

離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した
無線アクセスシステム構築のための調査検討

報告書

平成 21 (2009) 年 3 月

離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した
無線アクセスシステム構築のための調査検討会

はじめに

政府は「IT 新改革戦略」(06 年1 月、IT 戦略本部決定)の政策目標を推進するため、2008年度「IT政策ロードマップ」及び「重点計画-2008」を決定し、IT基盤整備は、その重点計画の大きな柱とされ、国民の誰もが「いつでも、どこでも」ブロードバンド環境を利用可能とするために、2010 年度までにブロードバンド・ゼロ地域を解消することが示されている。総務省においても、「次世代ブロードバンド戦略2010」(2006年8 月)の目標具体化のため、2008年6月の「デジタルディバイド解消戦略会議」報告書に基づき、ブロードバンド整備の推進を加速させることとしている。

こうした中、九州地域においても、ブロードバンド未整備の離島が多数存在しており、離島の日々の生活に必要な社会基盤としてのブロードバンド整備を加速させることが急務となっている。ブロードバンド整備においては、一般的に有線系ネットワークとして光ファイバー、ADSLや無線系通信システムなどの通信回線で整備することがほとんどである。しかしながら、離島～本土間、離島～離島間では、衛星通信回線利用は別として、ほとんどが海底ケーブル等の電話回線を利用する以外に通信手段がないのが現状である。有線系ネットワークの整備が困難な離島への中継系通信回線として、新たなケーブル敷設はほとんど不可能なため、比較的安価で回線構築に柔軟性のある無線アクセスシステムが、中・長距離に位置する離島等におけるブロードバンド・ゼロ地域解消のために、その利用・普及が期待されている。

一方、いろいろな地域で無線LANを導入することでネットワーク構築の経費を削減できることから、学校や企業、家庭での利用や飲食店や駅などの公衆エリアに設置した公衆無線LANアクセス・サービスの普及が進んでいる。特に地方自治体の地域公共ネットワークの一部として利用が期待される。これらは比較的短距離の通信であるが、屋外に高利得アンテナを用いて中・長距離の電波伝搬区間で利用するためには、各種無線アクセスの中から、中・長距離海上電波伝搬に適した必要な技術要件や高速通信の実用性等を調査検討し、その結果をもとに、周波数の有効利用を明らかにすることが必要であった。

本調査検討会では、中・長距離の海上電波伝搬における無線アクセスシステムの構築においては、潮位変動や降雨量・気温といった気象条件に影響を受けることから、周波数の異なる無線アクセスシステムにおける電波伝搬特性の把握、アンテナ偏波面を考慮した電波伝搬試験等の実施や調査検討を行い、設置が容易で導入しやすい特徴などを考慮した技術的要件等を明らかにしている。

本報告書が、今後の電波伝搬に関する行政施策に資するとともに、離島等のブロードバンド整備促進を加速させ、ブロードバンド・ゼロ解消にお役に立つことを期待するものである。

2009 年 3 月

離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した
無線アクセスシステム構築のための調査検討会 座長 帆足 孝文

目次

| | |
|-----------------------------------|----|
| はじめに | 1 |
| 第1章 九州地域における離島のブロードバンド整備の現状と課題 | 5 |
| 1.1 調査検討の背景と目的 | 5 |
| 1.1.1 目的 | 5 |
| 1.1.2 調査検討体制等 | 5 |
| 1.2 九州地域におけるブロードバンド整備の現状 | 6 |
| 1.2.1 全国のブロードバンド整備状況 | 6 |
| 1.2.2 九州地域のブロードバンド整備状況 | 7 |
| 1.2.3 九州地域の自治体におけるブロードバンド整備取組状況 | 9 |
| 1.3 ブロードバンド未整備離島等への中継系通信回線の課題と必要性 | 12 |
| 1.3.1 中継系通信回線の検討課題 | 12 |
| 1.3.2 中継系通信回線の必要性 | 12 |
| 第2章 中継系通信回線として利用できる無線アクセスシステムの検討 | 13 |
| 2.1 無線アクセスシステムの種類とその特徴 | 13 |
| 2.1.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステム | 15 |
| 2.1.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステム | 17 |
| 2.1.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステム | 19 |
| 2.1.4 25GHz 帯無線アクセスシステム | 21 |
| 2.2 中継系通信回線としての海上電波伝搬の課題 | 22 |
| 2.2.1 電波の性質と周波数の特徴 | 22 |
| 2.2.2 電波の偏波面の種類 | 24 |
| 2.2.3 海上電波伝搬の特徴 | 25 |
| 2.2.4 潮位の影響 | 26 |
| 2.2.5 降雨の影響 | 27 |
| 2.2.6 海上電波伝搬距離及びアンテナ高の設定 | 27 |
| 2.3 電波伝搬試験実施への具体化 | 29 |
| 2.3.1 電波伝搬試験実施場所の選定理由 | 29 |
| 2.3.2 具体化のための留意点 | 30 |
| 2.3.3 電波伝搬試験項目について | 30 |
| 第3章 海上電波伝搬試験の概要 | 31 |
| 3.1 海上電波伝搬試験の実施概要 | 31 |
| 3.2 電波伝搬試験用無線ネットワークの構成 | 32 |
| 3.2.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成 | 33 |
| 3.2.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成 | 34 |
| 3.2.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成 | 35 |
| 3.2.4 25GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成 | 36 |

| | | |
|-------|------------------------------------|-----|
| 3.2.5 | 測定機器構成 | 37 |
| 3.3 | 電波伝搬試験のための事前検討 | 38 |
| 3.3.1 | フレネルゾーン | 38 |
| 3.3.2 | ハイトパターン | 39 |
| 3.3.3 | 海面反射とフェージング | 41 |
| 3.3.4 | 降雨量による距離別減衰量の推移 | 42 |
| 3.3.5 | 使用アンテナの概要 | 43 |
| 3.4 | 回線設計(机上計算) | 47 |
| 3.5 | その他電波伝搬試験に必要な検討 | 50 |
| 3.5.1 | 受信レベル(RSSI) | 50 |
| 3.5.2 | スループット(伝送速度) | 50 |
| 3.5.3 | 海上気象条件 | 51 |
| 第4章 | 中・長距離海上電波伝搬のための無線アクセスの技術的要件等 | 53 |
| 4.1 | 海上電波伝搬距離別無線アクセスシステムの検討 | 53 |
| 4.1.1 | 安定した海上電波伝搬のための偏波面の比較・検討 | 53 |
| 4.1.2 | 無線アクセスシステム毎の検討結果 | 62 |
| 4.1.3 | 電波伝搬試験結果と評価 | 64 |
| 4.2 | 中・長距離海上電波伝搬のための無線アクセスの技術的要件等 | 65 |
| 第5章 | まとめ | 66 |
| 5.1 | 中・長距離海上電波伝搬における各無線アクセスシステムの有効性について | 66 |
| 5.2 | 中・長距離海上電波伝搬に適した中継系通信回線の提案 | 68 |
| 補章 | 海上電波伝搬試験結果 | 71 |
| 1 | 無線システム構成 | 71 |
| 2 | 測定地点(NTT 島原白土局)における電波発射状況調査 | 72 |
| 2.1 | 島原市内における 2.4GHz 帯の使用状況確認 | 72 |
| 2.2 | 電波伝搬試験使用周波数 ch の選定 | 72 |
| 3 | ハイトパターンの検討結果 | 75 |
| 4 | アンテナ設置状況と外観 | 80 |
| 4.1 | 肥後長浜局のアンテナ設置状況と外観 | 80 |
| 4.2 | 西部浄化センター局のアンテナ設置状況と外観 | 81 |
| 4.3 | NTT 島原白土局のアンテナ設置状況と外観 | 82 |
| 5 | 電波伝搬試験結果 | 83 |
| ＜資料＞ | | 108 |
| 資料 1 | | 109 |
| 資料 2 | | 110 |
| 資料 3 | | 113 |
| 資料 4 | | 115 |
| 資料 5 | | 117 |
| 資料 6 | | 121 |

| | |
|--|-----|
| <別冊> | 122 |
| 中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステムを活用した ブロードバンド整備のために | 123 |
| 1 各中継系無線アクセスシステムの特徴 | 125 |
| 1.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステムの特徴 | 125 |
| 1.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステムの特徴 | 125 |
| 1.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステムの特徴 | 126 |
| 1.4 25GHz 帯無線アクセスシステムの特徴 | 126 |
| 2 中継系無線アクセスシステムにおける各周波数帯別の提案 | 127 |
| 3 中継系無線アクセスシステムによる各周波数帯別の整備手法(例) | 130 |
| 3.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステムの活用 | 130 |
| 3.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステムの活用 | 131 |
| 3.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステムの活用 | 132 |
| 3.4 25GHz 帯無線アクセスシステムの活用 | 133 |
| 4 デジタルディバイド地域に適したアプリケーション紹介 | 134 |
| 4.1 告知放送・緊急通報システム | 134 |
| 4.2 UD 対応障害者在宅者就労支援システム | 135 |
| 4.3 無線 LAN コンセント | 136 |
| | |
| <用語集> | 138 |

第1章 九州地域における離島のブロードバンド整備の現状と課題

1.1 調査検討の背景と目的

1.1.1 目的

2008年9月末におけるブロードバンド世帯カバー率は、全国で98.3%、九州で96.5%を達成したが、全国と九州地域では依然として1.8ポイントの格差が存在している。これをブロードバンドが利用できない世帯に換算すると、全国73万世帯に対し九州地域が19万世帯と全国の約4分の1を占めている。更に九州地域では、ブロードバンド・ゼロ世帯の3分の1弱の約5.3万世帯が、海底ケーブル等の有線によるネットワーク構築が困難な離島地域に存在している。

このため、2010年ブロードバンド・ゼロ地域解消の取り組みを推進するには、比較的安価で回線構築の柔軟性を有する無線アクセスシステムによる離島等へのブロードバンドネットワーク環境の構築が有効な手段と言われている。

このような背景から、本検討会では、離島等までの中・長距離の海上伝搬路において、海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のために、周波数帯の異なる様々な無線アクセスシステムの電波伝搬特性の把握、電波伝搬技術について調査検討を行い、もって周波数の有効利用に資するとともにブロードバンド整備促進を目的として本調査検討会を開催した。

1.1.2 調査検討体制等

九州総合通信局長から委嘱を受けた学識経験者、地方自治体、通信事業者等で構成する「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会」を開催し、九州の離島におけるブロードバンド整備状況の調査、その整備に対する課題抽出、また、海上電波伝搬に適した無線アクセスシステムの電波伝搬試験の実施と同システムに関する有効性の検討を踏まえ、各無線アクセスシステムを活用したブロードバンド整備の提案を行った。

また、海上電波伝搬試験に必要な作業について検討を行うため、作業部会を設置し、海上電波伝搬試験に適した無線アクセスシステムに関する技術的な事項についての調査検討を行った。

1.2 九州地域におけるブロードバンド整備の現状

1.2.1 全国のブロードバンド整備状況

我が国におけるブロードバンドサービスは、FTTH(光ファイバ)やDSL、CATV、FWA(固定無線アクセスシステム)等による、数 Mbps 以上の高速及び 30Mbps 以上の超高速なアクセス回線によって提供されており、全国的な契約者の割合としては、FTTH と DSL が全体の契約数のおよそ 86%(2008 年 9 月末現在)となっている。次いで CATV での契約者が 14%であり、FWA による契約者数は、全体の 0.04%となっている。

FWA は有線ケーブルの補完的な使われ方をしているため、割合的には非常に低く見えるが、離島や中山間地域など、有線ケーブルの敷設が困難な地域では、FWA は有効な手段であるといえる。

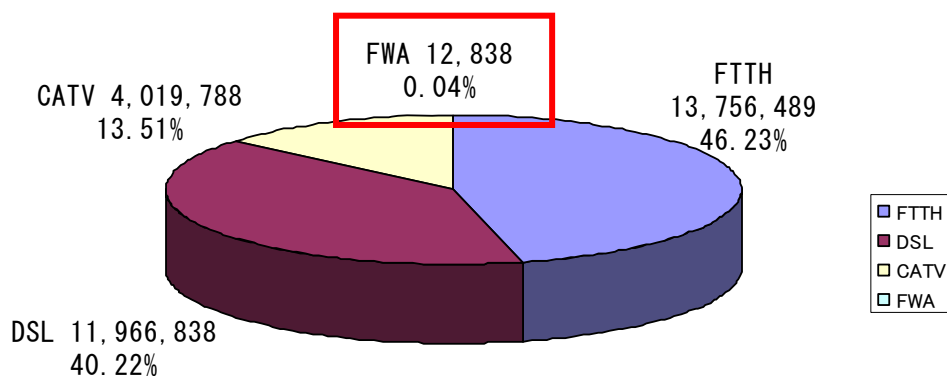


図 1-1 ブロードバンドサービスの契約数(全国)

※総務省 2008. 12. 17 報道資料より作成

1.2.2 九州地域のブロードバンド整備状況

九州地域におけるブロードバンドサービスの状況は、2008年9月現在での世帯カバー率は96.5%となり、ブロードバンド・ゼロ世帯数も前年同期の39万世帯から20万世帯減少し、未整備エリアは着実に減少している。

なお、九州地域においても、アクセス回線としてFTTH、DSLが全体の85%を占めており、CATVが14%、FWAについては、0.09%と、全国の普及傾向とほぼ同じであるが、FWAによる契約の割合が若干高いことが見られる。

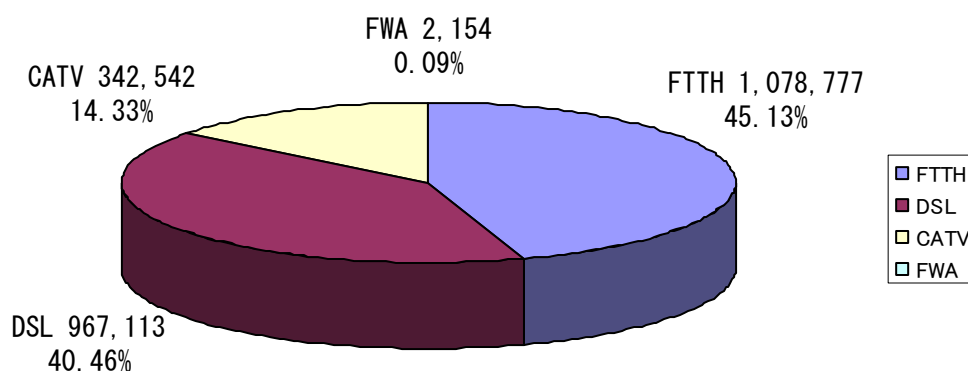


図 1-2 ブロードバンドサービスの契約数(九州)

※総務省九州総合通信局 2009.01.27 報道資料より作成

離島振興法(昭和28年7月22日法律第72号)が適用される九州地域の有人離島数は、105島(福岡県8島、佐賀県7島、長崎県54島、熊本県6島、大分県7島、宮崎県3島、鹿児島県20島※)であり、うち何れかのブロードバンドサービスが提供されているのは41島の約3.9万世帯であり、残りの64島に住む約5.3万世帯がブロードバンド・ゼロ世帯となっている。※平成17年度国勢調査における有人離島数は28島

表 1-1 九州各県の離島におけるブロードバンド整備状況(平成20年9月末現在)

| | 福岡県 | 佐賀県 | 長崎県 | 熊本県 | 大分県 | 宮崎県 | 鹿児島県 | 合計 | |
|---------------|----------|------|--------|------|------|------|-------|---------|----|
| 離島の数(BBサービス済) | 8(1) | 7(7) | 54(23) | 6(2) | 7(4) | 3(1) | 20(3) | 105(41) | |
| 本土との距離 | 0~5km | 5 | 5 | 9 | 5 | 6 | 3 | 3 | 36 |
| | 5~10km | 2 | 2 | 5 | 1 | 1 | - | - | 11 |
| | 10~20km | - | - | - | - | - | - | 1 | 1 |
| | 20~30km | 1 | - | 14 | - | - | - | 1 | 16 |
| | 30~50km | - | - | 9 | - | - | - | 5 | 14 |
| | 50~100km | - | - | 16 | - | - | - | 3 | 19 |
| | 100km~ | - | - | 1 | - | - | - | 7 | 8 |

各種統計資料より作成

九州地域におけるブロードバンド未整備離島のうち、九州本土との距離が 20km 以下の離島は 33 島、また、九州本土から 20km 以上の 31 離島のうち、近接離島との距離が 20km 以下の島が 23 島(内、近接離島との距離が 10km 以下の島は 17 島)と、全体の約 7 割を占めている(表 1-2)。以上の地理的条件を考えると、海上伝送路 20km に関する通信方式を検討することで、本土～離島間、また、離島～離島間を結ぶブロードバンド整備のひとつのモデルとすることができる(図 1-3)。

表 1-2 ブロードバンドサービス未提供離島数の分布と世帯数(平成 20 年 9 月末現在)

| 九州本土との距離 | ブロードバンドサービス未提供離島数 | | 世帯数 | |
|----------|-------------------|----------------|--------|--------|
| | 近接離島との距離別集計(内訳) | | | |
| 0～5km | 24 | — | 2,848 | |
| 5～10km | 8 | — | 2,807 | |
| 10～20km | 1 | — | 15 | |
| 20～30km | 8 | 10km 以下 | 3 | 16,381 |
| | | 10km 超～20km 以下 | 2 | |
| | | 20km 超 | 3 | |
| 30～50km | 10 | 10km 以下 | 8 | 15,331 |
| | | 10km 超～20km 以下 | — | |
| | | 20km 超 | 2 | |
| 50～100km | 5 | 10km 以下 | 4 | 15,666 |
| | | 10km 超～20km 以下 | — | |
| | | 20km 超 | 1 | |
| 100km～ | 8 | 10km 以下 | 2 | 424 |
| | | 10km 超～20km 以下 | 4 | |
| | | 20km 超 | 2 | |
| 合計 | 64 | 31 | 55,139 | |

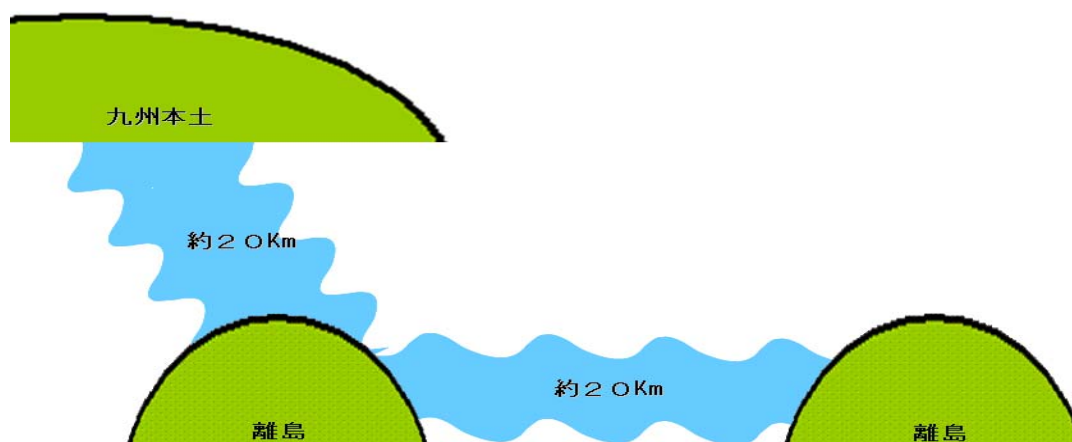


図 1-3 「九州本土～離島間」及び「離島～離島間」の距離

が 20km 以内にある離島のイメージ

1.2.3 九州地域の自治体におけるブロードバンド整備取組状況

九州地域においては、離島等の条件不利地域に対するブロードバンド整備について、様々な施策にて取り組みを実施しているところであるが、中でも離島を多く抱える長崎県と鹿児島県の自治体における主な取り組みについては表 1-3、表 1-4 のとおりである。

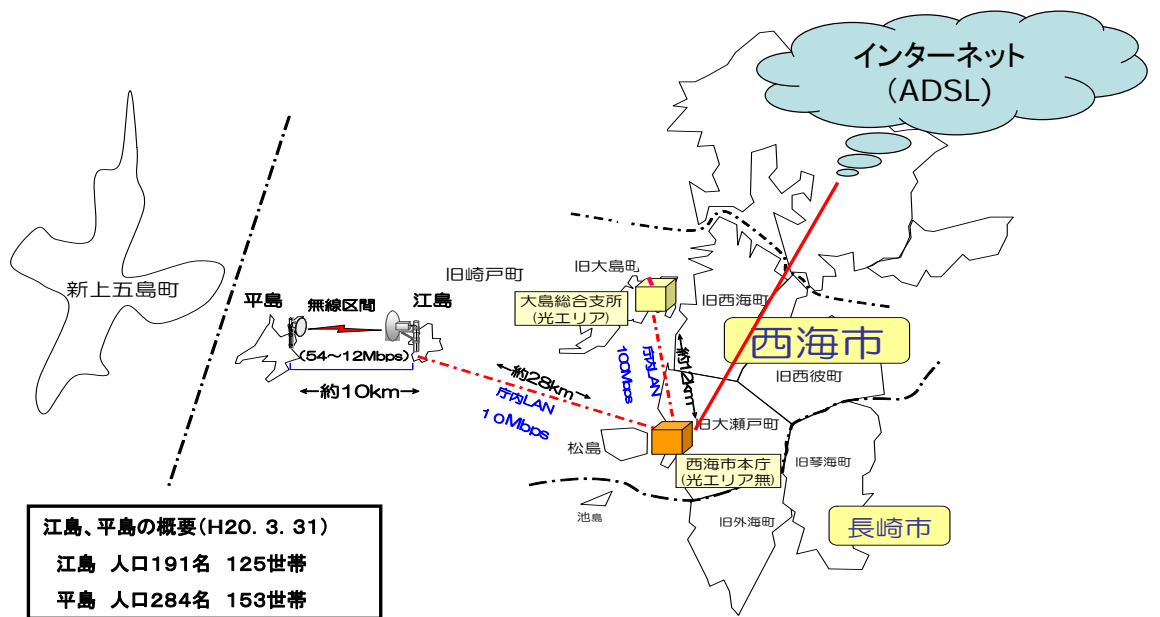
なお、各事例は一般的な離島内でのブロードバンド整備の取り組みを紹介したものである。

(1) 長崎県内の離島に対するブロードバンド整備取り組みについて

長崎県では、県内に離島市町は 3 市 2 町(五島市、壱岐市、対馬市、新上五島町、小値賀町)、離島を含む市町は 5 市(長崎市、佐世保市、西海市、平戸市、松浦市)となっている。

表 1-3 長崎県内離島に対するブロードバンド整備取組事例

| 自治体 (本土との距離) | 取組内容 | 補助金等 |
|-------------------|--|--|
| 対馬市 (約 100km) | 平成 21 年 5 月から一部地域においてインターネットサービスを開始予定。また、公共施設間を結ぶ光ネットワーク及び市内の各家庭を結ぶ CATV 整備事業を実施中(平成 21 年度まで) | ・地域イントラネット基盤整備事業(総務省) ・水産業振興総合対策事業(水産庁) ・農村振興支援総合対策事業(農林水産省) ・まちづくり交付金事業(国土交通省) |
| 壱岐市 (約 20km) | 通信事業者による DSL サービスが提供されていない 2 地域について、市の補助による整備を検討 | |
| 五島市 (約 70km) | CATV を活用した情報通信網の整備事業を実施しており、平成 20 年 4 月にインターネットサービスを開始 | ・農村振興支援総合対策事業(農林水産省) ・新漁村コミュニティ基盤整備事業(水産庁) |
| 新上五島町 (約 30km) | 通信事業者の DSL サービスが提供されていない地域で無線 LAN によるブロードバンド整備事業を実施(平成 20 年度から) | ・地域情報通信基盤整備推進交付金(総務省) |
| 西海市 (約 28 km) | 市内にある離島、平島、江島に対して、本土と江島間約 28km を有線の庁内 LAN で結び、江島と平島間約 10km を無線で接続し、平成 20 年 7 月 1 日よりインターネットサービスを提供 | ・地域情報通信基盤整備推進交付金(総務省) |



- 地域情報通信基盤整備推進交付金による整備
- 本土～江島間(約28Km)は市の地域公共ネットワークを活用
- 江島～平島間(約10Km)は、無線で中継
- 江島に2箇所、平島に6箇所のAPを設置
- 上り下りとも最高14Mbpsのインターネットサービス提供開始(平成20年7月1日)

図 1-4 無線活用の整備事例(長崎県西海市)

長崎県総務部情報政策課提供資料より抜粋

(2) 鹿児島県内の離島に対するブロードバンド整備取り組みについて

鹿児島県においては 28 島の有人離島があるが、本土からの距離が 100km 以上ある離島が 7 島存在し、かつ広範囲に分布しているため、ブロードバンド整備にあたり大きな障壁となっている。

表 1-4 鹿児島県内離島に対するブロードバンド整備取組事例

| 自治体 (本土との距離) | 取り組み内容 | 補助金等 |
|---------------------------|---|---------------------------|
| 屋久島町 (約 70km) | 屋久島町に属する口永良部島に対し、平成 21 年度に町内本島側(屋久島)の未整備交換局である栗生局・永田局に対して施設整備を行い、永田局から無線で結ぶ予定 | ・ブロードバンド・ゼロ地域解消促進事業(鹿児島県) |
| 瀬戸内町 (約 350km) | 奄美大島の南にある加計呂麻島、請島、及び与路島では、今年度無線 LAN を活用した整備手法について検討中 | ・特定離島ふるさとおこし推進事業(鹿児島県) |
| 十島村 (離島間の距離、約 10~60km) | 村内 4 島の地域公共ネットワークを光ファイバーで構築し、平成 22 年度に他島を無線方式にてブロードバンドサービスを提供予定 | ・国庫補助金 |

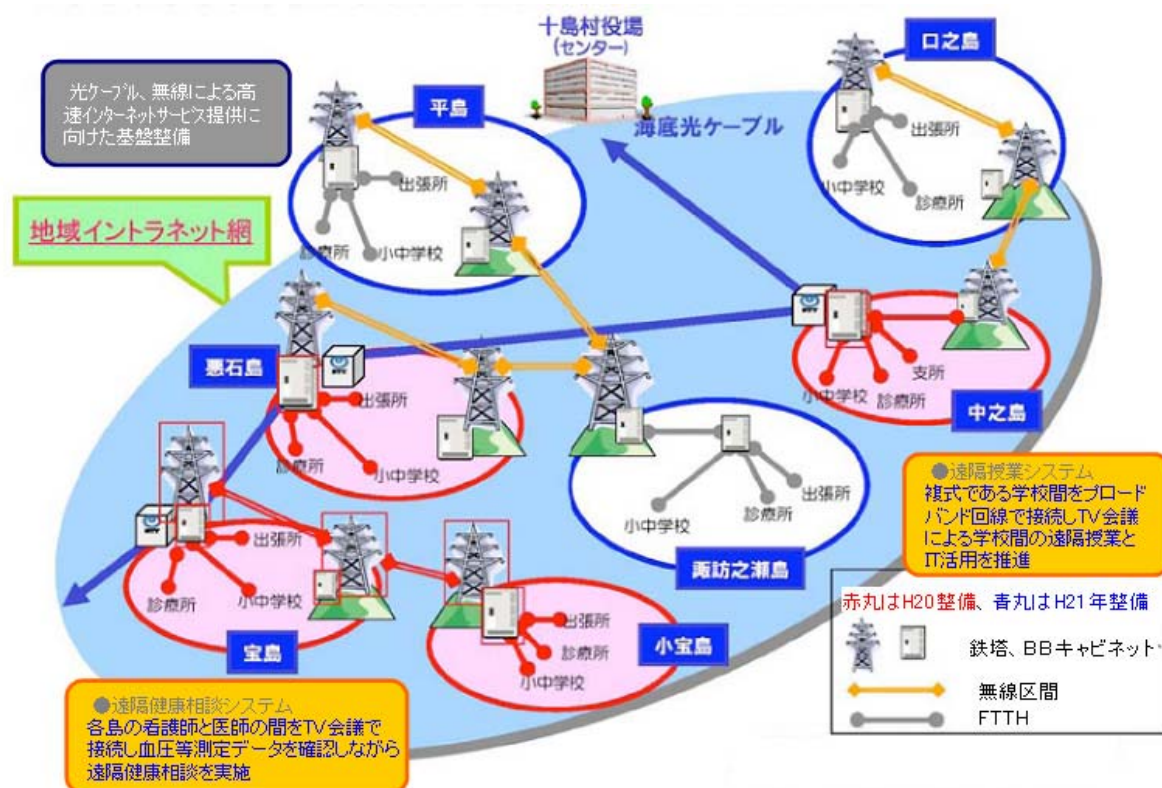


図 1-5 無線活用による整備事例(鹿児島県十島村)

総務省九州総合通信局 2009.01.27 報道資料より抜粋

1.3 ブロードバンド未整備離島等への中継系通信回線の課題と必要性

1.3.1 中継系通信回線の検討課題

中継系通信回線の方式については、いくつか選択肢があるが、最も理想的なものは、海底光ケーブル(FTTH)である。海底光ケーブルの伝送速度は高速であり、快適なブロードバンド環境を提供できるが、その整備にあたっては莫大なコストを必要とするため、費用対効果の観点から、電気通信事業者による早急な整備が期待できない。

DSLについては、現在もFTTHと同等の普及率があり、伝送速度も速い。また、既存の電話線等の設備を利用するため、整備に係るコストは安価である。しかし、電気通信事業者の回線収容局からの距離によって通信品質に著しい劣化が生じるため、そのサービス範囲は限定されたものとなる。

固定無線アクセスシステム(FWA)は、上記有線系ケーブルの方式に比べ、伝送速度は若干劣るものの、海底光ケーブルと比較すると整備にかかるコストは安価であり、また、DSLと比較すると伝送距離において優位性がある。

表 1-5 ブロードバンド未整備離島等への中継系通信回線方式比較

| 種別 | 伝送速度 | コスト | 考察 | 評価 |
|------------------------------|-------|-----|--|----|
| 海底光ケーブル(FTTH) | 超高速 | 高 | ブロードバンド環境には理想的な方式ではあるが、整備に膨大なコストがかかる | × |
| DSL(Digital Subscriber Line) | 中速～高速 | 安 | 電気通信事業者の回線収容局からの距離が4kmを超えると通信品質が劣化するため、長距離での通信には適していない | △ |
| 固定無線アクセスシステム(FWA) | 中速～高速 | 安 | 有線ケーブルと比較すると、若干通信品質は劣るものの、比較的安価に中・長距離の通信が可能となる。 | ○ |

自治体においては、様々な事業の補助金等を活用してブロードバンド整備を行なっているが、事業費の1/3程度は自治体による費用負担が必要となる。しかし、現在多くの自治体の財政状況が逼迫しており、特に離島の自治体においては、比較的財政基盤が弱いところが多いため、比較的安価で整備できる中継系通信回線としては、固定無線アクセスシステム(FWA)が最適な中継系通信回線ということができる。

1.3.2 中継系通信回線の必要性

離島においては、長期的な人口減少傾向や他の地域よりも高い高齢化率など、早急に対処すべき問題を抱えている。しかしながら、離島であっても、ブロードバンド整備を行うことで、離島地域の有する地理的制約を克服できる可能性をもっている。具体的には、遠隔医療や遠隔教育の面で離島にいながらにして本土等のより高度な医療や教育を受けられる環境の整備、更に、産業面では、離島で開発した特産品を都市の住民にインターネットを利用して販売、離島の観光その他の情報をWeb発信する等の方法で産業の振興につなげられること等、ブロードバンドの活用は、離島の発展にとって極めて大きな要素となる。

第2章 中継系通信回線として利用できる無線アクセスシステムの検討

本土～離島、離島～離島の中継系通信回線として利用する無線アクセスシステムの検討にあたっては、各無線アクセスシステムの特徴把握、海上電波伝搬における課題の検討、更に実用化に向けた諸条件による電波伝搬試験などを行う。

2.1 無線アクセスシステムの種類とその特徴

無線アクセスシステムは、様々な周波数帯で標準規格が定められており、代表的な「無線アクセスシステムの種類」を表 2-1 に示す。

その中から、(1) 市場に機器が流通しており、比較的安価で導入することができ、(2) 屋外で利用可能なものとして、以下の周波数帯を利用した無線アクセスシステムの特徴を把握し、電波伝搬試験を実施することとする。

- ・ 2.4GHz 帯無線 LAN
- ・ 2.5GHz 帯地域 WiMAX
- ・ 5.0GHz 帯無線アクセスシステム
- ・ 25GHz 帯広帯域移動無線アクセスシステム

表 2-1 無線アクセスシステムの種類

| システム名 | 周波数帯 | 最大伝送速度 | 伝送距離 | 規格等 | 変調方式等 | 無線局免許 | 無線従事者 | ※ |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------|-------------------|--------------------------|---------|-------|-------------|
| 2.4GHz 帯無線 LAN (P. 15) | 2.4GHz 帯 | 54Mbps | 数百m | IEEE802.11/b/g | DS OFDM | 不要 | 不要 | ○ |
| WiMAX | 2.5GHz 帯 | 下り:20.47Mbps 上り:11.52Mbps | 数 km | IEEE 802.16e-2005 | OFDMA | 必要 | 必要 | 全国事業者 |
| モバイル WiMAX | | | | | | | | ○ |
| 地域 WiMAX (P. 17) | | | | | | | | |
| 次世代 PHS | 2.5GHz 帯 | 下り:22.47Mbps 上り:16.05Mbps | 数 km | | OFDMA | 必要 | 必要 | 全国事業者 |
| 5.0GHz 帯無線アクセス システム (P. 19) | 5.0GHz 帯 | 54Mbps | 数 km | IEEE802.11j | DS OFDM シングルキャリア方式 | 必要(登録局) | 必要 | ○ |
| 5.2GHz 帯無線 LAN (屋内利用専用) | 5.2GHz 帯 | 54Mbps | 100m程度 | IEEE802.11a | OFDM | 不要 | 不要 | 屋外利用不可 |
| 5.5GHz 帯無線 LAN (屋内外利用) | 5.5GHz 帯 | 54Mbps | 100m程度 | IEEE802.11a | OFDM | 不要 | 不要 | 衛星との干渉で利用不可 |
| 18GHz 帯無線アクセスシ ステム | 18GHz 帯 | 156Mbps | 4 km程度 | | FDD TDD | 必要 | 必要 | △ |
| 加入者系無線アクセスシ ステム | 22GHz 帯 26GHz 帯 38GHz 帯 | 156Mbps | 4 km程度 | | FDD TDD | 必要 | 不要 | 全国事業者 |
| 広帯域移動無線アクセス システム (P. 21) | 25GHz 帯 | 100Mbps | 1 km程度 | ARIB STD-83 | OFDM | 不要 | 不要 | ○ |
| 超高速無線 LAN システム | 60GHz 帯 | 1250Mbps | 数百m | ARIB STD-74 | 規定なし | 不要 | 不要 | 短距離のため利用不可 |

DS:直接拡散方式 OFDM:直交周波数分割多重方式 OFDMA:直交周波数分割多元接続方式 FDD:周波数分割複信方式 TDD:時分割複信方式

※価格の評価基準=2.4GHz 帯無線 LAN システムが最安値として、同等のものを○、若干高いものを△とする。

2.1.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステム

(1) 周波数帯について

2.4GHz 帯の周波数帯は、ISM(Industrial Scientific and Medical:産業科学医療)バンドであることから、免許不要で利用できる気軽さがあるものの、他のシステムからの干渉を考慮した置局設計や回線設計が必要になる。

通信方式には CSMA-CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance:衝突回避機能付き搬送波感知多重アクセス)を適用。これにより、周波数帯域が狭い環境下で、他のシステムが通信していない時間内において、自律的に通信を行っている。2.4GHz 帯で使用されている周波数の割り当ては図 2-1 のようになっている。

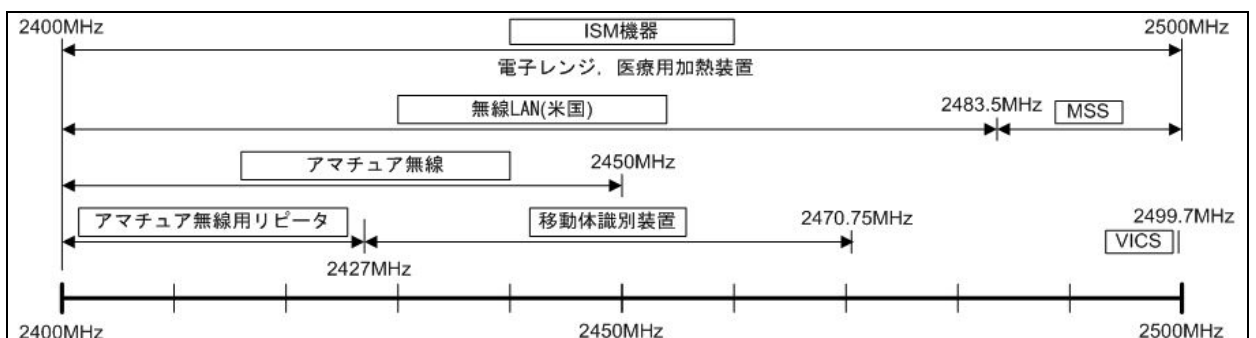


図 2-1 2.4GHz 帯周波数割り当て

図 2-2 の 2.4GHz 帯における 802.11g のチャンネル配置例である。2.4GHz 帯の無線 LAN 機器において設定できるチャンネル数は最大 13 あるが、1~4ch、5ch~8ch、9~12ch はそれぞれ互いに干渉する。「1」「5」「9」といったように 4 チャンネルずつ離す必要がある。

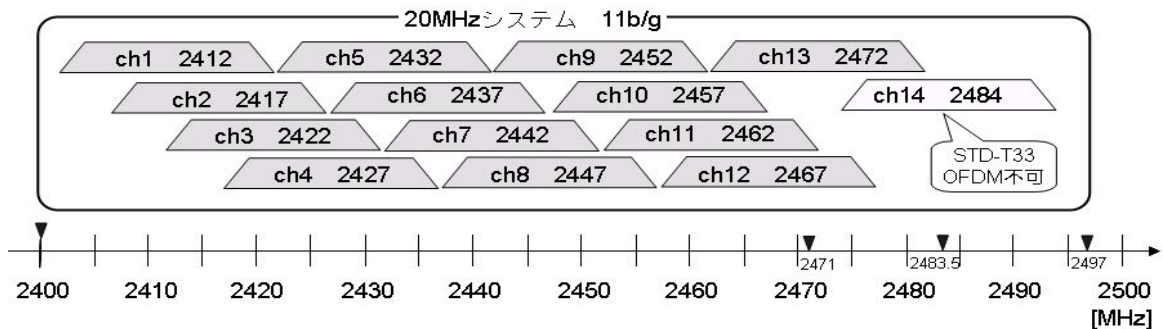


図 2-2 2.4GHz 帯チャンネル配置

参考文献:「無線 LAN(IEEE802.11)の周波数とその特徴」

(2) システム特徴について

2. 4GHz 帯の無線アクセスシステムの特徴については、以下のようになる。

- a. 免許不要で、あらゆる用途に使用可能。
 - ・屋内/屋外、移動/固定、陸/海/空。
 - ・データ、音声、画像伝送 ただしデジタル化されたデータに限る。
- b. 無線 LAN の中では一番波長が長い。
 - ・長距離通信に有利。
 - ・障害物の陰にも電波が回り込みやすい。
- c. 伝送速度やチャンネル周波数の自由度が大きい。
 - ・伝送速度は、低速から高速まで自由。
 - ・周波数範囲内であればチャンネル周波数は自由。
- d. 二つの周波数帯
 - ・ARIB STD-T66(2400~2483.5MHz)が主力。
 - ・RCR STD-T33(2471~2497MHz)は縮小方向。
- e. ISM バンド周波数共有帯のため、干渉源が多い。

2.1.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステム

(1) 周波数帯について

2.5GHz 帯の地域 WiMAX (地域の特性、ニーズに応じたブロードバンドサービスを提供することによるデジタルディバイドの解消、地域の公共サービス向上等、当該地域の公共福祉の増進に寄与することを目的としている。)は、広帯域移動無線アクセスシステム(BWA)のうち、2575MHz から 2595MHz までの周波数のうちの 10MHz 幅(固定系地域バンド)を使用する無線局となっている。

BWA で使用されている周波数の割り当ては図 2-3 のようになっている。

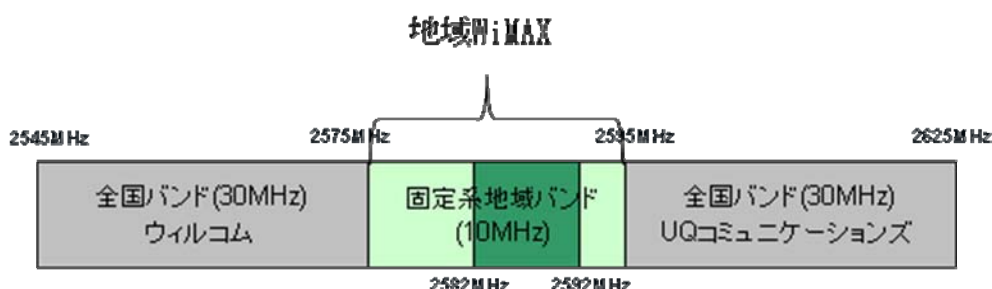


図 2-3 2.5GHz 周波数割り当て

参考資料:「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築の調査検討会用 WiMAX 機器資料」

(2) システム特徴について

- a. 送信電力が無線 LAN と比較して大きいため固定利用の場合エリアが広い。
- b. 免許局であり、事前に干渉検討も必要なので、干渉の可能性は低い。
 - ・無線従事者資格を有する資格者が必要。
 - ・申請等手数料、電波利用料が必要。
 - ・移動局も免許が必要。ただし包括免許制度あり。
- c. OFDM の採用により干渉に強い。
- d. MIMO の利用により伝送容量の高速化が図れる。
- e. 周波数バンドは 2575MHz から 2595MHz までの周波数のうちの 10MHz 幅。使用帯域は 10MHz と 5MHz の 2 種類がある。
- f. 固定系地域 WiMAX の用途は次のとおりである。
 - ・3つのモデルが想定されている。
 - ・モデル 1 は移動体が想定されており、基地局の電力、アンテナ利得は 20W 以下、17dBi 以下となっている。移動局は 200mW、2dBi 以下となっている。
 - ・モデル 2 は固定利用が想定されているが、使用できる場所が過疎地、離島などデジタルディバイド地域に限定される。基地局の条件は同じだが、移動局は 200mW 以下、20dBi 以下となっている。20~23dBi の場合は送信電力が 100mW、23~25dBi の場合は 63mW となっている。

- ・モデル3は中継利用が想定されている。モデル2と同様に使用場所が限定される。基地局はアンテナ利得17~20dBiの場合送信電力が10W以下、20~23dBiの場合5W以下、23~25dBiの場合3.2W以下となっている。移動局は23dBi以下の場合200mW、23~25dBiの場合126mW以下となっている。
- ・目的がデジタルディバイド解消や地域の公共サービスの向上など、公共福祉の増進に寄与することに限られる。
- ・周波数共用システムが無く、干渉による通信障害の危険性が小さい。
- ・無線LANと比較すると送信電力が大きいため、離島などデジタルディバイド地域における長距離伝送には有利である。またそのような中継モデルも想定されている。

2.1.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステム

(1) 周波数帯について

図 2-4 に示す 5.0GHz 帯周波数の割り当てのうち、4.9~5.0GHz (青塗り) の周波数を利用した無線アクセスシステムであり、データや音声、画像転送に適しているが、デジタル化されたデータのみ使用可能となっている。周波数共用システムがないため、干渉による通信障害の危険性が小さいのも特徴である。

5.0GHz 帯で使用されている周波数の割り当ては図 2-4 のようになっている。

※5.15GHz~5.25GHz、5.25GHz~5.35GHz、5.47GHz~5.725GHz の無線システムは移動衛星業務との干渉問題がある。

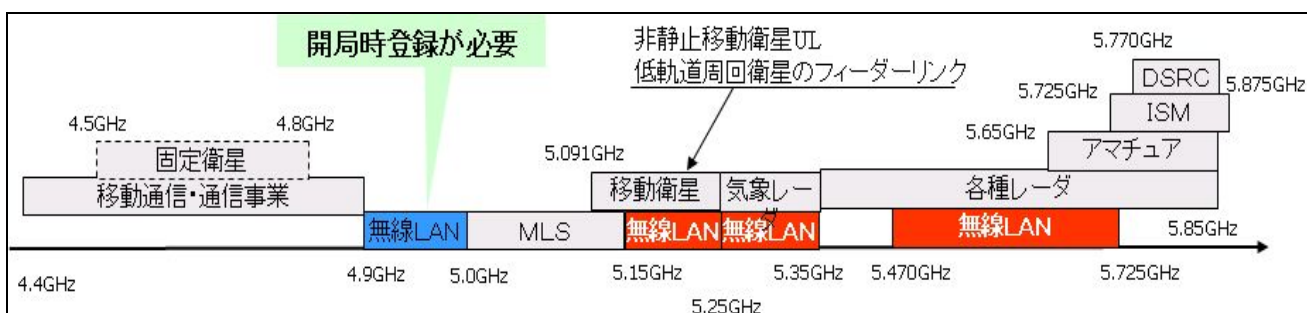


図 2-4 5.0GHz 帯周波数割り当て

5.0GHz 帯のチャンネルの配置は図 2-5、2-6 のようになっている。

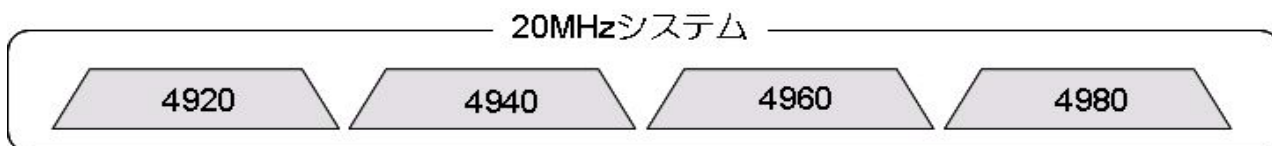


図 2-5 5.0GHz 帯チャンネル配置

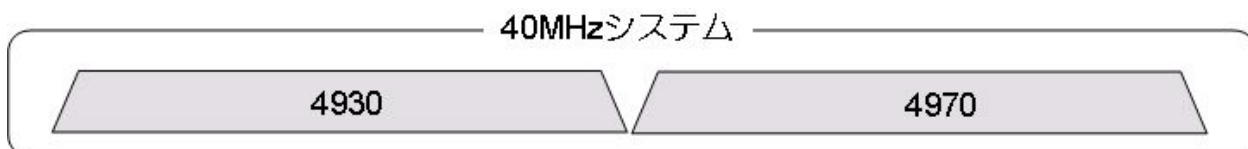


図 2-6 5.0GHz 帯チャンネル配置

参考資料: 「無線 LAN (IEEE802.11) の周波数とその特徴」

(2) システム特徴について

- a. 登録制(無線局免許制ではない)
 - ・無線従事者資格を有する資格者が必要。
 - ・登録申請手数料、電波利用料が必要。
 - ・特定小電力無線局(10mW/MHz 以下)の移動局は登録不要。電波利用料も不要。
- b. 多くの用途に使用可能。
 - ・屋内/屋外、移動/固定 ただし、基地局、移動中継局は固定のみ。
 - ・データ、音声、画像伝送 ただし、デジタル化されたデータに限る。
- c. 周波数共用システムが無く、干渉による通信障害の危険性が小さい。
- d. 基地局(親)、移動中継局、移動局(子局)の区別がある。
 - ・基地局(親)、移動中継局(移動局のために中継動作をする局)は固定局。
 - ・移動局だけのシステムは構築不可(必ず基地局が要)。
- e. 4.8GHz 帯で通信事業者の無線局が運用されており、特定の地域では不要発射強度規格の厳しい装置を使用しなければならない。
 - ・許容値 $0.2\mu\text{W}$ 以下の低スプリアス無線設備 → 全国どこでも設置可。
 - ・許容値 $2\mu\text{W}$ 以下の高スプリアス無線設備 → あらかじめ定められた特定の地域のみ設置可。

2.1.4 25GHz 帯無線アクセスシステム

(1) 周波数帯について

広帯域移動無線アクセスシステムのうち、25GHz 帯周波数（24.75～25.25GHz（図 2-7 赤枠））の周波数を利用する無線アクセスシステムであり、無線局免許がなくても運用でき、無線ネットワークを手軽に構築できる。また、23 チャンネルの帯域が使用出来るため、チャンネル不足の心配がない。ただし、降雨による影響は大きく、事前に雨量対応表などを用いて降雨減衰量を考慮しておく必要がある。なお、25GHz 帯で使用されている周波数の割り当ては図 2-7 のようになっている。

