

「中山間地域における公共 B B の有効利用を図るための
上空利用に関する調査検討会」
－ 報告書（概要）－

令和 2 年 3 月 11 日

中山間地域における公共 B B の有効利用を図るための上空利用に関する調査検討会

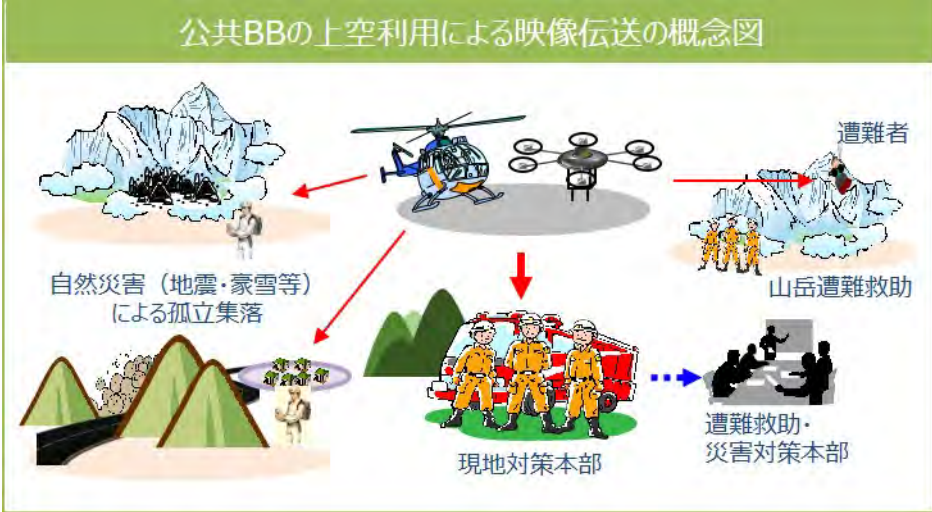
目次

1. 調査検討の概要
2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と
技術諸条件の検討
3. 共用検討
4. 調査検討まとめ

1. 調査検討の概要

1-1. 調査の背景、目的 (1/2)

・調査検討の背景等及び公共BBの上空利用による映像伝送の概念図を示す。



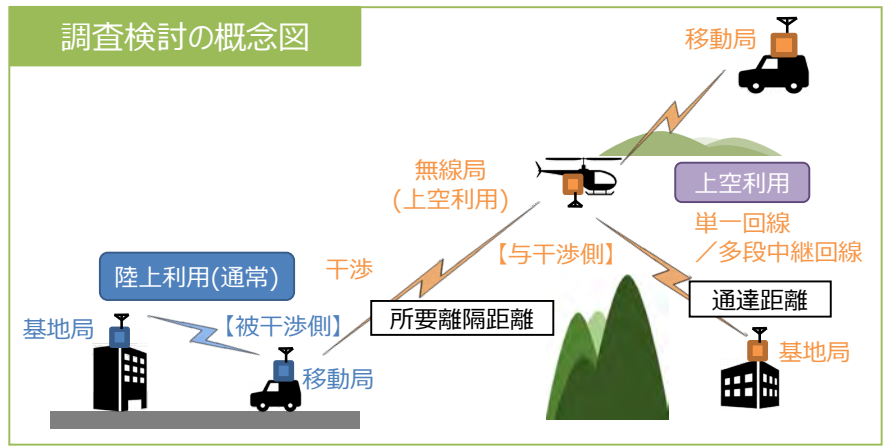
・現在、陸上及び海上からの長距離映像伝送が可能な「公共BB」の特性を生かし、上空利用への拡大とその有用性、技術的条件等を検討

| | |
|--------|--|
| 背景 | 信越地域の地勢は、約半分が山間地域、かつ、日本有数の豪雪地域 近年、自然災害が頻発（土砂崩れや雪害、集落の孤立化、山岳遭難） |
| ニーズ | 救急・救命活動等（集落の孤立化、山岳遭難、二次被害の防止） 救助隊の規模、装備品など、災害・救難現場の状況を把握及び迅速な検討 |
| 課題 | 険しい地勢のもと容易に災害・救難現場への進入が困難であり、その状況を迅速に把握できないことが想定される。 |
| 方策 | 上空からの映像伝送による現場状況の把握が効果的 |
| 目標 | 中山間地域における公共BBの有効利用を図るための上空利用について、 令和元年度までに当該利用に係る技術的検討を行う。 |
| 対象周波数帯 | 公共ブロードバンド帯域（200MHz帯） |
| 実施期間 | 令和元年度 |

1. 調査検討の概要

1-1. 調査の背景、目的 (1/2)

・調査検討の概念図及び公共BBの主要な技術条件・規格を示す。



| 項番 | 項目 | 公共BBの無線設備規則等に規定される主要な技術的条件・規格 |
|----|--------------|-------------------------------|
| 1 | 周波数帯 | VHF帯 (170~202.5 MHz) |
| 2 | 周波数の許容偏差 | $\pm 5 \times 10^{-6}$ 以内 |
| 3 | チャンネル帯域幅 | 5 MHz |
| 4 | 占有周波数帯幅 | 4.9 MHz 以下 |
| 5 | 空中線電力 | 5 W 以下 |
| 6 | 空中線電力の許容偏差 | +50 %, -50 % |
| 7 | 隣接チャンネル漏えい電力 | 隣接 -21 dBc 以下, 次隣接 -41 dBc 以下 |
| 8 | 送信空中線絶対利得 | 10 dBi 以下 (給電線損失を補う分の増加を認める) |
| 9 | 通信方式 | TDD方式 |
| 10 | 多重化方式 | OFDM/OFDMA |
| 11 | 変調方式 | QPSK, 16QAM, 64QAM |

1. 調査検討の概要

1-2. 調査検討項目

本調査検討会の実施項目を示す。

| 項番 | 主要実施項目 | 詳細項目 |
|-----|--------------------|--|
| (1) | 屋内実証試験 | [1]公共BB基本特性取得及び評価に必要な各種パラメータを取りまとめ ・受信電力-BER特性試験 ・同一波干渉、隣接チャンネル干渉及び次隣接チャンネル干渉試験 [2]電波伝搬モデル検討 [3]干渉モデル及び通達距離に関するシミュレーション [4]上空利用に適する多段中継方式の選定 |
| | 屋外実証試験 (※) | [1]上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成 ・無積雪期及び積雪期 [2]利用形態の事例に係る実証試験 ・単一回線 (P-P) ・多段中継利用 (通信距離の拡大) ※ 上空利用：無人航空機及び航空機を想定。なお、本実証試験では類似の試験環境 (山岳高所) を用いるものとする。ただし、公開実証試験を除く。 |
| (2) | 共用検討 | 周波数共用条件 ・同一システム間 (屋内試験及び机上検討、同一波における屋外実証) ・隣接周波数帯の他のシステム間 (総務省が実施した過去の技術検討をはじめ、検討に必要な文献を参考とする) |
| (3) | 改正すべき技術基準 | 上記 (1) 及び (2) の検討結果を踏まえ、改正すべき技術基準をとりまとめる。 |
| (4) | その他 (付随する事項の検討) | 本検討事項を達成するために必要な事項を検討しとりまとめる。 |

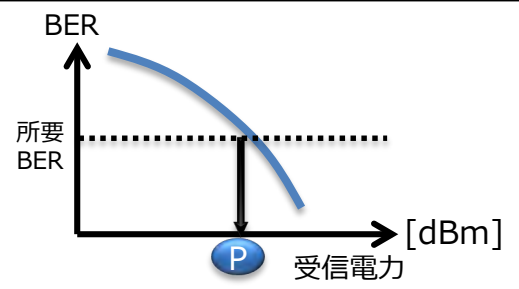
1. 調査検討の概要

1-3. 実施方法 (屋内実証試験の概要)

①受信電力 - BER特性

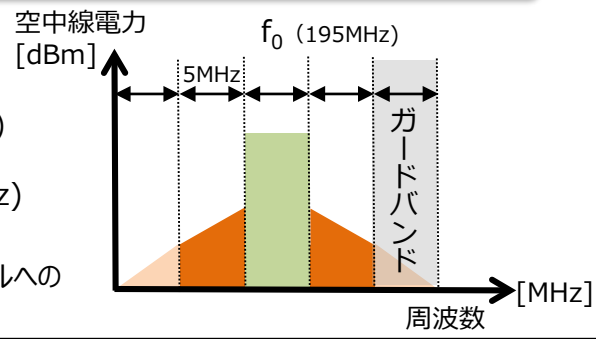
受信電力ごとのBER測定

所要BER :
データ通信の所要回線品質



②同一波干渉、隣接チャネル干渉及び次隣接チャネルの基礎特性

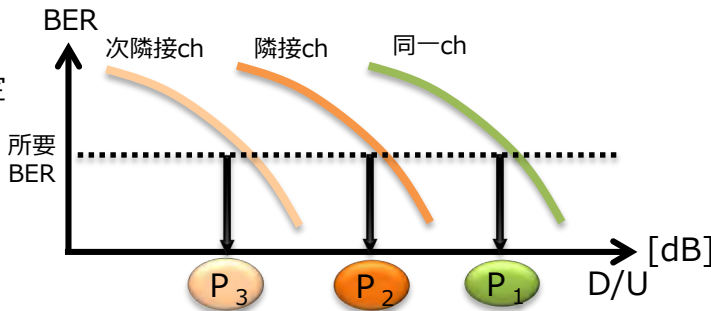
送信波における
使用チャネル($f_0=195\text{MHz}$)
隣接チャネル($f_0\pm 5\text{MHz}$)
次隣接チャネル($f_0 - 10\text{MHz}$)
の電力を測定
隣接チャネル、次隣接チャネルへの
影響を検証



③D/U - BER特性

希望波と干渉波の
干渉影響度を測定

D : 希望波電力
U : 干渉波電力



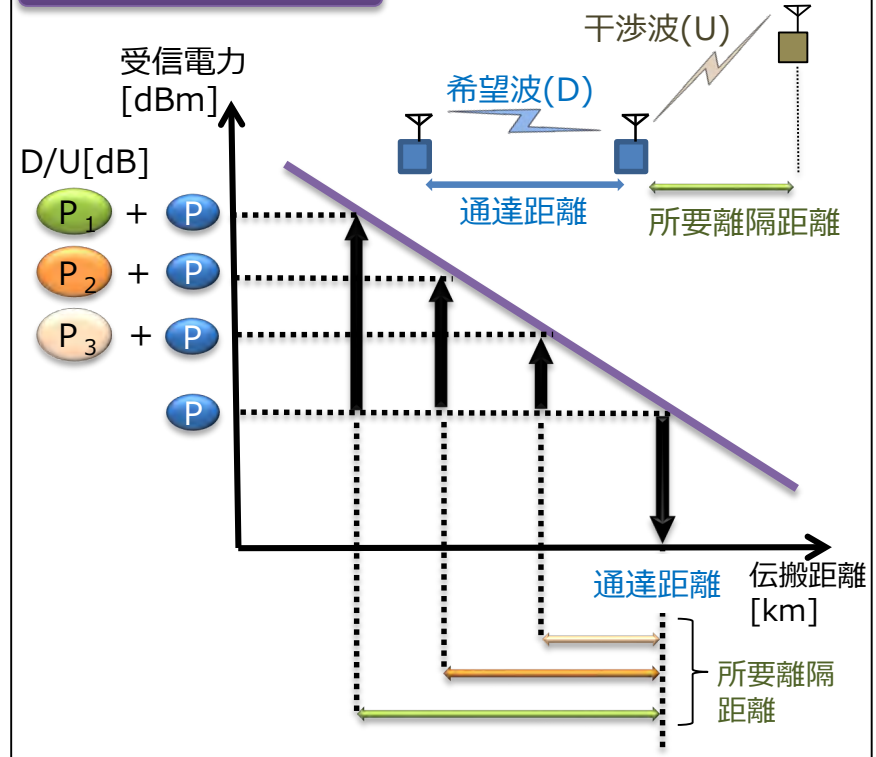
[1]主要評価項目 :

- ①受信電力-BER
- ②スペクトラム特性 (送信)
- ③D/U-BER特性

[2][3]机上検討 :

