

地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する
調査検討報告書

平成 23 年 3 月

地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会

はじめに

広大な地域を持つ北海道では、市街地にはブロードバンドサービスが提供されているが、集落や民家が点在している郊外地域では、未だにブロードバンドサービスが提供されていない地域が少なくない。このようなルーラルエリアでは、多額な敷設費を要する光ファイバに代わり、地域 WiMAX による中継が実現できれば、経済的にブロードバンドサービスの利用が実現できる。加えて移動中の高速通信など、モビリティを活かした多様なサービスも可能になる。特に、同一周波数による中継が実現できれば、周波数の有効利用や採算性等の面でも極めて有効なシステムが実現できることになる。

しかし、同一周波数による中継は伝送距離や干渉の状況等によっては、十分な伝送速度を得ることができないことが想定される等、技術的にクリアされなければならない課題が多い。

本調査検討会では、このような状況を踏まえ、新しいシステムとして地域 WiMAX を利用し、同一周波数中継方式（再生中継方式・非再生中継方式）の可能性について、各分野の専門家の皆様にお集まりいただき技術的検討をしていただいた。

また、旭川市においてフィールド試験を実施し、伝送速度、電波干渉等に関して基礎的データを取得した。検討の結果、本報告書に詳述したように、地域 WiMAX における同一周波数中継方式が、周波数の有効利用と共にルーラルエリアでのデジタル・ディバイドの解消にも大きく貢献できることを確認した。

この報告書が、地域 WiMAX の同一周波数中継方式によるブロードバンドサービスを提供するシステムの導入に際して、有用な技術資料になることを期待している。

最後に、ご多忙のなか熱心に調査されご検討いただきました委員各位に、また厳寒の中、フィールド試験に当られた作業部会の各位、旭川市の関係各位に心より感謝申し上げます。

平成 23 年 3 月

「地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会」座長

東海大学 生物理工学部 教授 上瀧 實

目 次

第 1 章 調査検討の概要	1
1-1 開催主旨	1
1-2 調査検討の目的	1
1-3 調査検討の背景	1
1-4 調査検討項目	2
(1) 中継回線とアクセス回線の干渉回避条件等の検討	2
(2) 再生中継方式と非再生中継方式の伝送距離、伝送速度等の比較検討	2
(3) 各中継方式の実運用面での検討	2
(4) その他、調査検討に必要な事項	2
第 2 章 ブロードバンドサービスの現状と課題	3
2-1 ブロードバンドサービスの現状	3
(1) 全国の状況	3
(2) 北海道内のブロードバンドの普及状況	3
(3) 北海道内のブロードバンド整備状況と課題	4
2-2 ワイヤレスブロードバンドについて	5
(1) 無線 LAN	5
(2) 携帯電話系サービス	6
(3) WiMAX	6
① WiMAX の特長と基本技術	7
② WiMAX と他の無線システムとの位置づけ	8
第 3 章 地域 WiMAX 通信システム	11
3-1 地域 WiMAX とは	11
3-2 地域 WiMAX の特長	12
(1) 固定系地域バンドの目的	12
(2) 割当可能な周波数	12
(3) 対象とする技術方式	12
(4) 申請者の要件	12
(5) 免許の単位	12
(6) 申請の際の調整	12
3-3 地域 WiMAX 普及状況	13
3-4 地域 WiMAX 同一周波数中継とは	13
(1) 地域 WiMAX 同一周波数中継	13

(2) WiMAX 中継の状況	14
(3) 再生中継方式	15
(4) 非再生中継方式	15
(5) 同一周波数中継における課題	16
第4章 実証試験	17
4-1 実証試験の目的	17
4-2 実証試験の概要	17
(1) 期間	17
(2) 実環境試験実施場所	17
(3) システム構成	18
(4) 設置状況	20
(5) 装置諸元	25
① 基地局設備	25
② 再生中継方式の無線設備	28
③ 非再生中継方式の無線設備	30
④ 加入者端末装置	33
(6) 試験内容	34
① 中継局置局のための所要 D/U	34
② アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響	34
③ 加入者端末の通信状況における実用性の検証	34
④ サブキャリア分割(セグメント化)の有無による干渉回避の検証	34
⑤ 各試験において測定する項目	35
4-3 実証試験結果(再生中継方式)	36
(1) 中継局置局のための所要 D/U	36
① インハウス試験	36
ア. 試験構成	36
イ. 試験内容	37
ウ. 試験結果	37
② 実環境試験	40
ア. 試験構成	40
イ. 試験内容	40
ウ. 試験結果	44
(2) アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響	52
① インハウス試験	52
② 実環境試験	52

ア. 試験構成	52
イ. 試験内容	52
ウ. 試験結果	56
(3) 加入者端末の通信状況における実用性の検証	64
① インハウス試験	64
ア. 試験構成	64
イ. 試験内容	65
ウ. 試験結果	66
エ. 変調方式を QPSK1/2 に固定した場合の DL と UL の D/U とスループットの比較	70
② 実環境試験	71
ア. 試験構成	71
イ. 試験内容	72
ウ. 試験結果	78
(4) サブキャリア分割(セグメント化)の有無による干渉回避の検証	87
① インハウス試験	87
ア. 試験構成	87
イ. 試験内容	88
ウ. 試験結果	88
② 実環境試験	90
ア. 試験構成	90
イ. 試験内容	90
ウ. 試験結果	94
4-4 実証試験結果(非再生中継方式)	95
(1) 中継局置局のための所要 D/U	95
① インハウス試験	95
ア. 試験構成	95
イ. 試験内容	96
ウ. 試験結果	96
エ. ICS ありと ICS なしの関係	103
② 実環境試験	104
ア. 試験構成	104
イ. 試験内容	104
ウ. 試験結果	108
(2) アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響	113
① インハウス試験	113

② 実環境試験	113
ア. 試験構成	113
イ. 試験内容	113
ウ. 試験結果	117
(3) 加入者端末の通信状況における実用性の検証	122
① インハウス試験	122
ア. 試験構成	122
イ. 試験内容	124
ウ. 試験結果	126
② 実環境試験	132
ア. 試験構成	132
イ. 試験内容	132
ウ. 試験結果	138
4-5 考察	142
(1) 再生中継方式	142
① 中継局置局のための所要 D/U-インハウス試験と実環境試験の比較	142
② アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響	144
③ 加入者端末の通信状況における実用性の検証-インハウス試験と実環境試験の比較	147
④ サブキャリア分割(セグメント化)の有無による干渉回避の検証	151
(2) 非再生中継方式	153
① 中継局置局のための所要 D/U-インハウス試験と実環境試験の比較	153
② アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響	155
③ 加入者端末の通信状況における実用性の検証-インハウス試験と実環境試験の比較	159
④ 非再生中継方式における ICS ありと ICS なしの比較	162
⑤ ICS を搭載していない非再生中継方式を使用する際の留意点	164
(3) 再生中継方式と非再生中継方式の比較	166
① 再生中継方式と非再生中継方式(ICS なし)の比較	166
② アンテナ条件の比較	167
③ 加入者端末における干渉の影響の比較	168
(4) 非再生中継方式レピータの帯域外増幅度に関する検討	170
① 帯域外増幅度の測定方法	171
② 帯域外増幅度の測定結果	173
③ 実環境での UQ 端末動作確認	174

第5章 地域 WiMAX 同一周波数中継方式の導入に向けて	175
5-1 地域 WiMAX 同一周波数中継方式の有用性	175
(1) 中継局置局のための所要 D/U	175
(2) アンテナの離隔等への設置に関する効果	177
(3) 加入者端末の通信状況における実用性	178
(4) 再生中継方式と非再生中継方式の特徴	181
① 中継局置局のための所要 D/U	181
② アンテナの離隔等への設置に関する効果	181
③ 加入者端末の通信状況における実用性	181
④ データ遅延	182
5-2 地域 WiMAX 同一周波数中継方式の整備例	183
(1) 想定条件	183
(2) 設置例	183
(3) 各設置例の特徴	188
5-3 地域 WiMAX 同一周波数中継方式導入に向けて	189
(1) 地域 WiMAX 同一周波数中継方式導入の課題	189
① 技術基準について	189
② アンテナ設置の条件	189
③ 非再生中継方式の送信電力設定	189
④ 再生中継方式の構成について	189
⑤ MIMO 方式対応	189
⑥ 多段中継	190
(2) 地域 WiMAX 同一周波数中継方式導入に向けて	191

資料編

< A 1 > 地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会	設置要綱	193
< A 2 > 地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会	委員構成	195
< A 3 > 地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会	作業班構成	196
< A 4 > 検討経過報告		197
< A 5 > 用語集		198

第1章 調査検討の概要

1-1 開催主旨

市町村合併が進み、特に北海道においては、1市町村が県と同程度の面積を有する自治体も少なくなく、市街地ではブロードバンドサービスが提供されているが、広大な地域に集落や民家が点在している郊外地域の多くではブロードバンドサービスが未だに提供されていない地域が多くある。このような地域では設置コストなどの採算性の問題から整備が進まない状況にある。

このような広い地域へブロードバンドサービスを経済的に提供するために、また光ファイバ等の有線ブロードバンドサービスが提供されている地域でも、地域 WiMAX による同一周波数中継が実現できれば、移動中の高速通信など、モビリティを活かした多様なサービスが可能となり、周波数の有効利用や採算性の面でも有効なシステムであると考えられている。

しかし、同一周波数による中継では伝送距離や干渉の状況等によっては、ユーザは十分な伝送速度を得ることができないことが想定される等、技術的にクリアされなければならない課題は非常に多いのが実状である。

このような状況を踏まえ、本調査検討会では、デジタル・ディバイドの解消、地域の公共サービスの向上等、地域の公共の福祉の増進を図るための新しいシステムとして制度化された本システムを利用し、同一周波数中継方式（再生中継方式・非再生中継方式）について、各分野の専門家の皆様にお集まりいただき、その伝送距離、伝送速度、電波干渉回避手法等に関して技術的検討を行うとともにその利点を最大限に活かし、採算面でも実現可能なシステム構築を目指す。

1-2 調査検討の目的

地域 WiMAX の同一周波数中継を行う際の技術的条件等の検討を行い、周波数の有効利用に資するとともに、多様なブロードバンドサービスを経済的に提供することが可能となるシステムについて検証する。

1-3 調査検討の背景

広大な地域に集落や民家が点在している郊外はブロードバンドサービス未提供地域が多いが、光ファイバ敷設は、設置時などに多額の費用が必要となる。地域 WiMAX による中継が実現できればブロードバンドサービスエリアを経済的に拡大でき、移動中の高速通信などモビリティを活かした多様なサービスも可能になり、同一周波数による中継の実現は、周波数の有効利用にもつながる。

この調査検討会において、干渉や伝送速度の低下などを検証し、技術的条件等を明らかにする。

1-4 調査検討項目

- (1) 中継回線とアクセス回線の干渉回避条件等の検討
- (2) 再生中継方式と非再生中継方式の伝送距離、伝送速度等の比較検討^(注)
- (3) 各中継方式の実運用面での検討
- (4) その他、調査検討に必要な事項

注：再生中継方式=受信したデータを復調、復号化しデジタルデータに変換後、符号化、変調して送信する

非再生中継方式=受信したデータをそのまま増幅して送信する

第2章 ブロードバンドサービスの現状と課題

2-1 ブロードバンドサービスの現状

(1) 全国の状況

インターネットアクセスを中心とするブロードバンドサービスは、近年 FTTH(Fiber To The Home)を中心に 3400 万契約（平成 22 年 9 月末現在）に達し、その数を着実に増やしている(図 2-1)。

ブロードバンドサービスの実現手段としては、FTTH、DSL(Digital Subscriber Line)、CATV(Community Antenna Television)、FWA(Fixed Wireless Access)/BWA(Broadband Wireless Access)の順で普及しており、近年、DSL サービスが減少し FTTH が増加の傾向にある。無線を利用した FWA/BWA の契約率は全体の 1%以下で、ブロードバンドサービス的手段としては大きな普及には至っていない。

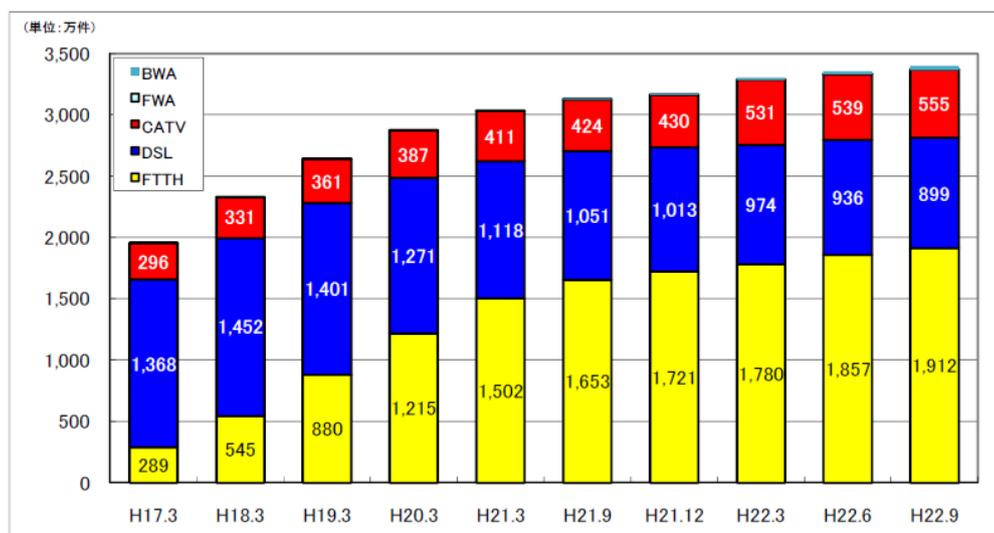


図 2-1 ブロードバンドサービスの契約状況（全国）

※ 北海道総合通信局 北海道内のブロードバンドサービスの契約状況（平成 22 年 9 月末現在）から引用

(2) 北海道内のブロードバンドの普及状況

北海道内のブロードバンドサービス契約数は、平成 22 年 9 月末現在で 126 万 5495 契約となり、世帯普及率は、47.7%（前年同期 43.4%）と着実に普及が進んだ。

FTTH サービスは 74 万 3432 契約で、この一年で約 11.2 万件の増加と大きな伸びを示す一方、DSL サービスは、39 万 4990 契約で約 5 万件の減少となり、減少傾向が続いている。これは全国と同様の傾向を示している。

北海道におけるブロードバンドサービスの種類別契約数は表 2-1、契約状況の推移は図 2-2 のとおりである。

表 2-1 ブロードバンドサービスの種類別契約数

		北海道		全国	
		契約数	世帯普及率 (%)	契約数	世帯普及率 (%)
サービス 種類	FTTH	743,432	28.0	19,121,711	35.8
	DSL	394,990	14.9	8,990,467	16.8
	CATV	124,602	4.7	5,554,085	10.4
	FWA	1,511	0.1	10,840	0.0
	BWA	960	0.0	340,326	0.6
合計		1,265,495	47.7	34,017,429	63.7

注：世帯普及率は、「契約数/住民基本台帳に基づく世帯数(平成22年3月末現在)×100」で算出

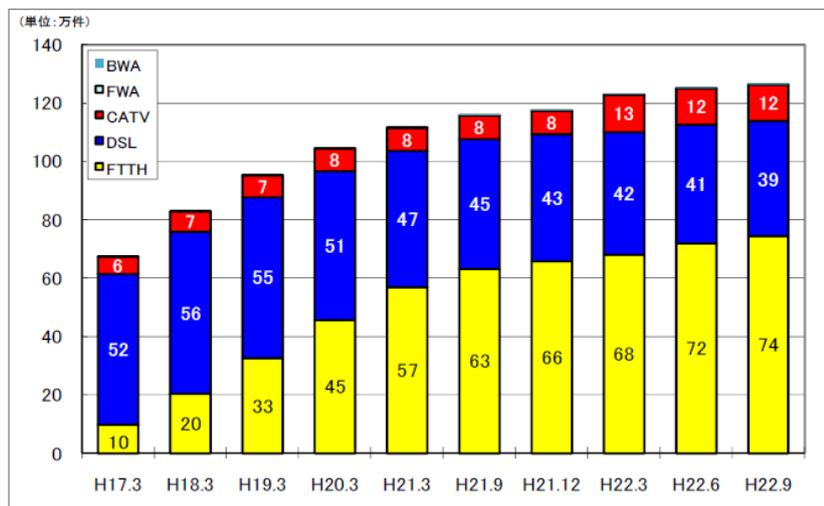


図 2-2 ブロードバンドサービスの契約状況 (北海道)

※北海道総合通信局 北海道内のブロードバンドサービスの契約状況 (平成22年9月末現在) から引用

(3) 北海道内のブロードバンド整備状況と課題

北海道内のブロードバンド整備状況は、平成21年3月末現在、FTTH、ADSL、FWA及び3.5世代携帯電話により約257万8千世帯が整備済みとなり、世帯カバー率は98.4%と着実に整備が進み、平成22年度末までには、ブロードバンドの世帯カバー率は100%となる。

また、超高速ブロードバンドについては、平成22年3月末現在で約90%の世帯カバー率となっているが、残り約10%は未整備の状況となっている。今後は、その解消が課題となるが、地理的条件や経済合理性の観点から光ファイバの敷設が困難な場合等において、無線を利用したワイヤレスブロードバンドによる整備が期待されている。

2-2 ワイヤレスブロードバンドについて

ワイヤレスブロードバンドは、メガビットクラスの通信速度を有する無線通信サービスである。現在では最もポピュラーな無線方式として、無線 LAN、携帯電話系サービス、WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)があり、その特徴は次のとおりである。

(1) 無線 LAN

無線 LAN は、平成 11 年（1999 年）に IEEE802.11b と呼ばれる規格の成立とともにオフィス、家庭において非常に普及が進んでいる。現在では、相互接続性を認定する団体(WiFi-Alliance)から WiFi(ワイファイ)と呼ばれることも多い。

通信速度も従来は数 Mbps 程度であったが、最新規格である IEEE802.11n においては、無線区間で最大 300Mbps(2×2MIMO 時)と有線 LAN に匹敵する速度を有する。無線 LAN の通信速度の推移は、図 2-3 のとおりである。

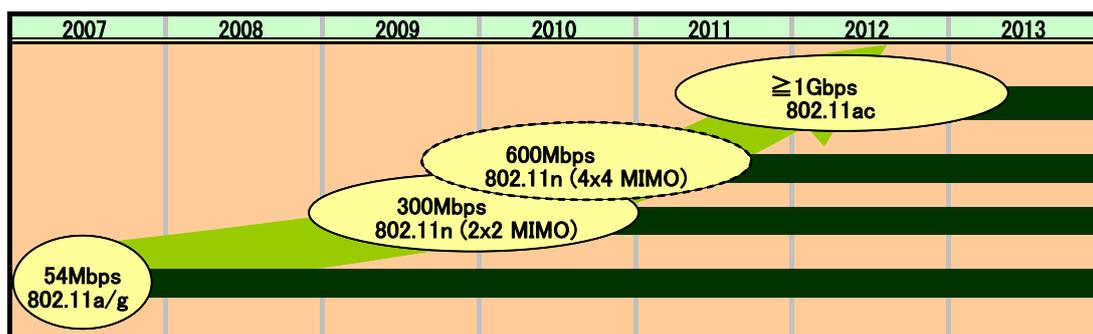


図 2-3 WiFi の通信速度の発展

また、無線 LAN の利用周波数は、2.4GHz 帯、4.9GHz 帯、5.2/5.3GHz 帯、5.6GHz 帯と幅広い帯域が利用可能となっている。なお、4.9GHz 帯を除く、いずれの周波数帯も特定小電力無線の規格となっており、免許不要と使いやすいシステムであることから、多くのユーザに利用されている。ただし、免許不要であることから、システム間の干渉に関して保障できないため、ユーザが多いエリアでは通信速度(スループット)が低下するなど制限が生じることがある。

一方 4.9GHz 帯は、登録局の登録が必要な周波数帯であることから、比較的干渉の影響を受けにくいと、FWA などの拠点間固定通信用としてデジタル・ディバイド地域へのアクセス回線などに利用されている。

(2) 携帯電話系サービス

携帯電話サービスは、その世界共通規格の通信規格を進める上で ITU (International Telecommunication Union) が、平成 11 年 (1999 年) に IMT-2000 規格として勧告した。この IMT-2000 として勧告された携帯電話システムを「第 3 世代移動通信システム (3G)」と称し、日本では W-CDMA と CDMA2000 の 2 方式が利用されている。

近年の通信容量の拡大のニーズに伴いそれぞれの方式が改良を加え、W-CDMA の「HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)」や CDMA2000 の「1xEV-DO」などの規格による数 Mbps に対応する通信サービス (通称: 3.5 世代) が現在の主流となっている。

今後、増え続けるデータトラフィックに対応するため、現在 ITU において IMT-Advanced という規格名称で仕様が検討されており、その IMT-Advanced に対応するものを「第 4 世代移動通信システム」と称する。その代表的な通信方式として OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) を採用する LTE Advanced (Long Term Evolution) や IEEE802.16m に対応した WiMAX2 などの次世代の通信方式として通信事業者各社がその導入を進め始めている。

(3) WiMAX

WiMAX の通信技術は、IEEE (米国電気電子学会) の 802.16 委員会で検討されていたものがベースとなっている。設立当初は固定通信を対象としていたが、その後、端末のモビリティ機能を追加するためのタスクグループ e (TGe) が設立され、IEEE Std 802.16e-2005 が制定された。

また、IEEE とは別に、IEEE802.16 規格のシステム運用のための各種パラメータ (システムプロファイル) 規格化、ネットワークレイヤの構成及び機器の相互接続性をテストするための団体として、WiMAX Forum が組織された。この団体名称である「WiMAX: ワイマックス」が、IEEE802.16 の規格を使用した通信方式として広く使われるようになった。IEEE と WiMAX Forum との関係は、図 2-4 のとおりである。

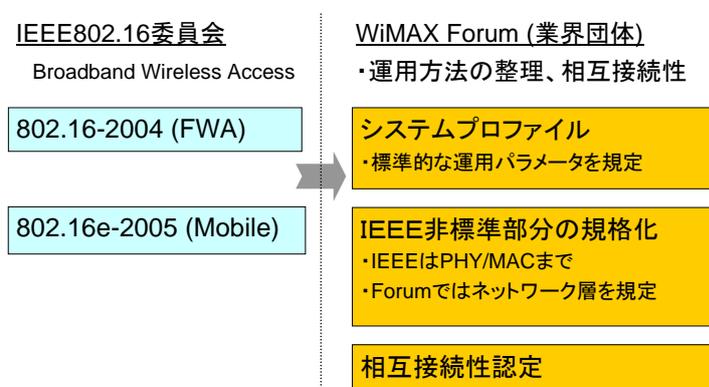


図 2-4 IEEE802.16 委員会と WiMAX Forum の関係

①WiMAX の特長と基本技術

ア. グローバルスタンダード

WiMAX は規格に準拠した装置であれば、異なる機器メーカー同士の製品が相互に通信・接続できることを前提としている。これは、国際的なマーケットから多数の機器メーカーの製品を使用・調達することができるようになるため、運用する事業者にとっては選択の幅が広がり、それが機器メーカー間の競争につながるため装置・機器価格の低廉化につながると期待されている。

また、WiMAX を構成するネットワークは、すべて IP ベースのシステムとなっているため、従来の IP ネットワーク機器(スイッチやルータなど)を利用して容易に安価なネットワークシステムを構築することができる。

イ. 高速通信、端末高速移動性

WiMAX のスループットは、基地局から端末方向(下り)の通信において最大約 40Mbps、端末から基地局方向(上り)の実効速度として約 10Mbps を実現する。また、端末の移動速度として最大時速 120km をサポートできる機能を有している。

ウ. QoS(Quality of Service)機能

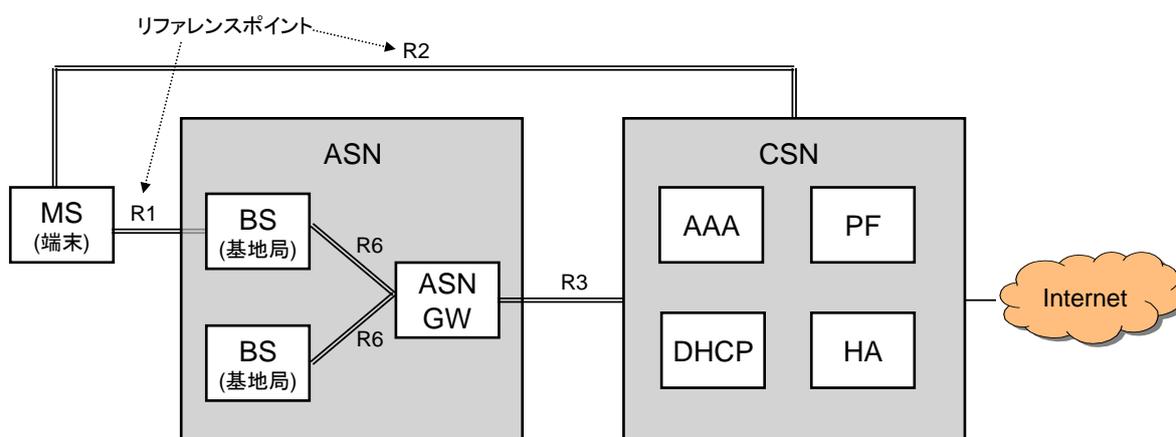
WiMAX は、通信品質を向上させるための QoS に関する機能が充実しており、加入者ごとに、通信データ(映像、音声、データなど)ごとにサービスの品質・優先度を定義することが出来るため、信頼性の高い通信を実現できる。

エ. 柔軟なネットワークシステム

WiMAX の標準的なシステム構成は、図 2-5 のとおりである。WiMAX のネットワークは ASN(Access Service Network)と CSN(Connectivity Service Network)の 2つのネットワークで構成される。

ASN は、基地局装置(BS)と無線端末の移動管理などを制御する ASN-GW で構成される。ASN-GW は、無線端末に対して IEEE802.16e による無線通信に必要な機能を提供し、CSN との接続機能を有する。

また、CSN は、ユーザ認証を行う AAA や、WiMAX のサービスを割り当てる PF、IP アドレスを割り当てる DHCP サーバ、モバイル IP の移動管理を制御する HA などの機器で構成される。また、CSN は ASN と協調して端末を上位ネットワークに接続する機能を有する。これらを繋ぐインターフェースは、リファレンスポイントと呼ばれ、WiMAX フォーラムで規定されている。



機能名	意味	役割
AAA	Authentication Authorization Accounting	加入者に対する認証・認可・課金を実施する
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	MSに対してIPアドレス設定する
HA	Home Agent	Mobile IPによるMSの位置管理およびForeign Agent (FA)へのパケットを転送する (FA: 移動先のネットワークでパケット転送などを行う装置)
PF	Policy Function	MSおよびService Flow(SF)に関するQoS等の設定ポリシーを提供する (SF: QoSタイプやトラフィックレート等の条件群)
BS	Base Station	MSに対してIEEE802.16eによる無線接続機能を有する
ASN-GW	Access Service Network - Gateway	MSに対する帯域割り当ておよびCSNへの接続機能を有する
MS	Mobile Station	無線端末装置

図 2-5 WiMAX システム構成図

オ. OFDMA 方式

WiMAX の無線通信区間では、OFDMA と呼ばれる通信方式が採用されている。この方式は、送信データを遅いデータレートの信号(サブキャリア)に分割し、それらを並列伝送することで、マルチパスなどの通信品質の劣化を低減できる。この方式は、地上デジタル放送や無線 LAN など、無線ブロードバンドを支える技術として幅広く利用されている。

WiMAX では、さらに各サブキャリアをサブチャネルと呼ばれる単位でグループ化し、特定の時間タイミングで使用するユーザごとにそれを割り当てることで、多数のユーザが同時に通信する機能を実現している。

②WiMAX と他の無線システムとの位置づけ

WiMAX と他の無線システムとの位置づけは、図 2-6 のとおりである。

WiMAX を無線端末の移動速度とデータ通信速度からの視点において、携帯電話と無線 LAN を比較すると、現在の第 3 世代携帯電話は、時速 300km の新幹線でも通話ができるほど端末の移動に対応しているが、データ通信速度という面では、数 Mbps 程度であり、図 2-6 においては左上に位置する。

無線 LAN 仕様において、端末の移動速度という点では携帯電話に比べて劣るため、図 2-6 においては右下に位置することになる。

WiMAX は、第 3 世代の携帯電話と無線 LAN の中間に位置する無線アクセス方式といえる。つまり第 3 世代の携帯電話より通信速度が速く、無線 LAN より端末の移動性に優れているということになる。

将来、携帯電話が第 4 世代の携帯電話システムへ進化するとともに、WiMAX も WiMAX2 として第 4 世代の携帯電話システムである IMT-Advanced の一方式として名乗りを上げている。

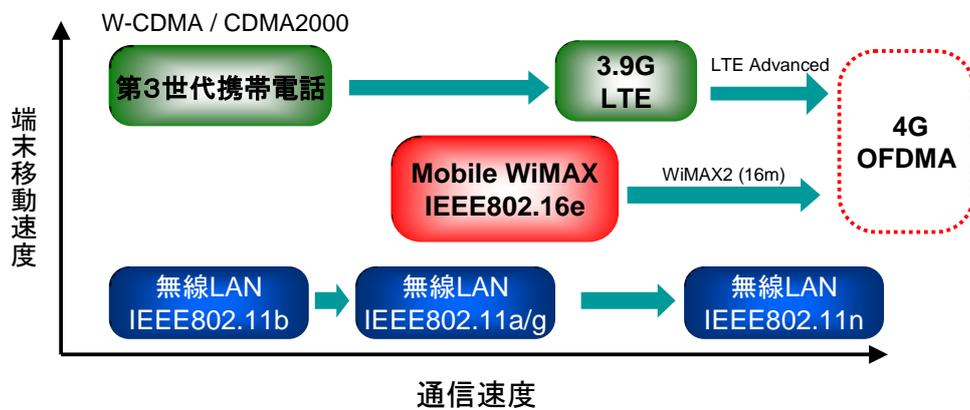


図 2-6 WiMAX の位置づけ

第3章 地域WiMAX 通信システム

3-1 地域WiMAXとは

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・デバイドの解消、地域の公共サービスの向上等当該地域の公共の福祉の増進に寄与することを目的として、広帯域無線アクセスシステムのうち、2575MHz から 2595MHz までの周波数のうちの10MHz幅（固定系地域バンド）を使用する無線局をいう。

固定系地域バンドでは、当分の間WiMAX方式の無線局に割り当てることとしており、この周波数帯に上記の目的で開設される無線局を「地域WiMAX」と呼称する。

なお、固定系地域バンドを使用する無線局ではあるが、陸上移動局として免許を受けた無線局に関しては、移動しての運用が可能である。

2.5GHzの使用帯域は図3-1のとおりであり、地域WiMAXの利用シーンは図3-2のとおりである。

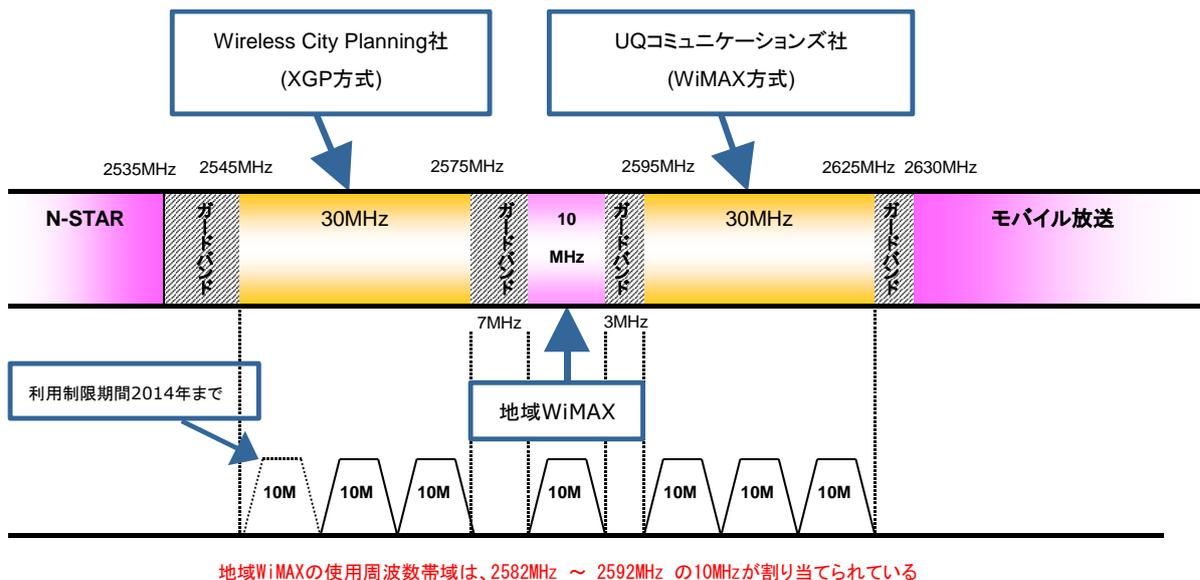


図3-1 2.5GHz 通信システムの電波使用帯域

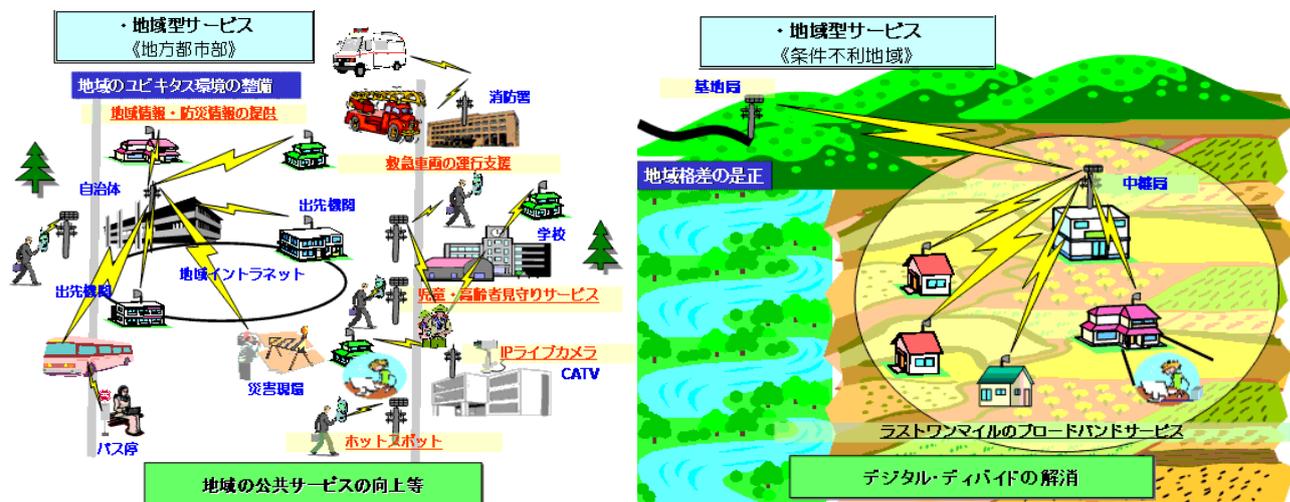


図 3-2 地域 WiMAX の利用シーン

3-2 地域 WiMAX の特長

(1) 固定系地域バンドの目的

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・デバイドの解消、地域の公共サービスの向上等当該地域の公共の福祉の増進に寄与すること

(2) 割当可能な周波数

2575～2595MHz の周波数のうちの 10MHz

(3) 対象とする技術方式

WiMAX 方式（無線設備規則第 49 条の 28 第 1 項第 1 号イ(1)に規定する通信方式）

(4) 申請者の要件

電気通信事業者（ただし、全国バンドの認定事業者を除く）

(5) 免許の単位

原則として、一の市区町村の区域内

※ ただし、固定系地域バンドの目的に反しない限り、複数の市区町村の区域内（原則として、一の都道府県の範囲内）

(6) 申請の際の調整

隣接する周波数を使用する全国バンドの認定事業者との間で、干渉の回避に関し、調整が必要。同じ周波数を使用する隣接地域の免許人または申請者との間で、干渉の回避に関し、調整が必要。

3-3 地域 WiMAX 普及状況

地域 WiMAX の主たる免許取得事業者は、各地域のケーブルテレビ事業者である。現在、46 事業者が免許を付与されている(図 3-3)。北海道においては、(株)帯広シティケーブル及び(株)ニューメディアの 2 つの事業者が地域 WiMAX の免許を取得している。



図 3-3 地域 WiMAX 免許取得事業者

3-4 地域 WiMAX 同一周波数中継とは

(1) 地域 WiMAX 同一周波数中継

通信エリアを拡大する手段としては、基地局を追加設置する方法が一般的であるが、基地局の装置コストやアクセス回線のコスト、たとえば光ケーブルの敷設費用や固定無線アクセス装置のコストやランニング費用などを考慮すると、基地局の設置より安価でアクセス回線が不要な無線中継装置(レピータ)を導入することも有効な手段となる。

基地局サービスエリアと中継局サービスエリアのイメージは、図 3-4 のとおりである。中継局のサービスエリアは、設置条件や周辺環境に依存するが、今回使用した送信出力が 5W の装置では、市街地で 1km 程度である。また、郊外などでは、見通し内であれば 3km~4km 程度である。

一般に無線中継装置は、受信した信号を増幅して再送信する機能を有し、その再送信する周波数は、受信信号と異なる信号を送信する異周波数中継と受信した信号と同じ周波数で再送信する同一周波数中継の 2 方式が考えられる。

異周波数中継では、中継装置の受信信号と再送信する周波数が異なるため、原則とし

て干渉が無く通信品質の劣化は無いが、同一周波数中継では中継装置の受信信号と再送信信号が同じ周波数のために、干渉が発生し通信品質を劣化させることがあることから、干渉の低減が必要である。

地域 WiMAX においては、周波数利用可能帯域が、1 チャネル分の通信帯域(10MHz)の周波数しか割り当てられていないため、中継には同一周波数中継を利用することになる。

中継装置を使うことにより、基地局設置よりコスト面での優位性はあるが、設置時の中継局アンテナ間の干渉の考慮や、サービスエリア内での干渉を低減させる置局設計等が必要である。

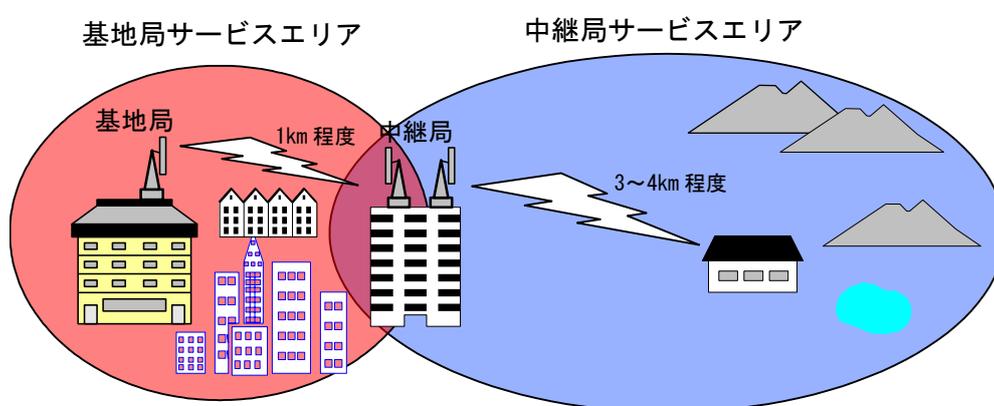


図 3-4 基地局サービスエリアと中継局サービスエリアのイメージ

(2) WiMAX 中継の状況

韓国において 2006 年 4 月に普及が始まった 2.3GHz 帯を使用した WiMAX システム(通称 WiBro と称する)では、多くの非再生中継装置が稼動している。

韓国の通信事業者である KT (Korea Telecom)では、26000 台以上の非再生中継装置の導入実績がある。(情報通信審議会 情報通信技術分科会 (第 67 回) による。)

(3) 再生中継方式

再生中継方式は、基地局からの信号を中継局で受信し、復調・復号化しデジタルデータに変換後、それらを符号化し変調・送信することで中継する。その構成は、図 3-5 のとおりである。

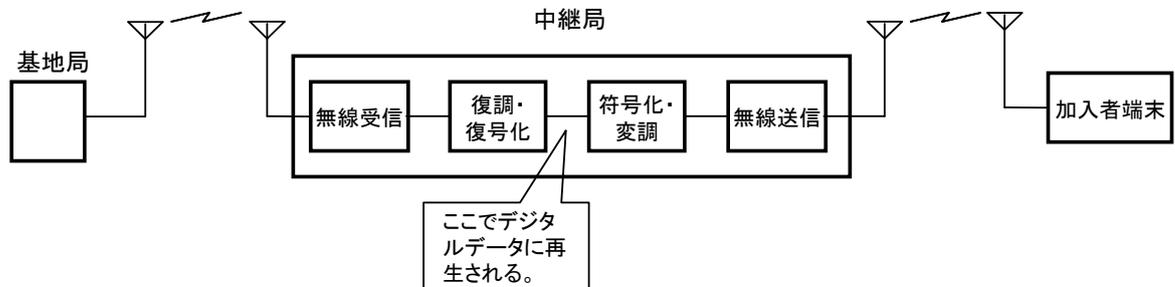


図 3-5 再生中継方式の中継の構成図(基地局→端末局通信の場合)

無線受信を経てデジタル信号に復号化し、さらに符号化変調のためのハードウェアが必要になるため、一般的に装置コストが高くなる。

WiMAX の場合、基地局ー中継局間と中継局ー端末間で異なるサブキャリアを使用することで、干渉を発生させない方式(セグメント化)で中継することも可能である。ただし、地域 WiMAX の帯域 10MHz を分割して基地局ー中継局間と中継局ー端末間で使用することになるので、10MHz 幅をフルに使用する場合に比べてスループットは低下する。

(4) 非再生中継方式

非再生中継方式では、基地局から受信した無線信号をそのまま増幅して送信する。したがって、再生中継方式に比べると装置コストを低減できる。その反面、中継局装置内部における信号品質の劣化が蓄積され端末へ送信されるため、この劣化を抑える技術が重要になる。また、信号の遅延による劣化にも許容値があり、中継段数、中継距離に制限がある。非再生中継方式の構成は、図 3-6 のとおりである。

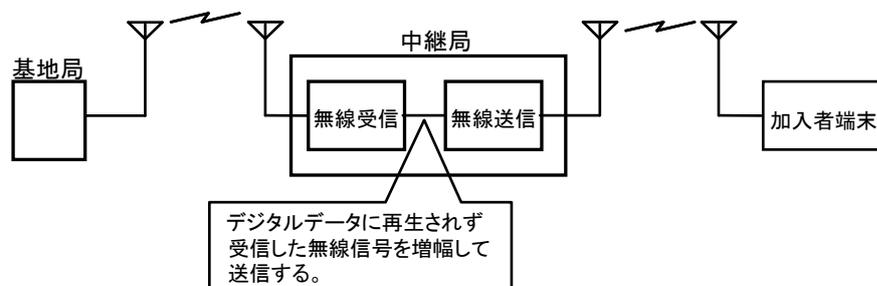


図 3-6 非再生中継方式の中継の構成図(基地局→端末局通信の場合)

中継局の送信波と受信波の干渉を低減させる機能として、ICS(Interference Cancelling System)機能を有した非再生中継方式がある。これは、希望波と妨害波の信号をデジタル信号処理の技術を利用してキャンセルすることで、干渉の影響を低減する機能を有している。

(5) 同一周波数中継における課題

地域 WiMAX においても都市部のエリア補完や条件不利地域へのサービスにおいて、WiMAX の中継利用が進めば、その利用拡大に大きく貢献できる。しかし、地域 WiMAX では、10MHz 内で1波しか利用することができない。

したがって、無線中継をする際には中継装置の送信周波数と受信周波数を同一にしなければならないことから、干渉が発生しシステムの特性を劣化させる。

干渉要因は3つに大別され、その関係は図3-7のとおりである。

- ①中継局における基地局からの受信波と加入者端末への送信波との干渉
- ②中継局における加入者端末からの受信波と基地局への送信波との干渉
- ③加入者端末における中継局からの受信波と基地局からの受信波との干渉

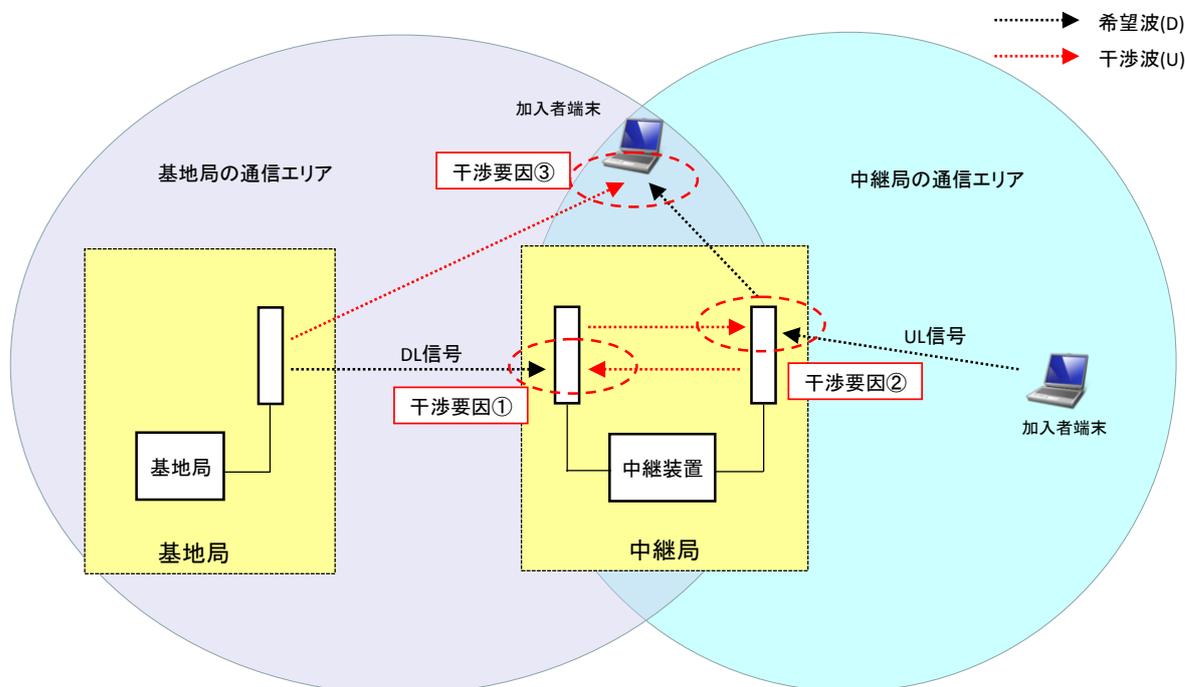


図3-7 同一周波数中継における干渉

第4章 実証試験

4-1 実証試験の目的

地域 WiMAX の同一周波数中継は、広大な地域にサービスエリアを構築し、また都市部のサービスエリアを補完するシステムである。

本章では、インハウス試験、実環境試験を実施し、今後の同一周波数中継の置局設計に活用できる技術的なデータを取得する。

また、インハウス試験で取得したデータと実環境試験で取得したデータを比較検討することによって、インハウス試験の妥当性を検証し、実環境へ適用する場合の留意点を検討する。

4-2 実証試験の概要

(1) 期間

- ①インハウス試験：平成 22 年 10 月 5 日から平成 23 年 2 月 15 日まで
- ②実環境試験：平成 22 年 12 月 7 日から平成 23 年 2 月 28 日まで

(2) 実環境試験実施場所

旭川市内で実施。旭川市は、試験実施時に地域 WiMAX のサービスが開始されていないこと、基地局と中継局が見通し内に設置できる建物があること、中継局の周りは低層の住宅街であり実環境試験を実施しやすいことから決定した。

- ①基地局：旭川市神楽市民交流センター屋上
 - ②中継局：旭川市神居支所屋上
 - ③移動局：中継局常置場所より半径 1km 以内の近隣エリア
- 基地局と中継局の位置関係は、図 4-1 のとおりである。



図 4-1 基地局と中継局の位置関係

(3) システム構成

本実証試験で使用するシステムの構成は、図4-2のとおりである。
システム毎に運用して技術データを測定した。

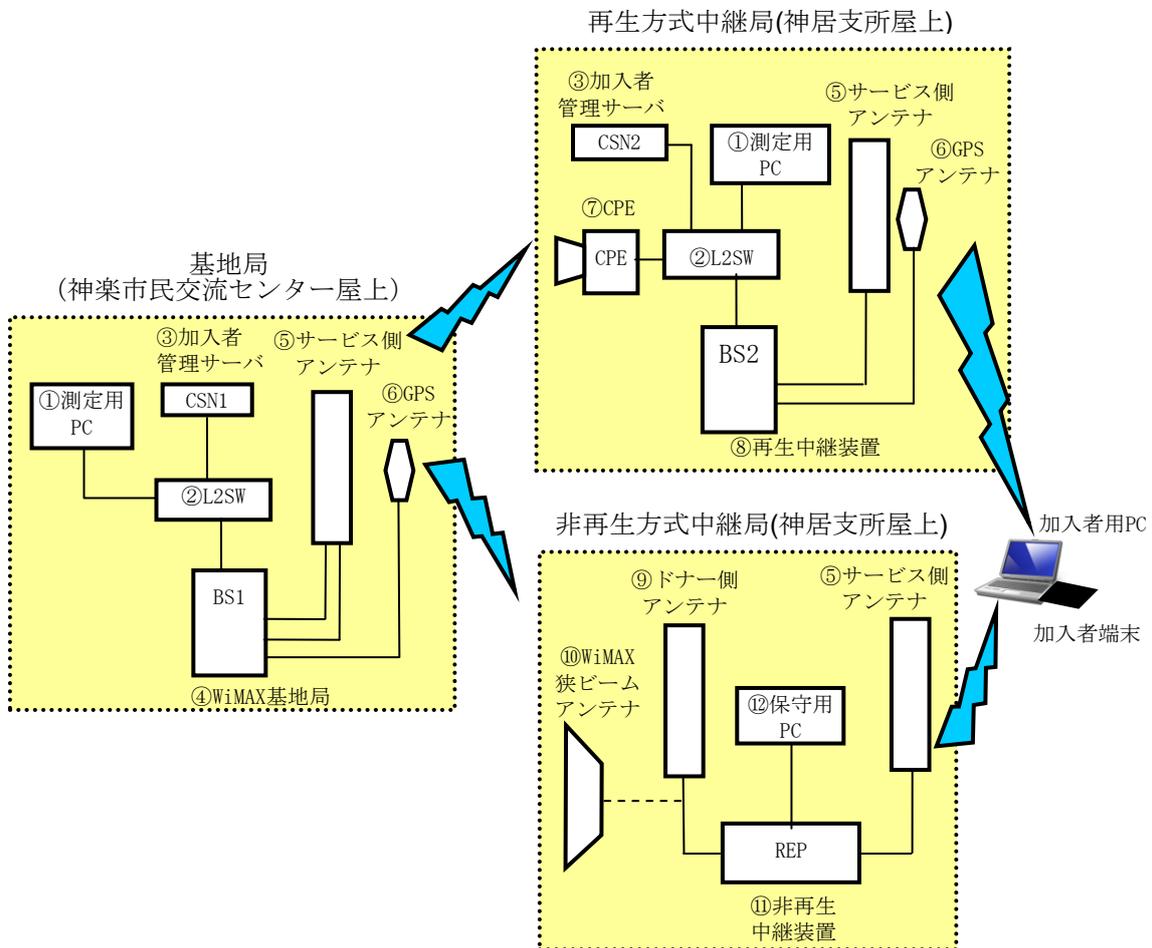


図4-2 システム構成

システムを構成する要素は、以下のとおりである。

①測定用PC

UDP、TCPのスループット、ping応答時間を測定する。

②L2SW

各機器をイーサケーブルにより相互接続する機能を実現する。

③加入者管理サーバ

DHCPサーバ、AAAサーバ、Policy Function (PF)サーバで構成される接続サービスネットワーク(CSN)を構築する。基地局-CPE間または非再生中継局-加入者端末間の暗号化通信用暗号キーとCPE及び加入者端末のIPアドレスを提供しCPE及び端末の認証、管理を行う。

また、スループット測定用ソフトウェア iperf(*)を動作させる。

(*)iperf:ネットワークのスループットを測定するためのソフトウェアであり、メモリーtoメモリーのデータ転送をネットワークを介して実施するソフトウェア。

④WiMAX 基地局

地域バンドの周波数を使用した屋外設置型の無線基地局であり、Access Service Network (ASN) の全機能を内蔵したオールインワンタイプの装置である。

⑤サービス側アンテナ

WiMAX の電波を送受信するためのものであり、電波到達範囲内で IP 網のサービスを提供出来る。基地局、中継局とも同じスペックのアンテナを使用する。

⑥GPS アンテナ

WiMAX 基地局の送信タイミング同期のため、GPS 衛星信号を受信する。送信タイミングを合わせることで、同一周波数での隣接基地局間の干渉を回避する。

⑦CPE(Customer Premises Equipment)

屋外に設置可能な防水構造の筐体に、WiMAX 通信モジュール、CPU 回路、アンテナ回路、電源回路を内蔵した加入者端末装置である。ブロードバンドルータ機能を内蔵しており、再生中継用のドナー側のアンテナ・送受信機として使用する。

⑧再生中継装置

④の WiMAX 基地局と同じく地域バンドの周波数を使用した屋外設置型の無線基地局であり、Access Service Network (ASN) の全機能を内蔵したオールインワンタイプの装置である。

⑨ドナー側アンテナ

基地局との通信用のアンテナであり、サービス側アンテナと同じスペックのものを使用する。

⑩WiMAX 狭ビームアンテナ

上記ドナー側アンテナとの比較のために、中継局サービス側のアンテナとして使用する。上記ドナー側アンテナの水平面 3dB 半値幅が約 65 度であるのに対し、本アンテナは約 10 度と狭ビームとなっている。

⑪非再生中継装置

回り込み波キャンセル(ICS)機能内蔵の屋外設置型 RF レピータである。

⑫保守用 PC

非再生中継装置の制御用に使用し、送信出力、利得の設定を行う。

(4) 設置状況

基地局及び中継局の設置状況は、図4-3から図4-12のとおりである。

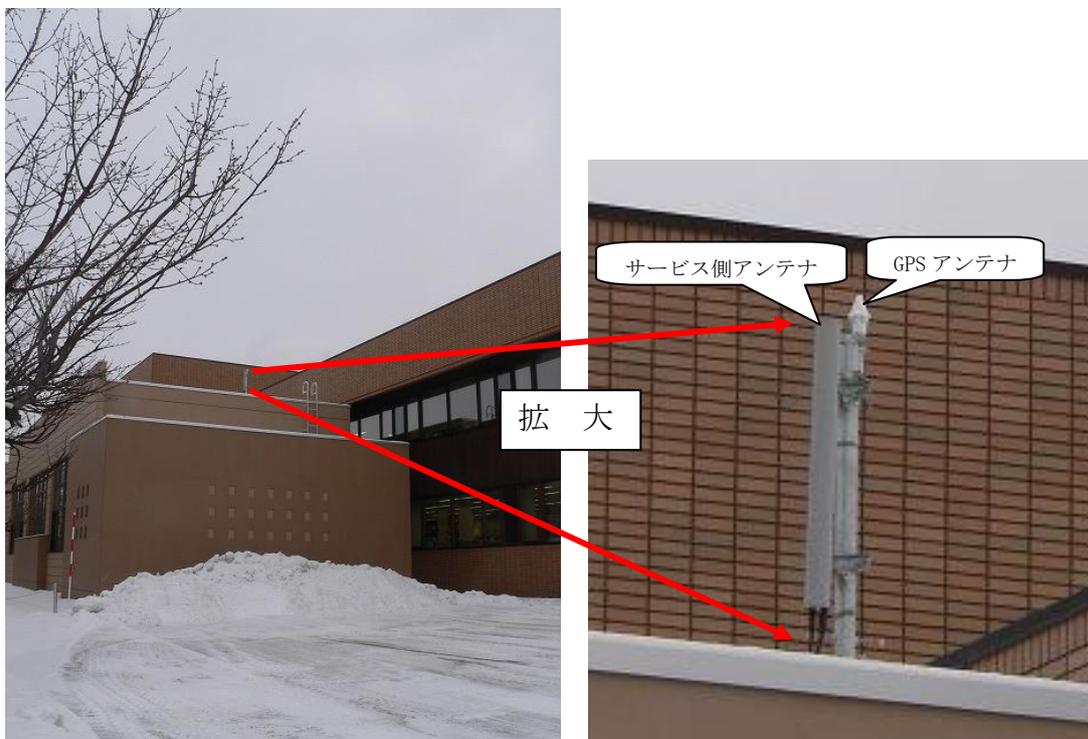


図4-3 基地局アンテナ(旭川市神楽市民交流センター屋上)

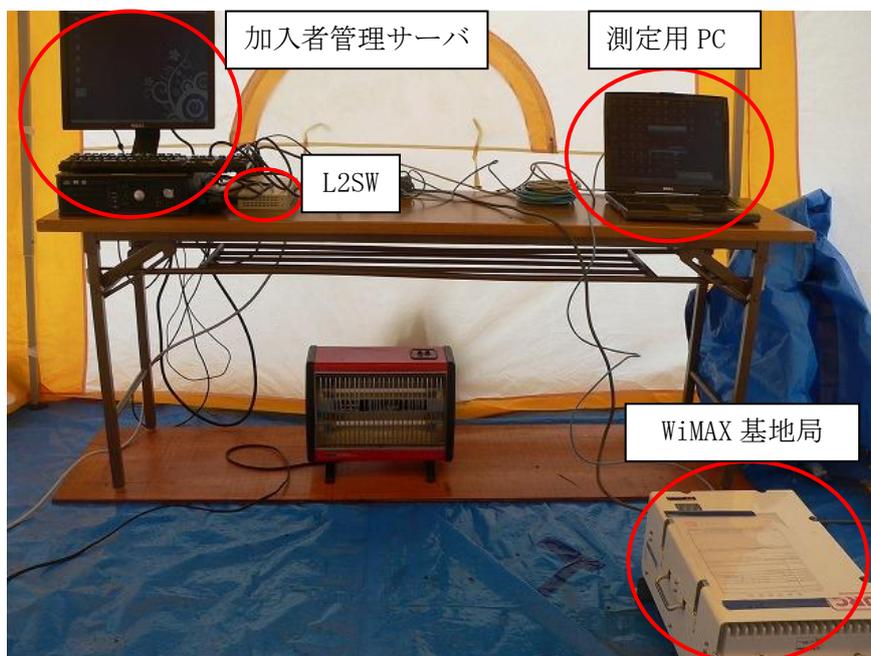


図4-4 基地局機材(旭川市神楽市民交流センター屋上)



図 4-5 中継局アンテナ全景(旭川市神居支所屋上)



図 4-6 中継局ドナー側アンテナ群(旭川市神居支所屋上、写真左) と CPE(写真右)



図 4-7 中継局ドナー側 狭ビームアンテナ (旭川市神居支所屋上)



図 4-8 中継局サービス側アンテナ (旭川市神居支所屋上)



図 4-9 再生中継装置(中継局 BS) (旭川市神居支所屋上倉庫内)



図 4-10 非再生中継局装置(旭川市神居支所屋上倉庫内)



図 4-1 1 加入者端末



図 4-1 2 測定風景

(5) 装置諸元

① 基地局設備

ア. 基地局本体

基地局の概要は、表 4-1 のとおりである。

変調方式と MIMO について、基地局本体は、表 4-1 のとおりサポートしているが、今回の実験では、DL の変調方式は、QPSK1/2、QPSK3/4、16QAM3/4、64QAM2/3、UL の変調方式は、QPSK1/2、QPSK3/4、16QAM1/2 を使用した。また、MIMO は、Matrix A を使用した。

また、基地局装置帯域外輻射レベルは、図 4-1 3 のとおりである。

基地局 BS で測定した 64QAM のコンスタレーションは、図 4-1 4 のとおりである。コンスタレーションとは、伝送するデータをデジタル変調する際の信号点を 2 次元の平面に表した図である。

表 4-1 無線局の概要

項目	内容
対象となる無線局	JRC わいまつくすじっけんかぐらきち／実験試験局
空中線電力	+37dBm(5W)
空中線利得	17dBi
アンテナ高 (海拔／地上高)	海拔高：110m アンテナの地上高：12.5m
変調方式	DL：QPSK1/2、QPSK3/4、16QAM1/2、16QAM3/4、 64QAM1/2、64QAM2/3、64QAM3/4、64QAM5/6 UL：QPSK1/2、QPSK3/4、16QAM1/2、16QAM3/4
MIMO	MIMO Matrix A、Matrix B