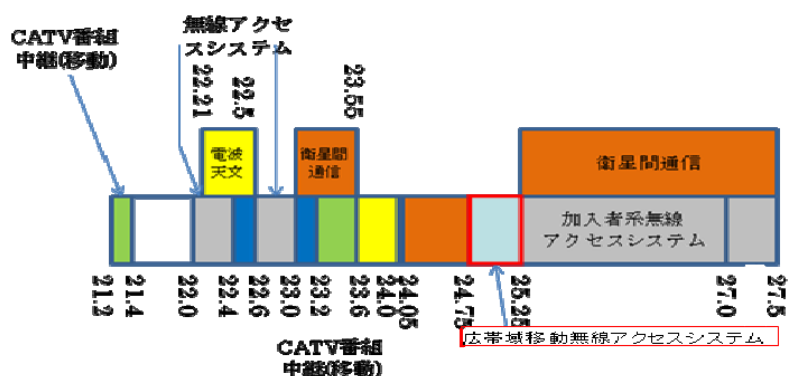


図 2-7 25GHz 帯周波数割り当て

参考資料: 総務省 「平成 18 年度電波の利用状況調査の調査結果及び評価結果の要旨」

(2) システム特徴について

- 無線免許不要の高速無線伝送装置である。すなわち、準ミリ波帯小電力データ通信システム用無線機であり、無線局免許・無線従事者資格がなくても運用でき無線ネットワークが手軽に構築可能。
- 周波数共有であるが、多チャンネル(23 チャンネル)であるため干渉が少ない。
- スペースダイバーシティの構成が可能
空間的に離れた複数のアンテナを利用することで、マルチパスフェージングによる回線への影響を軽減し、システム全体で回線品質を維持する手法。

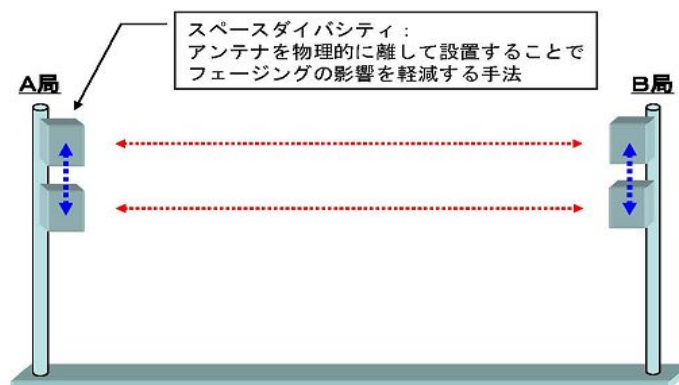


図 2-8 スペースダイバーシティ概念図

2.2 中継系通信回線としての海上電波伝搬の課題

2.2.1 電波の性質と周波数の特徴

(1) 電波の性質

電波源より電波が広がる場合、電波源を取り巻く媒質がどこも均一ならば、電波はあらゆる方向へ等速度で直進する。そして磁界と電界の方向が互いに直角で、それぞれ正弦的に変化しながら伝搬方向に進む性質がある。(図 2-9 参照)電波は、電離をおこさない電磁波の一種で、その周波数が 3,000GHz 以下のものを言う。同じ「電波」でも周波数により性質は異なり、気象予報や航空機・船舶などのレーダ、衛星通信、テレビやラジオ、携帯電話、家電製品更に医療・工業・建設分野など、で利用されている。(表 2-2 参照)。

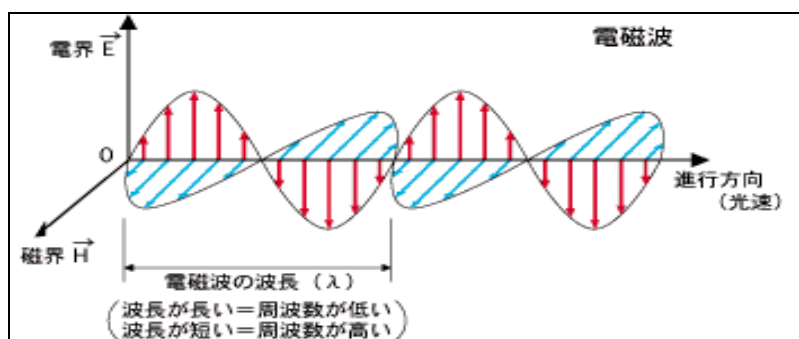


図 2-9 電波の伝搬 参考 URL 電磁波の基礎知識

表 2-2 無線周波数帯の利用用途(例)

| 電波の呼称 | 周波数 | 波長 | 主な用途 | 降雨の影響 | 反射 | |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------|--|---|------------|------------|
| 超長波 VLF(Very Low Frequency) | 3kHz ↓ 30kHz | 100km ↓ 10km | 無線航行、水中通信 | 小さい ↓ 特に (10GHz 以上) ↓ 大きい | 透過性が 強い | |
| 長波 LF(Low Frequency) | 30kHz ↓ 300kHz | 10km ↓ 1km | 船舶・航空機ビーコン | | | |
| 中波 MF(Medium Frequency) | 300kHz ↓ 3MHz | 1km ↓ 100m | AMラジオ 船舶通信 アマチュア無線 | | | |
| 短波 HF(High Frequency) | 3MHz ↓ 30MHz | 100m ↓ 10m | 短波放送 船舶・航空機通信 アマチュア無線 | | | |
| 超短波 VHF(Very High Frequency) | 30MHz ↓ 300MHz | 10m ↓ 1m | TV・FM放送 消防・警察無線 防災行政無線 | | | |
| 極超短波 UHF(Ultra High Frequency) | 300MHz ↓ 3GHz | 1m ↓ 10cm | 特定小電力無線、無線LAN 携帯電話・PHS、TV放送、タクシー 無線 アマチュア無線 | | | |
| マイクロ波 SHF(Super High Frequency) | 3GHz ↓ 30GHz | 10cm ↓ 1cm | 衛星放送、レーダ | | | |
| ミリ波 EHF(Extremely High Frequency) | 30GHz ↓ 300GHz | 1cm ↓ 1mm | 近距離秘匿通信、衛星間通信 | | | |
| サブミリ波 | 300GHz ↓ 3THz | 1mm ↓ 0.1mm | 電波望遠鏡、デバイス開発 | | | 反射性が 強い |

(2) 周波数の特徴

電波は周波数によりその性質が変化する。伝送媒体である空間の状態は一定ではなく、気象条件により変動する。周波数が一般的に 10GHz を超えると降雨による減衰が大きくなってくる。

無線伝送において、電波を送受信する場合、指向性の鋭いアンテナを使用し、電波を絞って送信するが、距離が離れるに従って電波が広がり、受信点では送信された電波の一部のみが受信され大部分は損失となり届かなくなってしまう。これを自由空間損失といい、伝送距離が遠いほど、また周波数が高いほど(波長が短いほど)自由空間損失は大きくなる。また、電波は周波数が高い(波長が短い)程光の性質に似てくるため、遮蔽物や空間の状態変化や降雨量の影響を受けやすい(伝送距離と周波数の 2 乗で減衰)。一般的にこの減衰量をカバーするために、アンテナ利得を上げるなどの対策を行う必要がある。

※送信機出力を上げることについては、免許を受ける無線局は一部可能であるが、免許不要局など特殊な無線設備では、一般的に送信機出力を上げることはできない。

表 2-3 周波数の高低による電波の特徴 (1GHz 以上)

| 周波数の高低 | 性質 | 補足 |
|--------|-------------------------------|--|
| 周波数が低い | 広がりやすい 回折しやすい | 周波数が低いと、伝送できる帯域は狭いが、減衰も少なく、回り込みにより見通し外への通信が可能である。 |
| 周波数が高い | 直進する 減衰しやすい 反射の影響を受けやすい | <ul style="list-style-type: none">周波数が高くなると、伝搬による電波の減衰が増える。(伝搬距離と周波数の 2 乗で減衰)高い周波数は、アンテナの設計がしやすく小さくて済み、伝送帯域も増えるメリットがある。電磁波は周波数が高い程直進性が高まる。反射を利用した通信方式もある。 |

2.2.2 電波の偏波面の種類

電界の振動方向の空間的關係を波のかたより、又は偏波の方向といい、直線偏波と回転偏波の2種類がある。

直線偏波には電界振動面が沿直面内にある垂直偏波と、電界振動面が水平面内にある水平偏波がある。垂直(水平)偏波を放射するアンテナから放射された電波は垂直(水平)偏波用アンテナで受信されなければならない。

同一の2つの直線偏波の位相をずらせて重ね合わせると、その合成波の電界を表すベクトルは弧を描くような変化をする。これをある点で観測すると電界は1周期で1回転する回転電界である。偏波の回転は電氣的に行なわれ、電波の1サイクルについて1回転するような波が実用に供されている。

回転偏波においては、二つの直線偏波の位相のどちらが進んでいるかによってベクトル軌跡の回転方向は反対になる。右旋性、左旋性の定義は、電波のくる方向に向かってその電界の回転が左方向であれば左旋円偏波それが右回転であれば右旋円偏波という。以下は各偏波のアンテナの分類を記したものである。

- ・ 垂直偏波アンテナ
直線偏波の中で電界成分が大地に対し垂直であるアンテナ。
- ・ 水平偏波アンテナ
直線偏波の中で電界成分が大地に対し水平であるアンテナ。
- ・ 右旋円偏波アンテナ
右回りの円偏波を送信・受信するアンテナ(左回りの円偏波は受信感度が低下する)。
- ・ 左旋円偏波アンテナ
左回りの円偏波を送信・受信するアンテナ(右回りの円偏波は受信感度が低下する)。
※円偏波アンテナはV又はH偏波の電波もある程度受信できる。
- ・ デュアル偏波アンテナ
V偏波とH偏波又は右旋円偏波と左旋円偏波を一つのアンテナから放射出来るもの(給電口が二つある。)

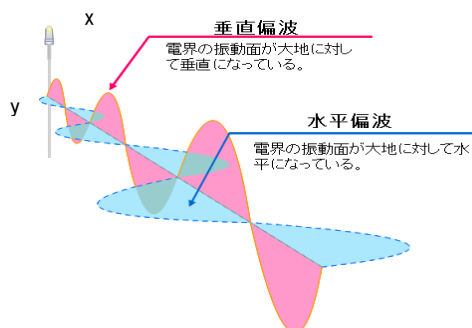


図 2-10 直線偏波概要図



図 2-11 円偏波イメージ図

2.2.3 海上電波伝搬の特徴

一般に、海上区間における無線伝搬の受信側では、アンテナ間を直進して到来する電波(直接波)だけでなく、海面で一旦反射して到達する電波(反射波)が陸上通信よりも強い。このため、直接波と反射波が干渉した結果、受信レベルが変動する。

・電波の反射について

電波は金属のように電気を通しやすい物体により強く反射する。図 2-12 は電波の反射を表したものである。

直接波と反射波の電氣的経路長差が、 $1/2$ 波長の奇数倍になると打ち消しあってしまうことより、潮位の変動に受信レベルが大きく依存することとなる。ここで、電氣的経路長差とは、物理的経路長差を波面の状態等で補正した数値である。(図 2-12 参照)。

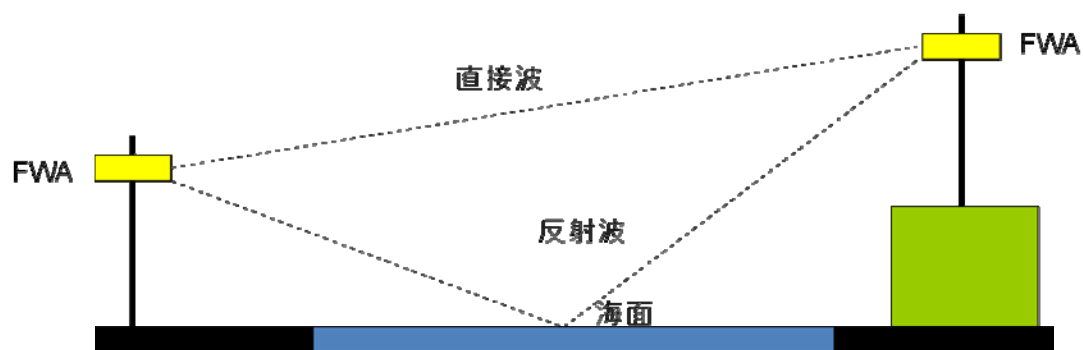


図 2-12 海上電波伝搬のイメージ

「離島におけるブロードバンド化促進のための調査検討」2007.3 から作成

2.2.4 潮位の影響

海上における電波伝搬では、海面の波や潮位の変化が電波の反射に影響を及ぼし、その海面の波や潮位の変化量で電波の反射波が干渉波として直接波の受信レベルに影響を与える。海面(潮位)が一定であるならば、アンテナ設置時に調整が行えるが、自然界では潮位が変動するため、電波レベルが悪くなる場合がある。従って、指向性の強いアンテナを使用した無線アクセスシステムを用い、かつ事前に潮位の変動を確認しておくことが望ましい。

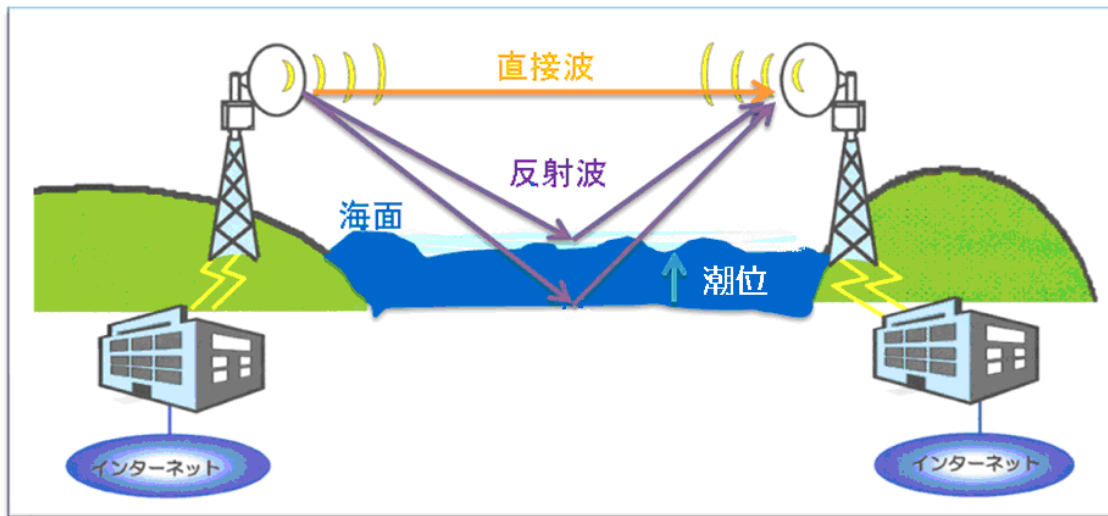


図 2-13 潮位の変化と反射波のイメージ

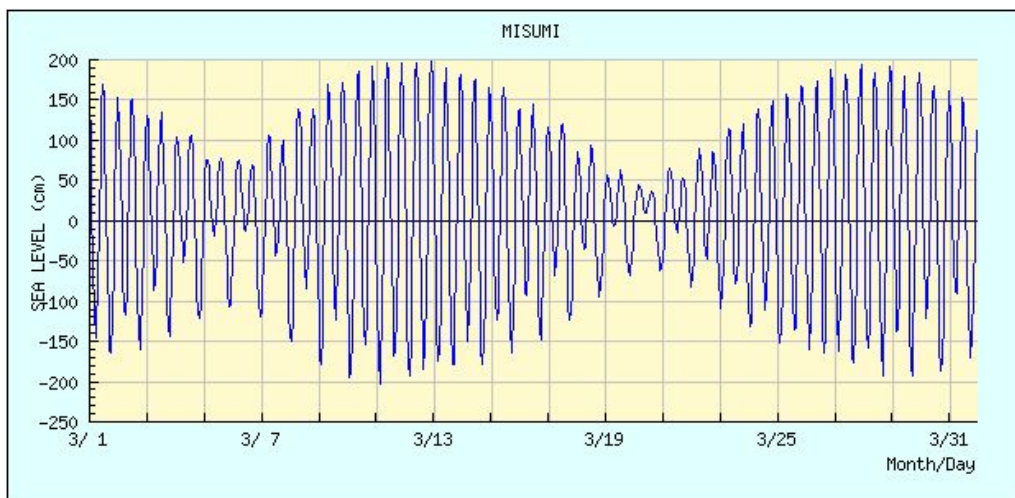


図 2-14 潮位予測

参考 URL 気象庁 統計情報

<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>

2.2.5 降雨の影響

降雨があると、電波強度が雨滴による吸収や散乱で降雨減衰が発生する。無線回線上に存在する雨滴の全てが降雨減衰の元となる。特に 10GHz 以上の準ミリ波やミリ波帯を使用する衛星通信システムの回線設計においては最も影響の大きい要因がこの降雨減衰である。また、雨滴は落下時の大気との相互作用により、直径 2 ミリ以上ならまんじゅう形となり、大きな雨滴ほど扁平になる。従って、同じ直線偏波でも、水平偏波と垂直偏波によって減衰量は異なる。

同一周波数を使用し、垂直偏波と水平偏波という直交する二つの偏波を有する電波に異なる情報をのせる直交偏波システムの場合、降雨によって二つの偏波の直交性が崩れ、互いに干渉を及ぼすという結果になる場合がある。

2.2.6 海上電波伝搬距離及びアンテナ高の設定

海上電波伝搬距離については、九州地域内の有人離島の多くをカバーし、かつ、市販の無線アクセスシステムの実利用を想定し、10~20km 程度の距離に関して検討する。

次にアンテナ高については、海上電波伝搬の場合、海面反射による干渉波を軽減するために海拔高を高く設定するのが通常だが、離島等での費用面での実現可能性を考慮し、離島等に存在する既設の建造物との共用が望ましい。自治体の防災行政無線鉄塔や自主防災設備(図 2-16、図 2-17 参照)が候補となるが、これらの建造物の海拔高は、大半が 40m 以下と低い箇所が多い(図 2-15 参照)。従って、今回無線アクセスシステムの中継箇所は、海拔高 40m 以下の箇所を選定し、潮位変動に伴いどのように受信レベルが変化し、品質劣化に影響を及ぼすかの電波伝搬試験を行う。

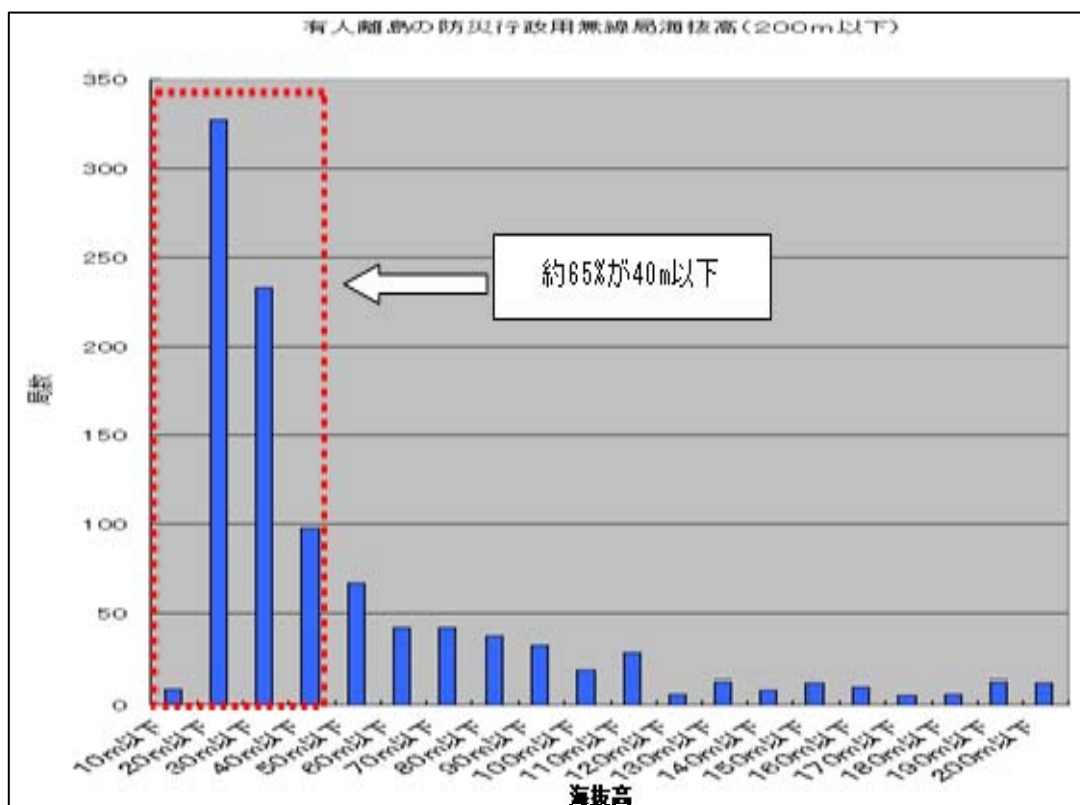


図 2-15 有人離島の防災行政用無線局数とアンテナ海拔高



図 2-16 防災用鉄塔との共有イメージ



図 2-17 火の見櫓との共有イメージ

2.3 電波伝搬試験実施への具体化

2.3.1 電波伝搬試験実施場所の選定理由

市販の無線アクセスシステムの実利用を想定した 10km~20km の海上電波伝搬ができるロケーションとして長崎~熊本間の内海である有明海を選定した。(図 2-18 参照) また有明海は、日本最大の干満差(最大 6m の干満の開き)があるため、今回の電波伝搬試験を行うことで、我が国の何れの海上における電波伝搬の参考になるデータが取得できると考えた。図 2-19 は干潮、図 2-20 は満潮の様子である。

アンテナの設置場所については、海拔高が 40m 以下で適当な高さとなるよう既設の鉄塔・建造物を選定した。

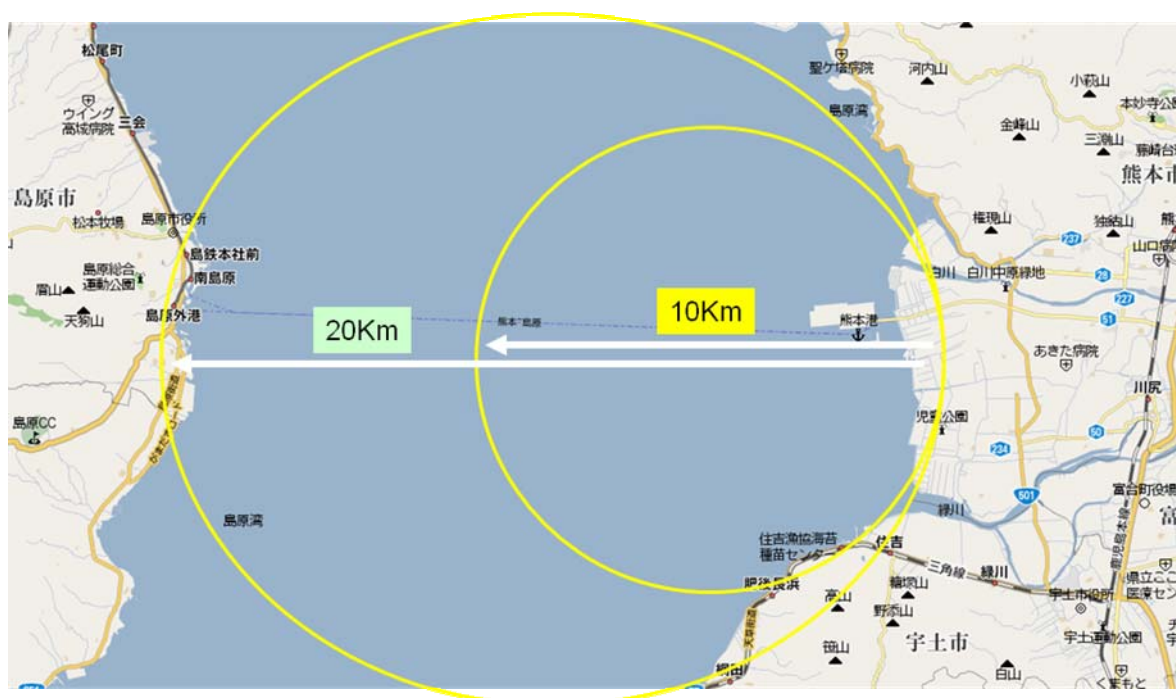


図 2-18 電波伝搬距離とロケーション ※地図 Google より

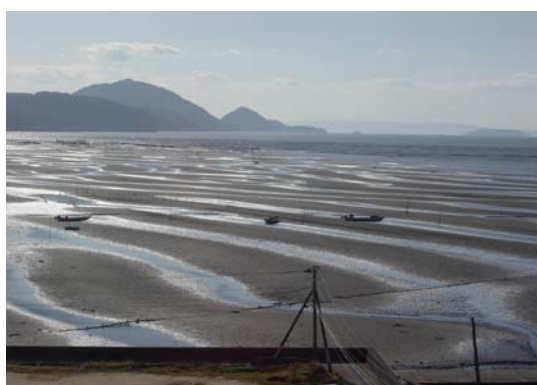


図 2-19 有明海の干潮



図 2-20 有明海の満潮

2.3.2 具体化のための留意点

同一季節・同一距離の海上における電波伝搬試験実施の具体化にあたっては、一部の無線機器では、一般的な利用形態の想定を超えた電波伝搬距離、潮位及び降雨の影響を考慮し、アンテナの工夫を必要とした。

特にアンテナ偏波面については、潮位の変化によって偏波の位相に影響を受ける可能性があることから、垂直・水平・円の3つの偏波面による送受信を検討する。

また、アンテナ高についても、実際の鉄塔・建造物を活用した電波伝搬試験とするために、机上回線設計の段階からフレネルゾーン等も、実用に近い状態で検討する。

2.3.3 電波伝搬試験項目について

表2-4の無線アクセスシステム毎について、RSSI(受信電力)、スループットの変化を偏波面毎に整理する。

なお、参考として、潮位、降雨、気温、海水温、風力、降水量を気象庁のデータより取得する。

表2-4 調査検討項目一覧

| 周波数帯別 無線アクセスシステム | 海上電波伝搬距離 | アンテナ 偏波 |
|---------------------|----------|---------------------|
| 2.4GHz 帯 | 約 20km | 垂直 |
| | | 水平 |
| | | 円 |
| 2.5GHz 帯 | 約 10km | 垂直 |
| | | 水平 |
| | | 円 |
| 5.0GHz 帯 | 約 20km | 垂直 |
| | | 水平 |
| | | 円 |
| 25GHz 帯※ | 約 10km | 垂直 (スペースダイバーシティ) |

※この無線アクセスシステムについてのアンテナ偏波面の検討については、アンテナと無線機一体型のため実施していない。

第3章 海上電波伝搬試験の概要

中・長距離海上電波伝搬路において、中継系通信回線の無線システムを構築するためには、電波の通り道(フレネル・ゾーン)を確保しなければならない。通信距離が長くなるとフレネル半径が大きくなるとともに地球の丸みの影響が生じるため、できる限りアンテナを高くする必要がある。しかしながら、既存の建物や鉄塔を利用するなど実用高を基本としつつ、海上電波伝搬路上の波の変化で生じる海面反射(マルチパス・フェージング)による影響を軽減することや、潮位の変動によるアンテナ海拔高の変化による直接波と反射波の伝搬路差による受信電力の変化(ハイトパターン)を考慮して、最適な受信アンテナ高になるよう検討する。また、回線品質は、スループット(伝送速度)により評価する。

3.1 海上電波伝搬試験の実施概要

図3-1は無線設備の設置場所と無線ネットワークの構成を示す。中継系通信回線では対向するアンテナの見通しが前提であるため、実用化を想定しつつ、地理的条件を考慮した設置場所を選定した。熊本県宇土市の肥後長浜局をセンター拠点とし、長崎県島原市のNTT島原白土局と熊本市内にある西部浄化センター局を接続する構成である。

NTT島原白土局までの直線距離は20.4kmあり、西部浄化センター局までの直線距離9.5kmで見通しである。肥後長浜局はセンターの役割を持ち、今回使用する周波数帯全ての無線機器を設置した。肥後長浜局とNTT島原白土局間は、2.4GHz帯と5.0GHz帯の2リンクで構成を行い、肥後長浜局と西部浄化センター局間は、2.5GHz帯と25GHz帯の2リンクで構成した。アンテナは、2.4GHz帯と2.5GHz帯では利得22dBiの平面アンテナを使用し、5.0GHz帯では利得24dBiのパラボラアンテナを使用した。

25GHz帯に関しては送受信機とアンテナの一体型機器を使用した。また、2.4GHz帯では異なる偏波面での同時発射による相互の電波干渉を避けるため、通信周波数(通信チャンネル)が異なるよう設定し測定を行った。

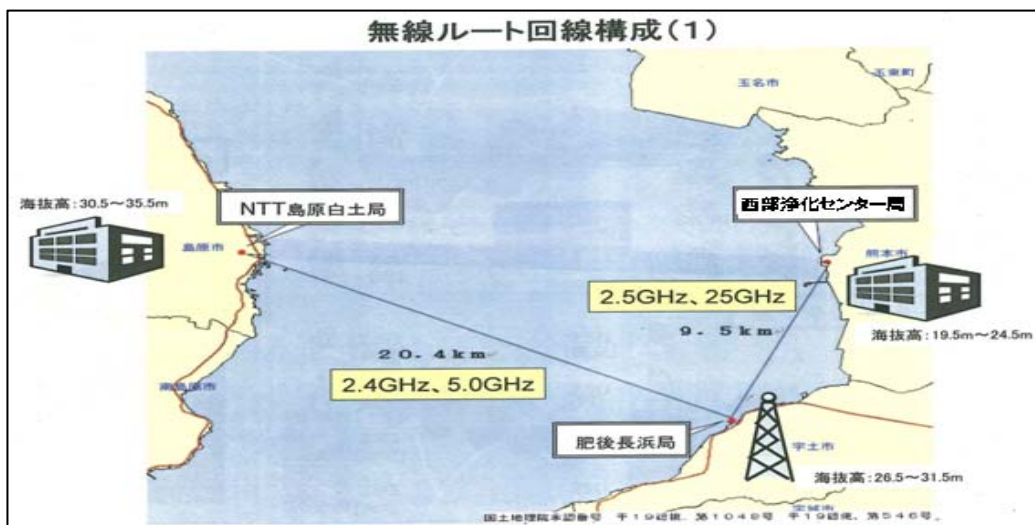


図3-1 無線ルート回線構成 ※国土地理院承認地図利用

3.2 電波伝搬試験用無線ネットワークの構成

今回の電波伝搬試験で使用した無線ネットワークの全体構成は図3-2のとおりであり、各無線システム構成を3.2.1から3.2.5に示す構成、測定機器仕様により、2.4/2.5/5.0/25GHz帯の機器を使用し、スループット測定と受信レベル(Receive Signal Strength Indication:以下RSSI)の測定を行った。

周波数帯毎にアンテナ設置数及び測定用PCを配置し、測定した。また、2.4GHz帯、2.5GHz帯は平面アンテナを使用し、5.0GHz帯に関してはパラボラアンテナを使用した。また、平面アンテナに関しては、垂直、水平、円偏波に切替え可能なアンテナ仕様となっており、5.0GHz帯のパラボラアンテナは垂直、水平、円偏波個々のアンテナにて測定した。25GHz帯に関しては、アンテナ一体型(垂直)機器を使用したため、水平、円偏波の測定は実施していない。

本電波伝搬試験に際しては、上記のアンテナを使用することにより、一部無線アクセスシステム機器について「実験試験局」の免許を取得した。

なお「実験試験局」免許を取得した無線アクセスシステムについては、以下の2無線アクセスシステムである。

- ・ 2.5GHz帯無線アクセスシステム(地域WiMAX)
- ・ 5.0GHz帯無線アクセスシステム

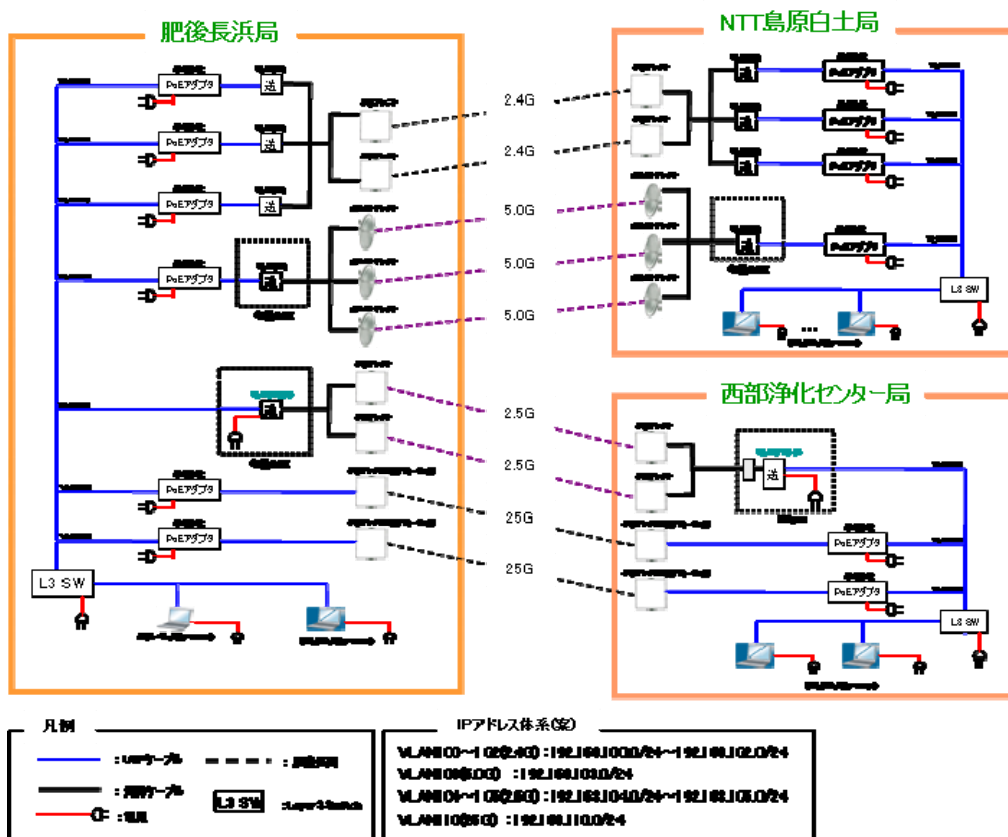


図3-2 無線アクセスシステム電波伝搬試験構成図

3.2.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成

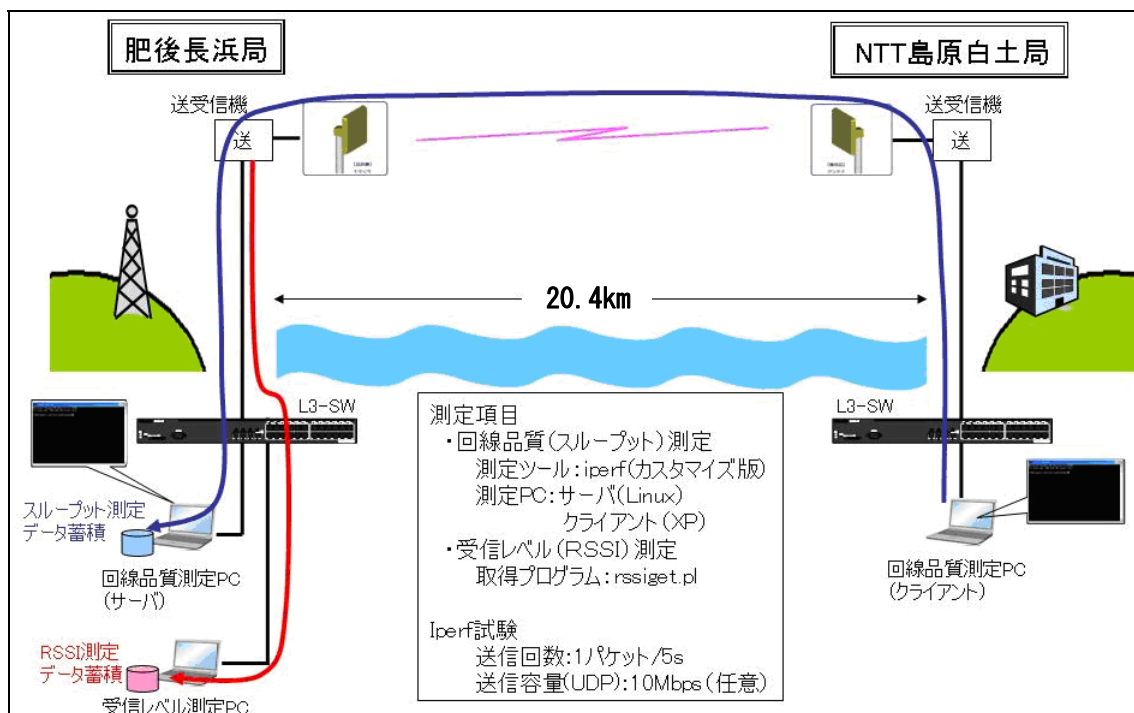


図 3-3 2.4GHz 帯無線アクセスシステム試験構成図

表 3-1 機器構成

| 項目 | 数量 | 備考 |
|------------------|-----|----|
| 2.4GHz 帯無線 LAN | 6 台 | |
| 偏波共用平面アンテナ(直交偏波) | 2 基 | |
| 偏波共用平面アンテナ(円偏波) | 2 基 | |

表 3-2 システム特性

| 項目 | 仕様 |
|-------------------|----------------------------|
| 周波数帯 | 2.4GHz 帯 (2.400~2.4835GHz) |
| 伝送容量 | 18/24/36/48/54Mbps |
| 変調方式 | OFDM : QPSK, 16QAM, 64QAM |
| 送信出力 | 10mW/MHz 以下 |
| インターフェース | 100BASE-TX/10BASE-T |
| アンテナ | 水平 14° 以下 垂直 14° 以下 / アンテナ |
| アンテナ利得 | 22dBi |
| アンテナ設置高(※海拔高とする。) | 肥後長浜局:29.0m、島原白土局:31.0m |
| その他 | 無線規格:IEEE802.11G相当 SNMP 搭載 |



表 3-3 2.4GHz 帯無線装置機器仕様

| 外形寸法(mm) | 重量(Kg) |
|-------------------------|--------|
| 195(W) × 195(H) × 70(D) | 1.6 |

図 3-4 2.4GHz 帯無線装置(日本電業工作株式会社製)

3.2.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成

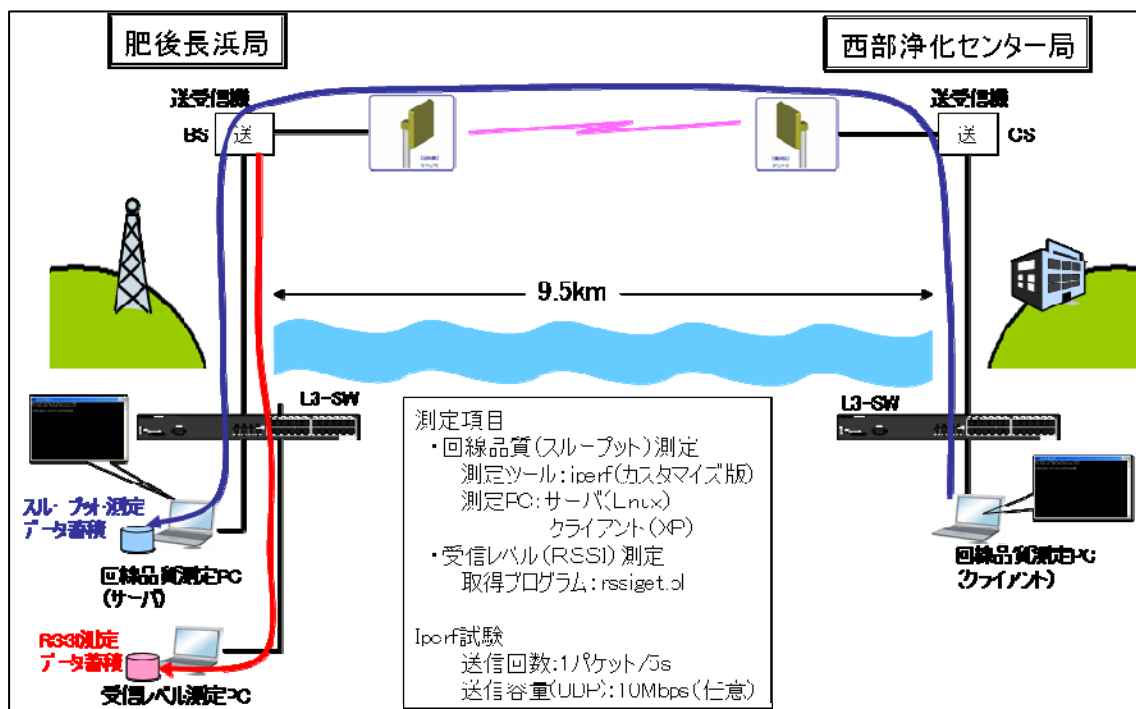


図 3-5 2.5GHz 帯無線アクセスシステム試験構成図

表 3-4 機器構成

| 項目 | 数量 | 備考 |
|-------------------|-----|----|
| 2.5GHz WiMAX システム | 2 台 | |
| 偏波共用平面アンテナ (直交偏波) | 2 基 | |
| 偏波共用平面アンテナ (円偏波) | 2 基 | |

表 3-5 システム特性

| 項目 | 仕様 |
|--------------------|--------------------------------------|
| 周波数帯 | 2.5GHz 帯 (2.575~2.595GHz) |
| 伝送容量 | 下り: 20.47Mbps、上り: 11.52Mbps |
| 変調方式 | OFDMA : BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM |
| 送信出力 | 親機 1W 以下、子機 200mW 以下 |
| インターフェース | 100BASE-TX / 1000BASE-T / 100Base-FX |
| アンテナ | 水平 14° 以下 垂直 14° 以下 / アンテナ |
| アンテナ利得 | 22dBi※ |
| アンテナ設置高 (※海拔高とする。) | 肥後長浜局: 29.0m、西部浄化センター局: 22.3m |
| その他 | 無線規格: IEEE802.16e-2005 相当 SNMP 搭載 |

◎実験試験局免許を取得 ※高利得 FWA (モデル 3) の場合アンテナ利得 25dBi まで認証取得可能。(15 頁参照)



図 3-6 2.5GHz 帯無線装置 (親機)

表 3-6 2.5GHz 機器仕様

| 外形寸法 (mm) | 重量 (Kg) |
|-----------------------------|---------|
| 473 (W) × 338 (H) × 214 (D) | 20 |



図 3-7 2.5GHz 帯無線装置 (子機)

(ルート株式会社製)

表 3-7 2.5GHz 機器仕様

| 外形寸法 (mm) | 重量 (Kg) |
|-----------------------------|---------|
| 167 (W) × 160 (H) × 118 (D) | 0.48 |

3.2.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成

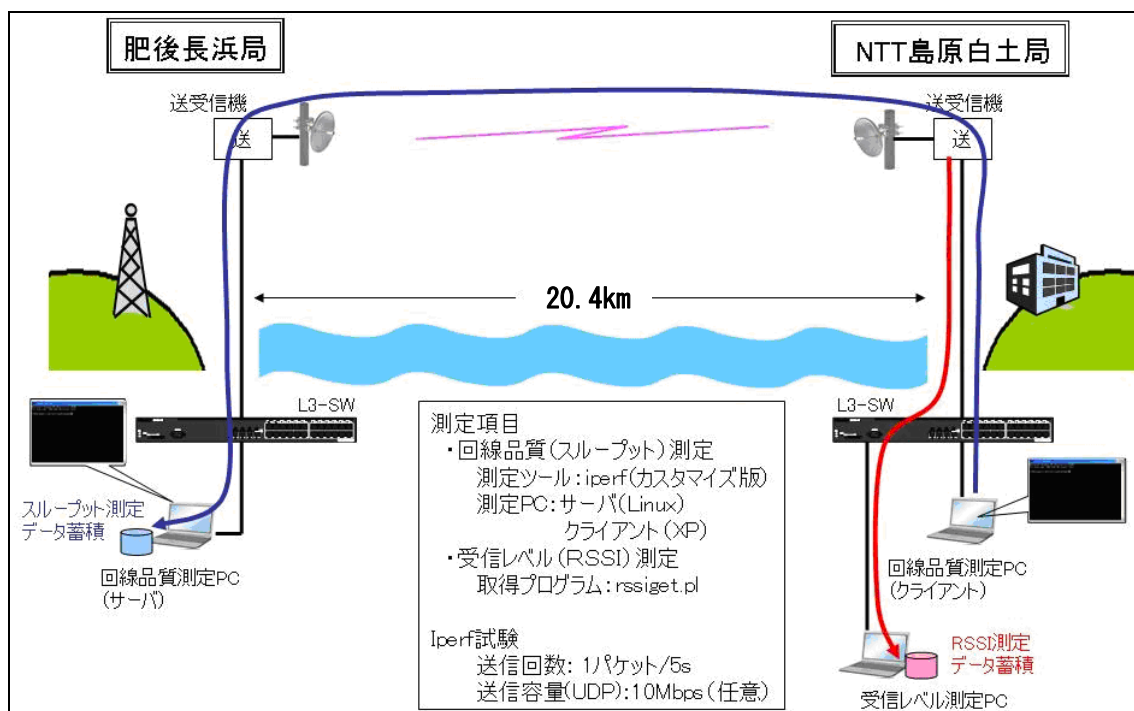


図 3-8 5.0GHz 帯無線アクセスシステム試験構成図

表 3-8 機器構成

| 項目 | 数量 | 備考 |
|-----------------|-----|----|
| 5.0GHz 高速無線 LAN | 2 台 | |
| パラボラアンテナ(垂直偏波) | 2 基 | |
| パラボラアンテナ(水平偏波) | 2 基 | |
| パラボラアンテナ(円偏波) | 2 基 | |

表 3-9 システム特性

| 項目 | 仕様 |
|-------------------|-----------------------------|
| 周波数帯 | 5.0GHz 帯 (4.9~5.0GHz) |
| 伝送容量 | 6/9/12/18/24/36/48/54Mbps |
| 変調方式 | OFDM |
| 送信出力 | 32mW |
| インターフェース | 100BASE-TX/10BASE-T |
| アンテナ | 水平 14° 以下 垂直 12° 以下 / アンテナ |
| アンテナ利得 | 24dBi |
| アンテナ設置高(※海拔高とする。) | 肥後長浜局:29.0m、島原白土局:31.0m |
| その他 | 無線規格:IEEE802.11j 相当 SNMP 搭載 |

実験試験局免許を取得 ※送信出力 32mW の場合アンテナ利得 21.9dbi まで認証取得可能。

表 3-10 5.0GHz 帯無線装置機器仕様



| 外形寸法 (mm) | 重量 (Kg) |
|--------------------------------|---------|
| 121 (W) × 32.8 (H) × 100.5 (D) | 0.4 |

図 3-9 5.0GHz 帯無線装置(日本無線株式会社製)

3.2.4 25GHz 帯無線アクセスシステム電波伝搬試験構成

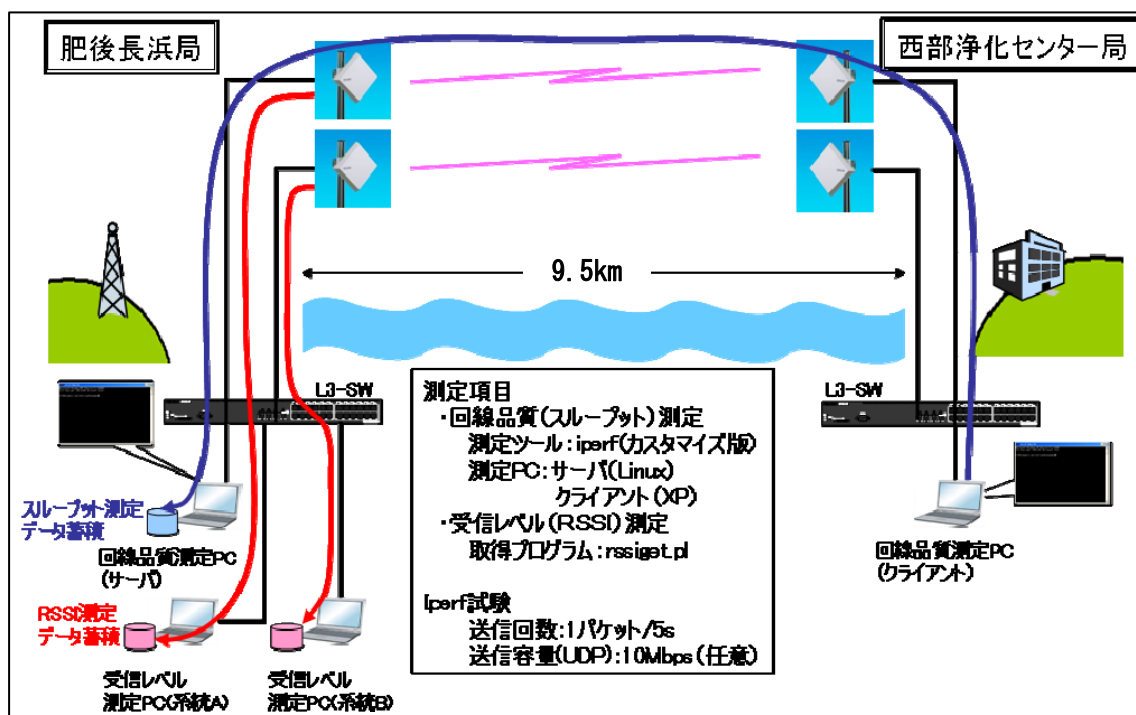


図 3-10 25GHz 帯無線アクセスシステム試験構成図

表 3-11 機器構成

| 項目 | 数量 | 備考 |
|------------------|-----|-------|
| 25GHz 無線アクセスシステム | 4 台 | アンテナ含 |