- ④電波伝搬モデル及び①～③の結果から
到達距離と 所要離隔距離を導出

④伝搬距離 - 受信電力



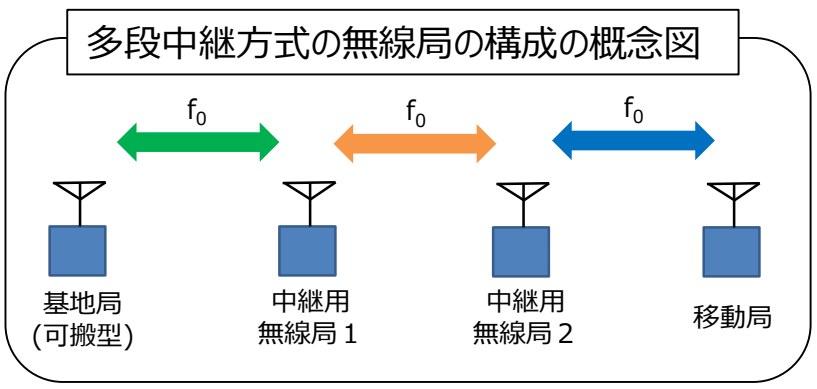
1. 調査検討の概要

1-4. 実施方法（多段中継方式の選定）

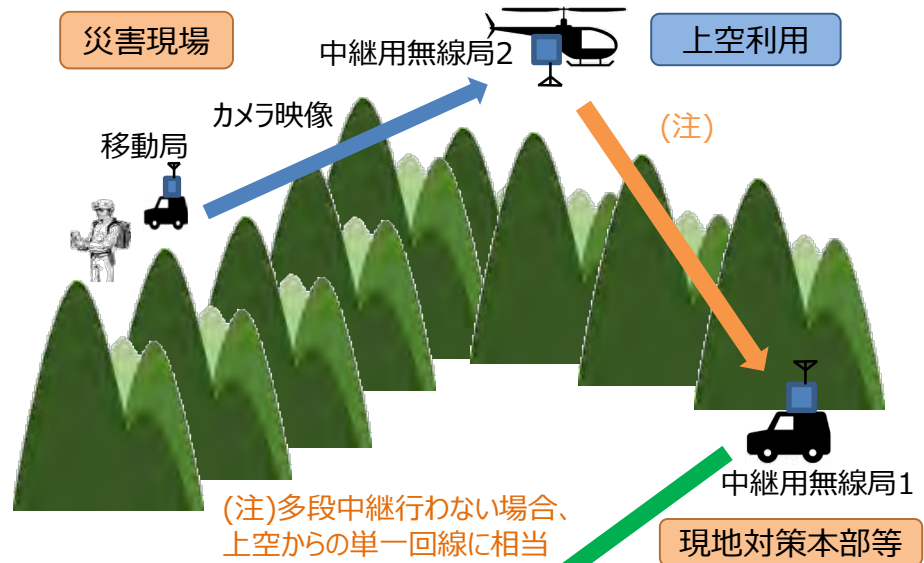
[4]上空利用に適する多段中継方式の選定：

一周波数により中継を行う複数の制御方式について、単一回線利用及び多段中継利用（無線区間2以上）を考慮した机上検討を実施

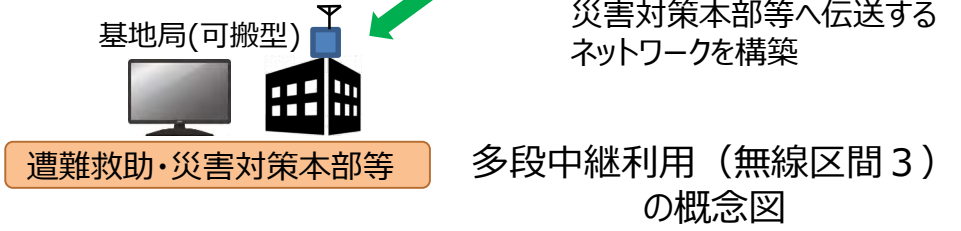
以下、一周波数(f_0)による、多段中継方式の無線局の構成の概念図及び多段中継利用（無線区間3）の概念図を示す。



本実証試験で使用した公共BB試験装置外観図



●災害現場からのカメラ映像を上空の中継用無線局を介して災害対策本部等へ伝送するネットワークを構築

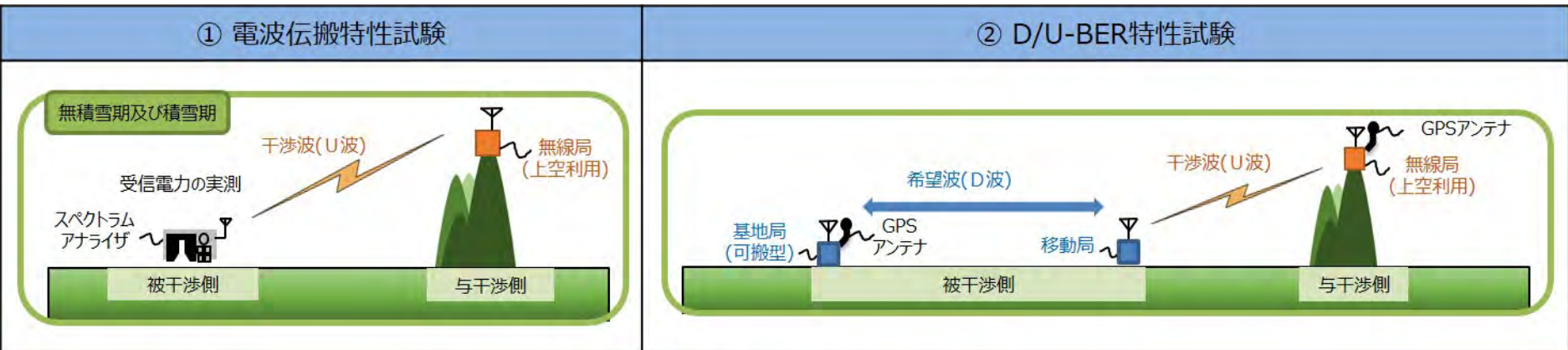


1. 調査検討の概要

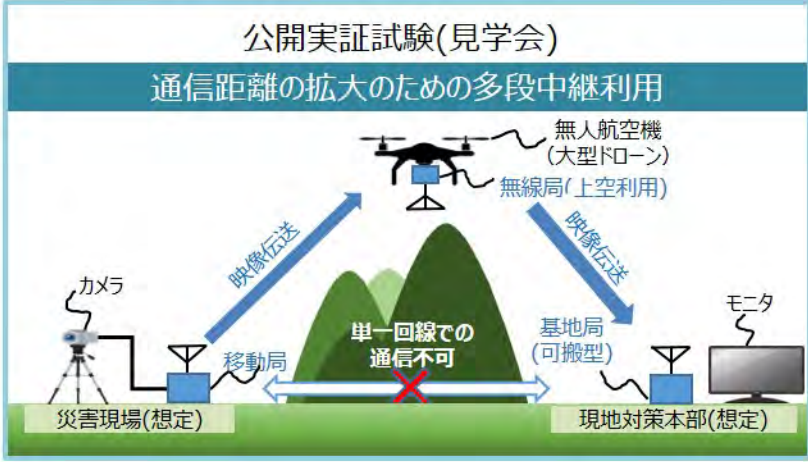
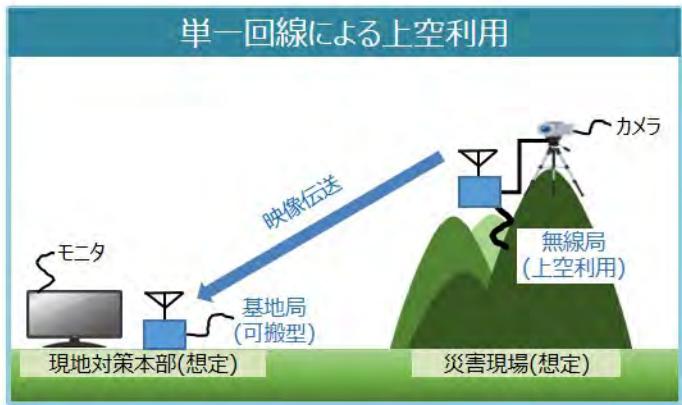
1-5. 実施方法（屋外実証試験の概要）

[1] 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

- ①電波伝搬特性試験 : 山岳高所からの送信波の受信電力及びスペクトラム特性測定（無積雪期、積雪期）
- ②D/U-BER特性試験 : 希望波(D)、干渉波(U)のBER特性測定
- ③利用形態に係る実証試験 : 単一回線、多段中継回線（無線区間2）による映像伝送試験



③ 利用形態に係る実証試験



1. 調査検討の概要

1-6.実施方法（共用検討）

共用条件の検討方法及び進め方について示す。



周波数共用条件等の導出に向け、「同一周波数帯システム間」及び「隣接周波数帯の他のシステム間」の2つに分けて検討を進める。

➤ 同一周波数帯システム間の共用条件検討：

屋内実証試験結果及び電波伝搬モデルの減衰特性及び同一波における屋外実証試験結果に基づき、通達距離及び所要離隔距離の試算結果を考慮し検討する

➤ 隣接周波数帯の他のシステム間の共用条件検討：

総務省が実施した過去の技術検討結果等を参考とし検討する。

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-1. 公共BB基本特性取得及び評価に必要な各種パラメータの取り纏め

① 受信電力 - BER特性

● 受信電力-BER特性 (公共BB 基本特性取得)

受信電力-BER(Bit Error Rate : ビット誤り率)の測定結果を示す。

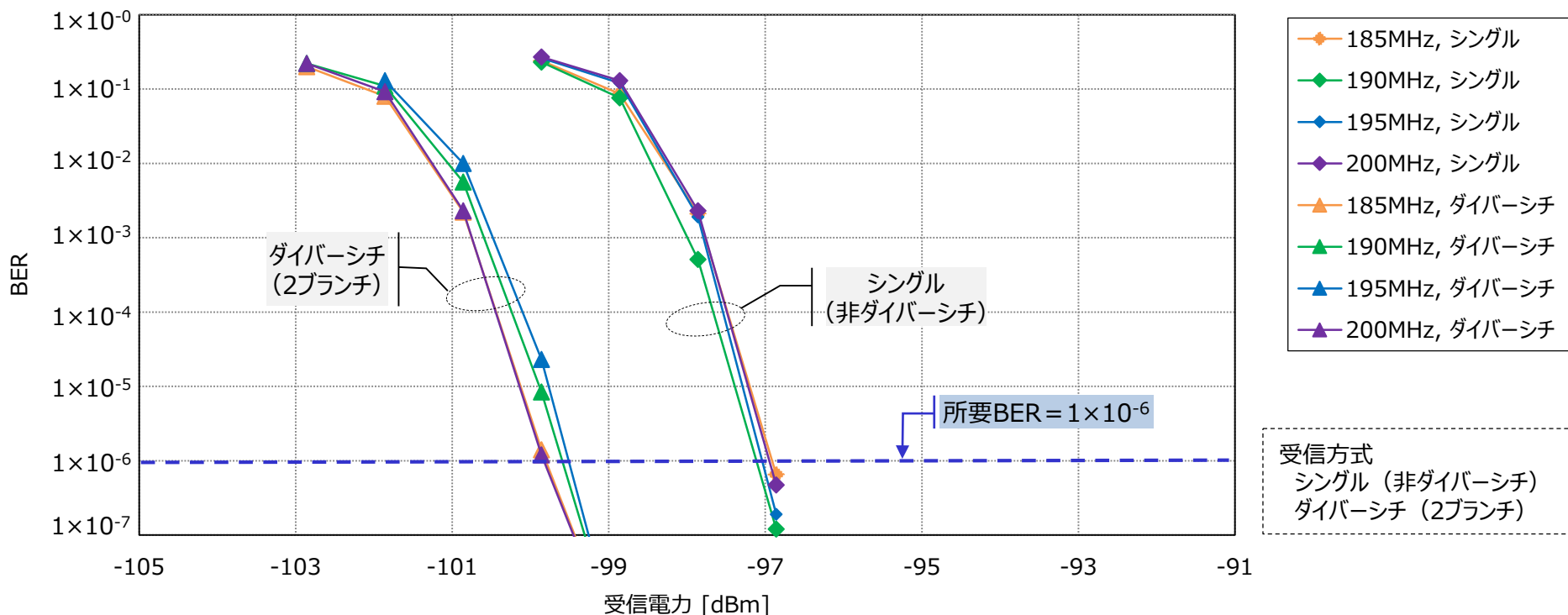
・公共ブロードバンドにおける従来(情報通信審議会報告ほか)からの評価指標 : $BER = 1 \times 10^{-6}$

| 受信方式 | 所要BER = 1×10^{-6} のときの受信電力 (※) |
|----------------|---|
| シングル (非ダイバーシチ) | -97 dBm |
| ダイバーシチ (2ブランチ) | -100 dBm |

(※) フェージング特性なし (静特性)

実測結果① :

左記の実測値を用いて、通達距離及び所要離隔距離のシミュレーション(計算)を実施する。



2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-1. 公共BB基本特性取得及び評価に必要な各種パラメータの取り纏め

