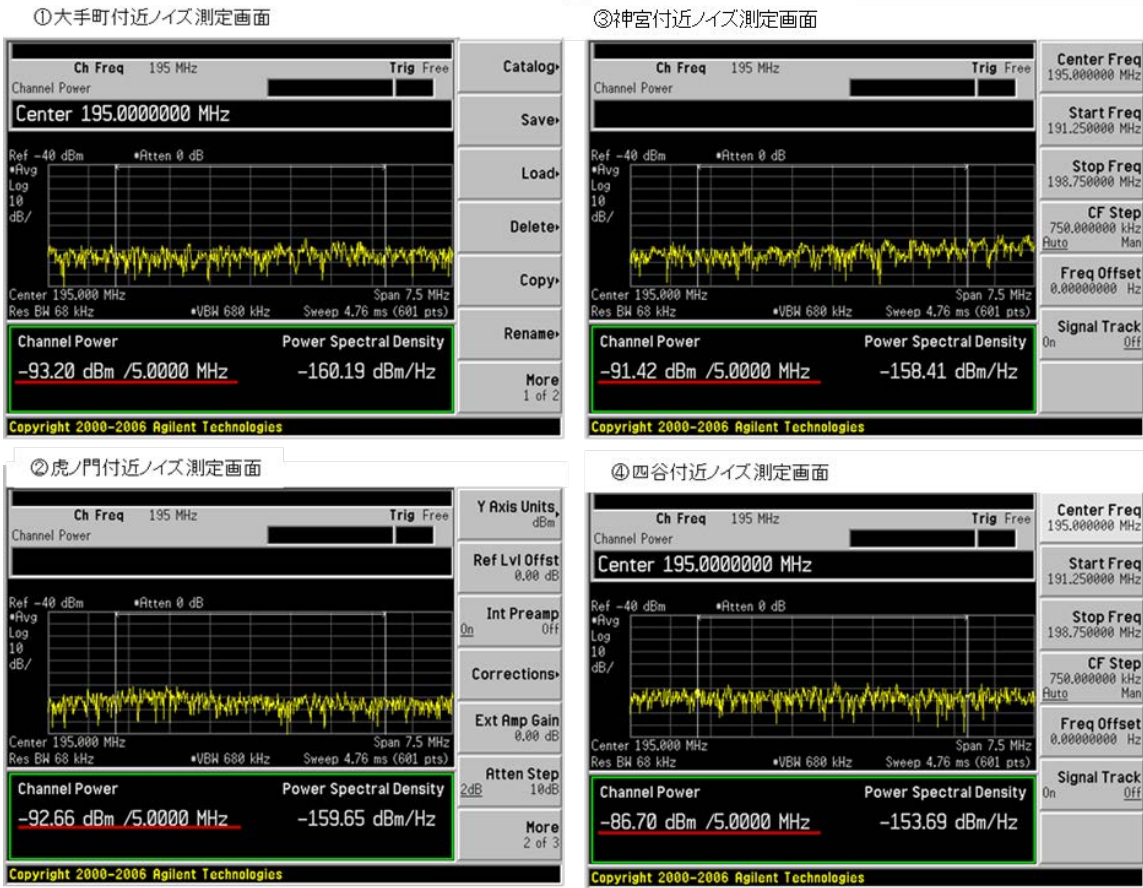
出典: Geospatial Information Authority of Japan
「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web)『千代田区付近』掲載)」

図参 9-9 伝搬距離結果 (ルーラルエリア)

(3) 都市雑音の測定結果

①アーバンエリアにおける都市雑音の測定結果

アーバンエリアにおける都市雑音の測定結果を図参 9-10 に示す。都内 4 地点の都市雑音をスペクトラムアナライザで測定した。



測定箇所	測定時刻	dBm/5MHz	ロケーション
①大手町	2016.12.21 14:30	-93.20dBm	都市部
②虎ノ門	2016.12.27 16:40	-92.66dBm	都市部
③神宮	2016.12.28 5:25	-91.42dBm	都市部
④四谷	2017.1.12 10:50	-86.70dBm	都市部