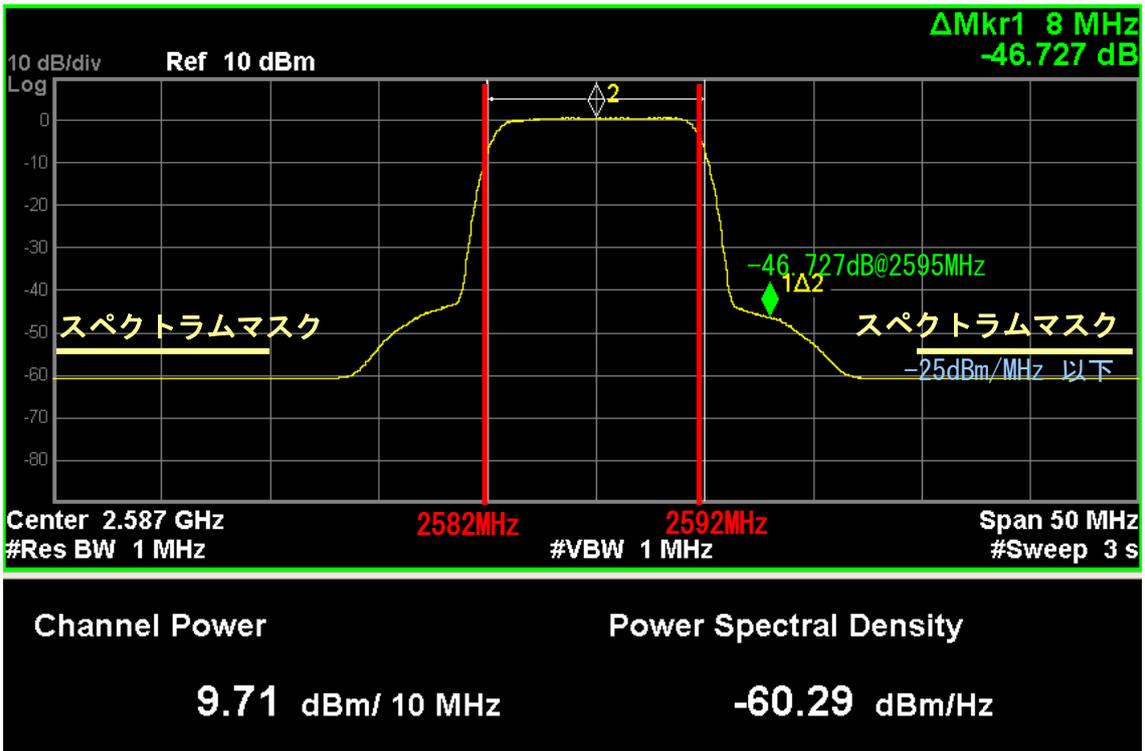


図 4-1 3 基地局装置帯域外輻射レベル

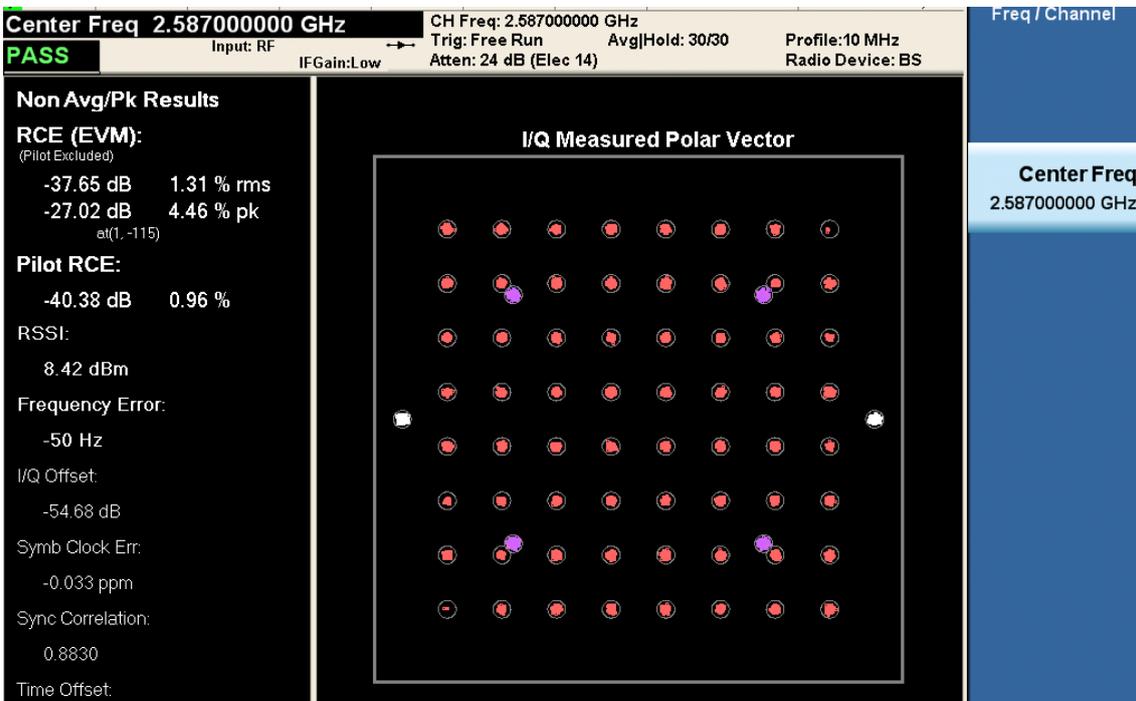


図 4-1 4 64QAM のコンスタレーション

イ. 基地局アンテナ（ビーム角 65 度）

基地局アンテナの水平面内指向性は、図 4-1 5 のとおりである。

また、基地局アンテナの垂直面指向性は、図 4-1 6 のとおりである。

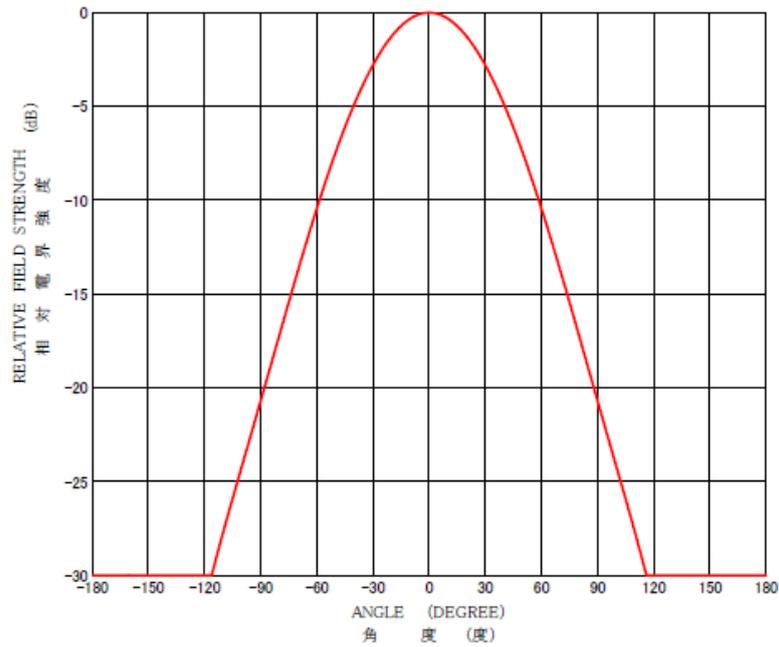


図 4-1 5 水平面内指向性

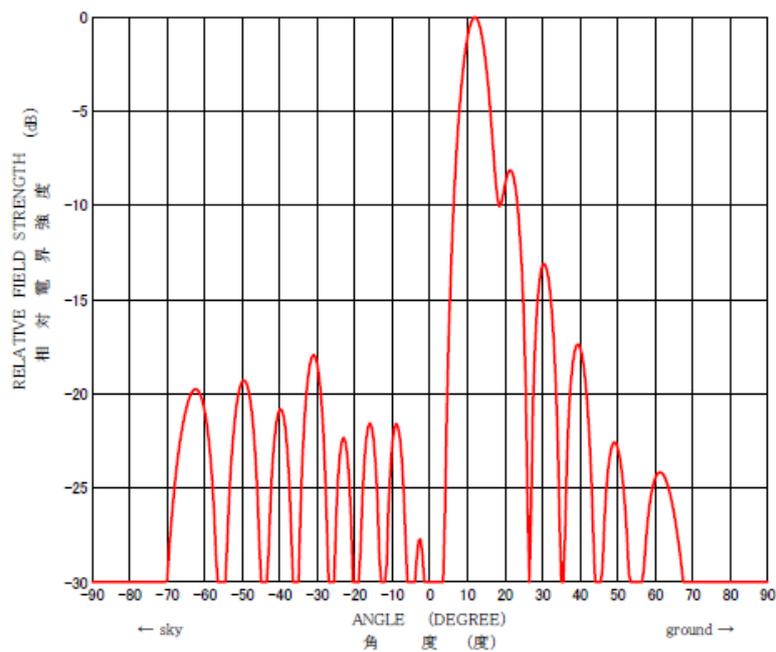


図 4-1 6 垂直面指向性

②再生中継方式の無線設備

ア. 中継装置本体

無線局の概要は、表4-2のとおりである。

また、再生中継局帯域外輻射レベル(ドナー側)は、図4-17のとおりであり、再生中継局帯域外輻射レベル(サービス側)は、図4-18のとおりである。

表4-2 無線局の概要

項目	内容
対象となる無線局	JRC わいまっくすじっけんかむいさいせいちゅうけい／ 実験試験局
空中線電力	第1装置：+23dBm(0.2W) 第2装置：+37dBm(5W)
空中線利得	第1装置：2dBi 第2装置：17dBi
アンテナ高 (海拔／地上高)	海拔高：110m アンテナの地上高：10m
平均アンテナチルト	ドナー側：平均0度 サービス側：5 - 15度(可変)

- * ドナー側：基地局と通信する側
- * サービス側：移動局と通信する側
- * 第1装置：ドナー側アンテナに接続される無線装置(基地局向け)
- * 第2装置：サービス側アンテナに接続される無線装置(加入者端末向け)

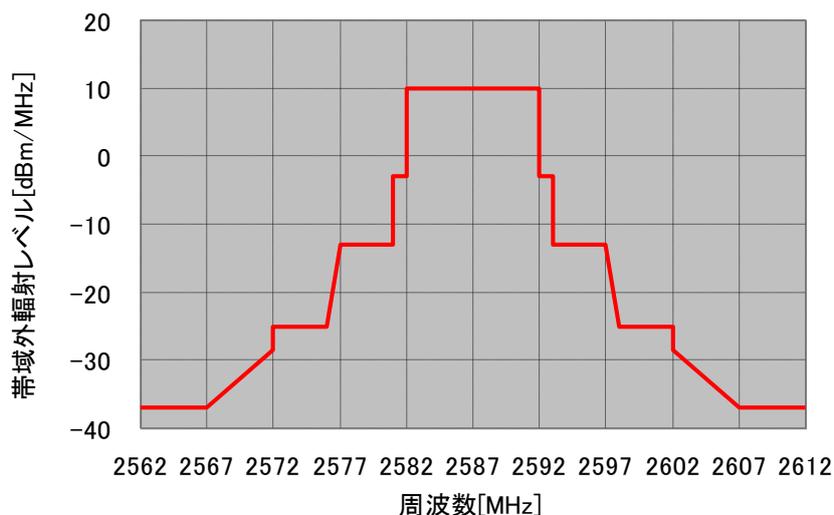


図4-17 再生中継局帯域外輻射レベル(ドナー側)

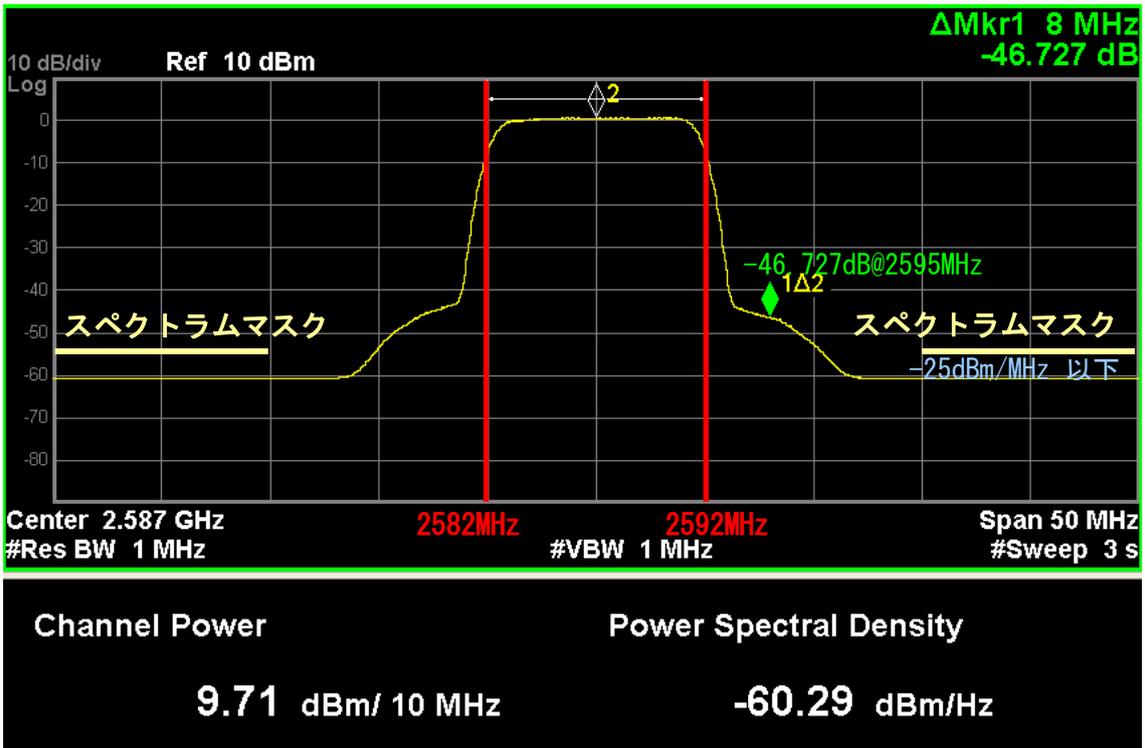


図 4-1 8 再生中継局帯域外輻射レベル(サービス側)

イ. サービス側アンテナ

基地局アンテナ(図 4-1 5 及び図 4-1 6)に同じ

ウ. ドナー側アンテナ

再生中継局アンテナパターンは、図 4-1 9 のとおりである。

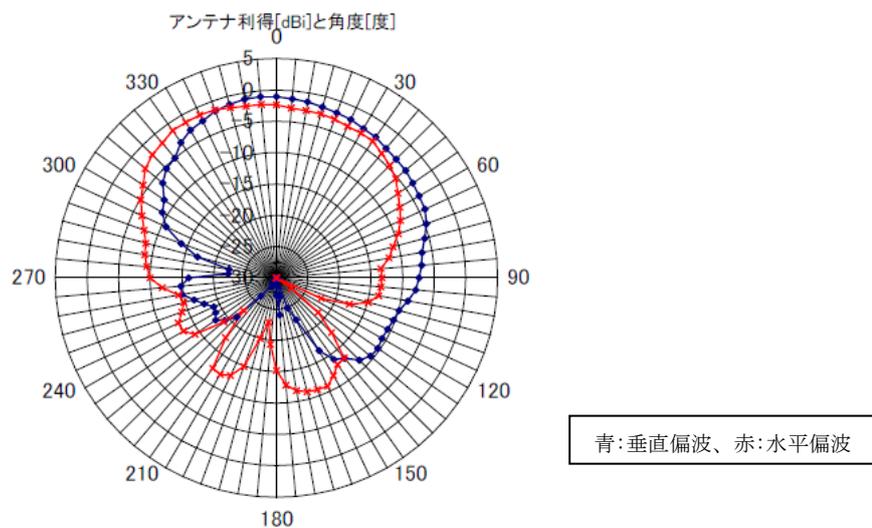


図 4-1 9 再生中継局アンテナパターン(ドナー側)

③非再生中継方式の無線設備

ア. 中継装置本体

無線局の概要は、表 4-3 のとおりである。

また、非再生中継局帯域外輻射レベル(ドナー側)は、図 4-20 のとおりであり、非再生中継局帯域外輻射レベル(サービス側)は、図 4-21 のとおりである。

表 4-3 無線局の概要

項目	内容
対象となる無線局	JRC わいまつくすじっけんかむいひさいせいちゅうけい/実験試験局
空中線電力	第1装置：+23dBm(0.2W) 第2装置：+37dBm(5W)
空中線利得	第1装置：2dBi 第2装置：17dBi
アンテナ高 (海拔/地上高)	海拔高：110m アンテナの地上高：10m
平均アンテナチルト	ドナー側：平均0度 サービス側：5 - 15度(可変)
その他特記事項	ドナー側アンテナとしてビーム角 10° あるいは 65° のどちらか一方を使用する

- * ドナー側：基地局と通信する側
- * サービス側：移動局と通信する側
- * 第1装置：ドナー側アンテナに接続される無線装置(基地局向け)
- * 第2装置：サービス側アンテナに接続される無線装置(加入者端末向け)

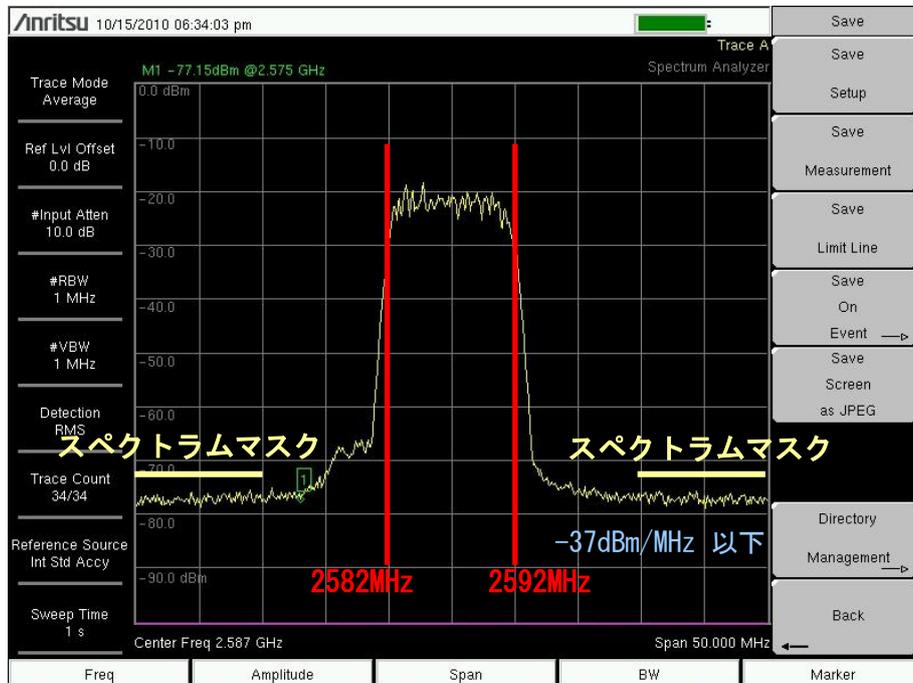


図 4-20 非再生中継局帯域外輻射レベル(ドナー側)

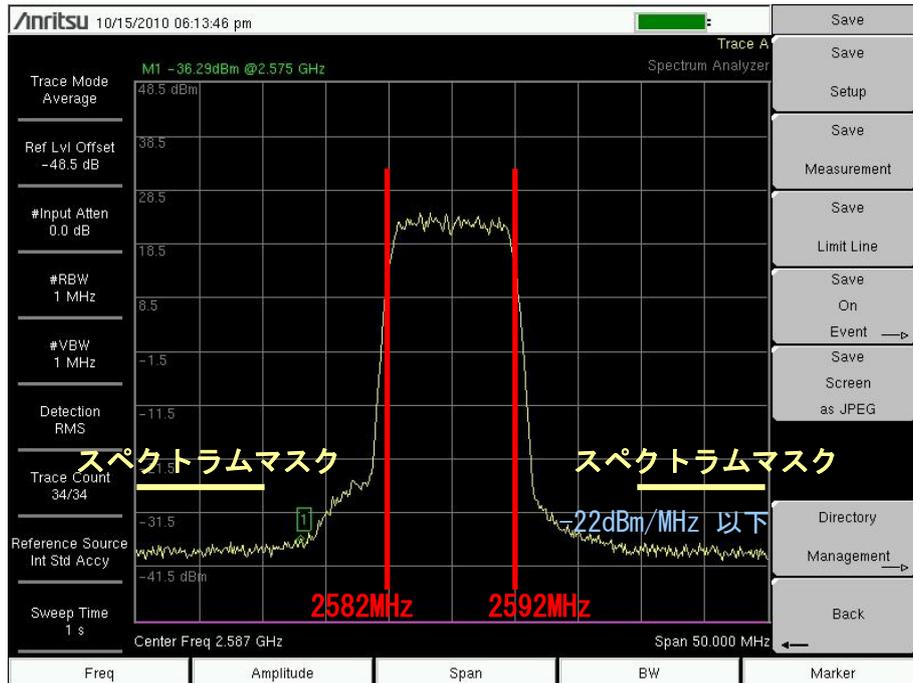


図 4-2 1 非再生中継局帯域外輻射レベル(サービス側)

中継局サービス側の帯域外輻射レベルは、基地局の技術的条件を準用するため、10MHzシステムの場合は、下記のような規格となる

○隣接チャネル漏洩電力

チャネル間隔：10MHz

帯域幅：9.5MHz

許容値：3dBm 以下

○スペクトラムマスク

オフセット周波数 Δf ：15MHz 以上25MHz 未満

許容値：-22dBm/MHz 以下

イ. ドナー側アンテナ (ビーム角 65 度)

基地局アンテナ(図 4-1 5 及び図 4-1 6)に同じ

ウ. ドナー側アンテナ（ビーム角 10 度）

非再生中継局アンテナパターンは、図 4-2 2 のとおりである。

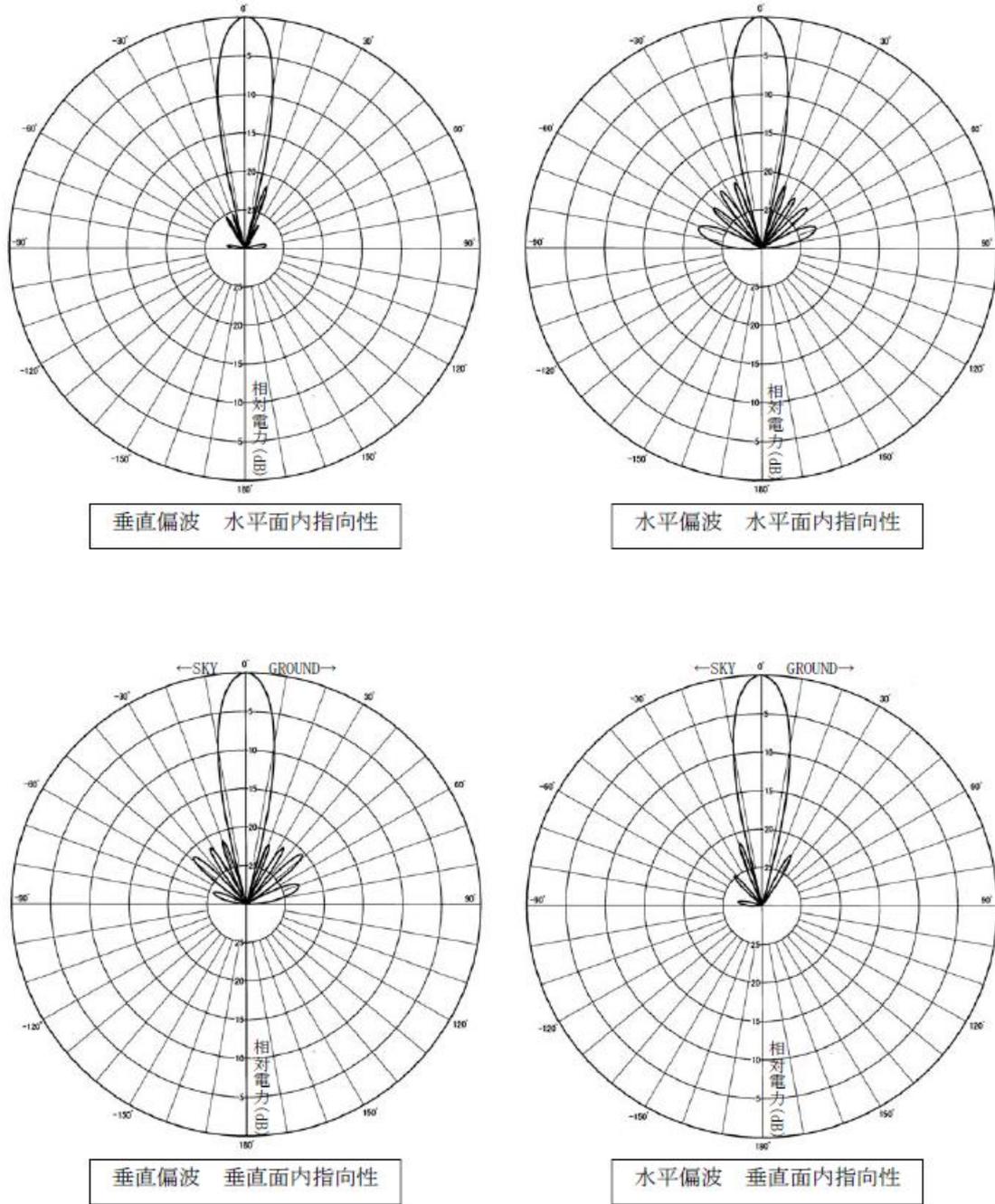


図 4-2 2 非再生中継局アンテナパターン(ドナー側)

④加入者端末装置

無線局の概要は、表 4-4 のとおりである。

また、加入者端末の帯域外輻射レベル(ドナー側)は、図 4-2 3 のとおりである。

表 4-4 無線局の概要

項目	内容
対象となる無線局	JRC わいまつくすじっけんたんまつ 1/実験試験局 JRC わいまつくすじっけんたんまつ 2/実験試験局
空中線電力	+23dBm(0.2W)
空中線利得	2dBi
平均アンテナチルト	平均 0 度 Omni 型

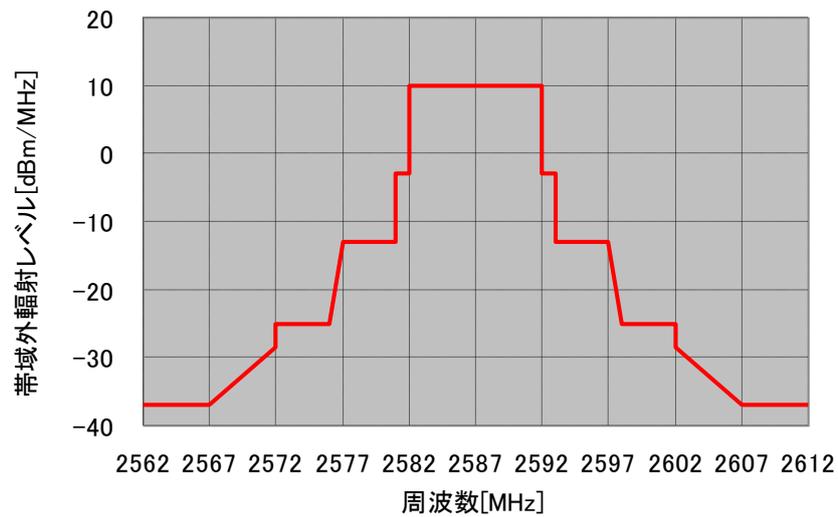


図 4-2 3 加入者端末帯域外輻射レベル

(6) 試験内容

同一周波数中継装置を置局する場合に、検証が必要とされる以下の事項についてインハウス試験、実環境試験を通じて、技術的なデータを収集し、今後の同一周波数中継装置利活用時に活用できるようにする。

また、インハウス試験のデータと実環境試験の結果を比較検討することにより、本実証試験における評価の妥当性を検証し、評価手法を実環境に適用する場合の留意点を検討する。

①中継局置局のための所要 D/U

中継局は基地局からの電波を増幅して再送信するが、この中継局波がドナー側アンテナに回り込んで基地局からの電波に干渉することが想定される。本試験では、基地局波と中継局の回り込み波を合成させて干渉によるスループットへの影響を測定する。

②アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響

中継局のドナー側アンテナ、サービス側アンテナの離隔、方向等の調整により中継局の回り込み波の干渉によるスループットへの影響を測定する。

なお、本試験においては、ドナー側アンテナ、サービス側アンテナの設置条件や機器構成から、両アンテナ高を変化させる試験は物理的に困難なため実施しない。

③加入者端末の通信状況における実用性の検証

実環境において基地局のサービスエリアと中継局のサービスエリアの境界付近では、中継局波の下り信号と基地局波の下り信号が干渉することが想定される。本試験では、中継局波（希望波）と基地局波の下り信号（干渉波）の干渉による加入者端末におけるスループットへの影響を測定する。

また、加入者端末からの上り信号（希望波）と中継局から基地局への上り信号（干渉波）がサービス側アンテナで干渉することも想定される。この場合のスループットへの影響を測定する。

④サブキャリア分割(セグメント化)の有無による干渉回避の検証

基地局波と中継局波で異なる OFDMA サブキャリアを使用することにより、干渉回避できることを確認する。

⑤各試験において測定する項目

ア. アンテナ間結合量

地域 WiMAX は、周波数の割当上、基地局と中継局で同一の周波数を使用する必要がある。また、中継局のアンテナ設置の物理的な条件も存在する。そのため、サービス側アンテナから再送信した信号がドナー側アンテナに回り込んで干渉することが考えられる。そこで、サービス側アンテナとドナー側アンテナ間の伝搬損失を設置条件を変化させて測定する。

イ. UDP と TCP のスループット

通信システムの性能を測定するために、UDP スループットを測定し、インターネットへのアクセスも考慮すると TCP スループットも測定する必要があるため、本試験では、UDP と TCP 両方のスループットを測定する。

ただし、TCP の場合、TCP 自体の輻輳制御や再送制御が入り、条件によってはスループットが変化することがある。

ウ. ping RTT

伝送路の遅延時間を測定するために、ping RTT を測定する。

4-3 実証試験結果(再生中継方式)

(1) 中継局置局のための所要 D/U

① インハウス試験

ア. 試験構成

試験構成概略図は、図 4-2 4 のとおりであり、測定系全景は、図 4-2 5 のとおりである。

基地局(BS)、中継局(CPE 及び BS で構成)、加入者端末及びアッテネータ(ATT1 及び ATT2)で構成している。

基地局 BS 及び中継局 BS とともに、オムニ設定(30sub channel 全て使用)とする。

中継局 BS からの下り信号(DL) (干渉波)を CPE 端に回り込ませて、ATT1 で干渉波レベルを調節する。

本試験の目的は、基地局波と中継局の回り込み波を合成させて干渉によるスループットへの影響について検討する。

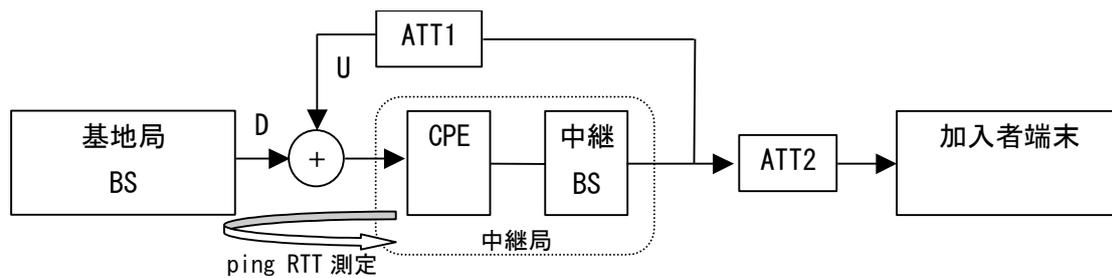


図 4-2 4 試験構成概略図



図 4-2 5 測定系全景

イ. 試験内容

図4-24のATT1を変化させることにより、中継局の回り込み波(干渉波)の信号レベルを変化させて、UDPスループットとTCPスループットをそれぞれ測定する。

また、CPEから基地局へpingを打って、遅延時間を測定する。

ウ. 試験結果

(ア) D/UとUDPスループットの関係

D/UとUDPスループットの関係は、図4-26及び表4-5のとおりである。

今回の試験で使用する基地局BSは、伝送路の状態に応じて適応的に変調方式が切り替わるために、D/Uが低下するに従って、スループットも低下している。

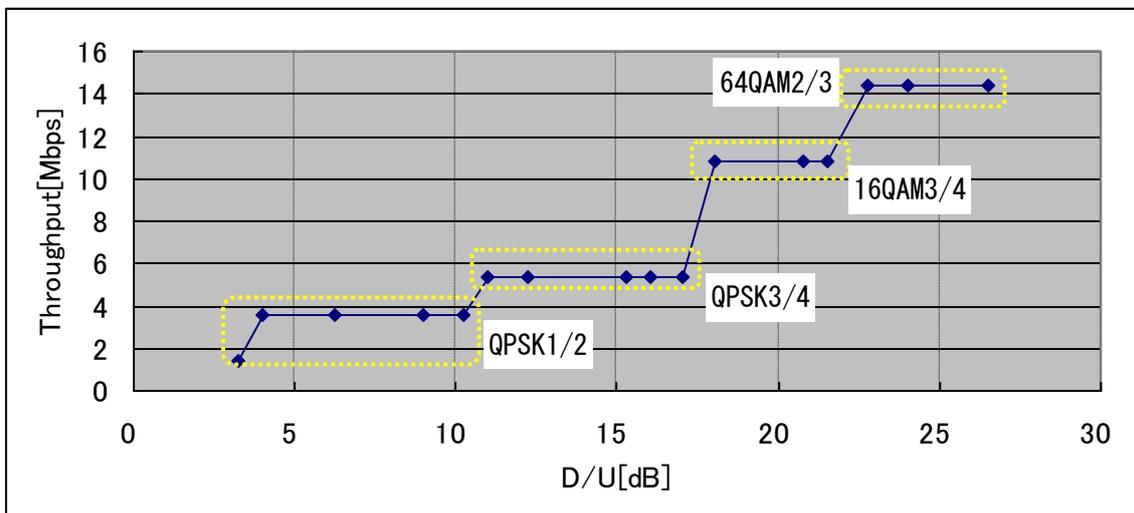


図4-26 D/UとUDPスループットの関係

表4-5 D/UとUDPスループットの関係

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U[dB]	Throughput [Mbps]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]
26.5	14.40	21.5	10.80	17.0	5.39	10.3	3.58
24.0	14.40	20.8	10.80	16.0	5.39	9.0	3.58
22.8	14.40	18.0	10.80	15.3	5.39	6.3	3.58
				12.3	5.40	4.0	3.58
				11.0	5.38	3.3	1.43

(イ) D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図4-27及び表4-6のとおりである。

UDP スループットの結果と同様に、今回の試験で使用する基地局 BS は、伝送路の状態に応じて適応的に変調方式が切り替わるために、D/U が低下するに従って、スループットも低下している。

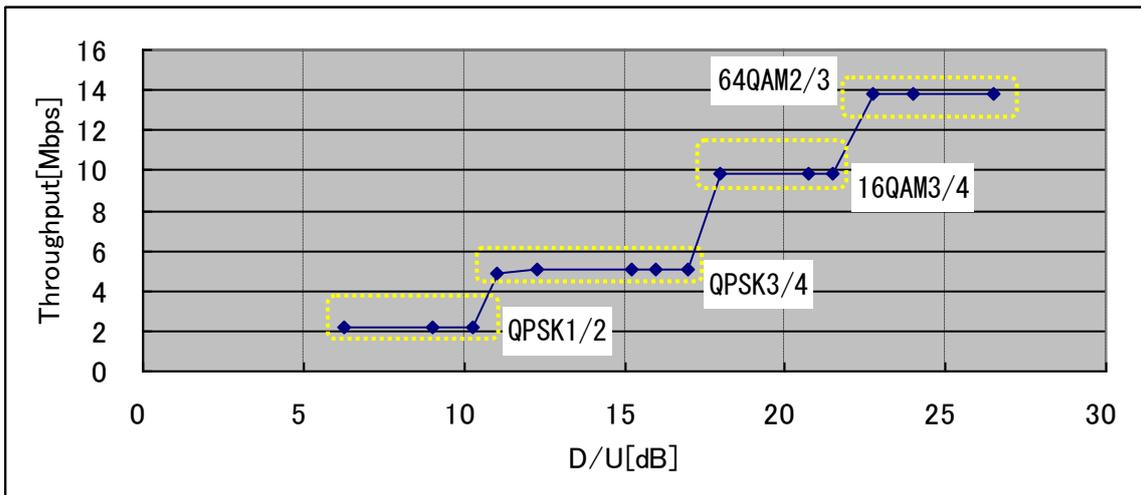


図4-27 D/U と TCP スループットの関係

表4-6 D/U と TCP スループットの関係

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]						
26.5	13.8	21.5	9.80	17.0	5.10	10.3	2.22
24.0	13.8	20.8	9.80	16.0	5.10	9.0	2.22
22.8	13.8	18.0	9.80	15.3	5.10	6.3	2.20
				12.3	5.40		
				11.0	4.90		

(ウ) D/U と ping RTT の関係

D/U と ping RTT の関係は、図 4-28 及び表 4-7 のとおりである。

CPE から基地局への ping なので、遅延時間は 100ms 程度となっている。

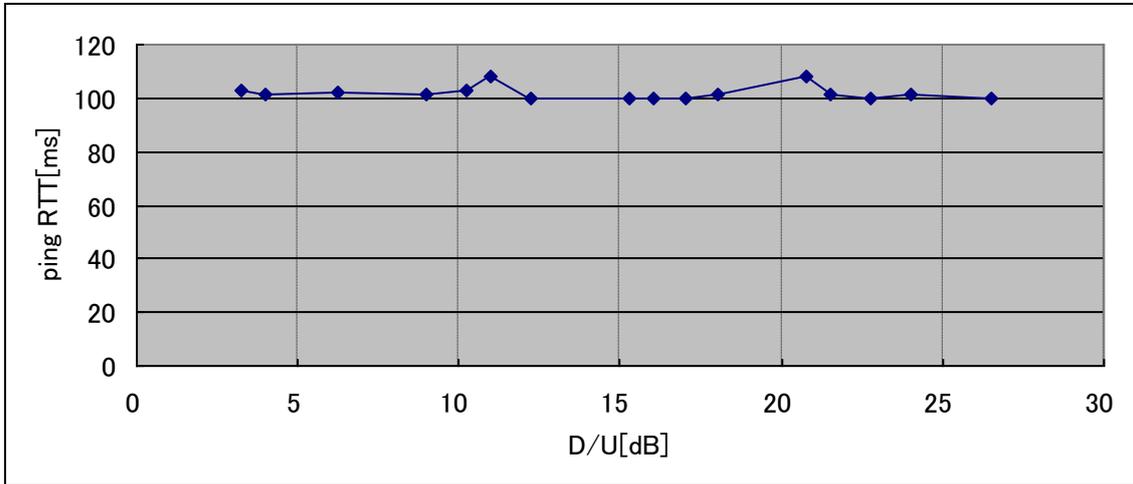


図 4-28 D/U と ping RTT の関係

表 4-7 D/U と ping RTT の関係

D/U [dB]	ping RTT [ms]
3.25	103
4.00	101
6.25	102
9.00	101
10.25	103
11.00	108
12.25	100
15.25	100
16.00	100
17.00	100
18.00	101
20.75	108
21.50	101
22.75	100
24.00	101
26.50	100

②実環境試験

ア. 試験構成

試験構成概略図は、図 4-29 のとおりである。

中継局では、サービス側アンテナからの送信波がドナー側アンテナに回り込むことが考えられる。この回り込み波が基地局 BS から中継局への通信に干渉波として影響を与えることになる。

本試験の目的は、中継局 BS の送信電力を変化させて、ドナー側アンテナへの回り込み波の干渉によるスループット等への影響について検討する。

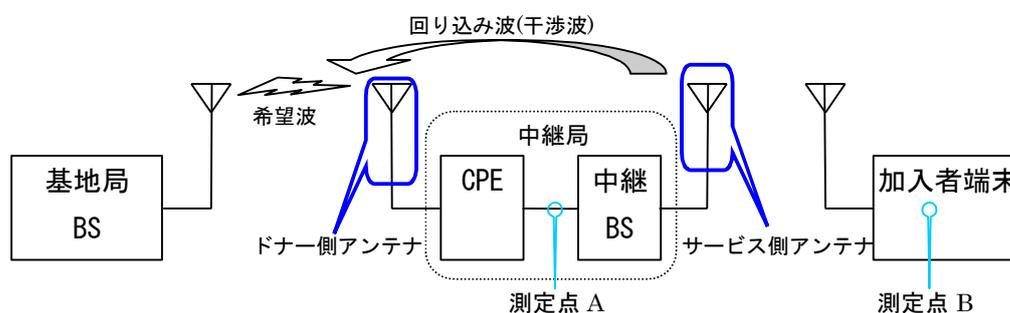


図 4-29 試験構成概略図

イ. 試験内容

中継局サービス側アンテナの条件は表 4-8 のとおりであり、ドナー側アンテナの条件は表 4-9 のとおりである。

中継局 BS の送信電力を変化させることにより、回り込み波の干渉量を変化させて表 4-10 の項目を測定する。

また、各試験条件のアンテナ配置は、図 4-30 のとおりである。

本測定は、ドナー側アンテナ(CPE)での測定が主目的であるが、参考データとして、UDP、TCP スループット、ping RTT は、神居支所屋上に設置した加入者端末でも測定する。

表 4-8 サービス側アンテナの試験条件

条件	離隔[m]	方向(方位角)	チルト[°]	偏波	中継局 BS 送信電力
1	18.5	南西(240°)	0	V	+3.0dBm (2.00mW)
2	18.5	南西(240°)	0	V	+1.0dBm (1.26mW)
3	18.5	南西(240°)	0	V	-1.0dBm (0.79mW)
4	18.5	南西(240°)	0	V	-3.0dBm (0.50mW)
5	18.5	南西(240°)	0	V	-5.0dBm (0.32mW)

表 4-9 ドナー側アンテナの試験条件

方向(方位角)	チルト[°]	偏波
東(110°)	0	V

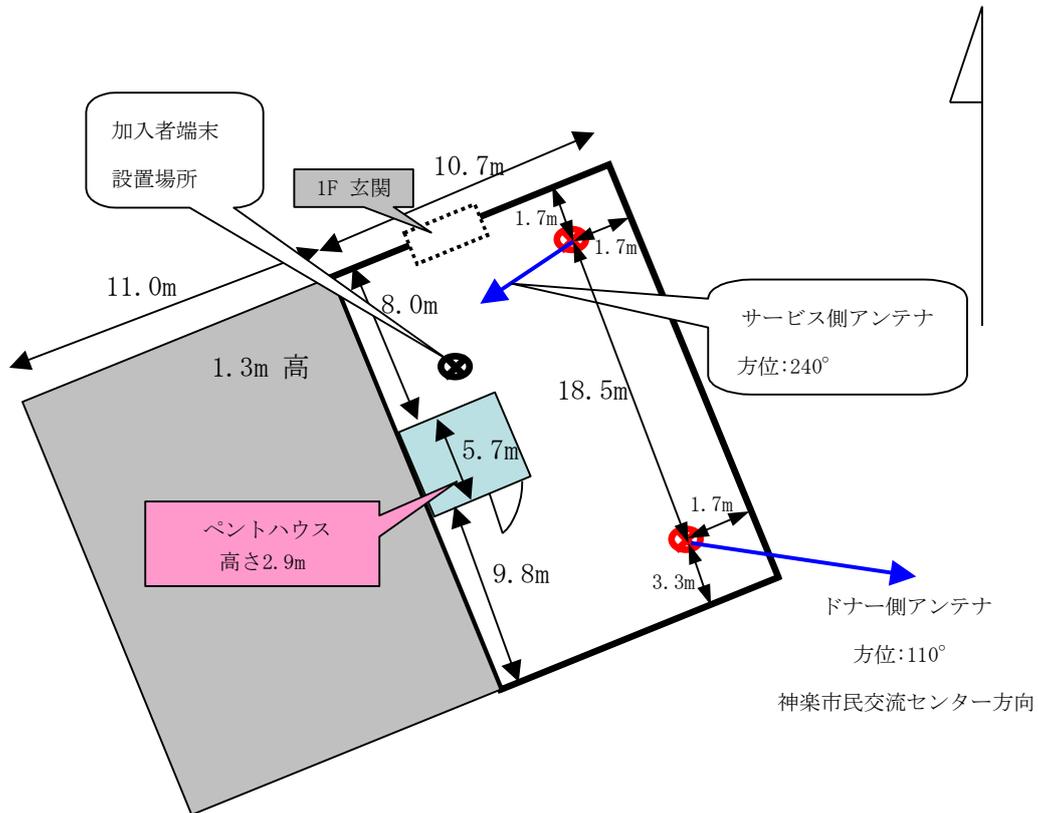


図 4-30 神居支所屋上配置図

表 4-10 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

(ア) アンテナ間結合量の測定方法

アンテナ間結合量の測定方法は、図4-3 1及び図4-3 2のとおりである。

- ① アッテネータ(ATT)を介して中継局 BS とスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザで送信電力を測定する。
- ② 測定した値から ATT の値を差し引いて、中継局 BS のアンテナ端子での送信電力を求める。
- ③ 実環境にて、中継局 BS からの回り込み波の受信電力を CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ④ ②で測定した送信電力から③で測定した受信電力を差し引いた値が、アンテナ間結合量となる。

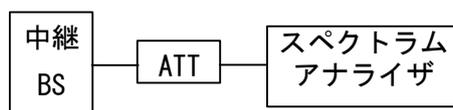


図4-3 1 送信電力の測定

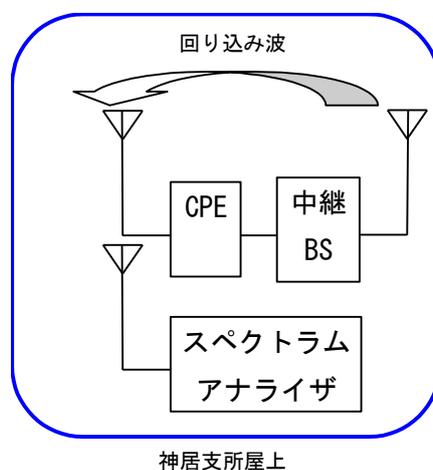


図4-3 2 回り込み波の測定

(イ) D/U の測定方法

D/U の測定方法は、図 4-3 3 のとおりである。

- ① 基地局波(希望波)のみを送信して、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ② 中継局波(干渉波)のみを送信して、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ③ 希望波の受信電力と干渉波の受信電力の差分が D/U となる。

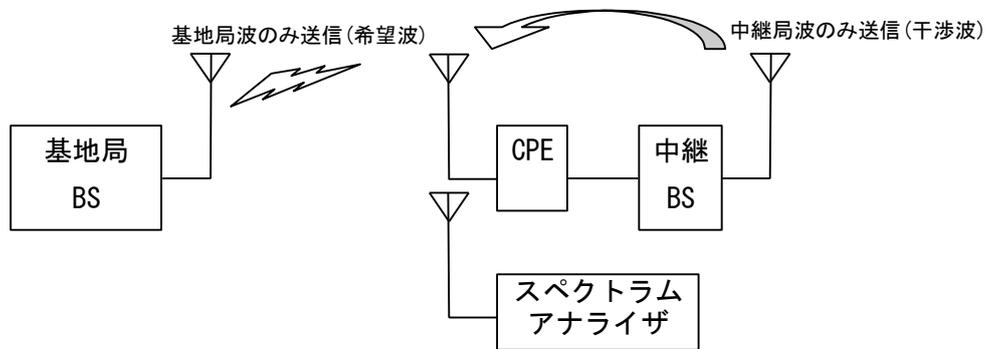


図 4-3 3 D/U の測定方法

(ウ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から CPE へパケットを送信して DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

また、参考データとして基地局から加入者端末への DL スループットも測定する。

(エ) ping RTT の測定方法

CPE から基地局へ ping を打って、50 回の平均時間を記録する。

また、参考データとして加入者端末から基地局への ping RTT も測定する。

ウ. 試験結果

(ア) 中継局 BS 送信電力とアンテナ間結合量の関係

中継局 BS の送信電力をスペクトラムアナライザで測定した結果は、図 4-3 4 のとおりである。

また、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで測定した回り込み波の受信電力は、図 4-3 5 のとおりである。

アンテナ間結合量は、中継局 BS の送信電力(26.0dBm)から回り込み波の受信電力(-53.1dBm)を差し引くことにより求められ、79.1dB となる。

5 ms							Back Space
Max Hold N/A	Preamble	31	--	--	--	--	Change Save
	Power	26.0 dBm	--	--	--	--	
Demod Auto	Cell ID	31	--	--	--	--	Location
	Sector ID	0	--	--	--	--	Change Type
PCINR 23.6 dB				Base Station ID (Strongest Preamble) 0x---- 00----FF			Setup/JPG/...
Freq	Amplitude	Setup	Measurements	Marker			

図 4-3 4 中継局 BS の送信電力

5 ms							Back Space
Max Hold N/A	Preamble	31	--	--	--	--	Change Save
	Power	-53.1 dBm	--	--	--	--	
Demod Auto	Cell ID	31	--	--	--	--	Location
	Sector ID	0	--	--	--	--	Change Type
PCINR 24.0 dB				Base Station ID (Strongest Preamble) 0x---- 00----FF			Setup/JPG/...
Freq	Amplitude	Setup	Measurements	Marker			

図 4-3 5 回り込み波の受信電力

(イ) 中継局 BS 送信電力と D/U の関係

中継局 BS 送信電力と D/U の関係は、図 4-3 6 及び表 4-1 1 のとおりである。

ドナー側アンテナとサービス側アンテナの離隔が一定のため、中継局 BS 送信電力が大きくなると、D/U は低下することが分かる。

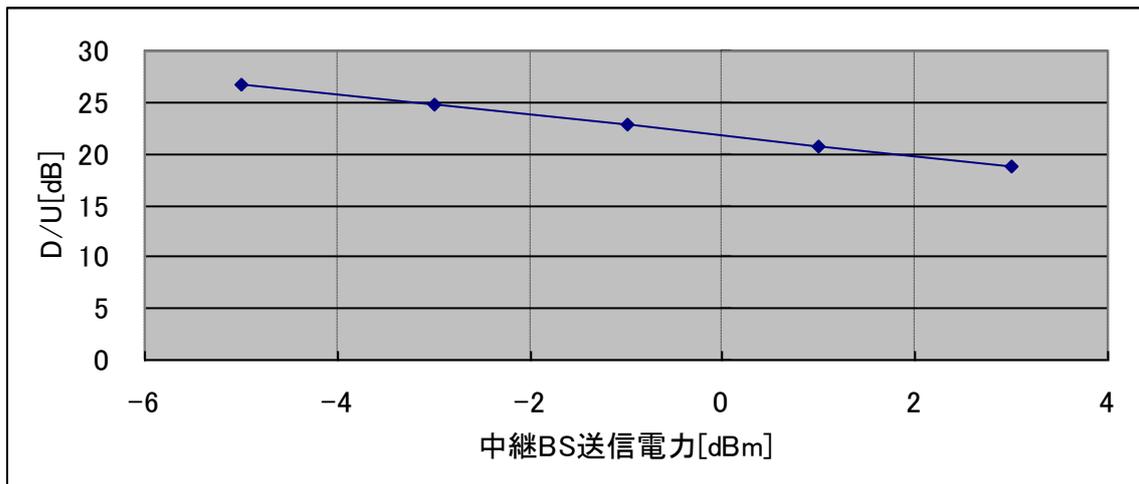


図 4-3 6 中継局 BS 送信電力と D/U の関係

表 4-1 1 中継局 BS 送信電力と D/U の関係

中継局 BS 送信電力	希望波 D [dBm]	干渉波 U [dBm]	D/U [dB]
-5.0dBm (0.32mW)	-48	-74.8	26.8
-3.0dBm (0.50mW)	-48	-72.8	24.8
-1.0dBm (0.79mW)	-48	-70.8	22.8
+1.0dBm (1.26mW)	-48	-68.8	20.8
+3.0dBm (2.00mW)	-48	-66.8	18.8

(ウ) D/U と UDP スループットの関係

a. GPE での測定(図4-29 測定点 A)

CPE で測定した D/U と UDP スループットの関係は、図4-37及び表4-12のとおりである。

D/U 約 23dB で変調方式が、64QAM2/3 から 16QAM3/4 に変化している。これは、D/U が低下すると受信端での CINR が劣化するためである。

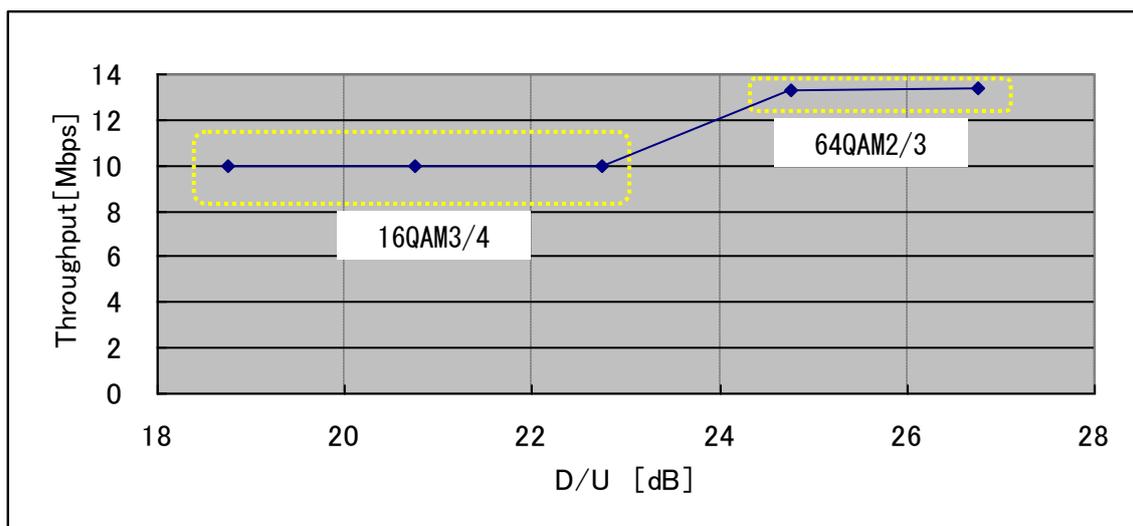


図4-37 D/U と UDP スループットの関係(GPE で測定)

表4-12 D/U と UDP スループットの関係(GPE で測定)

64QAM2/3	
D/U[dB]	Throughput [Mbps]
26.8	13.4
24.8	13.3

16QAM3/4	
D/U[dB]	Throughput [Mbps]
22.8	10.0
20.8	10.0
18.8	10.0

b. 加入者端末での測定(参考データ 図4-29 測定点B)

加入者端末で測定した D/U と UDP スループットの関係は、図4-38及び表4-13のとおりである。CPEで測定したスループットと同等の10Mbpsが得られている。

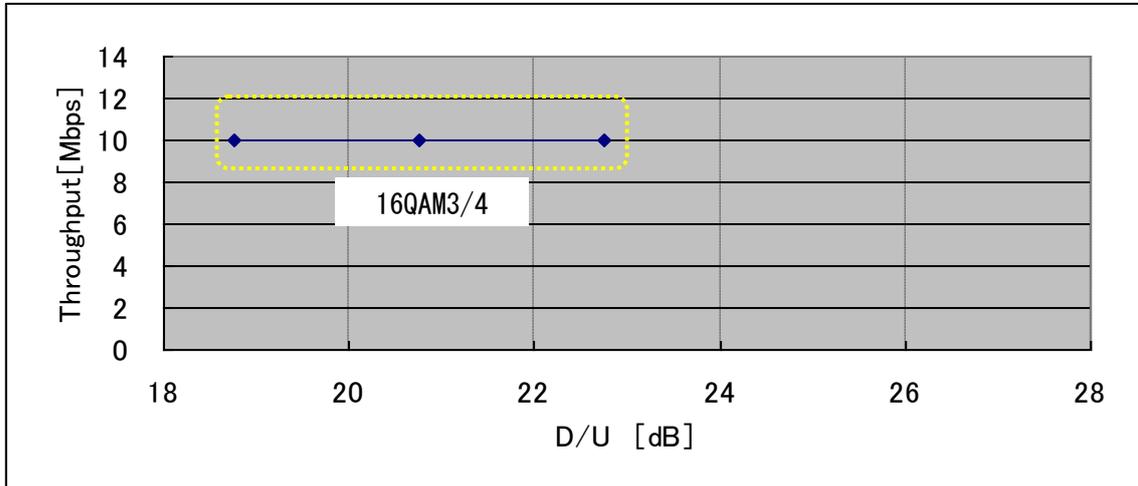


図4-38 D/U と UDP スループットの関係(加入者端末で測定)

表4-13 D/U と UDP スループットの関係(加入者端末で測定)

16QAM 3/4	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]
22.8	10.0
20.8	10.0
18.8	10.0

(エ) D/U と TCP スループットの関係

a. CPE での測定(図4-29 測定点 A)

CPE で測定した D/U と TCP スループットの関係は、図4-39 及び表4-14 のとおりである。

D/U 約 23dB で変調方式が、64QAM2/3 から 16QAM3/4 に変化している。これは、D/U が低下すると受信端での CINR が劣化するためである。

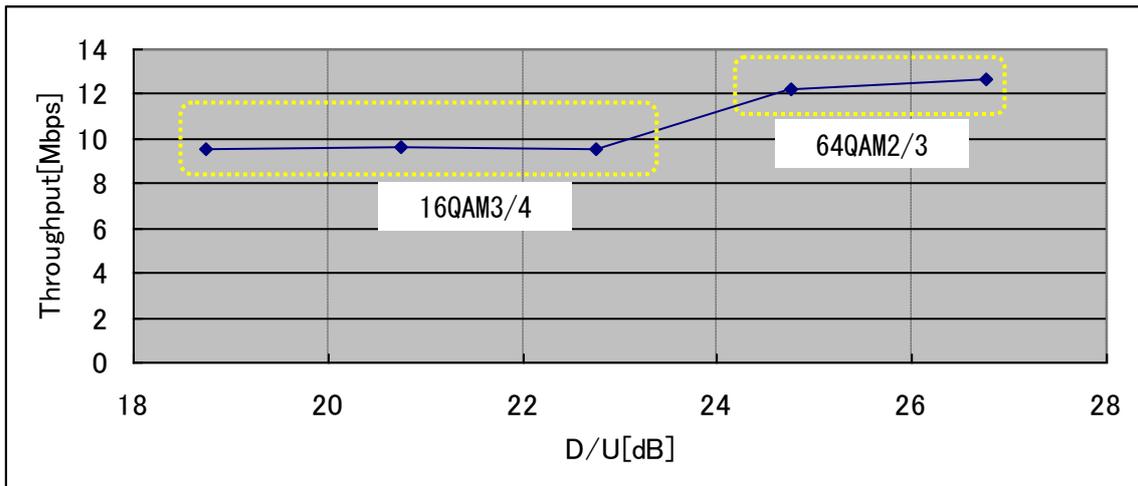


図4-39 D/U と TCP スループットの関係(CPE で測定)

表4-14 D/U と TCP スループットの関係(CPE で測定)

64QAM2/3	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]
26.8	12.7
24.8	12.2

16QAM 3/4	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]
22.8	9.6
20.8	9.6
18.8	9.6

b. 加入者端末での測定(参考データ 図4-29 測定点B)

加入者端末で測定した D/U と TCP スループットの関係は、図4-40及び表4-15のとおりである。CPEで測定したスループットと同等の9Mbps程度が得られている。

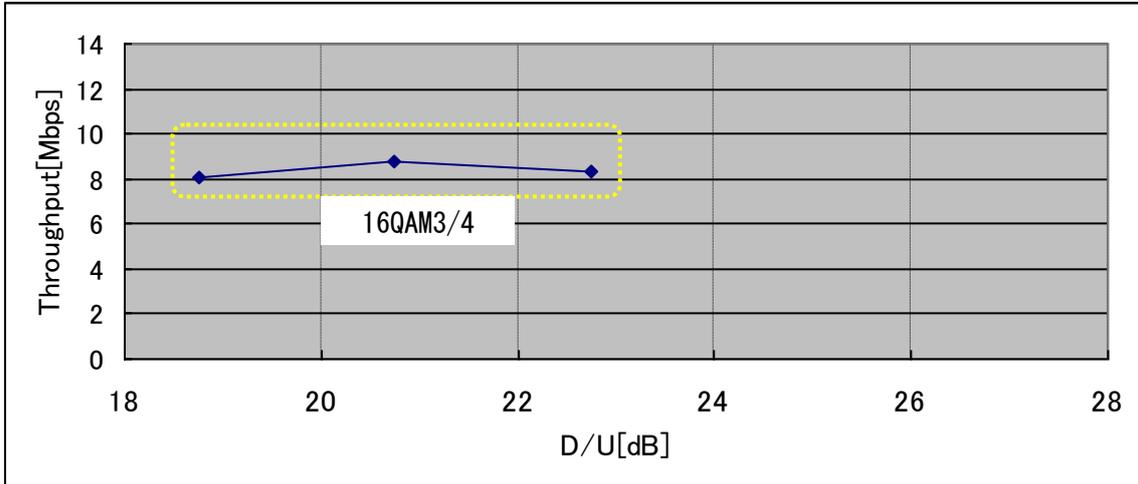


図4-40 D/U と TCP スループットの関係(加入者端末で測定)

表4-15 D/U と TCP スループットの関係(加入者端末で測定)

16QAM 3/4	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]
22.8	8.3
20.8	8.7
18.8	8.1

(オ) D/U と ping RTT の関係

a. CPE での測定(図 4-2 9 測定点 A)

CPE で測定した D/U と ping RTT の関係は、図 4-4 1 及び表 4-1 6 のとおりである。

CPE から基地局への ping なので、遅延時間は 100ms 程度となっている。

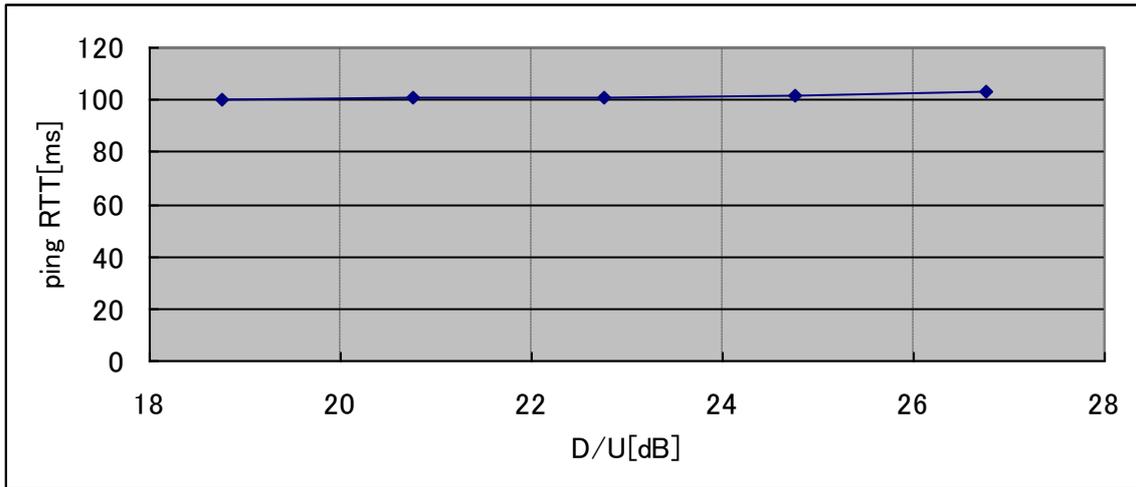


図 4-4 1 D/U と ping RTT の関係(CPE で測定)

表 4-1 6 D/U と ping RTT の関係(CPE で測定)

D/U [dB]	ping RTT [ms]
26.8	103
24.8	102
22.8	101
20.8	101
18.8	100

b. 加入者端末での測定(参考データ 図4-29 測定点B)

加入者端末で測定したD/Uとping RTTの関係は、図4-42及び表4-17のとおりである。

WiMAX装置を2回経由しているために(中継局及び基地局)、遅延時間は200ms程度となっている。

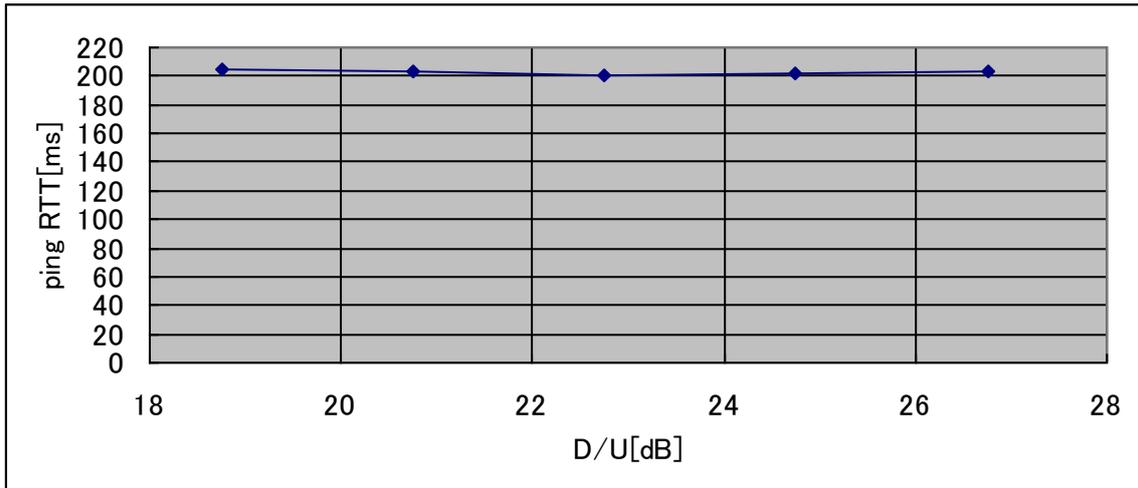


図4-42 D/Uとping RTTの関係(加入者端末で測定)

表4-17 D/Uとping RTTの関係(加入者端末で測定)

D/U[dB]	ping RTT[ms]
26.8	203
24.8	202
22.8	200
20.8	203
18.8	204

(2) アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響

①インハウス試験

本試験では、アンテナの離隔、方向等を変化させて干渉の影響を測定するための試験であることから、実環境においてのみ実施し、インハウス試験については測定を省略した。

②実環境試験

ア. 試験構成

試験構成概略図は、図4-43のとおりである。

中継局では、サービス側アンテナからの送信波がドナー側アンテナに回り込むことが考えられる。この回り込み波が基地局BSから中継局への通信に干渉波として影響を与えることになる。

