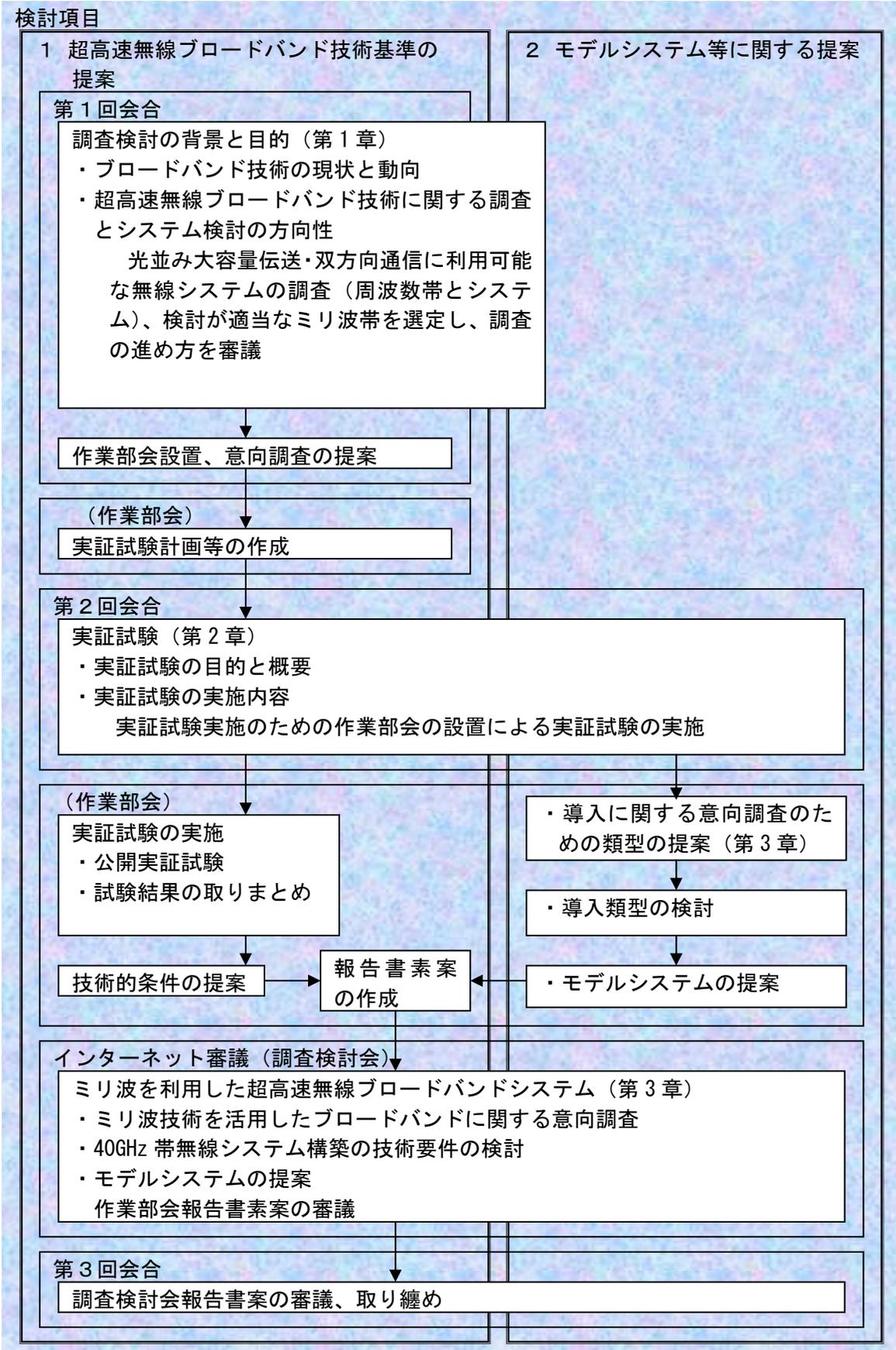


超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会
報 告 書

平成19年5月

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会

検討の進め方と報告書の構成



はじめに

総務省では、2010年度へ向けたブロードバンド・ゼロ地域の解消を目標とした「次世代ブロードバンド戦略2010」が基本政策として推進されている。

九州におけるブロードバンドの現状は、多数の離島と共に中山間地とされる地域も広く有していることからその整備が遅れており、生活、医療、教育、産業等においてその利便性を享受することができないという情報通信格差の解消が課題となっている。

また、先ほど発表された九州におけるブロードバンドアクセスの普及状況を見ると、ブロードバンドアクセスの主役はDSLから光ファイバへと移行が進んでおり一層の高速化を望んでいることが伺える。

この様な背景の下、本調査検討会では、離島等条件不利地域におけるブロードバンド化を促進するため、光ファイバ並みの超高速インターネットや大量の映像伝送等が可能な超高速無線ブロードバンド技術を調査検討し、モデルシステムを提案するというを目的に検討を進め、ここに成果を報告書としてまとめることができた。

特に、実証試験で得られた成果がミリ波利用技術の発展に寄与することを期待するとともに、具体的なモデルシステムの提案がニーズに沿ったブロードバンド整備の一助となれば幸いである。

最後に、本調査検討会にご参加頂いた専門家各位、地方自治体や通信・放送事業関係の委員各位、作業部会で実証試験にご協力を頂いた企業等の委員各位に心から謝意を表する。

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会

座長 三田 長久

目 次

はじめに

第1章 調査検討の背景と目的	1
1.1 目的	1
1.2 調査検討体制等	1
1.3 ブロードバンド技術の現状と動向	1
1.3.1 九州におけるブロードバンドの普及動向	1
1.3.2 無線を利用した先進的な取組事例	3
1.4 超高速無線ブロードバンド技術に関する調査とシステム検討の方向性	5
1.4.1 超高速無線ブロードバンド技術動向の調査	5
1.4.2 ミリ波帯の特徴	5
1.4.3 実証試験環境とモデルシステムの想定	7
第2章 実証試験	8
2.1 実証試験の目的と概要	8
2.1.1 目的	8
2.1.2 実証試験の概要	8
2.2 実証試験の実施内容と結果	8
2.2.1 実証試験装置の基本性能測定と確認	8
2.2.2 一対多方向(P-MP)試験	27
2.2.3 一対一対向(P-P)試験	37
2.2.4 反射試験	47
2.2.5 試験結果の分析・評価	50
2.3 公開実証試験	53
第3章 ミリ波を利用した超高速無線ブロードバンドシステムの実現	58
3.1 ミリ波技術を活用したブロードバンドに関する意向調査	58
3.1.1 意向調査実施方法	58
3.1.2 調査結果の集計と分析	58

3.2	40GHz 帯無線システム構築の技術要件	60
3.2.1	所要 C/N	60
3.2.2	周波数の許容偏差	60
3.2.3	降雨マージン	61
3.2.4	40GHz 帯無線システムのアンテナ	61
3.3	モデルシステムの提案	63
3.3.1	モデルシステムの技術的要件	63
3.3.2	P-MP 方式	65
3.3.3	P-P 方式	67

あとがき

付 録

- 付録 1 TWTA の適用領域、構造、動作原理、構成について
- 付録 2 意向調査結果の分析、評価
- 付録 3 無線分配システムの C/N 分配
- 付録 4 所要降雨マージンの算出

資 料

- 資料 1 調査検討会開催関係
- 資料 2 報道発表資料及び新聞記事
- 資料 3 全国に広がる先進事例
- 資料 4 用語解説

概要版

第1章

■ 調査検討の背景と目的

- 1 目的
- 2 調査検討体制等
- 3 ブロードバンド技術の現状と動向
- 4 超高速無線ブロードバンド技術に関する調査とシステム検討の方向性

第1章 調査検討の背景と目的

1.1 目的

我が国では、ICTの利活用による経済繁栄と更に豊かな国民生活の実現を目指した「e-Japan戦略」の取り組みの下、2005年を目標に情報通信インフラの整備が進められてきた。さらに、2005年1月に決定された「IT新改革戦略」では「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」使えるデジタル・デバイドのないインフラを2010年度までに実現することが目標とされている。

総務省では、2005年8月に「次世代ブロードバンド戦略2010」を発表し、2010年度に向けたブロードバンド・ゼロ地域の解消等を目標として掲げるとともに、投資効率の低い条件不利地域においては、地域のニーズや実情に応じて無線技術等の導入を積極的に促進することとした。

九州では、人口が少なく遠隔地に住宅が散在する離島や山間部等を多く抱えており、採算性の問題から光ファイバによる超高速ブロードバンド・インフラの整備が遅れている。このため、これら条件不利地域等でも光ファイバ並の超高速インターネットや大量の映像伝送等が可能な広帯域伝送路を確保できる無線技術の導入が現実的な解決手段として期待されている。

無線によるブロードバンド整備については、FWA、無線LAN等は急速に普及しているが、光ファイバ並の広帯域双方向伝送路が確保できる無線システム等については、未だ開発途上にある。

そこで、既存の無線ブロードバンド技術について調べ、その中から光ファイバ並の超高速無線ブロードバンド技術についての実証試験を実施し、所要の技術特性を把握するとともに、超高速無線ブロードバンド技術や有無線融合技術を活用したモデルシステムを提案し、九州のブロードバンド・ゼロ地域の解消に資することを目的として本調査検討会を開催した。

1.2 調査検討体制等

九州総合通信局長から委嘱を受けた学識経験者、地方自治体、通信・放送事業者等で構成する「超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会」を開催し、ブロードバンド技術の現状と動向の調査、超高速無線ブロードバンドシステムの実証試験の実施と同システムに関する意向調査や技術的要件の検討を踏まえモデルシステムの策定・提案を行った。

1.3 ブロードバンド技術の現状と動向

1.3.1 九州におけるブロードバンドの普及動向

ブロードバンドの利用普及動向は、平成18年度12月末で、図表 1-1のとおり全国で約2500万世帯で普及率約50%となったが、九州管内では約200万世帯で普及率38%に留まっている。

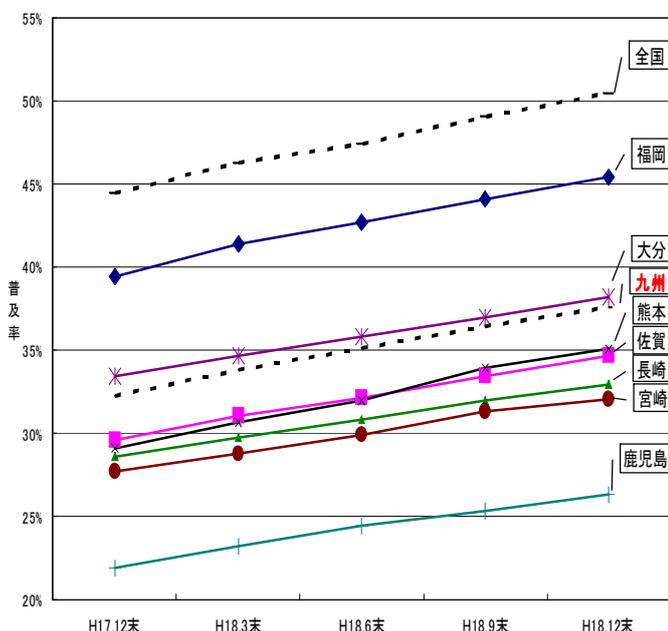
九州は図表 1-2 に示すとおり、全国と同様に年々、普及率は上がっているが、図表 1-3 の鹿児島県、宮崎県、長崎県等を始めとしてブロードバンドの普及が全国平均をかなり下回っている。これは山間地や島嶼等の条件不利地域が多く有線によるブロードバンド化が困難なことが、原因の一つとして考えられる。そのような状況でも、ブロードバンドの主演は、図表 1-4 に見られるとおり DSL から光ファイバへと移りつつあり、より高速化への傾向が伺えるので、光ファイバ並の無線について検討する必要がある。

図表 1-1 九州におけるブロードバンドの普及動向 (平成18年12月末現在)

	DSL		CATV インターネット		FTTH		FWA		合計	世帯普及率
	契約数	世帯普及率	契約数	世帯普及率	契約数	世帯普及率	契約数	世帯普及率		
福岡	500,871 (511,322)	24.1% (25.0%)	112,533 (102,832)	5.4% (5.0%)	330,295 (188,780)	15.9% (9.2%)	126 (137)	0.0% (0.0%)	943,825 (803,071)	45.4% (39.3%)
佐賀	58,786 (55,484)	19.6% (18.7%)	24,615 (21,688)	8.2% (7.3%)	20,621 (10,463)	6.9% (3.5%)	—	—	104,022 (87,635)	34.7% (29.6%)
長崎	118,891 (118,344)	19.8% (19.7%)	40,299 (35,975)	6.7% (6.1%)	37,807 (19,109)	6.3% (3.2%)	437 (87)	0.1% (0.0%)	197,434 (173,515)	32.9% (29.2%)
熊本	137,824 (139,717)	19.5% (20.1%)	24,518 (21,875)	3.5% (3.1%)	84,654 (41,032)	12.0% (5.9%)	708 (54)	0.1% (0.0%)	247,704 (202,678)	35.1% (29.1%)
大分	83,128 (84,753)	16.9% (17.5%)	56,816 (53,512)	11.6% (11.0%)	47,436 (23,696)	9.7% (4.9%)	40 (41)	0.0% (0.0%)	187,420 (162,002)	38.2% (33.4%)
宮崎	74,774 (74,672)	15.4% (15.4%)	42,461 (39,647)	8.7% (8.3%)	38,041 (18,514)	7.8% (3.9%)	268 (112)	0.1% (0.0%)	155,544 (132,945)	32.0% (27.7%)
鹿児島	132,175 (128,998)	17.1% (16.9%)	5,803 (5,446)	0.8% (0.7%)	64,846 (32,497)	8.4% (4.3%)	75 (34)	0.0% (0.0%)	202,899 (166,975)	26.3% (21.8%)
九州	1,106,449 (1,113,290)	20.4% (20.8%)	307,045 (280,975)	5.7% (5.2%)	623,700 (334,091)	11.5% (6.2%)	1,654 (465)	0.0% (0.0%)	2,038,848 (1,728,821)	37.5% (32.3%)
全国	14,236,041 (14,480,958)	27.9% (28.7%)	3,567,075 (3,226,680)	7.0% (6.4%)	7,940,384 (4,637,280)	15.5% (9.2%)	11,580 (20,230)	0.0% (0.0%)	25,755,080 (22,365,148)	50.4% (44.4%)

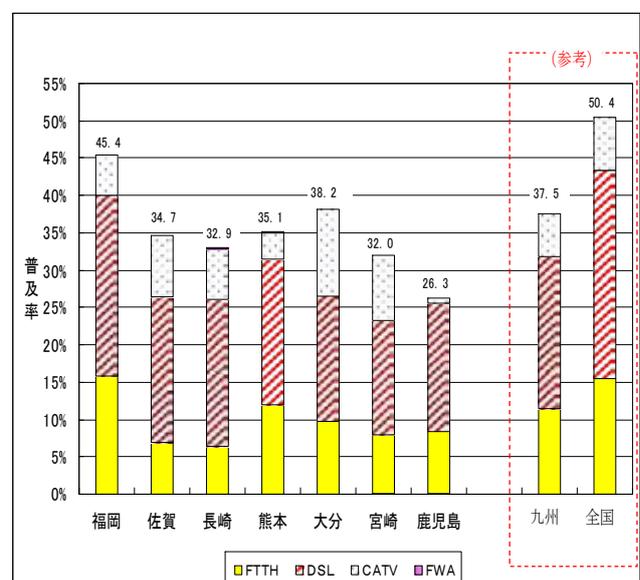
《九州総合通信局報道資料に基づき作成、()内は、平成17年12月末現在》

図表 1-2 ブロードバンドの普及率の推移



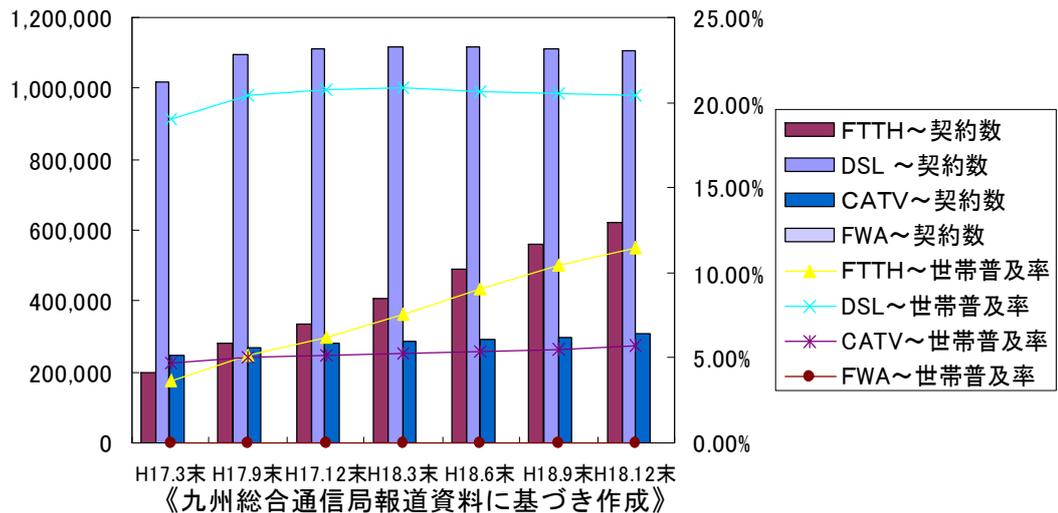
《九州総合通信局 2007. 3. 27 報道資料》

図表 1-3 各県別のブロードバンドの世帯普及率



《九州総合通信局 2007. 3. 27 報道資料》

図表 1-4 九州におけるアクセス別のブロードバンド契約数及び普及率の推移



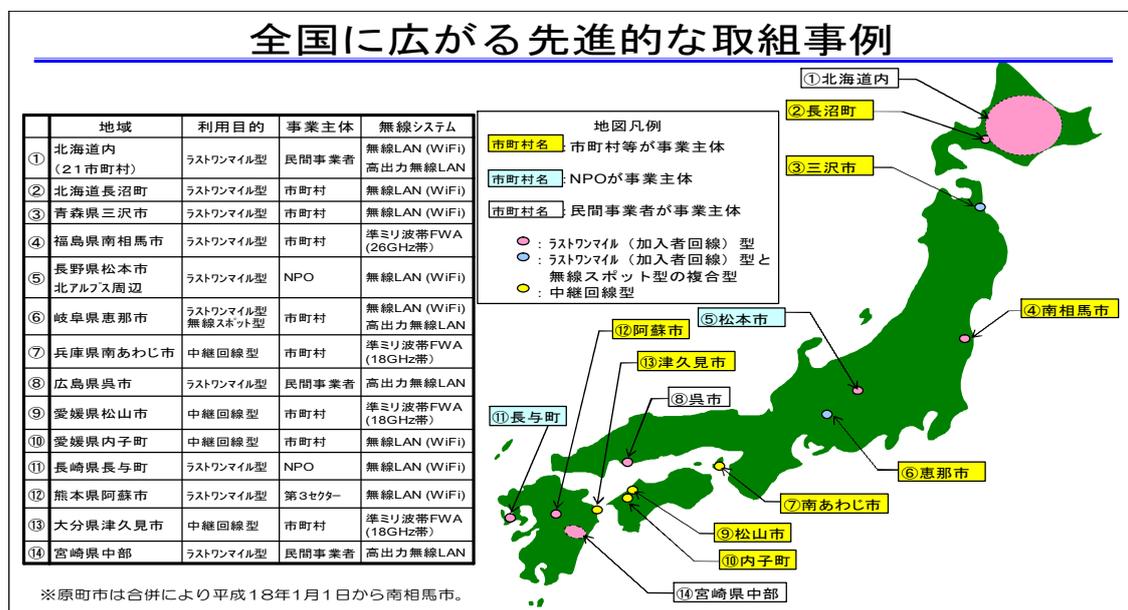
1.3.2 無線を使用した先進的な取組事例

通信事業者は光ファイバを主な通信回線としてブロードバンドサービスを全国に展開しているが、光ファイバを敷設困難な場所には無線を補完的に利用してサービスを行っている。敷設例としては、光ファイバの敷設が困難なマンションへの光サービスの提供等であって、多数の利用者へのサービス提供を前提としている。

そのような中で、無線をラストワンマイルや中継回線等に使った先進的な取り組みが行われている（全国の事例を図表 1-5 に示す。）。九州管内においては、図表 1-6 に示すとおり宮崎県では県の情報ハイウェイと民間の無線 LAN を組み合わせたシステムや図表 1-7 に示すとおり長崎県長与町では NPO による無線 LAN を使ったシステムを用いて各種のブロードバンドサービスが提供されている。

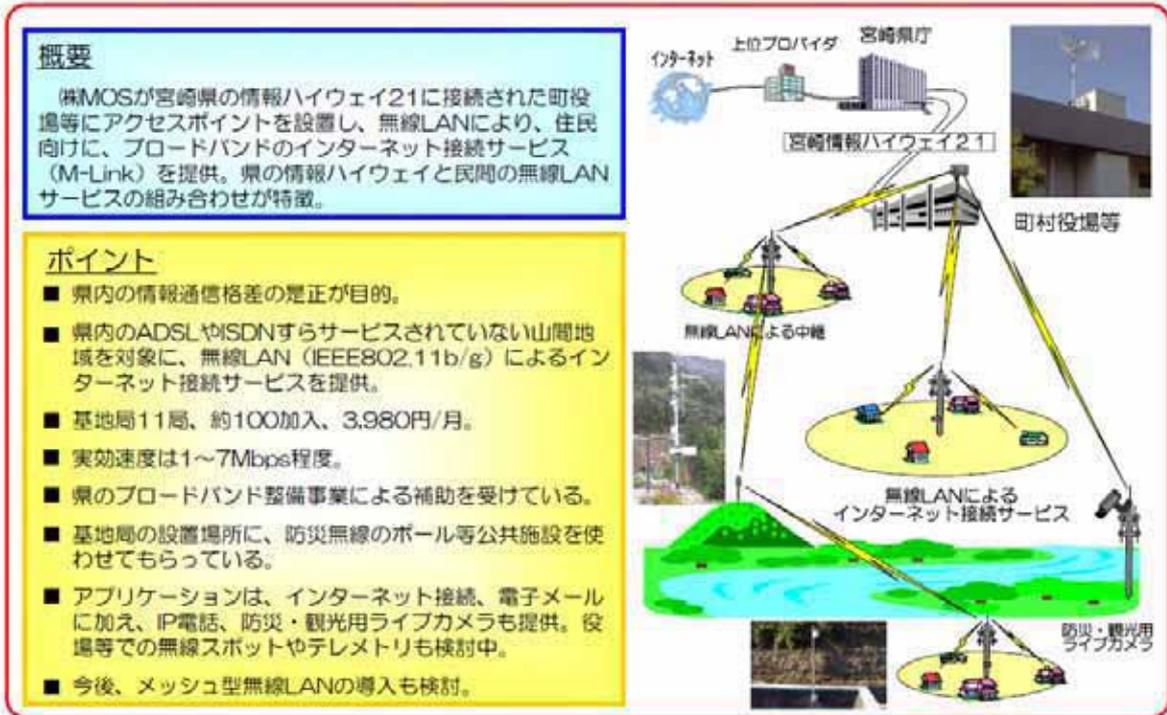
これらのサービスの伝送速度は数～数十 Mbps が中心で光ファイバ並には至っていない。

図表 1-5 全国に広がる先進的な取組事例



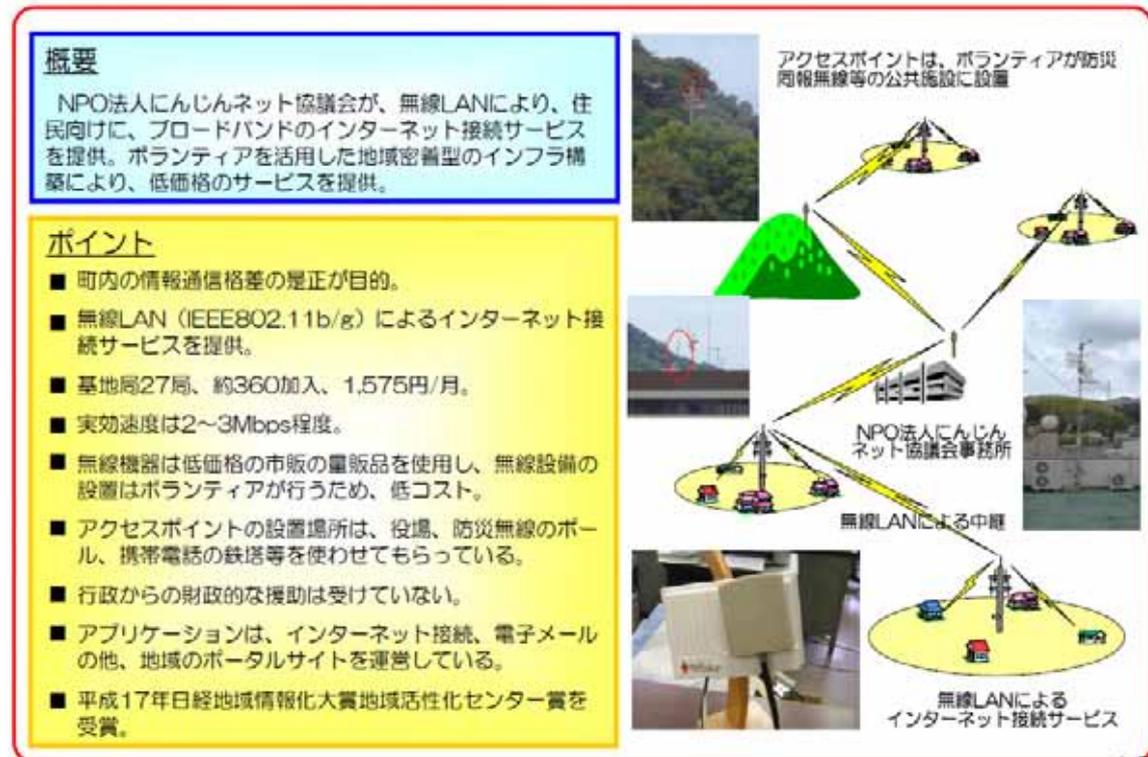
図表 1-6 先進的な取組事例 1 宮崎県の事例

宮崎県の事例（官民連携による無線LANインターネットサービス）



図表 1-7 先進的な取組事例 2 長崎県長与町の事例

長崎県長与町の事例（NPOによる無線LANインターネットサービス）



1.4 超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討の方向性

1.4.1 超高速無線ブロードバンド技術動向の調査

前項では、光ファイバ並みの無線について検討することが必要とされた。そこで本調査検討会では、光ファイバ並の大容量・高速で双方向通信が可能な無線システムについて周波数帯ごとに技術動向の調査を行い、図表 1-8 に整理した。

その調査の結果、光ファイバ並と考えられる TV 換算で 100ch 以上の大容量・高速の双方向通信やラストワンマイルの使用が可能な数 km 程度の伝送距離が確保できるいわゆる超高速無線ブロードバンド技術のシステムとしては、図表 1-8 の「システムの特徴」の欄で全てを満たしているミリ波の 40GHz 帯におけるシステムが適当と考えられた。

ミリ波帯の電波伝搬の特徴については、1-4-2 で、モデルシステムを提案するための実証試験については 1-4-3 において述べることにする。

図表 1-8 超高速無線ブロードバンドの技術動向

平成 18 年 3 月末現在

周波数帯	システム名等	最大空中線電力	使用周波数帯	最大帯域幅 (MHz)	最大伝送速度 (TV伝送換算)※1	伝搬距離 ※2	降雨減衰 (25mm/h)	大気減衰 (概算)	規格等	免許の要否	局数※4 (全国)	電波伝搬の特徴※5		
												大容量・高速	双方向	伝搬距離
2.4 GHz	無線 LAN (WiFi)	10mW/MHz 以下	2400~2497MHz	20	54 Mbps (6ch以下)	数百m (1対N)	0.01dB/km	微少	ARIB STD-T66 IEEE802.11/b/g	×	31063461 (H16年度末)	○	○	×
5.0 GHz (屋外用)	高出力無線LAN	0.25W	4900~5000MHz (5030~5091MHz)	20	54 Mbps (6ch以下)	数km (1対N)	0.05dB/km	微少	ARIB STD-T70/71 IEEE802.11a	○	246	○	○	◎
5.2 GHz (屋内用)	無線 LAN	10mW/MHz 以下	5150~5250MHz	20	54 Mbps (6ch以下)	約50m			ARIB STD-T70	×	1,535	○	○	×
									ARIB STD-T71 IEEE802.11a	×	3,536	○	○	×
18 GHz	準ミリ波帯FWA (公共業務用電気通信業務用)	1W	17.97~18.57GHz 19.22~19.7GHz	57MHz × 12スロット	156 Mbps (19ch以下)	約10km	2dB/km	0.1dB/km		○	314	○	○	◎
22GHz	準ミリ波帯FWA	0.5W	22.0~22.4GHz 22.6~23GHz	17.5MHz × 25スロット	156 Mbps (19ch以下)	約4km	2.5dB/km	0.2dB/km	ARIB STD-T58 ARIB STD-T59	○	975	○	○	◎
26GHz		0.1W	25.25~27.0GHz	25.5MHz × 9スロット			3.5dB/km	0.2dB/km			4,092	○	○	◎
38GHz		0.2W	38.5~39.05GHz	42MHz × 7スロット			6dB/km	0.2dB/km			296	○	○	◎
23 GHz	CATV中継伝送 (有テレ事業用)	1W	23.2~23.6GHz	400	(63ch以下)	約 8km	2.8dB/km	0.2dB/km		○	24	◎	×	◎
25 GHz	小電力データ通信システム	10mW/MHz 以下	24.75~25.25GHz 27.0~27.5GHz	10MHz × 10スロット	100 Mbps (12ch以下)	約 1km	3.2dB/km	0.2dB/km	ARIB STD-T83	×	0	○	○	◎
40 GHz	試験システム		39.5~41.5GHz 42.0~42.5GHz	2000 500	(250ch以下)	約数km	6.5dB/km	0.2dB/km				◎	◎	◎
60 GHz	無線アクセス無線 LAN	10mW/MHz 以下	59~66GHz	2500	1250 Mbps (156ch以下)	約数百m	10dB/km	16dB/km (60GHz付近減衰大)	ARIB STD-T74	×	506	◎	◎	×

※1: NTSCは帯域6MHzで換算。MPEG2及び地デジSTDIは8Mbpsで換算。

※2: 伝搬距離は、各種文献やメーカーから取得した概数。使用条件・環境により変動する。

※3: ARIB:社団法人電波産業会

※4: 無線局数以外はJEITEの出荷台数またはTELECOMの技術基準適合証明・認証の取得数

※5: 大容量・高速の評価 ◎: 156Mbps超 ○: 156Mbps~30Mbps超 △: 30Mbps~1.5Mbps超 ×: 1.5Mbps以下

双方向の評価 ◎: 双方向で156Mbps超 ○: 156Mbps以下 ×: 不可(単方向のみ)
伝搬距離の評価 ◎: 1km以上 ○: 1km~500m超 ×: 500m以下

1.4.2 ミリ波帯の特徴

ミリ波帯の電波は光と同様の直進性を有し、降雨による影響が大きいことから、一般的に地上の見通し内において使用されるので、自由空間伝搬損の他に

- ① 伝搬路途中の障害物による回折損
- ② 受信アンテナにおける電波到来角変動による減衰
- ③ 大気ガス吸収による減衰
- ④ シンチレーションによるフェージング
- ⑤ ダクトによる干渉・減衰によるフェージング
- ⑥ 降雨による減衰

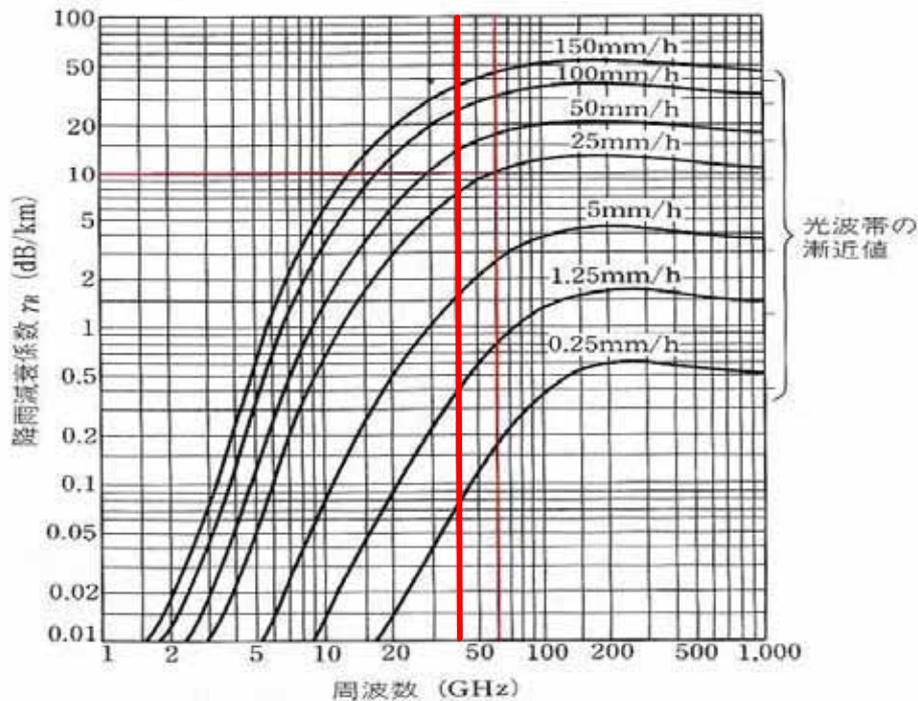
による影響が挙げられている。このうち回折損は、通常の見通し内伝搬路においてはクリアランスを確保するので問題とならない。到来角変動も通常のポインティング損を見込めば十分。大気ガスの吸収による減衰は、22GHz や 60GHz 付近の水蒸気や酸素の共振周波数帯以外では少ない。さらに地上見通し内伝搬路におけるシンチレーションは数 dB 以下であり、①から⑤については大きな問題とならない事が知られている。一方、降雨による影響を考慮することが重要であり、図表 1-9 から 40GHz 帯では、例えば 25mm/h の降雨で約 8dB/km の減衰等、影響が大変大きいことが読み取ることができる。

以上の技術的特性から本 40GHz 帯を使用するに当たっては、想定される実環境下において、降雨による影響を把握することが重要となる。また、比較的近距離の場合に強いと想定される反射の影響について確認しておく必要がある。

そのため、実環境下に実証試験システムを構築し、降雨時における減衰を測定・評価し降雨マージンの適当な推定法を明らかにするとともに、C/N 等を測定・評価する伝搬試験を実施する。

これらの結果から、実利用のため、モデルシステムを提案する。

図表 1-9 降雨減衰の周波数特性



出典：CCIR Rep. 721-3

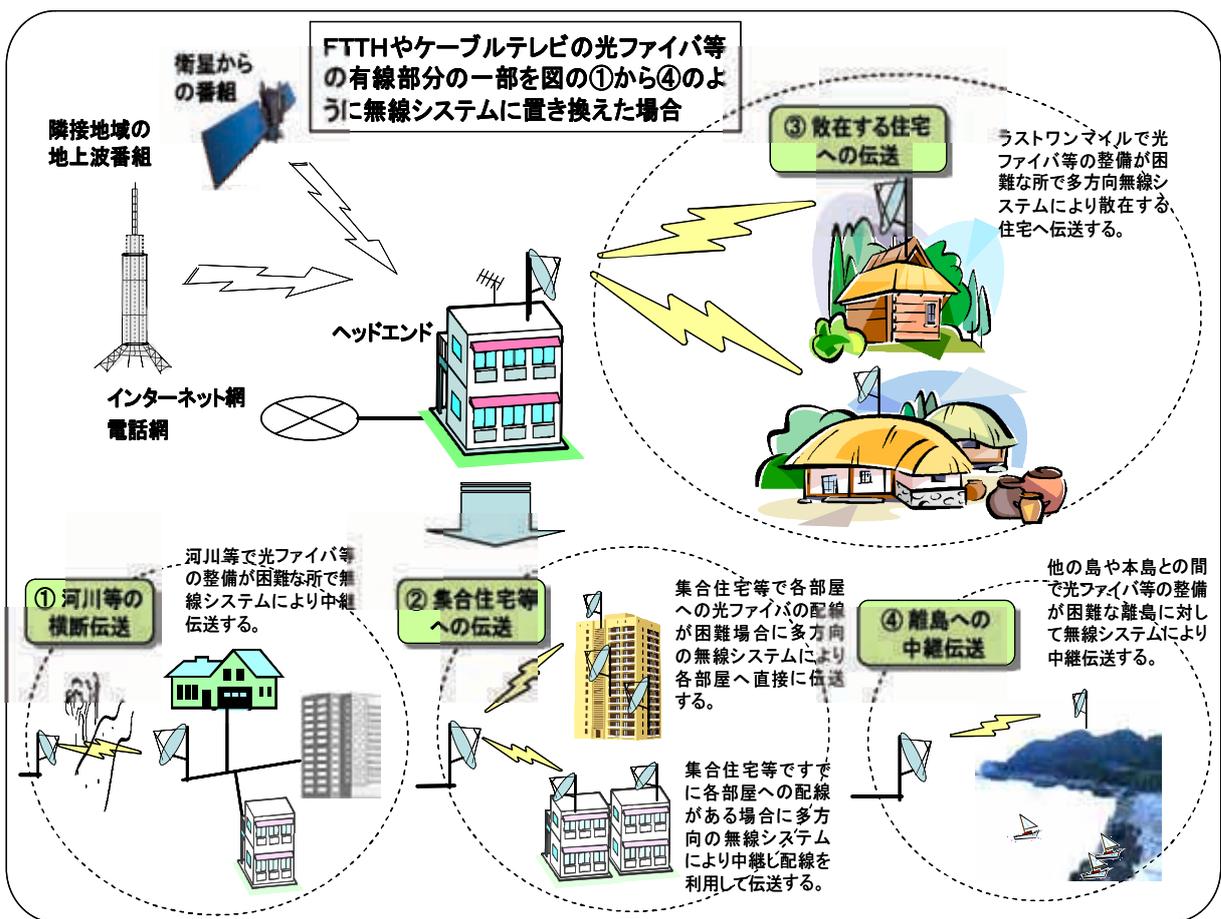
1. 4. 3 実証試験環境とモデルシステムの想定

前項から実証試験の環境設定には事前にモデルシステムごとの利用形態を考慮することが必要となる。

そこで、九州管内では、人口が少なく遠隔地に住宅が散在する離島や山間部等を多く抱えていて、採算性から光ファイバによるブロードバンドの整備が遅れている状況から、図表 1-10 に示す様な 4 つの利用形態を想定した。この 4 つの利用形態を図表 1-11 の表のとおり 2 つの通信形態に分け、それぞれを想定した 2 つの試験環境で実証試験を行うことを計画した。

なお、当該システムの導入について、想定される利用形態を示しつつ、意向調査を行うこととした。

図表 1-10 無線ブロードバンドシステムの想定される利用形態



図表 1-11 通信形態ごとに分けた利用形態

一対多方向	一対一対向
②集合住宅等への伝送	① 河川等の横断伝送
③散在する住宅への伝送	④離島への中継伝送

第2章

■ 実証試験

- 1 実証試験の目的と概要
- 2 実証試験の実施内容と結果
- 3 公開実証試験

第2章 実証試験

2.1 実証試験の目的と概要

2.1.1 目的

本実証試験は、九州の実環境で、超高速無線ブロードバンド技術として光ファイバ並の超高速インターネットや大量の映像伝送が可能な広帯域伝送路が確保できる可能性のある40GHz帯の無線設備の技術的特性について把握することを目的として行った。

2.1.2 実証試験の概要

今回実施した実証試験では、まず実証試験に供する装置の基本性能が所要の性能を満足していることを確認した。

次に電波伝搬試験、画質評価やインターネット接続試験のため、比較的近距離を想定した「一対多方向(P-MP)」の試験を熊本地区で、それより長距離を想定した「一対一方向(P-P)」の試験を大分地区で行った。熊本地区では2月8日から3月8日までの約1か月間、NHK熊本放送局屋上に親局装置を、熊本市役所屋上に子局装置を設置して、P-MPの一系統による長期連続試験を行うと共に、試験期間の最後(3月8日)に子局2系統によるP-MPの伝送試験を行った。

大分地区では2月12日から3月7日までの間、大分ケーブルテレコム屋上に親局装置を、大分県立大分高等技術専門校屋上に子局装置を設置してP-Pの長期連続試験を行った。また、送受信装置間の大地あるいは建造物などによって40GHz帯の電波に反射が発生すること及び発生した反射波が伝送品質に与える影響を、3月9日にNHK熊本放送局屋上において調査した。一つは屋上面で反射を発生させさらに、擬似伝送路を使って試験を実施した。以下、これらの実証試験の内容を具体的に述べる。

2.2 実証試験の実施内容と結果

2.2.1 実証試験装置の基本性能測定と確認

(1) 試験装置の系統と特性・諸元

今回の実証試験で使用した40GHz帯の送受信装置は、親局用装置と子局用装置で構成され、それぞれ送信装置と受信装置を備えている。

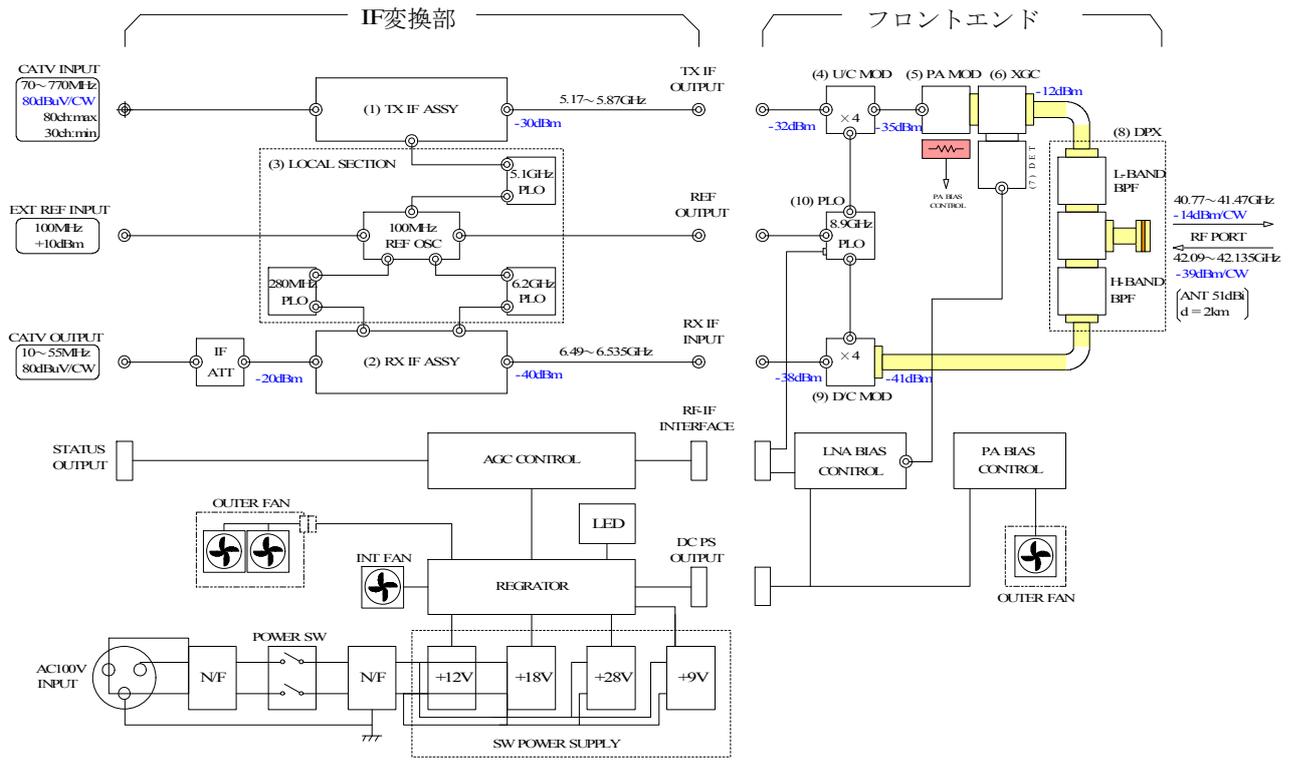
送信装置は、親局用では70MHz~770MHzのCATV信号(FM信号、VSB-AM信号、64QAM信号、OFDM信号)を、子局用では10MHz~55MHzのCATV信号(QPSK信号、VSB-AM信号)を、FDM-SSB変調して40GHz帯に周波数変換し所用の電力まで増幅している。

一方、受信装置は、子局用では親局から一括送信されてくるFDM-SSB変調波を受信して親局用送信装置の入力信号である70MHz~770MHzのCATV信号に復調し、親局用では子局からのFDM-SSB変調波を受信して10MHz~55MHzのCATV信号に復調する。

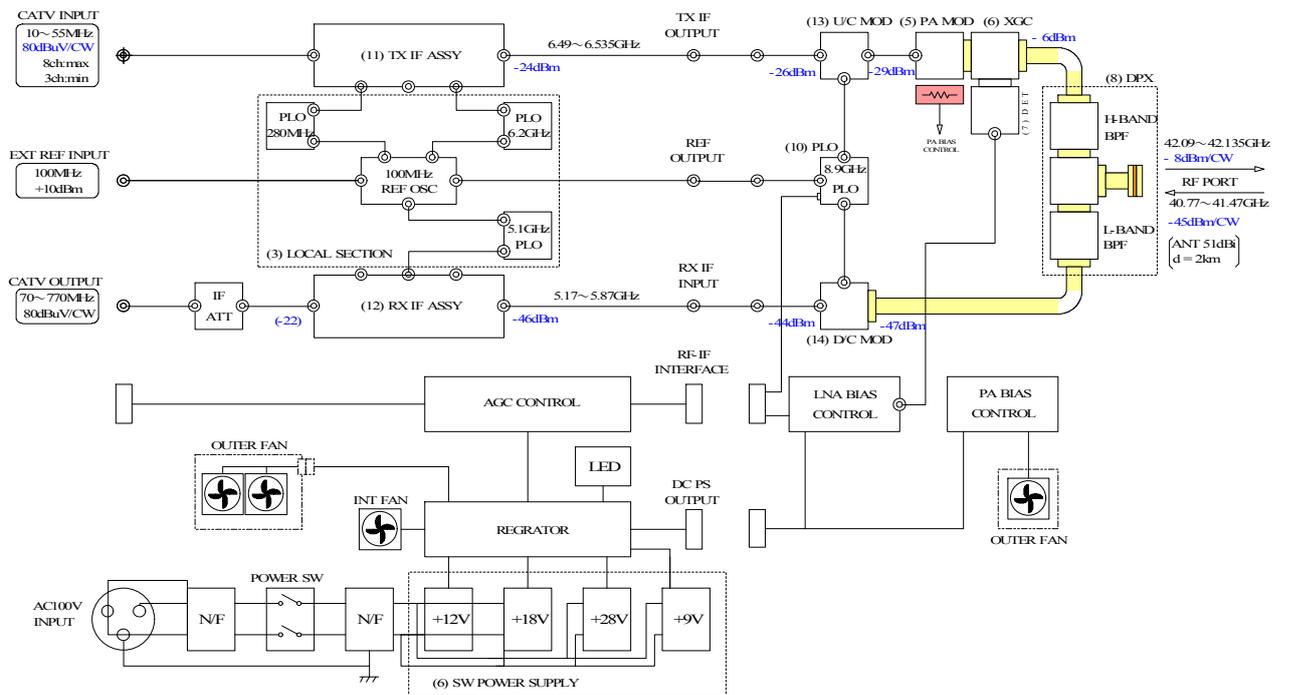
図表2-1に親局装置、図表2-2に子局装置の系統図を示す。また図表2-3及び図表2-4に親局及び子局の諸元を示す。

これらの装置は、表に示されているように親局が7dBm、子局が3dBmの送信出力で、熊本地区の実証試験に使用された。一方、大分地区の実証試験では、上記装置を基本装置として40GHz帯の終段増幅器に進行波管増幅器(TWTA)を用いて、親局が27dBm、子局が23dBmの送信出力として用いている。そのTWTAの特性については(4)項で述べる。

図表 2-1 親局装置 総合系統図



図表 2-2 子局装置 総合系統図



図表 2-3 親局装置の諸元

項目	性能/諸元(要求仕様)	設計仕様	
送信装置	入力信号	FM, VSB-AM, 64QAM, OFDM	←
	入力・回波数範囲	70MHz~770MHz	←
	入力信号レベル	1波あたり80dB μ V	←
	入力信号波数	***	最小30波 ~ 最大80波
	変調方式	FDM-SSB	
	送信周波数帯	40.65GHz~41.50GHzのうち必要最小限の帯域幅	ゼロビートローカルリークを40.70GHzとし、70MHz~770MHzを40.77GHz~41.47GHzに周波数変換
	送信周波数帯幅	700MHz以内	←
	送信周波数偏差	± 150 ppm以内	5×10^{-6} (5ppm)程度の100MHzTCXOを基準発振器として使用 OFDMの周波数精度要求に対しては外部基準入力(100MHz/ ± 10 dBm)が必要
	送信電力	5mW (7dBm)以上	←
	送信電力許容差	上限50%、下限50%以内	送信最終出力PAの出力をサンプルし、トータルパワーAGCを採用する ただし入力信号波数が30波~80波において動作保証
	スプリアス	50 μ W以下(-13dBm以下)	認可帯域内ローカルリーク -16dBm (40.70GHz)以下 帯域外イメージ信号輻射 -52dBm/CW (39.93GHz~40.63GHz)
	帯域内周波数特性		2dBpp以下 (40.77GHz~41.47GHz)
受信装置	受信周波数帯	42.0GHz~42.15GHzのうち必要最小限の帯域幅	42.09GHz~42.135GHz
	受信部雑音指数	10dB以下	10dB以下(ダイプレクサを除き9dB程度)
	受信感度	-43dBm以下	所要C/Nを42dBとするとNF10dBのノイズレベル(BW 4MHz)は -98dBm -98dBm+42dB= -56dBm/CWとなる
	出力周波数範囲	10MHz~55MHz	←
	出力信号レベル	1波あたり80dB μ V	←
	出力信号	QPSK, VSB-AM	←
	帯域内周波数特性		1dBpp以下 (10MHz~55MHz)

図表 2-4 子局装置の諸元

項目	性能/諸元(要求仕様)	設計仕様	
送信装置	入力信号	QPSK, VSB-AM	←
	入力・回波数範囲	10MHz~55MHz	←
	入力信号レベル	1波あたり80dB μ V	←
	入力信号波数	***	最小3~最大8
	変調方式	FDM-SSB	
	送信周波数帯	42.00GHz~42.15GHzのうち必要最小限の帯域幅	ゼロビートローカルリークを42.08GHzとし、10MHz~55MHzを42.09GHz~42.135GHzに周波数変換
	送信周波数帯幅	45MHz以内	←
	送信周波数偏差	± 150 ppm以内	5×10^{-6} 程度の100MHzTCXOを基準発振器として使用 受信系OFDMの周波数精度要求に対しては外部基準入力(100MHz)を用意
	送信電力	2mW (3dBm)以上	←
	送信電力許容差	上限50%、下限50%以内	送信最終出力PAの出力をサンプルし、トータルパワーAGCを採用する ただし入力信号波数が3波~8波において動作保証
	スプリアス	50 μ W以下(-13dBm以下)	認可帯域内ローカルリーク -14dBm (42.08GHz)以下 帯域外イメージ信号輻射 -46dBm/CW (42.05GHz~42.07GHz)
	帯域内周波数特性		1dBpp以下 (42.09GHz~42.135GHz)
受信装置	受信周波数帯	40.65GHz~41.50GHzのうち必要最小限の帯域幅	40.77GHz~41.47GHz
	受信部雑音指数	10dB以下	10dB以下(ダイプレクサを除き9dB程度)
	受信感度	-43dBm以下	所要C/Nを42dBとするとNF10dBのノイズレベル(BW 4MHz)は -98dBm -98dBm+42dB= -56dBm/CWとなる
	出力周波数範囲	70MHz~770MHz	←
	出力信号レベル	1波あたり80dB μ V	←
	出力信号	FM, VSB-AM, 64QAM, OFDM	←
	帯域内周波数特性		2dBpp以下 (70MHz~770MHz)