表 3-12 システム特性

| 項目 | 仕様 |
|-------------------|---|
| 周波数帯 | 25GHz 帯 (24.78~25.22GHz) |
| 伝送容量 | 40/80Mbps |
| 変調方式 | QPSK, 16QAM, 64QAM |
| 送信出力 | 1mW |
| インターフェース | 100BASE-TX (RJ-45) |
| アンテナ | 水平 4° 以下 垂直 4° 以下 / アンテナ |
| アンテナ利得 | 31.5dBi |
| アンテナ設置高(※海拔高とする。) | スペースダイバーシティ構成 システム A 設置高: 肥後長浜局: 29.0m、西部浄化センター局: 22.0m システム B 設置高: 肥後長浜局: 30.0m、西部浄化センター局: 22.7m |
| その他 | SNMP 搭載 |



表 3-13 25GHz 帯無線装置機器仕様

| 外形寸法 (mm) | 重量 (Kg) |
|----------------------------|---------|
| 190 (W) × 190 (H) × 61 (D) | 2 |

図 3-11 25GHz 帯無線装置(日本無線株式会社製)

3.2.5 測定機器構成

測定用の PC 及びネットワーク機器に関し、表 3-14 仕様を満たす機器を選定した。

表 3-14 機器構成(試験機器及び測定機器諸元並びに機能一覧)

| | |
|----------------------------|--|
| 無線システム測定用ノート PC(サーバー) 6台 | |
| 仕様 CPU | Pentium4 (1GHz 以上) |
| ハードディスク容量 | 100GB 以上 |
| LAN インターフェース | 100BASE-TX |
| 付属設備 | OS=Linux、マウス、CD-ROM ドライブ |
| 無線システム測定用ノート PC(クライアント) 6台 | |
| 仕様 CPU | Pentium4 (1GHz 以上) |
| ハードディスク容量 | 100GB 以上 |
| LAN インターフェース | 100BASE-TX |
| 付属設備 | OS=windowsXP、マウス、CD-ROM ドライブ |
| 無線レベル測定用ノート PC 6台 | |
| 仕様 CPU | Pentium4 (1GHz 以上) |
| ハードディスク容量 | 20GB 以上 |
| LAN インターフェース | 100BASE-TX |
| 付属設備 | OS=windowsXP、CD/DVD |
| Layer3 Switch 3台 | |
| ポート数 | 10/100/1000BASE-T × 24 ポート ※1000BASE-X の 4 ポートと 10/100/1000BASE-T の 4 ポートは排他使用(同時使用不可) 1000BASE-X SFP (SX, SX2, LX, BX, LH, LHB) × 4 ポート |
| 仕様 | 以下をサポート OSPF/BGP、マルチキャスト、IPv6、MAC VLAN、STP、リングプロトコル、QoS、GSRP、リンクアグリゲーション、IEEE802.1X 認証、Web 認証、MAC 認証、検疫連携、OAN、sFlow、コマンド保守 |

3.3 電波伝搬試験のための事前検討

3.3.1 フレネルゾーン

電波伝搬のためには見通しはもちろんのこと、第1フレネルゾーンを確保しつつ、本電波伝搬試験の課題でもある、アンテナの設置箇所である鉄塔や建物、他システムとの同条件の確保(取り付け高さの統一)などを考慮した設置位置とした。

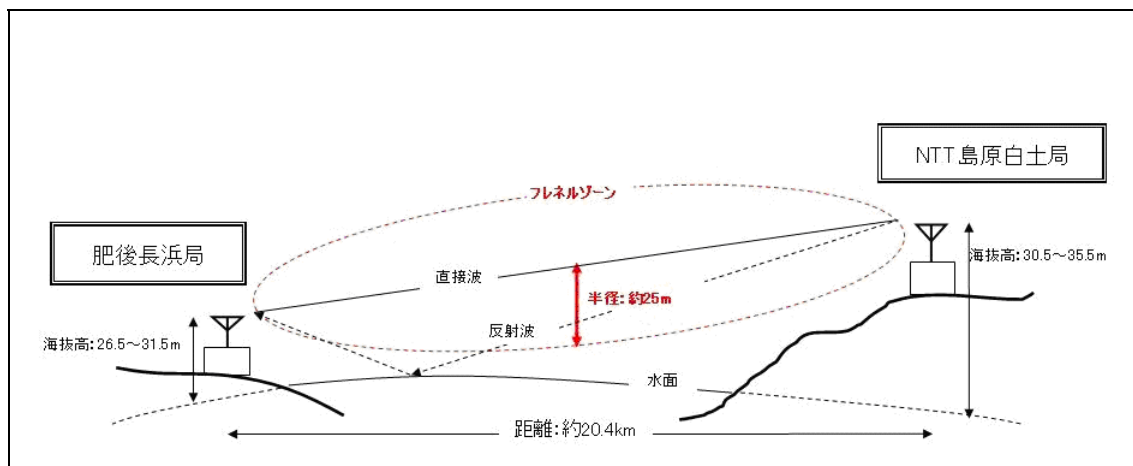


図 3-12 フレネルゾーン(例)

表 3-15 各周波数帯のフレネルゾーン

| 無線アクセスシステム名 | 使用周波数帯 | 距離別フレネルゾーン 計算値 | |
|---------------------|----------|-----------------|------------------|
| | | 10km(5km 地点/半径) | 20km(10km 地点/半径) |
| 無線 LAN(IEEE802.11g) | 2.4GHz 帯 | 約 17.7m | 約 25.0m |
| 無線 LAN(IEEE802.11j) | 5.0GHz 帯 | 約 12.4m | 約 17.5m |
| WiMAX | 2.5GHz 帯 | 約 17.3m | 約 24.5m |
| 広帯域移動無線アクセスシステム | 25GHz 帯 | 約 5.5m | 約 7.7m |

3.3.2 ハイパターン

海上電波伝搬では、同じアンテナ高さでも潮位変動によりハイパターンに影響を与え受信電力方向が変化することによって伝搬損失が増える可能性があることから、それを考慮したアンテナ高の検討を行なった。図中の横軸は、高さ (m) を示し、縦軸は、赤線で受信電力 (dBm)、青線で電界強度 ($\mu\text{V}/\text{m}$) を示す。検討結果については、補章 3 を参照のこと。

(1) 2.4GHz 帯無線アクセスシステムのハイパターン

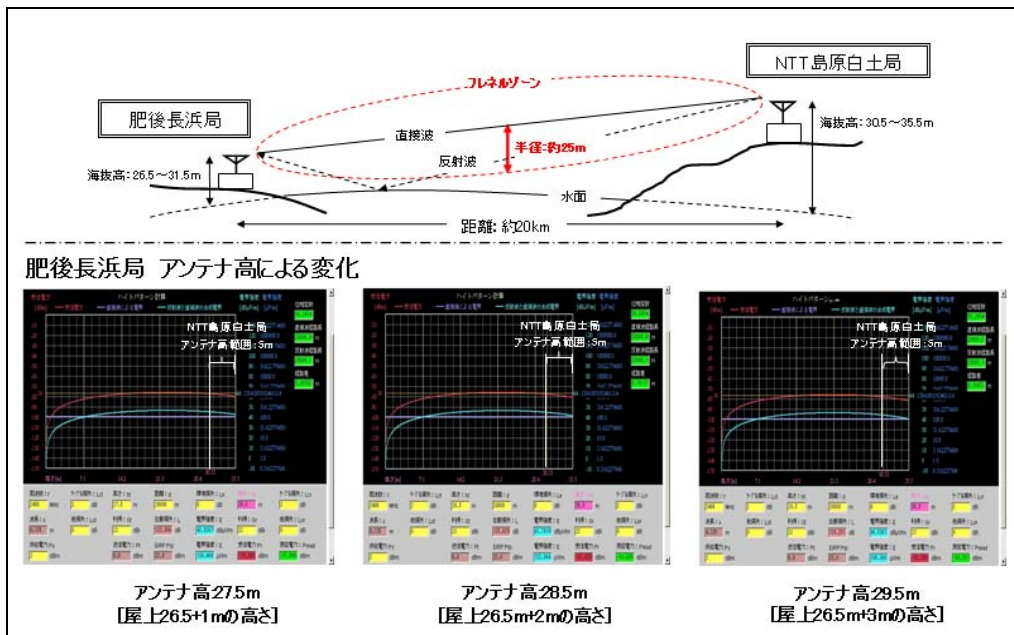


図 3-13 2.4GHz 帯無線アクセスシステムハイパターン

(2) 2.5GHz 帯無線アクセスシステムのハイパターン

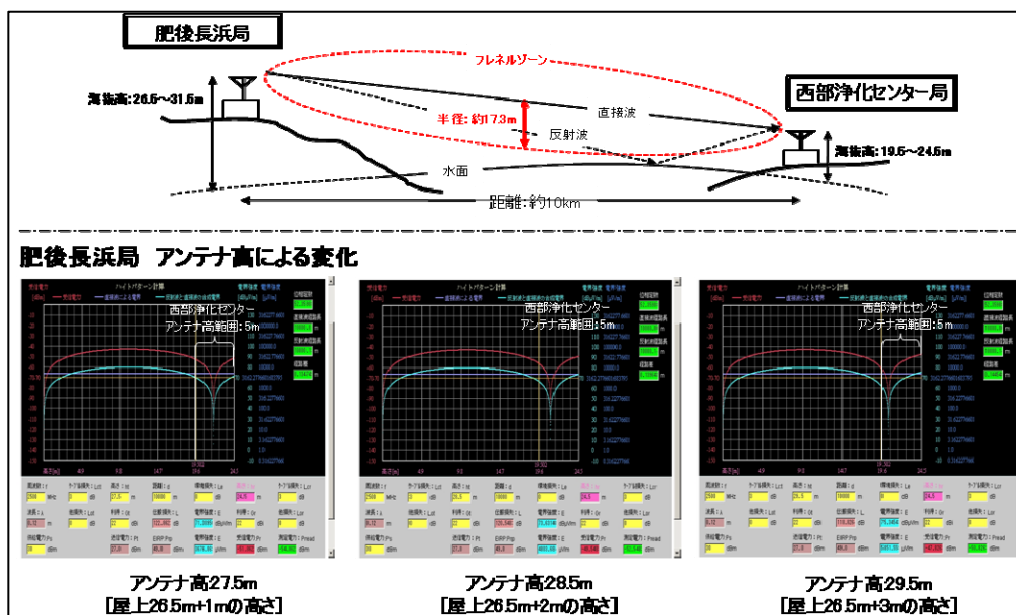


図 3-14 2.5GHz 帯無線アクセスシステムハイパターン

(3) 5.0GHz 帯無線アクセスシステムのハイトパターン

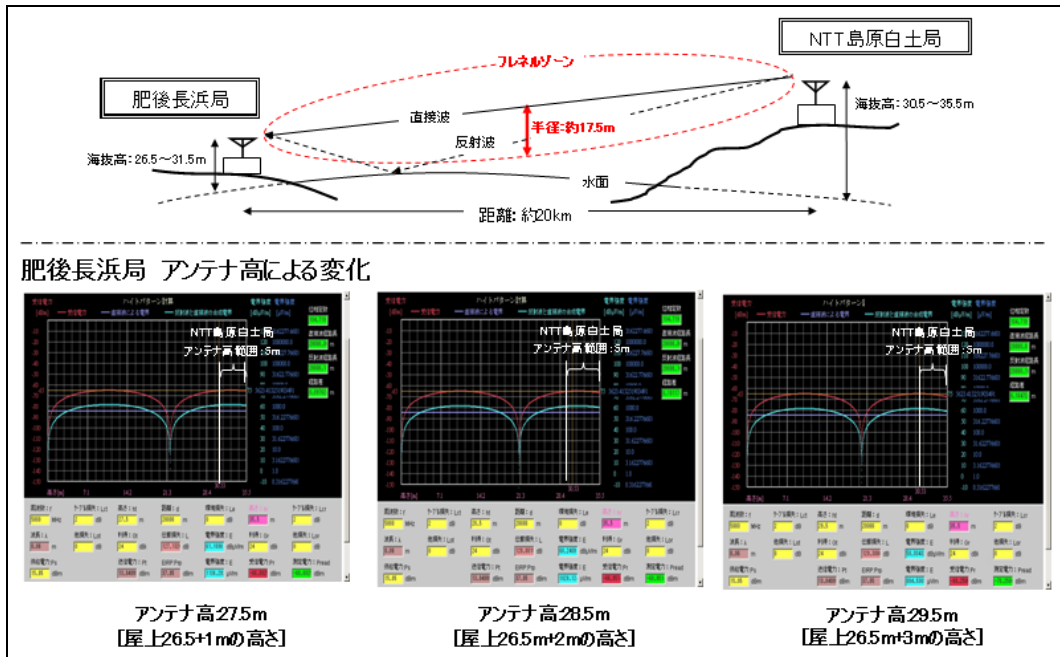


図 3-15 5.0GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターン

(4) 25GHz 帯無線アクセスシステムのハイトパターン

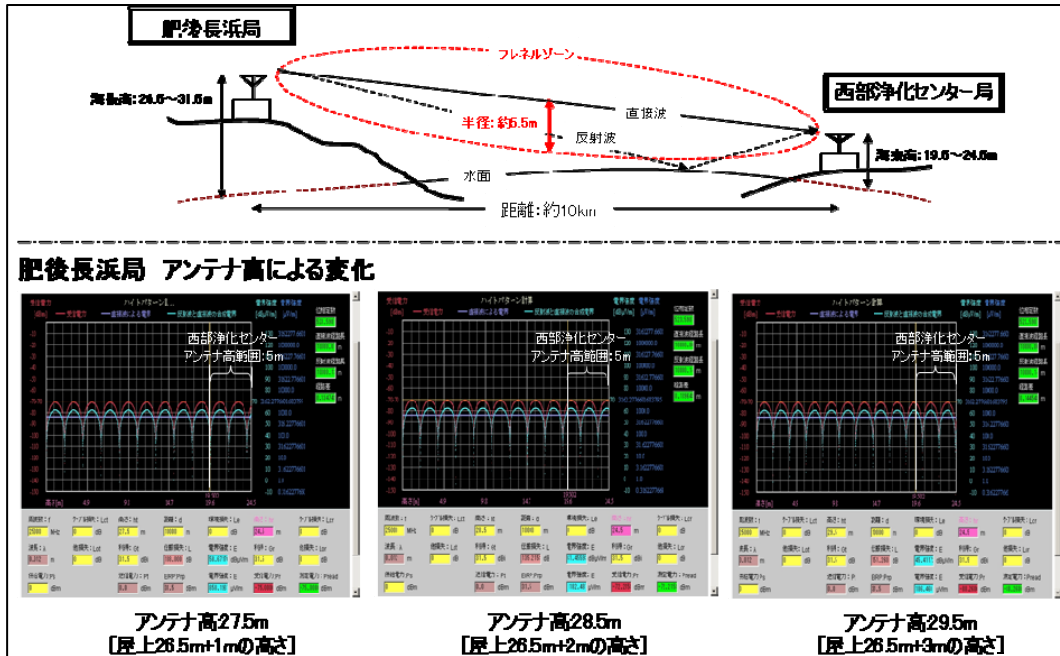


図 3-16 25GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターン

以上の結果から、2.4GHz 帯～5.0GHz 帯までは、アンテナの設置高（3m 範囲内の調整）による影響は少ないが、25GHz 帯の周波数帯では、アンテナの設置高による影響を受けやすいことがわかる。

3.3.3 海面反射とフェージング

肥後長浜局～NTT 島原白土局間の 20.4km と肥後長浜局～西部浄化センター局の 9.5km の間をハイパターンにて設定したアンテナの設置高から反射点の予測を行った。(参考値)。

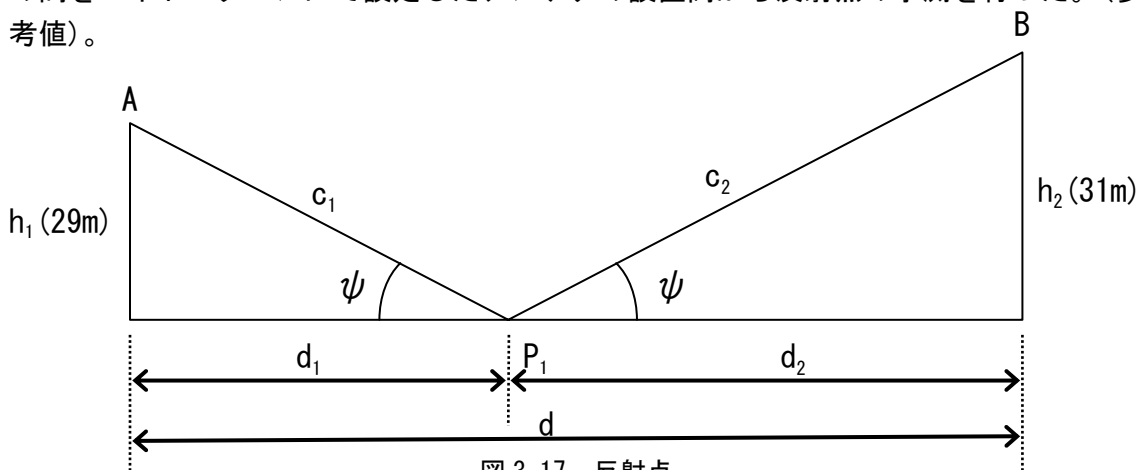


図 3-17 反射点

表 3-16 は、図 3-17 を元に求めた各拠点からの反射点までの距離である。(入射接地角と反射接地角は同一であると仮定した場合。)

表 3-16 各周波数帯の反射点(参考値)

| 周波数 | 距離(d) | 拠点 | 反射点 |
|--------|--------|-----------|---------------------|
| 2.4GHz | 20.4km | 肥後長浜局 | 9.9km 沖合 (d_1) |
| | | 島原白土局 | 10.5km 沖合 (d_2) |
| 2.5GHz | 9.5km | 肥後長浜局 | 5.3km 沖合 (d_1) |
| | | 西部浄化センター局 | 4.2km 沖合 (d_2) |
| 5.0GHz | 20.4km | 肥後長浜局 | 9.9km 沖合 (d_1) |
| | | 島原白土局 | 10.5km 沖合 (d_2) |
| 25GHz | 9.5km | 肥後長浜局 | 5.3km 沖合 (d_1) |
| | | 西部浄化センター局 | 4.2km 沖合 (d_2) |

3.3.4 降雨量による距離別減衰量の推移

10GHz を超える周波数帯の場合は、降雨減衰量を考慮する必要があるため、
 図 3-18 により、降雨量対応表による関係性を確認した。

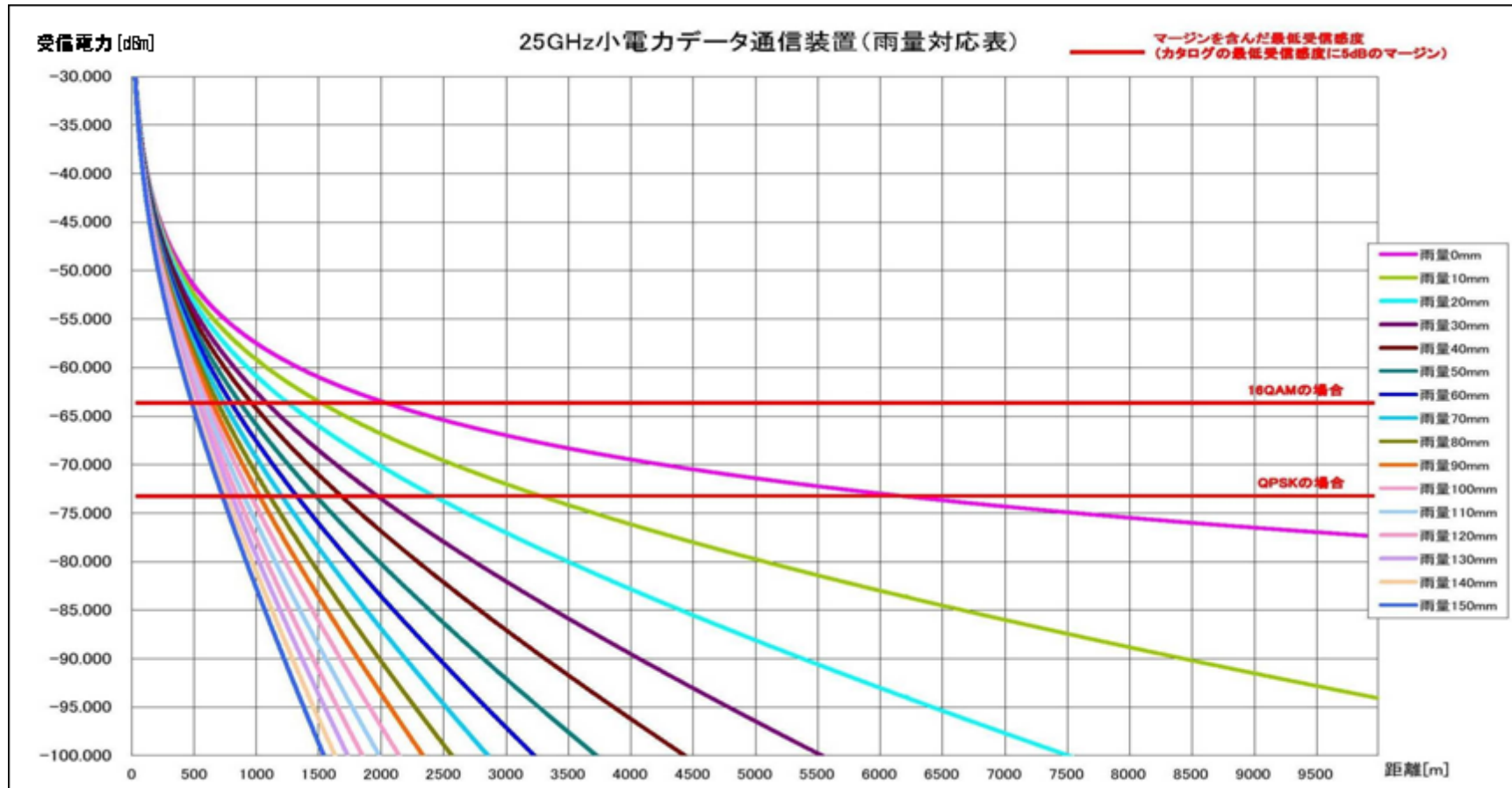


図 3-18 降雨量対応表

3.3.5 使用アンテナの概要

(1) 2.4/2.5GHz 帯平面アンテナ概要

- a. 水平・垂直偏波からなる偏波共用素子を基本素子とする。
- b. 高利得化のため、各素子を縦横にアレイ化(複数のアンテナを合成)する。
- c. 90° Hybrid(合成器)を挿入することにより、右・左旋円偏波に対応させる。
取付け金具の設定により、伏仰角・方位角を調整できる。

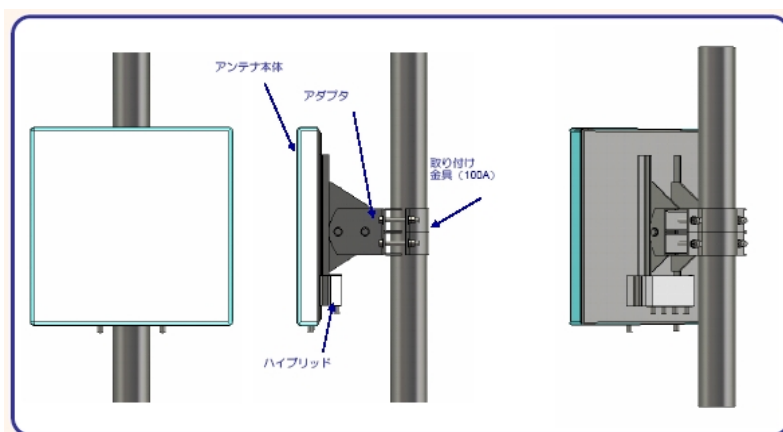


図 3-19 平面アンテナ外観図

表 3-17 平面アンテナ諸元

| 項目 | | 性能 |
|-----------|---------|--|
| 周波数帯 | | 2,400~2,500MHz or 2,500~2,600MHz ※使用周波数帯は別途相談 |
| 入力インピーダンス | | 公称 50Ω |
| 偏波面 | | 垂直偏波/水平偏波 |
| VSWR | | 1.5 以下 |
| 利得 | | 約 22dBi |
| 指向性 | 垂直面内指向性 | 約 13 度 |
| | 水平面内指向性 | 約 13 度 |
| 外形寸法 | | 約 550 × 550 × 60mm |
| 質量 | | アンテナ本体: 約 7kg アダプタ+取付金具(100A): 約 7kg ハイブリッド: 約 1.5kg |

※日本電業工作株式会社製

■ 2.4/2.5GHz 帯平面アンテナの特性（水平平面放射特性図）

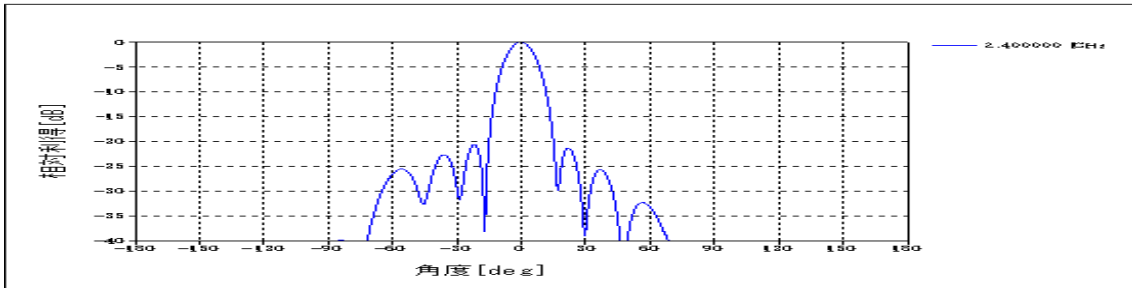


図 3-20 指向特性(垂直偏波)

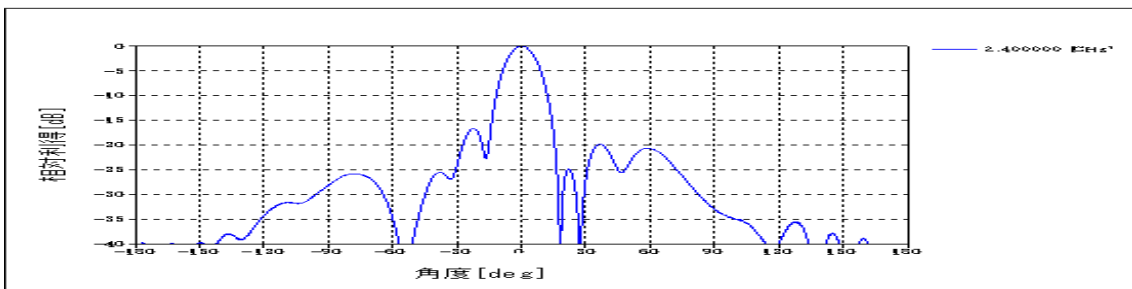


図 3-21 指向特性(水平偏波)

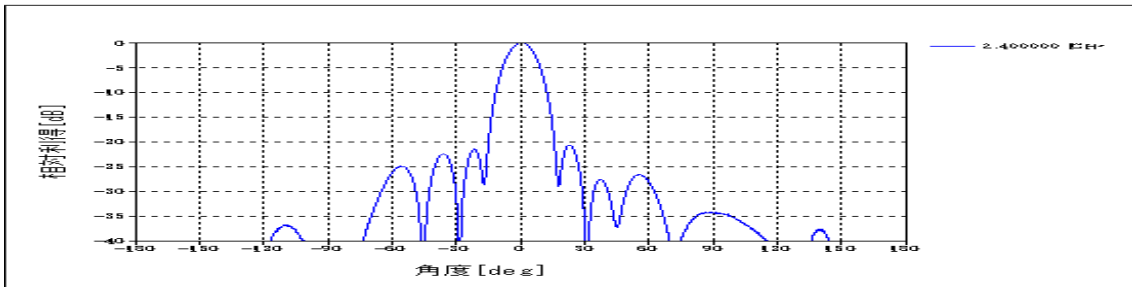


図 3-22 指向特性(円偏波右旋)

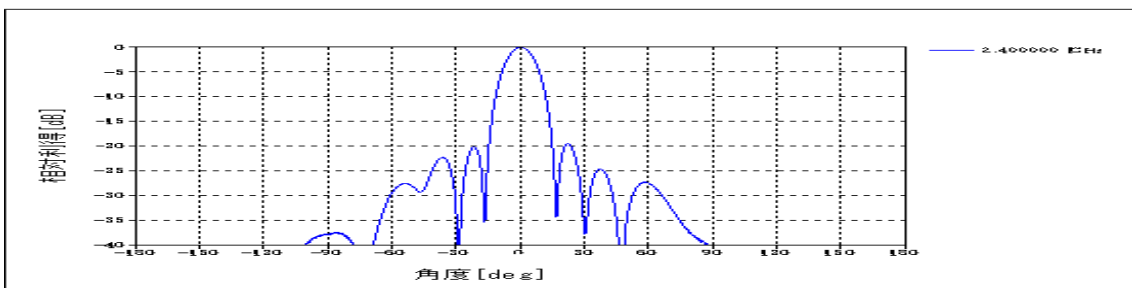


図 3-23 指向特性(円偏波左旋)

(2) 5.0GHz 帯パラボラアンテナ概要

- a. パラボラ反射鏡に同軸形一次放射器を配置することにより高利得化している。
- b. 一次放射器を交換することにより、直線偏波と円偏波を切替えることができる。
- c. 取付け金具の設定により、伏仰角・方位角を調整できる。

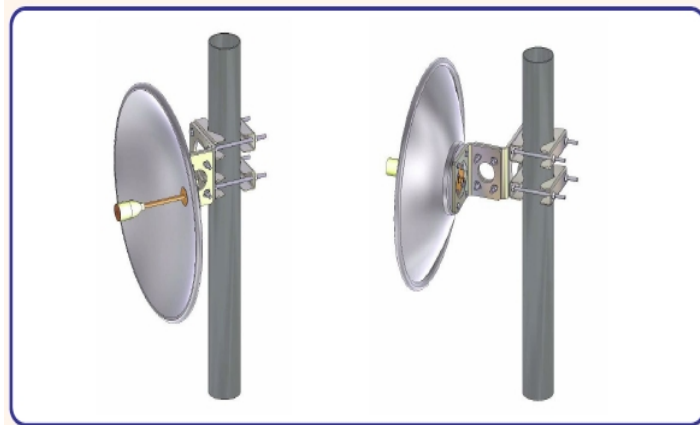


図 3-24 パラボラアンテナ外観図

表 3-18 パラボラアンテナ諸元

| 項目 | 性能 |
|----------|--|
| 使用周波数 | 4,900~5,000MHz |
| 偏波面 | 右旋円偏波又は直線偏波 (一次放射器の交換による) |
| VSWR | 1.50 以下 |
| 利得 | 24dBi |
| 軸比 | 3.5dB 以下 (円偏波の場合) |
| 半値幅 | 約 7° ~8° |
| アンテナ外形寸法 | 約 640×640×300mm |
| 質量 | アンテナ本体: 約 4.5kg 取付金具: 約 3.5kg (100A 相当に取付可能) |

※日本電業工作株式会社製

■ 5.0GHz 帯パラボラアンテナの特性（水平平面放射特性図）

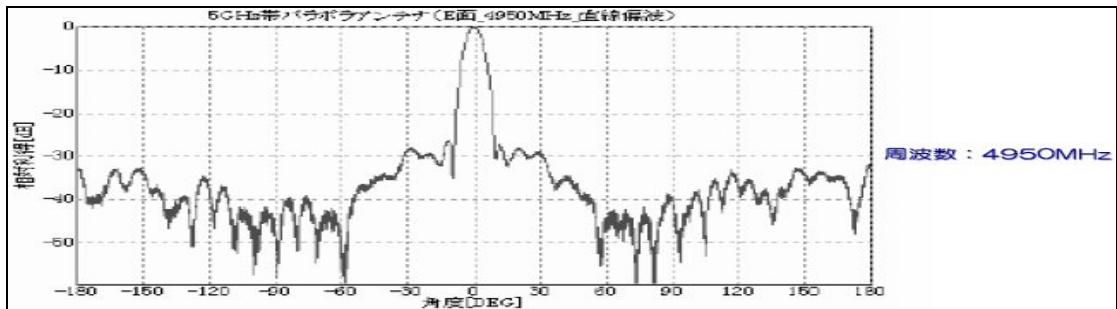


図 3-25 指向特性(垂直偏波)

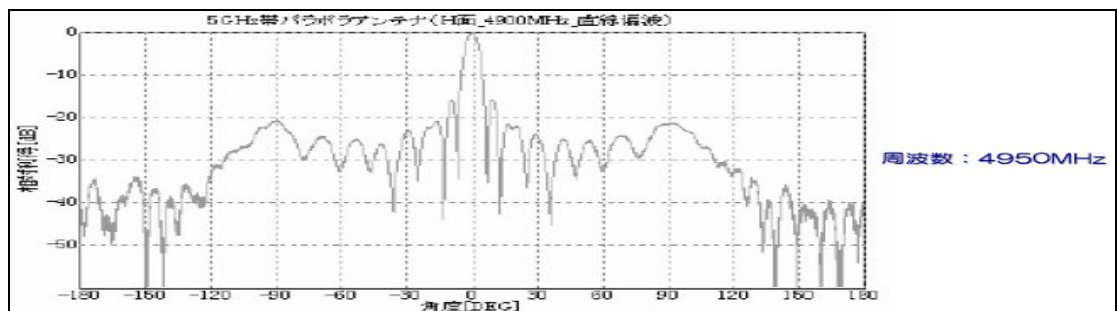


図 3-26 指向特性(水平偏波)

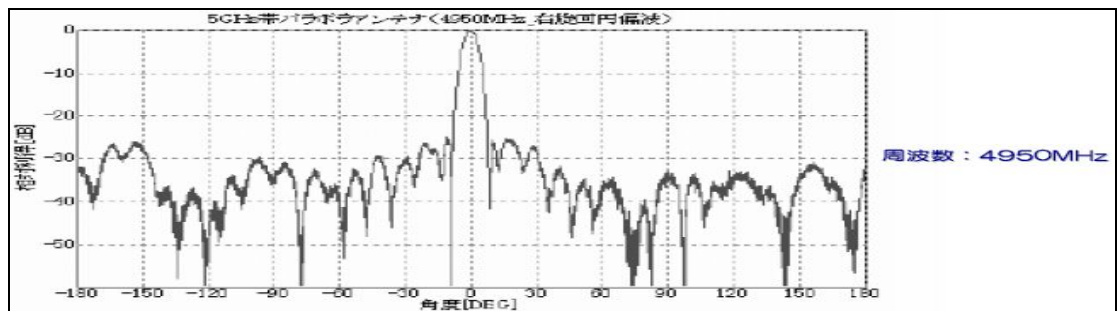


図 3-27 指向特性(円偏波)

(3) アンテナ利得(絶対利得)

電波伝搬試験には表 3-19 に示す平面アンテナとパラボラアンテナを使用した。

表 3-19 2.4/2.5GHz 帯、5.0GHz 帯アンテナ利得

| | 2.4/2.5GHz 帯 平面アンテナ | 5.0GHz 帯 パラボラアンテナ | 25GHz 帯 アンテナ |
|----|------------------------|----------------------|-----------------|
| 利得 | 22dBi | 24dBi | 31.5dBi |

3.4 回線設計(机上計算)

無線アクセスシステム毎の回線設計(机上計算)は、①～④のとおりであり、電波伝搬試験の各無線アクセスシステムの公称速度と受信感度は、次の(1)～(4)赤枠に示す。

(1) 2.4GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度と受信感度

表 3-20

| 規格 | IEEE802.11b (DSS) | | | IEEE802.11g (OFDM) | | | | | |
|-------------|-------------------|-----|-----|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 公称速度 (Mbps) | 1 | 5.5 | 11 | 12 | 18 | 24 | 36 | 48 | 54 |
| 受信感度 (dBm) | -93 | -89 | -85 | -84 | -83 | -79 | -75 | -71 | -69 |

(2) 2.5GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度と受信感度

表 3-21

| 規格 | IEEE802.16e-2005 | | | |
|-------------|------------------|----------------|----------------|---------------|
| 公称速度 (Mbps) | 30.4 | 24.9 | 12.47 | 12.47 |
| 受信感度 (dBm) | -71.5 (CPE) | -78.7 (CPE) | -85.1 (CPE) | -85.1 (BS) |

(BER=10E-5)

(3) 5.0GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度と受信感度

表 3-22

| 規格 | IEEE802.11j (標準規格値) | | | | | | | |
|-------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 公称速度 (Mbps) | 6 | 9 | 12 | 18 | 24 | 36 | 48 | 54 |
| 受信感度 (dBm) | -82 | -81 | -79 | -77 | -74 | -70 | -66 | -65 |

(PER=10% ≒ BER=10E-5)

(4) 25GHz 帯無線アクセスシステムの公称速度と受信感度

表 3-23

| 規格 | 25GHz (標準規格値) |
|-------------|---------------|
| 公称速度 (Mbps) | 32 |
| 受信感度 (dBm) | -79 |

① 2.4GHz 帯無線アクセスシステム回線設計(机上計算)

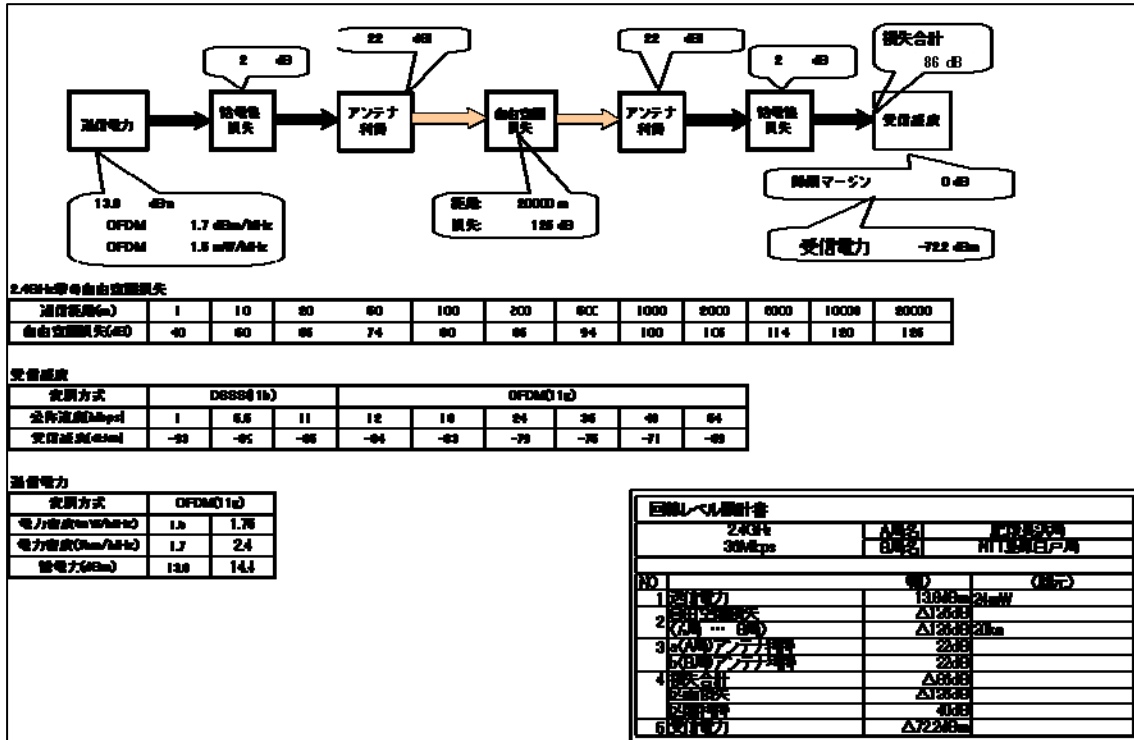


図 3-28 回線レベル設計書(2.4GHz)

② 2.5GHz 帯無線アクセスシステム回線設計(机上計算)

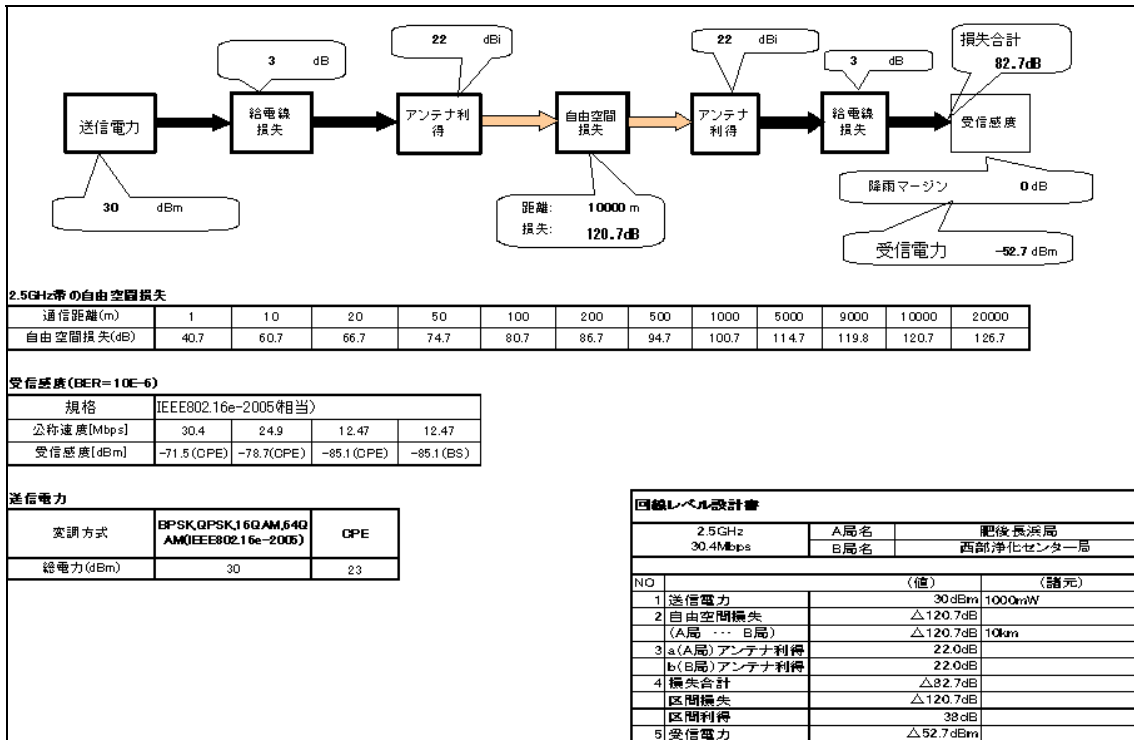


図 3-29 回線レベル設計書(2.5GHz)

③ 5.0GHz 帯無線アクセスシステム回線設計(机上計算)

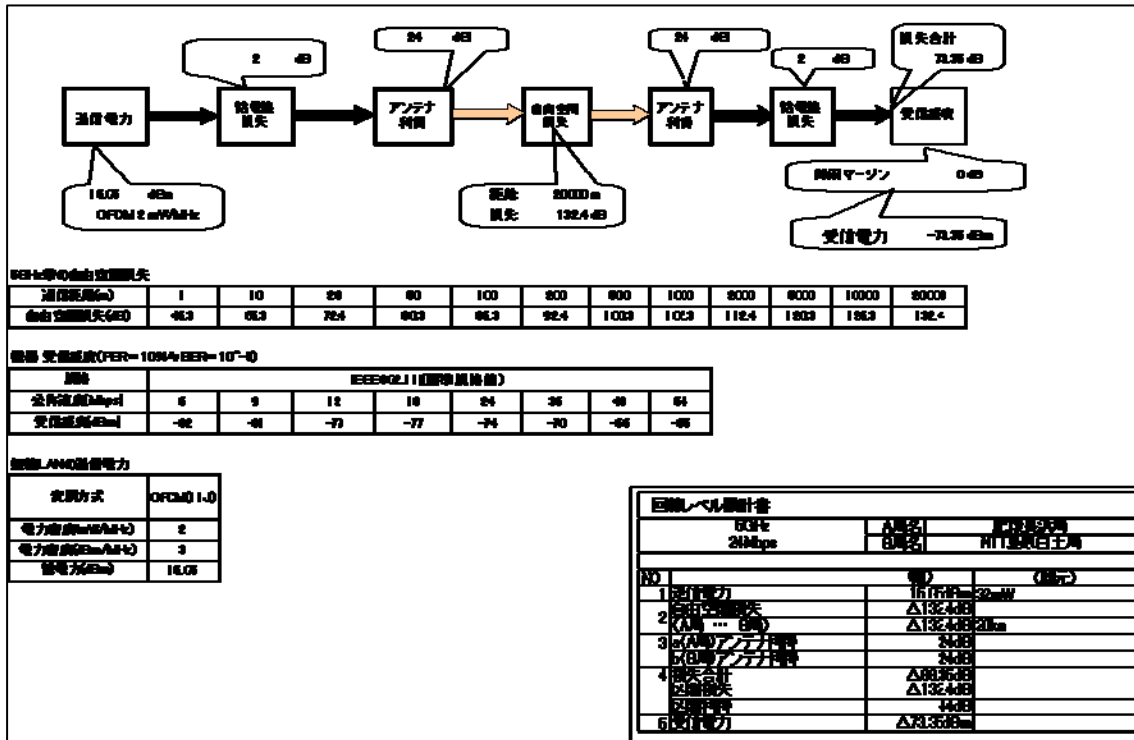


図 3-30 回線レベル設計書(5.0GHz)

④ 25GHz 帯無線アクセスシステム回線設計(机上計算)

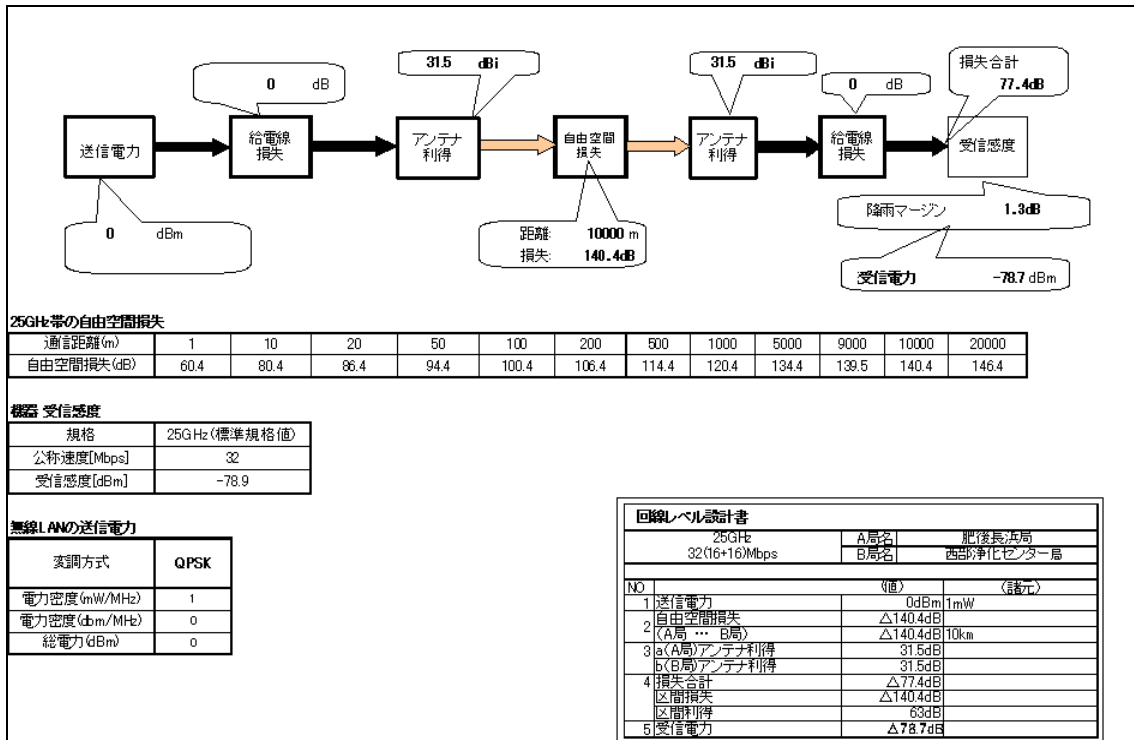


図 3-31 回線レベル設計書(25GHz)

3.5 その他電波伝搬試験に必要な検討

3.5.1 受信レベル(RSSI)

各周波数帯の送信機を対象とし、無線通信機器が受信する信号の強度を測定した。測定内容は次のとおりである。

- ・測定間隔:5秒おきに送受信機よりデータを取得
- ・測定方法:コマンドによるRSSI値取得をマクロに組む事により自動化し、測定結果の取得を行った。図3-32は測定例。