本試験の目的は、中継局サービス側アンテナの離隔・方向等を変化させて、ドナー側アンテナへの回り込み波の干渉によるスループット等への影響について検討する。

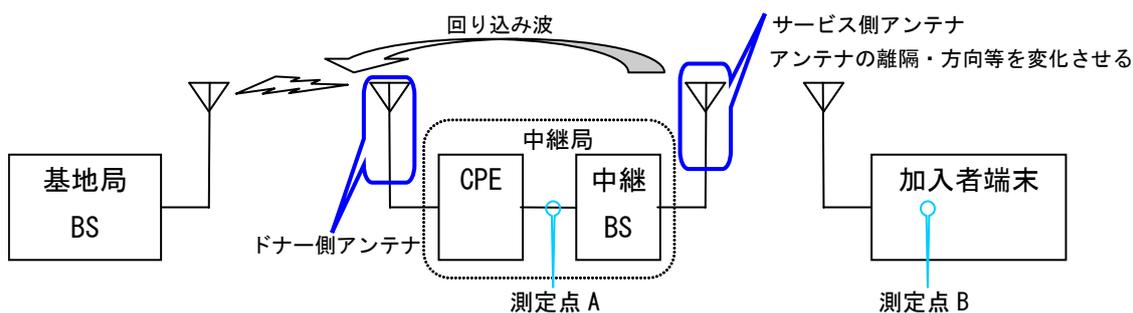


図4-43 試験構成概略図

イ. 試験内容

中継局サービス側アンテナの試験条件は表4-18のとおりであり、中継局ドナー側アンテナの試験条件は表4-19のとおりである。

また、各試験条件のアンテナ配置は、図4-44のとおりである。

各試験条件において、表4-20の項目を測定する。

本測定は、ドナー側アンテナ(CPE)での測定が主目的であるが、参考データとしてUDP、TCPスループット及びping RTTについては、加入者端末でも測定する。

加入者端末の場所は、基地局からの干渉を排除するため、中継局の信号のみ受信できる場所(神居支所入り口付近)とする。

表 4-18 サービス側アンテナの試験条件

条件番号	変化パラメータ	離隔[m]	方向(方位角)	チルト[°]	偏波	中継局 BS 送信電力[dBm]
①	基準	18.5	北(350°)	0	V	14
②	離隔	10.0	北(350°)	0	V	14
③	偏波	18.5	北(350°)	0	H	14
④	方向	18.5	東(90°)	0	V	14
⑤	チルト	18.5	北(350°)	10(下向き)	V	14
⑥	離隔	3.0	北(350°)	0	V	14

表 4-19 ドナー側アンテナの試験条件

方向(方位角)	チルト[°]	偏波
東(110°)	0	V

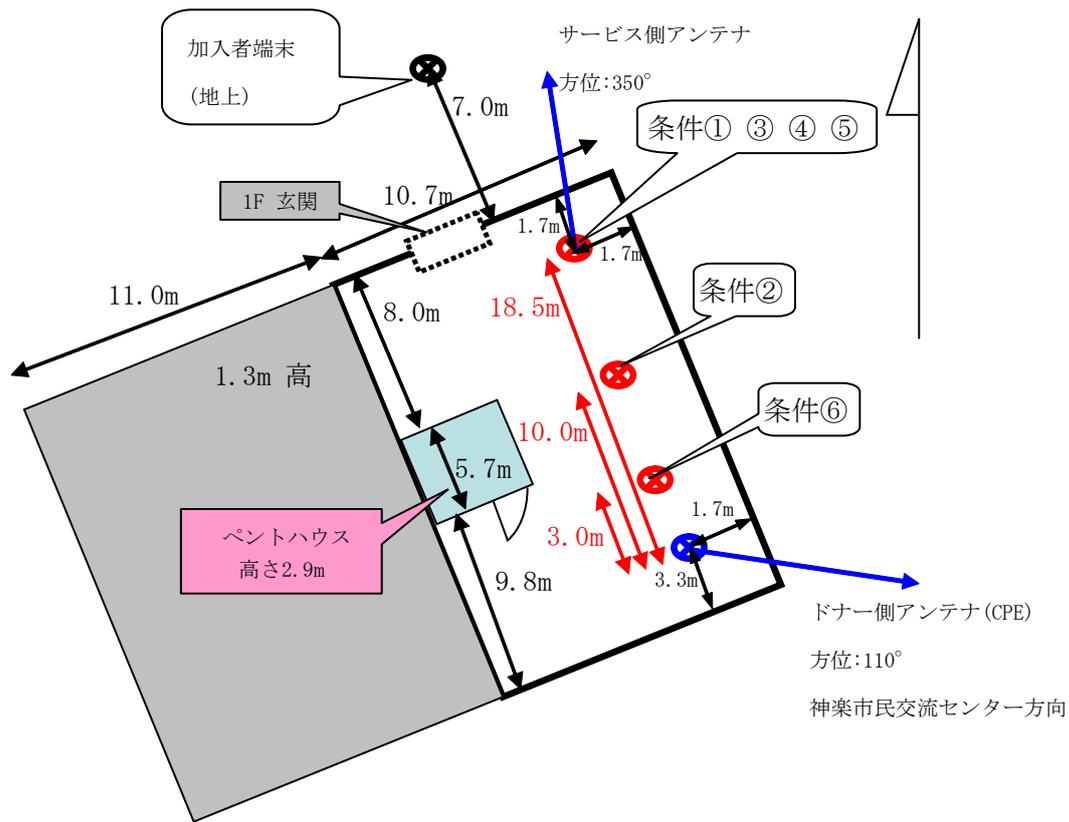


図 4-4 4 神居支所屋上配置図

表 4-20 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

(ア) アンテナ間結合量の測定方法

アンテナ間結合量の測定方法は、図 4-4 5 及び図 4-4 6 のとおりである。

- ① アッテネータ(ATT)を介して中継局 BS とスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザで送信電力を測定する。
- ② 測定した値から ATT の値を差し引いて、中継局 BS のアンテナ端子での送信電力を求める。
- ③ 実環境にて中継局 BS からの回り込み波の受信電力を CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ④ ②で測定した送信電力から③で測定した受信電力を差し引いた値が、アンテナ間結合量となる。

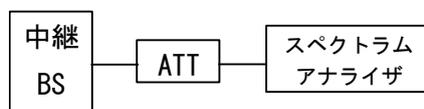


図 4-4 5 送信電力の測定

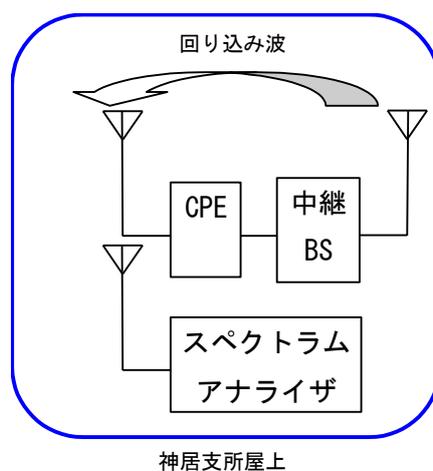


図 4-4 6 回り込み波の測定

(イ) D/U の測定方法

D/U の測定方法は、図 4-4 7 のとおりである。

- ① 基地局波(希望波)のみを送信して、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ② 中継局波(干渉波)のみを送信して、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ③ 希望波の受信電力と干渉波の受信電力の差分が D/U となる。

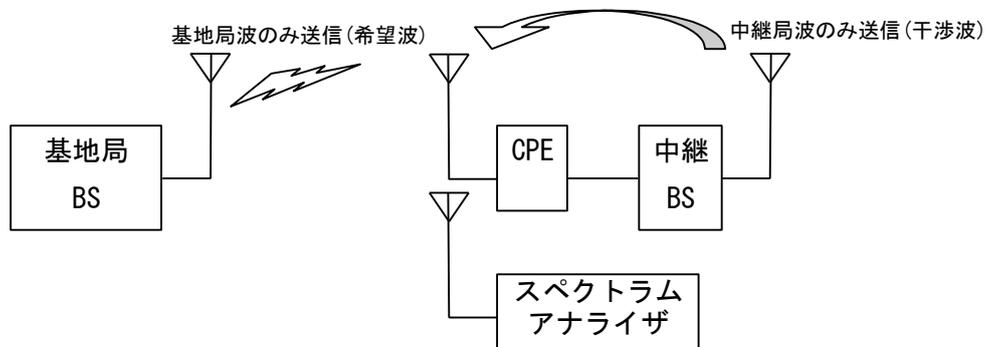


図 4-4 7 D/U の測定方法

(ウ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から CPE へパケットを送信して DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

また、参考データとして基地局から加入者端末への DL スループットも測定する。

(エ) ping RTT の測定方法

加入者端末から基地局へ ping を打って、50 回の平均時間を記録する。

また、参考データとして加入者端末から基地局への pingRTT も測定する。

ウ. 試験結果

(ア) アンテナ条件を変化させた場合のアンテナ間結合量

アンテナ条件を変化させた場合のアンテナ間結合量は、図4-48及び表4-21のとおりである。

基準と偏波は同程度のアンテナ間結合量であり、その他の条件は、全て基準より小さい値となっている(干渉波の回り込み量が大きい)。

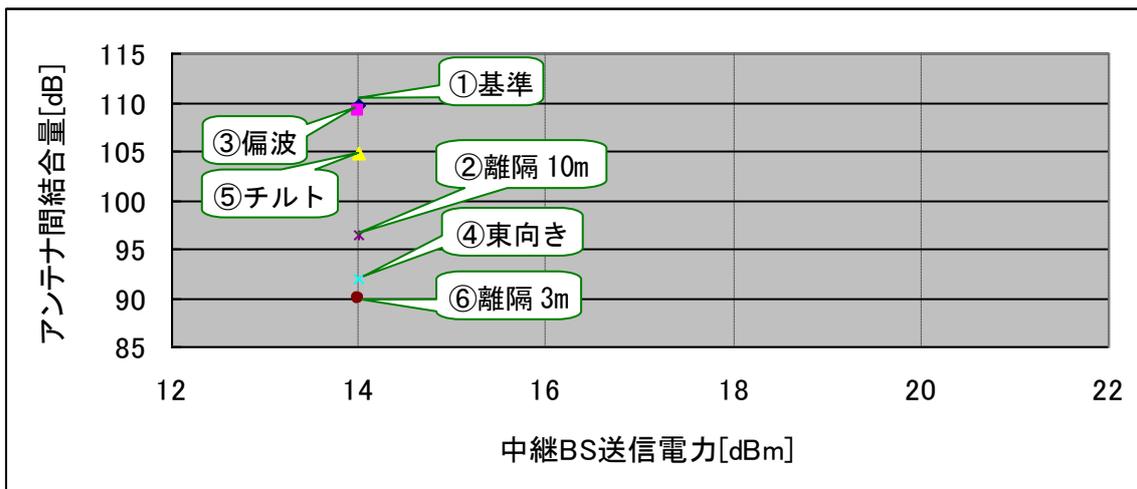


図4-48 アンテナ間結合量

表4-21 アンテナ間結合量

条件番号	アンテナ条件	アンテナ間結合量[dB]	基準との差[dB]
①	基準(離隔 18.5m)	109.6	—
②	離隔 10m	96.4	-13.2
③	偏波 H	109.0	-0.6
④	東向き 90°	91.9	-17.7
⑤	チルト下向き 10°	104.8	-4.8
⑥	離隔 3m	90.0	-19.6

(イ) アンテナ条件を変化させた場合の D/U

アンテナ条件を変化させた場合の D/U は、図 4-4 9 及び表 4-2 2 のとおりである。

基準と偏波は同程度の D/U であるが、その他の条件は、全て基準よりも劣化している。

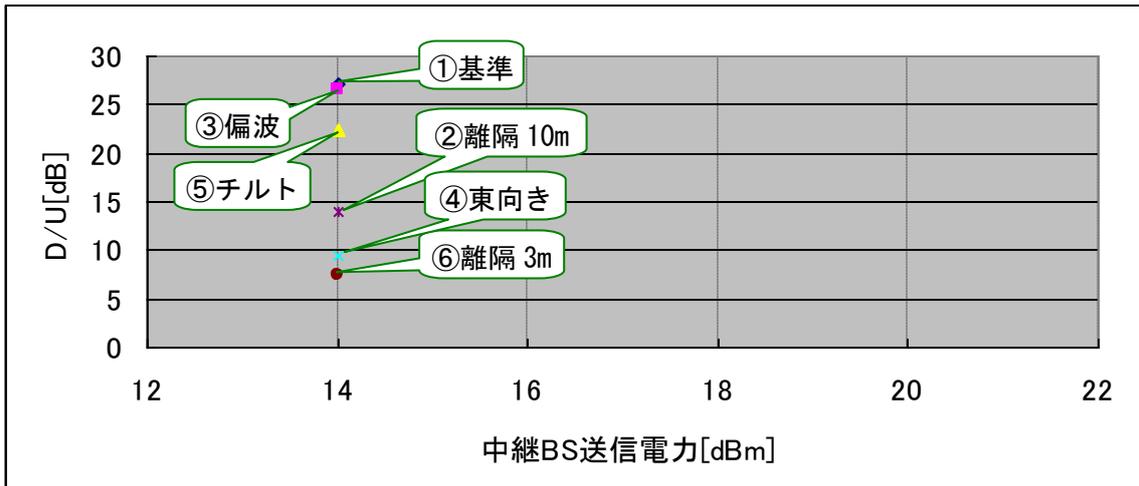


図 4-4 9 アンテナ条件を変化させた場合の D/U

表 4-2 2 アンテナ条件を変化させた場合の D/U

条件番号	アンテナ条件	D/U [dB]	基準との差 [dB]
①	基準(離隔 18.5m)	27.1	—
②	離隔 10m	13.9	-13.2
③	偏波 H	26.5	-0.6
④	東向き 90°	9.4	-17.7
⑤	チルト下向き 10°	22.3	-4.8
⑥	離隔 3m	7.5	-19.6

(ウ) D/U と UDP スループットの関係

a. CPE での測定 (図 4-4 3 測定点 A)

D/U と UDP スループットの関係は、図 4-5 0 及び表 4-2 3 のとおりである。

D/U に応じたスループットが得られている。

基準、偏波、チルトは D/U=20dB 以上であり、最大のスループットが得られている。

離隔 10m と東向きは、5Mbps 程度、離隔 3m では 3Mbps 程度となった。

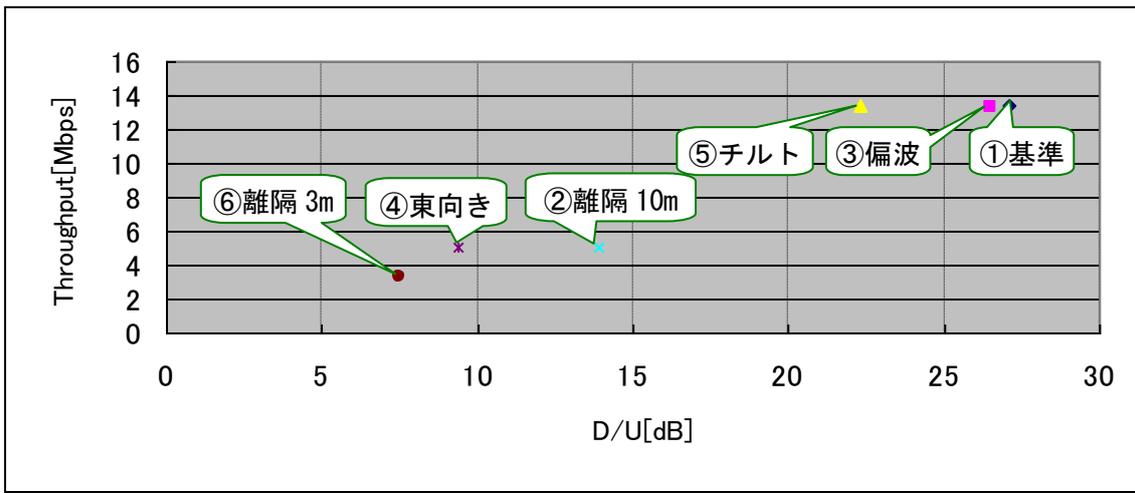


図 4-5 0 D/U と UDP スループットの関係

表 4-2 3 D/U と UDP スループットの関係

条件番号	アンテナ条件	Throughput [Mbps]	D/U [dB]
①	基準 (離隔 18.5m)	13.4	27.1
②	離隔 10m	5.0	13.9
③	偏波 H	13.3	26.5
④	東向き 90°	5.0	9.4
⑤	チルト下向き 10°	13.4	22.3
⑥	離隔 3m	3.3	7.5

b. 加入者端末での測定(参考データ 図4-43 測定点B)

D/UとUDPスループットの関係は、図4-51及び表4-24のとおりである。

基準、偏波、チルトはD/U=20dB以上であり、最大のスループットが得られている。離隔10mが東向きよりもD/U(CPE端で規定)が大きいにもかかわらずスループットが低下しているのは、離隔を10mとしたことによって、加入者端末とアンテナの距離が遠くなることと、加入者端末からアンテナが見通せなくなることにより、加入者端末での受信レベルが低下しているためと考えられる。

また、離隔3mの場合も同様の理由により、CPEで測定したスループットよりも小さい値となっている。

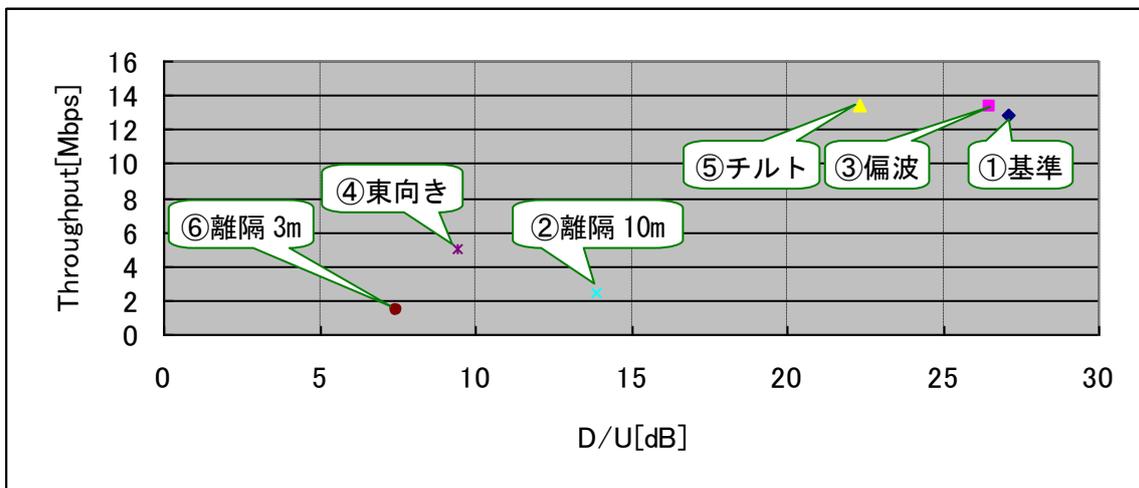


図4-51 D/UとUDPスループットの関係

表4-24 D/UとUDPスループットの関係

条件番号	アンテナ条件	Throughput [Mbps]	D/U [dB]
①	基準(離隔 18.5m)	12.9	27.1
②	離隔 10m	2.5	13.9
③	偏波 H	13.3	26.5
④	東向き 90°	5.0	9.4
⑤	チルト下向き 10°	13.4	22.3
⑥	離隔 3m	1.4	7.5

(エ) D/U と TCP スループットの関係

a. CPE での測定 (図 4-4 3 測定点 A)

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-5 2 及び表 4-2 5 のとおりである。

D/U に応じたスループットが得られている。

基準、偏波、チルトは D/U=20dB 以上であり、最大のスループットが得られている。

離隔 10m と東向きは、5Mbps 程度、離隔 3m では 3Mbps 程度となった。

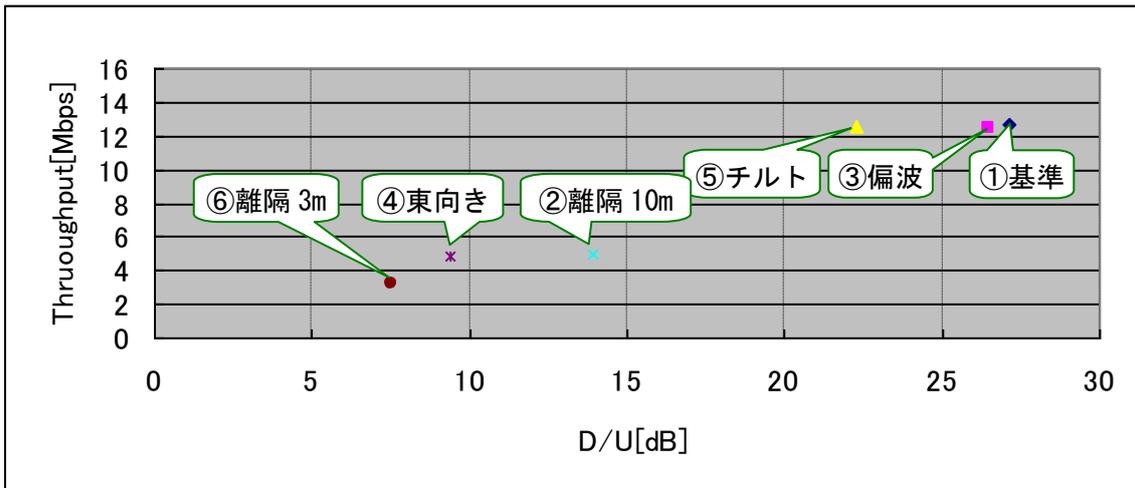


図 4-5 2 D/U と TCP スループットの関係

表 4-2 5 D/U と TCP スループットの関係

条件番号	アンテナ条件	Throughput [Mbps]	D/U [dB]
①	基準(離隔 18.5m)	12.7	27.1
②	離隔 10m	4.8	13.9
③	偏波 H	12.5	26.5
④	東向き 90°	4.8	9.4
⑤	チルト下向き 10°	12.6	22.3
⑥	離隔 3m	3.2	7.5

b. 加入者端末での測定(参考データ 図4-43 測定点B)

D/UとTCPスループットの関係は、図4-53及び表4-26のとおりである。

基準、偏波は、D/U=20dB以上であり、最大のスループットが得られている。

UDPの場合と同様に、離隔10mが東向きよりもD/U(CPE端で規定)が大きいかかわらずスループットが低下しているのは、離隔を10mとしたことによって、加入者端末とアンテナの距離が遠くなることと、加入者端末からアンテナが見通せなくなることにより、加入者端末での受信レベルが低下しているためと考えられる。

また、離隔3mの場合も同様の理由により、CPEで測定したスループットよりも小さい値となっている。

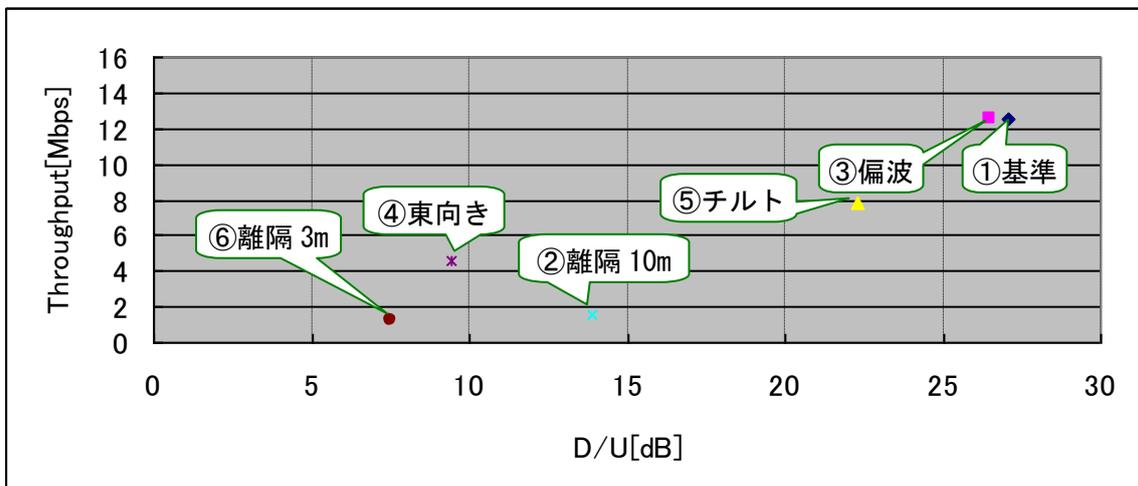


図4-53 D/UとTCPスループットの関係

表4-26 D/UとTCPスループットの関係

条件番号	アンテナ条件	Throughput [Mbps]	D/U [dB]
①	基準(離隔 18.5m)	12.5	27.1
②	離隔 10m	1.6	13.9
③	偏波 H	12.5	26.5
④	東向き 90°	4.6	9.4
⑤	チルト下向き 10°	7.8	22.3
⑥	離隔 3m	1.2	7.5

(オ) D/U と ping RTT の関係 (図 4-4 3 測定点 A)

a. CPE での測定

D/U と ping RTT の関係は、図 4-5 4 及び表 4-2 7 のとおりである。

D/U 値にかかわらず遅延時間は、100ms 程度となっている。

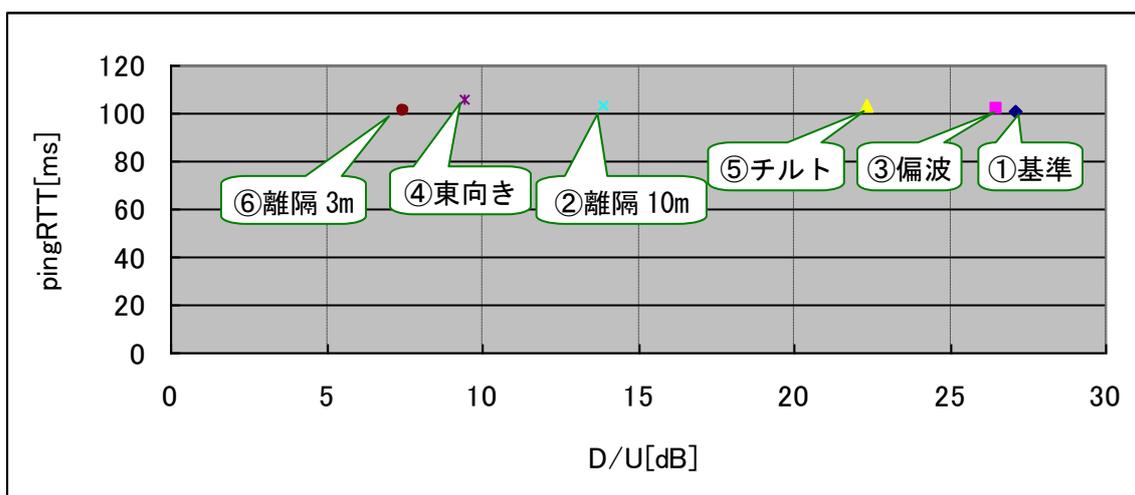


図 4-5 4 D/U と ping RTT の関係

表 4-2 7 D/U と ping RTT の関係

条件番号	アンテナ条件	ping RTT [ms]	D/U [dB]
①	基準 (離隔 18.5m)	101	27.1
②	離隔 10m	103	13.9
③	偏波 H	102	26.5
④	東向き 90°	106	9.4
⑤	チルト下向き 10°	103	22.3
⑥	離隔 3m	101	7.5

b. 加入者端末での測定(参考データ 図4-43 測定点B)

D/U と ping RTT の関係は、図4-55及び表4-28のとおりである。

D/U 値にかかわらず、200ms 程度の RTT が得られている。これは、WiMAX 装置を2回経由しているために、通常 100ms の遅延時間が2倍の 200ms となっている。

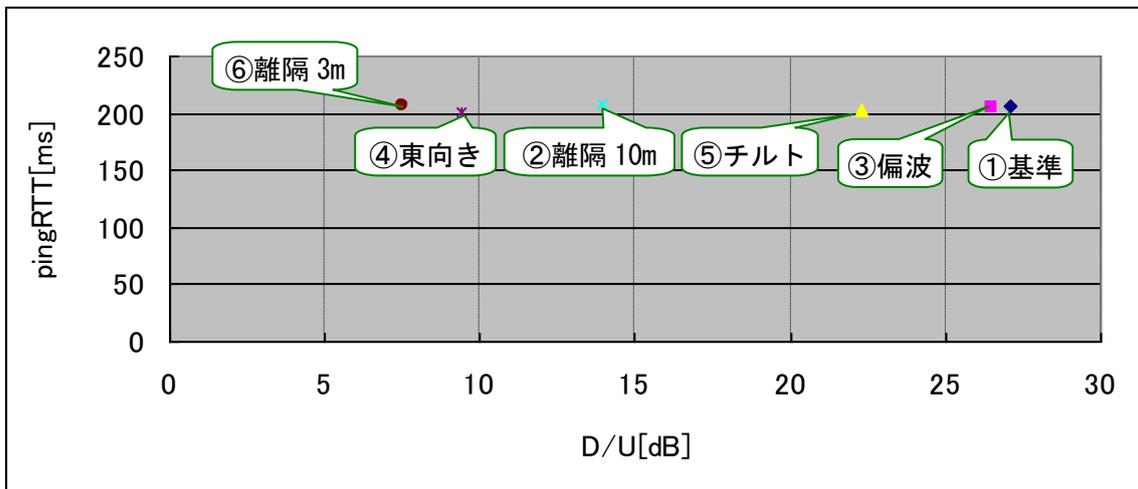


図4-55 D/U と ping RTT の関係

表4-28 D/U と ping RTT の関係

条件番号	アンテナ条件	ping RTT [ms]	D/U [dB]
①	基準(離隔 18.5m)	206	27.1
②	離隔 10m	208	13.9
③	偏波 H	205	26.5
④	東向き 90°	201	9.4
⑤	チルト下向き 10°	202	22.3
⑥	離隔 3m	206	7.5

(3) 加入者端末の通信状況における実用性の検証

①インハウス試験

ア. 試験構成

(ア) 中継局 BS の下り信号(DL)に基地局の DL が干渉する場合

試験構成概略図は、図 4-5 6 のとおりである。

基地局 BS、中継局(CPE 及び BS で構成)、加入者端末及びアッテネータ(ATT)で構成している。

基地局 BS 及び中継局 BS とともに、オムニ設定(30sub channel 全て使用)とする。基地局 BS からの DL 信号(干渉波)を加入者端末に回り込ませて、ATT1 で干渉波レベルを調節する。

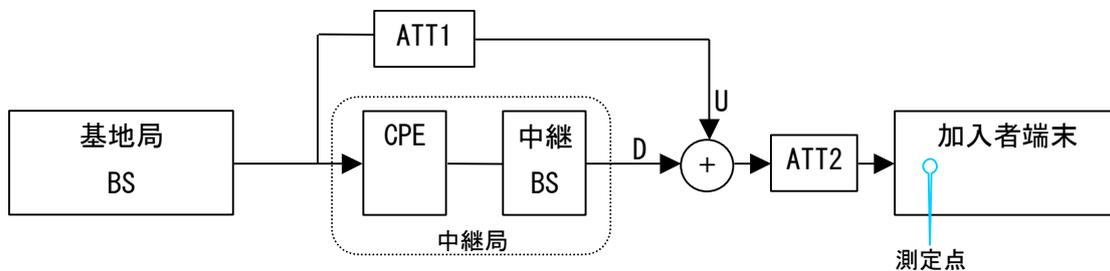


図 4-5 6 試験構成概略図

(イ) 中継局 CPE の上り信号(UL)が加入者端末の UL に干渉する場合

試験構成概略図は、図 4-5 7 のとおりである。

基地局 BS、中継局(CPE 及び BS で構成)、加入者端末及びアッテネータ(ATT)で構成している。

基地局 BS 及び中継局 BS とともに、オムニ設定(30sub channel 全て使用)とする。

中継局 CPE からの UL 信号(干渉波)を中継局 BS 端に回り込ませて、ATT1 で干渉波レベルを調節する。

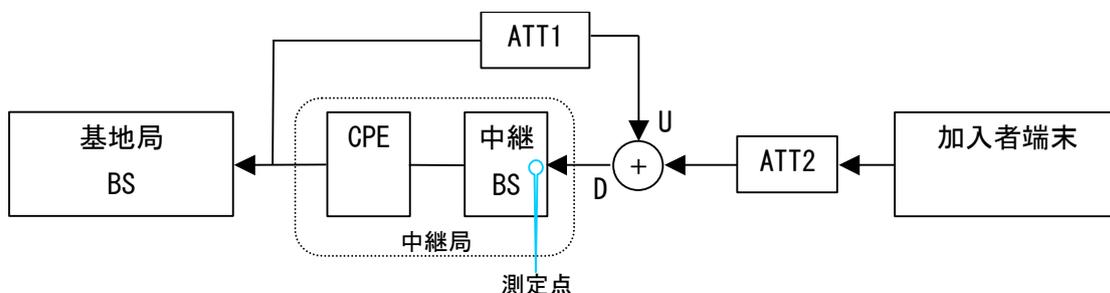


図 4-5 7 試験構成概略図

イ. 試験内容

(ア) 中継局 BS の下り信号(DL)に基地局の DL が干渉する場合

加入者端末のアンテナ端が D/U の規定点であり、基地局 BS からの下り信号レベルをアッテネータで調節することにより、D/U を変化させてスループットを測定する。

(イ) 中継局 CPE の上り信号(UL)が加入者端末の UL に干渉する場合

中継局 BS のアンテナ端が D/U の規定点であり、CPE から送信される上り信号レベルをアッテネータで調節することにより、D/U を変化させてスループットを測定する。

(ウ) D/U の測定方法

中継局 BS の下り信号(DL)に基地局の DL が干渉する場合は、加入者端末で測定した希望波(D)、干渉波(U)の受信電力の差を D/U とする。

中継局 CPE の上り信号(UL)が加入者端末の UL に干渉する場合は、中継局 BS のアンテナ端でスペクトラムアナライザを使用して、希望波(D)、干渉波(U)の受信電力を測定し、それらの差を D/U とする。

(エ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から CPE へパケットを送信して DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

また、参考データとして基地局から加入者端末への DL スループットも測定する。

(オ) ping RTT の測定方法

試験構成概略図は、図 4-5 8 のとおりである。

以下の 3 つの区間で ping RTT を観測する。

- ① 基地局 BS-加入者端末
- ② 基地局 BS-中継局
- ③ 中継局-加入者端末

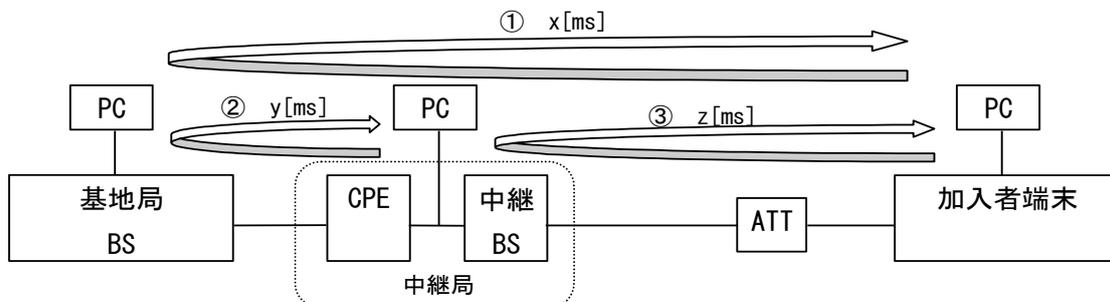


図 4-5 8 試験構成概略図

ウ. 試験結果

(ア) 中継局 BS の下り信号(DL)に基地局の DL が干渉する場合

a. D/U と UDP スループットの関係

D/U と UDP スループットの関係は、図 4-5 9 及び表 4-2 9 のとおりである。

今回の試験で使用する基地局 BS は、伝送路の状態に応じて適応的に変調方式が切り替わるため、D/U が低下するに従って、スループットも低下している。

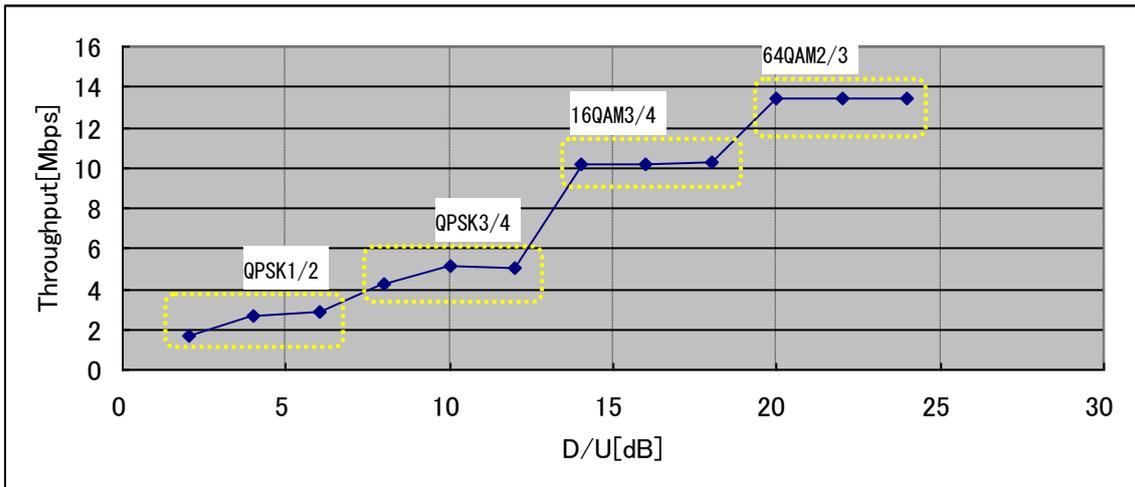


図 4-5 9 D/U と UDP スループットの関係

表 4-2 9 D/U と UDP スループットの関係

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U[dB]	Throughput [Mbps]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]
24.0	13.40	18.0	10.30	12.0	5.07	6.0	2.84
22.0	13.40	16.0	10.20	10.0	5.09	4.0	2.66
20.0	13.40	14.0	10.20	8.0	4.29	2.0	1.71

b. D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-6 0 及び表 4-3 0 のとおりである。

UDP スループットと同様に、今回の試験で使用する基地局 BS は、伝送路の状態に応じて適応的に変調方式が切り替わるため、D/U が低下するに従って、スループットも低下している。

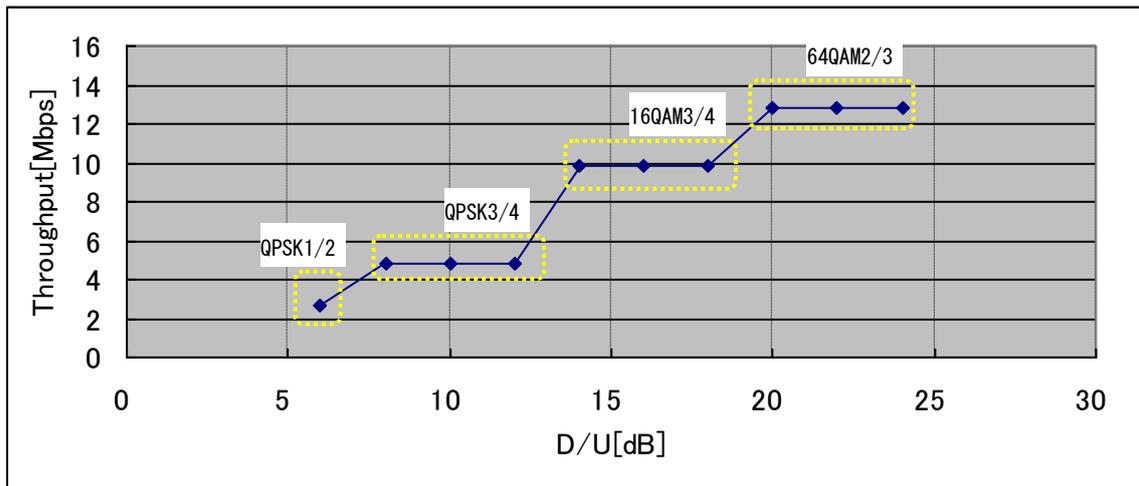


図 4-6 0 D/U と TCP スループットの関係

表 4-3 0 D/U と TCP スループットの関係

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]						
24.0	12.8	18.0	9.8	12.0	4.8	6.0	2.7
22.0	12.8	16.0	9.8	10.0	4.8		
20.0	12.8	14.0	9.8	8.0	4.8		

(イ) 中継局 CPE の上り信号(UL)が加入者端末の UL に干渉する場合

a. D/U と UDP スループットの関係

D/U と UDP スループットの関係は、図 4-6 1 及び表 4-3 1 のとおりである。

今回の試験で使用する中継局 BS は、伝送路の状態に応じて適応的に UL の変調方式を決定し、使用サブチャネル数とともに加入者端末へ通知している。そのため、D/U が低下するに従って変調方式が変化し、使用サブチャネル数が減少することにより、スループットが低下している。加入者端末では、使用サブチャネル数が減少した分、1 サブチャネル当たりの出力を増加させる機能(パワー・コンセントレーション)が働くために、D/U=0dB 付近まで通信できている。

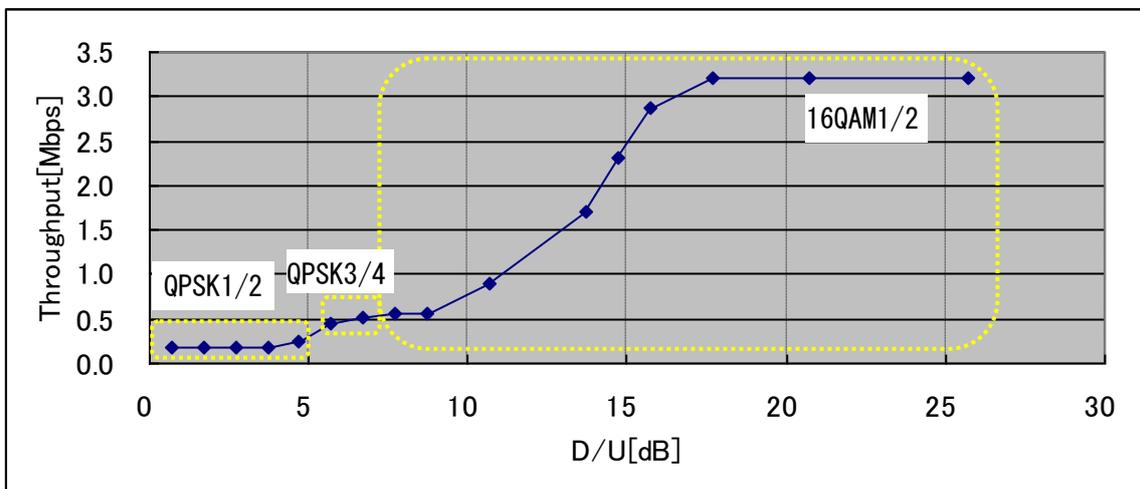


図 4-6 1 D/U と UDP スループットの関係

表 4-3 1 D/U と UDP スループットの関係

16QAM1/2		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]
25.7	3.20	6.7	0.52	4.7	0.25
20.7	3.20	5.7	0.44	3.7	0.19
17.7	3.20			2.7	0.19
15.7	2.88			1.7	0.19
14.7	2.30			0.7	0.19
13.7	1.70				
10.7	0.89				
8.7	0.55				
7.7	0.55				

b. D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-6 2 及び表 4-3 2 のとおりである。

UDP スループットと同様に、今回の試験で使用する中継局 BS は、伝送路の状態に応じて適応的に UL の変調方式を決定し、使用サブチャネル数とともに加入者端末へ通知している。そのため、D/U が低下するに従って変調方式が変化し、使用サブチャネル数が減少することにより、スループットが低下している。加入者端末では、使用サブチャネル数が減少した分、1 サブチャネル当たりの出力を増加させる機能(パワー・コンセントレーション)が働くために、D/U=0dB 付近まで通信できている。

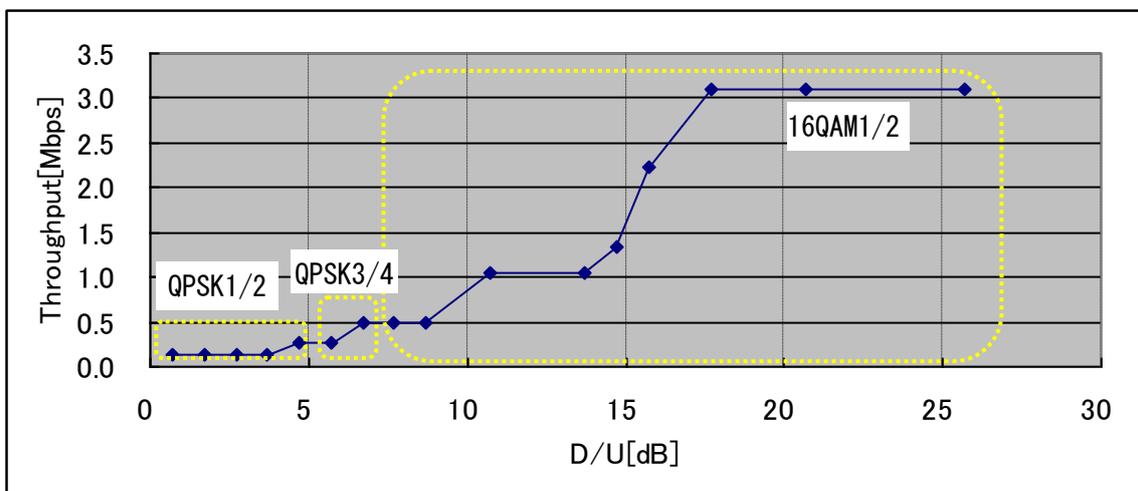


図 4-6 2 D/U と TCP スループットの関係

表 4-3 2 D/U と TCP スループットの関係

16QAM1/2		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]
25.7	3.10	6.7	0.50	4.7	0.26
20.7	3.10	5.7	0.26	3.7	0.13
17.7	3.10			2.7	0.13
15.7	2.23			1.7	0.13
14.7	1.33			0.7	0.13
13.7	1.05				
10.7	1.05				
8.7	0.50				
7.7	0.50				

(ウ) ping RTT の確認

測定結果は、表 4-3 3 のとおりである。

加入者端末から基地局までのトータルの RTT は、基地局 BS-中継局、中継局-加入者端末の RTT の和となっている。これは WiMAX 装置を 2 回経由しているためである。

表 4-3 3 ping 応答時間

区間		Ping 応答時間	
①	基地局 BS-加入者端末	x	215ms
②	基地局 BS-中継局	y	100ms
③	中継局-加入者端末	z	114ms

エ. 変調方式を QPSK1/2 に固定した場合の DL と UL の D/U とスループットの比較

変調方式を QPSK1/2 に固定した場合の DL と UL の D/U と UDP スループットの関係は、図 4-6 3 及び表 4-3 4 のとおりである。ここでは、DL と UL の動作の違いを確認するために、QPSK1/2 に固定して測定した。

DL は常に一定の電力で送信していることから、D/U が低下するに従って伝送路の状態が悪くなり、今回の試験では D/U=3.3dB でスループットが 1.5Mbps 程度に落ち込み、その後は通信できなくなった。

一方、UL は D/U が低下すると使用サブチャネル数を減らして 1 サブチャネル当たりの送信出力を増加させる機能(パワー・コンセントレーション)が働くことから、スループットが制限されるが、通信を維持することができる。

また、トータルパワーは変化しないので、干渉波レベルに応じて D/U は変化し、

図 4-6 3 のように、QPSK1/2 では、D/U=11dB 以下 からパワー・コンセントレーション機能が動作している。

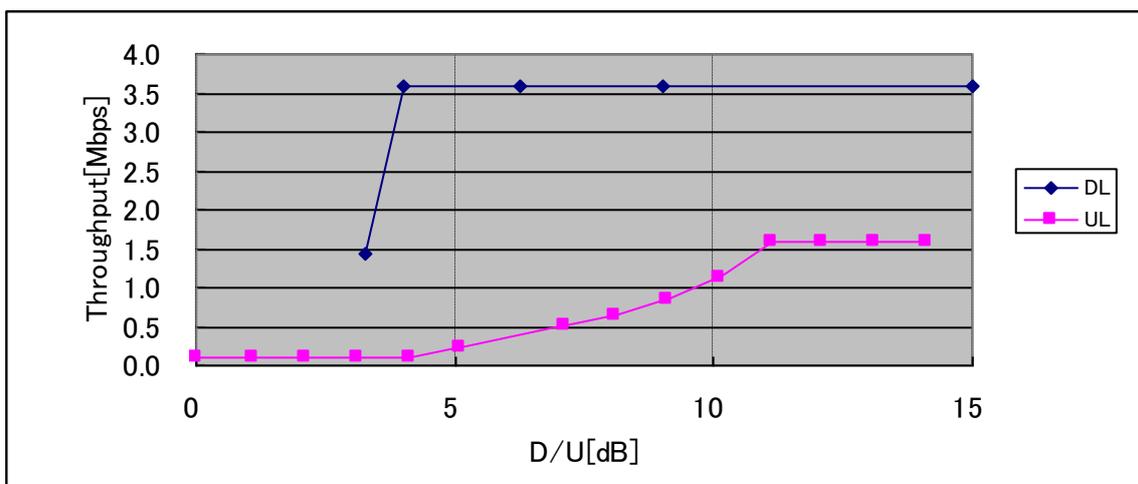


図 4-6 3 D/U と UDP スループットの関係(QPSK1/2)

表 4-3 4 D/U と UDP スループットの関係 (QPSK1/2)

DL		UL	
D/U[dB]	Throughput [Mbps]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]
3.3	1.43	0	0.09
4.0	3.58	1.1	0.09
6.3	3.58	2.1	0.09
9.0	3.58	3.1	0.09
15.0	3.58	4.1	0.09
		5.1	0.24
		7.1	0.52
		8.1	0.65
		9.1	0.85
		10.1	1.12
		11.1	1.60
		12.1	1.60
		13.1	1.60
		14.1	1.60

②実環境試験

ア. 試験構成

(ア) 中継局 BS の下り信号 (DL) に基地局の DL が干渉する場合

試験構成概略図は、図 4-6 4 のとおりである。

基地局のサービスエリアと中継局のサービスエリアの境界付近では、中継局波と基地局波が干渉することが予想される。この干渉により、中継局と加入者端末との通信に影響を与えることになる。

本試験の目的は、基地局波(干渉波)による中継局-加入者端末間の下り方向のスループット等への影響について検討する。

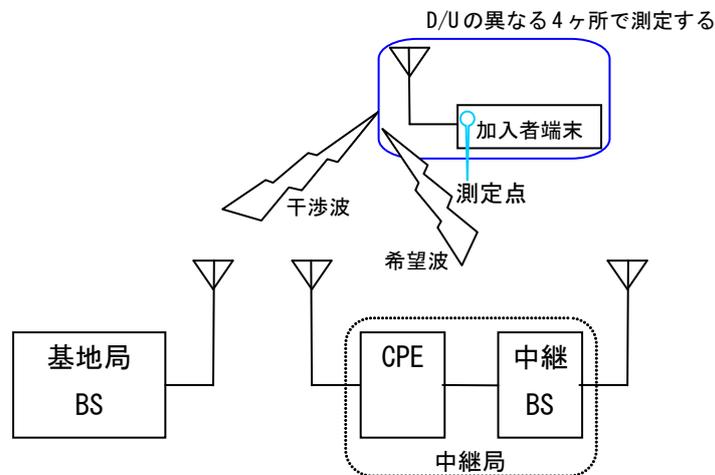


図 4-6 4 試験構成概略図

(イ) 中継局 CPE の上り信号(UL)が加入者端末の UL に干渉する場合

試験構成概略図は、図 4-6 5 のとおりである。

中継局から基地局への上り信号が、中継局のサービスアンテナに回り込む場合を想定する。この回り込みにより、中継局と加入者端末との通信に影響を与えることになる。

本試験の目的は、回り込み波(干渉波)による中継局-加入者端末間の上り方向のスループット等への影響について検討する。

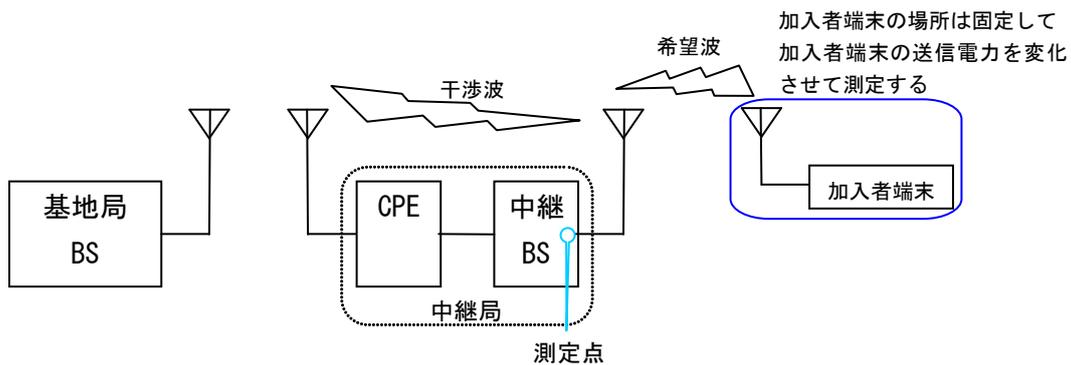


図 4-6 5 試験構成概略図

イ. 試験内容

(ア) 試験環境

a. 中継局 BS の下り信号(DL)に基地局の DL が干渉する場合

中継局サービス側アンテナの試験条件は、表 4-3 5 のとおり 1 パターンに固定し、加入者端末の場所を 4 ヶ所変化させることにより、D/U を変化させる。中継局ドナー側アンテナの試験条件は、表 4-3 6 のとおりである。

また、アンテナ配置は、図 4-6 6 のとおりである。

測定項目は、表 4-3 7 のとおりである。

表 4-3 5 サービス側アンテナの試験条件

条件	離隔[m]	方向・方位角	チルト[°]	偏波
1	18.5	東 90° (基地局 BS と干渉する方向)	0	V

表 4-3 6 ドナー側アンテナの試験条件

方向(方位角)	チルト[°]	偏波
東(110°)	0	V

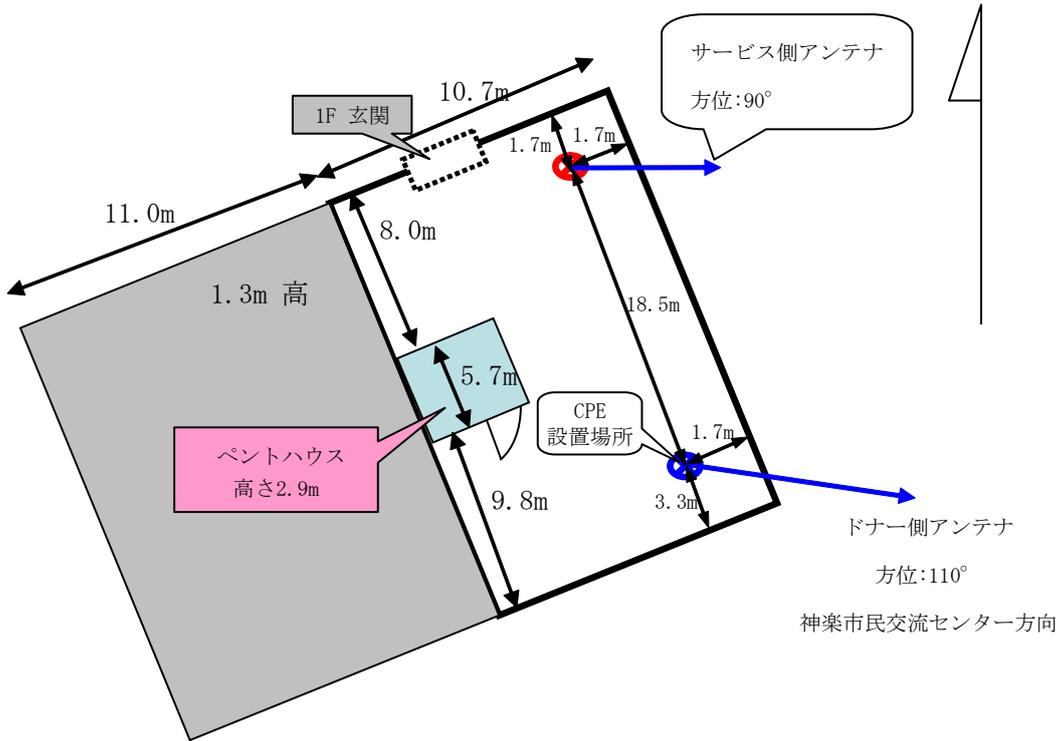


図 4-6 6 神居支所屋上配置図(下り方向測定時)

表 4-3 7 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

b. 中継局 CPE の上り信号 (UL) が加入者端末の UL に干渉する場合

中継局サービス側アンテナの試験条件は、表 4-3 8 のとおり 1 パターンに固定する。中継局ドナー側アンテナの試験条件は、表 4-3 9 のとおりである。

また、アンテナ配置は、図 4-6 7 のとおりである。

加入者端末は、神居支所屋上に設置して加入者端末の送信電力を変化させることにより、D/U を変化させる。

測定項目は、表 4-4 0 のとおりである。

表 4-3 8 サービス側アンテナの試験条件

条件	離隔[m]	方向・方位角	チルト[°]	偏波
1	18.5	南西 240°	0	V

表 4-39 ドナー側アンテナの試験条件

方向(方位角)	チルト[°]	偏波
東(110°)	0	V

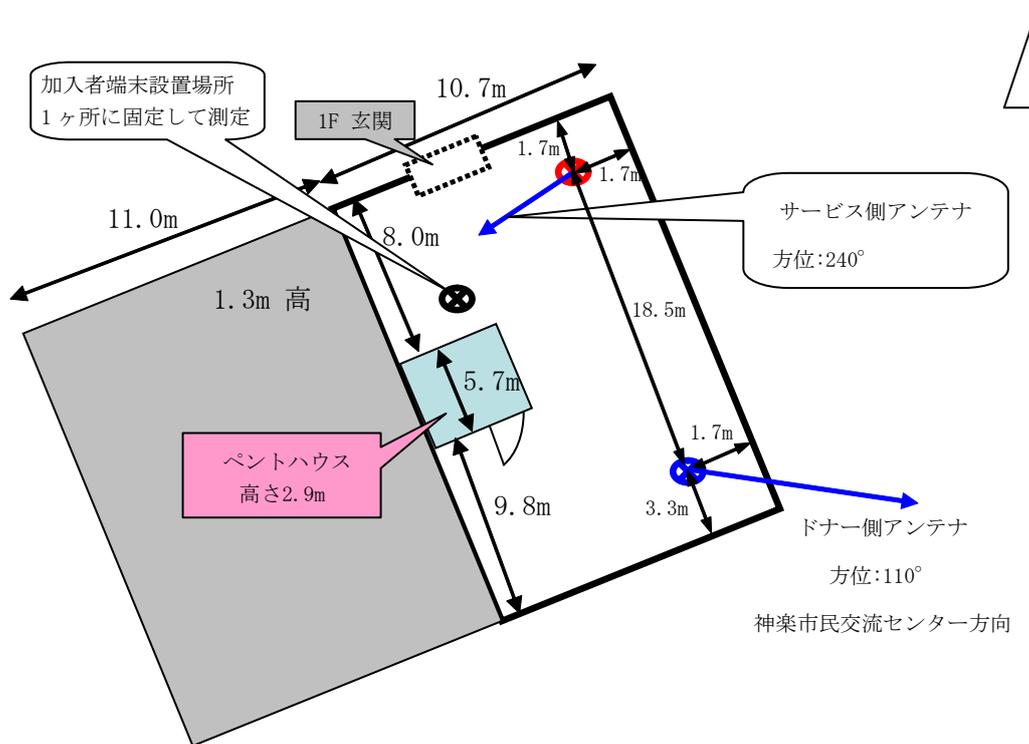


図 4-67 神居支所屋上配置図(上り方向測定時)

表 4-40 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

(イ) アンテナ間結合量の測定方法

アンテナ間結合量の測定方法は、図4-68及び図4-69のとおりである。

- ① アッテネータ(ATT)を介して中継局BSとスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザで送信電力を測定する。
- ② 測定した値からATTの値を差し引いて、中継局BSのアンテナ端子での送信電力を求める。
- ③ 実環境にて中継局BSからの回り込み波の受信電力をCPEと同じ場所においてスペクトラムアナライザで測定する。スペクトラムアナライザには、CPEで使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ④ ③で測定した受信電力から②で測定した送信電力を差し引いた値が、アンテナ間結合量となる。

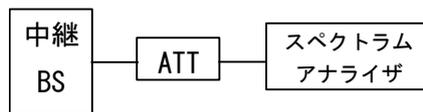


図4-68 送信電力の測定

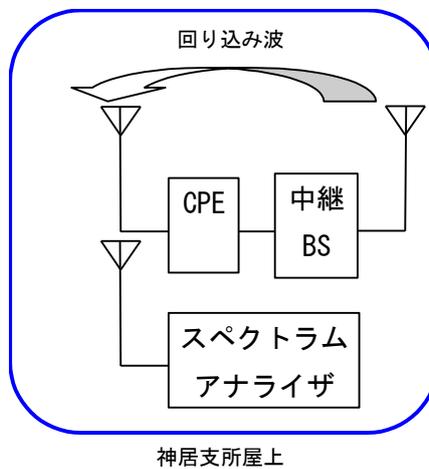


図4-69 回り込み波の測定

(ウ) D/U の測定方法

a. 中継局 BS の下り信号(DL)に基地局の DL が干渉する場合

D/U の測定方法は、図 4-70 のとおりである。

- ① 中継局波(希望波)のみを送信して、加入者端末で受信電力を測定する。
- ② 基地局波(干渉波)のみを送信して、加入者端末で受信電力を測定する。
- ③ 希望波の受信電力と干渉波の受信電力の差分が D/U となる。

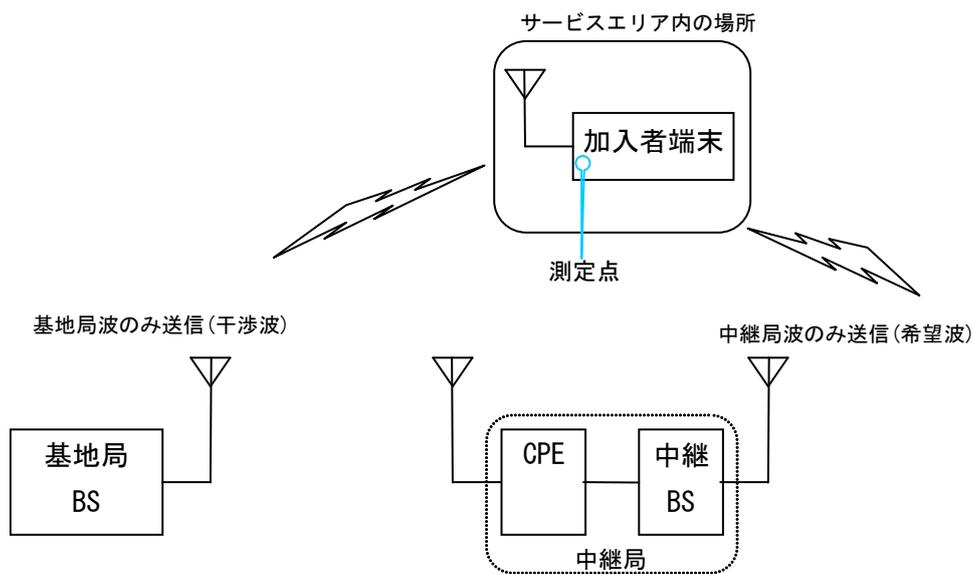


図 4-70 D/U の測定方法

b. 中継局 CPE の上り信号(UL)が加入者端末の UL に干渉する場合

D/U の測定方法は、図 4-71 及び図 4-72 のとおりである。

中継局 BS 端での D/U を規定して、UDP、TCP スループットと ping RTT を測定する。

- ① 加入者端末から基地局 BS へパケットを送信する。この時、中継局 BS で加入者端末からの信号の受信電力を測定する(希望波の受信電力)。
- ② CPE に接続した測定用 PC から基地局 BS へパケットを送信する。この時、中継局 BS で CPE からの回り込み波の受信電力を測定する(干渉波の受信電力)。
- ③ ①で測定した希望波の受信電力から、②で測定した干渉波の受信電力を引いた値が D/U となる。