(2) 親局・子局装置の基本性能測定

ア 測定系統

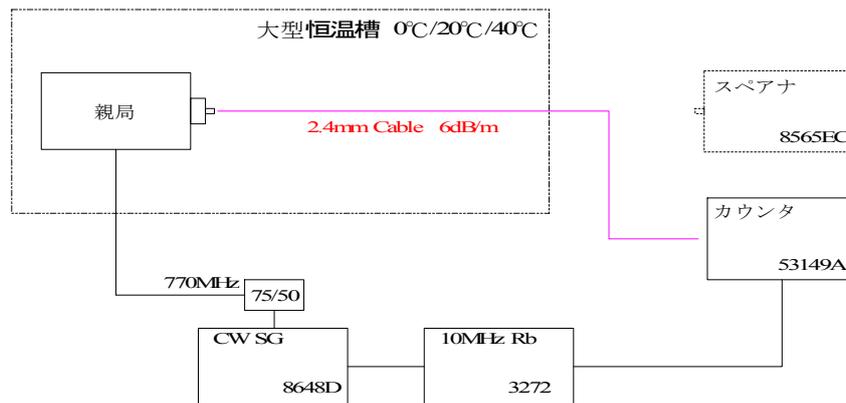
(ア) 周波数変動特性の測定系統

ここでは、温度に対する出力周波数の変動特性について、測定系統を記載する。

- ① 親局単体出力周波数変動特性測定系統図を図表 2-5 に示す。

親局の CATV 入力端子に 90~770MHz の CATV 局相当の信号 (6MHz 間隔の 1 波) を入力し、40GHz 帯出力導波管からの信号の周波数を測定する。

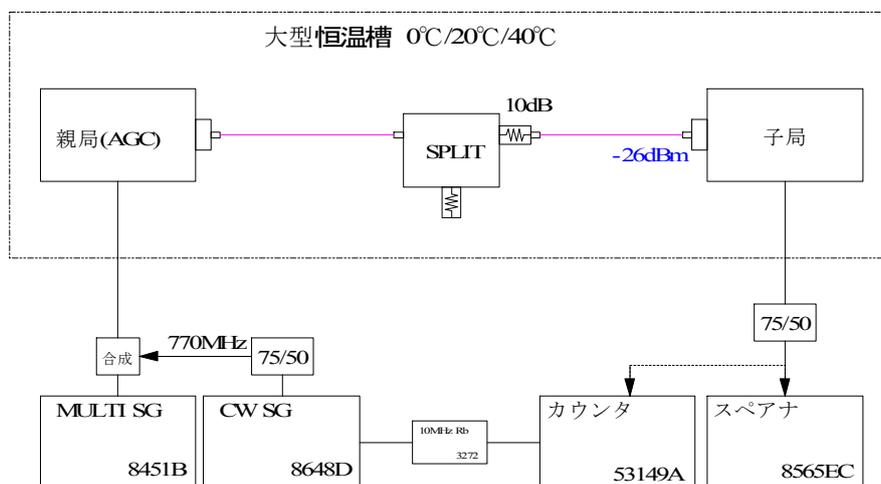
図表 2-5 親局単体出力周波数変動特性測定系統図



- ② 総合接続出力周波数変動特性測定系統図を図表 2-6 に示す。

親局の CATV 入力端子に 90~770MHz の CATV 局相当の信号 (6MHz 間隔の 1 波または多信号) を入力する。親局の 40GHz 帯出力導波管からの信号を擬似伝送路を通して子局の 40GHz 帯入力導波管に入力する。子局の CATV 出力端子からの信号の周波数を測定する。

図表 2-6 総合接続出力周波数変動特性測定系統図



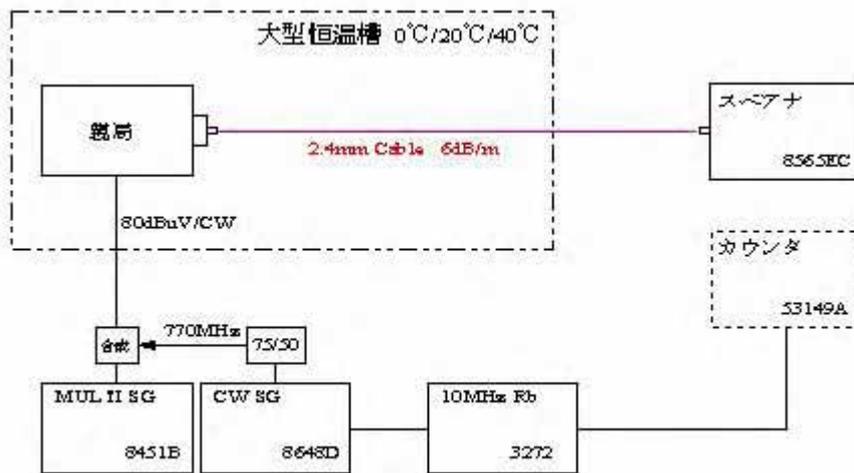
(イ) 振幅周波数特性の測定系統

ここでは温度に対する各周波数の振幅変動特性（振幅周波数特性）について、測定系統を記載する。

① 親局単体振幅周波数特性測定系統図を図表 2-7 に示す。

親局の CATV 入力端子に 90~770MHz の CATV 局相当の信号（6MHz 間隔の多信号）を入力し、40GHz 帯出力導波管からの信号の電力を測定する。

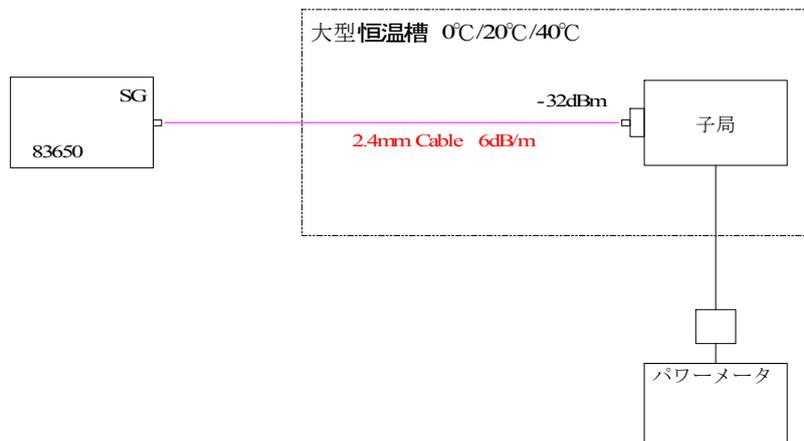
図表 2-7 親局単体振幅周波数特性測定系統図



② 子局単体振幅周波数特性測定系統図を図表 2-8 に示す。

子局の 40GHz 帯出力導波管入力に CATV 周波数に相当する 40GHz 帯の CW 信号を入力し CATV 出力端子からの信号の電力を測定する。

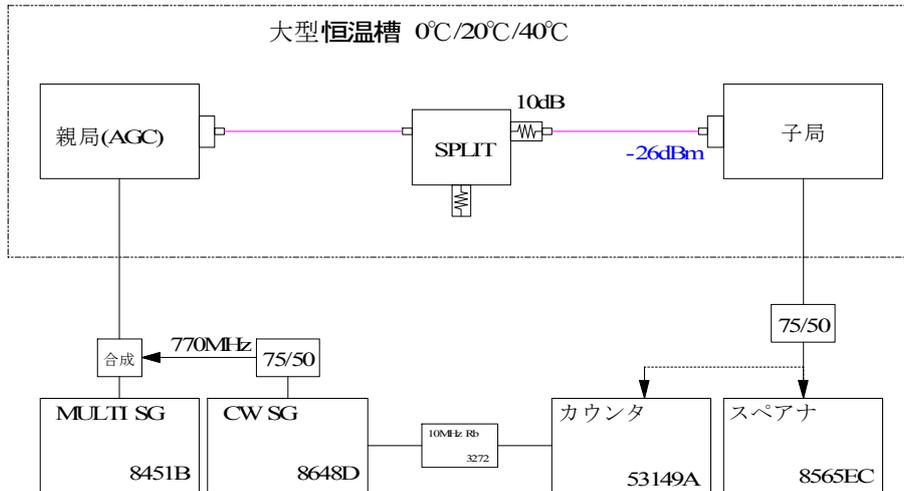
図表 2-8 子局単体振幅周波数特性測定系統図



③ 総合接続振幅周波数特性測定系統図を図表 2-9 に示す。

親局の CATV 入力端子に 90~770MHz の CATV 局相当の信号（6MHz 間隔の 1 波または多信号）を入力する。親局の 40GHz 帯出力導波管からの信号を擬似伝送路を通して子局の 40GHz 帯入力導波管に入力する。子局の CATV 出力端子からの信号の電力を測定する。

図表 2-9 総合接続振幅周波数特性測定系統図



イ 測定結果

(ア) 周波数変動特性

温度に対する周波数変動特性について、今回使用した親・子局は、AFC を実装しておらず、装置本来の特性が次の通り確認できた。

① 親局単体出力周波数変動特性の測定結果を図表 2-10 に示す。

図表 2-10 親局単体出力周波数変動特性

		0°C	20°C	40°C
出力周波数 (GHz)		41.470195332	41.470025660	41.470000203
偏差	(kHz)	195.332	25.660	0.203
	(ppm)	4.71	0.62	0.00

② 総合接続出力周波数変動特性の測定結果を図表 2-11 に示す。

図表 2-11 総合接続出力周波数変動特性

		0°C	20°C	40°C
出力周波数 (MHz)		770.055884	770.000185	769.961543
偏差	(kHz)	0.185	-38.457	-38.11
	(ppm)	0.24	-49.95	-49.50

(イ) 振幅周波数特性

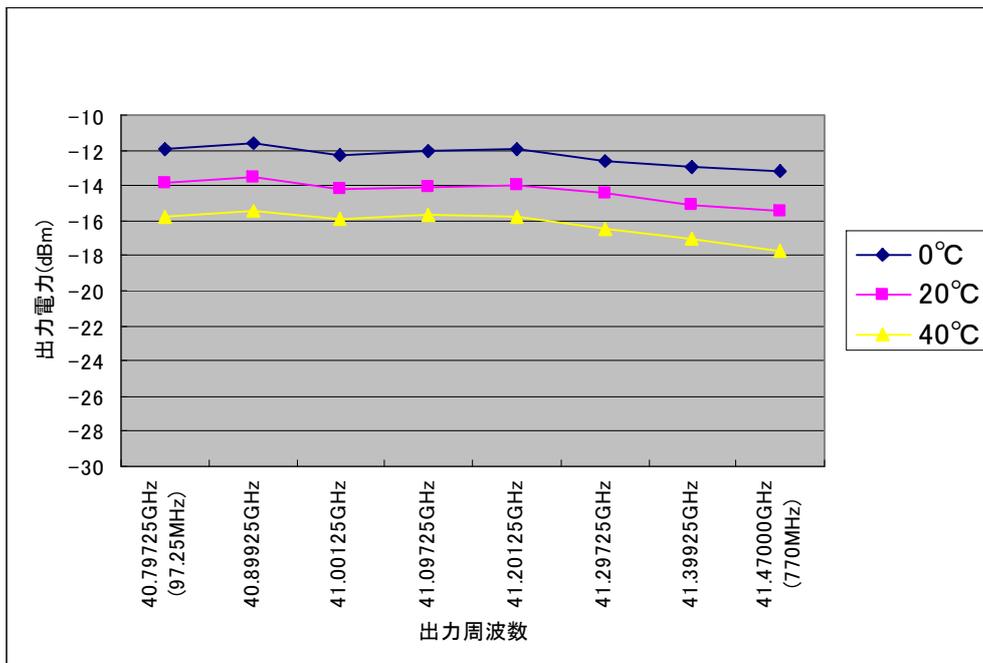
温度に対する振幅周波数特性について、次の通り親・子局の各装置や総合システム（親局－子局）としての特性が確認できた。

- ① 親局単体振幅周波数特性の測定結果を図表 2-12, 2-13 に示す。

図表 2-12 親局単体振幅周波数特性

入力周波数	入力レベル	出力周波数	出力電力(dBm)		
			0℃	20℃	40℃
97.25MHz	-27dBm	40.79725GHz (97.25MHz)	-11.95	-13.92	-15.85
199.25MHz	-27dBm	40.89925GHz	-11.55	-13.52	-15.45
301.25MHz	-27dBm	41.00125GHz	-12.3	-14.23	-15.96
397.25MHz	-27dBm	41.09725GHz	-12	-14.05	-15.72
501.25MHz	-27dBm	41.20125GHz	-11.9	-14.03	-15.8
597.25MHz	-27dBm	41.29725GHz	-12.59	-14.45	-16.49
699.25MHz	-27dBm	41.39925GHz	-12.99	-15.1	-17
770MHz	-27dBm	41.47000GHz (770MHz)	-13.19	-15.5	-17.7

図表 2-13 親局単体振幅周波数特性

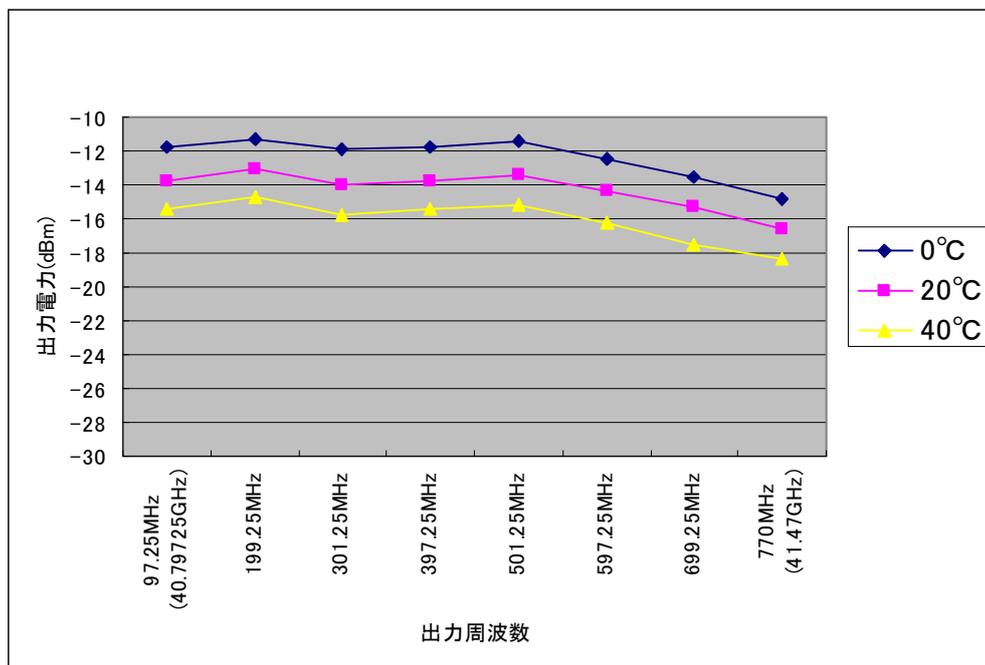


② 子局単体振幅周波数特性の測定結果を図表 2-14, 15 に示す。

図表 2-14 子局単体振幅周波数特性

入力周波数	入力レベル	出力周波数	出力電力(dBm)		
			0°C	20°C	40°C
40.79725GHz	-23dBm	97.25MHz (40.79725GHz)	-11.82	-13.81	-15.47
40.89925GHz	-23dBm	199.25MHz	-11.31	-13.1	-14.72
41.00125GHz	-23dBm	301.25MHz	-11.92	-13.98	-15.79
41.09725GHz	-23dBm	397.25MHz	-11.79	-13.75	-15.47
41.20125GHz	-23dBm	501.25MHz	-11.46	-13.4	-15.15
41.29725GHz	-23dBm	597.25MHz	-12.45	-14.39	-16.27
41.39925GHz	-23dBm	699.25MHz	-13.57	-15.35	-17.5
41.47000GHz	-23dBm	770MHz (41.47GHz)	-14.84	-16.6	-18.34

図表 2-15 子局単体振幅周波数特性



③ 総合振幅周波数特性の測定結果を図表 2-16, 17 に示す。

親局、子局とも低温時（0℃）での利得が多く、高温時（40℃）での利得が少ない傾向にある。総合では親局と子局の動きが加算され変動が多くなっている。

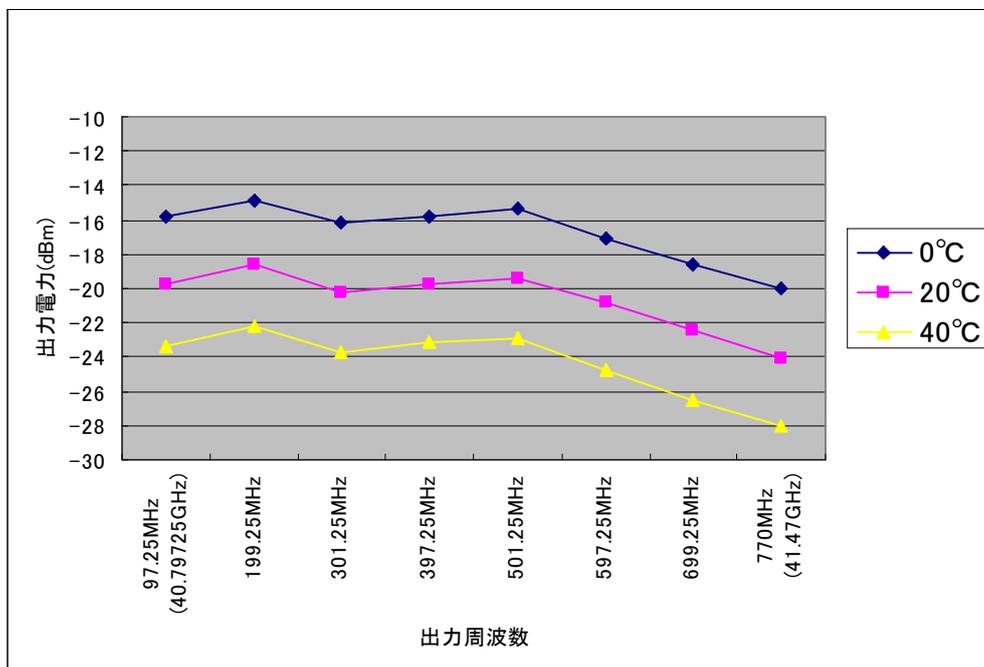
今回の降雨時で温度が異なる場合の測定レベルの補正は、この特性値で行うか、又は温度が同一で晴天時のデータと比較してレベル差を降雨減衰分と見なし行う。

温度情報はアメダスのデータを使用する。

図表 2-16 総合振幅周波数特性

入力周波数	入力レベル	出力周波数	出力電力(dBm)		
			0℃	20℃	40℃
97.25MHz	-27dBm	97.25MHz (40.79725GHz)	-15.77	-19.73	-23.32
199.25MHz	-27dBm	199.25MHz	-14.86	-18.62	-22.17
301.25MHz	-27dBm	301.25MHz	-16.22	-20.21	-23.75
397.25MHz	-27dBm	397.25MHz	-15.79	-19.8	-23.19
501.25MHz	-27dBm	501.25MHz	-15.36	-19.43	-22.95
597.25MHz	-27dBm	597.25MHz	-17.04	-20.84	-24.76
699.25MHz	-27dBm	699.25MHz	-18.56	-22.45	-26.5
770MHz	-27dBm	770MHz (41.47GHz)	-20.03	-24.1	-28.04

図表 2-17 総合振幅周波数特性



(3) アンテナの特性

ア アンテナ利得

実証試験には図表 2-18 示すパラボラアンテナを使用した。

図表 2-18 アンテナ利得

開口径	60cmφ	90cmφ
利得	45.3dBi	48.8dBi

周波数 41.5GHz、開口能率 50%

[使用場所等]

- i P-MP (NHK 熊本放送局 60cmφ ~ 約 380m ~ 熊本市役所 60cmφ × 2)
- ii P-P (大分ケーブルテレコム 90cmφ ~ 約 1.8Km
~ 大分県立大分高等技術専門校 90cmφ)
- iii 公開実証試験 (NHK 熊本放送局 60cmφ ~ 約 380m ~ 熊本市役所玄関前 60cmφ × 2)

イ 指向特性 (放射パターン)

今回の実証試験に用いたアンテナの指向特性 (放射パターン) について図表 2-19 の他、製作時に実測された結果を 60cmφ について図表 2-20~25 に、90cmφ について図表 2-26~31 に示す。

電力半値幅 (注) は、どちらのアンテナも概ね 1° と非常にシャープで、対向するアンテナとの間で送信軸を合わせる作業 (一般的にアンテナの方向調整と呼ばれている) に注意を要する。

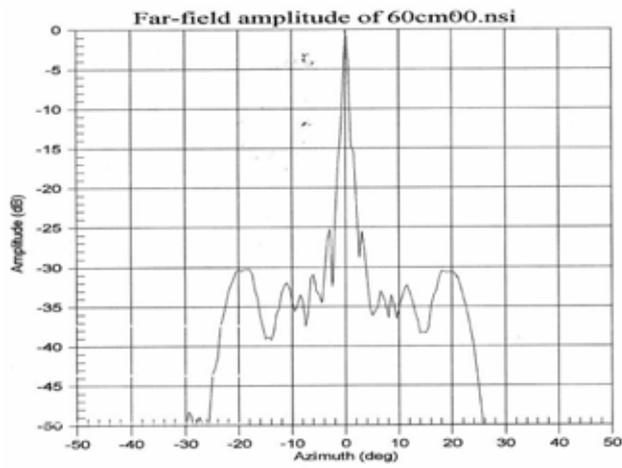
注: 電力半値幅 (HPBW: Half Power Beamwidth) とは、アンテナビームのピーク (最大利得) から 3dB さがったところの角度幅で、パラボラアンテナの直径に反比例してシャープになる。

図表 2-19 アンテナ指向特性 (放射パターン)

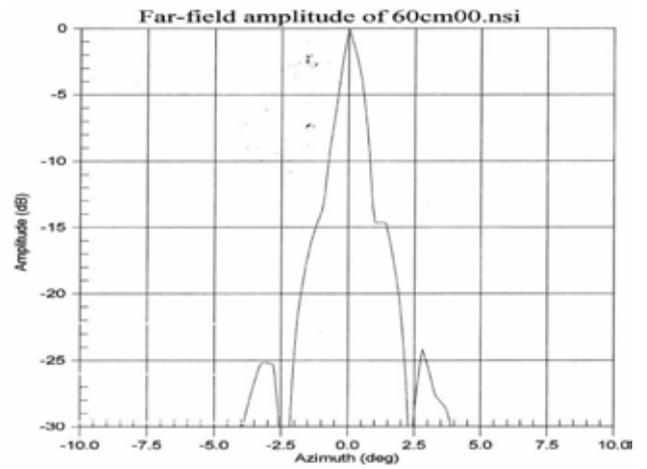
アンテナ直径	主軸方向からの角度	利得 (dB)
60cm	$0^\circ < \theta < 1.3^\circ$	$46.0 - 10.65 \theta^2$
	$1.3^\circ \leq \theta < 5^\circ$	$30.5 - 22.2 \log \theta$
	$5^\circ \leq \theta < 20^\circ$	15
	$20^\circ \leq \theta < 40^\circ$	$35 - 1.0 \theta$
	$40^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$	-5
90cm	$0^\circ < \theta < 0.9^\circ$	$49.5 - 19.14 \theta^2$
	$0.9^\circ \leq \theta < 5^\circ$	$32.8 - 25.5 \log \theta$
	$5^\circ \leq \theta < 20^\circ$	15
	$20^\circ \leq \theta < 40^\circ$	$35 - 1.0 \theta$
	$40^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$	-5

周波数: 41GHz

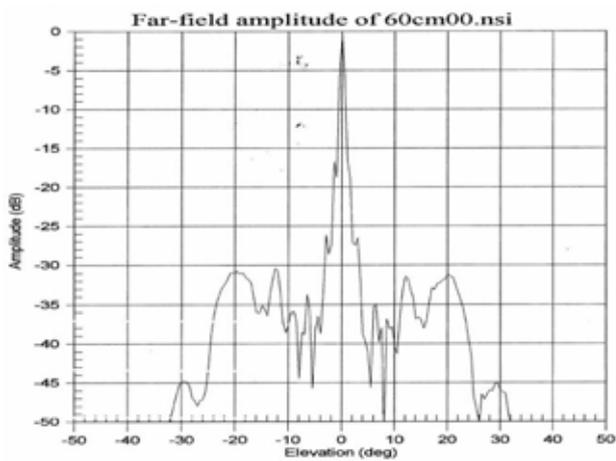
図表 2-20 60cm アンテナ広角指向性
(水平)



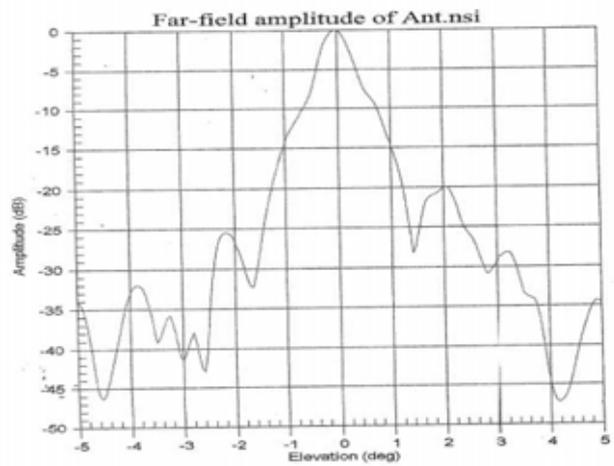
図表 2-21 60cm アンテナ広角指向性
(水平近傍)



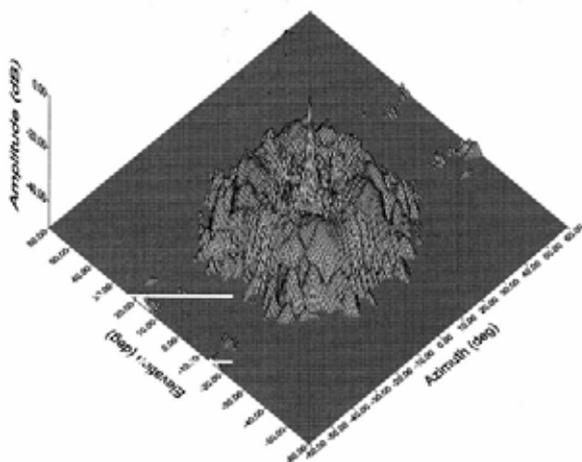
図表 2-22 60cm アンテナ広角指向性
(垂直)



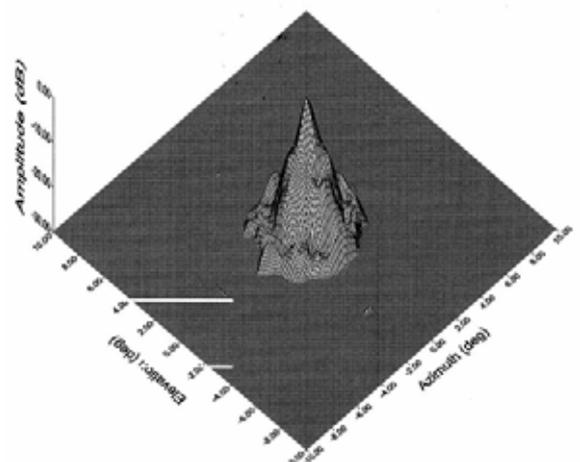
図表 2-23 60cm アンテナ広角指向性
(垂直近傍)



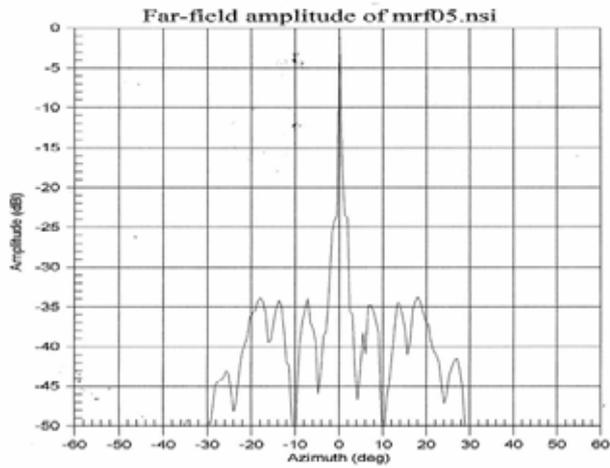
図表 2-24 60cm アンテナ立体指向性
(広角)



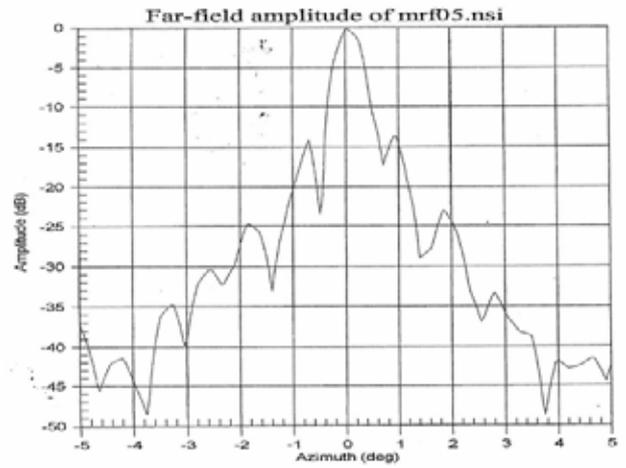
図表 2-25 60cm アンテナ立体指向性
(近傍)



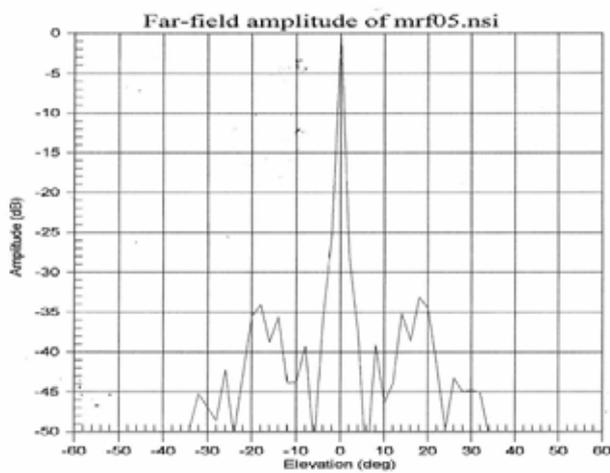
図表 2-26 90cm アンテナ広角指向性
(水平)



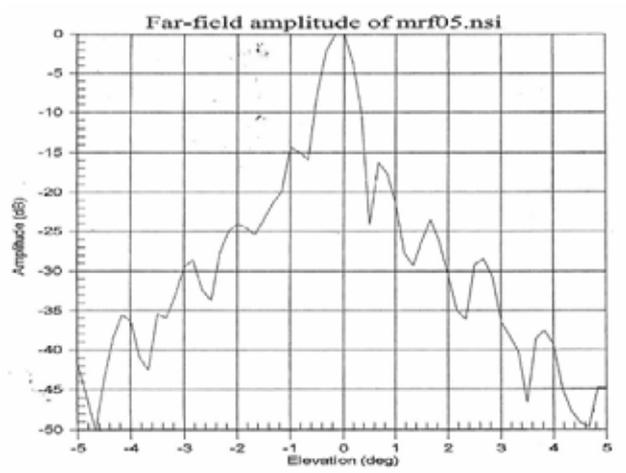
図表 2-27 90cm アンテナ広角指向性
(水平近傍)



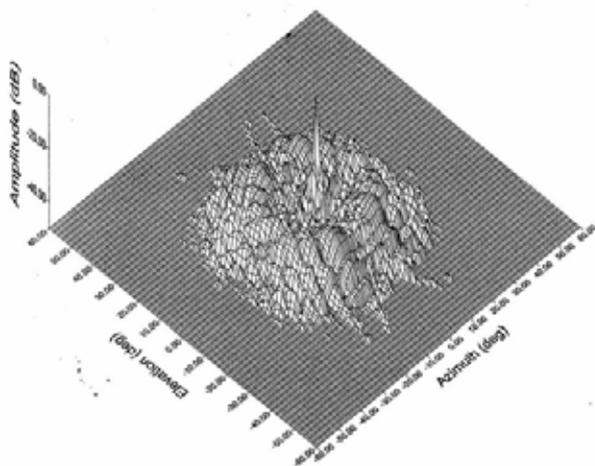
図表 2-28 90cm アンテナ広角指向性
(垂直)



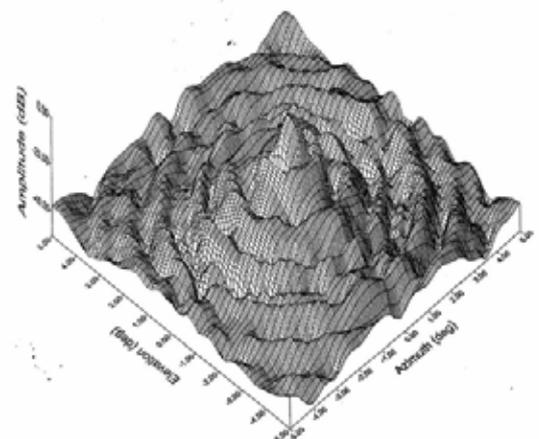
図表 2-29 90cm アンテナ広角指向性
(垂直近傍)



図表 2-30 90cm アンテナ立体指向性



図表 2-31 90cm アンテナ立体指向性
(近傍)

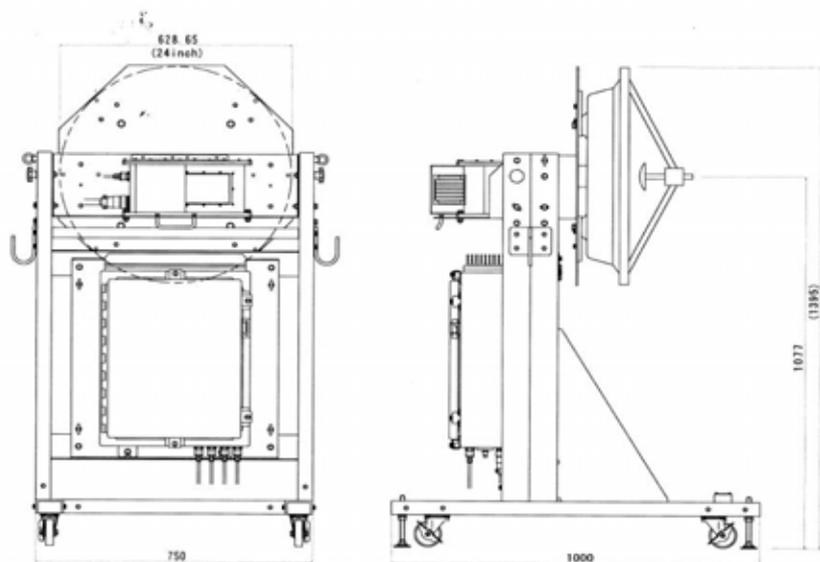


ウ 取付構造

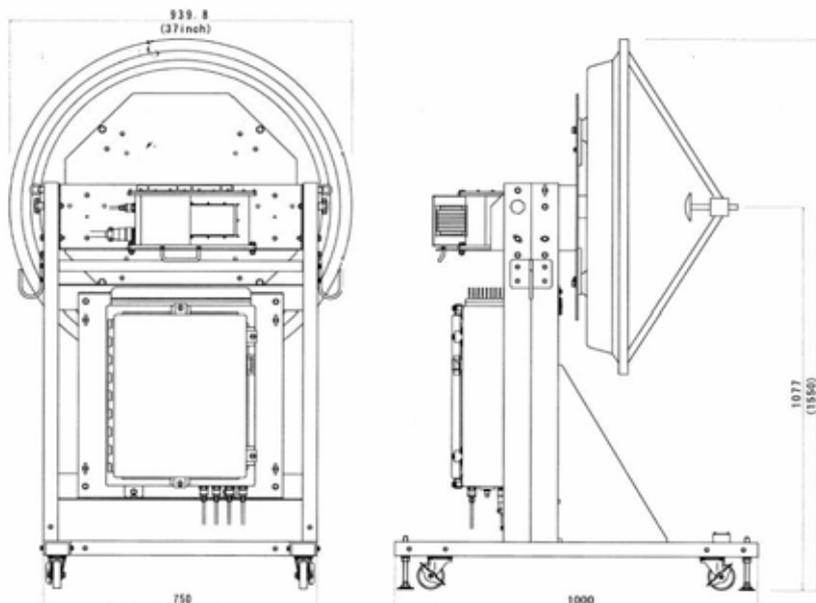
指向性の項で述べたように、パラボラアンテナの直径が大きくなると、指向性（電力半値幅）が非常にシャープになり、今回の実証試験で使用した 90cmφのアンテナの場合、図表 2-27、29 から、方位が 1 度ずれると 20dB 程度指向性減衰が生じる。風等によってアンテナが揺らぐと、受信レベルが大きく変動（ポンティング損）するので注意を要する。

今回の実証試験では、設置期間が短期間であることと試験であることを考慮して、図表 2-32、33 に示すような移動と固定が可能な構造の架台を使用した。

図表 2-32 60cm アンテナ架台概要図



図表 2-33 90cm アンテナ架台概要図



(4) 進行波管増幅器 (TWTA) の特性

ア 主要諸元

今回の実証試験では 38GHz 帯にて開発されていた進行波管増幅器 (TWTA) を 40GHz 帯にチューニングして使用する。TWTA の主要性能を図表 2-34 に示す。

P-P 試験では多チャンネル信号を比較的長距離伝送するため、送信増幅器には歪みの低減のためのバックオフが取れる程度の直線的な入出力特性や良好な雑音特性を有し、適当な降雨マージンの確保が可能な出力等の性能が必要となる。現在、この性能に見合う適当な半導体デバイスの入手は容易でないが、それを満たすことが見込める TWTA は入手が可能なので、P-P 試験では TWTA を使用することとする。

進行波管 (Traveling Wave Tube) に代表されるマイクロ波管は 40GHz 帯において数百 W の出力電力をもつ製品が市販されている。一方、TWTA の他、40GHz 帯の送信増幅素子としては、ガリウムヒ素 (GaAs) 系半導体、近年開発が進んでいる窒化ガリウム (GaN) 系半導体等があるものの、市販されている半導体デバイスの出力は現状では数 W 程度に留まっている。

図表 2-34 TWTA の主要性能

項 目	チューニング前	チューニング後 (実証試験用)
周波数範囲	38.0~40.0GHz	40.5~42.5GHz
出 力	100W peak	80W peak (飽和出力)
利 得	48dB max	48dB max
相互変調歪 (IM3)	-30dBc typ (5Wx2 波出力時)	-45dBc typ (250mWx2 波出力時)
入出力 VSWR (注)	2.5 max	2.5 max
雑音指数 (NF)	30dB max	30dB max
消費電力	100W typ	100W typ

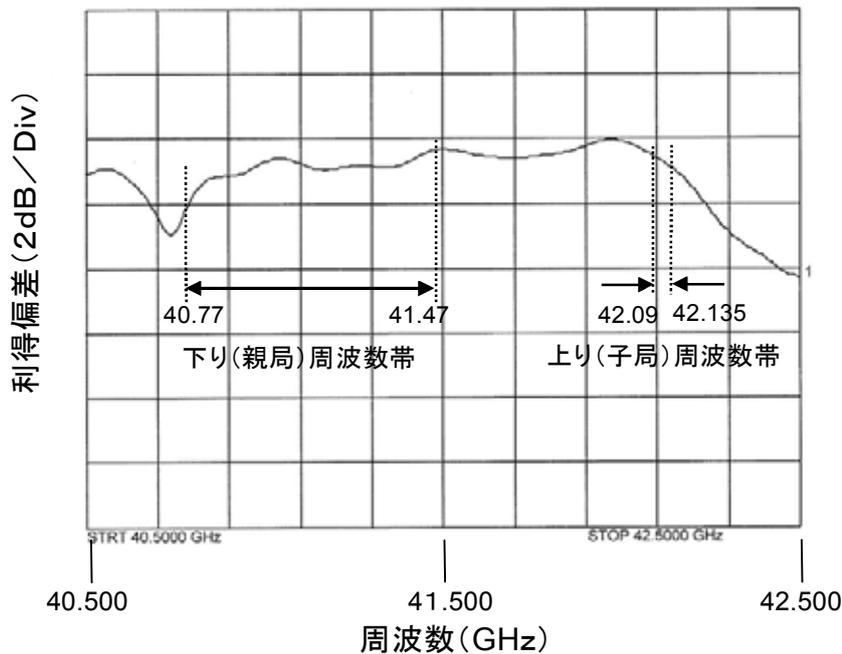
注：VSWR (電圧在波比) は反射波の大きさに依存する。

イ 振幅周波数特性

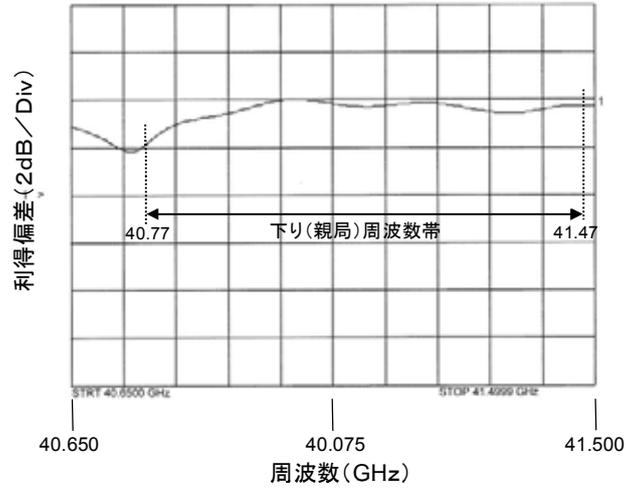
今回実証試験用に調整した TWTA の動作帯域の振幅周波数特性を図表 2-35 に示す。また、図表 2-36 と図表 2-37 から下りと上り両方の周波数帯域の振幅周波数特性は、2dB 程度の変動幅に収まっていることが確認できる。

一般に TWTA は動作周波数の 10% の帯域幅で良好な特性が得られ、40GHz 帯で動作する場合、4GHz 程度の動作帯域幅を有する。今回の実証試験では下り周波数帯域 40.77-41.47GHz、上り周波数帯域 42.09-42.135GHz を使用するため、TWTA の動作帯域幅を 40.5-42.5GHz の 2GHz 帯域幅として調整し、上りと下りの周波数帯域を同時にカバーするようにした。高域側で十分な整合特性が得られず、大きな振幅の低下が観測されるが、本試験では使用帯域外で支障ない。これは使用帯域に合わせた設計を行うことにより改善が可能であり、動作帯域幅 2GHz にわたり 2dB 程度の振幅周波数特性が見込まれる。

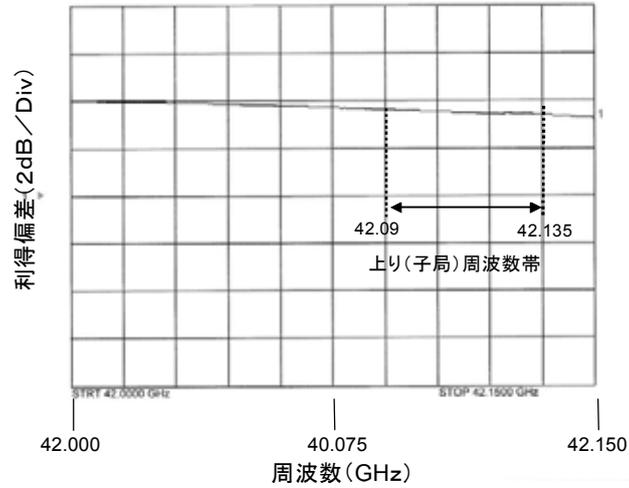
図表 2-35 40GHz 帯 TWTA 振幅周波数特性
動作帯域 40.5-42.5GHz
送信出力：500mW



図表 2-36 振幅周波数特性
 下り(親局)送信周波数帯域 40.65-41.5GHz



図表 2-37 振幅周波数特性

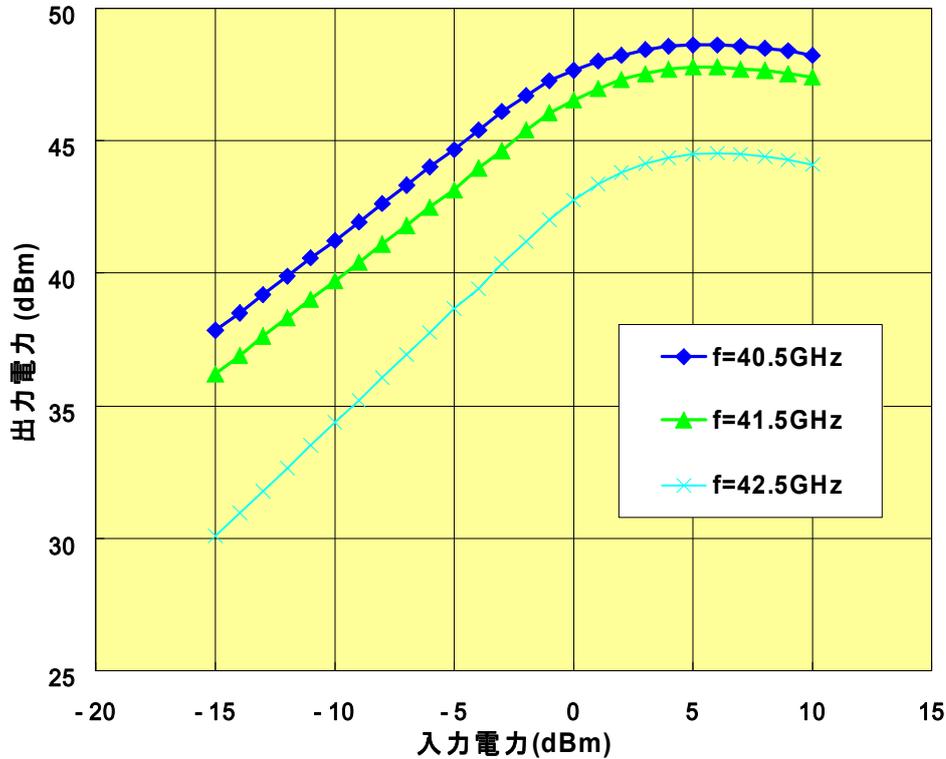


ウ 入出力特性

実証試験用 TWTA（飽和出力は約 80W）の入出力特性を図表 2-38 に示す。

本来、送信増幅器の出力や利得は送信系全体のレベルダイヤグラフから決定すべきところであるが、今回の実証試験では既存の TWTA を流用することとした。

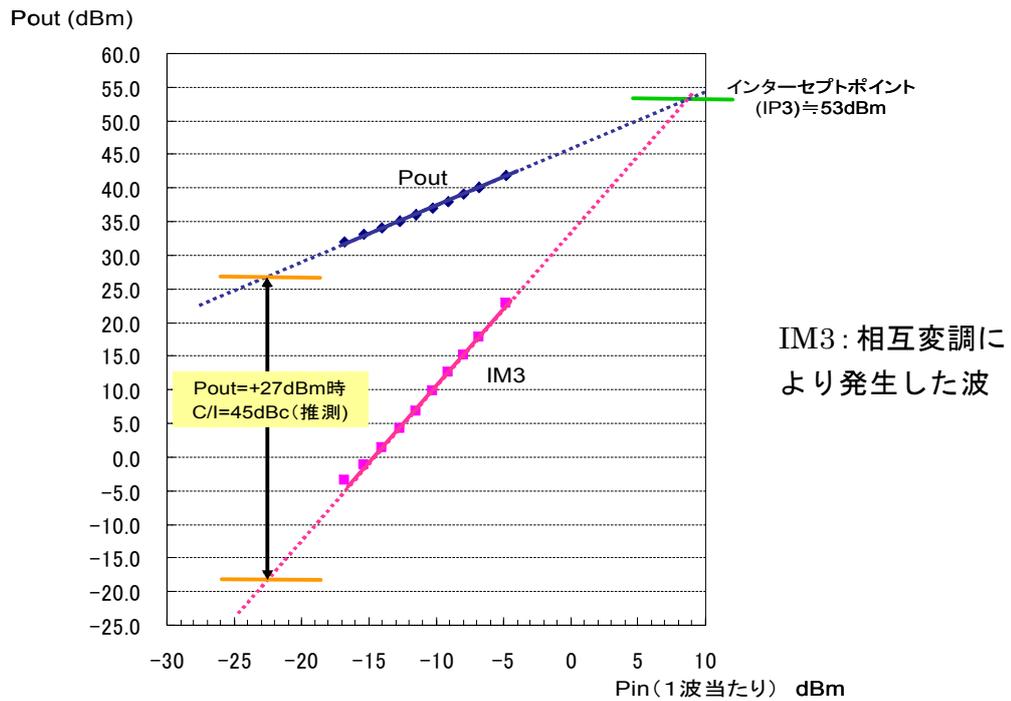
図表 2-38 40GHz 帯 TWTA 入出力特性



エ 歪特性（バックオフと IP3 特性）

P-P 試験を送信出力 500mW (約 27dBm) で実施するので、チューニングした TWTA の飽和出力約 80W (49dBm) から約 22dB のバックオフを確保できる。この場合の IM3（3次相互変調歪）は、その特性を示した図表 2-39 から、約 45dB であり、十分な歪特性を有しているものと推測される。

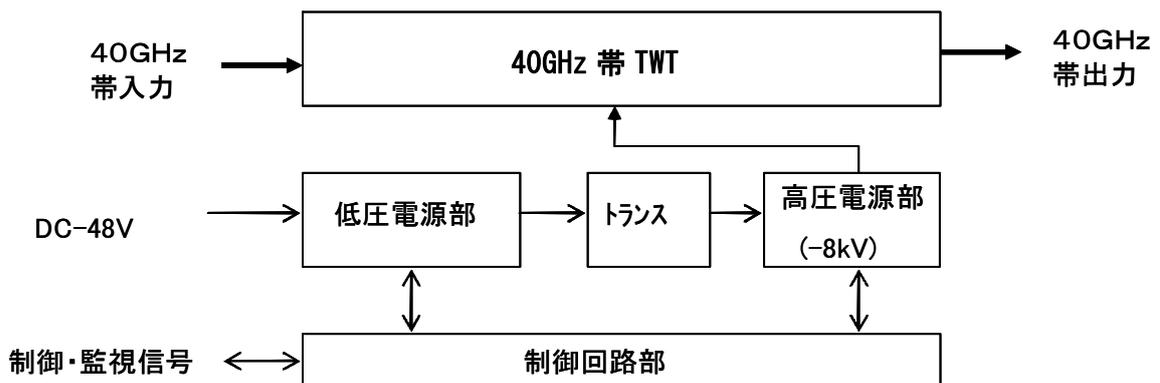
図表 2-39 40GHz 帯 TWTA IM3 特性 (工場出荷時の測定)