②スペクトラム特性

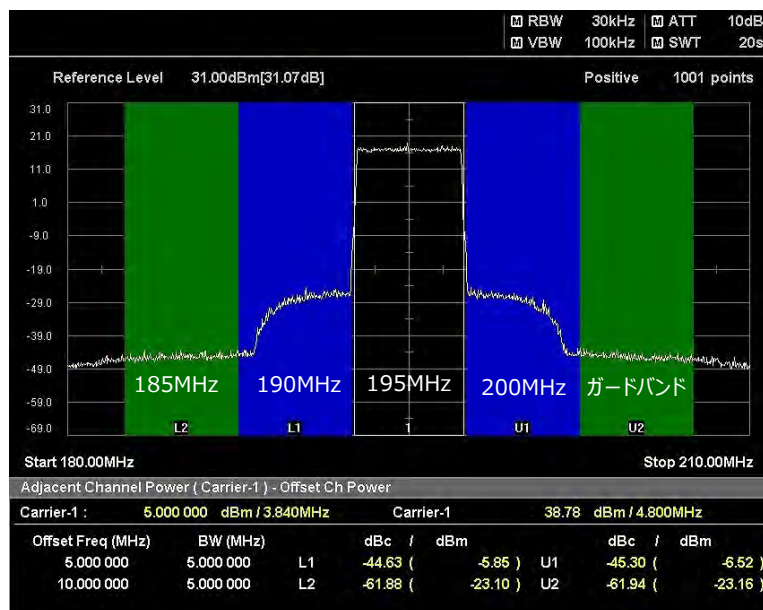
●スペクトラム特性（公共BB 基本特性）

試験装置（空中線電力1W機、5W機）それぞれのスペクトラム特性の実測値を示す。

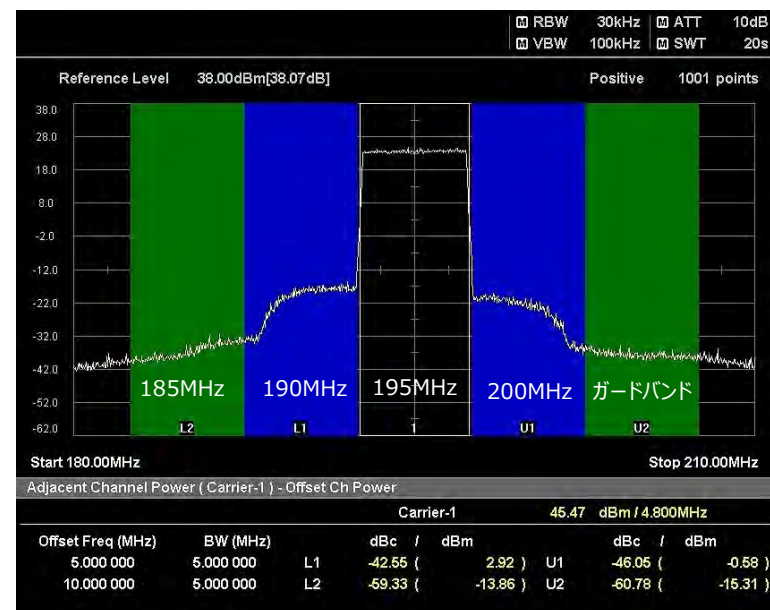
| 空中線電力 | 隣接及び次隣接チャンネル漏えい電力 | | |
|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | 185MHz (次隣接ch) | 190MHz (隣接ch) | 200MHz (隣接ch) |
| 1W | -61.9 dBc | -44.6 dBc | -45.3 dBc |
| 5W | -59.3 dBc | -42.6 dBc | -46.1 dBc |
| 無線設備規則 第四十九条の三十 | -41 dBc以下 | -21 dBc以下 | -21 dBc以下 |

結果：

無線設備規則の規定値に対して、隣接／次隣接チャンネル漏えい電力の測定結果は、実力値として約20dBのマーヅンがあることが認められた。



空中線電力=1W(30dBm)



空中線電力=5W(37dBm)

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-1. 公共BB基本特性取得及び評価に必要な各種パラメータの取り纏め

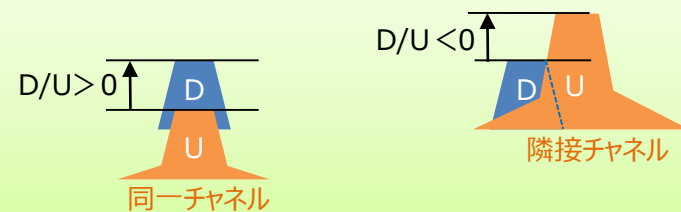
③D/U-BER特性

- D/U-BER特性（公共BB 基本特性）
D/U-BERの測定結果を示す。

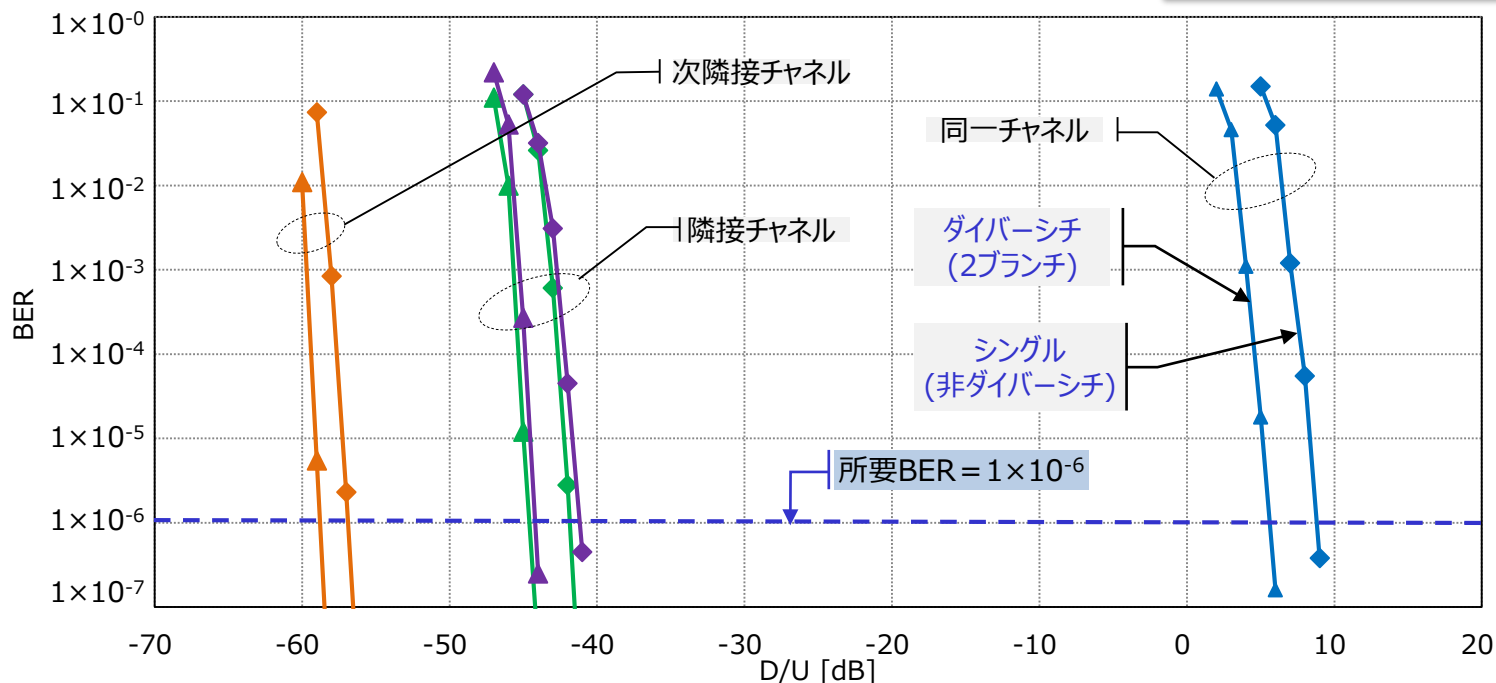
| 干渉波 | 所要BER=1×10 ⁻⁶ のときのD/U | |
|----------|----------------------------------|----------------|
| | シングル (非ダイバーシチ) | ダイバーシチ (2ブランチ) |
| 同一チャンネル | +9 dB | +6 dB |
| 隣接チャンネル | -42 dB | -45 dB |
| 次隣接チャンネル | -56 dB | -59 dB |

実測結果②：
左表の結果を用いて、所要離隔距離のシミュレーション（計算）を実施する。

干渉波(U)種別とD/Uの関係（概念図）



(注)D/U-BER測定時の希望波(D)の受信電力は、
受信電力-BER測定結果の所要受信電力+3dBとした



受信方式
シングル (非ダイバーシチ)
ダイバーシチ (2ブランチ)

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-2. 干渉モデル及び通達距離に関するシミュレーション

① 電波伝搬モデル(計算式)、通達距離モデル、干渉モデル、評価パラメータ

電波伝搬モデル(計算式)

自由空間伝搬損失

$$P_r = G_t \cdot G_r \cdot P_t / L_b$$

$$L_b = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

L_b : 基本伝送損

λ : 波長 ($\lambda = c/f$)

c : 光速 (299,792,458 [m/sec])

f : 周波数 [Hz]

d : 送受信アンテナ間距離 [m]

G_t : 送信アンテナ利得

G_r : 受信アンテナ利得

P_t : 空中線電力

P_r : 受信電力

大地反射 2 波モデル

$$P_r = G_t \cdot G_r \cdot P_t \cdot G$$

$$G = (G_E)^2$$

$$G_E = \frac{\lambda}{4\pi D} |1 - \exp(jk\Delta l)| = \frac{\lambda}{2\pi D} \left| \sin \frac{k\Delta l}{2} \right|$$

G_E : 受信電圧利得

λ : 波長 ($\lambda = c/f$)

c : 光速 (299,792,458 [m/sec])

f : 周波数 [Hz]

D : 送受信アンテナを地面に垂直に下したときの地点間距離 [m]

k : 波数 ($k = 2\pi/\lambda = 2\pi f/c$)

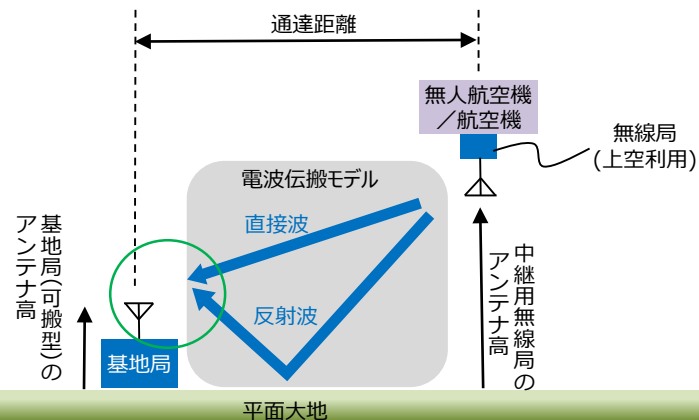
Δl : 行路差 ($\Delta l = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + D^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + D^2}$)

h_t : 送信アンテナ高 [m]

h_r : 受信アンテナ高 [m]

電波伝搬モデル(計算式)、通達距離モデル、干渉モデル、評価パラメータを示す。

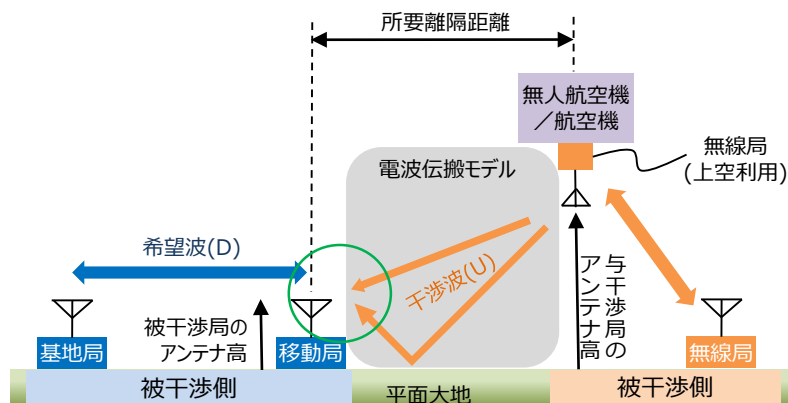
通達距離 (想定モデル)