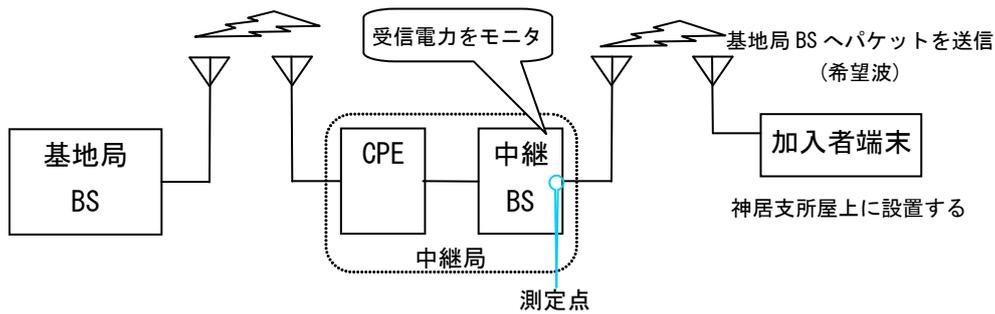


図 4-7 1 希望波電力の測定

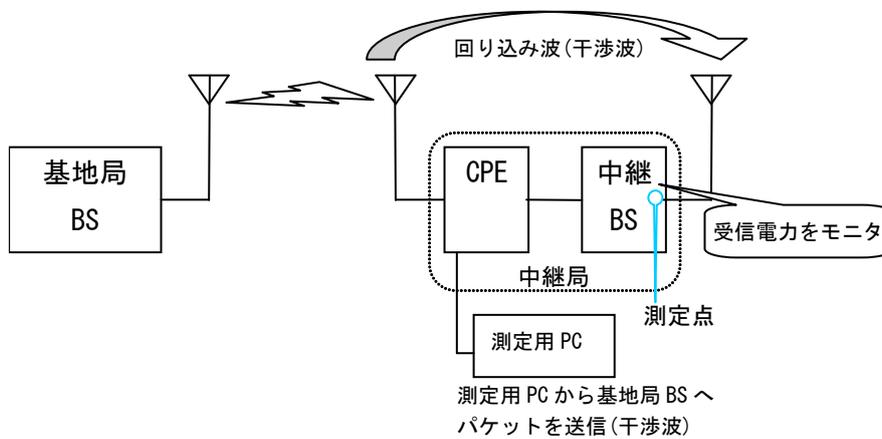


図 4-7 2 干渉波電力の測定

(エ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から加入者端末へパケットを送信して DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

(オ) ping RTT の測定方法

加入者端末から基地局へ ping を打って、50 回の平均時間を記録する。

ウ. 試験結果

(ア) 中継局 BS の下り信号 (DL) に基地局の DL が干渉する場合

a. アンテナ間結合量

サービス側アンテナの試験条件は、表 4-4 1 のとおりである。

(2) アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響の条件④の状態を試験した結果、アンテナ間結合量は、91.9dB である。

表 4-4 1 サービス側アンテナの試験条件

条件番号	離隔 [m]	方向 (方位角)	チルト [°]	偏波	中継局 BS 送信電力 [dBm]	変化パラメータ
④	18.5	東(90°)	0	V	14	方向

b. D/U、スループット、ping RTT と測定場所

D/U、スループット、ping RTT と測定場所の関係は、表 4-4 2 のとおりである。

測定場所の位置関係は、図 4-7 3 のとおりである。

表 4-4 2 D/U、スループット、ping RTT と測定場所

測定場所	D/U [dB]	TCP Throughput [Mbps]	UDP Throughput [Mbps]	ping RTT [ms]	変調方式
A	5	2.9	2.9	203	QPSK1/2
B	11	4.5	5.1	208	QPSK3/4
C	15	8.3	10.0	202	16QAM3/4
D	28	13.2	14.4	204	64QAM2/3

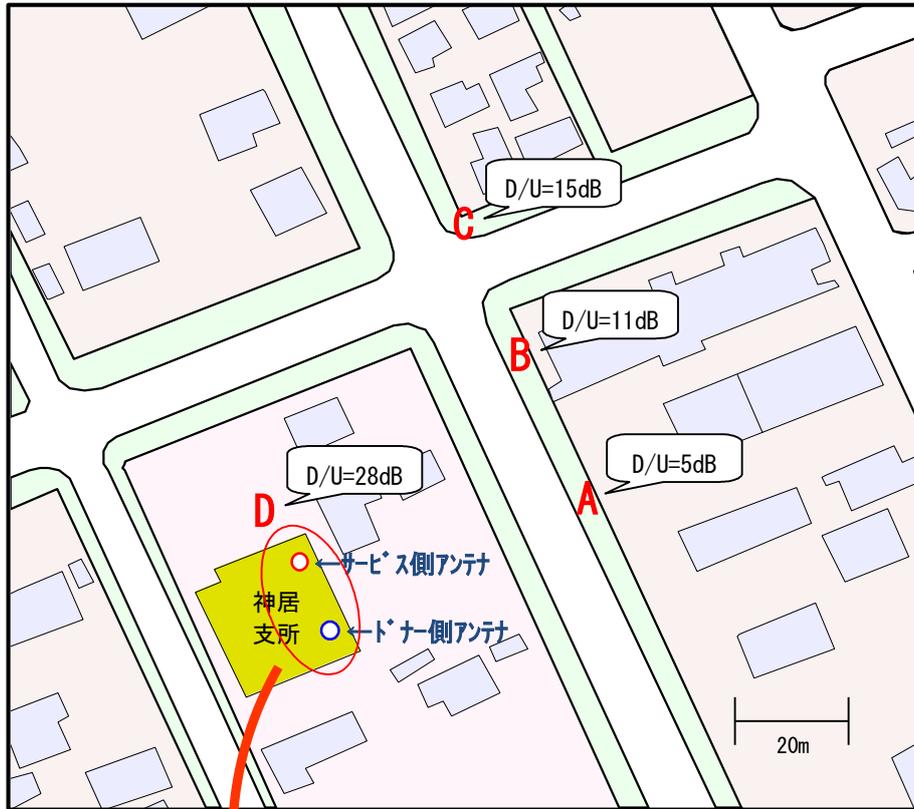
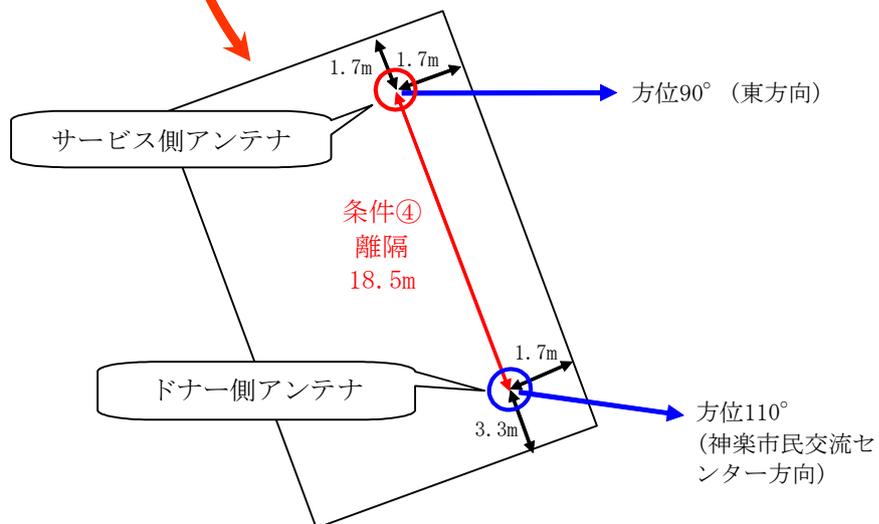


図4-73 測定場所

拡大図



c. D/U と UDP スループットの関係

D/U と UDP スループットの関係は、図4-74及び表4-43のとおりである。

D/U=28dB の測定場所では、最大のスループットが得られている。

また、D/U=15、11、5dB と変化するに従ってD/Uに応じたスループットとなっている。

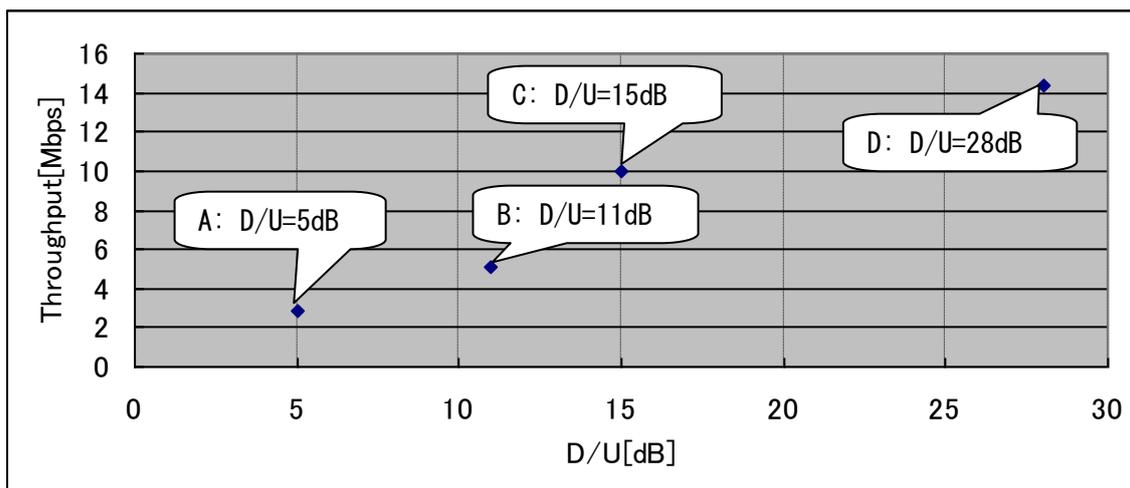


図4-74 D/U と UDP スループットの関係

表4-43 D/U と UDP スループットの関係

D/U [dB]	Throughput [Mbps]
28	14.4
15	10.0
11	5.1
5	2.9

d. D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-7 5 及び表 4-4 4 のとおりである。

UDP と同様に D/U=28dB の測定場所では、最大のスループットが得られている。

また、D/U=15、11、5dB と変化するに従って D/U に応じたスループットとなっている。

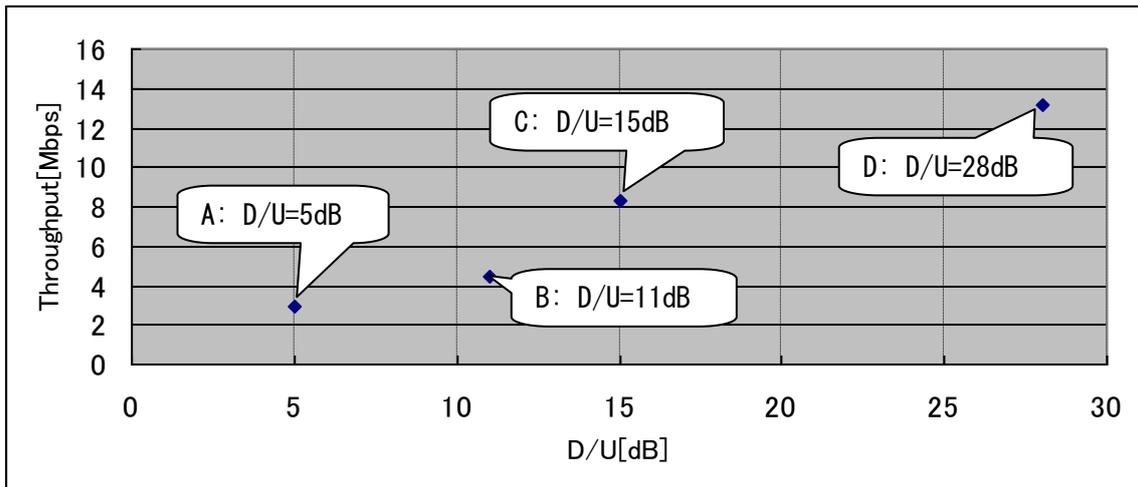


図 4-7 5 D/U と TCP スループットの関係

表 4-4 4 D/U と TCP スループットの関係

D/U [dB]	Throughput [Mbps]
28	13.2
15	8.3
11	4.5
5	2.9

e. D/U と ping RTT の関係

D/U と ping RTT の関係は、図4-76及び表4-45のとおりである。

いずれのD/Uにおいても、遅延時間は200ms程度である。

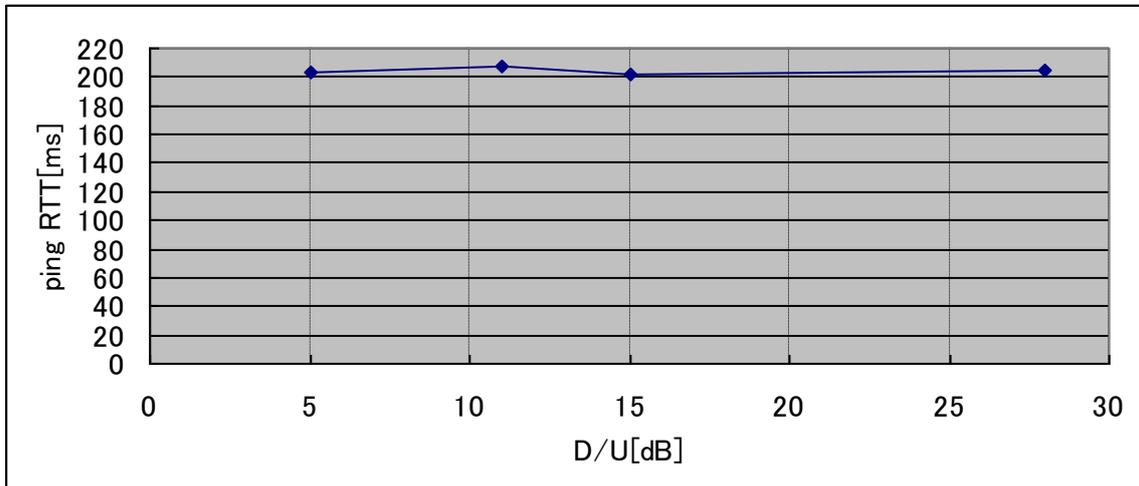


図4-76 D/U と ping RTT の関係

表4-45 D/U と ping RTT の関係

D/U [dB]	ping RTT [ms]
28	204
15	202
11	208
5	203

(イ) 中継局 CPE の上り信号 (UL) が加入者端末の UL に干渉する場合

a. アンテナ間結合量

中継局 BS の送信電力をスペクトラムアナライザで測定した結果は、図 4-77 のとおりである。また、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで測定した回り込み波の受信電力は、図 4-78 のとおりである。

アンテナ間結合量は、中継局 BS の送信電力(10.6dBm)から回り込み波の受信電力(-80.0dBm)を差し引くことにより求められ、90.6dB となる。

Max Hold N/A	Preamble	0	--	--	--	--	Change Save Location
	Power	10.6 dBm	--	--	--	--	
Demod Auto	Cell ID	0	--	--	--	--	Change Type Setup/JPG/...
	Sector ID	0	--	--	--	--	
PCINR 21.6 dB				Base Station ID (Strongest Preamble) 0x---- 00----FF			
Freq	Amplitude	Setup	Measurements	Marker			

図 4-77 中継局 BS の送信電力

Max Hold N/A	Preamble	0	--	--	--	--	Change Save Location
	Power	-80.0 dBm	--	--	--	--	
Demod Auto	Cell ID	0	--	--	--	--	Change Type Setup/JPG/...
	Sector ID	0	--	--	--	--	
PCINR 13.8 dB				Base Station ID (Strongest Preamble) --			
Freq	Amplitude	Setup	Measurements	Marker			

図 4-78 回り込み波の電力

b. D/U と UDP スループットの関係

D/U と UDP スループットの関係は、図 4-7 9 及び表 4-4 6 のとおりである。

D/U の低下に従って、スループットも低下している。

また、D/U が低下すると使用サブチャネル数を減らして1サブチャネル当たりの送信出力を増加させる機能(パワー・コンセントレーション)が働くことから D/U=2dB 程度でも通信できていることが分かる。

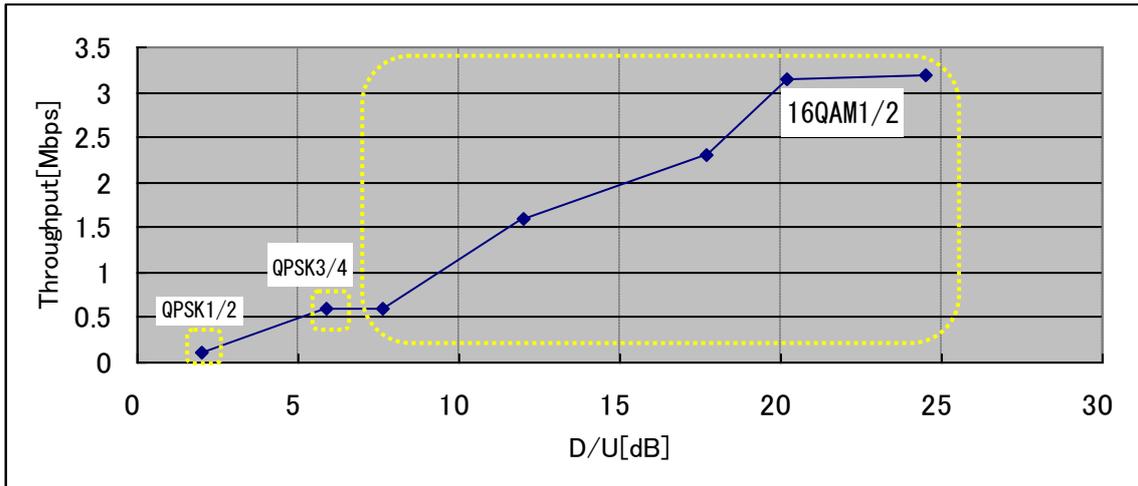


図 4-7 9 D/U と UDP スループットの関係

表 4-4 6 D/U と UDP スループットの関係

16QAM1/2		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]
24.5	3.20	5.9	0.60	2.0	0.1
20.2	3.15				
17.7	2.30				
12.0	1.59				
7.6	0.60				

c. D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-8 0 及び表 4-4 7 のとおりである。

D/U の低下に従って、スループットも低下している。

また、D/U が低下すると、UDP スループット同様に使用サブチャネル数を減らして 1 サブチャネル当たりの送信出力を増加させる機能(パワー・コンセントレーション)が働くことから D/U=2dB 程度でも通信できていることが分かる。

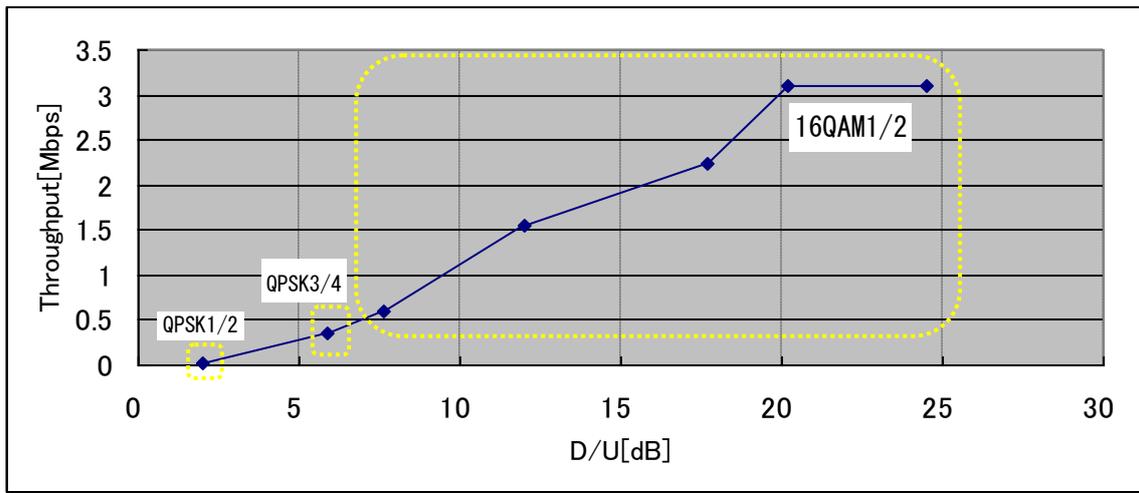


図 4-8 0 D/U と TCP スループットの関係

表 4-4 7 D/U と TCP スループットの関係

16QAM1/2		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]
24.5	3.11	5.9	0.36	2.0	0.03
20.2	3.11				
17.7	2.24				
12.0	1.56				
7.6	0.59				

d. D/U と ping RTT の関係

D/U と ping RTT の関係は、図4-8 1 及び表4-4 8 のとおりである。
遅延時間は、100ms 程度で安定していることが分かる。

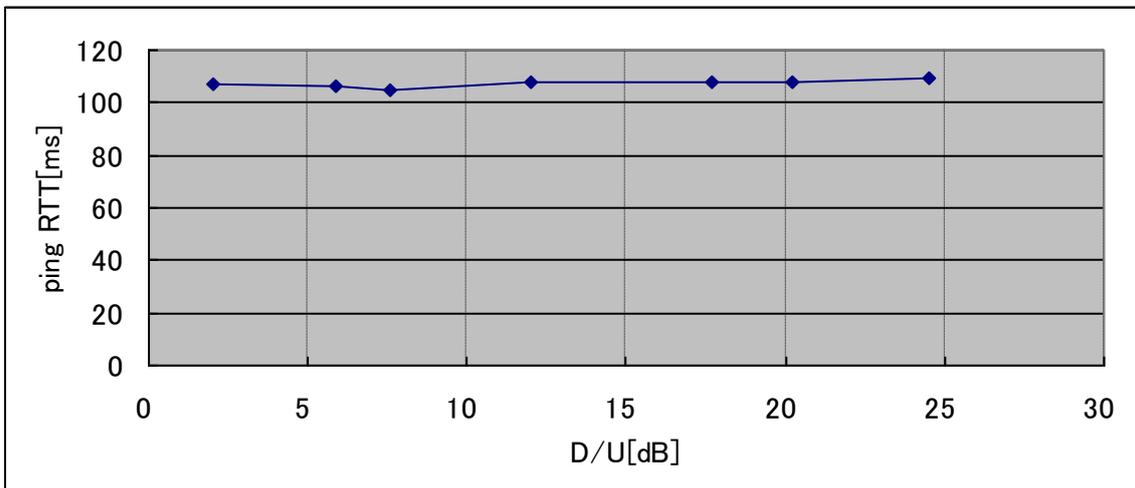


図4-8 1 D/U と ping RTT の関係

表4-4 8 D/U と ping RTT の関係

D/U [dB]	ping RTT [ms]
2.0	107
5.9	106
7.6	105
12.0	108
17.7	108
20.2	108
24.5	109

(4) サブキャリア分割(セグメント化)の有無による干渉回避の検証

①インハウス試験

ア. 試験構成

試験構成概略図は、図4-82のとおりである。

基地局 BS、中継局(CPE 及び BS で構成)、加入者端末及びアッテネータ(ATT1 及び ATT2)で構成している。

基地局 BS、中継局 BS ともにセクタ設定(30sub channel の内、異なる 10 sub channel を使用)とする。

中継局 BS からの DL 信号(干渉波)を CPE 端に回り込ませて ATT1 で干渉波レベルを調節する。

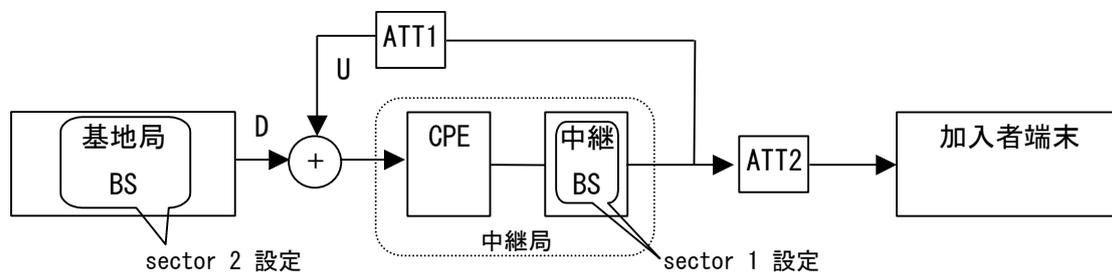


図4-82 試験構成概略図

【参考】セグメント化について

セグメント化の説明図は、図4-83のとおりである。

セグメント化とは、グループ分けされた OFDMA のサブキャリアを使用することで、隣接する基地局同士の干渉を回避する機能をいう。

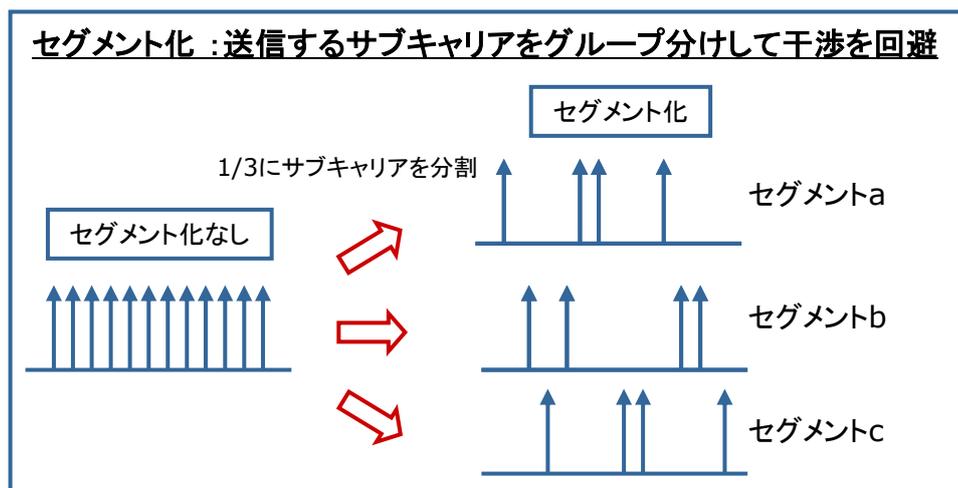


図4-83 セグメント化の説明図

イ. 試験内容

図4-8 2の ATT1 を変化させることにより、中継局の回り込み波(干渉波)の信号レベルを変化させて、UDP スループットと TCP スループットをそれぞれ測定する。

ウ. 試験結果

(ア) D/U と UDP スループットの関係

64QAM2/3 の D/U と UDP スループットの関係は、図4-8 4 及び表4-4 9 のとおりである。

基地局 BS と中継局 BS で異なる sub channel を使用しているため干渉の影響が全くないことが分かる。

しかし、今回はセクタ設定(30sub channel の内、異なる 10sub channel 使用)したことから、オムニ設定(全ての subchannel を使用)した場合と比較してスループットが3分の1となっている。

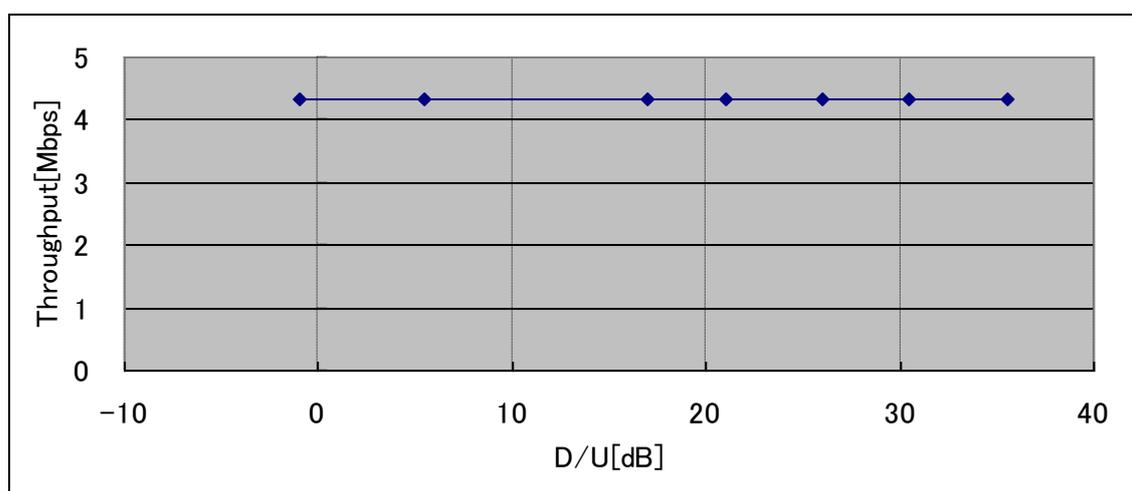


図4-8 4 D/U と UDP スループットの関係

表4-4 9 D/U と UDP スループットの関係

D/U [dB]	Throughput [Mbps]
35.5	4.33
30.5	4.33
26.0	4.33
21.0	4.33
17.0	4.33
5.5	4.33
-1.0	4.33

(イ) D/U と TCP スループットの関係

64QAM2/3 の D/U と TCP スループットの関係は、図 4-8 5 及び表 4-5 0 のとおりである。

UDP スループットと同様に、基地局 BS と中継局 BS で異なる sub channel を使用しているため干渉の影響が全くないことが分かる。

しかし、今回はセクタ設定(30sub channel の内、異なる 10sub channel 使用)したことから、オムニ設定(全ての subchannel を使用)した場合と比較してスループットが 3分の1となっている。

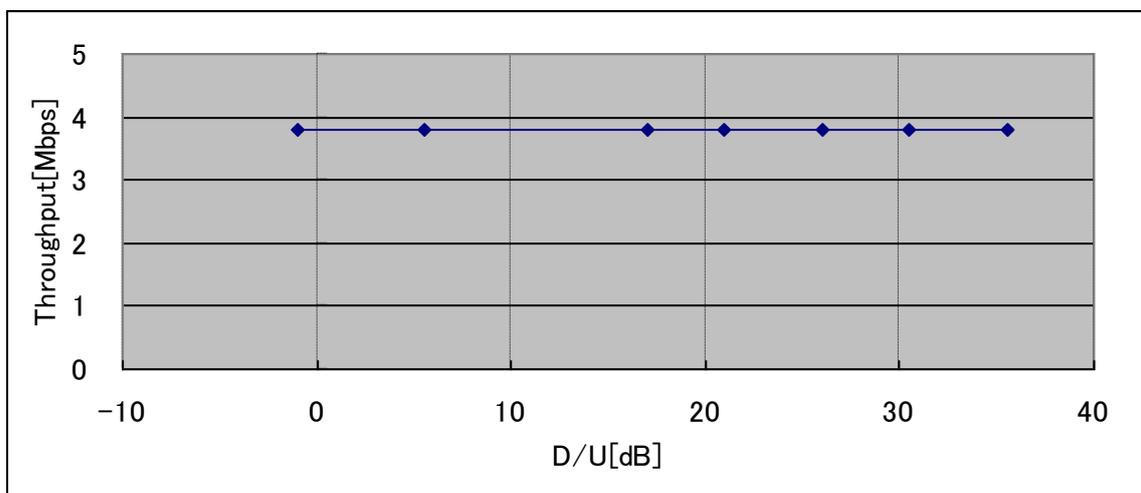


図 4-8 5 D/U と TCP スループットの関係

表 4-5 0 D/U と TCP スループットの関係

D/U [dB]	Throughput [Mbps]
35.5	3.80
30.5	3.80
26.0	3.80
21.0	3.80
17.0	3.80
5.5	3.80
-1.0	3.80

②実環境試験

ア. 試験構成

試験構成概略図は、図 4-8 6 のとおりである。

(1) 節の中継局置局のための所要 D/U (36 ページ) で確認したように、中継局のドナー側アンテナでは、基地局からの希望波と中継局で再送信した信号波(干渉波)を受信することになり、受信品質が劣化する。

本試験では、基地局波と中継局波で異なる OFDMA サブキャリアを使用する。地域 WiMAX には 10MHz の帯域が割り当てられているが、サブキャリア分割することにより、10MHz の帯域を 3 つの帯域に分割することになる。このうち 2 帯域を基地局と中継局で使用するために、干渉が発生しないと考えられる。ただし、帯域を 3 分割するので、最大スループットは 10MHz 帯域を使用時の 3 分の 1 に低下する。

本試験の目的は、基地局波と中継局波で異なる OFDMA サブキャリアを使用した場合の干渉回避について検討する。

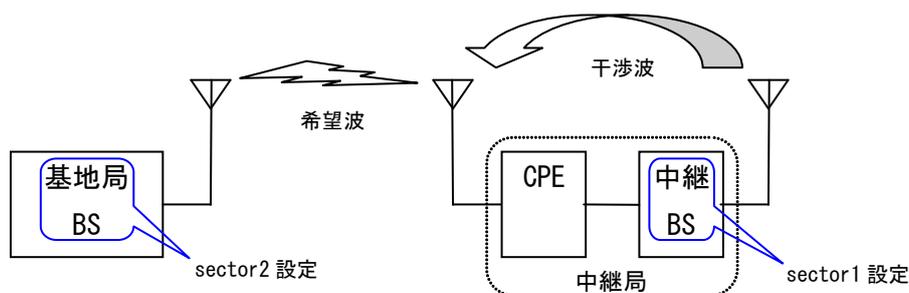


図 4-8 6 試験構成概略図

イ. 試験内容

中継局サービス側アンテナの試験条件は、表 4-5 1 のとおり 1 パターンに固定する。

セグメント化しない場合には、スループットが低下するような D/U を 1 ヶ所決めて測定する。

中継局ドナー側アンテナの試験条件は、表 4-5 2 のとおりである。

また、各試験条件のアンテナ配置は、図 4-8 7 のとおりである。

測定項目は、表 4-5 3 のとおりである。

表 4-5 1 サービス側アンテナの試験条件

条件	離隔[m]	方向・方位角	チルト[°]	偏波
1	18.5	東 90° (基地局 BS と干渉する方向)	0	V

表 4-5 2 ドナー側アンテナの試験条件

方向(方位角)	チルト[°]	偏波
東(110°)	0	V

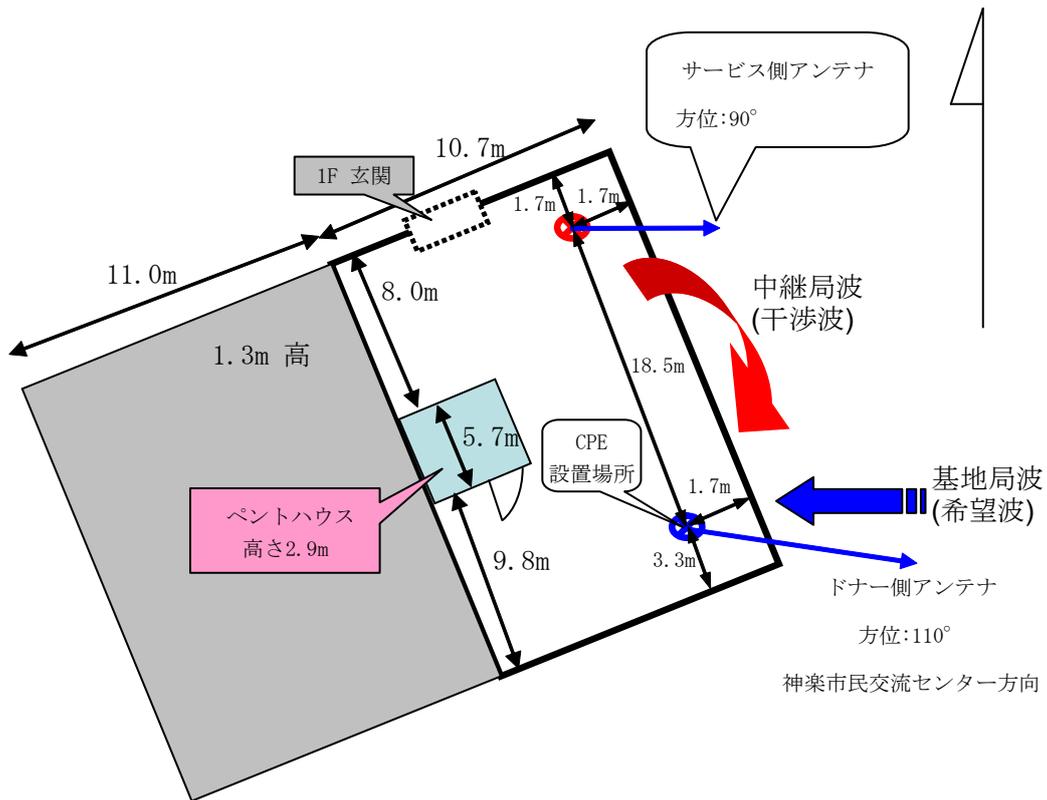


図 4-8 7 神居支所屋上配置図

表 4-5 3 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

(ア) アンテナ間結合量の測定方法

アンテナ間結合量の測定方法は、図4-88及び図4-89のとおりである。

- ① アッテネータ(ATT)を介して中継局BSとスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザで送信電力を測定する。
- ② 測定した値からATTの値を差し引いて、中継局BSのアンテナ端子での送信電力を求める。
- ③ 実環境にて中継局BSからの回り込み波の受信電力をCPEと同じ場所においてスペクトラムアナライザで測定する。スペクトラムアナライザには、CPEで使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ④ ③で測定した受信電力から②で測定した送信電力を差し引いた値が、アンテナ間結合量となる。

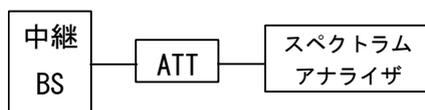


図4-88 送信電力の測定

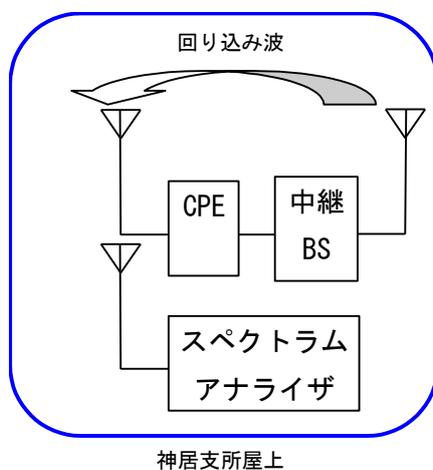


図4-89 回り込み波の測定

(イ) D/U の測定方法

D/U の測定方法は、図 4-90 のとおりである。

- ① 基地局波(希望波)のみを送信して、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ② 中継局波(干渉波)のみを送信して、CPE と同じ場所においてスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。スペクトラムアナライザには、CPE で使用しているアンテナと同一のものを接続する。
- ③ 希望波の受信電力と干渉波の受信電力の差分が D/U となる。

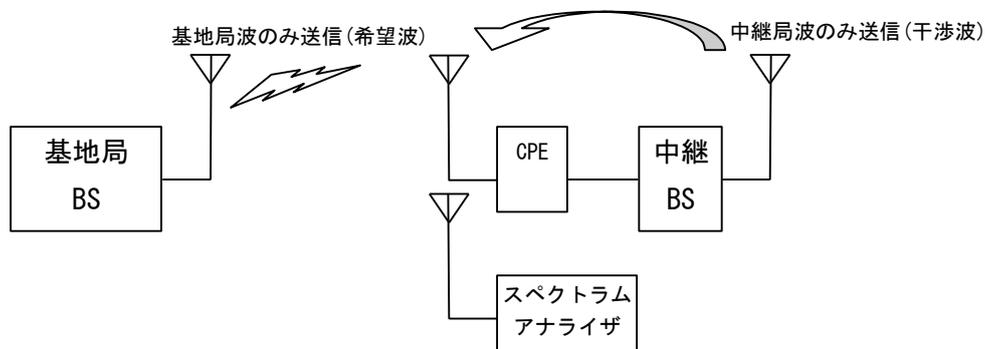


図 4-90 D/U の測定方法

(ウ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から加入者端末へパケットを送信して DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

(エ) ping RTT の測定方法

加入者端末から基地局へ ping を打って、50 回の平均時間を記録する。

ウ. 試験結果

(ア) アンテナ間結合量

サービス側アンテナの試験条件は、表4-54のとおりである。

(2) アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響(52ページ)の条件

④(東90°)の状態での試験した結果、アンテナ間結合量は、91.9dBである。

表4-54 サービス側アンテナの試験条件

条件 番号	離隔[m]	方向 (方位角)	チルト[°]	偏波	中継局BS 送信電力[dBm]	変化パラメータ
④	18.5	東(90°)	0	V	14	方向

(イ) D/U、スループット、ping RTT

D/U、スループット、ping RTTの関係は、表4-55のとおりである。

サブキャリア分割の効果を確認するために、中継局BSの送信電力を大きくしてD/Uを劣化させた状態でスループット等を測定した。

表4-55 D/U、スループット、ping RTT

D/U [dB]	TCP Throughput [Mbps]	UDP Throughput [Mbps]	ping RTT [ms]
5.1	3.82	4.33	104

4-4 実証試験結果(非再生中継方式)

(1) 中継局置局のための所要 D/U

①インハウス試験

ア. 試験構成

(ア) ICS 機能を搭載している中継装置 (ICS あり)

試験構成概略図は、図 4-9 1 のとおりである。

レピータの送信波が受信端に回り込む場合を想定しており、基地局、WiMAX レピータ、加入者端末及びアッテネータ(ATT)で構成している。

今回の試験で使用するレピータの遅延時間は、 $4\mu\text{s}$ 以下である。

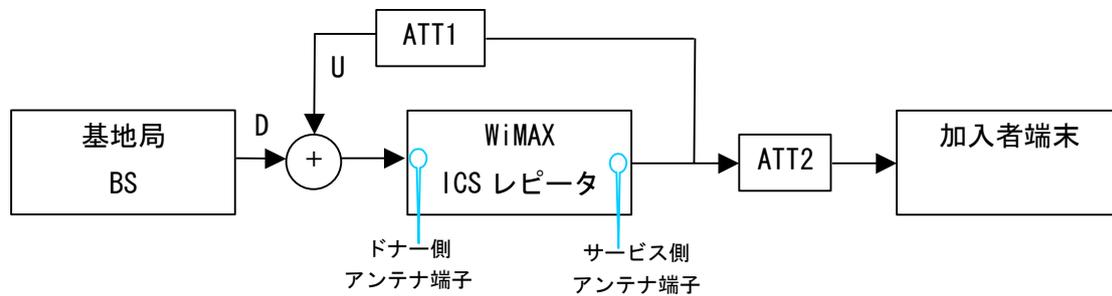


図 4-9 1 試験構成概略図(ICS あり)

(イ) ICS 機能を搭載していない中継装置 (ICS なし)

今回の試験では、ICS 機能を搭載していない機器を使用してのデータ取得ができないため、図 4-9 2 のとおり、ICS 機能を搭載していない機器を模擬したシステム(以下「ICS なし」という。)を構築して特性を取得する。

レピータ内での遅延時間は、韓国 Wibro レピータの値を参考に $2\mu\text{s}$ とした。

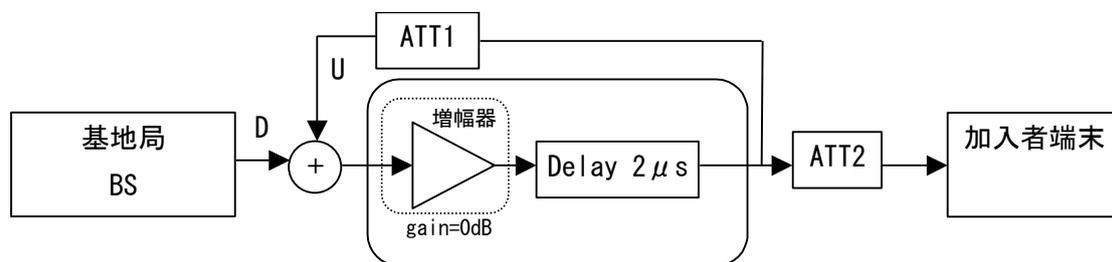


図 4-9 2 試験構成概略図(ICS なし)

イ. 試験内容

(ア) ICS あり

ドナー側アンテナが D/U の規定点であり、サービス側アンテナから送信される信号のレベルをアッテネータで調節することにより、D/U を変化させてスループットを測定する。

(イ) ICS なし

ICS なし模擬装置の入力端が D/U の規定点であり、出力端から送信される 2μ 秒の遅延を持って出力される信号のレベルをアッテネータで調節することにより、D/U を変化させてスループットを測定する。

ウ. 試験結果

(ア) ICS あり

a. D/U と UDP スループットの関係

ICS ありの場合の D/U と UDP スループットの関係は、図 4-9 3 及び表 4-5 6 のとおりである。

ICS ありの場合には、D/U がマイナスの領域でも回り込み波を除去するために安定に動作し続けている。今回の試験では、 -17.6dB が動作限界であること確認した(*)。

この限界点は、変調方式には依存せずに、D/U 値に依存している。限界点を超えるとレピータは発振防止のために保護動作状態となり、無線リンクが切断される。

無線リンクが切断されるとスループットが測定できないが、図 4-9 3 のグラフでは動作の説明上、スループットが 0 になる点を表示している。

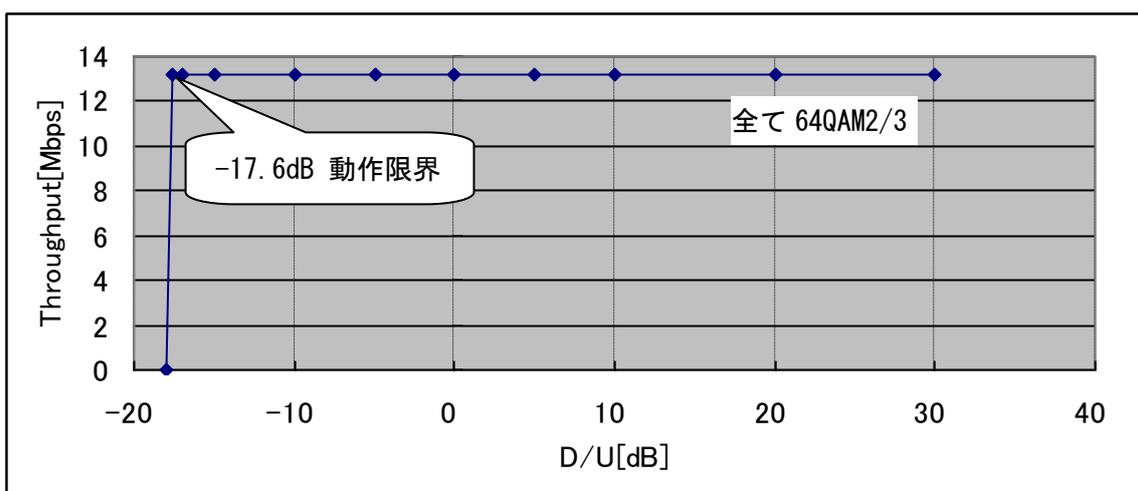


図 4-9 3 D/U と UDP スループットの関係(ICS あり)

表 4-5 6 D/U と UDP スループットの関係(ICS あり)

64QAM2/3	
D/U[dB]	Throughput [Mbps]
30.0	13.2
20.0	13.2
10.0	13.2
5.0	13.2
0	13.2
-5.0	13.2
-10.0	13.2
-15.0	13.2
-17.6	13.2
-18.0	0

b. D/U と TCP スループットの関係

ICS ありの場合の D/U と TCP スループットの関係は、図 4-9 4 及び表 4-5 7 のとおりである。

TCP スループットも UDP スループットと同様の特性を示すことが確認できた。無線リンクが切断されるとスループットが測定できないが、図 4-9 4 のグラフでは動作の説明上、スループットが 0 になる点を表示している。

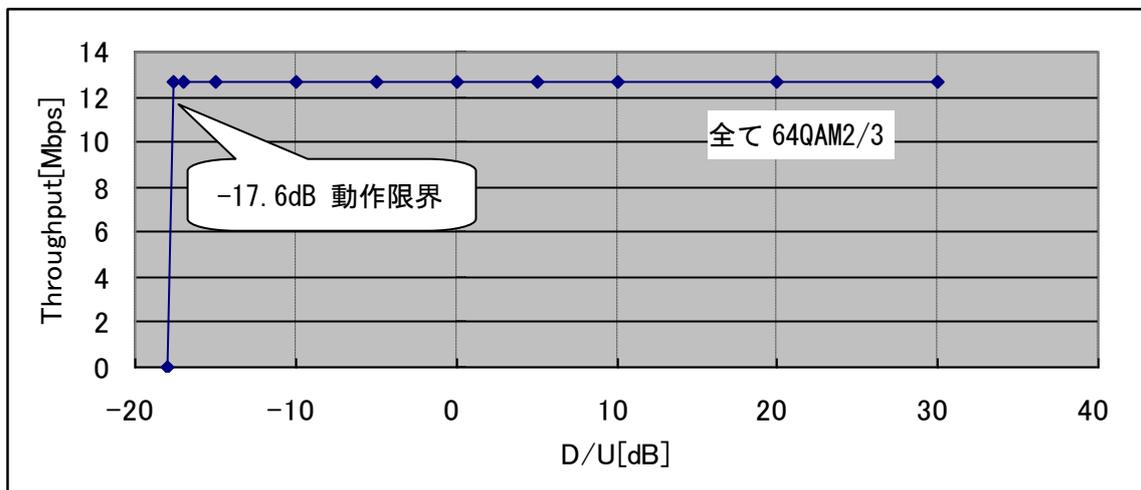


図 4-9 4 D/U と TCP スループットの関係(ICS あり)

表 4-5 7 D/U と TCP スループットの関係(ICS あり)

64QAM2/3	
D/U[dB]	Throughput [Mbps]
30.0	12.7
20.0	12.7
10.0	12.7
5.0	12.7
0	12.7
-5.0	12.7
-10.0	12.7
-15.0	12.7
-17.6	12.7
-18.0	0

(*)ラボ環境下(Direct Feedback のみのケース)でのメーカー動作保証値(許容 D/U)は -10dB であるが、今回は実証試験という位置づけのため、D/U を更に劣化させて動作限界を確認した。

評価に使用した詳細な構成図は、図 4-9 5 のとおりである。これは図 4-9 1 を詳細に示した図である。

また、実運用時(Field における Multi-Path Feedback ケース)におけるメーカー推奨 D/U 値は、0dB である。

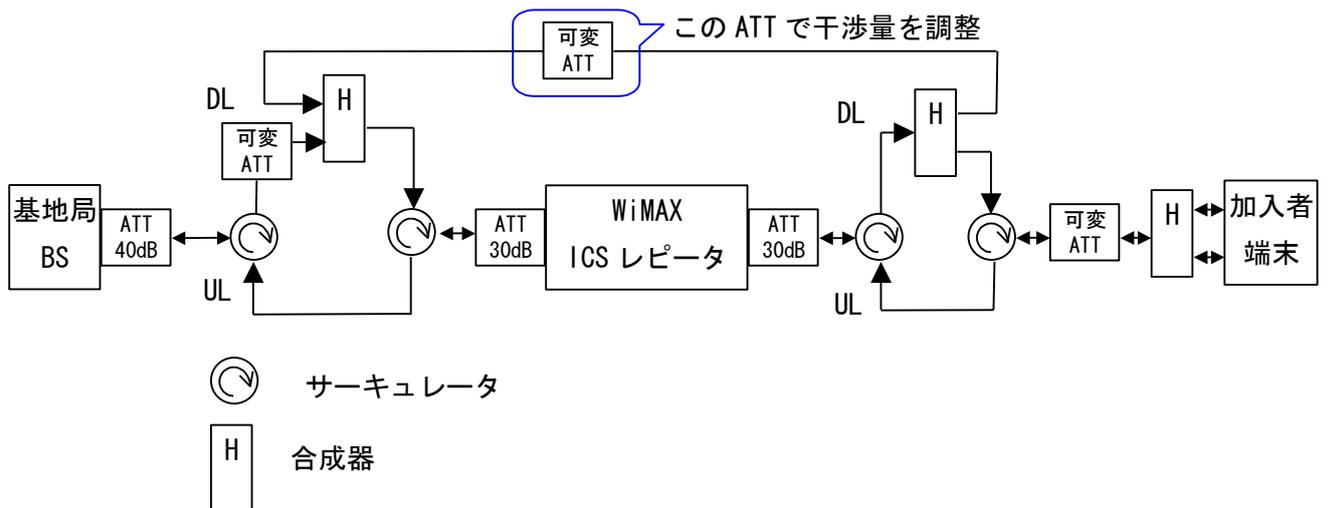


図 4-9 5 ICS レピータ 動作確認系構成図

c. D/U と ping RTT の関係

図4-96により加入者端末から基地局へ ping を打った際の4回平均のRTTは、図4-97及び表4-58のとおりである。

非再生レピータは、RF信号を増幅して再送信する装置であるために、IPパケットである ping に応答する機能はない。

そのため、加入者端末と基地局間の ping を確認すると、通常の基地局と加入者端末間で観測される RTT と同程度であることが確認できた。

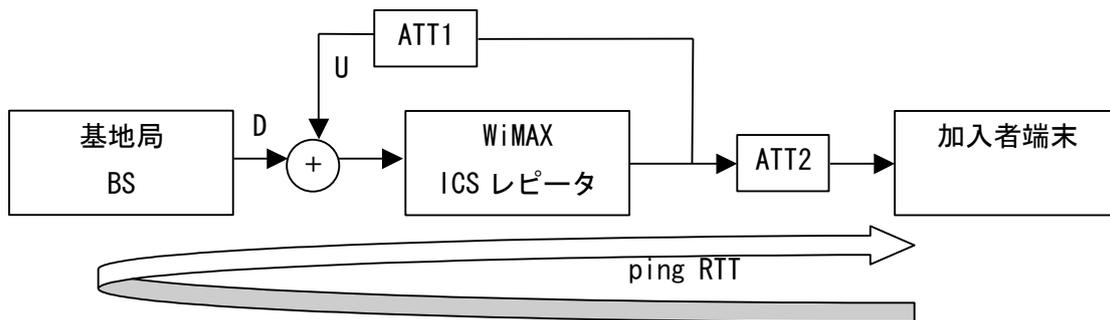


図4-96 ping RTT 試験構成概略図

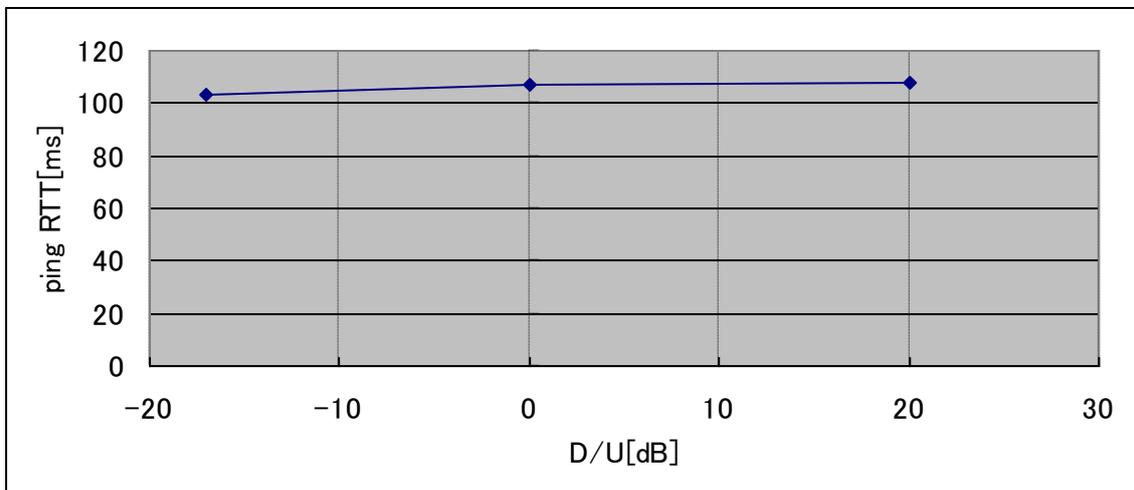


図4-97 D/U と ping RTT の関係

表4-58 ping RTT

D/U [dB]	ping RTT [ms]
20	108
0	107
-17	103

(イ) ICS なし

a. D/U と UDP スループットの関係

ICS なしの場合の D/U と UDP スループットの関係は、図 4-9 8 及び表 4-5 9 のとおりである。

今回の試験で使用した基地局は、伝送路の状態に応じて適応的に変調方式が切り替わるために、D/U が低下するに従って、スループットも低下している。

D/U=5dB でパケットが流れないことを確認した。

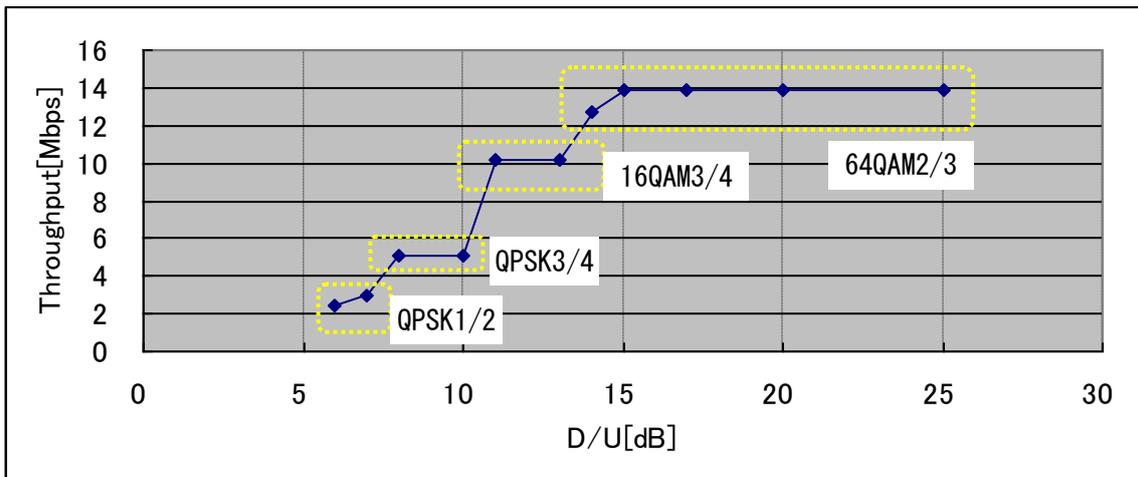


図 4-9 8 D/U と UDP スループットの関係(ICS なし)

表 4-5 9 D/U と UDP スループットの関係(ICS なし)

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]						
25.0	13.90	13.0	10.20	10.0	5.09	7.0	2.93
20.0	13.90	11.0	10.20	8.0	5.09	6.0	2.42
17.0	13.90						
15.0	13.90						
14.0	12.70						

b. D/U と TCP スループットの関係

ICS なしの場合の D/U と TCP スループットの関係は、図 4-9 9 及び表 4-6 0 のとおりである。

今回の試験で使用した基地局は、伝送路の状態に応じて適応的に変調方式が切り替わるために、D/U が低下するに従って、スループットも低下している。

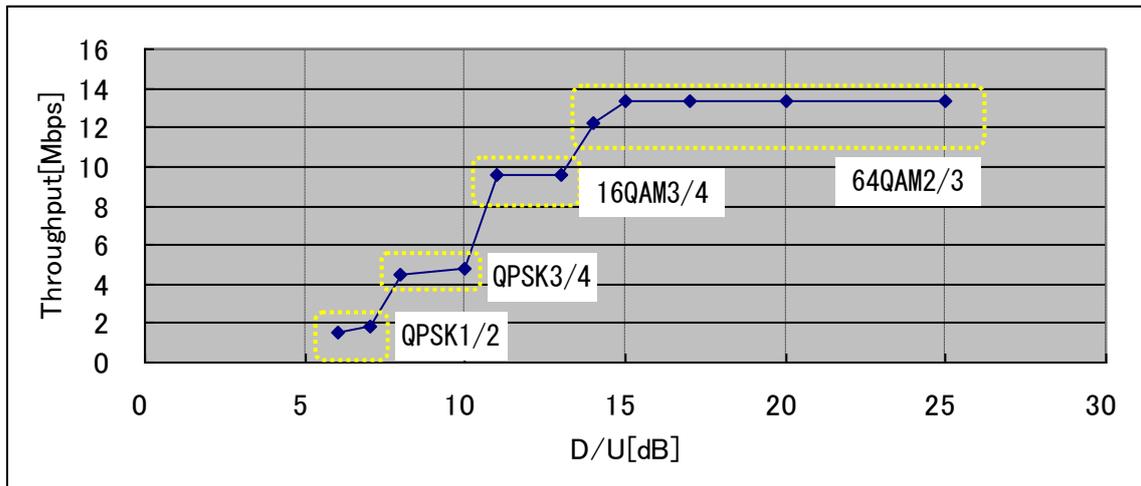


図 4-9 9 D/U と TCP スループットの関係 (ICS なし)

表 4-6 0 D/U と TCP スループットの関係 (ICS なし)

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]						
25.0	13.30	13.0	9.80	10.0	4.90	7.0	1.80
20.0	13.30	11.0	9.80	8.0	4.50	6.0	1.50
17.0	13.30						
15.0	13.30						
14.0	12.20						

c. D/U と ping RTT の関係

加入者端末から基地局へ ping を打った際の試験構成図は、図 4-100 のとおりである。

4 回平均の RTT は、図 4-101 及び表 4-61 のとおりである。

今回の試験では、ICS なしレピータを模擬する測定系を構築したが、非再生レピータは RF 信号を増幅して再送信する装置であるために、IP パケットである ping に応答する機能はない。そのため、加入者端末と基地局間の ping を確認した。

D/U=10、20dB では、通常の基地局と加入者端末間で観測される RTT と同程度であることが確認できた。

しかし、D/U=6dB では、約 2 倍の時間を要している。これは、伝送路の状態が悪くなり ping パケットが疎通する場合としない場合が発生するためと考えられる。

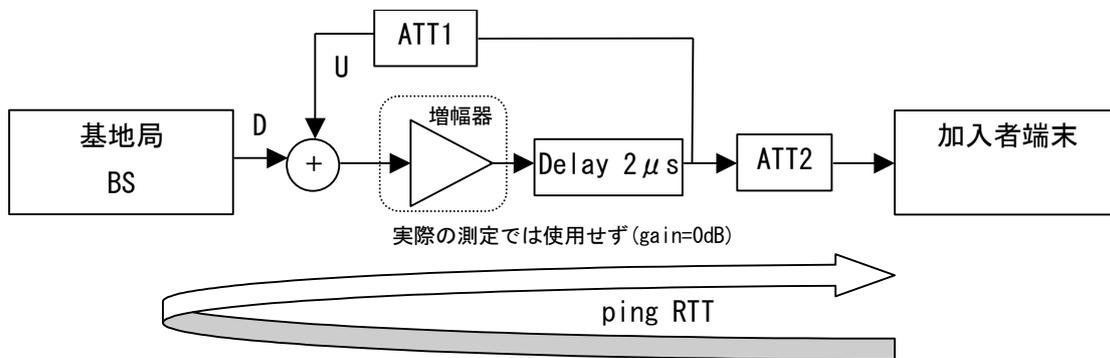


図 4-100 ping RTT 試験構成概略図

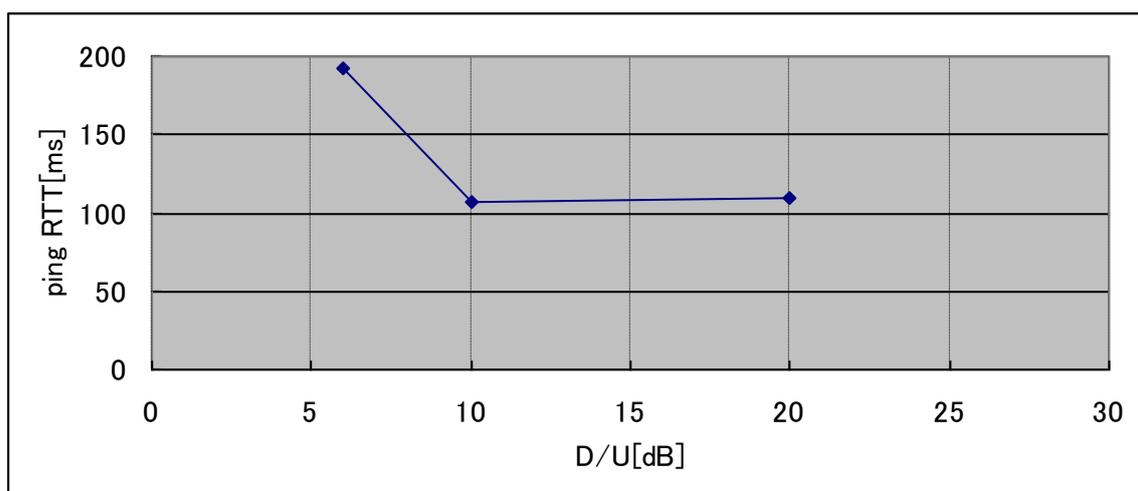


図 4-101 D/U と ping RTT の関係

表 4-6 1 ping RTT

D/U[dB]	ping RTT [ms]
20	109
10	107
6	192

エ. ICS ありと ICS なしの関係

ICS ありと ICS なしの D/U とスループットの関係は、図 4-1 0 2 のとおりである。

グラフより 64QAM2/3 の D/U 差は最大 32dB (-17-15) である。

D/U=-17dB は今回の試験で得られた値であり、ラボ環境下でのメーカー動作保証値は -10dB までである。

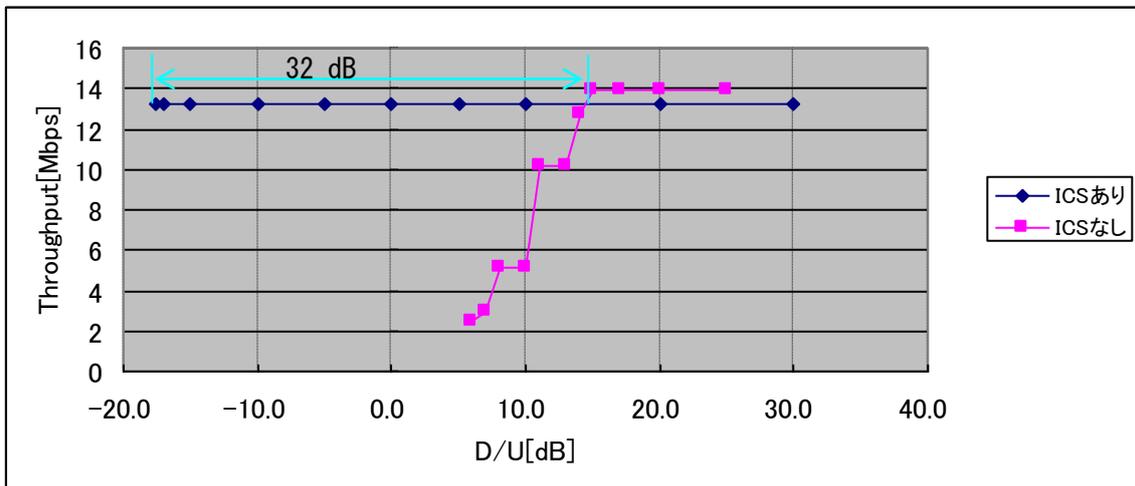


図 4-1 0 2 D/U とスループットの関係(ICS あり&なし)