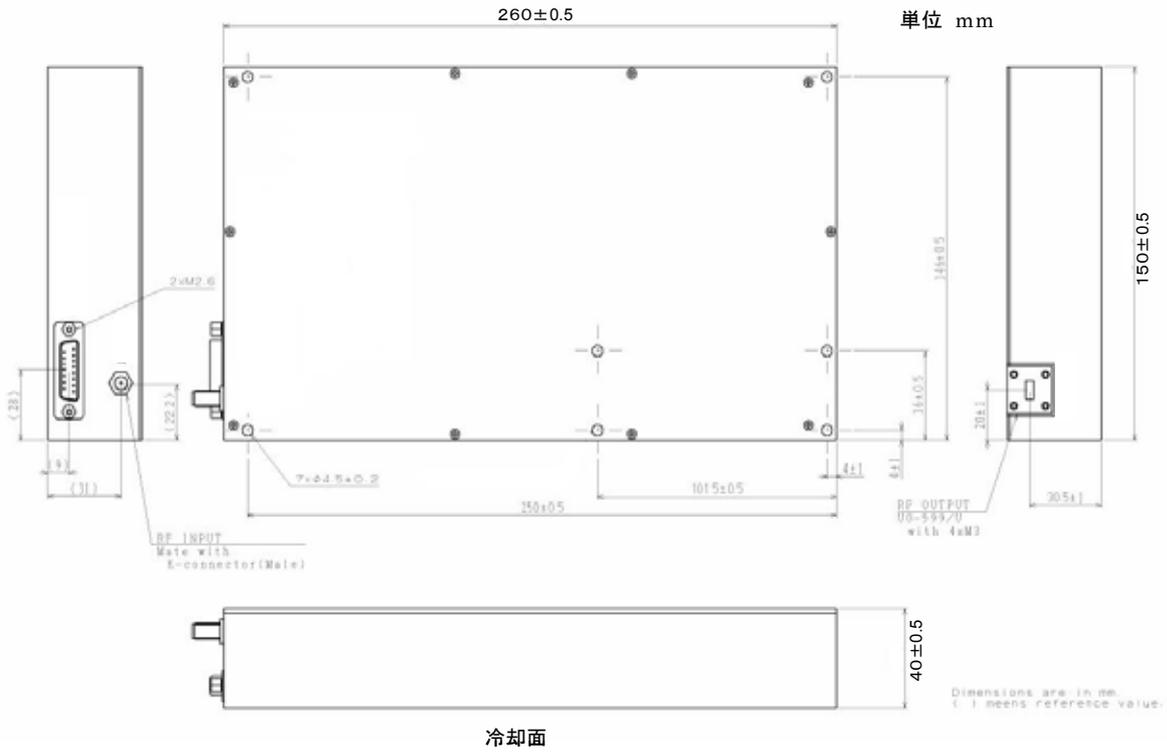
オ システム、構造

今回の実証試験に使用した TWTA は幅 150mm x 奥行 260mm x 高さ 40mm の平面構造であり、40GHz 帯 TWT、TWT 用高圧電源回路、制御回路等、増幅器の機能がすべて搭載されている。系統図を図表 2-40 に、外観図を図表 2-41 に示す。発熱量は約 100W であり、屋外ユニットに組み込むことも可能であるが、今回の実証試験では既存送受信機とのインターフェースから TWTA 本体底面にラジエータを付加し、小型 FAN にて送風冷却した。冷却系を付加した写真を図表 2-42 に示す。(TWTA の詳細は付録 1 を参照)

図表 2-40 40GHz 帯 TWTA システム図



図表 2-41 40GHz 帯 TWTA 外観図



図表 2-42 40GHz 帯 TWTA 外観図 (冷却系を付加)



2.2.2 一対多方向(P-MP)試験

(1) P-MP 試験の目的と概要

親局から比較的近距离の範囲に複数の子局が存在する場合の双方向伝送の実証と技術的特性の把握のため、一対多方向(P-MP)の実証試験を、熊本地区で2月8日から3月8日までの約1か月間実施した。

親局装置はNHK熊本放送局屋上に設置し、そこから約380m離れた熊本市役所屋上に子局装置を設置してP-MPを模した長期連続試験を行った。最後(3月8日)に大分側から装置を移設して子局2系統として子局アンテナを近接して設置した場合の相互の干渉を確認するためP-MPの伝送試験を行った。

なお、降雨量と電波減衰の関連を調査するため、雨量計を熊本市役所屋上に設置して雨量データを取得した。

(2) 実証試験の項目

ア 電波伝搬試験

- (ア) 搬送波対雑音比の測定 (熊本市役所にて2/8~3/7の約1か月測定)
- (イ) ビット誤り率の測定 (熊本市役所にて2/8~3/7の約1か月測定)
- (ウ) 受信レベル (熊本市役所にて2/8~3/7の約1か月測定)
- (エ) 降雨減衰特性 (熊本市役所にて2/8~3/7の約1か月測定)

イ 画質評価等

受像機での主観評価 (熊本市役所にて3/8に評価)

ウ インターネット接続試験

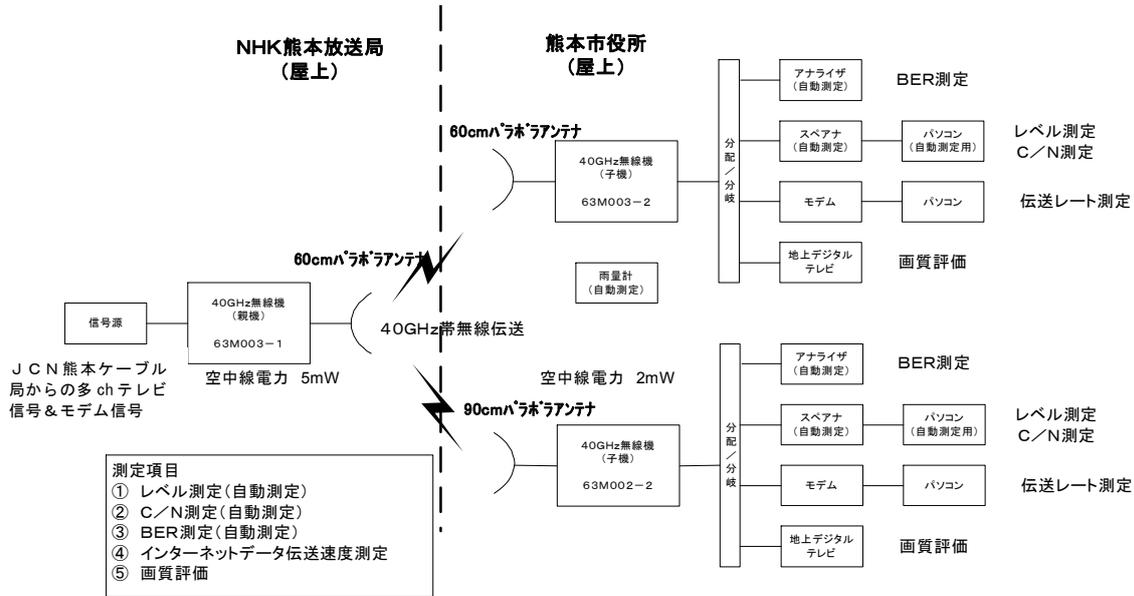
実効伝送速度等 (熊本市役所にて3/8に測定)

(3) 試験システム

一対多方向(P-MP)実証試験は図表2-43の系統で行った。

P-MP実証試験時の熊本市役所屋上における2系統の子局装置の設置状況を図表2-44に示す。

図表 2-43 一対多方向 (P-MP) 実証試験系統図



(4) 測定方法

- BER 測定 日本通信機製フィールドアナライザを使用し、6分周期で自動測定を行った。(受信チャンネルはU28ch (NHK 総合))
- レベル測定 アンリツ製スペアナを使用し1分周期で自動測定を行った。測定は熊本ケーブル局のパイロット信号 451.25MHz、アナログTV信号(映像搬送波尖頭値)、地上デジタルTV信号。
- C/N 測定 アンリツ製スペアナを使用し1分周期で自動測定を行った。ノイズ測定帯域は熊本ケーブル局の無信号帯域 455MHz 付近
- 伝送レート測定 . . . 子局 2 台にそれぞれモデム (下り 256QAM 伝送、上り QPSK 伝送) を接続し伝送速度を測定した。
- 画質評価 STB と TV 受像機を接続し地上デジタル放送信号を受信して画質評価を行った。

(5) アンテナ設置状況と置局

図表 2-44 P-MP 熊本市役所屋上のアンテナ設置状況



NHK 熊本放送局 60cmφ ~ 熊本市役所 90cmφ、60cmφ

P-MP 伝送で子局同士が近接した場合の干渉を確認するために基部を接するまで接近させて測定を行った。

NHK 熊本放送局と熊本市役所の位置関係は図表 2-45 のとおりであり、距離は約 380m である。

図表 2-45 NHK 熊本放送局と熊本市役所の位置関係



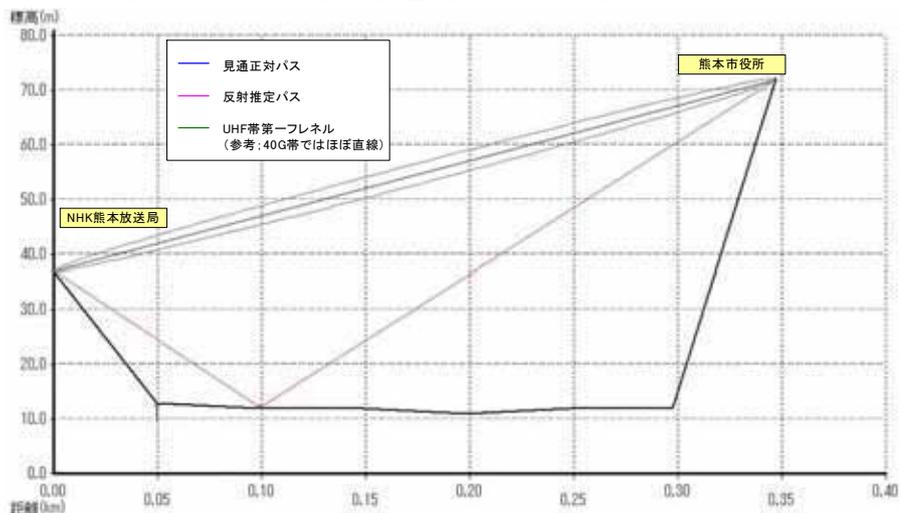
(6) 回線設計

図表 2-46 NHK 熊本放送局と熊本市役所間 P-MP 回線設計

	記号	単位	下り回線 (NHK熊本放送局 ⇒熊本市役所)	上り回線 (熊本市役所 ⇒NHK熊本放送局)	備考
伝送する信号			NTSC 80CH相当	ケーブルモデム 1CH	
周波数	fo	GHz	41.0	42.1	
波長	λ	mm	7.3	7.1	
伝送距離	d	m	380	380	
帯域幅	B	MHz	4	4	
送信電力(トータル)	Pt	dBm	7	3	
波数	n		80	1	
送信アンテナ	Dt	m	0.6	0.6	
送信アンテナ利得	Gt	dB	45.3	45.4	$Gt = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	Pe	dbm	52.3	48.4	$Pe = Pt + Gt$
自由空間損	Ld	dB	116.3	116.5	$Ld = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	La	dB	0.1	0.1	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	2.6	2.8	年間時間率 0.05% *1 0.0075% 1分間雨量 1.58mm(熊本市) *2
受信アンテナ	Dr	m	0.6	0.6	
受信アンテナ利得	Gr	dB	45.3	45.4	$Gr = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ホーディング損	Lp	dB	3.0	3.0	ホーディング損 3dB
NF	NF	dB	10.0	10.0	10dB; 試験装置
標準時受信電力(トータル)	Ca	dBm	-21.8	-25.8	$Ca = Pe - Ld - La + Gr - Lp$
標準時1チャンネル当り受信電力		dBm	-40.8	-25.8	
降雨時受信電力(トータル)	Cr	dBm	-24.3	-28.5	$Cr = Pe - Ld - Lra + Gr - Lp$
降雨時1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-43.3	-28.5	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	$N = kTB$, $K = 1.38 \times 10^{-23}$ $B = 4MHz$ $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
標準時C/N		dB	57.0	72.0	
降雨時C/N	C/N	dB	54.5	69.3	
所要C/N		dB	45.0	19.0	45dB; 23GHz帯システムで採用している値 19dB; ケーブルモデム QPSK, パケットロス "0%" のC/N *3
降雨時C/Nマージン		dB	9.5	50.3	$C/N_{マージン} = C/N - 所要C/N$

- (注) *1 年間の許容不稼働時間率で23GHz帯システムで採用している値
 *2 電波法関係審査基準(電気通信振興会発行)別図第35号による
 *3 ケーブルモデムのパケットロス "0%" の必要C/N=16dBを無線系に50%割り振り、
 所要C/Nを19dBとする

図表 2-47 NHK 熊本放送局～熊本市役所間のプロファイル



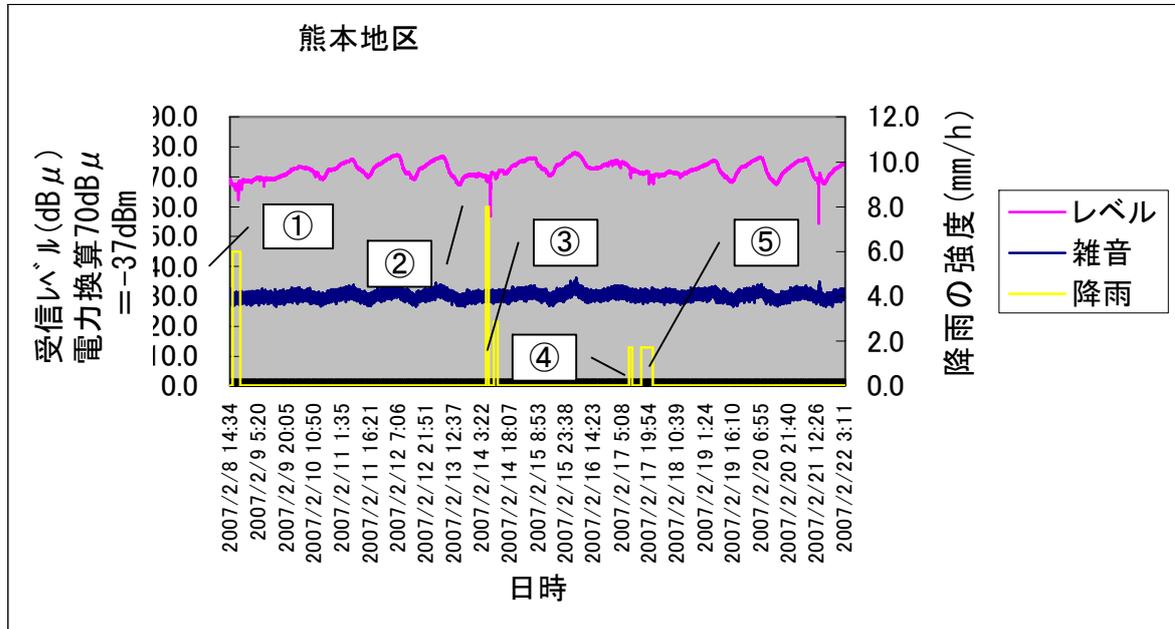
注) 本標高データは、国土地理院発行の標高 50m メッシュデータを用いた。

(7) 測定結果

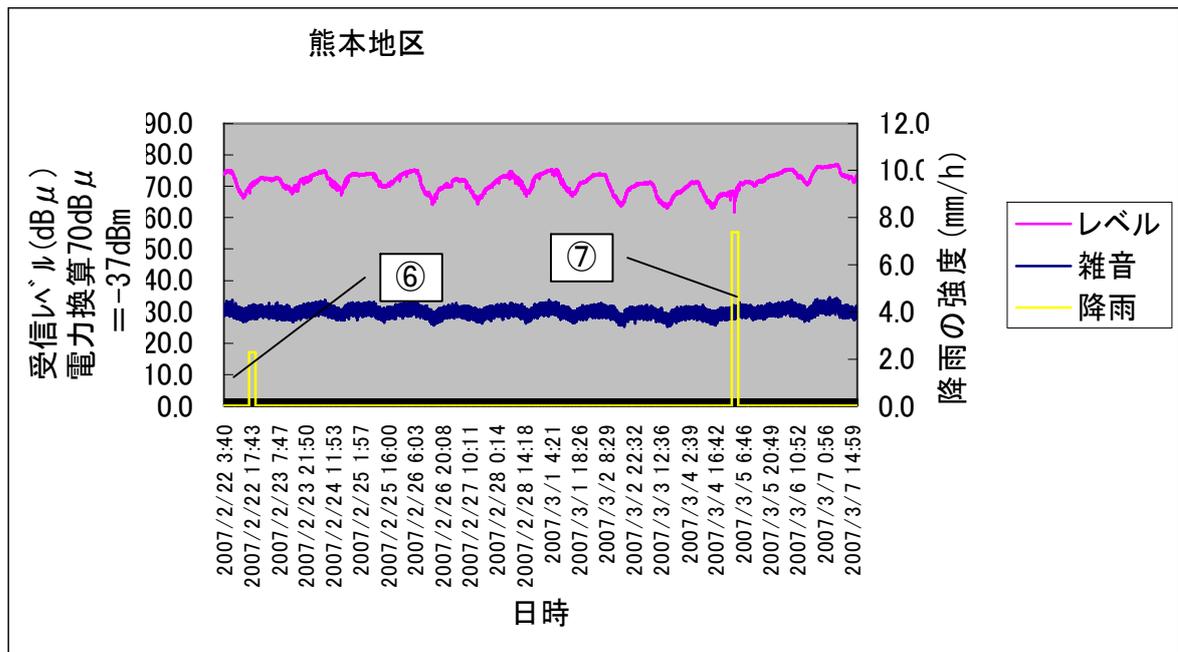
(ア) 受信レベル対雑音対降雨強度

2月8日から3月7日までの期間、NHK 熊本放送局と熊本市役所間で自動測定した。

図表 2-48 受信レベル対雑音対降雨強度
(2/8~2/22 間の測定値)



図表 2-49 受信レベル対雑音測定値対降雨強度
(2/22~3/7 間の測定値)

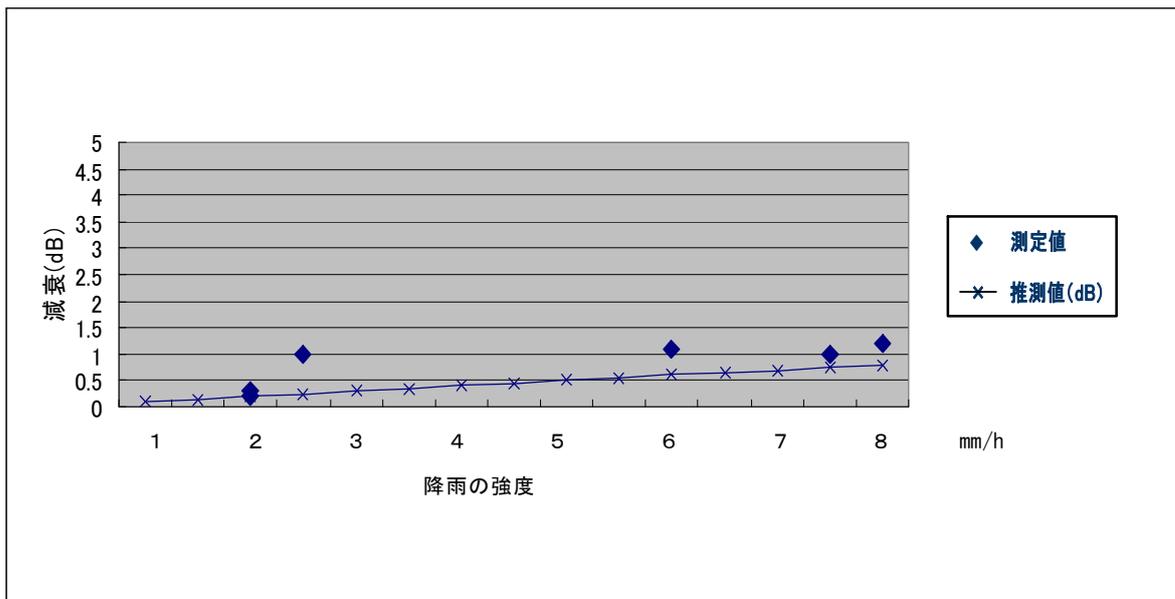


上記①~⑦は降雨時のデータ位置を指す。

図表 2-50 降雨減衰の測定値と推定値との比較

降 雨 減 衰			
mm/h	測定値 (dB)		推定値 (dB) (参考)
1			0.1
1.5			0.15
2	0.3	0.2	0.2
2.5	1		0.25
3			0.3
3.5			0.35
4			0.4
4.5			0.45
5			0.5
5.5			0.55
6	1.1		0.6
6.5			0.65
7			0.7
7.5	1		0.75
8	1.2		0.8

図表 2-51 測定値と降雨減衰量（推定値）との比較

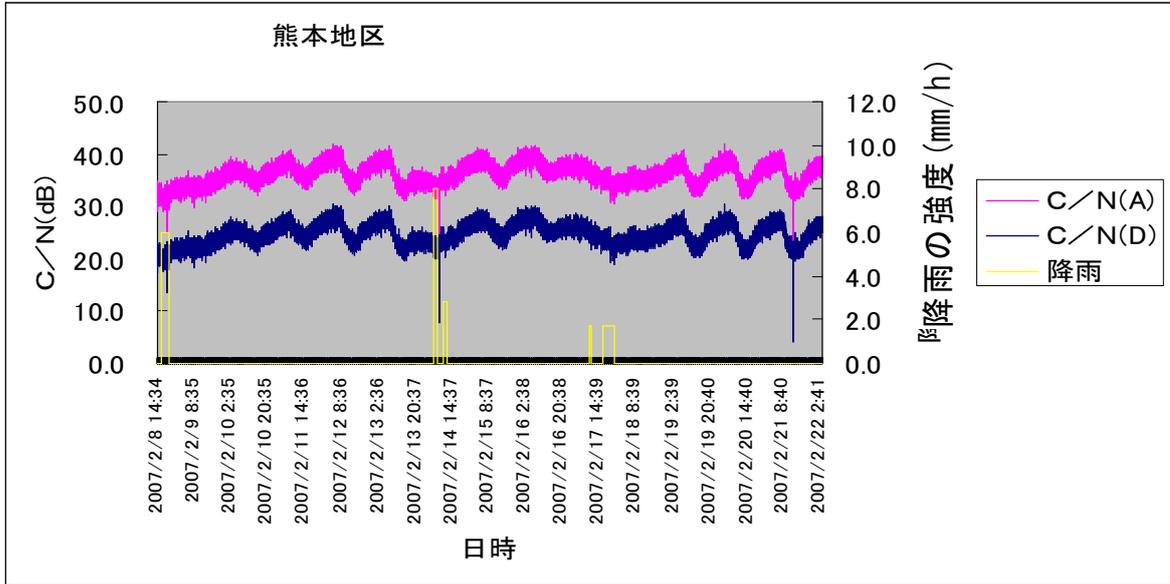


測定値（上記グラフのプロット点）は推定値に対してほぼ近似している。

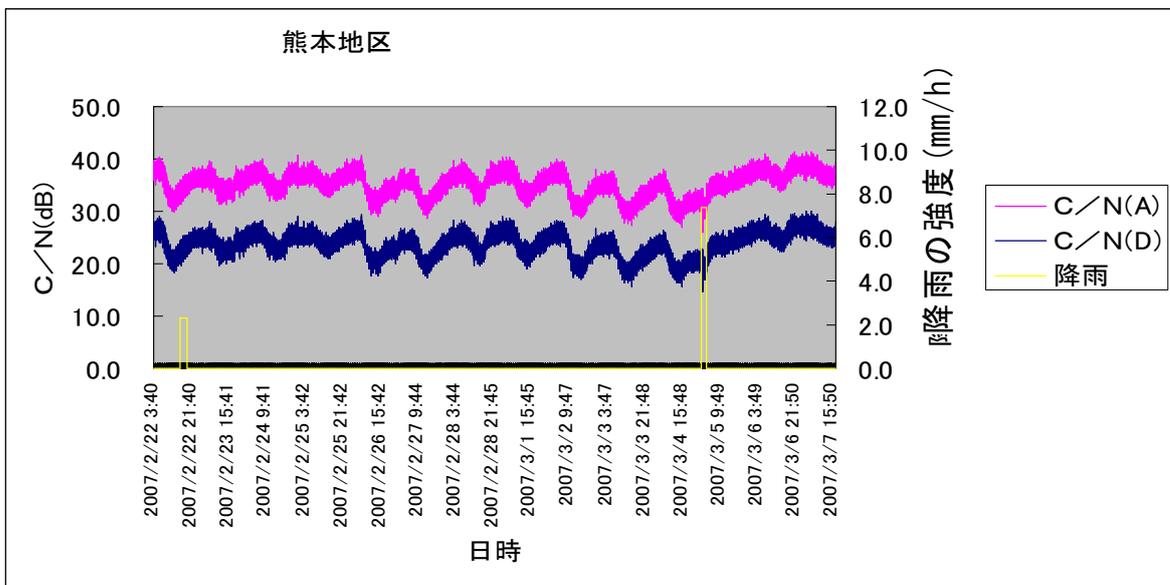
(イ) C/N (アナログ TV)・C/N (デジタル TV) 対降雨強度の比較

前項のレベルと雑音の測定値よりアナログ TV 信号の C/N (A) とデジタル TV 信号の C/N (D) を換算し降雨強度との比較を下記に示す。C/N の変動 (日変化) は、親局 (送信) と子局 (受信) の温度に対する利得の変動と推測される。

図表 2-52 C/N (A:アナログ TV)・C/N (D:デジタル TV) 対降雨強度の比較
(2/8~2/22 間の測定値のグラフ)



図表 2-53 C/N (A:アナログ TV)・C/N (D:デジタル TV) 対降雨強度の比較
(2/22~3/7 間の測定値のグラフ)



C/N (A) = レベルの測定値 - (4MHz 帯域幅の雑音レベル)

C/N (D) = レベルの測定値 - (5.7MHz 帯域幅の雑音レベル)

イ 画質評価

地上アナログ放送および地上デジタル放送を受信し、良好な結果が得られた。

図表 2-54 地上デジタル放送の伝送画像



場 所 ・ ・ 熊本市役所
日 時 ・ ・ 3/7 11 時頃
受信 ch ・ ・ U28ch (NHK 総合)

ウ インターネット接続試験

P-MP 実証試験にて子局 2 台それぞれにモデムを接続し試験した結果、良好であった。

(ア) の写真はモデムの動作状態を示す写真である。

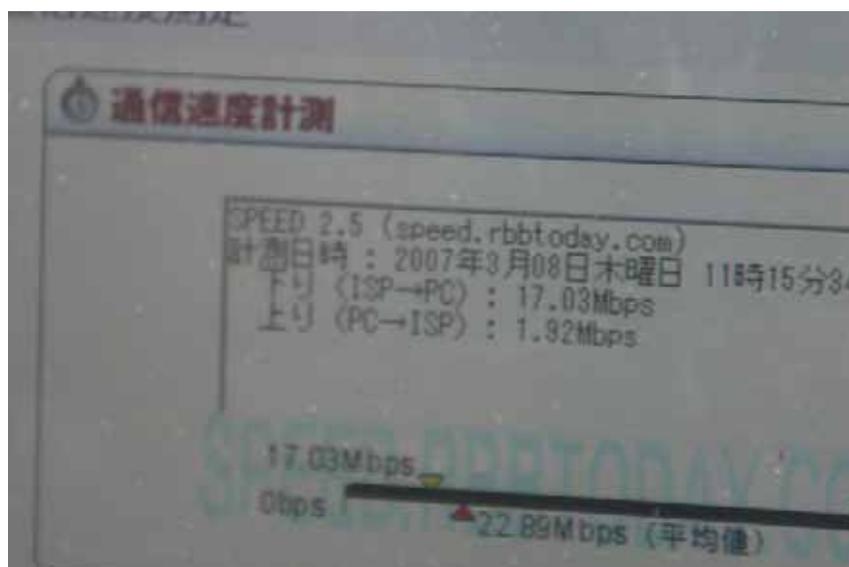
(イ) の写真は伝送速度を測定時のパソコンの画面であり、子局 2 台とも同一の速度が得られた。無線伝送による伝送速度の劣化はゼロであった。

図表 2-55 インターネット接続試験
(a) 2 系統の 256QAM モデムの動作状態



モデムの表示は
上から
POWER
RECEIVE
SEND
ONLINE
PC/ACTIVITY
STANDBY

(b) 実行伝送速度



伝送速度測定結果は下り 17Mbps、上り 1.9Mbps の結果が得られた。

場所・・・熊本市役所

日時・・・3/7 11 時頃

エ P-MP 試験の結果

P-MP 試験における測定結果をまとめると以下のとおり。

(ア) 電波伝搬試験

① 搬送波対雑音比の測定

C/N (アナログ TV) . . . 35dB

C/N (デジタル TV) . . . 25dB

② ビット誤り率の測定

BER . . . 1×10^{-4}

③ 受信レベル

標準時 1ch 当り (6MHz/ch) の電力 . . . -37dBm

④ 降雨減衰特性

図表 2-50 のとおり、別途記載する推定法による降雨推定値によく近似した。

⑤ 近接して設置した 2 つの子局アンテナ間相互の影響は認められなかった。

(イ) 画質評価

受像機での主観評価 . . . 地上アナログ放送及び地上デジタル放送を受信し、
良好であった。

(ウ) インターネット接続試験

実効伝送速度 . . . 下り 17Mbps、上り 1.9Mbps

2.2.3 一対一対向(P-P)試験

(1) P-P 試験の目的と概要

伝送路において P-MP より長距離の中継の場合の双方向伝送の実証と技術的特性の把握のため、一対一対向 (P-P) の実証試験は、大分地区で 2 月 12 日から 3 月 7 日までの間実施した。

親局は大分ケーブルテレコム屋上に設置し、そこから約 1.8km 離れた大分県立大分高等技術専門校屋上に子局装置を設置して、P-P の長期連続試験を行った。

なお、雨量計は大分高等技術専門校屋上に設置した。

本実証試験では次の項目の試験を行った。

(2) 試験項目

ア 電波伝搬試験

(ア) 搬送波対雑音比の測定 (大分技術専門校にて 2/11~3/7 の約 1 か月間測定)

(イ) ビット誤り率の測定 (大分技術専門校にて 2/11~3/7 の約 1 か月間測定)

(ウ) 受信レベル (大分技術専門校にて 2/11~3/7 の約 1 か月間測定)

(エ) 降雨減衰特性 (大分技術専門校にて 2/11~3/7 の約 1 か月間測定)

イ 画質評価

受像機での主観評価 (大分技術専門校にて 3/7 に測定)

ウ インターネット接続試験

実効伝送速度等 (大分技術専門校にて 3/7 に測定)

(3) 試験システム

ア 実証試験系統

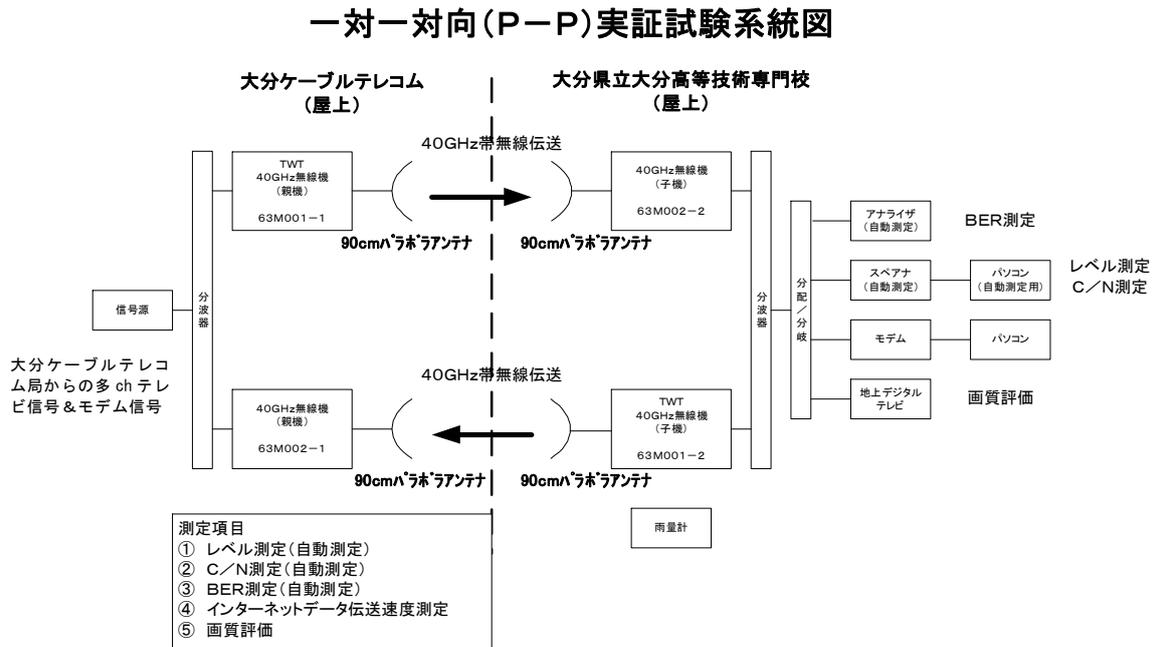
一対一対向 (P-P) 実証試験は図表 2-56 の系統で行った。

図表 2-57 は、大分高等技術専門校屋上に設置された子局の送信及び受信の 2 つの装置の設置状況を示す。

下記の構成は熊本地域の実証試験とは異なり、下り回線系統と上り回線系統が分離している。大分地域の実証試験は、進行波管増幅器 (以下 TWTA と記載) を使用して 500mW の電力を出力した。技術的な理由で親機の双方向運用をせずに単方向運用で測定を行った。上記構成は親機・子機とも送信専用・受信専用の運用とした。

[技術的理由: 40GHz 無線機に内蔵されているアンテナ共用器は、TWTA からの出力が受信側へ回り込むことを防ぐことができないので、送信系と受信系に分けて設置した。]

図表 2-56 一対一対向 (P-P) 実証試験系統図



イ TWTA の使用場所

- (ア) 大分ケーブルテレコム送信 → 大分県立大分高等技術専門学校受信
TWTA 出力 : 500mW
- (イ) 大分ケーブルテレコム受信 ← 大分県立大分高等技術専門学校送信
TWTA 出力 : 200mW

(4) 測定方法

- BER 測定 日本通信機製フィールドアナライザを使用し 10 分周期で自動測定を行った。
受信チャンネルは U15ch (NHK 総合)
- レベル測定 アンリツ製スペアナを使用し 1 分周期で自動測定を行った。
測定は熊本ケーブル局のパイロット信号 451.25MHz、アナログ TV 信号 (映像搬送波尖頭値)、地上デジタル TV 信号。
- C/N 測定 アンリツ製スペアナを使用し 1 分周期で自動測定を行った。
ノイズ測定帯域は大分ケーブルテレコム局の無信号帯域 455MHz 付近
- 伝送レート測定 子局にモデム (下り 64QAM 伝送、上り QPSK 伝送) を接続し伝送速度を測定した。
- 画質評価 STB と TV 受像機を接続し地上デジタル放送信号を受信して画質評価を行った。

(5) アンテナ設置と置局状況

図表 2-57 P-P 大分高等技術専門校屋上のアンテナ設置状況



大分ケーブルテレコム 90cmφ × 2～ 大分県立大分高等技術専門校 90cmφ × 2

大分ケーブルテレコムと大分高等技術専門校の位置関係は図表 2-58 のとおりであり、距離は約 1.8km である。

図表 2-58 大分ケーブルテレコムと大分高等技術専門校の位置関係



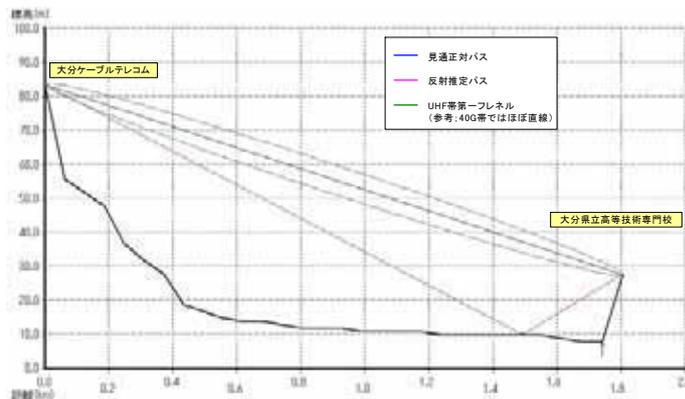
(6) 回線設計

図表 2-59 大分ケーブルテレコムと大分高等技術専門校間 P-P 回線設計

	記号	単位	下り回線 (大分ケーブルテレコム⇒ 大分技術専門校)	上り回線 (大分技術専門校⇒ 大分ケーブルテレコム)	備考
伝送する信号			NTSC 60CH相当	ケーブルモデム 1CH	
周波数	f ₀	GHz	41.0	42.1	
波長	λ	mm	7.32	7.13	
伝送距離	d	m	1800	1800	
帯域幅	B	MHz	4	4	
送信電力(トータル)	P _t	dBm	27.0	23.0	
波数	n		60	1	
送信アンテナ	D _t	m	0.9	0.9	
送信アンテナ利得	G _t	dB	48.8	48.9	$G_t = \eta (\pi D_t / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	P _e	dbm	75.8	71.9	$P_e = P_t + G_t$
自由空間損	L _d	dB	129.8	130.0	$L_d = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	L _a	dB	0.6	0.6	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	L _{ra}	dB	11.0	11.5	年間時間率0.05% *1 0.0075% 1分間雨量1.47mm(大分) *2
受信アンテナ	D _r	m	0.9	0.9	
受信アンテナ利得	G _r	dB	48.8	48.9	$G_r = \eta (\pi D_r / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ホインティング損	L _p	dB	3.0	3.0	ホインティング損 3dB
NF	NF	dB	10.0	10.0	10dB: 試験装置
標準時受信電力(トータル)	C _a	dBm	-8.8	-12.8	$C_a = P_e - L_d - L_a + G_r - L_p$
標準時1チャンネル当り受信電力		dBm	-26.6	-12.8	
降雨時受信電力(トータル)	C _r	dBm	-19.2	-23.7	$C_r = P_e - L_d - L_{ra} + G_r - L_p$
降雨時1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-37.0	-23.7	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	$N = kTB$, $K = 1.38 \times 10^{-23}$ B: 4MHz $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
標準時C/N		dB	71.2	85.0	
降雨時C/N	C/N	dB	60.8	74.1	
所要C/N		dB	45.0	19.0	45dB: 23GHz帯システムで採用している値 19dB: ケーブルモデム QPSK, パケットロス“0%”のC/N *3
降雨時C/Nマージン		dB	15.8	55.1	$C/N \text{マージン} = C/N - \text{所要}C/N$

(注) *1 年間の許容不稼働時間率で23GHz帯システムで採用している値
 *2 電波法関係審査基準(電気通信振興会発行)別図第35号による
 *3 ケーブルモデムのパケットロス“0%”の必要C/N=16dBを無線系に50%割り振り、
 所要C/Nを19dBとする

図表 2-60 大分ケーブルテレコム～大分高等技術専門校間のプロファイル



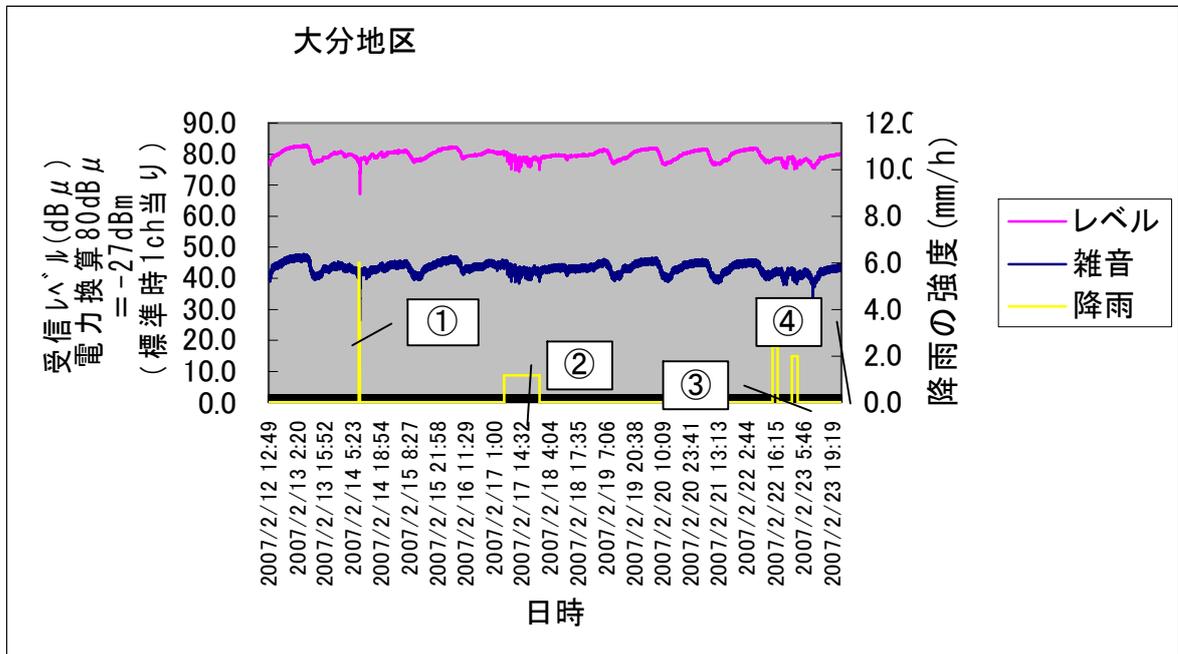
注) 本標高データは、国土地理院発行の標高 50m メッシュデータを用いた。

(7) 測定結果

ア 電波伝搬試験

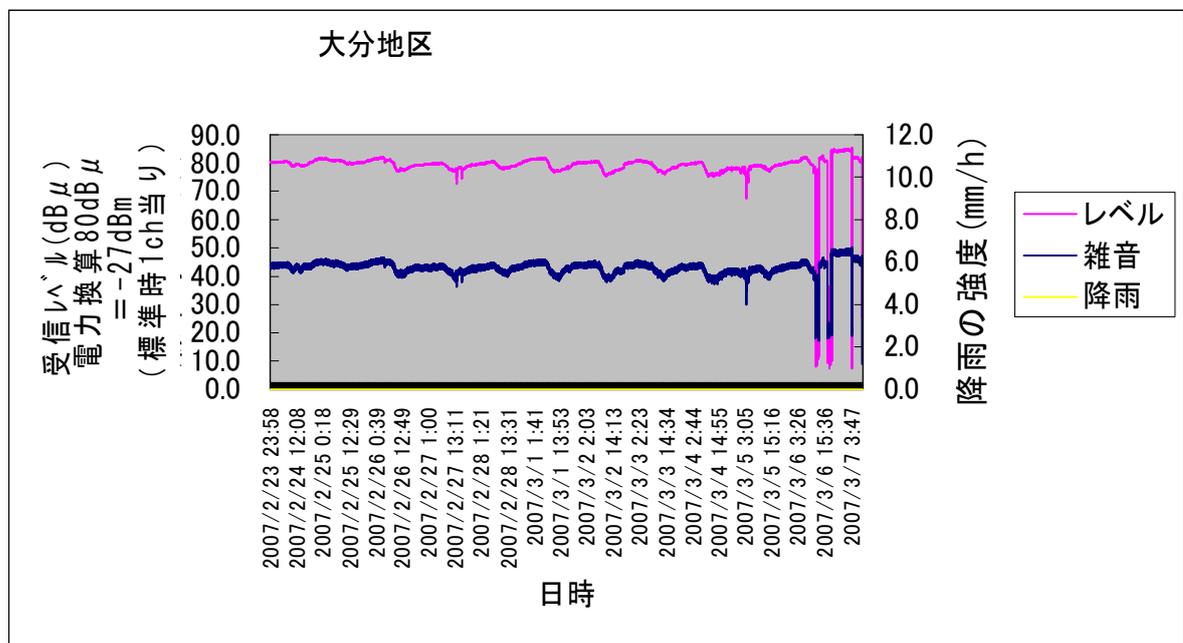
2月12日から3月7日までの期間、大分ケーブルテレコムと大分高等技術専門校間で自動測定した。

図表 2-61 受信レベル対雑音対降雨強度
(2/12~2/23 間の測定値のグラフ)



上記①~④は降雨時のデータ位置を指す。

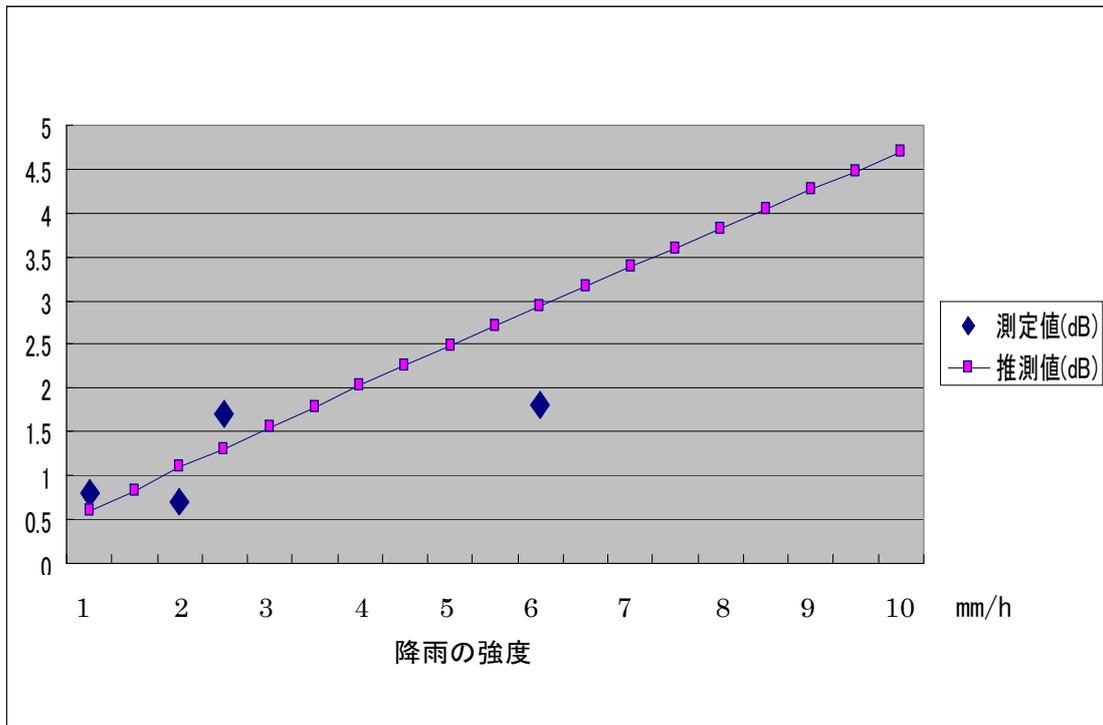
図表 2-62 受信レベル対雑音対降雨強度
(2/23~3/7 間の測定値のグラフ)



図表 2-63 降雨減衰の測定値と推定値の比較

測定値と降雨減衰係数の比較		
mm/h	測定値 (dB)	推定値 (dB) (参考)
1	0.8	0.60
1.5		0.84
2	0.7	1.10
2.5	1.7	1.31
3		1.55
3.5		1.79
4		2.03
4.5		2.26
5		2.50
5.5		2.72
6	1.8	2.94
6.5		3.16
7		3.38
7.5		3.60
8		3.82
8.5		4.04
9		4.26
9.5		4.48
10.0		4.70

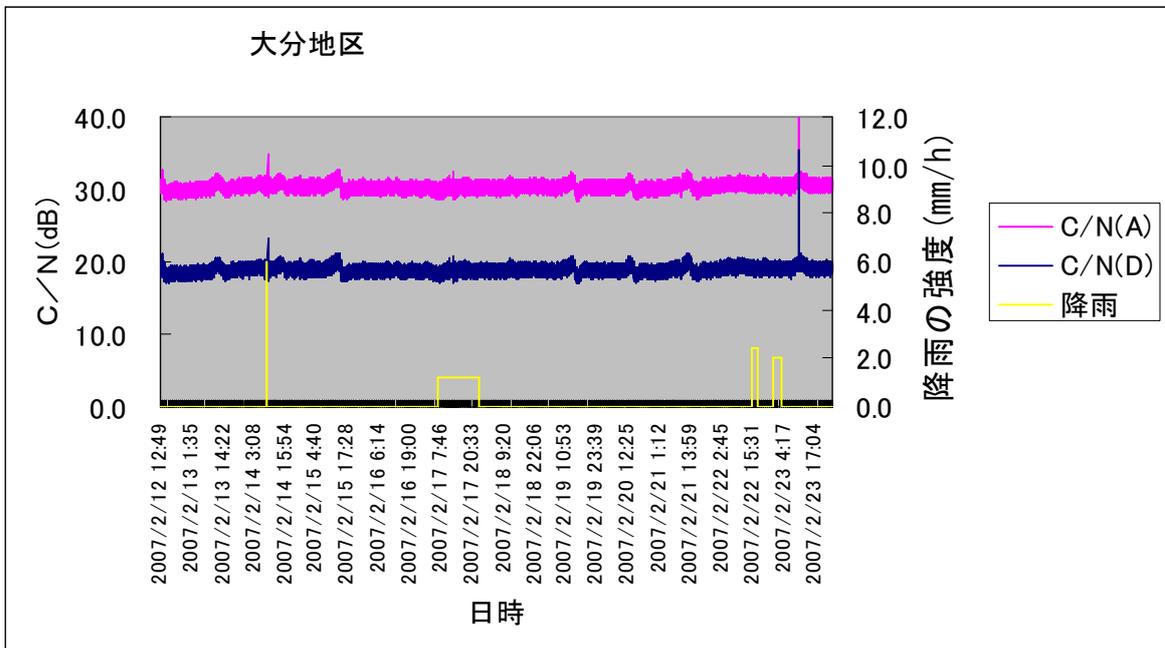
図表 2-64 降雨減衰の測定値と推定値の比較



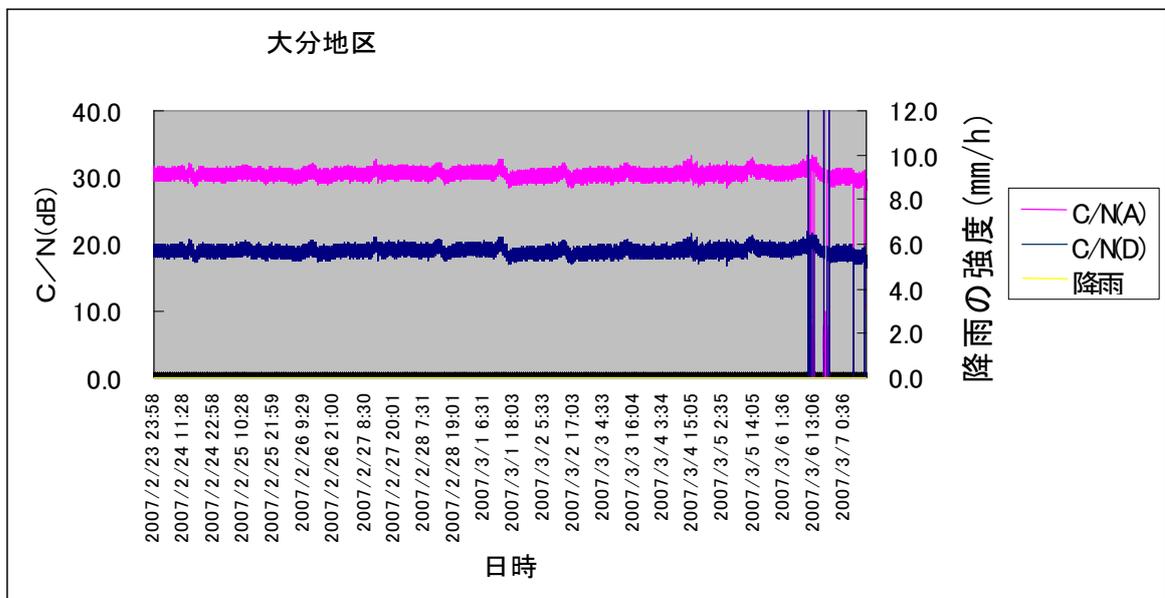
測定値（上記グラフのプロット点）は推定値に対してよく近似している。

前項のレベルと雑音の測定値よりアナログ信号とデジタル信号を換算し、降雨強度との比較を下記に示す。

図表 2-65 C/N (A:アナログ)・C/N (D:デジタル) 対降雨強度の比較
(2/12~2/23 間の測定値のグラフ)



図表 2-66 C/N (A:アナログ)・C/N (D:デジタル) 対降雨強度の比較
(2/23~3/7 間の測定値のグラフ)