上空利用における干渉モデルの評価パラメータ

| 項番 | パラメータ | 設定条件 | 選定理由 | |
|----|-------|--------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | 空中線電力 | 1W, 5W | 上空利用における無線局を想定 | |
| 2 | 周波数 | 200MHz, 195MHz, 190MHz, 185MHz | 同一チャネルからの同一チャネル/隣接チャネル/次隣接チャネルへの干渉の影響を想定 | |
| 3 | 高さ | 送信側 (与干渉側) | 約150m 約1,000m 約2,000m | 無人航空機 (ドローン) 及び航空機 (ヘリコプター) を想定 |
| | | 受信側 (被干渉側) | 2m | 地上利用の一般的な公共BB(被干渉側)の移動局。車載運用を想定 |
| | 利得 | 送信側 | 2.15dBi | 上空利用として、無指向性アンテナを想定 |
| | | 受信側 | 2.15dBi | 一般的な公共BB(被干渉側)の移動局用車載ホイップアンテナを想定 |

所要離隔距離 (想定モデル)



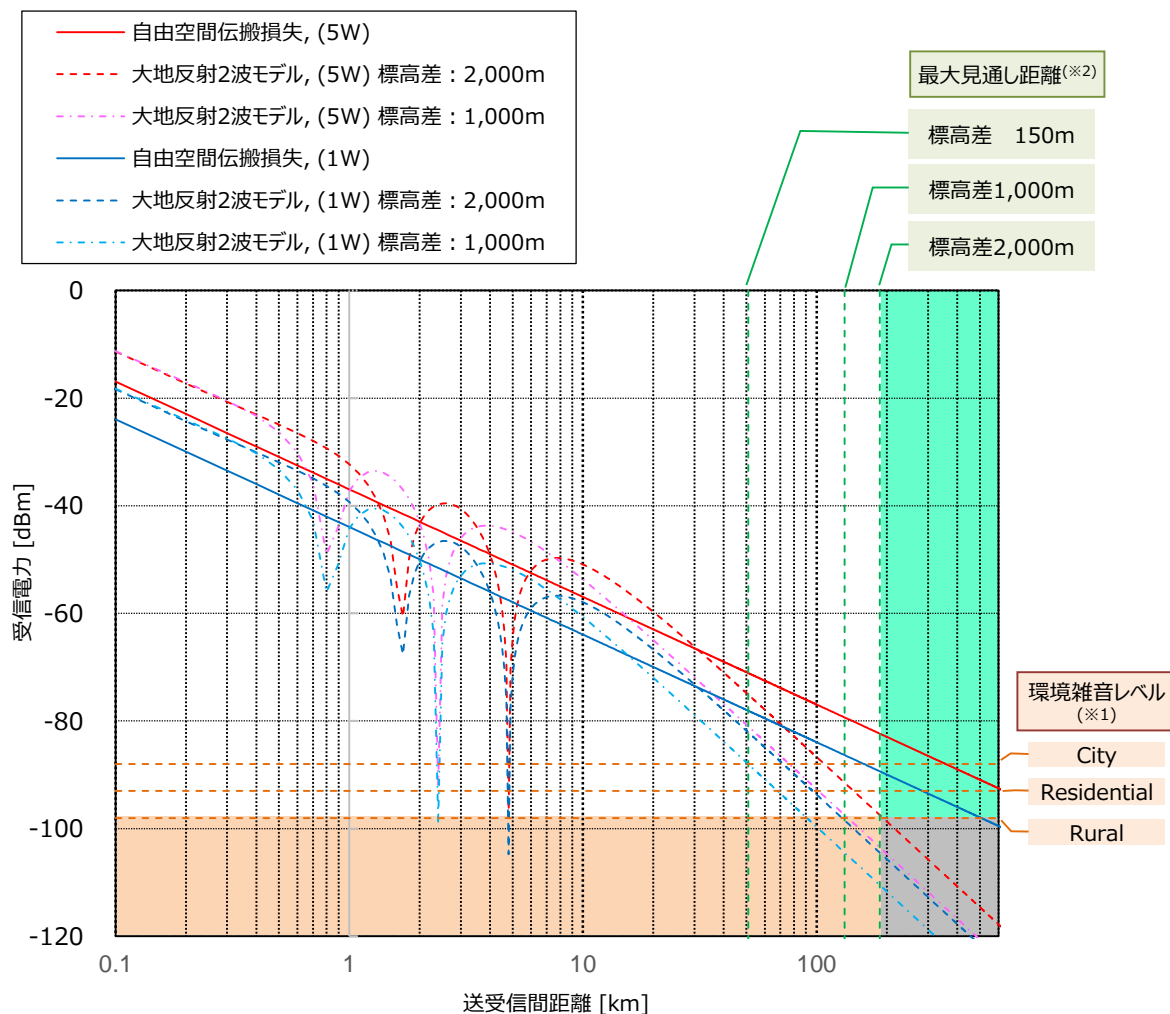
2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-2. 干渉モデル及び通達距離に関するシミュレーション

② 電波伝搬モデル(減衰特性)

電波伝搬モデル(自由空間伝搬損失、大地反射2波モデル)の減衰特性の試算結果を示す。

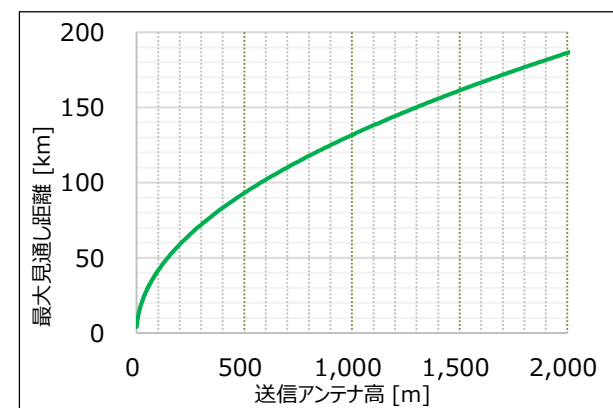
電波伝搬モデル (減衰特性)



環境雑音電力(※1)

| 環境条件 | 雑音電力 (※3) |
|------------------|-----------|
| 室内有線接続環境 | -103 (※4) |
| Rural(ルーラル) | -98 |
| Residential(居住地) | -93 |
| City(都市部) | -88 |

等価地球半径に基づく最大見通し距離(※2)



- ※1 ITU-R勧告 P372-9に基づき算出
- ※2 等価地球半径係数 $K=4/3$ にて算出
- ※3 単位: 195MHz時の[dBm/5MHz]
- ※4 屋内実証試験時の測定結果

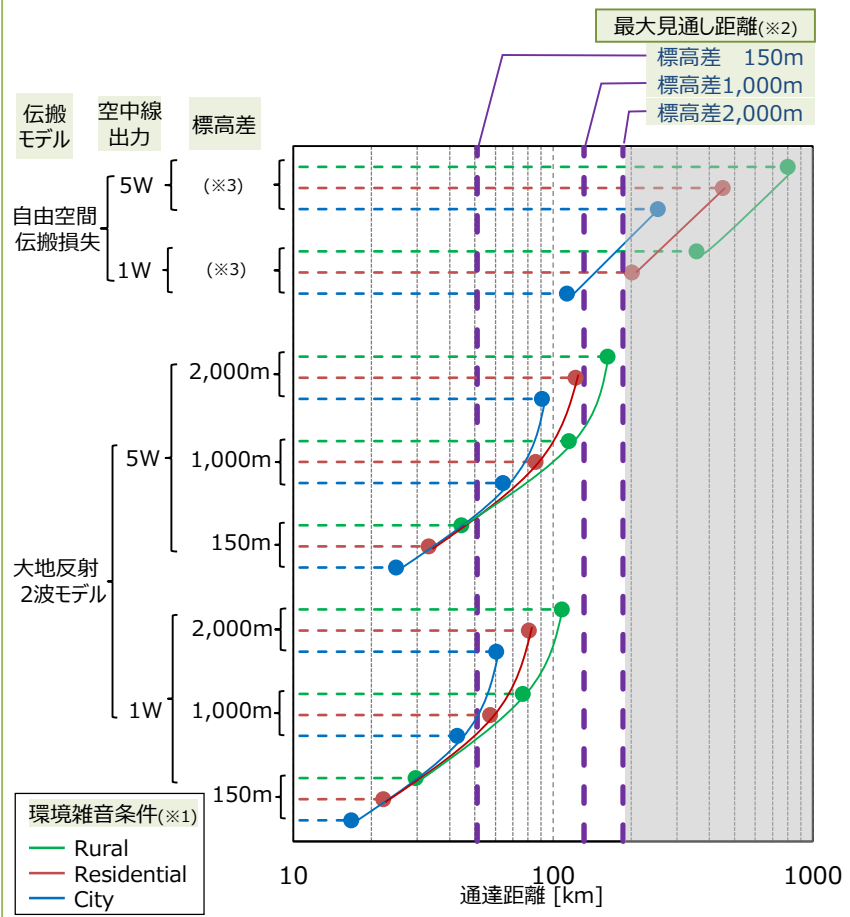
2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-2. 干渉モデル及び通達距離に関するシミュレーション

③ 通達距離、所要離隔距離 (机上計算)

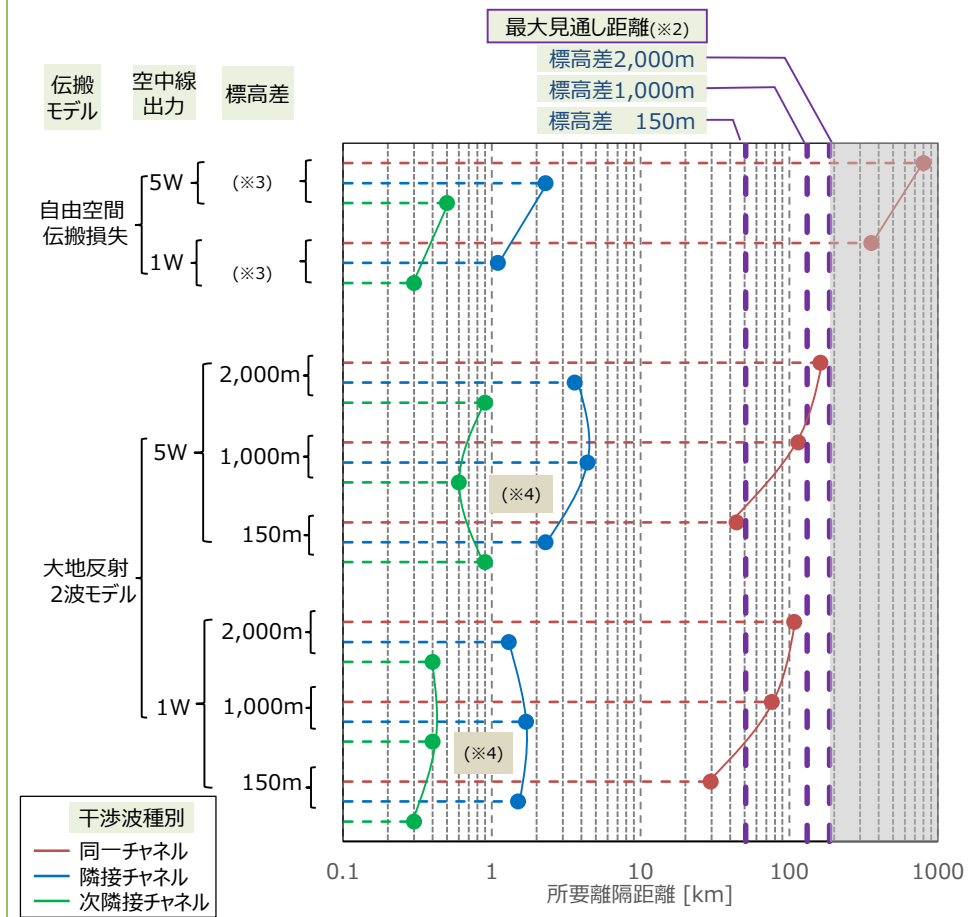
屋内実証試験結果、及び、電波伝搬モデルに基づく、通達距離及び所要離隔距離の試算値を示す。

通達距離 (※6)



- ※1 ITU-R勧告 P372-9に基づき算出
- ※2 等価地球半径係数 $K=4/3$ にて算出
- ※3 自由空間伝搬損失に標高差パラメータなし

所要離隔距離 (※5, ※6)



- ※4 dipの特異点により、所要離隔距離の上下に変化あり
- ※5 環境雑音(Rural)での試算値
- ※6 受信アンテナ=ダイバーシチでの試算値

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-3. 上空利用に適する多段中継方式の選定

[4] 上空利用に適する多段中継方式の選定

上空利用に適する通信距離の拡大のための多段中継方式の選定は以下の考え方とする。

① 上空利用の要件：

- ・無線局が極力軽量であること
- ・無線区間 2 区間以上の多段中継に適すること
(通信距離拡大の方策として、「無線区間 2」に関わらず、利用シーンに応じて更なる無線区間の追加可能なことが望ましい)
- ・多段中継方式としては、現行無線設備規則に規定される、3 方式からの選定が適当