図参 9-10 都市雑音測定結果（アーバンエリア）

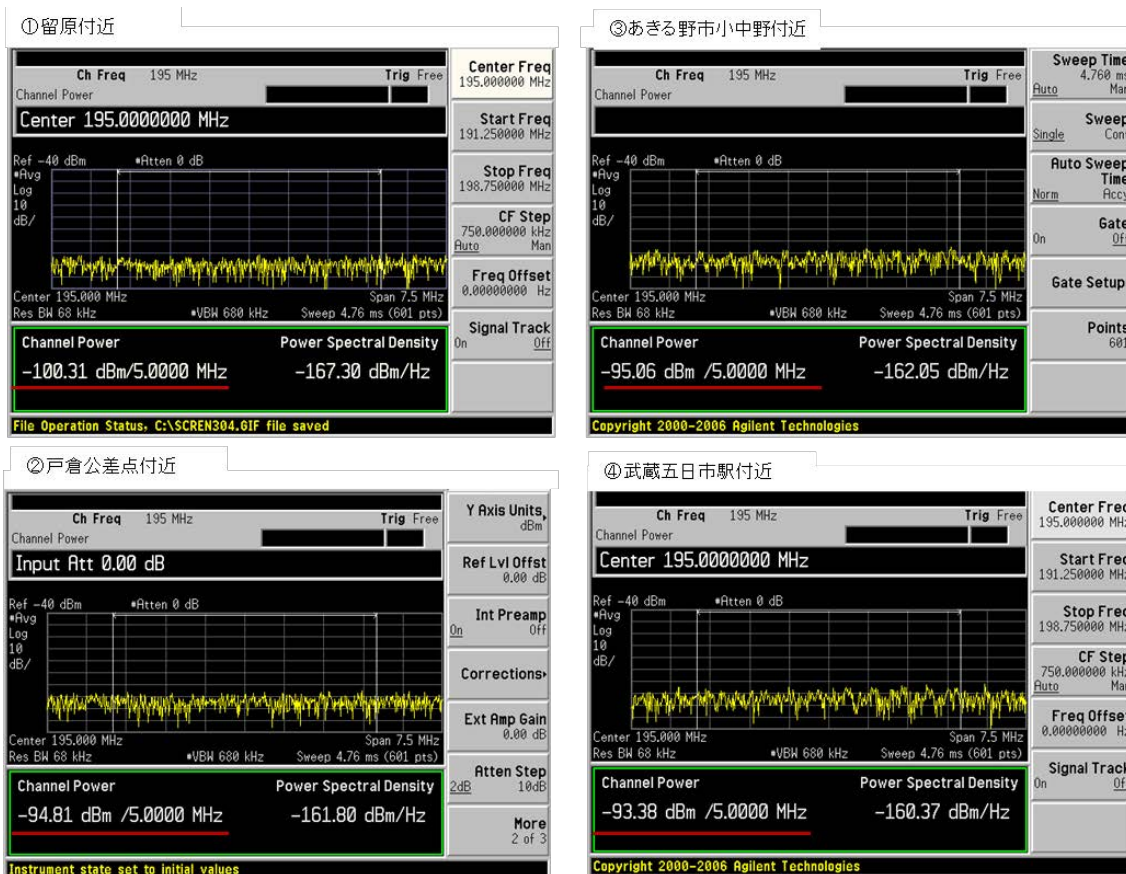
アーバンエリアにおける都市雑音は、ITU-R 勧告 P.372-9 に従って計算した結果(表参 9-3)とほぼ一致する結果を得た。ただし、場所によっては 4~7dB 程度計算値より雑音電力が高い傾向にある箇所も観測された。回線設計においては、実環境を考慮したマージンを検討することが有効である。

表参 9-3 都市雑音 (ITU-R 勧告 P.372-9)

周波数[MHz]	195
帯域[MHz]	5
気温[°C]	6 (実験期間の日中温度平均)
都市雑音 (dBm/5MHz)	
都市部	-93.79
郊外	-98.09
開放地	-103.39