②実環境試験

ア. 試験構成

今回の非再生中継方式の実環境試験においては、ICS 機能を搭載している中継装置を使用して測定する。

試験構成概略図は、図 4-103 のとおりである。

中継局ではサービス側アンテナからの送信波がドナー側アンテナに回り込むことが考えられる。この回り込み波が基地局 BS から中継局への通信に干渉波として影響を与えることになる。

本試験の目的は、レピータゲインを変化させて、ドナー側アンテナへの回り込み波の干渉によるスループット等の影響について検討する。

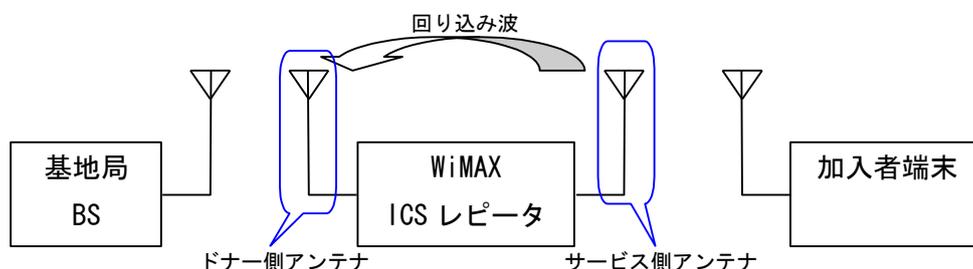


図 4-103 試験構成概略図

イ. 試験内容

中継局サービス側アンテナの条件は、表 4-6 2 のとおりである。

また、ドナー側アンテナの条件は、表 4-6 3 のとおりである。

サービス側及びドナー側ともにアンテナの試験条件は一定として、レピータのゲインのみを変化させることにより、回り込み波の干渉量を変化させる。アンテナ配置は、図 4-104 のとおりである。

各条件において、1ヶ所場所を決めて、表 4-6 4 の項目を測定する。この場所は基地局からの干渉の影響を受けず、中継局の信号のみ受信できる神居支所入り口付近とする。

表 4-6 2 サービス側アンテナの試験条件

条件	離隔[m]	方向(方位角)	チルト[°]	偏波	レピータゲイン[dB]
1	10	北(350°)	0	V	72
2	10	北(350°)	0	V	75
3	10	北(350°)	0	V	80
4	10	北(350°)	0	V	85
5	10	北(350°)	0	V	90

表 4-6 3 ドナー側アンテナの試験条件

方向(方位角)	チルト[°]	偏波
東(110°)	0	V

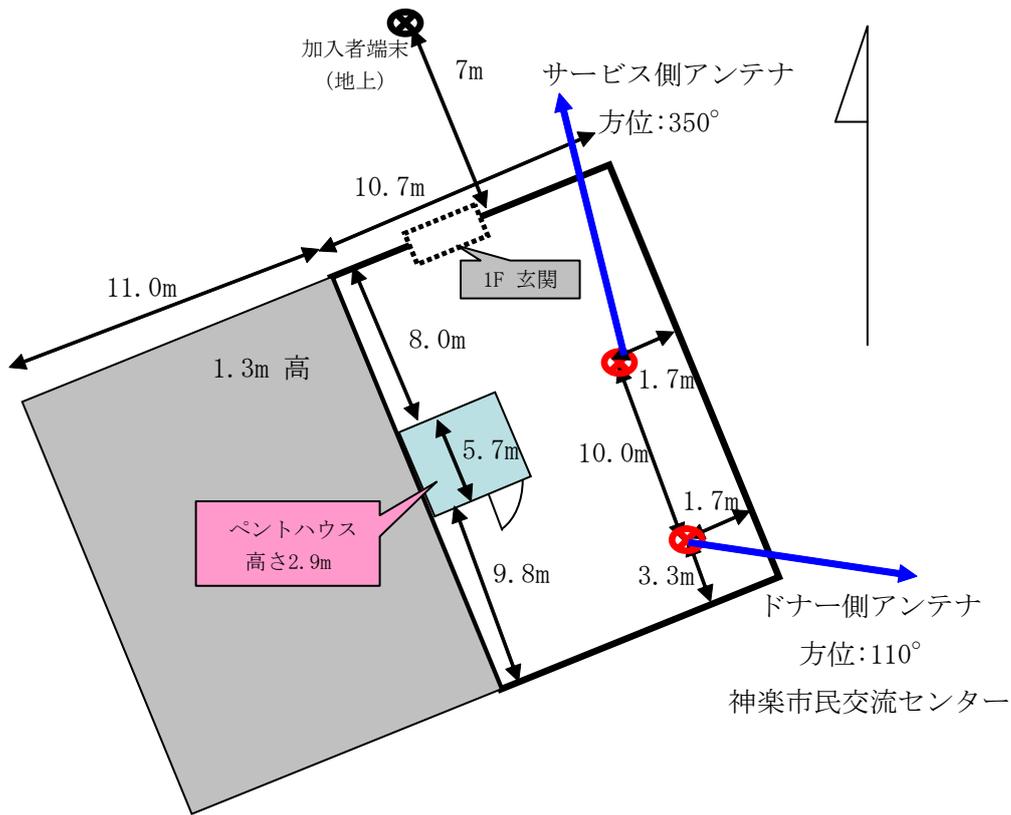


図 4-1 0 4 神居支所屋上アンテナ配置図

表 4-6 4 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

(ア) アンテナ間結合量の測定方法

アンテナ間結合量の測定方法は、図4-105及び図4-106のとおりである。

- ① アッテネータ(ATT1,ATT2)を介して信号源と ICS レピータとスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザで送信電力を測定する。
- ② 測定した値から ATT2 の値を差し引いて、ICS レピータのアンテナ端子での送信電力を求める。
- ③ 実環境にて、ICS レピータからの回り込み波の受信電力をドナー側アンテナ(実際に使用するアンテナ)に接続したスペクトラムアナライザで測定する。
- ④ ②で求めた送信電力から③で求めた受信電力を差し引いた値が、アンテナ間結合量となる。

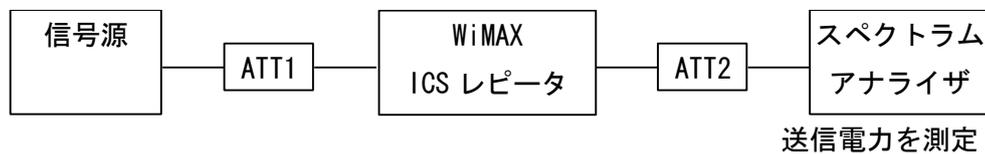


図4-105 ICS レピータの送信電力の測定

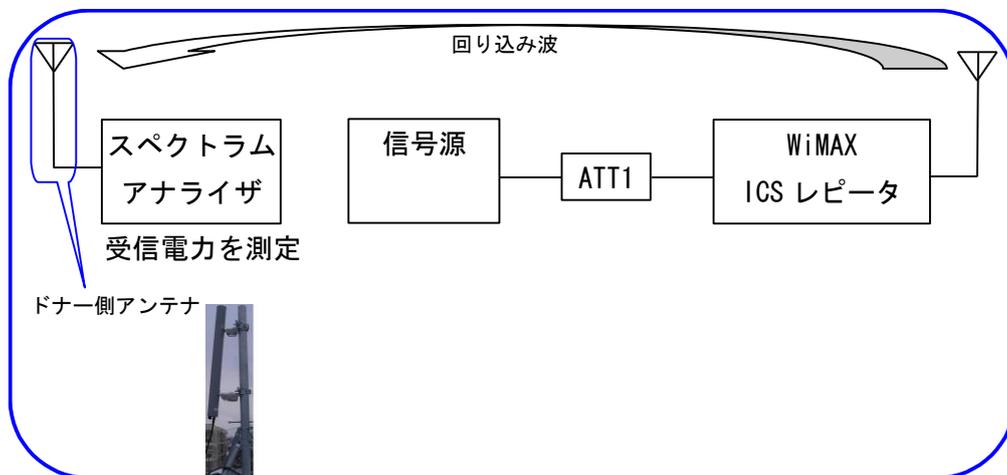


図4-106 ドナー側アンテナでの受信電力の測定

(イ) D/U の測定方法

D/U の測定方法は、図 4-107 及び図 4-108 のとおりである。

- ① 基地局波(希望波)のみを送信して、ドナー側アンテナに接続したスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。
- ② 信号源と ICS レピータとを ATT1 を介して接続し、ICS レピータへの入力信号が①で測定したレベルとなるように ATT1 を調整する。
- ③ 中継局波(干渉波)のみを送信して、スペクトラムアナライザで受信電力を測定する。
- ④ 希望波の受信電力と干渉波の受信電力の差分が D/U となる。

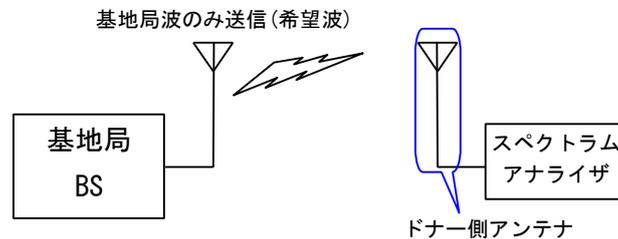


図 4-107 希望波の測定

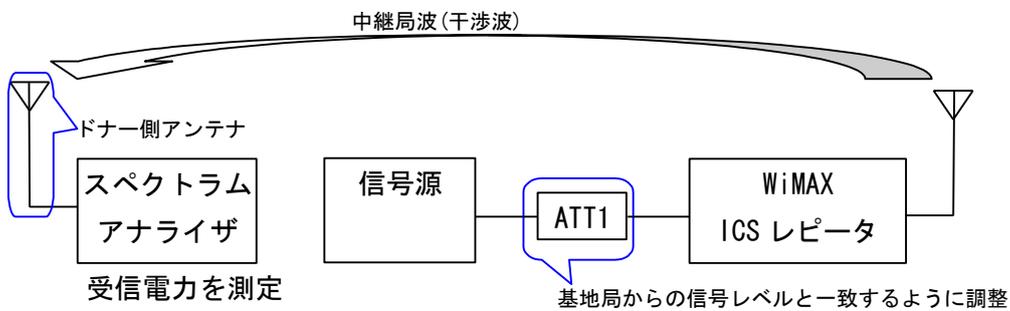


図 4-108 干渉波の測定

(ウ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から非再生中継局経由で加入者端末へパケットを送信して、DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

(エ) ping RTT の測定方法

加入者端末から基地局へ ping を打って、50 回の平均時間を記録する。

ウ. 試験結果

(ア) レピータゲインとアンテナ間結合量の関係

レピータゲインとアンテナ間結合量の関係は、図4-109及び表4-65のとおりである。

アンテナ条件を変化させていないので、アンテナ間結合量は、空間での損失のみとなる。このため、レピータゲインを変化させてもアンテナ間結合量は変化しないことが分かる。

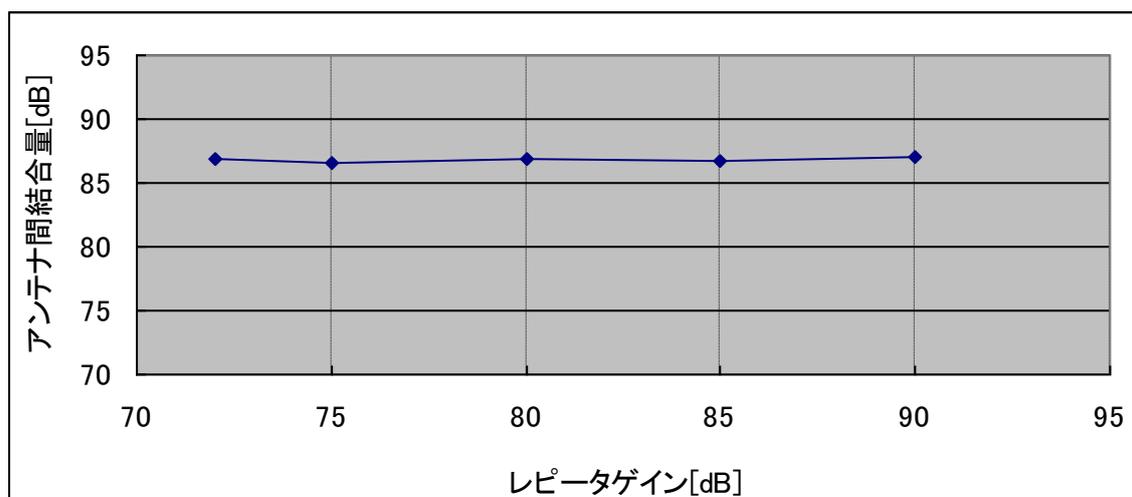


図4-109 レピータゲインとアンテナ間結合量の関係

表4-65 レピータゲインとアンテナ間結合量の関係

レピータゲイン [dB]	アンテナ間結合量 [dB]
72	86.9
75	86.5
80	86.8
85	86.7
90	87.0

(イ) レピータゲインと D/U の関係

レピータゲインと D/U の関係は、図 4-1 1 0 及び表 4-6 6 のとおりである。

レピータゲインが大きくなるにつれて D/U が低下していることが分かる。

これは、レピータゲインを大きくすることにより、回り込み波の信号レベルが大きくなるためである。

なお、レピータゲインとレピータ送信電力の関係は、表 4-6 7 のとおりである。

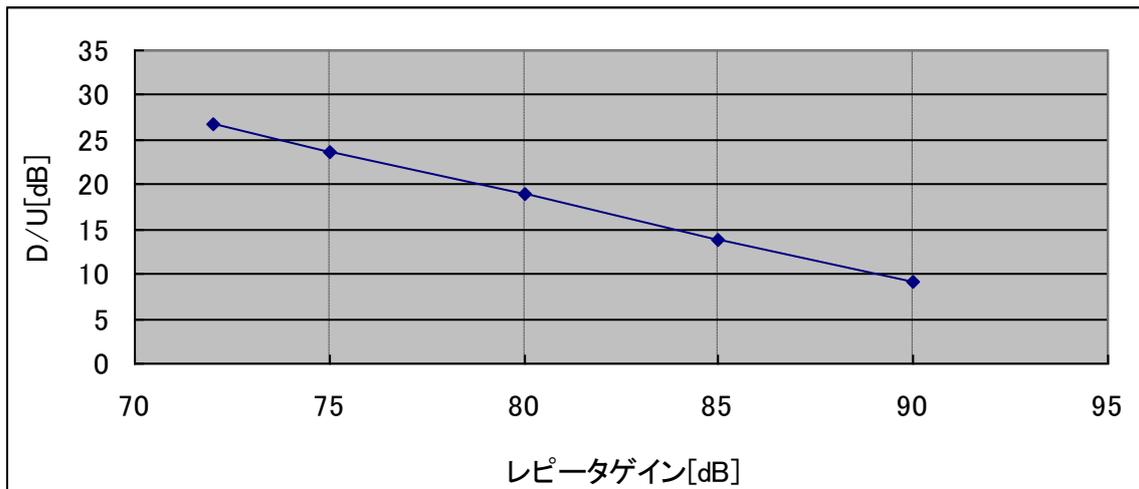


図 4-1 1 0 レピータゲインと D/U の関係

表 4-6 6 レピータゲインと D/U の関係

レピータゲイン [dB]	希望波 D [dBm]	干渉波 U [dBm]	D/U [dB]
72	-44.1	-70.9	26.8
75	-44.1	-67.8	23.7
80	-44.1	-63.1	19.0
85	-44.1	-58.0	13.9
90	-44.1	-53.2	9.1

表 4-6 7 レピータゲインとレピータ送信電力の関係

レピータゲイン [dB]	レピータ送信電力
72	15.8dBm (0.040W)
75	18.8dBm (0.074W)
80	23.8dBm (0.23W)
85	28.8dBm (0.74W)
90	33.8dBm (2.4W)

(ウ) D/U と UDP スループットの関係

D/U と UDP スループットの関係は、図 4-1 1 1 及び表 4-6 8 のとおりである。

ICS 機能を搭載したレピータを使用しているために、D/U が低下してもスループットは低下しないことが分かる。

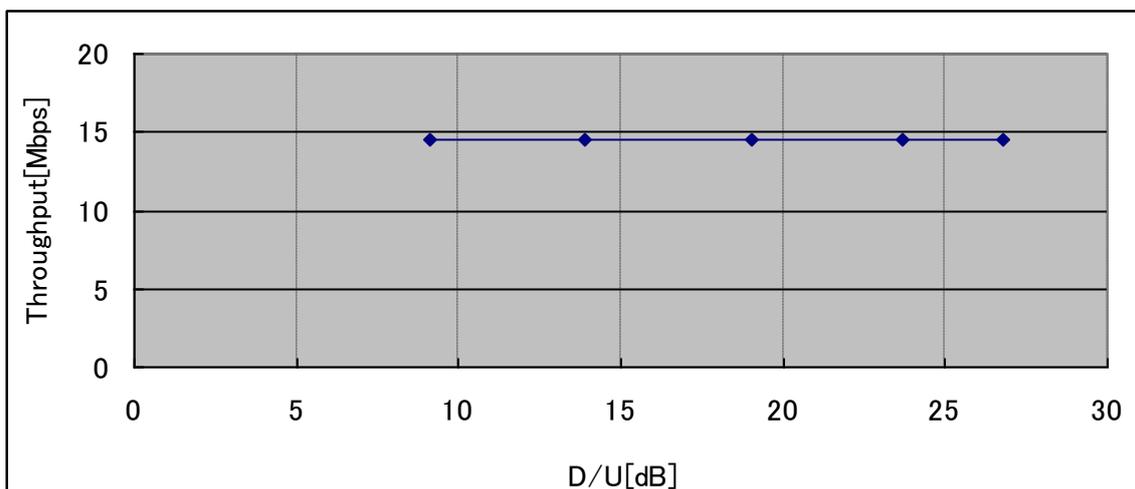


図 4-1 1 1 D/U と UDP スループットの関係

表 4-6 8 D/U と UDP スループットの関係

レピータゲイン[dB]	D/U[dB]	Throughput [Mbps]
72	26.8	14.5
75	23.7	14.5
80	19.0	14.5
85	13.9	14.5
90	9.1	14.5

(エ) D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-1 1 2 及び表 4-6 9 のとおりである。

ICS 機能を搭載したレピータを使用しているために、D/U が低下してもスループットは低下しないことが分かる。

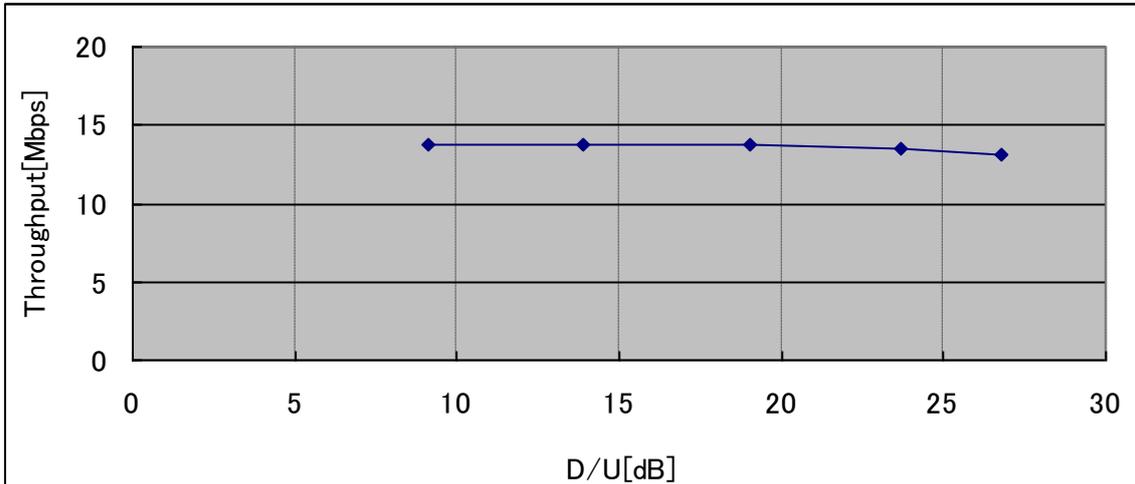


図 4-1 1 2 D/U と TCP スループットの関係

表 4-6 9 D/U と TCP スループットの関係

レピータゲイン [dB]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]
72	26.8	13.1
75	23.7	13.5
80	19.0	13.7
85	13.9	13.8
90	9.1	13.8

(オ) D/U と ping RTT の関係

D/U と ping RTT の関係は、図 4-1 1 3 及び表 4-7 0 のとおりである。

非再生中継方式のため、装置内部での遅延時間が小さく、通常の基地局との通信時の RTT と同等である。

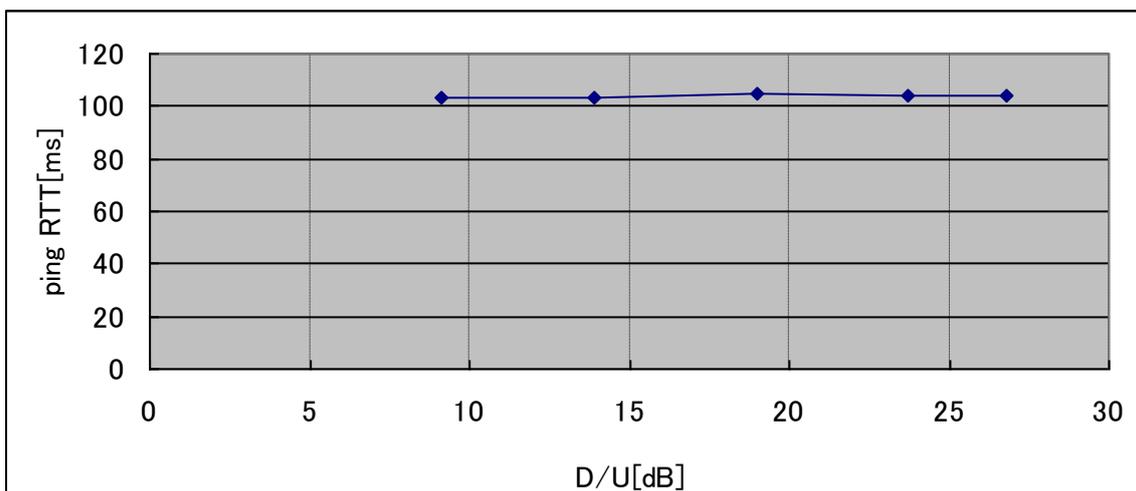


図 4-1 1 3 D/U と ping RTT の関係

表 4-7 0 D/U と ping RTT の関係

レピータゲイン[dB]	D/U[dB]	ping RTT[ms]
72	26.8	104
75	23.7	104
80	19.0	105
85	13.9	103
90	9.1	103

(2) アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響

① インハウス試験

本試験では、アンテナの離隔、方向等を変化させて干渉の影響を測定するための試験であることから、実環境においてのみ測定を実施し、インハウス試験については測定を省略した。

② 実環境試験

ア. 試験構成

試験構成概略図は、図4-114のとおりである。

中継局では、サービス側アンテナからの送信波がドナー側アンテナに回り込むことが考えられる。この回り込み波が基地局 BS から中継局への通信に干渉波として影響を与えることになる。

本試験の目的は、中継局サービス側アンテナの離隔・方向等を変化させて、ドナー側アンテナへの回り込み波の干渉によるスループット等の影響について検討する。

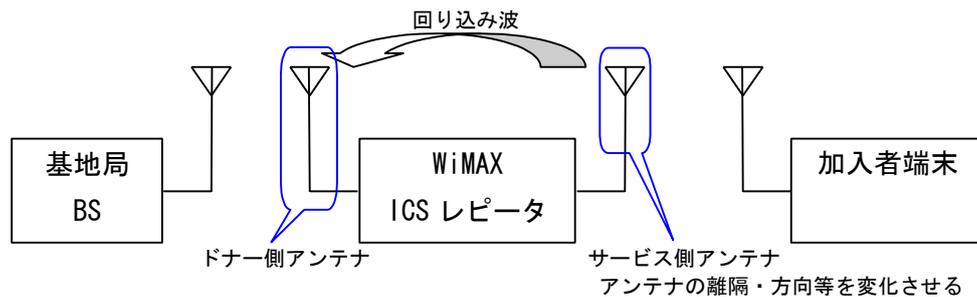


図4-114 試験構成概略図

イ. 試験内容

中継局サービス側アンテナの条件は表4-71のとおりであり、ドナー側アンテナの条件は、表4-72のとおりである。

また、各試験条件のアンテナ配置は、図4-115のとおりである。

レピータゲインは、72dB とする。

各条件において、1ヶ所場所を決めて、表4-73の項目を測定する。この場所は基地局からの干渉を排除するため、中継局の信号のみ受信できる場所（神居支所入り口付近）とする。

表 4-7 1 サービス側アンテナの試験条件

条件番号	変化パラメータ	離隔[m]	方向	チルト[°]	偏波
①	基準	10	北(350°)	0	V
②	偏波	10	北(350°)	0	H
③	方向	10	東(90°)	0	V
④	チルト	10	北(350°)	10(下向き)	V
⑤	離隔 ANT 間隔-遠	18.5	北(350°)	0	V
⑥	離隔 ANT 間隔-近	0	北(350°)	0	V
⑦	ドナーANT 狭ビーム	0	北(350°)	0	V

条件番号⑥及び⑦は1つのポールに背中合わせで設置

表 4-7 2 ドナー側アンテナの試験条件

条件番号	方向(方位角)	チルト[°]	偏波	アンテナビーム角
①-⑥	東(110°)	0	V	65°
⑦	東(110°)	0	V	10°

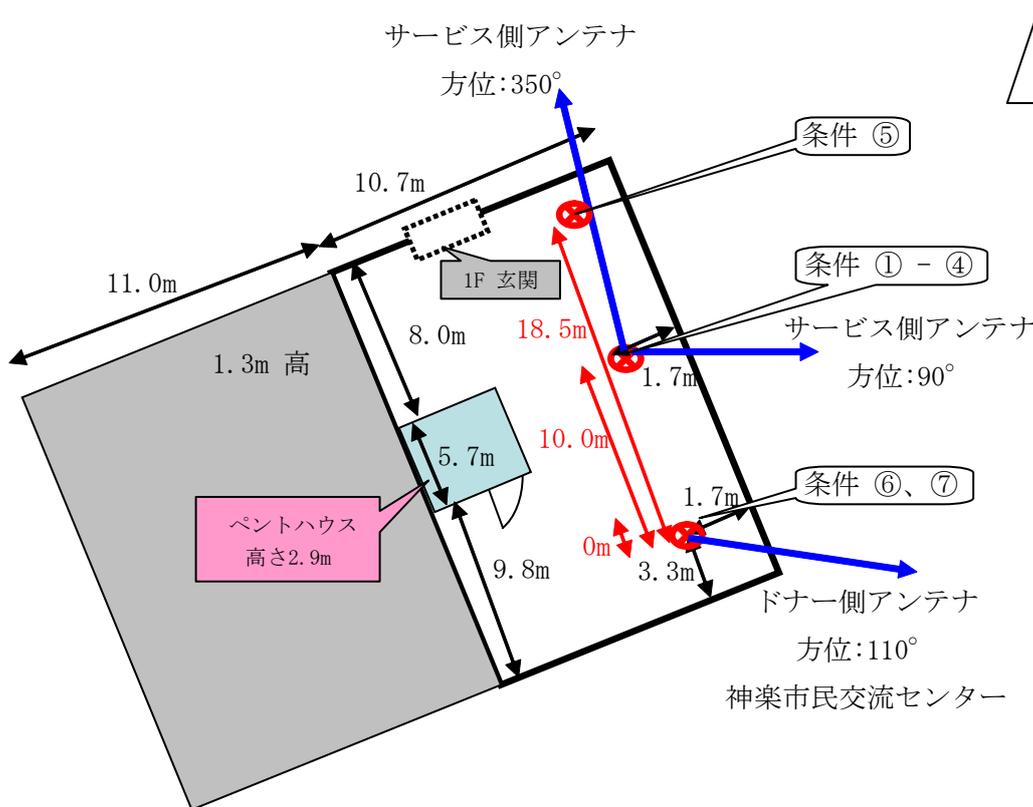


図 4-1 1 5 神居支所屋上アンテナ配置図

表 4-7 3 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

(ア) アンテナ間結合量の測定方法

アンテナ間結合量の測定方法は、図 4-1 1 6 及び図 4-1 1 7 のとおりである。

- ① アッテネータ(ATT1、ATT2)を介して信号源と ICS レピータとスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザで送信電力を測定する。
- ② 測定した値から ATT2 の値を差し引いて、ICS レピータのアンテナ端子での送信電力を求める。
- ③ 実環境にて、ICS レピータからの回り込み波の受信電力をドナー側アンテナ(実際に使用するアンテナ)に接続したスペクトラムアナライザで測定する。
- ④ ②で求めた送信電力から③で求めた受信電力を差し引いた値が、アンテナ間結合量となる。

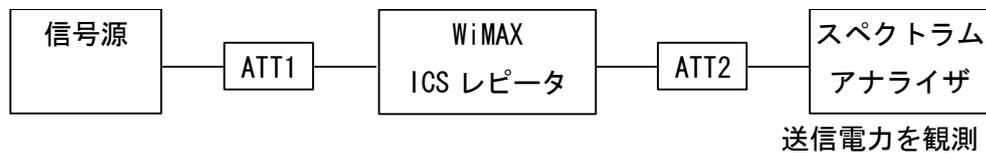


図 4-1 1 6 ICS レピータの送信電力の測定

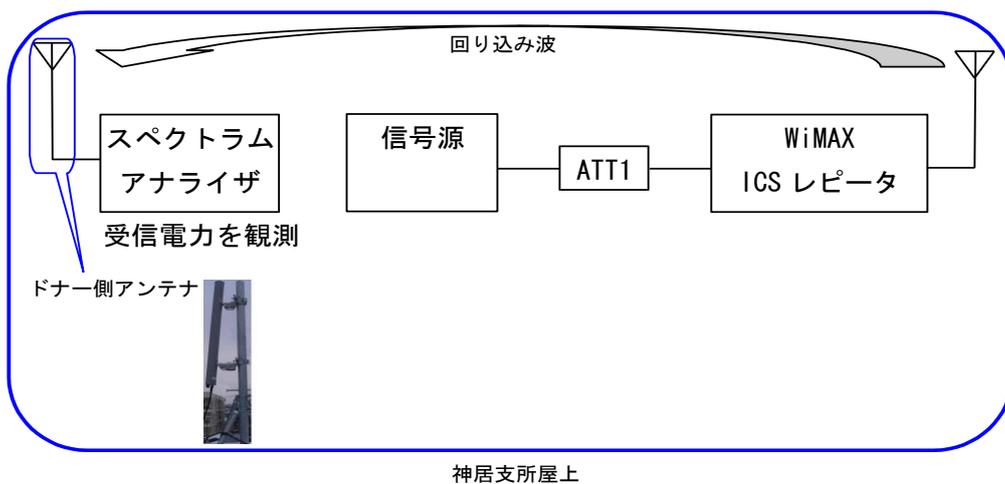


図 4-1 1 7 実環境での測定

(イ) D/U の測定方法

D/U の測定方法は、図4-118及び図4-119のとおりである。

- ① 基地局波(希望波)のみを送信して、ドナー側アンテナに接続したスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。
- ② 信号源と ICS レピータとを ATT1 を介して接続し、ICS レピータへの入力信号が①で測定したレベルとなるように ATT1 を調整する。
- ③ 中継局波(干渉波)のみを送信して、スペクトラムアナライザで受信電力を測定する。
- ④ 希望波の受信電力と干渉波の受信電力の差分が D/U となる。

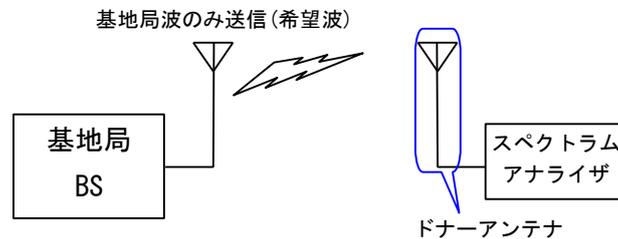


図4-118 希望波の測定

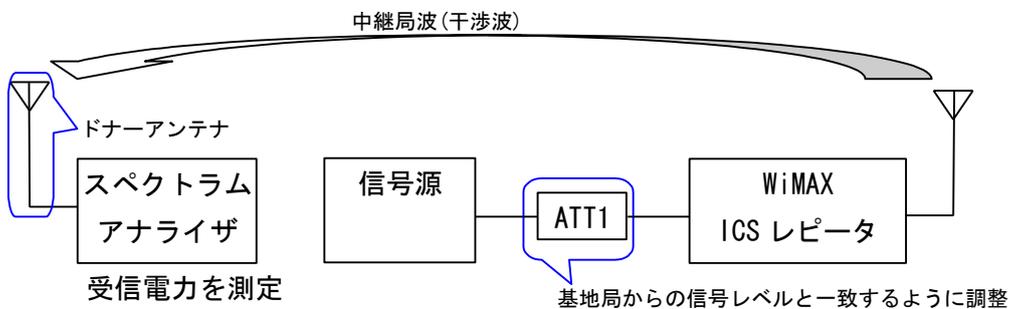


図4-119 干渉波の測定

(ウ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から加入者端末へパケットを送信して DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

(エ) ping RTT の測定方法

加入者端末から基地局へ ping を打って、50 回の平均時間を記録する。

ウ. 試験結果

(ア) アンテナ条件とアンテナ間結合量の関係

アンテナ条件とアンテナ間結合量の関係は、図4-120及び表4-74のとおりである。

基準とした離隔 10m に対して、離隔 18.5m と H 偏波の場合にアンテナ間結合量が向上している。一方、チルト、東向き、離隔 0m の場合にアンテナ間結合量が小さくなっている。

狭ビームアンテナは、離隔 0m で設置しているのですが、⑥離隔 0m と比較すると、アンテナ間結合量は、9dB 向上している。

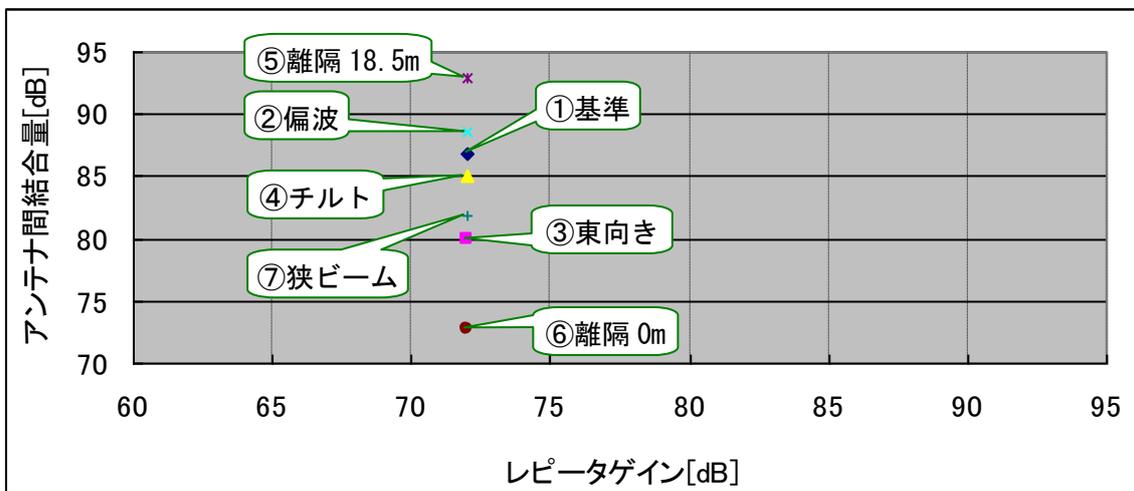


図4-120 アンテナ条件とアンテナ間結合量の関係

表4-74 アンテナ条件とアンテナ間結合量の関係

条件番号	アンテナ条件	アンテナ間結合量 [dB]	基準との差 [dB]
①	基準 (離隔 10.0m)	86.9	-
②	H 偏波	88.6	1.7
③	アンテナ方向 東	79.9	-7.0
④	チルト角下向き 10°	85.0	-1.9
⑤	離隔 18.5m	92.9	6.0
⑥	離隔 0m	72.8	-14.1
⑦	狭ビーム (離隔 0m)	81.8	-5.1(*)

(*)⑦狭ビームと⑥離隔 0m の差は 9dB

(イ) アンテナ条件と D/U の関係

アンテナ条件と D/U の関係は、図 4-1 2 1 及び表 4-7 5 のとおりである。

基準とした離隔 10m に対して、離隔 18.5m と H 偏波の場合に D/U が向上している。

一方、チルト、東向き、離隔 0m の場合に D/U が劣化している。

狭ビームアンテナは、離隔 0m で設置しているのですが、⑥離隔 0m と比較すると、D/U は、9dB 向上している。

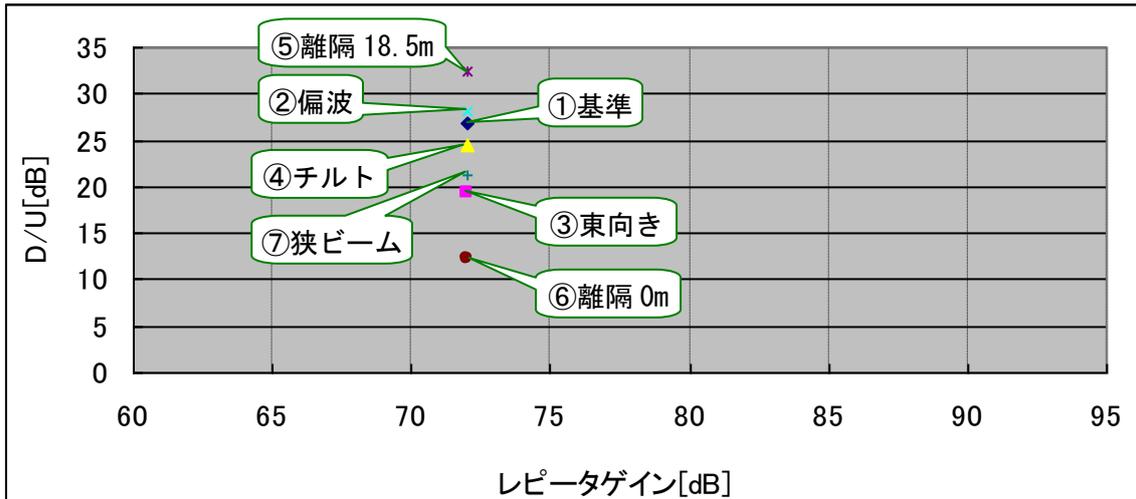


図 4-1 2 1 アンテナ条件と D/U の関係

表 4-7 5 アンテナ条件と D/U の関係

条件番号	アンテナ条件	D/U [dB]	基準との差 [dB]
①	基準(離隔 10.0m)	26.8	—
②	H 偏波	28.1	1.3
③	アンテナ方向 東	19.4	-7.4
④	チルト角下向き 10°	24.5	-2.3
⑤	離隔 18.5m	32.4	5.6
⑥	離隔 0m	12.3	-14.5
⑦	狭ビーム(離隔 0m)	21.3	-5.5(*)

(*)⑦狭ビームと⑥離隔 0m との差は 9dB

(ウ) D/U と UDP スループットの関係

D/U と UDP スループットの関係は、図4-1 2 2 及び表4-7 6 のとおりである。

ICS 機能を搭載したレピータを使用しているために、回り込み波がキャンセルされて、いずれの条件でも 14Mbps 程度のスループットが得られている。

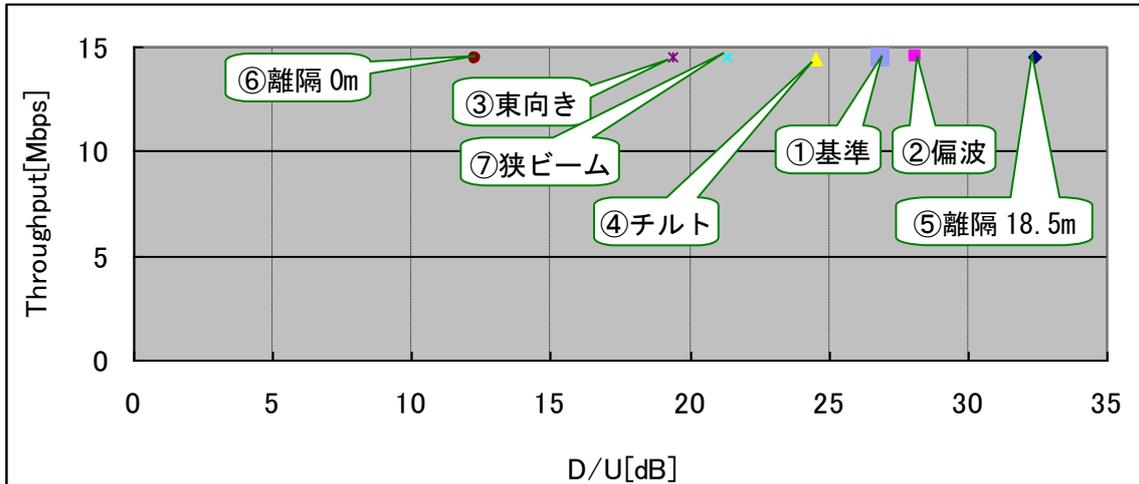


図4-1 2 2 D/U と UDP スループットの関係

表4-7 6 D/U と UDP スループットの関係

条件番号	アンテナ条件	Throughput [Mbps]	D/U [dB]
①	基準 (離隔 10.0m)	14.5	26.8
②	H 偏波	14.5	28.1
③	アンテナ方向 東	14.5	19.4
④	チルト角下向き 10°	14.4	24.5
⑤	離隔 18.5m	14.5	32.4
⑥	離隔 0m	14.4	12.3
⑦	狭ビーム (離隔 0m)	14.5	21.3

(エ) D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図4-1 2 3 及び表4-7 7 のとおりである。

ICS 機能を搭載したレピータを使用しているために、回り込み波がキャンセルされて、いずれの条件でも 13Mbps 程度のスループットが得られている。

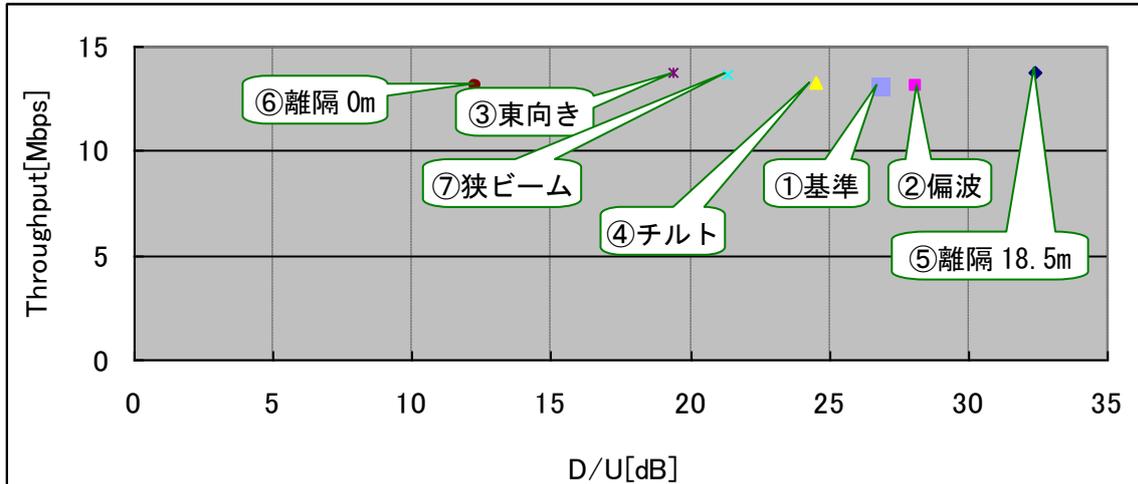


図4-1 2 3 D/U と TCP スループットの関係

表4-7 7 D/U と TCP スループットの関係

条件番号	アンテナ条件	Throughput [Mbps]	D/U [dB]
①	基準(離隔 10.0m)	13.1	26.8
②	H 偏波	13.1	28.1
③	アンテナ方向 東	13.8	19.4
④	チルト角下向き 10°	13.3	24.5
⑤	離隔 18.5m	13.8	32.4
⑥	離隔 0m	13.1	12.3
⑦	狭ビーム(離隔 0m)	13.7	21.3

(オ) D/U と ping RTT の関係

D/U と ping RTT の関係は、図4-124及び表4-78のとおりである。

いずれの条件でも、遅延時間は100ms程度となっている。

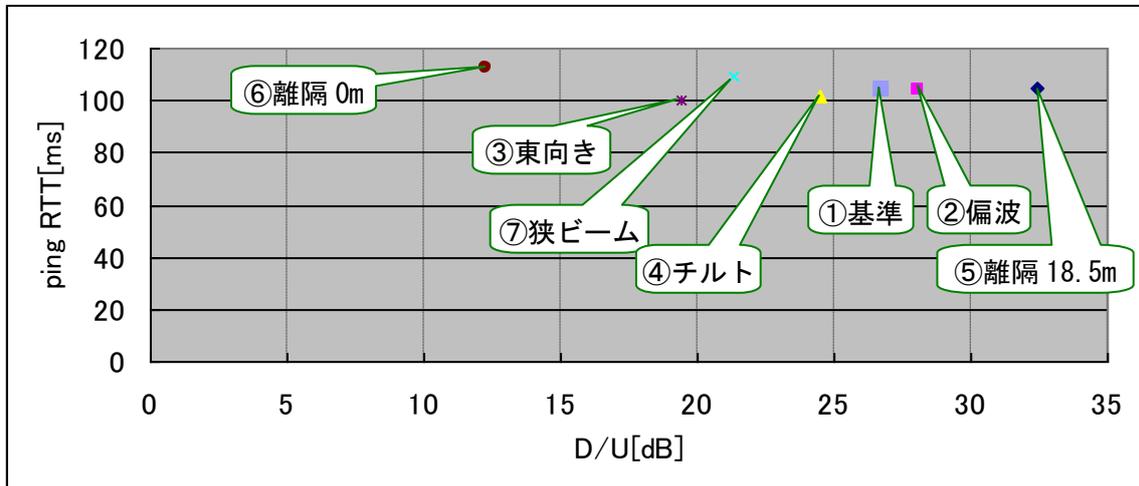


図4-124 D/U と ping RTT の関係

表4-78 D/U と ping RTT の関係

条件番号	アンテナ条件	ping RTT[ms]	D/U[dB]
①	基準(離隔 10.0m)	104	26.8
②	H 偏波	104	28.1
③	アンテナ方向 東	100	19.4
④	チルト角下向き 10°	102	24.5
⑤	離隔 18.5m	105	32.4
⑥	離隔 0m	112	12.3
⑦	狭ビーム(離隔 0m)	109	21.3

(3) 加入者端末の通信状況における実用性の検証

①インハウス試験

ア. 試験構成

(ア) 中継局の下り信号(DL)に基地局のDLが干渉する場合

a. ICSあり

試験構成概略図は、図4-125のとおりである。

基地局、WiMAXレピータ、加入者端末及びアッテネータ(ATT)で構成している。

本試験では、基地局からの信号が加入者端末へ回り込んでくる場合を想定している。

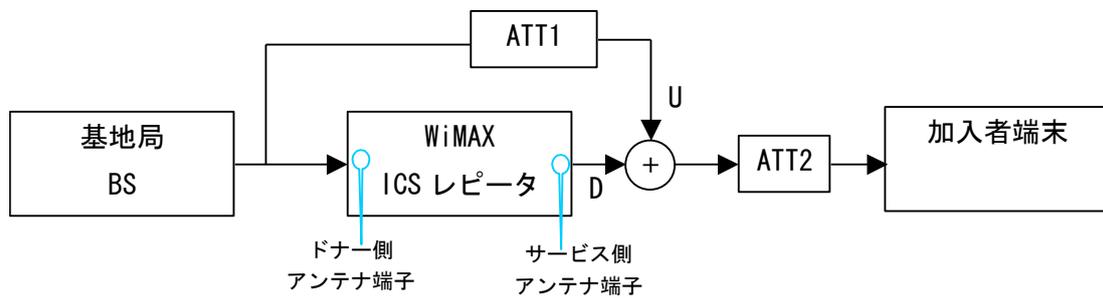


図4-125 試験構成概略図(ICSあり)

b. ICSなし

ICSありと同様に、基地局からの信号が加入者端末へ回り込んでくる場合を想定している。

今回の試験では、ICS機能を搭載していない機器を使用しているため、図4-126のとおり、ICS機能を搭載していない機器を模擬したシステムを構築して特性を取得する。

レピータ内での遅延時間は、韓国 Wibro レピータの値を参考に $2\mu s$ とした。

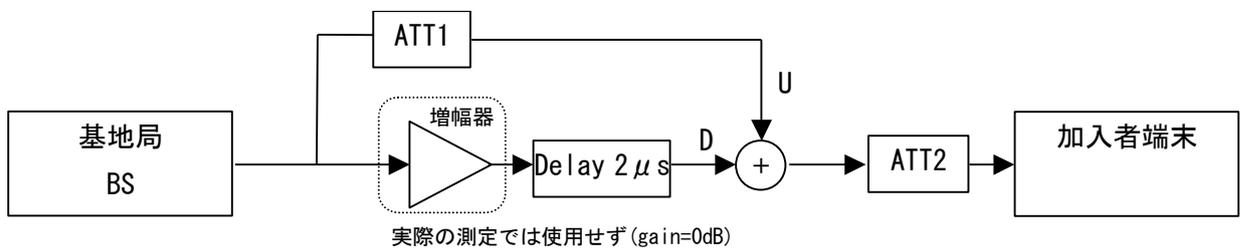


図4-126 試験構成概略図(ICSなし)

(イ) 中継局の上り信号(UL)が加入者端末のULに干渉する場合

本試験は、ICS なしでのインハウス試験のみ実施する。

今回の試験では、ICS 機能を搭載していない機器を使用しているため、図 4-1 2 7 のとおり、ICS 機能を搭載していない機器を模擬したシステムを構築して特性を取得する。

レピータ内での遅延時間は、韓国 Wibro レピータの値を参考に $2\mu\text{s}$ とした。

なお、測定系全景は、図 4-1 2 8 のとおりである。

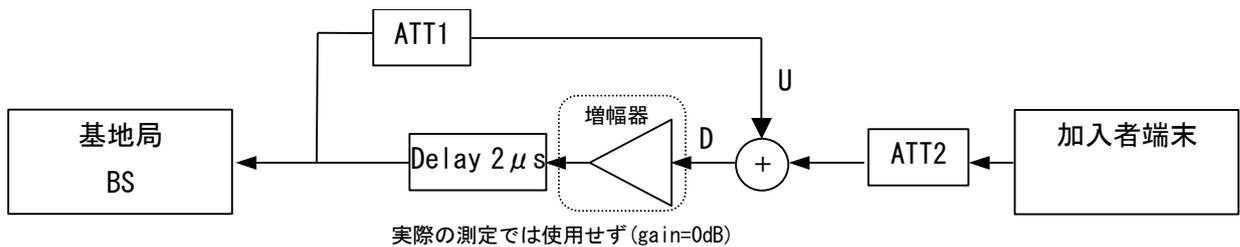


図 4-1 2 7 試験構成概略図

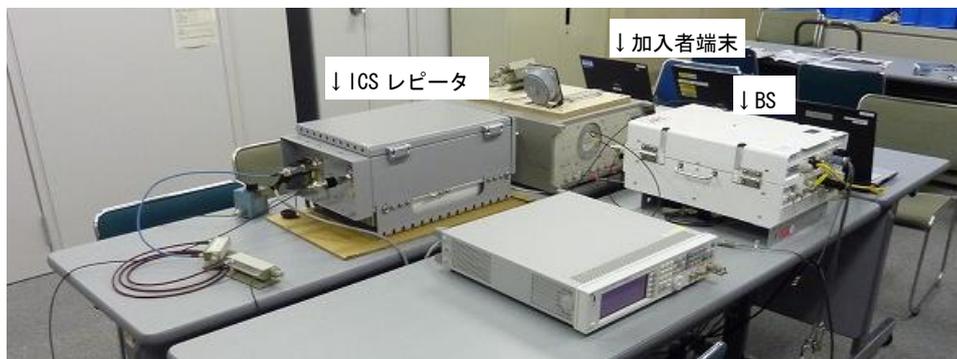


図 4-1 2 8 測定系全景

イ. 試験内容

(ア) 中継局の下り信号(DL)に基地局のDLが干渉する場合

a. ICSあり

加入者端末のアンテナ端がD/Uの規定点であり、基地局BSからの下り信号レベルをアッテネータで調節することにより、D/Uを変化させてスループットとping RTTを測定する。

b. ICSなし

ICSありと同様に加入者端末のアンテナ端がD/Uの規定点であり、基地局BSからの下り信号レベルをアッテネータで調節することにより、D/Uを変化させてスループットとping RTTを測定する。

(イ) 中継局の上り信号(UL)が加入者端末のULに干渉する場合

サービス側アンテナ端(図4-1 2 7 増幅器の入力側)がD/Uの規定点であり、基地局BSへの上り信号レベルをアッテネータで調節することにより、D/Uを変化させてスループットとping RTTを測定する。

(ウ) D/Uの測定方法

加入者端末で測定した希望波(D)、干渉波(U)の受信電力の差をD/Uとする。

(エ) UDP、TCPスループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェアiperfを使用する。

基地局からCPEへパケットを送信してDLスループットを測定する。

パケット長は1372byte、測定時間は30秒とする。

また、参考データとして基地局から加入者端末へのDLスループットも測定する。

(オ) ping RTTの測定方法

試験構成概略図は、図4-1 2 9及び図4-1 3 0のとおりである。

非再生レピータはRF信号を増幅して再送信する装置であるために、IPパケットであるpingに応答する機能はない。そのため、加入者端末から基地局へのpingを確認する。

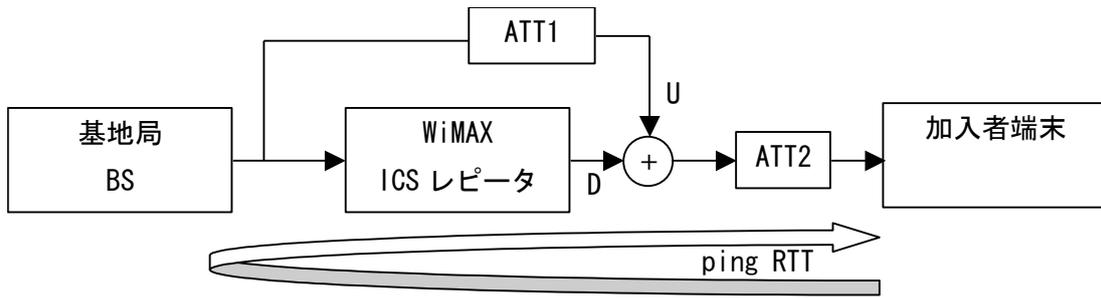


図 4-1 2 9 ping RTT 試験構成概略図(ICS あり)

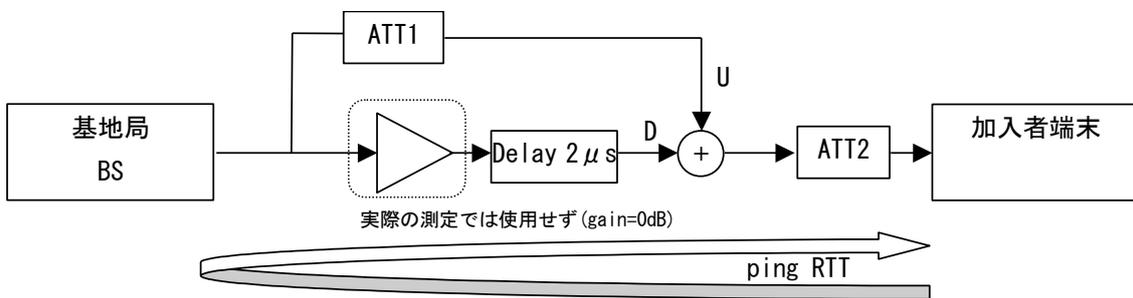


図 4-1 3 0 ping RTT 試験構成概略図(ICS なし)

ウ. 試験結果

(ア) 中継局の下り信号(DL)に基地局のDLが干渉する場合

a. D/UとUDPスループットの関係

ICSありとICSなしのD/UとUDPスループットの関係は、図4-131、表4-79及び表4-80のとおりである。

D/Uが低下するに従って、スループットも低下する。D/U=0dB付近で最もスループットが低下するが、D/Uが0dBから-10dBへ推移するにつれて、レピータからではなく、基地局からの信号が支配的となりスループットが向上している。

また、ICSありとICSなしとは、D/Uとスループットの関係には大きな差はみられなかった。

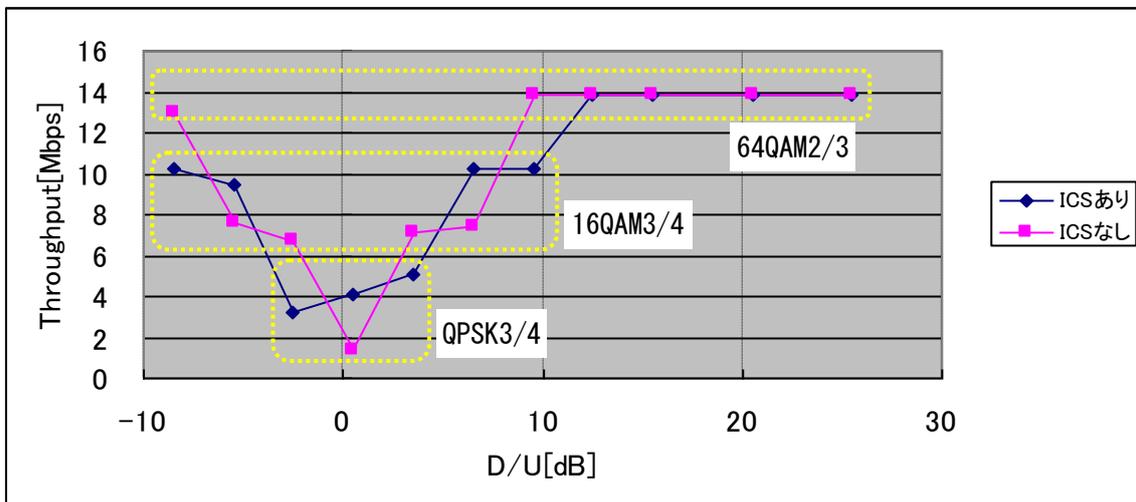


図4-131 D/UとUDPスループットの関係

表4-79 D/UとUDPスループットの関係(ICSあり)

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		16QAM3/4	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]						
25.5	13.90	9.5	10.20	3.5	5.09	-5.5	9.51
20.5	13.90	6.5	10.20	0.5	4.06	-8.5	10.20
15.5	13.90			-2.5	3.18		
12.5	13.90						

表4-80 D/UとUDPスループットの関係(ICSなし)

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		16QAM3/4		64QAM2/3	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]								
25.5	13.90	6.5	7.45	0.5	1.36	-2.5	6.74	-8.5	13.00
20.5	13.90	3.5	7.15			-5.5	7.65		
15.5	13.90								
12.5	13.90								
9.5	13.90								

b. D/U と TCP スループットの関係

ICS ありと ICS なしの D/U と TCP スループットの関係は、図 4-1 3 2、表 4-8 1 及び表 4-8 2 のとおりである。

D/U=0dB 付近(実線の途切れた部分)は TCP パケットが通らず測定不能であったが、UDP スループットと同等の結果となった。

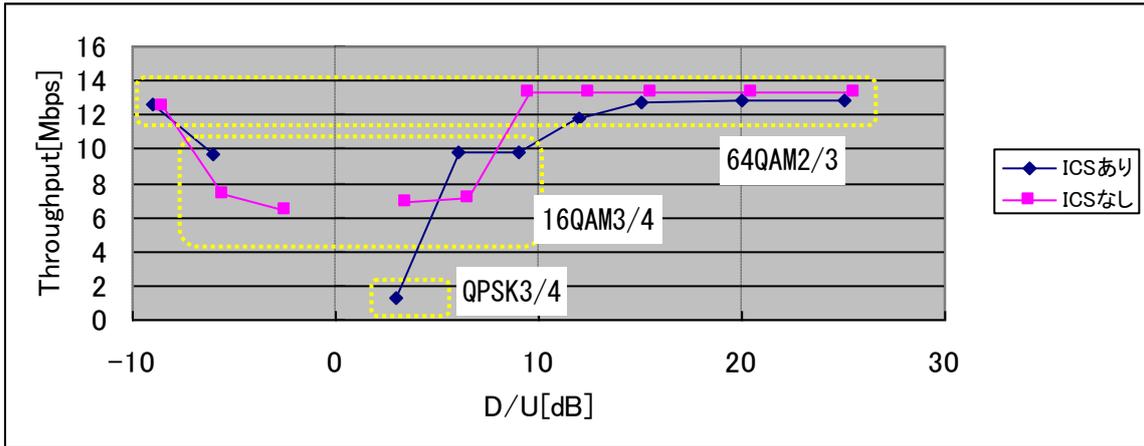


図 4-1 3 2 D/U と TCP スループットの関係

表 4-8 1 D/U と TCP スループットの関係(ICS あり)

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		16QAM3/4		64QAM2/3	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]								
25.0	12.90	9.0	9.82	3.5	1.32	-6.0	9.75	-9.0	12.60
20.0	12.90	6.0	9.78						
15.0	12.70								
12.0	11.80								

表 4-8 2 D/U と TCP スループットの関係(ICS なし)