② 選定結果： A方式が最も適当と想定される

③ 選定理由：

A方式の優位性

- ・A方式は、中継用無線局を 1 装置で実現できるのに対し、B方式及びC方式は、2装置が必要
- ・A方式は、中継用無線局間の空中線のアイソレーションを考慮する必要がなく、無指向性アンテナが容易に利用でき、運用上の利便性が高い
- ・A方式は、原理的に、多段中継段数が無制限^(注)であり、通信距離の拡大に有効

● 多段中継方式の特徴：

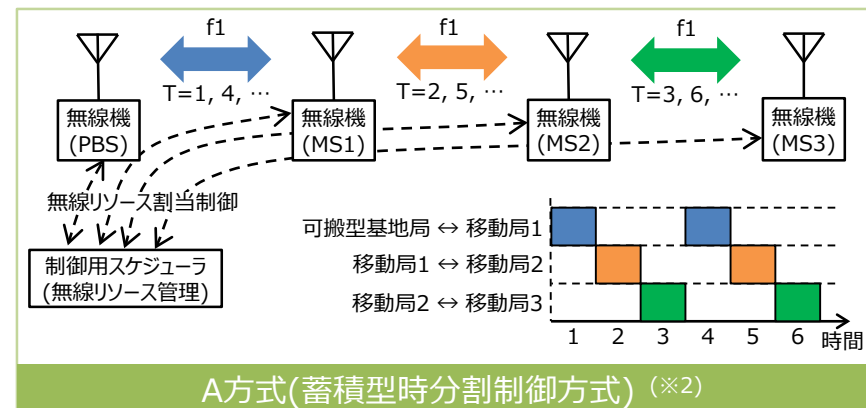
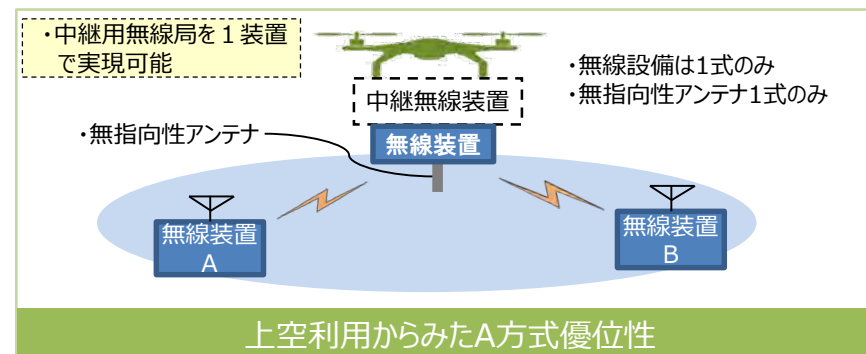
(注)多段中継方式は、A、B及びC方式のいずれも、それぞれ中継段数、周波数あるいはセグメントの分割数を大きくすると、中継段数を増やすことが可能となる一方で、伝送速度は低下する。(B及びC方式は最大分割数：9)

※1 平成29年5月19日、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、「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」

※2 民間標準規格(ARIB STD-T119)より抜粋

多段中継方式のメリット・デメリット比較(情報通信審議会報告) (※1)

| 留意事項 | A方式 (蓄積型時分割制御方式) | B方式 (周波数チャネル分割制御方式) | C方式 (セグメント分割制御方式) |
|--------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
| タイミングオフセットの影響 | ○ | ○ | △ |
| 周波数偏差(周波数オフセット)の影響 | ○ | ○ | △ |
| 周波数選択性フェージング耐性 | ○ | △ | ○ |
| 中継可能位置 | ○ | △ | ○ |
| 伝送遅延(1段中継時) | △ | ○ | ○ |



2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-4. 屋内実証試験まとめ

・屋内実証試験の結果を以下にまとめる。

| 項番 | 屋内実証試験の実施内容及び結果 |
|-----|---|
| [1] | 公共BB基本特性取得及び評価に必要な各種パラメータを取りまとめ ・受信電力-BER特性取得 ・隣接チャネル／次隣接チャネル漏えい電力特性取得 ・D/U-BER特性取得 |
| [2] | 電波伝搬モデル検討 ・電波伝搬モデル候補選定（自由空間伝搬損失、大地反射2波モデル） ・電波伝搬モデルの減衰特性を試算 |
| [3] | 干渉モデル及び通達距離に関するシミュレーション ・上空利用における干渉モデルの評価パラメータ選定 ・屋内実証試験結果（受信電力-BER、D/U-BER）及び電波伝搬モデルの減衰特性を用い、通達距離及び所要離隔距離を試算 |
| [4] | 上空利用に適する多段中継方式の選定 ・A方式（蓄積型時分割制御方式） |

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

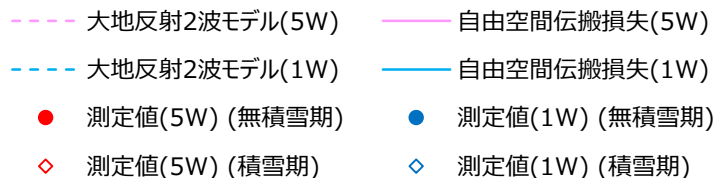
2-5. 屋外実証試験結果（電波伝搬モデルの作成）

電波伝搬試験（無積雪期と積雪期の比較）

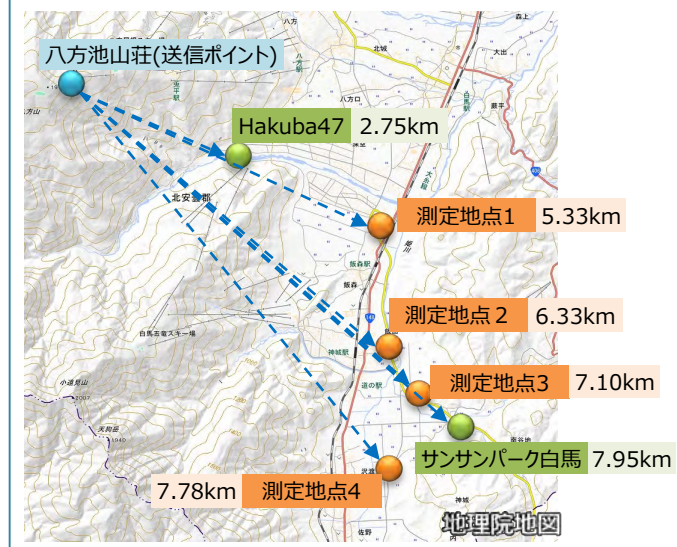
- ・上空利用を想定した山岳高所（八方池山荘）からの送信波を複数拠点にて受信電力を測定
- ・無積雪期及び積雪期にて、同条件での測定を実施し、積雪有無による測定結果を考察

結果（無積雪期と積雪期の比較）：

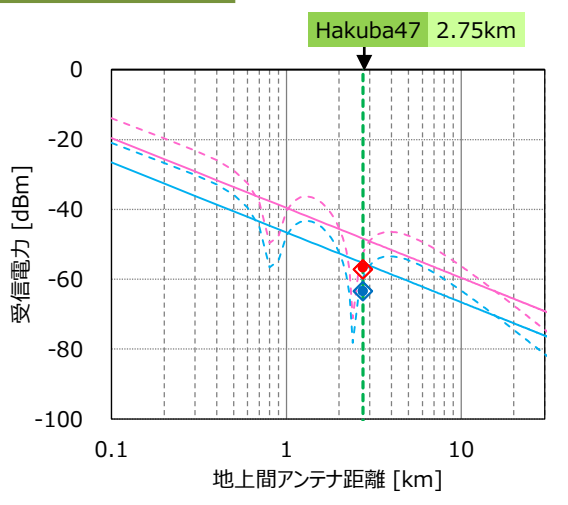
- ・受信電力差は約0～2.8dBの範囲にあった。
- ・上空利用における電波伝搬モデルは、無積雪期と積雪期に関わらず、大地反射2波モデルに近く、周辺環境、仰角、距離、等の要因により遅延波の影響は変動し、自由空間伝搬損失に近づく事象も観測された。



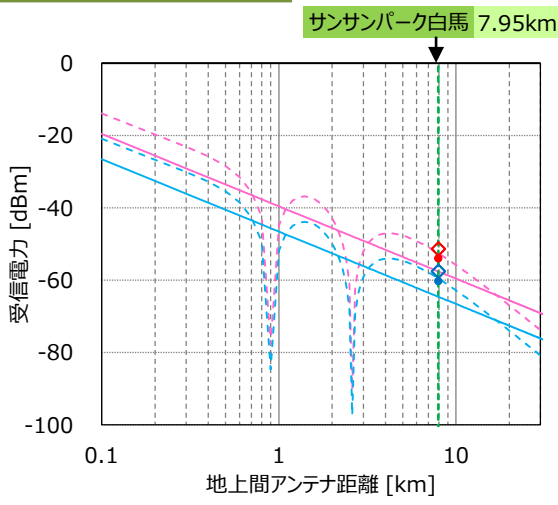
送信ポイントと各測定ポイント



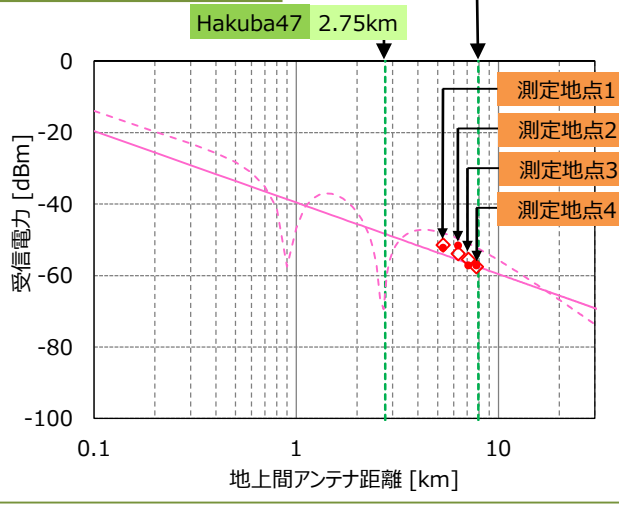
Hakuba47の受信電力



サンサンパーク白馬の受信電力



測定地点1～4の受信電力



2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-6. 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

① 隣接／次隣接チャンネル漏えい電力（サンサンパーク白馬）

[1] 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

・無積雪期と積雪期におけるサンサンパーク白馬の測定結果及び屋内試験結果を示す。

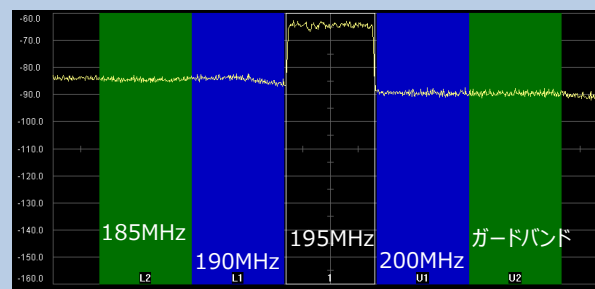
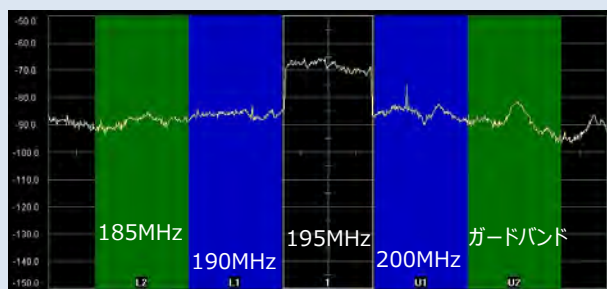
| 送信電力 | 屋内／屋外 | | 隣接／次隣接チャンネル漏えい電力 | | |
|------|-------|-----------|------------------|----------------|----------------|
| | | | 185 MHz (次隣接ch) | 190 MHz (隣接ch) | 200 MHz (隣接ch) |
| 5W | 屋外 | 無積雪期 | -20.0 dBc | -17.6 dBc | -16.6 dBc |
| | | 積雪期 | -19.7 dBc | -19.6 dBc | -24.7 dBc |
| | 屋内 | -59.3 dBc | -42.6 dBc | -46.1 dBc | |
| 1W | 屋外 | 無積雪期 | -13.8 dBc | -11.8 dBc | -10.7 dBc |
| | | 積雪期 | -13.2 dBc | -13.8 dBc | -18.3 dBc |
| | 屋内 | -61.9 dBc | -44.6 dBc | -46.1 dBc | |