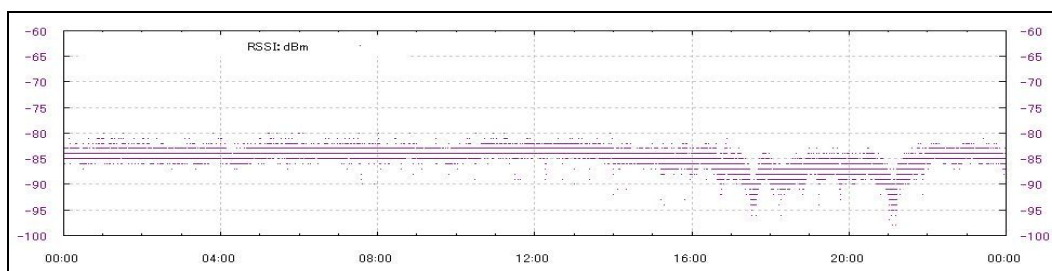


図3-32 受信レベル測定(例)

3.5.2 スループット(伝送速度)

机上計算より算出した値から、各周波数帯での送信容量を決め、測定を行った。なお、測定に関してはiperf(カスタマイズフリーソフト)を使用した。

- ・測定間隔:5秒間おきにiperfクライアントからiperfサーバーに対して1470Byte長のパケットを送信
- ・測定方法:iperfクライアントよりiperfサーバーに対して、NetMiNT(スループット測定フリーソフト)を使用し、約10分間スループット最大値と平均値を測り、実測した値に基づき、iperfにて実測する値を決め測定を行った。図3-33は測定例。

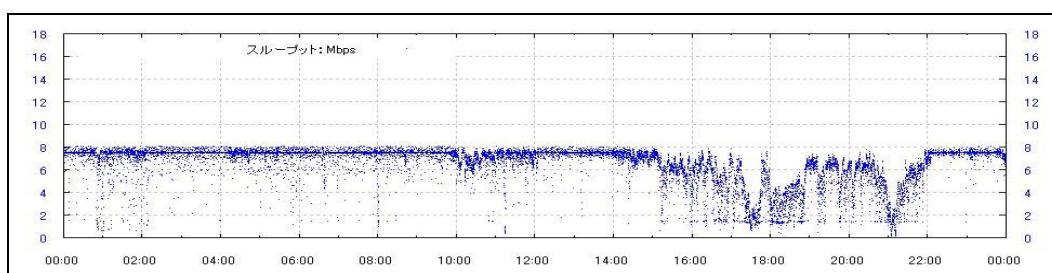


図3-33 スループット測定(例)

3.5.3 海上気象条件

今回の調査にあたり、気温、海水温、潮位、降雨、風速の自然環境のデータを収集し、無線アクセスシステムとの関連性を確認した。図 3-34、3-35 の赤枠は今回利用した観測地点である。



図 3-34 観測地点(島原)



図 3-35 観測地点(熊本)

① 潮位

潮位の変動によるハイトパターンの変化について、その関係性を確認する。

表 3-24 観測地点(潮位)

| 潮 位 | |
|------|------|
| 観測地点 | 三角※1 |

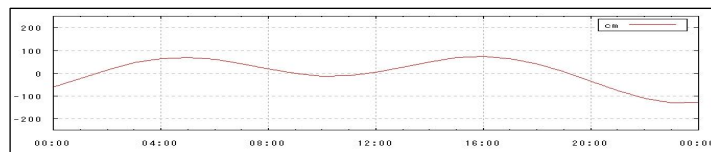


図 3-36 潮位グラフ(例)

② 気温、海水温

気温や海水温の上昇によりダクトが生じた場合、無線アクセスシステムにどのような影響を及ぼすか、その関係性を確認する。

表 3-25 観測地点(気温・海水温)

| | 気 温 | 海水温 |
|------|----------------|------|
| 観測地点 | 三角※1、岱明※1、島原※1 | 長浜※2 |

③ 降雨、風速

一般的に無線アクセスシステムは雨に弱い。また、風速の変化による海面の波の変化により、無線アクセスシステムにどのような影響が及ぼすか関係性を確認する。

表 3-26 観測地点(降雨・風速)

| | 降 雨 | 風 速 |
|------|----------------|----------------|
| 観測地点 | 宇土※1、岱明※1、島原※1 | 網田※3、岱明※1、島原※1 |

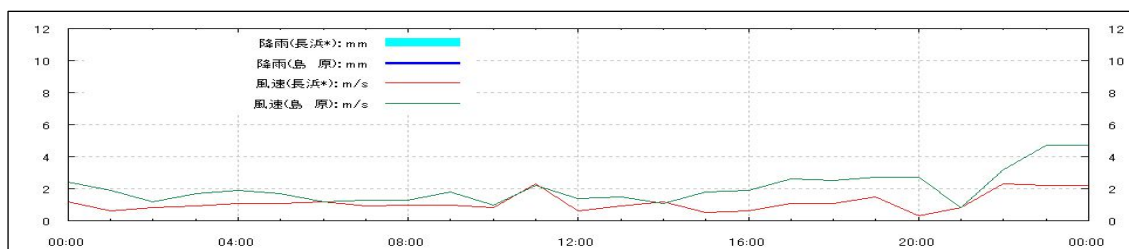


図 3-37 降雨・風速グラフ(例)

※グラフの凡例

グラフに記載されている長浜に関しては、以下の地域をまとめ長浜と表記した。

長浜=宇土、三角、網田、長浜

参考 URL

※1 気象庁 統計情報

<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>

※2 熊本県水産研究センター 自動海況観測

<http://www.nanotech.co.jp/kumamotoads/login.html>

※3 熊本県危機管理・防災消防総室

<http://www.bousai.pref.kumamoto.jp/DspTop.exe?1237269495>

第4章 中・長距離海上電波伝搬のための無線アクセスの技術的要件等

4.1 海上電波伝搬距離別無線アクセスシステムの検討

中・長距離を電波伝搬する無線アクセスシステムによるネットワーク構築においては、高速伝送のために広い帯域の周波数及び複雑な変調方式を用いている。

一般的に広帯域の周波数を確保するためには高い周波数の電波を使う方が有利であるが、電波の波長が短くなるため様々な自然現象の影響を受けやすくなり、電波によって決して容易な伝搬環境ではない。このため、周波数に応じた電波伝搬の特質を考慮する必要がある。

また、データのスループット(伝送速度)は、受信電力(RSSI)とも関わっているが、ある「しきい値」(後に出てくるデータでは-90dBm前後)を上回らなければ通信回線が構築できずデータは伝送されない。中・長距離電波伝搬においては、電波の減衰による受信側RSSIが小さくなることは良く知られているが、高速伝送を期待して高い周波数を使用するほど自然現象の影響を受けやすくなる。このため、高速伝送中、RSSIがしきい値近傍もしくはそれを下回るまで突然減衰することも多く、中・長距離電波伝搬中、いかに長い時間しきい値を上回るRSSIを保ち続けるかを検討することが課題となり、そのためには、電波の特性と自然現象の相関関係を知ることは重要である。

4.1.1 安定した海上電波伝搬のための偏波面の比較・検討

海上電波伝搬の大きな特徴として、アンテナ間を直接伝わる直接波に対する海面からの反射波によるフェージングの影響がある。フェージングの発生が経路差と波長の関係から潮位に依存することを考慮しつつ、アンテナ偏波に注目した。同じ周波数の電波伝搬において、垂直偏波と水平偏波では海面からの反射の様子が異なり、円偏波は垂直偏波と水平偏波が位相差90度で合成された結果であることより、両偏波の性質を同時に持つ。これら3つの偏波間には、海上電波伝搬路中の特性が異なることが期待でき、これらの比較検討は、安定した電波伝搬を考える上で重要な要素となる。

以上の観点から、今回の調査検討においては、複数の周波数帯の無線システムについて3つの偏波を用い、スループットのみならず、RSSIの変化についても着目すると同時に、経路差に影響する海面の潮位や、降雨量、気温、海水温のような気象パラメータの調査も同時に行い比較することで、海上電波伝搬時に自然現象の変化が電波に与える影響について検討を行った。次ページ以降にこれらの結果と考察について述べる。また、補章5の電波伝搬試験結果においても、周波数毎にそれぞれ異なった偏波を用いた場合の詳細データを気象データと共に示す。

(1) 2.4GHz 帯無線アクセスシステム測定結果

各偏波毎の特徴的な日の RSSI とスループットの測定結果を図 4-1~4-6 に示す。

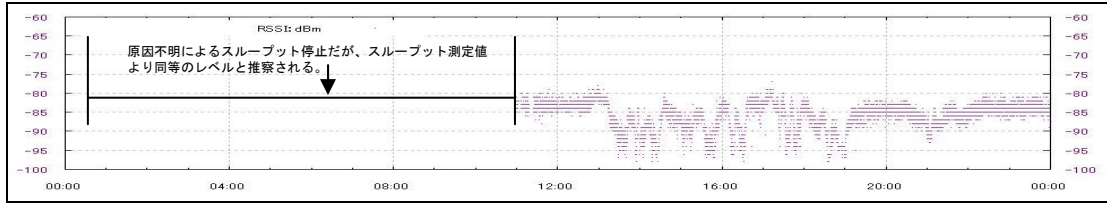


図 4-1 RSSI (測定日:2月5日 1ch/垂直偏波)

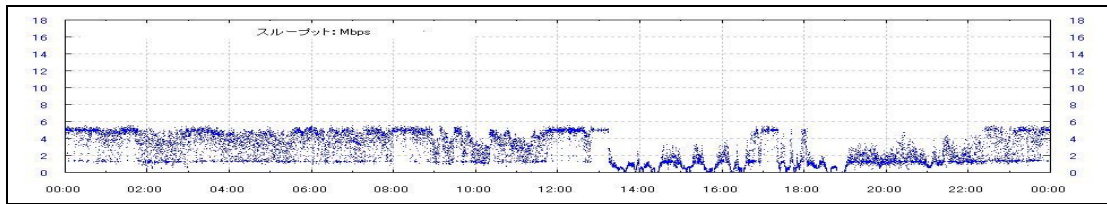


図 4-2 スループット (測定日:2月5日 1ch/垂直偏波)

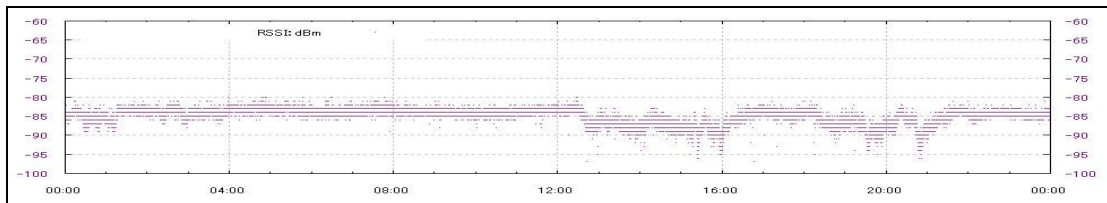


図 4-3 RSSI (測定日:2月12日 1ch/水平偏波)

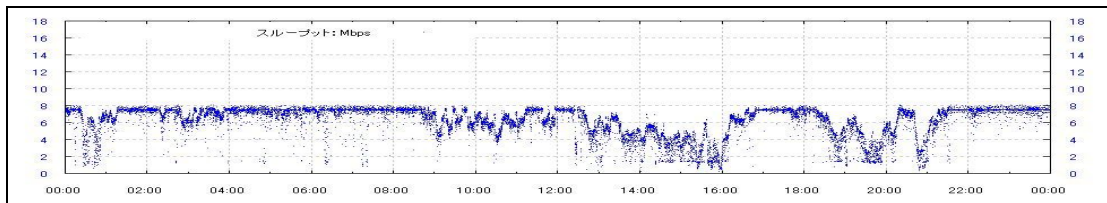


図 4-4 スループット (測定日:2月12日 1ch/水平偏波)

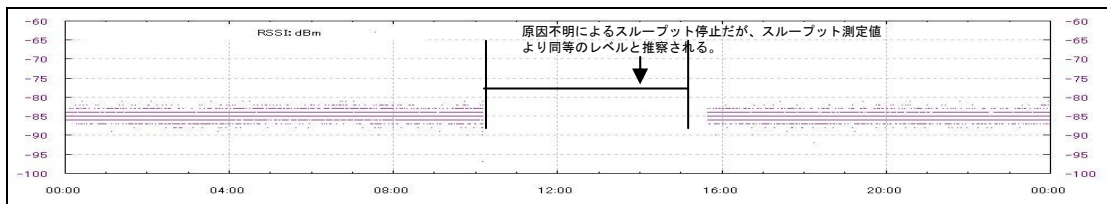


図 4-5 RSSI (測定日:1月27日 1ch/円偏波)

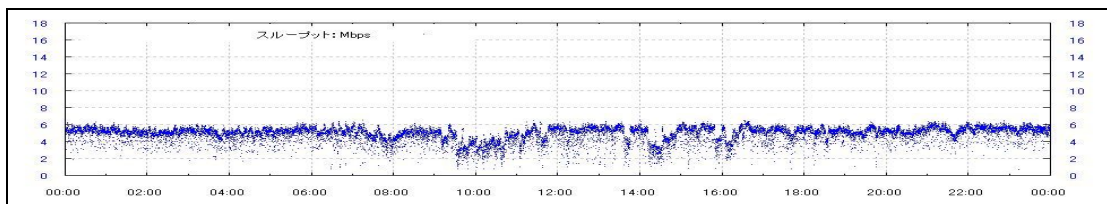


図 4-6 スループット (測定日:1月27日 1ch/円偏波)

(2) 2.4GHz 帯無線アクセスシステムの考察

- ・海上電波伝搬距離は 20.4km(肥後長浜局—NTT 島原局)。
- ・各偏波のスループットは、円(6Mbps)、水平(8Mbps)、垂直(5Mbps)となった。
- ・図 4-2、図 4-4、図 4-6 の比較から、円偏波のスループットは、水平、垂直に対して安定した結果を示している。
- ・図 4-2、図 4-4 の垂直偏波、水平偏波における午後 1 時頃からみられるスループットの低下は、自然現象(ダクトなど)の原因が強いと思われる。
- ・図 4-7 と図 4-5、図 4-6 の比較から、スループット、RSSI 共に終日、ほぼ一定の値であることから、潮位による影響はほぼ見られない。(測定地点付近周辺の潮位変動を図 4-7 に示す。)

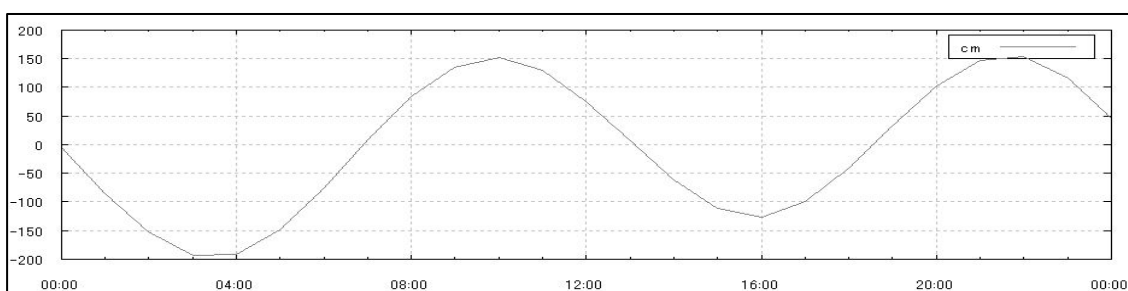


図 4-7 潮位 1月27日(火) 潮位(三角)

- ・図 4-8 から、降雨があった 2 月 13 日にはスループットに顕著な低下は見られない。
- ・ダクトなどの自然現象による影響を証明するためには、夏場など長期スパンでの測定、検討が必要であると考えられる。

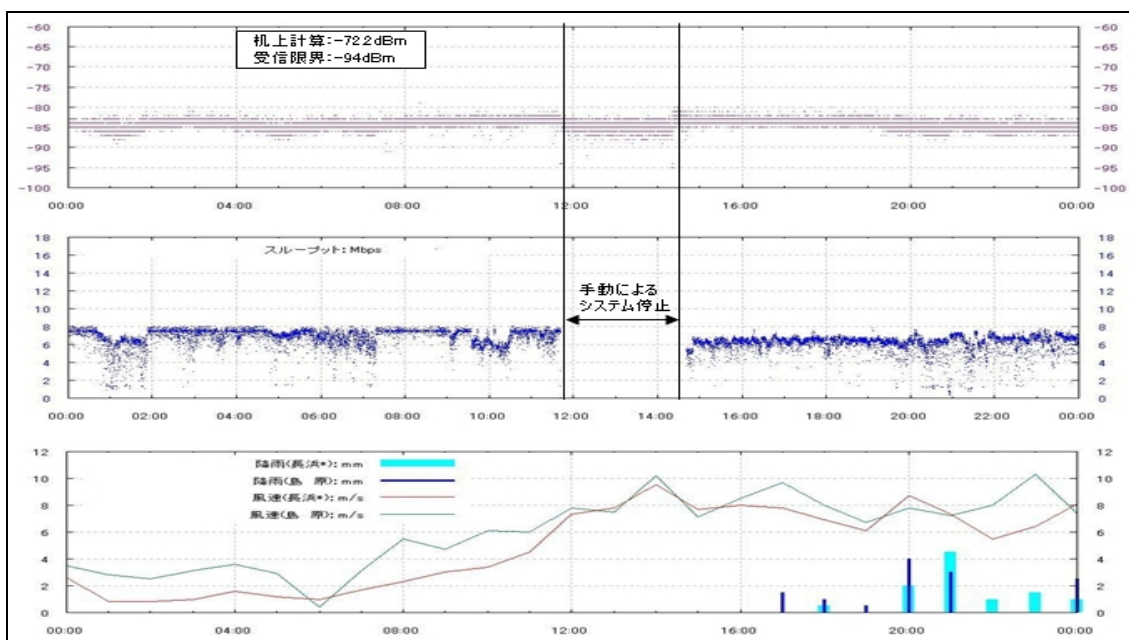


図 4-8 RSSI、スループット、降雨・風速(2月13日(金) 1ch/水平偏波)

(3) 2.5GHz 帯無線アクセスシステム測定結果

各偏波毎の特徴的な日の RSSI とスループットの測定結果を図 4-9～4-14 に示す。

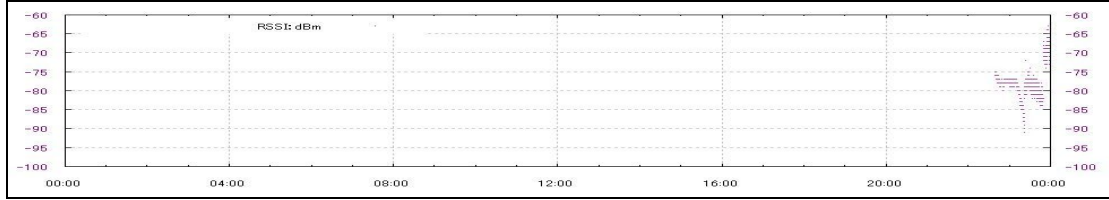


図 4-9 RSSI (測定日:1月17日(土) 2.5G/垂直偏波)

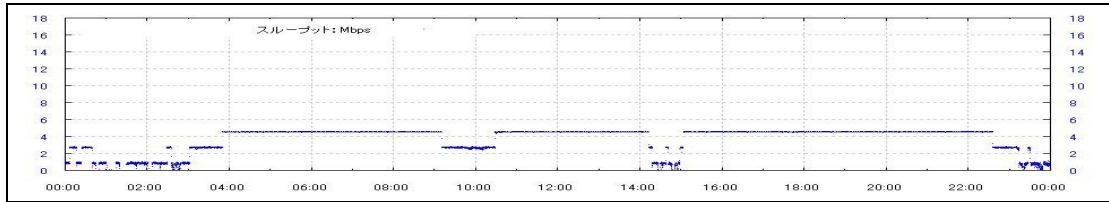


図 4-10 スループット(測定日:1月17日(土) 2.5G/垂直偏波)

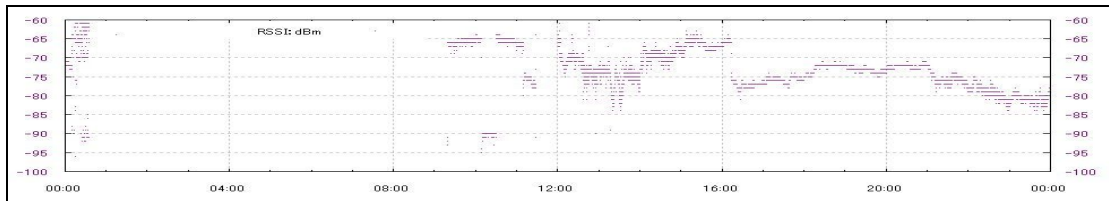


図 4-11 RSSI (測定日:2月12日(木) 2.5G/水平偏波)

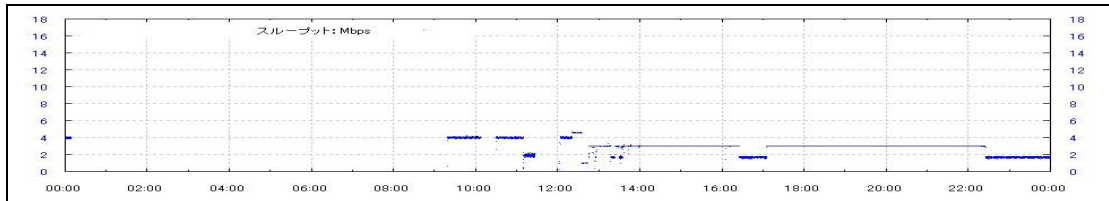


図 4-12 スループット(測定日:2月12日(木) 2.5G/水平偏波)

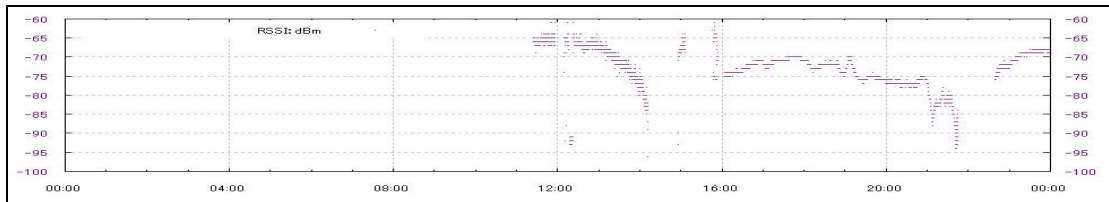


図 4-13 RSSI (測定日:2月14日(土) 2.5G/円偏波)

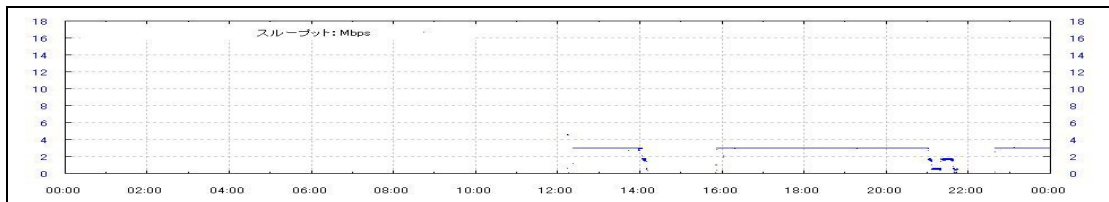


図 4-14 スループット(測定日:2月14日(土) 2.5G/円偏波)

(4) 2.5GHz 帯無線アクセスシステムの考察

本電波伝搬試験時に利用した試験機器はメーカー試作機仕様により、定期的に機器調整を行ったため、一部のデータを取得(記録)できない結果での考察となった。

- ・海上電波伝搬距離は 9.5km(肥後長浜局—西部浄化センター局)。
- ・各偏波のスループットは、円(上り 4.5Mbps)、水平(上り 4.5Mbps)、垂直(上り 4.5Mbps)となった。
- ・一時的な瞬断はあるものの、ほぼ安定した品質を保つことができた。
- ・今回の機器は送信出力が 1W であったが、10W までの送信出力が可能であるため、近傍周波数の 2.4GHz 帯無線 LAN に比べ、将来的に期待できる周波数帯又はシステムである。(出力が高いため、2.4GHz に比べ優位性がある。)
- ・図 4-15 及び図 4-9、図 4-10 から潮位の影響については、無いものと見る事ができるが、データ量不足より明確な結論を導き出すことができない。
- ・図 4-17 及び図 4-9、図 4-10 から、降雨による電波伝搬特性への影響は、2.4GHz 帯とほぼ同等と考えられるため、影響が無いと考えられる。
- ・本電波伝搬試験では移動用の機器を利用したことから、最長でも 10km 以下の電波伝搬距離に適していると考えられる。

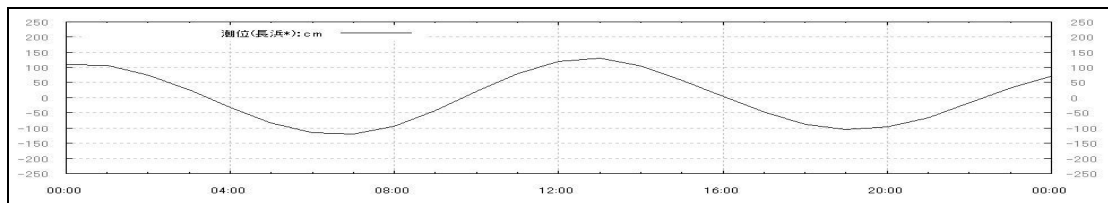


図 4-15 潮位(測定日:1月17日(土) 2.5GHz/垂直偏波)

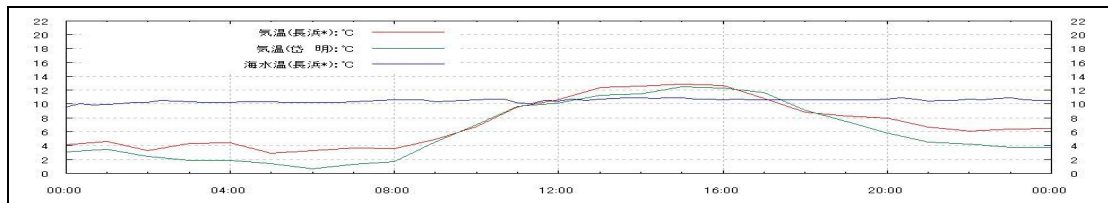


図 4-16 気温・海水温(測定日:1月17日(土) 2.5GHz/垂直偏波)

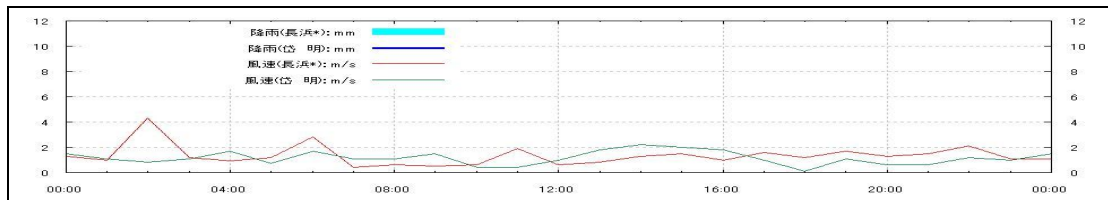


図 4-17 降雨・風速(測定日:1月17日(土) 2.5GHz/垂直偏波)

(5) 5.0GHz 帯無線アクセスシステム測定結果

各偏波毎の特徴的な日の RSSI とスループットの測定結果を図 4-18~4-23 に示す。

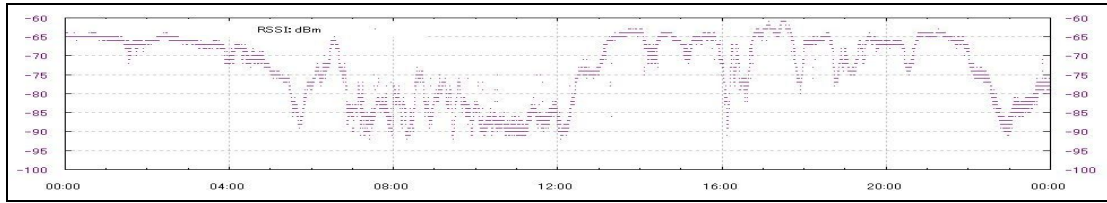


図 4-18 RSSI (測定日:2月14日(土) 5.0GHz/垂直偏波)

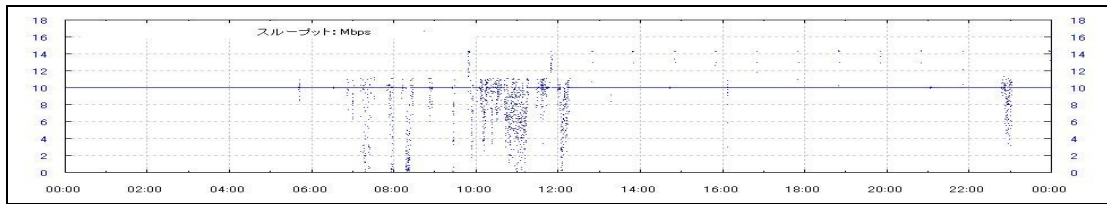


図 4-19 スループット (測定日:2月14日(土) 5.0GHz/垂直偏波)

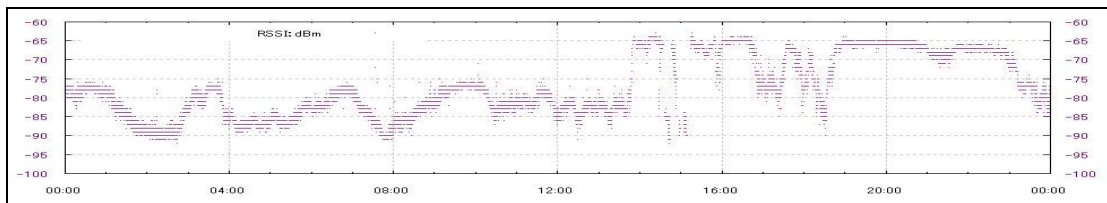


図 4-20 RSSI (測定日:2月15日(日) 5.0GHz/水平偏波)

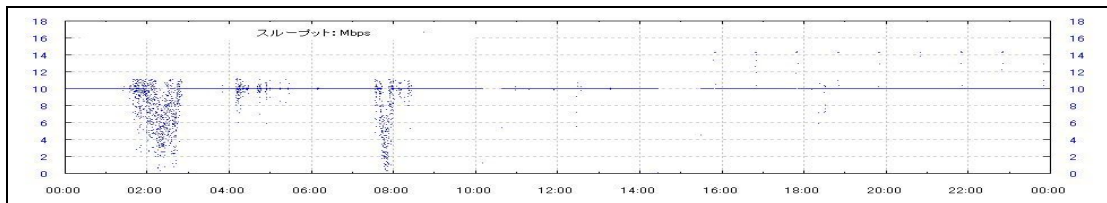


図 4-21 スループット (測定日:2月15日(日) 5.0GHz/水平偏波)

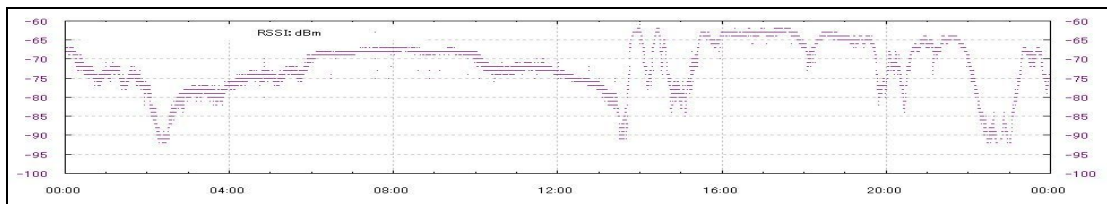


図 4-22 RSSI (測定日:2月7日(土) 5.0GHz/円偏波)

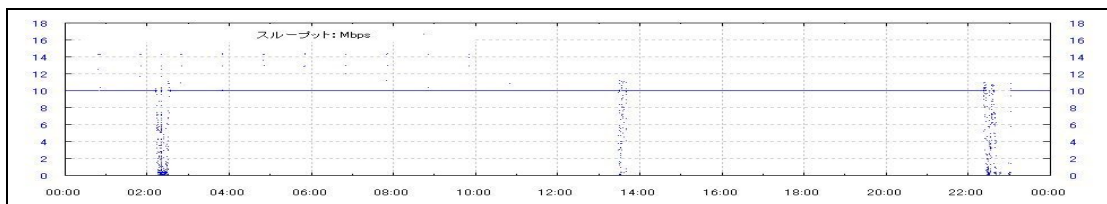


図 4-23 スループット (測定日:2月7日(土) 5.0GHz/円偏波)

(6) 5.0GHz 帯無線アクセスシステムの考察

- ・海上電波伝搬距離は 20.4km(肥後長浜局—NTT 島原局)。
- ・各偏波のスループットは、円、水平、垂直ともに 13Mbps であった。
- ・図 4-19、図 4-21、図 4-23 の比較から円偏波のスループットは、水平、垂直に対して安定した結果を示している。
- ・図 4-24 から、潮位の変動と連動してスループット、RSSI 共に影響が出ており、潮位の影響を受けやすい事が推測できる。
- ・図 4-24 においては、同じ潮位で同程度の風速である午前 12 時と午後 12 時では、降雨の有無による海面の様子の差が RSSI の違いにつながった可能性がある。

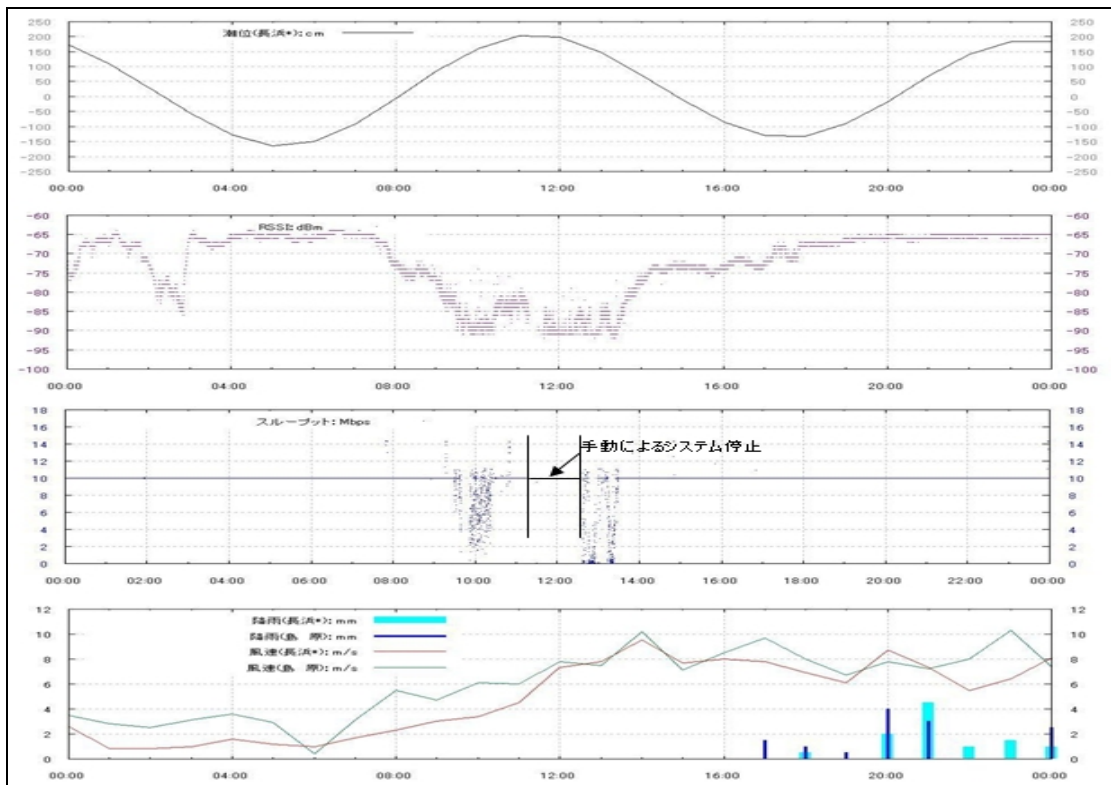


図 4-24 潮位、RSSI、スループット、降雨、風速
(測定日:2月13日(金) 5.0GHz/垂直偏波)

・ 今後の検討課題

降雨の影響の考察にあたっては、今回の電波伝搬試験期間中、降雨時の測定データのサンプル数が少なく、潮位による影響か、降雨によるものかの切り分けが難しい。一般的には、5.0GHz 帯程度では余り影響を受けないものと推察されるが、海面の様子が変化することで反射波の様子が変わる。本周波数帯での潮位の変化と降雨による減衰の影響度合いを確認するためには、潮位差及び降雨量が年間を通してピークとなる梅雨から夏期の電波伝搬試験が必要と思われる。

(7) 25GHz 帯無線アクセスシステム測定結果

系統毎の特徴的な日の RSSI とスループットの測定結果を図 4-25~4-30 に示す。

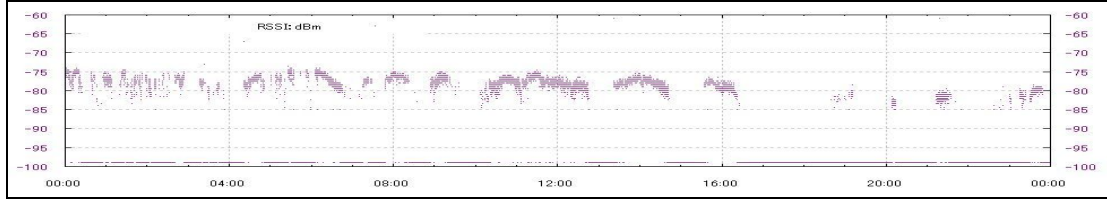


図 4-25 RSSI (系統 A) (測定日:2月13日(金) 垂直ダイバーシティ)

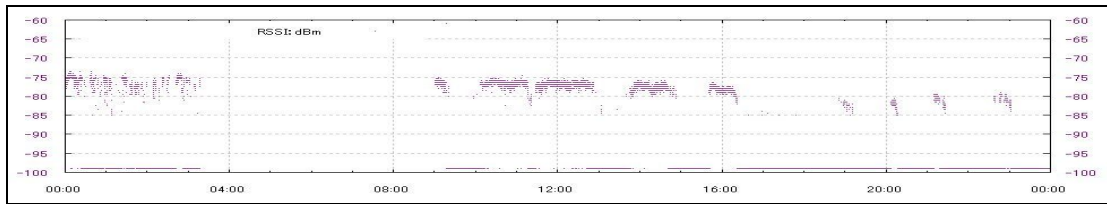


図 4-26 RSSI (系統 B) (測定日:2月13日(金) 垂直ダイバーシティ)

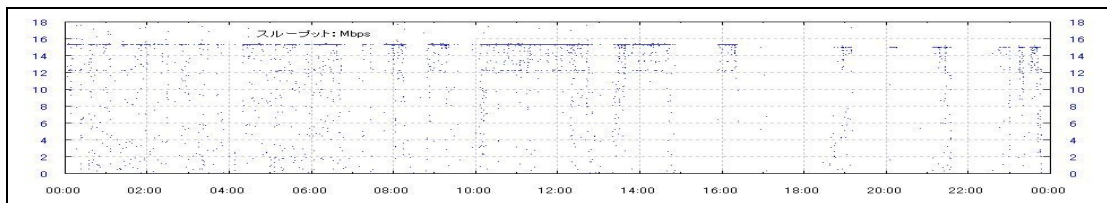


図 4-27 スループット (測定日:2月13日(金) 垂直ダイバーシティ)

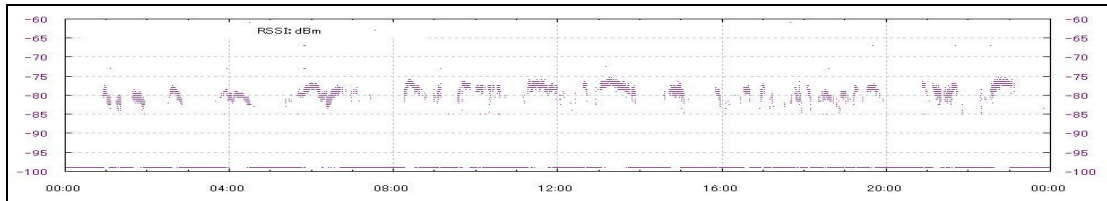


図 4-28 RSSI (系統 A) (測定日:2月14日(土) 垂直ダイバーシティ)

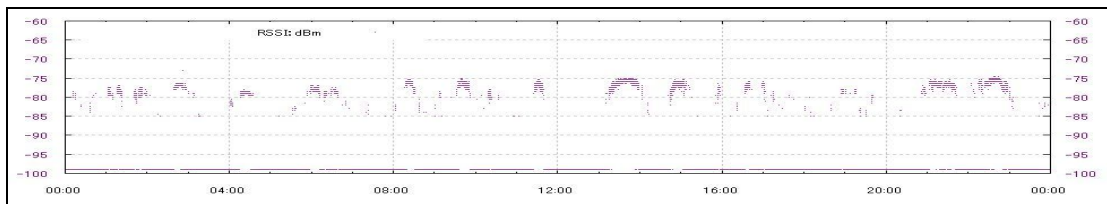


図 4-29 RSSI (系統 B) (測定日:2月14日(土) 垂直ダイバーシティ)

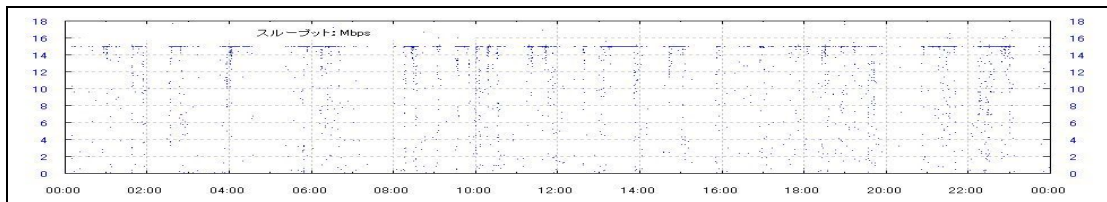


図 4-30 スループット (測定日:2月14日(土) 垂直ダイバーシティ)

(8) 25GHz 帯無線アクセスシステムの考察

- ・海上電波伝搬距離は 9.5km(肥後長浜局ー西部浄化センター局)。
- ・垂直偏波(SD:スペース・ダイバシティ方式)でスループットは 15Mbps。
- ・図 4-31 と図 4-25 及び図 4-27 から、当初検討した回線設計どおり、降雨による影響を受けている。
- ・同様に図 4-33 及び図 4-32、図 4-25 及び図 4-30 から、潮位の影響を受けやすい。これはハイトパターンの周期が短いためと思われる。
- ・設計と異なるアンテナ間の距離を用いたスペースダイバーシティの設置であったため回線断が頻発している。
- ・回線設計どおりのアンテナ位置(離隔)で設置されていれば、回線断に掛る時間は減らせたと推測。

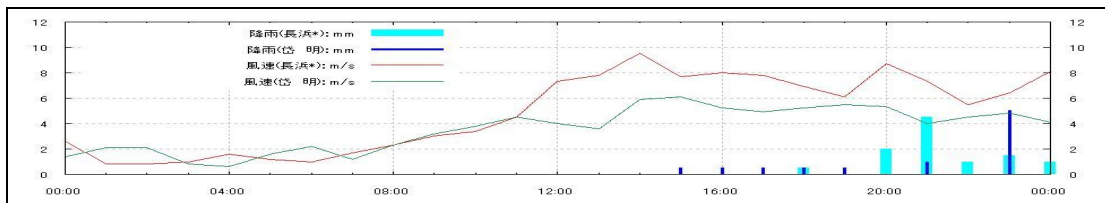


図 4-31 降雨・風速(測定日:2月13日(金))

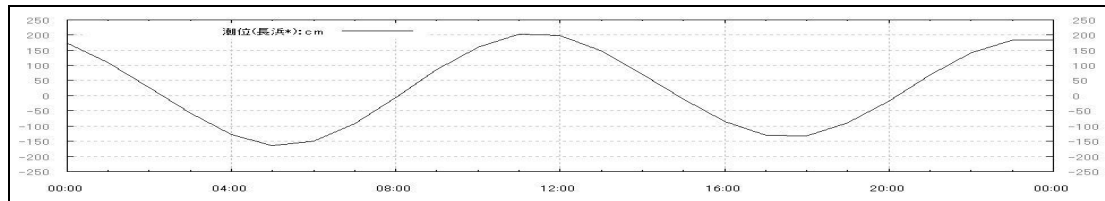


図 4-32 潮位(測定日:2月13日(金))

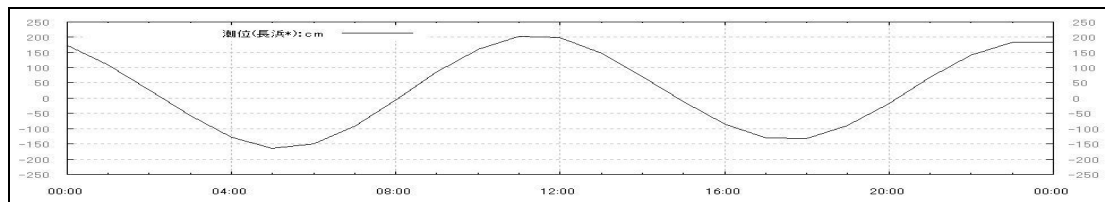


図 4-33 潮位(測定日:2月14日(土))

- ・今後の検討課題として

10km 以下での伝送速度は魅力があることから、他の無線アクセスシステムのバックアップ回線併用での運用の実施が望まれる。

4.1.2 無線アクセスシステム毎の検討結果

(1) 2.4GHz 帯無線アクセスシステム(無線 LAN)

- ・事前検討の段階から降雨の影響はないものとしていたが、電波伝搬試験結果からも降雨による影響は見られなかった。
- ・事前検討の段階から 20km 程度での通信は可能であり、電波伝搬試験でも問題なく通信が行えた。
- ・水平偏波、垂直偏波使用時、大気屈折率の変化によるフェージングの影響(ダクト)が原因と思われる RSSI の減衰が、主に午後の時間帯に見られたが、円偏波には見られなかった。この減衰は、垂直成分と水平成分に対して互いに独立して影響していると考えられる。円偏波においては、偏波ダイバーシティに似た効果でそれら二つの減衰を互いに補償し合った結果、成分の合成電力がほぼ一定に保たれたと考えられる。
- ・潮位の変化で直接波との位相差が変化するため、海面反射波による影響の可能性があると考えていたが、電波伝搬試験データでは大きな影響は見られなかった。
- ・各偏波による電波伝搬の様子は、気温、海水温の変化との連動が見られ、更なるデータ・検討が必要と思われる。

(2) 2.5GHz 帯無線アクセスシステム(地域 WiMAX)

本電波伝搬試験に利用した機器はメーカー試作機のため、定期的な機器調整が必要であったことから一部のデータの取得(記録)ができなかった。

- ・2.5GHz 帯無線アクセスシステムについては、対向する送受信装置が「親機-子機」と非対象の関係から、子機は親機より送信機出力が小さいことから、子機から親機への上り回線のみ測定した。
- ・通常 1~3km での使用が前提とされていたが、今回の電波伝搬試験では約 10km での通信が可能であると確認できた。
- ・事前検討の段階から降雨の影響はないものとしていたが、電波伝搬試験結果からも降雨の影響は見られなかった。

(3) 5.0GHz 帯無線アクセスシステム

- ・潮位の変化による影響が水平偏波、垂直偏波共に見られた。特に垂直偏波においては、潮位の変動による影響が幾分みられ、RSSI、スループットともに低下した。
- ・事前検討の段階から 20km での通信は可能であり、電波伝搬試験でも問題なく通信が行えた。
- ・各偏波による電波伝搬の様子は、気温及び海水温の変化の影響が見られる。特に水平偏波においては、海水温度より気温が低いと RSSI のレベルが小さくなる傾向が見られると同時に RSSI の振れ幅(ファストフェージング)も大きい。これに関しては、5GHz 帯における自然現象(屈折率分布の温度による変化、ダクトの影響等)による影響が考えられるが、長期的な観測と詳細の検討が必要。

- ・円偏波においては、RSSI は垂直偏波と水平偏波が合成された結果であるので、偏波ダイバーシティの効果で、垂直偏波と水平偏波の互いに独立した減衰を補償し合う様子が見られると考えられる。しかし、円偏波においても顕著に減衰する様子が見られるため、スペースダイバーシティ方式との併用で少なくとも潮位の変化による減衰は補償されることが考えられ、RSSI は更に安定すると見込まれる。
- ・同様の理由により、スループットは円偏波使用時に潮位の影響の軽減傾向が見られる。
- ・降雨の影響の考察にあたっては、今回の電波伝搬試験期間中、降雨時の測定データのサンプル数が少なく、降雨による影響の確認が難しい。従って本周波数帯での潮位の変化と降雨減衰、及び降雨による海面の変化の影響度合いを電波伝搬試験するためにも、梅雨時期から夏期の長期間に渡る電波伝搬試験が必要と思われる。
- ・各偏波による電波伝搬の様子は、気温、海水温の変化との連動が見られ、更なるデータ・検討が必要と思われる。

(4) 25GHz 帯無線アクセスシステム

- ・通常 2~3km での使用が前提とされていたが、今回の電波伝搬試験では、晴天時約 10km で 15Mbps の通信が可能である事が確認できた。
- ・事前検討どおり、降雨の影響を強く受けてしまうことを確認できた。