C/N (アナログ) = レベルの測定値 - 帯域幅 4MHz の雑音レベル
C/N (デジタル) = レベルの測定値 - 帯域幅 5.7MHz の雑音レベル

イ 画質評価

地上アナログ放送および地上デジタル放送を受信し、良好な結果が得られた。

図表 2-67 地上デジタル放送の伝送画像



場 所 ・ ・ 大分高等技術専門校

日 時 ・ ・ 3月7日 11時頃

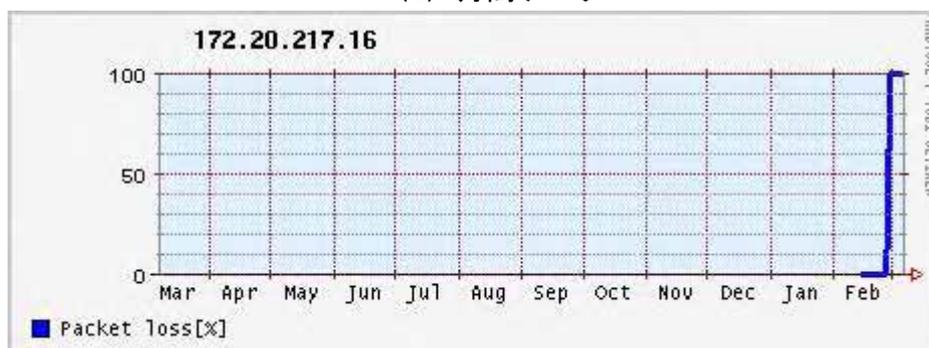
受信 ch ・ ・ U15ch (NHK 総合)

ウ インターネット接続試験

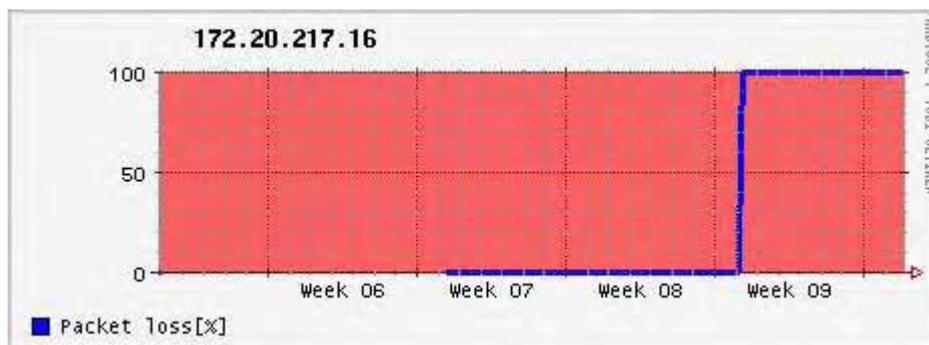
2月12日から2月末まで、パケットロスがゼロでインターネット回線の状況は良好であった。

その後、パケットロスが100%となったが、これは降雨による影響ではなく、機器の調整・操作による不具合によるものである。

図表 2-68 大分での上りー下り回線のパケットロス
(a) 月間データ



(b) 週間データ



場所・・・大分県立高等技術専門校

日時・・・2/12～3/7 間測定

2/12～2/26 間はパケットロスゼロ

2/27～3/7 はインターネット機器の調整・操作のためにパケットロスが100%になっているが、これは降雨によるものではない。

エ P-P 試験の結果

P-P 試験における測定結果をまとめると以下のとおり。

(ア) 電波伝搬試験

① 搬送波対雑音比の測定

C/N (アナログ TV) . . . 30dB

C/N (デジタル TV) . . . 20dB

② ビット誤り率の測定

BER . . . 1×10^{-4}

③ 受信レベル

標準時 1 ch (6MHz/ch) 当りの電力 . . . -27dBm

④ 降雨減衰特性

図表 2-63 のとおり、別途記載する推定法による降雨推定値によく近似した。

(イ) 画質評価

受像機での主観評価

地上アナログ放送及び地上デジタル放送を受信し、良好。

(ウ) インターネット接続試験

実効伝送速度 . . . 下り 12Mbps、上り 2.2Mbps

2.2.4 反射試験

(1) 試験の目的と概要

比較的近距離の P-MP 方式で親局に広角ビームのアンテナを使用する場合、大地や建造物による反射が想定される。この反射が受信信号に与える影響を把握するため、送信アンテナから直接波と反射波が受信できるよう配置した試験システムを構築し、受信信号の受けた影響を調査した。

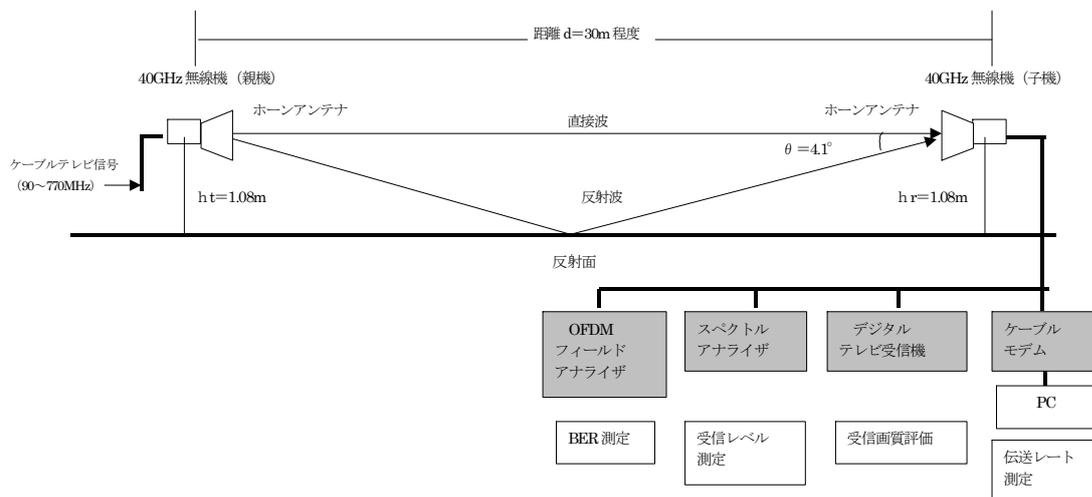
(2) 反射の測定

① 試験方法

図表 2-69 のとおり NHK 熊本放送局の屋上（コンクリート面に防水処理を施した面）に 40GHz 帯の親局無線機と子局無線機を約 30m 離して設置し、反射波の影響を調査した。

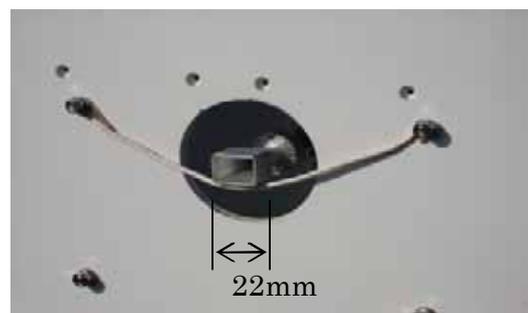
屋上面から親局及び子局のアンテナ開口中心までの高さは 1.08m。アンテナは 22mm × 16mm の矩形ホーン（図表 2-70 に仕様を示す）を使用して、アンテナ半値角が反射波の入射角（約 4 度）をカバーするように設定した。

図表 2-69 反射試験系統図



図表 2-70 ホーンアンテナの特性

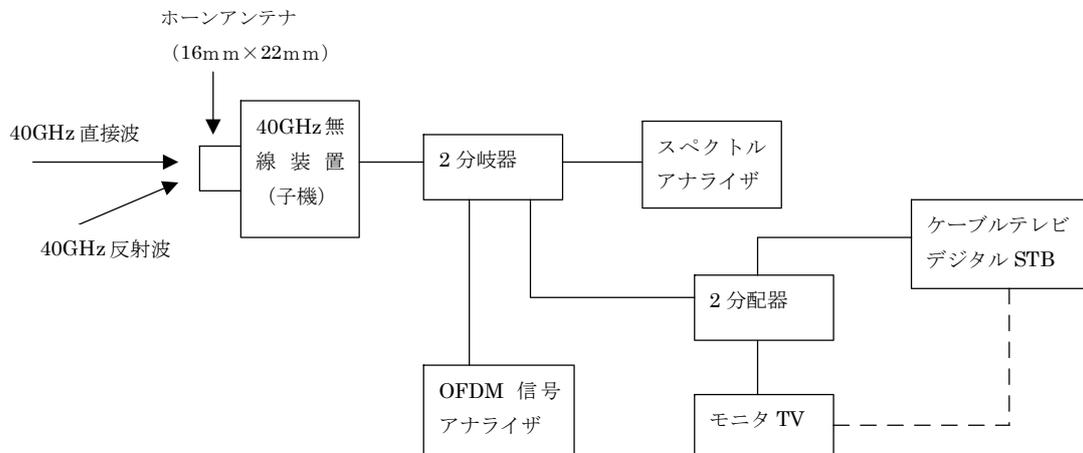
利得		17.4 dBi
半値幅	E 面	22.8 度
	H 面	23.7 度



40GHz 帯ホーン取り付け状況

測定は、子局アンテナを親局アンテナに向かって移動させて、直接波と反射波の受信レベルの変化や受信画像を調査した。測定項目は伝送したケーブルテレビ信号の受信レベル、BER、画質である。子局における測定器系統を図表 2-71 に示す。

図表 2-71 測定器系統図



②測定結果

親局アンテナと子局アンテナ間の距離（伝搬距離）を変えた場合の受信レベル、受信画質、BER の測定結果を図表 2-72 に示す。

受信レベルがアンテナ間距離により変化しており、32.0m 及び 32.5m で受信レベルが低下し CATV 受信が不可能となった。

図表 2-72 測定結果

測定信号	測定項目	伝搬距離						
		30.5m	31.0m	31.5m	32.0m	32.5m	33.0m	33.5m
地上デジタル放送波 (NHK総合28ch)*1	受信画質評価	良好	良好	良好	受信不能	受信不能	良好	良好
	BER	1.3×10^{-3}	1.5×10^{-3}	2.0×10^{-3}	—	—	1.5×10^{-3}	1.3×10^{-3}
	受信レベル	40.5	40.0	39.0	30.0	33.0	40.0	40.5
地上アナログ放送波 (NHK総合9ch)*2	受信画質評価	良	良	良	受信不能	不良*3	良*4	良
	受信レベル	54.5	54.0	54.0	24.0	48.0	54.0	54.0

*1 試験装置入力に於ける地上デジタル放送信号のBER= 6.7×10^{-6}

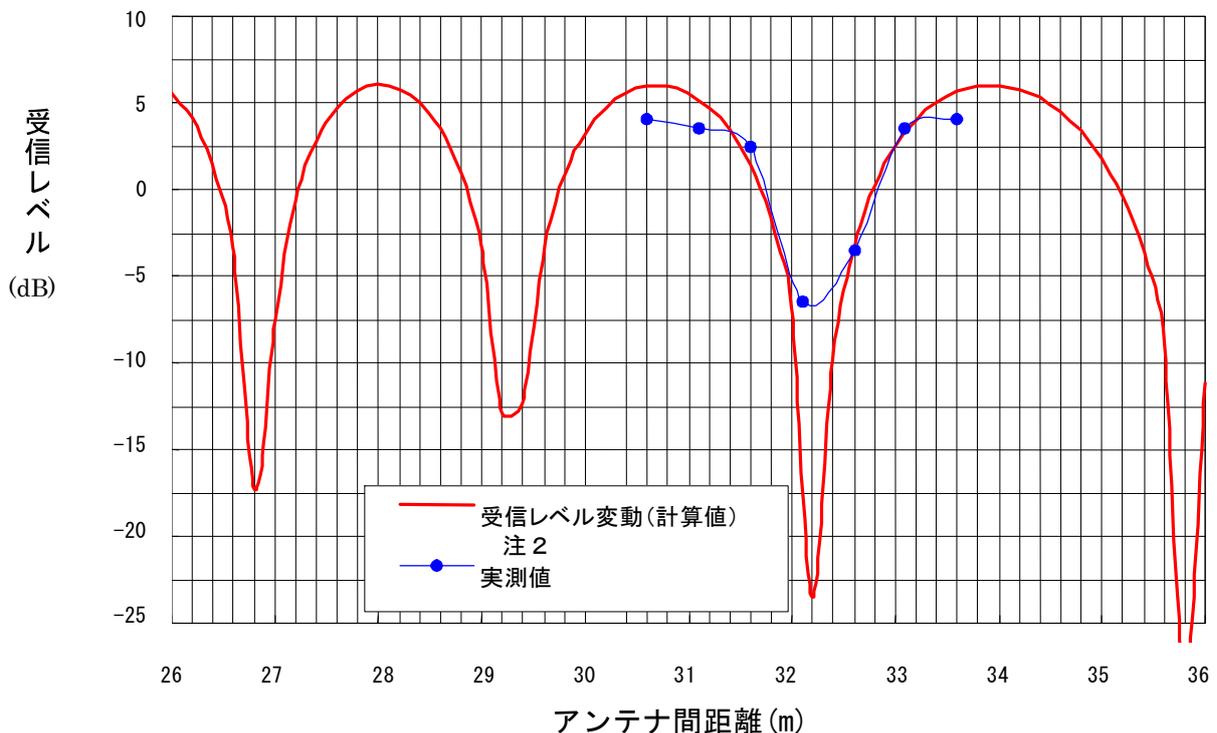
*1,*2 40GHz試験装置入力信号(熊本ケーブルネットワーク伝送経由)

③ 分析

図表 2-72 のとおり直接波に対して反射波が逆位相になった場合(32.0m 及び 32.5m) の受信レベルが約 10dB (地上デジタルTV) 及び約 30dB (地上アナログTV) 低下し受信不能になった。図表 2-73 では計算値と実測値は同じ傾向を示している。遅延時間 0.2ns 程度 (路長差 7cm 程度) の反射波の影響は特に観測されなかった。

このことから比較的近距離の伝送では、反射波による受信電力の低下に注意が必要となる。受信側にシャープなビーム特性を有するアンテナを用いると影響を容易に軽減できると考えられる。

図表 2-73 アンテナ間距離に対する受信レベルの変動
計算値と実測値



注 1 縦軸の 0dB は、直接波のみの場合の受信レベルに相当する。

縦軸のプラス側は反射波の位相が同相となりレベルが増加し、マイナスは位相が逆相となりレベルが低下することを示す。

注 2 反射波による受信レベル変動 (Ls) の計算法

$$L_s \text{ (dB)} = -20 \log \{ 2 | 2 \pi h_1 h_2 / \lambda d | \}$$

h_1 : 送信アンテナ高 (図表 2-69 参照)
 h_2 : 受信アンテナ高 (図表 2-69 参照)
 λ : 波長 (7.4mm, 40.563GHz (U28ch))
 d : アンテナ間距離 (図表 2-69 参照)

2.2.5 試験結果の分析・評価

(1) 受信レベル

全期間を通じて、実証試験に用いた送受信機の温度による利得の変動と降雨による減衰以外は、フェージング等による受信レベルの変動は認められなかった。

受信レベルは熊本-37dBm、大分-27dBmあり、受信画像品質とインターネット通信は十分良好であった。

(2) C/Nと画質等

① 熊本地区

伝送距離 380m に対し、送信部に出力 5mW の半導体増幅器を用いた。アナログ TV の受信 C/N は 35dB、地上デジタル TV の場合は、送信側で入力信号レベルをアナログ TV 信号より 10dB 低く設定したので受信 C/N は 25dB となったが、両方とも受信の画像は十分良好であった。インターネット通信も良好であった。

② 大分地区

伝送距離は 1.8km と比較的長いため送信部に高出力の増幅器として 500mW の TWTA を用いた。アナログ TV の受信 C/N は 30dB、地上デジタル TV の場合は送信側で入力信号レベルをアナログ TV 信号より 10dB 低く設定したので受信 C/N は 20dB となったが、両方とも受信の画像は十分良好であった。

両方の受信 C/N は熊本地区より 5dB 低下したのは、TWT 増幅器の雑音指数 (NF) の影響で送信 C/N が劣化したためであるが、(5)に述べる改善方法により雑音の影響を低減し十分な送信 C/N を確保することが出来る。

インターネット通信の結果も良好であった。

(3) 降雨減衰

熊本地区については比較的近距離の 380m、大分地区については 1.8km と比較的長距離の降雨減衰のデータが取得できた。

試験期間中の測定値 (降雨減衰量) は、2.2.2 項及び 2.2.3 項に示されているとおり、3.2.3 に記載する ITU-R (Rec P721-3) や審査基準の推定法から算出した減衰量と比較したところ良く近似 (差は 1dB 以内) していた。

この結果から、モデルシステムのための回線設計に ITU-R (Rec. P721-3) や審査基準の推定法を用いて差し支えないと考えられる。

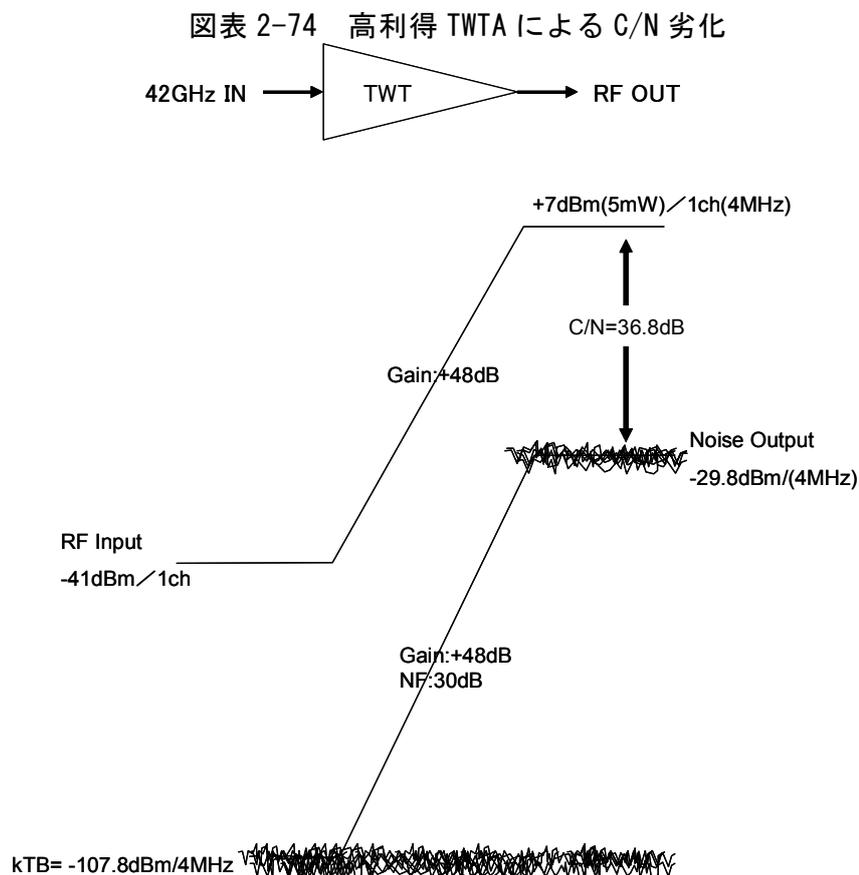
(4) 反 射

比較的近距離の伝送なので反射波の遅延時間による影響は観測されなかったが、直接波に対して反射波が逆位相となった距離では受信電力が大きく低下したので注意を要する。これには受信側にシャープなビーム特性を有するアンテナを用いることで容易に影響を軽減できると考えられる。

(5) TWTA の雑音指数 (NF) と総合 C/N の改善

今回の実証試験では送信装置に 38GHz 帯の TWTA (利得 48dB) をチューニングの上必要な送信電力を確保したが、図表 2-74 に示すとおり TWTA からのレベル-29.8dBm の雑音を送出され、送信の C/N が劣化したと推測される。これについて考察し、改善策を次に述べる。

図表 2-74 は本実証試験での TWTA 単体でのアナログ波 1ch 当たり (帯域 4MHz) の出力 C/N をレベルダイヤグラムに図示したものである。送信出力を 500mW/100 波で、1 波あたりは 5mW (7dBm) となる。このとき、TWTA の入力電力は-41dBm であり、熱雑音は $kTB = -107.8\text{dBm}/4\text{MHz}$ である。TWTA の Gain (48dB)、NF (30dB) から出力雑音電力は $-29.8\text{dBm}/4\text{MHz}$ と算出されるので、送信の C/N は 36.8dB 程度しか確保できなかったと考えられる。



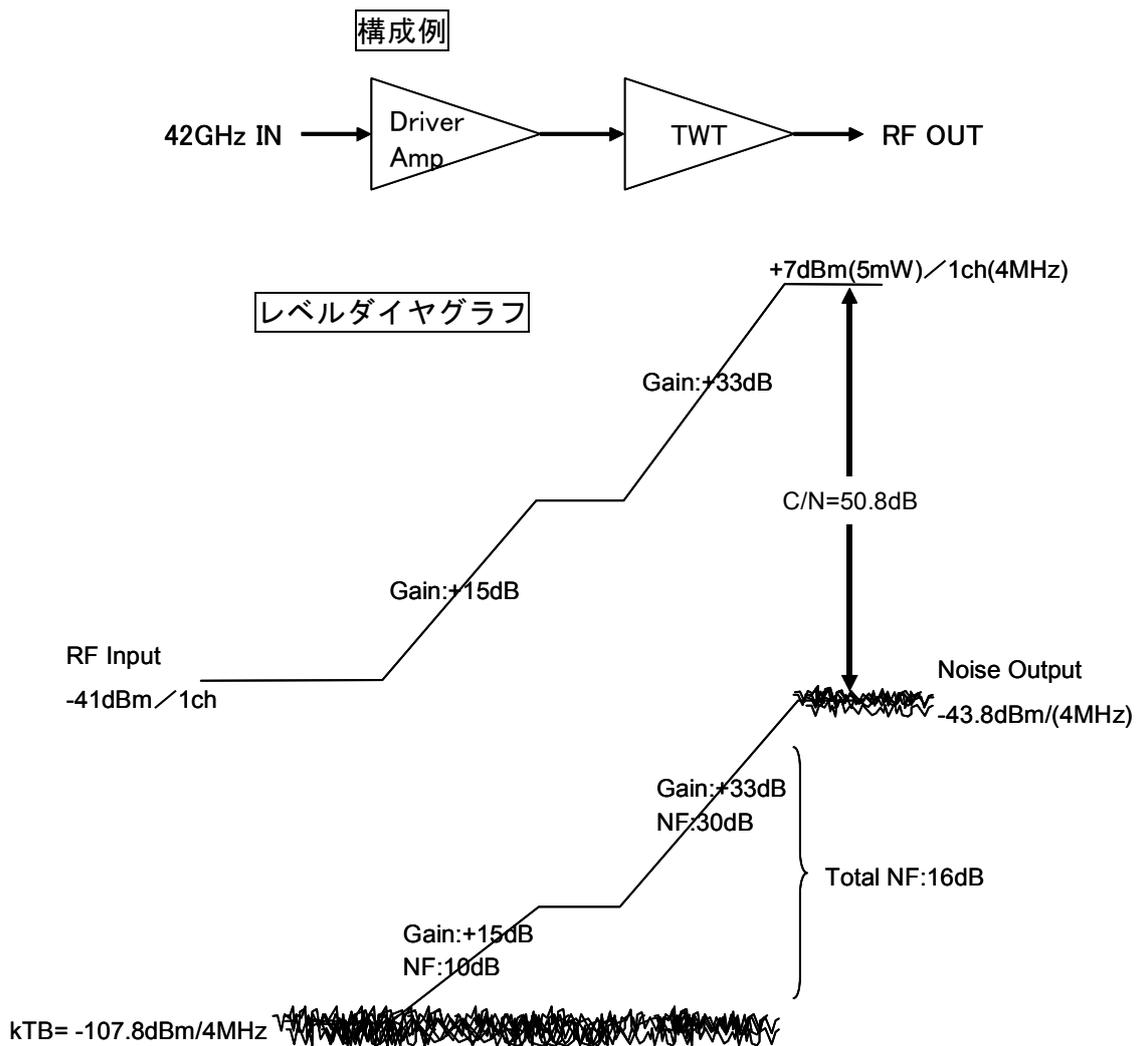
この C/N 特性を改善するには、一般に TWTA の利得を下げ、前段に低雑音ドライバーアンプを付加する方法をとる。

図表 2-75 に C/N 改善のための構成の一例とレベルダイヤグラムを示す。TWTA は一般に利得を 30dB 以下に低減することが困難なので、ここでは 33dB を想定した。40GHz 帯で NF が 10dB 程度のドライバーアンプ (LNA) は実現可能なので、これを TWTA に付加

することで送信電力増幅部の送信 C/N は 50.8dB となり、同一の TWTA を単体で用いる場合に比べ、21dB の改善となる。

システム全体の雑音配分、送受信機全体のレベルダイヤ、所要 C/N を勘案し、送信電力増幅部の利得・NF を決定すれば、今回の実証試験での C/N 劣化は十分解決可能である。

図表 2-75 低雑音ドライバーアンプと TWTA による C/N 特性の改善例



(6) 画像品質やインターネット通信

前の (1) から (3) に述べたとおり十分良好な結果が得られた。

2.3 公開実証試験

(1) 公開実証試験の目的と概要

一般市民を対象に、40GHz 帯の無線利用の有効性について広く周知を図るため、一対多方向（P-MP）の実証試験のうち、熊本市役所に設置した子局無線設備を同市役所前の広場の2箇所に移設し、公開実証試験を行ったので、ここに概要を述べる。

公開日 平成 19 年 1 月 30 日（火）

試験内容 ① 実証試験の概要説明

② 地上デジタル放送（ハイビジョン）等の多チャンネルの無線伝送と受信
（2つの子局無線設備使用）

③ インターネット接続実演

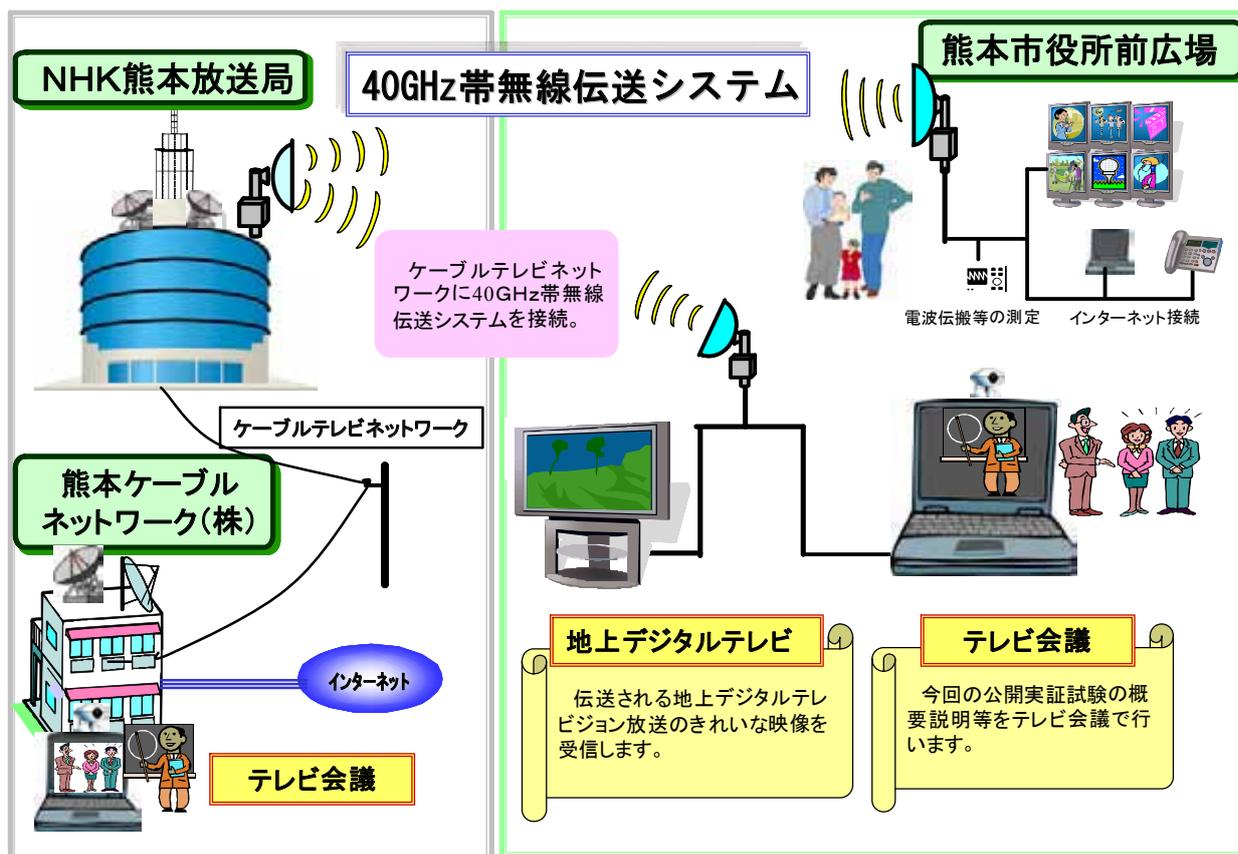
④ TV 会議

（1つの子局無線設備に接続したパソコンと熊本市内のケーブルテレビ事業者の設備等を使用）

⑤ 電波伝搬等の測定の実演

公開実証試験の概要を図表 2-76 に示す。

図表2-76 公開実証試験の概要



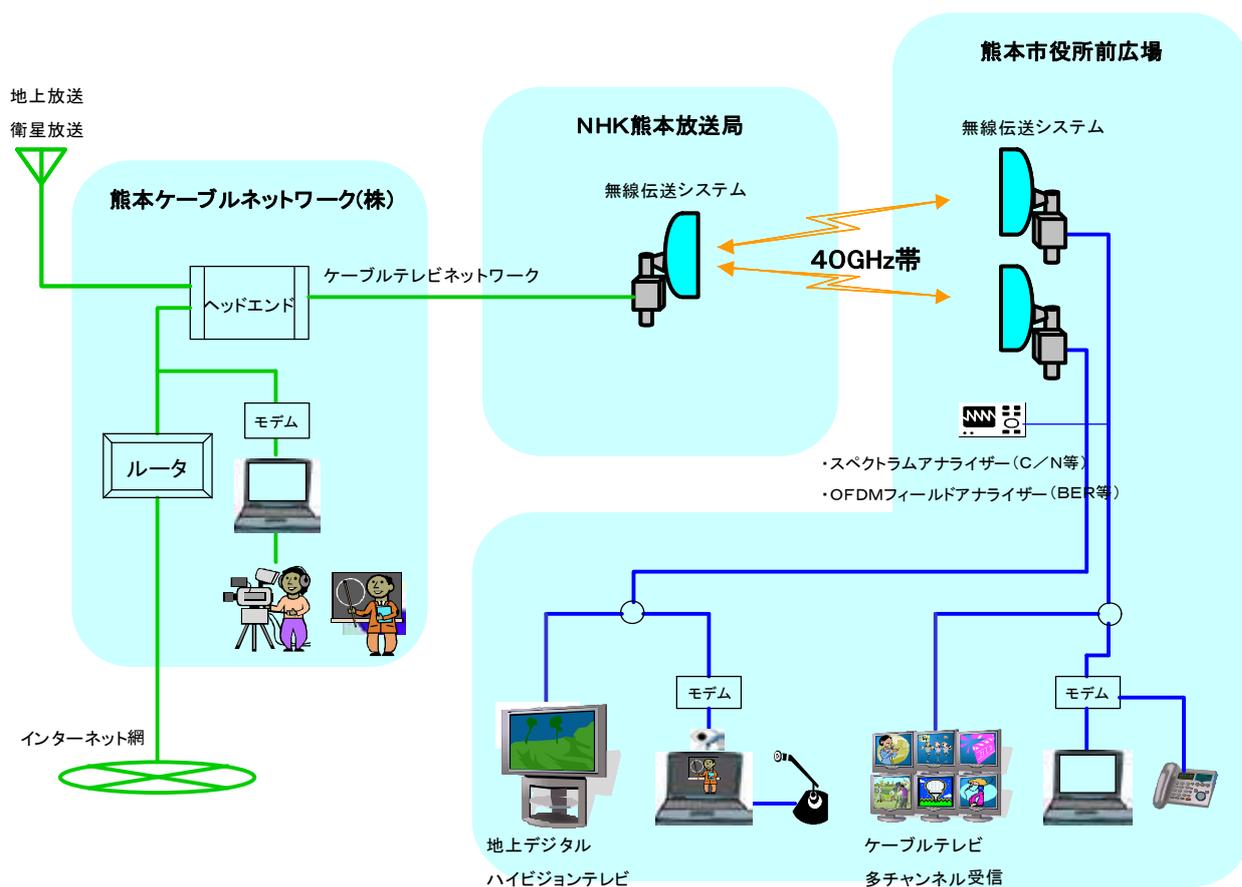
(2) 公開実証試験システム

公開実証試験は、熊本ケーブルネットワークからケーブルテレビ信号を NHK 熊本放送局の屋上に設置した親機無線装置に接続し、そこから熊本市役所前広場に設置した2つの子局無線装置（P-MP を想定）に 40GHz 帯の電波を伝送した。

伝搬路は、親局側（NHK 熊本放送局屋上）のアンテナ高が 37m（海拔高）、子局側（熊本市役所前広場）のアンテナ高が 12m（海拔高、（地上高は約 1m））、伝搬距離は約 380m である。

ネットワーク構成は図表 2-77 のとおりである。

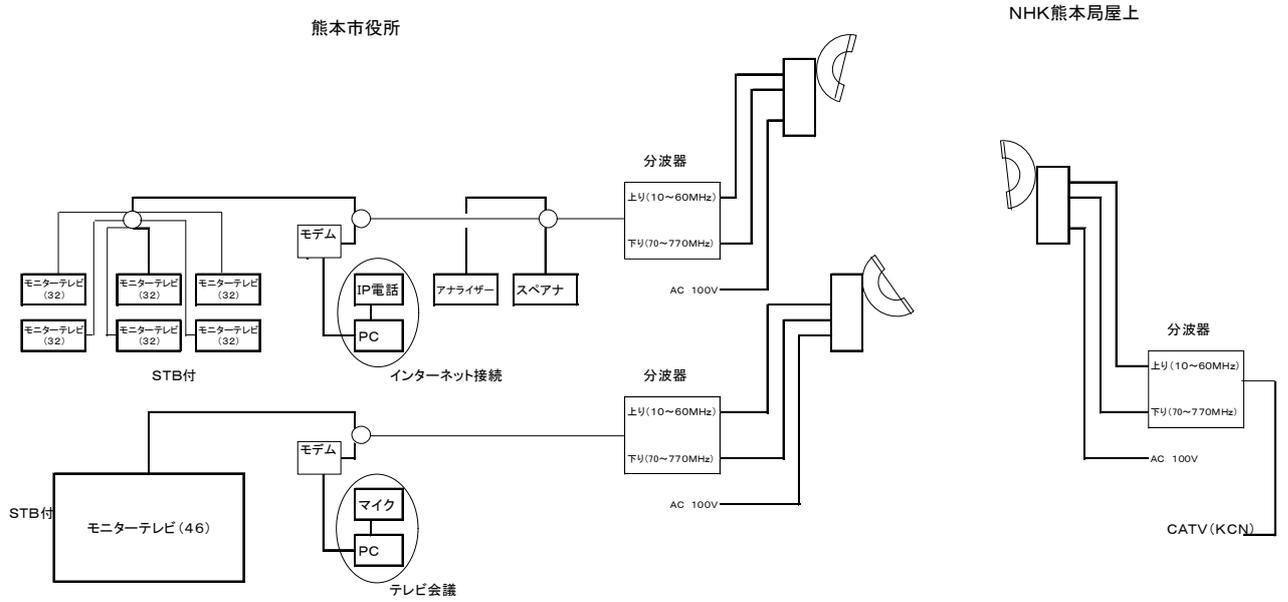
図表2-77 公開実証試験ネットワーク構成図



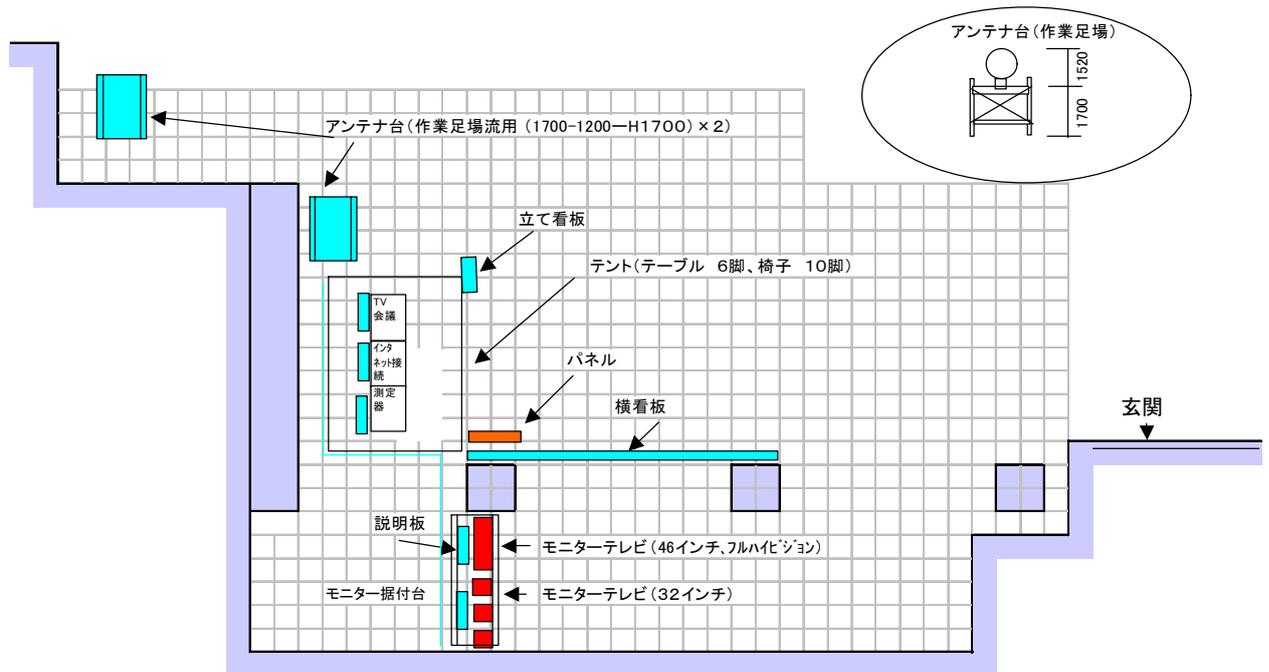
具体的な公開実証試験の機器系統図は図表 2-78 に示すとおりである。本試験では、P-MP を模擬して受信側（子局）に2つの無線装置を設置して、多チャンネルのケーブルテレビを同時に複数の場所で受信できると共に、複数の子局から親局にもアクセス出来ることを示している。

図表 2-79 は子局側である熊本市役所玄関ロビーの公開場所における機器の配置を、図表 2-80 は親局を設置している NHK 熊本放送局屋上の無線機・アンテナの配置図をそれぞれ示す。

図表 2-78 公開実証試験ブロックダイアグラム

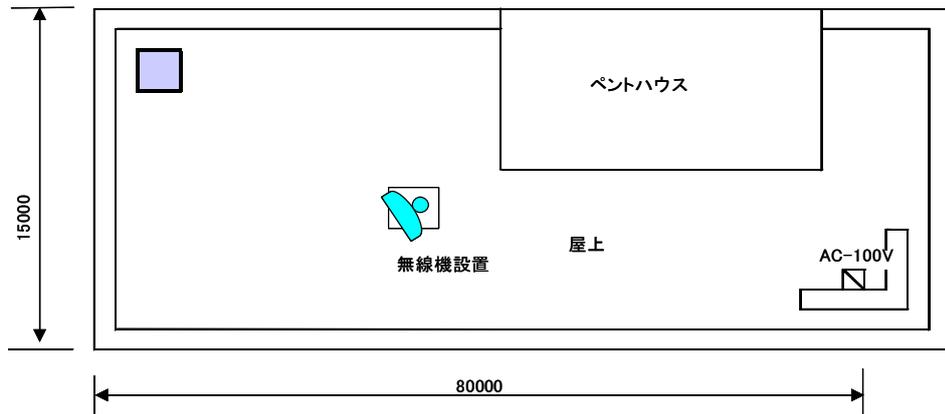


図表 2-79 熊本市役所 玄関ロビー配置図

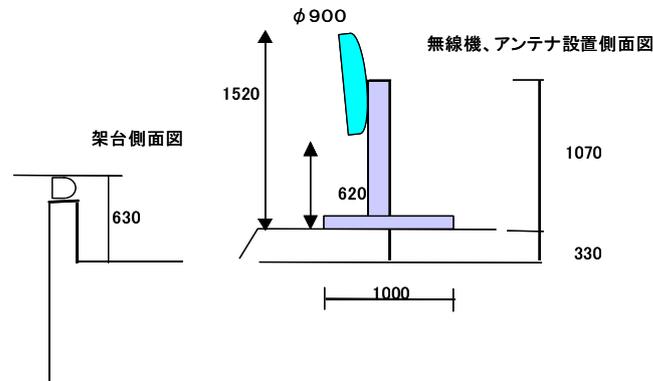


図表 2-80 NHK 熊本放送局 屋上配置図

上面図



側面図



(3) 公開実証試験状況

公開実証試験では前項で述べた試験内容を2回実施し、約100名が参加した。また、熊本県内及び九州内の主な報道機関が取材に来場し、盛況のうちに公開実証試験を行うことが出来た。

公開実証試験会場の様子や模様を図表 2-81 に示す。

図表2-81 公開実証試験の写真
看板・機器



熊本市役所玄関の横看板



公開会場のモニター



測定装置



市役所側(子局)アンテナ



公開実証試験会場の様子



公開実証試験会場の様子

第3章

- ミリ波を利用した超高速無線
ブロードバンドシステムの実現
 - 1 ミリ波技術を活用したブロードバンド
に関する意向調査
 - 2 40GHz 帯無線システム構築の技術要件
 - 3 モデルシステムの提案

第3章 ミリ波を利用した超高速無線ブロードバンドシステムの実現

3.1 ミリ波技術を活用したブロードバンドに関する意向調査

40GHz 帯を使用した超高速無線ブロードバンド技術の活用に関し、九州管内の地方自治体及びケーブルテレビ事業者に対して意向調査を実施した。

3.1.1 意向調査実施方法

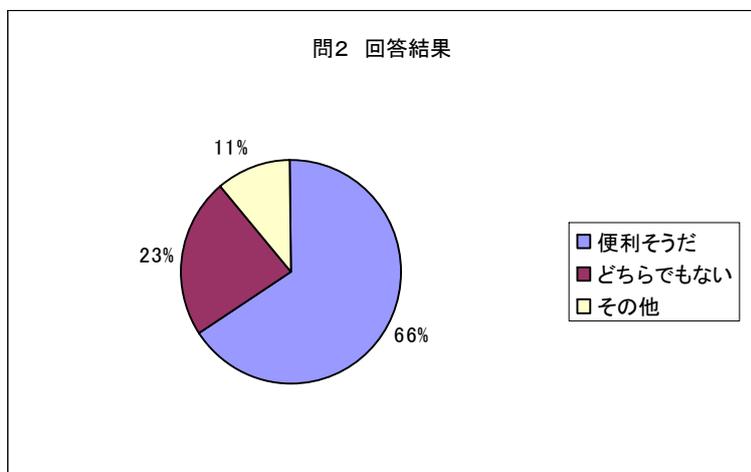
- (1) 調査期間 19年2月23日～3月9日
- (2) 調査対象 九州管内地方自治体 258市町村
九州管内ケーブルテレビ事業者等 51社
計 309件
- (3) 調査内容と調査票 付録調査票参照
- (4) 調査票の送付及び回収 郵送又はFAX

3.1.2 調査結果の集計と分析

回収数は、自治体が258件、ケーブルテレビ事業者38社、組合6、その他3の計47件で、全体で305件（回収率99%）であった。（詳細は付録2を参照）

(1) 無線によるブロードバンドについての意見

便利そうだとの意見が全体の66%を占めており、期待感は高いと思われる。その他の意見としては市内全域が光化しているので不要とのコメントが多かった。



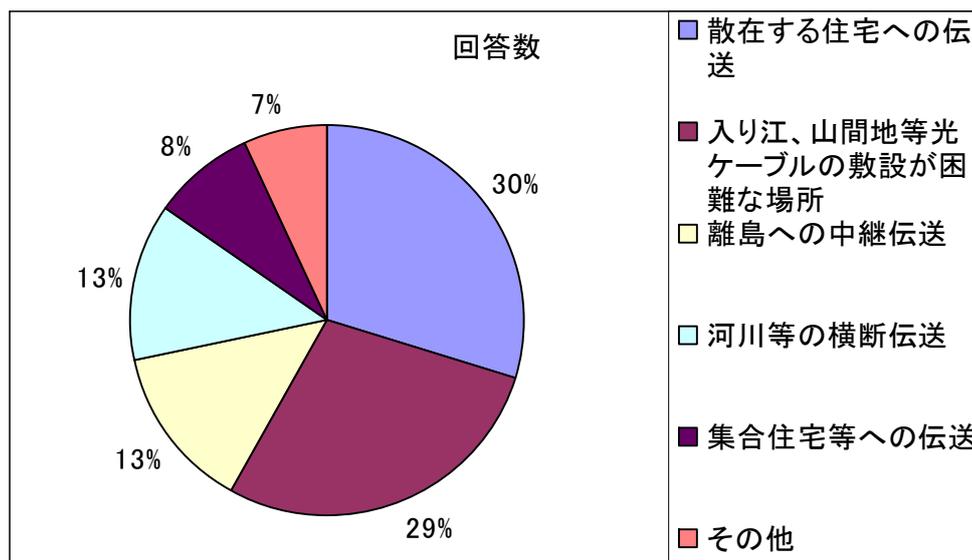
回答	回答数
便利そうだ	193
どちらでもない	69
その他	33

(2) 無線によるブロードバンドが便利（有効）な場所

無線によるブロードバンドが便利（有効）と思われる場所については、散在する住宅への伝送が 30%、入り江、山間地など光ケーブルの敷設が困難な場所が 29%、離島への中継伝送、河川等の横断伝送がともに 13%、集合住宅等への伝送が 8%の順位で関心が高い。

この中で、入り江、山間地など光ケーブルの敷設が困難な場所については、離島への伝送と類似した利用形態と考えられる。

このことから、1. 4. 3で述べているモデルシステムのために想定した4つの利用形態とほぼ一致した。



回答	回答数
散在する住宅への伝送	141
入り江、山間地等光ケーブルの敷設が困難な場所	136
離島への中継伝送	64
河川等の横断伝送	62
集合住宅等への伝送	40
その他	33

3.2 40GHz 帯無線システム構築の技術要件

40GHz 帯無線システムを構築するため前章で述べた実証試験の結果を踏まえ、基本的な技術要件を以下に示す。

3.2.1 所要 C/N

所要 C/N が異なる信号を伝送する場合、各種信号の所要 C/N の中で最大の値を当該無線システムの所要 C/N とする。

(1) アナログ TV 信号 (NTSC)

有線テレビジョン放送法施行規則を満足し現在望ましい性能として普及している所要 C/N は 42dB (回線総合) である。本無線システムは CATV 等に接続して運用するので、回線総合の所要 C/N 42dB に対して C/N の劣化を本システムの無線区間と CATV 等の区間で等配分するとして、本無線システムも 42dB に 3dB を加え所要 C/N を 45dB とすることが適当である。実証試験では C/N が 30dB 程度で良好な受信であったのを踏まえると所要 C/N 45dB は十分な値といえる。

(C/N の配分については付録 3 を参照のこと。)

(2) 地上デジタル TV 信号 (ISDB-T)

有線テレビジョン放送法施行規則は所要 C/N を 24dB (回線総合) としている。本無線システムは CATV 等に接続して運用するので、回線総合の所要 C/N 24dB に対して C/N の劣化を本システムの無線区間と CATV 等の区間で等配分するとして、本無線システムも 24dB に 3dB を加え所要 C/N は 27dB とすることが適当である。実証試験では C/N が 20dB 程度で良好な受信であったのを踏まえると所要 C/N 27dB は十分な値といえる。

(3) ケーブルモデム信号 (インターネット回線)

パケットロス 0% 時の C/N は次のとおりだった。本無線システムは CATV 等に接続して運用するので、C/N の劣化を無線システムと CATV 等の区間で等配分するとして本無線システムも当該 C/N に 3dB を加えケーブルモデム信号の所要 C/N を次のとおりとすることが適当である。

QPSK 方式：所要 19dB (パケットロス 0% 時の C/N : 16dB)

16QAM 方式：所要 26dB (パケットロス 0% 時の C/N : 23dB)

以上より上記の 3 種類の信号を伝送する場合、無線システムの所要 C/N は最大であるアナログ TV 信号の C/N である 45dB とするのが適当である。

将来アナログ TV 信号の伝送が不要な場合は、所要 C/N を 27dB とすることが適当である。

3.2.2 周波数の許容偏差

有線テレビジョン放送法施行規則（第26条の17）において搬送波の許容偏差が±20kHz以内（回線総合）とされている。本無線システムはCATV等に接続して運用するので、回線総合の許容偏差±20kHz（ 5.0×10^{-7} ）をCATV等の区間に±10kHz、本システムには±10kHz（ 2.5×10^{-7} ）と等配分する。さらに本システムの中でその配分 2.5×10^{-7} をさらに親局無線装置と子局受信装置で等配分すると、それぞれの装置の周波数の許容偏差は 1.0×10^{-7} が適当となる（次の表を参照）。

本実証試験において、伝送したアナログTV信号、地上デジタル信号(OFDM)及びインターネット信号は 9.6×10^{-7} で受信等は良好だったので、当該許容偏差は十分な値である。

なお、その他の信号を入力伝送する場合は別途検討が必要である。

周波数の許容偏差（回線総合）		±20kHz
周波数の許容偏差の配分	CATV等	±10kHz
	本システムの親局設備	1.25×10^{-7}
	“ 子局設備	1.25×10^{-7}

3.2.3 降雨マージン

降雨減衰量について2.2.5(2)に述べたとおり本実証試験で測定した値をITU-R 勧告（注1）と電波法関連審査基準（注2）の推定値とほぼ一致したことから、本無線システムの回線設計において降雨減衰量の推定や年間の稼働率に対する降雨マージンの推定に当該勧告と審査基準を用いることが適当である。

本無線システムの稼働率は、CATV等で利用されている23GHz帯の公共業務用無線システムに適用されている基準99.95%（年間）が参考となる。

注1：CCIR Rec. 721-3

注2：総務省訓令第67号（付録4を参照のこと）

3.2.4 40GHz帯無線システムのアンテナ

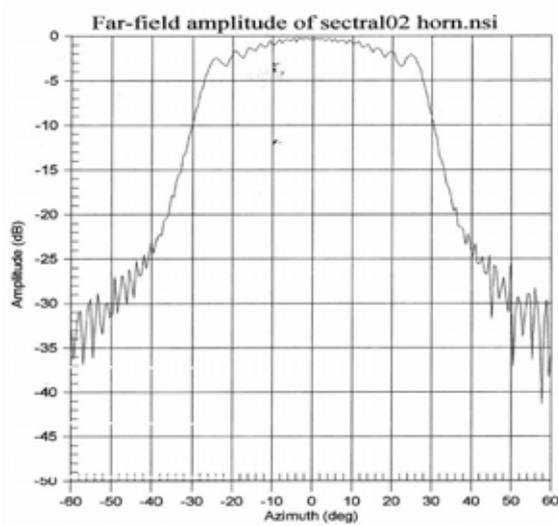
(1) P-MP方式 ホーンアンテナ

P-MP方式においては、比較的近距離のエリアに置局した子局に伝送するために適当な広角の指向性を有するホーンアンテナを用いることが適当である。

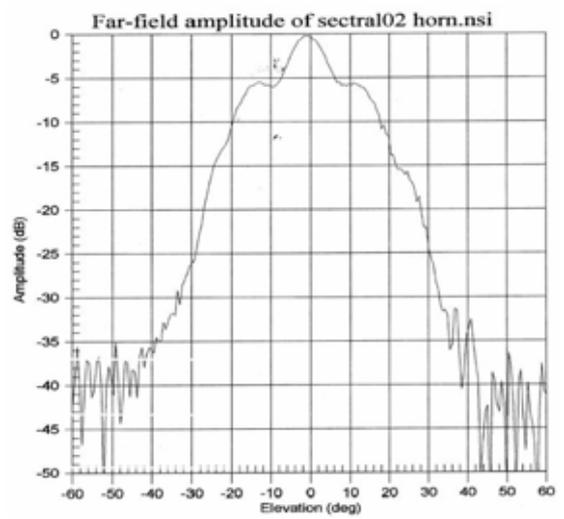
図表3-2～3-5に適当なホーンアンテナの指向特性の一例を示す。

アンテナ利得は約20dBiで図表3-2は水平面内における指向性であり、半値角は約30°で電波の輻射ビームの主軸を中心に水平方向に約30°幅で約20dBiの利得を有する。