空中線電力

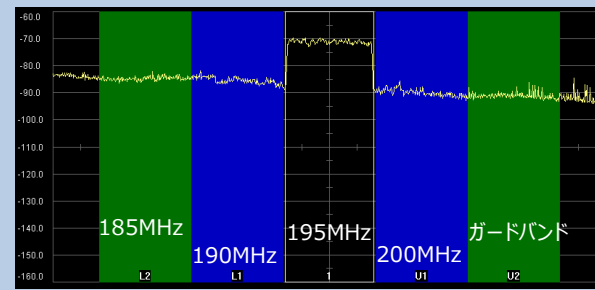
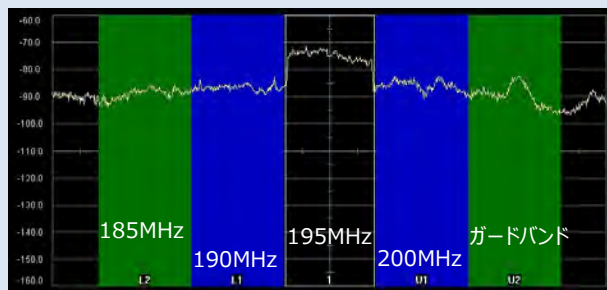
無積雪期

積雪期

5W



1W



考察1：
隣接／次隣接チャンネルよりも環境雑音電力が支配的であり、屋内試験結果よりも所要離隔距離が小さくなるという傾向は、無積雪期と同様であると想定される。

考察2：
無積雪期と異なる周波数特性になっており、特に200MHz帯の周波数特性の差が顕著な部分が隣接チャンネル漏えい電力差として表れていると想定される。

測定条件：
検波モード = Positive Peak
RBW = 30kHz
SWT = 20sec

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

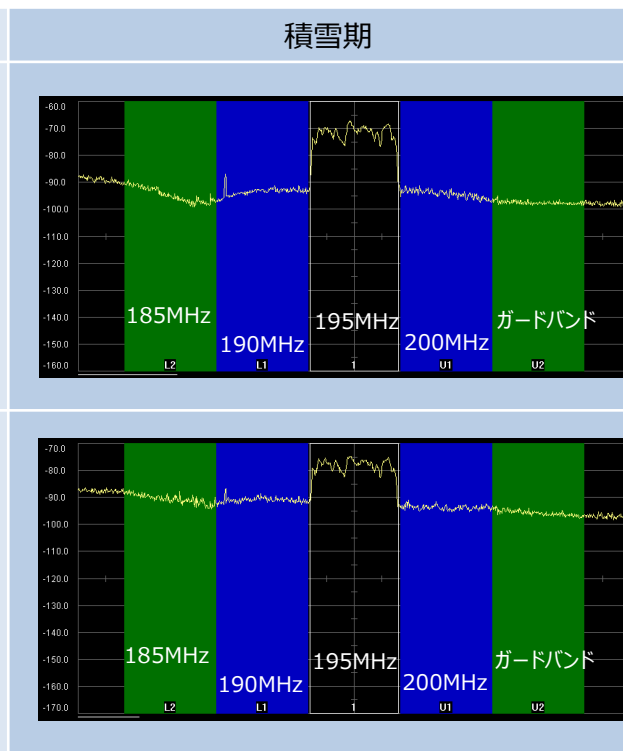
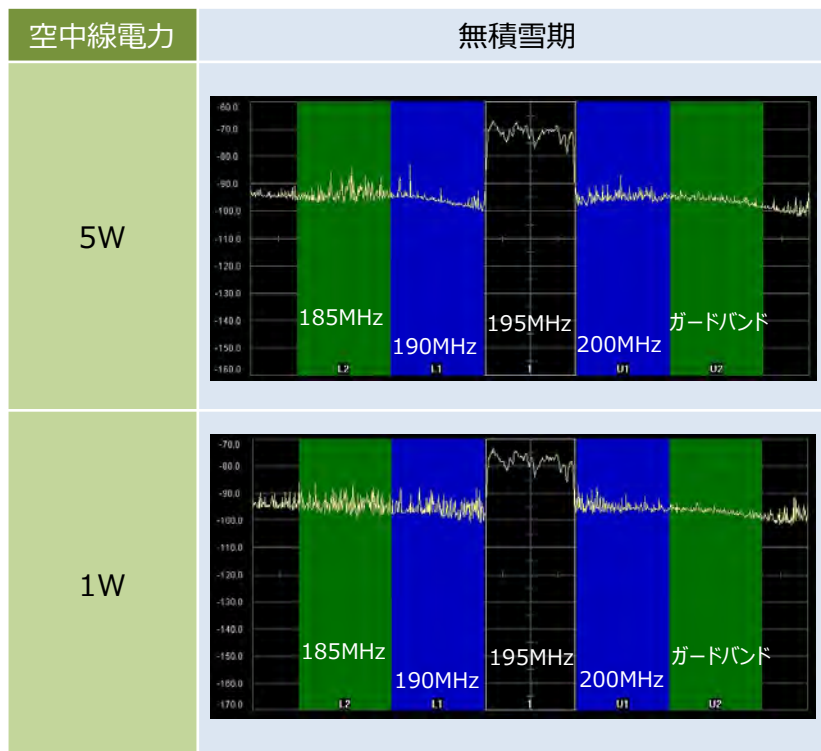
2-6. 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

②隣接/次隣接チャンネル漏えい電力 (Hakuba47)

[1] 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

・無積雪期と積雪期におけるHakuba47の測定結果及び屋内試験結果を示す。

| 送信電力 | 屋内/屋外 | | 隣接/次隣接チャンネル漏えい電力 | | |
|------|-------|-----------|------------------|----------------|----------------|
| | | | 185 MHz (次隣接ch) | 190 MHz (隣接ch) | 200 MHz (隣接ch) |
| 5W | 屋外 | 無積雪期 | -23.9 dBc | -21.7 dBc | -23.3 dBc |
| | | 積雪期 | -22.4 dBc | -21.9 dBc | -22.7 dBc |
| | 屋内 | -59.3 dBc | -42.6 dBc | -46.1 dBc | |
| 1W | 屋外 | 無積雪期 | -15.1 dBc | -16.9 dBc | -16.7 dBc |
| | | 積雪期 | -12.3 dBc | -12.8 dBc | -15.7 dBc |
| | 屋内 | -61.9 dBc | -44.6 dBc | -46.1 dBc | |



考察1：
前スライドのサンサンパーク白馬の結果と比較し、隣接チャンネル及び次隣接チャンネルの周波数特性の差が小さく、隣接チャンネル漏えい電力の差もサンサンパーク白馬よりも小さいことが確認できる。

考察2：
無積雪期と同様、帯域内に複雑なdipが発生しているが、周波数特性が異なることから、異なる経路からの反射波が支配的になっている可能性が想定される。

測定条件：
検波モード = Positive Peak
RBW = 30kHz
SWT = 20sec

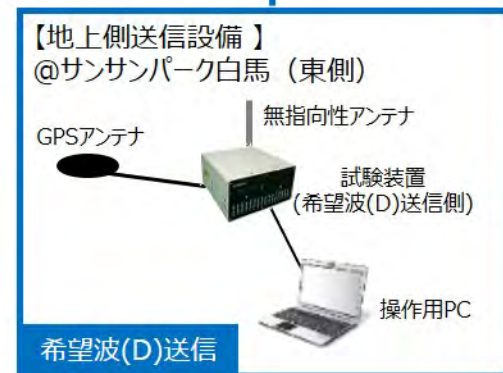
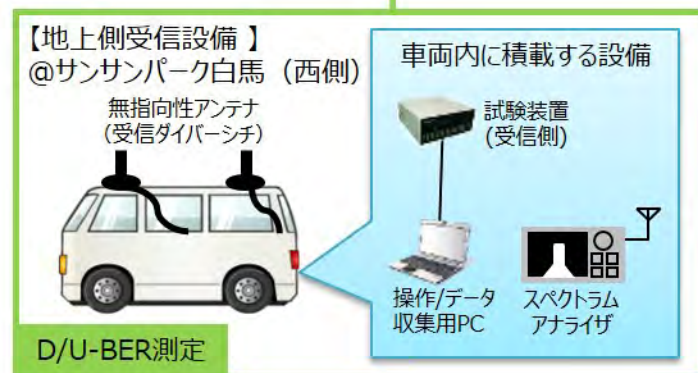
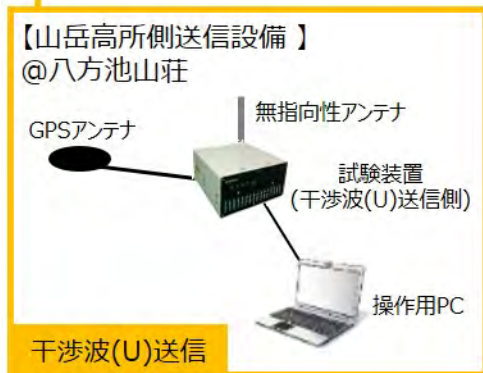
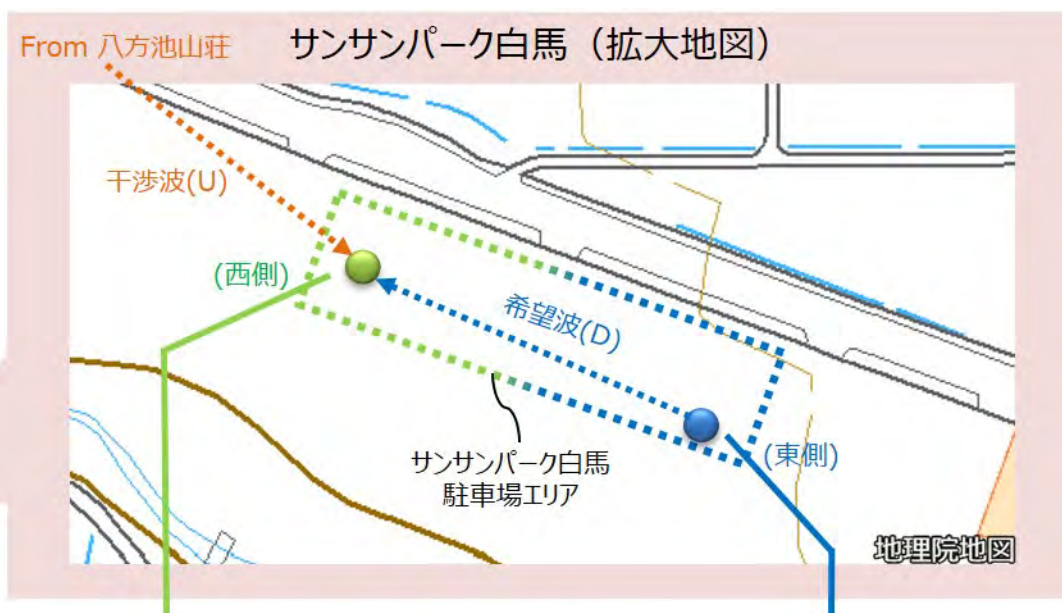
2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-7. 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

① D/U-BER特性試験の試験設備及び試験場所

[1] 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

- 送信側 1 : サンサンパーク白馬(東側) 【希望波(D)】、送信側 2 : 八方池山荘 【干渉波(U)】
- 受信側 : サンサンパーク白馬(西側)
- ・測定ポイントの地上配置及び試験設備を示す。



2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

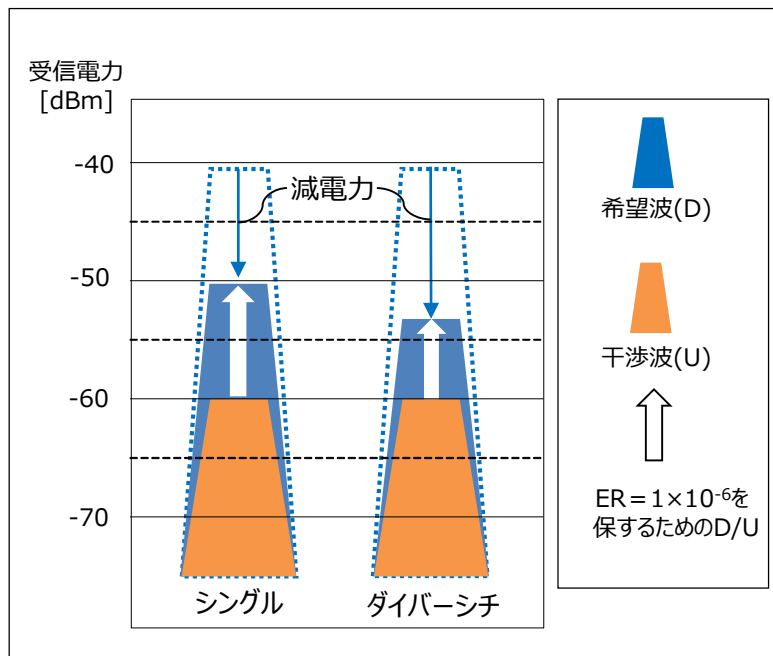
2-7. 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