② ルーラルエリアにおける都市雑音の測定結果

ルーラルエリアにおける都市雑音の測定結果を図参 9-11 に示す。JR 武蔵五日市駅周辺 4 地点の都市雑音をスペクトラムアナライザで測定した。

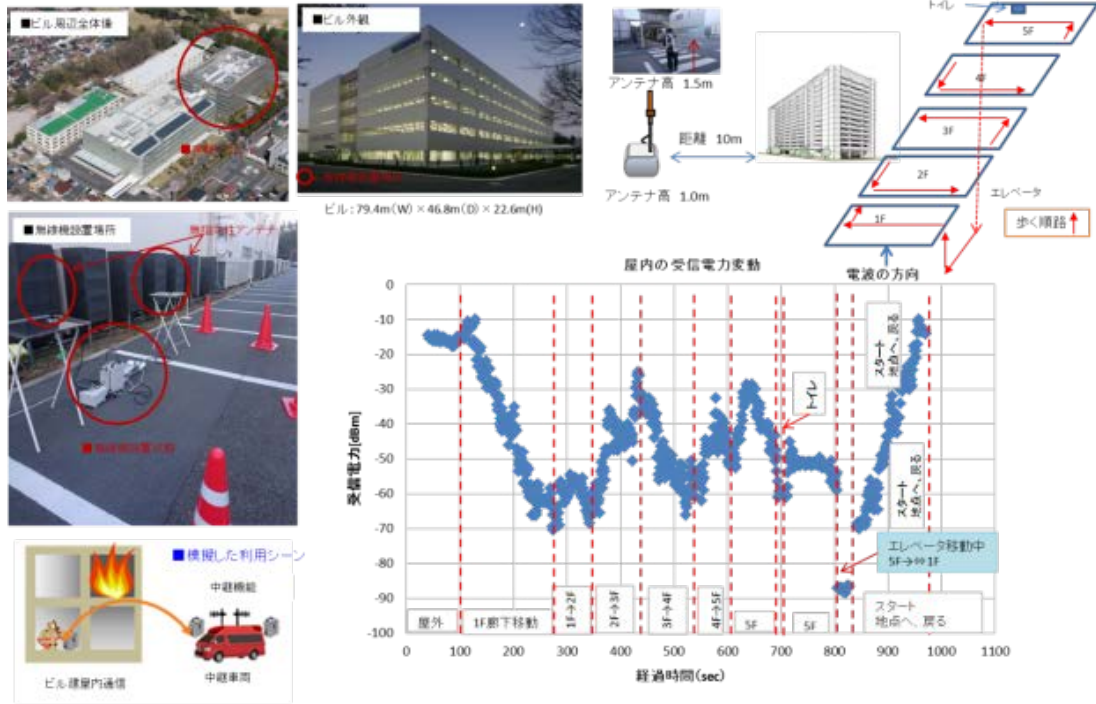


図参 9-11 都市雑音測定結果（ルーラルエリア）

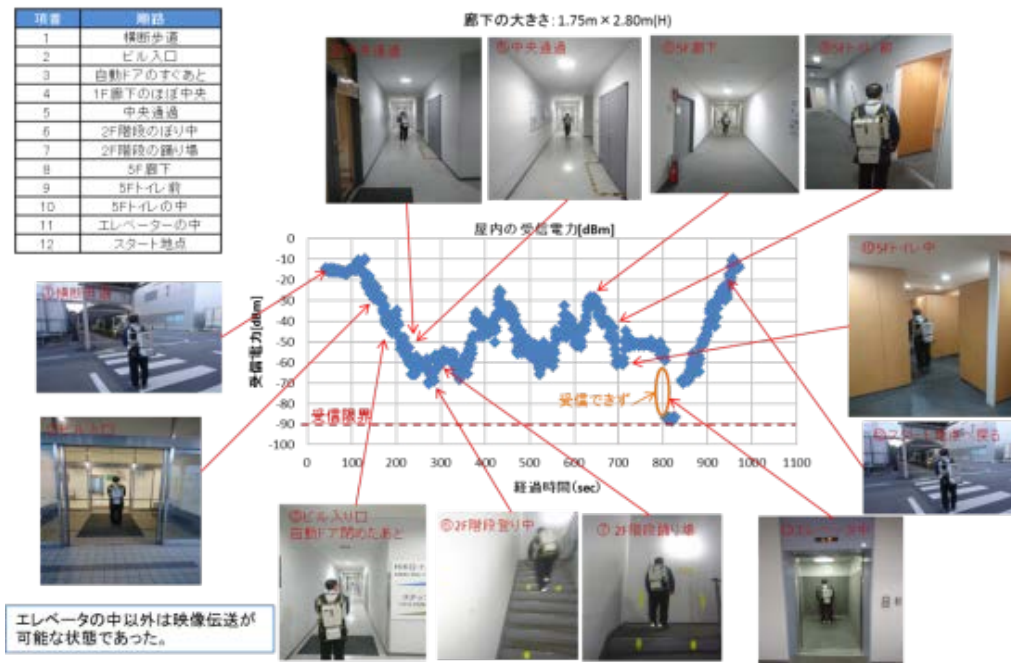
ルーラルエリアにおける都市雑音は、いずれも ITU-R 勧告 P. 372-9 に従って計算した結果(表参 9-3)より、3~4dB 程度雑音電力が高い傾向にあった。回線設計においては、実環境を考慮したマージンを検討することが有効である。

(4) ビル建屋内における受信電力の変動の確認（参考）

ビル建屋内における受信電力測定結果を図参 9-12、9-13 に示す。今回使用したビル内部では、エレベータを除き、1F~5F までの全ての場所について、通信が可能という結果を得た。ビル建屋内においても、窓からの透過等の事象により通信が可能であったものと想定される。



図参 9-12 ビル建屋内での受信電力測定結果 (1/2)



図参 9-13 ビル建屋内での受信電力測定結果 (2/2)

4. 実証実験結果全体まとめ

海上多段中継利用実証試験結果まとめを表参9-3に、陸上多段中継利用実証試験結果まとめを表参9-4に示す。いずれも多段中継利用の要求条件を満たすことが確認された。

表参 9-3 海上多段中継利用実証試験結果まとめ

利用シーン	項目	周波数分割制御(2分割)