4.1.3 電波伝搬試験結果と評価

- (1) 円偏波を使用することで、偏波ダイバーシティ効果により 2.4GHz 帯はダクトの影響を軽減でき、5.0GHz 帯では潮位の影響を軽減できる結果となった。
- (2) 各無線アクセスシステムの電波伝搬試験の結果について表 4-1 のように評価した。

表 4-1 海上電波伝搬試験結果の各無線アクセスシステムの評価

| 周波数帯 別無線ア クセスシ ステム | 通常電波 伝搬距離 | 電波伝搬 試験距離 | アンテナ 偏波 | 実測値 | | | | 外部要因の影響度(注3) | | 電波伝搬試験 結果の評価 (注4) |
|-----------------------------|--------------|--------------|------------|---------------|-------------|------------|--------------|--------------|-----|-------------------------|
| | | | | RSSI | | スループット | | 降 雨 | 潮 位 | |
| | | | | 安定度評価 (注1) | (Max 値:dBm) | 評価 (注2) | (Max 値:Mbps) | | | |
| 2.4GHz 帯 | 数 km | 20.4km | 垂直 | △ | -77 | ○ | 5 | ◎ | ◎ | ○ |
| | | | 水平 | △ | -79 | ○ | 8 | ◎ | ◎ | ○ |
| | | | 円 | ○ | -78 | ○ | 6 | ◎ | ◎ | ◎ |
| 2.5GHz 帯 | 数 km | 9.5km | 垂直 | △ | -51 | △ | (上り) 4.5 | ◎ | ◎ | ○ |
| | | | 水平 | △ | -55 | △ | (上り) 4.5 | ◎ | ◎ | ○ |
| | | | 円 | ○ | -50 | △ | (上り) 4.5 | ◎ | ◎ | ○ |
| 5.0GHz 帯 | 数 km | 20.4km | 垂直 | ○ | -60 | ◎ | 13 | ○ | △ | ○ |
| | | | 水平 | ○ | -65 | ◎ | 13 | ○ | △ | ○ |
| | | | 円 | ◎ | -63 | ◎ | 13 | ○ | ○ | ◎ |
| 25GHz 帯 | 1km 程度 | 9.5km | 垂直(SD) | △ | -74.5 | ◎ | 15 | × | × | △ |

【評価基準】

注1) 安定度評価(RSSI)=◎…安定している、○…ほぼ安定している、△…一部不安定、×…不安定

注2) 評価(スループット)=◎…10Mbps 以上、○…5~10Mbps、△…3~5Mbps、×…3Mbps 以下

(5Mbps 以上の伝送速度があればブロードバンドとして利用可能。)

注3) 外部要因の影響度=◎…ほぼ影響を受けない、○…影響が少ない、△…やや影響を受ける、×…影響を受ける

注4) 電波伝搬試験結果の評価=◎…2点、○…1点、△…0点、×…-1点とし、合計◎…6点以上、○…3~5点、△…0~2点、×…0点未満

4.2 中・長距離海上電波伝搬のための無線アクセスの技術的要件等

これまでのことから、10km程度の海上電波伝搬における各無線アクセスシステムの技術的要件については特段の問題点がないことから、10km以上20km程度における中・長距離海上電波伝搬の技術的要件は次のとおりである。

- (1) 周波数帯については、2.4GHz帯、5.0GHz帯の無線アクセスシステムの使用が望ましい。両システムを比較すると5.0GHz帯はダクトによる影響が少なく、2.4GHz帯は潮位による影響が少ないといえる。
- (2) (1)の周波数帯の無線アクセスシステムは、電波法上の免許不要局、登録局であり、近傍の既設局からの電波発射(他者の運用)等の電波干渉について事前に検討することが必要である。
- (3) 各周波数帯における送受信アンテナの偏波面は円偏波の使用が望ましい。
(理由:偏波ダイバーシティ効果により、2.4GHz帯のダクトの影響が軽減でき、5.0GHz帯では潮位の影響を軽減できる結果となった。)
- (4) (3)の円偏波の利用に加えてスペースダイバーシティ(SD)方式の利用が望ましい。
(理由:潮位の影響の更なる軽減が期待できる。)
- (5) 海面反射を考慮し、アンテナの海拔高はできるだけ高いことが望ましい。
(本検討では実用化を優先し、フレネルゾーン及びハイトパターン検討による可能な限り低い受信高を選定した。)
- (6) その他
無線機器、アンテナ等については塩害を考慮。また、外気温による無線機器への影響も考慮することが必要。

第5章 まとめ

5.1 中・長距離海上電波伝搬における各無線アクセスシステムの有効性について

第4章4.1.2の検討結果から、各無線アクセスシステムの中・長距離海上電波伝搬における有効性について表5-1に示す。

中・長距離海上電波伝搬では、各周波数帯(25GHzを除く。)を通して送受信アンテナの偏波面は、円偏波の使用が有効(無線アクセスシステムの伝送効率の向上に資すること。)であることが確認できた。

以下、各無線アクセスシステムについてまとめる。

- ・2.4GHz帯については、降雨、潮位にも強くシステムが安価なことから、比較的手軽に利用することができる一方、免許不要局のため他の既設局等からの電波干渉が懸念される。よって、電波干渉の影響が無い地域での使用、もしくは電波干渉の影響を容認、又は使用するチャンネル等の対策をすることができれば有効なシステムである。
- ・2.5GHz帯については、降雨、潮位にも強く、無線局免許取得(10km程度の区間)により電波干渉の問題を解決することが可能であり、安定的で有効なシステムである。
- ・5.0GHz帯については、円偏波を使用することにより潮位の変化による影響が少なく、長距離においても高速通信が可能な上、無線局登録制度により他の周波数帯からの干渉も少なく、安定的で有効なシステムである。
なお、5GHz帯を安定的に使用するため、一般的には影響が少ないと言われている降雨の影響について、特に、短期的多量降雨時の降雨減衰特性を更に調査することが望ましい。
- ・25GHz帯については、非常に高速な通信を行うことができるが、降雨、潮位の影響を受けやすいため、短距離(5km未満程度)の通信に向いている。他の無線アクセスシステムをバックアップ回線として利用することにより、10km程度の中距離通信回線としても有効なシステムである。

なお、中継系通信回線としての構築にあたっては、「4.2 中・長距離海上電波伝搬のための技術的要件等」を踏まえることが望ましい。

表 5-1 中・長距離海上電波伝搬距離毎の有効性

| 周波数帯別無線アクセスシステム | アンテナ偏波 | 中・長距離海上電波伝搬の有効性(注1) | | |
|-----------------|------------|---------------------|-----------|-----------|
| | | 5~10km未満 | 10~20km未満 | 5km未満(参考) |
| 2.4GHz帯 | 垂直 | ◎ | △ | ◎ |
| | 水平 | | △ | |
| | 円 | | ○ | |
| 2.5GHz帯 | 垂直 | ◎ | — | ◎ |
| | 水平 | | | |
| | 円 | | | |
| 5.0GHz帯 | 垂直 | ◎ | △ | ◎ |
| | 水平 | | △ | |
| | 円 | | ◎ | |
| 25GHz帯 (注2) | 垂直 (SD) | ○ | — | ◎ |

(注1) 【評価基準】 ◎…非常に適している、○…適している、△…条件によっては可能
—…電波伝搬試験未実施

(注2) アンテナ一体型のため垂直偏波のみ。

5.2 中・長距離海上電波伝搬に適した中継系通信回線の提案

5.1の各無線アクセスシステムの有効性を踏まえ、中・長距離海上電波伝搬に適した中継系通信回線について、バックアップ回線の有・無の場合に分けて例を挙げて提案する。

■ 提案 1

バックアップ回線「無し」の場合の距離別に適した中継系通信回線構成を図5-1、表5-2に示す。各無線システム各々特徴、優位性を有しているが、主回線として、中・長距離共に5.0GHz帯無線アクセスシステム・円偏波スペースダイバーシティ方式が最も推奨される。

表5-2 各周波数別中継系通信回線の提案(バックアップ回線なし)

| 距離 (km) | 主回線 (偏波) | 推定スループット (主回線) | 備考 |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 5~10km | 2.4/2.5GHz /5.0GHz (円偏波) | 6Mbps/4.5Mbps /13Mbps 以上 | 安定した回線を構築可能。 5.0GHz:スペースダイバーシティ方式 |
| 10~20km | 5.0GHz(円偏波) | 13Mbps | 高速で安定した回線を構築可能の見込み。 スペースダイバーシティ方式 |
| 1~5km (参考) | 25GHz(垂直偏波) | 15Mbps | 高速で安定した運用可能の見込み。 スペースダイバーシティ方式 |

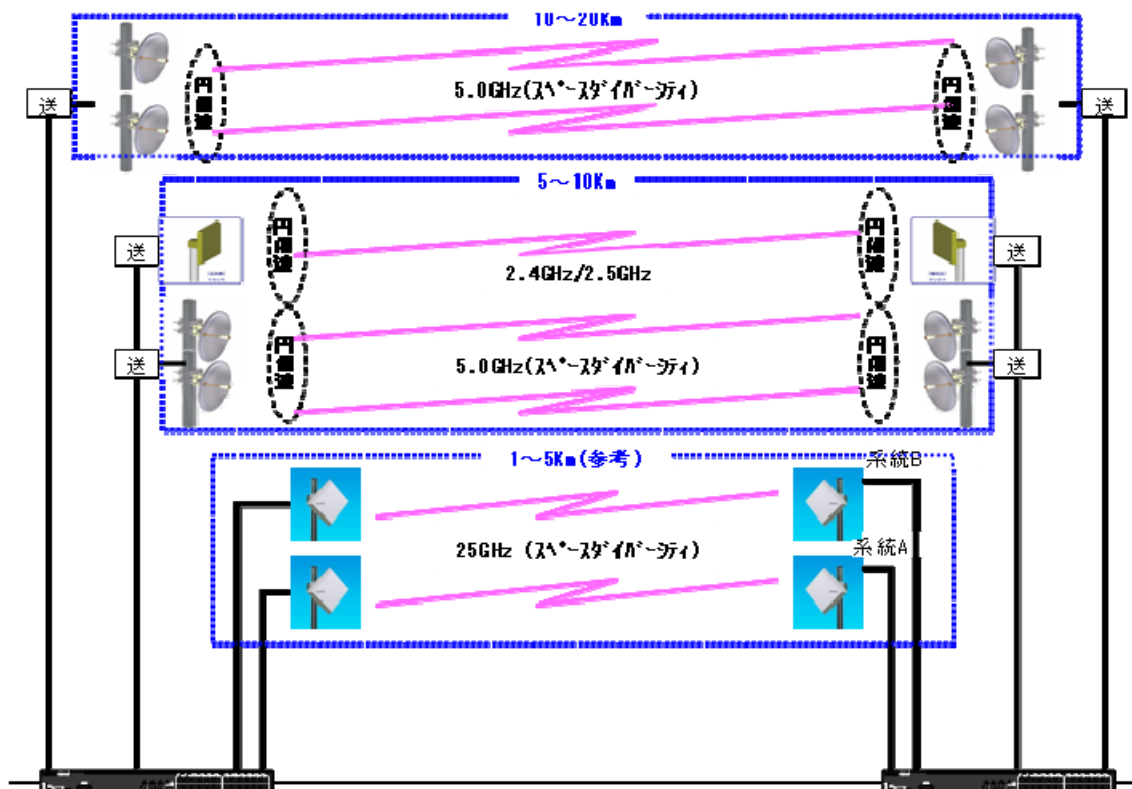


図5-1 距離別の最適無線中継系通信回線(バックアップ回線無し)

■ 提案 2

バックアップ回線「有り」の場合の最適中継系通信回線構成を表 5-3 に距離別に示す。

主回線には、13~15Mbps 程度の高速回線の整備を前提とし、5~10km の中距離では、主回線を 25GHz 帯とし、バックアップ回線を 2.4GHz/2.5GHz/5.0GHz 帯とした構成(図 5-2、表 5-2)、10~20km の長距離の場合は、主回線を 5.0GHz 帯、2.4GHz 帯によるバックアップ回線という構成(図 5-2、表 5-3)が推奨される。使用するアンテナについては、円偏波の利用が望ましい。また、主回線には、円偏波スペースダイバーシティ方式を想定した。

表 5-3 各周波数別中継系通信回線の提案(バックアップ回線あり)

| 距離 (km) | 主回線 (偏波) | バックアップ 回線(偏波) | 推定スループット (主回線/バックアップ 回線) | 備考 |
|---------|------------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 5~10km | 25GHz (垂直偏波) スペース ダイバーシティ | 2.4GHz (円偏波) | 15Mbps/6Mbps 以上 | ・比較的安価 ・事前に干渉の検討が必要。 |
| | | 2.5GHz (円偏波) | 15Mbps/4.5 Mbps 以上 | ・無線局免許取得 ・干渉が少ない |
| | | 5.0GHz (円偏波) | 15Mbps/13 Mbps 以上 | ・無線局登録 ・高速回線 |
| 10~20km | 5.0GHz(円偏波) スペース ダイバーシティ | 2.4GHz (円偏波) | 13Mbps/6Mbps | ・比較的安価 ・潮位による影響が少ない。 |

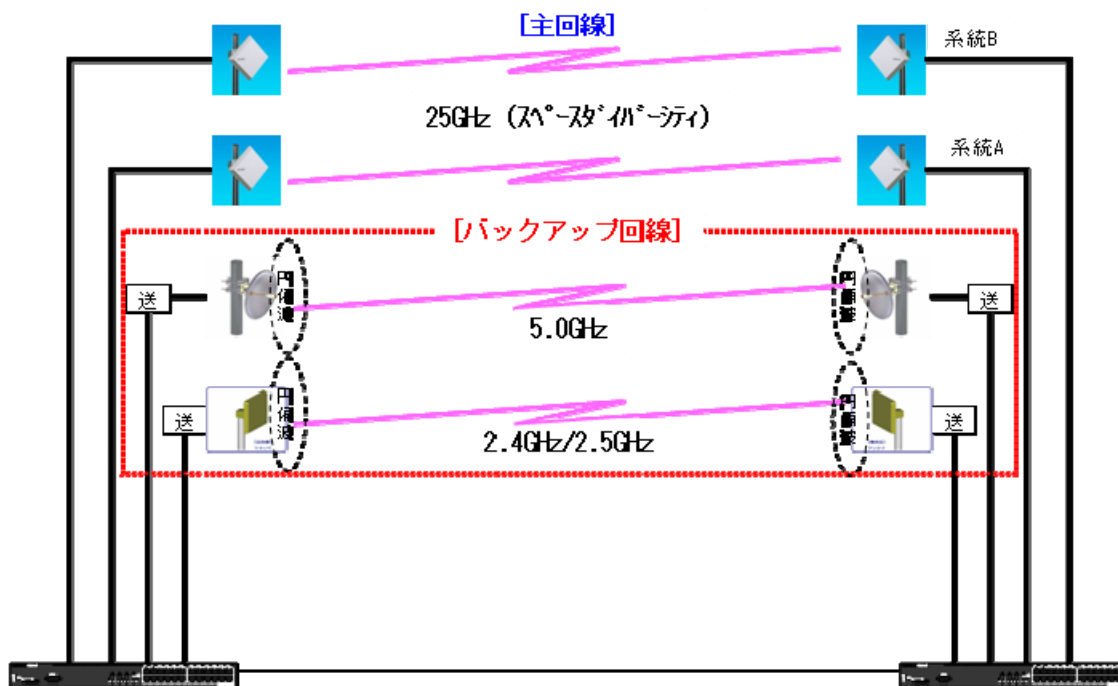


図 5-2 距離別の最適中継系通信回線(バックアップ回線有り:5~10km)

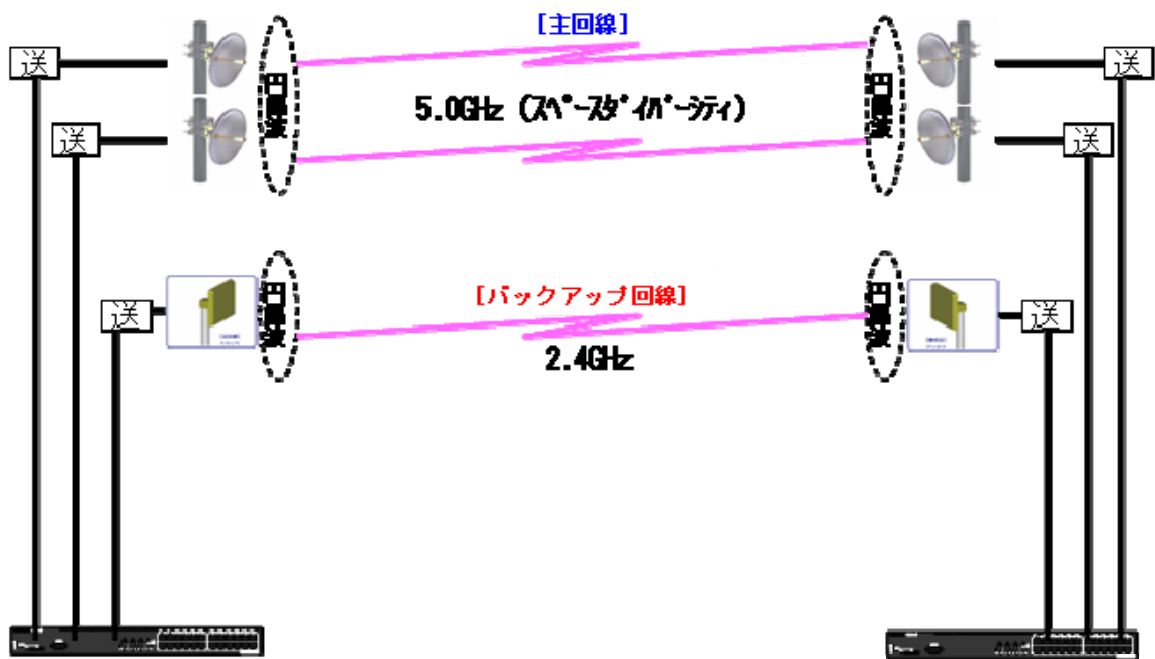


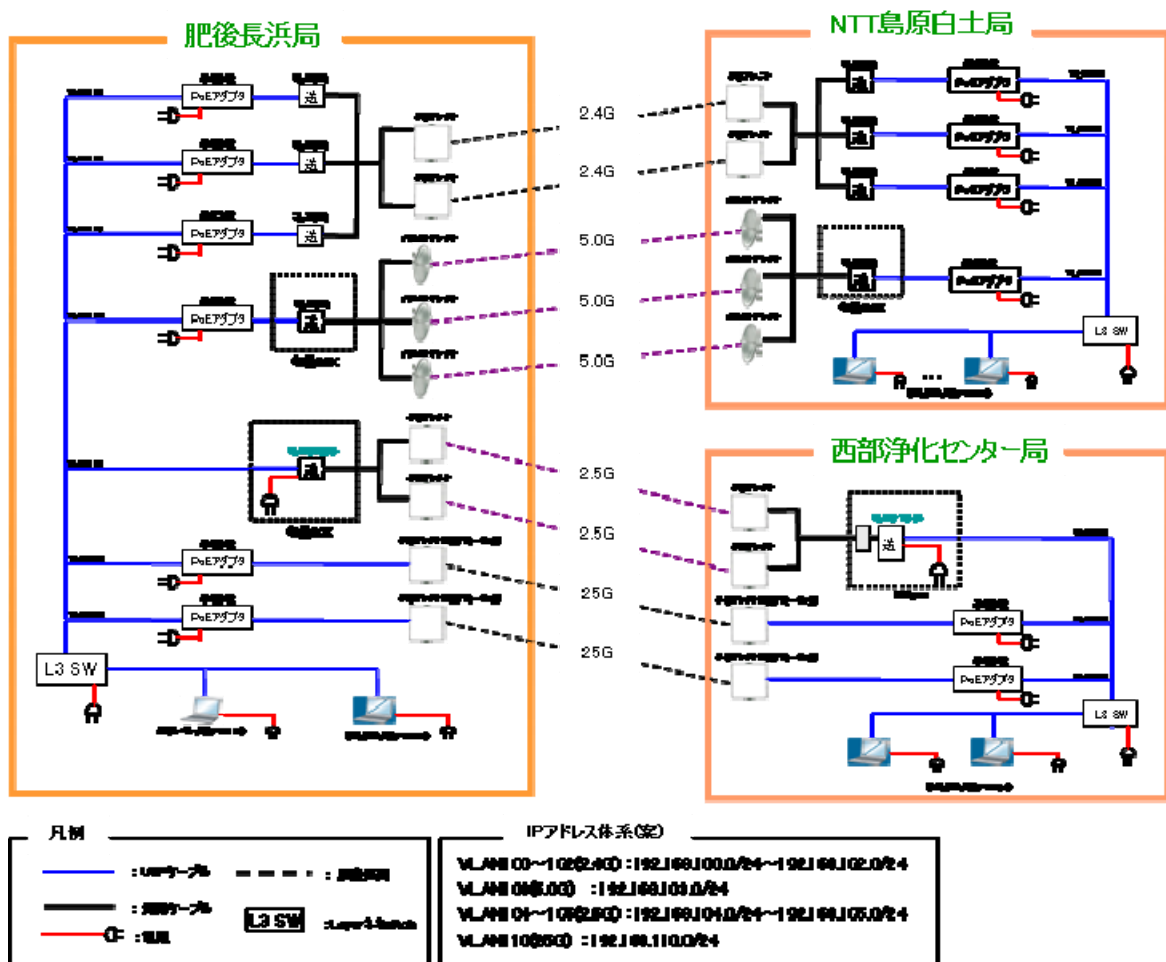
図 5-3 距離別の最適中継系通信回線(バックアップ回線有り:10~20km)

海上電波伝搬試験結果

海上伝搬路である「肥後長浜局（熊本県宇土市）～NTT 島原白土局（長崎県島原市）間 20.4km」において、二つの周波数帯 2.4GHz 帯と 5.0GHz 帯の無線機器を設置、また、「肥後長浜局（熊本県宇土市）～西部浄化センター局（熊本県熊本市）間 9.5km」においては、2.5GHz 帯と 25GHz 帯の無線機器を設置し、スループット測定と受信レベル(RSSI 値)の測定を行なった。

更にアンテナ切替えによる偏波面の変更を行い、各種のデータ測定を行った。

1 無線システム構成



2 測定地点 (NTT 島原白土局) における電波発射状況調査

2.1 島原市内における 2.4GHz 帯の使用状況確認

長崎県島原市においては、総務省平成18年度補正予算「地域児童見守りシステムモデル事業(島原市地域児童見守りシステムモデル事業)」に採択され、現在、市内全域を 2.4GHz帯の無線アクセスシステムを利用して無線LANシステムを構築している。

従って、本海上電波伝搬試験との干渉の可能性があるので、事前に調査を実施した。

2.2 電波伝搬試験使用周波数 ch の選定

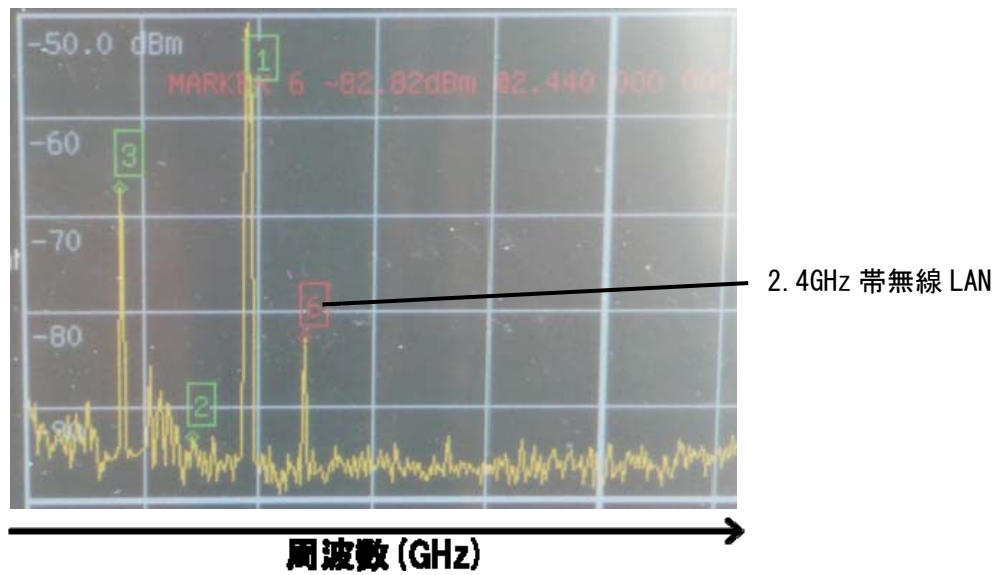
当初試験計画では、1ch、6ch、11ch のチャンネルのうち 2 チャンネルを使用する予定で、中継地点の電波発射状況調査の結果、図補-2 のように 6ch が重複していたため、電波伝搬試験実施時には他の 2 チャンネル(1ch、11ch)を使用することとした。

なお、1ch に関しては「地域児童見守りシステム」にて運用されていたが、電波伝搬試験期間中は一部区間停波の配慮を行っていただいた。

伝搬試験で使用した無線 LAN 機器 (1ch)

| MAC | SSID | Chan | Speed | Signal+ | First Seen | Vendor | Type | Encryption | IP Addr |
|--------------|---------------------------------|------|---------|---------|------------|-------------|------|------------|---------|
| 0012CF096209 | | 1 | 54 Mbps | -52 | 18:23:46 | (Fake) | AP | WEP | |
| 000BA235F663 | 3100SV-35F663 | 6 | 54 Mbps | -68 | 18:24:37 | | AP | WEP | |
| 0090CC8E697C | 08-021-2_dev0 | 13 | 54 Mbps | -68 | 18:24:16 | Planet... | AP | WEP | |
| 000A79265FDA | corega | 6 | 54 Mbps | -80 | 18:24:16 | Corega | AP | | |
| 0090CCD35A80 | 17-121-2_dev1 | 7 | 54 Mbps | -81 | 18:24:37 | Planet... | AP | WEP | |
| 000A79729D88 | corega | 6 | 54 Mbps | -85 | 18:24:37 | Corega | AP | | |
| 0090CCD36590 | 07-011-2_dev1 | 7 | 54 Mbps | -85 | 18:24:16 | Planet... | AP | WEP | |
| 000D0B5E3810 | 000D0B5E3810 | 11 | 54 Mbps | -86 | 18:24:37 | | AP | WEP | |
| 001B8B757A93 | KRD-Wireless-net | 1 | 54 Mbps | -87 | | | | | |
| 000A797AAA24 | corega | 6 | 54 Mbps | -87 | | | | | |
| 000A79A2CFD0 | best_3f_2 | 9 | 54 Mbps | -88 | 18:24:56 | Corega | AP | WEP | |
| 000A7990CC76 | create | 6 | 54 Mbps | -88 | 18:24:37 | Corega | AP | WEP | |
| 0090CC8E6B6E | 17-111-1_dev0 | 1 | 54 Mbps | -89 | 18:26:21 | Planet... | AP | WEP | |
| 000D02C38E5E | | 10 | 54 Mbps | -89 | 18:24:24 | | AP | WEP | |
| 001601FD4C4F | 430E867335E44FA838D46DF44B9A... | 11 | 54 Mbps | -91 | 18:25:51 | (Fake) | AP | WEP | |
| 000740B131A5 | 000740B6056C | 11 | 54 Mbps | -92 | 18:27:07 | Melco (...) | AP | | |
| 0090CCD355F0 | 15-131-2_dev0 | 1 | 54 Mbps | -92 | 18:24:56 | Planet... | AP | WEP | |
| 001601DA5A0F | 74A8B0FF576B23212F83966E61CA... | 11 | 54 Mbps | -93 | 18:25:42 | (Fake) | AP | WEP | |
| 00028AA717FD | | 6 | 11 Mbps | -93 | 18:24:56 | Ambit | AP | WEP | |
| 061B8B3B7A6F | WARPSTAR-70B573-W | 6 | 54 Mbps | -95 | 18:24:56 | (User-d... | AP | WEP | |
| 000D0B03B373 | 76BF88FE5082F940660CAC8A17E4... | 1 | 54 Mbps | -96 | 18:26:21 | | AP | WEP | |
| 0090CC8E6BB3 | 15-111-1_dev0 | 13 | 54 Mbps | -97 | 18:24:56 | Planet... | AP | WEP | |

————— : 「地域児童見守りシステム」が使用している帯域
図補-2 NTT 島原白土局付近の無線使用チャンネル調査結果



図補-3 事前調査時の電波発射状況(2.4GHz 帯)

表補-1 事前検討時の利用(予定)チャンネル

| | 島原市 | 海上電波伝搬試験 (予定) |
|---------|----------------|------------------|
| 使用チャンネル | 1ch, 6ch, 13ch | 1ch, 6ch, 11ch |

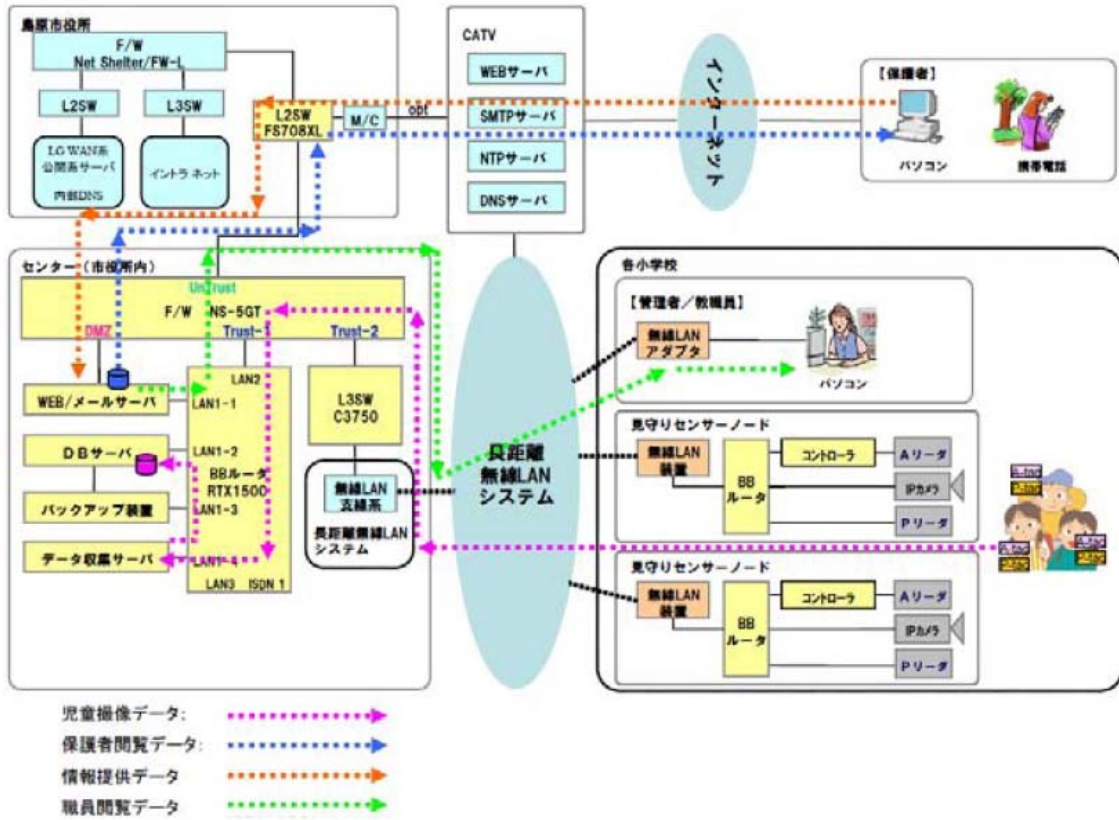
表補-2 検討後の利用チャンネル

| | 島原市 | 海上電波伝搬試験 |
|---------|-----------|-----------|
| 使用チャンネル | 6ch, 13ch | 1ch, 11ch |

結果、互いに干渉することなく電波伝搬試験を終えることができた。

～島原市地域児童見守りシステムモデル事業～

システム構成図



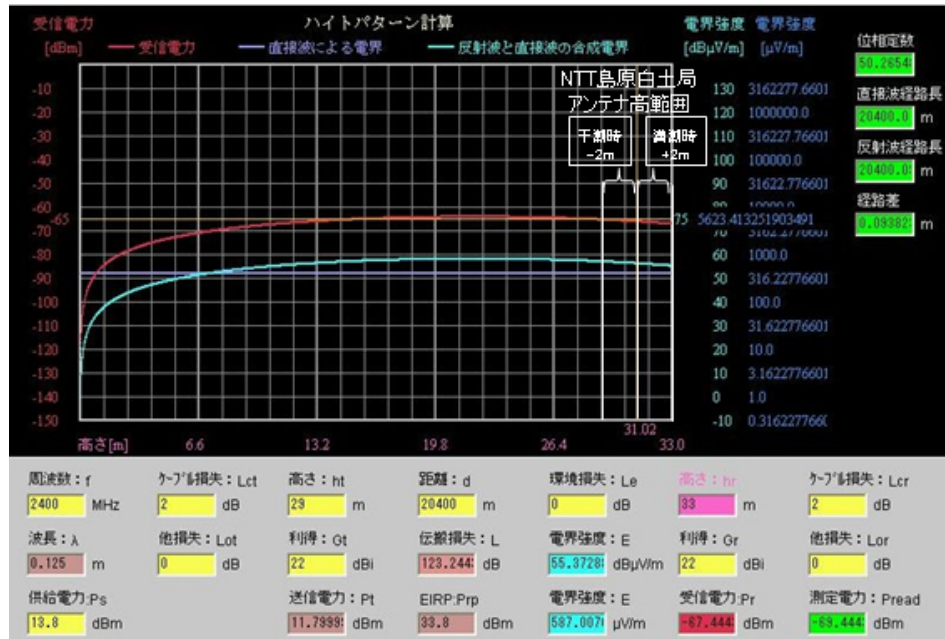
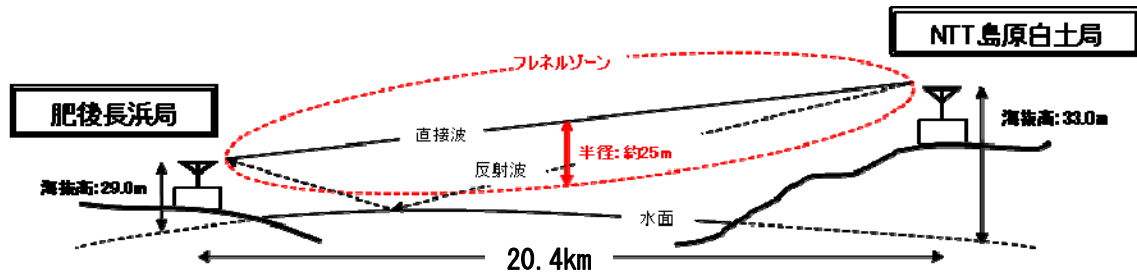
図補-4 (参考) 島原市地域児童見守りシステムのシステム構成図
 出典:総務省「地域児童見守りシステムモデル事業 事例集」(200901)

3 ハイパターンの検討結果

3.3.2にて前述した、ハイパターンの検討は次のとおりである。

(1) 2.4GHz 帯無線アクセスシステムハイパターンの検討

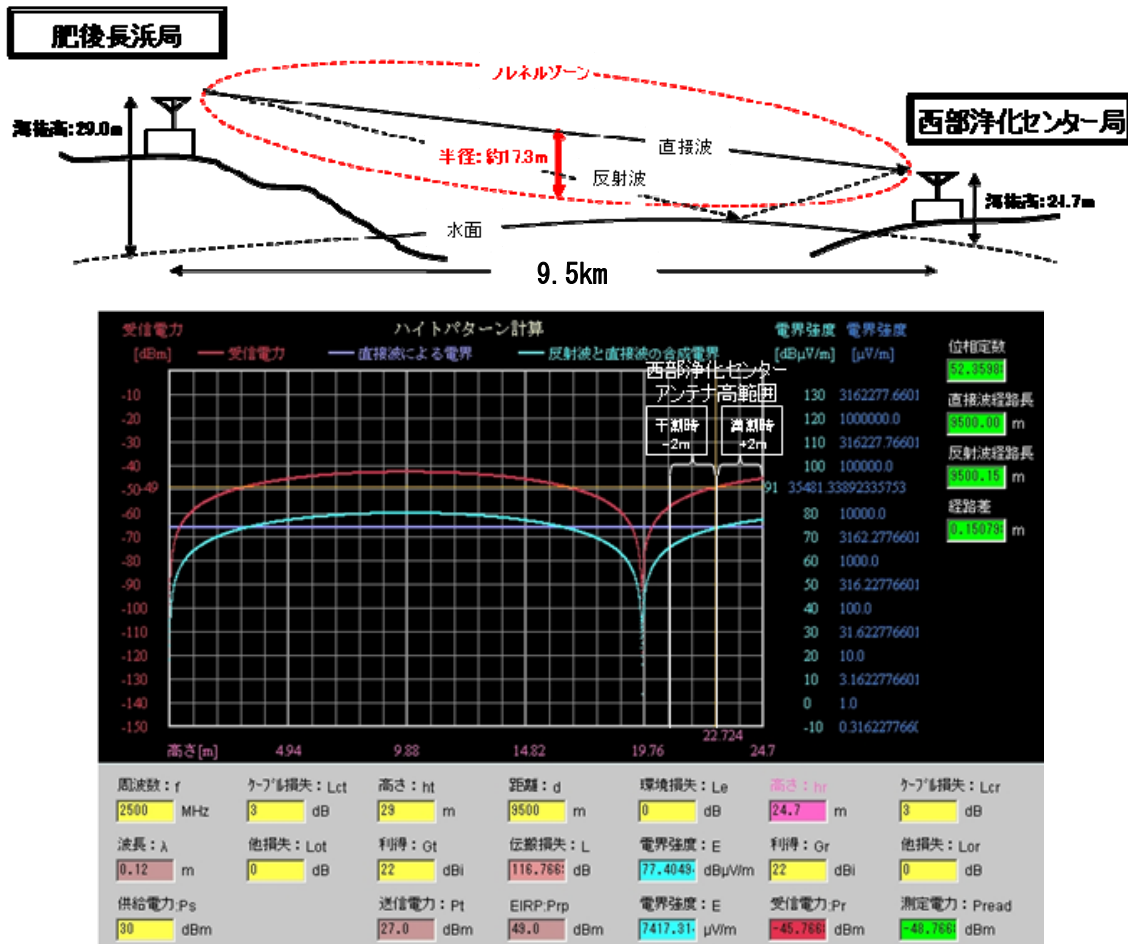
設定条件を肥後長浜局の高さ:29m、NTT 島原白土局の高さ:33m 仮定とした場合のハイパターンを、図補-5 に示す。



図補-5 2.4GHz 帯無線アクセスシステムハイパターン検討

(2) 2.5GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターンの検討

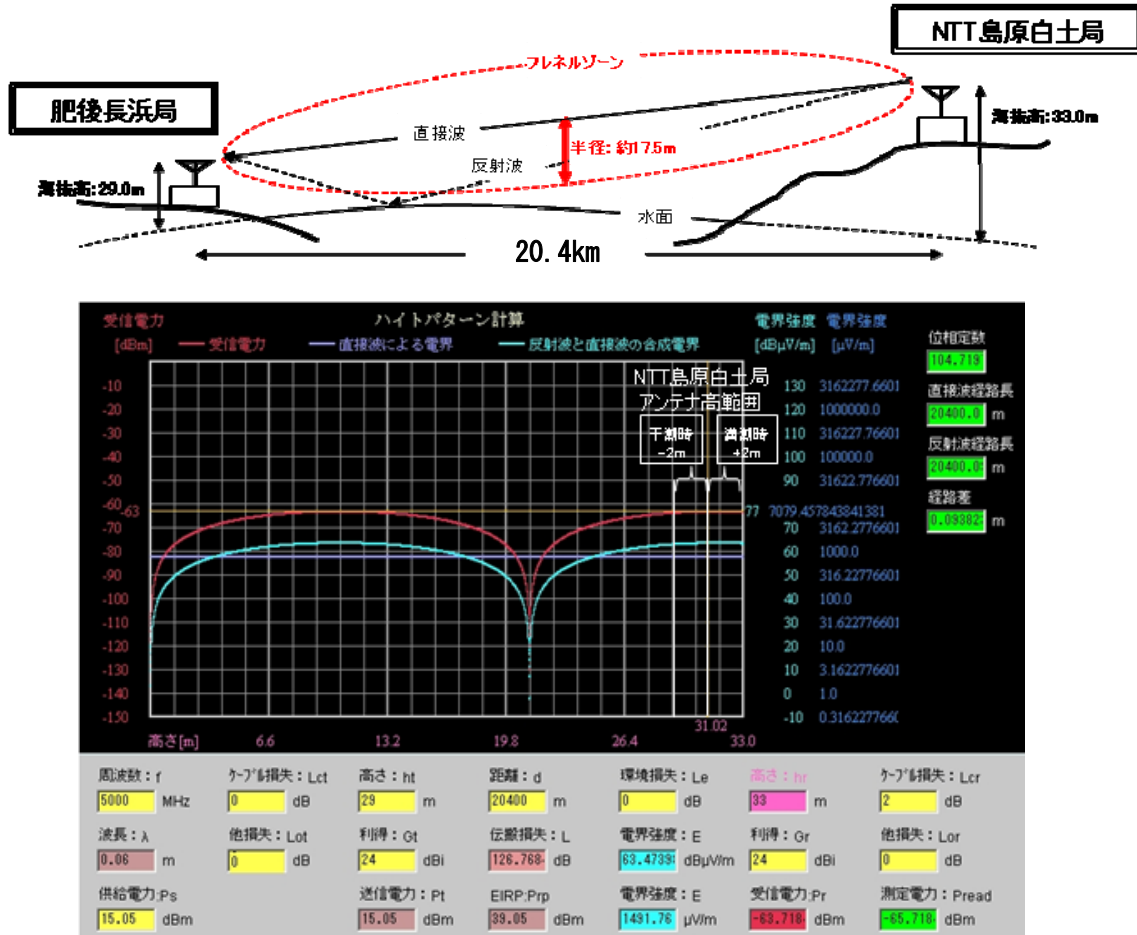
設定条件を肥後長浜局の高さ:29m、西部浄化センター局の高さ:24.7m 仮定とした場合のハイトパターンを、図補-6 に示す。



図補-6 2.5GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターン検討

(3) 5.0GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターンの検討

設定条件を肥後長浜局の高さ:29m、NTT 島原白土局の高さ:33m 仮定とした場合のハイトパターンを、図補-7 に示す。

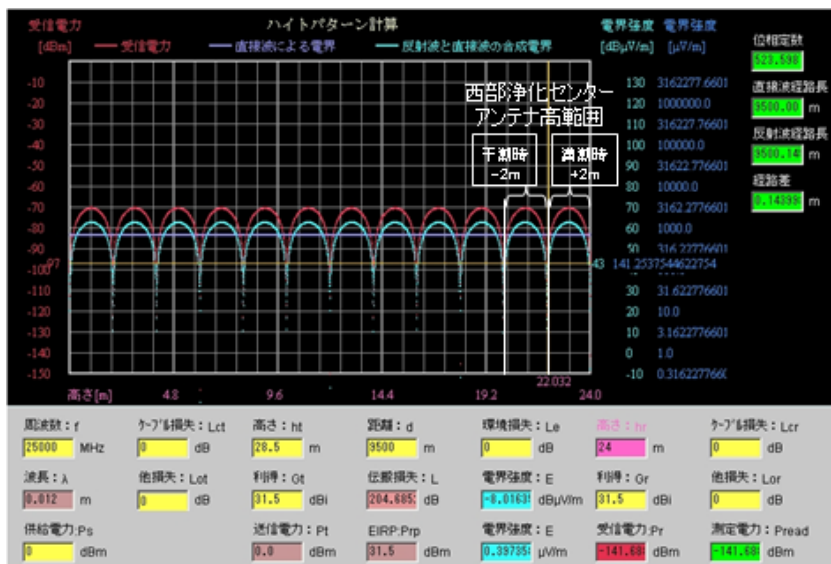
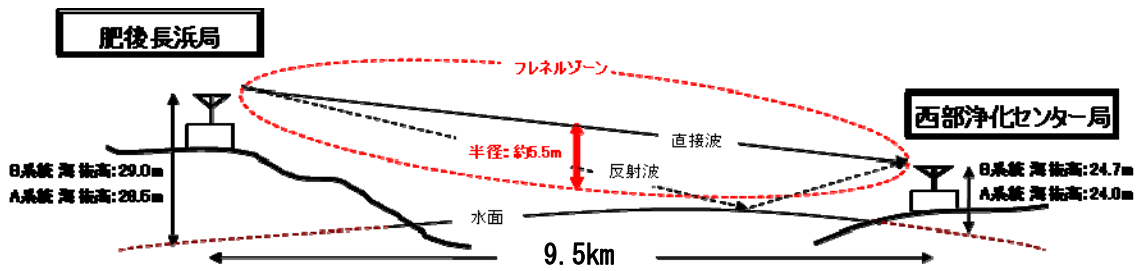


図補-7 5.0GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターン検討

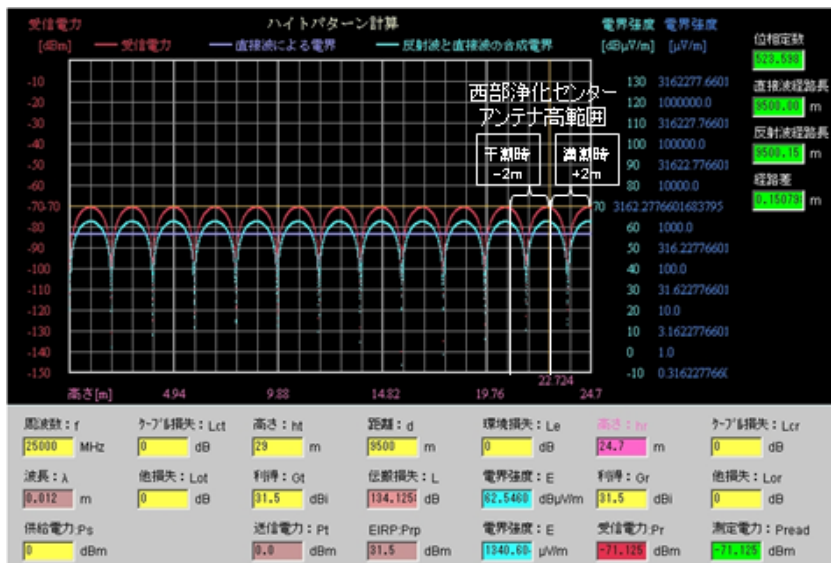
(4) 25GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターンの検討

A 系統については、設定条件を肥後長浜局の高さ:28.5m、西部浄化センター局の高さ:24m 仮定とした場合のハイトパターンを、図補-8 に示す。

B 系統については、設定条件を肥後長浜局の高さ:29m、西部浄化センター局の高さ:24.7m 仮定とした場合のハイトパターンを、図補-9 に示す。



図補-8 25GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターン検討 (A 系統)



図補-9 25GHz 帯無線アクセスシステムハイトパターン検討 (B 系統)

(5) アンテナ設置高

周波数帯毎のハイトパターン検討の結果、各アンテナ設置場所でのアンテナ設置高は、表補-3のとおりである。

表補-3 無線アクセスシステム毎のアンテナ設置高

| 周波数帯別 無線アクセスシステム | 伝送距離 | アンテナ設置高※ | | | |
|---------------------|--------|----------|-----------|-----------|---|
| | | 肥後長浜局 | 西部浄化センター局 | NTT 島原白土局 | |
| 2.4GHz 帯 | 20.4km | 29.0m | — | 31.0m | |
| 2.5GHz 帯 | 9.5km | 29.0m | 22.7m | — | |
| 5.0GHz 帯 | 20.4km | 29.0m | — | 31.0m | |
| 25GHz 帯 | 9.5km | A 系統 | 28.5m | 22.0m | — |
| | | B 系統 | 29.0m | 22.7m | — |

