

沿岸海域における  
効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの  
技術的条件に関する調査検討会

報 告 書

平成22年3月

総務省 東北総合通信局

# CONTENTS

## はじめに

### 第1章 調査検討会設置の経緯と目的

第1節	背景	1
第2節	調査検討会の目的・調査検討事項	3
第3節	調査検討会の実施体制	5

### 第2章 5GHz帯無線アクセスシステムの現状

第1節	国内の5GHz帯の使用状況	6
第2節	5GHz帯無線アクセスシステムの技術的条件	8
第3節	5GHz帯無線アクセスシステムの利用状況と今後の展望	9

### 第3章 5GHz帯無線アクセスシステムの技術試験

第1節	試験方法及び試験結果	14
第2節	技術試験の一般公開	57

### 第4章 5GHz帯無線アクセスシステムの海上での使用に向けた技術基準等に関する提言

## おわりに

## 資料

資料1	開催要綱	資・1
資料2	委員一覧	資・2
資料3	調査検討会開催状況	資・3
資料4	ワイヤレスブロードバンドシステム利用に関するアンケート結果	資・5
資料5	「センサーネットワーク」とは	資・6
資料6	波浪と電波の反射について	資・8
資料7	5GHz帯無線アクセスシステムの沿岸海域への利用拡張のためのクリアランス調査結果	資・10
資料8	無線設備規則（抜粋）	資・15
資料9	5GHz帯無線アクセスシステムの無線局審査基準（電波法関係審査基準から抜粋）	資・20

## 用語解説

## はじめに

東北地方では、養殖漁業や小型船による沿岸漁業が盛んに営まれている。これら沿岸海域での通信手段としては、一般的な「携帯電話」のほか、専用の「無線電話（船舶無線）」が多く利用されている。

携帯電話は手軽に扱える半面、海上の多くがサービスエリアに入っていないため、圏外となる確率も高く、安定した通信品質が望めない。

無線電話は船舶無線専用の基地局（海岸局）のおかげで、比較的安定した海上通信が可能であるが、音声などの比較的データ量の小さな伝送路に限られている。

一方、家庭内利用では、近年「無線LAN」に代表される高速通信が当たり前となってきている。また、外出時には携帯電話のみならず、最近では更に高速な「WiMAX」と呼ばれるサービスも提供されるようになってきた。

電気通信事業者の積極的なサービス展開により、これらの高速無線通信網（ワイヤレスブロードバンド）を活用して、生活をより便利・快適にしてくれる多種多様なアプリケーションが考案・実用化されている。しかし、ひとたび海上に出るや否や、その恩恵にはなかなかあずかれないのが実状である。

そこで、我々の調査検討会では、沿岸海域でのワイヤレスブロードバンド環境の早期実現を目指し、事業者のサービスには頼らずに自前で構築できるワイヤレスブロードバンドシステムの利用方策を検討することとした。

現在実用化されているほとんどのワイヤレスブロードバンドシステムは、陸上利用のみを想定した技術的条件で作られている。そのため、我々の調査検討会では、ワイヤレスブロードバンドシステムのひとつである「5GHz帯無線アクセスシステム」に白羽の矢を立て、沿岸海域でもその実力が発揮できるかどうかを確認するための技術試験を行った。

その結果、海上でも十分に利用できることが確認され、また、海上における電波の飛び具合や通信品質の安定性等を測定した試験データからは、陸上利用の技術的条件との相違点が導き出された。

更に、海上利用に適したアプリケーションやサービスを考察することで、沿岸海域における効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの普及促進策も提言することができた。

この報告書は、これらの調査検討の結果を取りまとめたものである。これらの成果が、沿岸海域における更なる情報化の一助となれば幸いである。

なお、調査検討会には、通信分野の他、漁業関係者の方々など各分野からのご参加をいただいた。各委員には、貴重なご意見やご提言のみならず、試験実施場所の選定や試験機器の設置、実際の試験実施など、さまざまなご協力とご支援をいただいた。ここに改めて深く感謝を申し上げる次第である。

平成22年3月

沿岸海域における効率的なワイヤレスブロードバンド  
システムの技術的条件に関する調査検討会  
座長 塩川 孝泰

# 第1章 調査検討会設置の経緯と目的

## 第1節 背景

### 1 地域産業と情報通信社会から見た背景

東北沿岸海域は、八戸、宮古、気仙沼、石巻など全国屈指の水揚げを誇る漁港が多く存在する漁業海域である。また、平成20年度統計<sup>1</sup>によれば漁船と小型兼用船を加えた在籍船は約7,600隻を数え、養殖水産物<sup>2</sup>をみても宮城県がカキ類の生産量全国2位、岩手県はワカメ類の生産量全国1位、青森県がホタテガイの生産量全国1位など上位を占めている。

しかしながら、水産業をめぐる情勢は漁業資源の減少や市場価格の低迷、燃料費の高騰など近年一層厳しさを増しており、また、高齢化に伴う労働力不足も大きな問題となっている。

このような厳しい環境の中で、水産業の発展と作業の安全を確保する有力な手段の一つに今日の高度情報通信技術が考えられる。なかでも、陸上で既に普及が進んでいるワイヤレスブロードバンドシステムはインターネットの利用をはじめ、大量の情報を高速で伝送することができるため、これを沿岸海域で利用することにより、栽培漁業、海洋環境モニタリングの自動化や遠隔監視制御が可能となり、漁業の効率化、省力化に貢献できるものと考えられる。

### 2 電波利用の拡大から見た背景

今日のローカルエリアネットワークは、ブロードバンドと呼ばれる大容量・高速化が図られ日々発展を続けている。主な種類を表1-1-1に示す。

表1-1-1 ワイヤレスブロードバンドの種類

ワイヤレスブロードバンドシステムの種類	ミリ波FWA	無線LAN (WiFi等を含む)	高速無線LAN	広帯域無線アクセスシステム	
技術的特徴	伝送距離	数百m～数km	数百m～数km	数百m～数km	数km程度
	伝送速度	150Mbps	10Mbps～50Mbps	54Mbps～	20Mbps～30Mbps
	モバイリティ	固定	固定～低速	低速	固定～中速
	周波数帯	18GHz帯、22GHz帯、26GHz帯、38GHz帯、25GHz帯	2.4GHz帯、5GHz帯	2.4GHz帯、5GHz帯(小電力型)	2.5GHz帯
その他	高速、高品質のサービスが可能	キャリアセンス等による周波数共有・帯域幅最大20MHz	キャリアセンス等による周波数共有	固定系と移動系がある	
主な利用シーン	ラストワンマイル	○	○	○	
	無線スポット	×	○	△	
	その他	高速、高品質	汎用品が普及し低コスト	汎用品が普及し低コストが見込まれる	有線ブロードバンド代替システム・広域インターネットアクセス
無線局の免許・登録の要否	25GHz帯は免許不要、その他は要免許	免許不要又は原則として登録	免許不要又は登録	要免許	

1 日本小型船舶検査機構統計より

2 パンフレット「宮城の水産業」平成20年度 宮城県発行より



### 3 拡大する無線LANの利用

図1-1-1に示すとおり、無線LANは当初オフィスや図書館などの狭い範囲内のネットワーク化のために用いられた。その後、公園や市街地など屋外の無線スポットまでその範囲を広げ、今日、陸上では広く普及している。当調査検討会では沿岸海域でも無線LANが利用できる可能性を背景に、そのための技術的条件や利活用策について検討を行うこととした。

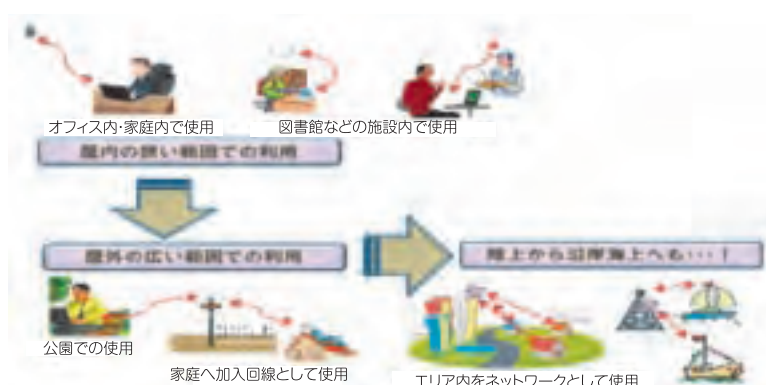


図1-1-1 無線LANの変遷

### 4 5GHz帯無線アクセスシステム

表1-1-2は無線LANと称されるものを規格ごとに細分化したものである。

表1-1-2 無線LANの規格一覧

方式	無線LAN(WiFi)				高速無線LAN
	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11j
IEEE規格	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11j
周波数帯	5.15~5.35GHz (屋内利用) 5.47~5.725GHz (屋外利用可)	2.4~2.4835GHz 2.471~2.497GHz	2.4~2.4835GHz	802.11a, g, jと同じ (5.03~5.091GHzを除く)	4.9~5.0GHz 5.03~5.091GHz (屋外使用可)
空中線電力	10mW/MHz	10mW/MHz	10mW/MHz	20MHz幅の場合は802.11a, g, jと同じ、40MHz幅の場合はその1/2	50mW/MHz 250mWが上限
最大伝送速度	54Mbps(20MHz幅)	11Mbps	54Mbps(20MHz幅)	150Mbps~600Mbps	54Mbps(20MHz幅)
到達距離	100m程度	100m程度	100m程度	100m程度	数km~
無線局免許	免許不要	免許不要	免許不要	802.11a, gの周波数帯を使用する場合は免許不要、802.11jの周波数帯を使用する場合は登録	原則として登録
備考	5.25GHz以上はDFS(Dynamic Frequency Selection)が必要				5.03~5.091GHzは平成24年11月30日までの使用に限定

5GHz帯の電波を利用した無線LANについては、以下のような変遷をたどっている。

平成12年3月 5150-5250MHz 屋内用として解放

平成14年9月 4900-5000 5030-5091MHz 屋外用として解放

平成17年5月 5250-5350MHz 屋内用として解放

平成19年12月 4900-5000MHz 固定業務が排除され高速無線LAN専用となる

当調査検討会では、到達距離、無線局の免許に関する条件及びブロードバンドを実現するための伝送速度を考慮し、沿岸海域において効率的なワイヤレスブロードバンドシステムを構築するためには高速無線LANと呼ばれるIEEE802.11j規格のシステムが最適であるとの結論に至り、5GHz帯無線アクセスシステムを想定した電波伝搬試験及び機能試験を行うこととした。

## 第2節 調査検討会の目的・調査検討事項

### 1 目的

沿岸海域では、小型漁船による漁獲をはじめ、養殖漁業、海洋観測、遊漁やヨットなど様々な経済活動や研究が行われており、多くの船舶が往来している。これら海上における産業や交通に関する業務をより円滑かつ効率的に処理する手段の一つとして、洋上で利用可能な高速・大容量の無線通信ネットワークの構築が考えられる。

今日、沿岸海域で利用されている無線通信は、音声など比較的情報量の小さいものを単一通信路で伝送するものが中心となっているが、情報をより有効に活用するためにはコンピュータとの親和性が重要で、そのためには情報のデジタル化や大容量・高速化が必須でありブロードバンド通信網の整備が大切である。また、このことは新たな通信システムの創出にもつながるものであり、海上におけるユビキタス社会構築へ向けた第一歩となる。

本調査検討会では、沿岸海域においてインターネットの利用を含めた大容量で高速の通信をワイヤレスブロードバンドシステムで実現しようとする場合、安定した通信状態を得るための技術的条件及びその利活用策等について検討を行うこととした。

### 2 調査検討事項

高速無線LANの中で最も広範囲な通信エリアが確保できると思われ、かつ、利用するための免許手続きが簡易（原則として登録制）である5GHz帯高出力無線LANを対象とした。

なお、このシステムは現在陸上での使用に限定されているものであるが、海上にまでその範囲を広げた場合の技術的課題等や有用性を検討した。

#### (1) 電波伝搬試験及び機能試験の実施並びにそれらの評価

##### ア 海上電波伝搬試験に関する事項

##### （ア）試験方法の検討

筏などの海表面の施設や小型船舶等における利用を想定し、電波伝搬路の海面高が低い状態で次の項目を試験する。

- 伝搬特性（波動や潮位による影響、偏波面の相違による差など）
- ジッタ、パケット欠損率等の回線品質を評価するためのデータ
- 到達距離

(イ) 試験結果の分析・評価

(ウ) 結果のとりまとめ

イ 機能試験（試験の公開を含む）の実施に関する事項

ウ 機能試験結果の分析・評価

(2) 沿岸海域における効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの利活用策

ア 業務・分野毎の利活用アイデア

イ ニーズ等



## 第2章

# 5 GHz帯無線アクセスシステムの現状

### 第1節

### 国内の5 GHz帯の使用状況

5 GHz帯(4.9~5.85GHz)の主な使用状況は無線アクセスシステムのほかに、無線LAN、気象レーダー、空港気象レーダー、アマチュア無線、産業科学医療用、高速道路・有料道路における自動課金システム(ETC)として使用されている狭域通信システム(DSRC)などに使用されている。

国内での5 GHz帯の主な使用状況は図2-1-1に示すとおりである。

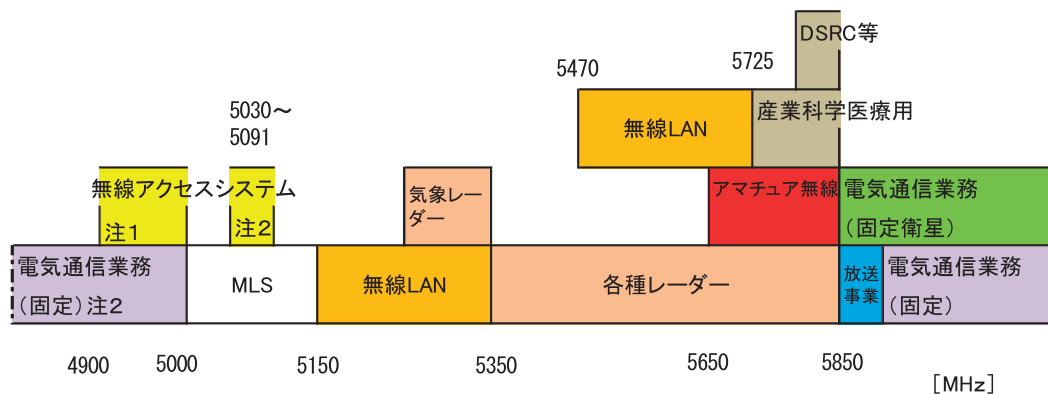


図2-1-1 5 GHz帯の使用状況

#### 1 5030~5091MHz帯無線アクセスシステム

5030~5091MHz帯は、世界的には航空無線航行業務のMLS(自動着陸誘導システム)に分配されているが、我が国(日本国内)では、MLSの導入予定が当面無かったことから、無線アクセスシステム用として暫定的に使用可能としてきた。(平成19年11月30日まで)

しかし、その後もMLSの導入が見込まれないことから、無線アクセスシステムの暫定使用期限を平成24年11月30日へ延長したものであり、同年12月1日以降の使用については、航空無線航行業務による導入動向により決定される。

#### 2 4900~5000MHz帯無線アクセスシステム

今回の調査検討で使用した、4900~5000MHz帯は平成17年12月1日に関東、東海、近畿の区域(以下「東名阪地域」)において登録制度を導入した。

東名阪地域以外の区域についても、平成19年11月末に5 GHz帯を使用する電気通信業務用固定局の使用期限を迎えることから、同年12月1日より5 GHz帯無線アクセスシステム

の無線局が登録局として開設可能となる区域を全国に拡大し、登録局の申請等を各総合通信局（沖縄総合通信事務所を含む）で受付を開始した。（図2-1-2）

### 5GHz帯無線アクセスシステム登録局の開設可能イメージ図

- (1) 低プリアス無線設備を使用する場合  
 (証明規則第2条第1項第19号の6.8.10の無線設備)

平成17年12月1日施行



平成19年12月1日施行



- (2) 高プリアス無線設備を使用する場合  
 (証明規則第2条第1項第19号の5.7.9の無線設備)

平成17年12月1日施行



平成19年12月1日施行



黄色で示した区域が、5GHz帯無線アクセスシステムの登録局開設可能区域  
 ※灰色の部分であっても、個別に審査の上、干渉がなければ免許可能

低プリアス無線設備 - 許容値 $0.2\mu\text{W}$ 以下

高プリアス無線設備 - 許容値 $2\mu\text{W}$ 以下

図2-1-2 拡大された5GHz帯無線アクセスシステム登録局の開設可能区域

この4900～5000MHz帯は平成19年11月30日までは電気通信業務用と共用であったが、現在は無線アクセスシステム専用となっている。

### 3 東北管内の無線アクセスシステムの開局数

東北管内の無線アクセスシステムの開局数を、電波の利用状況調査の結果から見てみると、平成18年度には免許局、登録局ともにゼロであったが、平成21年度には、登録局が5030～5091MHz帯で26局、4900～5000MHz帯で5局へと微増となっている。

全国の登録局を見てみると5030～5091MHz帯で647局から1,539局へ、4900～5000MHz帯では417局から2,570局へと大きく増加している。（表2-1-1）



表 2-1-1 無線局数の推移

(局)

	5 GHz帯無線アクセスシステム(5.03-5.091GHz) (登録局)		5 GHz帯無線アクセスシステム(4.9-5.0GHz) (登録局)		5 GHz帯無線アクセスシステム(5.03-5.091GHz)		5 GHz帯無線アクセスシステム(4.9-5.0GHz)	
	全国	東北	全国	東北	全国	東北	全国	東北
平成18年度	647	0	417	0	5	0	1	0
平成21年度	1,539	26	2,570	5	2	0	232	0

電波の利用状況調査結果による

## 第 2 節

## 5 GHz帯無線アクセスシステムの技術的条件

4900～5000MHz帯と5030～5091MHz帯のシステムの相違点を表 2-2-1 にまとめた。

表 2-2-1 5 GHz帯無線アクセスシステムの技術的条件

周波数帯		4900～5000MHz	5030～5091MHz(注1)
使用場所		屋内外で使用可	
チャンネル間隔		5/10/20/40MHz	5/10/20MHz
変調方式	20MHz	OFDM方式、DS方式、シングルキャリア方式	
	40MHz	OFDM方式	対象外
最大空中線電力	20MHz	250mWかつ50mW/MHz(注2)	
	40MHz	250mWかつ25mW/MHz(注3)	対象外
最大空中線利得		13dBi	
キャリアセンス	20MHz	義務付け	
	40MHz	義務付け	対象外
接続形態		親局-子局(中継可能)	
伝送速度(IEEE標準規格)		6M～54Mbps	
無線局免許		必要(登録局)	
無線従事者資格		必要	

注 1 平成24年11月30日までの暫定使用

注 2 加入者局のうち小電力局については、10mW/MHz以下

注 3 加入者局のうち小電力局については、5mW/MHz以下

参考 該当条文等

無線設備規則 (資料 8)

電波法関係審査基準 (資料 9)

## 第3節

# 5 GHz帯無線アクセスシステムの利用状況と今後の展望

## 1 東北における利用状況

東北管内のシステムの開設局数は、第2節で述べたが少ない状況にある。

これを開設者及び利用形態で見ると、4900～5000MHz帯は2者で、県別で見ると青森1者で商店街の放送に、岩手1者で海洋データ伝送に利用している。

5030～5091MHz帯は2者で、県別で見ると宮城1者で全国移動の電波伝搬試験に、山形1者でスキー場リフト等の課金システムに利用している。

## 2 今後の展望

全国の開設局数の推移から見て、東北でも今後は増加してゆくものと思われるが、幅広い普及のためには利用形態の拡大が必要であり、様々な分野で試験的に使ってみることも必要であろう。

既に5 GHz帯無線アクセスシステム利活用策の一つとして、図2-3-1に示すとおり平成18年度に災害等の緊急時に気球に機器を搭載しワイヤレスネットワークを構築しようとする調査検討がなされている。(東北総合通信局)。

また、現在総務本省において島嶼間ネットワークを構築して陸-船舶間通信を行う場合、複数の基地局との連続接続(ハンドオーバー)技術等に関する検討がなされている。(図2-3-2)

### (1) 緊急時における気球活用ワイヤレスネットワーク

- ・災害で通信が途絶してしまった被災地や避難所等の屋上に臨時に気球を活用したネットワークシステムを構築するものである。(座長 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部 柴田義孝 教授)

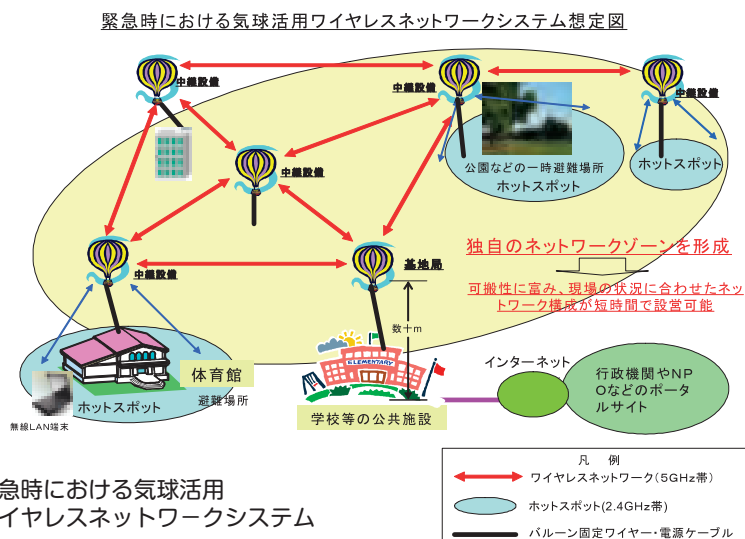


図2-3-1 緊急時における気球活用ワイヤレスネットワークシステム

## (2) 無線アクセスシステムの島嶼間ネットワーク、陸－船舶間通信の際の複数基地局との接続（ハンドオーバー）に関する検討

- ・ 複数基地局によるハンドオーバー機能の確認 ・ 島嶼間ネットワークの検証
- ・ 多段中継による回線冗長化の検証などの実証試験

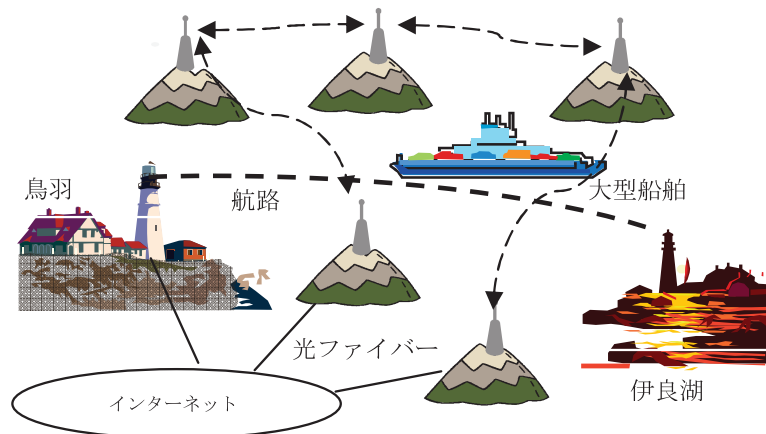


図2-3-2 無線アクセスシステムの島嶼間ネットワーク

当調査検討会では、沿岸海域での利活用を促進するために検討会委員及びその関係者にアンケート調査を実施した。その結果、海上と海中のライブ画像の観察、海洋観測データのリアルタイム利用、海上でのインターネット利用などを希望する声があった一方で海上での普及を図るための課題等も明らかになった。（別添資料4参照）

また、沿岸海域における利活用策の例として、(3)及び(4)に示すようなシステムモデルについても論議された。

## (3) 港湾内情報ネットワークシステム

マルチホップ・メッシュ型ネットワーク構築が可能な装置を用いたアプリケーションモデルであり、港湾内を移動する作業船や洋上プラットフォーム相互間に通信ネットワークを実現する。また、陸上とのアクセスはこれら洋上局のうち最も電波伝搬条件のよい局から行われるため回線コストに優れている。

### モデル1 港湾工事情報システム

#### ■ システムの概要

港湾工事等において現場相互間及び工事事務所との通信ネットワークを構築するもの。データ通信、画像等あらゆる情報が高速回線で結ばれる。陸上局とのアクセスは電波状態の最もよい局から自動的に行われる。また、状況に応じて限定された狭いエリア内の通信

はWiFiとの併用も考えられる。

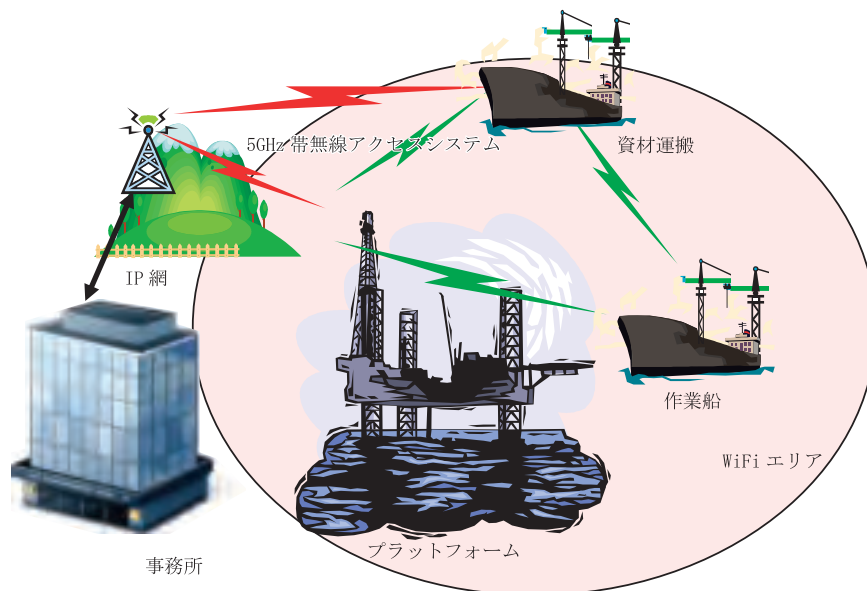


図2-3-3 港湾工事情報システムのイメージ

## モデル2 養殖漁場監視システム

### ■システムの概要

アワビ等の養殖漁場における密漁防止及び摘発のため、各種センサーや監視カメラ、音波探知機、水中ソナーなど装置や監視船をネットワークで接続する。監視カメラは鮮明な動画像を伝送することが求められるため、有線接続が困難な場所に設置する場合は5GHz帯無線アクセスシステムの利用が非常に有効である。



図2-3-4 養殖漁場監視システムのイメージ

#### (4) センサーネットワークと無線アクセスシステムを融合した沿岸ブロードバンドシステム

5 GHz帯無線アクセスシステムは、製品によってはマルチホップが可能なものもあるが、装置の価格が高価である。このため、必要な装置の数が多く伝送する情報量が少ない場合には「センサーネットワーク」と称する無線システムの利用が考えられる。

### モデル1 海洋情報自動収集システム

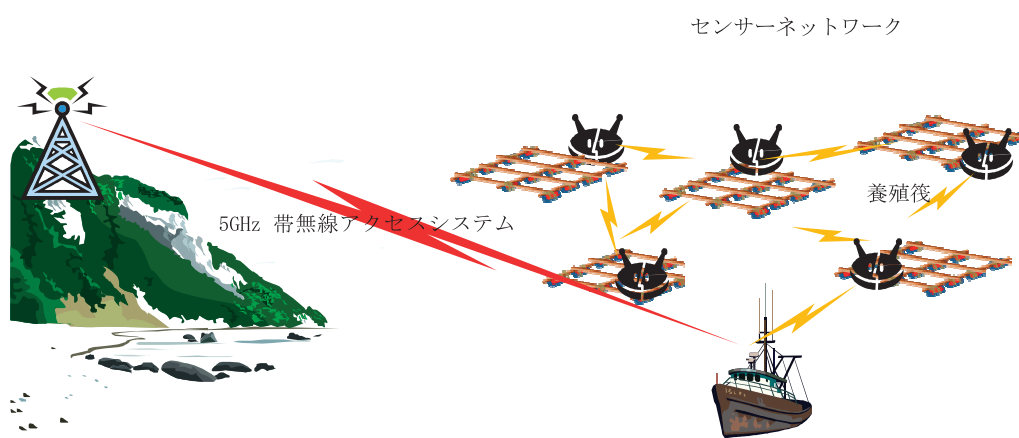


図2-3-5 海洋情報自動収集システムのイメージ

#### ■システムの概要

筏に取り付けてあるノードには、水温や塩分濃度等のセンサーが取り付けられている。

センサーで感知した情報はノードから漁船が筏の近傍に接近すると自動的に送信される。漁船では全ての情報を自動的に集約して、5 GHz帯無線アクセスシステム装置から陸上に送信される。

### モデル2 入出港自動管理システム

#### ■システムの概要

港に出入りする漁船やプレジャーボートにセンサーノードを搭載する。センサーノードから時刻、GPS情報、船名等が自動的に送信され、アドホック・マルチホップネットワークを介して定点に伝送される。このブイから陸上との間を5 GHz帯無線アクセスシステムで結ぶ。漁協やマリーナ等では所属船舶の入出港状況を自動的に管理することができる。