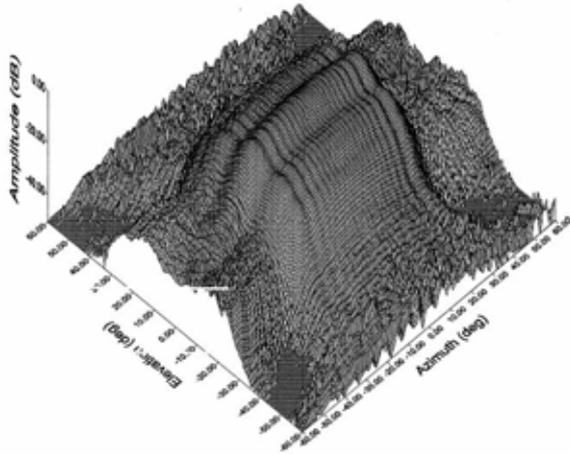
図表 3-2 ホーンアンテナ水平指向性



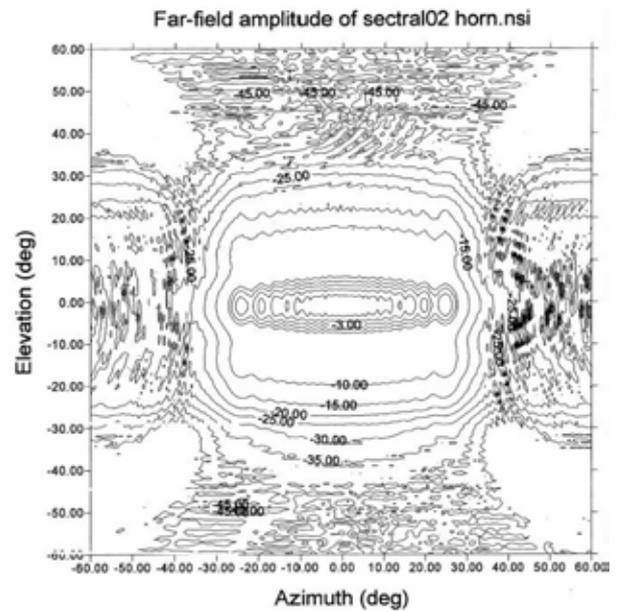
図表 3-3 ホーンアンテナ垂直指向性



図表 3-4 ホーンアンテナ立体指向性(1)



図表 3-5 ホーンアンテナ立体指向性(2)



(2) P-P方式 パラボラアンテナ

一対一対向 (P-P) で比較的長距離を伝送するために、高利得のパラボラアンテナを用いることが適当である。図表 3-6 に適当なパラボラアンテナの利得特性の一例を示す。

図表 3-6 アンテナ利得の一例

開口径	30cm φ	90cm φ
利得	39.3dB	48.8dB

周波数 41GHz、開口能率 50%

3.3 モデルシステムの提案

モデルシステムについては、超高速無線ブロードバンド技術の導入に関する意向調査の結果から、図 1-11 に示した 4 つの利用形態別に伝送容量と距離等を示した。

3.3.1 モデルシステムの技術的要件

第 2 章の結果を踏まえ次のとおり提案する。

(1) 一般的事項

① 周波数帯

下り 40.77-41.47 GHz

上り 42.09-42.135 GHz

② 通信方式

2 周波複信方式、同報通信方式、単向通信方式

③ 変調方式(最終)

FDM-SSB 変調

④ 空中線電力

500mW 以下

⑤ 伝送の質

・ C/N \geq 45dB

・ 降雨マージン：不稼働率 0.05%を基本とする

(2) 無線設備

① 周波数の許容偏差

1.0 \times 10⁻⁷ 以下

② スプリアス発射の強度の許容値

50 μ W/MHz 以下 (スプリアス領域の不要輻射)

100 μ W/MHz 以下 (帯域外領域のスプリアス発射)

注：電波法無線設備規則別表第三号

③ 空中線電力の許容偏差

上限 20%以下

下限 50%以下

注：電波法無線設備規則第 14 条

④ 空中線

P-MP	親局の空中線利得	約 20dBi	ホーンアンテナ (半値角 30°)
	子局の空中線利得	約 40dBi	パラボラアンテナ (30cmΦ)
P-P	空中線利得	約 50dBi	パラボラアンテナ (90cmΦ)

(3) 伝送容量

標準的なモデルを設定するにあたり下りの伝送容量は、次の 1) から 4) のとおり九州のケーブルテレビ局の実態を考慮して TV 信号を 8 チャンネル、16 チャンネル、40 チャンネル及び 80 チャンネルとする。

- 1) 放送の再送信のみを行うシステムとして 8 チャンネル
- 2) 九州の自主放送を行うケーブルテレビ局の小容量システムとして 16 チャンネル
- 3) 九州の自主放送を行うケーブルテレビ局の中容量システムとして 40 チャンネル
- 4) 九州の自主放送を行うケーブルテレビ局の大容量システムとして 80 チャンネル

3.3.2 P-MP方式

(1) 散在する住宅への伝送

親局は送信電力を500mW、アンテナは半値角30度のホーンアンテナを使用する。

子局は送信電力を10mW、アンテナは直径30cm(パラボラ)を使用する。

回線概要を図表3-7に示す。回線設計は図表3-8のとおりである。



図表 3-7

伝送容量	伝送距離
8ch	700m
16ch	550m
40ch	400m
80ch	300m

図 3-8 P-MP 接続 回線設計例

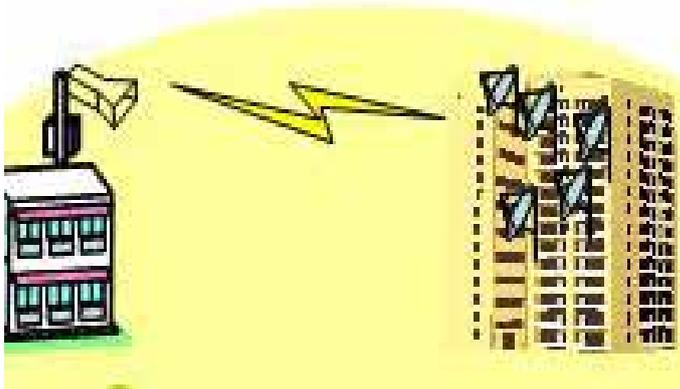
	記号	単位	下り回線				上り回線	備考
			NTSC 80CH相当	NTSC 40CH相当	NTSC 16CH相当	NTSC 8CH相当	ケーブルモデム 1CH	
伝送する信号								
周波数	fo	GHz	41.0	41.0	41.0	41.0	42.1	
波長	λ	mm	7.3	7.3	7.3	7.3	7.1	
伝送距離	d	m	300	400	550	700	700	
帯域幅	B	MHz	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
送信電力(トータル)	Pt	dBm	27.0	27.0	27.0	27.0	10.0	
波数	n		80.0	40.0	16.0	8.0	1.0	
送信アンテナ利得	Gt	dB	20.0	20.0	20.0	20.0	39.4	基地局; ホン、半値幅=約30° 口径=1.6×4.5cm 加入者局; 30cmφパラボラ Gt=η(πDt/λ)² 効率η=50%
eirp	Pe	dbm	47.0	47.0	47.0	47.0	49.4	Pe=Pt+Gt
伝播損	Ld	dB	114.2	116.7	119.5	121.6	121.8	Ld=(4πd/λ)²
大気吸収損	La	dB	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	晴天時:0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	2.1	2.8	3.8	4.8	5.0	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ利得	Gr	dB	39.2	39.2	39.2	39.2	20.0	基地局; ホン、半値幅=約30° 口径=1.6×4.5cm 加入者局; 30cmφパラボラ Gt=η(πDt/λ)² 効率η=50%
ホーンアンテナ損	Lp	dB	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	ホーンアンテナ損 3dB; サビエリアを半値幅とする
NF	NF	dB	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10dB; 試験装置
降雨時受信電力(トータル)	Cr	dBm	-33.1	-36.3	-40.1	-43.3	-60.5	Cr=Pe-Ld-Lra+Gr-Lp
降雨時1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-52.1	-52.3	-52.1	-52.3	-60.5	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	N=kTB、K=1.38×10 ⁻²³ B: 4MHz T=300+300*(10 ^(NF/10) -1)
降雨時 C/N	C/N	dB	45.7	45.5	45.7	45.5	37.3	
所要C/N		dB	45.0	45.0	45.0	45.0	26.0	45dB: 23GHz帯電通技審より 26dB: ケーブルモデム 6QAM, ハケットロス“0%”のC/N
降雨時C/Nマージン		dB	0.7	0.5	0.7	0.5	11.3	C/Nマージン=C/N-所要C/N

(2) 集合住宅等への伝送

親局は送信電力を 20mW、アンテナは半値角 30 度のホーンアンテナを使用する。

子局は送信電力を 1mW、アンテナは直径 30 cm (パラボラ) を使用する。

回線概要を図表 3-9 に示す。回線設計は図表 3-10 のとおりである。



図表 3-9

伝送容量	伝送距離
8 c h	2 0 0 m
1 6 c h	1 5 0 m
4 0 c h	1 0 0 m
8 0 c h	7 0 m

図表 3-10 P-MP 接続 回線設計例

伝送する信号	記号	単位	下り回線				上り回線	備考
			NTSC 80CH相当	NTSC 40CH相当	NTSC 16CH相当	NTSC 8CH相当	ケーブルモデム 1CH	
周波数	f _o	GHz	41	41	41	41	42.1	
波長	λ	mm	7.32	7.32	7.32	7.32	7.13	
伝送距離	d	m	70	100	150	200	200	
帯域幅	B	MHz	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
送信電力(トータル)	P _t	dBm	13.0	13.0	13.0	13.0	0.0	
波数	n		80.0	40.0	16.0	8.0	1.0	
送信アンテナ利得	G _t	dB	20.0	20.0	20.0	20.0	39.4	基地局 ; ホーン、半値幅=約30° 口径=1.6×4.5cm 加入者局 ; 30cmφパラボラ G _t =η(πDt/λ) ² 効率η=50%
eirp	P _e	dbm	33.0	33.0	33.0	33.0	39.4	P _e =P _t +G _t
自由空間損	L _d	dB	101.6	104.7	108.2	110.7	110.9	L _d =(4πd/λ) ²
大気吸収損	L _a	dB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	晴天時:0.33dB/km
降雨減衰損	L _{ra}	dB	0.5	0.7	1.1	1.4	1.4	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ利得	G _r	dB	39.2	39.2	39.2	39.2	20.0	基地局 ; ホーン、半値幅=約30° 口径=1.6×4.5cm 加入者局 ; 30cmφパラボラ G _t =η(πDt/λ) ² 効率η=50%
ホーンアンテナ損	L _p	dB	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	ホーンアンテナ損 3dB;サビエリアを半値幅とする
NF	NF	dB	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10dB;試作機
降雨時受信電力(トータル)	C _r	dBm	-32.9	-36.2	-40.1	-42.9	-55.9	C _r =P _e -L _d -L _{ra} +G _r -L _p
降雨時1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-51.9	-52.2	-52.1	-51.9	-55.9	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	N=kTB、K=1.38×10 ⁻²³ B:4MHz T=300+300*(10 ^(NF/10) -1)
降雨時C/N	C/N	dB	45.9	45.6	45.7	45.9	41.9	
所要C/N		dB	45	45	45	45	26	45dB;23GHz帯電通技審より 26dB:ケーブルモデム 16QAM,ハケットロス“0%”のC/N
降雨時C/Nマージン		dB	0.9	0.6	0.7	0.9	15.9	C/Nマージン=C/N-所要C/N

3.3.3 P-P方式

(1) 離島、入り江、山間地等への伝送

親局、子局とも送信電力を500mWとし、アンテナは90cm（パラボラ）を使用する。
回線設計を図表3-11に示す。詳細な回線設計は図表3-12から図表3-14のとおりである。



図表 3-11

伝送容量	伝送距離
8 c h	4.4 km
16 c h	4.0 km
40 c h	3.5 km
80 c h	3.2 km

図表 3-12 P-P 接続 下り回線の回線設計例

伝送する信号	記号	単位	降雨時		晴天時		備考
			NTSC 80CH相当	NTSC 40CH相当	NTSC 80CH相当	NTSC 40CH相当	
周波数	fo	GHz	41.0	41.0	41.0	41.0	
波長	λ	mm	7.32	7.32	7.32	7.32	
伝送距離	d	m	3200	3500	3200	3500	
帯域幅	B	MHz	4.0	4.0	4.0	4.0	
送信電力(トータル)	Pt	dBm	27.0	27.0	27.0	27.0	
波数	n		80	40	80	40	
送信アンテナ	Dt	m	0.9	0.9	0.9	0.9	
半値角		度	0.7	0.7	0.7	0.7	
送信アンテナ利得	Gt	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gt = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	Pe	dbm	75.8	75.8	75.8	75.8	$Pe = Pt + Gt$
自由空間損	Ld	dB	134.8	135.6	134.8	135.6	$Ld = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	La	dB	0.0	0.0	1.0	1.1	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	20.4	22.2	0.0	0.0	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ	Dr	m	0.9	0.9	0.9	0.9	
半値角		度	0.7	0.7	0.7	0.7	
受信アンテナ利得	Gr	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gr = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ホインティング損	Lp	dB	3.0	3.0	3.0	3.0	ホインティング損 3dB
NF	NF	dB	10.0	10.0	10.0	10.0	10dB: 試験装置
受信電力(トータル)	Cr	dBm	-33.6	-36.2	-14.2	-15.1	$Cr = Pe - Ld - La - Lra + Gr - Lp$
1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-52.6	-52.2	-33.2	-31.1	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	$N = kTB$, $K = 1.38 \times 10^{-23}$ $B = 4\text{MHz}$ $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
C/N	C/N	dB	45.2	45.6	64.6	66.7	
所要C/N		dB	45.0	45.0	45.0	45.0	45dB: 23GHz帯電通技審より
C/Nマージン		dB	0.2	0.6	19.6	21.7	$C/N\text{マージン} = C/N - \text{所要}C/N$

図表 3-13 P-P 接続 下り回線の回線設計例

伝送する信号	記号	単位	降雨時		晴天時		備考
			NTSC 16CH相当	NTSC 8CH相当	NTSC 16CH相当	NTSC 8CH相当	
周波数	fo	GHz	41.0	41.0	41.0	41.0	
波長	λ	mm	7.32	7.32	7.32	7.32	
伝送距離	d	m	4000	4400	4000	4400	
帯域幅	B	MHz	4.0	4.0	4.0	4.0	
送信電力(トータル)	Pt	dBm	27.0	27.0	27.0	27.0	
波数	n		16	8	16	8	
送信アンテナ半値角	Dt	度	0.9	0.9	0.9	0.9	
送信アンテナ利得	Gt	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gt = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	Pe	dbm	75.8	75.8	75.8	75.8	$Pe = Pt + Gt$
自由空間損	Ld	dB	136.7	137.6	136.7	137.6	$Ld = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	La	dB	0.0	0.0	1.3	1.5	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	25.1	27.4	0.0	0.0	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ半値角	Dr	度	0.9	0.9	0.9	0.9	
受信アンテナ利得	Gr	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gr = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ボイティング損	Lp	dB	3.0	3.0	3.0	3.0	ボイティング損 3dB
NF	NF	dB	10.0	10.0	10.0	10.0	10dB; 試験装置
受信電力(トータル)	Cr	dBm	-40.2	-43.4	-16.4	-17.5	$Cr = Pe - Ld - La - Lra + Gr - Lp$
1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-52.2	-52.4	-28.4	-26.5	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	$N = kTB, K = 1.38 \times 10^{-23}$ $B = 4MHz$ $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
C/N	C/N	dB	45.6	45.4	69.4	71.3	
所要C/N		dB	45.0	45.0	45.0	45.0	45dB; 23GHz帯電通技審より
C/Nマージン		dB	0.6	0.4	24.4	26.3	$C/Nマージン = C/N - 所要C/N$

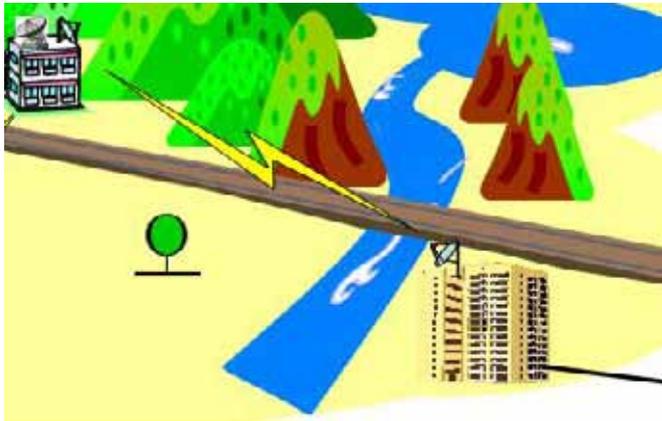
図表 3-14 P-P 接続 上り回線の回線設計例

伝送する信号	記号	単位	降雨時		晴天時		備考
			45MHz帯域×1	45MHz帯域×4	45MHz帯域×1	45MHz帯域×4	
周波数	fo	GHz	42.1	42.1	42.1	42.1	
波長	λ	mm	7.13	7.13	7.13	7.13	
伝送距離	d	m	4400	4400	4400	4400	
帯域幅	B	MHz	45.0	45.0	45.0	45.0	
送信電力(トータル)	Pt	dBm	27.0	27.0	27.0	27.0	
波数	n		1.0	4.0	1.0	4.0	
送信アンテナ半値角	Dt	度	0.9	0.9	0.9	0.9	
送信アンテナ利得	Gt	dB	48.9	48.9	48.9	48.9	$Gt = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	Pe	dbm	75.9	75.9	75.9	75.9	$Pe = Pt + Gt$
伝播損	Ld	dB	137.8	137.8	137.8	137.8	$Ld = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	La	dB	0.0	0.0	1.0	1.3	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	28.6	28.6	0.0	0.0	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ半値角	Dr	度	0.9	0.9	0.9	0.9	
受信アンテナ利得	Gr	dB	48.9	48.9	48.9	48.9	$Gr = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ボイティング損	Lp	dB	3.0	3.0	3.0	3.0	ボイティング損 3dB
NF	NF	dB	10.0	10.0	10.0	10.0	10dB; 試験装置
受信電力(トータル)	Cr	dBm	-44.6	-44.6	-16.0	-16.0	$Cr = Pe - Ld - La - Lra + Gr - Lp$
1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-44.6	-50.6	-16.0	-22.0	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-87.3	-87.3	-87.3	-87.3	$N = kTB, K = 1.38 \times 10^{-23}$ $B = 45MHz$ $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
C/N	C/N	dB	42.7	36.7	71.3	65.3	

(2) 河川、鉄道横断の伝送

親局、子局とも送信電力を 5mW とし、アンテナは 90 cm (パラボラ) を使用する。

回線設計を図表 3-15 に示す。詳細な回線設計は図表 3-16 から図表 3-18 のとおりである。



図表 3-15

伝送容量	伝送距離
8 c h	2.1 km
16 c h	1.8 km
40 c h	1.5 km
80 c h	1.2 km

図表 3-16 P-P 接続 下り回線の回線設計例

伝送する信号	記号	単位	降雨時		晴天時		備考
			NTSC 80CH相当	NTSC 40CH相当	NTSC 80CH相当	NTSC 40CH相当	
周波数	fo	GHz	41	41	41	41	
波長	λ	mm	7.32	7.32	7.32	7.32	
伝送距離	d	m	1200	1500	1200	1500	
帯域幅	B	MHz	4	4	4	4	
送信電力(トータル)	Pt	dBm	7	7	7	7	
波数	n		80	40	80	40	
送信アンテナ半値角	Dt	度	0.9	0.9	0.9	0.9	
送信アンテナ利得	Gt	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gt = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	Pe	dbm	55.8	55.8	55.8	55.8	$Pe = Pt + Gt$
自由空間損	Ld	dB	126.3	128.2	126.3	128.2	$Ld = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	La	dB	0.0	0.0	0.33	0.66	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	8.1	10.0	0.0	0.0	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ半値角	Dr	度	0.9	0.9	0.9	0.9	
受信アンテナ利得	Gr	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gr = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ホーンアンテナ損	Lp	dB	3	3	3	3	ホーンアンテナ損 3dB
NF	NF	dB	10	10	10	10	10dB: 試験装置
受信電力(トータル)	Cr	dBm	-32.8	-36.6	-25.0	-27.3	$Cr = Pe - Ld - La - Lra + Gr - Lp$
1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-51.8	-52.6	-44.1	-43.3	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	$N = kTB$, $K = 1.38 \times 10^{-23}$ $B = 4\text{MHz}$ $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
C/N	C/N	dB	46.0	45.2	53.7	54.5	
所要C/N		dB	45	45	45	45	45dB: 23GHz帯電通技審より
C/Nマージン		dB	1.0	0.2	8.7	9.5	$C/N\text{マージン} = C/N - \text{所要}C/N$

図表 3-17 P-P 接続 下り回線の回線設計例

伝送する信号	記号	単位	降雨時		晴天時		備考
			NTSC 16CH相当	NTSC 8CH相当	NTSC 16CH相当	NTSC 8CH相当	
周波数	fo	GHz	41	41	41	41	
波長	λ	mm	7.32	7.32	7.32	7.32	
伝送距離	d	m	1800	2100	1800	2100	
帯域幅	B	MHz	4	4	4	4	
送信電力(トータル) 波数	Pt n	dBm	7 16	7 8	7 16	7 8	
送信アンテナ 半値角	Dt	m 度	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	
送信アンテナ利得	Gt	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gt = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	Pe	dbm	55.8	55.8	55.8	55.8	$Pe = Pt + Gt$
自由空間損	Ld	dB	129.8	131.1	129.8	131.1	$Ld = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	La	dB	0.0	0.0	0.60	0.66	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	11.9	13.7	0.0	0.0	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ 半値角	Dr	m 度	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	
受信アンテナ利得	Gr	dB	48.8	48.8	48.8	48.8	$Gr = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ホインティング損	Lp	dB	3	3	3	3	ホインティング損 3dB
NF	NF	dB	10	10	10	10	10dB: 試験装置
受信電力(トータル)	Cr	dBm	-40.1	-43.2	-28.8	-30.2	$Cr = Pe - Ld - La - Lra + Gr - Lp$
1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-52.1	-52.2	-40.8	-39.2	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-97.8	-97.8	-97.8	-97.8	$N = kTB$, $K = 1.38 \times 10^{-23}$ $B = 4\text{MHz}$ $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
C/N	C/N	dB	45.7	45.6	57.0	58.6	
所要C/N		dB	45	45	45	45	45dB: 23GHz帯電通技審より
C/Nマージン		dB	0.7	0.6	12.0	13.6	$C/N\text{マージン} = C/N - \text{所要}C/N$

図表 3-18 P-P 接続 上り回線の回線設計例

伝送する信号	記号	単位	降雨時		晴天時		備考
			45MHz帯域×1	45MHz帯域×4	45MHz帯域×1	45MHz帯域×4	
周波数	fo	GHz	42.1	42.1	42.1	42.1	
波長	λ	mm	7.13	7.13	7.13	7.13	
伝送距離	d	m	2100	2100	2100	2100	
帯域幅	B	MHz	45	45	45	45	
送信電力(トータル) 波数	Pt n	dBm	7 1	7 4	7 1	7 4	
送信アンテナ 半値角	Dt	m 度	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	
送信アンテナ利得	Gt	dB	48.9	48.9	48.9	48.9	$Gt = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
eirp	Pe	dbm	55.9	55.9	55.9	55.9	$Pe = Pt + Gt$
自由空間損	Ld	dB	131.4	131.4	131.4	131.4	$Ld = (4\pi d / \lambda)^2$
大気吸収損	La	dB	0	0	0.66	0.66	晴天時: 0.33dB/km
降雨減衰損	Lra	dB	13.8	13.8	0	0.0	年間時間率0.05% 0.0075% 1分間雨量1.58mm
受信アンテナ 半値角	Dr	m 度	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	0.9 0.7	
受信アンテナ利得	Gr	dB	48.9	48.9	48.9	48.9	$Gr = \eta (\pi Dt / \lambda)^2$ 効率 $\eta = 50\%$
ホインティング損	Lp	dB	3	3	3	3	ホインティング損 3dB
NF	NF	dB	10	10	10	10	10dB: 試作機
受信電力(トータル)	Cr	dBm	-43.4	-43.4	-29.6	-29.6	$Cr = Pe - Ld - La - Lra + Gr - Lp$
1チャンネル当り受信電力	C	dBm	-43.4	-49.4	-29.6	-35.6	
1チャンネル当り雑音電力	N	dBm	-87.3	-87.3	-87.3	-87.3	$N = kTB$, $K = 1.38 \times 10^{-23}$ $B = 45\text{MHz}$ $T = 300 + 300 * (10^{(NF/10)} - 1)$
C/N	C/N	dB	43.9	37.9	57.7	51.7	

あ と が き

本調査検討会では、光ファイバ並みの伝送容量をもつミリ波を利用した無線システムの伝搬試験を実施し、この試験結果をもとに、光ファイバと同程度の無線ブロードバンド環境の実現可能性を検証し、システム構築にあたっての具体的なモデルを提案した。

特に、ミリ波を利用したシステムの実証試験においては、地上デジタルテレビジョン放送波を含めた多チャンネルの映像伝送やインターネット接続試験を実施し、光ファイバと同程度の無線ブロードバンド環境の実現が十分可能であることを明らかにした。

また、ミリ波帯を利用したシステムの導入について関係者の意向調査を実施したところ、山間部等ブロードバンド環境の整備が進まない多くの地域において、本システムに対する大きな期待を感じることができた。

総務省では、2010年に向けたブロードバンド・ゼロ地域の解消を目指し、その整備促進に取り組んでいるが、本調査検討会で提案した基本的なモデルシステムが、全国各地域におけるブロードバンド化の実現にあたって活用されることを期待する。

付 録

- 1 TWT Aの適用領域、構造、動作原理、構成について
- 2 意向調査結果の分析、評価
- 3 無線分配システムのC/N分配
- 4 所要降雨マージンの算出

付録 1

TWTA の適用領域、構造、動作原理、構成について

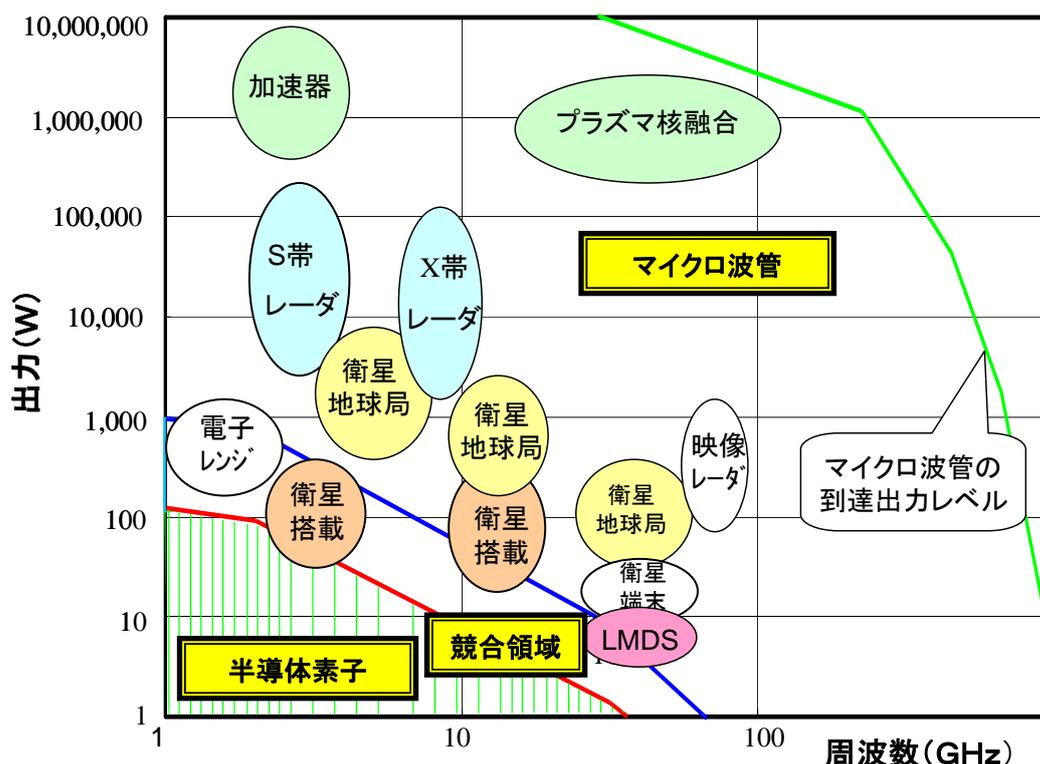
(1) マイクロ波管増幅器の適用領域

マイクロ波帯の増幅デバイスは、図表付 1-1 に示すようにマイクロ波の低周波数帯・低電力領域である携帯電話基地局アンプ等には固体化増幅器（SSPA、Solid State Power Amplifier）が使用され、高周波数・高電力領域である衛星通信や各種レーダ等では TWT 等のマイクロ波管が主力の増幅デバイスである。数十～数百 W の中電力領域では近年開発が進んでいる窒化ガリウム（GaN）等の半導体素子と TWT との競合領域が存在し、各々の特長から使い分けされる。例えば、設置場所、供給電力、冷却能力等に余裕がある地上通信固定局等には操作・保守が簡便な SSPA が適当であり、小型・軽量化、高効率化が必要な衛星中継車等には TWTA が有利である。従って、最適なシステム構成のため、その運用用途と実装形態により SSPA と TWTA との使い分けが考えられる。

一方、30GHz を超えるミリ波帯の増幅素子は、半導体では単体出力電力が 1W 程度であり、多数個を並べ位相合成を図る場合もあるが合成損失が大きく、高出力化が困難である。TWT では衛星通信地球局用途に数百 W の製品が市販されており、40GHz を使用する今回の実証試験に非常に有用なデバイスである。

ケーブルテレビの多チャンネル信号ミリ波帯無線伝送では送信増幅装置の歪特性から十数 dB のバックオフが必要となり、送信出力を 500mW としても数十 W 級の飽和出力を有する送信増幅装置が要求され、システム全体の経済性、小型化、低消費電力化を考慮すると TWTA が有利であると判断される。

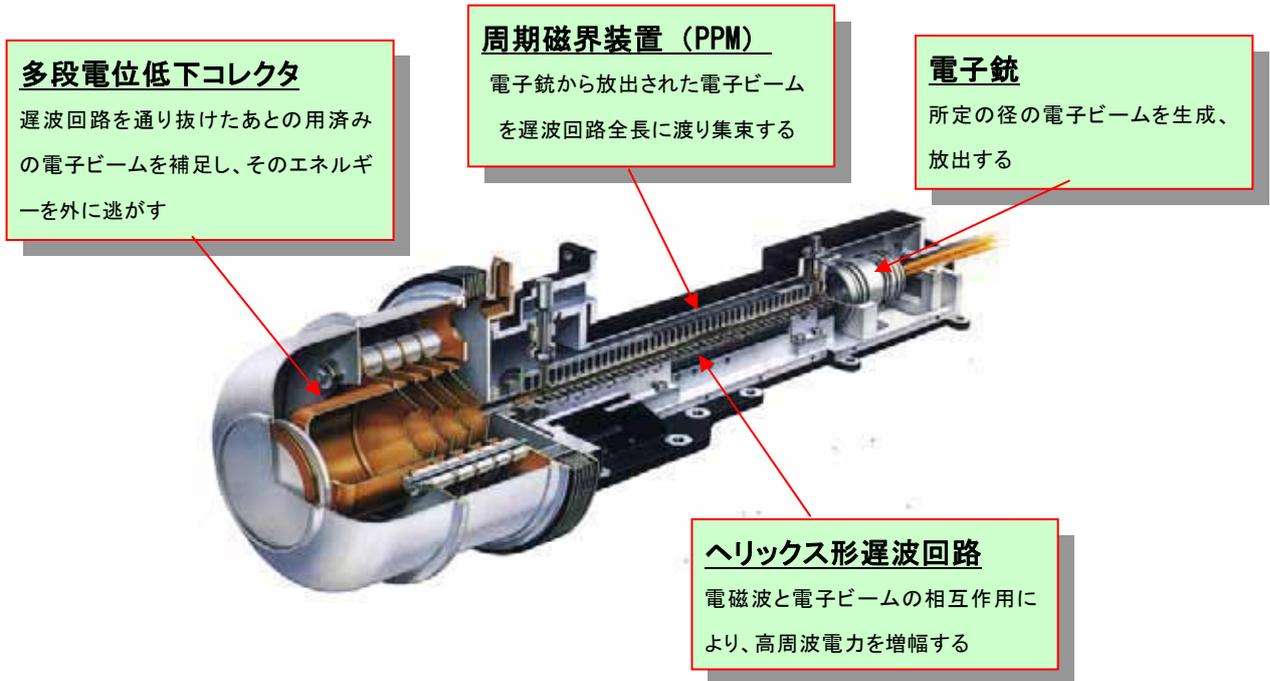
図表付 1-1 マイクロ波増幅デバイスの適用領域



(2) TWT の構造、動作原理

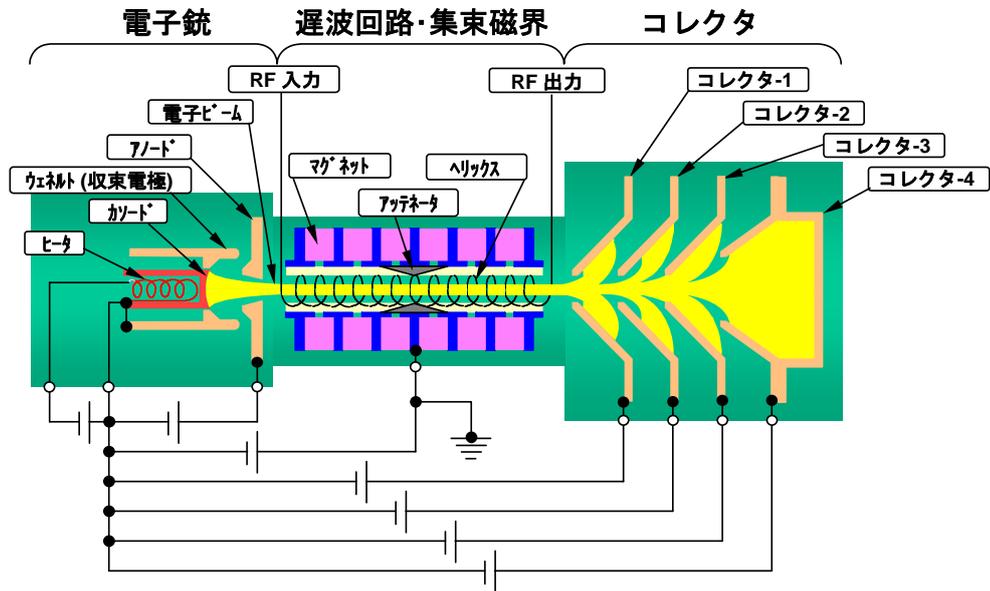
TWT の構成と動作原理について以下、説明する。ここでは代表的にヘリックス形 TWT を用いて説明する。

図表付 1-2 ヘリックス形 TWT の内部構造



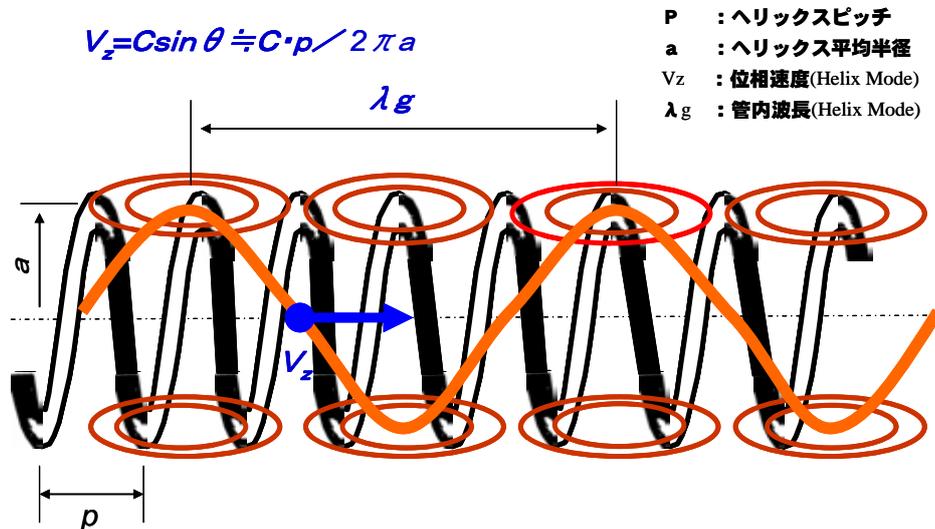
図表付 1-2 に放送衛星搭載用ヘリックス形 TWT の構造図を示す。図に示す様に、TWT は電子ビームを射出する電子銃部、高周波と電子ビームを相互作用させる遅波回路部、遅波回路全長にわたって電子ビームを所定のビーム径に集束させるための周期磁界装置部 (PPM: Periodic Permanent Magnets)、相互作用を終えた電子ビームを捕獲するコレクタ部から構成される。この他に、高周波信号を遅波回路に導き、また増幅信号を取り出す高周波入出力部等もある。構造図は、高効率及要求される衛星搭載用のコレクタに輻射形の 4 段コレクタを採用した構造となっているが、一般地上用 TWT では、冷却は強制空冷や伝導冷却方式が採用される。

図表付 1-3 ヘリックス形 TWT の模式図



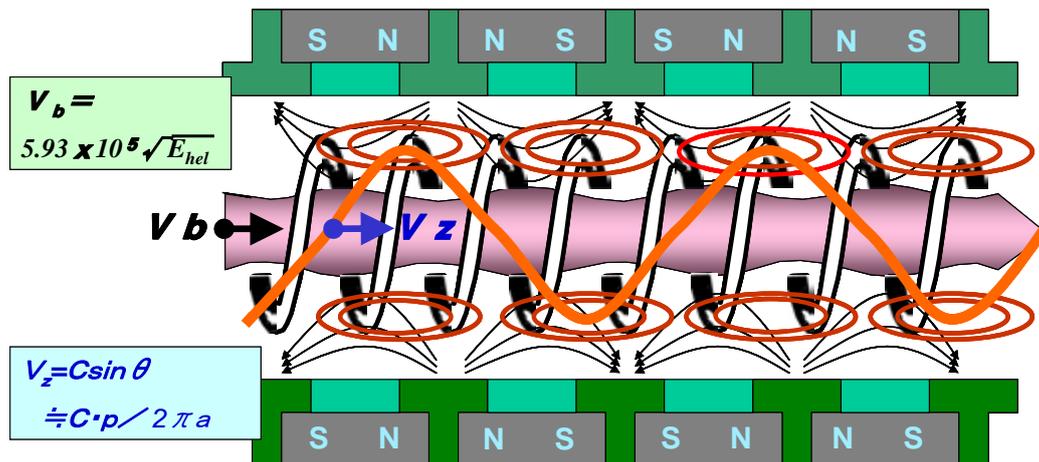
次に TWT の動作原理を、図表付 1-3 に示す模式図を用いて説明する。図に示すように、ヘリックス遅波回路は、金属線を螺旋状に巻き回した構造となっている。入力側からヘリックスに導かれた高周波信号は、ヘリックスに沿って TWT の出力側へ光速で伝搬する。このとき、ヘリックスのピッチを p 、直径を $2a$ とすれば、高周波信号により生じた電磁波はヘリックスの軸方向を光速よりも遅く伝搬し、その速度は光速の $p/2a\pi$ 倍となる（位相速度と称す）。それゆえ、電子ビームと高周波が相互作用を行うこの高周波回路は遅波回路と呼ばれる。ヘリックス遅波回路を伝播する電磁界の模式図を図表付 1-4 に示す。

図表付 1-4 ヘリックス遅波回路を伝播する電磁界



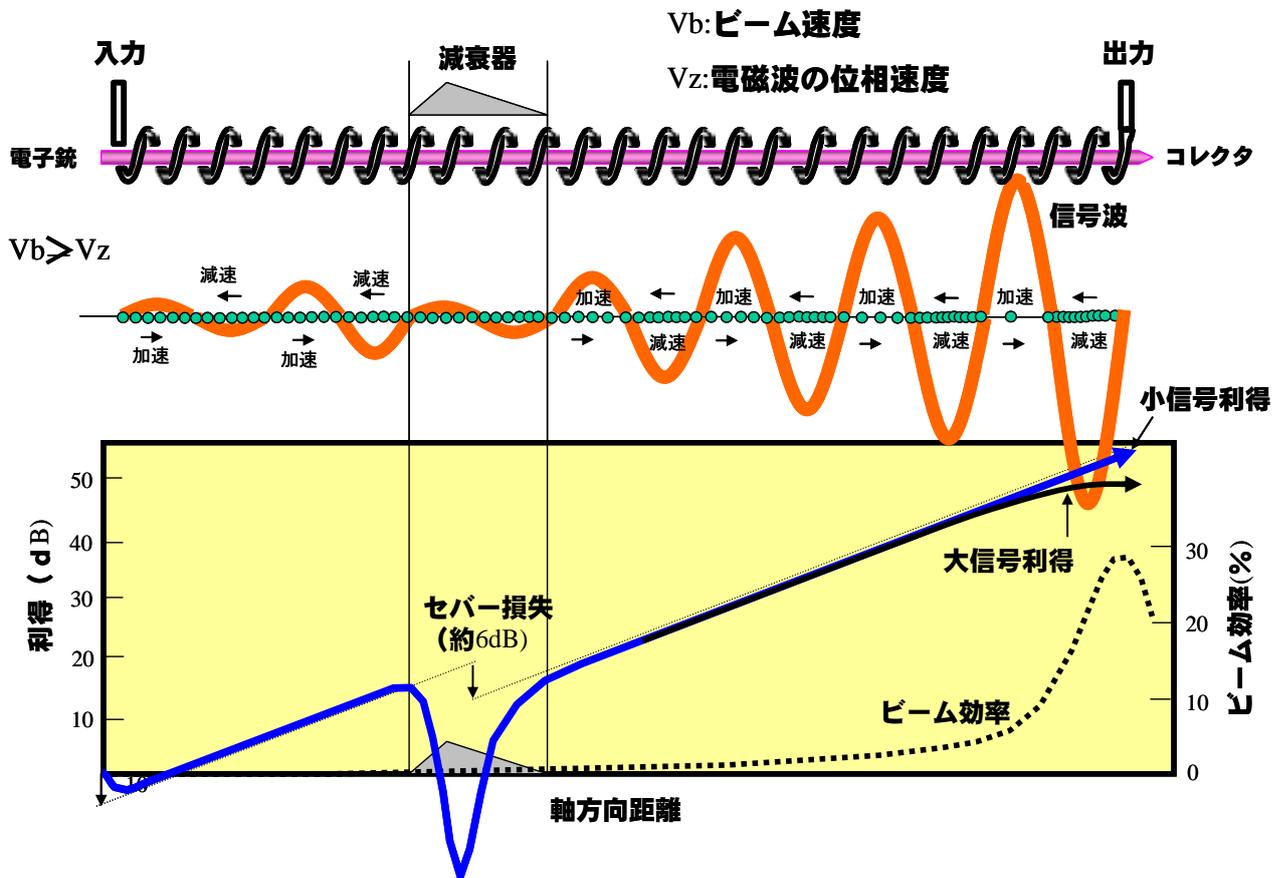
電子銃で形成された電子ビームはヘリックスの入りで速度変調を受ける。高周波信号によってヘリックス入り口に生じた電界が負のときには、ヘリックスに入ってきた電子はここで減速され、逆に正の電界のときに入った電子は加速される。こうして速度変調を受けた結果、電子は集群（密度変調）を生じる。電子ビームの速度と電磁波の位相速度が同じ場合、減速される電子と加速される電子は同程度であるので、電子ビームと高周波信号とのエネルギーの授受は行われず、従って増幅も行われない。そこで、電子ビームの速度を電磁波の位相速度より少し早く選ぶと、減速される電子の量が多くなり、その分の運動エネルギーが高周波信号にエネルギー変換される。こうして、ヘリックス上の高周波信号は強められ、強められた電磁波は電子の速度変調を促進して、高周波信号が更に強められることになる。電磁波と電子ビーム集群作用の模式図を図表付 1-5 に示す。

図表付 1-5 ヘリックス遅波回路における電磁波と電子ビーム集群作用



この作用が電子ビームと電磁波の進行に沿って次々連続的に行われて行くため、高周波信号のエネルギーはヘリックス出力側に近づくに連れて増大し、増幅作用が行われる事になる。TWT の増幅作用の模式図を図表付 2-6 に示す。

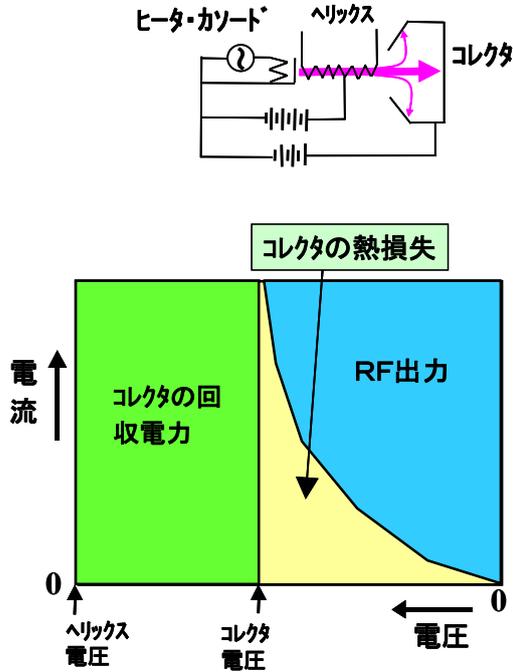
図表付 1-6 ヘリックス形 TWT の増幅作用



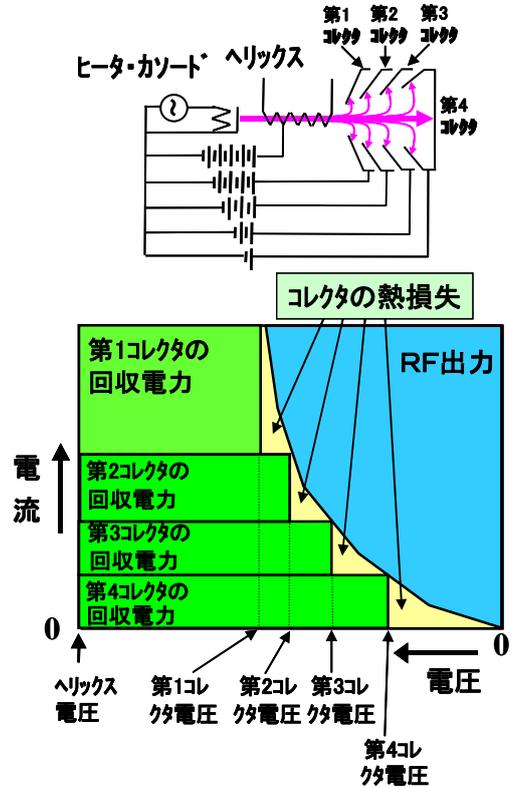
相互作用の結果として、通常電子ビームのエネルギーの約 10-30%程度が電磁波に変換されるが、相互作用を終了した時点で、電子ビームにはまだ 70-90%のエネルギーが残存している。この残された電子ビームのエネルギー（スペントビームのエネルギー）を、電子ビームの加速電圧に対して、順次低下させた電圧を印加した複数段のコレクタ電極を配置し、電子の速度に応じて電子を補足することによって、エネルギーを回収するのが多段電位低下コレクタである。一般に衛星搭載用の TWT では多段電位低下コレクタの採用によって Ku 帯 TWT で 70%以上の高い総合効率を実現している。多段コレクタの電力回収の模式図を図表付 1-7 に示す。

図表付 1-7 多段コレクタによる電力回収

1段コレクタ



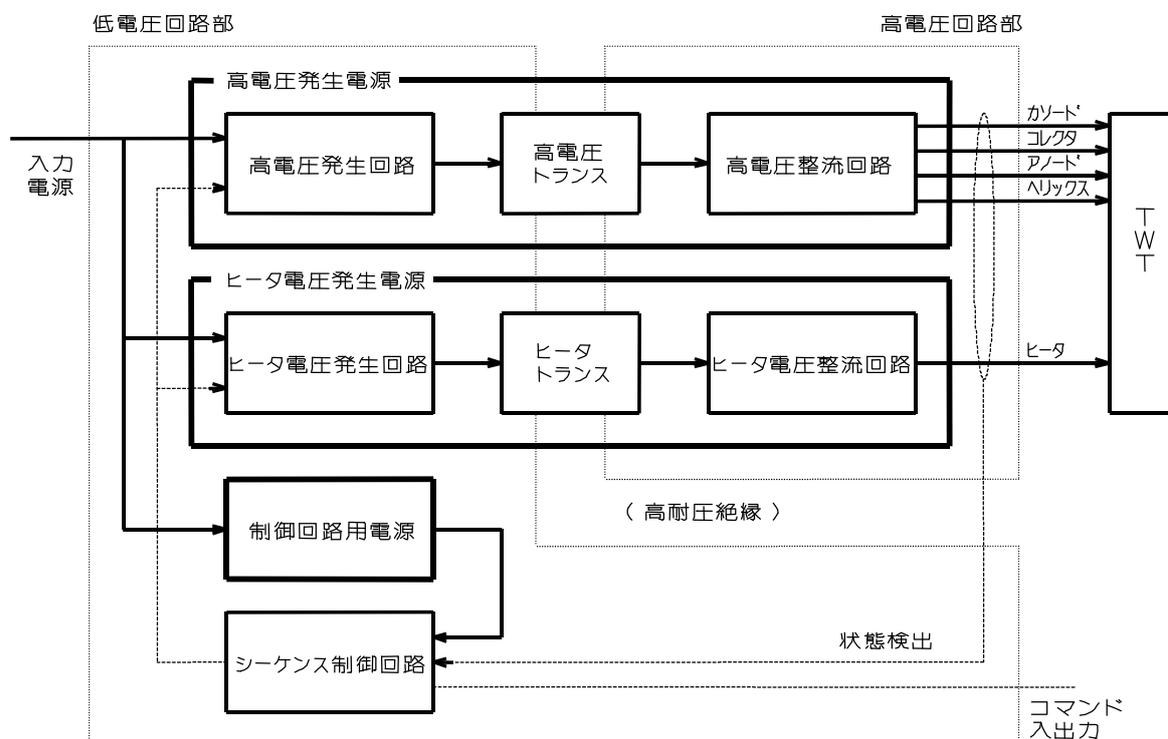
4段コレクタ



(3) TWT 用高圧電源の構成と動作原理

TWT は各電極に数千 V の直流電圧を印加して動作させるため、専用の高圧電源回路が必要である。高圧電源は、高電圧発生電源（コレクタ、ヘリックス、アノード電圧用、数百～数千 V）ヒータ電圧発生電源（ヒータ電圧、数 V）、シーケンス制御回路等から構成される。一般的な TWT 高圧電源の構成を図表付 1-8 に示す。

図表付 1-8 TWT 高圧電源回路の構成



高電圧発生電源はヒータ電極を除く、各電極に数 KV 以上の異なる高電圧を供給する電源である。入力電圧を交流変換し、TWT へ供給する直流高電圧を安定化制御する高電圧発生回路と、交流変換された電圧を数倍～十倍程度に昇圧出力し、低電圧回路部（1 次側）と高電圧回路部（2 次側）を電氣的に絶縁する高電圧トランスと、昇圧された交流電圧を直流に変換する高電圧整流回路で構成される。