※アンテナ設置高は海拔高とする

4 アンテナ設置状況と外観

4.1 肥後長浜局のアンテナ設置状況と外観



図補-10 肥後長浜局



図補-11 2.4GHz アンテナ設置



図補-12 5GHz アンテナ設置



図補-13 2.5GHz アンテナ設置



図補-14 25GHz アンテナ設置

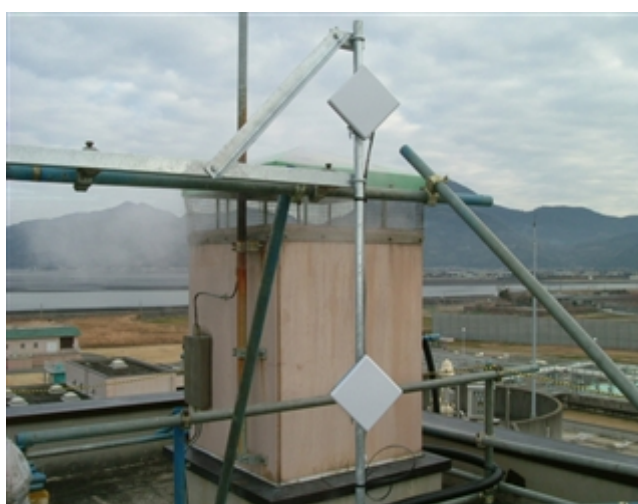
4.2 西部浄化センター局のアンテナ設置状況と外観



図補-15 西部浄化センター局



図補-16 2.5GHz アンテナ設置



図補-17 25GHz アンテナ設置

4.3 NTT 島原白土局のアンテナ設置状況と外観



図補-18 NTT 島原白土局



図補-19 2.4/5.0GHz アンテナ設置

5 電波伝搬試験結果

今回測定した電波伝搬試験結果を次のとおりまとめている。

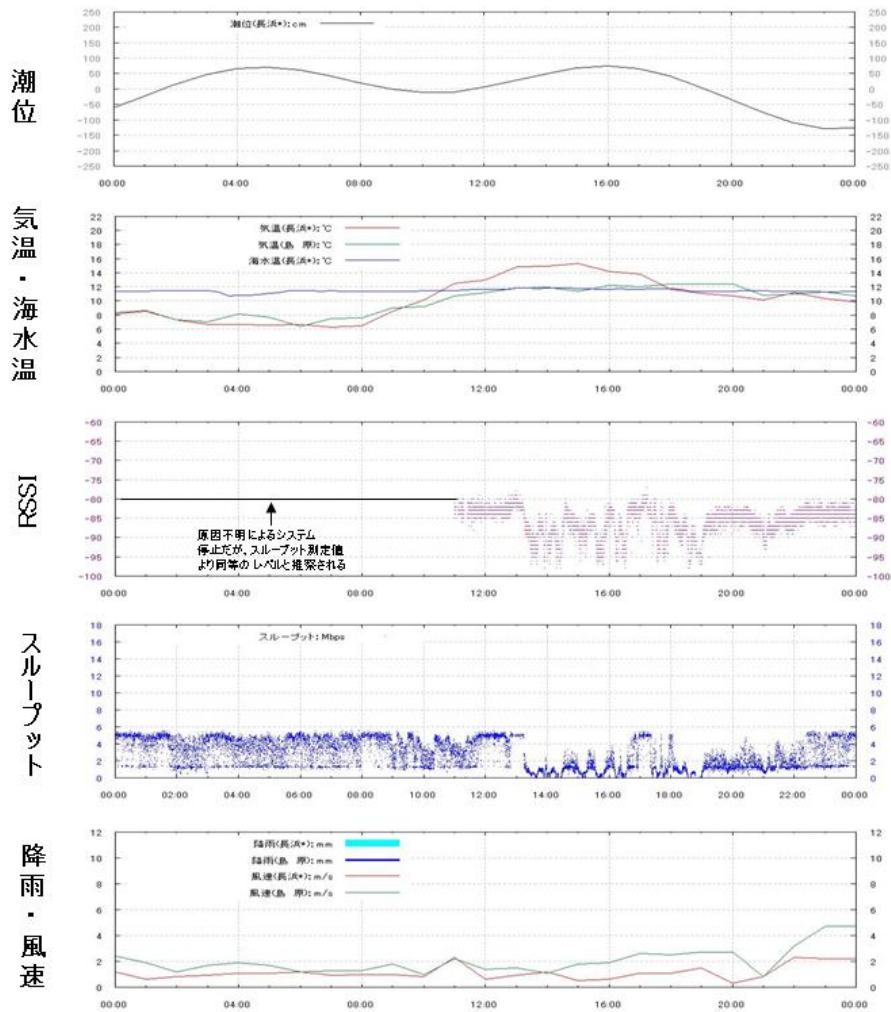
各周波数帯別で、2.4GHz/2.5GHz/5.0GHz/25GHz 帯の順、偏波別で、垂直/水平/円の順に掲載している。また、潮位、気温、海水温、RSSI、スループット、降雨・風速をグラフにまとめ、特に特徴的な電波伝搬試験データについての考察を行っている。

表補-4 周波数帯別測定日一覧

| 周波数帯 | 測定日 |
|--------|----------------------------------|
| 2.4GHz | 1/18、1/27、2/5、2/6、2/11、2/12、2/13 |
| 2.5GHz | 1/17、2/12、2/14 |
| 5.0GHz | 2/6、2/7、2/8、2/13、2/14、2/15、2/17 |
| 25GHz | 1/18、2/13、2/14 |

測定日:2月5日(木)
2.4G-1ch/垂直偏波

2009年3月5日



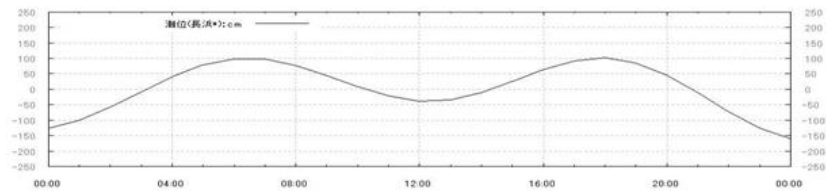
図補-20 2.4G-1ch/垂直偏波

- ・ 午後 1 時からの RSSI の低下は、気温の上昇に伴った自然現象(ダクトなど)の影響が大きいと思われる。この時間以降、気温が海水温と同等か高い。
- ・ RSSI が強くてもスループットが下がる原因は、円偏波アンテナの背後に位置したため、この位置において円偏波アンテナの垂直成分が強かったためと思われる。
- ・ 潮位による影響は見られない

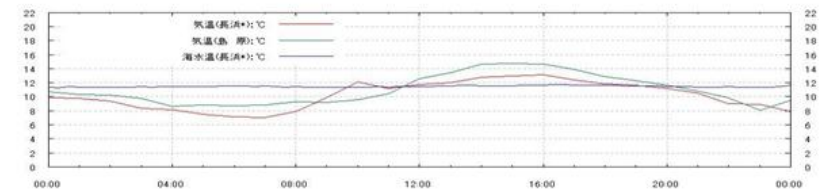
測定日:2月6日(金)
2.4G-1ch/垂直偏波

2009年3月6日

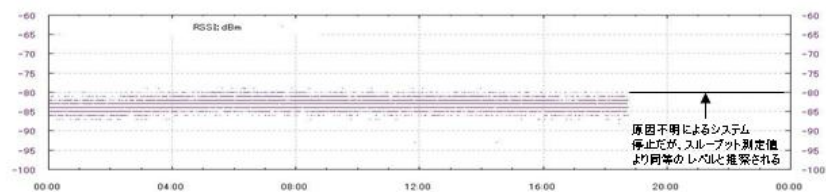
潮位



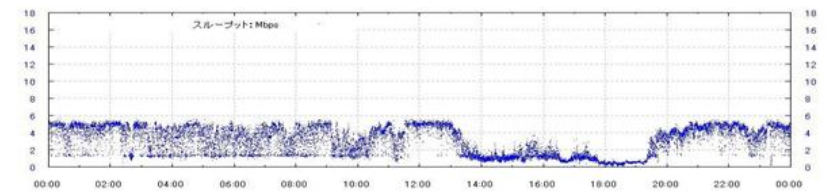
気温・海水温



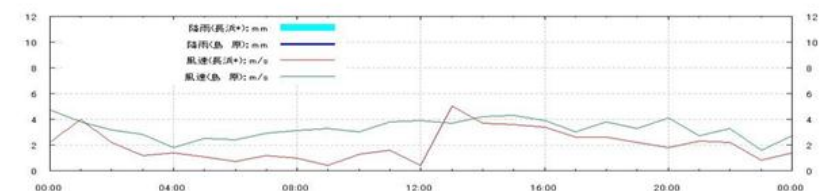
RSSI



スループット



降雨・風速



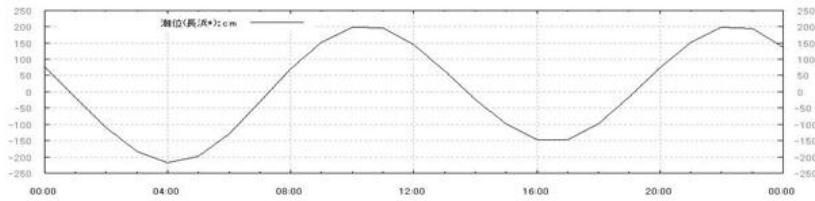
図補-21 2.4G-1ch/垂直偏波

- ・スループットはほぼ一定だが、5dB程度のRSSIの変動(ファストフェージング)が見られる。この日の気温は、昼の時間帯でも海水温と同等である。
- ・RSSIが強くてもスループットが下がる原因は、円偏波アンテナの背後に位置したため、この位置において円偏波アンテナの垂直成分が強かったためと思われる。
- ・潮位による影響は見られない。

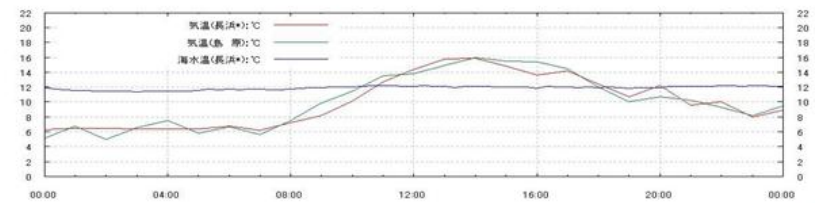
測定日:2月11日(水)
2.4G-1ch/水平偏波

2009年3月5日

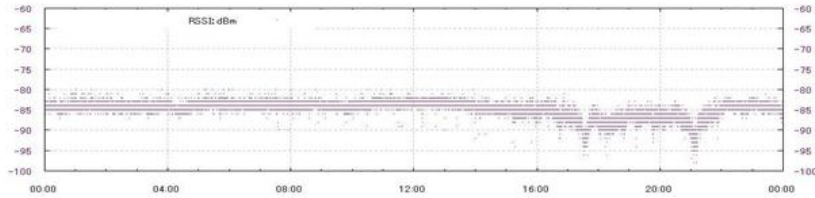
潮位



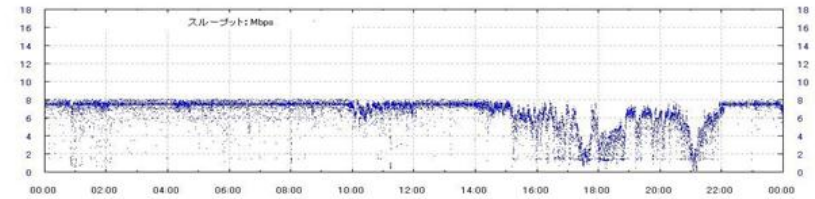
気温・海水温



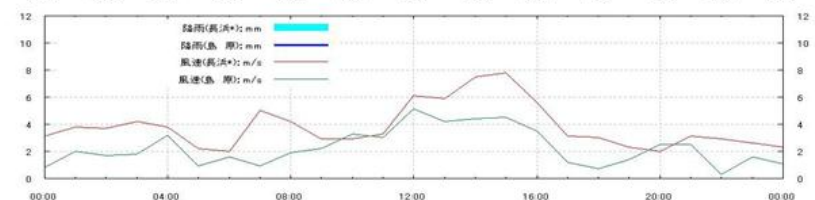
RSSI



スループット



降雨・風速



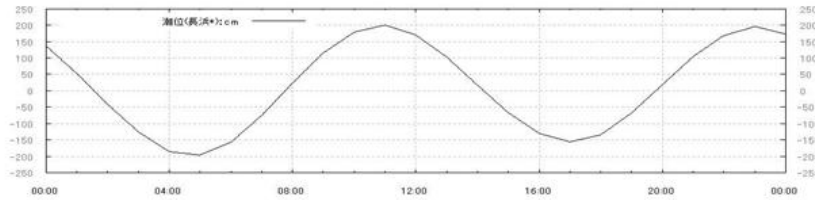
図補-22 2.4G-1ch/水平偏波

- ・午後5時からのスループットの低下は、自然現象(ダクトなど)の影響が大きいと思われる。この時間帯では、気温が海水温より下がり、かつ風も弱くなっている。一方、午前11時以降大きな減衰はないが、気温が海水温より高く、かつ風が強い。
- ・スループットはほぼ一定だが、RSSIを見るとフェージングの影響を受けていると見られる。
- ・潮位による影響は見られない。

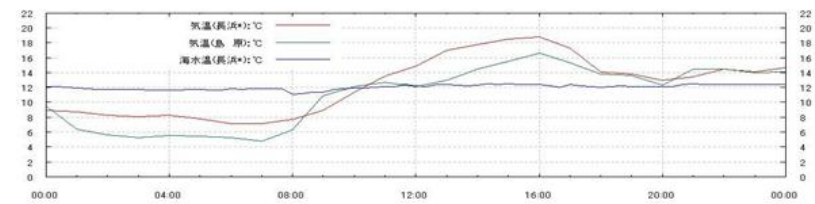
測定日:2月12日(木)
2.4G-1ch/水平偏波

2009年3月5日

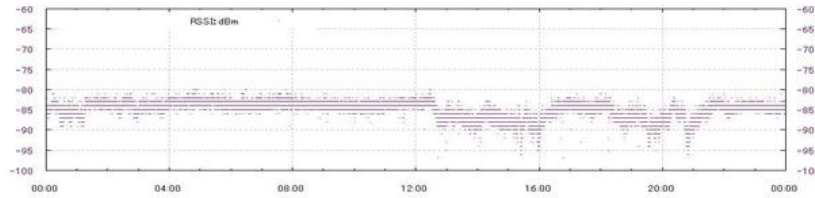
潮位



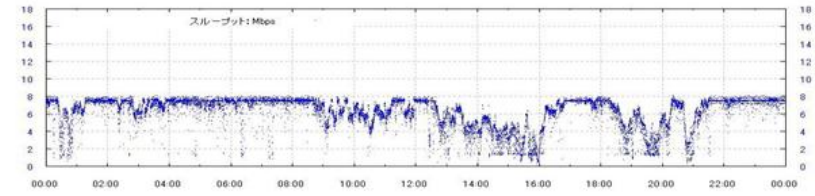
気温・海水温



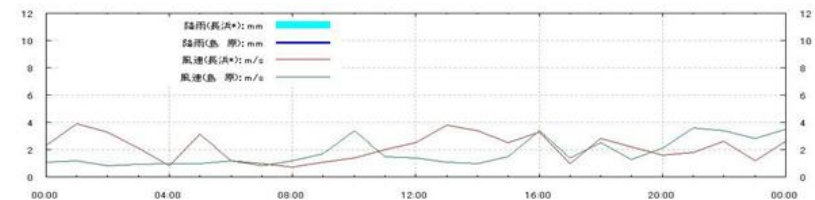
RSSI



スループット



降雨・風速



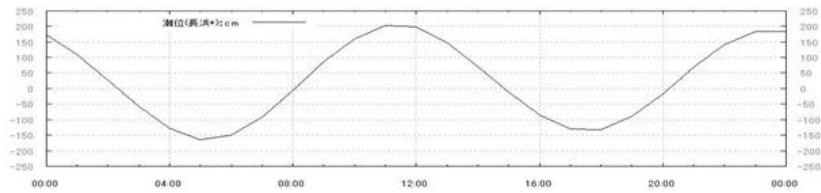
図補-23 2.4G-1ch/水平偏波

- ・ 午後 12 時と午後 4 時からのスループットの低下は、周囲の無線局の発射電波との干渉及び自然現象(ダクトなど)の影響が大きいと思われる。この時間帯は、気温が海面より高く風は弱い。
- ・ 潮位による影響は見られない。

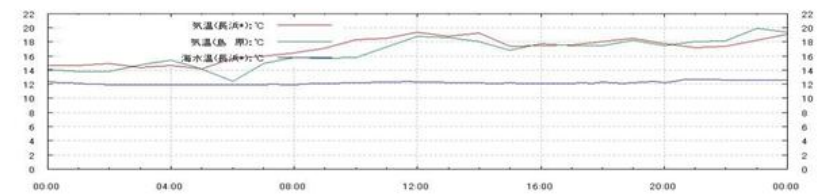
測定日:2月13日(金)
2.4G-1ch/水平偏波

2009年3月6日

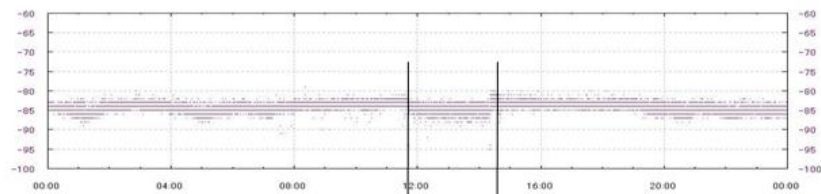
潮位



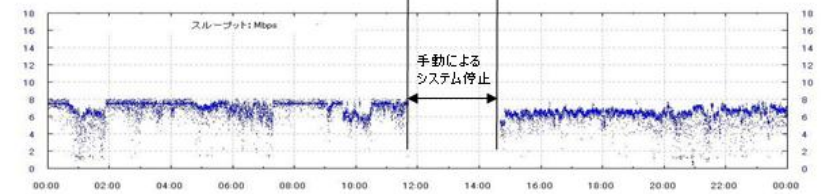
気温・海水温



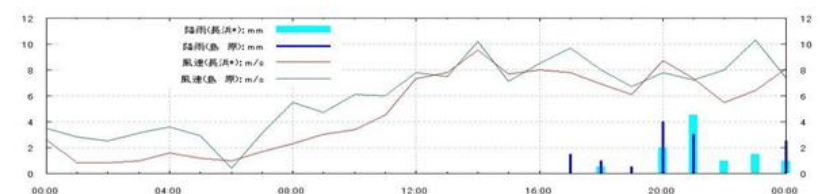
RSSI



スループット



降雨・風速

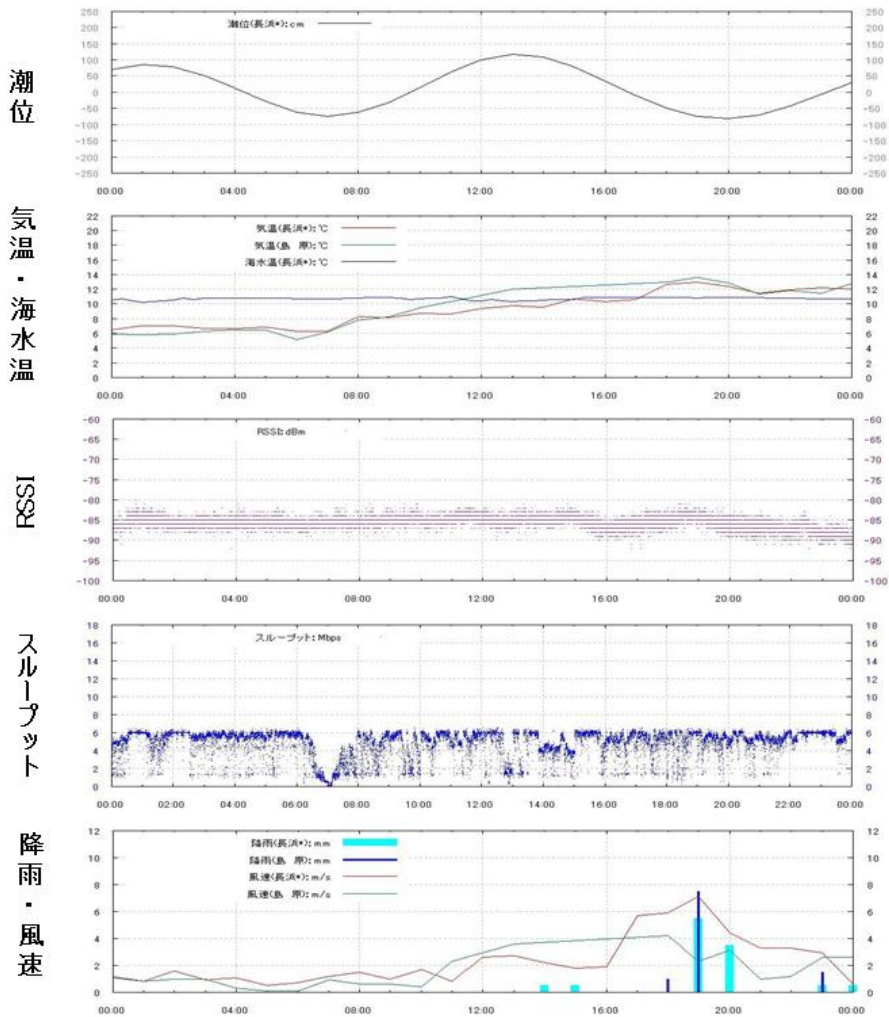


図補-24 2.4G-1ch/水平偏波

- ・スループットはほぼ一定だが大きく落ち込むことも多い。RSSI はファストフェージングが3~4dBの範囲と小さい。
- ・この日は、日中風が強く、海面に細かな波があるため、海面反射波はランダムに散乱される。よってフェージングの影響は比較的小さい。
- ・潮位による影響は見られない。
- ・降雨があった時間帯(午後5時~午前0時)で、スループット、RSSIともに一定であり、ダクトによると思われるRSSIの減衰は見られなかった。
- ・一日を通して気温が海水温より高く、ダクト等が原因と思われる減衰は見られない。

測定日:1月18日(日)
2.4G-6ch/円偏波

2009年3月5日



図補-25 2.4G-6ch/円偏波

- ・スループットはほぼ一定である。
- ・潮位による影響は見られない。
- ・降雨があった時間帯(午後2時~午前0時)で、スループット、RSSIともに一定であり、影響は見られなかった。
- ・水平偏波や垂直偏波に見られたダクトによると思われる減衰が見られない。これはダクトの水平、垂直成分への影響が独立していると思われ、水平成分又は垂直成分のうち一方の成分が減衰しても、他方の成分が影響を受けないため、減衰領域が小さいと考えられ、円偏波による偏波ダイバーシティのような効果が表れていると考えられる。更に風が強い時間帯に、気温が海面より若干高くなっている事と降雨があることに注

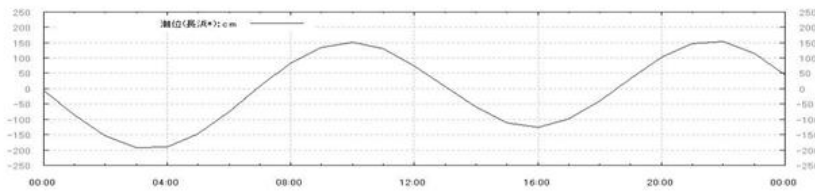
目すべきである。

- ・円偏の効果とこれらの現象との関係は、今後検討すべきである。

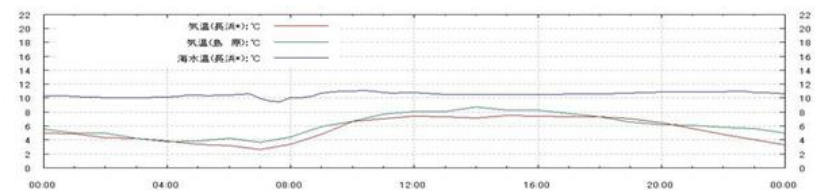
測定日:1月27日(火)
2.4G-1ch/円偏波

2009年3月6日

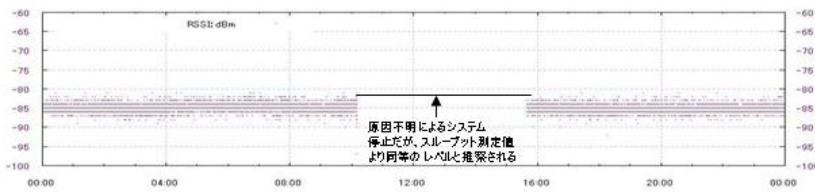
潮位



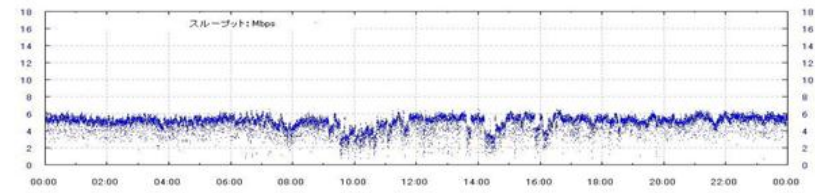
気温・海水温



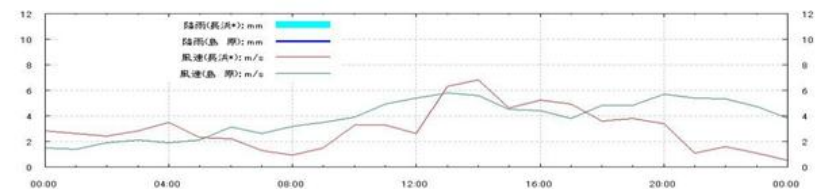
RSSI



スループット



降雨・風速

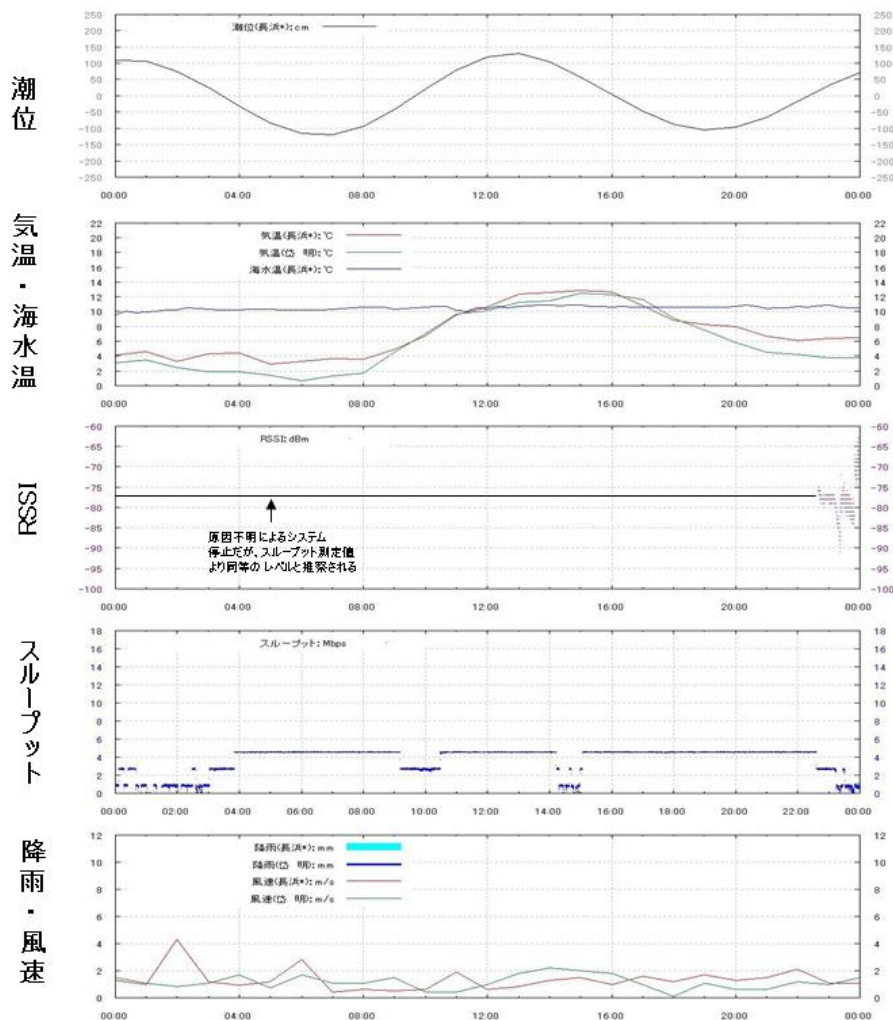


図補-26 2.4G-1ch/円偏波

- ・スループットはほぼ一定になる。RSSI を見るとフェージングの影響を受けているものの変動幅が小さい。
- ・潮位による影響は見られない。
- ・円偏波は、垂直、水平に比べてスループットが比較的安定している。
- ・気温は一日中海水温より低い。

測定日:1月17日(土)
2.5G/垂直偏波

2009年3月5日



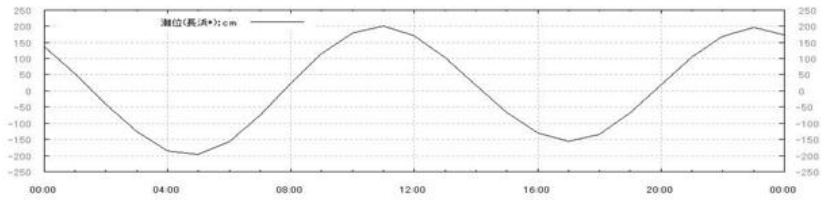
図補-27 2.5G/垂直偏波

- ・ 回線接続できているところのスループットは、比較的安定している。
- ・ 電波伝搬特性は、2.4GHz帯とほぼ同等と考えられるため、降雨に強い特徴などによる強みがあると考えられる。
- ・ 電波伝搬試験機器の調整を行なう必要が生じたため、十分な測定時間を確保できず、今回の測定結果からは潮位の影響については、結論を導き出すことができない。

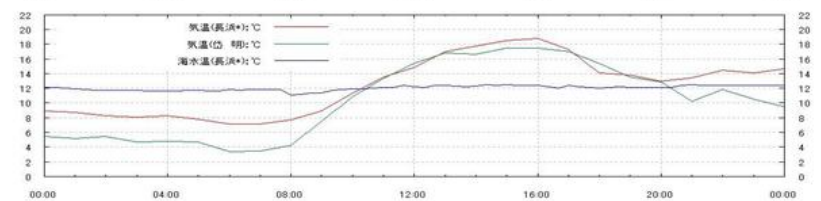
測定日:2月12日(木)
2.5G/水平偏波

2009年3月5日

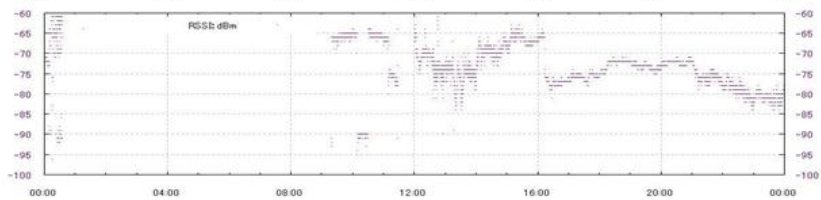
潮位



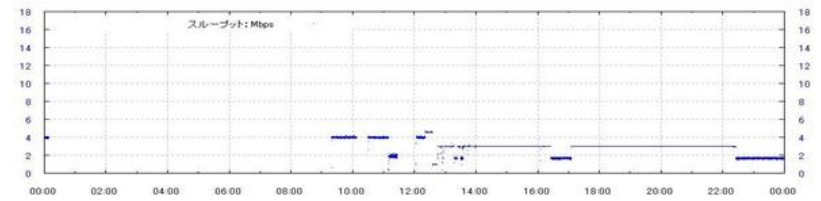
気温・海水温



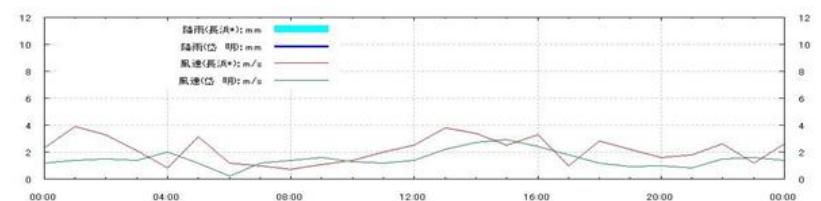
RSSI



スループット



降雨・風速



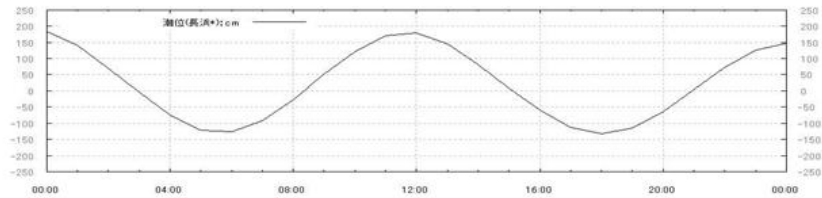
図補-28 2.5G/水平偏波

- ・ 回線接続できているところのスループットは、比較的安定している。
- ・ 電波伝搬特性は、2.4GHz帯とほぼ同等と考えられるため、降雨に強い特徴などによる強みがあると考えられる。
- ・ 電波伝搬試験機器の調整を行なう必要が生じたため、十分な測定時間を確保できず、今回の測定結果からは潮位の影響については、結論を導き出すことができない。

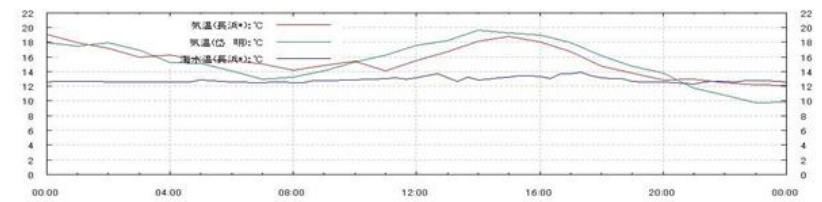
測定日:2月14日(土)
2.5G/円偏波

2009年3月5日

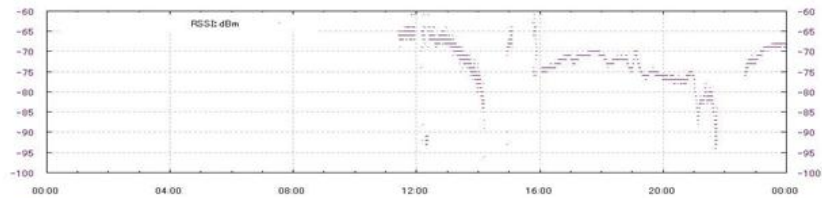
潮位



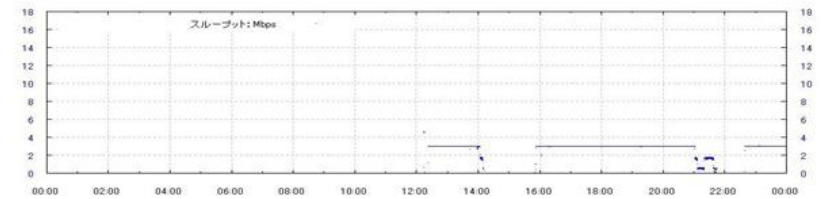
気温・海水温



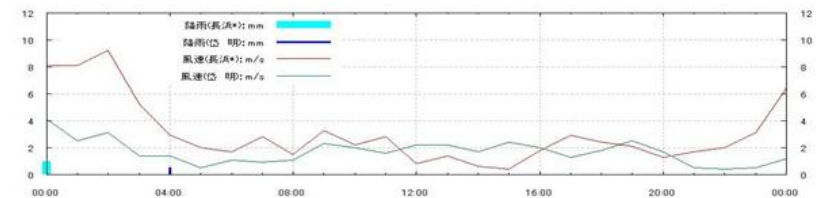
RSSI



スループット



降雨・風速

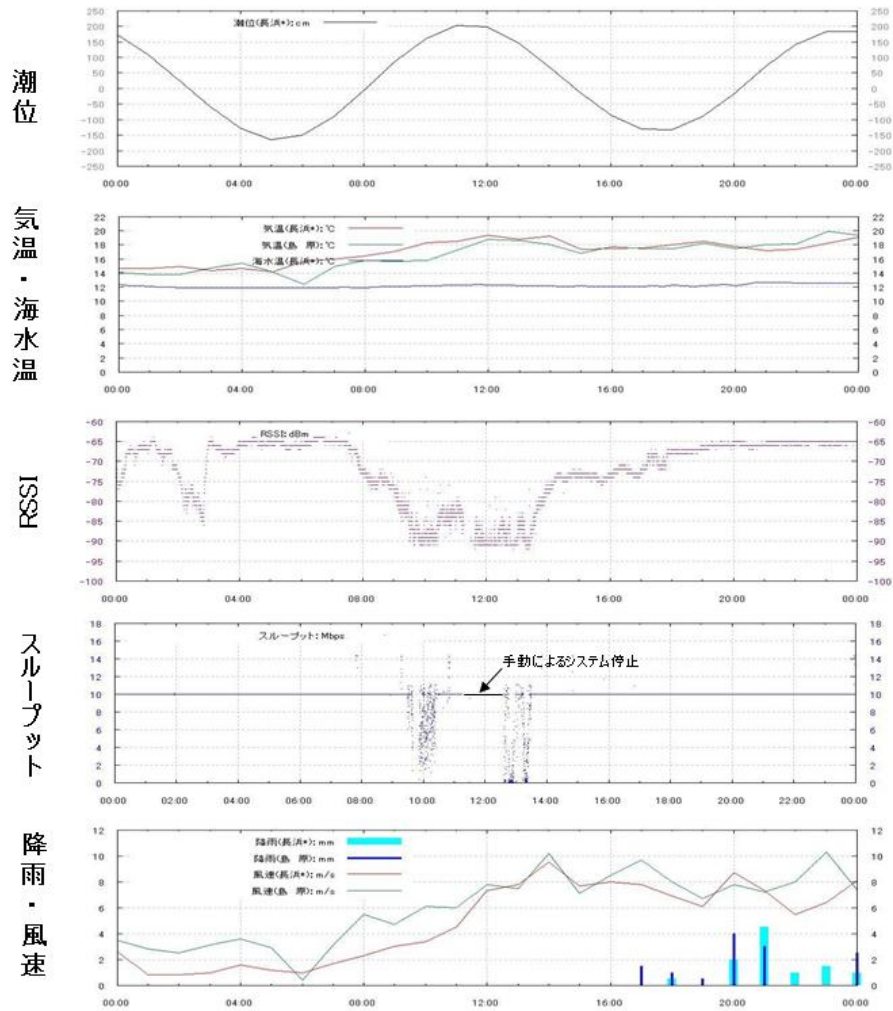


図補-29 2.5G/円偏波

- ・回線接続できているところのスループットは、比較的安定している。
- ・電波伝搬特性は、2.4GHz帯とほぼ同等と考えられるため、降雨に強い特徴などによる強みがあると考えられる。
- ・電波伝搬試験機器の調整を行なう必要が生じたため、十分な測定時間を確保できず、今回の測定結果からは潮位の影響については、結論を導き出すことができない。

測定日:2月13日(金)
5G/垂直偏波

2009年3月5日

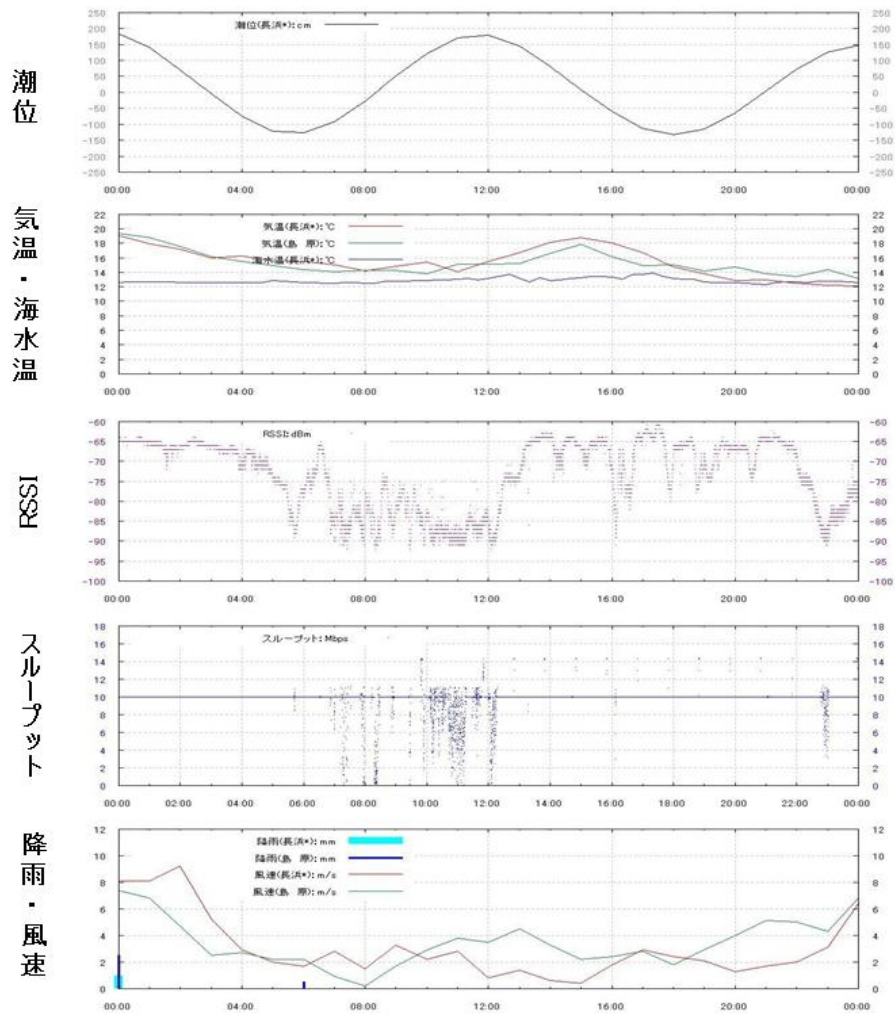


図補-30 5.0G/垂直偏波

- ・ 潮位の影響を大きく受けていると考えられる。
- ・ 午後5時から12時ぐらいまでは、風が強く、海面に多くの波が発生し、反射波がランダムに散乱した結果、干渉による減衰が見られなかった。

測定日:2月14日(土)
5G/垂直偏波

2009年3月5日

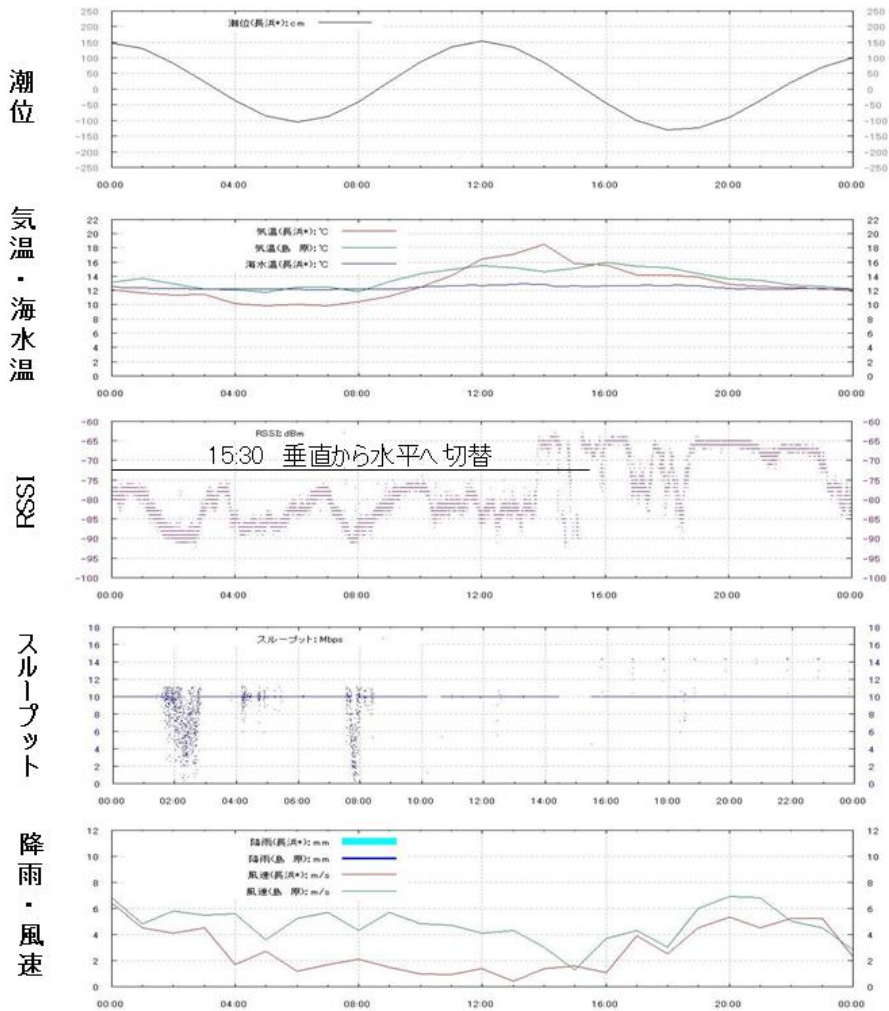


図補-31 5.0G/垂直偏波

- ・午前7時~12時頃に、スループット、RSSI 共に低下しており、潮位の影響を受けやすい事が推測される。
- ・午前0時付近潮位の影響が出ていないが、強風が発生しており海面に多くの波が発生し、反射波がランダムに散乱した結果、フェージングが抑えられたものと推測される。

測定日:2月15日(日)
5G/水平偏波

2009年3月5日



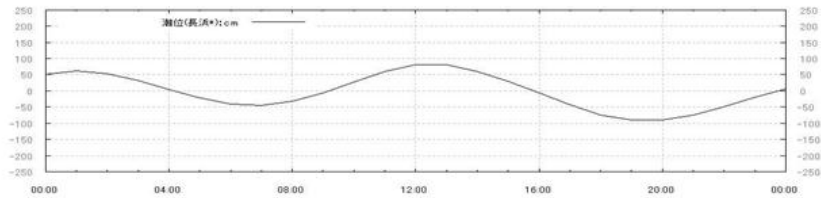
図補-32 5.0G/水平偏波

- ・潮位変動と連動して、スループット、RSSI 共に低下しており影響を受けやすい事が推測される。
- ・垂直から水平へ切替え後、RSSI が急に上昇している結果から、垂直と水平の性質の差が見られる。午前 10 時以降、気温が海水温より高くなっているが、垂直偏波より水平偏波の RSSI が強くなっている。海面の反射係数やダクトの影響について今後の長期観測と詳細の検討が必要である。
- ・スループットはほぼ一定を保っている

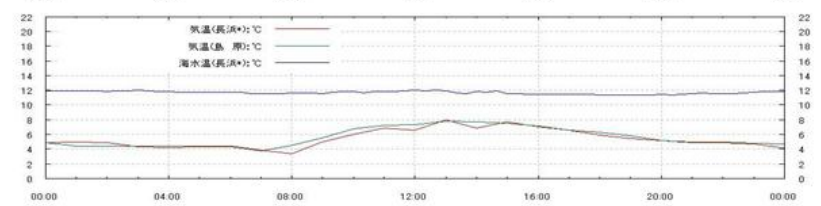
測定日:2月17日(火)
5G/水平偏波

2009年3月5日

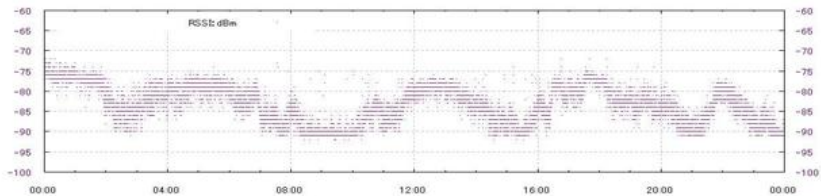
潮位



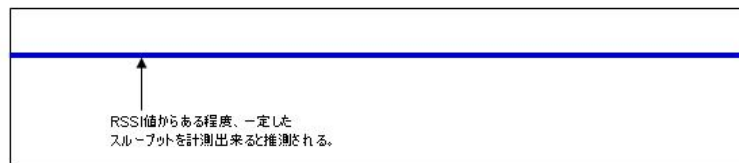
気温・海水温



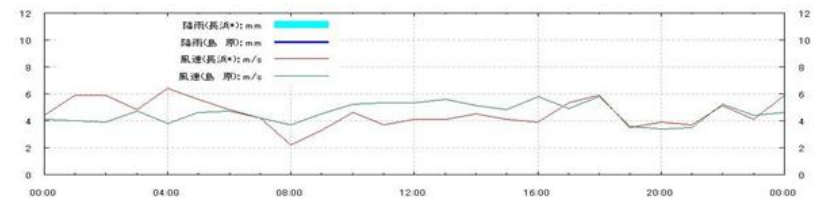
RSSI



スループット



降雨・風速



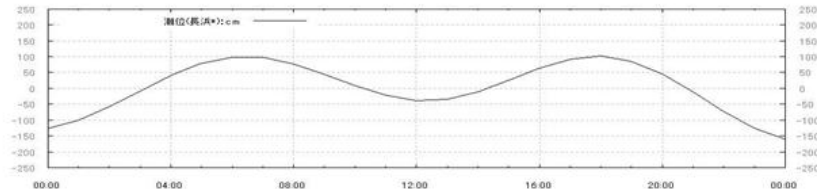
図補-33 5.0G/水平偏波

- ・ RSSI 値からある程度、一定したスループットを測定できたと推測される。
- ・ 潮位変動と連動して、RSSI が低下しており影響を受けやすい事が推測される。
- ・ 垂直偏波に比べ、若干 RSSI の振れ幅(ファストフェージング)が大きくなる。これは、水平偏波の場合垂直に比べ、海面の反射係数が大きいため反射波が直接波の強さに近くなるためと考えられる。
- ・ 一日を通して気温が海面より低いが、2月15日と比べて全体的に RSSI が低い。