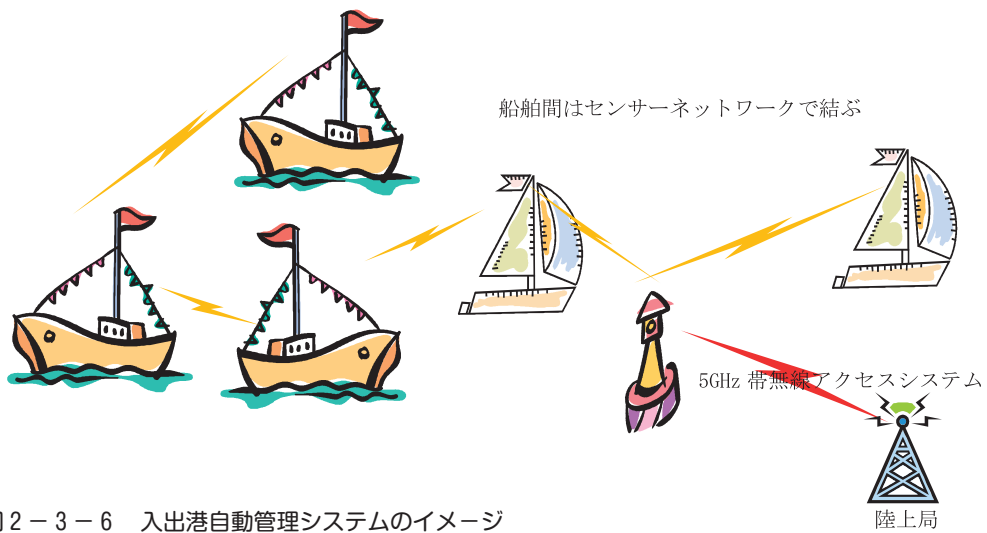


図 2-3-6 入出港自動管理システムのイメージ



## 第1節

## 試験方法及び試験結果

### 1 試験に使用した無線設備

#### (1) 無線局の諸元

技術試験を行うために、表3-1-1の実験試験局を開設した。

表3-1-1 実験試験局一覧

運用の形態	無線局の呼出名称	装置番号	発射する電波	空中線電力(W)	装置の名称等	備考
基地	日東石巻電波伝搬じっけん	1	X 7 W 4920MHz~4980MHz までの20MHz間隔 4 波及び X 7 W 4935MHz~4945MHz までの 5 MHz間隔 3 波	0.0316	Alvarion BreezeAccess VL(AU) 5 GHz FWA システム	電波伝搬試験用
		2	X 7 W 4920MHz~4980MHz までの20MHz間隔 4 波及び X 7 W 4935MHz~4945MHz までの 5 MHz間隔 3 波	0.0158	Alvarion BreezeAccess VL(SU) 5 GHz FWA システム	海洋モニタリング グブイと対向
		3	N 0 N 4912.5MHz	0.25	マキ電機製	スペースダイバ シティ試験用送 信機
移動	日東石巻電波伝搬じっけん1	1	X 7 W 4920MHz~4980MHz までの20MHz間隔 4 波及び X 7 W 4935MHz~4945MHz までの 5 MHz間隔 3 波	0.0158	Alvarion BreezeAccess VL(SU) 5 GHz FWA システム	筏などに搭載 (定点で使用)
移動	日東石巻電波伝搬じっけん2	1	X 7 W 4940MHz~4980MHz までの20MHz間隔 3 波及び X 7 W 4935MHz~4940MHz までの 5 MHz間隔 2 波	0.0126	Alvarion BreezeAccess B&B(SU) 5 GHz FWA システム	移動する船舶に 搭載
移動	日東石巻電波伝搬じっけん3	1	X 7 W 4920MHz~4980MHz までの20MHz間隔 4 波及び X 7 W 4935MHz~4945MHz までの 5 MHz間隔 3 波	0.0316	Alvarion BreezeAccess VL(AU) 5 GHz FWA システム	海洋モニタリング グブイに搭載

## (2) 試験に使用した装置

試験に使用した装置及びソフトウェアを表3-1-2に記す。

表3-1-2 試験に使用した機器の諸元等

装置の種類	名称・型式等	(製造元) 電気的特性等	備考
パッチアンテナ	PAT514N-11j	(アンテナテクノロジー株式会社) 利得: 14dBi 半値角: E面 約32° H面 約36°	スペースダイバシティ試験に送受信用として使用。
パネルアンテナ	AU-D-SA-4.9-120-VL	(Alvarion) 利得: 15dBi 半値角: E面 約6.5° H面 約120°	回線品質試験に陸上局アンテナとして使用。
オムニアンテナ	P. N. 849270	(Alvarion) 利得: 9 dBi 半値角: E面 約9°	機能試験のため船舶に設置。また、海洋モニタリングブイにも使用。
オムニアンテナ	VA505A-11j	(アンテナテクノロジー株式会社) 利得: 5 dBi 半値角: E面 約40°	機能試験のため船舶に設置。
パーソナルコンピュータ	HP DC5800	(Hewlett Packard Company) CPU Core 2 Duo 2.8GHz OS Windows Vista Business SP 2 日本語版	電波伝搬試験データ解析、データ記録用として陸上局で使用。
パーソナルコンピュータ	U20A	(ASUSTeK Computer) CPU Core 2 Solo 1.4GHz OS Windows Vista Business SP 2 日本語版	スペースダイバシティ試験の際受信信号データ記録用として使用。また、回線試験の際に船舶に搭載して遅延等の測定に使用。
ダウンコンバータ	NIT-4.9G-430M-D1	(マキ電機株式会社) 総合変換利得 20dB	スペースダイバシティ試験の際受信信号の周波数変換用として使用。
広帯域受信器	AR5000	(AOR Co., Ltd) 受信周波数 10kHz~2.6GHz IF出力周波数 10.7MHz	スペースダイバシティ試験の際に周波数を10.7MHzにヘテロダインして出力するために使用。
USBポータブル2CHデータロガー	ALG-40	(アルス制測) 入力チャンネル数 2 分解能 ±20V入力時 9.77mV(最大) ±0.2V入力時 97μV(最小)	スペースダイバシティ試験の際に検波直流電圧を同一時刻で記録するために使用。
10.7MHz検波装置		(自作) 入力チャンネル数 2 オペアンプ使用 オフセット、利得調整機能有り	スペースダイバシティ試験の際に10.7MHz信号を直流検波するために使用
VoIPゲートウェイ	ASM200	(Quintum Technologies) 音声コーデック ITU-T G.711 VoIPプロトコル SIP	
ネットワーク診断プログラム(ping実行ソフト)	Exping	Version3.3 Internet Control Message Protocol	回線品質測定用
パケットキャプチャソフト	Wireshark	Version 1.1.4	回線品質測定用

### (3) 空中線指向特性

電波伝搬試験及び機能試験に使用した空中線の指向特性は図3-1-1～図3-1-6のとおり。

Alvarion SU 20dBi装置一体型アンテナ		
型式	パネル型	
公称利得(dBi)	20dBi	
電力半値角(deg)	H	10.5
	V	10.5

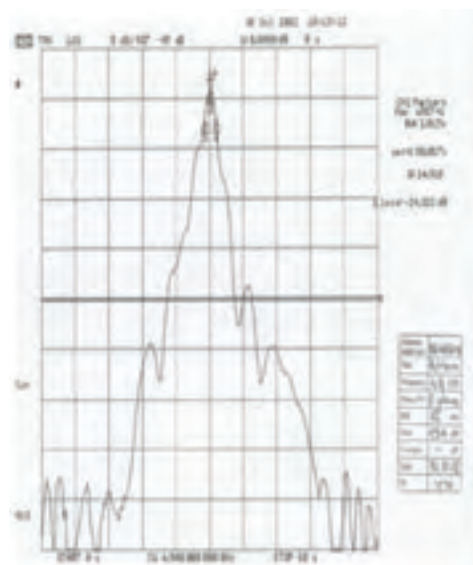
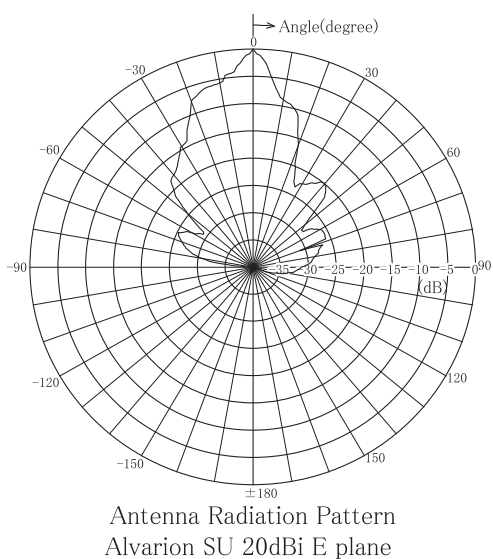


図3-1-1 Alvarion SU 20dBi装置一体型アンテナの指向特性 (E) 面

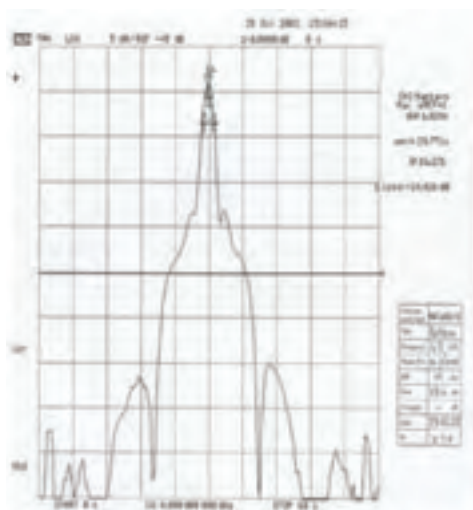
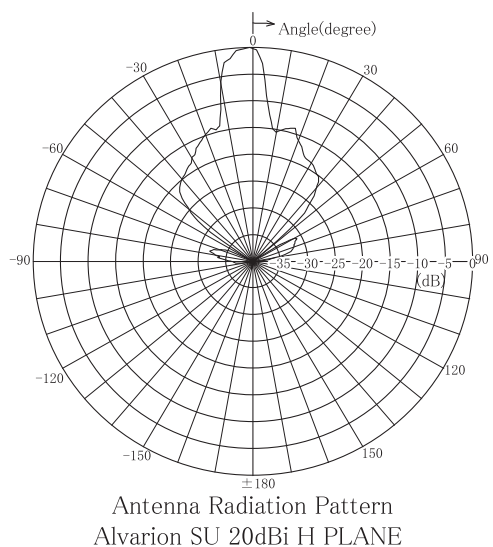
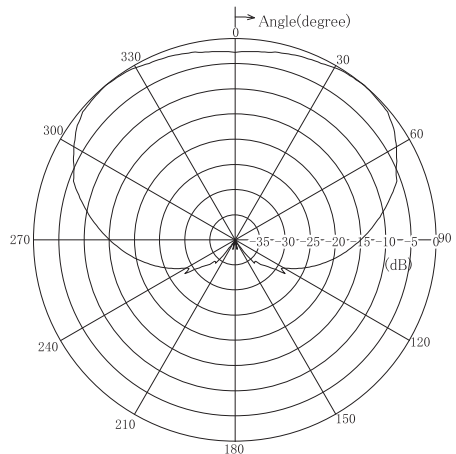
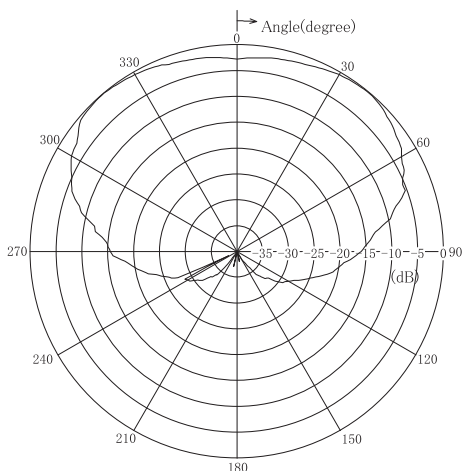


図3-1-2 Alvarion SU 20dBi装置一体型アンテナの指向特性 (H) 面

Alvarion AU 15dBiアンテナ		
型式	パネル型	
公称利得(dBi)	15dBi	
電力半値角(deg)	H	120
	V	6.5



Antenna Radiation Pattern  
Alvarion AU 15dBi Azimuth



Antenna Radiation Pattern  
Alvarion AU 15dBi Elevation

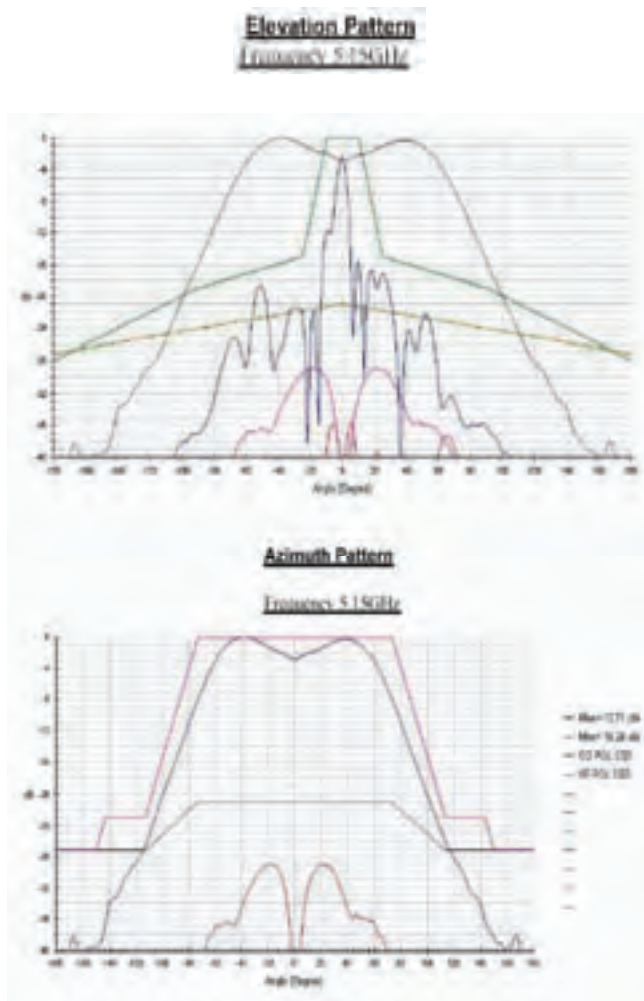
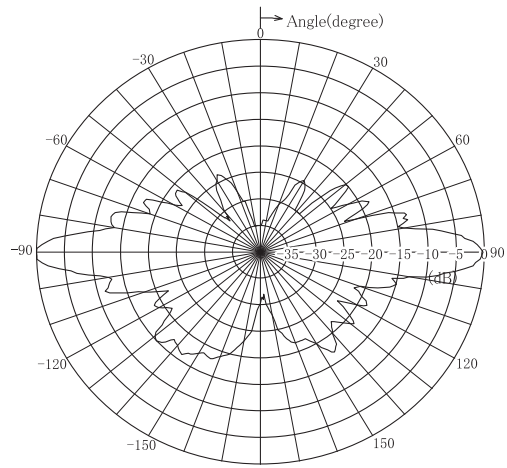


図 3-1-3 Alvarion AU 15dBiアンテナの指向特性

Alvarion 9 dBiオムニアンテナ		
型式	コリニア型	
公称利得(dBi)	9 dBi	
電力半値角(deg)	H	360
	V	8



Antenna Radiation Pattern  
Alvarion 9dBi コリニア  
Vertical plane

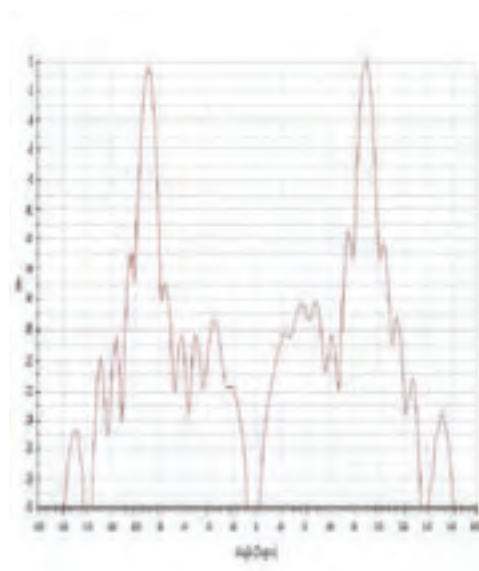


図 3 - 1 - 4 Alvarionコリニア 9 dBiアンテナの指向特性

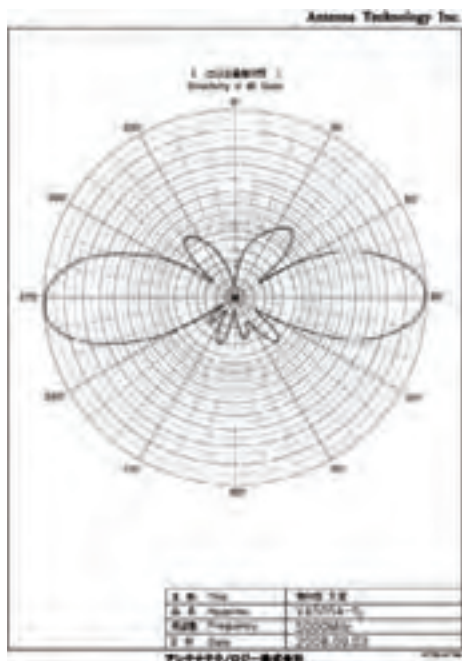


図 3 - 1 - 5 アンテナテクノロジー社 5 dBiオムニアンテナ指向特性



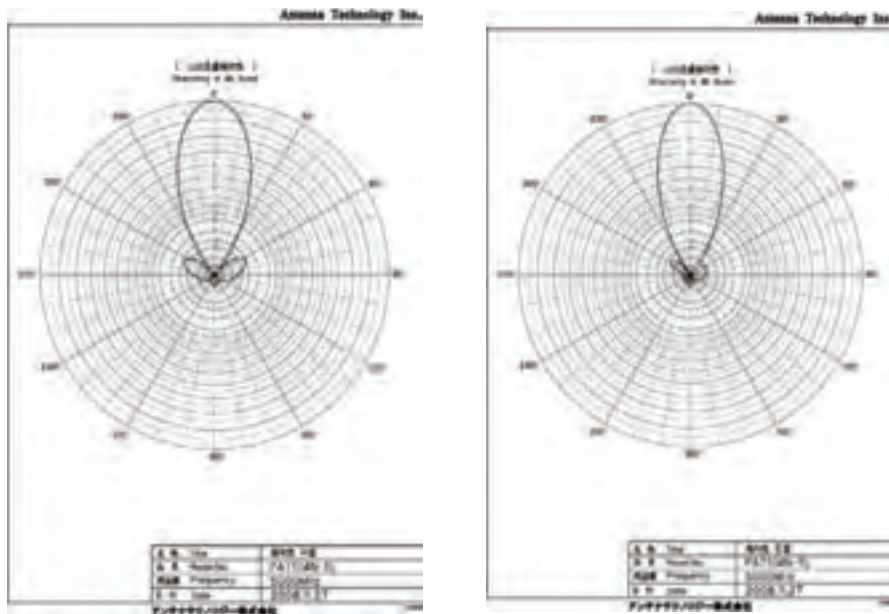


図3-1-6 アンテナテクノロジー社 14dBiパネルアンテナ指向特性



## 2 電波伝搬試験

試験項目を表3-1-3に示す。また、試験を行うための全体のシステムは図3-1-7に示す。

表3-1-3 電波伝搬試験項目

試験項目		試験項目	
1	偏波面の違いによる比較	2	波浪の影響
3	スペースダイバシティ(SD)の効果に関する試験	4	回線の品質と到達距離に関する試験
5	船舶の動揺に対応するための空中線に関する試験		



図3-1-7 電波伝搬試験システム図

試験設備の設置場所及び用途の概要は表3-1-4のとおり。

表3-1-4 試験設備の設置場所及び用途

試験設備の呼称	設置場所等	空中線の位置及び高さ (海拔・m)	用途の概要
陸上局1 (FB1)	社団法人 宮城県漁業無線公社 (宮城県石巻市魚町3-6-1)	北緯38° 24' 56.2" 東経141° 20' 34.6" (約31m)	試験全般の陸上局として各種データ収集等を行う。 また、インターネット網への接続点としての機能を有する。
陸上局2 (FB2)	嵯峨深 野蒜海水浴場付近海岸 (宮城県東松島市宮戸字松ヶ島地内)	北緯38° 21' 22.0" 東経141° 9' 30.7" (空中線高は試験の種類毎に設定)	スペースダイバシティ試験を行うための受信設備を設置。
洋上局(FS)	民間釣り船 「ほくしん丸」 (総トン数 14トン 長さ11.95m、 幅3.98m)	(約2.5m)	偏波面の違いに関する試験及び公開機能試験における洋上からの中継デモに供用した。
船舶局(MS)	宮城県水産技術総合センター 漁業調査船 「開洋」 (総トン数 16トン 長さ18.4m、 幅4.1m)	(約4m)	回線の品質に及び到達距離に関する試験及び機能試験として洋上からのインターネットアクセス(web閲覧、メール伝送、IP電話等)を約一ヶ月間行った。
海洋モニタリングブイ		北緯38° 23' 53.46" 東経141° 22' 7.8" (約2m)	波浪の影響を調べる用途として使用した他、機能試験としてソナー等の動画画像伝送に使用した。

試験設備の位置関係を表した地図は、図3-1-8のとおりである。

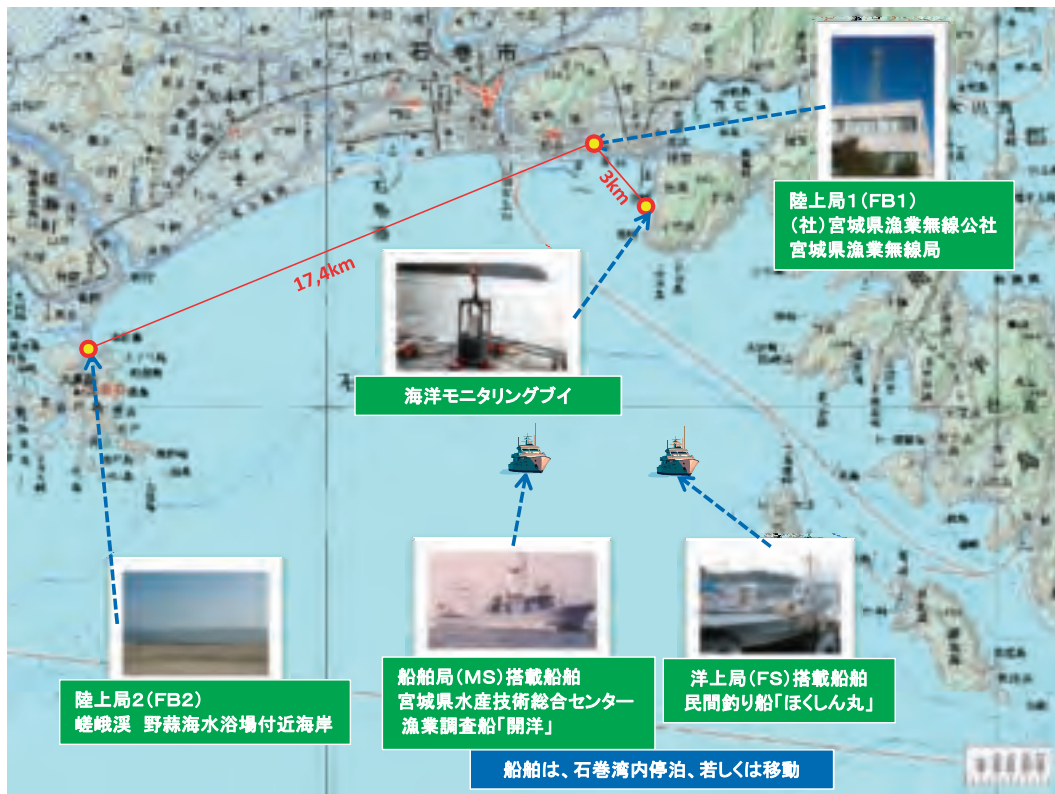


図3-1-8 試験設備の位置関係

## (1) 偏波面の違いによる比較

### ア 試験の方法及び構成

陸上から約8.9km (4.8海里) の洋上の定点に静止させた釣り船から電波を発射して陸上側で受信しデータを収集した。なお、垂直偏波、水平偏波の切替えは潮位変動の影響を極力排除するためおおよそ10分間隔の小さい刻みで行った。記録するデータは電波強度、パケットエラーレート、平均有義波高値、波の平均周期及び潮位とした。(平均有義波高値、波の平均周期及び潮位については、全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)の石巻港観測点のものを使用)

電波強度(RSSI)は装置本体が約1秒間隔でデータを出力する機能を有していることから、このデータを蓄積する方法とした。

また、パケットエラーレートについては、本試験で使用する5GHz帯無線アクセスシステム装置(AU-D-SA-4.9-120-VL及び、SU-D-4.9-54-BD-VL)は無線伝送部に於けるパケットエラーレート及びビットエラーレート出力機能を有していないため、無線伝送区間に限定したパケットのエラーレートを測定することはできない。

しかしながら、対向する5GHz帯無線アクセスシステム装置の有線側(LANインターフェース)に接続されるネットワーク機器間でのパケットロス測定することで、伝送区間全体のパケットエラーレートを測定することができ、5GHz帯無線アクセスシステム装置が通常IPネットワークの無線ブリッジとして使用されるものであることを考えると実効上の数字と見なすことが可能と考える。

5GHz帯無線アクセスシステム装置の有線側(LANインターフェース)に接続するネットワーク機器はパーソナルコンピュータ(PC)とし、ネットワーク診断プログラム“ping”によりパケットエラーレートを算出した。

pingはICMP(Internet Control Message Protocol)を使用した、ネットワーク疎通試験で最も利用されるプログラムであり、再送なしの固定長パケットサイズで一定間隔連続送信可能であることから、無線区間でフラグメントが生じないようなサイズに固定したICMPパケットを一定間隔で一定回数送信し、対向側での受信数と比較することによってパケットロス(パケットエラーレート)を求めることが出来る。

本試験では、送信するICMPパケット(ICMP Echo Request)を以下の通り規定した。

- ・パケット長：64バイト
- ・送信間隔(タイムアウト時間)：1,000msec
- ・送信回数：600回(約10分間)
- ・送信先：FB1のPC1(IPアドレス 192.168.254.100)
- ・送信元：MSの測定用PC(IPアドレス 192.168.254.110)

洋上局の測定用PCから前述のパケットを、RSSIの測定開始と出来るだけ同時に開始し、陸上側のPCにて到達パケットをキャプチャした。

陸上側のキャプチャデータ中から、洋上局の測定用PCから陸上のPCに宛てた ICMP Echo Requestパケットを抽出し、送信数(600)との比よりパケットエラーレートを算出した。

なお、試験で用いたソフトウェアは以下の通りである。

- ・洋上側の試験用PC：ping実行ソフト Exping Version3.3
- ・陸上側のPC：パケットキャプチャーソフト Wireshark 1.2.4

表 3-1-5 「偏波面の違い」の測定項目

	偏 波 面	送信側(洋上)	V(垂直)/H(水平)
		受信側 (陸)	V(垂直)/H(水平)
測定項目	電 波 強 度	洋上側からの電波を陸上側で受信して時間的な変動を記録する。データのサンプリング間隔は1秒とする。	
	パケットロス率	洋上側から規定連続パケットを送信し陸側で測定する。	

【(社)宮城県漁業無線公社 宮城県漁業無線局 (FB1)】



LANケーブル  
(約40m)



【石巻湾 沿岸 (FS)】

【ほくしん丸】

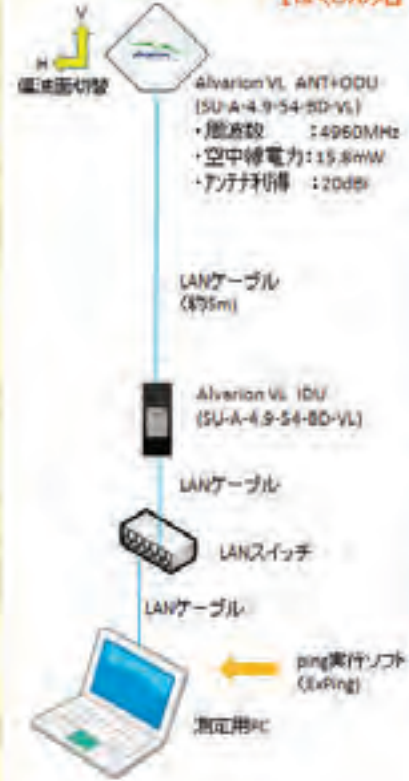


図 3-1-9 偏波面の違いを調べる構成図



## イ 試験結果

試験結果を図3-1-10～図3-1-29に示す。

(時間帯平均有義波高0.46m 周期5.6S)

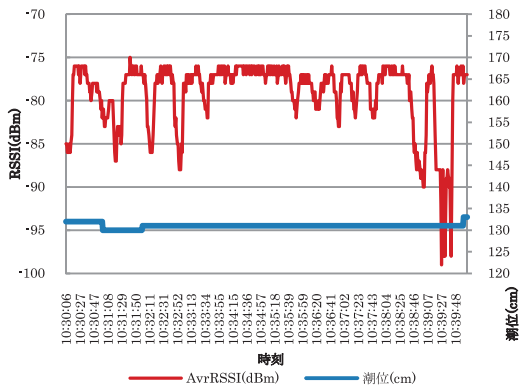


図3-1-10 V偏波 11月18日 1回目

時間帯平均有義波高0.46m 周期4.8S

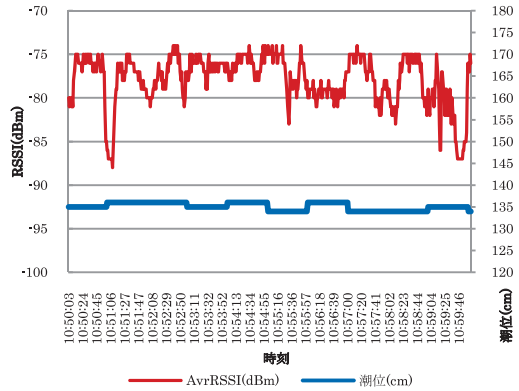


図3-1-11 H偏波 11月18日 1回目

(時間帯平均有義波高0.52m 周期3.8S)

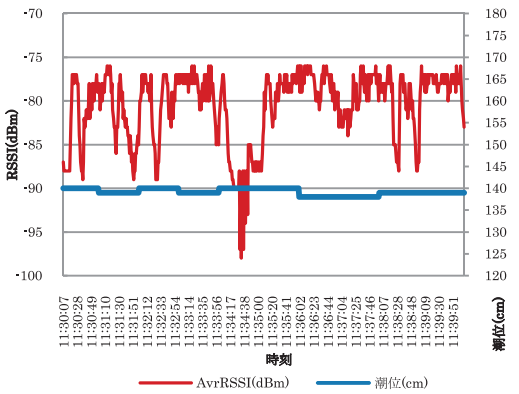


図3-1-12 V偏波 11月18日 2回目

(時間帯平均有義波高0.49m 周期3.6S)

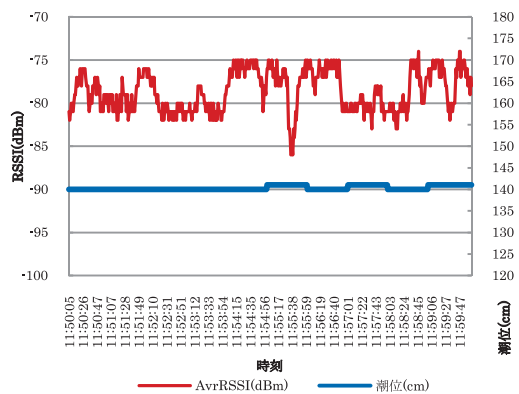


図3-1-13 H偏波 11月18日 2回目

(時間帯平均有義波高0.59m 周期3.6S)