高電圧発生回路は、電源の小型軽量化・高効率化を図るために数十 KHz～数百 KHz の高周波動作で制御するスイッチングレギュレータ方式を採用しており、入力側にプリレギュレータ回路、その後段に高電圧インバータ回路の二段回路構成になっている。プリレギュレータ回路の機能は、入力電圧や出力負荷の変動をパルス幅変調することにより電圧パルス幅比を変化させ、FET 等の能動素子の導通時間を制御（スイッチング動作）することである。これにより後段の高電圧インバータ回路に安定した直流電圧を供給することができる。後段の高電圧インバータ回路は、FET 等の能動素子をスイッチング動作させることで前段からの直流電圧を交流電圧に変換し高電圧トランスを駆動する。回路構成は電力容量（TWT の消費電力）によって様々であるが、プッシュプル回路を用いている。

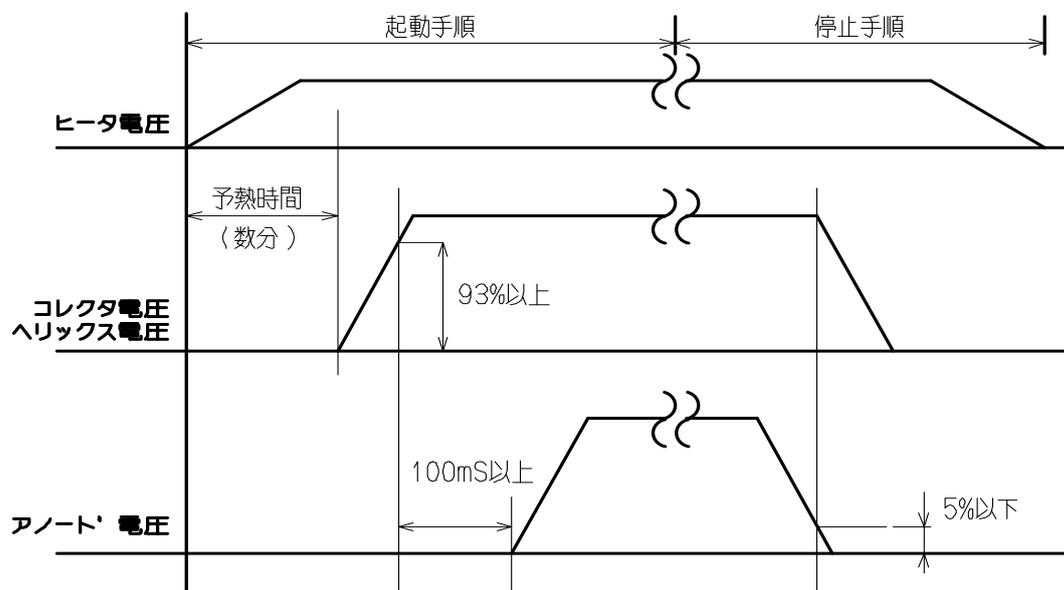
高電圧整流回路は、高電圧トランスによって昇圧された交流電圧を高速高耐圧ダイオードと高電圧コンデンサを使用し直流高電圧に変換するものである。所望の直流高電圧をつくりだすために、トランスからの交流電圧を多倍圧整流回路する構成になっている。一方、この整流された直流高電圧には、スイッチングレギュレータ方式を採

用しているためにスイッチングノイズやリップルが重畳して出力される。TWT の特性上、カソード-接地間電圧は低ノイズ（数百 kHz 以下の成分で 1Vp-p 以下）であることが要求されるため、高性能の出力フィルタが必要となる。この低ノイズ直流高電圧にするために大容量の高電圧コンデンサを用いて LC フィルタを構成している。

ヒータ電圧発生電源はヒータ電極の電圧・電流は一般的に数 V・数 A 程度であるため、高電圧・低電流を発生する高電圧発生電源とは別にヒータ発生電源によって供給し、構成が簡単なフォワードコンバータ等で構成されている。ヒータ電極は高電圧発生時においてカソード電位（最高電圧）となるため、高電圧トランスと同様にヒータトランスの 1 次 2 次間には高耐圧絶縁構造になっている。

シーケンス制御回路は、主に TWT の複雑な起動・停止手順を簡単な操作により実現するためのシーケンス制御と各出力の監視を行ない異常時に高電圧を遮断する保護機能の 2 つの働きをもっている。図表付 1-9 に TWT の起動・停止手順を示す。初めにヒータ電圧を起動させ、カソード温度が一定温度に上昇するまで加熱される。予熱完了までの間、内外のコマンド信号によって高電圧が誤って発生しないように、内蔵のタイマー回路が高電圧発生回路を監視することになる。予熱完了後、タイマー回路による監視が解除され、高電圧が発生可能となる。高電圧発生のコマンド信号が回路に送られ、高電圧発生回路が起動する。高電圧の発生から安定までの時間は数 mS～数十 mS 以内に制御される。

図表付 1-9 TWT 高圧電源起動シーケンス

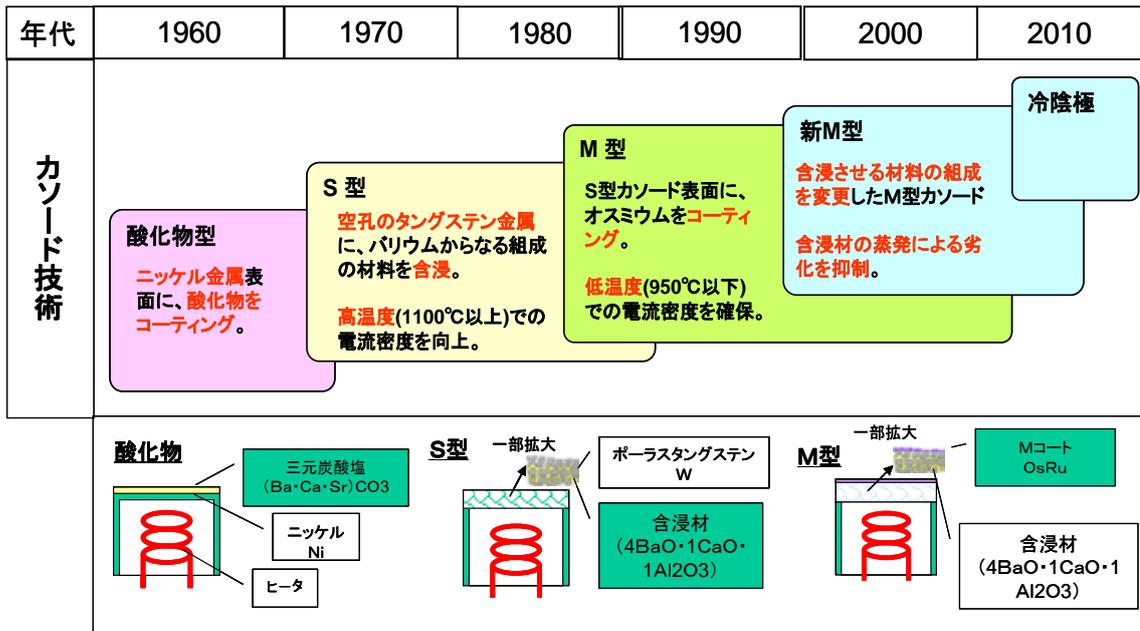


(4) TWT の寿命について

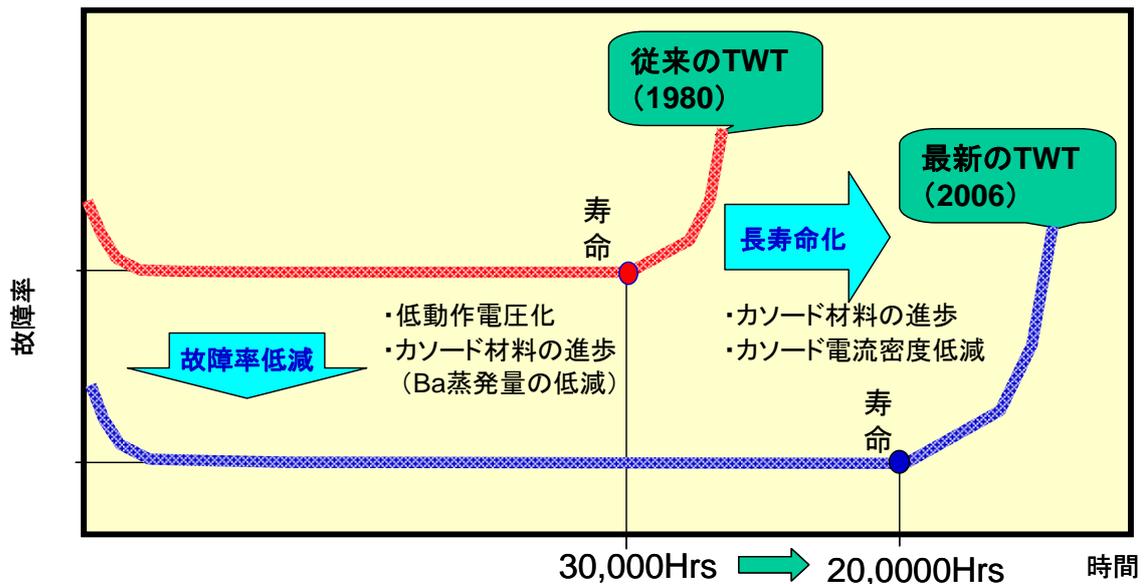
TWT 等のマイクロ波管は従来の真空管の概念から信頼性の不安や短寿命と考えられ、「固体化」なる言葉があるように半導体への置換が一つの技術目標となっていたが、昨今、特に小、中電力 TWT では多方面の技術開発から格段の高性能化が進んでいる。

例えば、電子を放出するカソードでは含浸材の改良により低温度、高電流密度動作が可能となり、20万時間を超える期待寿命を実現している。保守修理が不可能な通信衛星搭載中継器の電力増幅器でも固体化の動きがあったが、電力効率（＝太陽電池パドルの大きさ）、信頼性（故障率・寿命）、経済性（打ち上げ時の質量）のトレードオフの結果、現在でも TWTA が使用されており、固体化がすべての解決策ではないと考えられる。

図表付 1-10 カソード技術の進歩



図表付 1-11 カソード技術等の進歩による期待寿命の長時間化



付録 2

意向調査結果の分析、評価

40GHz 帯を使用した超高速無線ブロードバンド技術の活用について、九州管内の地方自治体及びケーブルテレビ事業者に対して意向調査を実施した。

1.1 意向調査実施方法

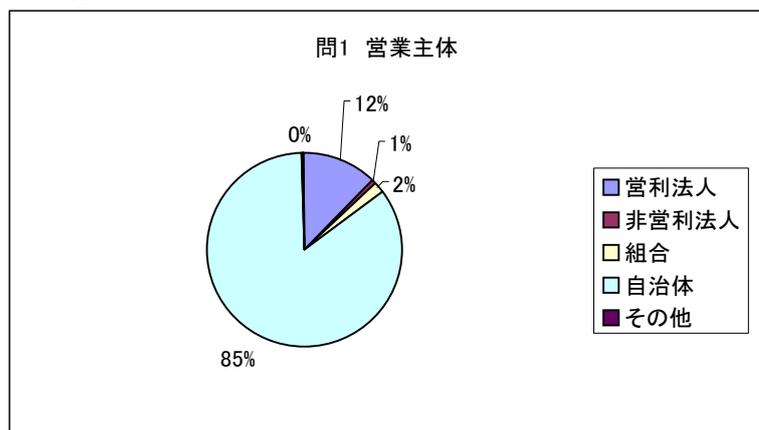
- (1) 調査期間 19年2月23日～3月9日
- (2) 調査対象 九州管内地方自治体 258市町村
九州管内ケーブルテレビ事業者等 51社
計 309件
- (3) 調査内容と調査票 付録調査票参照
- (4) 調査票の送付および回収 送付および回収とも郵送もしくはFAX

1.2 調査結果の集計と分析

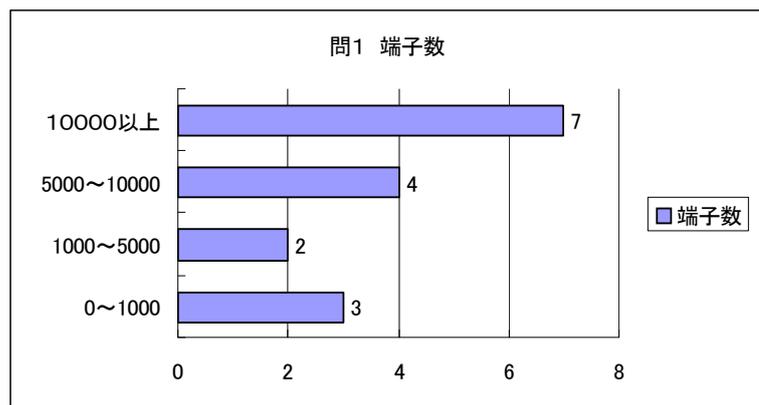
回収数は、自治体が258件（回収率100%）、ケーブルテレビ事業者38社、組合6、その他3の計47件（回収率92%）で、全体で305件（回収率99%）であった。

回答調査票の全数について集計と分析した結果をつぎに示す。

問1. 貴社（団体等）についてお尋ねします。該当するものに○を付けて下さい。
（複数回答可）

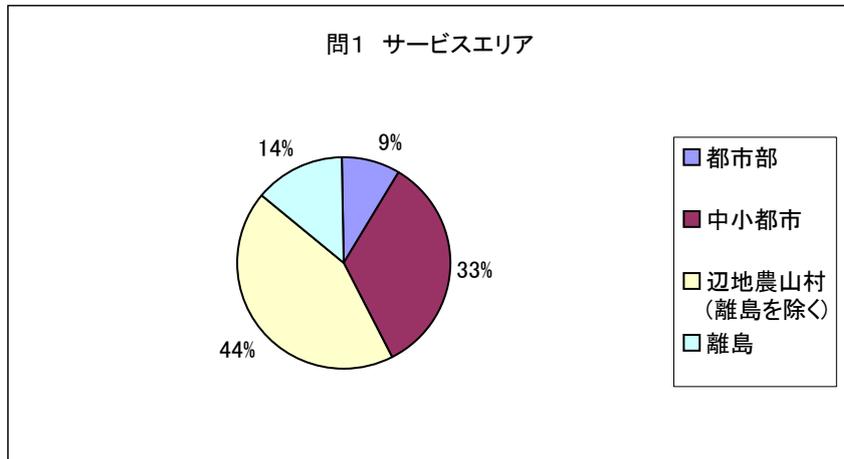


営利法人	38
非営利法人	2
組合	6
自治体	258
その他	1



自主放送の有無	有	57
	無	76

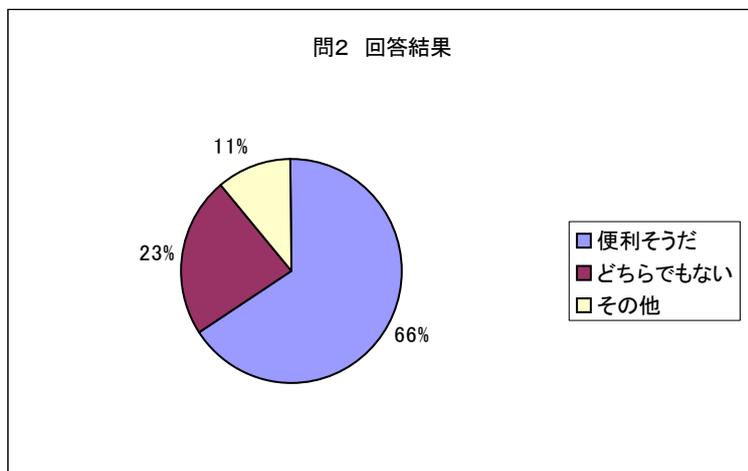
インターネットサービスの有無	有	75
	無	58



都市部	12
中小都市	45
辺地農山村 (離島を除く)	59
離島	19

問2. イメージ図にある無線によるブロードバンドについてのご意見を率直にお聞かせ下さい。

便利そうだとの意見が全体の66%を占めている。その主なコメントでは、離島、山間部などの過疎地域、散在集落など光ケーブルなどの有線の敷設が困難もしくは経費的に高価になる条件の地域での利活用、あるいは河川で区切られた施設の接続などに有効との意見が多い。その他として、維持管理費などのランニングコストや無線に関するセキュリティが大丈夫かとの意見がある。



回答	回答数
便利そうだ	193
どちらでもない	69
その他	33

問2 ① 便利そうだ

営業主体	コメント
営利	広域公衆無線 LAN(WiMAX) など
営利	ワイヤードインフラ整備がコスト的に難しい地域で使える。
営利	線がないので
営利	離島への中継伝送
営利	今後の設備改修費用が削減できそう。資源の無駄がなくなり環境にもよさそう。
営利	集合住宅において電柱を借りることができずサービスが提供できない地区などで利用できると思う。
営利	流合雑音を気にしなくて良い
営利	当社エリアの実状(地理的なこと)に合っている。以前から考えていました。
営利	ケーブルが物理的に引けない地域へ可能。
営利	大規模集合住宅への導入を検討
営利	幹線・引き込み困難な箇所への適用ができそう
営利	離島との伝送方法として活用したい(山間部)
営利	有線で不可能なエリアもカバーできる
営利	離島エリアにおいて 23GHz を使用しており、限界を感じているため
営利	これまでの幹線の敷設が出来なかった地域でも事業の展開が可能となる為
営利	河川・鉄道の横断で無線を使えるのは非常に助かる
営利	市街地から数 km 離れた集落への伝送
営利	離島の中の離島を抱えるため
非営利	1. 河川で区切られた施設の接続 2. 都市部では電線類地中化により新規加入が困難な場合があるが既加入の建物屋上を利用した送信点を作ることができれば加入が可能になる。
組合	有線では無理な所に伝送できる
組合	市街地から数 km 離れた集落への伝送
自治体	実際のイニシャルコストが不明だが経費を抑制できるのではないかな？
自治体	光ケーブル接続よりコストが安い
自治体	山間部への伝送が低コストでできそうである。
自治体	山間部への伝送
自治体	住宅が点在している所に有線の必要はない
自治体	散在する住宅への伝送により設備投資額が抑えられる
自治体	集落が散在しており伝送に対して保守管理面で考慮しているが、費用対効果等考慮した場合に費用面が気がかりである。
自治体	障害を容易に克服できそうである。
自治体	過疎地域を考えた場合、有線より無線の方が費用対効果大きい。
自治体	有線を張り巡らせるより景観がそこなわれないので。
自治体	地域格差の解消に役立つ

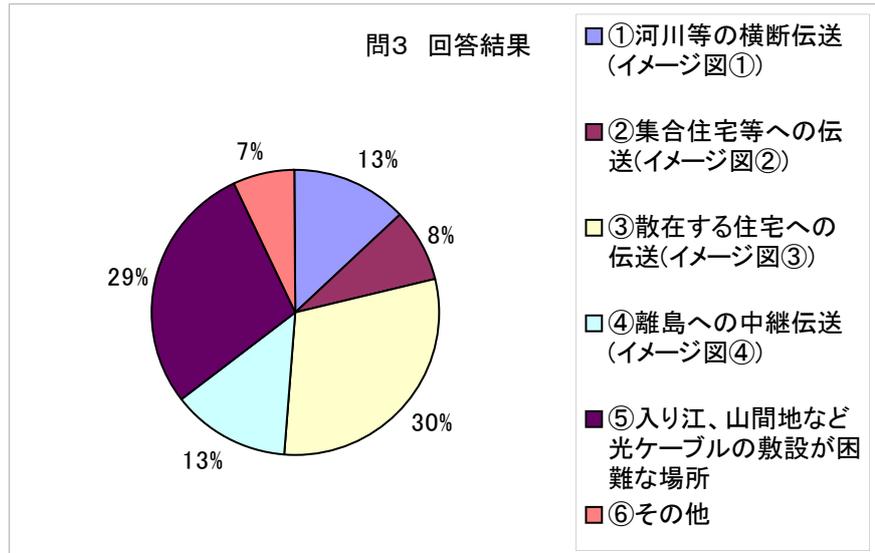
自治体	伝送経路の自由度が高い
自治体	費用対効果に期待がもてる
自治体	山間部に住宅が点在する地域が多いのでコスト的に有利と思う。
自治体	散在する住宅への伝送
自治体	山間部の高速ブロードバンド域の拡大策として有効
自治体	ADSL が利用出来ない「き線点」(遠距離の電話回線に一部光ファイバを利用しているため ADSL が利用出来ない回線)地区での活用が期待出来る
自治体	山の中復等に点在する家屋へ配信するのに活用できそう。
自治体	離島、散在集落の BB サービスに有効と思える。
自治体	山間地での設置が用にできそうである。
自治体	条件不利地域等での活用。
自治体	ブロードバンドが届いていない山間部が残っており有効だと考えられる。
自治体	イメージ図③の地域があり、整備費を安くできるかもしれない。
自治体	中継回線としての活用、有線で引けない所への活用
自治体	有線による設備費を抑えることができる。
自治体	本村が有線(回線設備)での整備が困難な山間地域であるため
自治体	無線を使用することにより整備が困難な地域でも受信可能
自治体	インフラ整備が容易にできる
自治体	ブロードバンドを全ての家庭で利用できそう
自治体	無線により広範囲で利用可能となること
自治体	山間部の住宅散在地域への伝送に有効だと思う。
自治体	線を敷設せずに伝送できる(河川の横断など)
自治体	町内の離島が本土から 4 km程度あるため
自治体	鹿児島島→沖永島部間の光ケーブルが使用出来ない。
自治体	有線と変わらないサービスが可能ならば無線の方が防災面ですぐれている
自治体	山間部や人口密度の低い地域など条件不利地域のサービスが低コストでできるのであれば一考
自治体	合併前で新規事業は無理
自治体	地域内に辺地がありブロードバンド化するのに有効である。
自治体	山間地ではブロードバンド・インフラの整備が進まない
自治体	NTT 局舎から遠い住宅に有効なのは
自治体	光等のケーブルを敷設する必要がない
自治体	建物が密集していないので経費的にみてよいのではないかと
自治体	NTT 局から 2 km以上はなれている地域がある
自治体	離島地域においては有用であると思われる
自治体	埋設工事よりは低コストでできそう
自治体	これにより、超高速インターネット等の利用可能区域が増えるのであれば便利であると思う

自治体	初期投資費用が「光」に比べれば安い
自治体	光ファイバ網整備より効率的に活用出来る可能性がある
自治体	有線の必要がない分、工事費、工期が少なくて済むと思われる。但し、メンテナンス、運営コストが非常に気になります。
自治体	有線による整備が困難なため
自治体	山間部等配線工事が困難なところでも利用しやすいと思う。
自治体	敷設の手間の省略により新規導入や規模拡大が容易そうであるから。
自治体	本地域には山間の深い地域が多くあるため有線よりも無線の方がコスト的に有利と思われる
自治体	離島や光ファイバ等の整備が困難な地域
営利	免許制や詳細な使用が整わないと便利ではあるが一概に言いきれない。
営利	上りサービス可否等、品質面の具体的内容を知りたい
組合	離島だが住宅密集地のエリアなのであまりメリットなし
自治体	ランニングコスト面で有利
自治体	便利そうだが構築費、ランニングコスト、セキュリティ等不安な分がある。
自治体	当施設において集合住宅等が少なく集落が密集していない、又、通信会社の光ファイバ網が整備されている。
自治体	便利そうだが台風常襲地域のため外部アンテナ設置は不向き。落雷にも弱いと思われる。
自治体	本町のCATVエリアは100%を達成しているため今後の導入予定はない。
自治体	セキュリティは大丈夫か。干渉されないか。
自治体	開発費、維持費で負担が大きくなりそう
自治体	固定電話機の変わりに光ファイバを敷設していただきたい。
自治体	無線設備の維持に費用がかかる。
自治体	無線に関してセキュリティ上の不安がある
自治体	整備するためには多額の予算が必要だと思われます。
自治体	外的な要因が気になる(雨、雪、台風、その他)
自治体	都市の関係施設は無線でネットワーク(イントラネット)も構築している
自治体	FTTHやCATV自体がない
自治体	市内全域光化済みで必要なし
自治体	市内全域光化済み
自治体	市内全域光化済みで必要なし
自治体	セキュリティが不足
自治体	光化予定
自治体	光化済み
自治体	光化済み

問3. 次の中に無線によるブロードバンドが便利（有効）と思われる場所がありますか。
（複数回答可）

散在する住宅への伝送が 30%、入り江、山間地など光ケーブルの敷設が困難な場所
が 29%、離島への中継伝送、河川等の横断伝送がともに 13%となっている。

その他、ケーブルテレビ伝送路でのバックアップ用や地中化地区への配信に有効で
あるとの意見がある。



回答	回答数
①河川等の横断伝送(イメージ図①)	62
②集合住宅等への伝送(イメージ図②)	40
③散在する住宅への伝送(イメージ図③)	141
④離島への中継伝送(イメージ図④)	64
⑤入り江、山間地など光ケーブルの敷設が困難な場所	136
⑥その他	33

問3 ⑥ その他	
営業主体	コメント
営利	バックアップ用、冗長化用
営利	電柱を借りることが出来ずサービスが提供できない住宅など
営利	地中化地区への配信
営利	当社は離島なので ISP をやろうとした場合、大手通信キャリアから上流回線を借りるしか方法がかいがこの代替として使用できないか?
営利	緊急通信等(災害情報提供)
営利	冗長化用のバックアップ回線
営利	JR 横断
組合	なし

自治体	役場、出先機関間の LAN として
自治体	H8 年開局の施設を FTTH へ改修予定だが離島間で光が無い為ブロードバンド化はいつになるか?
自治体	なし
自治体	光化するため不要
自治体	光化するため不要
自治体	全域光化済み
自治体	全域光化済み
自治体	全域光化済み
自治体	山川なし
自治体	全域光化済み
自治体	対象先なし
自治体	平地のみ
自治体	町内に山川がない
自治体	町内に山川がない
自治体	町内に山川がない
自治体	全域光化済み
自治体	光化済みのため不要
自治体	光化するため不要

問 4. 問 3 の①または④に関連して、貴社（団体等）の事情を教えてください。

（1） サービスエリアにおいて、河川又は道路横断等で迂回した箇所はありますか。

ケーブルテレビ事業者 38 社のうち 10 社が 1 箇所から 5 箇所以上迂回した例があると回答している。

問 4 （1）			
営業主體	箇所数	営業主體	箇所数
営利	5	営利	4～5
営利	多数	営利	5
営利	1	営利	数箇所
営利	2	営利	1
営利	5	営利	複数

（2） 迂回箇所のうち、一番コストの高い箇所についてお尋ねします。

よろしければ設備費及び電柱共架等年間経費を概数でお聞かせください。

ケーブルテレビ事業者 38 社のうち 8 社が回答しており、
設備費は 1,000～5,000 円を除くと、250 万～560 万円であり、年間経費は 5,000 円
を除くと、6.5 万～63 万円となっている。

問 4 (2)		
営業主体	年間経費	設備費
営利	5,000	480,000
営利	2,500,000	630,000
営利	5,600,000	5,000
営利	3,000,000	200,000
営利	5,000,000	65,000
営利	3,600,000	100,044
営利	5,000	300,000
営利	1,000	不明

問 5. (1) サービスエリアにおいて、河川又は道路横断等で迂回が必要と思われる箇所ま
たは離島への伝送はありますか。

ケーブルテレビ事業者 10 社、8 自治体で必要と思われる箇所があると回答してい
る。利用箇所数では、ケーブルテレビ事業者で 4～6 箇所の複数の箇所があると回答
している事業者がいる。

問 5 (1)			
営業主体	利用箇所数	営業主体	利用箇所数
営利	6(離島)	非営利	1
営利	1	自治体	1
営利	4	自治体	1
営利	2	自治体	1
営利	5	自治体	3
営利	2	自治体	1
営利	5	自治体	1
営利	不明	自治体	1
営利	5	自治体	1

(2) 問 5 の (1) で①「有り」とお答えになった方にお尋ねします。

迂回が必要な箇所のうち、今後のサービス意向についてお伺いします。

一部有線の利用が適当と思われ箇所があるものの、無線の利用が適当と思われる箇
所が圧倒的に多くなっている。

① 有線の利用が適当と思われる箇所はありますか。

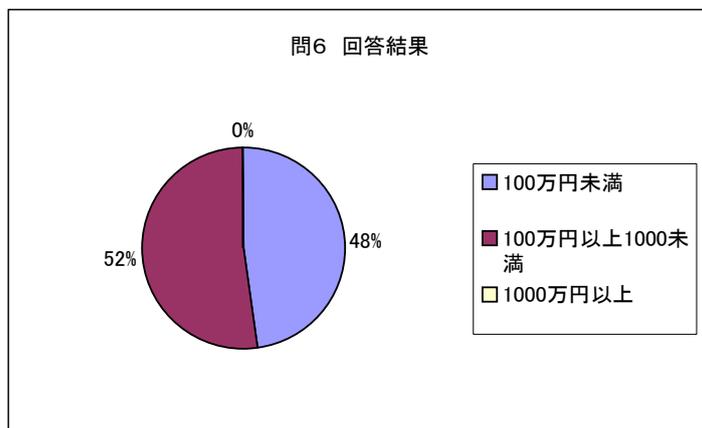
問5 (2)	
営業主體	①利用箇所数
営利	5
営利	2
営利	2
営利	2

② 無線の利用が適当と思われる箇所はありますか。

問5 (2)			
営業主體	②利用箇所数	営業主體	②利用箇所数
営利	0	自治体	1
営利	1	自治体	1
営利	3	自治体	3
営利	5	自治体	3
営利	5	自治体	1
営利	6	自治体	1
営利	1	自治体	1
非営利	1	自治体	2
自治体	1		

問6. イメージ図①のシステムでは、設備費がいくらくらいまでなら使いたい（支払っても良い）と思いますか。

100万円未満と100万円以上1000万円未満がほぼ半々となっている。



回答	件数
100万円未満	22
100万円以上1000万円未満	24
1000万円以上	0

問7. 貴社サービスエリアにおいて、無線伝送による集合住宅への個別配信が便利（有効）な箇所はありますか。【イメージ図②上参照】

ケーブルテレビ事業者 9 社で 1 箇所以上ありと回答しており、最大 20 箇所以上と回答した事業者もある。また 4 自治体で 1 箇所以上ありと回答しており、最大 7 箇所と回答した自治体もある。

問 7			
営業主體	①有効な箇所数	営業主體	①有効な箇所数
営利	数箇所	営利	1
営利	1	非営利	数箇所
営利	15	自治体	不明
営利	1	自治体	2
営利	6~7	自治体	調査が必要
営利	3	自治体	3
営利	1	自治体	4
営利	不明	自治体	不明
営利	20 以上	自治体	7

問8. 貴社サービスエリアにおいて、集合住宅等の共聴施設（ケーブル）への無線伝送が便利（有効）な箇所はありますか。【イメージ図②下参照】

ケーブルテレビ事業者 11 社で 1 箇所以上ありと回答しており、最大 20 箇所以上と回答した事業者もある。また 4 自治体で 1 箇所以上ありと回答しており、最大 4 箇所と回答した自治体もある。

問 8			
営業主體	①有効な箇所数	営業主體	①有効な箇所数
営利	3	営利	不明
営利	10	自治体	4
営利	10~20	自治体	不明
営利	20 以上	非営利	数箇所
営利	3	自治体	1
営利	1	自治体	不明
営利	複数	自治体	2
営利	10	自治体	3（国道、大和浜、大瀬）
営利	3		
営利	2	自治体	調査が必要

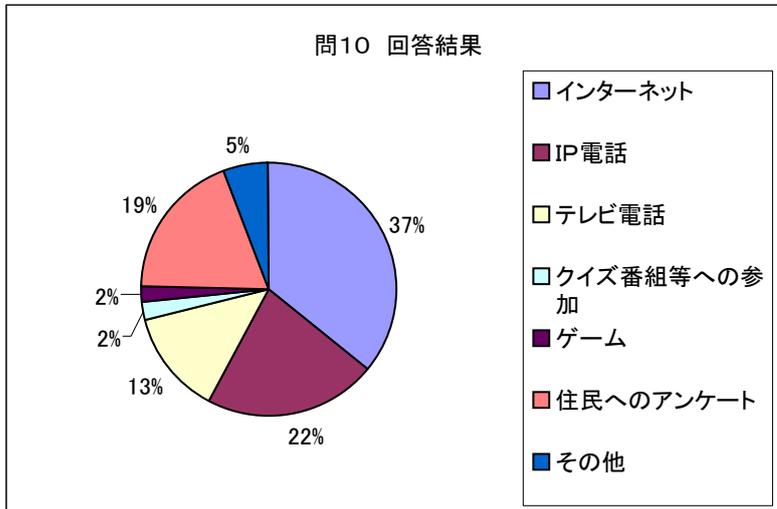
問9. 貴社サービスエリアにおいて、無線伝送による散在する住宅への個別配信が便利（有効）な箇所はありますか。【イメージ図③参照】

21 の自治体で散在する住宅への個別配信が便利と回答しており、ケーブルテレビ事業者の 15 社より多くなっている。

問9			
営業主體	①有効な箇所数	営業主體	①有効な箇所数
営利	1	自治体	5
営利	多数	自治体	調査が必要
営利	1	自治体	2
営利	5	自治体	3
営利	5~10	自治体	不明
営利	5	自治体	山間部全域
営利	5~10	自治体	数箇所
営利	6	自治体	3
営利	4	自治体	多数
営利	2	自治体	4
営利	約10	自治体	4
営利	複数	自治体	3
営利	2	自治体	10
営利	10	自治体	不明
営利	1	自治体	10
営利	不明	自治体	8
組合	1	自治体	3
自治体	1	自治体	約5
自治体	3	自治体	2
自治体	3	自治体	2（恩勝、奄美フォレストポリス）
自治体	5, 6		

問10. ケーブルテレビの双方向サービスをどのように活用したいですか。既に実施されている場合も含め活用したい（している）ものに○を付けてください。

インターネットが37%、IP電話が22%、住民へのアンケートが19%、テレビ電話が13%の順で活用意向が汲み取れる。



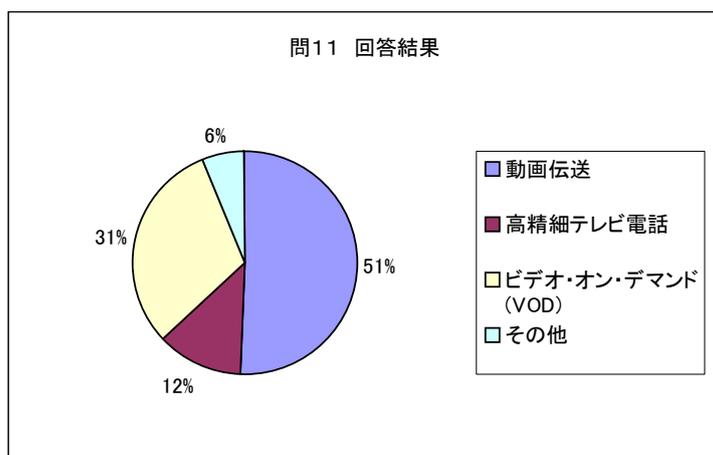
問10	回答数
インターネット	196
IP電話	118
テレビ電話	73
クイズ番組等への参加	13
ゲーム	11
住民へのアンケート	105
その他	30

問10 その他	
営業主体	コメント
営利	高齢化に向けた独居老人介護支援システム、防災情報への活用
営利	告知放送（緊急時等）
営利	既に実施
自治体	行政放送
自治体	市内インターネットへの活用
自治体	音声通知放送
自治体	住民討論会
自治体	平時・災害時含め安否確認、電子自治体の導入
自治体	特になし
自治体	わからない
自治体	安否確認
自治体	気象観測情報
自治体	住民への告知放送
自治体	高齢世帯への安否確認、災害時の情報収集、オンラインtownミーティング
自治体	独居老人等の安否確認
自治体	災害時における通信放送
自治体	在宅ケア支援、在宅による予防医療
自治体	確定申告、医療

自治体	動画サービス
自治体	地域イントラネット
自治体	無線 LAN
自治体	映像
自治体	高齢者見守り
自治体	町の掲示板、施設予約
自治体	学校などの地域イントラネット
自治体	電子申請
自治体	議会中継
自治体	電子申請
自治体	ライブカメラ

問 1 1. さらに超高速の双方向サービスが可能となったら何の用途を期待しますか。
活用したいものに○を付けて下さい。

動画伝送が 51%と半数を占め、ビデオオンデマンド (VOD) が 31%、高精細テレビ電話が 12%となっている



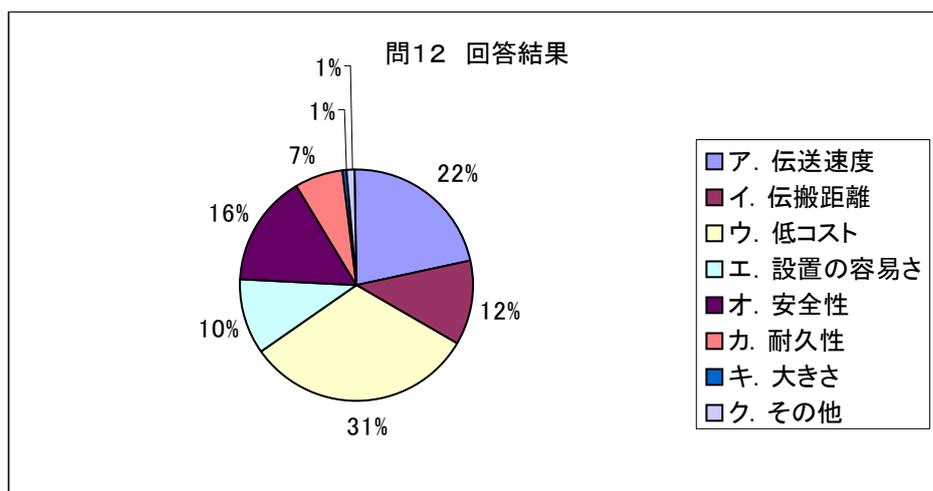
問11	
用途	回答数
動画伝送	140
高精細テレビ電話	34
ビデオ・オン・デマンド(VOD)	86
その他	17

問 1 1	
営業主体	その他
営利	インターネット上流(足まわり)
自治体	議会中継等
自治体	災害情報
自治体	行政からの情報提供
自治体	防災、安否情報の交換、遠隔地医療等への活用、行政情報伝達
自治体	遠隔医療診断等
自治体	わからない
自治体	思い浮かばない

自治体	遠隔医療・地域医院と中核病院の連携
自治体	ネット、IP電話、ネットトレード
自治体	動画サービス
自治体	市民への情報発信
自治体	学校間のテレビ会議
自治体	画像伝送
自治体	遠隔医療、独居老人見守り
自治体	ストリーミング

問12. 超高速無線ブロードバンド技術に期待するものを右の枠から優先順にお書き下さい。

回答全体での優先順は、低コスト（31%）、伝送速度（22%）、安全性（16%）、伝送距離（12%）、設置の容易さ（10%）、耐久性（7%）となっている。



問12	回答数	営業主體	問12 その他
ア. 伝送速度	166		コメント
イ. 伝搬距離	88	自治体	セキュリティ
ウ. 低コスト	239	自治体	公平性
エ. 設置の容易さ	79	自治体	現在で十分
オ. 安全性	123	自治体	現在で十分
カ. 耐久性	50		
キ. 大きさ	4		
ク. その他	9		

問13 その他、ご意見・要望がありましたらご自由に記入してください。

問13	
営業主體	その他、ご意見・ご要望
営利	無線技術を地域伝送に限らず県村→離島間、各離島間の情報通信システムとして活用していただきたい。
営利	現在、携帯事業者、ADSL 事業者へ WiMAX の事業免許が今年の夏おりのようですが、CATV 事業者も同時期に無線サービスを提供出来る様、準備検討をお願いします。同一エリアで複数事業者が実施する場合早い者勝ちとなる為。
営利	まずは離島や山間部でサービス提供と考えています。今後は有線サービスと無線サービスの融合
営利	現時点での 40GHz 無線システム仕様ドラフト、実証試験の結果で公開している資料など送付頂ければ幸いです。宜しくお願い致します。
営利	まず、一番に地域密着した CATV を利用してほしい。それで、出来ないところを無線で利用する。
自治体	先のことはわかりません。
自治体	18年度地域情報化推進交付金事業で市内山間部の CATV 事業を実施(630世帯)。当初、無線も検討したが、谷が曲がりくねっており、コスト、安全性を考慮し光ケーブルによる工法で実施した。
自治体	当町内では ADSL 利用可能ではあるが基地局より遠隔地、山間部、辺地等においては伝送速度が遅く利用不可能地域があるので光ファイバ網を配置してほしい。
自治体	FTTH、ケーブルテレビのサービスもなく ADSL のサービスも一部の地域のみとなっている状況。自治体も財政難で公設公営で維持していくには無理がある。民間業者と協力をしながら早期実現をお願いしたい。
自治体	光ファイバが 100%整備されており設問に該当しませんでした。
自治体	地上デジタル放送(双方向サービスデータ放送)の普及のためにも採算ベースにのらずに光ファイバ等の整備ができない中山間地においては、高速大容量の無線技術の向上、廉価版の普及が求められます。

自治体	コストパフォーマンスが重要と思います。中継システムの数が減らせれば良いのですが 40GHZ 帯だと完全な見通しの条件が付けられると思います。そうした好条件の中継ポイントが確保できればコストが下がるとは思います、そうではなくエリアの狭いポイントが多数のシステムではメリットが少ないと思います。
自治体	格差是非、地方の均等ある発展のために国策としての推進施策の充実を望みます。
自治体	本村では全て有線で敷設が可能だが全ての地区が山あいであり無線を利用したほうがコスト削減につながる。
自治体	ADSL が満足に使用できない所(中継局から 2~4 km未満の範囲で ADSL を利用できる場所)を優先して導入してほしい。
自治体	市負担の事業は想定していません。高速通信が届いていないエリアは通信事業者によるサービス提供(ADSL)を目標に取り組んでいます。
自治体	当町では CATV 事業をしていないためこのような回答ですがよろしいでしょうか?
自治体	鹿児島県と沖縄県の中心にある離島へのブロードバンド化の整備を早急にお願いします。
自治体	山間地のブロードバンド化に対する補助金を増やしてほしい
自治体	便利そうではあるがランニングコスト、盗聴などのセキュリティ関係が気になる
自治体	光化していないと市内に事業所が作れないとの意見あり
自治体	とにかく全戸で使用できるようにとの住民からの要望がある
自治体	現在無線 LAN でサービス中
自治体	福祉や防災に利用したい
自治体	教育、防災、福祉等に利用できればよい
自治体	地デジの再送信
自治体	ブロードバンドが全家庭で使えるように希望
自治体	パソコンの普及が先である
自治体	パソコンの普及が先である
自治体	議会中継をやりたい
自治体	本所と支署間の通信、本署一学校間の通信
自治体	ADSL をもう少し普及。移住者や島外からのお客様要望
自治体	ADSL をもう少し普及。移住者や島外からのお客様要望
自治体	提出したかも
自治体	パソコンの普及が先である
自治体	福祉関係に利用したい
自治体	有線で地域イントラを整備したい

超高速無線ブロードバンド技術の導入に関する意向調査

調査のご協力をお願い

総務省では平成18年8月に「次世代ブロードバンド戦略2010」を発表し、2010年度に向けたブロードバンド・ゼロ地域の解消等を目標として掲げております。

九州では、人口が少なく遠隔地に住宅が散在する離島や山間部等を多く抱えており、採算性の問題から光ファイバによる超高速ブロードバンド・インフラの整備が遅れている現状にあり、都市部との情報格差の解消が大きな課題となっています。

そこで、総務省九州総合通信局では、山間地など光ファイバの利用が困難な地域で導入が期待される超高速インターネットや大量の映像伝送等が可能な無線技術について実証試験を実施し、所要の技術特性を把握するとともにこの技術を活用したモデルシステム等を提案することを目的に「超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会」を開催しております。

本検討会では、光ファイバ並の超高速インターネットや大量の映像伝送等が可能な無線技術について、40GHz帯が適当として試験システムを使用した実証試験を含め調査検討をおこなっておりますが、ケーブルテレビネットワーク等における活用について関係の皆様方のご意見を伺い、モデルシステム（別紙イメージ図参照）の検討提案に役立てたいと考えております。

つきましては、九州管内の地方自治体及びケーブルテレビ事業者の皆様へ別紙の意向調査を実施することといたしました。

ご多忙の折り大変恐縮ではございますが、ご理解とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

平成19年2月

「超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会」

事務局 総務省九州総合通信局企画調整課

～ご記入にあたって～

- ・ ご回答については、特に指定がない場合は、それぞれの質問項目ごとに該当する番号に○印をお付けください。(○印を付けて該当箇所に具体的内容をご記入いただく質問もございますのでよろしくお願いいたします。)
- ・ CATV事業をされていない自治体等では回答できない設問もありますので、そのような設問につきましては回答を省略されて結構です(問4から問9)
- ・ ご記入いただいた調査票は、2月23日(金)までに別添返送用封筒により返送いただくかFAXあるいはメール等により下記事務局宛ご連絡いただきますようお願い申し上げます。
- ・ なお、今回の意向調査にあたっては、個別の自治体名、会社名は、報告・取りまとめにおいて公開いたしません。

【調査票】

問1 貴社（団体等）についてお尋ねします。該当するものに○を付けてください。（複数回答可）

- ・ 営業主は＝営利法人、非営利法人、組合、自治体、その他
- ・ 規模は＝端子数_____、放送チャンネル数_____、自主放送の有無＝有、無
- ・ インターネットサービスの有無＝有、無
- ・ 貴社（団体等）のサービスエリアは＝都市部、中小都市、辺地農山村（離島を除く）、離島

問2 イメージ図にある無線によるブロードバンドについてのご意見を率直にお聞かせ下さい。

- ① 便利そうだ（具体的に：_____）
- ② どちらでもない
- ③ その他（_____）

問3 次の中に無線によるブロードバンドが便利（有効）と思われる場所がありますか。（複数回答可）

- ① 河川等の横断伝送（イメージ図①）
- ② 集合住宅等への伝送（イメージ図②）
- ③ 散在する住宅への伝送（イメージ図③）
- ④ 離島への中継伝送（イメージ図④）
- ⑤ 入り江、山間地など光ケーブルの敷設が困難な場所
- ⑥ その他（具体的に：_____）

問4 問3の①または④に関連して、貴社（団体等）の事情を教えてください。

(1) サービスエリアにおいて、河川又は道路横断等で迂回した箇所はありますか。

- ① 有（_____箇所）
- ② 無 → 問5へ

(2) 迂回箇所のうち、一番コストの高い箇所についてお尋ねします。

よろしければ設備費及び電柱共架等年間経費を概数でお聞かせください。

迂回回線設備費及び電柱共架等年間経費

設備費 約 _____ 円

年間経費（ランニングコスト） 約 _____ 円

問5 (1) サービスエリアにおいて、河川又は道路横断等で迂回が必要と思われる箇所または離島への伝送はありますか。

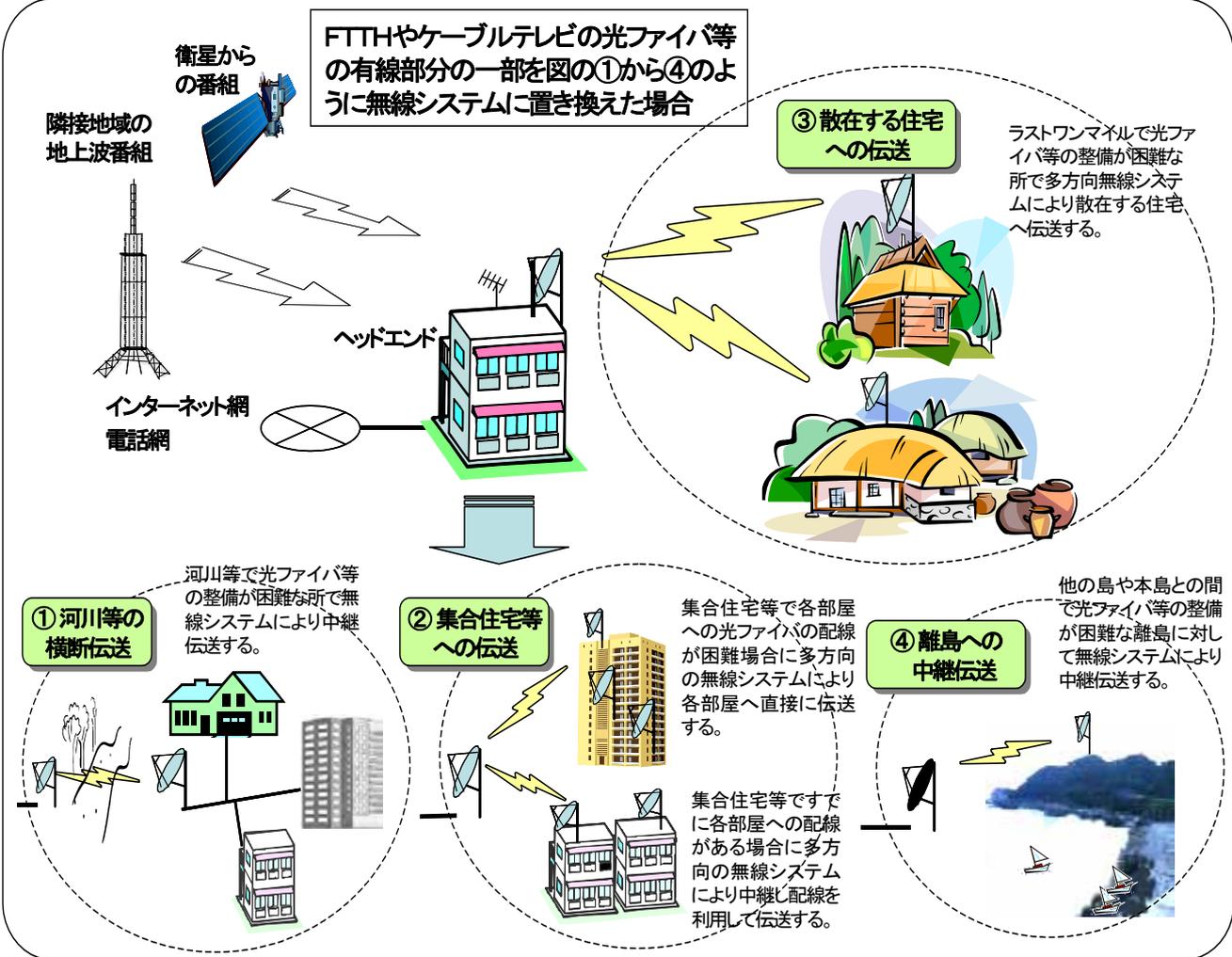
- ① 有（_____箇所）
- ② 無 → 問4、問5とも無の場合は問7へ

(2) 問5の(1)で①「有り」とお答えになった方にお尋ねします。

迂回が必要な箇所のうち、今後のサービスの意向についてお伺いします。

- ① 有線の利用が適当と思われる箇所はありますか。あれば利用箇所数 _____ 箇所)
- ② 無線の利用が適当と思われる箇所はありますか。あれば利用箇所数 _____ 箇所)