②D/U-BER特性

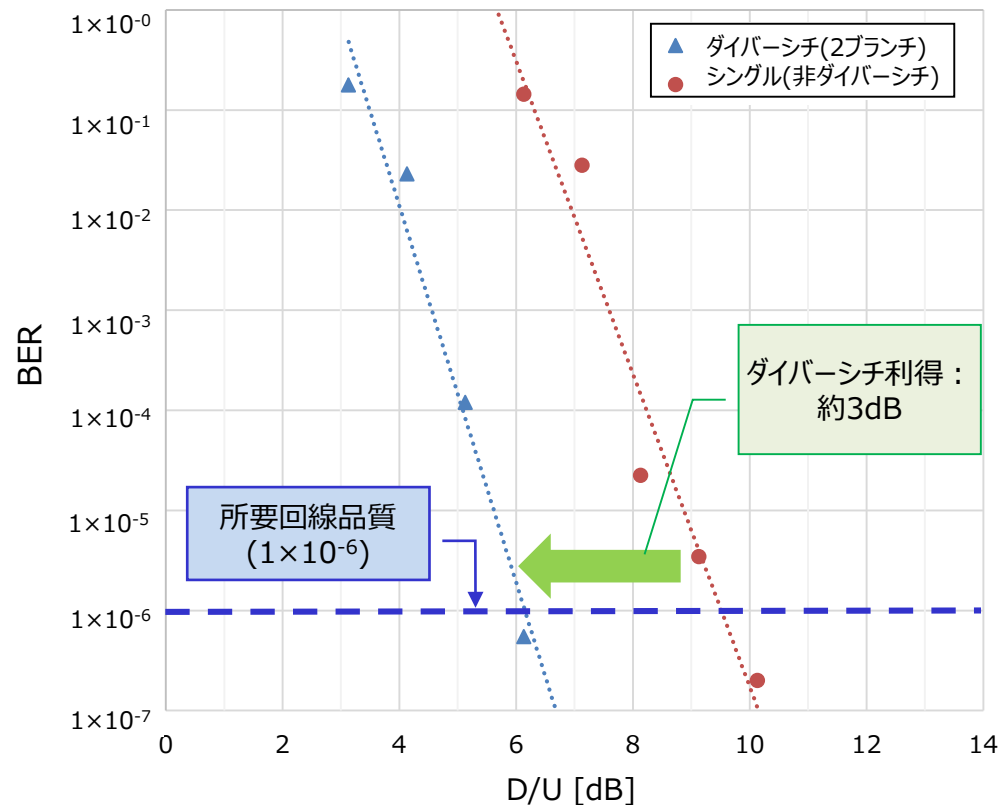
[1] 上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成

・希望波(D)の空中線電力を調整して測定したD/U-BER特性を示す。

| 受信電力種別 | 測定した受信電力値 |
|--------------|-------------|
| 希望波(D) 5W送信時 | -40.2 [dBm] |
| 干渉波(U) 1W送信時 | -60.1 [dBm] |



D/U-BER測定時の各信号レベルの概念図



結果：

所要D/U : シングル : 約 9 dB、ダイバーシチ : 約 6 dB

⇒ 屋内実証試験結果と同等の結果が得られた。

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-8. 利用形態の事例に係る実証試験

① 単一回線 (P-P) 試験設備及び試験場所

[2] 利用形態の事例に係る実証試験 ・単一回線 (P-P)

- 八方池山荘 → サンサンパーク白馬での、単一回線による映像伝送
- ・ 山岳高所側送信設備及び地上側受信設備を示す。

【山岳高所側送信設備】

@八方池山荘



【地上側受信設備】

@サンサンパーク白馬



車両内に積載する設備



2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

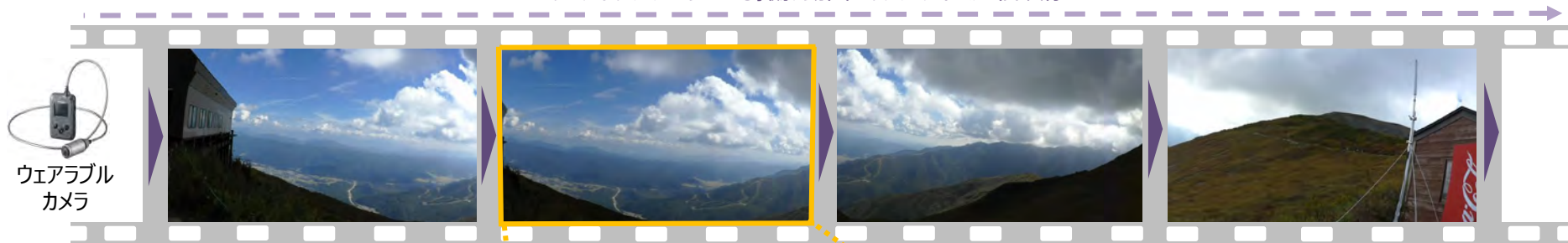
2-8. 利用形態の事例に係る実証試験

② 単一回線 (P-P)

[2] 利用形態の事例に係る実証試験 ・単一回線 (P-P)

- 八方池山荘 → サンサンパーク白馬(西側)での、単一回線による映像伝送
- 試験時に録画した受信映像データのキャプチャ画像を示す。

ウェアラブルカメラによる撮影動画のリアルタイム送信映像



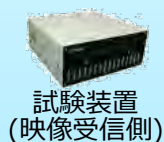
【地上側受信設備】
@サンサンパーク白馬

車両内に積載する設備

受信映像(動画)のキャプチャ画像

映像・付随音声伝送
From 八方池山荘

無指向性アンテナ
(受信ダイバーシチ)



試験装置
(映像受信側)



操作用/映像受信用PC

リアルタイム映像伝送及び双方向同時通話が可能なことを確認した。

同時に双方向の音声通信を重畳し、映像伝送の状況を相互に把握できる利便性の高い利用シーンを実証した。

補足：

本スライドの写真は、実際に無線伝送したときの録画データからキャプチャした画像

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-8. 利用形態の事例に係る実証試験

④ 多段中継利用（通信距離の拡大）

[2] 利用形態の事例に係る実証試験 ・多段中継回線（無線区間2）

● サンサンパーク白馬(西側) → 五竜スキー場 → 白馬村役場での多段中継回線(無線区間2)による映像伝送【公開試験】

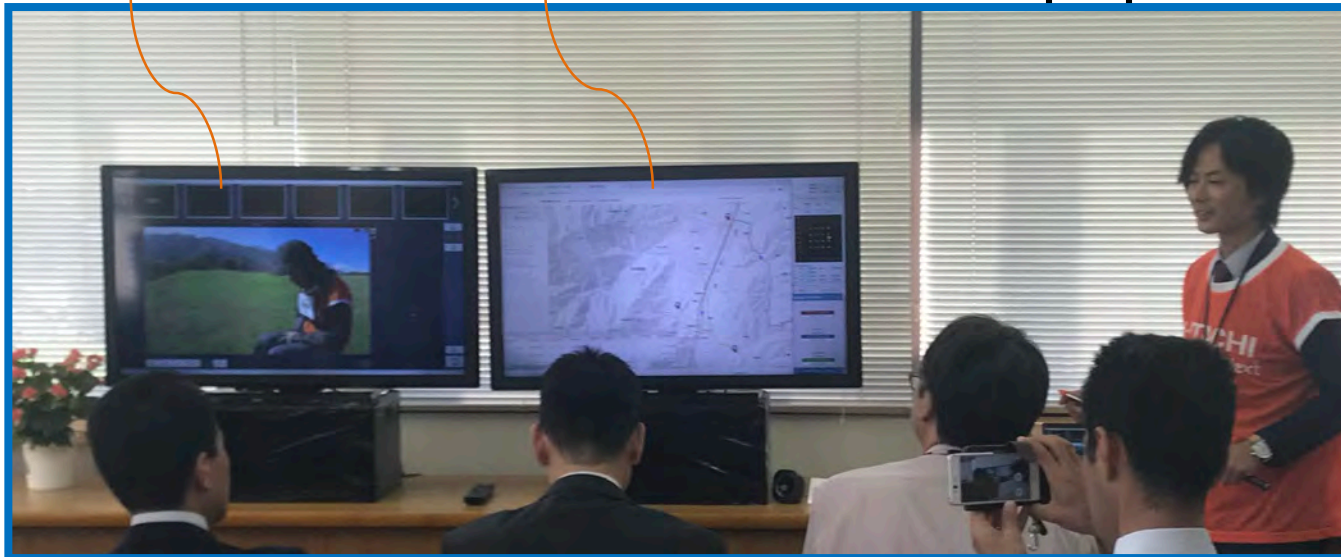
・映像伝送時の白馬村役場での受信映像表示風景を示す。

【映像受信側設備】

@白馬村役場（302会議室）

受信映像の表示用モニタ

無線回線状況の表示用モニタ



成果1：
公共BB中継用無線局をドローンに搭載、上空を中継地点とする多段無線中継回線(無線区間2)を構築し、映像伝送を成功裏に実施した。

成果2：
映像はウェアラブルカメラで撮影した災害現場の映像を、リアルタイムで災害対策本部まで伝送するとともに、同時に双方向の音声通話を提供することにより、見通し外の遮蔽伝搬路においても、上空中継を介して災害現場の映像・音声通信による有効な情報伝達の利用シーン・利用形態を実証した。

結果：
単一回線及び多段中継回線(無線区間2)による屋外実証試験（映像伝送試験）により、山間地域などの険しい地勢においても、リアルタイム映像伝送による災害・救難現場の状況把握を効率的に行えることを実証した。

2. 公共BBの上空利用の有用性の検討及び上空利用による電波伝搬特性と技術諸条件の検討

2-9. 屋外実証試験結果まとめ

・屋外実証試験と公開実証試験の結果まとめを示す。

| 項番 | 試験名称 | 結果まとめ |
|-------------------------------------|------------------|--|
| [1]上空からの与干渉の実証試験及び与干渉モデルの電波伝搬モデルの作成 | | |
| 1-1 | 無積雪期 | <ul style="list-style-type: none"> 電波伝搬特性の測定及び電波伝搬モデル作成 <ul style="list-style-type: none"> ●大地反射2波モデルに近い特性が得られた。 ●周辺環境、仰角、距離、等の要因により遅延波の影響は変動し、自由空間伝搬損失に近づく事象が観測された。 隣接チャンネル／次隣接チャンネル漏えい電力測定 <ul style="list-style-type: none"> ●隣接／次隣接チャンネルよりも環境雑音電力が支配的であり、屋内試験結果よりも所要離隔距離が小さくなる傾向が得られた。 D/U-BER特性試験 <ul style="list-style-type: none"> ●屋内実証試験と同等の結果が得られることを確認した。 (所要D/U：シングル＝約9dB、ダイバーシチ＝約6dB) |
| 1-2 | 積雪期 | <ul style="list-style-type: none"> 電波伝搬特性測定 <ul style="list-style-type: none"> ●無積雪期と比較し、受信電力差は、約0～2.8dBの範囲にあった。 隣接チャンネル／次隣接チャンネル漏えい電力測定 <ul style="list-style-type: none"> ●無積雪期と同様に、隣接／次隣接チャンネルよりも環境雑音電力が支配的であり、屋内試験結果よりも所要離隔距離が小さくなる傾向が得られた。 |
| 1-3 | 無積雪期／積雪期の比較考察 | <ul style="list-style-type: none"> ●無積雪期及び積雪期では電波伝搬特性に大きな傾向の違いは見られなかった。 |
| [2]利用形態の事例に係る実証試験 | | |
| 2-1 | 単一回線 (P-P) | <ul style="list-style-type: none"> ●リアルタイム映像伝送及び双方向同時通話を確認した。 |
| 2-2 | 多段中継利用 (通信距離の拡大) | <ul style="list-style-type: none"> ●無線装置をドローンに搭載し、リアルタイム映像中継伝送及び双方向の音声同時通話を確認した。これにより、災害現場の状況把握に対する実用性及び有用性を確認した。 なお、本試験は公開にて実施した。 |