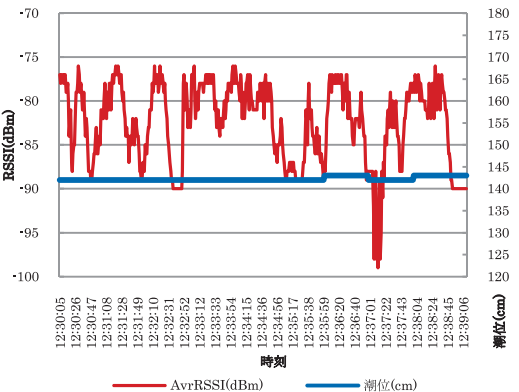


図3-1-14 V偏波 11月18日 3回目

(時間帯平均有義波高0.62m 周期3.3S)

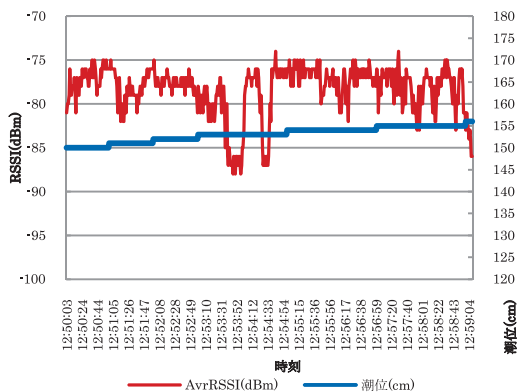


図3-1-15 H偏波 11月18日 3回目



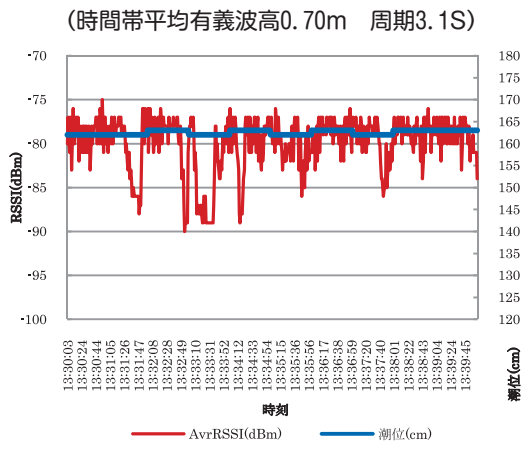


図 3-1-16 V偏波 11月18日 4回目

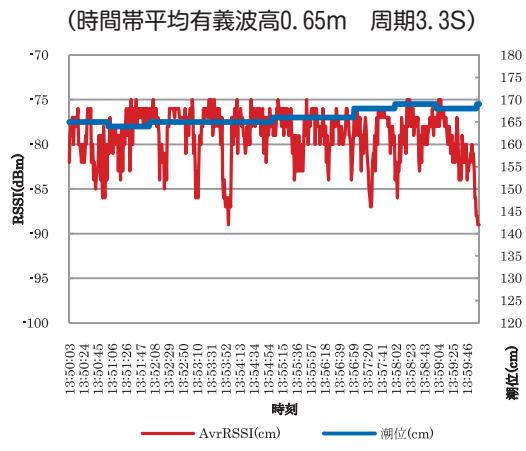


図 3-1-17 H偏波 11月18日 4回目

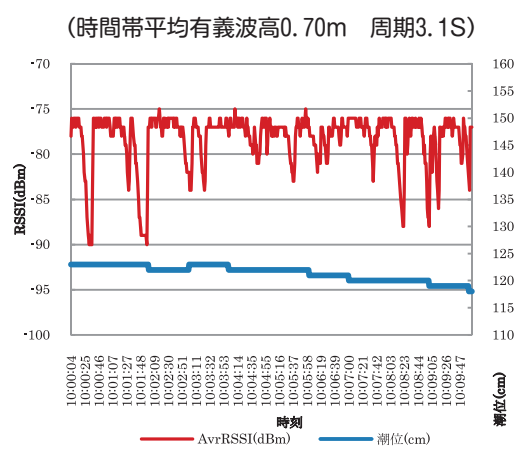


図 3-1-18 V偏波 11月19日 1回目

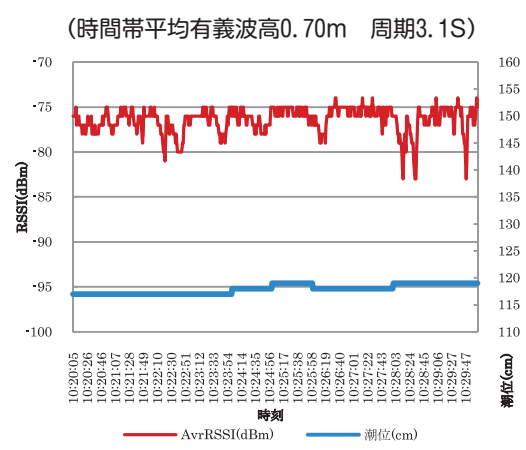


図 3-1-19 H偏波 11月19日 1回目

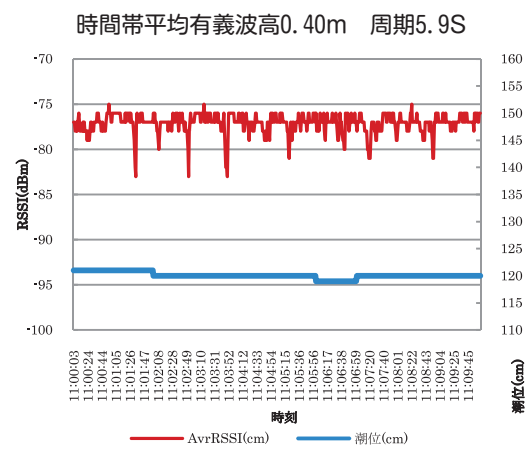


図 3-1-20 V偏波 11月19日 2回目

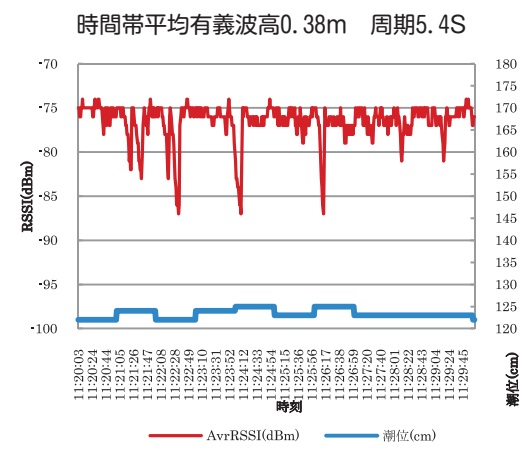


図 3-1-21 H偏波 11月19日 2回目

(時間帯平均有義波高0.41m 周期5.1S)

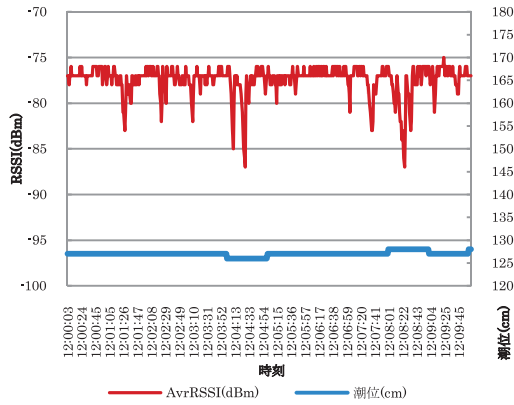


図3-1-22 V偏波 11月19日3回目

(時間帯平均有義波高0.43m 周期5.5S)

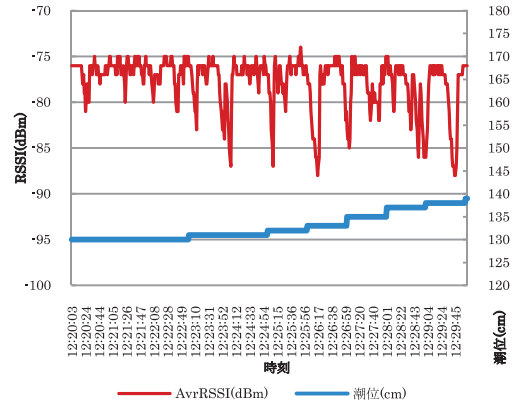


図3-1-23 H偏波 11月19日3回目

(時間帯平均有義波高0.41m 周期5.1S)

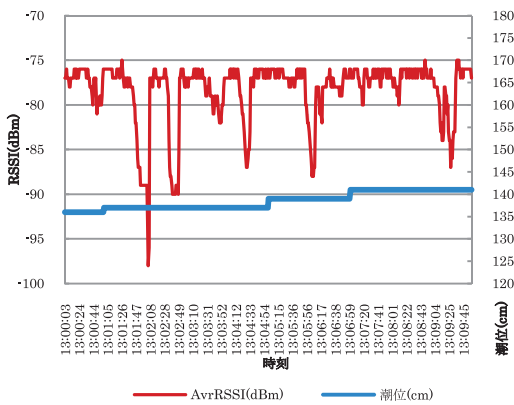


図3-1-24 V偏波 11月19日4回目

(時間帯平均有義波高0.41m 周期5.1S)

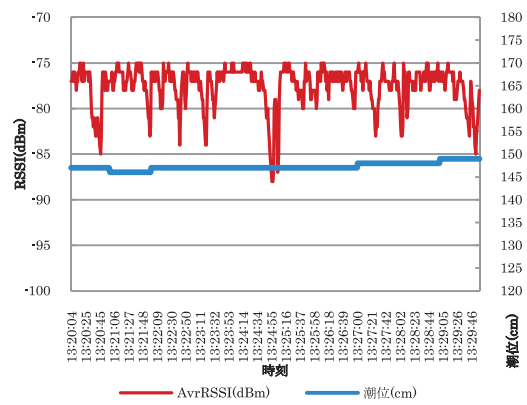


図3-1-25 H偏波 11月19日4回目

(時間帯平均有義波高0.41m 周期5.1S)

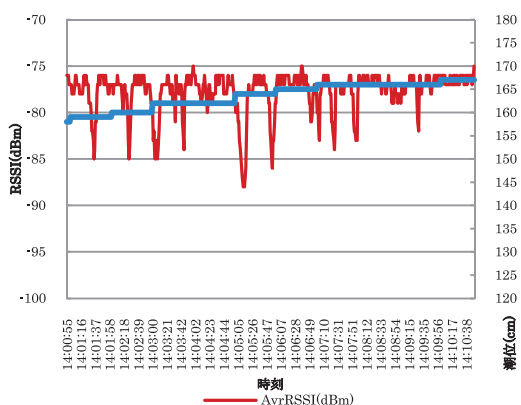


図3-1-26 V偏波 11月19日5回目

(時間帯平均有義波高0.41m 周期5.1S)

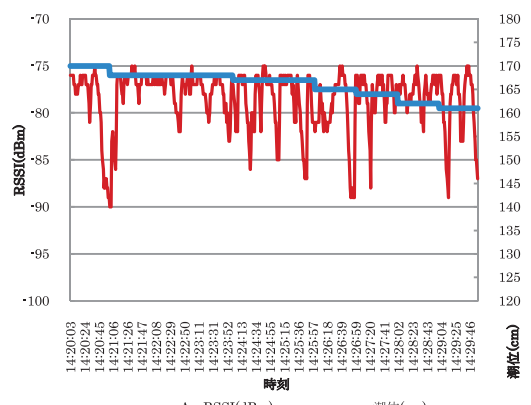


図3-1-27 H偏波 11月19日5回目

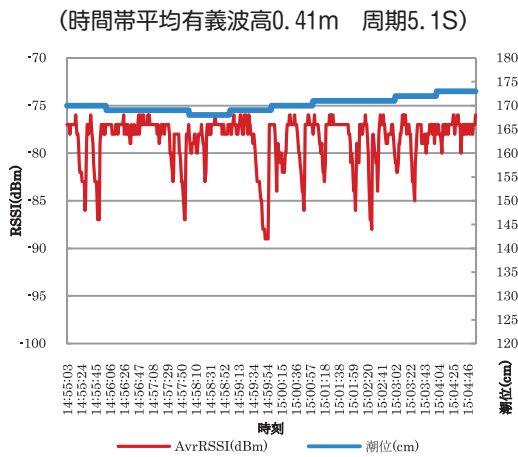


図3-1-28 V偏波 11月19日6回目

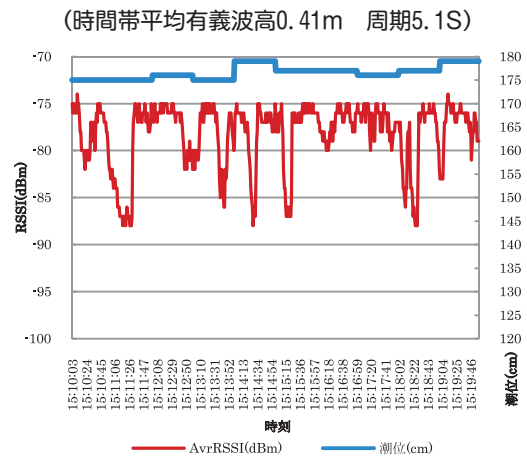


図3-1-29 H偏波 11月19日6回目

### ウ 結果に関する考察

図3-1-10～図3-1-29の各グラフの電波強度平均値と潮位平均値をそれぞれプロットして垂直偏波と水平偏波の二つのグラフに整理したものが図3-1-30及び図3-1-31である。

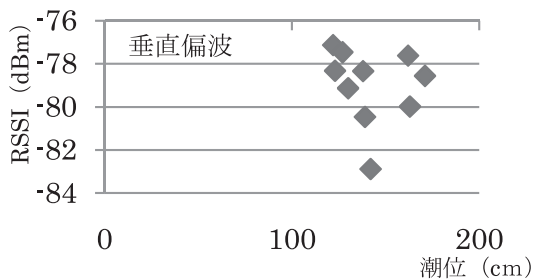


図3-1-30 潮位と平均RSSI (V偏波)

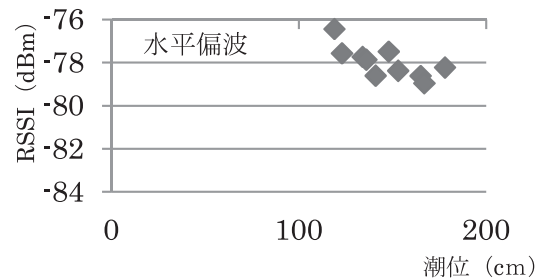


図3-1-31 潮位と平均RSSI (H偏波)

測定時間内の潮位変化は概ね1m以内であったが、少なくともこの範囲では、図3-1-28及び図3-1-29に示すとおり潮位と平均RSSIとの明確な相関関係は見られない。

また、偏波面の相違による平均RSSIの違いについても明確な違いは見られないが、水平偏波に比して垂直偏波のばらつきが若干大きいようである。

次にRSSIとパケットロス率についてであるが、パケットロス率はRSSIに対応した関数と考えることができるから、偏波面の違いが影響するとは考えにくく、図3-1-32からRSSIとパケットロス率が相反関係にあることが視える。

偏波面毎の平均RSSIについては、データの最大値及び最小値を除外した残りのデータから求めたが、垂直偏波 $-78.75\text{dBm}$ 、水平偏波 $-77.94\text{dBm}$ と殆ど相違ない結果となっている。

表 3-1-6 偏波面と平均RSSI, パケットロス率

V偏波	平均RSSI(dBm)	パケットロス率 (%)	H偏波	平均RSSI(dBm)	パケットロス率 (%)
1回目	-79.13	7.36	1回目	-77.86	9.83
2回目	-80.46	11.33	2回目	-78.61	1.67
3回目	-82.88	24	3回目	-78.38	5.67
4回目	-79.98	9.17	4回目	-78.96	7.5
5回目	-78.32	4.83	5回目	-76.44	0.33
6回目	-77.13	1.5	6回目	-76.57	2.5
7回目	-77.46	1.33	7回目	-77.73	4.67
8回目	-78.34	3.83	8回目	-77.49	2.17
9回目	-77.72	2	9回目	-78.62	2
10回目	-78.56	3.33	10回目	-78.24	3.33

1回目～4回目までは平成21年11月18日、5回目以降は平成21年11月19日に実施した。

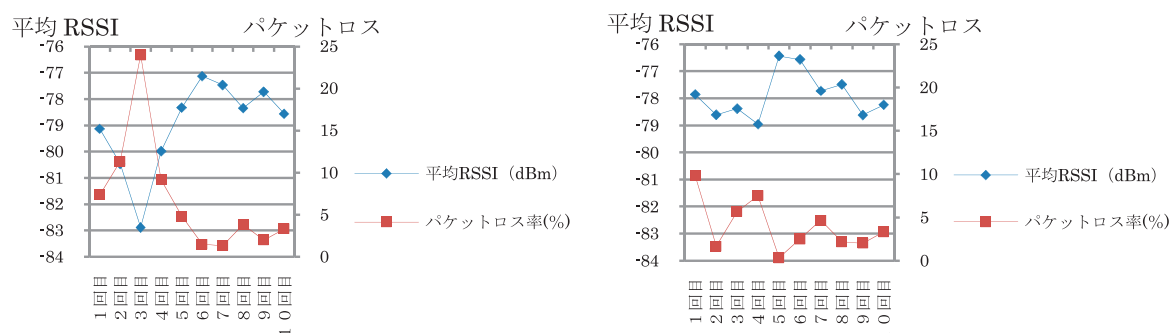


図 3-1-32 偏波面と平均RSSI,パケットロス率

## (2) 波浪の影響

### ア 試験の方法及び構成

純粹に波浪だけの影響を調べるためには送受信空中線の高さや位置を含め他の要素を不変にしなければならない。

しかし、今回の試験では、筏など洋上に漂浮する物に無線設備を設置した場合を想定し、実運用状態における様子を観察することを主眼としたため、陸上局とブイとの間で試験を行った。したがって、受信電力の変動は波浪による電波の反射状況及びアンテナの上下動に伴うハイトパターン並びにアンテナの左右動に伴う主輻射方向の3つのパラメータが反映されたものと考えられる。

試験は、洋上のブイから発射した電波を陸上に設置した5GHz帯無線アクセスシステム装置（SU-A-4.9-54-BD-VL）で受信し、RSSI及びS/N出力機能を利用し連続5分間、1秒間隔でデータを記録した。なお、このデータは別途取得した波浪等のデータと関連付けて評価した。

システム構成を図3-1-33に示す。

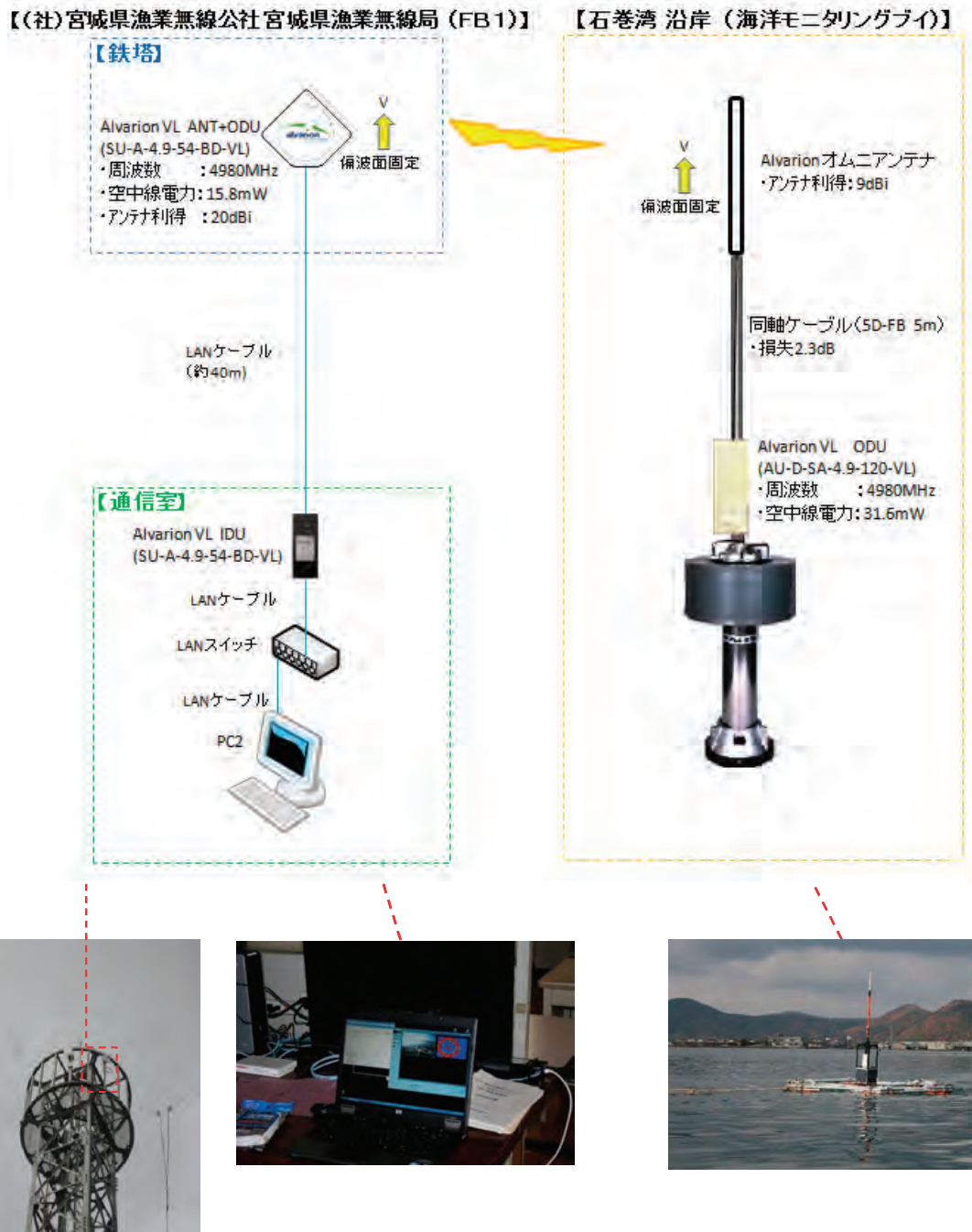


図3-1-33 波浪の影響を調べるためのシステム構成



## イ 試験結果

### (ア) 海面状況とRSSIの変動幅

図3-1-34～図3-1-36に「波が穏やかな状態」「波が少しある状態」「少し荒れている状態」の3つの容態で収集したデータを示す。

波が穏やかな状態	平成21年12月1日 12:24～12:29
時間帯平均有意波高:0.75m 周期:10.0S	

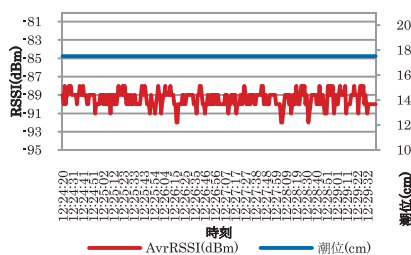


図3-1-34 穏やかな状態

波が少しある状態	平成21年12月4日 14:38～14:44
時間帯平均有意波高:0.8m 周期:8.9S	

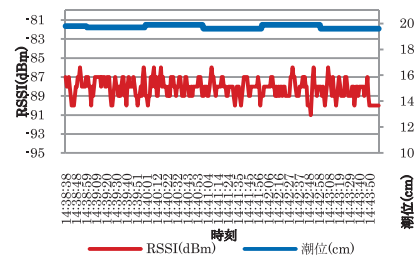


図3-1-35 波が少しある状態

少し荒れている状態	平成21年12月7日 16:53～16:59
時間帯平均有意波高:0.75m 周期:3.3S	

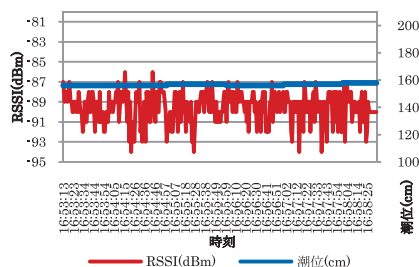


図3-1-36 少し荒れている状態

### ウ 結果に関する考察

図3-1-34～図3-1-36のグラフの元データから、それぞれの状態におけるRSSI値の平均値求め、その平均値からの偏差内にあるデータの頻度をヒストグラム化したものが図3-1-37～図3-1-39である。

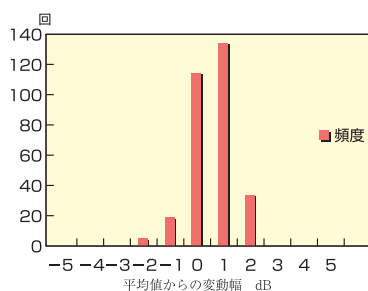


図3-1-37 穏やかな状態

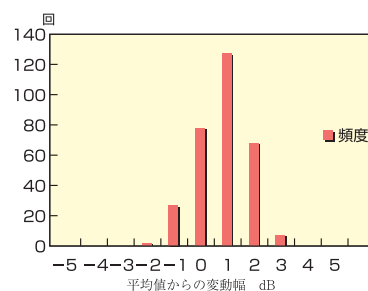


図3-1-38 波が少しある状態

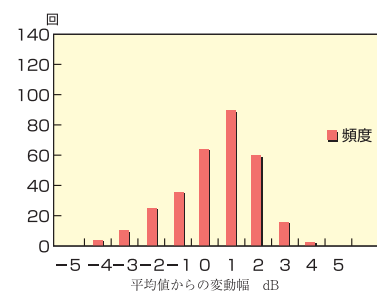


図3-1-39 少し荒れている状態

海面状態は目視による感覚で表現してあるが、いずれの場合でも有意波高値は0.75m～0.85mの範囲にあり、大きく異なるのは波の周期である。図3-1-37～図3-1-39に示すとおり、波の周期が短い程RSSIの揺れが大きくなる傾向にあった。

### (3) スペースダイバシティの効果に関する試験

#### ア スペースダイバシティについて

スペースダイバシティとは、複数（一般的には二つ）のアンテナを空間的に間隔をあけて配置し、それぞれのアンテナで受けた電波を切替えあるいは合成することで安定した通信状態を作る技術である。空間的に離して設置されたアンテナは互いに独立して存在していることが理想である。つまり、一方のアンテナで受信された信号と、他方のアンテナで受信された信号の変動に相関関係を持たないということである。このような条件とするためには、互いのアンテナを一定以上離す必要がある。

一方、ハイパターンは、直接波と反射波とが合成された時の位相関係でつくり、直接波と反射波の位相差は両者の伝搬行程差（距離差）及び反射係数の位相量により決まる。電波が強く受信できている状態では、直接波の位相を基準とすれば反射波の位相差はその基準から $\pm \pi/2$  (rad) 以内であり、反対に弱くなるときは互いに相殺されるような位相関係となっている。

上部アンテナに到達する直接波信号を $U_D(\theta_1)$ 、( $U_D$ を絶対値、 $\theta_1$ を偏角とする極形式の関数である意味。以下同じ。) 同反射波信号を $U_R(\theta_2)$ 、また、下部アンテナに到達する直接波信号を $L_D(\phi_1)$ 、同反射波信号を $L_R(\phi_2)$ とすれば、アンテナ間隔がハイパターンピッチの $1/2$ のときは、上部アンテナでの受信信号 $U_D(\theta_1) + U_R(\theta_2)$ と下部アンテナでの受信信号 $L_D(\phi_1) + L_R(\phi_2)$ の位相差は $\pi$  (rad) に近い値をとることとなり、一方のアンテナで受けた信号が強いとき、他方では弱くなる関係となり易い。

ここで、

$U_D$ : 上部アンテナに到達する直接波の振幅、 $\theta_1$ : 上部アンテナに到達する直接波の位相角

$U_R$ : 上部アンテナに到達する反射波の振幅、 $\theta_2$ : 上部アンテナに到達する反射波の位相角

$L_D$ : 下部アンテナに到達する直接波の振幅、 $\phi_1$ : 下部アンテナに到達する直接波の位相角

$L_R$ : 下部アンテナに到達する反射波の振幅、 $\phi_2$ : 下部アンテナに到達する反射波の位相角

とする。

なお、ハイパターンのピッチは送信周波数、送信アンテナ高、反射係数の位相、伝搬距離などをパラメータとする関数であり、例として、周波数4.95GHz、送信アンテナ高を2m、10m、35m、とした場合の伝搬距離に対応するハイパターンピッチの計算結果を図3-1-40に示す。

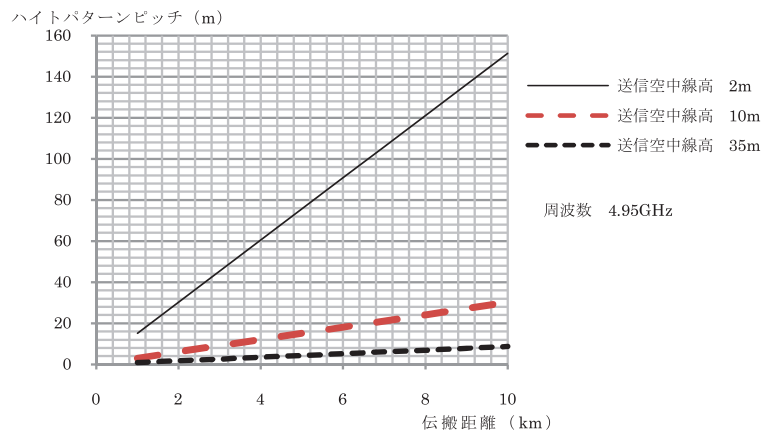


図3-1-40 送信アンテナ高の違いによる伝搬距離に対応するハイトパターンピッチ

図3-1-40から、以下の(ア)~(ウ)が言える。

- (ア) 送信アンテナ高が低いほど、ハイトパターンのピッチは大きい。(例えば、伝搬路長10km地点で、送信アンテナ高2mの時のハイトパターンピッチは150mにもなる)
- (イ) 伝搬路長に比例してハイトパターンピッチも大きくなる。
- (ウ) 陸上局と海上に浮かぶ局との通信では、海上に浮かぶ局が波により上下に動揺した場合、その地点におけるハイトパターンのピッチが大きいほど、アンテナ上下の動きに対する受信電波強度の変化が少ない。反対に送信点近傍ではハイトパターンピッチが小さいので、受信アンテナの僅かな上下動に対しても受信電波強度が敏感に反応するであろうとの推測が成り立つ。