CATV等への利用イメージ例



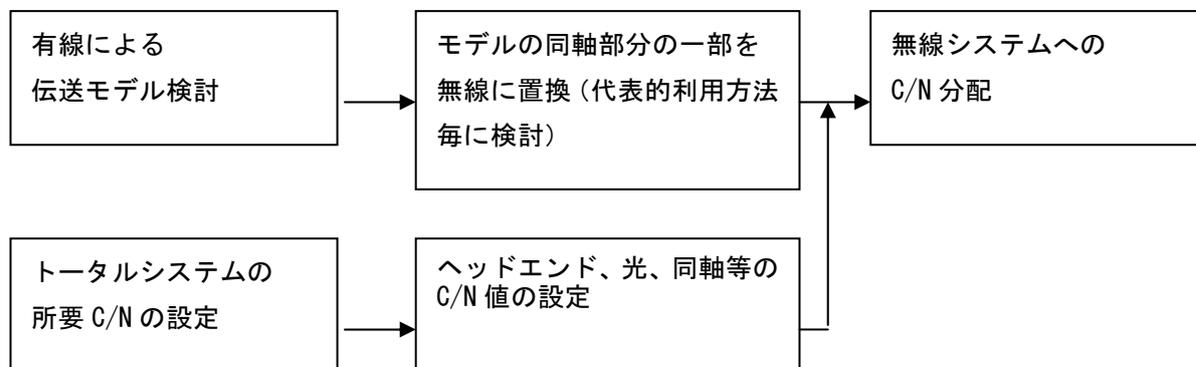
付録 3

無線システムをCATVに接続する場合のC/N配分例

(1) 検討事項

- ・ モデルシステムの構成
- ・ トータルシステムの所要C/N
- ・ 無線分配システムの所要C/N
- ・ 最悪時（回線断）の発生確率

(2) C/N分配の検討手順



(3) C/N分配の検討

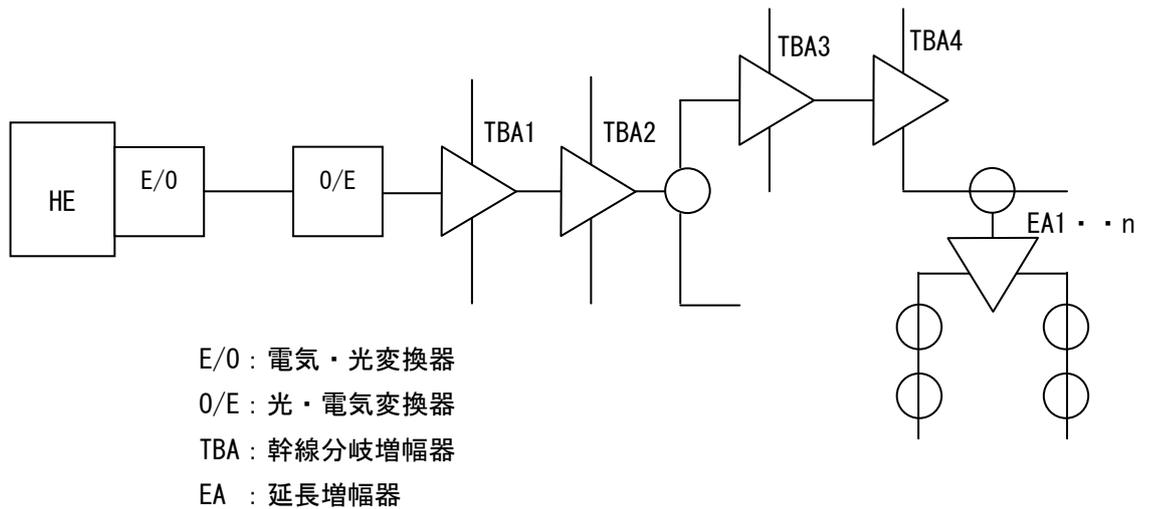
① 検討の前提条件

- ア モデルシステムはHFC（光・同軸ハイブリッドシステム）で検討する。
- イ 無線による補完は同軸部分について検討する
- ウ 無線による伝送は下記のとおりとする。
- ・ 河川・運河横断（P-P）
 - ・ 山岳部、行政上飛び地への伝送（P-P）
 - ・ 国道・鉄道横断（P-P）
 - ・ 海を横断（島への伝送）（P-P）
 - ・ 住宅点在地での分配（P-MP）
 - ・ 集合住宅への分配（P-MP）
 - ・ 受信点からヘッドエンドへの伝送（P-P）
- エ 無線区間の従属接続はいずれの利用方法でも検討対象外とする。
- オ 無線システム（送信装置）の入力レベルは前段の同軸中継器との間隔で変わる。従って入力レベルが低い場合、送信装置入力段でのC/Nが無視できなくなる（例えば同軸中継器1段相当のC/Nを考慮する）。ただし、これは地理的要因で決まるため、実施設計の段階で考慮することとし、ここでは無線システムのみ性能を検討する。

② 有線系伝送路モデル

HFC システムの C/N 分配は実運用されている平均的な中継段数を有する次のシステムをモデルとする。

住宅密集地域（タップオフ間隔約 30m）では幹線 2 段、郊外地域（タップオフ間隔約 70m）では幹線 2 段程度でカバーできるため、モデルシステムは幹線系 4 段、EA 系は 1 段とする。



③ トータルシステム（有線・無線を含む）と有線機器の C/N 設定

ア トータルシステムの所要 C/N

トータルシステムの所要 C/N は有線テレビジョン放送法施行規則の規定から 42dB（受信コンバータ有）と設定するのが妥当と考える。

通常、無線システムの C/N は標準時（晴天で降雨による損失が無い場合）と最悪時（降雨により設定以上の損失が生じた場合、回線断となる発生時間率）の両者に対して設定する。

イ 有線機器単体の C/N 設定

各機器の C/N は、製品の仕様等から次のように設定した。

ヘッドエンド	光伝送路	TA(Tr)系	TA(Br)系	EA
55	51	57	55	60

これにより、有線系伝送路モデルの総合 C/N は次の通りとなる。
HFC モデルでは、47.6dB（55+51+57+55+60dB の総和）

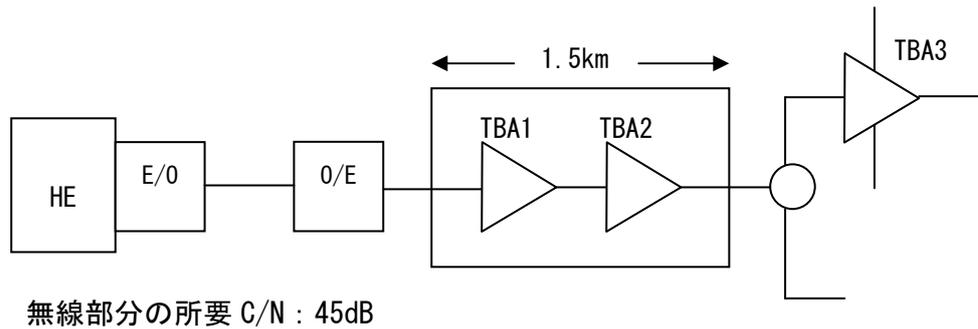
④ 無線分配システムの C/N 分配

前述した HFC の有線系伝送路モデルの同軸部分を無線システムに置換することにより

無線システムへの C/N 配分値を求める。配分に当たっては、置き換えた部分に相当した C/N および前述の総合 C/N (47.6dB) と所要 C/N (42dB) の差分 43.4dB を無線システムに割り当てることとなるが、以下の検討では、所要 C/N (42dB) を無線部分とケーブル部分に 50% ずつ等配分し、無線部分の所要 C/N を 45dB とした。

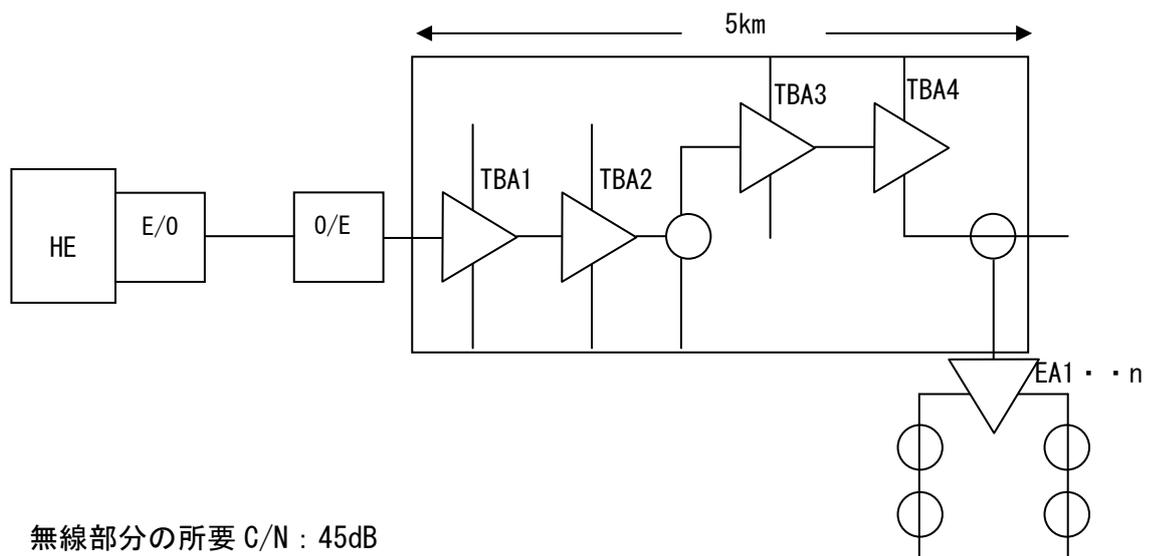
ア 河川・運河を横断 (P-P)

- ・ 河川・運河を横断する場合は、中距離の P-P で基本的に幹線系に入る。
- ・ 最大 1.5km 程度を考慮し、C/N を配分する。



イ 山間部・行政上飛び地への伝送 (P-P)

- ・ 山間部・行政上飛び地への伝送は、同軸伝送路の延長増幅器までを適用範囲と考える。
- ・ 最大 5km 程度を考慮し、C/N を配分する。



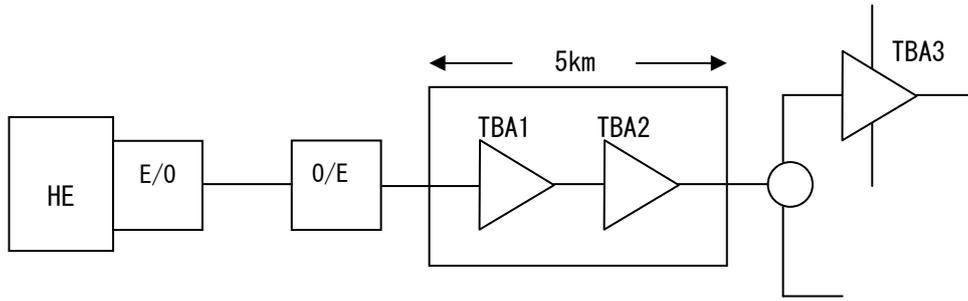
ウ 国道・鉄道横断 (P-P)

- ・ 河川・運河横断と同様に P-P で幹線系に入れる

- ・ 最大距離を 1km 程度で考えると河川・運河と同等の C/N の分配となる。

エ 海を横断（島への伝送）（P-P）

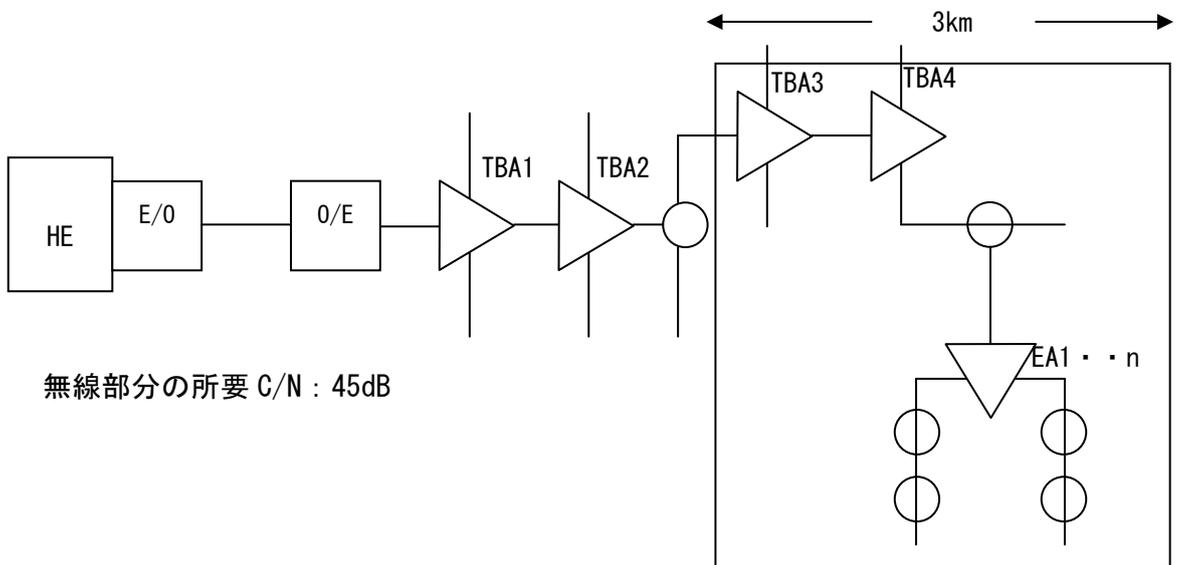
- ・ 陸と離島を伝送する P-P と、いくつかの島を伝って伝送（マルチホップ）の 2 つの用途が考えられる。
- ・ 陸と離島を伝送する P-P は、最大 5km 程度を考慮し C/N の分配をする。
- ・ マルチホップ伝送の P-P は、最大 2km を 3 段で C/N の分配をする。
- ・ 両システムとも幹線系に入れる。



無線部分の所要 C/N : 45dB

オ 住宅点在地での分配（P-MP）

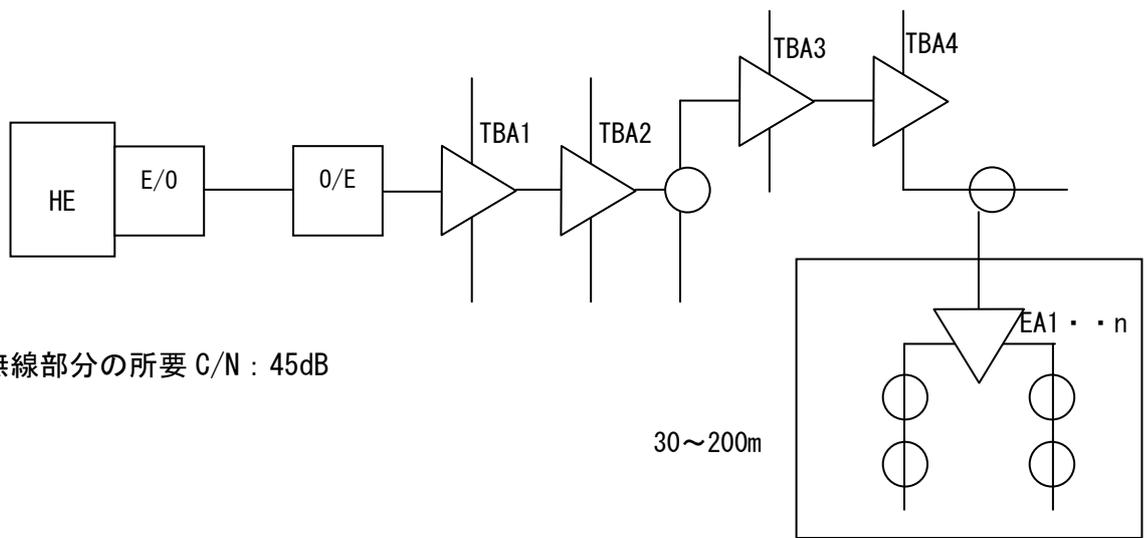
- ・ 住宅点在地での分配は、角度 30 度、最大 3km 程度を伝送する。



無線部分の所要 C/N : 45dB

カ 集合住宅への分配（P-MP）

- ・ 同軸部 EA 相当を考える。

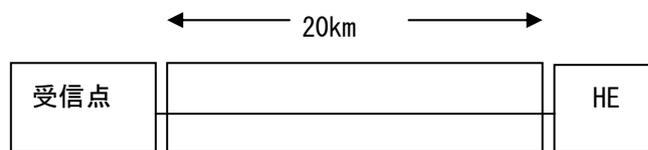


無線部分の所要 C/N : 45dB

30~200m

キ 受信点から HE への伝送 (P-P)

- ・ 受信点と HE を伝送する P-P と、いくつかの中継点を伝って伝送 (マルチホップ) の 2 つの用途が考えられる。
- ・ 受信点と HE を伝送する P-P は、最大 20km 程度を考慮し C/N の分配をする。
- ・ マルチホップ伝送の P-P は、最大数 km を数段で C/N の分配をする。
- ・ 両システムともアナログ信号 10 波、デジタル信号 10 波で考える。



無線部分の所要 C/N : 45dB

(4) 最悪時の発生時間率

既に実用化されている 23GHz 固定局では最悪時発生時間率として、 5×10^{-4} /年以下と規定されている。この値はケーブルテレビシステムの稼働の点で問題無いと考えられることと、無線の特性上 C/N 劣化の時間をある程度許容せざるを得ないことから本システムにおいてもこの値を採用する。

(5) 標準時の所要 C/N

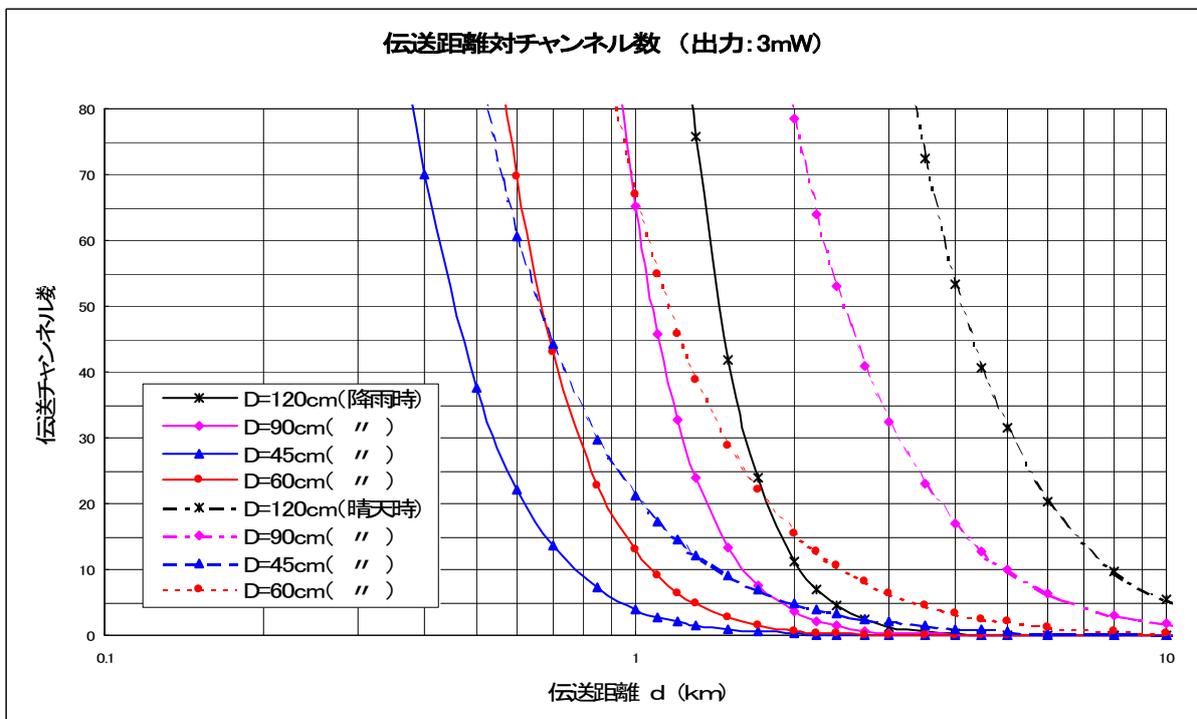
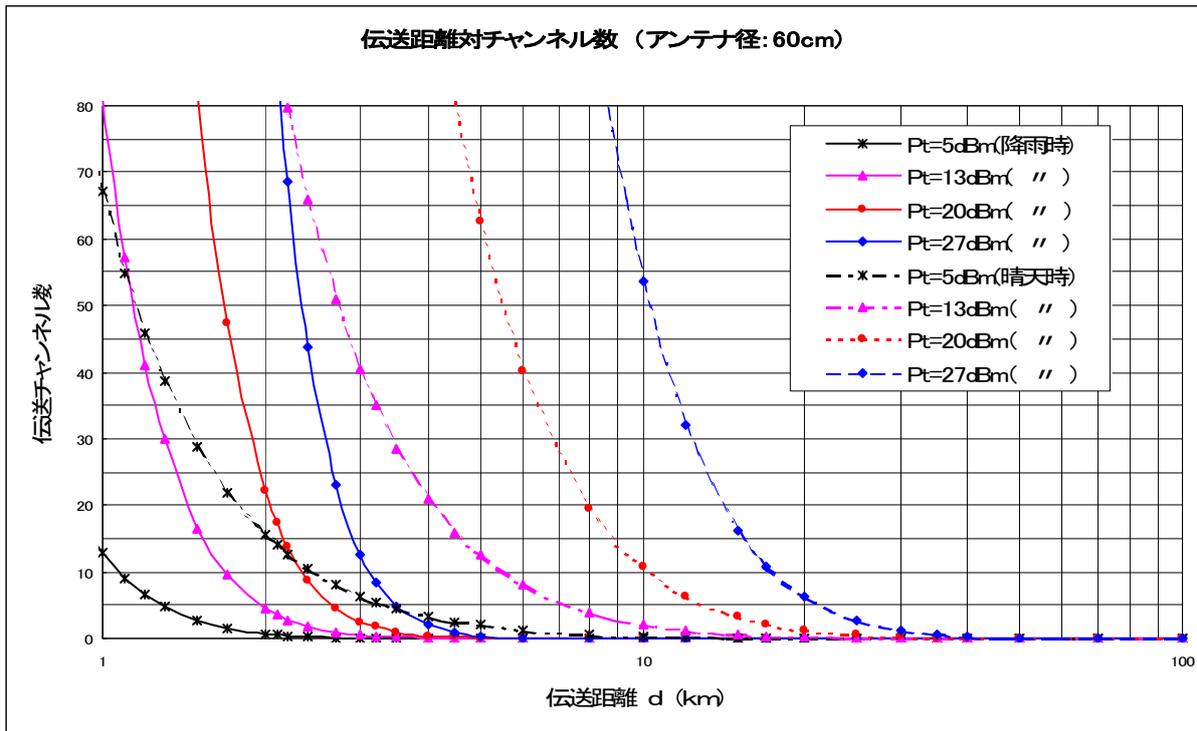
標準時（晴天時）の所要 C/N はこれまで検討結果から次のように表される。

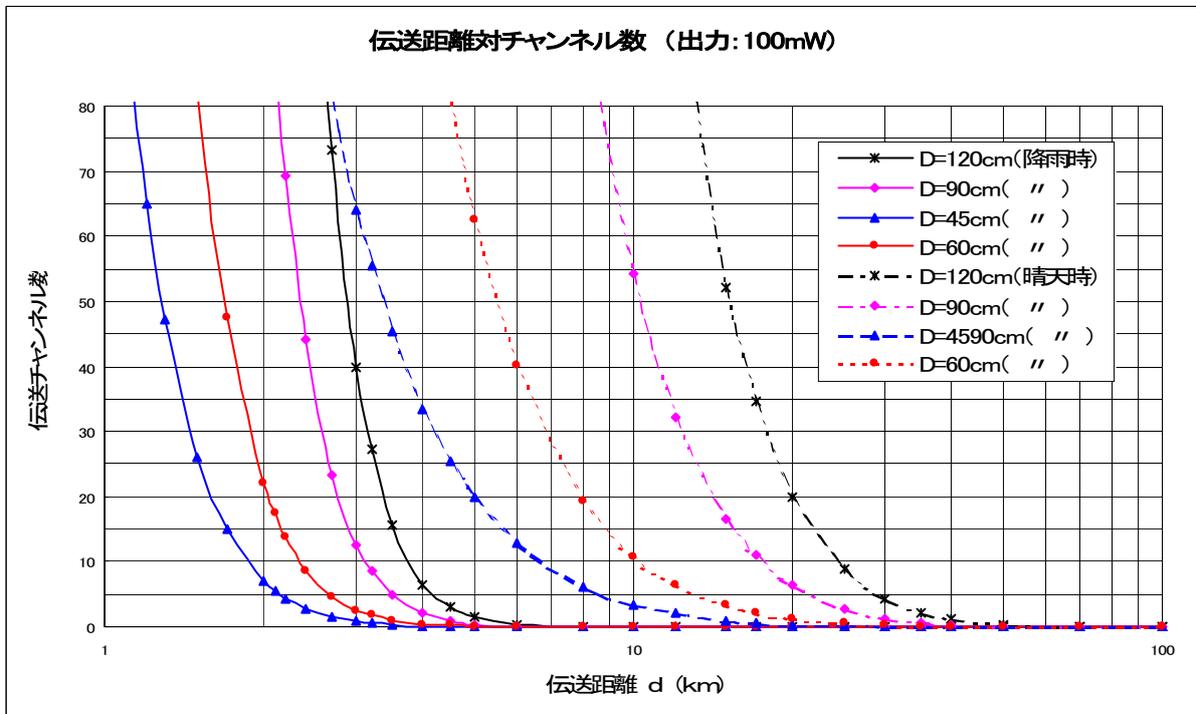
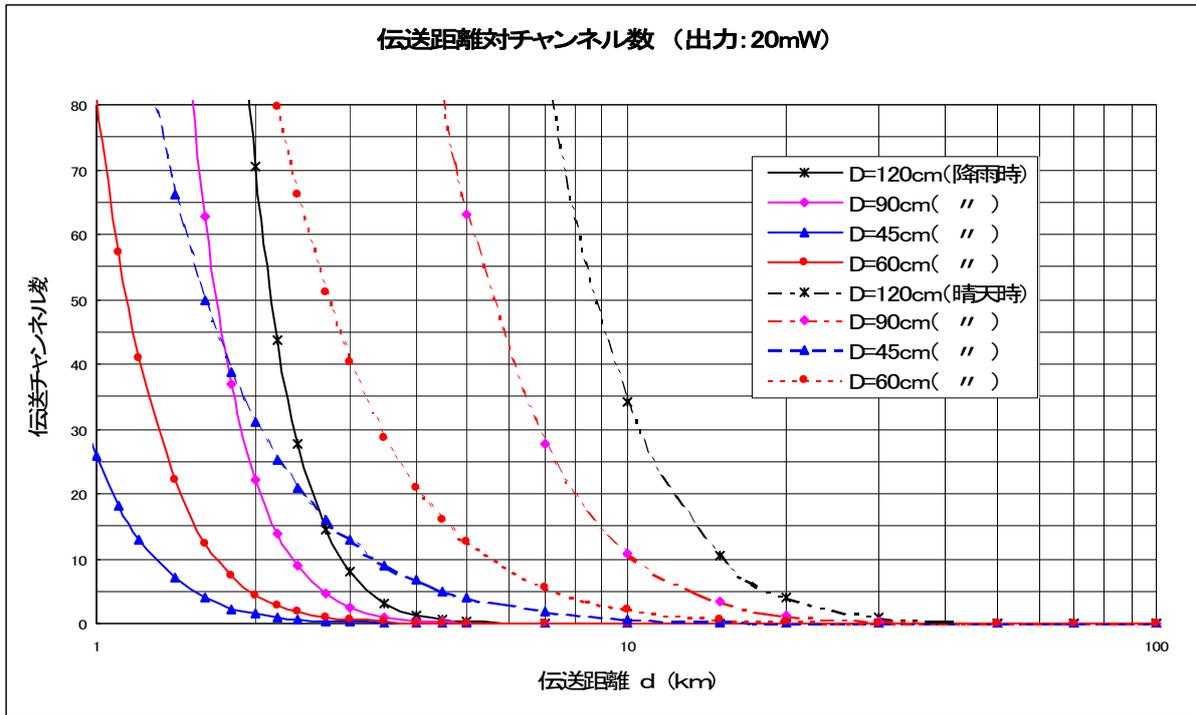
$$\text{標準 C/N} = \text{最悪時 C/N} + R_a \cdot d \quad (\text{dB})$$

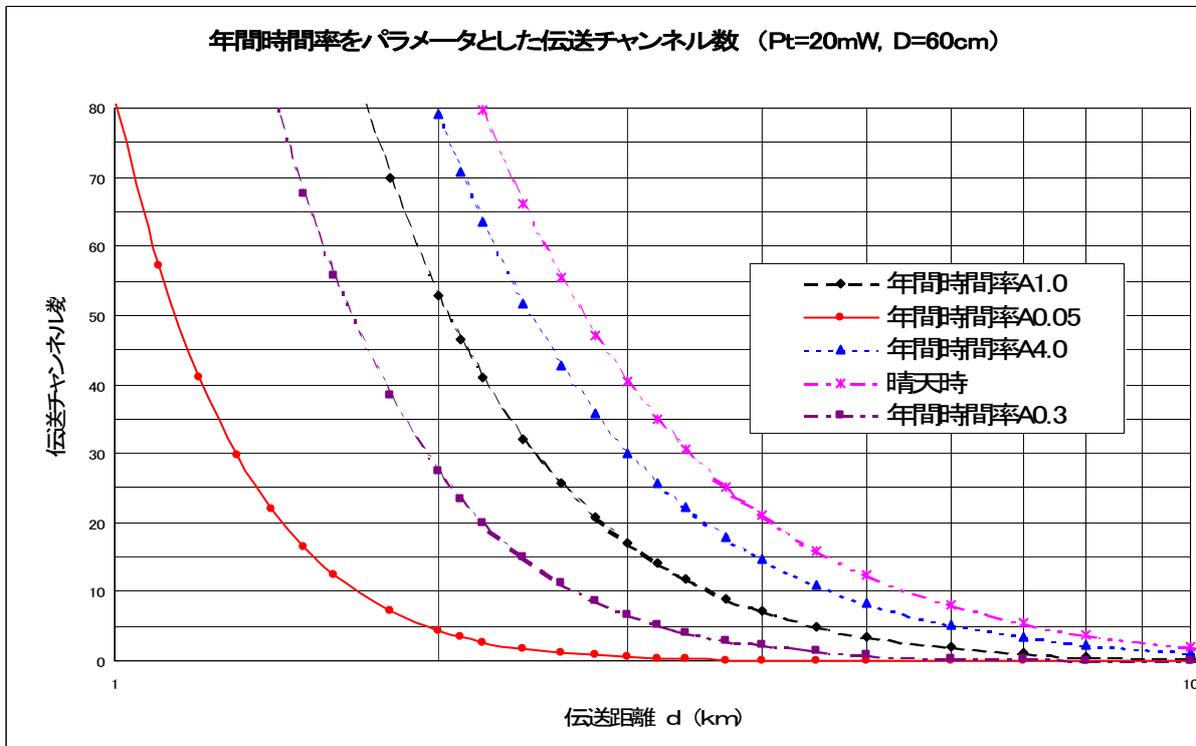
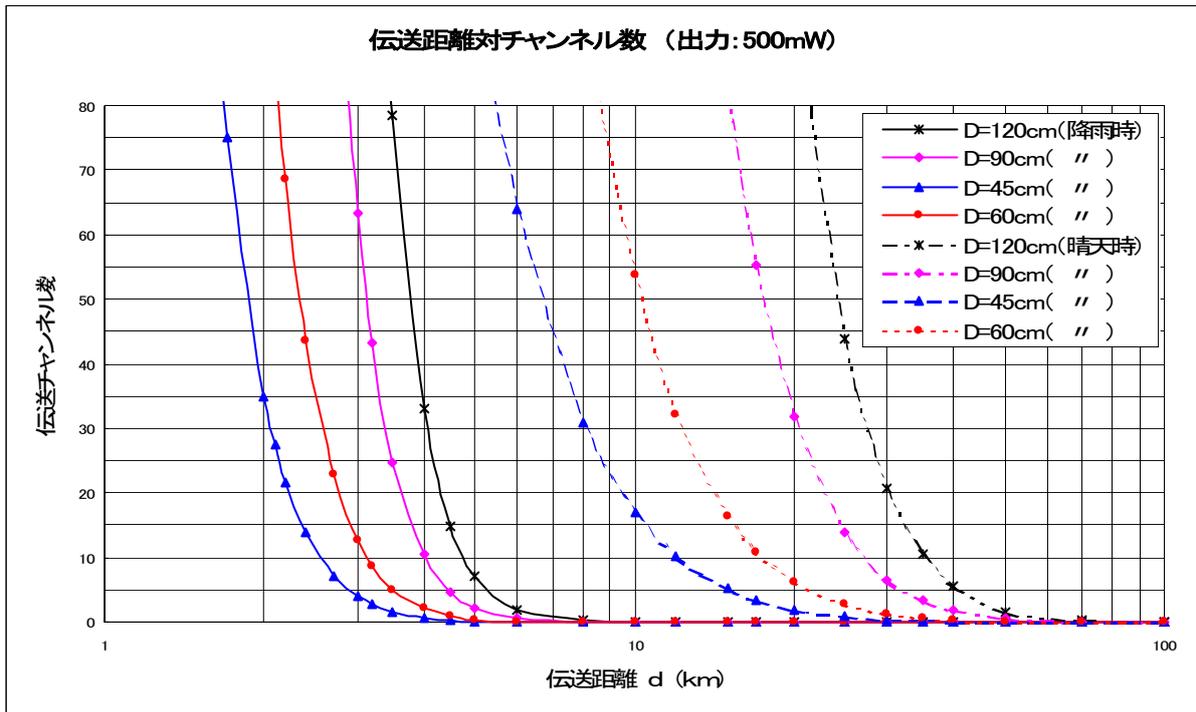
ただし、 R_a : 発生時時間率が 5×10^{-4} /年に相当する降雨減衰量 (dB/km)

d : 伝送距離 (km)

図表付 1-1 40GHz 帯ケーブルテレビ伝送における伝送距離対伝送可能チャンネル数







所要降雨マージンの算出

電波法関連審査基準

「総務省訓令第67号（平成13年1月6日）」

10GHzを超える場合は、以下のとおりとする。

降雨減衰量の分布のp%値 Z_r （年間回線不稼働率p%に対応した所要降雨マージン）は次式により求めるものとする。

また、既知の降雨マージン Z_r に対応した年間回線不稼働率については、同式の逆関数により算出するものとする。

$$Z_r = (\gamma \cdot R_{0.0075\%}) \cdot d \cdot T_p \cdot K_p \cdot C_p \quad (\text{dB})$$

ここで、

$R_{0.0075\%}$: 各地点における1分間雨量累積分布の0.0075%値 (mm/min)

γ, n : 降雨減衰係数 ($\gamma \cdot R_{0.0075\%}$) を求めるパラメータ

$$\gamma = -170.3971 + 584.2627 t - 742.788 t^2 + 412.6263 t^3 - 82.0161 t^4$$

$$n = 12.47145 - 31.28249 t + 32.49227 t^2 - 14.97753 t^3 + 2.542102 t^4$$

$$t = \log f$$

f : 中心周波数 (GHz)

d : 伝搬路の実距離 (km)

T_p : ガンマ分布のp%値を0.0075%値で正規化した値

$$T_p = 7.102406 \times 10^{-3} - 3.8465364 \times 10^{-1} s + 4.5883133 \times 10^{-2} s^2 + 3.2882329 \times 10^{-3} s^3$$

$$s = \log p \quad (0.00001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

p : 当該区間の年間回線不稼働率 (%)

K_p : 瞬間的にみた雨量が伝搬路上で一様でないための補正係数

$$K_p = \exp(-a \cdot d^b) \quad (0\text{km} \leq d \leq 30\text{km}, 0.001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

$$a = 3.54789 \times 10^{-2} \times 10^{0.290409/\log p} \quad (0\text{km} \leq d \leq 15\text{km})$$

$$= 4.92856 \times 10^{-2} \times 10^{0.315409/\log p} \quad (15\text{km} \leq d \leq 30\text{km})$$

$$b = 0.93974 - 3.1846 \times 10^{-2} / \log p \quad (0\text{km} \leq d \leq 15\text{km})$$

$$= 0.81364 - 6.2562 \times 10^{-2} / \log p \quad (15\text{km} \leq d \leq 30\text{km})$$

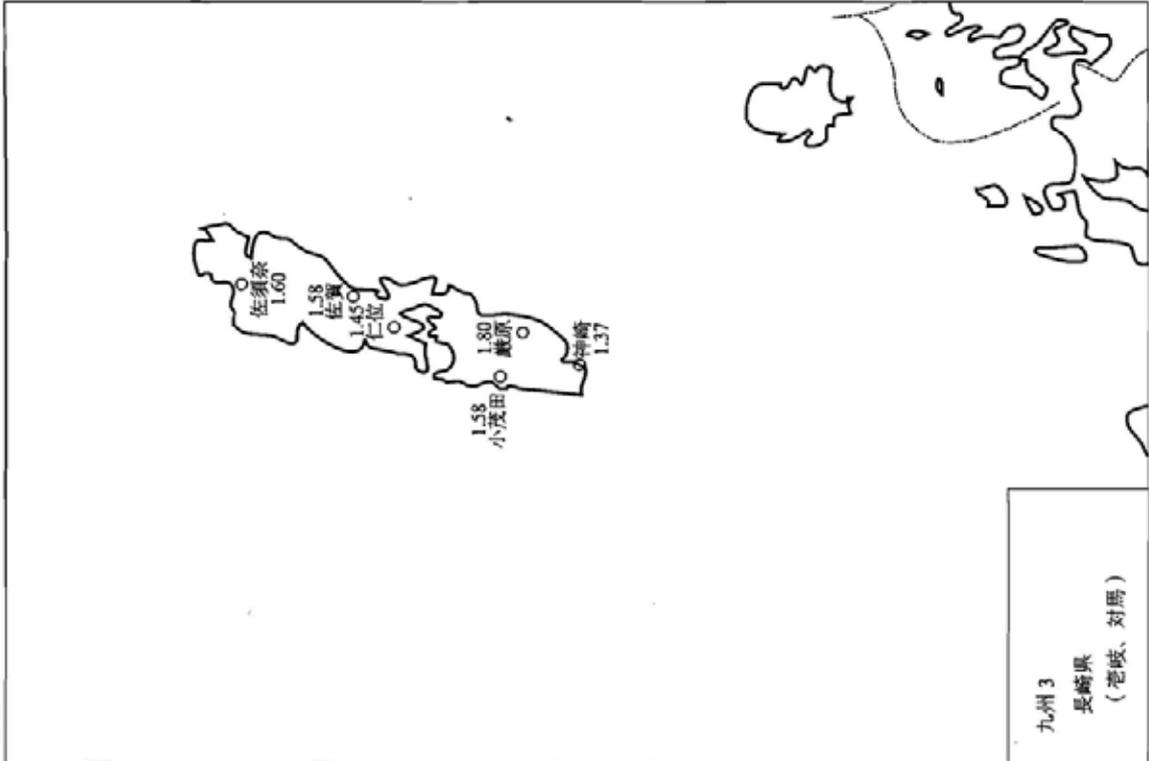
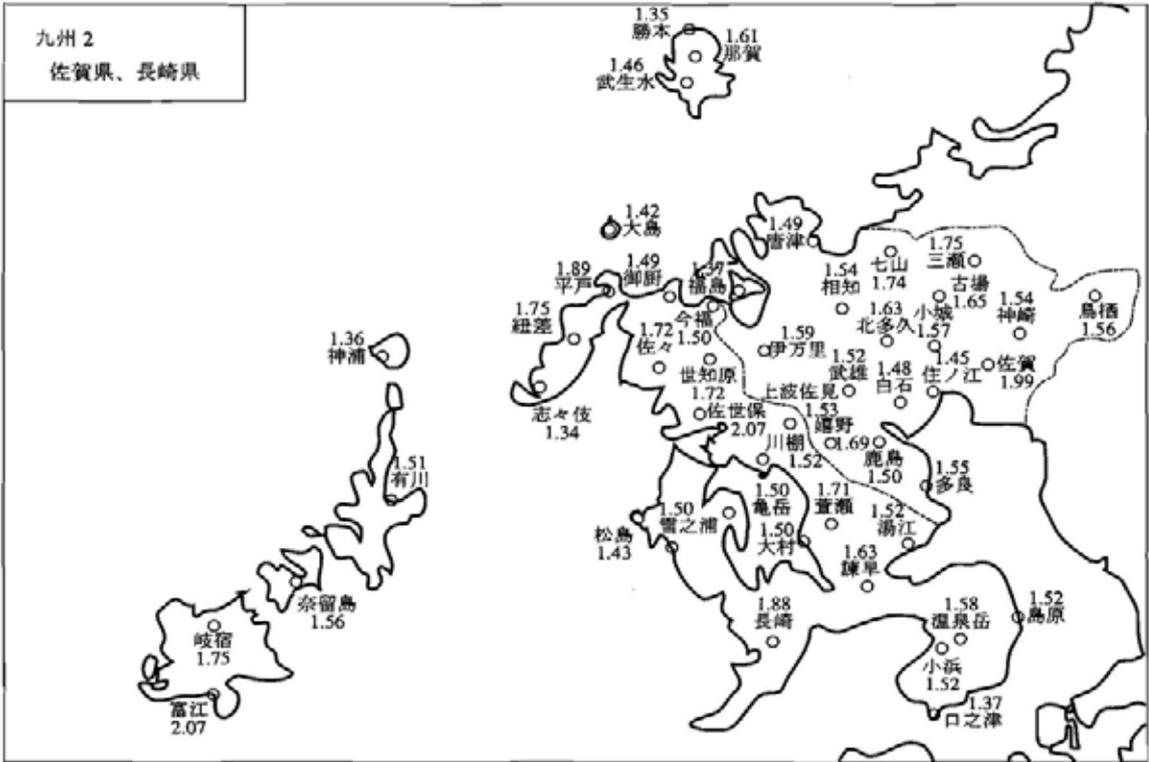
C_p : 計算値の分布と実際の分布が一致しないための補正係数

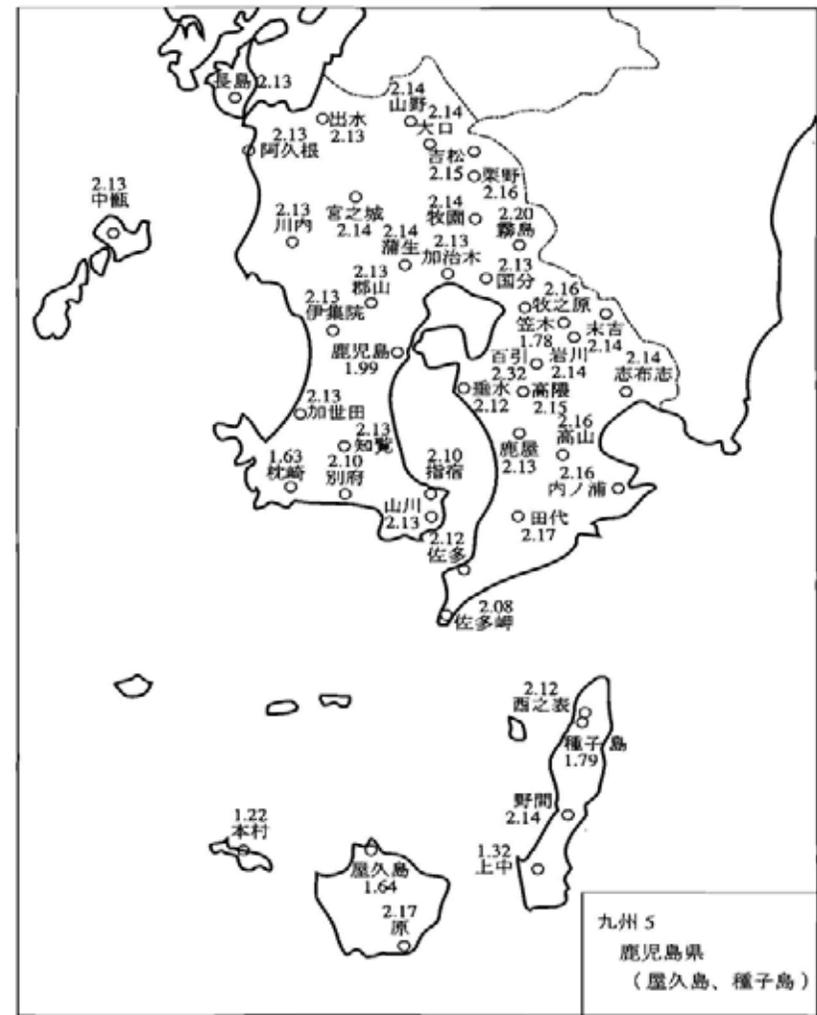
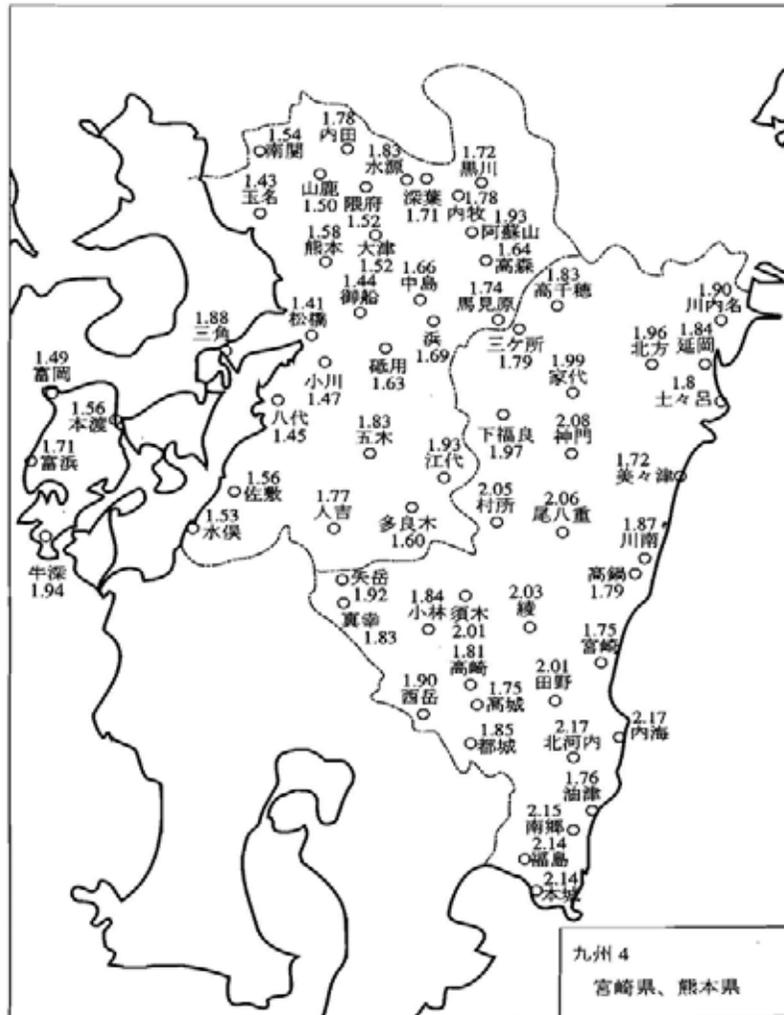
$$C_p = \exp(-\beta \cdot d) \quad (0\text{km} \leq d \leq 30\text{km}, 0.00001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

$$\beta = -0.0126 - 7.8632 \times 10^{-3} s \quad (0.00001\% \leq p \leq 0.001\%)$$

$$= -4.245 \times 10^{-3} - 8.74 \times 10^{-4} s + 1.3884 \times 10^{-3} s^2 \quad (0.001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

$$s = \log p \quad (0.00001\% \leq p \leq 0.1\%)$$





付録 5

《モデルシステムの降雨マージンの考え方》

ITU-R 勧告（注1）と電波法関連審査基準（注2）は、降雨減衰量の推定法として『降雨において伝搬路上に存在する個々の雨滴による単一散乱特性の和』として降雨強度に対する減衰量を算出する推定式を与えている。

さらに審査基準では、日本各地の累積時間率 0.0075%の降雨強度値(mm/分)と累積時間率分布を用いて近似的に日本各地の任意の時間率を不稼働率（注3）とする場合の降雨マージンを求めている。ITU-R 勧告でも、審査基準とほぼ同様に降雨マージンの推定が可能である。

モデルシステムの回線設計では、当該審査基準により熊本市の累積時間率 0.0075%の降雨強度 1.58(mm/分)を用いて稼働率 99.95%(不稼働率 0.05%)（注4）の場合の降雨マージンを推定した。

注1 : CCIR Rec. 721-3

注2 : 総務省訓令第67号（付録4を参照）

注3 : 年間で降雨による減衰で回線断となる累積時間率

注4 : 23GHz 帯の公共業用システムに適用されている審査基準

累積時間率分布は、長期間の測定に基づき得られた強度別(mm/分)の降雨時間を年間時間との比率(%)で表し、それを累積したものである。

資料

- 資料 1 調査検討会開催関係
 - ・ 調査検討会開催趣旨
 - ・ 調査検討会設置要綱
 - ・ 調査検討会委員名簿
 - ・ 調査検討会の公開
 - ・ 作業検討設置要綱
 - ・ 作業部会名簿
 - ・ 調査検討会の会議経過
- 資料 2 報道発表資料及び新聞記事
- 資料 3 全国に広がる先進事例
- 資料 4 用語解説

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会開催趣旨

我が国では、ICTの利活用による経済繁栄と更に豊かな国民生活の実現を目指した「e-Japan戦略」の取り組みの下、2005年を目標に情報通信インフラの整備が進められてきた。さらに、本年1月に決定された「IT新改革戦略」では「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」使えるデジタル・デバイドのないインフラを2010年度までに実現することが目標とされている。

総務省では、本年8月に「次世代ブロードバンド戦略2010」を発表し、2010年度に向けたブロードバンド・ゼロ地域の解消等を目標として掲げるとともに、投資効率の低い条件不利地域においては、地域のニーズや実情に応じて無線技術等の導入を積極的に促進することとした。

九州では、人口が少なく遠隔地に住宅が散在する離島や山間部等を多く抱えており、採算性の問題から光ファイバによる超高速ブロードバンド・インフラの整備が遅れている。このため、これら条件不利地域等でも光ファイバ並の超高速インターネットや大量の映像伝送等が可能な広帯域伝送路を確保できる無線技術の導入が現実的な解決手段として期待されている。

無線によるブロードバンド整備については、FWA、無線LAN等は急速に普及しているが、光ファイバ並の広帯域双方向伝送路が確保できる無線システム等については、未だ開発途上にある。

そこで、本調査検討会では、九州の実環境で超高速無線ブロードバンド技術についての実証試験を実施し、所要の技術特性を把握するとともに、超高速無線ブロードバンド技術や有無線融合技術を活用したモデルシステム等を提案し、九州のブロードバンド・ゼロ地域の解消に資する。

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会開催要綱

(名 称)

第1条 この調査検討会は「超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会」(以下「調査検討会」という。)と称する。

(目 的)

第2条 本調査検討会は、九州の実環境で超高速無線ブロードバンド技術についての実証試験を実施し、所要の技術特性を把握するとともに、超高速無線ブロードバンド技術や有無線融合技術を活用したモデルシステム等を提案し、九州のブロードバンド・ゼロ地域の解消に資する。

(調査検討事項)

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

- (1) 大容量伝送・双方向通信に利用可能な無線技術についての調査
- (2) 準ミリ波及びミリ波帯の無線技術の研究開発動向の調査
- (3) 実環境での実証試験の実施
- (4) モデルシステム等に関する検討と提案

(構 成)

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

(組 織)

第5条 調査検討会には座長を置く。座長は委員の互選により選出する。
2 座長は、審議を促進するため調査検討会の了承を得て、作業部会を設置することができる。

(運 営)

第6条 調査検討会は座長が召集し、主宰する。
2 調査検討会を召集するときは、委員に対しあらかじめ日時、場所

及び議題を通知する。

- 3 調査検討会の運営に関して必要な事項は、座長が委員に諮って定める。
- 4 座長が必要と認めたときは、調査検討会に外部有識者の出席を求め、意見を聴取することができる。

(事務局)

第7条 調査検討会の事務局は、九州総合通信局無線通信部企画調整課が放送部有線放送課の協力を得て行う。

(報告)

第8条 座長は、調査検討会の調査検討が終了したときは、その結果を九州総合通信局長に報告する。

(開催期間)

第9条 調査検討会は、平成18年9月29日から前条の報告をするまでの期間、開催する。

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会委員

(五十音順、敬称略)

あまの ひろふみ
天野 博史

西日本電信電話(株)
九州事業本部設備戦略部門長

いしかわ わたる
石川 渉

(社)日本CATV技術協会 監事
(平成18年11月8日から平成18年12月11日まで)