3. 共用検討

3-1. 同一周波数帯システム間の共用条件検討

● 同一周波数帯システム間の共用条件検討として試算した所要離隔距離とその傾向を示す。

| 干渉波 | 受信方式 | 空中線電力 | 所要離隔距離（試算結果） | | |
|----------|--------|-------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| | | | 環境条件 | | |
| | | | Rural | Residential | City |
| 同一チャンネル | シングル | 5W | 53~ <u>186</u> km ^(※2) | 40~144 km | 30~108 km |
| | | 1W | 35~129 km | 26~96 km | 20~72 km |
| | ダイバーシチ | 5W | 44~162 km | 33~122 km | 25~91 km |
| | | 1W | 30~108 km | 22~81 km | 17~60 km |
| 隣接チャンネル | シングル | 5W | 2.8~6.2 km | 2~3.3 km | 1.3~1.7 km |
| | | 1W | 1.8~2.9 km | 1.2~1.6 km | 0.6~0.9 km |
| | ダイバーシチ | 5W | 2.3~4.4 km | 1.4~1.9 km | 1.1~1.5 km |
| | | 1W | 1.3~1.7 km | 0.7~1.1 km | 0.4~0.7 km |
| 次隣接チャンネル | シングル | 5W | 0.7~1.2 km | 0.6~0.8 km | 0.3~0.4 km |
| | | 1W | 0.3~0.6 km | 0.3~0.4 km | (※1)~0.2 km |
| | ダイバーシチ | 5W | 0.6~0.9 km | 0.3~0.6 km | 0.3 km |
| | | 1W | 0.3~0.4 km | 0.3 km | (※1)~0.2 km |

| 試算条件 | 選定結果 |
|---------|--------------------------------------|
| 電波伝搬モデル | 屋外実証試験の結果より 大地反射2波モデル (p.12) |
| 空中線電力 | 1W、5W |
| 所要D/U | 屋内実証試験結果を使用 (p.11) |
| 環境条件 | Rural/Residential/City (p.13 右上表) |
| 上記以外の条件 | 評価パラメータの選定結果 (p.12 左下表) |

※1 0.1km未満
 ※2 下線部は、最大見通し距離の上限値

(1) 同一チャンネルにおける共用検討

所要離隔距離は、最大数十km~百数十km

(2) 隣接/次隣接チャンネルにおける共用検討

所要離隔距離は隣接チャンネルにおいて、0.3km~6.2km程度
 次隣接チャンネルに対しては、さらに短縮される。

上記(1)、(2)より、公共BBシステムにおける上空利用として、隣接/次隣接チャンネルでの所要離隔距離は現実的な値と言える。

(3) 共用検討における留意事項

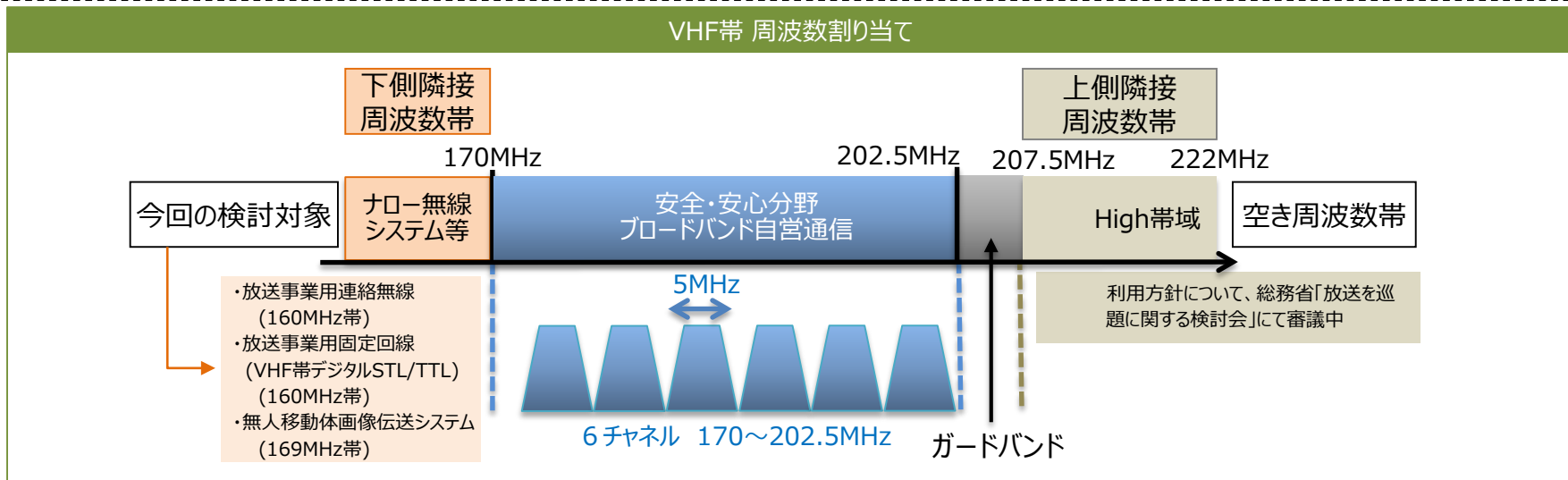
上記で算出した所要離隔距離は、屋内実証試験における漏えい電力の測定値を用いた。

一方、前述のとおり、無線設備規則の規定値を用いた場合、所要離隔距離が増加することから、実際の運用にあっては、所要離隔距離の短縮、改善の上から、本試験装置と同程度の性能であることが有効である。

3. 共用検討

3-2. 隣接周波数帯システム間の共用条件検討

- 隣接周波数帯システム間の共用条件検討については、総務省が実施した過去の技術検討結果等を参考とする。



・検討対象システム：上側隣接システム及び下側隣接システムを想定する。このうち、上側隣接システム(207.5MHz～222MHz帯)であるVHF-High帯域については現在、空き周波数帯となっていることから、検討対象から除外した。
ここでは、下側隣接システムとして、放送事業用連絡無線、放送事業用固定回線及び無人移動体画像伝送システムについて検討した。

- ・下側隣接システムとの共用検討まとめ
 - 過去の情報通信審議会（報告書※1）において、共用検討が実施されており、所要改善量が提示されている。
 - 今回の検討対象本調査検討における上空利用にあつては、公共BB側の空中線の垂直面指向性による俯角損失等を考慮すれば、所要改善量が低減する方向であり、従来の共用検討結果を踏襲することが適当であると考えられる。また、状況により、従来どおり、システム間の運用調整が求められる。

・所要改善量の考え方の一例：
放送業務用連絡無線との共用条件における所要改善量については、離隔距離（水平距離）として10mに規定している。公共BB移動局(与干渉)の場合の所要改善量は、最大44.7dBである。一般的に近接する上空利用においては自由空間伝搬損失モデルが適用され、実用的に離隔距離は10m以上と想定され減衰量は増加する。（例：100mの離隔の場合の伝搬損失は、約57dB@170MHz）なお、垂直面指向性による俯角損失は、俯角45°の場合で約3dBである。

※1 今回の検討対象である過去の情報通信審議会報告書
平成22年3月19日 情報通信審議会 情報通信技術分科会（第72回）、資料72-1-2 公共無線システム委員会報告（公共無線システム委員会技術的条件作業班）
平成27年7月17日 情報通信審議会 情報通信技術分科会（第111回）、資料111-3-2 放送システム委員会報告（STL/TTL作業班、同作業班アドホックグループ）
平成28年3月22日 情報通信審議会 情報通信技術分科会（第116回）、資料116-1-2 陸上無線通信委員会報告
令和2年1月29日 放送を巡る諸課題に関する検討会「放送用周波数の活用方策に関する検討分科会」、別紙1、放送用周波数の活用方策等に関する基本方針

4.調査検討まとめ

4-1.共用条件(1/3)

(1)共用条件

[1]上空利用における伝搬モデル

- 上空利用の電波伝搬モデルは、基本的に大地反射2波モデルを適用することが適当
- 積雪による伝搬状況の変化は、ほとんど認められない

[2]通達距離

- 送信アンテナと受信アンテナの標高差の大小により変化し、標高差が大きいほど通達距離が伸びる
- 公共BBの最大通信距離(約30km)[※]と同等程度から最大5倍程度の距離に通達する

※：民間標準規格(ARIB STD-T103)で規定するTDD複信方式のギャップタイムに起因する規定値

| 空中線電力 | 通達距離 | | | | | | | | |
|-------|--------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| | 環境条件 | | | | | | | | |
| | Rural (ルーラル) | | | Residential (居住地) | | | City (都市部) | | |
| | 標高差 | | | 標高差 | | | 標高差 | | |
| | 150m | 1,000m | 2,000m | 150m | 1,000m | 2,000m | 150m | 1,000m | 2,000m |
| 5W | 44km | 115km | 162km | 33km | 86km | 122km | 25km | 64km | 91km |
| 1W | 30km | 76km | 108km | 22km | 57km | 81km | 17km | 43km | 60km |

4. 調査検討まとめ

4-1. 共用条件(2/3)

(1) 共用条件 (続き)

[3] 所要離隔距離

- 送信アンテナと受信アンテナの標高差の大小により変化し、標高差が大きいほど、より大きな離隔距離の確保が求められる。
- 公共BBの最大通信距離(約30km)と同等程度から最大5倍程度の離隔距離が想定される。
- 隣接チャンネル及び次隣接チャンネルの干渉を想定する場合、同一チャンネルの場合に比べ、大幅に短縮され、より共用が可能となる。
- 実運用においては、無線装置が有する隣接/次隣接チャンネル漏えい電力特性の実力値は、本試験装置と同程度であることが所要離隔距離の短縮、改善の上から有効である。
- Residential及びCityの環境条件においては、所要回線品質となる所要受信電力が高いことから、干渉波(U)許容レベルも高くなるため、所要離隔距離が短縮される。
- ここで、被干渉及び与干渉システムそれぞれの希望波(D)レベルが高く、通信回線品質が所要D/U以上の良好な環境における離隔距離は、短縮される。(注)
- また、受信方式のダイバーシチ(2ブランチ)は、所要離隔距離の短縮に有効である。

| 陸上移動局の 通信環境 | 干渉波 | 所要離隔距離 (環境条件: Rural) | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | | 空中線電力: 1W | | | 空中線電力: 5W | | |
| | | 標高差 | | | 標高差 | | |
| | | 150m | 1,000m | 2,000m | 150m | 1,000m | 2,000m |
| セルエッジ | 同一チャンネル | 30km | 76.4km | 108km | 44km | 115km | 162km |
| | 隣接チャンネル | 1.5km | 1.7km | 1.3km | 2.3km | 4.4km | 3.6km |
| | 次隣接チャンネル | 0.3km | 0.4km | 0.4km | 0.9km | 0.6km | 0.9km |
| (注) セルエッジの受信 電力+10dB | 同一チャンネル | 17km | 43km | 60km | 25km | 64km | 91km |
| | 隣接チャンネル | 0.4km | 0.6km | 0.7km | 1.3km | 1.5km | 1.1km |
| | 次隣接チャンネル | 0.1km未満 | 0.2km | 0.2km | 0.3km | 0.3km | 0.3km |

(注) 本調査検討では、所要離隔距離が最悪ケース(セルエッジ)となる条件を想定した。他方、公共BBが移動局であることを勘案すれば、固定的にセルエッジにある条件は必ずしも現実的でない想定される。例えば、受信電力が10dB高い通信回線品質が良好な環境においては、実効的に所要離隔距離の更なる短縮が期待できる。この試算事例を併記する。

4.調査検討まとめ

4-1.共用条件(3/3)

(1)共用条件 (続き)

[4]想定される運用条件

- 上空利用においては、陸上運用に比較して、所要離隔距離の延伸が顕著となり、特に同一チャンネルの利用にあたっては、運用調整が求められる。これにより共用が可能となる。
- 公共BBのチャンネル割当は、全国同一免許人・同一業種が同一チャンネルに割り当てられている状況を鑑み、運用調整を容易かつ効率的に行う上では、現行の主波を利用することが最適と思慮される。
- 災害時等、複数公共機関が狭い範囲内で、公共BBを運用する場合は、上空利用の有無に関わらず干渉発生リスクが高まるため、災害対策本部等において運用調整を行うことが望ましい。

4.調査検討まとめ

4-2.技術的条件・要件

(2)技術的条件・要件

[1]空中線電力

- 上空における空中線電力については、共用条件である所要離隔距離の低減を図るとともに、公共BB相互間ならびに他無線システムへの干渉の影響度を軽減する上から、一般的に他の無線システムで規定されている「1W以下」の規定を準用することが望ましい
- 陸上移動局の移動範囲の免許対象外となる海域（3海里以遠）等における上空利用においては、空中線電力「5W以下」の規定が思慮される

[2]移動範囲

- 電波法関係審査基準に規定される公共BB無線局の移動範囲に関して、現行の携帯局に係る「携帯局の移動範囲については、陸上又は海上に限ること。」を、「携帯局の移動範囲については、陸上、海上及び上空とする。」への改正が望ましい