#### イ 試験の方法及び構成

試験システムの構成を図3-1-41に示す。

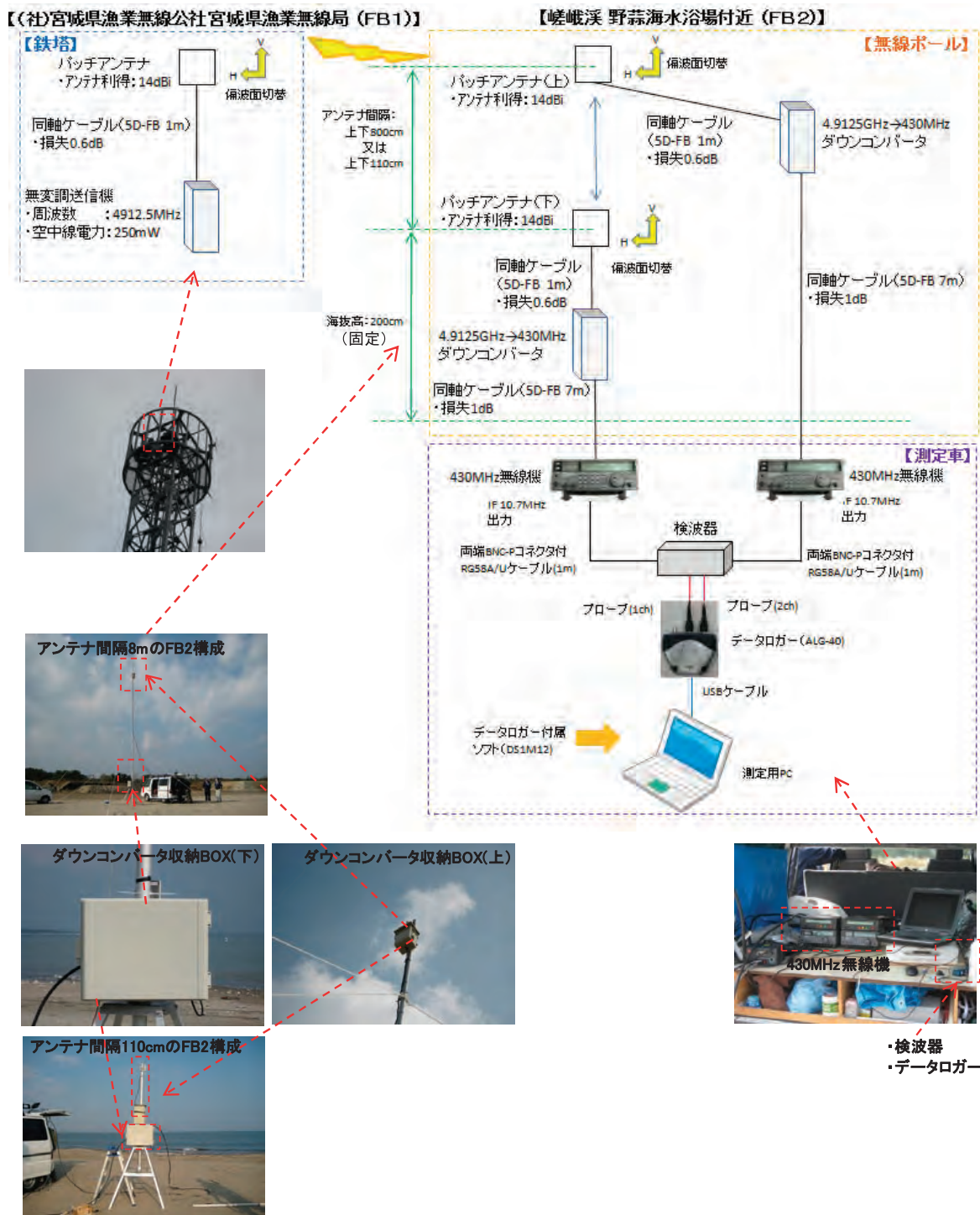


図3-1-41 スペースダイバシティ試験のシステム構成



宮城県漁業無線公社無線塔（海拔高約31m）に5 GHz帯の無変調連続波を送信する送信装置を設置し、約17.4km離れた海岸に上下二つのアンテナでスペースダイバシティを構成して受信した。

今般の試験で使用した5 GHz帯無線アクセスシステム装置は、RSSIを約1秒間隔で出力する機能を有しているが、複数の装置からのデータ出力しようとした場合、それらを同一時刻でサンプリングできない。（同期がとれない）このため、二つのアンテナで受信したそれぞれの信号を同一時刻で観測することができない。そこで、図3-1-41のように上下のアンテナでそれぞれ5 GHz帯を受信し430MHz帯に周波数変換するダウンコンバータを接続し、その出力を各々UHF帯受信機に入力し中間周波数（10.7MHz）で外部に取り出した。各受信機から出力された10.7MHzの中間周波信号は外部検波器で直流電圧の変動に変換し2CHデータロガーを使用して0.1秒間隔で同一時間軸で記録した。

二つの信号系は総合変換利得等を揃える必要があるため、受信機は予め複数の装置から高周波信号入力レベル対中間周波数（10.7MHz）出力特性が一致するものを選別した。（図3-1-42参照）

また、UHF帯受信機はAGC機能をオンにすると10.7MHzの中間周波数出力電圧が圧縮され後のデータ解析に不都合である。このため、この機能をオフとし受信装置のIFフィルター通過帯域幅は15kHzに設定した。

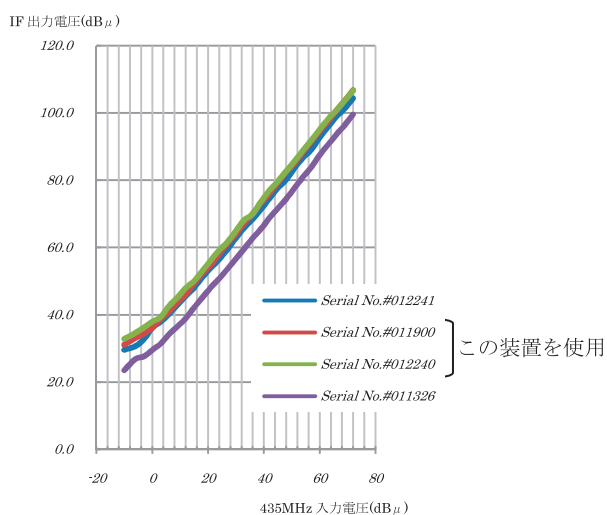


図3-1-42 UHF受信機の特性

表3-1-7 試験タイムテーブル

実施日	アンテナ間隔	測定時間	偏波面
10/28(水)	8 m	12:10~12:40	H
		13:45~14:15	V
	110cm	14:35~15:05	V
		15:17~15:47	H
11/13(金)	8 m	11:10~11:40	H
		14:02~14:32	V
	110cm	14:54~15:24	V
		15:31~16:01	H



1回目の試験は、平成21年10月28日にアンテナ間隔を約8m（アンテナ（上）海拔10m、アンテナ（下）海拔高2m）と約1.1m（アンテナ（上）海拔高3.1m、アンテナ（下）海拔高2m）で、水平及び垂直に偏波面を切り替えてそれぞれ連続30分間測定した。2回目の試験は平成21年11月13日に1回目と同様の手順で実施した。スケジュールを表3-1-7に示す。

### ウ 試験結果

試験結果を図3-1-43～図3-1-50に示す。

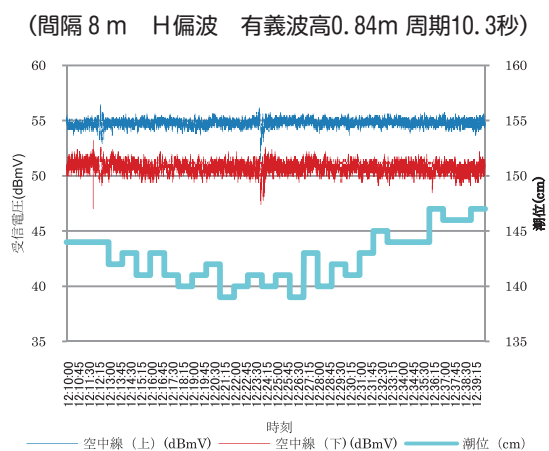


図3-1-43 10月28日 H偏波 間隔8m

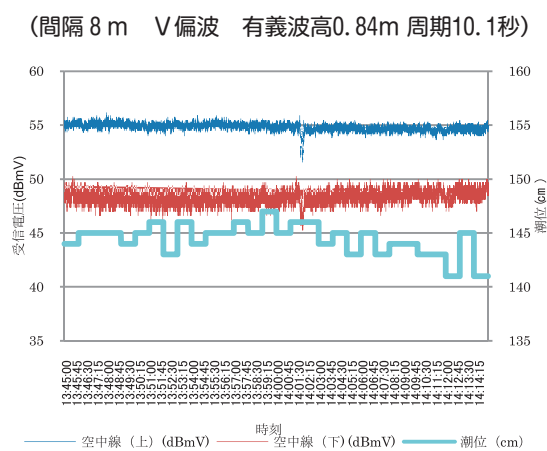


図3-1-44 10月28日 V偏波 間隔8m

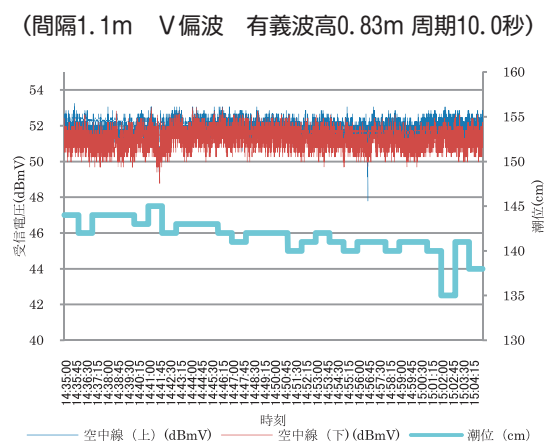


図3-1-45 10月28日 V偏波 間隔1.1m

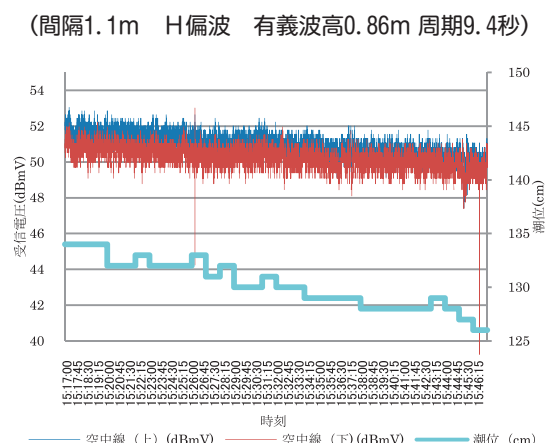


図3-1-46 10月28日 H偏波 間隔1.1m

(間隔1.1m H偏波 有義波高0.75m 周期4.9秒)

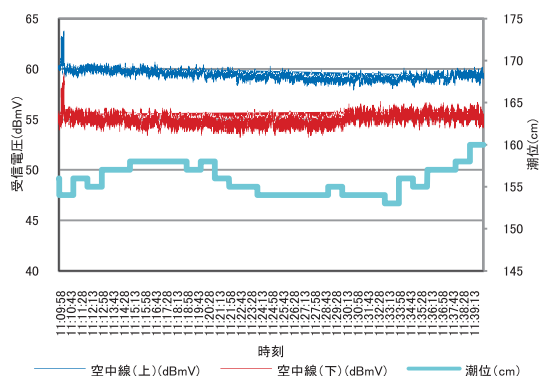


図 3-1-47 11月13日 H偏波 間隔 8 m

(間隔1.1m V偏波 有義波高0.65m 周期5.1秒)

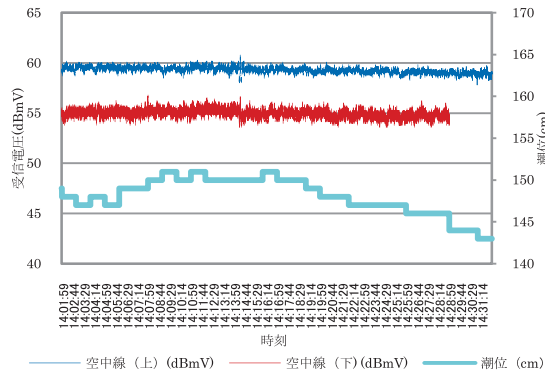


図 3-1-48 11月13日 V偏波 間隔 8 m

(間隔1.1m V偏波 有義波高0.64m 周期5.2秒)

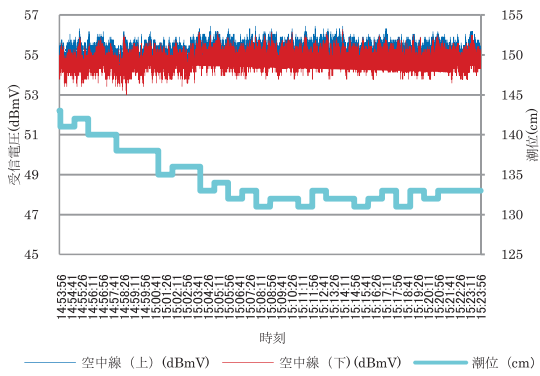


図 3-1-49 11月13日 V偏波 間隔1.1m

(間隔1.1m H偏波 有義波高0.63m 周期5.3秒)

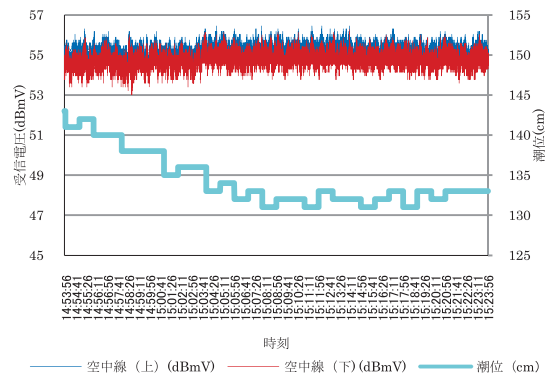


図 3-1-50 11月13日 H偏波 間隔1.1m

## エ 結果に関する考察

### (ア) 試験における伝搬路

一般に固定マイクロ波通信等においては、送受信アンテナは地面や海面でフレネルゾーンを含めた伝搬路が遮断されないような高い位置に設置され、そのような条件でスペースダイバシティを構成する。

5GHz帯無線アクセスシステムを海上で移動体通信として使用する場合、ほとんどは伝搬路が海面から近い位置となる。今回の試験ではそのような状況を想定しているものであるため、固定マイクロ波通信のようなアンテナ高としていない。

まず、試験の伝搬路が見通しの範囲にあったかを確認する。見通し距離  $r$  (km) は標準的な大気のもとでは、次式により近似できる。

$$r = 4.12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ (km)} \quad \begin{array}{l} h_1: \text{送信アンテナ海拔高 (m)} \\ h_2: \text{受信アンテナ海拔高 (m)} \end{array}$$

宮城県漁業無線公社鉄塔に設置した送信アンテナ海拔高  $h_1$  は 31 (m)、東松島市野蒜海岸に設置した受信アンテナ海拔高は最も低く設定したとき 2 (m) であったから、このときのアンテナ海拔高を  $h_2$  とすると、見通し可能となる距離  $r$  は約 28.8 (km) である。よって、試験の環境は見通し距離の範囲内にあると言える。

さて、図 3-1-43～図 3-1-50 までのグラフを見ると、高い位置のアンテナによる受信電力が低い位置のものを常に上回っている。この原因として考えられるものは、フレネル損失の違いとハイトパターンである。

最初にフレネルゾーンについて検討してみる。

電波が大きな損失を伴わないで伝送されるためには、見通し距離の範囲であることに加えて伝搬路の周りに一定の幅を確保する必要がある。この領域をフレネルゾーンと呼んでおり、これが地面や海面、建物等に一定割合以上遮断されると電波は著しく減衰することが知られている。

計算の結果、間隔を 1.1m としたときの伝搬路は図 3-1-51 に示すとおり、上下のアンテナの伝搬路は共に海面がフレネルゾーン内に侵入しており、特に下部アンテナの伝搬路の侵入割合が大きい。なお、間隔を 8m としたときは、上部アンテナの伝搬路はフレネルゾーン内に海面が入らないが下部アンテナの伝搬路はフレネルゾーン内に海面が侵入している状態となる。

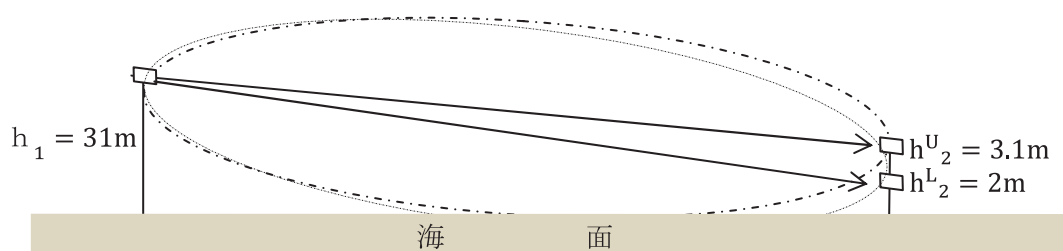


図 3-1-51 スペースダイバシティ試験時の電波伝搬路

なお、伝搬路上の任意の点 P における第 1 フレネルゾーンの半径  $R_1$  は次式で与えられる。

$$R_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \text{ (m)}$$

$d_1$ : 送信点から P までの距離 (m)

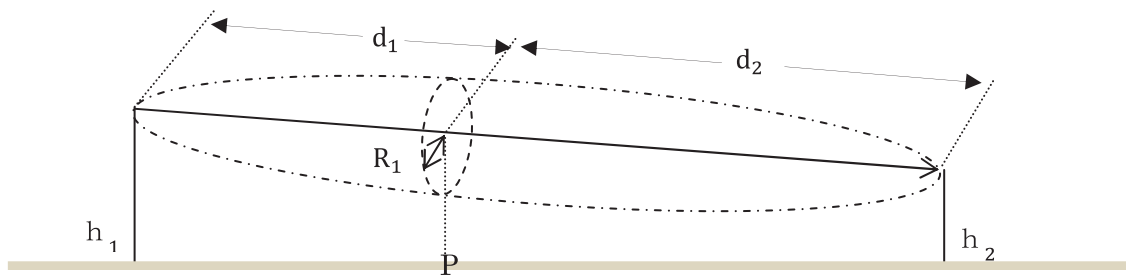


図 3-1-52 伝搬路長とフレネルゾーン

フレネルゾーンの半径は伝搬路の中心部で最も大きくなり、送受信点に近くなる程小さくなる。試験での送受信点間の距離はおよそ17.4kmであるから、周波数5GHzでは図3-1-53に示すように変化し、その半径は最大約16.2mになっている。

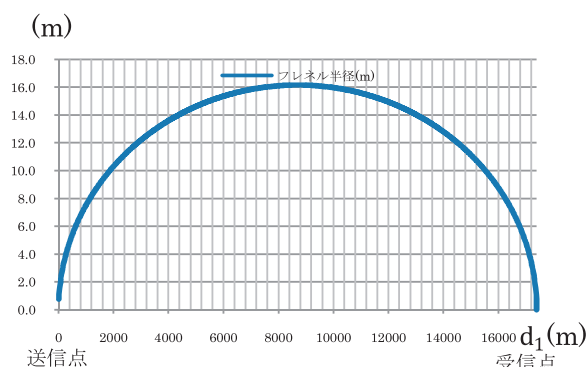


図 3-1-53 試験区間のフレネルゾーン半径

次にハイトパターンについて検討してみる。受信点における受信電力と送信電力の比  $\frac{P_{RX}}{P_{TX}}$  は、反射波が完全反射（反射係数  $\gamma = -1$ ）するものと考えると次のフリスの伝達公式により計算できる。

$$\frac{P_{RX}}{P_{TX}} = \left( \frac{\lambda}{2\pi d} \right)^2 G_T G_R \sin^2 \left( \frac{\Delta\phi}{2} \right)$$

- $P_{RX}$  : 受信電力
  - $P_{TX}$  : 送信電力
  - $h_T$  : 送信アンテナ高
  - $h_R$  : 受信アンテナ高
  - $G_T$  : 送信アンテナ利得
  - $G_R$  : 受信アンテナ利得
  - $\lambda$  : 波長
  - $d$  : 送受信点間距離
- $$\Delta\phi = \frac{4\pi h_T h_R}{\lambda d}$$

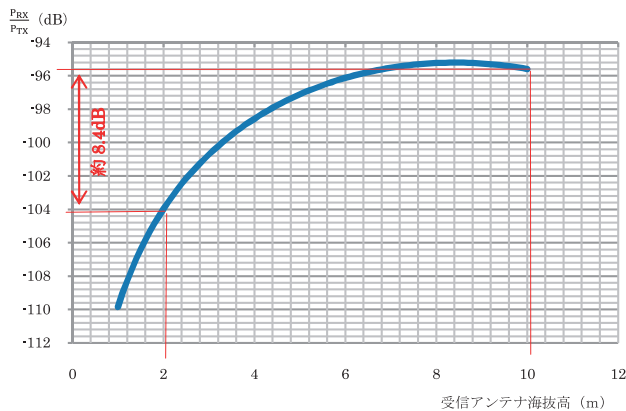


図3-1-54 受信点におけるハイトパターン計算値

図3-1-54から上部アンテナの海拔高を10m、下部アンテナの海拔高を2mとし両アンテナ間隔を8mとした場合、上下の受信電力の差は約8.4dBであることが分かる。

実際の試験結果を見ると、図3-1-43、図3-1-44、図3-1-47及び図3-1-48のとおり上部アンテナ海拔高が10mでアンテナ間隔が8mの場合、レベルの差は5dB前後であり、計算値よりも僅かに小さい値となっている。また、図3-1-45、図3-1-46、図3-1-49及び図3-1-50のとおり上部アンテナ海拔高が3.1mでアンテナ間隔が1.1mの場合、上限アンテナの受信電力の差は1~2dB程度であり、やはり計算値約3.5dBよりも僅かに小さな値となっている。

さて、本試験では、前述のとおりフレネル損失の相違とハイトパターンの影響と思われる理由により、上部アンテナの受信電力が下部のものを常に上回る結果となり、二つの受信電力値が時間の経過とともに交錯する事象は観測できなかった。したがって、今回の試験結果だけでスペースダイバシティ効果について評価するにはデータが足りない。伝搬距離やアンテナ間隔を変え、海面が荒れたときのデータも取得するなどして更なる試験が必要である。

図3-1-54は今回のスペースダイバシティ試験を行った以下の条件において受信点のハイトパターンを計算したものである。

- ・送信アンテナ海拔高：31m
- ・送受信アンテナの利得：15dBi
- ・給電線等の付加損失は無いものとする



#### (4) 回線の品質と到達距離に関する試験

##### ア 試験の方法及び構成

試験システムを図3-1-55に示す。

本試験では、5GHz帯無線アクセスシステムを搭載した小型船舶が陸上局から遠ざかる方向に移動しながら、1. 電波強度、2. パケットエラーレート、3. スループット (IPv4、IPv6) 4. ジッタの測定を行い、距離と回線品質の調査を実施した。

なお、測定ポイントは陸上局から4.3km、6km、7.4km、9.1km、12.7kmの各点とし、測定の際は停船した。1から4までの各測定方法についてその概要を以下に記す。

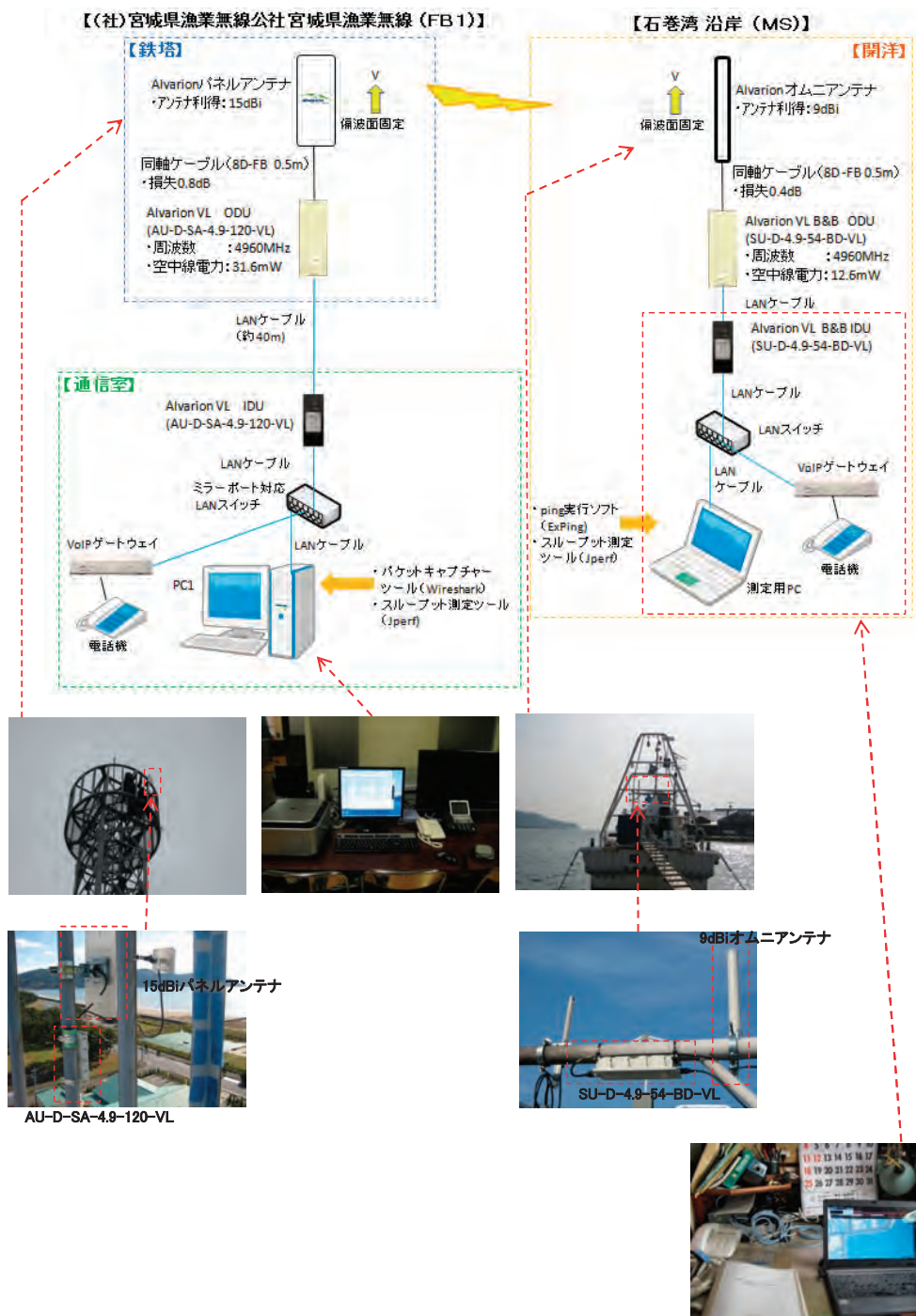


図 3-1-55 回線品質と到達距離の試験システム

(ア) 電波強度

5 GHz帯無線アクセスシステム装置 (SU-D-4.9-54-BD-VL) のRSSI及びS/N出力機能を使用し、陸上から発射された電波を船舶側で受信し連続10分間、1秒間隔でデータを蓄積した。なお、このデータは別途取得した潮位データとの関連性も調査

した。

#### (イ) パケットエラーレート

本試験で使用する5GHz帯無線アクセスシステム装置(AU-D-SA-4.9-120-VL及び、SU-D-4.9-54-BD-VL)は無線装置出力端でパケットエラーレート及びビットエラーレートに関するデータ出力機能を有していない。このため、このままでは電波伝搬状況に対応するパケットエラーレート及びジッタ値を測定することはできない。

しかしながら、5GHz帯無線アクセスシステム装置は通常IPネットワークの無線ブリッジとして使用されるものであり、LANインターフェースに接続されるネットワーク機器間で測定することで、実用上の値として見なすことが可能と考える。そこで、5GHz帯無線アクセスシステム装置の有線側(LANインターフェース)に接続するネットワーク機器をPCとし、ネットワーク診断プログラム“ping”によりパケットエラーレートを算出することとした。

pingはICMP(Internet Control Message Protocol)を使用した、ネットワーク疎通試験で最も利用されているプログラムであり、再送なしの固定長パケットサイズで一定間隔連続送信可能であることから、無線区間でフラグメントが生じないようなサイズに固定したICMPパケットを一定間隔で一定回数送信し、対向側での受信数と比較することによってパケットロス(パケットエラーレート)を求めることができる。

本試験では、送信するICMPパケット(ICMP Echo Request)を以下の通り規定した。

- ・パケット長：64バイト
- ・送信間隔(タイムアウト時間)：1,000msec
- ・送信回数：600回(約10分間)
- ・送信先：FB1のPC1(IPアドレス 192.168.254.100)
- ・送信元：MSの測定用PC(IPアドレス 192.168.254.110)

船舶に搭載した測定用PCから前述のパケットを、電波強度の測定開始と出来るだけ同時に送出を開始し、陸上局のPCで到達パケットをキャプチャした。陸上局のキャプチャデータの中から、船舶側の測定用PCから陸上のPCに宛てたICMP Echo Requestパケットを抽出し、送信数(600)との比よりパケットエラーレートを算出した。

なお、試験で用いたソフトウェアは以下の通りである。

- ・船舶側試験用PC：ping実行ソフト Exping Version3.3
- ・陸上側PC：パケットキャプチャーソフト Wireshark 1.2.4

#### (ウ) スループット(TCP/IPv4、TCP/IPv6)

本試験では、ネットワーク帯域幅測定ツール“Jperf”による評価を行う。

“Jperf”は、WIDE (Widely Integrated Distributed Environment) プロジェクト等で、ネットワークのスループット性能を測定する為に利用されているフリーソフト“iperf”のGUI版であり、メモリー toメモリーのデータ伝送を行う為、一般的なスループット測定ツールよりPC性能への依存度が低い。

また、TCP/IPv4及びTCP/IPv6の両方に対応していることから、本試験では“Jperf”を使用し試験を実施した。陸上側のデータを船舶側でダウンロードし、速度の計測を行う為、陸上側の“Jperf”をサーバ、船舶側の“Jperf”をクライアントとして設定し、各測定点で次の条件で測定を実施した。