■海上(ルーラル) 陸上⇔船舶⇔陸上 海上多段中継 (約43km) QPSK	スループット[kbps]	756(DL/UL比 9:38)
	PER[%]	0
	実効IPレート[kbps]	695
	伝送遅延時間[msec]	65
	通信内容	動画伝送(320kbps)

利用シーン	項目	陸上⇔小型船舶	陸上⇔大型船舶
■陸上⇔船舶間 単一回線(近距離) (約2km) 64QAM DL/UL比 9:38	スループット[Mbps]	6.93	6.93
	PER[%]	0.00	0.00
	実効IPレート[Mbps]	5.34	5.34
	伝送遅延時間[msec]	30	34
	通信内容	動画伝送(4Mbps) 音声(120kbps)	動画伝送(4Mbps) 音声(120kbps)
■陸上⇔船舶間 単一回線(遠距離) (約14Km) QPSK DL/UL比 9:38	スループット[Mbps]	1.84	1.84
	PER[%]	0.068~2.2	0.00
	実効IPレート[Mbps]	1.47	1.76
	伝送遅延時間[msec]	34	31
	通信内容	動画伝送(1.0Mbps) 音声(120kbps)	動画伝送(1.5Mbps) 音声(120kbps)
利用シーン	項目	大型船舶:アップリンク	小型船舶:ダウンリンク
■船舶⇔船舶間 単一回線(近距離) (約1km) 16QAM DL/UL比 9:38	スループット[Mbps]	3.69	0.86
	PER[%]	0.001~0.02	0.001~0.01
	実効IPレート[Mbps]	3.45	0.82
	伝送遅延時間[msec]	32	32
	通信内容	動画伝送(2.5Mbps)	データ伝送(800kbps)