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		16QAM3/4		64QAM2/3	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]								
25.5	13.30	6.5	7.10	-	-	-2.5	6.40	-8.5	12.50
20.5	13.30	3.5	6.90			-5.5	7.30		
15.5	13.30								
12.5	13.30								
9.5	13.30								

c. D/U と ping RTT の関係

加入者端末から基地局へ ping を打った際の 4 回平均の ping RTT は、図 4-1 3 3 及び表 4-8 3 のとおりである。

通常の基地局と加入者端末間で観測される ping RTT と同程度である。

また、ICS ありと ICS なしとでは、ping RTT には大きな差はみられなかった。

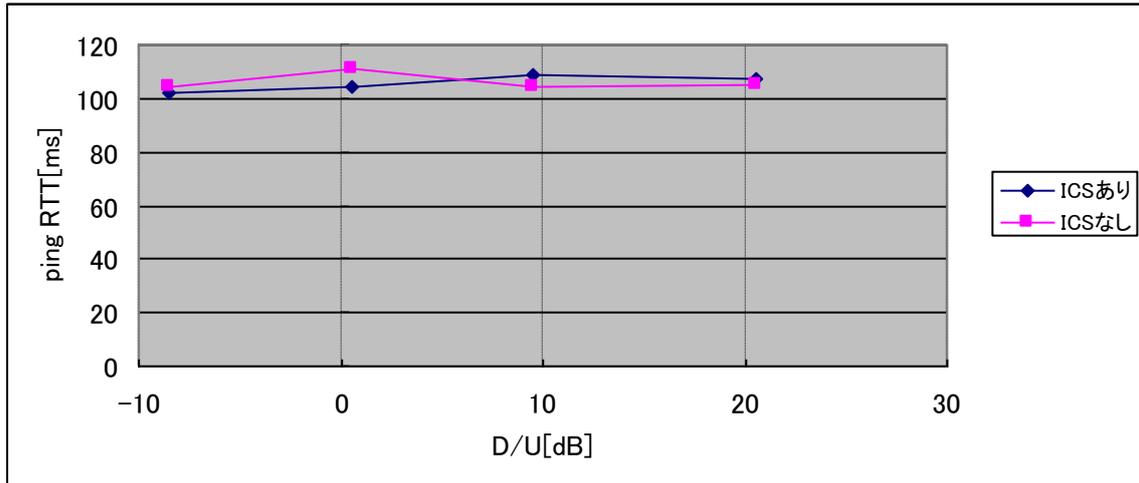


図 4-1 3 3 D/U と ping RTT の関係

表 4-8 3 D/U と ping RTT の関係

D/U [dB]	ping RTT [ms] ICS あり	ping RTT [ms] ICS なし
20.5	107	105
9.5	109	104
0.5	104	111
-8.5	102	104

(イ) 中継局の上り信号(UL)が加入者端末のULに干渉する場合

a. D/UとUDPスループットの関係

D/UとUDPスループットの関係は、図4-134及び表4-84のとおりである。

D/Uが6.5dBまでは、スループットが安定している。これは、非再生中継方式であるため干渉波の遅延量が、シンボルの許容遅延時間以内であり、シンボル間干渉による影響が少ないためと考えられる。

今回は、インハウス試験のみを実施した。

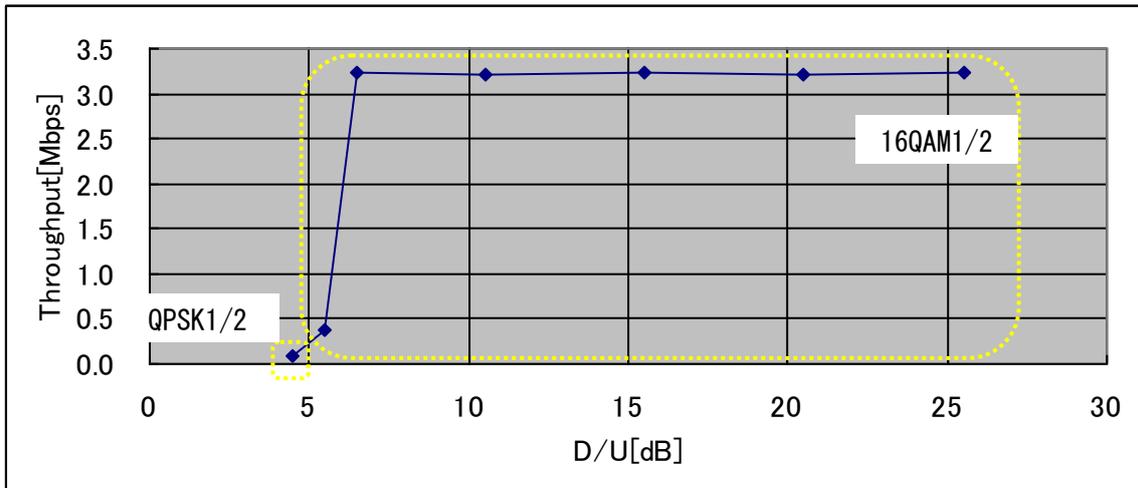


図4-134 D/UとUDPスループットの関係

表4-84 D/UとUDPスループットの関係

16QAM1/2		QPSK1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]	D/U [dB]	Throughput [Mbps]
25.5	3.23	4.5	0.09
20.5	3.22		
15.5	3.23		
10.5	3.22		
6.5	3.23		
5.5	0.37		

b. D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-1 3 5 及び表 4-8 5 のとおりである。

UDP スループットと同様に、D/U が 6dB 程度までは、スループットが安定しているが、6.5dB 以下では、干渉波の影響により TCP レイヤーでの再送が発生し続け、TCP がタイムアウトしたためと考えられる。

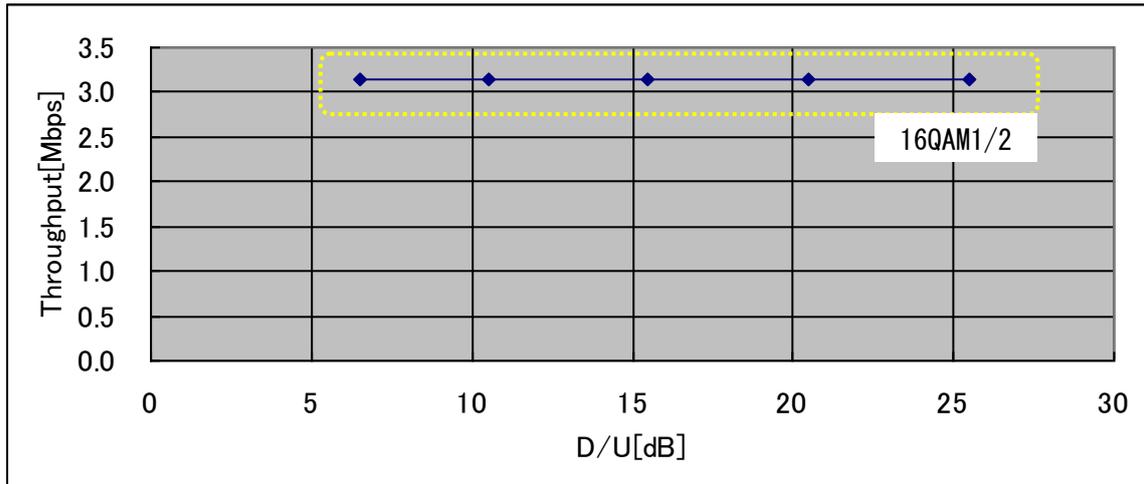


図 4-1 3 5 D/U と TCP スループットの関係

表 4-8 5 D/U と TCP スループットの関係

16QAM1/2	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]
25.5	3.14
20.5	3.14
15.5	3.15
10.5	3.14
6.5	3.14

②実環境試験

ア. 試験構成

試験構成概略図は、図4-136のとおりである。

基地局のサービスエリアと中継局のサービスエリアの境界付近では、中継局波と基地局波が干渉することが予想される。この干渉により、中継局と加入者端末との通信に影響を与えることになる。

本試験の目的は、基地局波(干渉波)による中継局-加入者端末間の下り方向のスループット等への影響について検討する。

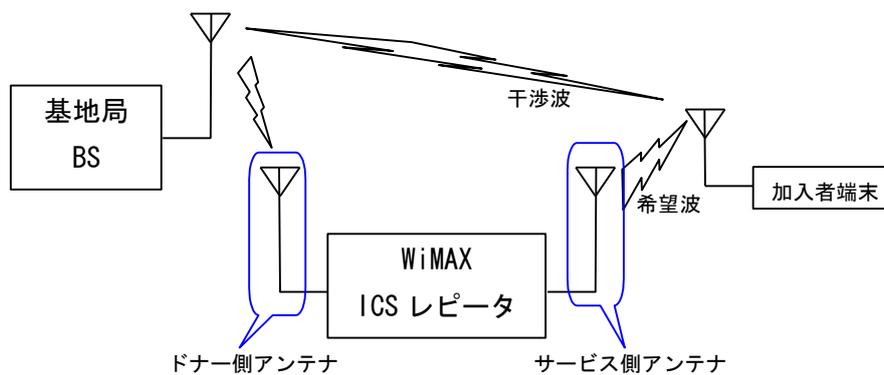


図4-136 試験構成概略図

イ. 試験内容

中継局サービス側アンテナの試験条件は、表4-86のとおり1パターンに固定する。

中継局ドナー側アンテナの試験条件は、表4-87のとおりである。

加入者端末は、図4-137のように神居支所屋上に設置し、レピータの送信電力を9通り変化させることにより、D/Uを変化させる。測定風景は、図4-138のとおりである。

測定項目は、表4-88のとおりである。

表4-86 サービス側アンテナの試験条件

条件	離隔[m]	方向	チルト[°]	偏波
1	18.5	南西(255°)	0	V

表 4-8 7 ドナー側アンテナの試験条件

方向(方位角)	チルト[°]	偏波
東(110°)	0	V

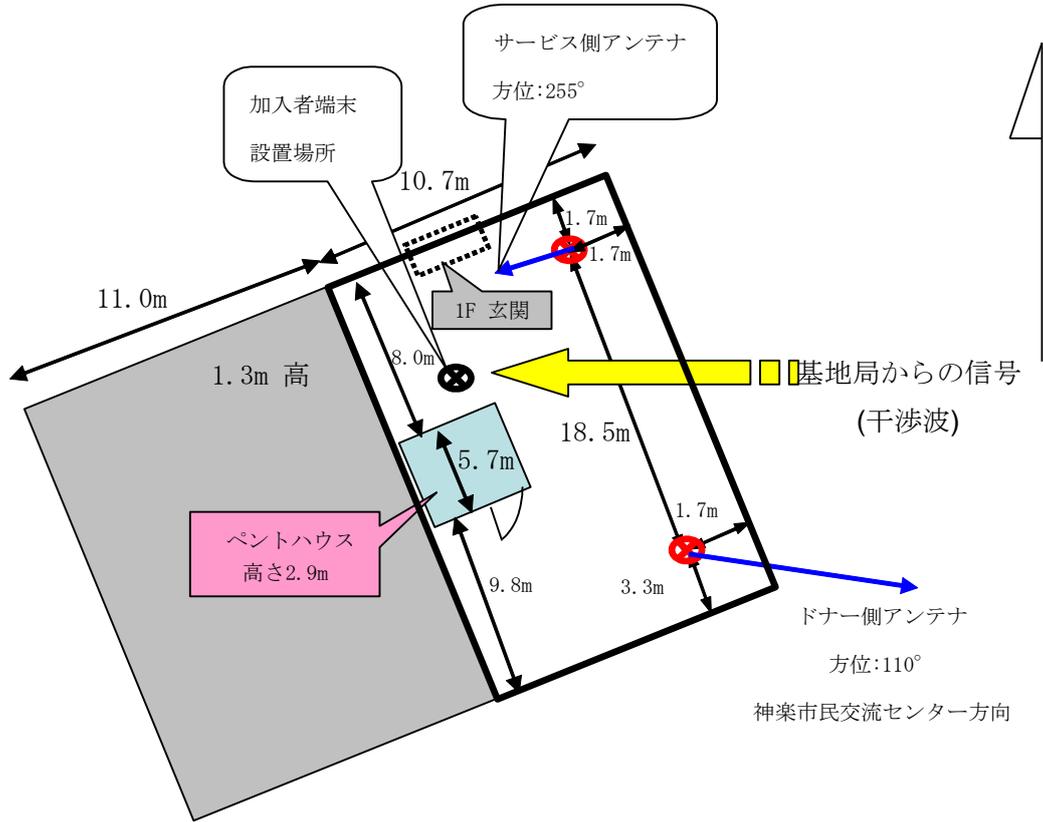


図 4-1 3 7 神居支所屋上アンテナ配置図

表 4-8 8 測定項目

項番	項目
1	アンテナ間結合量
2	D/U
3	UDP、TCP スループット
4	ping RTT

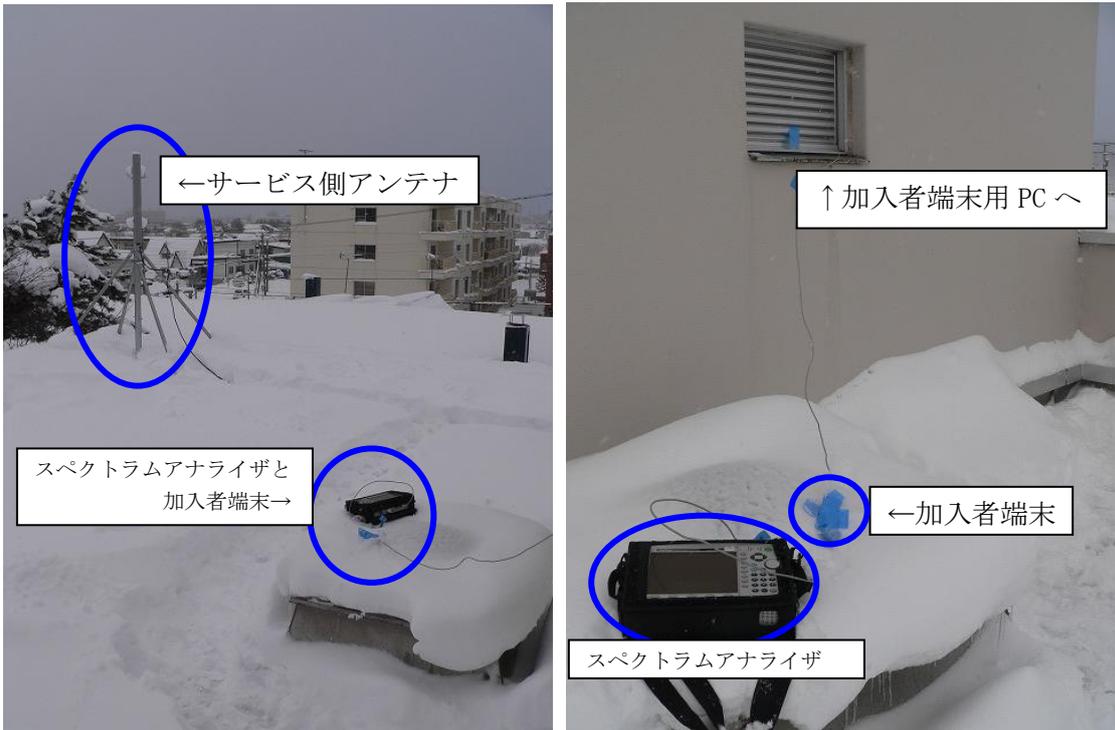


図 4-1 3 8 測定風景

(ア) アンテナ間結合量の測定方法

アンテナ間結合量の測定方法は、図4-139及び図4-140のとおりである。

- ① アッテネータ(ATT1,ATT2)を介して信号源と ICS レピータとスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザで送信電力を測定する。
- ② 測定した値から ATT2 の値を差し引いて、ICS レピータのアンテナ端子での送信電力を求める。
- ③ 実環境にて、ICS レピータからの回り込み波の受信電力をドナー側アンテナ(実際に使用するアンテナ)に接続したスペクトラムアナライザで測定する。
- ④ ②で求めた送信電力から③で求めた受信電力を差し引いた値がアンテナ間結合量となる。

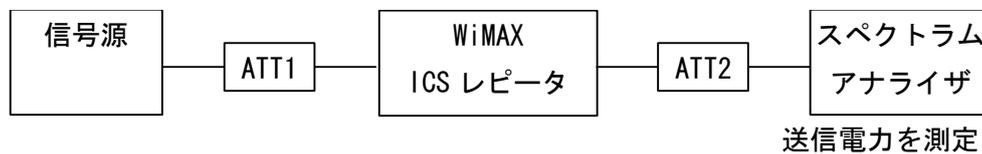


図4-139 ICSレピータの送信電力の測定

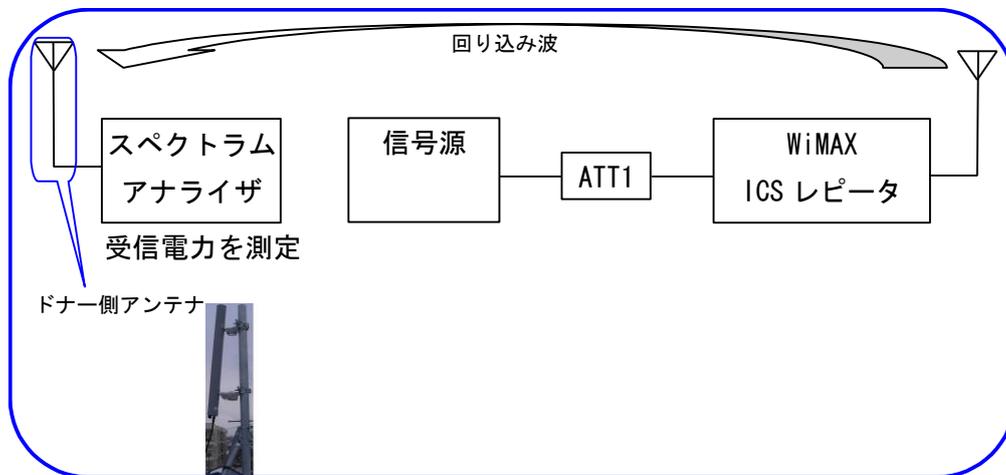


図4-140 実環境での測定

(イ) D/U の測定方法

D/U の測定方法は、図4-1 4 1 及び図4-1 4 2 のとおりである。

- ① 基地局波(干渉波)のみを送信して、加入者端末とスペクトラムアナライザで受信電力を測定する。
- ② ①で測定した受信電力を参考に、D/U が-10dB から 25dB まで変化するように中継局波(希望波)の送信電力を調節する。

D/U は、実際に通信する加入者端末の受信電力表示を基準とし、スペクトラムアナライザでの測定値は参考データとする。

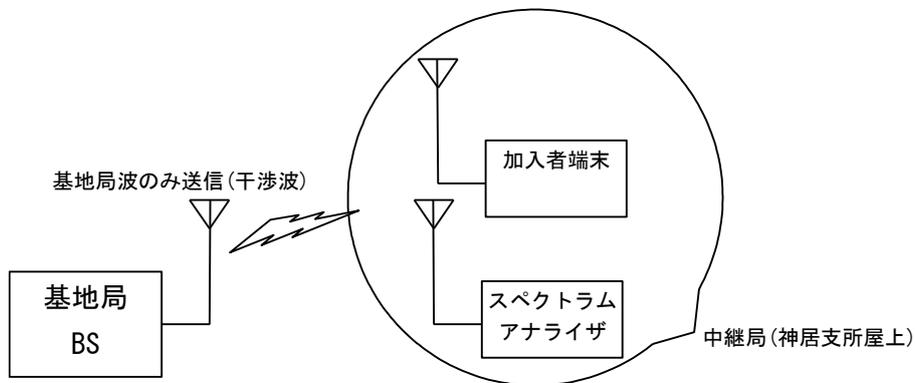


図4-1 4 1 干渉波の測定(中継局)

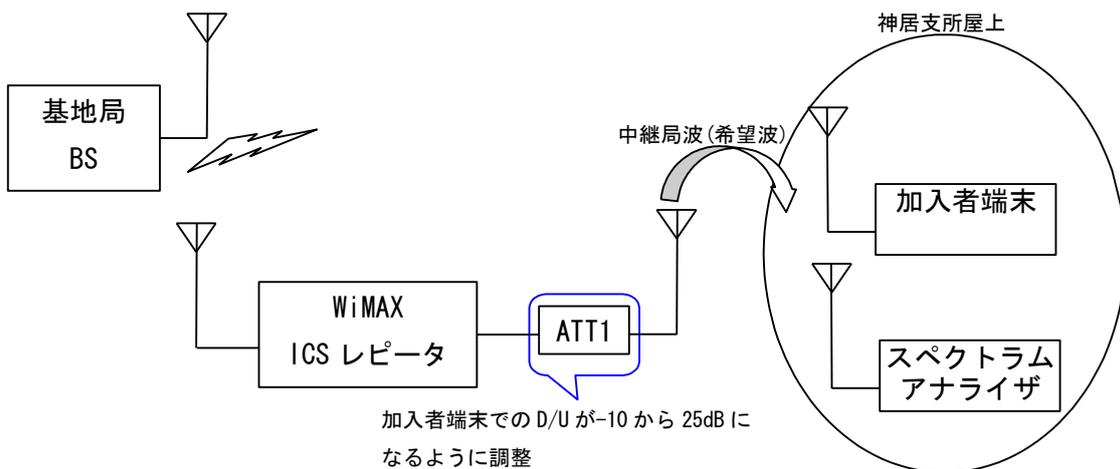


図4-1 4 2 希望波の測定(端末)

(ウ) UDP、TCP スループットの測定方法

スループット測定用ソフトウェア iperf を使用する。

基地局から加入者端末へパケットを送信して DL スループットを測定する。

パケット長は 1372byte、測定時間は 30 秒とする。

(エ) ping RTT の測定方法

加入者端末から基地局へ ping を打って、50 回の平均時間を記録する。

ウ. 試験結果

(ア) アンテナ間結合量

図4-137のようにアンテナ離隔 18.5m、アンテナ方位 255° の際の、アンテナ間結合量を測定した。

ICS レピータの送信電力をスペクトラムアナライザで測定した結果は、図4-143のとおりである。また、ドナー側アンテナを使用して、スペクトラムアナライザで測定した回り込み波の受信電力は、図4-144のとおりである。

アンテナ間結合量は、中継局 BS の送信電力(10.6dBm)から回り込み波の受信電力(-80.0dBm)を差し引くことにより求められ、90.6dB となる。

Max Hold N/A	Preamble	0	--	--	--	--	Change Save Location
	Power	10.6 dBm	--	--	--	--	
Demod Auto	Cell ID	0	--	--	--	--	Change Type Setup/JPG/...
	Sector ID	0	--	--	--	--	
PCINR 21.6 dB				Base Station ID (Strongest Preamble) 0x---- 00----FF			
Freq	Amplitude	Setup	Measurements	Marker			

図4-143 ICS レピータの送信電力

Max Hold N/A	Preamble	0	--	--	--	--	Change Save Location
	Power	-80.0 dBm	--	--	--	--	
Demod Auto	Cell ID	0	--	--	--	--	Change Type Setup/JPG/...
	Sector ID	0	--	--	--	--	
PCINR 13.8 dB				Base Station ID (Strongest Preamble) --			
Freq	Amplitude	Setup	Measurements	Marker			

図4-144 回り込み波の受信電力

(イ) D/U と UDP スループットの関係

D/U と UDP スループットの関係は、図 4-1 4 5 及び表 4-8 9 のとおりである。

D/U が低下するに従って、スループットも低下する。D/U=0dB 付近で最もスループットが低下するが、D/U が-10dB へ推移すると、レピータからではなく、基地局からの信号が支配的となりスループットが向上している。

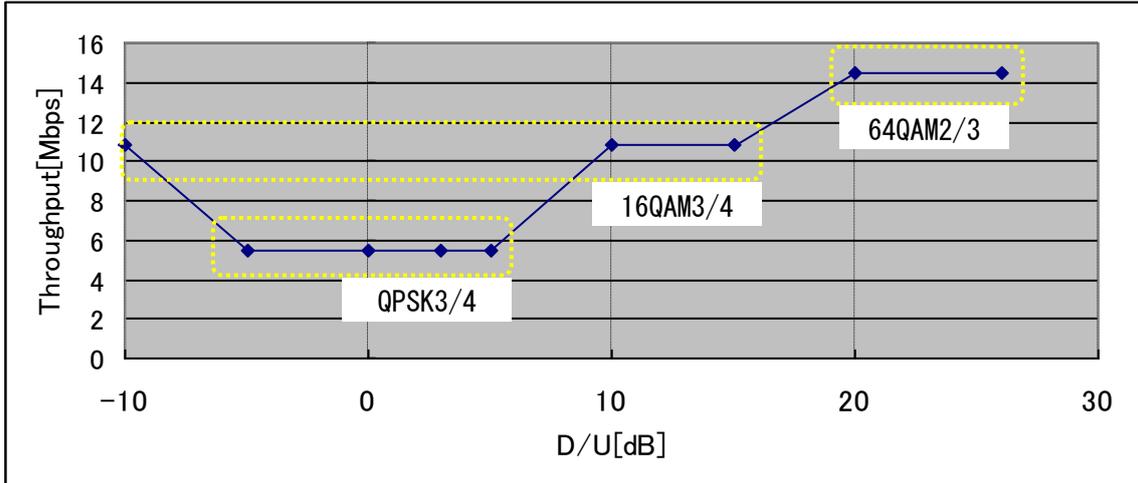


図 4-1 4 5 D/U と UDP スループットの関係

表 4-8 9 D/U と UDP スループットの関係

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		16QAM3/4	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]						
26.00	14.50	15.00	10.80	5.00	5.42	-10.00	10.80
20.00	14.50	10.00	10.80	3.00	5.42		
				0.00	5.42		
				-5.00	5.42		

(ウ) D/U と TCP スループットの関係

D/U と TCP スループットの関係は、図 4-1 4 6 及び表 4-9 0 のとおりである。

D/U が低下するに従って、スループットも低下する。D/U=0dB 付近で最もスループットが低下するが、D/U が-10dB へ推移すると、レピータからではなく、基地局からの信号が支配的となりスループットが向上している。

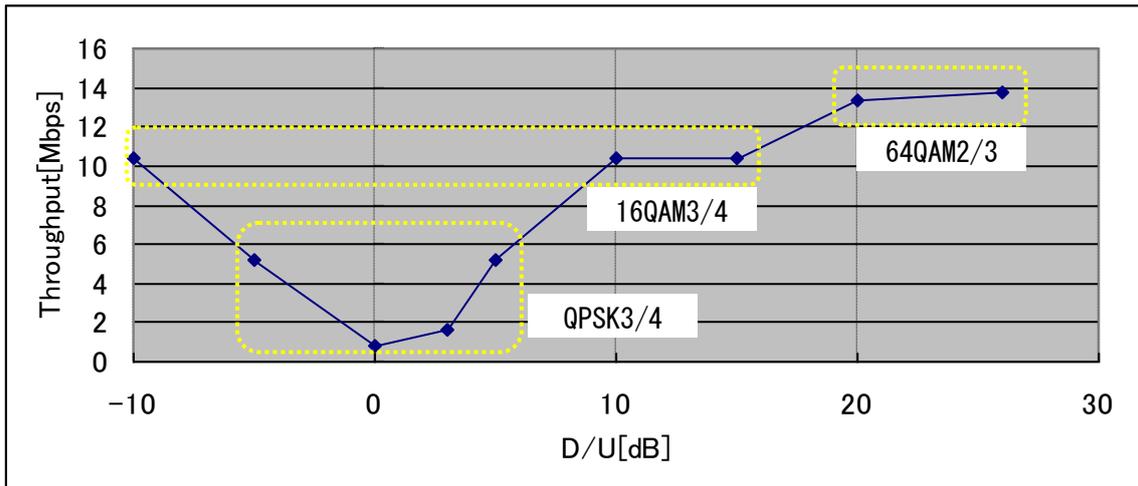


図 4-1 4 6 D/U と TCP スループットの関係

表 4-9 0 D/U と TCP スループットの関係

64QAM2/3		16QAM3/4		QPSK3/4		16QAM3/4	
D/U [dB]	Throughput [Mbps]						
26.00	13.80	15.00	10.40	5.00	5.20	-10.00	10.40
20.00	13.40	10.00	10.40	3.00	1.60		
				0.00	0.85		
				-5.00	5.23		

(エ) D/U と ping RTT の関係

D/U と ping RTT の関係は、図 4-1 4 7 及び表 4-9 1 のとおりである。

D/U=0dB で遅延時間が 200ms 程度と長くなっているが、これは、干渉量が多いために MAC 層での再送が発生していると考えられる。

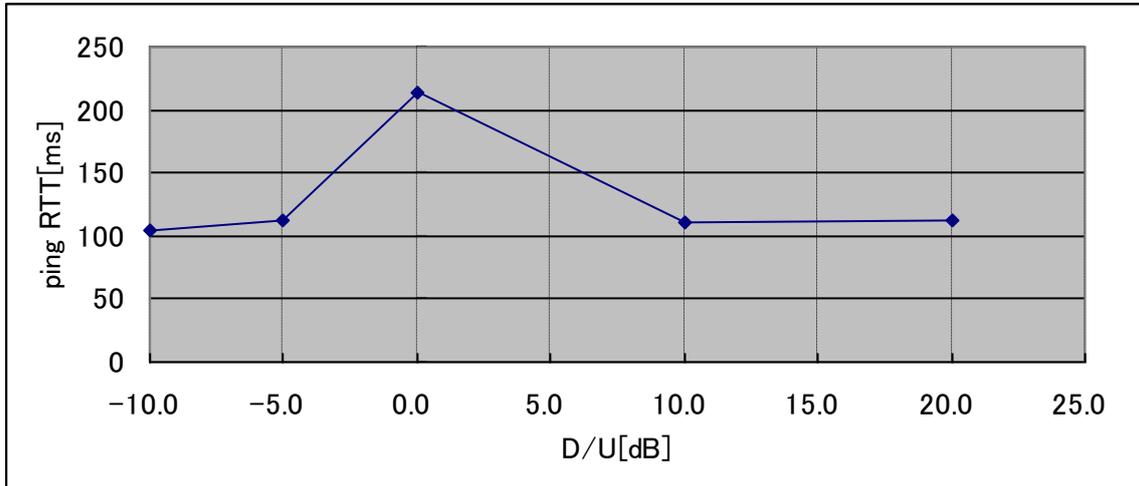


図 4-1 4 7 D/U と ping RTT の関係

表 4-9 1 D/U と ping RTT の関係

D/U [dB]	ping RTT [ms]
20.0	112
10.0	111
0.0	213
-5.0	113
-10.0	105

4-5 考察

(1) 再生中継方式

①中継局置局のための所要 D/U-インハウス試験と実環境試験の比較

本試験における D/U の規定点は、図 4-1 4 8 とおりである。なお、インハウス試験では、アンテナは使用せず、各装置間は RF ケーブルで接続している。

ドナー側アンテナ (CPE に内蔵) での希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

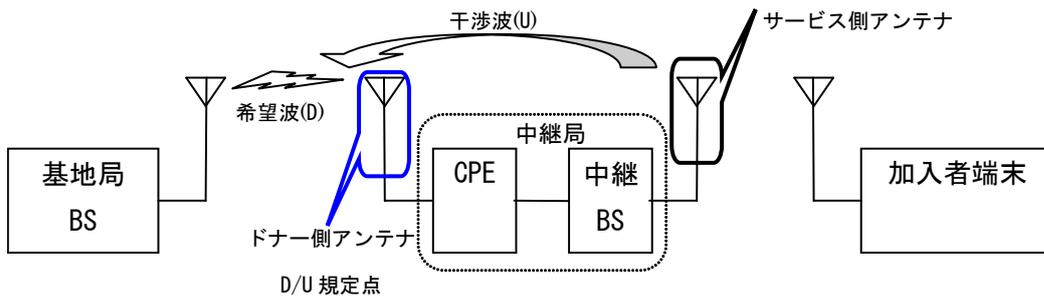


図 4-1 4 8 D/U の規定点

インハウス試験と実環境試験の D/U と DL スループットの比較は図 4-1 4 9 及び図 4-1 5 0 のとおりである。

実環境試験での測定ポイントは少ないものの、UDP、TCP とともにインハウス試験と実環境試験で同等のスループットが得られていることが分かる。

再生中継方式において干渉による劣化が発生しない条件は、今回の試験では、D/U を 23dB 以上確保する必要がある。この値は、環境による試験系の不安定性が排除できるインハウス試験の結果を基準にして求めた。

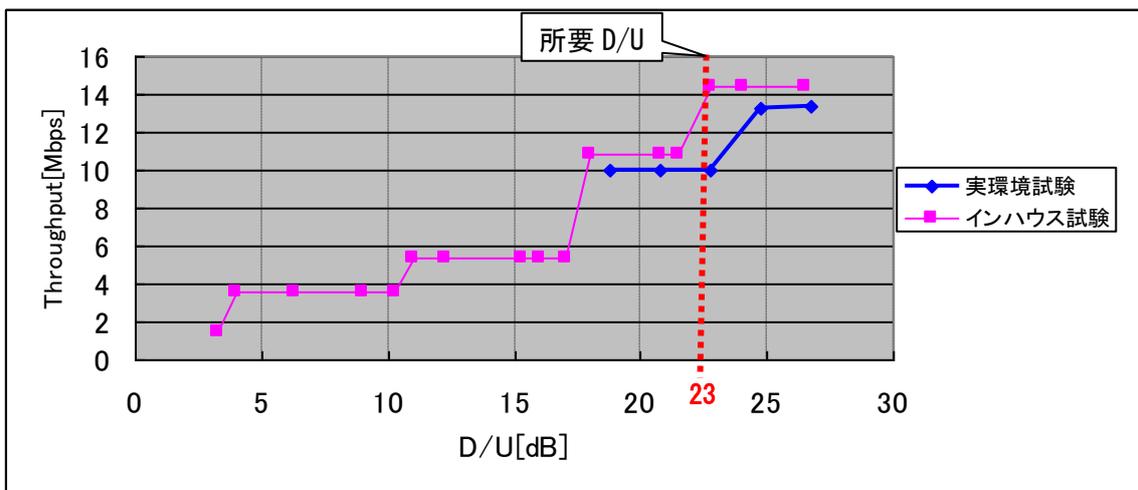


図 4-1 4 9 D/U と UDP スループットの関係

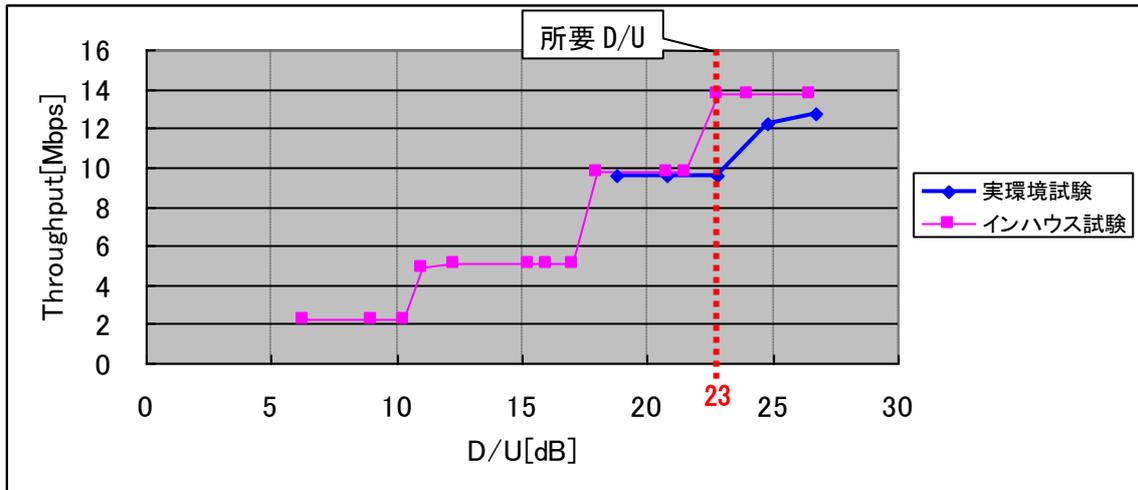


図 4-150 D/U と TCP スループットの関係

また、D/U と ping RTT の関係は、図 4-151 のとおりである。
インハウス試験と実環境試験で、同等の RTT であることが分かる。

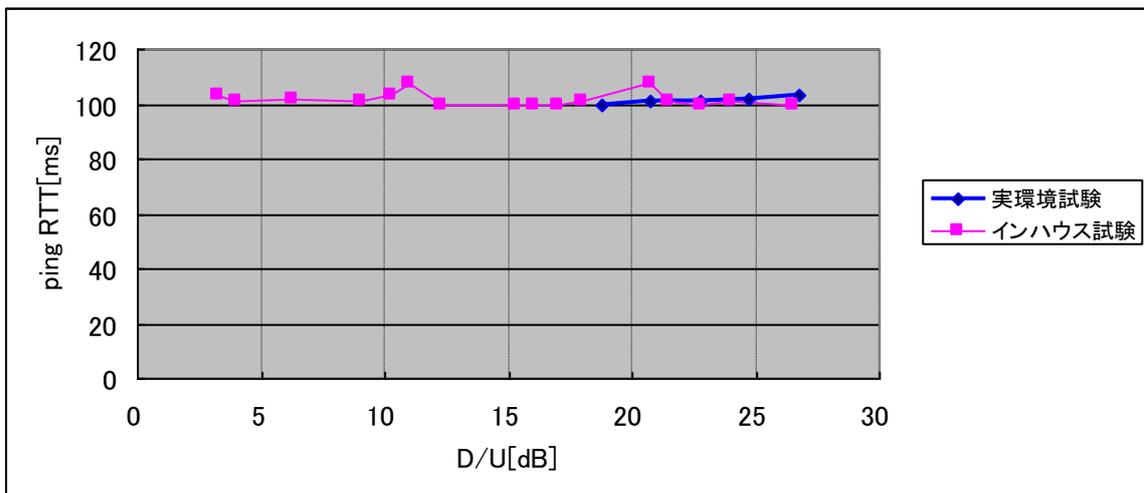


図 4-151 D/U と ping RTT の関係

②アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響

本試験におけるD/Uの規定点は、図4-152のとおりである。

ドナー側アンテナ(CPEに内蔵)での希望波電力と干渉波電力の比をD/Uと規定する。

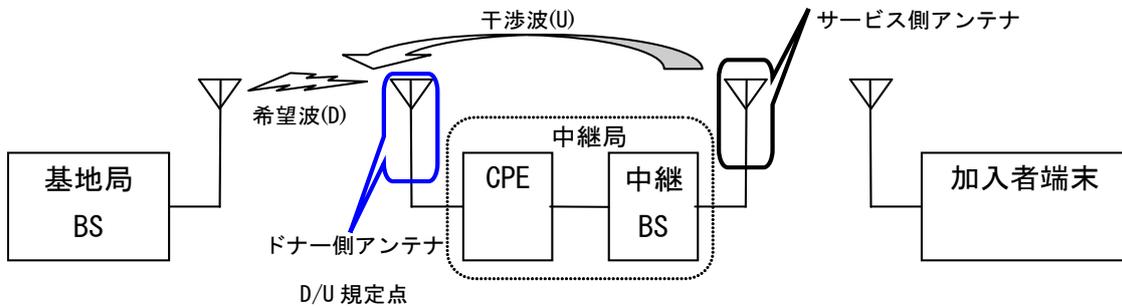


図4-152 D/Uの規定点

アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による結果は、表4-92のとおりである。

表4-92 アンテナ条件と各測定値との関係

条件番号	アンテナ条件	アンテナ間結合量 [dB]	D/U [dB]	UDP Throughput [Mbps]	TCP Throughput [Mbps]
①	離隔 18.5m(基準)	109.6	27.1	13.4	12.7
②	離隔 10m	96.4	13.9	5.0	4.8
③	偏波 H	109.0	26.5	13.3	12.5
④	東向き 90°	91.9	9.4	5.0	4.8
⑤	チルト下向き 10°	104.8	22.3	13.4	12.6
⑥	離隔 3m	90.0	7.5	3.3	3.2

ア. アンテナ離隔による影響

ドナー側アンテナとサービス側アンテナの離隔(3m、10m、18.5m)を変化させると、離隔が大きくなるにつれスループットが改善する。これは、離隔が大きくなると伝搬損失が大きくなるため、干渉の影響をより受けにくくなるためである。

イ. アンテナの方向による影響

サービス側アンテナを東に向けた場合に大きくスループットが低下したのは、ドナー側アンテナの方向となり干渉の影響が大きくなったためと考えられる。(図4-153)

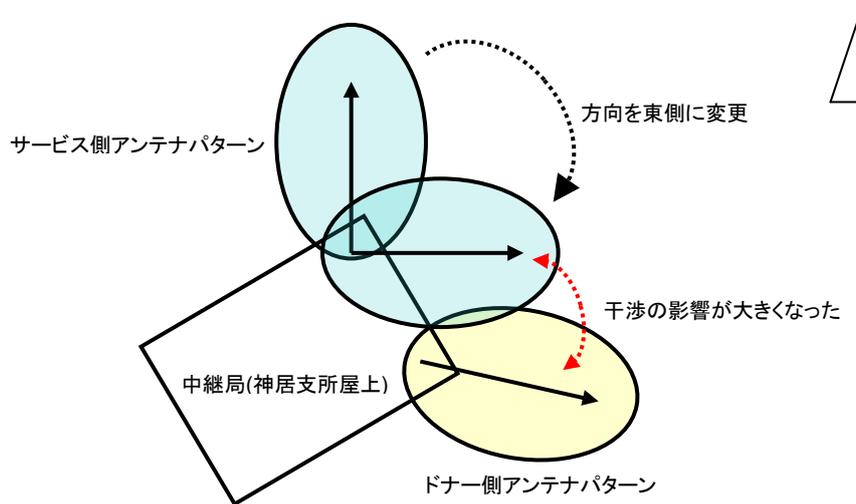


図4-153 アンテナ方向による干渉の影響

ウ. アンテナのチルトによる影響

サービス側のアンテナのチルト角を下向きに設定した場合には、D/Uが4.8dB劣化した。この原因としては、次のことが考えられる。

- ・ アンテナの角度を変更することにより、アンテナ背面からの輻射量が増加した
- ・ チルト角を下向きに設定したことにより、電波が地面方向に強く放射されるため、それに伴い地面からの反射波も強くなった

エ. アンテナ偏波面による影響

サービス側アンテナの偏波面を垂直/水平に変化させても、スループットへの影響は無かった。これは、ドナー側(CPE)のアンテナが、VとHを45度傾けた状態で実装されており、偏波に対する影響を受けないためである。(図4-154)

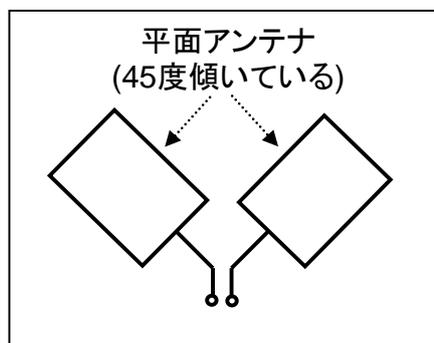


図4-154 再生中継方式のCPEアンテナ構造

オ. アンテナ条件と D/U、スループットの関係

各アンテナ条件での D/U と UDP、TCP スループットの関係は、図 4-155 及び図 4-156 のとおりであり、インハウス試験で取得した D/U とスループットの関係と概ね一致することを確認した。

また、UDP と TCP は、同等の特性であることを確認した。

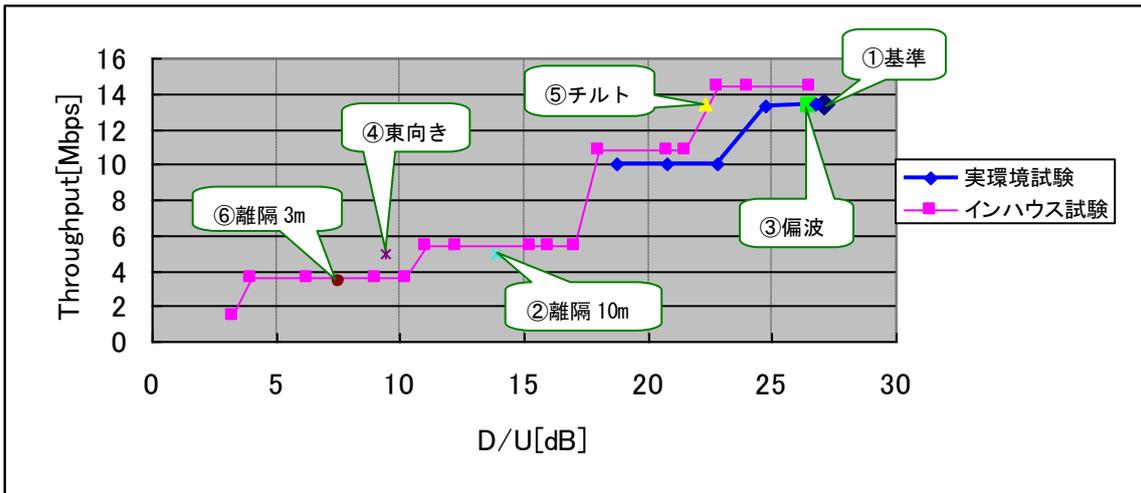


図 4-155 D/U と UDP スループットの関係

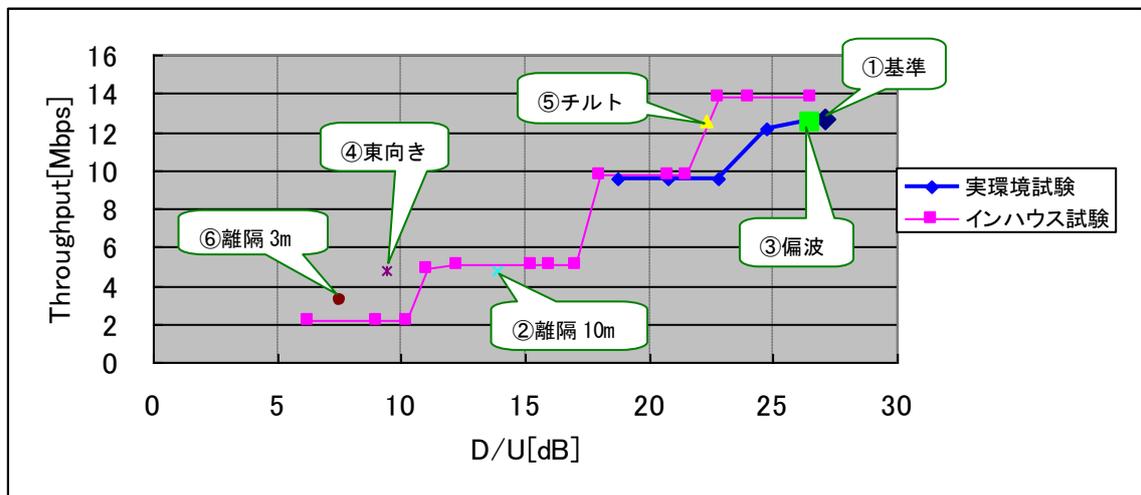


図 4-156 D/U と TCP スループットの関係

カ. アンテナの高さ方向の離隔について

今回の試験では、アンテナの高さ方向の離隔を変化させる試験は実施しなかったが、アンテナの高さを変えることにより、地面からの反射波による干渉量が増減し、また、アンテナの指向特性を利用した干渉調整に効果が期待される。

③加入者端末の通信状況における実用性の検証—インハウス試験と実環境試験の比較

ア. 中継局 BS の下り信号 (DL) に基地局の DL が干渉する場合

本試験における D/U の規定点は、図 4-157 のとおりである。

加入者端末での希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

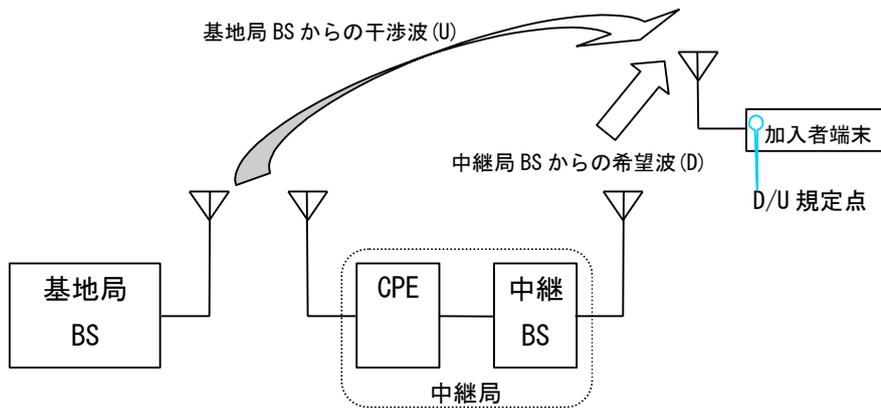


図 4-157 D/U 規定点

加入者端末の通信状況における実用性の検証試験 (DL) において、インハウス試験と実環境試験の加入者端末における D/U と UDP スループットの関係は、図 4-159 のとおりである。

測定場所は、79 ページ 図 4-73 のとおりである。

インハウス試験と実環境試験で、同等のスループットが得られていることが分かる。

スループットが低下するのは、加入者端末がサービス側アンテナでカバーするエリアから基地局のサービスエリアに近づくとき、干渉の影響が大きくなるためである。(図 4-158)

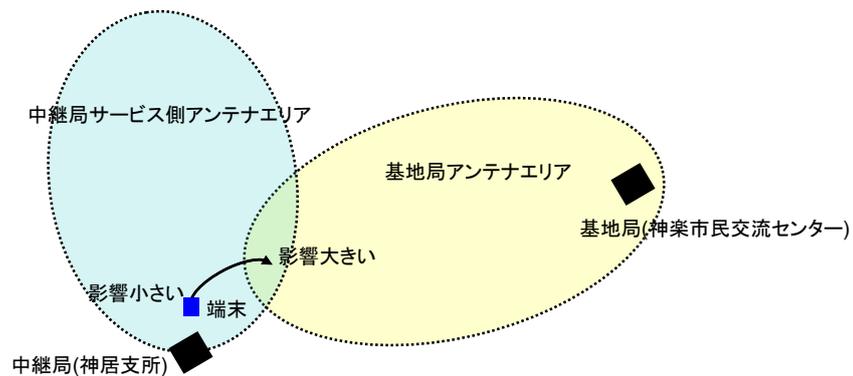


図 4-158 加入者端末の場所による干渉の影響

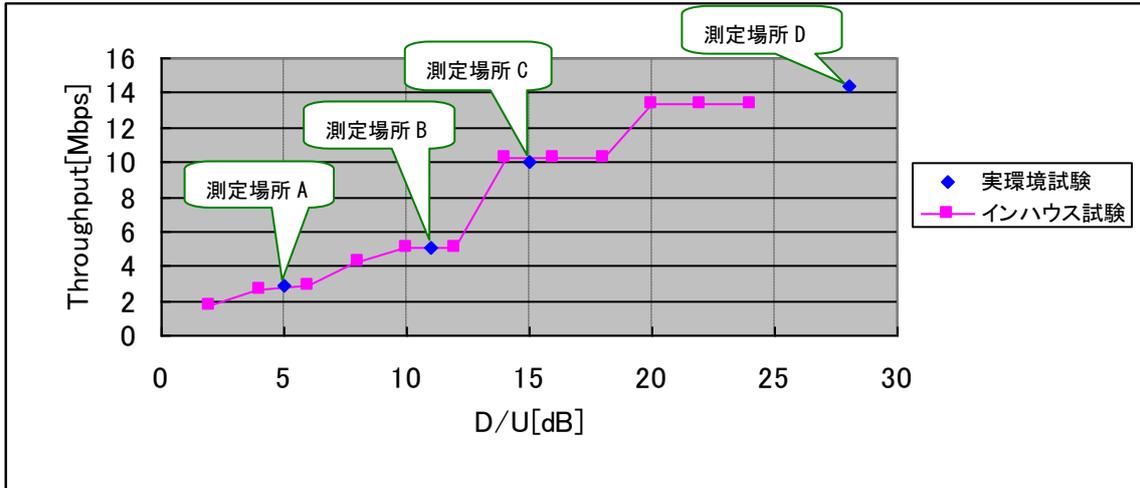


図 4-159 D/U と UDP スループットの関係

また、D/U と TCP スループットの関係は、図 4-160 のとおりである。

TCP スループットもインハウス試験と実環境試験で、同等の特性であることを確認した。

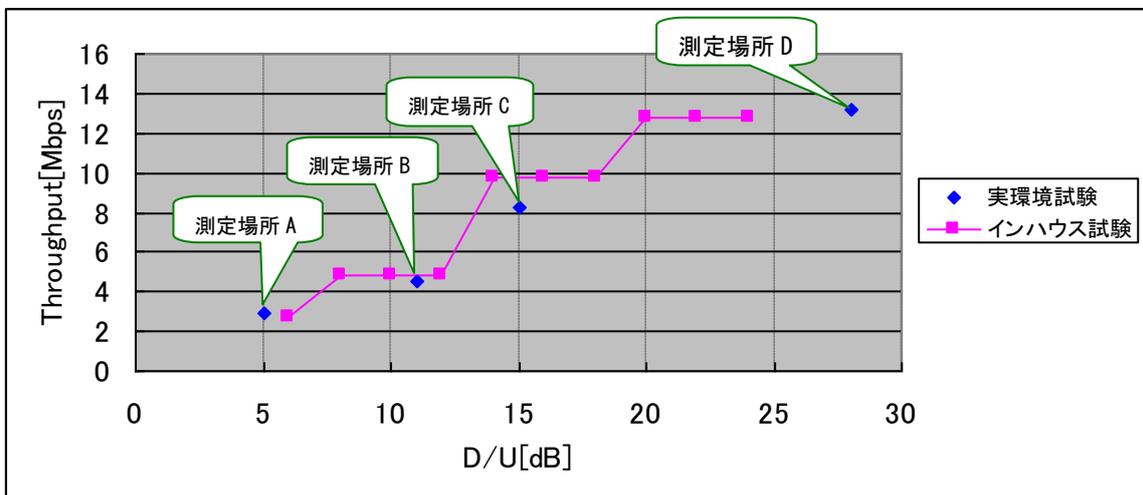


図 4-160 D/U と TCP スループットの関係

イ. 中継局 CPE の上り信号 (UL) が加入者端末の UL に干渉する場合

本試験における D/U の規定点は、図 4-1 6 1 のとおりである。

中継局 BS アンテナ端での希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

なお、インハウス試験では、アンテナは使用せず、各装置間は RF ケーブルで接続している。

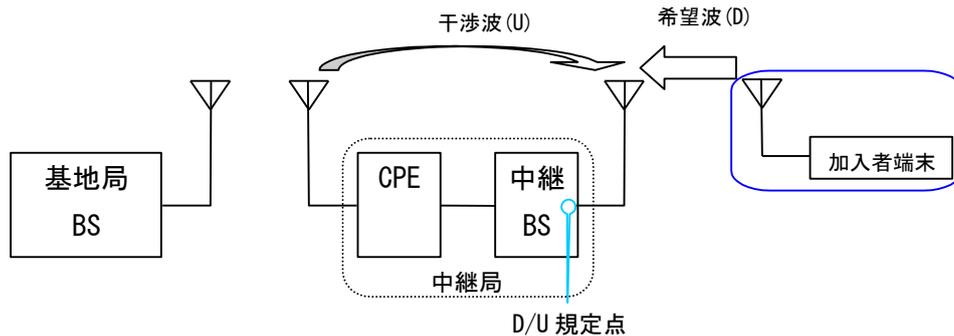


図 4-1 6 1 D/U 規定点

加入者端末の通信状況における実用性の検証試験 (UL) において、インハウス試験と実環境試験の D/U と UL UDP スループットの関係は、図 4-1 6 2 のとおりである。

インハウス試験と実環境試験で概ね特性が一致していることが分かる。

また、D/U と TCP スループットの関係は、図 4-1 6 3 のとおりである。

TCP スループットもインハウス試験と実環境試験で同等の特性であることを確認した。

最大スループットを得るための所要 D/U は、今回の試験では、20dB 以上確保する必要がある。

なお、UL の最大スループットが 3.2Mbps であるのは、DL で使用できるスロット数に比べて UL で使用できるスロット数が少ない設定 (実運用と同一の DL/UL 比 29:18) としたことで、今回の試験で使用する装置の変調方式の上限が、DL が 64QAM2/3 であるのに対して UL は 16QAM1/2 としたためである。

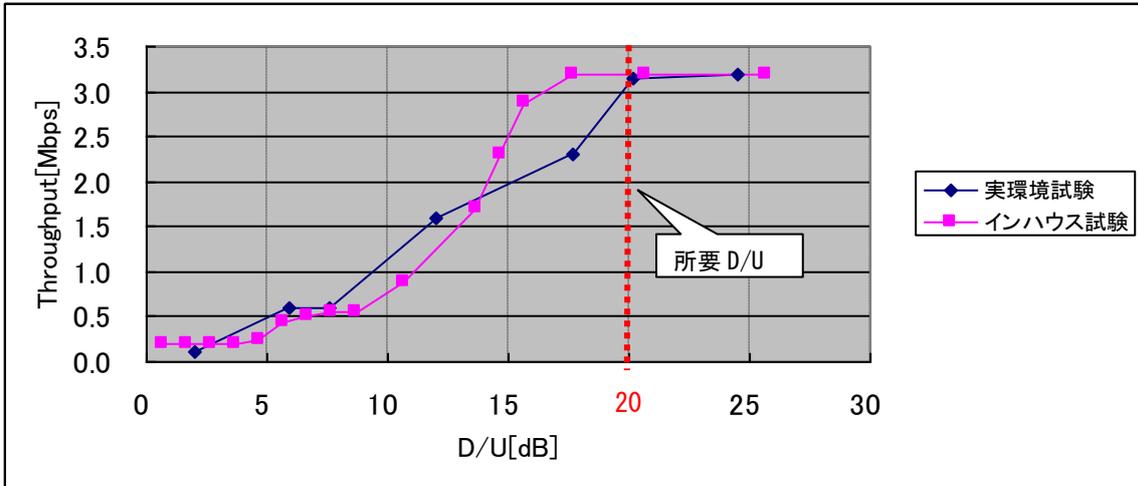


図 4-1 6 2 D/U と UDP スループットの関係

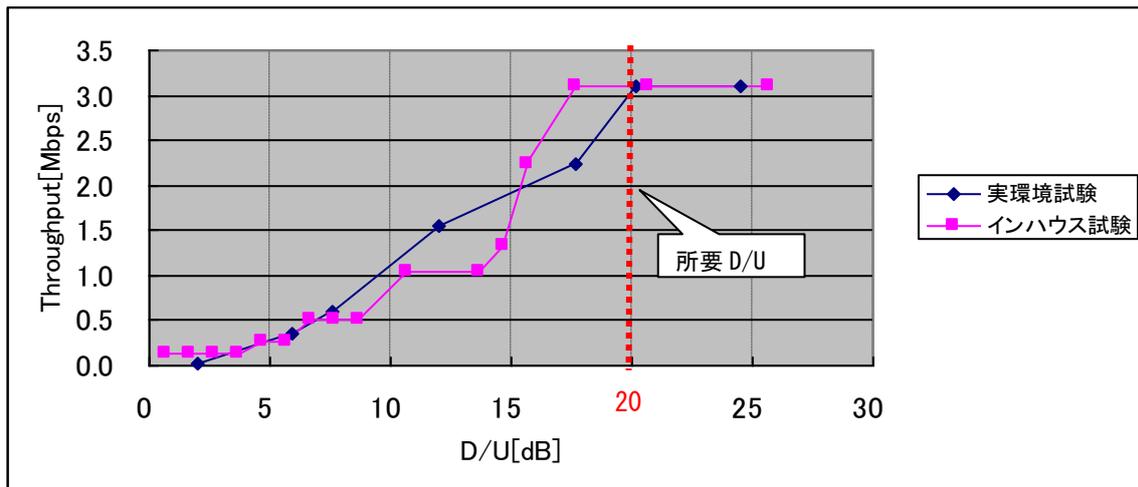


図 4-1 6 3 D/U と TCP スループットの関係

④サブキャリア分割(セグメント化)の有無による干渉回避の検証

本試験における D/U の規定点は、図 4-164 のとおりである。

なお、インハウス試験では、アンテナは使用せず、各装置間は RF ケーブルで接続している。

ドナー側アンテナ(CPE に内蔵)での希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

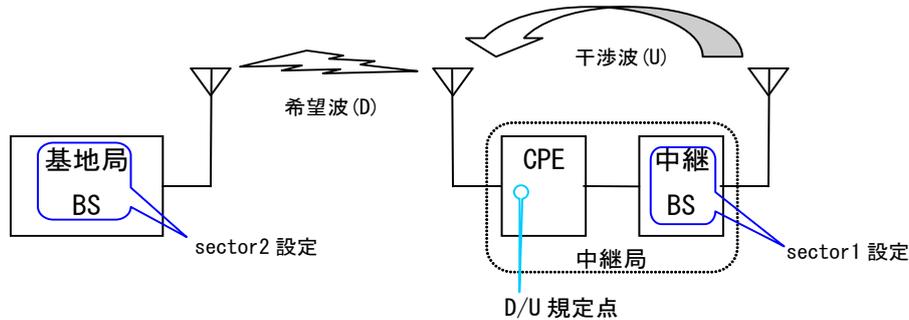


図 4-164 D/U の規定点

再生中継方式のサブキャリア分割(セグメント化)の有無による干渉回避の検証試験において、インハウス試験と実環境試験の CPE における D/U と DL スループットの比較は、図 4-165 及び図 4-166 のとおりである。

サブキャリア分割した場合、物理的な干渉が発生しないので、D/U が悪い状態でもスループットの劣化が発生しない。ただし、最大スループットは、4.2Mbps とサブキャリア分割をしない場合のスループット(約 14Mbps)に対して 3 分の 1 の値となる。これは、サブキャリア分割する際に、30 サブチャネルの内、10 サブチャネルを使用するためである。