- ・ダウンロード時間：60sec/セット
- ・セット数：IPv4、IPv6ごとに3回

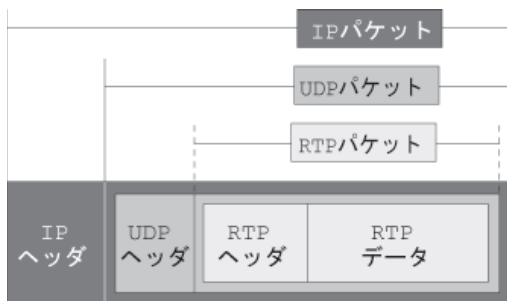
3回の平均スループットを算出し、電波強度との比較を行った。なお、試験で用いた“Jperf”は以下の通りである。

- ・陸上局 PC：jperf-2.0.2
- ・船舶側試験用PC：jperf-2.0.2

#### (E) ジッタ (UDP/IP)

ジッタの測定には、UDPと組み合わせられて利用するRTP (Real-time Transport Protocol、RFC1889規定)を用いる。RTPは、音声や動画などのデータストリームをリアルタイムに配送する為のデータ転送プロトコルであり、ほぼ全てのVoIP関連製品はRTPを利用して音声情報をIPネットワーク上に送出している。

RTPヘッダ部には、図3-1-56のとおり、1パケット毎に1増加する“シーケンス番号”と、RTPペイロード部 (IP化された音声データを格納) に含まれる最も古いデータが発生した時刻 (実時間ではない) が格納され、この情報を利用することにより、受信側で送信側のパケット送出タイミングを復元することができる仕組みである。



- ① RTPパケットはUDPパケットのデータ部に格納される
- ② タイムスタンプ・フィールドにRTPデータの同期（時間的関係）情報を格納する

(1) RTPパケットのフォーマット



(2) RTPパケットのヘッダ・フォーマット

- |   |   |
|---|---|
| <p>V : Version、RTPのバージョン番号。RFC 1889では2</p> <p>P : Padding、パディング、調整用ビット</p> <p>X : Extension、拡張ビット</p> <p>CC : CSRC Count、貢献ソース識別子</p> | <p>CSRC : Contributing Source、貢献ソース</p> <p>M : Marker、マーカ</p> <p>PT : Payload Type、ペイロード・タイプ</p> <p>SSRC : Synchronization Source、同期ソース</p> |
|---|---|

RTPパケット・フォーマット

出典 : IRI Commerce and Technology, Inc  
 ( <http://dictionary.rbbtoday.com/Details/term1896.html> )

図 3-1-56 TRPパケット・フォーマット

また、符号化コーデックやサンプリング間隔によって異なるが、パケットサイズ及び送出タイミングが常に一定であるため、送出タイミングと受信タイミングの差分を取ることによって、ジッタを計測することができる。実際、市販IP電話システムの通話の揺らぎ（ジッタ）補正機能にこの仕組みが利用されている。

本試験では、陸上側及び船舶側にIP電話装置（VoIPゲートウェイ＋一般電話機）を設置し、ITU-T G. 711  $\mu$ lowで符号化された音声データが乗るRTPパケットでの通信を行った。パケットサイズと送出間隔は以下の通りである。

- ・ RTPパケットサイズ：214バイト長
- ・ 送出間隔：20msec



- ・ 送出先：FB 1 のVoIPゲートウェイ (IPアドレス 192.168.254.10)
- ・ 送出元：MSのVoIPゲートウェイ (IPアドレス 192.168.254.20)

陸上側でRTPパケットをキャプチャしジッタを解析するため、陸上側のPCにパケットキャプチャツール “Wireshark” をインストールした。“Wireshark” は無償ソフトウェアであるが、RTP解析機能等を有し、公的機関及び民間研究機関の実験にも使用実績のある信頼性の高いツールである。はじめに、陸上側のPCでWiresharkを起動しキャプチャを開始させておく。キャプチャ開始後、陸上側及び船舶側双方のIP電話機で通話を確立し、船舶側IP電話機を保留状態にして陸上側に保留音を流した。

保留音開始から3分間のキャプチャデータのRTPパケットをWiresharkの “RTP Stream Analysis” 機能により解析し、ジッタを算出した。

本試験では、1測定につき1回実施した。また、試験では “Wireshark” はVersion 1.2.2を用いた。

## イ 試験結果

陸上側から4.3km、6 km、7.4km、9.1km及び12.7kmの各点で停船して、船側のアンテナを5 dBiオムニ、9 dBiオムニに交換してRSSIを測定した結果は図3-1-57～図3-1-65のとおりである。なお、偏波面はいずれも垂直である。

### 《4.3km》

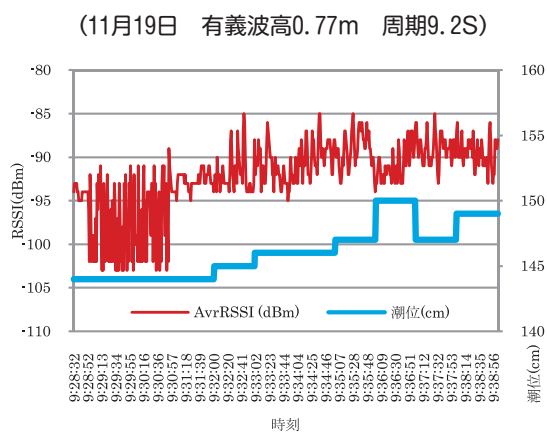


図3-1-57 9 dBi 4.3km

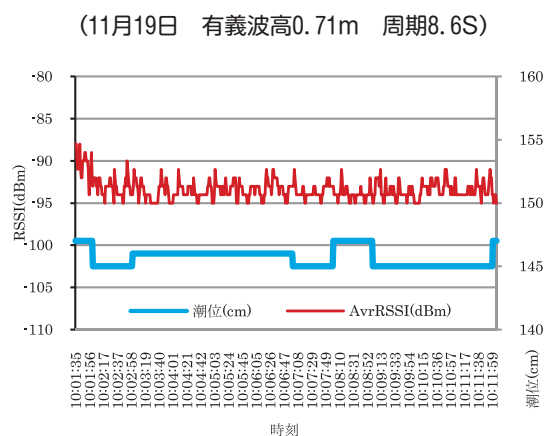


図3-1-58 5 dBi 4.3km

## 《6 km》

(11月19日 有義波高0.69m 周期8.9S)

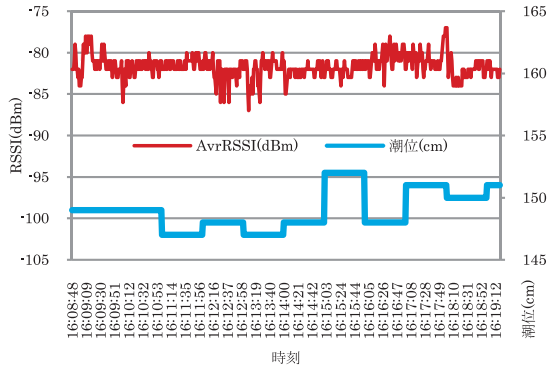


図 3-1-59 9 dBi 6 km

(11月19日 有義波高0.78m 周期9.4S)

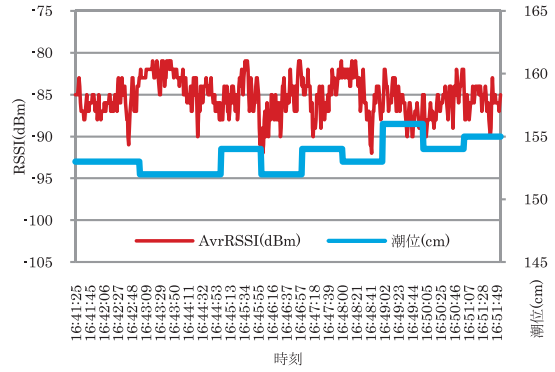


図 3-1-60 5 dBi 6 km

## 《7.4km》

(11月19日 有義波高0.70m 周期8.8S)

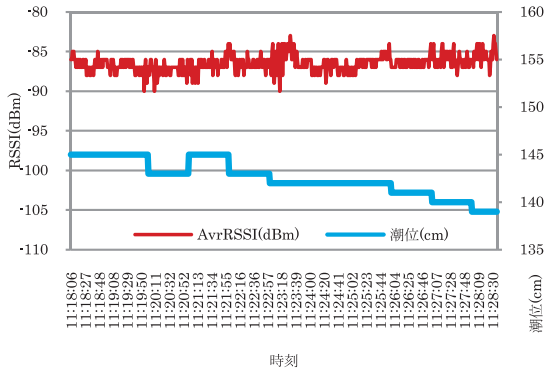


図 3-1-61 9 dBi 7.4km

(11月19日 有義波高0.70m 周期8.9S)

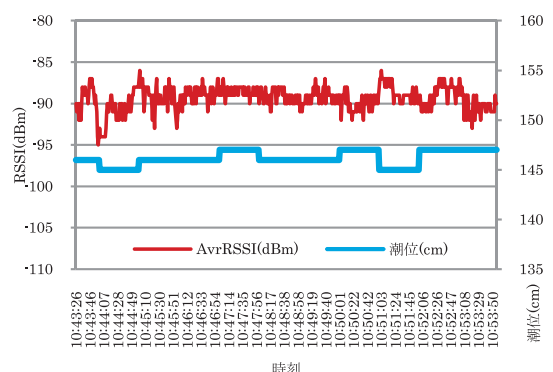


図 3-1-62 5 dBi 7.4km

## 《9.1km》

(11月19日 有義波高0.67m 周期8.7S)

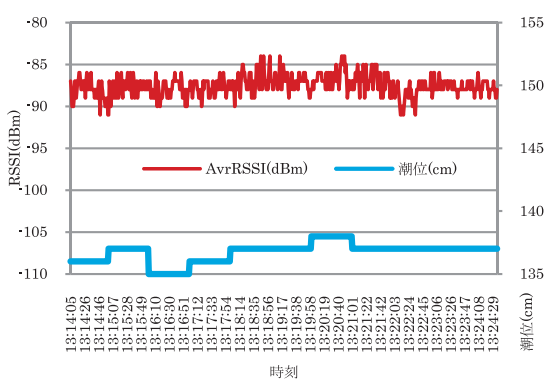


図 3-1-63 9 dBi 9.1km

(11月19日 有義波高0.65m 周期8.7S)

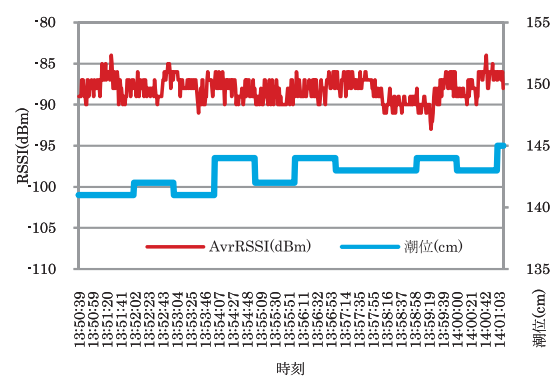


図 3-1-64 5 dBi 9.1km

## 《12.7km》

(11月19日 有義波高0.79m 周期9.6S)

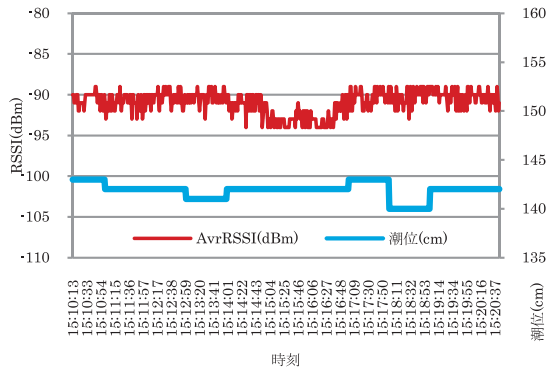


図 3-1-65 9 dBi 12.7km

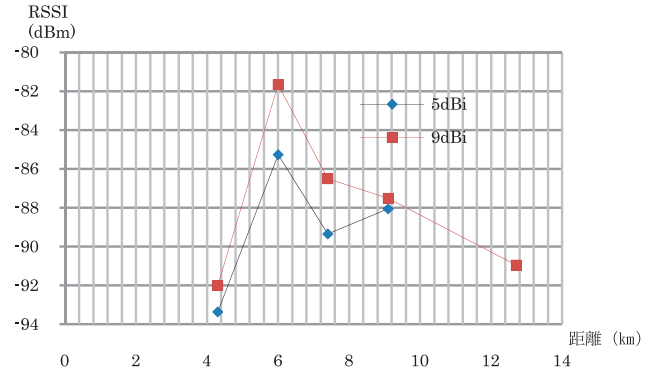


図 3-1-66 船舶側のアンテナを替えたときの電波強度

図 3-1-57～図 3-1-65からは電波強度と潮位との関連性は見られない。また、図 3-1-57～図 3-1-65を船舶側のアンテナの違いによる電波強度のグラフに書き換えると、図 3-1-66のとおりとなる。

パケットエラーレートについての試験結果を表 3-1-8、図 3-1-67及び表 3-1-9、図 3-1-68に示す。

表 3-1-8 9 dBiアンテナの結果

距離(km)	平均電波強度 (dBm)	電波強度標準偏差	パケットロス (数)	パケットロス (%)
4.3	-92.00	1.18	519	86.50
6.0	-81.67	1.32	8	1.33
7.4	-86.50	1.03	11	1.83
9.1	-87.52	1.40	26	4.33
12.7	-90.95	1.35	256	42.67

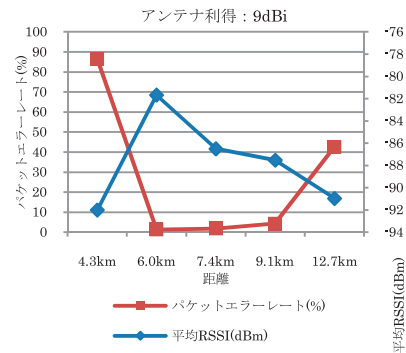


図 3-1-67 表 3-1-8のグラフ化

表 3-1-9 5 dBiアンテナの結果

距離(km)	平均電波強度 (dBm)	電波強度標準偏差	パケットロス (数)	パケットロス (%)
4.3	-93.36	3.38	295	49.17
6.0	-85.27	2.21	23	3.83
7.4	-89.35	1.40	35	5.83
9.1	-88.06	1.18	26	4.33

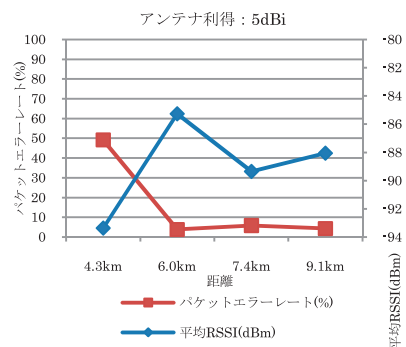


図 3-1-68 表 3-1-9のグラフ化

スループットについての試験結果を表 3 - 1 - 10、図 3 - 1 - 69及び表 3 - 1 - 11、図 3 - 1 - 70に示す。

表 3 - 1 - 10 9 dBiアンテナの結果

距離 (km)	平均電波強度 (dBm)	電波強度標準偏差	IPv 4 スループット (kbps)	IPv 6 スループット (kbps)
4.3	-92.00	1.18	通信不安定の為、測定不可	通信不安定の為、測定不可
6.0	-81.67	1.32	7,622.18	6,569.66
7.4	-86.50	1.03	6,745.53	5,368.87
9.1	-87.52	1.40	5,999.46	5,178.06
12.7	-90.95	1.35	1,215.00	3,903.41

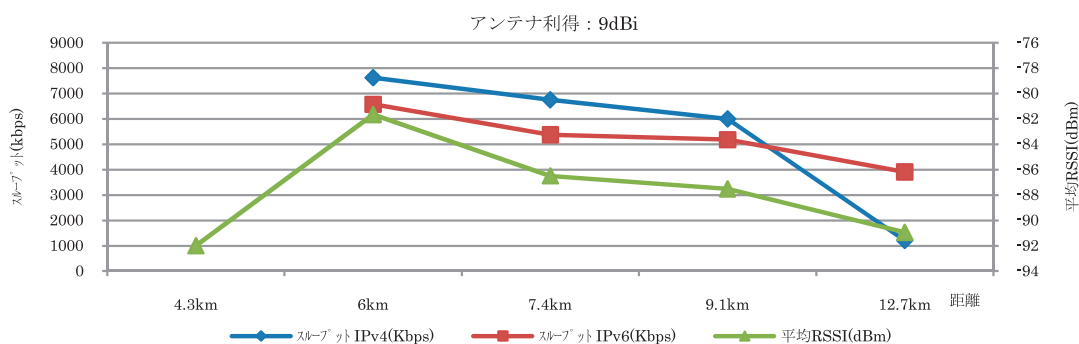


図 3 - 1 - 69 表 3 - 1 - 10のグラフ化

表 3 - 1 - 11 5 dBiアンテナの結果

距離 (km)	平均電波強度 (dBm)	電波強度標準偏差	IPv 4 スループット (kbps)	IPv 6 スループット (kbps)
4.3	-93.36	3.38	通信不安定のため測定不可	通信不安定のため測定不可
6.0	-85.27	2.21	5,381.53	4,827.49
7.4	-89.35	1.40	4,846.51	4,405.50
9.1	-88.06	1.18	4,794.69	4,641.13

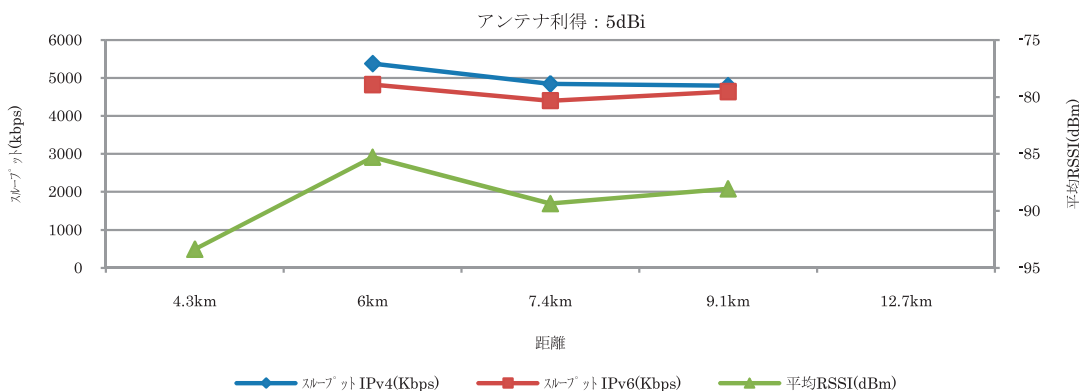


図 3 - 1 - 70 表 3 - 1 - 11のグラフ化

ジッタについての試験結果を表3-1-12、図3-1-71及び表3-1-13、図3-1-72に示す。

表3-1-12 9 dBiアンテナの結果

距離(km)	平均電波強度(dBm)	電波強度標準偏差	平均ジッタ(msec)	最大ジッタ(msec)	RTPロスト パケット率(%)
4.3	-92.00	1.18	通信不安定のため測定不可	通信不安定のため測定不可	通信不安定のため測定不可
6.0	-81.67	1.32	1.14	35.79	0.58
7.4	-86.50	1.03	1.08	20.01	0.13
9.1	-87.52	1.40	2.64	40.58	2.57
12.7	-90.95	1.35	10.79	58.03	21.76

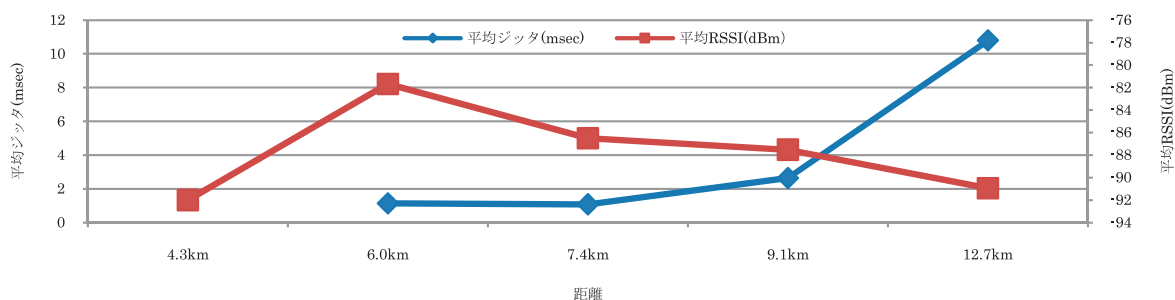


図3-1-71 表3-1-12のグラフ化

表3-1-13 5 dBiアンテナの結果

距離(km)	平均電波強度(dBm)	電波強度標準偏差	平均ジッタ(msec)	最大ジッタ(msec)	RTPロスト パケット率(%)
4.3	-93.36	3.38	通信不安定のため測定不可	通信不安定のため測定不可	通信不安定のため測定不可
6.0	-85.27	2.21	0.09	26.28	0.92
7.4	-89.35	1.40	3.23	45.74	2.49
9.1	-88.06	1.18	3.13	44.55	1.08

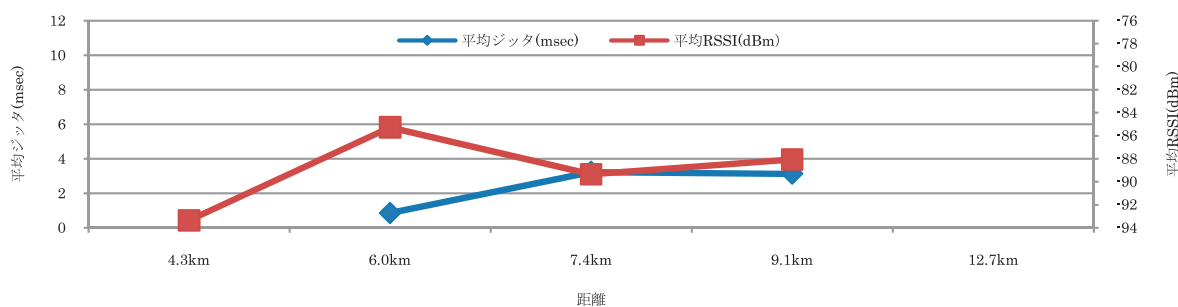


図3-1-72 表3-1-13のグラフ化



## ウ 結果に関する考察

### (ア) RSSIと通達距離

陸から4.3kmの測定点でRSSIが低下しているが、図3-1-73のとおり当該地点から陸上局を見た仰角は計算上約0.36°であり、この点以遠の地点から見た仰角と比較しても極僅かの違いしかない。

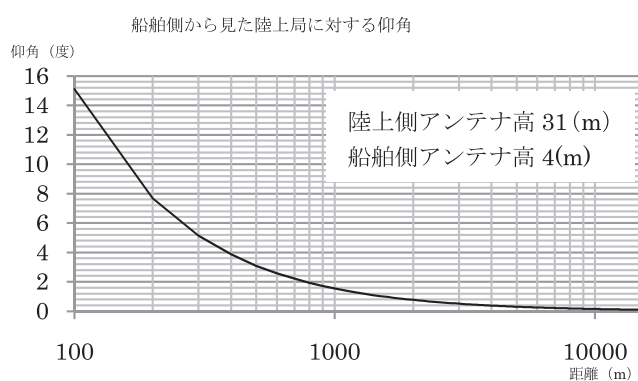


図3-1-73 船舶側からみた陸上局に対する仰角

したがって、この原因は船側及び陸上側のアンテナの垂直面内指向特性によるものとは考えにくく、この地点は直接波と反射波の位相関係による受信電力の谷間の位置にあったものと推測する。参考までに、今回の試験条件である陸上局のアンテナ高31m、船舶側のアンテナ高を4mとしたとき2波モデルとしてフリスの伝達公式による計算結果を図3-1-74に示す。

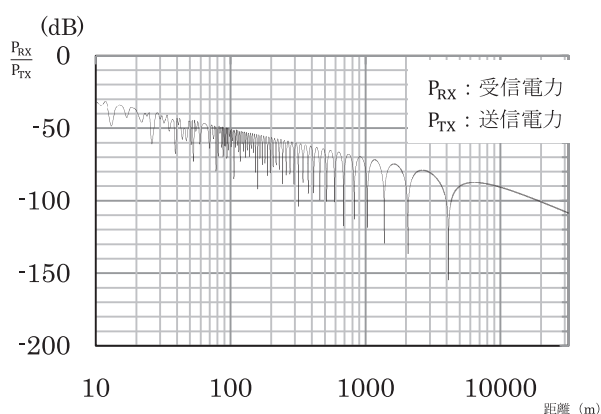


図3-1-74 陸上局から距離と  $\frac{P_{RX}}{P_{TX}}$  の関係

図3-1-74から、或る距離（図3-1-74では約5km）以内では受信点の位置を僅かに移動ただけで、受信電力が数dB～数十dBの範囲で急激に変化することが推測でき、試験の結果でもこのような傾向が確認できた。

なお、船舶は様々な方向に向きを変えて航行することから、特別なアンテナ追尾設備を持たない限り船舶側に設置するアンテナは水平面内無指向とする必要があり、今回のような絶対利得が5～9 dB程度の場合通信可能距離は最大10km～15km程度と考える。

#### (イ) パケットエラーレート

パケットエラーレートは一義的にはRSSI及びS/Nに依存すると考えられる。このことは図3-1-32、図3-1-67及び図3-1-68からもその傾向が窺える。なお、受信電力が限界値に近づくと急激に悪化している。

#### (ウ) スループット

パケットエラーレートと同様に受信電波が弱くなるとスループットも低下する傾向が見られる。また、IPv4及びIPv6のスループットに大きな差は見られなかった。船舶側アンテナに利得9 dBiのものを使用し12.7km地点で試験した結果では、IPv6の方がIPv4と比較して倍程度出ているが、これは試験中の船舶の動揺状態が異なったためと思われ、本質的なものではないと考える。

総合的な評価として、利得9 dBiのアンテナを用いた場合のスループットは4 Mbps～6 Mbps、また、利得5 dBiのアンテナを用いた場合は4 Mbps～5 Mbps程度と言える。

#### (エ) ジッタ

一般にUDP (RTP) パケット通信は、映像や音声等のリアルタイム通信に使用され通話が途切れる限界はおよそ150msecとされている。今回の試験では、一般にVoIPで許容される値である150msec内に平均値、最大値ともに収まっており、洋上での通信が特にジッタ値を悪化させる要因とはなっていないようである。

なお、データは海面が穏やかな状態のものであり、海面が荒れている場合は反射波が反射点で広く散乱すると考えられ、信号はそれらが合成されたものとなることから今回の結果よりも劣化することはないと思われる。

しかしながら、パケットの欠損数を見ると、陸から12.7km地点では音声パケットの実に20%強が失われており、この状況では会話を成立させることは困難である。

5 GHz帯無線アクセスシステムの洋上での利用を考える場合、通信品質に及ぼす影響はジッタよりもパケットロスが支配的であると考える。

#### (オ) 船舶の動揺に対する考察

図3-1-75は送信点のアンテナ海拔高31mのとき、送信点から3 km地点、6 km地点及び10km地点におけるハイトパターンを計算により求めたものである。

この図から、送信点から3 kmの地点ではアンテナ高が1 mから2.9mに変化したときの受信電力レベルは48dBも変動することが分かる。一方、送信点から10kmの

地点ではアンテナ高が同様に変化してもそのときの変動幅は8 dBに過ぎない。船舶が波により上下に動く場合、送信点からより近い距離にあるほど受信電波の変動が大きくなる様子が理解できる。したがって、送信点から比較的近傍でのハイトパターンに起因する受信電力の急激な変動に対しては、受信側に上下に複数のアンテナを配置するスペースダイバシティが有効と考える。図3-1-75の場合、送信点からの距離が3 km以内の場合、上下アンテナの間隔は概ね1.5m程度あれば十分な効果が期待できるものと考えられる。

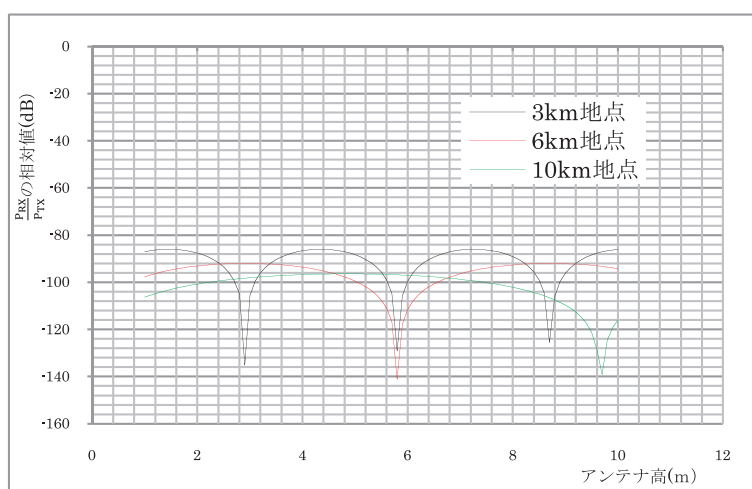


図3-1-75 様々な地点におけるハイトパターン

また、船舶のローリングやピッチングに伴うアンテナの動揺は電波の垂直方向主輻射角 (Elevation) の変動につながる。よって、アンテナの垂直面内の電力半値角の広いアンテナほど有利であるが、なるべく遠くまで通信したい場合は広い半値角よりも高利得化を優先してアンテナを選択すべきである。

### 3 機能試験

5 GHz帯無線アクセスシステムの特徴は、従来の屋内用無線LANシステムよりも遠くまで広帯域・大容量通信が可能という点である。

この特徴を実践的に確認するため、海洋モニタリングブイと称する洋上に浮かぶ施設から陸上に動画像を伝送する試験と沿岸海域を航行する小型船舶でインターネットを利用する試験を行い、実用に供するか否かを含め課題や問題点を整理した。

#### (1) 動画像の伝送

海洋に浮かべるブイに5 GHz帯無線アクセスシステムを実装し、このブイから陸上側にソナーで採取した海中動画像データ及びウェブカメラの動画像データを伝送した。

#### ア 試験実施日時

1 回目：平成21年12月 1 日（火） 12：24～12：29

2 回目：平成21年12月 4 日（金） 14：38～14：44

3 回目：平成21年12月 7 日（月） 16：53～16：59

#### イ 試験実施場所

陸上側設備：北緯38° 24' 56.2" 東経141° 20' 34.6"

海洋モニタリングブイ：北緯38° 23' 53.46" 東経141° 22' 7.8"