表参 9-4 陸上多段中継利用実証試験結果まとめ

利用シーン	項目	周波数分割制御(2分割)	セグメント分割制御(3分割)	蓄積型時分割制御
■陸上(アーバン) ビル⇔車両⇔車両 陸上多段中継 (約5.0km) QPSK	スループット[kbps]	756(DL/UL比 9:38)	504(DL/UL比 9:38)	1386(DL/UL比 9:38)
	PER[%]	0~0.18	0~0.38	0~0.33
	実効IPレート[kbps]	674	428	1310
	伝送遅延時間[msec]	67	65	--
	通信内容	動画伝送(500kbps)	動画伝送(330kbps)	データ伝送(PN23)
■陸上(ルーラル) 車両⇔車両⇔車両 陸上多段中継 (約4.4km) QPSK	スループット[kbps]	756(DL/UL比 9:38)	504(DL/UL比 9:38)	1386(DL/UL比 9:38)
	PER[%]	0~0.94	0~0.011	0~0.15
	実効IPレート[kbps]	623	462	1321
	伝送遅延時間[msec]	70	65	--
	通信内容	動画伝送(500kbps)	動画伝送(330kbps)	データ伝送(PN23)

国際 VHF との共用に関する具体的な検討

公共ブロードバンド移動通信システムの海上利用を行うため、船舶へ搭載して運用する場合における近接する船舶に設置された既設の国際 VHF への与干渉検討を行った。

1. 干渉パラメータ

国際 VHF 無線システムへの与干渉検討を行うための干渉パラメータは、表参10-1 のとおりである。

表参10-1 干渉パラメータ例

項目	公共ブロードバンド 移動通信システム	国際 VHF	備考
周波数 (MHz)	170~202.5	156~162	
空中線電力 (W)	最大 5	25	
占有周波数帯幅	最大 4.9MHz	16kHz	
受信感度	-	2 μ V 以下 (20dB _{NQ})	無線設備規則第 58 条の 2 項
下側隣接周波数帯域に 対する最大漏えい電力	1 μ W/100kHz 以下 (-38dBm/16kHz 以下)	-	総務省告示
空中線利得	10dBi	2.14dBi	
給電線損失	2dB	2dB	
空中線高	20m	20m	

2. 干渉検討方法

- (1) 公共ブロードバンド移動通信システムの不要発射を与干渉として検討する。
- (2) 国際VHFの所要D/UIは10dBとして仮定する。
- (3) 伝搬は、二波モデルに基づき計算する。
- (4) 必要な離隔距離を算出する。

3. 共用検討の結果

(1) 国際VHFへの与干渉

国際VHFと公共ブロードバンド移動通信システムの各無線局との必要離隔距離は、2.1kmであった。なお、他の無線局への干渉回避のためのフィルターを具備することによって、必要離隔距離を90m程度に短縮することが可能となることがわかった。

国際VHFの搭載が義務付けられている程度の大きさの船舶が衝突回避するまでの停止距離は約5kmであり、海上航行中に船舶間が5km以内に近接することは想定されないため、共用が可能であることとなる。

(2) 国際 VHF からの被干渉

国際 VHF は占有帯域幅が 16kHz であり、公共ブロードバンド移動通信システムと比較して狭帯域のシステムといえる。これらのシステムの帯域外領域とスプリアス領域の境界は帯域幅の 2.5 倍と考えると最大 40kHz であり、周波数差が 40kHz 以上あれば、国際 VHF からの公共ブロードバンド移動通信システムの被干渉はいずれもスプリアス領域における干渉となる。

ここで、狭帯域システムのスプリアス不要輻射は一般的に狭帯域となり、公共ブロードバンド移動通信システムが受ける被干渉は狭帯域干渉となることから、その影響は比較的小さいと考えられる。以上により、公共ブロードバンド移動通信システムと国際 VHF は共用可能である。