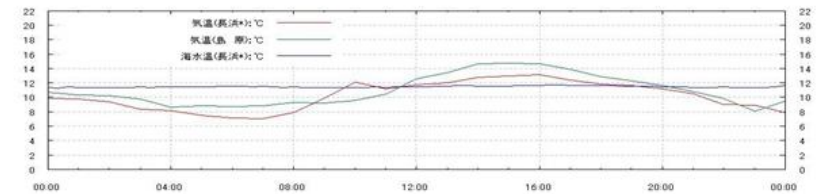
測定日:2月6日(金)
5G/円偏波

2009年3月5日

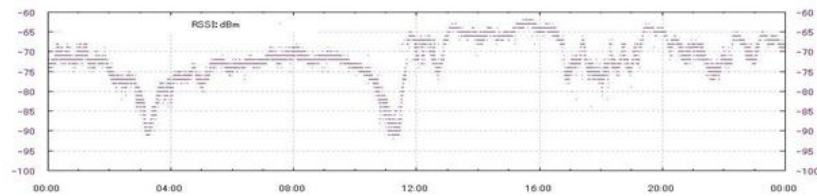
潮位



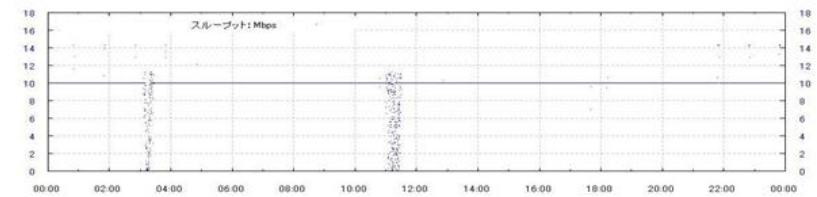
気温・海水温



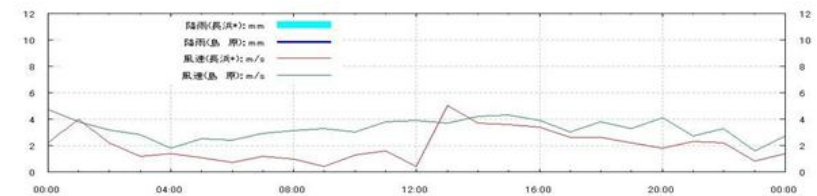
RSSI



スループット



降雨・風速



図補-34 5.0G/円偏波

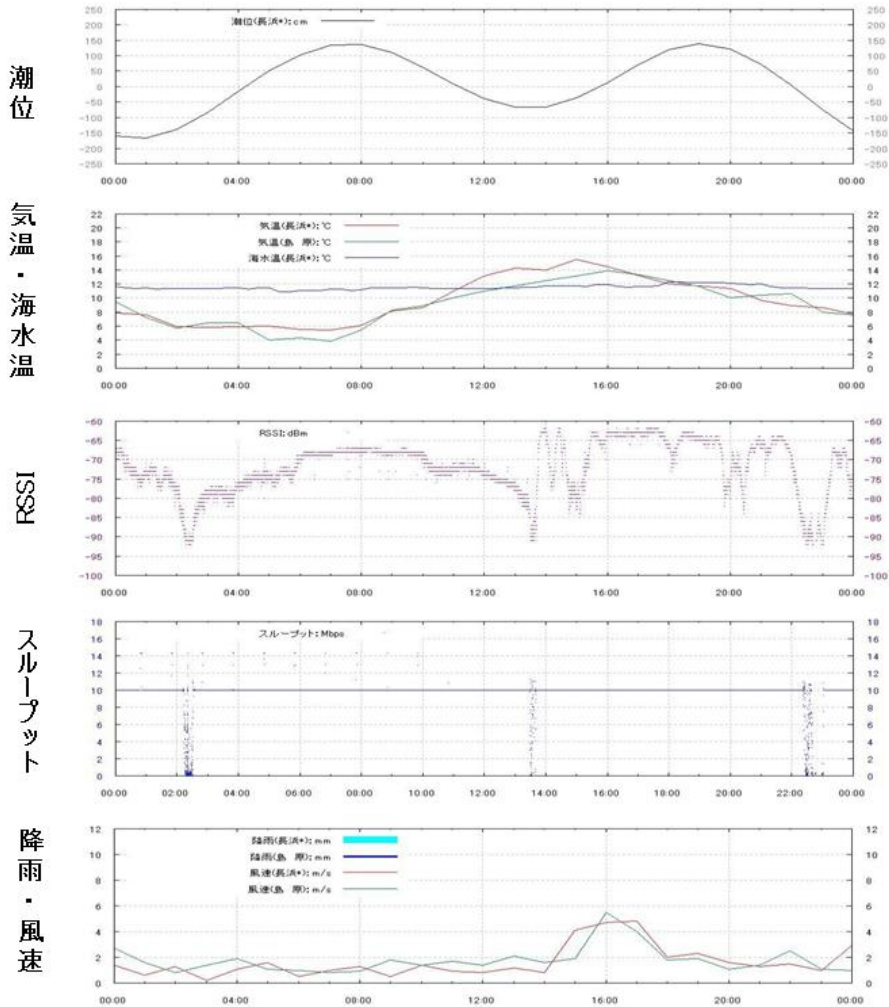
- ・12時以前においては、潮位が上昇時には特に垂直偏波の減衰が見られたが、円偏波では余り減衰していない。これは減衰の小さい水平偏波のため RSSI レベルが保てたためであると思われる。
- ・12時以前の気温の低い時間帯は水平偏波の RSSI は概して低いが、潮位の影響がない限りは垂直偏波の影響である程度強い RSSI が保たれる。
- ・12時以降は海面より気温が高くなり、水平偏波の影響で強い RSSI レベルが見られる。
- ・潮位の影響は、円偏波使用で軽減される傾向がある。
- ・潮位と気温次第では、水平、垂直共に減衰する時間帯がある。これは、スペースダイ

パーシティとの併用で解決できると考えられる。

- ・以上の結果、円偏波の直線偏波(垂直、水平)に対する優位性が見られる。
- ・水平偏波の温度との関係は、今後の長期観測と詳細検討が必要。
- ・気温が海水温より高くなる時間帯前後で、RSSIの様子が変わっているのは、水平偏波で見られた現象と関係があると思われる。

測定日:2月7日(土)
5G/円偏波

2009年3月6日



図補-35 5.0G/円偏波

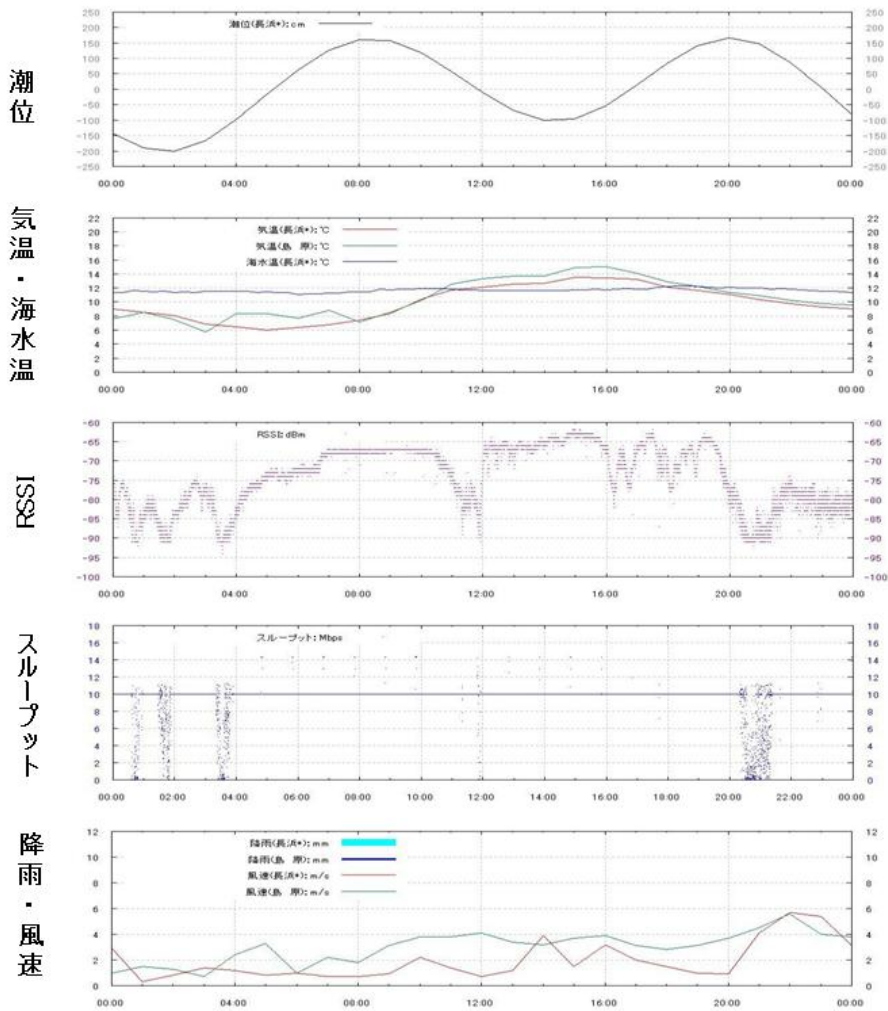
- ・ 12 時以前においては、潮位が上昇時には特に垂直偏波の減衰が見られたが、円偏波では余り減衰しない。これは減衰の小さい水平偏波のため RSSI レベルが保てたためであると思われる。
- ・ 12 時以前の気温の低い時間帯は水平偏波の RSSI は概して低いですが、潮位の影響がない限りは垂直偏波の影響である程度強い RSSI が保たれる。
- ・ 12 時以降は海面より気温が高くなり、水平偏波の影響で強い RSSI レベルが見られる。
- ・ 潮位の影響は、円偏波使用で軽減される傾向がある。
- ・ 潮位と気温次第では、水平、垂直共に減衰する時間帯がある。これは、スペースダイ

パーシティとの併用で解決できると考えられる。

- ・以上の結果、円偏波の直線偏波(垂直、水平)に対する優位性が見られる。
- ・水平偏波の温度との関係は、今後の長期観測と詳細検討が必要。
- ・気温が海水温より高くなる時間帯前後で、RSSIの様子が変わっているのは、水平偏波で見られた現象と関係があると思われる。

測定日:2月8日(日)
5G/円偏波

2009年3月5日



図補-36 5.0G/円偏波

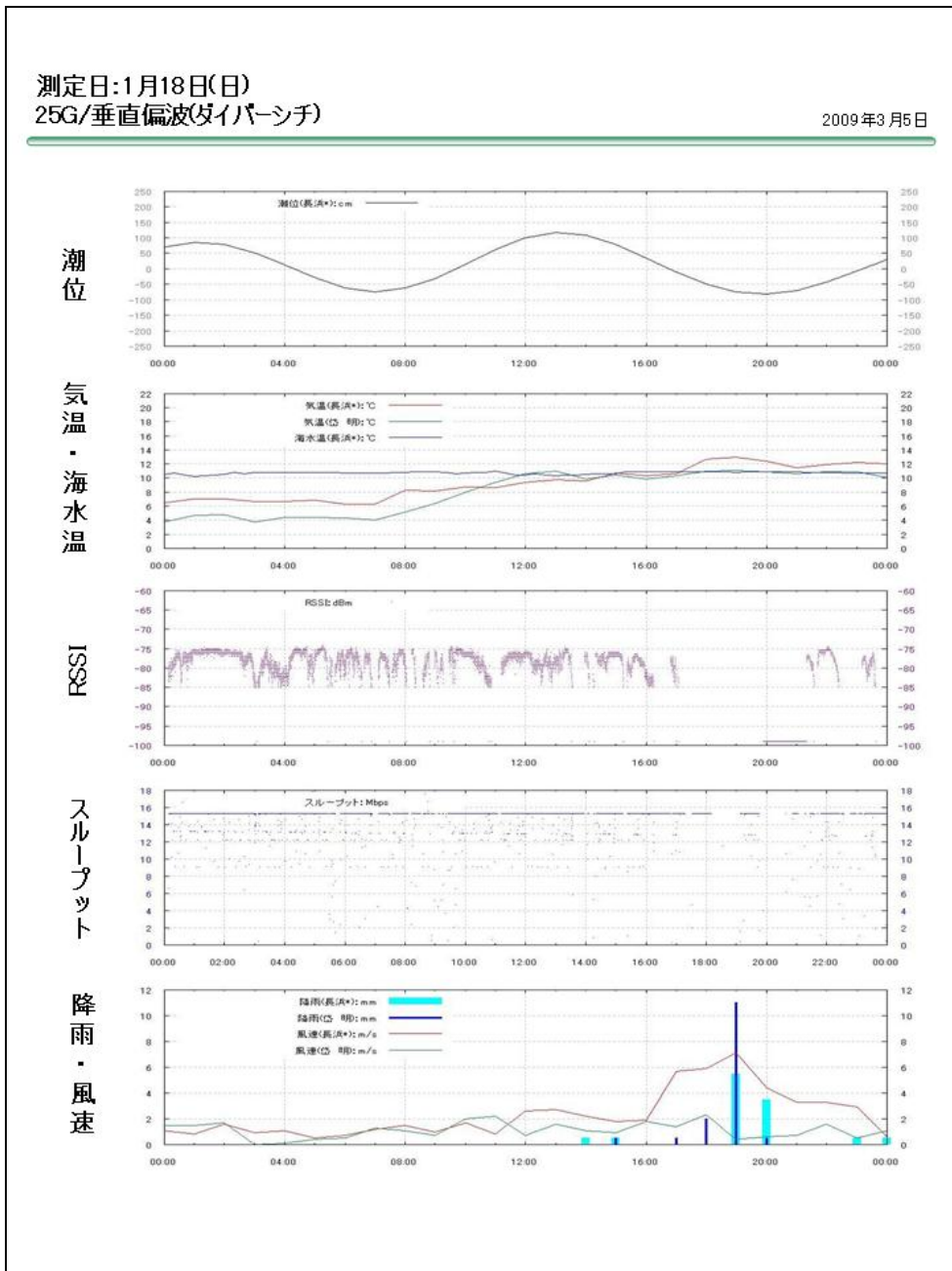
- ・12時以前においては、潮位が上昇時には特に垂直偏波の減衰が見られたが、円偏波では余り減衰しない。これは影響の少ない水平偏波のため RSSI レベルが保てたためであると思われる。
- ・12時以前の気温の低い時間帯は水平偏波の RSSI は概して低いですが、潮位の影響がない限りは垂直偏波の影響である程度強い RSSI が保たれる。
- ・12時以降は海面より気温が高くなり、水平偏波の影響で強い RSSI レベルが見られる。
- ・潮位の影響は、円偏波使用で軽減される傾向がある。
- ・潮位を気温次第では、水平、垂直共に減衰する時間帯がある。これは、スペースダイ

パーシティとの併用で解決できると考えられる。

- ・以上の結果、円偏波の直線偏波(垂直、水平)に対する優位性が見られる。
- ・水平偏波の温度との関係は、今後の長期観測と詳細検討が必要。
- ・気温が海水温より高くなる時間帯前後で、RSSIの様子が変わっているのは、水平偏波で見られた現象と関係があると思われる。

測定日:1月18日(日)
25G/垂直偏波(ダイバーシティ)

2009年3月5日

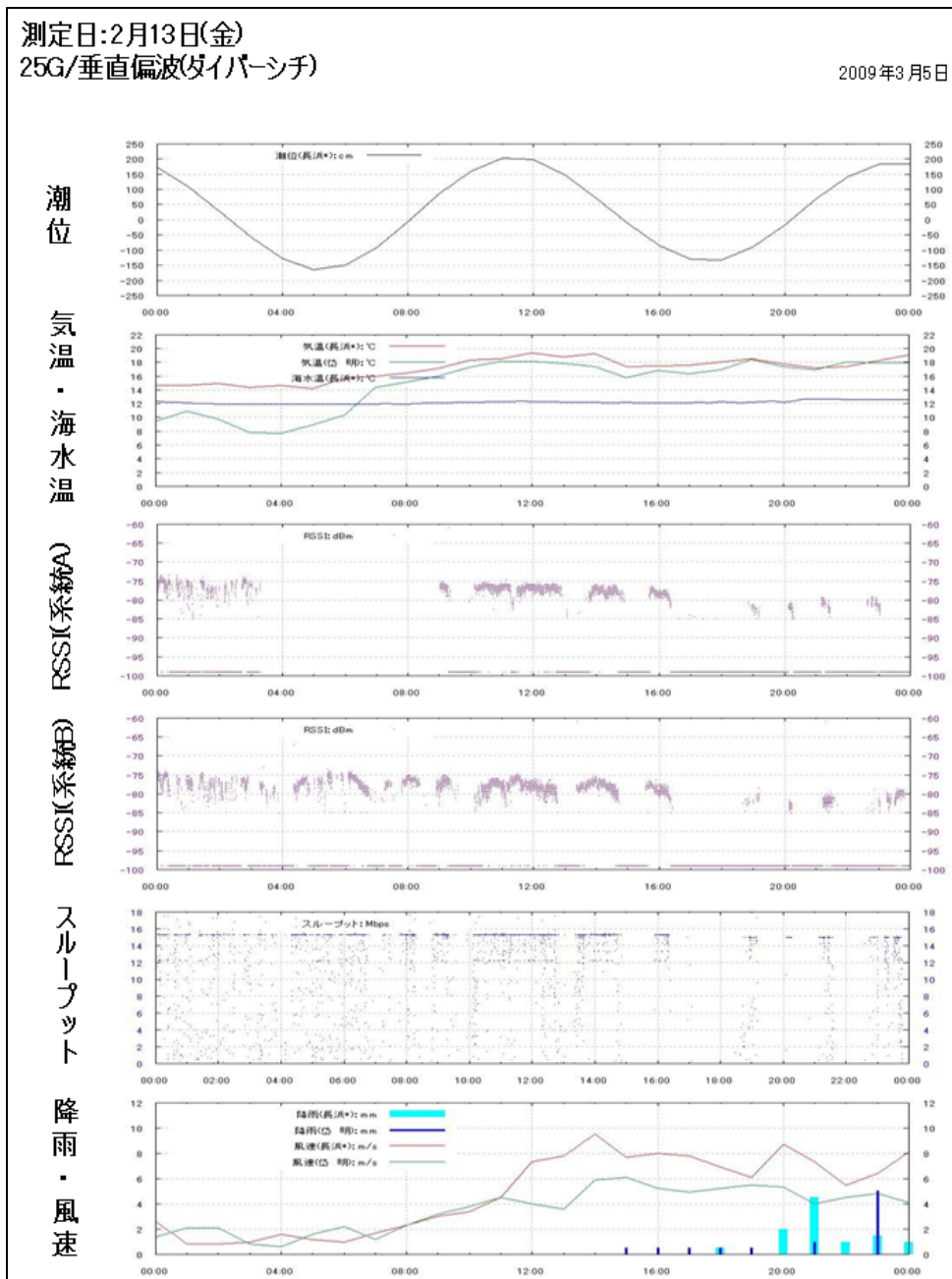


図補-37 25G/垂直偏波(ダイバーシティ)

- ・午後5時から午後9時にかけて降雨があり、RSSI、スループット共に停止していることから、降雨による影響を受けやすい事がわかる。
- ・肥後長浜局のスペースダイバーシティの2点間の距離が、機器設置上の制約で設計値と異なった事から、本来の回線設計の数値が出ていない。
- ・10km 伝送で 15Mbps のスループットを実現している。

測定日:2月13日(金)
25G/垂直偏波(ダイバーシティ)

2009年3月5日

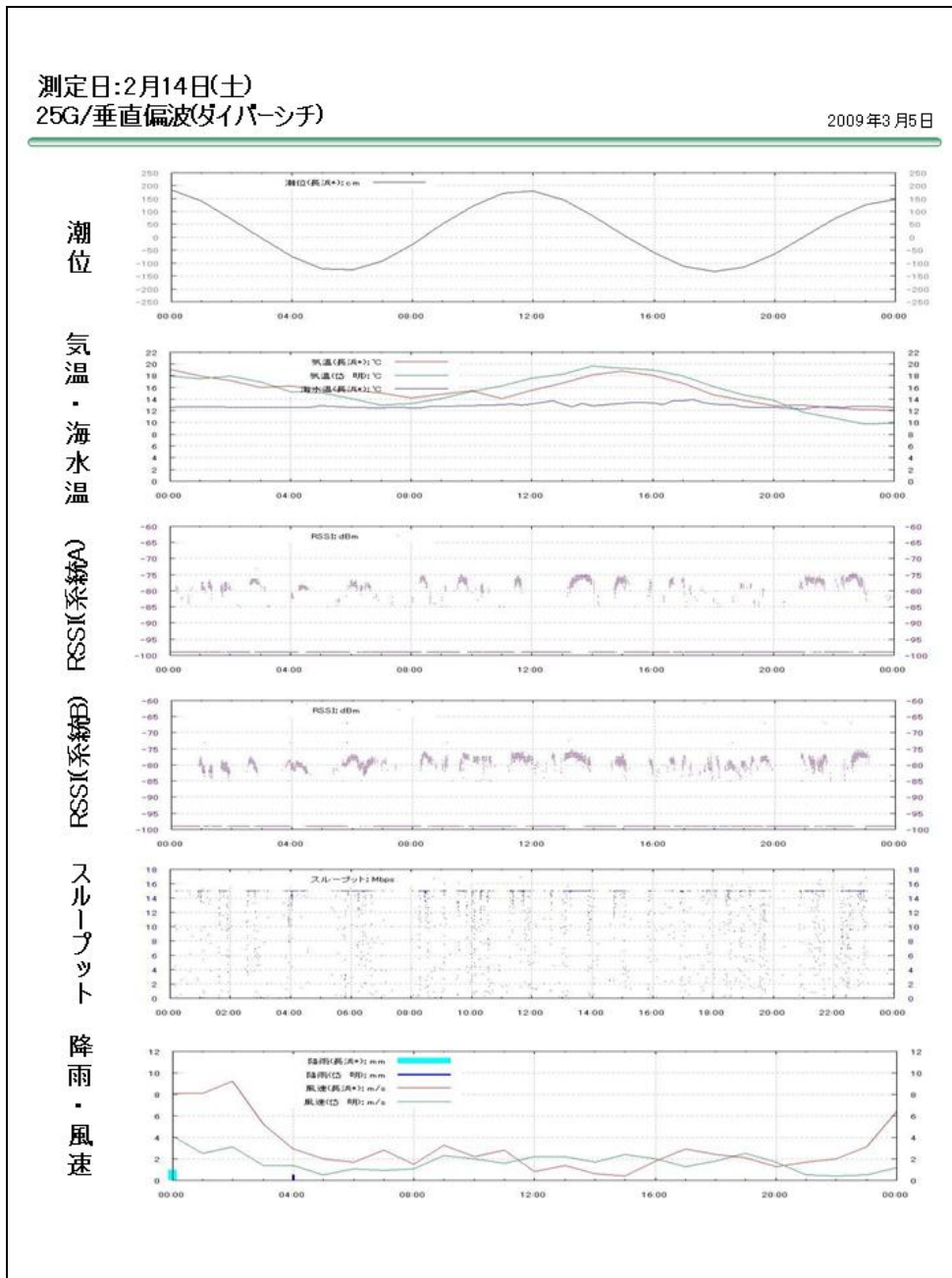


図補-38 25G/垂直偏波(ダイバーシティ)

- ・午前3時から9時の時間帯においては、系統Aと系統Bに対し、Bのみ伝送している。この周波数帯でのハイトパターンの変化の原因について、検討が必要と思われる。
- ・昼の時間帯に入り風が強くなってくると、RSSIの増減の周期が長くなってきている。風の影響で海面にたつ小さな波により、海面からの反射がランダムであるため、反射波の影響が小さくなったと考えられる。
- ・降雨があると、RSSIが全く得られないか、得られても弱くなる傾向があることが分かる

測定日:2月14日(土)
25G/垂直偏波(ダイバーシティ)

2009年3月5日



図補-39 25G/垂直偏波(ダイバーシティ)

- ・ 設計と異なる SD 設置であったため回線断が頻発している。
→ 本来の回線設計どおりのアンテナ位置で設置されていれば、測定結果から回線断の時間は減らせた推測できる。
- ・ 10km 伝送で 15Mbps のスループットを実現している。

〈資料〉

資料 1

離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための 調査検討会開催趣旨

政府は「IT 新改革戦略」(06 年 1 月、IT 戦略本部決定)の政策目標を推進するため、本年度「IT 政策ロードマップ」及び「重点計画-2008」を決定した。IT 基盤整備は、重点計画の大きな柱とされ、国民の誰もが「いつでも、どこでも」ブロードバンド環境を利用可能とするために、2010 年度までにブロードバンド・ゼロ地域を解消することが示されている。総務省においても、「次世代ブロードバンド戦略 2010」(2006 年 8 月)の目標具体化のため、本年 6 月の「デジタルディバイド解消戦略会議」報告書に基づき、ブロードバンド整備の推進を加速させることとしている。

一方、2008 年 3 月末におけるブロードバンド世帯カバー率は、全国で 98.3%、九州で 96.2%を達成したが、全国と九州地域では依然として 2.1 ポイントの格差が存在している。これをブロードバンドが利用できない世帯に換算すると、全国 88 万世帯に対し九州地域が 21 万世帯と全国の約 4 分の 1 を占めることになる。更に九州地域では、ブロードバンド・ゼロ世帯の 3 分の 1 弱の約 6 万世帯が海底ケーブル等の構築困難な離島地域に存在している。

このため、2010 年ブロードバンド・ゼロ地域解消の取り組みを推進するには、比較的安価で回線構築の柔軟性等の特徴を持つ無線アクセスシステムによる離島等へのブロードバンドネットワーク環境の構築が有効な手段となる。

このような背景から、本検討会では、離島等までの中・長距離の海上電波伝搬路において、海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のために、周波数帯の異なる様々な無線アクセスシステムの電波伝搬特性の把握、電波伝搬技術について調査検討を行い、もって周波数の有効利用に資するとともにブロードバンド整備促進を目的とするものである。

**離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した
無線アクセスシステム構築のための調査検討会
開催要綱**

(名 称)

第1条 この調査検討会は「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会」（以下「調査検討会」という。）と称する。

(目 的)

第2条 本調査検討会は、中・長距離に位置する離島等におけるブロードバンド・ゼロ地域解消のため、普及が期待されている各種無線アクセスシステムの中から、中・長距離海上電波伝搬に適した無線技術による中継系（アクセス）回線に必要な技術要件や高速通信の実用性等の調査・検討結果をとりまとめ、もって周波数の有効利用に資するとともにブロードバンド整備促進を目的とする。

(調査検討事項)

第3条 調査検討会は、前条の目的を達成するために、次の事項について調査検討を行う。

- (1) 各種無線アクセスシステムの特徴、電波伝搬特性の把握
- (2) 同季節・同一距離の海上における電波伝搬試験
- (3) 中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステムの技術的要件等の検討
- (4) その他必要な事項

(構 成)

第4条 調査検討会は、九州総合通信局長の委嘱を受けた別紙に掲げる構成員をもって構成する。

(組 織)

第5条 調査検討会には座長及び座長代理を置く。

- 2 座長及び座長代理は構成員の互選により選出する。
- 3 座長は、調査検討会の審議を促進するため作業部会を開催することができる。
- 4 調査検討会の事務局は、九州総合通信局企画調整課に置き、運営は、九州総合通信

局が調査検討会の運営を委託する者がこれを支援する。

(運 営)

第6条 調査検討会は座長が召集し、主宰する。なお、座長が不在の時は、座長代理がこれを代行する。

2 調査検討会を召集するときは、構成員に対しあらかじめ日時、場所及び議題を通知する。

3 その他、運営に関する事項は調査検討会において定める。

(報 告)

第7条 座長は、調査検討会の調査検討が終了したときは、その結果を九州総合通信局長に報告する。

(開催期間)

第8条 調査検討会は、平成20年10月28日から平成21年3月末までを目途に開催する。

(会議の公開)

第9条 調査検討会は、原則として公開とする。ただし、当事者又は第三者の権利、利益や公共の利益を害する恐れがある場合等、座長が必要と認める場合は、その全部又は一部を非公開とすることができる。

附 則

この要綱は平成20年10月28日から施行する。

離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した
無線アクセスシステム構築のための調査検討会 構成員

(五十音順、敬称略)

あだち くにのり
足立 國功 非営利活動法人NEXT熊本 理事長

いけどう かずひさ
池堂 和久 鹿児島県企画部情報政策課 課長

かんざき おさむ
神崎 治 長崎県総務部情報政策課 課長

はしもと ひろし
橋本 博 西日本電信電話(株)九州事業本部
九州ブロードバンド推進室 室長

はせがわ みのる
長谷川 實 社団法人九州経済連合会 経済産業本部 調査役

ふくさこ たけし
福迫 武 国立大学法人熊本大学大学院 自然科学研究科
情報電気電子工学専攻 准教授

ほあし たかふみ
帆足 孝文 崇城大学大学院 工学研究科 教授

まつなが まさお
松永 正男 熊本県 地域振興部 情報企画課 課長

**離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム
構築のための調査検討会
作業部会開催要綱**

(目的)

第1条 離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会作業部会（以下「作業部会」と称する。）は、「離島等の中・長距離電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会（以下「調査検討会」と称する。）」において、座長より別途検討を行うことが適当とされた作業事項を調査検討することとする。

(作業事項)

第2条 作業事項は、座長が検討を行うことが適当とした事項とする。

(構成)

第3条 作業部会長は調査検討会の座長が指名する。

(運営)

第4条 作業部会は部会長が招集し主宰する。

2 作業部会の運営に関して必要な事項は、部会長が作業部会に諮って定める。

(事務局)

第5条 作業部会の事務局は九州総合通信局企画調整課が行い、運営は、九州総合通信局が調査検討会の運営を委託する者がこれを支援する。

(開催期間)

第6条 作業部会の開催期間は調査検討会の開催期間内とする。

離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム
構築のための調査検討会 作業部会構成員

(五十音順、敬称略)

| | | |
|-------------|------------|---|
| いわした 岩下 | ともはる 智治 | 株式会社三技協 ICTシステム営業本部 担当部長 |
| にしむら 西村 | まさひで 正秀 | 日本無線株式会社九州支社 システム営業課 主任 |
| はせがわ 長谷川 | みのる 實 | 社団法人九州経済連合会 経済産業本部 調査役 |
| ふくさこ 福迫 | たけし 武 | 国立大学法人熊本大学大学院 自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 准教授 |
| ほあし 帆足 | たかふみ 孝文 | 崇城大学大学院 工学研究科 教授 |
| まつおか 松岡 | くにお 邦夫 | 日本無線株式会社九州支社 副支社長 |
| まつおか 松岡 | とおる 徹 | 日本電業工作株式会社 取締役 アンテナ事業部 電子回路部長 |
| まの 真野 | ひろし 浩 | ルート株式会社 代表取締役 |

会議経過

- 第 1 回調査検討会 平成 20 年 10 月 28 日 (火)
 場所 九州総合通信局 会議室
 議事 (1) 調査検討会の進め方について
 (2) 調査内容の検討
 (3) その他
- 第 1 回作業部会 平成 20 年 12 月 24 日 (水)
 場所 九州総合通信局 会議室
 議事 (1) 作業部会の目的・進め方について
 (2) 各無線アクセスシステムについて
 (3) アンテナ偏波について
 (4) 無線アクセスシステム海上電波伝搬回線設計について
 (5) 電波伝搬試験計画について
 (6) 公開電波伝搬試験の実施について
- 第 2 回調査検討会 平成 20 年 12 月 25 日 (火)
 場所 九州総合通信局 会議室
 議事 (1) 第 1 回調査検討会の議事要旨の確認について
 (2) 作業部会構成員について
 (3) 各無線アクセスシステムの概要について
 (4) 電波伝搬試験計画について
 (5) 公開電波伝搬試験の実施について
 (6) その他
- 第 3 回調査検討会・第 2 回作業部会合同会議 平成 21 年 1 月 28 日 (水)
 場所 九州総合通信局 会議室
 議事 (1) 第 2 回調査検討会議事概要
 (2) 電波伝搬試験概要報告
 (3) 調査検討会報告書のまとめ方について
 (4) 公開電波伝搬試験の実施について
 (5) その他
- 第 3 回作業部会 平成 21 年 3 月 5 日 (木)
 場所 九州総合通信局 会議室
 議事 (1) 作業部会報告書について

第4回調査検討会
場所
議事

(2)調査検討会報告書作成について・作業依頼
(3)その他

平成21年3月17日(火)
九州総合通信局 会議室

(1)第3回調査検討会・第2回作業部会合同会議の議事要旨の確認について
(2)調査検討会報告書について
(3)その他

公開電波伝搬試験概要報告

1. 公開試験一日目

(1) 開催日時

平成 21 年 1 月 28 日(水) 15:00~17:00

(2) 会場

九州総合通信局 5F 会議室(熊本市二の丸 1-4 熊本合同庁舎 2 号館)

(3) 公開電波伝搬試験概要

①調査検討・電波伝搬試験概要説明

②離島等の条件不利地域に適したアプリケーションの紹介

・「告知放送・緊急通報システム」

NTT アドバンステクノロジー株式会社 九州支店

・「UD 対応障害者在宅就労支援システム」

熊本ソフトウェア株式会社

・「災害時孤立防止対策通信システム」

日本無線株式会社 九州支社

(4) 参加者数

約 80 名

2. 公開試験 2 日目

(1) 開催日時

平成 21 年 1 月 29 日(木) 9:00~11:50

(2) 会場

電波伝搬試験無線中継所(熊本県宇土市長浜町)

(3) 公開電波伝搬試験概要

①無線システム機器・アンテナ確認、伝送品質確認

②アプリケーション実演

・「告知放送・緊急通報システム」

NTT アドバンステクノロジー株式会社 九州支店

・「UD 対応障害者在宅就労支援システム」

熊本ソフトウェア株式会社

(4) 参加者数

40 名

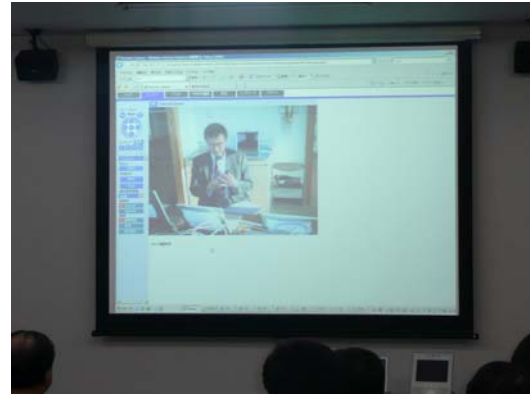
3. 報道発表資料

参考資料を参照。

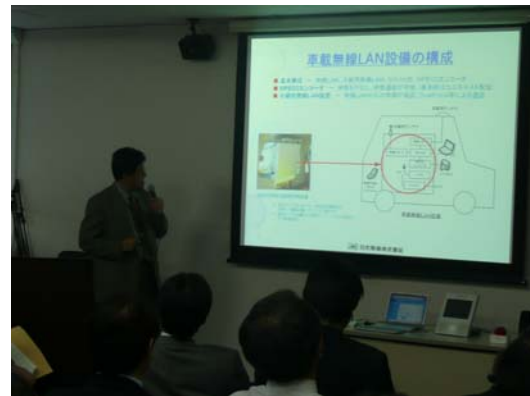
4. 公開試験実施状況

(1) 一日目:平成 21 年 1 月 28 日(水)

「告知放送・緊急通報システム」プレゼンテーションの様子及び電波伝搬試験用無線システム 20km 伝送による遠隔生中継デモの様子。



「UD 対応障害者在宅就労支援システム」プレゼンテーションの様子



「災害時孤立防止対策通信システム」プレゼンテーションの様子。

(2) 2 日目:平成 21 年 1 月 29 日(木)

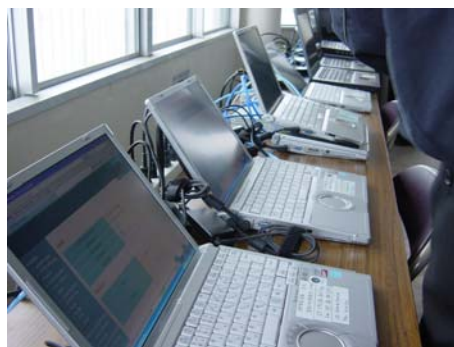
公開試験場所「肥後長浜」



「肥後長浜」遠景



電波伝搬試験使用「無線システム機器」アンテナの説明及びデータ測定用機器の説明



「緊急告知システム」機器



緊急告知システムのデモ実演(肥後長浜)～(浄化センター)



UD 対応障害在宅者就労支援システムデモ実演



報道発表資料

～離島等のワイヤレス・ブロードバンド整備促進に向けて～

九州総合通信局〔局長：武井 俊幸(たけい としゆき)〕は、周波数の有効利用に資するとともにブロードバンド整備を促進するため「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会」(座長：崇城大学 帆足孝文教授)を開催し、海上電波伝搬に適した無線アクセスシステムによるブロードバンド整備の在り方等について検討しています。

本調査検討会では、現在、熊本県熊本市、宇土市及び長崎県島原市間の島原湾(有明海)海上を複数の無線アクセスシステムによるブロードバンド回線を構築し、電波伝搬試験を実施しており、今般、この電波伝搬試験などについて、一般の方をはじめ自治体関係者、報道関係者の方々に公開いたしますので、お知らせします

1. 開催日時 平成 21 年 1 月 28 日(水)～29 日(木)

・ 1 月 28 日(水) 15:00～17:00

・ 1 月 29 日(木) 9:00～11:50

2. 会場

28 日：九州総合通信局 5F 会議室(熊本市二の丸 1-4 熊本合同庁舎 2 号館)

29 日：電波伝搬試験無線中継所(熊本県宇土市長浜町) ※送迎バス有り(無料)

3. 公開電波伝搬試験概要

調査検討・電波伝搬試験概要説明

離島等の条件不利地域に適したアプリケーションの紹介

電波伝搬試験メイン中継所見学

(1) 無線システム機器・アンテナ確認、伝送品質確認

(2) アプリケーション実演

4. 定員

40 名(参加費無料)

5. 申込方法

申込書により、FAX 又は電子メールにてお申し込みください。

※ 電子メールの場合はメール本文中に氏名・所属・連絡先を記載しお送り下さい。

報道関係者の方には、撮影場所及び座席の確保等準備のため、事前にご連絡をお願いいたします

【引用】

総務省九州総合通信局無線通信部企画調整課

報道資料 平成 20 年度 無線アクセスシステムによる中・長距離海上電波伝搬試験を公開～離島等のワイヤレス・ブロードバンド整備促進に向けて～

<http://www.soumu.go.jp/soutsu/kyushu/press/090123-1-1.html>

調査検討会にご協力いただいた関係者一覧

【電波伝搬試験及び公開電波伝搬試験への協力団体・企業等】

熊本市 都市整備局 下水道部 下水道維持課 西部浄化センター
網田町漁業共同組合
日本電業工作株式会社
西日本電信電話株式会社 島原白土局
日本無線株式会社 通信機器事業本部
日本無線株式会社 九州支社
株式会社ケーブルテレビジョン島原
島原市 総合政策課
ルート株式会社

【公開電波伝搬試験への協力団体・企業等】

社団法人 九州経済連合会
NTT アドバンステクノロジー株式会社
熊本ソフトウェア株式会社

(敬称略、順不同)

〈別冊〉

中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステムを活用した ブロードバンド整備のために

本書は、離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討会(座長 帆足孝文)の報告書をもとに作成したものである。

離島においては、慢性的な人口減や他の地域よりも高い高齢化率など、早急に対処すべき問題を抱えている。しかしながら、こうした離島であるがゆえに、ブロードバンドの整備を行うことで、離島地域の有する地理的制約を克服できる可能性をもっている。具体的には、遠隔医療や遠隔教育の面で離島にいながらにして本土等のより高度な医療や教育を受けられる環境が整えられること、更に、産業面では、離島で開発した特産品を都市の住民にインターネットを利用して販売、離島の観光その他の情報をインターネットにより発信する等の方法で産業の振興につなげられること等、ブロードバンドを活用できることは、離島の発展にとって極めて大きな要素となる。

まさに離島におけるブロードバンド整備のためには、本土離島間、離島離島間でのブロードバンド中継系回線の整備が不可欠であり、無線アクセスシステムを活用した中継系回線の構築のために参考にできるものと期待している。(表別-1 参照)

これまでのことから、10km程度の海上電波伝搬における各無線アクセスシステムの技術的要件については特段問題点がないことから、10km以上20km程度における中・長距離海上電波伝搬の技術要件については、次のとおりである。

- (1) 周波数帯については、2.4GHz帯、5.0GHz帯の無線アクセスシステムの使用が望ましい。特に5.0GHz帯についてダクトの影響が少なく、2.4GHz帯は潮位の影響が少ない。
- (2) (1)の周波数帯の無線アクセスシステムは、電波法上の免許不要局、登録局であり、近傍の既設局からの電波発射(他者の運用)等の電波干渉について事前に検討することが必要である。
- (3) 各周波数帯においても送受信アンテナの偏波面は円偏波の使用が望ましい。
(理由:偏波ダイバーシティ効果により2.4GHz帯のダクトの影響を軽減でき、5.0GHz帯では潮位の影響を軽減できる結果となった。)
- (4) (3)の円偏波の利用に加えてスペースダイバーシティ(SD)の利用が望ましい。
(理由:潮位の影響が軽減できる。)
- (5) 海面からのアンテナの高さについてはできるだけ高いことが望ましい。
- (6) その他
無線機器、アンテナ等については塩害を考慮。また無線機の外気温による影響も考慮することが必要。

表別-1 無線アクセスシステムの種類

| システム名 | 周波数帯 | 最大伝送速度 | 伝送距離 | 規格等 | 変調方式等 | 無線局免許 | 無線従事者 | ※ |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------|--------|-------------------|--------------------------|---------|-------|-------------|
| 2.4GHz 帯無線 LAN | 2.4GHz 帯 | 54Mbps | 数百m | IEEE802.11/b/g | DS OFDM | 不要 | 不要 | ○ |
| WiMAX | 2.5GHz 帯 | 下り:20.47Mbps 上り:11.52Mbps | 数 km | IEEE 802.16e-2004 | OFDMA | 必要 | 必要 | 全国事業者 |
| モバイル WiMAX | | | | | | | | ○ |
| 地域 WiMAX | | | | | | | | |
| 次世代 PHS | 2.5GHz 帯 | 下り:22.47Mbps 上り:16.05Mbps | 数 km | | OFDMA | 必要 | 必要 | 全国事業者 |
| 5.0GHz 帯無線アクセスシステム | 5.0GHz 帯 | 54Mbps | 数 km | IEEE802.11j | DS OFDM シングルキャリア方式 | 必要(登録局) | 必要 | ○ |
| 5.2GHz 帯無線 LAN (屋内利用専用) | 5.2GHz 帯 | 54Mbps | 100m程度 | IEEE802.11a | OFDM | 不要 | 不要 | 屋外利用不可 |
| 5.5GHz 帯無線 LAN (屋内外利用) | 5.5GHz | 54Mbps | 100m程度 | IEEE802.11a | OFDM | 不要 | 不要 | 衛星との干渉で利用不可 |
| 18GHz 帯無線アクセスシステム | 18GHz | 156Mbps | 4 km程度 | | FDD TDD | 必要 | 必要 | △ |
| 加入者系無線アクセスシステム | 22GHz 26GHz 38GHz | 156Mbps | 4 km程度 | | FDD TDD | 必要 | 不要 | 全国事業者 |
| 広帯域移動アクセスシステム | 25GHz | 100Mbps | 1 km程度 | ARIB STD-83 | OFDM | 不要 | 不要 | ○ |
| 超高速無線 LAN システム | 60GHz | 1250Mbps | 数百m | ARIB STD-74 | 規定なし | 不要 | 不要 | 短距離のため利用不可 |

DS:直接拡散方式 OFDM:直交周波数分割多重方式 OFDMA:直交周波数分割多元接続方式 FDD:周波数分割複信方式 TDD:時分割複信方式

※価格の評価基準=2.4GHz 帯無線 LAN システムが最安値として、同等のものを○、若干高いものを△とする。

1 各中継系無線アクセスシステムの特徴

1.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステムの特徴

- a. 免許不要で、あらゆる用途に使用可能。
 - ・屋内/屋外、移動/固定、陸/海/空。
 - ・データ、音声、画像伝送 ただしデジタル化されたデータに限る。
- b. 無線 LAN の中では一番波長が長い。
 - ・長距離通信に有利。
 - ・障害物の陰にも電波が回り込みやすい。
- c. 伝送速度やチャンネル周波数の自由度が大きい。
 - ・伝送速度は、低速から高速まで自由。
 - ・周波数範囲内であればチャンネル周波数は自由。
- d. 二つの周波数帯
 - ・ARIB STD-T66(2400~2483.5MHz)が主力。
 - ・RCR STD-T33(2471~2497MHz)は縮小方向。
- e. ISM バンド周波数共有帯のため、干渉源が多い。

1.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステムの特徴

- a. 送信電力が無線 LAN と比較して大きいため固定利用の場合エリアが広い。
- b. 免許局であり、事前に干渉検討も必要なので、干渉の可能性は低い。
 - ・無線従事者資格を有する資格者が必要。
 - ・申請等手数料、電波利用料が必要。
 - ・移動局も免許が必要。ただし包括免許制度あり。
- c. OFDM の採用により干渉に強い。
- d. MIMO の利用により伝送容量の高速化が図れる。
- e. 周波数バンドは 2575MHz から 2595MHz までの周波数のうちの 10MHz 幅。使用帯域は 10MHz と 5MHz の 2 種類がある。
- f. 周波数共用システムが無く、干渉による通信障害の危険性が小さい。
- g. 固定系地域 WiMAX の用途は次のとおりである。
 - ・3つのモデルが想定されている。
 - ・モデル 1 は移動体が想定されており、基地局の電力、アンテナ利得は 20W 以下、17dBi 以下となっている。移動局は 200mW、2dBi 以下となっている。
 - ・モデル 2 は固定利用が想定されているが、使用できる場所が過疎地、離島などデジタルディバイド地域に限定される。基地局の条件は同じだが、移動局は 200mW 以下、20dBi 以下となっている。20~23dBi の場合は送信電力が 100mW、23~25dBi の場合は 63mW となっている。
 - ・モデル 3 は中継利用が想定されている。モデル 2 と同様に使用場所が限定される。基地局は 17~20dBi の場合送信電力が 10W 以下、20~23dBi の場合 5W 以下、23~25dBi の場合 3.2W 以下となっている。移動局は 23dBi 以下の場合 200mW、23~25dBi

の場合 126mW 以下となっている。

- ・目的がデジタルディバイド解消や地域の公共サービスの向上など、公共福祉の増進に寄与することに限られる。
- ・無線 LAN と比較すると送信電力が高いため、離島などデジタルディバイド地域における長距離伝送には有利である。またそのような中継モデルも想定されている。

1.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステムの特徴

- 登録制(無線局免許制ではない)
 - ・無線従事者資格を有する資格者が必要。
 - ・登録申請手数料、電波利用料が必要。
 - ・特定小電力無線局(10mW/MHz 以下)の移動局は登録不要。電波利用料も不要。
- 多くの用途に使用可能。
 - ・屋内/屋外、移動/固定 ただし、基地局、移動中継局は固定のみ。
 - ・データ、音声、画像伝送 ただし、デジタル化されたデータに限る。
- 周波数共用システムが無く、干渉による通信障害の危険性が小さい。
- 基地局(親)、移動中継局、移動局(子局)の区別がある。
 - ・基地局(親)、移動中継局(移動局のために中継動作をする局)は固定局。
 - ・移動局だけのシステムは構築不可(必ず基地局が要)。
- 4.8GHz 帯で通信事業者の無線局が運用されており、規制強化地域がある。
 - ・特定の地域では不要発射強度規格の厳しい装置を使用しなければならない。
 - ・許容値 $0.2\mu\text{W}$ 以下の低スプリアス無線設備 → 全国どこでも設置可。
 - ・許容値 $2\mu\text{W}$ 以下の高スプリアス無線設備 → あらかじめ定められた特定の地域のみ設置可。

1.4 25GHz 帯無線アクセスシステムの特徴

- 無線免許不要の高速無線伝送装置
 - ・準ミリ波帯小電力データ通信システム用無線機であり、無線局免許・無線従事者資格がなくても運用でき無線ネットワークが手軽に構築可能。
- 周波数共有であるが、多チャンネル(23 チャンネル)であるため干渉が少ない。
- スペースダイバーシティの構成が可能
 - ・空間的に離れた複数のアンテナを利用することで、マルチパスフェージングによる回線への影響を軽減し、システム全体で回線品質を維持する手法。