陸上局と海洋モニタリングブイとの区間距離：約 3 km

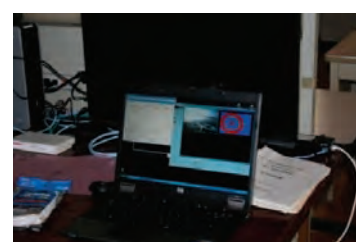
陸上局のアンテナの指向方向（真方位）：130°

#### ウ 構成図

図3-1-76に試験の構成図、図3-1-77に海洋モニタリングブイの設置状況を示す。



図3-1-76 機能試験（動画像伝送）構成図



《陸上設備（モニター・制御部）》



《組立て作業》



《設置状況》

図3-1-77 海洋モニタリングブイ



## エ 試験の結果

動画像が鮮明に伝送できることが分かったが、いくつかの課題も明らかになった。

### (ア) 長距離伝送のためには高利得指向性アンテナが必須

今回の機能試験では伝送区間距離を約3kmとしたが、通信できる限界の距離であった。アプリケーションにも依存するが、より遠くまで通信しようとする場合、ブイや筏などに取り付けるアンテナの海拔高は低い場合が多いため、指向性鋭い高利得アンテナを使用する必要性を感じた。しかし、この場合「追尾」という新たな問題も発生し、コストに跳ね返る。

### (イ) 電源の確保

本試験で使用した海洋モニタリングブイの電源は、太陽光発電と風力発電のハイブリッド方式が採用されており、発電された電気は装置内にある小型バッテリーに充電される仕組みになっている。

一方、電力消費は5GHz帯無線アクセスシステム送受信装置だけで約25ワット、ソナーやカメラなどの各種センサーを付加すれば更に数十ワットの電源容量を必要とする。海上の漂浮施設では商用電源を利用することができないため、長時間運用を行う場合は何らかの工夫が必要と考える。

### (2) 小型船舶による洋上でのインターネットアクセス

洋上で船上からインターネットにアクセスし、ウェブ閲覧やファイル転送、インターネットメール送受信等の試験により実践的な評価を行った。

## ア 試験実施期間

平成21年10月～11月の随時

## イ 試験実施場所等

陸上局位置：(社)宮城県漁業無線公社

北緯38° 24' 56.2" 東経141° 20' 34.6"

小型船舶：宮城県漁業調査船「開洋（16トン）」

機能試験のための船舶航行範囲：石巻湾

## ウ 試験システムの構成と試験方法

試験システムの構成については、図3-1-78のとおり。試験は、漁業調査船「開洋」乗組員の協力を得て実施した。海洋調査業務に必要な各種データ及び音声の本システムで送受信し、そのときの通信状況を船舶の位置、通信の種類及び波の状況と共に記録した。



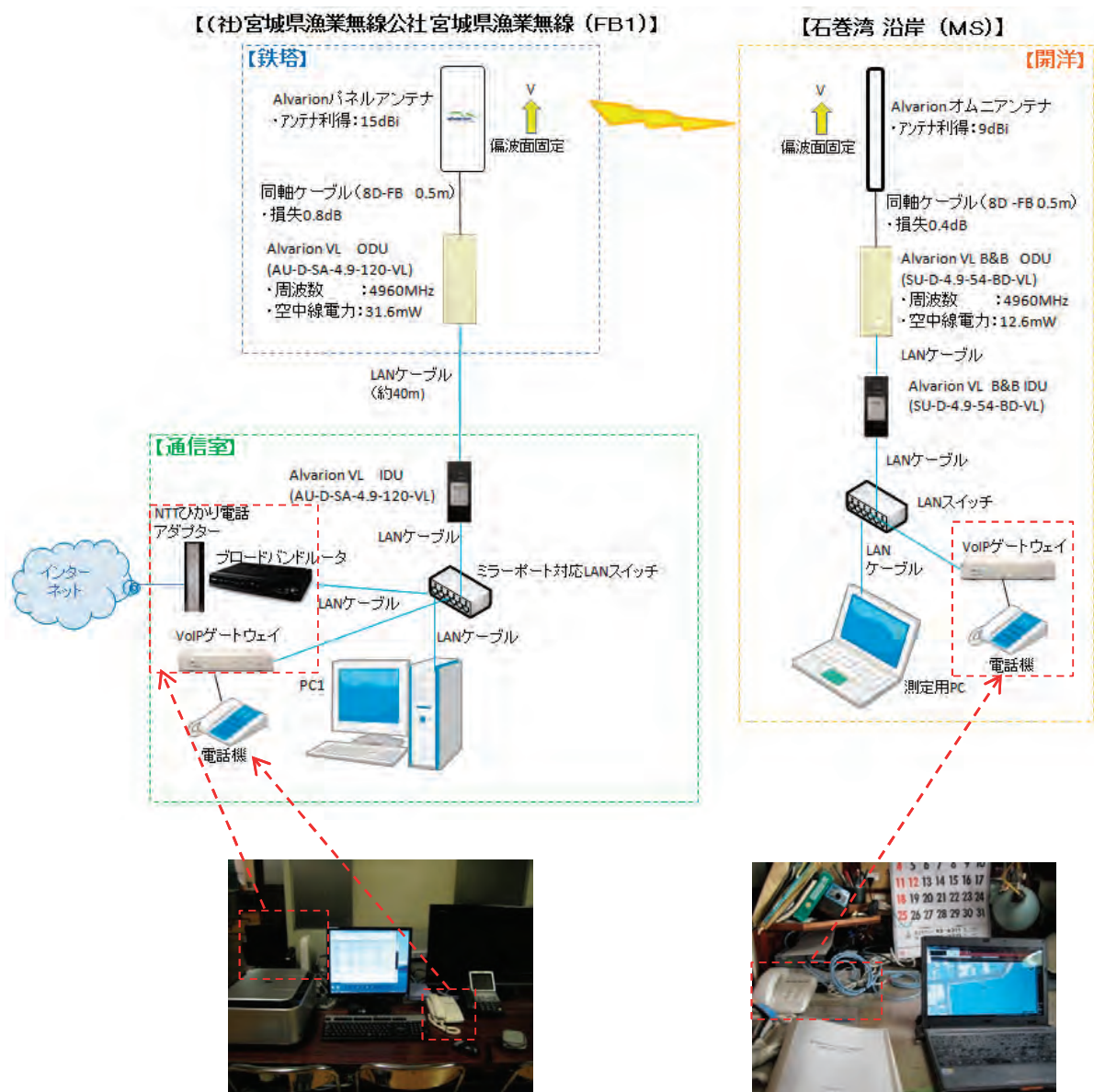


図 3 - 1 - 78 船舶でのインターネット利用試験システム構成図

## エ 試験の結果

### (ア) 通信状況

通信状況に関する結果を表3-1-14及び図3-1-79に示す。

表3-1-14 船舶で使用したときの通信状況

地点番号	月日	運用時間		船舶の位置		通信の種類	通信状態	波(m)	特記事項
		自	至	北緯	東経				
①	11/5	15:02	15:30	38.14.82	141.08.74	ウェブ閲覧, メール送受信	途中で切れる	1	
②	11/5	16:00	17:00	38.19.07	141.15.88	ウェブ閲覧, IP電話	良好	1.5	動画良好、電話が聞き取りにくい
③	11/6	9:23	17:00	38.21.321	141.19.819	ウェブ閲覧	良好	1	
④	11/6	9:54	17:00	38.17.818	141.16.701	ウェブ閲覧	接続不能	1	
⑤	11/6	16:17	17:00	38.19.315	141.16.089	メール送受信, IP電話	良好	2	通信状態良好
⑥	11/11	15:40	17:00	38.23.859	141.18.690	ウェブ閲覧	良好	1	
⑦	11/17	9:30	9:43	38.22.399	141.20.983	ウェブ閲覧	途中で切れる	0.5	切れた後、再接続出来ず
⑧	11/19	15:32	17:00	38.22.724	141.20.904	IP電話	途中で切れる	1	
⑨	11/24	9:40	10:00	38.20.741	141.17.717	ウェブ閲覧, IP電話	良好	0.5	電話良好

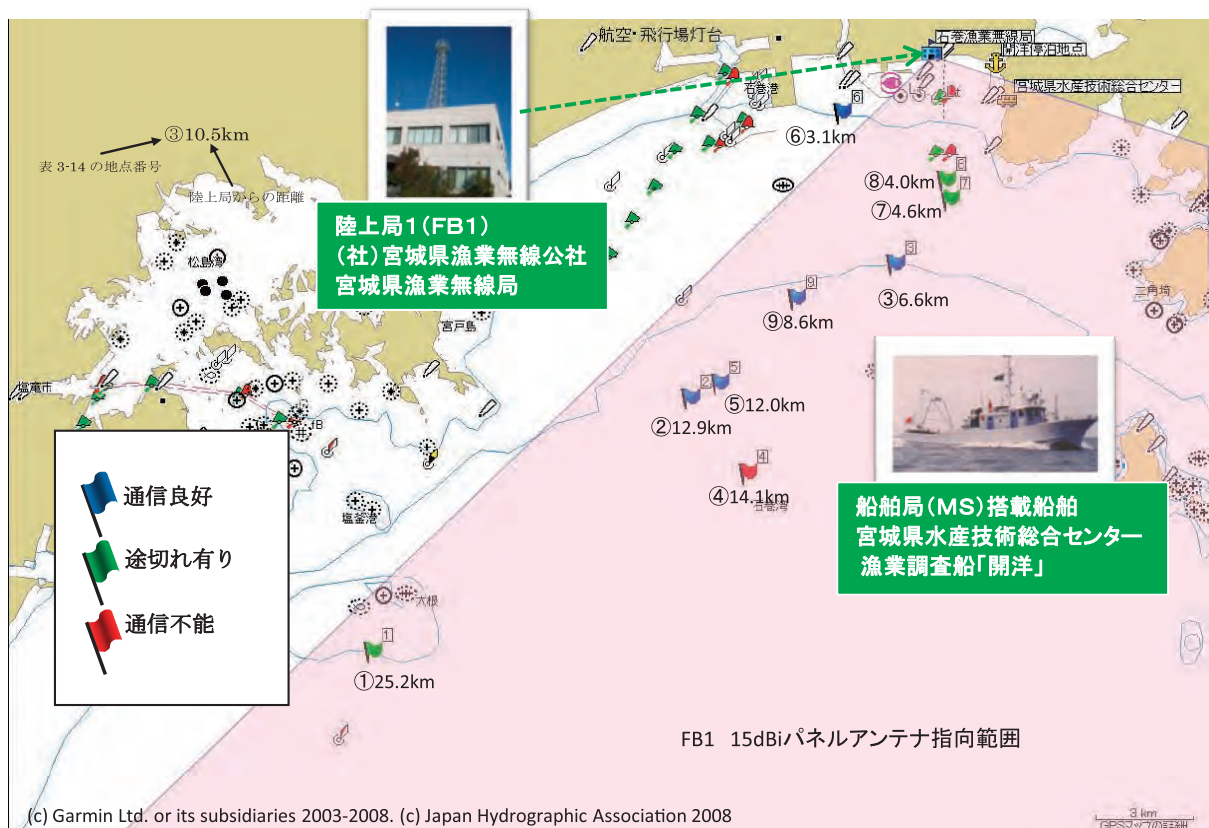


図3-1-79 船舶で使用したときの通信状況

地点番号⑧、⑨など比較的近い場所であっても通信が途切れる結果となっているが、これは前述したRSSIと通信距離との関係を考察した結果と一致している。

#### (イ) 使用しての感想等

実際に5GHz帯無線アクセスシステムを使用した乗組員の感想は次のとおり。

- ・インターネットがかなり高速で使用できた。動画を見ても普段事務所で使っているものよりも良好であった。
- ・何度かメールの送受信を行ったが、メールはファイルの添付が可能で、かつ、記録も残ることから船舶の運航で手が離せないときなど、後で確認することができるので大変有り難い。
- ・船舶の運航に際し、天気に関する情報は非常に重要である。沿岸を航行する場合は、出航前にその日の天気図を確認するので、洋上でリアルタイムに情報を取る必要性はさほど高くないと思うが、急激な天候の変化に遭遇したときはリアルタイムでの情報入手が必要であり、そのような場合には大変役に立つと思う。
- ・最近、岩手県で定置網の中の映像を配信して、その映像を参考にインターネットで魚の販売をするというような新しい試みがなされていると聞いているが、鮮明な魚の動画を洋上からリアルタイムで配信することにより新たな付加価値を付けることができると思う。

#### (ウ) 船舶に搭載した他の通信機器等との干渉

機能試験の一環として、5GHz帯無線アクセスシステムを船舶に搭載した場合、他の通信機器等との干渉を確認した。

漁業調査船「開洋」及び民間漁船「ほくしん丸」に搭載してある無線設備は次のとおり。

搭載無線設備；27MHz帯 1W無線電話装置

レーダー 9410MHz 4.9kW

衛星非常用位置表示無線標識 121.5MHz 50mW

これらの無線設備に対して5GHz帯無線アクセスシステムの電波が干渉を与え又は受けることは確認できなかった。

## 第2節

## 技術試験の一般公開

ワイヤレスブロードバンドシステムの認知度を高め、また、今後の沿岸地域での利活用策を検討するための参考となるよう当調査検討会で行った機能試験の一部を広く一般の方々に公開した。

### 1 公開の方法

- (1) 試験の公開は、東北総合通信局で開催した「第12回電波利用セミナー」の一環として取り組んだ。

日東通信株式会社技術・企画統括本部長高橋則夫氏による講演と併せて、会場の仙台第2合同庁舎会議室と技術試験の拠点となった(社)宮城県漁業無線公社及び洋上の船舶並びに海洋モニタリングブイとをインターネット回線で結び、テレビ電話中継や海底及び海上の動画像の中継など、リアルタイムな高速・広帯域通信が体感できるようなデモンストレーションを行った。

- (2) システムの構成

図3-2-1に公開試験システムの構成を示す。

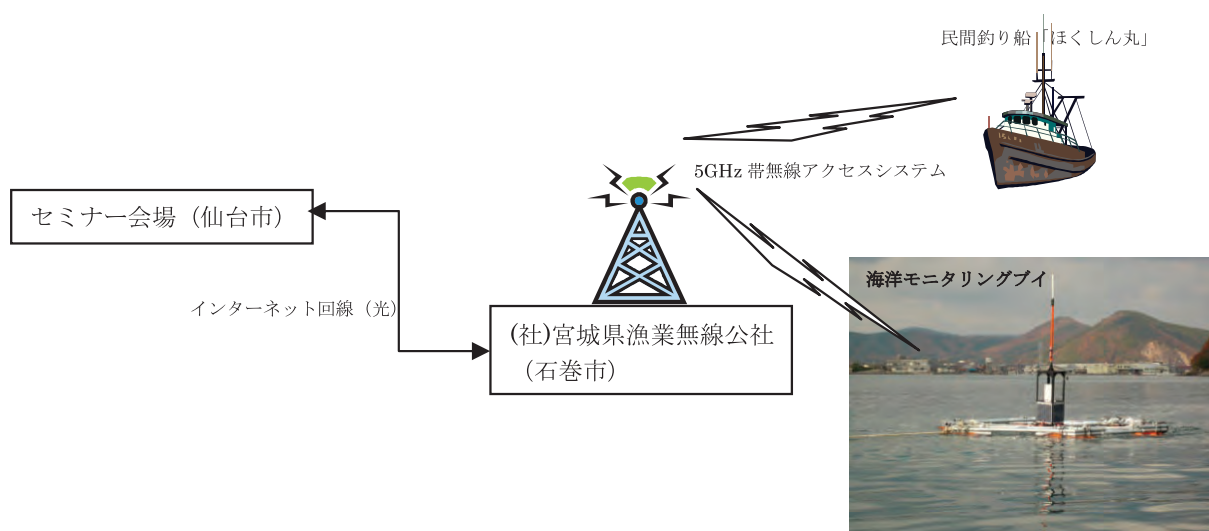


図3-2-1 公開試験システム



## 2 公開日時

平成21年12月10日 15：30～16：15

## 3 参加者の反応等

### (1) 参加人数

仙台第2合同庁舎会場には136名、(社)宮城県漁業無線公社会場には約20名参加した。

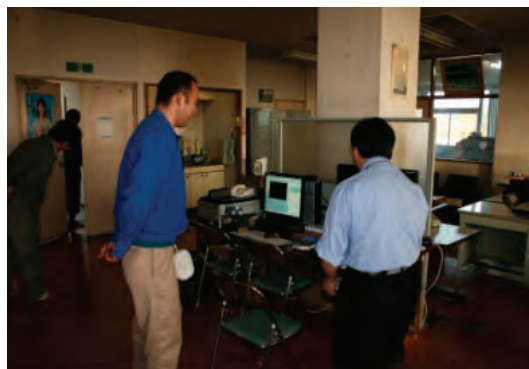
### (2) アンケート結果

参加者から徴したアンケートには、「映像や実況を交えた話しが分かり易く、面白かった。」「中継等もあり、現実的な使用シーンを見ることができて良かった。」

「実用化に向けた更なる技術向上が必要と思われる」などの記述があった。



《 講演に聴き入る参加者の皆さん 》



《 海洋モニタリングブイ陸上設備  
を設置した宮城県漁業無線公社 》



《 解説する高橋講師 》

図3-2-2 公開機能試験



## 第1節

## 調査検討結果に基づく5GHz帯無線アクセスシステムを海上で使用する場合の留意点

本調査検討会が行った電波伝搬試験及び機能試験の結果から次の点が明らかになった。

### 1 海面に近い伝搬路における伝搬特性は2波モデルに近い特性を有する

2波モデルとして机上計算すると、受信電力は直接波と反射波の位相関係によりブレイクポイントと称される点まで激しい変動を繰り返しながら距離の二乗に反比例して減衰し、その後は距離の4乗に反比例してゆく。

試験の結果、このような傾向が強いことが確認できた。よって、伝搬路高が低く比較的海面に近い場合の電波伝搬特性は、マルチパスモデルとしてではなく、2波モデルとして扱う方が都合がよいと思われる。

### 2 比較的近距离であっても通信状態が著しく劣化する場合がある

2波モデル環境下では、送受信点間の距離が近い場合、直接波と反射波の干渉が顕著であり僅かなアンテナ高の変化や場所の移動が受信電力を大きく変動させる。機能試験では、このことを裏付けるように比較的近距离であっても通信状況が極端に悪化する事象が認められている。

### 3 船舶等に設置した場合、アンテナの動揺に対する対策が必要である

2に記述した理由により、安定した通信状態を確保するためには、船舶や筏など波によりアンテナの高さが絶えず変動している場合、アンテナのスペースダイバシティ化を検討すべきと考える。この場合、横方向からのマルチパスが無いことを考えると、アンテナの配列は上下縦方向を主体に考えれば十分である。

また、ローリングやピッチングは電波の輻射角（Elevation）を変えるため、船舶のアンテナが動揺しないような施工法も検討すべきと考える。

## 第2節

## 海上で使用する場合の技術基準等に関する提言

第1節で述べた留意点は、「無線局審査基準」及び「無線設備規則第49条の21」並びに「特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則」の関係する条項に以下のとおり反映されることを期待する。

### 1 海上で使用する場合の局種

現行の関連規程では、5GHz帯無線アクセスシステムは陸上での使用に限定されているため海上で使用できる局種が含まれていない。このため、携帯局、携帯基地局等の海上で使用できる局種の追加が必要である。

### 2 アンテナに関する制限

第1節2及び3に記述した理由から、5GHz帯無線アクセスシステムを海上で使用する場合には、使用アンテナについて上下のスペースダイバシティを構成することが可能となる記述を追加することが望ましい。なお、最大利得については現行の基準と同一が適切と考える。

### 3 送信電力の上限

伝搬路が海上で特に海面近くにある場合の見通し距離範囲内での変動要素は、前述のとおり2波モデルで近似でき、直接波と反射波の位相関係が支配的である。その変動幅は最大で数十デシベルにもなると推測され、送信電力を3～6dB程度増やしたとしてもほとんど改善には寄与しないと思われる。

また、別添資料7「無線アクセスシステムの沿岸海域への利用拡張のためのクリアランス調査結果」から、石巻湾における4.9GHz～5GHzのクリアランスは確保されていることが確認されており、また、おそらく全国的に見ても固定業務等の周波数移行が実態として完了していると思われることから、5GHz帯無線アクセスシステムの空中線電力の上限を緩和しても良いとする結論を導きそうであるが、最大電力の引き上げはキャリアセンス機能を有しているシステムといえども、ユーザーどうしの衝突頻度を増すこととなり、有効な電波利用を阻害する。よって、送信電力は送信の規模（送信電力に送信アンテナの利得を乗じた値）を含めて、現行のままで適切と考える。

## おわりに

近年、全国規模でのブロードバンド・ゼロ地域の解消に向けた各種施策が推進され、東北地方においてもその恩恵を享受できる環境が急速に広まりつつある。

光ファイバーケーブルに代表されるブロードバンド回線の普及により、インターネットがますます身近となり、従前からのウェブ閲覧や電子メール利用に加え、オンライン申請などの電子的な行政手続きにも広く利用されるようになってきた。

一方、携帯電話の伝送機能もますます高まり、外出時においても、オフィス内あるいは家庭内での使い勝手と遜色のないブロードバンド環境が急速に整備されつつある。

このようにインターネットを快適に使える場所がますます拡大していく中、東北地方の主要産業のひとつである沿岸漁業の現場においても、ブロードバンド環境の整備が望まれている。

しかし、海上には光ファイバーケーブルを引くことはできないので、自ずと無線を利用することとなる。最も手軽な高速無線通信網（ワイヤレスブロードバンド）は携帯電話であるが、海上では圏外となる場所が多く使い勝手があまり良くない。将来的には更に高速・大容量のLTEサービスの開始も予定されているが、海上での利用は現状どおりと推測される。

そこで、当調査検討会では、自営回線としても今すぐ利用可能なデジタル・ディバイド対策用ワイヤレスブロードバンドシステムの沿岸海域利用をテーマとして取り上げ、およそ9箇月間検討を行ってきた。

当調査検討会では、関係する各分野の方々にお集まりいただき、技術試験を主体としつつ、沿岸海域におけるワイヤレスブロードバンドシステムの利活用（アプリケーション）についても考察した。

当調査検討において選定した5GHz帯無線アクセスシステムは、長年利用実績があった固定マイクロ波通信用回線の移行後に空いた周波数帯を再利用しているため、陸上での電波伝搬特性はほぼ解明されている。しかし、海上利用、特に沿岸漁業のようなほぼ海面に近い高さでの電波伝搬特性は文献に明るくない。そこで、技術試験のひとつとして、海面における電波伝搬試験を実施した。また、海面から発射された5GHz帯の電波がインターネット回線ときちんと接続できるかどうかの機能試験も実施した。

電波伝搬試験では、試験日数が限定され、比較のおだやかな海面状態しか測定できなかったが、水平・垂直別の偏波面による差異や、スペースダイバシティ効果の有無等の貴重なデータが取得できた。機能試験では、海面に浮かべたブイからのウェブカメラ映像やソナー画像等の安定的な伝送が実証されたほか、小型船舶からのIP電話もほぼ実用レベルとなることが確認された。なお、これらの技術試験の状況は、東北総合通信局主催の電波利用推進セミナーにおける演目のひとつとして、試験現場（石巻）からセミナー会場（仙台）へとインターネットを経由して生中継され、参加者には好評を博したところである。

当調査検討会では、これらの試験結果から、5GHz帯無線アクセスシステムを沿岸海域で利用するには、陸上利用に限定されている現行の技術的条件に対し、通信状態を更に安定させるためにはスペースダイバシティアンテナの導入が望まれることを提言した。また、海上利用アプリケーションとして、5GHz帯無線アクセスシステムを陸上側と海上

側とのアクセス回線として利用し、海上側では通常の無線LANやセンサーネットワークと接続するなど、さらに遠方へ伝送するための中継回線に利用するといった、沿岸海域での最適な利活用策を紹介した。

今後、この報告書が、沿岸海域における効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの早期構築に向けた一助となれば幸いである。

最後に、当調査検討会の座長としてご指導とご助言を頂戴した東北学院大学の塩川先生、副座長の仙台高等専門学校の奥村先生、技術試験にご協力いただいた委員をはじめ、熱心にご討議いただいた委員の皆様に深く感謝の意を表します。

平成22年3月

沿岸海域における効率的なワイヤレスブロードバンド  
システムの技術的条件に関する調査検討会  
事務局

# 沿岸海域における 効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの 技術的条件に関する調査検討会

## 資 料 集

### 資料集 CONTENTS

資料1	開催要綱	資・1
資料2	委員一覧	資・2
資料3	調査検討会開催状況	資・3
資料4	ワイヤレスブロードバンドシステム利用に関するアンケート結果	資・5
資料5	「センサーネットワーク」とは	資・6
資料6	波浪と電波の反射について	資・8
資料7	5GHz帯無線アクセスシステムの沿岸海域への利用拡張のためのクリアランス調査結果	資・10
資料8	無線設備規則(抜粋)	資・15
資料9	5GHz帯無線アクセスシステムの無線局審査基準(電波法関係審査基準から抜粋)	資・20
用語解説		資・24



## 開催要綱

## 1 名称

本調査検討会は、「沿岸海域における効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの技術的条件に関する調査検討会」（以下、「検討会」という。）と称する。

## 2 目的

沿岸海域では、小型漁船による漁獲をはじめ、養殖などの栽培漁業、海洋観測、レジャーや遊漁など様々な経済活動や研究が行われており、また、多くの船舶が往来している。これら海上における産業や交通などに関する業務をより円滑かつ効率的に行う手段の一つとして、洋上で利用可能な高速・大容量の無線通信ネットワークの構築が考えられる。

今日の沿岸海域で利用されている通信方式は、音声など比較的データ量の小さいものを単一通信路で伝送するものが中心となっているが、情報のデジタル化や大容量化に対応するためにはブロードバンド通信網の整備が必要である。また、このことは新たな通信システムの創出にもつながるものであり、海上におけるユビキタス社会構築への第一歩になるものと大きな期待が寄せられている。

本検討会では、沿岸海域においてインターネットの利用も視野に入れた1：Nの面的かつ高速・大容量の通信をワイヤレスブロードバンドシステムで実現しようとする場合、安定した通信状態を得るための技術的条件及びその利活用策等について検討を行うものである。

## 3 調査検討事項等

- (1) ワイヤレスブロードバンドを構築するための電波の伝搬特性等に関する事項（電波伝搬特性等の試験場所は宮城県沿岸海域とする。）
- (2) 沿岸海域における情報通信ニーズの把握
- (3) 様々なニーズに応じたシステムの検討
- (4) 沿岸海域にワイヤレスブロードバンドシステムを構築する場合の課題と対応策
- (5) その他関連事項

## 4 構成

- (1) 検討会は、東北総合通信局長の委嘱を受けた委員により構成する。
- (2) 座長及び副座長は、東北総合通信局長が予め指名した者とする。

## 5 運営

- (1) 検討会は座長が開催し主宰する。
- (2) 座長は必要に応じて、構成員以外の委員を招聘することができる。
- (3) 副座長は座長の補佐を行う。
- (4) その他、運営に関する事項は検討会において定める。

## 6 開催期間

第1回調査検討会開催の日から平成22年3月31日までとする。

## 7 事務局

検討会の事務局は、東北総合通信局無線通信部企画調整課に置く。

## 資料 2

# 沿岸海域における効率的なワイレスブロードバンドシステムの技術的条件に関する調査検討会

## 委員一覧

平成22年3月1日現在  
<16名/五十音順：敬称略>

おいかわ くらひこ  
及川 倉彦

東日本電信電話株式会社 宮城支店 法人営業部  
構築・保守SE担当課長 営業SE担当課長 兼務

おおみや やすし  
大宮 恭

東北インテリジェント通信株式会社 理事  
営業本部経営企画部 部長

おか けんじろう  
岡 謙次郎

KDDI株式会社 東北総支社 総支社長

おぎの せいじ  
荻野 誠司

第二管区海上保安本部 交通部企画課 課長

○ おくむら としあき  
奥村 俊昭

仙台高等専門学校 専攻科情報電子システム工学専攻 准教授

こど やすひと  
古戸 靖人

太洋無線株式会社 船舶営業部 副部長

ささき ちよたか  
佐々木千代隆

石巻市産業部水産課 副参事 兼  
水産物地方卸売市場管理事務所 所長

◎ しおかわ たかやす  
塩川 孝泰

東北学院大学工学部 電気情報工学科 教授

すずき としひろ  
鈴木 敏弘

宮城県水産高等学校 情報科学科長 教諭

たかはし のりお  
高橋 則夫

日東通信株式会社 技術・企画統括本部 部長

たなか としお  
田中 利夫

宮城海上保安部交通課 課長

まつかわ じゅんや  
松川 純也

社団法人 宮城県漁業無線公社 業務班 主幹

まつだいら きよし  
松平 清

宮城県水産技術総合センター 企画情報部 部長

まる ゆうじ  
磨 有司

宮城県漁業協同組合 指導部 部長

むらた てつお  
村田 哲夫

日本無線株式会社 東北支社 部長

はせがわ しん  
長谷川 新

宮城県農林水産部水産業振興課 技術主幹

◎座長 ○副座長

## 開催状況

## 第1回

- 1 開催日時 平成21年6月26日（金） 13：30～16：00
- 2 開催場所 宮城県水産技術総合センター 大会議室  
（宮城県石巻市渡波字袖ノ浜97-6）
- 3 議 事
  - (1) 調査検討会開催要綱（案）について
  - (2) 委員の確認
  - (3) 調査検討会の検討事項（案）及びスケジュール（案）について
  - (4) 関連技術について
  - (5) 電波伝搬試験及び機能試験（案）について
  - (6) 沿岸海域における情報通信の現状と課題等について
  - (7) その他

## 第2回

- 1 開催日時 平成21年8月5日（水） 13：00～15：00
- 2 開催場所 宮城県漁業無線公社 会議室  
（宮城県石巻市魚町3-6-1）
- 3 議 事
  - (1) 沿岸海域における情報通信の現状と課題等について
  - (2) 電波伝搬試験及び機能試験（案）について
  - (3) その他

## 第3回

- 1 開催日時 平成22年2月5日（金） 14：30～16：30
- 2 開催場所 東北総合通信局 会議室  
（宮城県仙台市青葉区本町3-2-23）
- 3 議 事
  - (1) 第2回検討会の議事概要について
  - (2) 電波伝搬試験及び機能試験の結果について
  - (3) 沿岸海域におけるワイヤレスブロードバンドシステムの利活用について
  - (4) その他