実環境試験での D/U が小さいポイントでも、UDP、TCP とともにインハウス試験と実環境試験で同等のスループットが得られている。

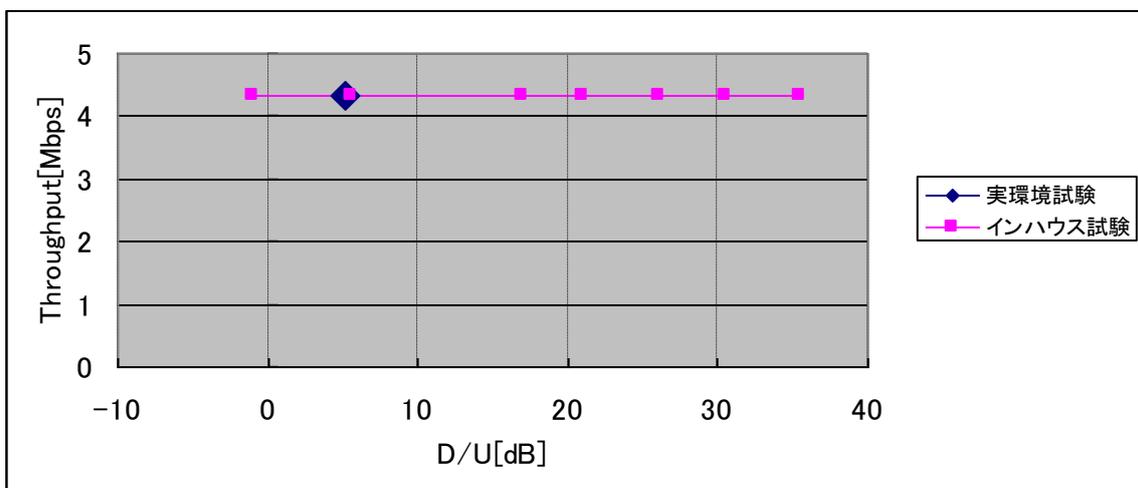


図 4-165 D/U と UDP スループットの関係

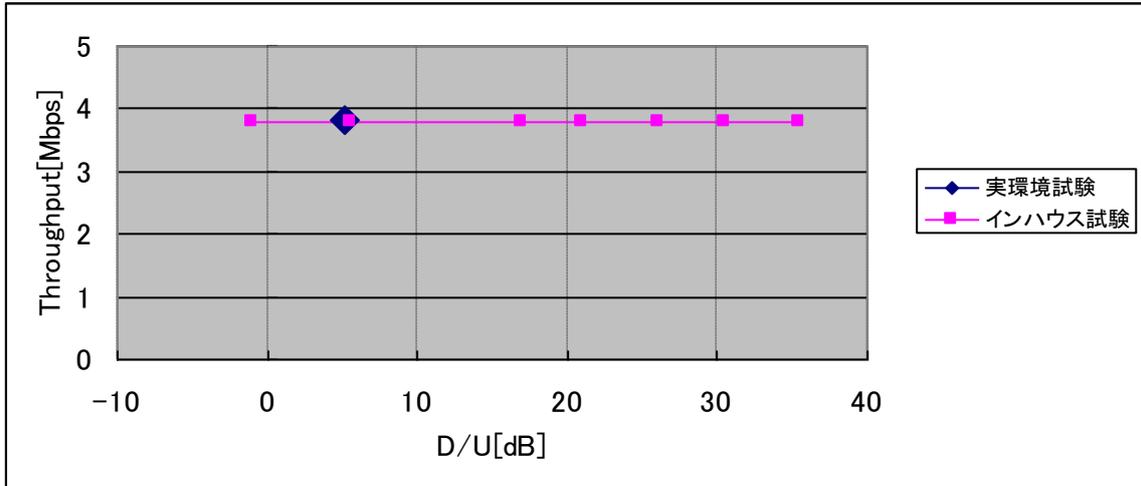


図 4-166 D/U と TCP スループットの関係

(2) 非再生中継方式

①中継局置局のための所要 D/U—インハウス試験と実環境試験の比較

本試験における D/U の規定点は、図 4-167 のとおりである。

ドナー側アンテナでの希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

なお、インハウス試験では、アンテナは使用せず、各装置間は RF ケーブルで接続している。

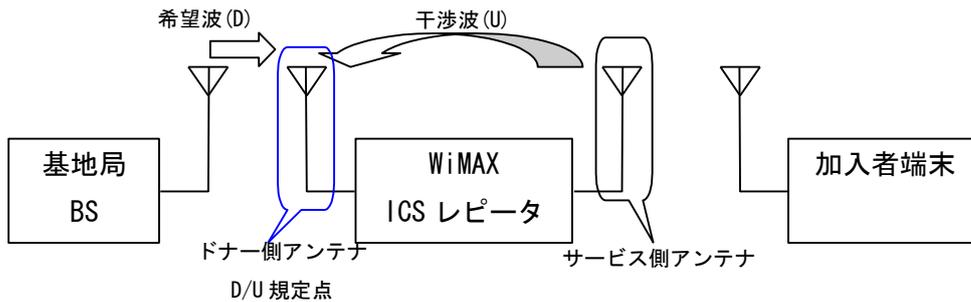


図 4-167 D/U の規定点

ICS ありのレピータを用いた加入者端末における D/U と UDP、TCP スループットの関係は、図 4-168 及び図 4-169 のとおりである。

ICS を搭載した中継装置のため、D/U が悪い状態でもスループットの劣化は発生していない。

実環境試験とインハウス試験では、同等のスループットが得られている。

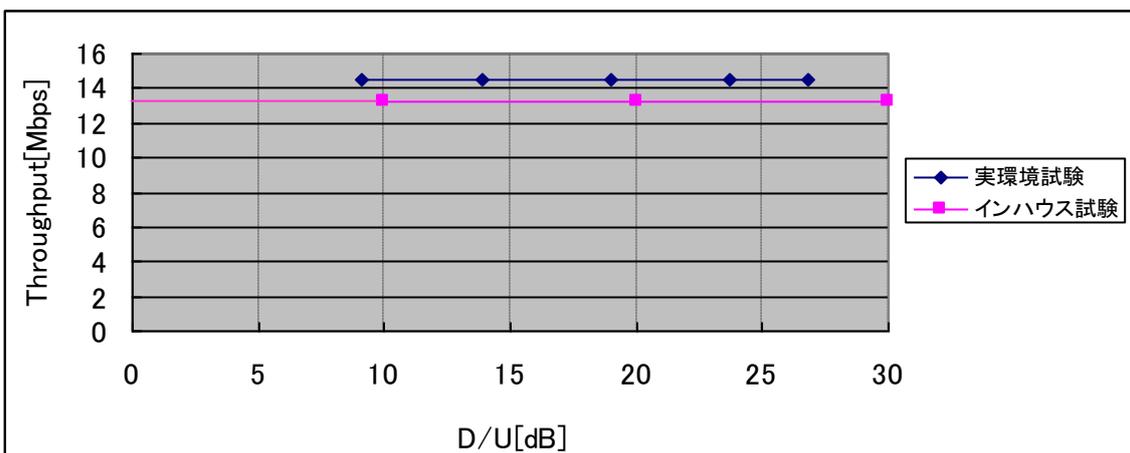


図 4-168 D/U と UDP スループットの関係

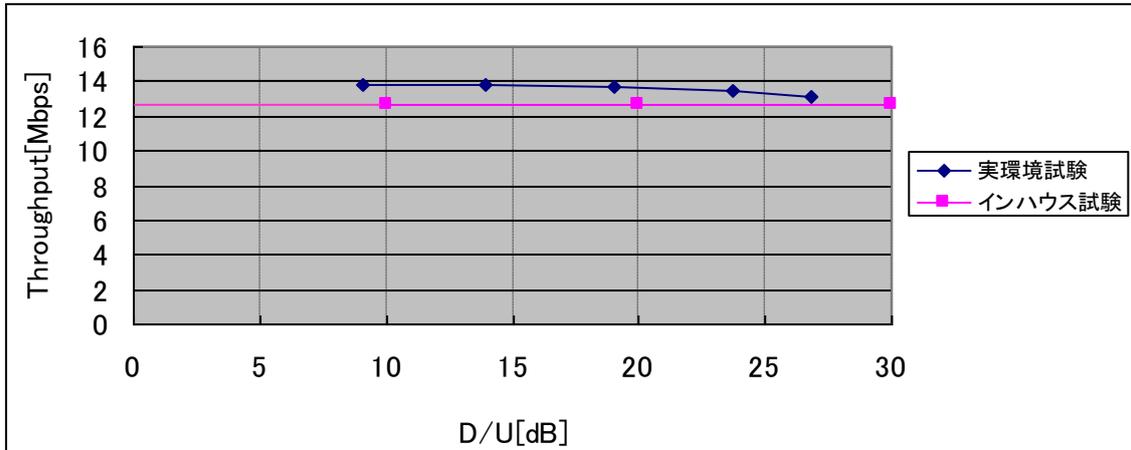


図4-169 D/UとTCPスループットの関係

②アンテナの離隔/方向/チルト/偏波による干渉への影響

本試験におけるD/Uの規定点は、図4-170のとおりである。

ドナー側アンテナでの希望波電力と干渉波電力の比をD/Uと規定する。

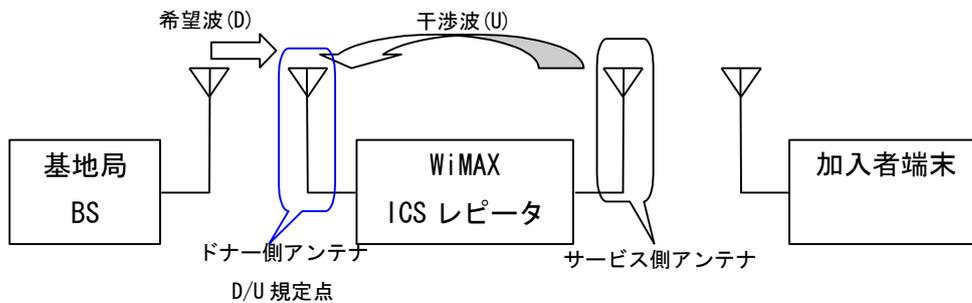


図4-170 D/Uの規定点

非再生中継方式のアンテナの離隔/方向/チルト/偏波による結果は、表4-93のとおりである。

表4-93 アンテナ条件と各測定値との関係

条件番号	アンテナ条件	アンテナ間結合量 [dB]	D/U [dB]	UDP Throughput [Mbps]	TCP Throughput [Mbps]
①	離隔 10.0m(基準)	86.9	26.8	14.5	13.1
②	H 偏波	88.6	28.1	14.5	13.1
③	アンテナ方向 東	79.9	19.4	14.5	13.8
④	チルト角下向き 10°	85.0	24.5	14.4	13.3
⑤	離隔 18.5m	92.9	32.4	14.5	13.8
⑥	離隔 0m ビーム 65°	72.8	12.3	14.4	13.1
⑦	離隔 0m ビーム 10°	81.8	21.3	14.5	13.7

ア. アンテナ離隔による影響

ドナー側アンテナとサービス側アンテナの離隔(0m、10m、18.5m)を変化させると、離隔が大きくなるにつれD/Uは向上する。これは、離隔が大きくなると伝搬損失が大きくなるため、干渉の影響をより受けにくくなるためである。

ただし、ICSが機能しているためスループットへの影響はない。

イ. アンテナの方向による影響

サービス側アンテナを東に向けた場合に大きく D/U が低下するのは、ドナー側アンテナの方向となるため干渉の影響が大きくなったためと考えられる。(図 4-1 7 1)

ただし、ICS が機能しているためスループットへの影響はない。

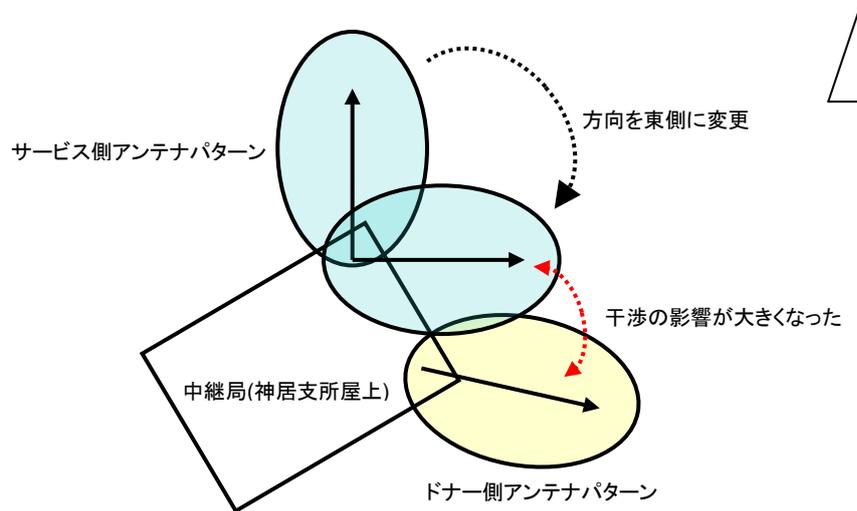


図 4-1 7 1 アンテナ方向による干渉の影響

ウ. アンテナのチルトによる影響

サービス側のアンテナのチルト角を下向きに設定した場合には、D/U が 2.3dB 小さくなった。この原因としては、次のことが考えられる。

- ・ アンテナの角度を変更することにより、アンテナ背面からの輻射量が変化した
- ・ チルト角を下向きに設定したことにより、電波が地面方向に強く放射されるため、それに伴い地面からの反射波も強くなった

ただし、ICS が機能しているためスループットへの影響はない。

エ. アンテナのビームによる影響

ドナー側にビーム角 10° のアンテナを採用すると、アンテナ間の干渉の影響が低下するため、D/Uが9dB改善している。

ただし、ICSが機能しているためスループットへの影響はない。(図4-172)

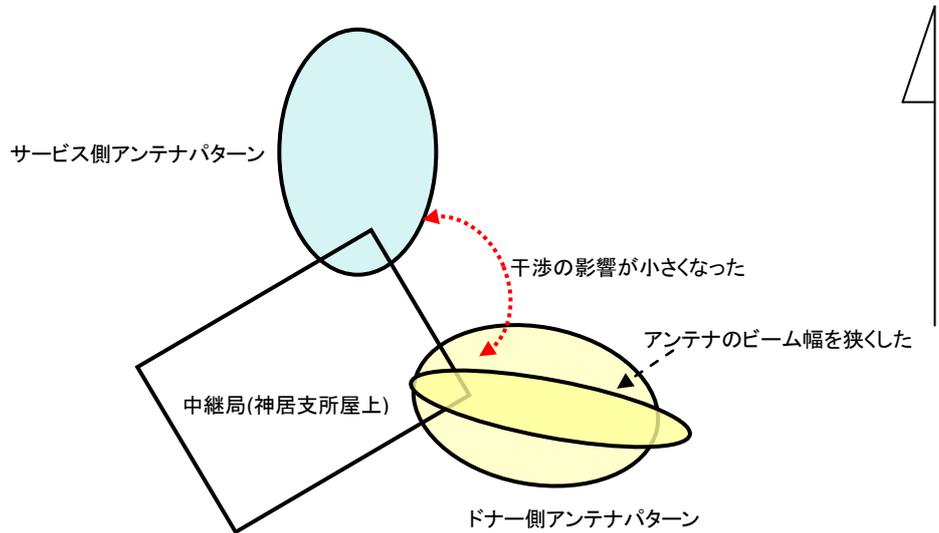


図4-172 アンテナのビーム幅による干渉の影響

オ. アンテナ条件と D/U、スループットの関係

各アンテナ条件での D/U と UDP、TCP スループットの関係は、図 4-1 7 3 及び図 4-1 7 4 のとおりであり、インハウス試験で取得した D/U とスループットの関係と概ね一致することを確認した。なお、ICS が機能しているためスループットへの影響はない。

また、UDP と TCP は、同等の特性であることを確認した。

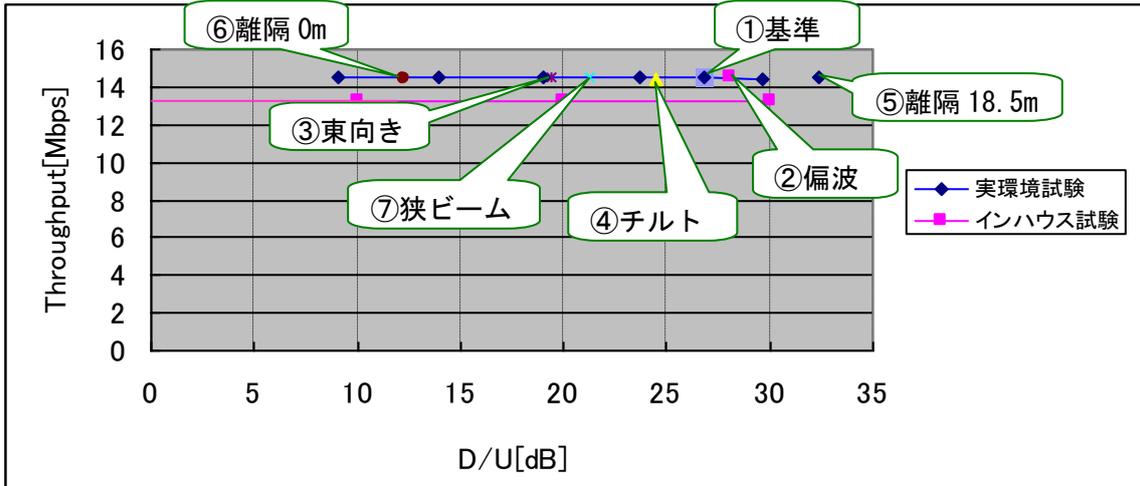


図 4-1 7 3 D/U と UDP スループットの関係

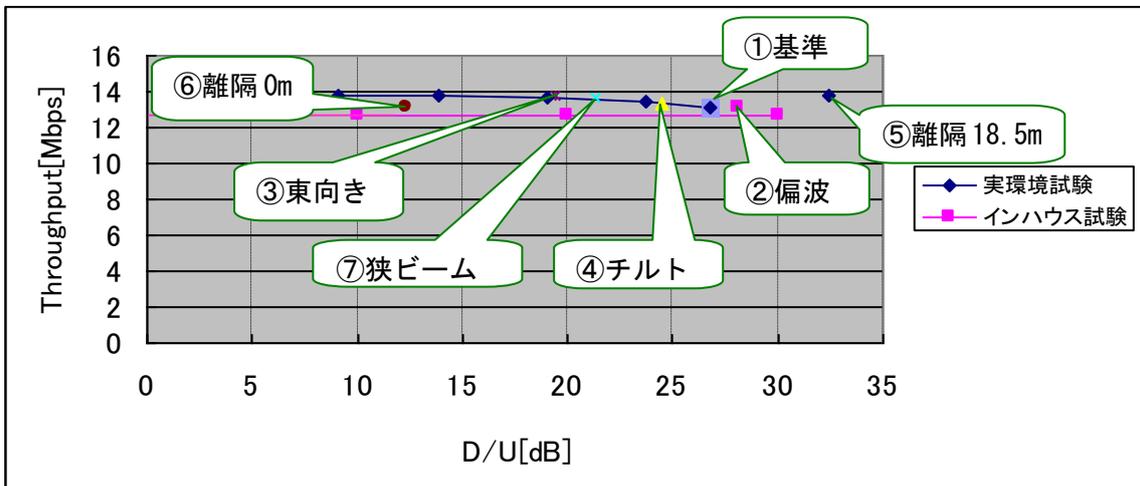


図 4-1 7 4 D/U と TCP スループットの関係

カ. アンテナの高さ方向の離隔について

今回の試験では、アンテナの高さ方向の離隔を変化させる試験は実施しなかったが、アンテナの高さを変えることにより、地面からの反射波による干渉量が増減し、また、アンテナの指向特性を利用した干渉調整に効果が期待される。

ただし、ICS が機能しているためスループットへの影響はないと考えられる。

③加入者端末の通信状況における実用性の検証—インハウス試験と実環境試験の比較

ア. 中継局 BS の下り信号 (DL) に基地局の DL が干渉する場合

本試験では、ICS ありの場合のみ実施した。

本試験における D/U の規定点は、図 4-175 のとおりである。

加入者端末での希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

なお、インハウス試験では、アンテナは使用せず、各装置間は RF ケーブルで接続している。

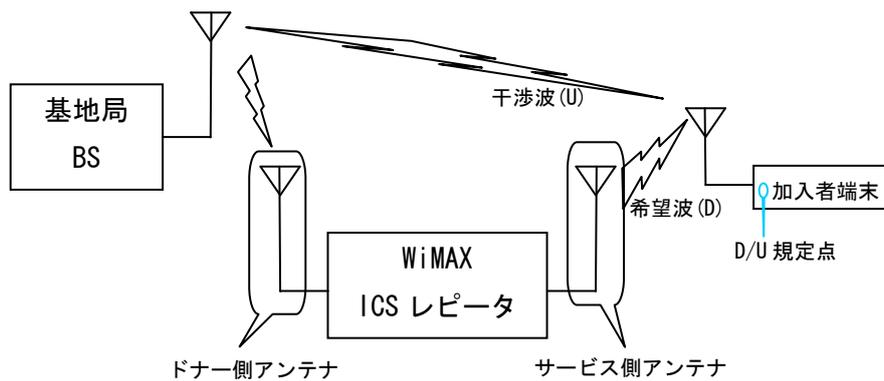


図 4-175 D/U の規定点

インハウス試験と実環境試験の加入者端末におけるの D/U と DL スループットの関係は、図 4-176 及び図 4-177 のとおりである。

UDP、TCP とともにスループット 10Mbps 付近で 5dB 程度の差があるものの、概ねインハウス試験、実環境試験で同等の特性となっている。

D/U=20dB であれば、最大のスループットが得られることが分かる。

図 4-177 の TCP スループットのインハウス試験において、D/U=0dB 付近は TCP パケットが通らず測定不能であった。

UDP に比べて TCP スループットの落ち込みが顕著なことから、D/U=0dB 付近では、干渉波の影響により TCP レイヤーの再送処理に時間がかかっていると推測される。

D/U が 0dB 以下になると基地局側の信号が強くなることから、中継局ではなく基地局と通信するようになるため、徐々にスループットが改善する。

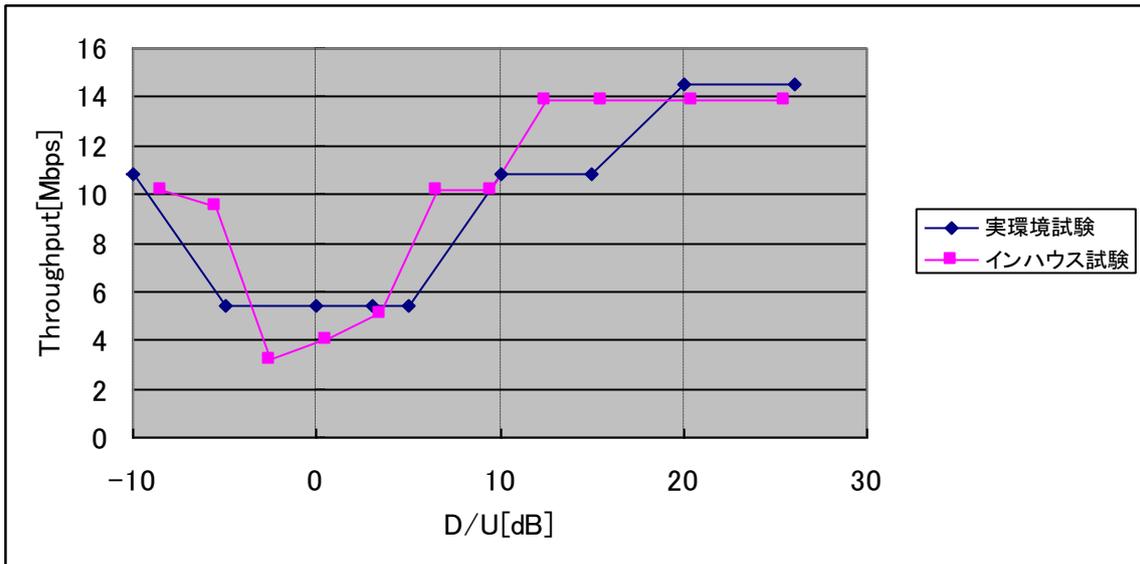


図 4-176 D/U と UDP スループットの関係

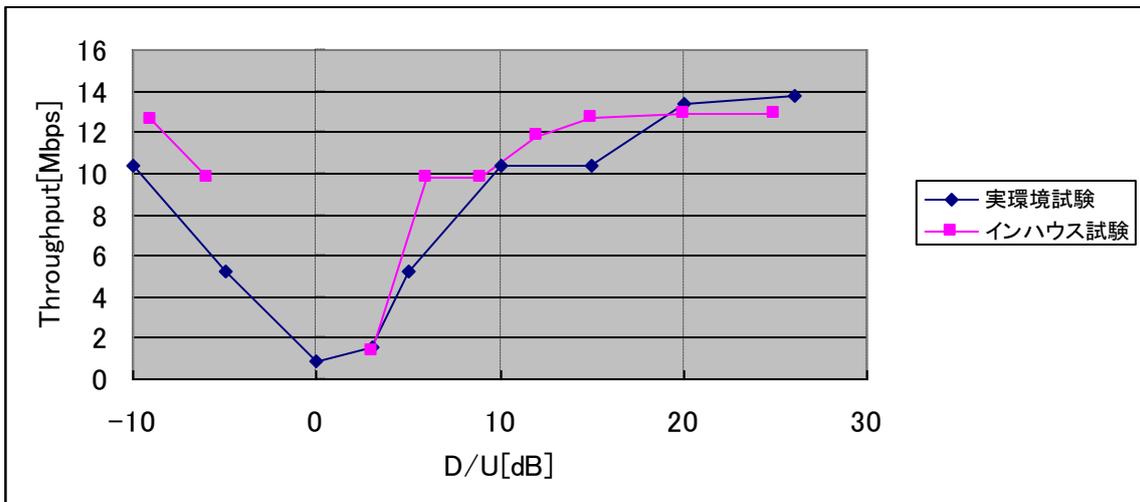


図 4-177 D/U と TCP スループットの関係

イ. 中継局の上り信号(UL)が加入者端末のULに干渉する場合

本試験におけるD/Uの規定点は、図4-178のとおりである。

中継局BSアンテナ端での希望波電力と干渉波電力の比をD/Uと規定する。

本試験はインハウス試験のみ実施したので、アンテナは使用せず、各装置間はRFケーブルで接続している。

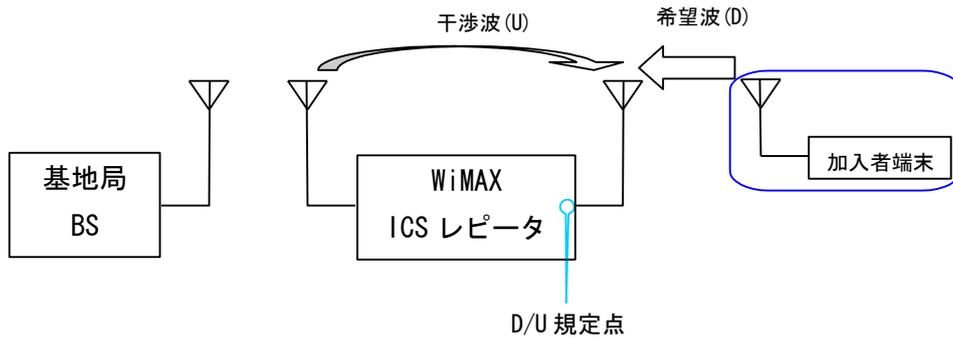


図4-178 D/Uの規定点

D/UとULスループットの関係は、図4-179及び図4-180のとおりである。

D/Uが6.5dBまでは、スループットが安定している。これは、非再生中継方式であるため干渉波の遅延量が、シンボルの許容遅延時間以内であり、シンボル間干渉による影響が少ないためと考えられる。D/Uが5dB付近で急激にスループットが低下しているのは、ICSなしでの試験であるため、発振していると考えられる。

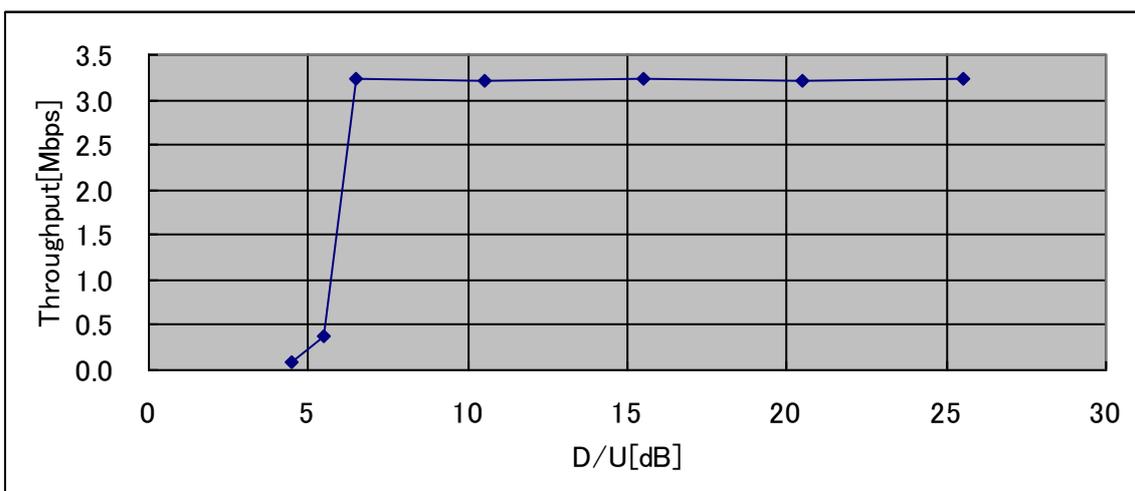


図4-179 D/UとUDPスループットの関係

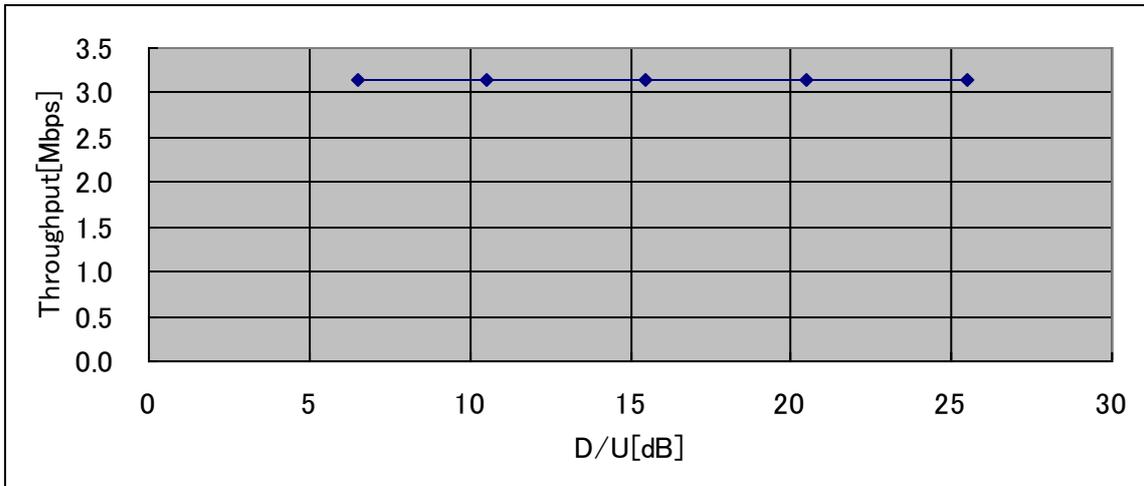


図4-180 D/UとTCPスループットの関係

④非再生中継方式におけるICSありとICSなしの比較

本試験におけるD/Uの想定する規定点は、図4-181のとおりである。

ドナー側アンテナでの希望波電力と干渉波電力の比をD/Uと規定する。

なお、インハウス試験では、アンテナは使用せず、各装置間はRFケーブルで接続している。

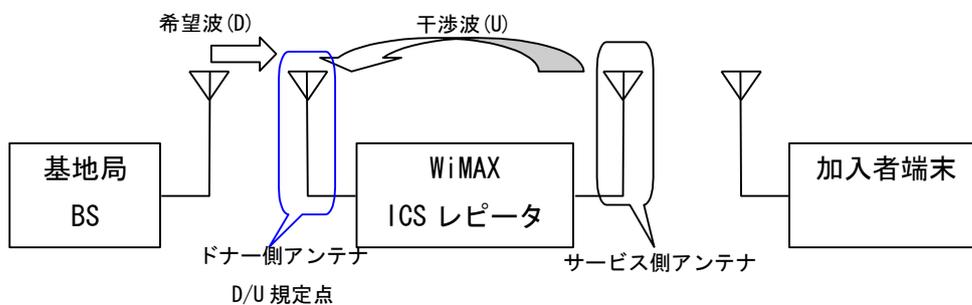


図4-181 D/Uの規定点

非再生中継方式(ICSなし)のインハウス試験でのD/UとUDPスループットの関係は、図4-182のとおりである。

また、非再生中継方式(ICSあり)のD/UとUDPスループットの関係は、図4-183のとおりである。

ICSなしの非再生中継では、今回の試験では、D/Uが15dB以上で干渉の影響がなく、最大スループットが得られている。ICS機能を搭載している装置を使用すると、干渉波の影響が軽減されてD/U=0dBでも最大のスループットが得られることを確認した。

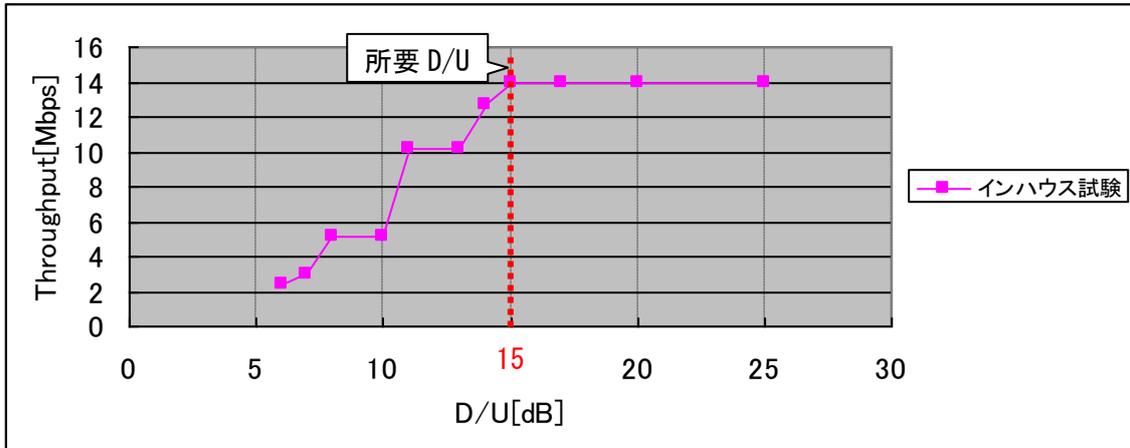


図 4-182 D/U と UDP スループットの関係 (ICS なし)

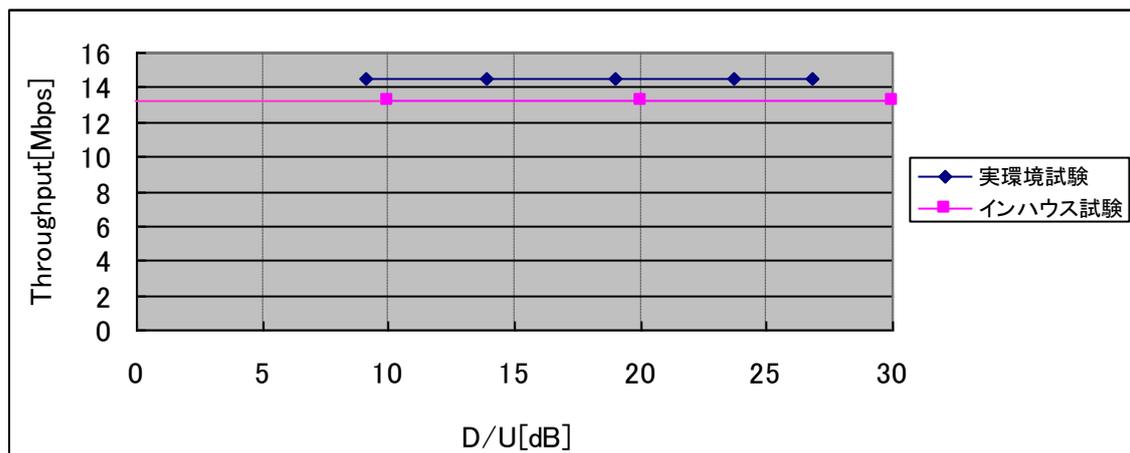


図 4-183 D/U と UDP スループットの関係 (ICS あり)

⑤ ICS を搭載していない非再生中継方式を使用する際の留意点

本試験における D/U の想定する規定点は、図 4-184 のとおりである。

ドナー側アンテナでの希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

なお、本試験では、インハウス試験のみ実施し、アンテナは使用せず、各装置間は RF ケーブルで接続している。

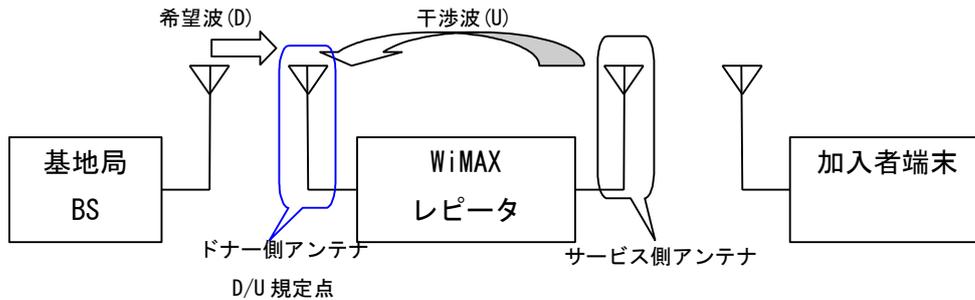


図 4-184 D/U の規定点

インハウス試験で測定した ICS なしの場合の加入者端末における D/U と DL UDP スループットの関係と、実環境試験 (離隔 10m) で測定したレピータゲインと D/U の関係は、図 4-185 のとおりである。

この図から、ICS なしの非再生中継方式を使用する際には、今回の条件では、離隔 10m で、D/U が 15dB 以上確保できるため、レピータゲインを 80dB としても最大のスループットが得られることが分かる。

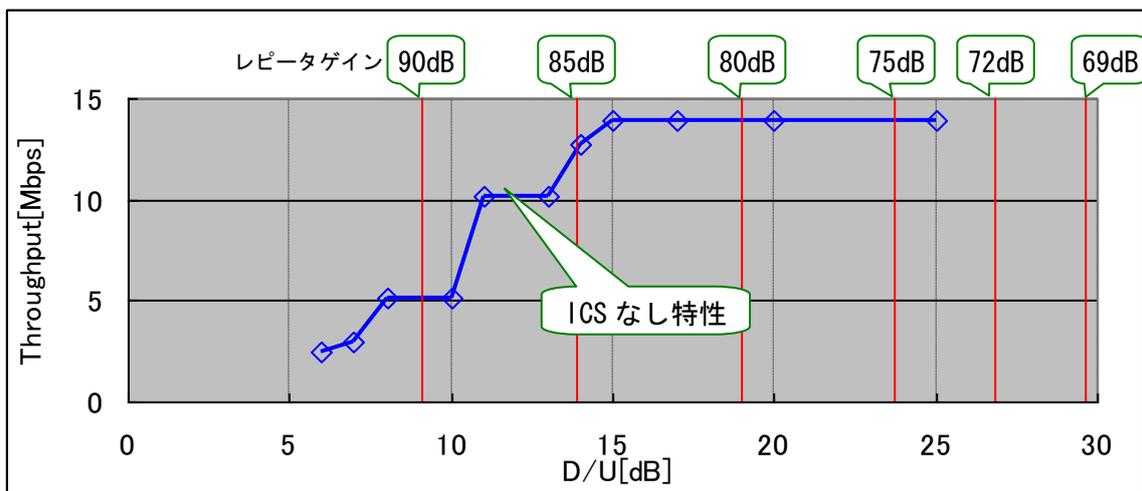


図 4-185 D/U と UDP スループットの関係 (ICS なし・レピータゲインを変化)

また、「アンテナの離隔等による干渉への影響」の結果から、今回の条件では、アンテナ離隔を 18.5m かつ H 偏波とすれば、D/U を 6.9dB 改善できるため、ICS なしの非再生中継でレピータゲインを 90dB に設定しても最大のスループットが得られることがわかる（図 4-1 8 6 参照）。さらに、狭ビームアンテナを使用することにより、今回の条件では、D/U が 9dB 改善される。

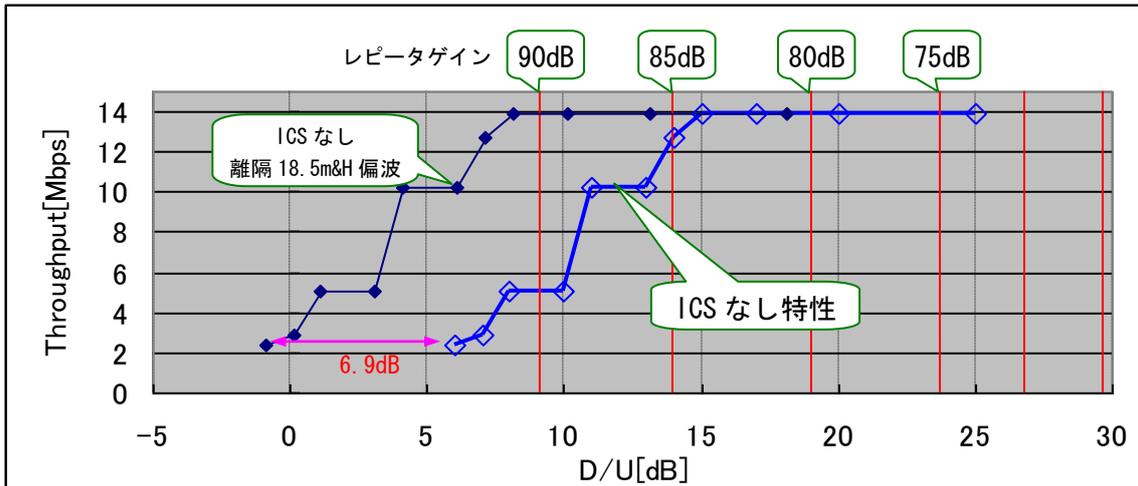


図 4-1 8 6 D/U と UDP スループットの関係 (ICS なし・アンテナ離隔 18.5m & H 偏波)

(3) 再生中継方式と非再生中継方式の比較

①再生中継方式と非再生中継方式(ICSなし)の比較

本試験では、ドナー側アンテナでの希望波電力と干渉波電力の比をD/Uと規定する。
非再生中継方式(ICSなし)のD/UとUDPスループットの関係は図4-187のとおりである。

また、再生中継方式のD/UとUDPスループットの関係は図4-188のとおりである。

非再生中継方式(ICSなし)と再生中継方式のD/Uとスループットの関係と比較すると、最大のスループットが得られるD/Uは、今回の試験では、非再生中継方式の方が再生中継方式よりも約8dB低くなっている。これは、非再生中継方式の干渉波は、数 μ s程度のシンボルの許容遅延時間以内の遅延であるため、シンボル間干渉による影響が小さいと考えられる。

一方、再生中継方式の再送信波は、100ms程度遅延するために、干渉の影響が大きくなると考えられる。

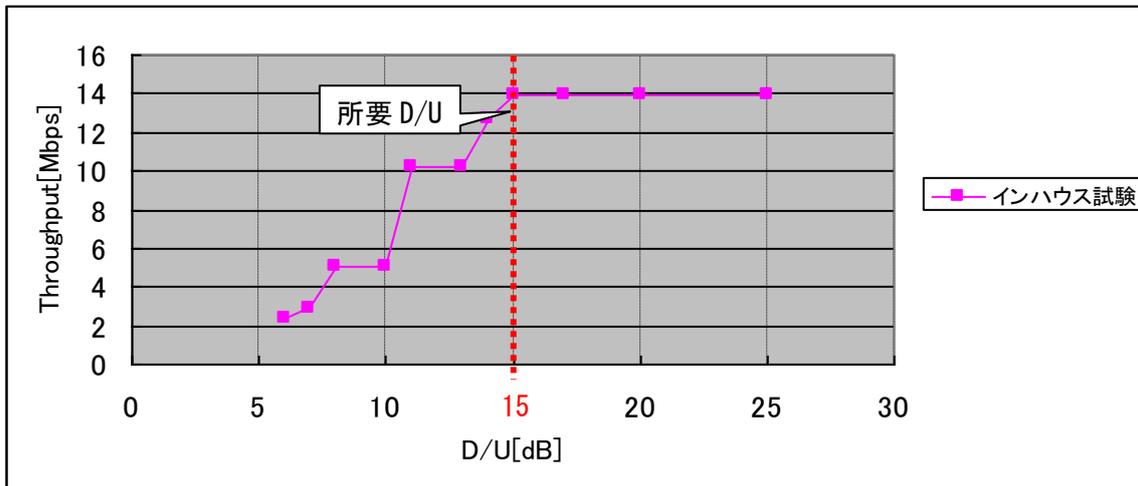


図4-187 非再生中継方式(ICSなし)のD/UとUDPスループットの関係

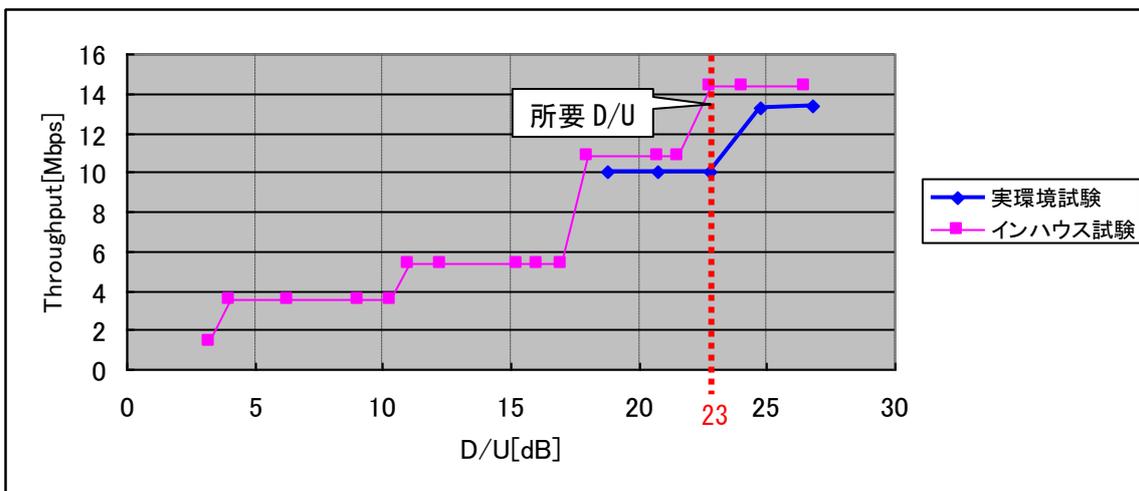


図4-188 再生中継方式のD/UとUDPスループットの関係

②アンテナ条件の比較

再生中継方式のアンテナ条件と各測定値との関係は、表4-94のとおりである。

また、非再生中継方式のアンテナ条件と各測定値との関係は、表4-95のとおりである。

偏波面の変更以外は、再生中継方式、非再生中継方式いずれの場合も、アンテナ条件を変更することによる特性の変化は同等である。

偏波面を変更した場合に違いが生じているのは、ドナー側アンテナとして再生中継方式ではCPE内蔵のアンテナを用いているのに対し、非再生中継方式ではセクタアンテナを用いており、両者の指向特性が異なるためと考えられる。

表4-94 アンテナ条件と各測定値との関係(再生中継方式)

条件番号	アンテナ条件	アンテナ間結合量[dB]	基準との差[dB]
①	基準(離隔 18.5m)	109.6	—
②	離隔 10m	96.4	-13.2
③	偏波 H	109.0	-0.6
④	東向き 90°	91.9	-17.7
⑤	チルト下向き 10°	104.8	-4.8
⑥	離隔 3m	90.0	-19.6

表4-95 アンテナ条件と各測定値との関係(非再生中継方式)

条件番号	アンテナ条件	アンテナ間結合量[dB]	基準との差[dB]
①	基準(離隔 10.0m)	86.9	—
②	H 偏波	88.6	1.7
③	東向き 90°	79.9	-7.0
④	チルト下向き 10°	85.0	-1.9
⑤	離隔 18.5m	92.9	6.0
⑥	離隔 0m	72.8	-14.1
⑦	狭ビーム(離隔 0m)	81.8	-5.1

③加入者端末における干渉の影響の比較

ア. 中継局 BS の下り信号 (DL) に基地局の DL が干渉する場合

本試験では、加入者端末での希望波電力と干渉波電力の比を D/U と規定する。

再生中継方式の D/U と UDP スループットの関係は、図 4-189 のとおりである。

また、非再生中継方式の D/U と UDP スループットの関係は、図 4-190 のとおりである。

基地局と中継局の電波が受信できるエリアでは、その干渉の影響によりスループットが劣化する。基地局と中継局の電波が等量に受信する地点が最も影響を受けていることが分かる。

今回の試験では、再生中継方式、非再生中継方式ともに D/U=20dB 以上で最大スループットを得ることができている。

なお、非再生中継方式では、干渉波の遅延量はシンボルの許容遅延時間以内なので理論的には干渉の影響はないが、実際にはスループットが低下する現象が見られた。考えられる原因としては、加入者端末の受信性能によるものと思われる。

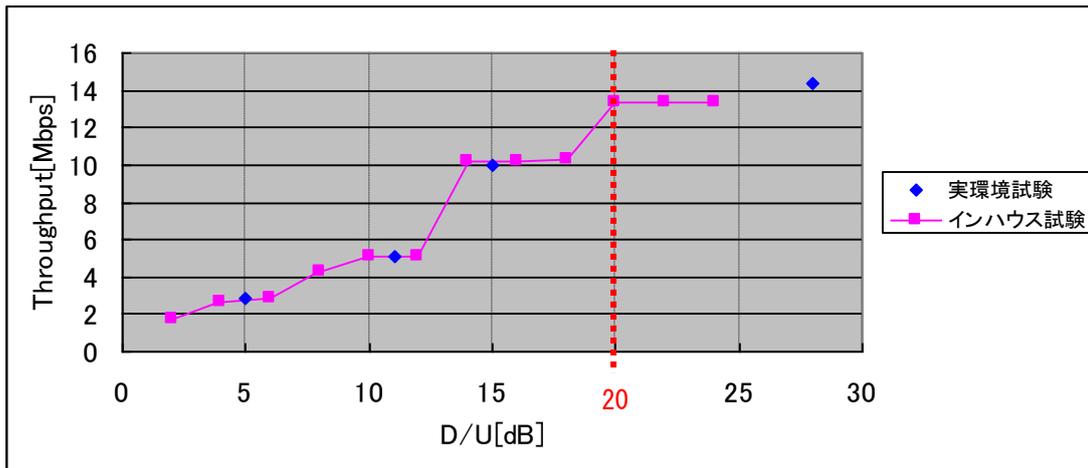


図 4-189 再生中継方式の D/U と UDP スループットの関係

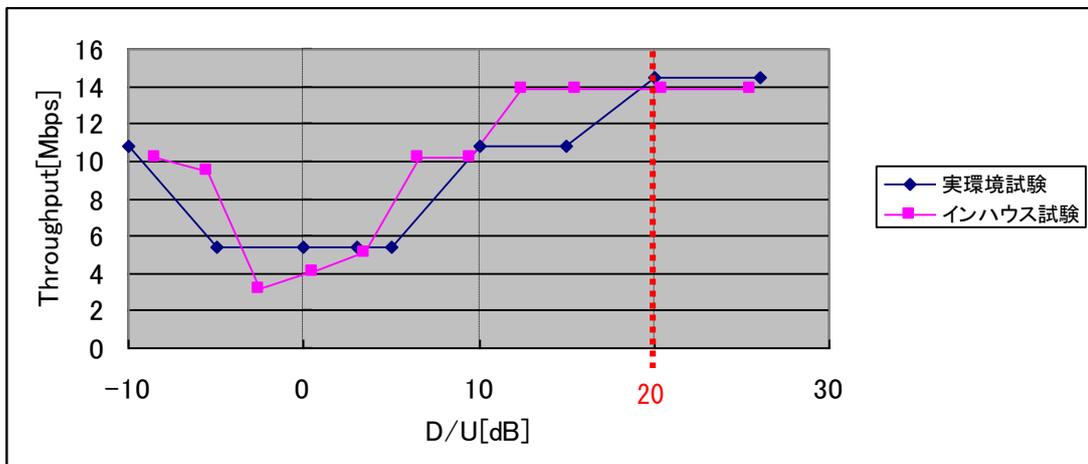


図 4-190 非再生中継方式の D/U と UDP スループットの関係

イ. 中継局の上り信号(UL)が加入者端末のULに干渉する場合

再生中継方式のD/UとUDPスループットの関係は、図4-191のとおりである。

また、非再生中継方式(ICSなし)のD/UとUDPスループットの関係は、図4-192のとおりである。

再生中継方式と非再生中継方式のD/Uとスループットの関係を比較すると、最大のスループットが得られるD/Uは、今回の試験では、非再生中継方式の方が再生中継方式よりも約10dB低くなっている。これは、非再生中継方式の干渉波は、数 μ s程度のシンボルの許容遅延時間以内の遅延であるため、シンボル間干渉による影響が小さいと考えられる。

一方、再生中継方式の再送信波は、100ms程度遅延するために、干渉の影響が大きくなると考えられる。

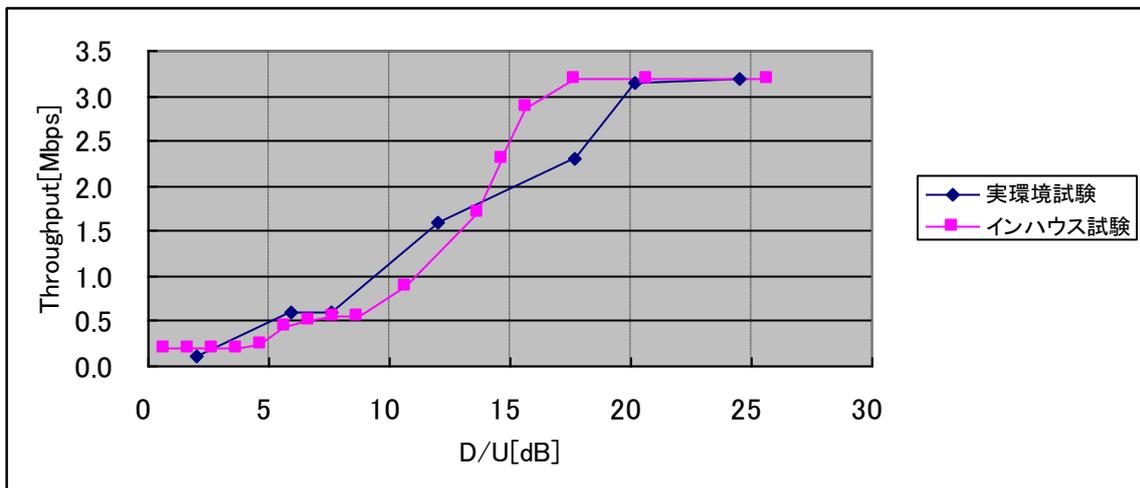


図4-191 再生中継方式のD/UとUDPスループットの関係

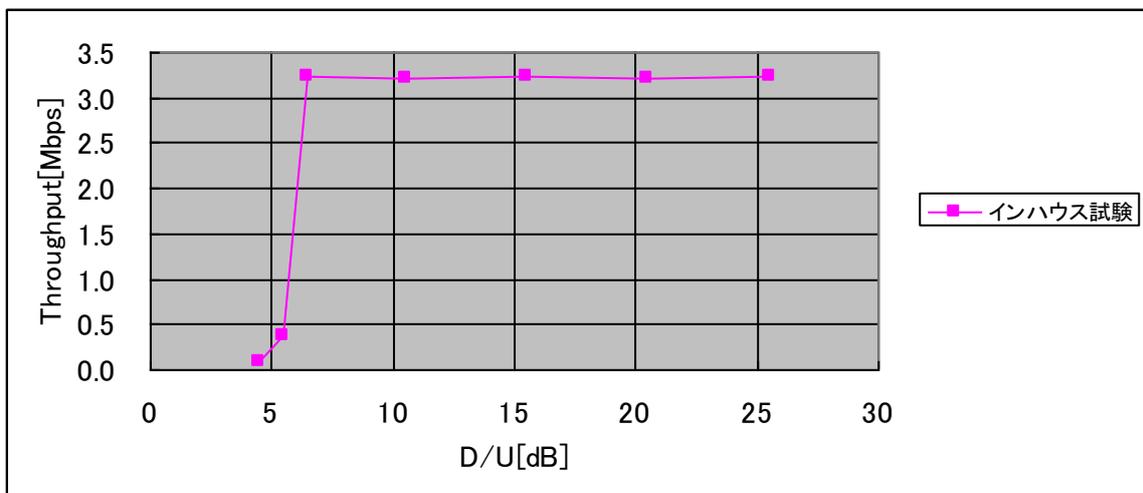


図4-192 非再生中継方式(ICSなし)のD/UとUDPスループットの関係

(4) 非再生中継方式レピータの帯域外増幅度に関する検討

地域 WiMAX 用の非再生中継方式では、信号品質の劣化が蓄積されるために、隣接システムへの妨害を除去する必要がある。また、帯域外の信号を増幅すると、他の通信システムとの電波干渉が問題となる。そこで、地域 WiMAX に隣接している帯域での利得を測定し帯域外増幅度について検討する。

今回は、UQ コミュニケーション社の WiMAX 帯域は、ガードバンドが 3MHz と狭いことから測定の対象とした。

一方、Wireless City Planning 社の XGP 帯域においては、ガードバンドが 7MHz あり、また本試験実施場所で商用サービスを開始していない状況から、今回は測定から除外した。

各帯域の構成は、図 4-193 のとおりである。

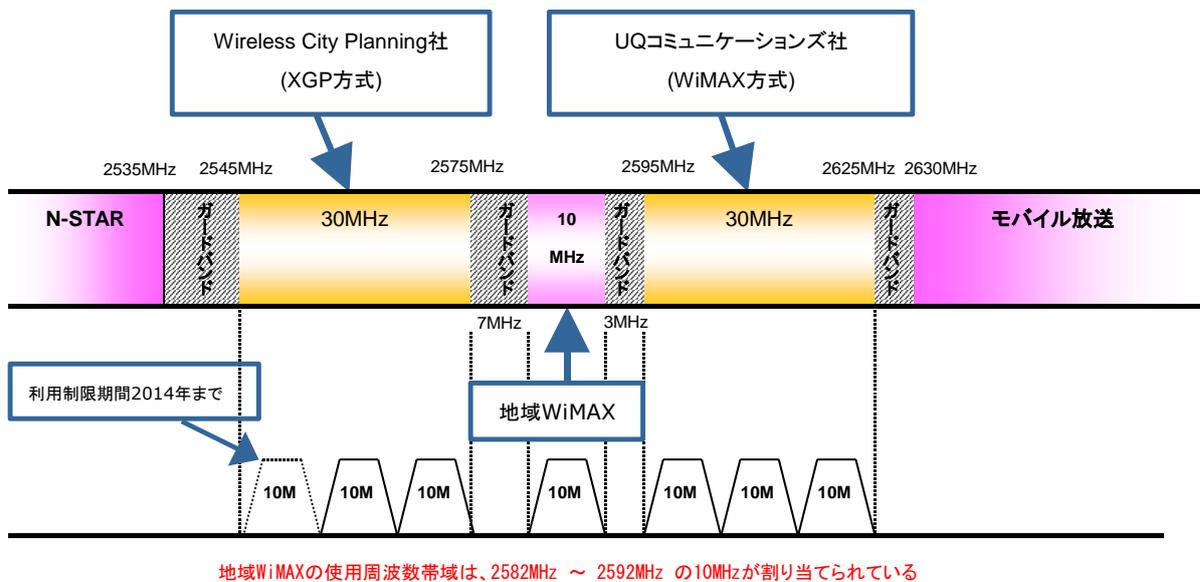


図 4-193 2.5GHz 通信システムの電波使用帯域

①帯域外増幅度の測定方法

ア. 非再生中継局の下り信号 (DL)

DL の試験構成図は、図 4-194 のとおりである。

測定系は基地局(BS)、信号発生器(SG)、WiMAX 非再生中継局、帯域除去フィルタ(BRF)及びスペクトラムアナライザ(SA)で構成される。WiMAX レピータは、BS のプリアンプルを検出して動作するため BS を接続する必要がある。

また、スペクトラムアナライザの測定範囲を広く取るために、BS の出力レベルは WiMAX 非再生中継局が動作する最低のレベルとし、WiMAX 非再生中継局の出力に帯域除去フィルタを挿入して地域 WiMAX 信号を低下させている。

信号発生器から -50dBm で無変調連続波(CW:Continuous Wave)を出力し、 2587MHz から 2630MHz まで 2MHz ステップで周波数を変化させてスペクトラムアナライザにて信号レベルを測定した。測定した結果に BRF 特性(図 4-195)を考慮してグラフを作成した。

なお、各機材の説明は、表 4-96 のとおりである。

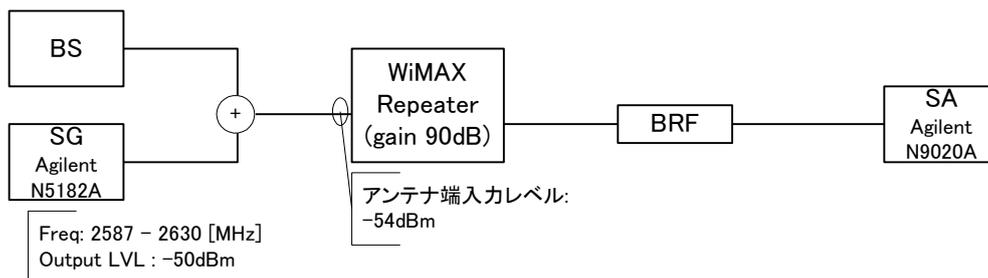


図 4-194 試験構成図(DL)

表 4-96 各機材の説明

機材	説明
BS	プリアンプル、報知情報を送信
信号発生器 Agilent N5182A	CW, 出力 -50dBm , ケーブルロス 4dB
WiMAX レピータ	最大ゲイン 90dB を設定
BRF	地域 WiMAX 帯域近傍でのスペアナの飽和を防ぐ帯域除去フィルタ
スペクトラムアナライザ Agilent N9020A	信号電力を測定

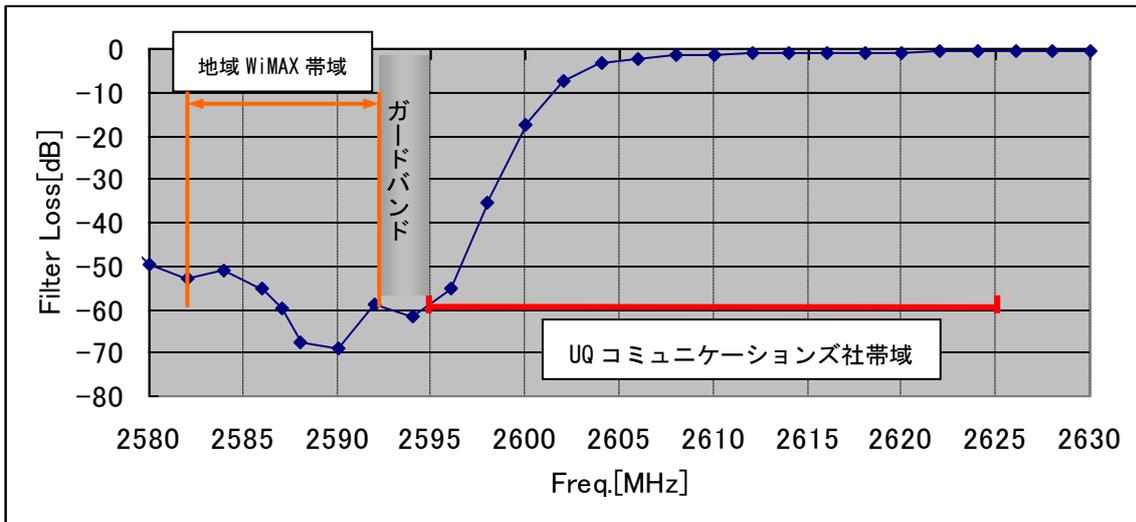


図 4-195 BRF 特性

イ. 非再生中継局の上り信号 (UL)

UL の試験構成図は、図 4-196 のとおりである。

構成機器は DL と同様であるが、UL を測定するために信号発生器とスペクトラムアナライザ、帯域除去フィルタの接続を変更している。

信号発生器から -30dBm で無変調連続波を出力し、2587MHz から 2630MHz まで周波数を変化させてスペクトラムアナライザで受信レベルを測定した。測定した結果に BRF 特性(図 4-195)を考慮してグラフを作成した。

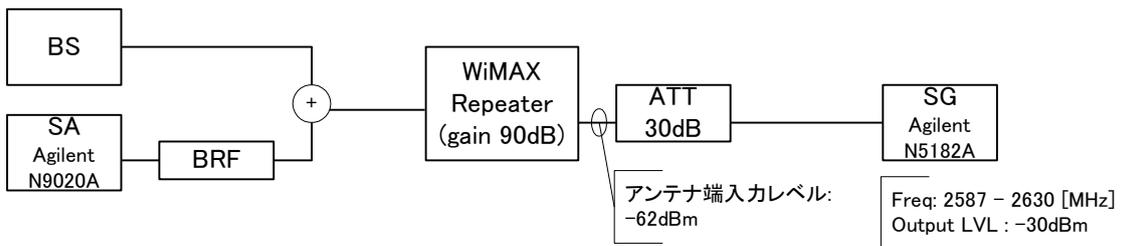


図 4-196 試験構成図 (UL)

②帯域外増幅度の測定結果

ア. 非再生中継局の下り信号 (DL)

信号発生器からの信号は、非再生中継局の入力端で -54dBm で入力し、この信号を 2594MHz から 2MHz おきに非再生中継局へ入力した時の非再生中継局の出力の測定結果は、図4-197のとおりである。

地域 WiMAX 帯域内では増幅されているが(10MHz 帯域換算で 90dB)、UQ コミュニケーションズ社の帯域内では非再生中継局出力は $-68\text{dBm}/\text{MHz}$ から $-89\text{dBm}/\text{MHz}$ 程度であり、増幅しておらず、 14dB から 35dB の損失を持って出力されているため、UQ コミュニケーションズ社の帯域に影響を与えていない。