2 中継系無線アクセスシステムにおける各周波数帯別の提案

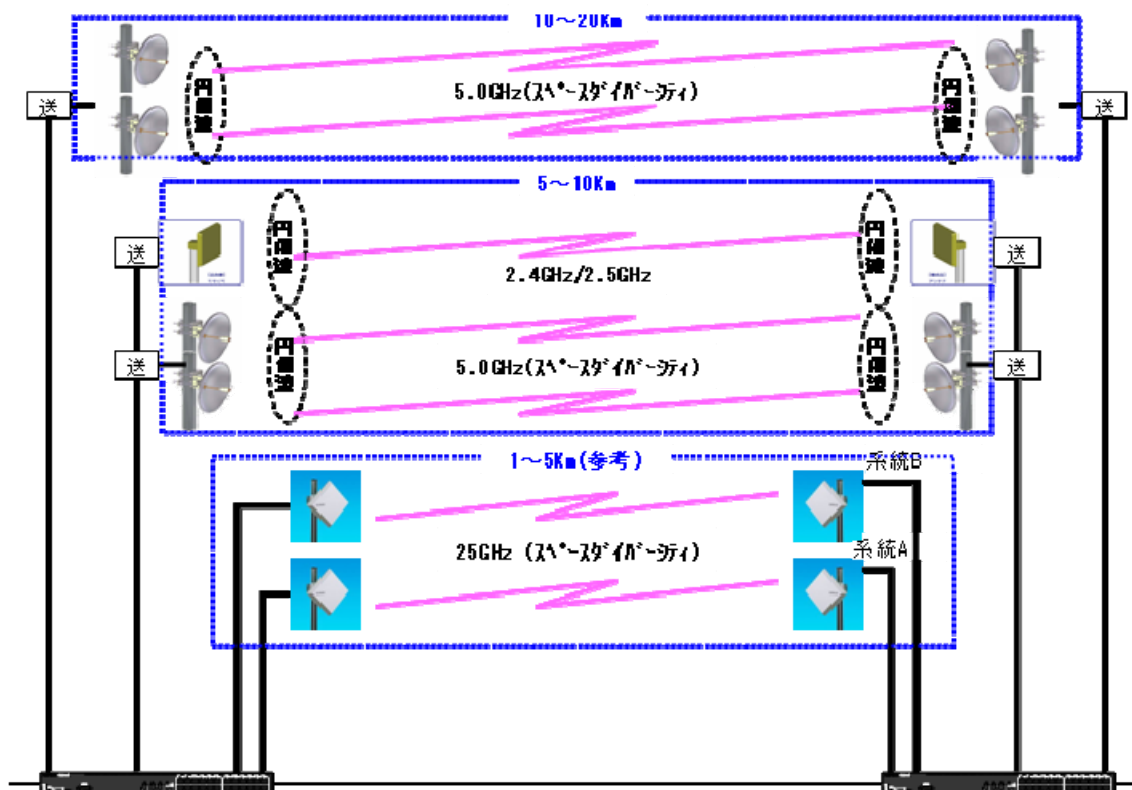
各無線アクセスシステムの有効性を踏まえ、中・長距離海上電波伝搬に適した中継系通信回線について、バックアップ回線の有・無の場合に分けて例を挙げて提案する。

■ 提案 1

バックアップ回線「無し」の場合の距離別に適した中継系通信回線構成を図 5-1、表 5-2 に示す。各無線システム各々特徴、優位性を有しているが、主回線として、中・長距離共に 5.0GHz 帯無線アクセスシステム・円偏波スペースダイバーシティ方式が最も推奨される。

表別-2 各周波数別中継系通信回線の提案(バックアップ回線なし)

| 距離 (km) | 主回線 (偏波) | 推定スループット (主回線) | 備考 |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 5~10km | 2.4/2.5GHz /5.0GHz (円偏波) | 6Mbps/4.5Mbps /13Mbps 以上 | 安定した回線を構築可能。 5.0GHz:スペースダイバーシティ方式 |
| 10~20km | 5.0GHz (円偏波) | 13Mbps | 高速で安定した回線を構築可能の見込み。 スペースダイバーシティ方式 |
| 1~5km (参考) | 25GHz (垂直偏波) | 15Mbps | 高速で安定した運用可能の見込み。 スペースダイバーシティ方式 |



図別-1 距離別の最適無線中継系通信回線(バックアップ回線無し)

■ 提案 2

バックアップ回線「有り」の場合の最適中継系通信回線構成を表 5-3 に距離別に示す。

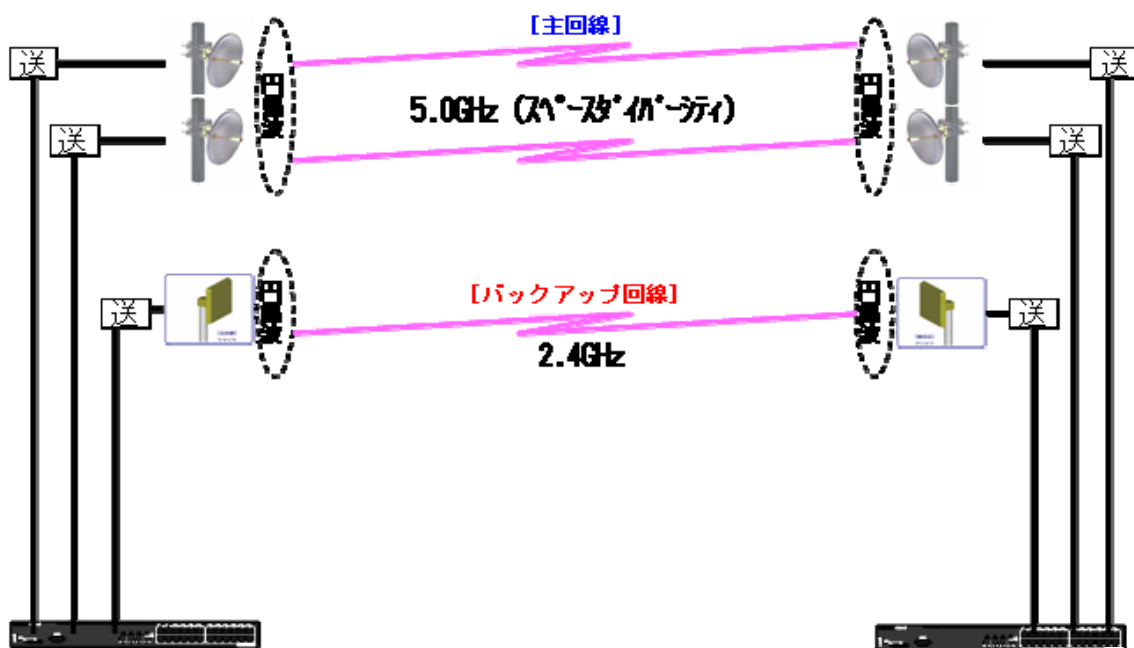
主回線には、13~15Mbps 程度の高速回線の整備を前提とし、5~10km の中距離では、主回線を 25GHz 帯とし、バックアップ回線を 2.4GHz/2.5GHz/5.0GHz 帯とした構成(図 5-2、表 5-2)、10~20km の長距離の場合は、主回線を 5.0GHz 帯、2.4GHz 帯によるバックアップ回線という構成(図 5-2、表 5-3)が推奨される。使用するアンテナについては、円偏波の利用が望ましい。また、主回線には、円偏波スペースダイバーシティ方式を想定した。

表別-3 各周波数別中継系通信回線の提案(バックアップ回線あり)

| 距離 (km) | 主回線 (偏波) | バックアップ 回線(偏波) | 推定スループット (主回線/バックアップ 回線) | 備考 |
|---------|------------------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 5~10km | 25GHz (垂直偏波) スペース ダイバーシティ | 2.4GHz (円偏波) | 15Mbps/6Mbps 以上 | ・比較的安価 ・事前に干渉の検討が必要。 |
| | | 2.5GHz (円偏波) | 15Mbps/4.5 Mbps 以上 | ・無線局免許取得 ・干渉が少ない |
| | | 5.0GHz (円偏波) | 15Mbps/13 Mbps 以上 | ・無線局登録 ・高速回線 |
| 10~20km | 5.0GHz(円偏波) スペース ダイバーシティ | 2.4GHz (円偏波) | 13Mbps/6Mbps | ・比較的安価 ・潮位による影響が少ない。 |



図別-2 距離別の最適中継系通信回線(バックアップ回線有り:5~10km)



図別-3 距離別の最適中継系通信回線(バックアップ回線有り:10~20km)

3 中継系無線アクセスシステムによる各周波数帯別の整備手法(例)
調査検討会の電波伝搬試験で使用したものを次項より紹介する。

3.1 2.4GHz 帯無線アクセスシステムの活用

2. 4GHz 無線アクセスシステム

【システム構成図】



【性能】20.4km 海上電波伝搬試験結果に基づく参考値

| アンテナ偏波 | RSSI (dBm) (Max 値) | スループット (Mbps) (Max 値) |
|--------|--------------------------|-----------------------------|
| 垂直 | -77 | 5 |
| 水平 | -79 | 8 |
| 円 | -78 | 6 |

【概算費用等】

約 1,600,000 円

<条件等>

- ・ 無線機器、アンテナ 1 対向のみの費用（設置工事等は別途費用）
- ・ アンテナは、実験用に開発してのものであり、偏波面が既知となる製品に特化しての場合には、コストダウンが可能。
- ・ 上記の品名に加え、「ケーブル」「アンテナ避雷器」「POE 電源」などを用意する必要があるが、条件により異なるため、別途とする。
- ・ 2.4GHz 帯無線 LAN などの小電力無線機は、免許不要局であるため、設置の自由度に加え、電波利用料が不要であり、ランニングコストが安く、運用開始までの手続きが簡素である。

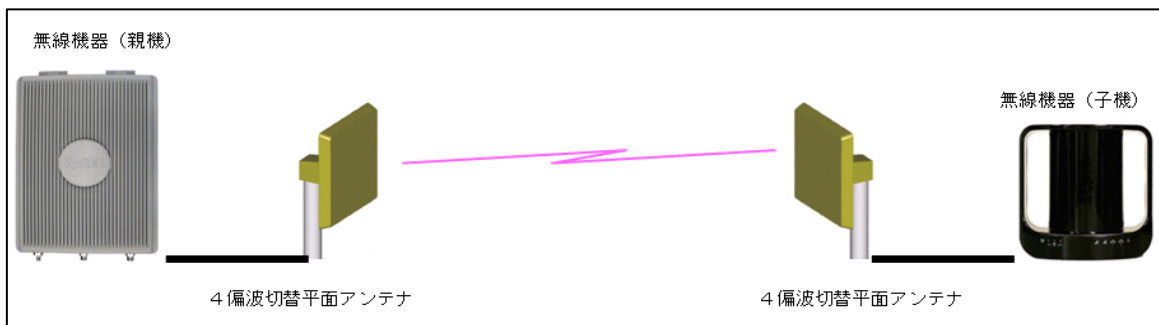
【問合せ先】

日本電業工作株式会社
TEL : 0120-010-117
E-mail : sales@den-gyo.com

3.2 2.5GHz 帯無線アクセスシステムの活用

2. 5GHz 無線アクセスシステム

【システム構成図】



【性能】9.5km 海上電波伝搬試験結果に基づく参考値

| アンテナ偏波 | RSSI (dBm) (Max 値) | スループット (Mbps) (Max 値) |
|--------|--------------------------|-----------------------------|
| 垂直 | -51 | (上り) 4.5 |
| 水平 | -55 | (上り) 4.5 |
| 円 | -50 | (上り) 4.5 |

【概算費用等】

<条件等>

- ・ 本海上電波伝搬試験に利用した機器については、試作品のため概算費用の算出不可。
- ・ 今後製品化が図られることで安価な機器が流通することが期待できる。
- ・ 2.4GHz 帯無線 LAN に比較し、混信妨害の可能性が低いことから安定した回線品質が得られる。

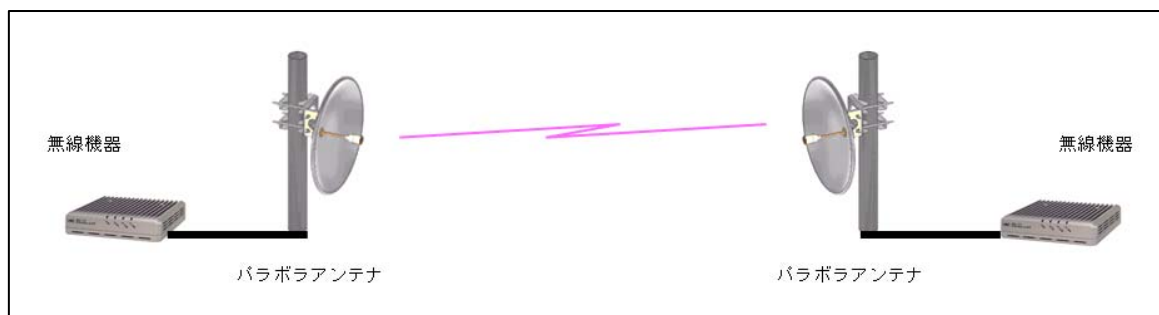
【問合せ先】

ルート株式会社
 TEL : 03-5719-7630
 E-mail : sales@root-hq.com

3.3 5.0GHz 帯無線アクセスシステムの活用

5. 0GHz 無線アクセスシステム

【システム構成図】



【性能】 20.4km 海上電波伝搬試験結果に基づく参考値

| アンテナ偏波 | RSSI (dBm) (Max 値) | スループット (Mbps) (Max 値) |
|--------|--------------------------|-----------------------------|
| 垂直 | -60 | 13 |
| 水平 | -65 | 13 |
| 円 | -63 | 13 |

【概算費用等】

3,100,000 円

<条件等>

- ・ 無線 LAN 本体 1 台 : 700,000 円 (2 台)
- ・ ODU ユニット 1 台 : 300,000 円 (2 台)
- ・ IDU ユニット 1 台 : 200,000 円 (2 台)
- ・ パラボラアンテナ 1 台 : 350,000 円 (2 基)

※設置工事費等は、別途費用が発生。

【問合せ先】

日本無線株式会社 九州支社
TEL : 092-262-2121

3.4 25GHz 帯無線アクセスシステムの活用

25GHz 無線アクセスシステム

【システム構成図】



【性能】9.5km 海上電波伝搬試験結果に基づく参考値

| アンテナ偏波 | RSSI (dBm) (Max 値) | スループット (Mbps) (Max 値) |
|---------|--------------------------|-----------------------------|
| 垂直 (SD) | -74.5 | 15 |

【概算費用等】

1,600,000 円

<条件等>

- ・ 25GHz 帯小電力データ通信装置本体 1 台 : 800,000 円 (2 台)

※設置工事費等は、別途費用が発生。

【問合せ先】

日本無線株式会社 九州支社
TEL : 092-262-2121

4 デジタルディバイド地域に適したアプリケーション紹介

調査検討会の電波伝搬試験で使用したもので、何れも実用可能と評価されたものを次項より紹介する。

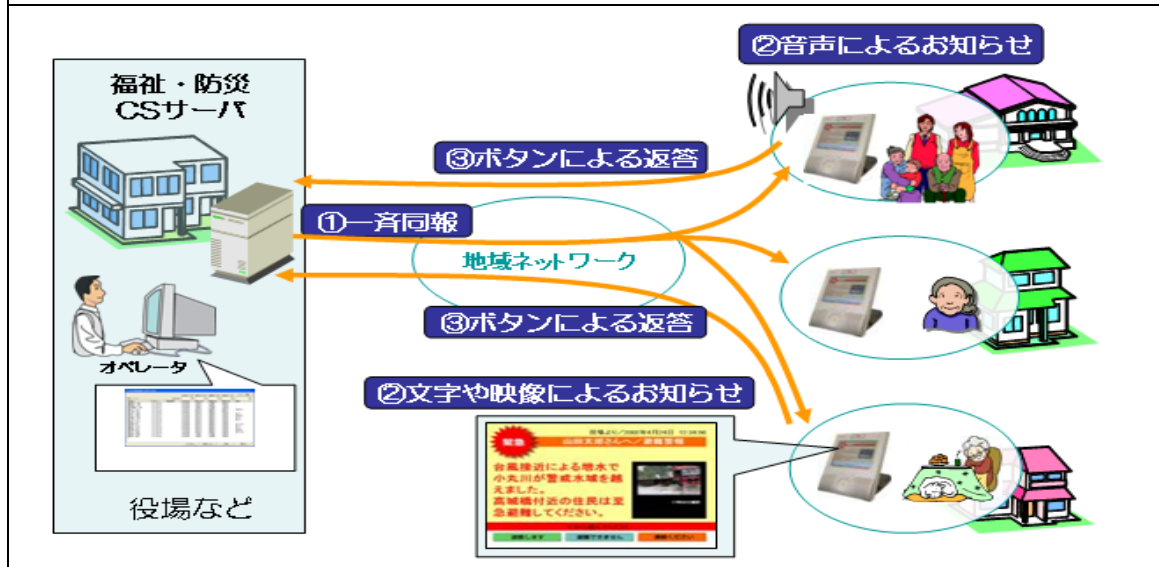
4.1 告知放送・緊急通報システム

| |
|---|
| 告知放送・緊急通報システム 提供元 : エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社 |
|---|

【アプリケーション概要】

自治体から住民への平常時のお知らせや災害発生時の一斉同報連絡、住民同士あるいは住民自治体間の TV 電話による連絡、緊急事態発生時の通報など、平常時から緊急時の様々なコミュニケーションを高齢者の方でも簡単に操作することができるタッチパネル式端末「フレッツフォン」で実現する。

【システム構成】



【概算費用等】

約 1 千万円

- <条件等>
- ・ 住民用端末設置費は除く。
 - ・ 概算費用のため、詳細要件については要相談。

【問合せ先】

エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社
TEL : 03-5325-0711

4.2 UD 対応障害者在宅者就労支援システム

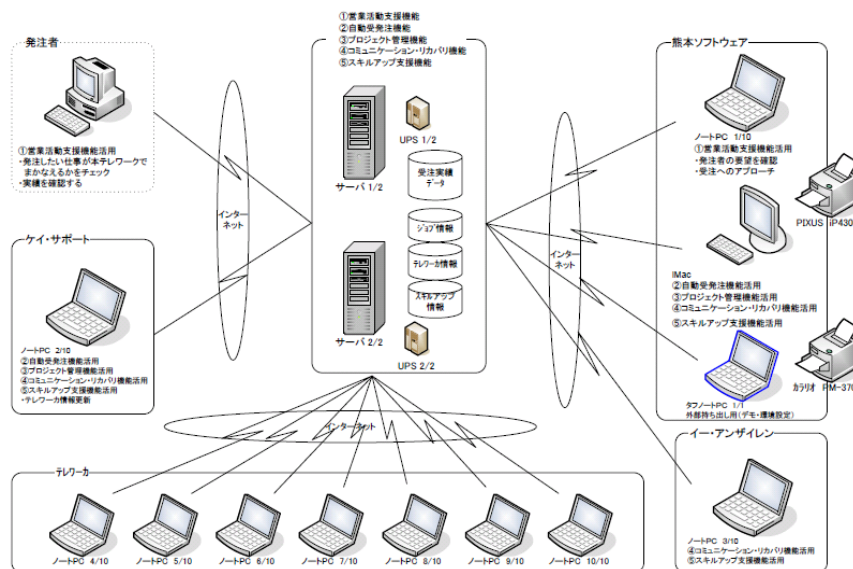
UD (ユニバーサルデザイン) 対応障害者在宅者就労支援システム

提供元 : 熊本ソフトウェア株式会社

【アプリケーション概要】

UD対応障害者在宅者就労支援システムは、障害者テレワークを様々な側面から支援するため、(1) 営業活動支援機能 (2) ジョブ自動受発注機能 (3) プロジェクト管理機能 (4) コミュニケーション・リカバリ機能 (5) スキルアップ支援機能で構成され、全体的にUD対応とすることにより①安定的・継続的な受注の確保、②効率的で公平なジョブマッチング③プロジェクト管理業務の軽減化④チームワークの強化⑤ジョブの能率化と高付加価値化等の実現を図るものである。

【システム構成】



【概算費用等】

<条件等>

- ・ 概算費用等、詳細条件については、要相談。

【問合せ先】

熊本ソフトウェア株式会社

E-mail : edu@kmt-ics.co.jp

4.3 無線 LAN コンセント

| |
|---------------------------------------|
| 無線 LAN コンセント 提供元 : 日本無線株式会社 |
|---------------------------------------|

| |
|---|
| 【アプリケーション概要】 設置されたアクセスポイントに移動局がアクセスすることにより映像の伝送、電話通話が可能。オプションにて位置情報の収集を行い移動局の位置を地図上に示すことも可能。 アクセスポイントとの通信の際に、ローミングを行わない通信の場合、ホットスポット的にアクセスポイントのサービスエリア内にて無線 LAN 通信を行う。 アクセスポイントが連続（500m 間隔）して設置され、車が走行可能な道路が隣接しているような箇所では、無線 LAN のローミング機能を利用した路車間通信が可能。 病院システムへの応用により、「遠隔医療の映像情報の伝送」「病院内の情報 IT 化の支援」に役立てることができる。 |
|---|

| |
|---------------------|
| 【システム構成】 |
|---------------------|

| |
|--|
| 【概算費用等】 - |
| <条件等> ・ 概算費用等、詳細条件については、要相談。 |

| |
|---|
| 【問合せ先】 日本無線株式会社 TEL : 092-262-2121 |
|---|

ご協力いただいた関係者一覧

【電波伝搬試験及び公開電波伝搬試験への協力団体・企業等】

熊本市 都市整備局 下水道部 下水道維持課 西部浄化センター
網田町漁業共同組合
日本電業工作株式会社
西日本電信電話株式会社 島原白土局
日本無線株式会社 通信機器事業本部
日本無線株式会社 九州支社
株式会社ケーブルテレビジョン島原
島原市 総合政策課
ルート株式会社

【公開電波伝搬試験への協力団体・企業等】

社団法人 九州経済連合会
NTT アドバンステクノロジー株式会社
熊本ソフトウェア株式会社

(敬称略、順不同)

用語集

| 目次 | 用語 | 説明 |
|----|------------------------------------|---|
| あ | アンテナ・パターン (Antenna Pattern) | アンテナから電波が各方向へどのような強さで放射されているかを示す曲線図のことで、均一な地形の時には地上図でアンテナを中心として周囲の同じ電波の強さの地点を結んだものである。 アンテナ・パターンは電波の強さが方向によって変わることを調べてこれを是正したり、場合によっては必要な方向へ特に強くしたりするなどの技術的資料で、アンテナのふく射特性を示す一つの要素である。 |
| | アンテナ利得 (Antenna Gain) | 一つのアンテナを送信又は受信に用いた場合に、ある方向にどの程度の電力がふく射されるかあるいは吸収されるか、標準アンテナと比較して表したものをアンテナ利得という。標準アンテナとして理想的な完全半波長ダイポールアンテナを用いた場合を相対利得、完全無指向性アンテナ(アイソトロピックアンテナ)を用いた場合を絶対利得(アイソトロピック利得)と呼び一般に dB で表す。 |
| い | インターフェース | 二つ以上の構成要素の境界又は境界において使用される部分。二つの装置を凍結するハードウェア構成要素である場合、二つ以上のプログラムによって共用される記憶装置の一部又はレジスタである場合などがある。 |
| え | 円偏波 (Circularly Polarized Wave) | アンテナより放射された電波が平面波であると考えられる十分遠方の地点における電磁波の大地面に対して水平(平行)な成分及び垂直な成分に分けて考えた場合、電界の最大値が等しく、かつ位相差が90度の場合は円偏波であるという。円偏波の受送信には、通常ら線アンテナ(ヘリカルアンテナ)が利用される。なお、位相差が90度以外の場合だ円偏波となる。 |
| か | 外部雑音 | 自然雑音 <ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽や惑星から発生する太陽系雑音 ・ 銀河系や恒星からくる宇宙雑音 ・ 雷放電のよって発生する空電雑音など 人口雑音 <ul style="list-style-type: none"> ・ 自動車、高周波利用施設、送配電線、電気鉄道、電気器具が発生する雑音 |
| | 給電線 | 送信機の高周波出力を送信アンテナに送り込むために、また、受信アンテナに誘起した電力を受信機に伝送するために使用するのが給電線である。給電線には例えば平行2線のような電氣的平衡型のものと、同軸ケーブルのような不平衡型のものがある。短波以外の周波数では送信用としては特殊な場合を除き架空線式が採用され、受信用としては主として同軸ケーブルが使用される。超短波帯では送受信ともに同軸ケーブルが主として用いられるが、テレビジョン放送受信用の場合には安価であるという理由で平行2線式も用いられている。また、マイクロ波帯ではほとんど導波管(矩形又は円形断面の金属管)が用いられている。 |
| | 空中線電力 | 送信機からアンテナ系の給電線に供給される電力をいい、発射する電波の型式によってせん頭電力、平均電力又は搬送波電力の何れかに表示することになっている。 |

| | | |
|---|----------------------------------|---|
| | | <p>放送局及び無線標準局には送信に使用しなければならない単一(テレビジョン放送については映像、音声毎に)の値を、その他の無線局には送信にしようできる最大の値を空中電力線として指定している。</p> <p>無線設備において、電波法上からも無線局の空中電力の指定は重要な要素である。</p> |
| こ | 降雨減衰 | <p>電波の周波数が高くなり、雨滴の大きさが波長に対し無視できなくなると、雨滴による電波の散乱等による減衰が大きくなっていく。ミリ波、準ミリ波の減衰は大気中の酸素や水蒸気分子の共鳴等による選択的なものも発生するが、降雨によるものは非常に大きく、この周波数帯の利用に対する最も大きな障害となっている。</p> |
| | 広帯域移動無線アクセスシステム(BWA) | <p>2001年12月にIEEE(米国電気電子学会)で承認された、固定無線通信の標準規格。また、同規格を審議していたIEEE802委員会のワーキンググループ。</p> <p>10~66GHzの周波数帯を使い、1台のアンテナで半径約50km(30マイル)をカバーし、最大で70Mbpsの通信が可能。ただし、見通しのきく範囲でしか通信できない。</p> <p>建物内部の通信に使うことを想定した無線LANとは異なり、現在は電話回線や光ファイバーが担っている加入者系通信網の末端部分(いわゆる「ラストワンマイル」)で利用することを想定している。</p> <p>2003年1月には、11GHz以下(2GHz~11GHz)の無線周波数帯を用いた見通し外通信も可能とするIEEE802.16aが承認されており、WiMAXの愛称で呼ばれている。</p> |
| さ | サーバー | <p>LANなどのコンピュータ・ネットワークを介して複数のコンピュータ上のプログラムが連携して進める分散処理において、大型ファイル装置、プリンタ、通信装置、データベースなどの複数の利用者が共有して利用する資源についてのサービスを行うコンピュータ。サービスの内容によってファイル・サーバー、プリンタ・サーバー、通信サーバー、データベース・サーバーなどと呼ばれる。</p> |
| | 雑音 (Radio Noise) | <p>受信機や増幅器などの出力に混入している希望信号以外の不要な成分を言う。受信機や増幅器などの回路に外から入ってくるものを外部雑音、回路の内部で発生するものを内部雑音という。電気通信において、雑音とは伝送する情報の品質を劣化させる要因である。</p> |
| し | 指向性アンテナ (Directional Antenna) | <p>特定の方向に電波を強くふく射する指向性をもたせたアンテナである。タブレットアンテナの指向性は8字形になるが、このタブレットアンテナを平面に位相差を適当にとって軸方向に並べたり、また、この後方1/4波長の感覚に反射エレメントを並べたりした八木アンテナは指向性アンテナの代表的なものであり、このほかにロンビックアンテナ、電磁ホーン、コーナーレフレクタ</p> |

| | | |
|---|-----------------------------------|--|
| | | 一アンテナ等、単一方向に強く指向性のあるアンテナが多くある。送信用、受信用に広く利用されている。 |
| | 周波数 (Frequency) | 周期的現象が1秒間に繰り返される回数(単位は、ヘルツ(Hz))で表す。例えば100ヘルツ(Hz)とは、周期的現象が1秒間に100回繰り返されることを意味する。一般に1000ヘルツ(Hz)を1キロヘルツ(kHz)、1000キロヘルツ(kHz)を1メガヘルツ(MHz)、1000メガヘルツ(MHz)を1ギガヘルツ(GHz)、1000ギガヘルツ(GHz)を1テラ(THz)ヘルツの単位で表す。無線通信に使用する周波数は3THz以下の周波数帯であり、このうち9kHzから275GHzまでの周波数帯は、無線通信規制(第8条)により、各業務に分配されている。 |
| | 周波数(又は位相)変調 | 信号波によって搬送波の周波数(位相)を変化させる方式で、外部雑音に強く、忠実度が良好であるが、必要周波数帯幅が広くなるため、超短波帯以上で使用されている。 |
| | 垂直偏波 (Vertical Polarization) | 横軸方向を平面電磁波の進行方向とした場合に、大地に対する横と高さの垂直面内に電界の偏波面が存在する平面波を(Plane Wave)を垂直偏波という。 |
| | 水平偏波 (Horizontal Polarization) | 横軸方向を平面電磁波の進行方向とした場合に、大地に対する横縦の垂直面内に電界の偏波面が存在する平面波を(Plane Wave)を水平偏波という。 |
| | スループット | <p>一般にはコンピュータ・システムの性能であるが、ネットワーク分野では二つのシステム間のデータ転送速度を指す。特にシステムの実行転送速度のことを指す場合が多い。例えば2台の端末間のファイル転送性能など。スループットを表す単位には、主にビット/秒を使う。これに対し、1台のルーターの中継機能をフォワーディング能力と呼ぶなど、意味は同じでもスループットとは別の呼び方をする場合もある。</p> <p>スループットは様々な要因の影響を受けて変動するため、測定するには十分な注意が必要。エンド・システムのCPU能力、メモリー容量、ディスク性能、インターフェース速度、中継機器の中継性能、フィルタや優先制御などの設定、他のトラフィックによる負荷、中継回線の容量や品質、転送プロトコルのバケット長、ウィンドウ・サイズなどがスループットに影響を与える。</p> |
| た | ダイバーシティ方式 | ダイバーシティは、複数のアンテナで受信した同一の無線信号について、電波状況の優れたアンテナの信号を優先的に用いる技術、あるいは受信した信号を合成し、ノイズを除去する技術のこと。送信に対して適用したものは送信ダイバーシティと言う。電波は物体にあたると反射する。例として、大きなビルのそばで携帯電話を使うと、直接届く電波と、ビルに反射して届く電波があり、二つの電波は僅かに到達時間が異なる。すると、二つの電波が干渉して通信の質が落ちる。これを防止するため、2本以上のアンテナを使って複数の電波を受信し、最も強い電波を選択するあるいは合成する技術をダイバーシティという。 |
| | ダクト | 特別な気象状態の時は、大気中の屈折率の減少率が非常に大きな |

| | | |
|---|-----------------------------------|---|
| | (Duct) | 層ができてその中を超短波又はマイクロ波が超屈折を示しながら余り減衰することなく遠方まで伝わることもある。この層のことをダクトといい、地表面近傍に形成されるものを接地性ダクトといい、また、大気中のある高度に形成されるものをS型ダクトという。一方でダクトは、フェージングの原因となり、本来の受信局が不感地帯となる場合もあり、数十 dB もの減衰が生じることもあると報告されている。この現象は、高度分布における気温の逆転及び水蒸気の現象が著しい場合に形成されやすい。例えば、温暖な乾燥した気流が冷湿な海面上に流れ出す場合とか陸上では夜間の冷却が著しいような場合にできやすい。 |
| | チャンネル (Channel:通信路) | チャンネルとは、有線伝送で呼称されてきた通信路を意味する言葉であるが、現在では広く無線通信においても使用されていて、有線におけると同様、無線の多重通信伝送路の意味と、この意味を広義に解釈して1周波数を1通信路と考えて、これもチャンネルと呼んでいる。 |
| ち | 直線偏波 | 偏波の形態の一つで、電波の進行方向に対し直角な面内において、電界の方向が常に一定の方向に限られている場合、その偏波を直線偏波という。 |
| て | 電界強度 (Electric Field Strength) | 電界(電荷に対しての電気力が働く空間)の強さを表すものであって、単位長の実効高さを有するアンテナに誘起される起電力で示され、普通の $\mu\text{V}/\text{m}$ もしくはdB($1\mu\text{V}/\text{m}=0\text{dB}$ とする)で表す。伝搬した電波の電磁強度は時間的に変動するし、送信点から離れた地点では場所的にも異なるので、測定値が測定期間の一定時間率にわたって超えている値(時間率電界強度)や、測定地点数の一定の割合にわたって超えている値(場所率電界強度)で表すことが多い。 |
| | 伝送損失 (Transmission Loss) | 伝送系における、入出力間で生じる信号電力の減衰をdBで表す。伝送損失が生じるのは、①回線網における電気信号、②電波伝搬における空間損等による。 |
| | 電波(電磁波) | 電波(電磁波)(Radio Wave or Hertz an Wave) 電気と磁気から成り立つ一種の流動するエネルギーであって、国際電気通信連合条約(1005)では、人工的導体のない空間を伝搬する3000GHzより低い周波数の電磁波(electromagnetic wave)と定義づけられている。 |
| | 特定小電力無線局 | 特定小電力無線局は、UHF(デシメートル波)の周波数を使用するもので、総務大臣が告示する用途、電波の形式、周波数及び空中線電力に適合するものをいい、1987年10月に特定小電力無線局として制度化された。 総務大臣が告示する特定小電力無線局としては、①テレメータ用及びテレコントロール(電波を利用して遠隔地点における装置の機能を始動、変更又は終止させることを目的とする信号の伝送をいう。)用、②医療用テレメータ(病院、診療所その他の医療機関又は研究機関において、生体信号の伝送を行うテレメータをいう。)用、③データ伝送(機械によって、処理される情報又は処理された情報の伝送をいう。)用、④無線呼出用、⑤ラジオマイク |

| | | |
|---|---|---|
| | | <p>用、⑥無線電話用(ラジオマイクに使用するものを除く。)、⑦移動体識別用がある。</p> <p>これらの無線局は、何れも技術基準適合証明を受けた無線設備を使用する。総務大臣が指定した呼出符号又は呼出名称を自動的に送信又は受信すること等の条件に適合することが必要で、免許を要しない無線局として扱われる。</p> |
| は | ハイトパターン (Height Pattern) | アンテナの高さによってその位置の電界強度が変化する様子をアンテナのハイトパターンという。 |
| | パラボラアンテナ (Parabolic Reflector Antenna) | マイクロ波によく使用されるアンテナで、送信側では回転放物面を持った反射鏡の焦点に位置した放射器から電波を放射させると、電波の位相が平面上にそろうので指向性の鋭いアンテナになり利得が高くなる。また、受信側では受信電波が回転放物面で反射されて全てのエネルギーが焦点に集中され、受信機に送られるため非常に有効にエネルギー伝達が行われる。反射鏡の正面から見た形は、円形のものばかりでなく、矩形又は小判形のものも多く使用されている。 |
| | 波長 (Wave Length) | 周期的現象において、波動が1周期の間に進む長さを言う。 |
| ふ | フィルタ | 基本的な構成としては、インダクタンスL及び容量Cの組合せからなり、電子回路や通信路で必要とする帯域の信号のみを通過させるための回路である。周波数の極めて高いVHF帯ではレッヘル線や同軸線を素子するフィルタを使用し、更に周波数の高いマイクロ波帯では導波管フィルタが用いられている。また、容量と抵抗からなるCRフィルタ、機械的共振を利用する水晶フィルタ、メカニカルフィルタ、トランジスタなどを用いるアクティブフィルタなどがある。 |
| | フェージング (Fading) | <p>電波が伝搬する通路又は通路上の媒質の変動により、受信強度が比較的短時間に変動する現象をフェージングという。その変動周期は普通数分の1秒ないし数分程度のもが多い。それ以上の周期の長い変動はレベル変動と呼ぶことが多い。</p> <p>一般にフェージングは同一通路では周波数が高いほどその周期も早くなる。フェージングはその原因によって大別すると、(1)干渉性フェージング(二つの異なった通路を通る電離層反射波相互の干渉による)(2)シンチレーションフェージング(大気中の屈折率の異なるかたまりによる)(3)散乱性フェージング(対流圏散乱波による)(4)偏波性フェージング(電離層における反射の際、偏波面の乱れによる)(5)吸収性フェージング(電離層における減衰の割合の変動による)(6)跳躍性フェージング(通信周波数がMUFに近いときの電離層の有無による)(7)K形フェージング(大気気圧、温度、湿度の影響を受けた、等価地球半径係数Kの変化による)(8)ダクト形フェージング(ラジオダクトによる)等に分けることができる。また、振幅の変動を生じるフェージングのほかに、音声又は信号波形にひずみを起こさせる選択性フェージングと呼ばれるものもある。</p> |
| | フレネルゾーン | 無線通信で、通信機器間を飛ぶ電磁波の経路の束が占める空間。 |

| | | |
|---|---------------------------------------|---|
| | | 電磁波は通信機器間を、複数の経路に分散して伝わる。その領域を指す用語である。 フレネルゾーンは、真ん中太いラグビー・ボールのような形をしている。このゾーン内に電磁波の障害物があると、本来の無線通信の帯域が得られないことがある。 |
| へ | 偏波 | 自由空間に放射される電磁波の電界の振動方向(角度)は、アンテナ上の電流・電圧分布によって決定され、これを偏波といい、偏波が振動しながら進行する面を偏波面という。電波の進行方向に垂直な面内の電界成分のベクトルが常に一つの線分内を振動する直線偏波(Linearly Polarized Wave)、このうち、電界が大地に対して垂直に偏波(Vertical Polarized Wave)しているものを垂直偏波といい、水平に偏波しているものを水平偏波(Horizontal Polarized Wave)という。直線偏波の直交2成分が組み合わさったものが円偏波(Circularly Polarized Wave)であり、偏波面の回転方向が電波の進行方向に対して半時計廻りのものを左旋回偏波、時計廻りのものを右旋回偏波と定義されている。 |
| | 偏波ダイバーシティ方式 | 偏波が異なると、フェージングの状態が異なることを利用する方式で、同一の周波数を垂直偏波及び水平偏波で送受信して、フェージングの影響を改善する。 |
| ま | マイクロウェーブ (Microwave) | 電波の波長が非常に短くなり、無線機器の大きさ及び配線の長さ等がその波長に匹敵する程度になると、それがふく射エレメントとして動作するようになり、ふく射損失が急増すると同時に導電損失、誘電損失も増大するので、そのエネルギーの伝送及び発振には同軸管、導波管又は空洞等の立体回路を使用しなければならなくなる。このように立体回路を用いる必要の生じる周波数はおおよそ900MHz~1GHzであるが、一般にこの限界周波数より高い周波数の電波(3~10GHz)をマイクロウェーブと呼んでいる。 |
| も | モデム (MODEM: Modulator-Demodulator) | データ通信等を行う場合に、コンピュータや端末などのデジタル機器をアナログの通信回路と接続するために使用する装置で、変調と復調の両方の機能をまとめた変復調装置。デジタル機器の内部の電気信号(デジタル信号)と通信回路を流れる伝送信号(アナログ信号)とでは、その形式が全く異なるので、両者をつなぐためのインターフェースが必要となり、モデムはその機能を果たす。 |
| れ | レインマージン | マイクロ波以上の周波数帯の通信回路においては、降雨による減衰が問題となり、このためのマージンをレインマージン(降雨マージン)という。 |
| | レベル | 一般には、電気通信のための設備、装置、機器又は素子の入力又は出力端子における電磁波、信号の電力、電圧、電流の基準値、例えば電力1ミリワットに対する比をデシベルで表したものを言う。実例として、有線テレビジョン放送施設においては、出力端子における信号電圧の実効値の1マイクロボルトに対する比をデシベルで表したものであって、出力端子に負荷を接続した場合の値を言う。 |

| | | |
|---|---|---|
| A | AGC(自動利得制御) (Automatic Gain Control) | 無線受信機の場合は、普通自動音量制御(AVC:Automatic Volume Control)と呼んでいた。これは無線の場合、電話受信機にのみ用いられていたため。最近では電信、TV、多重通信等各種の受信機においても無線周波数及び中間周波数部の増幅度の自動制御に広く採用されるようになったので、AGCの呼称で統一された。AGCは受信機の入力端におけるレベルがフェージングによって変化するとき出力端における変化を少なくして良好な受信を行うための制御回路、増幅器の利得を常に一定とするための安定化回路などに使用されるもので、前者には検波出力電圧の直流分を高周波増幅部、中間周波増幅部の可変増幅率電子管制御格子(トランジスタの場合は、通常はベース電極)に与える方式が多く利用され、後者の一例としてはサーミスタによる温度変化を利用するものがある。 |
| | ARIB(電波産業会) | 通信・放送分野における電波利用システムの実用化及びその普及を促進し、電波産業の健全な進歩発展を図る観点から、電波の利用に関する調査、研究、開発、コンサルティング等を行い、もって公共の福祉を増進することを目的として放送技術開発協議会と電波システム開発センター(RCR)が合併して、新しく平成7年5月15日に設立された社団法人。 |
| D | DS (Direct Sequence:直接拡散) | DS 変調とは「符号系列による搬送波の変調」のことである。変調方式は180度2相PSKが最もよく用いられる。スペクトラム拡散変調として、最も基本的な方法である。変調に使われる符号系列は、伝送すべき情報のデジタル信号を疑似雑音(PN)符号系列信号と半加算して作られる。 |
| F | FDD (Frequency Division Duplex) | 移動通信システムにおける無線基地局と移動機の間での双方向通信を実現する通信方式の一つ。上り回線と下り回線で、異なる周波数を利用する。 |
| I | ISM(Industrial Scientific and Medical Equipment) | 工業用、科学用、医療用等の分野に高周波数利用設備が利用されていることから、これらを略してISMといっている。ISM設備には、発射される基本波及びスプリアス発射に電界強度の「許容値のみがきていさされているだけであって、使用周波数に関する制限はないが、無線通信規則による周波数帯分配表において、ISMに次に示す周波数帯が指定されていて、この周波数帯の漏えい電界には制限が設けられていない。 工業用、科学用、医療用周波数(ISMバンド) 割当周波数 周波数帯の幅 13,560KHz ± 7KHz 27,120KHz ± 163KHz 40.68 MHz ± 20KHz 2,450 MHz ± 50MHz 5,800 MHz ± 75MHz 24.125GHz ± 125MHz |
| | IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) | 電気及び電子技術に関する米国の標準化組織。電子・電気技術だけでなく、理論と実用面からコンピュータ技術やコンピュータ科学などの技術を発展させるため、標準を作成する。イーサネット |

| | | |
|---|---|---|
| | 米国電気電子技術者協会) | の IEEE802.3 や、ビデオ・カメラなどの家庭用電気器具やハードディスクなどを接続するためのインターフェース IEEE1394 が有名。 |
| L | LAN(構内情報通信網) (Local Area Network) | 同じ建物や同じ敷地内に作られたコンピュータ・ネットワーク。パソコン、ワークステーション、オフィス・コンピュータ、サーバーなど各種コンピュータを接続し、複数のコンピュータの連携で行う処理、電子メール、ファイル・サーバー、プリント・サーバー、データベース・サーバーの利用などにより、資源・情報の有効利用と業務効率の向上が可能となる。形態としては、1本のケーブルを引き回すバス型、中心となるコンピュータから他の各コンピュータまで1本ずつケーブルを引くスター型、1本又は2本のケーブルを環状にするリング型がある。制御方式には、空き時間を待って送信する CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection、主にバス型で使用)、送信権(トークン)を順送りして行くトークン・パッシング方式(主にリング型で使用)がある。伝送路としては、同軸ケーブル、より対線、光ケーブル、無線が使われ、伝送速度は、10Mbps、100Mbps が代表的である。イーサネット(バス型、CSMA/CD、10Mbps)、トークン・リング、FDDI(リング型、トークン・パッシング、100Mbps)の規格に準拠したものが多く用いられている。イーサネットは事実上の世界標準方式のようによく使われているが、最近では、100Mbps 版の高速イーサネットも使われている。 |
| 0 | OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex: 直交波周波数分割多重) | OFDM は、ある一定の帯域内に N 個のキャリアを直交させ、隣り合うキャリアのスペクトルがオーバーラップするよう配置し、各キャリアは 2 ビット/シンボルの QPSK で変調される。 この変調方式は、1 キャリアの伝送レートが低いこと、次の信号までの期間が長くマルチパスが吸収され、信号はマルチパスの影響を受けにくい特徴を持ち、帯域幅当たりの伝送速度の向上とマルチパス干渉などの防止の両立が可能なデジタル変調方式である。 また、各搬送波に対応する被変調波の周波数成分が相互に重なり合って(インタリーブ)も支障なく、FDM(周波数分割多重)方式に比べ、はるかに多くの搬送波が同一帯域幅内に詰め込めるため、周波数利用効率率が最も大きい変調方式である。OFDM の隣り合う搬送波に対応する被変調波の周波数スペクトラムは、相互に重なる領域があり、ある搬送波の周波数においては、他の搬送波に対応する被変調波の振幅は零になっている。このため、任意の被変調波の振幅情報と位相情報は、他の被変調波の振幅情報や位相情報と識別できる。搬送波の数が増すに従って、周波数スペクトラムの形は、理想的な形に近づく。また、ロールオフ特性が限りなくゼロに近くなり、スペクトラムのエッジが急峻となる。搬送波の数がある閾値を越えると、単一搬送波のデジタル変調方式に比べ、OFDM の方が利用効率が高くなる。 |
| P | PSK(位相偏移変調) | 変調 2 相 PSK は搬送波の位相を、デジタル信号(2 進符号)で変化 |

| | | |
|---|--|---|
| | (Phase Shift Keying) | させる方式である。一般に、ビットレート(符号速度)が早いと周波数帯域が広がるが、4相PSK、8相PSKのように相数を増やせば、帯域を広げないでビットレートを高めることができる。 |
| Q | QPSK | 4位相偏移変調。デジタル信号をアナログ信号に変換する変調方式の一つ。1回の変調で2ビット(4値)を伝送できる。デジタル衛星放送やデジタル地上マイクロ波通信、ケーブル・モデム通信などに用いられている。 |
| | QAM | 直交振幅変調。限られた伝送帯域内で、高能率の伝送を行うためのデジタル変調方式。直交する(位相差90°)二つの搬送波を振幅変調するもので、多値QAMはこの多数の組合せである。現在、16値、64値、256値QAMまでが用いられている。 |
| | QoS | ネットワークのサービス品質。通信の品質を制御することや技術を指す。音声や動画など一定の帯域が必要なアプリケーションやリアルタイム性を要求する通信に、優先的に帯域を割り当てるなどの制御を行う。OSI参照モデルでは、ネットワーク層で制御するものと規定している。伝送遅延、揺らぎ(遅延のばらつき)、最低保証速度、ピーク速度などがパラメータとなる。 |
| R | RCR | (財)電波システム開発センターのこと。 RCRが策定する民間の標準規格のことをRCR STDという。放送を除く電波システムに係る品質、相互接続等を確保するための無線インターフェースを規定している。 |
| S | SNMP (Simple Network Management Protocol) | IPネットワークでネットワーク管理システムを構成するためのプロトコル。IETFが標準化した。コンピュータやルーターなどのネットワーク機器が管理機能を容易に実装/利用できるように、シンプルなメカニズムで考案された。ISOが1988年に規定した管理フレームを利用しており、ネットワーク上に一つ又は複数の管理ステーション(SNMPマネージャ)と、複数の被管理対象(SNMPエージェント)を配置して情報を受け渡し、ネットワーク管理に必要な構成管理、障害管理、性能管理を実現する。RFC規格には、SNMPv1、同v2、及び同v3があるが、一般的にはSNMPv1を指す。 |
| T | TDD(時分割双方向) (Time Division Duplex) | 1つの回線を時間分割し、上り方向と下り方向を交互に順次時間帯を割り当て、双方向通信を行う方式であり、ピンポン伝送とも呼ばれる。 移動通信で時分割を行う場合、一般に基地局を経由して通信が行われる。信号の送受信は基本となるフレームを周期として行われる。1周波数で1基地局-複数基地局間で送受を行うこの方式は、一定の時間間隔毎に伝送方向を上り方向と下り方向に交互に切替えてその時間内で移動局に順番に割り当て、双方向のデジタル伝送を実現するものである。送受信同一周波数でよく、双方向の同時通信もできる。 |
| V | VLAN (Virtual LAN) | 物理的なLAN構成とは独立に、ネットワークに接続した端末をレイヤー2レベルでグループ化する機能。又はその機能を使って論理的に構成したLANのこと。LANスイッチで実現する。VLAN機能を使用すれば、物理的な接続形態に縛られずに、論理的なサブネ |

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>ットを構成できる。同一グループに属した端末郡は、あたかも一つの LAN セグメント(ブロードキャスト・ドメイン)に属しているかのように通信できるので、バーチャル(仮想)LAN と呼ばれる。VLAN 間の接続には別にレイヤー3 スイッチ又はルーターが必要である。</p> |
|--|--|---|

【引用文献】

- 財団法人 電気通信振興会 (1999). 電波・テレコム用語辞典
 郵政省 電気通信局電波部 (1992). 電波辞典
 日経コミュニケーション編集(2002). 通信・ネットワーク用語ハンドブック

離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した
無線アクセスシステム構築のための調査検討会

発行 総務省 九州総合通信局

[URL:http://www.kbt.go.jp/](http://www.kbt.go.jp/)

連絡先 総務省 九州総合通信局

〒860-8795 熊本市二の丸1-4

TEL:096-326-7893 FAX:096-352-0573

E-mail:kikaku-q@soumu.go.jp

本報告書の取りまとめ結果は、本調査検討会及び九州総合通信局の属するものであり、本書の一部又は全部を無断でコピー、転載することを禁じます。
本報告書の内容、その他のお問合せは、九州総合通信局企画調整課へお願いします。