## 第4回

- 1 開催日時 平成22年3月4日（木） 14：30～16：30
- 2 開催場所 東北総合通信局 会議室  
(宮城県仙台市青葉区本町3-2-23)
- 3 議 事
  - (1) 第3回検討会の議事概要について
  - (2) 「沿岸海域における効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの技術的条件に関する調査検討会」報告書（案）について
  - (3) その他

## 資料 4

# ワイヤレスブロードバンドシステムの利活用に関するアンケート結果

当調査検討会では、検討会委員及びその関係者に対し沿岸海域においてワイヤレスブロードバンドシステムのニーズや普及させるための条件等に関するアンケート調査を実施した。

その結果は次の表のとおりである。

設 問	回 答
Q 1 沿岸海域で利用可能なワイヤレスブロードバンドが利用できた場合どのようなものに活用できそうですか。また、どのようなシステムに期待しますか。	海上と海中の画像をライブカメラで観察したい。また、陸上からカメラ操作も可能にしてもらいたい。
	市況及び漁場に関する情報収集。
	海洋データの自動観測を行い、各種データは利用者が何時でも利用できるようなシステムにして欲しい。
	家族等と連絡するため電子メールの送受信に利用したい。
	リアルタイムで気象情報を知りたい。
	安全情報の収集のため海上でのインターネット常時接続が可能なものとして欲しい。
Q 2 ワイヤレスブロードバンド導入・普及のため何が重要だと思いますか。	漁業従事者は高齢化が進んでいる。パソコン操作がネックとなるため高齢者にも容易に扱えるようなものにすべき。
	船体に容易に設置でき、操作が簡潔であること。
	導入コストと維持費が安いこと。
	通信料の負担が少ないこと。
	故障が少なく堅牢のものであること。
	小型で簡単に着脱できることが必要。
	カーナビのように視認性の良いものであること。
	多機能で消費電力が低く、メンテナンスが容易であること。また、防水性が高いものでなければならない。
	漁労作業中でも利用可能であること。
	緊急時を知らせる自動発信装置等の付加機能があること。
時化でも機器が動かないようにしっかりと固定できるものであること。	



## 資料5 「センサーネットワーク」とは

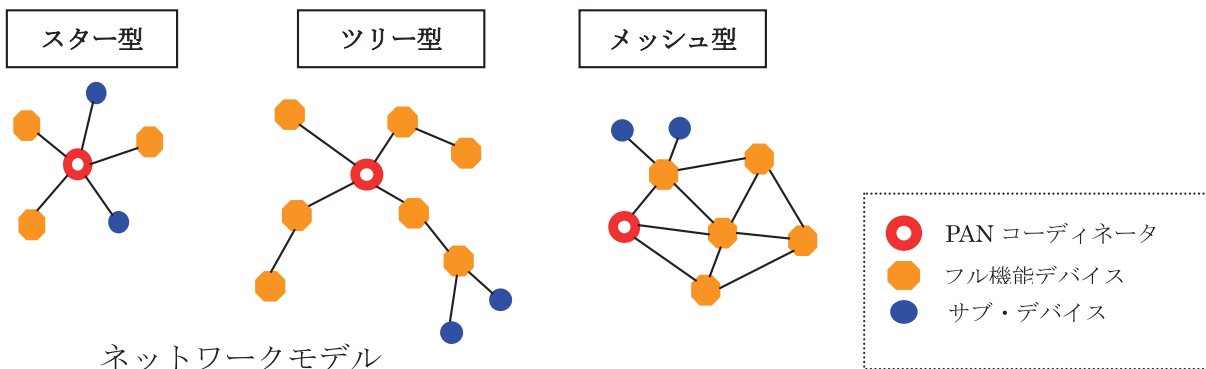
センサーネットワークの特徴は、アドホックネットワークとマルチホップである。

アドホックネットワークとは、「一時的で、固定的なインフラや集中管理機構がないネットワーク」と定義されており、無線LANのようなアクセスポイントを必要とせず、無線で接続できる端末（パソコン、PDA、携帯電話など）自身のみで構成されたネットワークである。

一方、マルチホップとは多数の端末を相互に多段接続する形態を指し、アドホックネットワークでは基地局やアクセスポイントが不要となることから、通信基盤を持たない場所で安価にネットワークを構築することができ、限定された域内での簡易なネットワーク構築の手段として極めて有効である。

ネットワークモデル図のとおり、アドホックネットワーク及びマルチホップ通信技術の双方を用いたネットワークとしてスター型、メッシュ型及びツリー型があり、それぞれ単独又は複数の組み合わせで構築される。各々のネットワークはコーディネータと呼ばれる他のデバイスが接続することを許可するFFD（Full Function Device:フル機能デバイス）、PANコーディネータと呼ばれるコーディネータの中で特にネットワークを管理する機能を持ったFFD、更に機能が限定されているサブ・デバイスにより構成される。

センサーネットワークは固定した端末によるネットワーク（非アドホック）で構築することもあるが、アドホックネットワーク・マルチホップで構成することにより応用の幅が飛躍的に広がる。



センサーネットワークの装置は、その名のとおりノードと呼ばれる無線送受信装置とこれに接続されるセンサーで構成される。センサーは目的により様々なものを選ぶことが可能であり、主な物を表に掲げる。

## 主なセンサーの種類と動作原理

対 象	分 類	説 明
温 度	熱電対	2種の異なる金属または半導体の両端を接合し、両接点間の起電力を計測する。
	抵抗測温体	金属の抵抗率が温度に依存する特性を利用。
	サーミスタ	半導体の抵抗率が温度に依存する特性を利用。
湿 度	電気式湿度計	高分子フィルムの吸湿性を利用して、静電容量の変化を電気信号に変換する。
	通風型乾湿計	2本のガラス製温度計で、布の端を水に浸した湿球と乾球の差、及び気温から水蒸気圧を計算して相対湿度を計測する。
	毛髪湿度計	毛髪が湿度の変化によって伸び縮みする性質を利用する。
水 分	水分感知	2種の異なる金属または半導体の両端を接合し、両接点間の起電力を計測する。
熱 量	断熱熱量計	温度変化を測定する熱交換部分とそれを包囲する環境部分とを熱的に隔離し、熱量＝熱容量×温度変化量で計算する。
濃 度	密度計	密度は単位体積当たりの質量。気体、液体、固体の密度がある。
粘 度	粘度計	液体の粘度計測は、毛細管粘度計、落球粘度計、回転粘度計に分類される。
流 量	機械式	測定流体を羽根車に当てて、その回転数を流量に変換する羽根車式、鉛直方向に設置されたパイプ中の浮きの上昇度合いで流量を検出する浮き子式等がある。
	電磁式	ファラデーの電磁誘導の法則を利用して流量を検出する。
圧 力	機械式	空気圧の変化等を機械的に利用して、針を伸縮し圧力を検出する。
	電子式	圧力によりステンレスやシリコンの隔離膜が歪む歪抵抗値の変化を圧力検出する。
加 速 度	MEMS型加速度	単位時間当たりの速度変化を半導体を用いて三軸で計測する。検知機構によりピエゾ抵抗型・静電容量型・熱検知型の3種類がある。
	動電式	導体が磁束を横切ると起電力を発生する原理(ファラデーの法則)を利用する。
	歪みゲージ式	物体に加速度がかかると歪みを生ずることから、その歪み(電気抵抗変化)を計測する。
	圧電式	慣性力を受けると電荷を生じる圧電素子を利用して、発生電荷から加速度を計測する。
振 動	非接触式	振動しない基準点と測定対象物の相対的振動を検出する。
	接触式	測定対象物にセンサーを固定して取り付け、センサー内部のバネと重りからなる。重りの振動を検出する。
ひ ず み	歪みゲージ式	物体に力を与えて電気抵抗の変化を計測。
光	光起電力効果	光電効果により導体と半導体、または2つの半導体の接触面に現れる電圧を計測。(フォトダイオード、フォトトランジスタ)
	光導電効果	光エネルギーにより、物質内でキャリアが発生して変化する内部抵抗を計測する。(CdS(硫化カドミウム)セル)
	赤外線センサー	赤外線を検知。
磁 気	ホール素子	微小電流を流した半導体に垂直に磁界が加わっているとき、電流と磁界の双方に垂直な方向へ電圧が発生するホール効果を利用する。
	磁気抵抗素子	磁界の強さによって電気抵抗が変化する特殊な磁性体を利用する。
	SQUID型	ジョセフソン効果と超伝導現象を利用。(高感度)
変 位 / 位 置	レーザ式変位	半導体レーザの光を測定対象物に照射し、対象物から拡散反射された光線を光位置検出素子で変位量を計測する。
	渦電流式変位	高周波磁界で磁界内に測定対象物があると、対象物表面に垂直方向の渦電流が流れて、センサーコイルのインピーダンスが変化することにより、距離を測定する。
	接触式変位	3つのコイルと可動鉄心で1次コイルに交流を流し被測定物体に連動して動く可動鉄心により2次コイルに誘起電圧が発生する。これを差動結合し、電圧差で変位を測定する。
	超音波式変位	超音波の反射を受信し、発信から受信までの時間を計測し距離を測定する。
	CCDレーザ方式	CCDを利用し、三角測距方式で光量により変位測定する。
回 転	ホールIC式	ホール素子を利用し、磁束密度に比例した出力から回転数を計測する。
	電磁ピックアップ式	永久磁石にコイルを巻き、ギヤが回ることによりコイルを通る磁力線変化が生じる。これを回転数に変換。

# 資料6 波浪と電波の反射について<sup>1</sup>

## 1 海洋波浪の基本的性質

### (1) 海洋波浪の基本的性質

#### ア 用語の定義

「平均波高」  $H_0$  とは全ての波高の平均値をいう。

「有義波高」  $H_{1/2}$  とは上位1/3をとって平均した値をいう。目視波高に最も近いといわれており、海洋の分野で一般的に使われている。

#### イ 平均波高、有義波高、海面高の標準偏差との関係

海面高の標準偏差（rms波高） $h_0$ とすると次の関係がある。

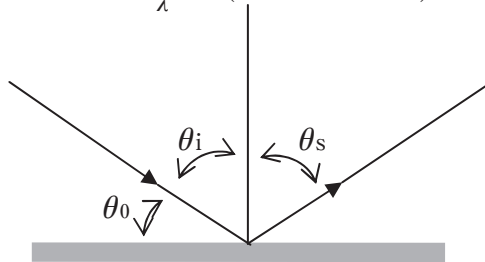
$$H_0 \cong 2.5h_0 \quad H_{1/3} \cong 4.0h_0$$

### (2) 電波的に見た海の荒れ具合

電波の海面での反射を考えると、海面がどの程度荒れているかを表す指標としてラフネス（roughness）と呼ばれるパラメータが使用されている。

ラフネスパラメータ $u$ は次式で計算される。

$$u = \frac{2\pi h_0}{\lambda} (\cos \theta_i + \cos \theta_s) \text{ [rad]}$$



$\theta_i$  : 天頂から測った海面への入射角

$\theta_s$  : 天頂から測った海面からの散乱角

$\theta_0$  : 仰角

$\lambda$  : 電波の波長

なお、海面が非常に穏やかで鏡面反射点付近の散乱に着目する場合は、仰角 $\theta_0$ を用いて、ラフネスパラメータ $u$ は

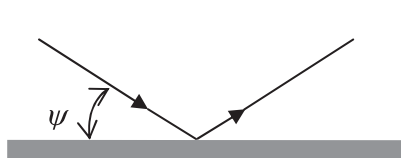
$$u = \frac{4\pi h_0}{\lambda} \sin \theta_0$$

により近似できるとされている。

<sup>1</sup> 参考文献 電波伝搬ハンドブック リアライズ理工センター発行

## 2 海面の反射係数

電波の反射面を鏡面とみなした場合の反射係数 $R_0$ は次式で計算できる。



$$R_0 = \frac{\sin \psi - \sqrt{C}}{\sin \psi + \sqrt{C}}$$

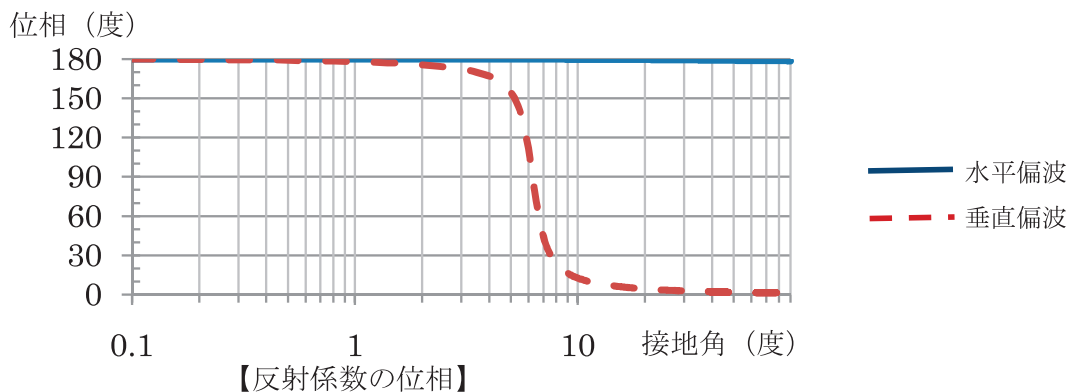
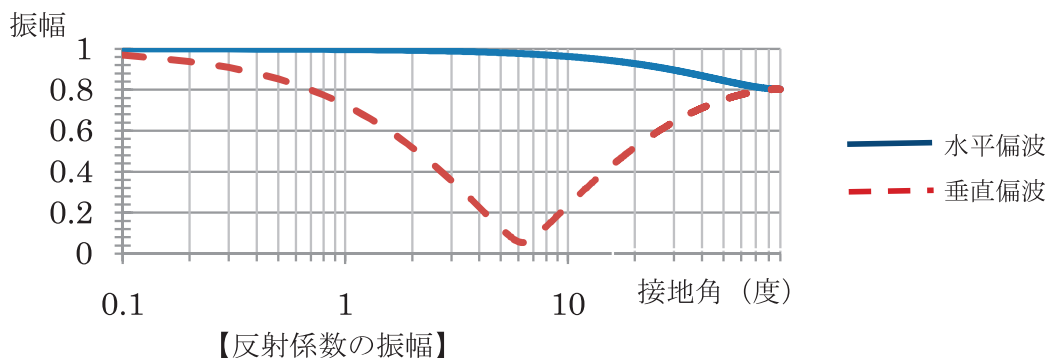
$$C = \eta - \cos^2 \psi \text{ (水平偏波)}$$

$$C = (\eta - \cos^2 \psi) / \eta^2 \text{ (垂直偏波)}$$

$$\eta = \varepsilon r(f) - j60 \lambda \sigma(f)$$

ここに、 $\lambda$ は波長 (m)、 $\psi$ は接地角 (rad)、 $\sigma$ は導電率 (S/m) である。

海水の比誘電率  $\varepsilon_r = 81$ 、導電率  $\sigma = 5$  とした場合、5 GHzの電波の反射係数 $R_0$ は次のグラフのように接地角 $\psi$ によって変化する。



東北総合通信局では、今回の調査検討会での検討と並行して5 GHz帯のクリアランス調査を行った。

## 1 調査実施日、調査周波数帯及び調査場所

調査実施日	調査周波数帯	調査場所
平成21年9月14日～ 平成21年9月16日	4,800MHz～5,650MHz	宮城県石巻市石巻漁港沖堤防
平成21年9月24日～ 平成21年9月25日	4,800MHz～5,650MHz	宮城県東松島市野蒜海岸
平成21年9月29日～ 平成21年9月30日	4,800MHz～5,650MHz	宮城県石巻市狐崎漁港

## 2 測定系の構成

- (1) スペクトラムアナライザ（掃引式・アンリツMS2721B）、半値角120度セクターアンテナ（アルバリオン社製）、オムニアンテナ（アルバリオン社製）
- (2) スペクトラムアナライザ（リアルタイム方式・テクトロ社製）、半値角120度セクターアンテナ（アルバリオン社製）、オムニアンテナ（アルバリオン社製）
- (3) 各アンテナの特性は次表のとおり。

アンテナの種類	水平面内電力半値角	垂直面内電力半値角	利得 (dBi)
セクターアンテナ	120	6	15
オムニアンテナ	360	9	8

## 3 測定方法

- (1) 測定系（1）を用いて調査対象周波数区分ごとの2時間の発射状況を測定した。
- (2) 周波数分解能帯域幅（RBW）は300kHzとした
- (3) 測定は「イベント発生時データ保存」の方法を用いて当該周波数帯域において受信した電波の内、受信入力レベルが-90dBm以上のときの波形を取得（雑音レベル以上を設定）
- (4) セクターアンテナ使用時には海上方向に向けて固定した。また、適宜オムニアンテナに切り替えて、全方向からの到来電波の補足に努めた。

測定場所及びを図1に示す。また各測定場所の測定状況を写真1～3に示す。





図-1 測定点



写真1 石巻漁港



写真2 東松島市野蒜海岸



写真3 石巻市狐崎漁港

## 4 調査結果

### (1) 4.9GHz～5GHz帯のクリアランス

何れの測定地点でも5GHz帯無線アクセスシステムに使用する4.9GHz～5GHz帯及びこの近傍のクリアランスは十分確保されており、干渉を与えるおそれはないものと思慮される。

### (2) 補足した信号

#### ア 5255～5460MHz帯

全ての測定地点で5340MHz～5346.1MHzにおいて-61.13dBm（最大）、5350.89MHz～5354.89MHzにおいて-67.63dBm（最大）の発射が観測された。

当該電波は、パルス性の電波であり、一定の周期的な入感状況であること。及び該当周波数として気象用レーダに使用される周波数であることから、5345MHzの気象庁（仙台市）及び5352.5MHzの東京電力（いわき市）の気象レーダからの到来電波と思慮される。観測された電波の波形を図2～図4に示す。

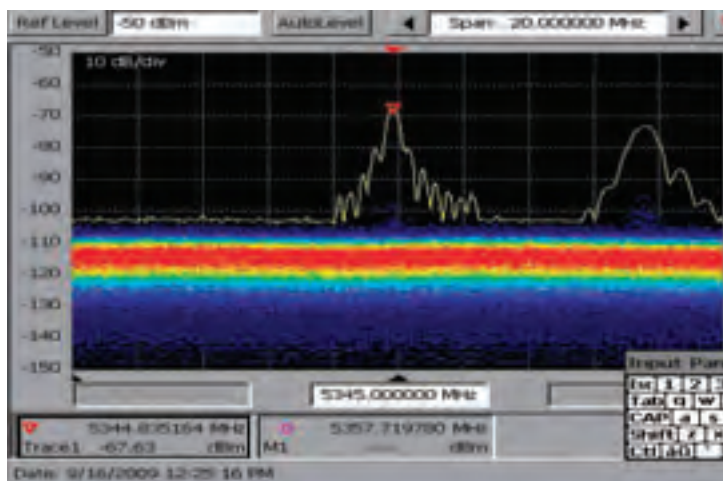


図2 5345MHz及び5352.5MHzの入感状況

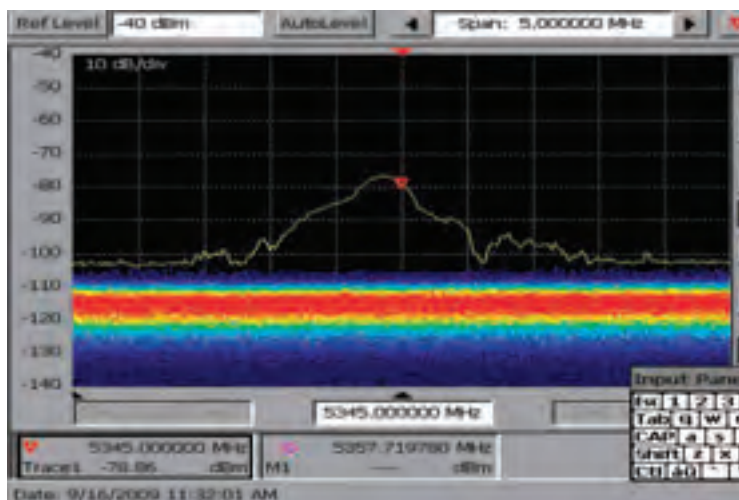


図3 5345MHzの入感状況

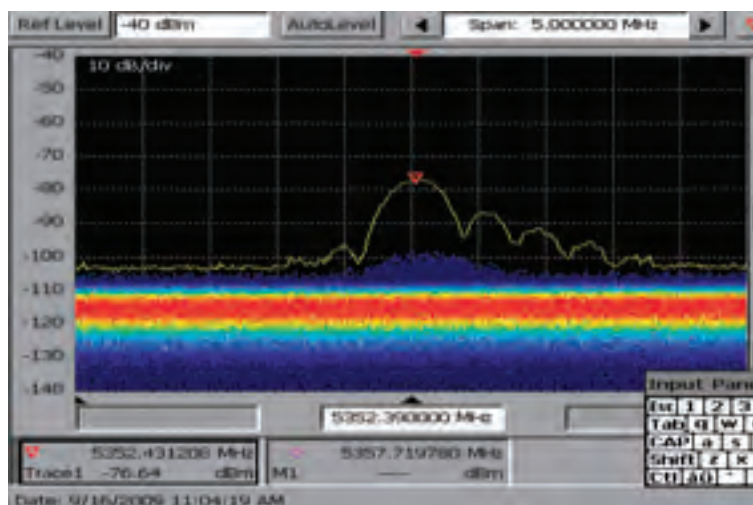


図4 5352.5MHzの入感状況

#### イ 5070～5091MHz帯

石巻港における測定で、5079MHz～5080MHzにおいてノイズレベルより若干高い電波が観測された。図5にその波形を示す。

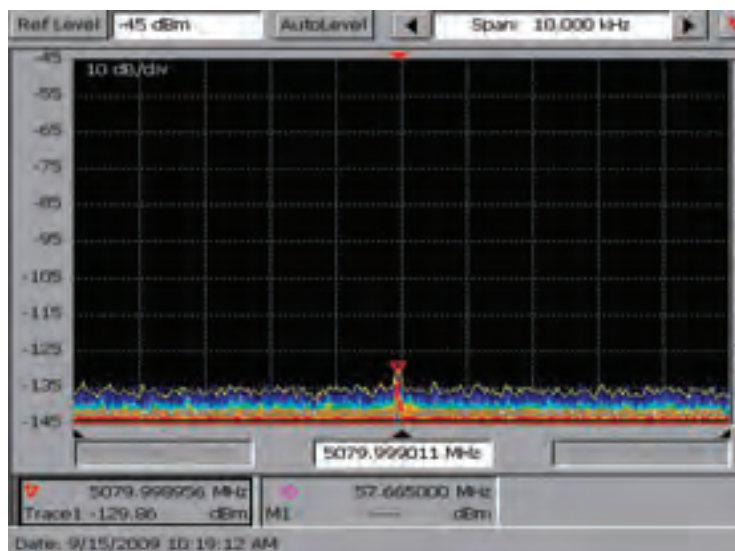


図5 5079MHz～5080MHzの入感状況

発射源や電波の種類等は不明である。

### ウ 5570～5650MHz帯

石巻港における測定で、5598MHz～5600MHzにおいて-98.7dBmの電波を観測した。図6にその波形を示す。

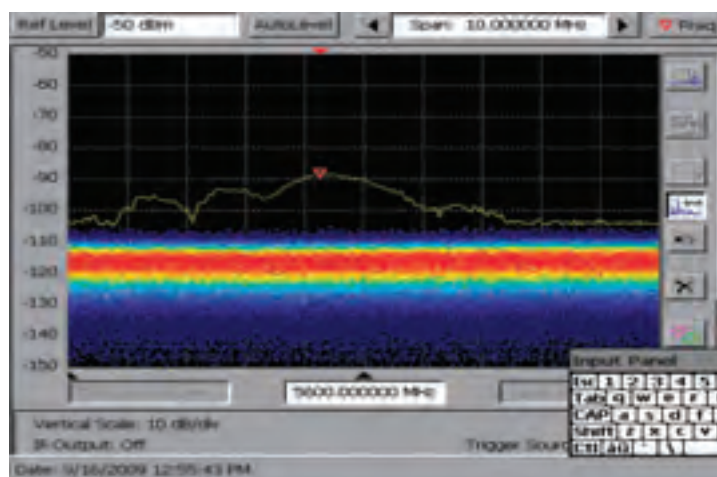


図6 5598MHz～5600MHzの入感状況

発射源は不明であるが当該周波数帯は既存の無線LAN（IEEE802-11a及び11n、免許不要）の周波数帯であり、付近の無線LANの電波を受信した可能性もあるが、帯域が広いこともあり、インパルス的なノイズである可能性もある。



## 第四節の十八 五GHz帯無線アクセスシステムの無線局の無線設備

（五GHz帯無線アクセスシステムの無線局の無線設備）

**第四十九条の二十一** 五GHz帯無線アクセスシステムの基地局、陸上移動中継局及び陸上移動局（次項に規定するものを除く。）の無線設備は、次に掲げる条件に適合するものでなければならない。

- 一 通信方式は、単向通信方式、単信方式、同報通信方式、半複信方式又は複信方式であること。ただし、半複信方式又は複信方式については、時分割複信方式を使用すること。
- 二 変調方式は、次のいずれかであること。
  - イ 占有周波数帯幅が一九・七MHz以下の場合
    - (1) 直接拡散方式を使用するスペクトル拡散方式
    - (2) 振幅変調方式、位相変調方式、周波数変調方式、パルス変調方式又はこれらの複合方式
    - (3) 直交周波数分割多重方式
  - ロ 占有周波数帯幅が一九・七MHzを超え三八MHz以下の場合直交周波数分割多重方式
- 三 送信バースト長は、四ミリ秒以下であること。
- 四 空中線電力は、次のとおりであること。
  - イ 直交周波数分割多重方式を使用する場合
    - (1) 占有周波数帯幅が一九・七MHz以下の場合、二五〇ミリワット以下とし、かつ、一MHzの帯域幅における空中線電力は五〇ミリワット以下であること。
    - (2) 占有周波数帯幅が一九・七MHzを超え三八MHz以下の場合、二五〇ミリワット以下とし、かつ、一MHzの帯域幅における空中線電力は二五ミリワット以下であること。
  - ロ イ以外の方式を使用する場合は、二五〇ミリワット以下とし、かつ、一MHzの帯域幅における空中線電力は五〇ミリワット以下であること。
- 五 陸上移動中継局及び陸上移動局の送信する電波の周波数は、通信の相手方となる基地局の電波（陸上移動局にあつては、他の無線局により中継されたものを含む。）を受信することによつて、自動的に選択されること。
- 六 送信装置の空中線は、次の条件に適合すること。
  - イ 絶対利得は、一三デシベル以下であること。ただし、等価等方輻射電力が絶対利得一三デシベルの送信空中線に二五〇ミリワットの空中線電力を加えたときの値以下となるときは、その低下分を送信空中線の利得で補うことができる。
  - ロ 送信空中線の水平面の主輻射の角度の幅は、次の式により求められる値を超えないこと。
$$360 / (A / 4) \text{ 度}$$
Aは、等価等方輻射電力を絶対利得0デシベルの送信空中線に平均電力が250ミリワットの空中線電力を加えたときの値で除したものとし、4を下回るときは4とす



る。

七 直交周波数分割多重方式は、 $1\text{MHz}$ の帯域幅当たりのキャリア数が一以上であること。

八 スペクトル拡散方式は、拡散帯域幅を変調信号の送信速度に等しい周波数で除した値が五以上のもの又は変調信号の送信速度に等しい周波数の五倍以上の周波数帯域幅にわたって掃引する信号を変調信号の送信の周期ごとに直接乗算させるものであること。

九 隣接チャンネル漏えい電力は、次の条件に適合するものであること。

イ  $40\text{MHz}$ システム（ $4,930\text{MHz}$ 及び $4,970\text{MHz}$ の周波数の電波を使用する無線設備であつて、占有周波数帯幅が $19.7\text{MHz}$ を超え $38\text{MHz}$ 以下のもの（直交周波数分割多重方式を使用するものに限る。）をいう。以下同じ。）

割当周波数から $40\text{MHz}$ 及び $80\text{MHz}$ 離れた周波数の（±） $19\text{MHz}$ の帯域幅に輻射される空中線端子における電力の平均値が、それぞれ $0.25\text{mW}$ 以下、 $8\text{mW}$ 以下であること。

ロ  $20\text{MHz}$ システム（占有周波数帯幅が $9\text{MHz}$ を超え $19.7\text{MHz}$ 以下のものをいう。以下同じ。）

割当周波数から $20\text{MHz}$ 及び $40\text{MHz}$ 離れた周波数の（±） $9\text{MHz}$ の帯域幅に輻射される空中線端子における電力の平均値が、それぞれ $0.5\text{mW}$ 以下、 $16\text{mW}$ 以下であること。

ハ  $10\text{MHz}$ システム（占有周波数帯幅が $4.5\text{MHz}$ を超え $9\text{MHz}$ 以下のものをいう。以下同じ。）

割当周波数から $10\text{MHz}$ 及び $20\text{MHz}$ 離れた周波数の（±） $4.5\text{MHz}$ の帯域幅に輻射される空中線端子における電力の平均値が、それぞれ $0.25\text{mW}$ 以下、 $8\text{mW}$ 以下であること。

ニ  $5\text{MHz}$ システム（占有周波数帯幅が $4.5\text{MHz}$ 以下のものをいう。以下同じ。）

割当周波数から $5\text{MHz}$ 及び $10\text{MHz}$ 離れた周波数の（±） $2.25\text{MHz}$ の帯域幅に輻射される空中線端子における電力の平均値が、それぞれ $0.125\text{mW}$ 以下、 $4\text{mW}$ 以下であること。

十 帯域外漏えい電力は、次の条件に適合するものであること。

イ  $40\text{MHz}$ システム

周波数帯	$1\text{MHz}$ の帯域幅における等価等方輻射電力
$4,840\text{MHz}$ 以上 $4,870\text{MHz}$ 以下	$2\text{mW}$ 以下
$4,870\text{MHz}$ を超え $4,880\text{MHz}$ 以下	$2.5\text{mW}$ 以下
$4,880\text{MHz}$ を超え $4,900\text{MHz}$ 以下及び $5,000\text{MHz}$ 以上 $5,020\text{MHz}$ 未満	$1.5\text{mW}$ 以下
$5,020\text{MHz}$ 以上 $5,060\text{MHz}$ 以下	$2.5\text{mW}$ 以下