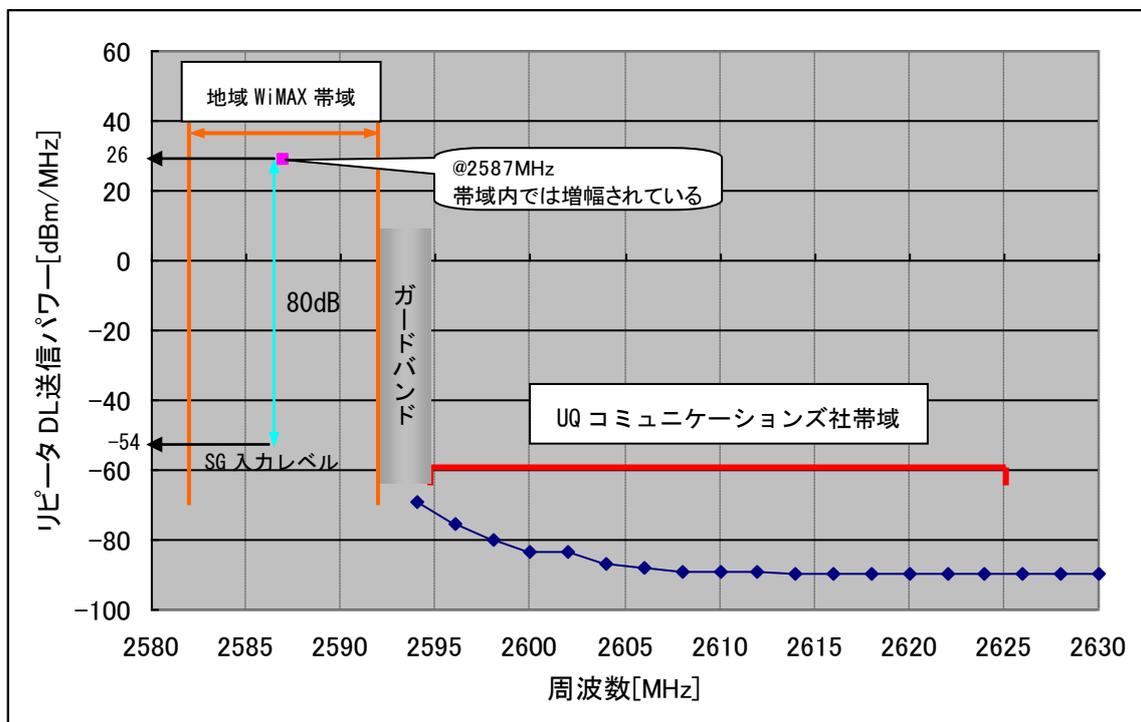


図 4-197 DL 周波数特性

イ. 非再生中継局の上り信号 (UL)

信号発生器からの信号は、非再生中継局の入力端で -62dBm で入力し、この信号を 2594MHz から 2MHz おきに非再生中継局へ入力した時の非再生中継局出力が測定結果は、図4-198のとおりである。

地域 WiMAX 帯域内では増幅されているが(10MHz 帯域換算で 92dB)、UQ コミュニケーションズ社の帯域内では非再生中継局出力は $-71\text{dBm}/\text{MHz}$ から $-85\text{dBm}/\text{MHz}$ であり、増幅はしておらず、 9dB から 23dB の損失を持って出力されているため、UQ コミュニケーションズ社の帯域に影響を与えていない。

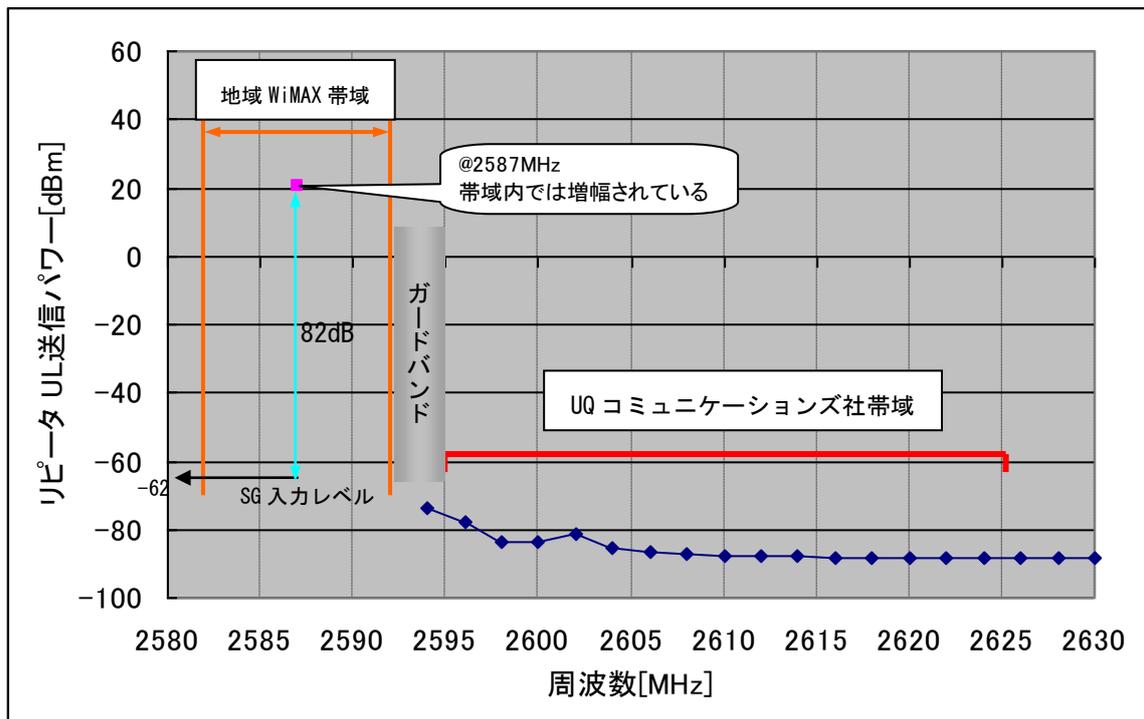


図4-198 UL 周波数特性

③実環境での UQ 端末動作確認

UQ コミュニケーションズ社の端末を使用し、動画コンテンツをダウンロードする通信状況において、非再生中継局からの電波の発射と停止を行い通信状況への影響を確認した。

非再生中継局サービス側アンテナからの離隔 10m 及び 70m の地点で試験したところ、非再生中継局からの電波の発射と停止で通信状況に変化はなく、UQ コミュニケーションズ社の帯域への影響は確認されなかった。

第5章 地域 WiMAX 同一周波数中継方式の導入に向けて

5-1 地域 WiMAX 同一周波数中継方式の有用性

地域 WiMAX は、ルーラルエリアでのデジタル・ディバイド解消のほか自動車や鉄道などでの高速移動状態でも高速通信が利用可能であることから、モバイルでのインターネットアクセスや、地域活性化のためのアプリケーションの利用拡大など期待が高まっている。

本調査検討会では、同一周波数中継による周波数の有効利用等を図るために、実証試験等を通じて、地域 WiMAX における同一周波数中継が可能であり、WiMAX のサービスエリアを効率的に拡大できることが検証できた。

同一周波数中継は、地域 WiMAX における制約として 10MHz 幅の帯域においても、今回の条件では、DL スループット 14Mbps、UL スループット 3Mbps 程度と基地局を設置した場合と同等のスループットを確保できたことから、十分に実用することが可能であり、周波数の有効利用に貢献できることが分かった。

また、同一周波数中継では、基地局装置より安価で構築することが可能で、基地局増設のためのアクセス回線が不要であるためランニングコストが低減でき、コスト面での有用性も確認できた。

本調査検討会において、実環境試験を通じて中継システム構築に必要な技術的データを得ると共に、インハウス試験と実環境試験の結果を比較することで、実環境へ展開する際の留意点を得ることができた。

今回の実証試験で検証された事項は、次のとおりである。

(1) 中継局置局のための所要 D/U

本調査検討会の試験では、同一周波数中継におけるアンテナ間の回り込み干渉(図 5-1)に対応するための所要 D/U を測定し、また中継回線とアクセス回線の干渉の影響を明確化した(再生中継方式は142ページ参照、非再生中継方式は153ページ参照)。

ICS 機能ありの非再生中継方式では、回り込み波の干渉の影響をほとんど受けないためアンテナ設置における制約が少ないことが分かった。(155 ページ参照)

ICS 機能なしを模擬した非再生中継方式(以下「ICS なし」という。)、また、再生中継方式においても、アンテナ設置の工夫や狭ビームアンテナを利用することにより、所要 D/U を改善できることを確認した。(167ページ参照)

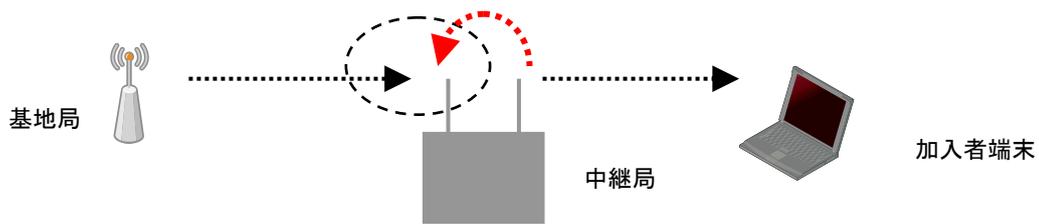


図 5-1 中継局におけるアンテナ間の回りこみによる干渉

試験を通じて得られた技術的データは、以下のとおりである。

- ①非再生中継方式(ICS なし)の場合の所要 D/U は 15dB 以上で、最大スループットが得られた。(図 5-2) (162ページ参照)
- ②ICS 機能を搭載すれば、所要 D/U の改善は可能である。(図 5-3) (162ページ参照)
- ③再生中継方式の場合の所要 D/U は、23dB 以上で最大スループットが得られた。(図 5-4) (142ページ参照)

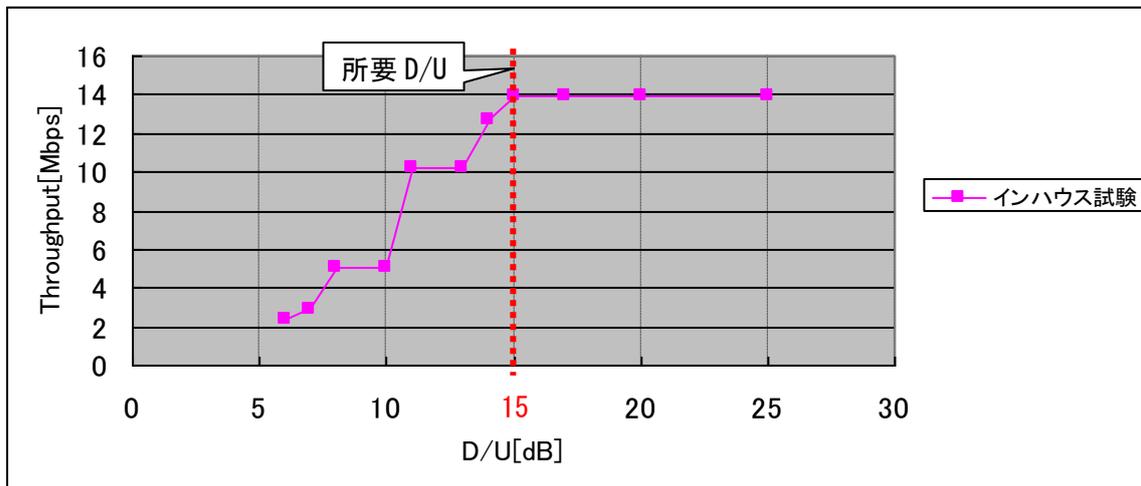


図 5-2 非再生中継方式の D/U と UDP スループットの関係 (ICS なし)

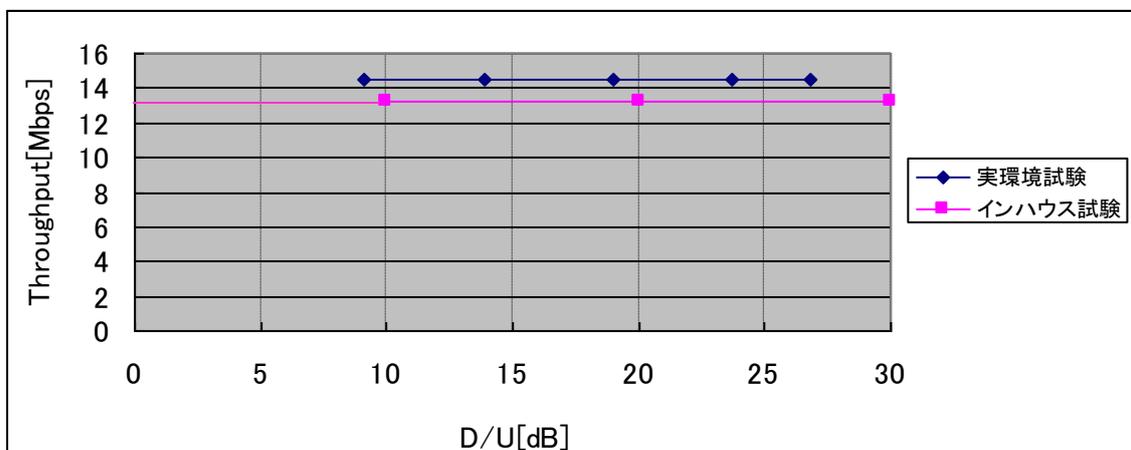


図 5-3 非再生中継方式の D/U と UDP スループットの関係 (ICS あり)

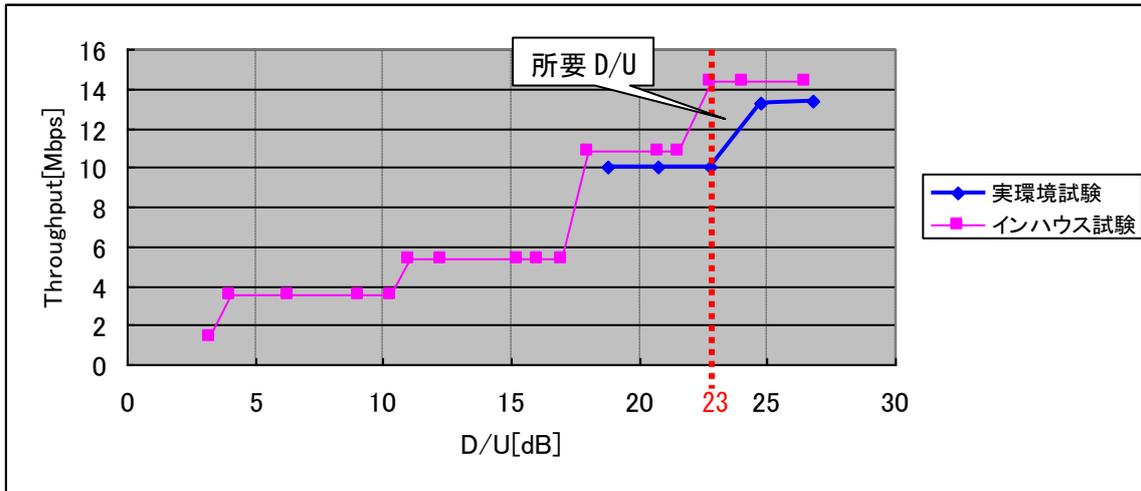


図 5-4 再生中継方式の D/U と UDP スループットの関係

(2) アンテナの離隔等への設置に関する効果

今回の実証試験では、再生中継方式及び非再生中継方式の何れの方式においても、アンテナの設置方法などを変化させることにより、所要 D/U を改善できることが分かった。(図 5-5)

再生中継方式では、今回の条件においては、アンテナ間を 10m から 18.5m まで離すと 13.2dB 分の干渉が改善された。(図 5-6) (144 ページ参照)

非再生中継方式では、今回の条件においては、アンテナ間を 10m から 18.5m まで離すと 6dB 分の干渉が改善された。(155 ページ参照)

また、中継局のドナー側アンテナを狭ビームタイプにすると 9dB 分の干渉が改善された。(図 5-7) (155 ページ参照)

なお、今回は実施しなかった両アンテナのアンテナ高を変えることでも、干渉量低減効果が期待できる。

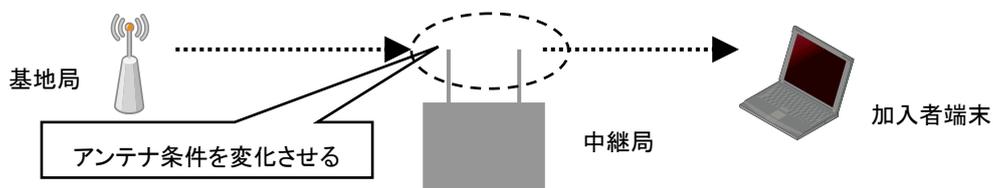


図 5-5 中継局におけるアンテナ設置条件による干渉の影響

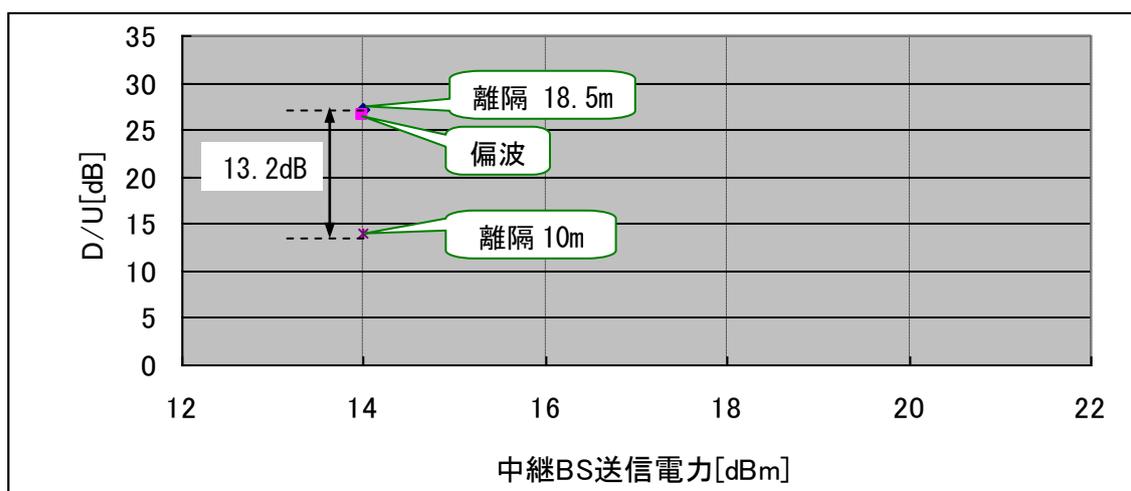


図5-6 アンテナ条件を変化させた場合のD/U（再生中継方式）

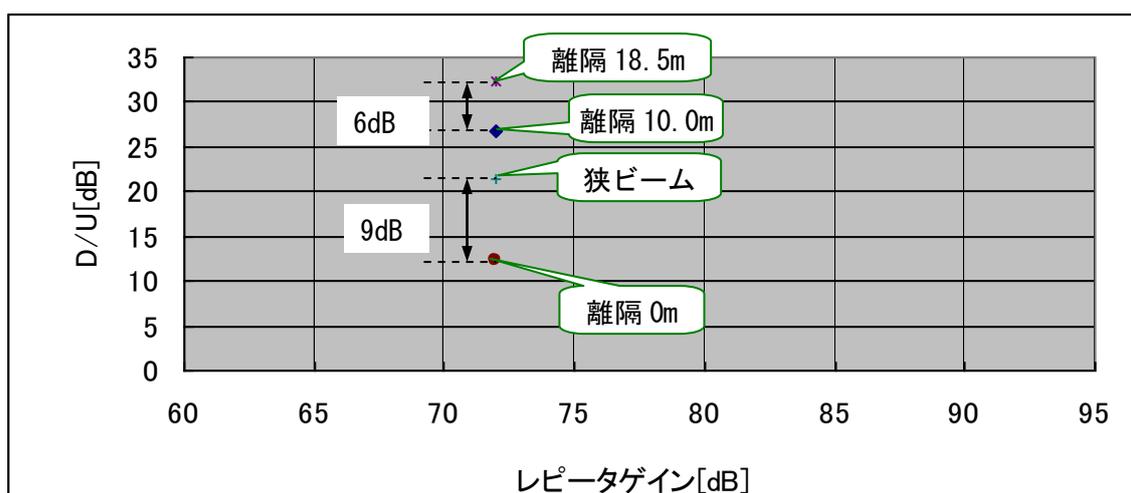


図5-7 アンテナ条件を変化させた場合のD/U（非再生中継方式）

(3) 加入者端末の通信状況における実用性

加入者端末において、中継局からの信号と基地局からの信号が干渉する条件での実用性を検証した。(図5-8)(再生方式は147ページ参照、非再生方式は159ページ参照)

今回の実証試験では、いずれの中継方式もD/Uが良好な条件の場合、最大スループット14Mbps(DL)程度と、基地局を設置した場合と同等のスループットを確保できたことから、概ね満足できるスループット性能と考えられる。

また、D/Uが厳しい条件(5.5dB程度)でも2Mbps(DL)のスループットが得られた。(図5-9、図5-10を参照)

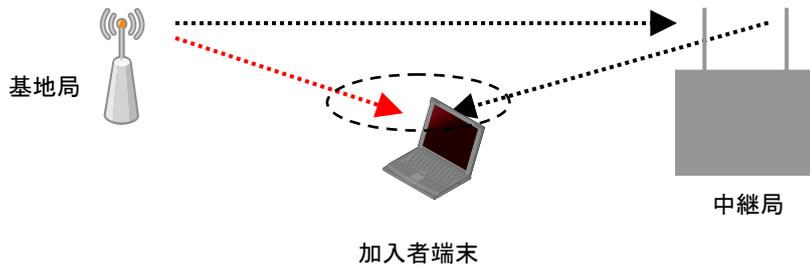


図 5-8 加入者端末における中継局と基地局からの干渉

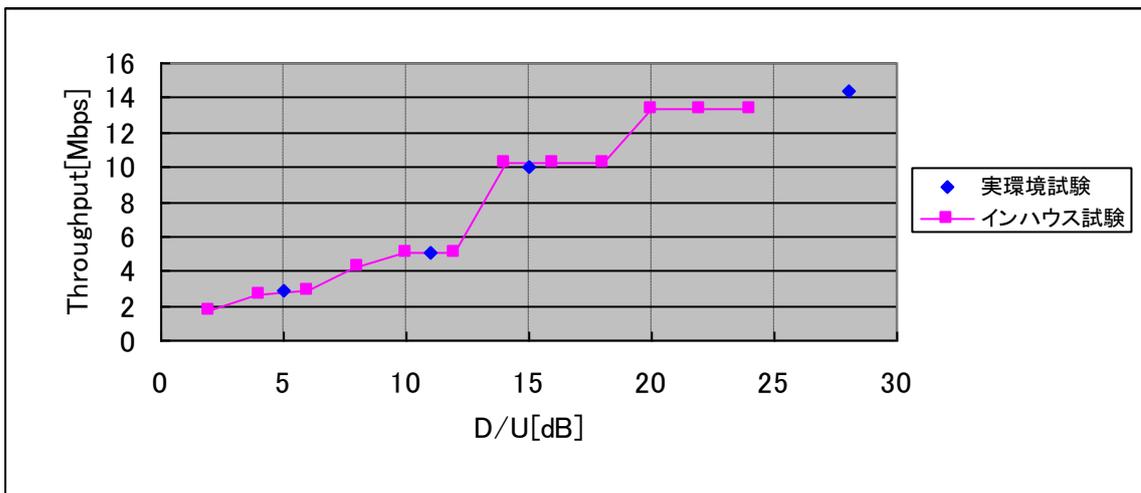


図 5-9 D/U と UDP スループットの関係(再生中継方式)

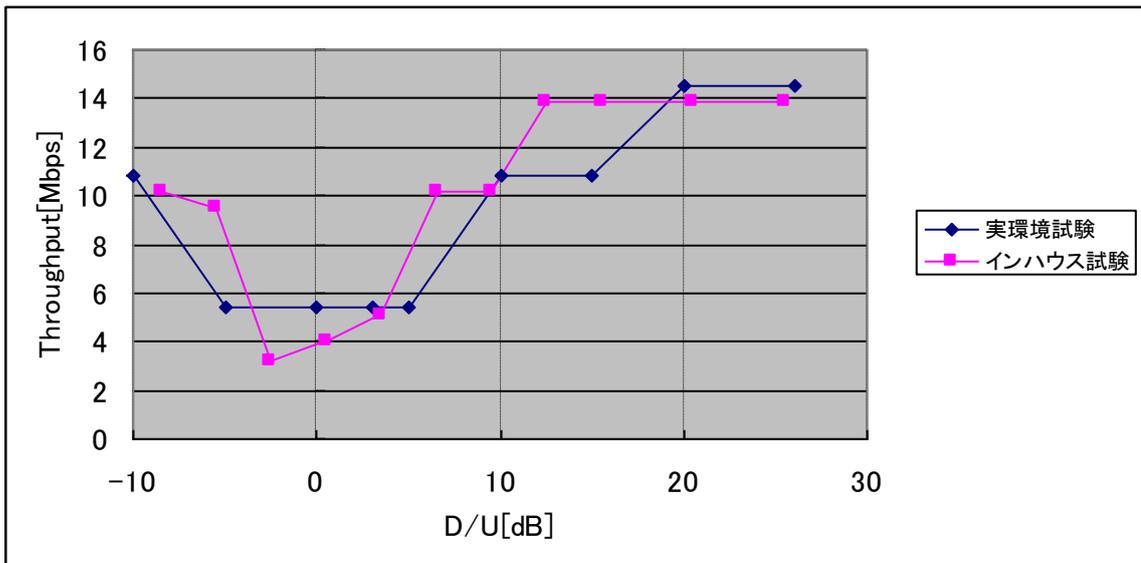


図 5-10 D/U と UDP スループットの関係(非再生中継方式)

また、加入者端末の UL において、加入者端末からの信号と中継局からの信号が干渉する条件での実用性を検証した。(図 5-1 1) (再生方式は 149 ページ参照、非再生方式は 161 ページ参照)

今回の実証試験では、加入者端末からの UL についても、いずれの中継方式も D/U が良好な条件の場合、最大スループット 3Mbps (UL) 程度と、基地局を設置した場合と同等のスループットを確保できたことから、概ね満足できるスループット性能と考えられる。

また、D/U が厳しい条件 (6.5dB 程度) でも 500kbps (UL) のスループットが得られた。(図 5-1 2、図 5-1 3 を参照)

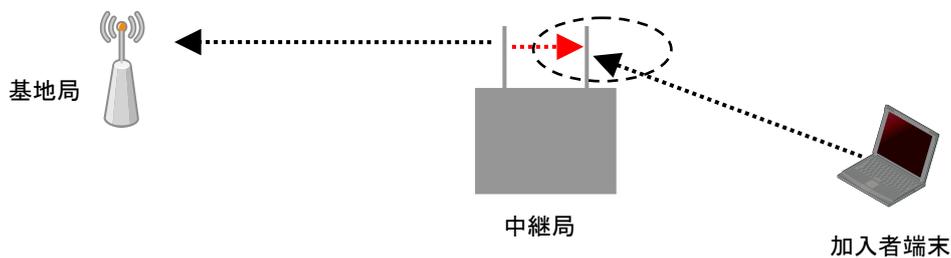


図 5-1 1 中継局の UL が加入者端末の UL に干渉

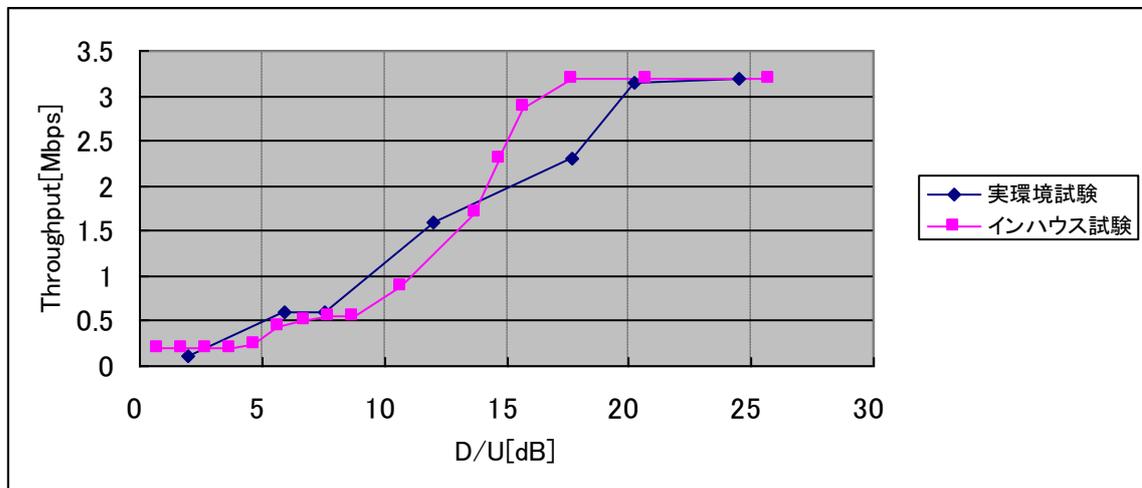


図 5-1 2 D/U と UDP スループットの関係 (再生中継方式)

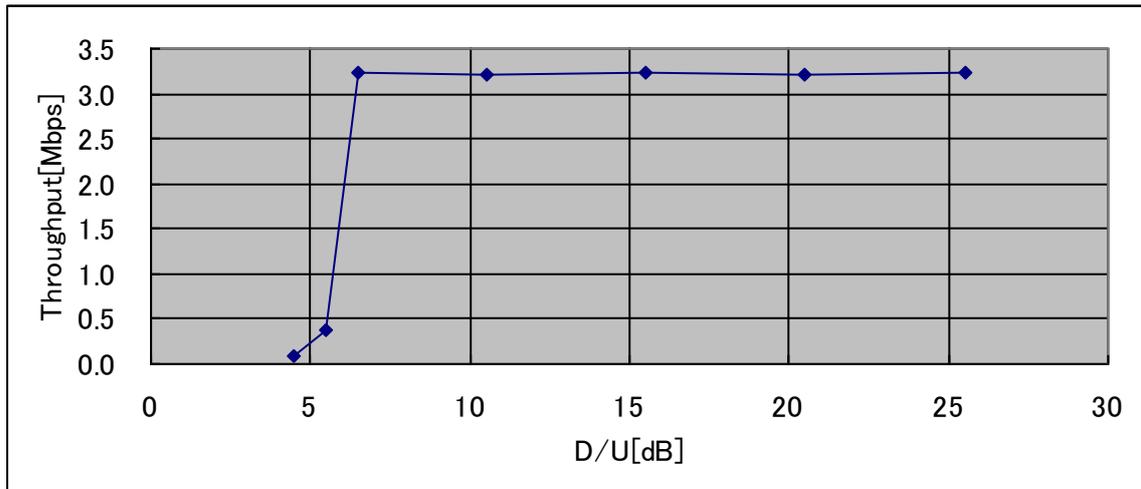


図 5-13 D/U と UDP スループットの関係 (非再生中継方式)

(4) 再生中継方式と非再生中継方式の特徴

本実証試験において得られたデータをもとに、再生中継方式と非再生中継方式の特徴を検討した結果は、以下のとおりである。

①中継局置局のための所要 D/U

非再生中継方式 (ICS なし) の所要 D/U は 15dB 以上で、ICS 機能を実装すれば所要 D/U を改善することが可能となる。

再生中継方式の所要 D/U は 23dB 以上必要であり、非再生中継の方が少ない所要 D/U でも設置することができるため、アンテナの設置条件の制約が少ないことが分かった。

②アンテナの離隔等への設置に関する効果

再生中継方式、非再生中継方式ともアンテナの設置条件を変化させることで、所要 D/U を改善することができた。

③加入者端末の通信状況における実用性

加入者端末における基地局と中継局からの干渉の影響については、再生中継方式及び非再生中継方式とも、所要 D/U が 20dB 以上であれば、最大の DL スループットが得られた。

再生中継方式でサブキャリア分割 (セグメント化) を行えば、干渉によるスループットの低下は発生しないが、最大スループットはセグメント化に応じて変化し、DL スループットは 3 分の 1 セグメント化で 3 分の 1 のスループットとなった。

また、UL スループットは再生中継方式と非再生中継方式の方式による干渉波の遅延量の相違から、再生中継方式では D/U が 17dB で最大のスループットが得られて、非再生中継方式では D/U が 6dB で最大のスループットが得られており、非再生中継方式の方が 10dB 少ない所要 D/U で設置することができた。

なお、今回の UL スループットの実環境試験では、再生中継方式のみ測定しており、非再生中継方式はインハウス試験のみ測定したことから、実際に設置する際には、非再生中継方式の試験により確認を行う必要がある。

④データ遅延

ping コマンドを利用して各方式のデータ遅延を測定した結果、再生中継方式は 200ms、非再生中継方式では 100ms となり、再生中継方式の方が遅延が大きい結果となった。

これは、2 回線分の遅延が発生するためであり、リアルタイム性が必要なアプリケーションの種類によっては、この遅延の影響に注意する必要がある。

5-2 地域 WiMAX 同一周波数中継方式の整備例

地域 WiMAX 同一周波数中継システムを導入する際の整備例を、次の想定条件で各システムの特徴を検討する。

(1) 想定条件

- ①非再生中継方式システム(ICS 機能なし)
- ②非再生中継方式システム(ICS 機能あり)
- ③再生中継方式システム(セグメント化なし)
- ④再生中継方式システム(セグメント化あり)

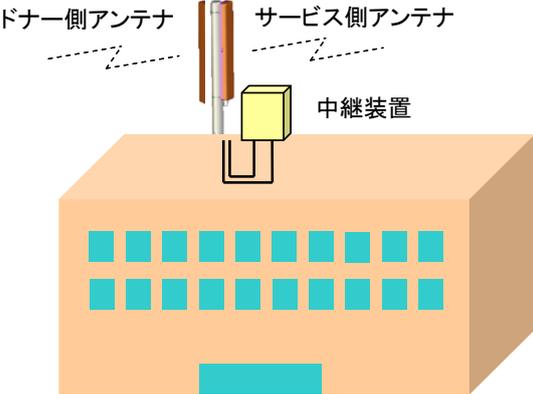
(2) 設置例

想定条件①から④のシステムの設置例は以下のとおりである。

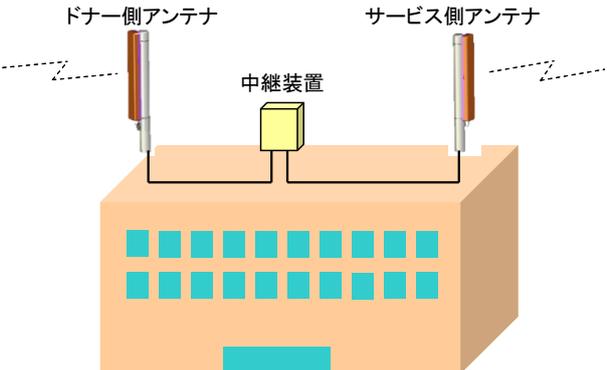
①非再生中継方式システム(ICS 機能なし)

システム構成	○ 基地局からの信号をそのまま増幅して送信する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○ 装置コストは低い。 ○ アンテナの設置に工夫が必要。 ※アンテナ間のアイソレーションを確保するため、アンテナ間の隔離の確保（水平方向、高さ方向）や、アンテナ背面をビル壁に合わせることによるアイソレーションを確保する工法も有効。 ○ 信号品質の劣化が蓄積されるために、隣接システムへの妨害を除去する必要がある。 ○ 信号の遅延による劣化の許容値があり、中継段数や中継距離に制限がある。
設置イメージ	

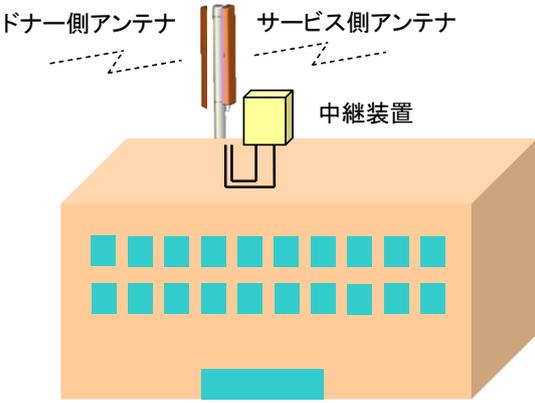
②非再生中継方式システム(ICS 機能あり)

システム構成	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基地局からの信号をそのまま増幅して送信する。 ○ 中継局の送信波と受信波の干渉を低減させる機能として ICS 機能を有する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○ 装置コストは ICS 機能なしのシステムより高額。 ○ アンテナ設置が容易(共架も可能)。 ○ 各アンテナをひとつの支柱に共架できるなど、アンテナ設置における制約が少ない。 ○ 信号品質の劣化が蓄積されるために、隣接システムへの妨害を除去する必要がある。 ○ 信号の遅延による劣化の許容値があり、中継段数や中継距離に制限がある。
設置イメージ	

③再生中継方式システム(セグメント化なし)

システム構成	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基地局からの信号を中継局で受信し、復調・復号化しデジタルデータに変換後、それらを符号化及び変調・送信することで中継する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○ 装置コストは非再生中継方式システムより高額。 ○ 高いスループットを得られるが、アンテナの設置に工夫が必要。 (非再生 (ICS 機能なし) よりアンテナ離隔が必要) ※アンテナ間のアイソレーションを確保するため、アンテナ間の離隔の確保 (水平方向、高さ方向) や、アンテナ背面をビル壁に合わせることによるアイソレーションを確保する工法も有効。 ○ 遅延時間が非再生中継方式の約2倍となる。 ○ MIMO-B が利用可能であり、ほぼ2倍のスループットが得られる。 ○ 中継距離は、再生して中継することから、長距離の中継も可能である。
設置イメージ	

④再生中継方式システム(セグメント化あり)

システム構成	<ul style="list-style-type: none"> ○ 基地局からの信号を中継局で受信し、復調・復号化しデジタルデータに変換後、それらを符号化及び変調・送信することで中継する。 ○ 基地局-中継局間と中継局-端末間で異なるサブキャリアを使用することで、干渉を発生させない方式(セグメント化)で中継する。
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ○ 装置コストはセグメント化なしのシステムと同等。 ○ セグメント化に応じて最大スループットが変化する。 ○ アンテナ設置が容易(共架も可能)。 ○ 遅延時間が非再生中継方式の約2倍となる。
設置イメージ	 <p>The diagram illustrates the physical setup of a regenerative relay system. It features a large orange rectangular relay device with a grid of ventilation holes on its front face. Two antennas are mounted on top of the device: a taller 'ドナー側アンテナ' (Donor side antenna) on the left and a shorter 'サービス側アンテナ' (Service side antenna) on the right. A yellow rectangular '中継装置' (Relay device) is positioned between the two antennas. Dashed lines with arrows indicate the signal path from the donor antenna to the relay device and then to the service antenna.</p>

【参考】その他の整備例について

エリア拡張の手段として、基地局をアクセス回線を介して追加で置局する構成は図 5-14、図 5-15 のとおりである。

一般に、追加する基地局までのアクセス回線に光ファイバを利用するが、光ファイバの敷設費用を考慮すると、再生中継方式及び非再生中継方式による方法がコスト的に低廉になる。

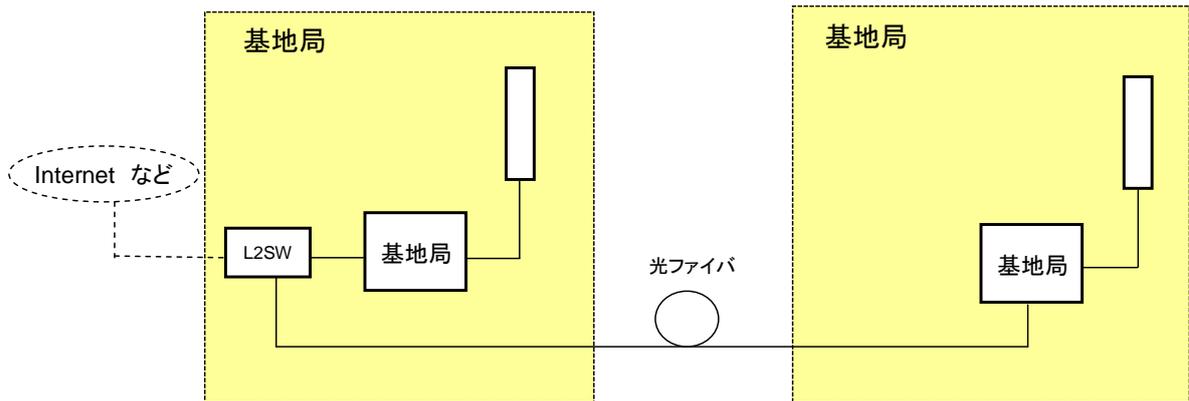


図 5-14 エリア拡張として光ファイバで基地局を追加で置局した場合

アクセス回線に 5GHz 帯無線 LAN や 25GHz 帯特定小電力無線装置などの固定無線アクセスを利用することで、光ファイバ敷設コストに比べて安価にアクセス回線を構築できる場合がある。ただし、非再生中継方式に比べると、基地局コストおよび固定無線アクセスの費用がかかる。

また、5GHz 帯無線 LAN 等は、チャンネル数の制限もある。

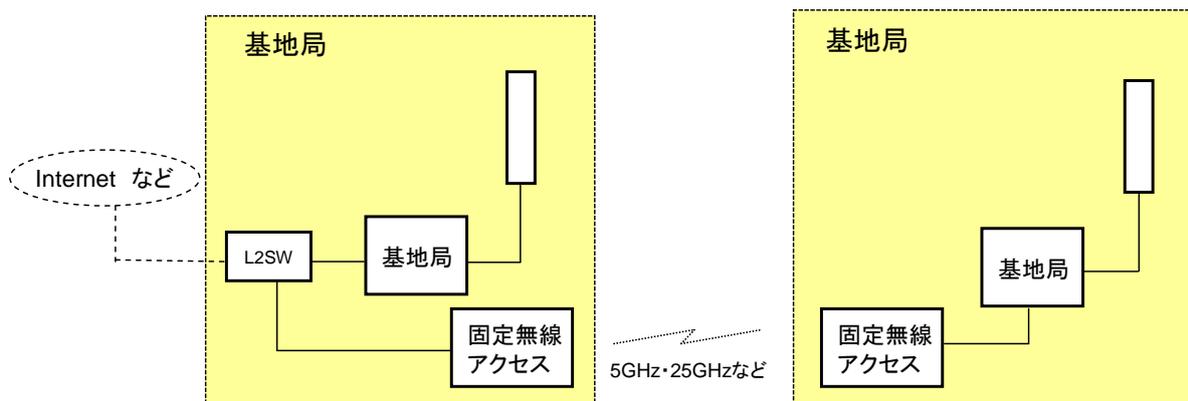


図 5-15 エリア拡張として固定無線アクセスで基地局を追加で置局した場合

(3) 各設置例の特徴

表 5-1 では、想定条件①～④及びその他の整備例における費用、アンテナ設置の容易性、スループット、遅延、装置監視・制御などの視点から、それらの特徴を検討した。

表 5-1 各設置例の特徴

	整備例	機器費用	設置の容易性 (所要 D/U)	スループット	データ 遅延	装置監視・ 制御
非再生中継方式	ICS なし	◎	○	○	○	○
	ICS あり	○	◎	○	○	○
再生中継方式	セグメント化なし	△	△	○	△	◎
	セグメント化あり	△	◎	△	△	◎
基地局設置	アクセス回線は 光ファイバ	△ ^(*)	△	◎	○	◎
	アクセス回線は 固定無線装置	△	△	○	○	◎

評価目安 ◎：優、○：良、△：可

- ①機器費用は、非再生中継方式(ICS)なしが最も低廉化が期待できる。
 - ②所要 D/U は、非再生中継方式(ICS あり)と再生中継方式(セグメントあり)が最も有利で、アンテナ設置の制約が少ない。
 - ③スループットは、所要 D/U が確保できる場合、再生中継方式(セグメント化あり)がもっとも小さくなる。
 - ④データ遅延は、再生中継方式に比べて非再生中継方式が優れている。
 - ⑤装置監視・制御は、直接上位から監視・制御可能な再生中継方式が優れている。しかし、非再生中継方式においても、ドナー側に端末機能を実装することで監視機能が実用化されている。
 - ⑥基地局設置の場合は、再生中継方式及び非再生中継方式と比べてアクセス回線のための費用がかかる。
- (*)アクセス回線における費用は、固定無線装置に比べて光ファイバの方が高額になることがある。

5-3 地域 WiMAX 同一周波数中継方式導入に向けて

(1) 地域 WiMAX 同一周波数中継方式導入の課題

①技術基準について

地域 WiMAX は隣接する BWA システムに挟まれており、特に非再生中継方式の場合、隣接システムの信号を増幅し再送信することで、隣接システムの基地局や加入者端末に影響を与えないような技術基準作りが重要になる。

②アンテナ設置の条件

本調査検討により再生中継方式、非再生中継方式におけるアンテナ設置基準の参考となる測定結果が得られた。非再生中継方式における ICS 機能ありの場合、また再生中継方式でセグメント化した場合においては、アンテナの設置条件における制約は少ない。

一方で、非再生中継方式（ICS 機能なし）、再生中継方式でセグメント化しない場合のいずれにおいても干渉量（所要 D/U）調整が必要であったことから、これらについてはアンテナの設置に工夫が必要である。

実環境への展開には、中継システムの導入に際しては、アンテナの結合量等、事前に現地での測定が必要である。

③非再生中継方式の送信電力設定

非再生中継方式の場合、運用開始時点でサービス側アンテナの送信電力の調整を十分に検討する必要がある。特に ICS 機能がない場合、ドナー側アンテナ・サービス側アンテナのアンテナ間結合量によっては、発振状態となり中継局エリアばかりでなくその他のエリアにも影響を与える可能性がある。

現時点では、D/U を確認しながら送信電力を調整する必要があるが、今後、自動調整などにより、運用をより簡便化できる機能が望まれる。

④再生中継方式の構成について

今回の調査検討では、再生中継方式を CPE+基地局という構成で試験を進めた。本来であればひとつの筐体に収納された装置を採用すべきであるが、試験開始時点では地域 WiMAX に対応した再生中継方式の中継装置が市場になかったことから、CPE+基地局という構成で対応した。今後は、地域 WiMAX に対応した再生中継方式の製品化が望まれる。

⑤MIMO 方式対応

再生中継方式の場合、ドナー側の回線の CINR が良好な条件であれば下り通信において MIMO-B に対応する速度が得られるため、ほぼ 2 倍のスループットを得ることができる。

しかし、非再生中継方式では、ドナー側・サービス側とも各一式の無線装置しか内蔵

していないので、MIMO-B の対応ができないため、高スループットの展開には制限が出る。

⑥多段中継

地域 WiMAX 同一周波数中継方式は、多段中継にも対応しており、そのイメージは図 5-16 のとおりである。

多段中継では、より広いエリアを効率的に確保することができ、周波数の有効利用を図れることからルーラルエリア等でのサービスエリア拡大には有効であると考えられる。

しかし、複数の中継局を経由するために、信号遅延と信号品質の劣化が懸念される。再生中継方式では、信号遅延が 100ms 単位で増加することから、加入者端末で使用するアプリケーションによっては注意が必要である。

非再生中継方式では、信号品質の劣化が発生することから、中継する段数に注意が必要である。また、基地局から加入者端末までの距離は、周辺環境や送信出力にもよるが、2 段中継の場合、10km 程度以内と考えられる。

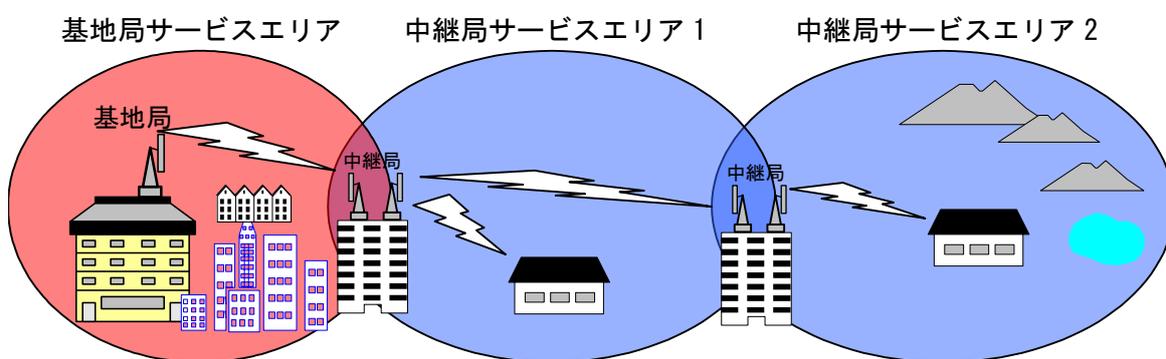


図 5-16 多段中継のイメージ

(2) 地域 WiMAX 同一周波数中継方式導入に向けて

地域 WiMAX は、インターネットアクセス、地域活性化のためのアプリケーションの利用拡大、条件不利地域でのデジタル・ディバイド解消など、さまざまな形で地域サービスの向上に貢献できると期待されている。

本調査検討会の実証試験で、地域 WiMAX 同一周波数中継方式が実現可能なことが示されたことは一つの成果である。

同一周波数中継は、今回の実証試験において、地域 WiMAX の 10MHz 帯域においても、スループットを十分に確保できることが明らかになったことから、効率的にエリアを拡大することができ、周波数の有効利用を図れることが分かった。

また、同一周波数中継は基地局装置によるエリア拡張に比べて、基地局装置のコスト、基地局増設のためのアクセス回線のコスト、アクセス回線のメンテナンス費用等が削減できることから、コスト面での有用性も期待できる。

今後、実用化に向けて技術基準等の法的整備が進むとともに、本実証試験の結果により地域 WiMAX の利用拡大が促進されることを期待する。

資料編

< A 1 >	地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会	設置要綱.....	193
< A 2 >	地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会	委員構成.....	195
< A 3 >	地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会	作業班構成.....	196
< A 4 >	検討経過報告.....		197
< A 5 >	用語集		198

< A 1 > 地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会 設置要綱

1 名称

本調査検討会は、「地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会（以下「調査検討会」という。）」と称する。

2 目的

地域 WiMAX の同一周波数中継を行う際の技術的条件等の検討を行い、周波数の有効利用に資するとともに、多様なブロードバンドサービスを経済的に提供することが可能となるシステムについて検証する。

3 検討項目

調査検討会の目的を遂行するために、次の項目について検討する。

- (1) 中継回線とアクセス回線の干渉回避条件等の検討
- (2) 再生中継方式と非再生中継方式の伝送距離、伝送速度等の比較検討
- (3) 各中継方式の実運用面での検討
- (4) その他調査検討に必要な事項

4 構成

調査検討会の構成は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、北海道総合通信局長の委嘱を受けた委員により構成する。
- (2) 調査検討会に座長を置く。座長は、委員の互選により選出する。
- (3) 座長は、委員の中から副座長を指名することができる。
- (4) 必要に応じて専門家の参加を認めることができる。
- (5) 調査検討会には、具体的な検討を行う作業班（WG）を置く。
- (6) 作業班の構成は、調査検討会で定める。
- (7) 調査検討会の事務局は、総務省北海道総合通信局無線通信部に置く。

5 運営

調査検討会の運営は次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、座長が招集し、主宰する。
- (2) 作業班の開催は、事務局が招集・主宰し、具体的な作業を行う。
- (3) 調査検討会及び作業班は必要に応じ電子メールによる運営を行う。
- (4) その他運営に関して必要な事項は、調査検討会において定める。

6 開催期間

設置の日から平成23年3月31日までの間で報告書を取りまとめる日までとする。

7 その他

- (1) 調査検討会における調査検討事項に関する成果を公表するときは、総務省北海道総合通信局の承認を得るものとする。
- (2) 調査検討会の成果物に関する権利（例えば、調査検討結果を記した著作物等）は、原則として総務省北海道総合通信局に帰属する。

< A 2 > 地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会 委員構成

旭川ケーブルテレビ株式会社 常務取締役業務本部長	五反田 英利
旭川市 総務部 事務管理課 課長	佐藤 篤
株式会社帯広シティーケーブル 技術部 部長	武吉 幸雄
電気興業株式会社 技術開発統括部 電気通信開発部 部長	西澤 俊一
◎東海大学 生物理工学部 生体機能科学科 教授	上瀧 實
日本無線株式会社 通信インフラ事業部 通信インフラ技術部 マイクロ通信グループ 担当部長	小林 保
株式会社ニューメディア 函館センター センター長	金子 敦
株式会社日立国際電気 通信事業部 主管技師長	加藤 数衛
株式会社フジクラ 光機器・システム事業部 ネットワークソリューション技術部 主席技術員	中村 光則
富士通ネットワークソリューションズ株式会社 ソリューション開発本部 ワイヤレスビジネス担当 プロジェクト統括部長	神子 弘明
北海道 総合政策部 科学 IT 振興局 情報政策課 利活用グループ 主幹	千葉 律子
○北海道大学 大学院情報科学研究科 インテリジェント情報通信研究室 准教授	大鐘 武雄
◎ 座長 ○ 副座長	※敬称略、機関名五十音順

< A 3 > 地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会 作業班構成

旭川ケーブルテレビ株式会社 常務取締役業務本部長	五反田 英利
旭川市 総務部 事務管理課 事務管理係 主査	飛田 憲一
株式会社帯広シティーケーブル 技術部 部長	武吉 幸雄
電気興業株式会社 技術開発統括部 電気通信開発部 開発一課 主任	中田 幸男
日本無線株式会社 通信インフラ事業部 通信インフラ技術部 マイクロ通信グループ 主任	江川 祐介
株式会社ニューメディア 函館センター 技術部 課長	奥本 賢二
株式会社日立国際電気 通信事業部 通信システム設計本部 通信システム設計部 主任技師	加島 謙一
株式会社フジクラ 光機器・システム事業部 ネットワークソリューション技術部 主席技術員	中村 光則
富士通ネットワークソリューションズ株式会社 キャリアビジネス本部 ワイヤレスビジネス統括部 第二システム部 担当課長	小松 毅亘
富士通ネットワークソリューションズ株式会社 キャリアビジネス本部 ワイヤレスビジネス統括部 第二システム部	高橋 智幸
北海道 総合政策部 科学 IT 振興局 情報政策課 利活用グループ 主任	錦見 剛
○北海道大学 大学院情報科学研究科 インテリジェント情報通信研究室 准教授	大鐘 武雄
○ リーダー	※敬称略、機関名五十音順

< A 4 > 検討経過報告

第1回検討会

- 日時 平成22年7月7日(水)
- 議題 1 調査検討会の設置について
2 検討事項、実証試験、スケジュールについて
3 作業班の設置について

第1回作業班会議

- 日時 平成22年7月7日(水)
- 議題 実証試験システムの構成及び実証試験項目について提案

第2回作業班会議

- 開催期間 平成22年7月30日(金)～8月3日(火)
- 議題 実証試験システム構成及び実証試験項目の修正提案

第2回検討会

- 開催期間 平成22年11月24日(水)～12月7日(火)
- 議題 報告書骨子(案)について

第3回作業班会議

- 開催期間 平成22年11月24日(水)～12月7日(火)
- 議題 インハウス試験データの取得結果とフィールド試験について

第3回検討会・第4回作業班会議

- 日時 平成23年2月2日(水)
- 議題 1 検討状況の確認
2 実証試験の実施状況及び確認
3 報告書(案)について
4 今後のスケジュールについて
5 その他

第5回作業班会議

- 開催期間 平成23年2月24日(木)～3月1日(火)
- 議題 報告書(案)について

第4回検討会

- 日時 平成23年3月9日(水)
- 議題 1 報告書(案)について
2 その他

< A 5 > 用語集

用語	説明
16QAM x/y	Quadrature Amplitude Modulation 16 値直交振幅変調 搬送波の振幅と位相の両方を変化させる変調方式で、1 シンボル で 4bit の情報を伝送できる x/y は、誤り訂正符号の符号化率を表す
1xEV-DO	1x Evolution Data Only CDMA 技術を応用した携帯電話方式「cdma2000」規格に含まれる データ通信専用の技術
64QAM x/y	Quadrature Amplitude Modulation 16 値直交振幅変調 搬送波の振幅と位相の両方を変化させる変調方式で、1 シンボル で 6bit の情報を伝送できる。 x/y は、誤り訂正符号の符号化率を表す
ASN	Access Service Network WiMAX 端末装置に対して無線アクセス機能を提供するネットワ ーク
ATT	減衰器 (アッテネータの項参照)
BRF	Band Rejection Filter (帯域除去フィルタ) 特定の周波数帯域だけを低いレベルに減衰させるフィルタ回路
BS	Base Station 基地局
CATV	Community Antenna Television テレビの有線放送やインターネット接続も含む複合サービス
CDMA2000	Code Division Multiple Access IMT-2000 として認められた第 3 世代移動体通信方式の一つ
CINR	Carrier to Noise Ratio 搬送波レベル対干渉・雑音の比で、電波のクリアさを示す $CINR(dB) = \text{搬送波電力}(dB) - \text{干渉信号電力}(dB) - \text{雑音電力}(dB)$
CPE	Customer Premises Equipment 加入者端末
CSN	Connectivity Service Network WiMAX 端末装置に対して IP 接続サービスを提供するネットワ ーク
CW	continuous wave 無変調連続波
D/U	Desired to Undesired signal ratio 希望波と妨害波の比 値が大きいほど妨害が少ない 単位 [dB]
dB	decibel (デシベル) ある物理量(信号電力等)を基準となる量と対数で表した比
dBm	1mW を基準として電力をデシベルで現す際の単位 例: 0dBm=1mW 30dBm=1W
DL	通信回線の下り(基地局→無線端末)方向の回線

用語	説明
DSL	Digital Subscriber Line 電話線を用いて高速データ通信を行う方法
FTTH	Fiber To The Home 光ファイバー回線を利用してインターネットに接続する方法
FWA/BWA	Fixed Wireless Access : 無線による加入者系データ通信サービスの方式の一つで、固定無線アクセスシステムを表す Broadband Wireless Access : 広帯域移動無線アクセスシステム
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access 「W-CDMA」のデータ通信を高速化した規格 下り(基地局→端末)方向の packets 通信速度を向上させる技術で、従来は 384kbps~2Mbps 程度だった通信速度を最高で 14.4Mbps(理論値)まで引き上げることが出来る
ICS	Interference Cancellation System 干渉除去システム
IEEE802.11b	IEEE(米国電気電子学会)が定めた無線 LAN の規格で、2.4GHz 帯での最大 11Mbps の無線 LAN の物理層仕様
IEEE802.11n	IEEE(米国電気電子学会)が定めた無線 LAN の規格で実効速度 100Mbps 以上の伝送速度を実現するための仕様 (2009 年 9 月標準化)
IEEE802.16e	802.16-2004 をベースとし、120km/h 程度までのモバイル仕様に 対応する 2005 年 12 月に IEEE 標準化機関で「IEEE Std 802.16e-2005」として承認された
IEEE802.16m	4G の候補として IEEE802.16 委員会が提案したもの (WiMAX2)
IMT-2000	ITU が勧告している第 3 世代移動体通信システムの正式名称
IMT-Advanced	IMT-2000 の発展型 ITU では第 4 世代システムと定義した
ITU	International Telecommunication Union 国際電気通信連合
LTE-Advanced	LTE (Long Term Evolution) の発展型で、4G の候補として 3GPP が ITU に提案したもの
MAC 層	Media Access Control 多元接続に必要なプロトコルと制御機構を提供する
MIMO	Multiple Input Multiple Output 送信側と受信側の双方を複数のアンテナでデータの送受信を行う高速無線データ通信技術 MIMO-A: 複数のアンテナから同一のデータを送信する MIMO-B: 複数のアンテナから異なるデータを送信する
MS	Mobile Station (移動局) 無線端末を示す
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (直交周波数分割多元接続) 無線通信方式の一種で、複数ユーザーを OFDM (直交波周波数分割多重) によってアクセスできるようにする方式
ping RTT	あるコンピュータからネットワークに接続されている他のコンピュータへの Round Trip Time (応答時間) ネットワークの遅延時間を知ることができる

用語	説明
QPSK x/y	Quadrature Phase Shift Keying 4位相偏移変調 4つの位相に搬送波を変化させる変調方式で、1シンボルで2bitの情報を伝送できる。 x/y は誤り訂正符号の符号化率を表す
RF 信号	RadioFrequency 磁波や電気信号のうち、無線通信に利用できる周波数信号
SG	Signal Generator (信号発生器) 周波数・電力・変調の電気信号を出力する電気計測器
TCP	Transmission Control Protocol (伝送制御プロトコル) インターネットで標準的に利用されている、IP の上位プロトコルのこと セッション (接続) を確立してから通信を開始する
UDP	User Datagram Protocol インターネット上でのデータ通信に用いられるプロトコルの一種。セッションを確立しないでデータを相手に送り出す
UL	通信回線の上り (無線端末→基地局) 方向の回線
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access (広帯域符号分割多元接続) 無線通信規格の CDMA を広帯域化した、第3世代移動体通信システムの通信方式の一つ
Wibro	韓国での WiMAX サービスの名称
WiMAX2	IEEE802.16m の別名 「WirelessMAN-Advanced」と呼ばれることもある
XGP	eXtended Global Platform 次世代 PHS の標準規格で、WiMAX とともに 2.5GHz 帯の日本の全国バンドの高速無線通信サービスの規格である
アッテネータ	Attenuator 減衰器 信号を適切な信号レベルに減衰させる電子部品、または装置 「ATT」と略す場合もある
アンテナパターン	アンテナの放射特性を図示したもの アンテナがどのようにエネルギーを空間に放射 (または受信) するかを表す
アンテナ間結合量	2つのアンテナ間において1つのアンテナともう1つのアンテナとの電波伝搬損失 (量) のこと
オムニアンテナ	オムニ (無指向性) アンテナは水平方向に 360 度にわたって信号を放射する
ガードインターバル	Guard interval (保護区間) OFDM 方式におけるシンボル間干渉を回避するための冗長部分
空中線	Antenna (アンテナ) 電磁波の送出や受信に使用され、電気エネルギーを効率よく電磁波として空間に放射する また、空間を移動している電磁波を効率よく電気エネルギーに変換する働きをする
下り信号	通信回線の下り (基地局→無線端末) 方向の信号

用語	説明
ゲイン	Gain 電気回路における入力と出力の比のこと 利得と同じ
サーキュレータ	3つの端子を持つ電子部品で、端子1に入力した高周波信号が端子2にのみ出力され、端子3に入力した高周波信号が端子1にのみ出力される
サービス側アンテナ	加入者端末と通信する側のアンテナ
指向性	電波を受信するアンテナの主軸が向いている方向に対する受信感度を表わす指標あるいは性能のこと
シンボル間干渉	隣り合うシンボル同士が干渉し合うことで波形が歪む現象
スペクトラムアナライザ	Spectrum analyzer 周波数分析に用いる計測器 横軸を周波数、縦軸を電力とする二次元のグラフを画面に表示する
スループット	単位時間あたりの実効通信速度 単位 [bps] (bit per second)
セクタアンテナ	指向性を有し、基地局のカバーエリアを分割して利用するアンテナのこと
帯域外増幅度	必要周波数帯以外の周波数の入力と出力の比のこと
帯域外輻射	必要周波数帯に近接する周波数の電波の放射
中継局	電波を中継する無線局 レピータ (リピータ) 局とも呼ばれる
チルト	アンテナから放射されるビームの方向を、垂直面内方向で傾けること
ドナー側アンテナ	基地局と通信する側のアンテナ
上り信号	通信回線の上り(無線端末→基地局)方向の信号
発振	電気回路が外部から振動エネルギーを受けることなく自己振動を行う現象
パケット	データ通信において、ネットワーク層(トランスポート層)を流れる分割されたデータの単位
符号化	情報を一定の規則に従ってデータに置き換えること ある形式のデータを一定の規則に基づいて別の形式のデータに変換すること
復号化	符号化されたデータを元のデータに変換すること
復調	伝送路から受け取った変調信号から元の信号を取り出すこと 伝送路への送出時に行った変調とは逆の処理を行う
変調	情報を伝送するにあたり、最適な電気信号に変換する操作
偏波	電磁波が空間を伝播する際に、地面に対して水平な偏波を水平偏波 (H)、垂直な偏波を垂直偏波 (V) という
マルチパス	multipath (多重波伝送路) 送信された電波が建物や地形などの障害によって反射・回折し、複数の経路から電波を受信してしまうこと

地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討報告書
平成 23 年 3 月

発行 地域 WiMAX の同一周波数中継方式に関する調査検討会

連絡先 北海道総合通信局 無線通信部 企画調整課

〒060-8795

札幌市北区北 8 条西 2 丁目 1-1 札幌第 1 合同庁舎

電話 : 011-709-2311 (内 4624)

FAX : 011-700-5463

HP : <http://www.soumu.go.jp/soutsu/hokkaido/>