□ 二〇MHzシステム

(1) 四、九〇MHzを超え五、〇〇MHz以下の周波数の電波を使用する場合

(一) 変調方式が直交周波数分割多重方式以外の場合

周波数帯	一MHzの帯域幅における等価等方輻射電力
四、八八〇MHz以上四、九〇MHz以下及び五、〇〇MHz以上五、〇二MHz以下	一五マイクロワット以下

(二) 変調方式が直交周波数分割多重方式の場合

周波数帯	一MHzの帯域幅における等価等方輻射電力
四、八七五MHz以上四、八八〇MHz以下	二・五マイクロワット以下
四、八八〇MHzを超え四、九〇MHz以下及び五、〇〇MHz以上五、〇二MHz未満	一五マイクロワット以下
五、〇二MHz以上五、〇二五MHz以下	二・五マイクロワット以下

(2) 五、〇三MHzを超え五、〇九一MHz以下の周波数の電波を使用する場合

(一) 変調方式が直交周波数分割多重方式以外の場合

周波数帯	一MHzの帯域幅における等価等方輻射電力
五、〇〇MHz以上五、〇二MHz以下	三〇マイクロワット以下
五、〇二MHzを超え五、〇三MHz以下	一ミリワット以下
五、〇九一MHz以上五、一〇MHz未満	〇・五ミリワット以下
五、一〇MHz以上五、一二MHz以下	一五マイクロワット以下

(二) 変調方式が直交周波数分割多重方式の場合

周波数帯	一MHzの帯域幅における等価等方輻射電力
四、九九五MHz以上五、〇〇MHz以下	二・五マイクロワット以下
五、〇〇MHzを超え五、〇二MHz以下	三〇マイクロワット以下
五、〇二MHzを超え五、〇三MHz以下	一ミリワット以下
五、〇九一MHz以上五、一〇MHz未満	〇・五ミリワット以下
五、一〇MHz以上五、一二MHz未満	一五マイクロワット以下
五、一二MHz以上五、一二五MHz以下	二・五マイクロワット以下

ハ 一〇MHz システム

(1) 四、九〇〇MHz を超え四、九五〇MHz 以下の周波数の電波を使用する場合

周波数帯	一MHz の帯域幅における等価等方輻射電力
四、八九五MHz 以上四、九〇五MHz 未満及び四、九五五MHz を超え四、九六五MHz 以下	一五マイクロワット以下

(2) 五、〇三〇MHz を超え五、〇六〇MHz 以下の周波数の電波を使用する場合

周波数帯	一MHz の帯域幅における等価等方輻射電力
五、〇一五MHz 以上五、〇二五MHz 未満	三〇マイクロワット以下
五、〇二五MHz 以上五、〇三〇MHz 未満	一ミリワット以下
五、〇六五MHz を超え五、〇七五MHz 以下	一五マイクロワット以下

ニ 五MHz システム

(1) 四、九〇〇MHz を超え四、九五〇MHz 以下の周波数の電波を使用する場合

周波数帯	一MHz の帯域幅における等価等方輻射電力
四、九〇二・五MHz 以上四、九〇七・五MHz 未満及び四、九五二・五MHz を超え四、九五七・五MHz 以下	一五マイクロワット以下

(2) 五、〇三〇MHz を超え五、〇六〇MHz 以下の周波数の電波を使用する場合

周波数帯	一MHz の帯域幅における等価等方輻射電力
五、〇二二・五MHz 以上五、〇二七・五MHz 未満	三〇マイクロワット以下
五、〇二七・五MHz 以上五、〇三〇MHz 未満	一ミリワット以下
五、〇六二・五MHz を超え五、〇六七・五MHz 以下	一五マイクロワット以下

十一 四、九〇〇MHz を超え五、〇〇〇MHz 以下の周波数の電波を使用する場合にあつては四、八四〇MHz 及び四、八六〇MHz、五、〇三〇MHz を超え五、〇九一MHz 以下の周波数の電波を使用する場合にあつては四、九六〇MHz 及び四、九八〇MHz の(±)一〇MHz の帯域幅に輻射される等価等方輻射電力の上限値は、二マイクロワット及び〇・二マイクロワットのいずれかであること。

十二 前各号に規定するもののほか、総務大臣が別に告示する技術的条件に適合するものであること。

2 五GHz 帯無線アクセスシステムの陸上移動局(空中線電力が〇・〇一ワット以下のものに限る。)の無線設備は、前項第一号から第三号まで、第五号、第七号から第九号まで及び第十二号に規定するもののほか、次に掲げる条件に適合するものでなければならない。

一 送信装置の空中線電力は、次のいずれかであること。

イ 前項第二号イ(3)及びロの変調方式を使用する送信装置は、次のとおりであること。

(1) 占有周波数帯幅が一九・七MHz以下の場合、一MHzの帯域幅における平均電力が一〇ミリワット以下であること。

(2) 占有周波数帯幅が一九・七MHzを超え三八MHz以下の場合、一MHzの帯域幅における平均電力が五ミリワット以下であること。

ロ 前項第二号イ(1)の変調方式を使用する送信装置は、一MHzの帯域幅における平均電力が一〇ミリワット以下であること。

ハ 前項第二号イ(2)の変調方式を使用する送信装置は、一〇ミリワット以下であること。

二 送信装置の空中線は、次の条件に適合すること。

イ 絶対利得は、〇デシベル以下であること。ただし、一MHzの帯域幅の等価等方輻射電力が、絶対利得〇デシベルの送信空中線に一〇ミリワットの空中線電力を加えたときの値以下となるときは、その低下分を送信空中線の利得で補うことができる。

ロ 送信空中線の水平面の主輻射の角度の幅は、次の式により求められる値を超えないこと。

$$360/A \text{ 度}$$

Aは、1MHzの帯域幅における等価等方輻射電力を絶対利得0デシベルの送信空中線に平均電力が10ミリワットの空中線電力を加えたときの値で除したものとし、1を下回るときは1とする。ただし、1MHzの帯域幅における等価等方輻射電力の上限は、絶対利得10デシベルの送信空中線に10ミリワットを加えたときの値とする。

三 四、九〇〇MHzを超え五、〇〇〇MHz以下の周波数の電波を使用する場合にあつては四、八四〇MHz及び四、八六〇MHz、五、〇三〇MHzを超え五、〇九一MHz以下の周波数の電波を使用する場合にあつては四、九六〇MHz及び四、九八〇MHzの(±)一〇MHzの帯域幅に輻射される等価等方輻射電力は、〇・二マイクロワット以下であること。

四 空中線系を除く高周波部及び変調部は、容易に開けることができないこと。

ア この基準において使用する用語の意義は次のとおりとする。

- (ア) 「20MHzシステム」とは、無線設備規則第49条の21第1項第9号ロに規定するものをいう。
- (イ) 「10MHzシステム」とは、無線設備規則第49条の21第1項第9号ハに規定するものをいう。
- (ウ) 「5 MHzシステム」とは、無線設備規則第49条の21第1項第9号ニに規定するものをいう。
- (エ) 「40MHzシステム」とは、無線設備規則第49条の21第1項第9号イに規定するものをいう。

## イ 通信の相手方

- (ア) 基地局にあっては、5 GHz帯無線アクセスシステムの陸上移動中継局及び陸上移動局であること。ただし、陸上移動局のうち免許を要しないもののみを通信の相手方とする基地局にあっては5 GHz帯無線アクセスシステムの陸上移動中継局及び陸上移動局（免許を要しないものに限る。）、これ以外の基地局であって、陸上移動局のうち不要発射等の電力（設備規則第49条の21第1項第11号に規定する等価等方輻射電力をいう。以下この基準において同じ。）の上限値が $0.2 \mu\text{W}$ 以下のもののみを通信の相手方とするものにあつては5 GHz帯無線アクセスシステムの陸上移動中継局及び陸上移動局（不要発射等の電力の上限値が $0.2 \mu\text{W}$ 以下のものに限る。）であること。
- (イ) 陸上移動中継局にあっては、5 GHz帯無線アクセスシステムの基地局、陸上移動中継局及び陸上移動局であること。ただし、陸上移動局のうち免許を要しないもののみを通信の相手方とする陸上移動中継局にあっては5 GHz帯無線アクセスシステムの基地局、陸上移動中継局及び陸上移動局（免許を要しないものに限る。）、これ以外の陸上移動中継局であつて、陸上移動局のうち不要発射等の電力の上限値が $0.2 \mu\text{W}$ 以下のもののみを通信の相手方とするものにあつては5 GHz帯無線アクセスシステムの基地局、陸上移動中継局及び陸上移動局（不要発射等の電力の上限値が $0.2 \mu\text{W}$ 以下のものに限る。）であること。
- (ウ) 陸上移動局にあっては、免許人所属の5 GHz帯無線アクセスシステムの基地局及び陸上移動中継局であること。

## ウ 識別信号

識別信号は、別表3に基づくこと。

## エ 移動範囲

陸上移動局の移動範囲は、当該陸上移動局の開設の目的に合致する区域であること。

## オ 周波数

周波数は、次のとおりとする。

- (ア) 5 MHzシステム



4912.5MHz、4917.5MHz、4922.5MHz、4927.5MHz、  
4932.5MHz、4937.5MHz、4942.5MHz、4947.5MHz、  
5032.5MHz、5037.5MHz、5042.5MHz、5047.5MHz、  
5052.5MHz及び5057.5MHz

(イ) 10MHzシステム

4915MHz、4920MHz、4925MHz、4935MHz、4940MHz、  
4945MHz、5035MHz、5040MHz、5045MHz及び5055MHz

(ウ) 20MHzシステム

4920MHz、4940MHz、4960MHz、49080MHz、5040MHz、  
5060MHz及び5080MHz

(エ) 40MHzシステム

4930MHz及び4970MHz

## カ 監視制御機能

基地局にあっては、システムの運用保守に必要な監視制御機能を有するものであること。陸上移動中継局にあっては、通信の相手方である基地局の当該監視制御信号を通信の相手方である陸上移動局に中継すること。

監視制御のための補助信号は、時分割により無線主信号に内挿して伝送するものとし、特殊なキャリア又は変調等を使用しないものであること。

## キ 混信保護

混信保護の審査は、次の基準により行うこと。

(ア) 4900MHzを超え、5000MHz以下の周波数の電波を使用する場合

A 基地局及び陸上移動中継局の通信の相手方である陸上移動局が免許を要しない陸上移動局のみでない場合は、次の(A)及び(B)に適合しなければならない。

(A) この周波数帯を受信周波数帯とする固定局への与干渉

a 基地局及び陸上移動中継局の設置地点において、次の2式を満たすこと。

$$L_{acs\_DMR} \geq EIPR_{base\_acs} + 144 \text{ (dB)}$$

$$L_{acs\_DMR} \geq 178 - 10\log B_{w\_acs} \text{ (dB)}$$

$L_{acs\_DMR}$  : 基地局又は陸上移動中継局から固定局(受信)までの自由空間伝搬損失と回折損失を加え、固定局(受信)の基地局又は陸上移動中継局方向の標準的な受信空中線利得を減じた値(dB)(以下この基準において同じ。)

$EIPR_{base\_acs}$  : 基地局又は陸上移動中継局から固定局(受信)方向

の1MHz当たりの等価等方輻射電力 (dBm/MHz)  
(以下この基準において同じ。)

$B_{w\_acs}$  : 基地局又は陸上移動中継局の通信の相手方である陸上移動局の占有周波数帯幅 (MHz) (以下この基準において同じ。)

- b 通信可能エリア (7のウ)で求められる範囲をいう。以下この基準において同じ。)のうち固定局(受信)の受信伝搬路上(その延長を含む。)に最も接近する地点において、次式を満たすこと。

$$L_{acs\_DMR} \geq 174 - 10\log B_{w\_acs} \text{ (dB)}$$

- (B) 4800MHzを超え4900MHz以下の周波数を受信周波数帯とする固定局への与干渉
- a 基地局及び陸上移動中継局並びにその通信の相手方である陸上移動局の不要発射等の電力がいずれも $0.2\mu\text{W}$ 以下であること。
- b a以外の場合であって、基地局及び陸上移動中継局の設置地点及び通信可能エリアのうち固定局(受信)の受信伝搬路上(その延長上を含む。)に最も近接する地点において、次式を満たすこと。

$$L_{acs\_DMR} \geq 100 \text{ (dB)}$$

- B 基地局及び陸上移動中継局の通信の相手方である陸上移動局が免許を要しない陸上移動局のみである場合は、次の(A)及び(B)に適合しなければならない。

- (A) 基地局及び陸上移動中継局の設置地点において、次の2式を満たすこと。

$$L_{acs\_DMR} \geq EIPR_{base\_acs} + 144 \text{ (dB)}$$

$$L_{acs\_DMR} \geq 164 \text{ (dB)}$$

- (B) 通信可能エリアのうち固定局(受信)の受信伝搬路上(その延長上を含む。)に最も近接する地点において、次式を満たすこと。

$$L_{acs\_DMR} \geq 154 \text{ (dB)}$$

- (イ) 5030MHzを超え、5091MHz以下の周波数の電波を使用する場合  
4900MHzを超え5000MHz以下の周波数を受信周波数とする固定局との間で、次の(A)又は(B)に適合しなければならない。

- A 基地局及び陸上移動中継局並びにその通信の相手方である陸上移動局の不要発射等の電力がいずれも $0.2\mu\text{W}$ 以下であること。
- B A以外の場合であって、基地局及び陸上移動中継局の設置地点並びに通信可能エリアのうち固定局（受信）の受信伝搬路上（その延長上を含む。）に最も近接する地点において、次式を満たすこと。

$$L_{\text{acs\_DMR}} \geq 100 \text{ (dB)}$$

(ウ) 通信可能エリアの算出について

通信可能エリアは、陸上移動局が通信可能な範囲として、次式により算出したD (m) と、基地局及び陸上移動中継局の送信空中線の水平面の主輻射の角度の幅に囲まれたエリアとする。ただし、これによることが困難な場合は、申請者から提出された資料により求めた値とする。

$$D = \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right) \times 10^{L/20} = 4.78 \times 10^{-3} \times 10^{L/20}$$

$$L = \text{EIRP}_{\text{sub\_acs}} + G_{\text{base\_acs}} - P_{\text{min}}$$

$$\lambda \text{ (波長)} = 3.0 \times \frac{10^8}{5.0} \times 9 = 0.06 \text{ (m)}$$

$\text{EIRP}_{\text{sub\_ads}}$  : 陸上移動局の1MHz当たりの等価等方輻射電力 (dBm/MHz)

注1 陸上移動局が免許を要しない陸上移動局のみでない場合

$$30 - 10\log B_{w\_acs}$$

2 陸上移動局が免許を要しない陸上移動局のみの場合  
10

$G_{\text{base\_acs}}$  : 無線アクセスシステムの1MHz当たりの最小受信入力 (dBm/MHz)

注1 変調方式がOFDM方式のもの

	20MHzシステム	10MHzシステム	5MHzシステム
$P_{\text{min}}$	-94	-97	-100

2 変調方式が2FSK方式及び4FSK方式のもの (20MHzシステムに限る。)

	2FSK方式	4FSK方式
$P_{\text{min}}$	-95	-90

3 その他のものにあつては、申請者から提出された資料により適正と認められる値を使用するものとする。

## 用語解説

用語	解説
DSRC	DSRC(Dedicated Short Range Communication)とは、ETCなどに用いられている双方向無線通信技術のこと。狭域通信、もしくは専用狭域通信と呼ばれ、通信できる距離は数メートル～数百メートルと短い、利用可能範囲をあえて狭くすることで、特定のスポット内での高速な通信(4 Mbps程度)を実現する。
FWA	FWA(Fixed Wireless Access)とは、無線による加入者系データ通信サービスの方式の一つ。22GHz、26GHz、38GHzの3つの周波数帯を使用し、数Mbpsから数十Mbpsの高速なデータ通信を行なうことができる。 同じ方式を指して「WLL(Wireless Local Loop)」と呼ぶこともあるが、無線通信に関する国際的な標準化団体のITU-Rが、1999年にFWAと呼称することを勧告したため、今後はFWAに用語が統一されていくものと思われる。
ICMP	ICMP(Internet Control Message Protocol)とは、IPのエラーメッセージや制御メッセージを転送するプロトコル。TCP/IPで接続されたコンピュータやネットワーク機器間で、互いの状態を確認するために用いられる。ネットワーク診断プログラムpingが使う。
IEEE	IEEE(Institute of Electrical and Electronic Engineers)とは、電気・電子分野における世界最大の学会。1963年にAIEE(American Institute of Electrical Engineers:米国電気学会)とIRE(Institute of Radio Engineers:無線学会)が合併して発足した。本部はニューヨーク。世界150カ国に38万人以上の会員がいる。 エレクトロニクスに関する学会を開いたり、論文誌を発行したり、専門委員会を開いて技術標準を定めたりしている。コンピュータの世界ではLANの規格を定めた802シリーズの標準が特に有名である。
IPv4	IPv4(Internet Protocol Version 4)とは、現在のインターネットで利用されているインターネットプロトコル(IP)。アドレス資源を32ビットで管理しているため、識別できるコンピュータの最大数は42億9496万7296台である。しかし、近年のインターネットの急速な普及により、アドレス資源の枯渇が予想以上に早く生じるとの危険が関係者の間に高まり、128ビットでアドレスを管理するIPv6が開発された。
IPv6	IPv6(Internet Protocol Version 6)とは、アドレス資源の枯渇が心配される現行のインターネットプロトコル(IP)IPv4をベースに、管理できるアドレス空間の増大、セキュリティ機能の追加、優先度に応じたデータの送信などの改良を施した次世代インターネットプロトコル。
IP電話	IP電話とは、インターネットで利用されるパケット通信プロトコルのIP(Internet Protocol)を利用して提供される電話サービス。音声を電話機でデジタルデータに変換し、パケットと呼ばれる単位に分割した上で、IPネットワーク上を通話相手まで送ることで音声通話を行なう。 途中のネットワークが通信事業者のネットワークなのか、インターネットを経由するのか、電話機を使うのかパソコンを使うのかなど、一口にIP電話サービスといっても様々な形態がある。
OFDM変調方式	OFDM(Orthogonal frequency division multiplex:直交周波数分割多重)変調方式とは、無線LANなどで用いられるデジタル変調方式である。 多数の搬送波を使用し、変調する信号波の位相が隣り合う搬送波間で直交するようにし、搬送波の帯域を一部重ね合わせて周波数帯域を有効利用する方式。多重化方式の一つであるとも言える。個別の搬送波には直交振幅変調が用いられる。
RSSI	RSSI(Received Signal Strength Indication)は受信電波の強度を示す値であり、主に無線LANやBluetoothなどの無線通信において、送信範囲の制御などの目的で利用されている。装置により単位を持たないものやdBm等の単位で表示されるものもある。
RTP	RTP(Real-time Transport Protocol)とは、音声や映像をストリーミング再生するための伝送プロトコル。パケットロス対策や伝送時間保証などは行われていないUDPタイプのプロトコルで、通常はRTCPによる通信状態レポートとセットで用いられる。RTCPによって実効帯域幅や遅延時間などをサーバに送出し、サーバは報告された通信状態に合わせてRTPで送信するデータの品質を調整して送信するという形を取る。1996年に提唱されたプロトコルで、現在はQuickTimeやRealPlayerがRTPに対応している。

用語	解説
S/N	S/N(Signal to Noise ratio)とは、信号に対するノイズ(雑音)の量を対数で表したものの。アンプなどの電気回路の性能を表すときなどに使われる。基準信号を入力したときの出力レベル(信号レベル)を、入力なしの場合の出力レベル(雑音レベル)に対してdB(デシベル)で表す。数値が大きいほど雑音が少なく高品質の信号が得られることを意味する。
TCP/IP	TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)とは、インターネットやイントラネットで標準的に使われるプロトコル。米国防総省が、核攻撃で部分的に破壊されても全体が停止することのないコンピュータネットワークを開発する過程で生まれた。UNIXに標準で実装されたため急速に普及し、現在世界で最も普及している。OSI参照モデルではIPが第3層(ネットワーク層)、TCPが第4層(トランスポート層)にあたり、HTTPやFTPなどの基盤となるプロトコルである。
UDP	UDP(User Datagram Protocol)とは、インターネットで利用される標準プロトコルで、OSI参照モデルのトランスポート層にあたる。ネットワーク層のIPと、セッション層以上のプロトコルの橋渡しをする。 インターネットでは、トランスポート層のプロトコルとしてTCPも使われるが、UDPは転送速度は高いが信頼性が低く、TCPは信頼性は高いが転送速度が低い。
VoIP	VoIP(Voice over Internet Protocol)とは、インターネットやイントラネットなどのTCP/IPネットワークを使って音声データを送受信する技術。社内LANを使った内線電話や、インターネット電話などに応用されている。
WiFi	Wi-Fi(Wireless Fidelity)とは、無線LANの標準規格である「IEEE 802.11a/IEEE 802.11b」の消費者への認知を深めるため、業界団体のWECAが名づけたブランド名。 WECAにはCisco社、3Com社、Nokia社、富士通、ソニーなどの業界大手各社が参加しており、各社のIEEE 802.11a/b対応製品の相互接続性を保証するために互換性テストを行なっている。これにパスした製品は「Wi-Fi Certified」という認定が与えられ、他社製品との互換性が保証された製品としてロゴマークを製品パッケージなどに表示できるようになる。 互換性テストはIEEE 802.11a製品とIEEE 802.11b製品で別々のものとして行われており、それぞれのテストに合格した製品には、「Wi-Fi Certified 802.11a」「Wi-Fi Certified 802.11b」という形で、どの規格のテストに合格したのか明記されることになっている。
WiMAX	WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)とは、2003年1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。IEEE 802.16規格の使用周波数帯を変更したもの。 IEEE 802.16規格は10~66GHzの周波数帯を使用していたが、802.16a規格では2~11GHzを利用するよう改められている。また、見通しのきかない範囲にある端末とも通信できるよう改良されている。通信速度や最大距離は変わらず、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。 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。IEEE 802.16による加入者系アクセス網を「Wireless MAN」(無線MAN: Wireless Metropolitan Area Network)という。人口密度の低い地域でも安価にブロードバンド接続サービスを提供する手段として注目を集めている。
オムニアンテナ	オムニアンテナ(omnidirectional antenna)とは、指向性がなく全方向に電波を放射し感知するアンテナ。無指向性アンテナともいう。無線LANなどで使用される。
キャリアセンス	無線LAN送信装置から電波を発射する場合は、そのチャンネルが空いているか調べる必要があり、この動作をキャリアセンスという。IEEE802.11bを例にとると13チャンネル指定されているので、あるチャンネルが使用されていれば他のチャンネルに切り替えて、もし空いていれば初めて電波を発射することができる。
ゲートウェイ	ゲートウェイ(gateway)とは、ネットワーク上で、媒体やプロトコルが異なるデータを相互に変換して通信を可能にする機器。OSI参照モデルの全階層を認識し、通信媒体や伝送方式の違いを吸収して異機種間の接続を可能とする。
ジッタ	ジッタ(jitter)とは、通信やオーディオ関連の機器などにおいて発生する、信号の時間的なズレや揺らぎのことである。
スプリアス	スプリアス(spurious)とは、無線局から発射される電波のうち、高調波、低調波、寄生発射などの目的外の電波のことをいう。スプリアスは、TVI、BCI、アンプなどの電波障害の原因となるため、電波法(無線設備規則)によりその量が制限されている。



用語	解説
スペースダイバシティ	<p>ダイバシティ (diversity) とは、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たり、受信した信号を合成してノイズを除去したりすることによって、通信の質や信頼性の向上を図る技術のことである。</p> <p>スペースダイバシティとは、空間上に複数のアンテナを設置する方式で、ダイバシティを構成する2本のアンテナが1/2波長以上離れていれば、それぞれのアンテナの受信状態の相関はないと言われている。</p> <p>複数のアンテナを用意し、単に電波が強いほうのアンテナをスイッチで切り替えるアンテナ切り替え方式と、複数のアンテナの間隔を適切に離して用意し、強い電波を拾ったアンテナ同士の間隔を揃えて合成する最大比合成方式がある。</p>
スループット	<p>スループット (throughput) とは、単位時間あたりの処理能力。コンピュータが単位時間内に処理できる命令の数や、通信回線の単位時間あたりの実効転送量などを意味する。後者の場合、末端同士の実質的な通信速度（理論値からプロトコルのオーバーヘッド等を差し引いた実効速度）の意味で使われる。</p>
電力半値角	<p>電波が最強となる点を中心にして、強度（電力）が半分（-3 dB）になる点がつくる角度を半値角と言う。半値角は指向性の鋭さを示し、小さいほど感度（動作利得）が高くなる。</p>
ハイトパターン	<p>ハイトパターンとは、アンテナの高さ以外の通信条件が一定のときの、アンテナ高と電界強度との関係を表したものである。通信状況を良好に保つために一般的にはアンテナを高い位置に設置するように言われているが、実際には周波数や通信距離、アンテナ高に依存して電界強度が大きく変化することがある。</p>
パケット	<p>パケット (packet) とは、コンピュータ通信において、送信先のアドレスなどの制御情報を付加されたデータの小さなまとまりのこと。データをパケットに分割して送受信する通信方式をパケット通信と呼ぶ。データを多数のパケットに分割して送受信することにより、ある2地点間の通信に途中の回線が占有されることがなくなり、通信回線を効率良く利用することができる。また、柔軟に経路選択が行なえるため、一部に障害が出ても他の回線で代替できるという利点もある。</p>
パッチアンテナ	<p>パッチアンテナ (patch antenna) とは、マイクロストリップアンテナとも呼ばれる。帯域が狭く、広い指向性を持つ。アンテナのエレメントの形を、絶縁物の基板上に貼り付けた金属にエッチングして作られる。非常に薄く、凹凸のある自己相似形をしている。航空機や宇宙船の外側、あるいは自動車内に取り付けられた無線通信機器に用いられる。</p> <p>このアンテナは、単純で2次元的な物理的形状を持つため、その製造には相対的に費用がかからない。これらは共振周波数における波長によって大きさが決まるため、通常は極超短波 (UHF) あるいはそれ以上の周波数で用いられる。</p>
ピッチング	<p>ピッチング (pitching) は、乗り物など前後・左右・上下が決まった物体が、左右を軸として（いわゆる「上下に」）回転すること。ピッチ (pitch) とも。なお、前後を軸にした回転がローリング (rolling) またはロール (roll)、上下を軸にした回転がヨーイング (yawing) またはヨー (yaw) である。主に、航空機や船舶について言うことが多い。</p>
ビット	<p>ビット (bit) とは、コンピュータが扱う情報の最小単位。2つの選択肢から1つを特定するのに必要な情報量が1ビット。一般に、nビットの情報量では2のn乗個までの選択肢からなる情報を表現することができる。</p>
ビットレート	<p>ビットレート (bit rate) とは、単位時間あたりに何ビットのデータが処理あるいは送受信されるかを表す語。単位としては「ビット毎秒」(bps: bits per second) を使うのが一般的。圧縮された映像データや音声データが1秒あたりどのくらいの情報量で表現されているかを表したり、通信回線が1秒間にどのくらいのデータを送受信できるかを表したりするのに使う。</p>
フェージング	<p>フェージング (fading) は、電波が地上の障害物や大気中の電離層などによって反射することによって生じる。あるいは移動体通信においては、送受信する端末そのものが移動することでもフェージングが生じる。時間差を持った波長は合成される際に互いに電波レベルを強めあったり弱めあったりする効果を生む。</p>
フレネルゾーン	<p>フレネルゾーン (fresnel zone) とは、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。</p> <p>フレネル・ゾーンは、回転楕円体（真ん中が太いラグビー・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、電波が減衰し本来の通信品質が得られないことがある。</p>

用語	解説
無線LAN	無線LAN(Wireless LAN)とは、無線通信でデータの送受信をするLANのこと。特に、IEEE 802.11諸規格に準拠した機器で構成されるネットワークのことを指す場合が多い。
無線スポット	無線LANホットスポット(Wireless LAN hot spot)のこと。無線LANホットスポットとは、無線LANやBluetoothなどのアクセスポイントを設置し、無線でのインターネット接続サービスを不特定多数の利用者に提供している空間のこと。 ISPなどが商用サービスとして提供する場合から、飲食店などが利用客に対して無料サービスとして提供する場合まで、その提供形態は多種多様である。
無線ブリッジ	無線LANのアクセスポイントをブリッジタイプで構成すること。ブリッジとは、ネットワークにおいてケーブル(セグメント)間のデータ中継を行う機器のことである。LANのブリッジとしてのみ機能するアクセスポイントをブリッジタイプと呼ぶ。ルーター機能を持たないので安価である。
有義波高	主に気象学で用いられる。波形の観測記録を見ると、波高や周期は当然、一波ごとに異なっている。波浪予想図や波浪実況図、強風注意報や暴風警報、あるいは天気予報で示される波高は、正確には有義波高である。有義波高とは、ある一定の時間内に観測されたN個の波を波高の高いほうから順に並べて上位N/3個を取り出し、その波高の平均をとったものである。海面を観察して、直感的に感じる平均的な波高はこの有義波高に近いといわれている。
ローリング	ピッチングの項を参照。
ワイヤレスブロードバンド	ワイヤレスブロードバンド(wireless broadband)とは、ADSLや光ファイバーなどのブロードバンド通信に準じる通信速度を実現する、無線通信サービスや技術の総称。概ね数Mbpsから数十Mbpsでの通信が可能で、通信エリア内では屋外や高速移動中でも利用できるものを指す。 ワイヤレスブロードバンドを実現する通信方式はいくつかあり、有力なのは3G(第3世代)携帯電話の高速データ通信方式(LTEやHSPAなど)、無線LANの技術をベースとしたモバイルWiMAX、次世代PHSのXGPなどである。 ワイヤレスブロードバンドは一般的には携帯電話のように基地局から対象地域を面的にカバーするサービスのことを指し、店内や駅など限られたポイントで利用できる無線LANホットスポットのようなサービスは含めないことが多い。

-----  
参考文献等：IT用語辞典e-Words (株式会社インセプト)【<http://e-words.jp/>】他

**沿岸海域における  
効率的なワイヤレスブロードバンドシステムの  
技術的条件に関する調査検討会**

**事務局 総務省 東北総合通信局無線通信部企画調整課**

〒980-8795 仙台市青葉区本町3丁目2-23

Tel (022)221-0702/Fax (022)221-0607

URL <http://www.soumu.go.jp/soutsu/tohoku/>



古紙配合率100%、白色度70%以下の再生紙を使用しています