おがわ ひろよ
小川 博世

独立行政法人 情報通信研究機構
新世代ワイヤレス研究センター長

とみた けんじ
富田 健治

熊本県 地域振興部情報企画課長

のむら ただお
野村 忠生

(社)日本CATV技術協会 九州支部副支部長
(平成18年11月8日から平成18年12月15日まで)

ひらい としひこ
平井 利彦

大分ケーブルテレコム(株) 営業技術局技術企画部長

まえだ たかとし
前田 貴敏

熊本ケーブルネットワーク(株) 技術部長

またけ ひろかず
真竹 弘一

日本放送協会熊本放送局 技術部長

み た ながひさ
三田 長久
(座長)

国立大学法人熊本大学大学院 自然科学研究科
情報電気電子工学専攻 教授

調査検討会の公開について

- 1 会議は原則、公開とする。
- 2 資料については、当事者又は第三者の権利、利益や公共の利益を害するおそれがある場合等、座長が必要と認める場合は、その全部又は一部を非公開とすることができる。また、すみやかに九州総合通信局のホームページに掲載することとする。
- 3 議事要旨については、調査検討会の了承を得て、九州総合通信局のホームページに掲載し、公開することとする。

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会作業部会設置要綱

(目的)

第1条 超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会作業部会（以下「作業部会」と称する。）は、「超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会（以下「調査検討会」と称する。）」の審議を促進することを目的とする。

(作業事項)

第2条 作業事項は次のとおりとする。

- (1) 実証試験の計画作成、実施及び結果の分析、取りまとめ、並びに実証試験の実施に関する事項
- (2) 調査検討会が適当とした事項とする。

(構成)

第3条 作業部会長は調査検討会の座長が指名する。

- 2 作業部会の構成員は、映像等の大容量・超高速無線伝送技術に知見を有する者、及び通信・放送事業に携わる者とする。

(運営)

第4条 作業部会は部会長が招集し主宰する。

- 2 作業部会の運営に関して必要な事項は、部会長が作業部会に諮って定める。

(事務局)

第5条 作業部会の事務局は、九州総合通信局無線通信部企画調整課が放送部有線放送課の協力を得て行う。

(設置期間)

第6条 作業部会の設置期間は、調査検討会の開催期間内とする。

作業部会構成イメージ

作業部会は次の専門家から選定した10名程度で構成する。

- 1 (社)日本CATV技術協会の「ケーブルテレビ網無線分配伝送技術に関する調査検討会」で活動したミリ波の専門家
- 2 本調査検討会に委員を派遣した通信・放送会社の通信・放送サービスの専門家
- 3 本調査検討会委員が推薦する調査検討会の検討事項に精通した専門家

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会
作業部会委員

(五十音順、敬称略)

いしかわ わたる
石川 渉
(部会長)

(社)日本CATV技術協会監事
(平成18年11月8日から平成18年12月11日まで)

おおはし のぼる
大橋 昇

日本無線(株)通信機器事業本部
マイクロ通信ビジネスユニット 部長

かない たかお
金井 隆夫

ブロードワイヤレス(株)放送技術部長

つくだ きよあき
佃 清昭

日本放送協会熊本放送局技術管理副部長

のむら ただお
野村 忠生

(社)日本CATV技術協会 九州支部副支部長
(平成18年11月8日から平成18年12月15日まで)

はしもと ひろし
橋本 博

西日本電信電話(株)熊本支店ブロードバンド推進室長

ひらい としひこ
平井 利彦

大分ケーブルテレコム(株)技術部長

ふじわら えいじ
藤原 英次

NECマイクロ波管(株)MMPM開発室長

まえだ たかとし
前田 貴敏

熊本ケーブルネットワーク(株)技術部長

み た ながひさ
三田 長久
(座長、部会長)

国立大学法人熊本大学大学院 自然科学研究科
情報電気電子工学専攻 教授
(平成18年12月12日から平成19年3月29日まで)

調査検討会の会議経過

- | | |
|----------|---|
| 第1回調査検討会 | 平成18年9月29日（金）14時 |
| 場所 | 九州総合通信局 会議室 |
| 議事 | (1) 調査検討会の公開について
(2) 調査検討会スケジュールについて
(3) 超高速無線ブロードバンドの技術動向について
(4) 作業部会の設置について
(5) ミリ波帯の最近の研究開発動向について
《独立行政法人情報通信研究機構 小川委員》
(6) その他 |
| 第1回作業部会 | 平成18年11月8日（水）14時 |
| 場所 | 九州総合通信局 会議室 |
| 議事 | (1) 実証試験及び公開試験の候補地
(2) 実証試験計画書素案
(3) アンケートについて |
| 第2回調査検討会 | 平成18年12月7日（木）14時 |
| 場所 | KKRホテル熊本 |
| 議事 | (1) 第1回会合の議事要旨の確認
(2) 実証試験計画について
(3) アンケート調査について
(4) 作業部会の今後の活動について
(5) 「NTT西日本のブロードバンドにおける無線技術
の活用動向」《西日本電信電話株式会社 天野委員》
(6) その他 |
| 第2回作業部会 | 平成19年3月16日（金）17時 |
| 場所 | 熊本大学 |
| 議事 | (1) 実験結果の報告
(2) 報告書素案
(3) その他 |

第3回作業部会
場所
議事

平成19年3月23日(金) 13時30分

九州総合通信局 会議室

- (1) 作業部会長代理について
- (2) 実証試験報告について
- (3) 報告書目次(案)について

- (4) 報告書(案)について
- (5) 今後の日程について
- (6) その他

第3回調査検討会
場所
議事

平成19年3月29日(木) 14時

KKRホテル熊本

- (1) 報告書(案)について
- (2) その他

平成 19 年 1 月 11、12 日
九州 総合 通信 局

超高速無線ブロードバンド技術に関する公開実証試験について

九州総合通信局（局長：久保田 誠之）は、九州のブロードバンド・ゼロ地域の解消に役立てるため、昨年 9 月から超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会（座長：三田 長久 熊本大学大学院教授）を開催しています。

本調査検討会では、光ファイバ並の超高速インターネットや大量の映像伝送等が可能な 40GHz 帯の無線伝送についての技術データ取得を目的として、実証試験を熊本市と大分市で 1 月 30 日から約 1 か月間行う予定です。

このたび、無線利用の有用性について広くご理解をいただくため、この実証試験を次のとおり公開します。

《公開実証試験の概要》

1 日 時

平成 19 年 1 月 30 日（火）午後 1 時 30 分から午後 4 時まで

2 場 所

熊本市役所前広場

3 内 容

- (1) 公開実証試験システムの概要説明
- (2) デモンストレーション（別紙参照）
 - ・ 地上波デジタルテレビジョン放送の伝送試験
 - ・ インターネット接続試験
 - ・ テレビ会議
 - ・ 電波伝搬等の測定

参考 1：公開実証試験ネットワーク構成図

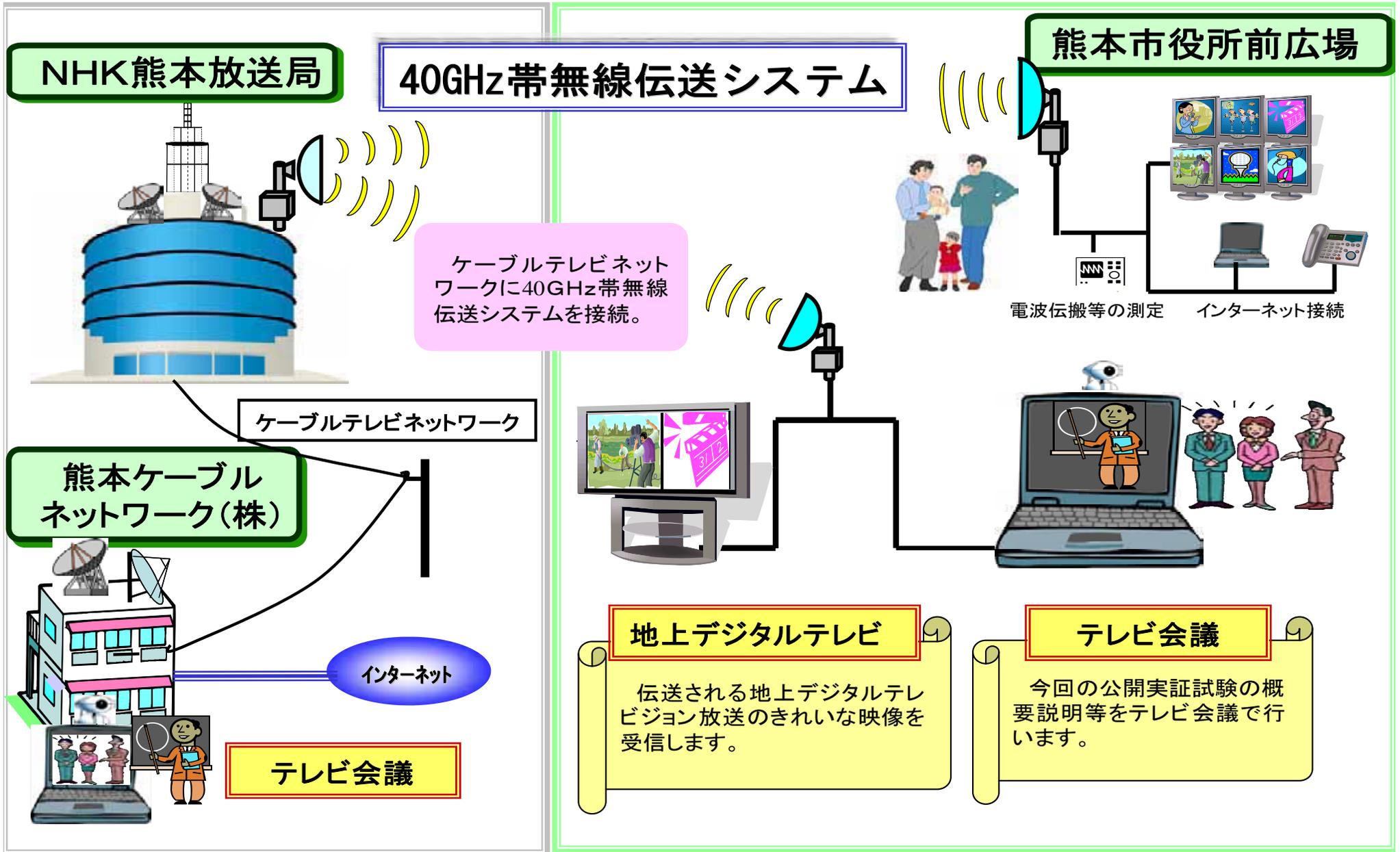
参考 2：CATV 等への利用イメージ例

※天候等の事情により開催が変更となることがあります。

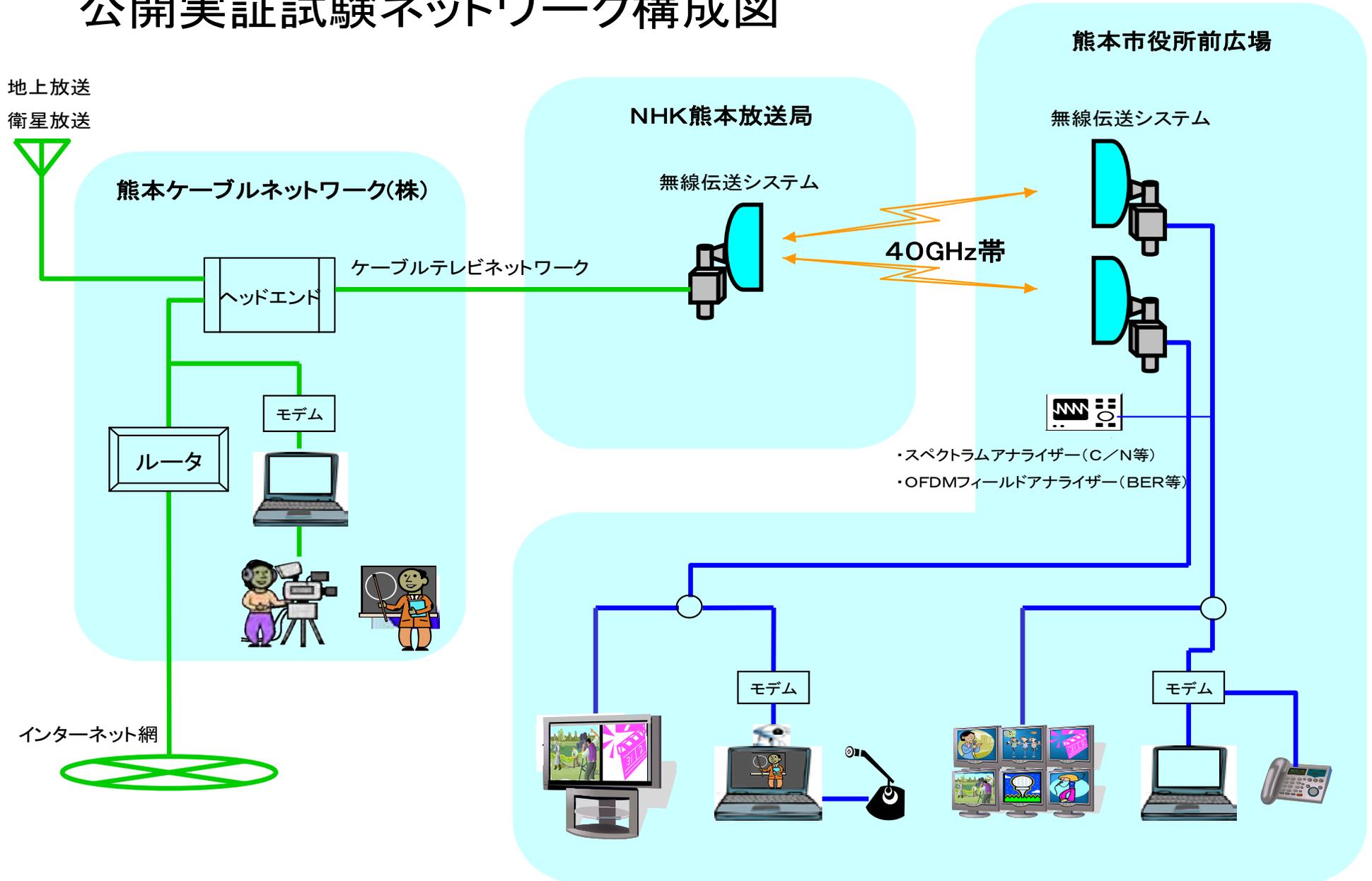
連絡先：九州総合通信局無線通信部企画調整課 096-326-7890

公開実証試験の概要

別紙



公開実証試験ネットワーク構成図

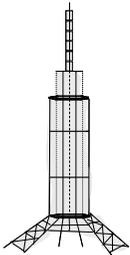


CATV等への利用イメージ例

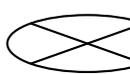
FTTHやケーブルテレビの光ファイバ等の有線部分の一部を図の①から④のように無線システムに置き換えた場合

衛星からの番組

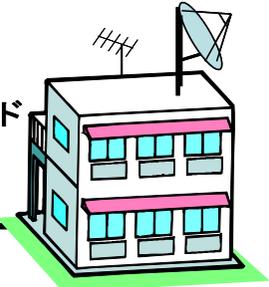
隣接地域の地上波番組



インターネット網
電話網

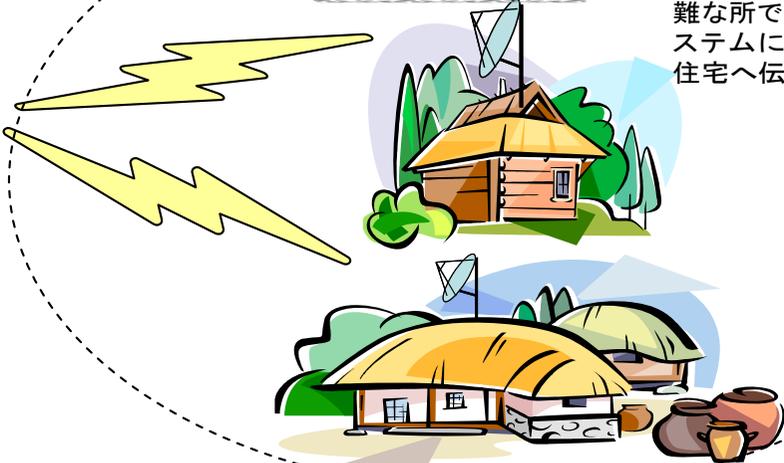


ヘッドエンド



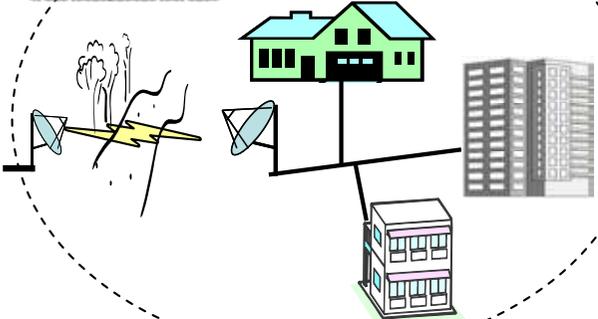
③ 散在する住宅への伝送

ラストワンマイルで光ファイバ等の整備が困難な所で多方向無線システムにより散在する住宅へ伝送する。



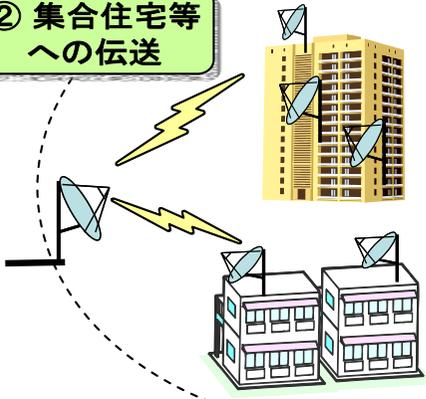
① 河川等の横断伝送

河川等で光ファイバ等の整備が困難な所で無線システムにより中継伝送する。



② 集合住宅等への伝送

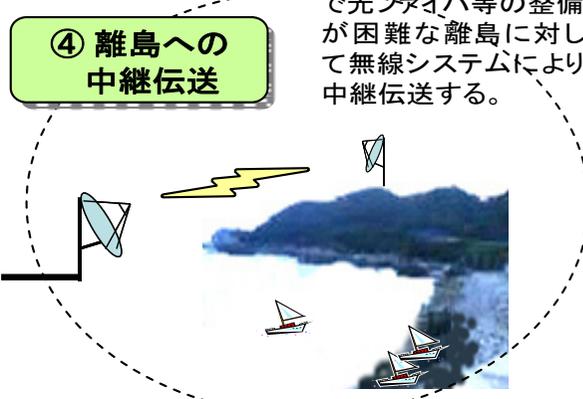
集合住宅等で各部屋への光ファイバの配線が困難場合に多方向の無線システムにより各部屋へ直接に伝送する。



集合住宅等ですでに各部屋への配線がある場合に多方向の無線システムにより中継し配線を利用して伝送する。

④ 離島への中継伝送

他の島や本島との間で光ファイバ等の整備が困難な離島に対して無線システムにより中継伝送する。



大容量「ミリ波」で通信実証試験

山間地や離島での 高速ネット普及へ

九州総合通信局

九州総合通信局は三十日、大量のデータを送受信できる電波「ミリ波」を使った高速デジタル通信実証試験を熊本市で始めた。全国で初めての試験で、費用面から光ファイバー

イパー敷設が難しい山間地や離島への高速インターネット（ブロードバンド）普及を目指す。

同局によると、機器類は開発済み。二月末までの今回の試験で、ミリ波

通信に悪影響を及ぼす雨やビルなどの電波反射についての対応策を調べ、実用化する。総務省は、二〇一〇年度までに全国にブロードバンドを普及させる目標を掲げており、山間地や離島が多く普及率が低い九州を試験場所に選んだ。

試験は、手取本町の熊本市役所と千葉城町のNHK熊本放送局に臨時のアンテナを設置し、家庭向け光ファイバー（百ギガビット）約四十本分に相当するミリ波で接続。さらに、NHKと白山二丁目の熊本ケーブルネットワークの既設光ファイバーを使って、同ネットワークと市役所で通信した。

この日は、八十チャンネルのテレビ放送データを市役所で同時受信、テレビ会議も開いた。好天だったこともあり、スムーズな映像が送れた。



同時に80チャンネルのテレビ放送データを受信した、熊本市役所の実証試験会場

熊本日日新聞 平成19年1月31日朝刊
【掲載許諾済】

三月から試験データを解析、技術規格や実用化日程を検討する。
(鹿本成人)

超高速無線BB技術で

熊本と大分 実証試験を開始

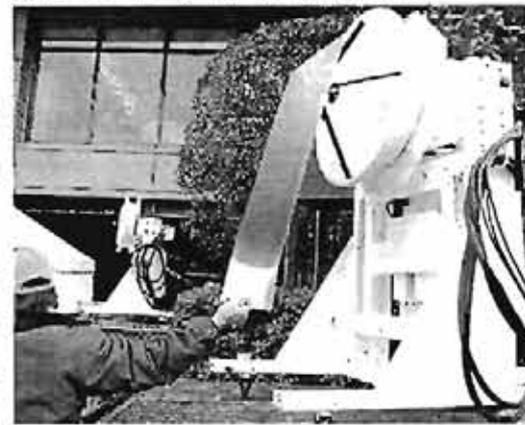
【熊本】九州総合通信局が、ケーブルテレビで配信して送信する。また、インターネット網も電波に乗せ、テレビ会議を行い、双方方向の送信に関する実験も行った。熊本市と大分の2カ所

はこれまで行われていた。熊本と大分の2カ所



地上アナログ、地上デジタル、BSデジタルを映し出した。実験は、ケーブルテレビ事業者が配信している映像を、40メートルの超短波のミリ波に乗せ

実験を行い、データを収集する方針だ。ミリ波は、大容量のデータ送信が特徴で、実験では最大毎秒4ギガのデータ送信が可能。従来のケーブルテレビで配信中のアナログ50chとデジタル80chを電波に乗せても、帯域には余裕があるという。



また、ミリ波は直進性が強いので、障害物によって遮断されやすく、電波遮へいの原因となる雨や雪、霧などが通信状況に大きく影響する。実験場所として今回、九州の2地区が選ばれたのは、日本で最も日常的に雨が降る地域という理由から、ミリ波にとって厳しい環境でデータ収集を行うことで、製品改良につながる狙いだ。同局の小林陽一無線通信部長は「今回の無線伝送システムは、九州でも一部開発した。いち早く普及するよう、協力していきたい」と語っている。

実験は、ケーブルテレビ事業者やNTT、NHKなどで構成する超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会が、技術データ取得を目的に約1カ月間実施する。総務省が全国的に

進めているブロードバンド組みの一環、セロ地域解消に向けた取

全国に広がる先進事例【本編以外の例】

鹿児島県十島村の事例 十島村のブロードバンド化

- ・中之島～口之島間を18GHz帯無線アクセスシステム、5GHz帯無線LANによりブロードバンド回線を構築
- ・中之島～十島村役場(鹿児島市)までを専用線で接続し、インターネット接続環境を設定
- ・中之島と口之島の小・中学校の遠隔授業及び鹿児島市の医師等による健康相談等を実施し、有効性を確認(実施期間(9月～10月)の内、1ヶ月程度運用)
- ・天候による回線への影響の測定も併せて実施



福島県南相馬市の事例 (市民アクセス網構築事業)

概要

旧原町市(現南相馬市)の地域公共ネットワークと住民宅の間を準ミリ波帯FWAにより接続し、高速・安価なブロードバンドのインターネット接続サービスを提供。
南相馬市が所有する設備をNTT東日本が保守・管理(IRU契約)。NTT東日本の地域IP網を経由し、インターネットに接続。

ポイント

- 旧原町市は、民間の事業拠点から常磐線・国道6号線で分断され、ADSLサービスのない条件不利地域(高見町、日の出町等)が存在。
- 地域公共ネットワークの活用による条件不利地域の解消が目的。
- 通信事業者と連携し、高品質な通信網を構築、運用。
- 26GHz帯FWAによる高速(実効速度23Mbps)・安価(5,250円/月)なサービスを提供。
- 850加入(2006年3月現在)。
- テレビ電話による在宅健康相談、地域の特徴を生かした情報発信(カメラ映像やイベント映像など動画ライブ)等コンテンツが充実。
- 旧相馬郡鹿島町及び旧小高町のブロードバンド化に向け、エリアの拡大を検討中。
- 民業圧迫とまらない普及促進方が課題。



岐阜県恵那市（旧岩村町）の事例（ユビキタスネットワーク）

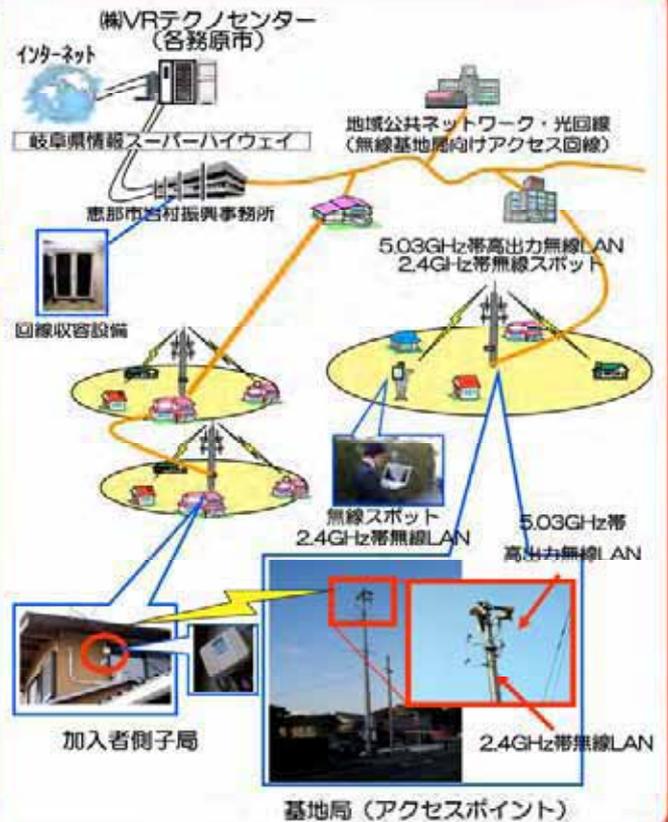
概要

恵那市（旧岩村町）のデジタル・ディバイド対策として、市が電気通信事業者となり、5.03GHz帯高出力無線LANによるネットワーク設備を構築。

市が所有する設備を、卸電気通信役務契約により、株VRテクノセンターに貸与し、同社がサービスを提供。

ポイント

- 地域公共ネットワークの整備と市内のデジタル・ディバイドの解消が目的。
- 無線局登録制の5.03GHz帯高出力無線LANの採用により、安定した回線品質を確保。
- 県の情報スーパーハイウェイの活用により、上位インターネットプロバイダーまでの回線料金が不要。
- 高速(実効速度20Mbps)、安価(3,390円/月)なサービスを実現。450加入。基地局44。
- 2.4GHz帯無線LANによる無線スポットサービスも併せて実施。
- 後から参入したADSLと競合。
- 安定的な運営のため、加入者の拡大が課題。



用語解説

アンテナポインティング

アンテナのビーム指向方向をいう。

イントラネット【Intranet】

WWW や TCP/IP 等のインターネット関連技術を利用して構築される情報通信網で、企業や学校等の比較的狭い範囲に限定されて利用されるネットワークのこと。

ケーブルモデム【Cable Modem】

ケーブルテレビ（CATV）網を使ってインターネット接続を実現するため、既存のケーブルテレビの同軸ケーブル網を使ってデータ伝送を可能にする変復調装置。

シンチレーション

電離層内の電子密度の不規則性によって起こるとされており、電波がこの不規則な領域を通過する際の送信機および受信機の相対的な運動により、受信機において急激な振幅および位相の変動をいう。

スイッチングノイズ【Switching Noise】

電子回路がスイッチングを行う際に発生する高周波のノイズ（雑音）成分のこと。特にトランジスタ同士がスイッチングを行うデジタル回路で発生しやすい。

スイッチングレギュレータ方式【Switching Regulator】

入力電圧を高速に ON/OFF（スイッチング）してパルスに変換し、これを平滑して安定した直流電圧を得る方式の電源安定装置。

ストリーミング【Streaming】

ネットワーク上で映像情報などを送受信しながら、同時に再生する技術。これによりインターネット放送が実現される。

デジタル・デバイド【Digital Divide】

所得、年齢、教育レベル、地理的要因、身体的制約要因等によるインターネット等の情報通信手段に対するアクセスの機会及び情報通信技術を習得する機会の格差。

パケットロス【Packet Loss】

受信しているデータが、ネットワークの混雑具合や接続されている ISP バックボーンの太さにより廃棄されてしまう現象。

フェージング【Fading】

電波が伝搬する通路又は通路上の媒質の変動により、受信強度が比較的短時間に変動する現象をいう。その変動周期は普通数分の 1 秒ないし数分程度のものが多い。それ以上周期の長い変動はレベル変動と呼ぶことが多い。

フォワードコンバータ【Forward Type Converter】

トランジスタが ON である間に絶縁トランスを通じて電力を出力側へと供給する方式のこと。主に 300W 程度までの中規模出力電源に用いられており、高周波スイッチングが可能であることから時には 500kHz 程度の周波数へも応用されている。電力変換効率に優れるが、数 MHz 以上の高域のノイズ発生量が多いという難点もある。

ヘッドエンド

有線テレビジョン放送のために放送用高周波信号を増幅し、調整し、変換し、切り換え又は混合して線路に送出する装置であって、当該有線テレビジョン放送の主たる送信の場所（前置増幅器の場所を含む。）にあるもの及びこれに付加する装置（受信アンテナ系、テレビジョンカメラ、録画再生装置、マイクロホン増幅器及び録音再生装置を除く。）をいう。

マルチホップ【マルチホップ型無線 LAN】

メッシュ状に配置した無線の基地局がデータをバケツ・リレー伝送し、近隣の住居の無線アクセス・ポイントとしても機能する無線通信方式の総称。よく知られた「マルチホップ型無線 LAN」として、ホット・スポットがある。

ミリ波帯【EHF : Extreme High frequency】

30GHz から 300GHz まで（波長 10mm から 1mm まで）の電磁波の無線周波数の呼称。ミリ波帯の特徴としては、①周波数が高いので広帯域伝送が可能②アンテナ、送受信装置の小型化、軽量化が可能③光の性質に近く強い直進性がある④降雨や降雪、雲などの水の粒による減衰を受けやすい等が挙げられる。

ラスト・ワンマイル【Last One Mile】

電話局やインターネット・サービス・プロバイダ側から見て、ユーザーにもっとも近い最後の 1 マイルということから命名された言葉。

リップル【=リプル : Ripple】

直流の電流の中に含まれている脈動の成分のこと。交流電源を整流回路などによって単一方向に流れる電流へ変換した場合、電流は直流のような一直線となるのではなく、正か負のどちらか片方で波形（脈流）を描いている。脈流は平滑回路によってある程度平坦にされるが、完全な直線にはならない。このとき、脈流の平均値となる直線からプラス方向、マイナス方向に変動している部分がリップルである。

レドーム【Radome】

アンテナを風雨等から守るためのドーム。回転型のアンテナでは全体を覆う形式であるが、固定のパラボラアンテナでは開口面のみを覆う平板又はコーン型が使用されている。

64QAM【Sixty four-Quadrature Amplitude Modulation】

デジタル変調方式の 1 つ。多値直交振幅変調方式である 16QAM からさらに伝送効率を高め 1 シンボルで 6bit の情報を伝送可能にした変調方式。

BER【ビット誤り率 : Bit Error Rate】

対象とする情報のビット総数に対して誤って認識したビットの数の割合。品質を示すものとして使用される。デジタル伝送において、受信側で受信される信号は雑音や帯域制限などによってビットの誤りが生じる。

C/N【CN比（搬送波対雑音比） : Carrier To Noise Ratio】

伝送系における搬送波と雑音との電力の比を示したものであり、通常デシベル（dB）で表される。

D/U【DU比:Desire To Undesire Signal Ratio】

ある無線回線における希望波に対する妨害波（干渉波）の受信電力の比率。妨害波としては、他のルートからの干渉波、自己のルート内でのアンテナのフロントバック比による干渉波等がある。回線設計など回線品質の評価に重要な要素である。

DSL【デジタル加入者回線 : Digital Subscriber Line】

DSL (xDSL ともいう。) はメタリックケーブルを利用した高速データ伝送技術の総称で、HDSL、ADSL、SDSL、VDSL といった複数の方式がある。

FTTH【Fiber To The Home】

光ファイバーによる家庭向けのデータ通信サービス。元は、一般家庭に光ファイバーを引き、電話、インターネット、テレビなどのサービスを統合して提供する構想の名称だったが、転じて、そのための通信サービスの総称として用いられるようになった。

FWA【Fixed Wireless Access】

加入者系無線アクセスシステム。P-P（対向）方式、P-MP（1対多）方式があり、それぞれ最大百数十 Mbps、10Mbps の通信が実現可能。

HFC【光同軸ハイブリッド : Hybrid Fiber/ Coax】

CATV 網の構成方法の一つ。CATV 局からは光ファイバで配線し、途中で光電気変換装置を設置して同軸ケーブルで各家庭まで線を引き込む方式。双方向のデータ伝送が可能となり、通信サービスの提供も容易となる。

ICT【Information and Communication Technology】

IT だけでは情報リテラシーを確保できないことから、さらにお互いの情報流通としてコミュニケーションを加えた技術。

IP 電話【IP Telephony】

IP (Internet Protocol) を使うネットワークを介して提供される電話サービスのこと。2005 年 12 月現在、主な電話サービス提供事業者 11 社の加入者数合計は約 1060.4 万人である。

ITU-R（国際電気通信連合無線通信部門）

ITU（国際電気通信連合）の中の無線通信部門。

世界無線通信会議及び地域無線通信会議、無線通信規則委員会、無線通信総会、無線通信研究委員会並びに無線通信局長を長とする無線通信局により構成されている。

ISP【Internet Service Provider】

営利活動としてインターネット接続サービスを行う企業の総称。一般の企業や個人が専用回線でインターネットに接続しない場合、ISP 経由の接続となる。通常、プロバイダという。

NF【雑音指数 : Noise Figure】

受信機の雑音特性を表す検波器までの直線部の総合特性で、有効電力の SN 比の入・出力比をいう。

OFDM【直交波周波数分割多重 : Orthogonal Frequency Division Multiplexing】

無線などで用いられるデジタル変調方式の 1 つ。地上波デジタル放送、IEEE802.11a などの無線 LAN、電力線モデムなどの伝送方式に採用されている。

QPSK 信号

デジタル値をアナログ信号に変換する変調方式の一つ。位相のずれた複数の波の組み合わせで情報を表現する位相偏移変調方式の一種。

TWT【Traveling Wave Tube】

進行波管ともいい、マイクロ波の電力増幅に利用する真空管の一種。極く細いらせん状のコイルの中を電子銃から出てくる電子が通過する構造になっており、ここでマイクロ波が相互作用により増幅される仕組みになっている。クライストロン等に比較して増幅できる周波数帯域が広いのが特徴である。

TWTA【Traveling Wave Tube Amplifire】

進行波管増幅器。マイクロ波帯用の増幅器として利用される進行波管。特に、衛星通信で使用される。

WiMAX【Worldwide Interoperability for Microwave Access】

2003 年 1 月に IEEE(米国電気電子学会)で承認された固定無線通信の標準規格。IEEE802.16 規格の使用周波数帯を変更したもの。

無線 LAN の広域エリアタイプとして推進団体「WiMAX フォーラム」が 2001 年に検討を開始した規格である。地上デジタル放送に使われる変調方式「OFDM」を採用しており、週波数を効率利用できるのが特徴で、上り・下りでブロードバンド通信が可能である。固定無線アクセス規格 IEEE802.16-04 は半径 10km の通信エリアをカバーし、最大通信速度は 75Mbps であり、移動体通信規格 IEEE802.16e は通信エリアが 2~3 最大通信速度は 15Mbps である。

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会報告書【概要版】

平成19年5月
九州総合通信局

第1章 調査検討の背景と目的

- ・ 目的
- ・ 九州におけるブロードバンドの現状と動向
- ・ 超高速無線ブロードバンド技術に関する調査とシステム検討の方向性
- ・ ミリ波帯の特徴

第2章 実証試験

- ・ 一対多方向(P-MP)試験
- ・ 一対一対向(P-P)試験
- ・ 反射試験
- ・ 試験結果の分析・評価
- ・ 公開実証試験

第3章 ミリ波を利用した超高速無線ブロードバンドシステムの実現

- ・ ミリ波技術を活用したブロードバンドに関する意向調査
- ・ モデルシステムの提案

第1章 調査検討の背景と目的

目的

ICTの利活用による経済繁栄と更に豊かな国民生活の実現のため

IT戦略本部

e-Japan戦略<2001年>

☆世界最先端のIT国家とすることを目標

IT新改革戦略<2006年>

☆デジタルデバイドのないインフラを2010年度までに
実現することを目標

総務省

次世代ブロードバンド戦略2010<2006年>

☆2010年度までに

- ①ブロードバンド・ゼロ地域の解消
- ②超高速ブロードバンドの世帯カバー率90%
を目標

九州の現状

人口が少なく住宅が散在する離島、山間部を多く抱えことから、光ファイバでは採算性に問題があり、ブロードバンド整備率は全国平均を下回っている。

光ファイバの代替

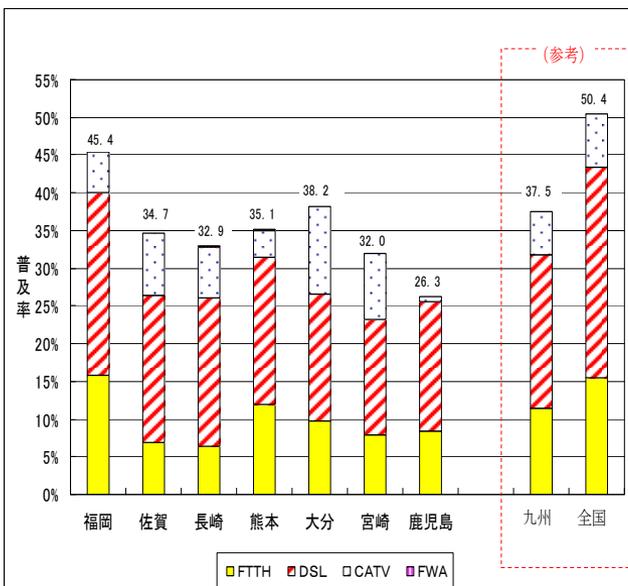
無線によるブロードバンドについては、FWA、無線LANが普及、しかし、光ファイバ並の広帯域双方向伝送路については、未だ開発途上。

調査検討会

調査と実証試験を実施し、超高速無線ブロードバンド技術や有無線融合技術を活用したモデルシステム等を提案、九州のブロードバンド・ゼロ地域の解消に資する。

九州におけるブロードバンドの現状と動向

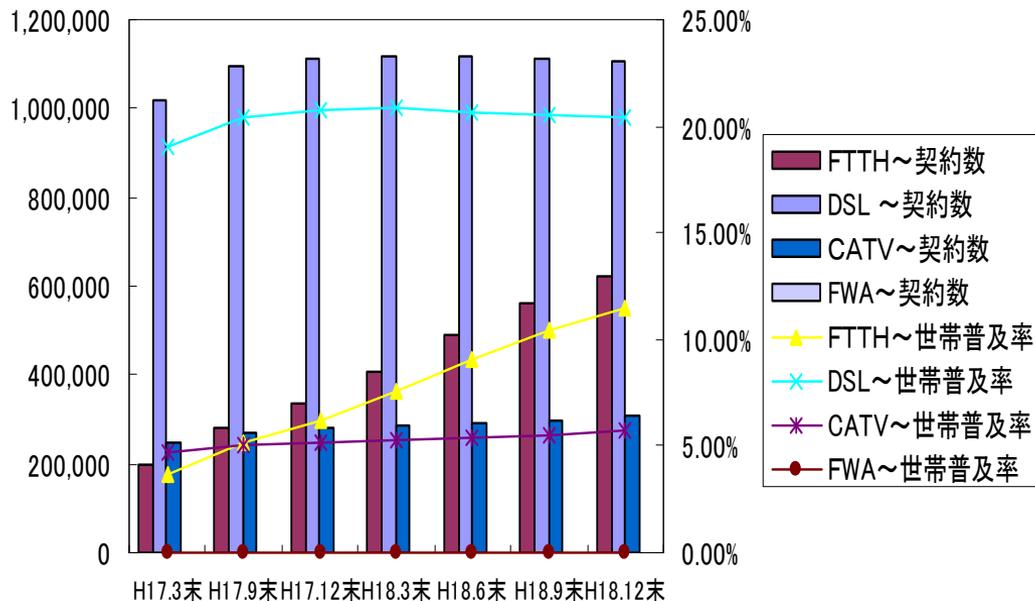
各県別のブロードバンドの世帯普及率



《九州総合通信局2007.3.27報道資料》

ブロードバンドの利用普及状況は、全国で約2500万世帯・普及率は約50%であるが、管内では約200万世帯・普及率38%（平成18年(2006年)12月末）に留まっている。

アクセス別のブロードバンド契約数及び普及率の推移



H17.3末 H17.9末 H17.12末 H18.3末 H18.6末 H18.9末 H18.12末

《九州総合通信局報道資料に基づき作成》

九州は多くの山間地や島嶼を有していることが全国平均を大きく下回っている原因のひとつと考えられる。そのような状況の中でも、ブロードバンドの主役はDSLから光ファイバへと移りつつあり、高速化への傾向が伺える。

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査とシステム検討の方向性

超高速無線ブロードバンドの技術動向

平成18年3月末現在

周波数帯	システム名等	最大空中線電力	使用周波数帯	最大帯域幅 (MHz)	最大伝送速度 (TV伝送換算) ※1	伝搬距離 ※2	降雨減衰 (25mm/h)	大気減衰 (概算)	規格等	免許の可否	局数※4 (全国)	システムの特徴 ※5		
												大容量・高速	双方向	伝搬距離
2.4 GHz	無線LAN (WiFi)	10mW/MHz 以下	2400~2497MHz	20	54 Mbps (6ch以下)	数百m (1対N)	0.01dB/km	微少	ARIB STD-T66 IEEE802.11/b/g	×	31,063,461 (H16年度末)	○	○	×
5.0 GHz (屋外用)	高出力無線LAN	0.25W	4900~5000MHz (5030~5091MHz)	20	54 Mbps (6ch以下)	数km (1対N)	0.05dB/km	微少	ARIB STD-T70/71 IEEE802.11a	○	246	○	○	◎
5.2 GHz (屋内用)	無線LAN	10mW/MHz 以下	5150~5250MHz	20	54 Mbps (6ch以下)	約50m			ARIB STD-T70	×	1,535	○	○	×
									ARIB STD-T71 IEEE802.11a		3,536	○	○	×
18 GHz	準ミリ波帯FWA (公共業務用電気通信業務用)	1W	17.97~18.57GHz 19.22~19.7GHz	57MHz×12スロット	156 Mbps (19ch以下)	約10km	2dB/km	0.1dB/km		○	314	○	○	◎
22GHz	準ミリ波帯FWA	0.5W	22.0~22.4GHz 22.6~23GHz	17.5MHz×25スロット	156 Mbps (19ch以下)	約4km	2.5dB/km	0.2dB/km	ARIB STD-T58 ARIB STD-T59	○	975	○	○	◎
26GHz		0.1W	25.25~27.0GHz	25.5MHz×9スロット			3.5dB/km	0.2dB/km			4,092	○	○	◎
38GHz		0.2W	38.5~39.05GHz	42MHz×7スロット			6dB/km	0.2dB/km			296	○	○	◎
23 GHz	CATV中継伝送 (有テレ事業用)	1W	23.2~23.6GHz	400	(63ch以下)	約8km	2.8dB/km	0.2dB/km		○	24	◎	×	◎
25 GHz	小電力データ通信システム	10mW/MHz 以下	24.75~25.25GHz 27.0~27.5GHz	10MHz×10スロット	100 Mbps (12ch以下)	約1km	3.2dB/km	0.2dB/km	ARIB STD-T83	×	0	○	○	◎
40 GHz	試験システム		39.5~41.5GHz 42.0~42.5GHz	2000 500	(250ch以下)	数km	6.5dB/km	0.2dB/km				◎	◎	◎
60 GHz	無線アクセス無線LAN	10mW/MHz 以下	59~66GHz	2500	1250 Mbps (156ch以下)	数百m	10dB/km	16dB/km (60GHz付近減衰大)	ARIB STD-T74	×	506	◎	◎	×

※1: NTSCは帯域6MHzで換算。MPEG2及び地デジSTDは8Mbpsで換算。

※2: 伝搬距離は、各種文献やメーカーから取得した概数。使用条件・環境により変動する。

※3: ARIB: 社団法人電波産業会

※4: 無線局数以外はJEITAの出荷台数またはTELECの技術基準適合証明・認証の取得数

※5: 大容量・高速の評価 ◎: 156Mbps超 ○: 156Mbps~30Mbps超 △: 30Mbps~1.5Mbps超 ×: 1.5Mbps以下

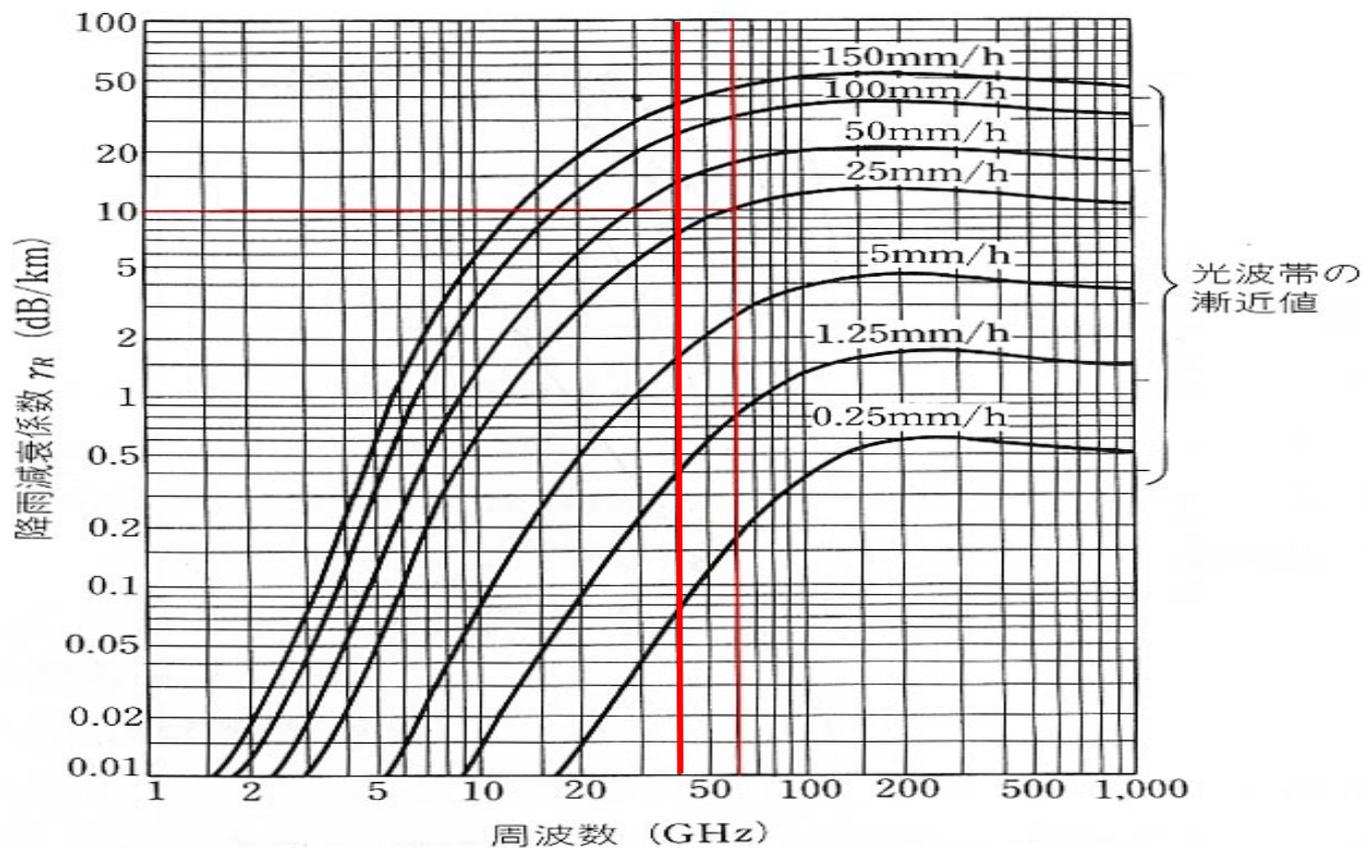
双方向の評価 ◎: 双方向で156Mbps超 ○: 156Mbps以下 ×: 不可(単方向のみ)

伝搬距離の評価 ◎: 1km超 ○: 1km~500m超 ×: 500m以下

技術動向の検討から光ファイバ並みの伝送容量や双方向運用の可能性があり、適当な伝送距離が見込める40GHz帯のシステムの検討が適当

ミリ波帯の特徴

40GHz帯を使用するに当たっては、想定される実環境下において、降雨による影響を把握することが重要となる。また、比較的近距离の場合に強いと想定される反射の影響について確認しておく必要がある。

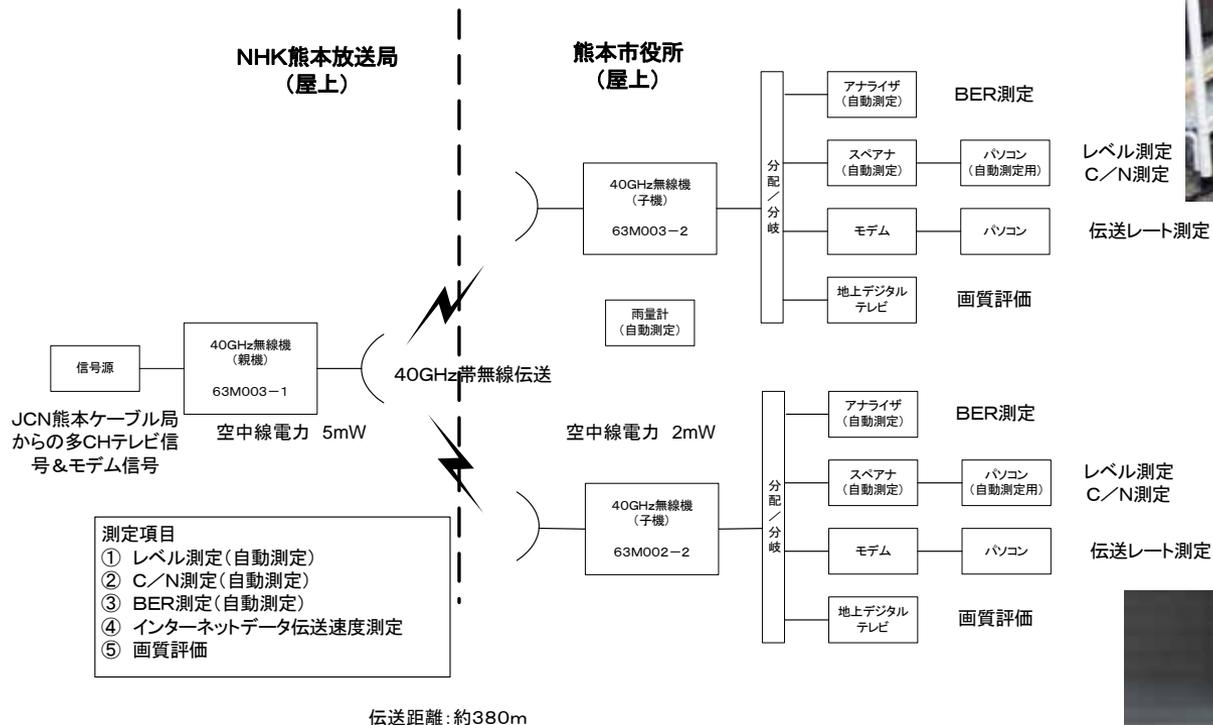


出典: CCIR Rep. 721-3

第2章 実証試験

一対多方向(P-MP)試験

一対多方向(P-MP)実証試験系統図



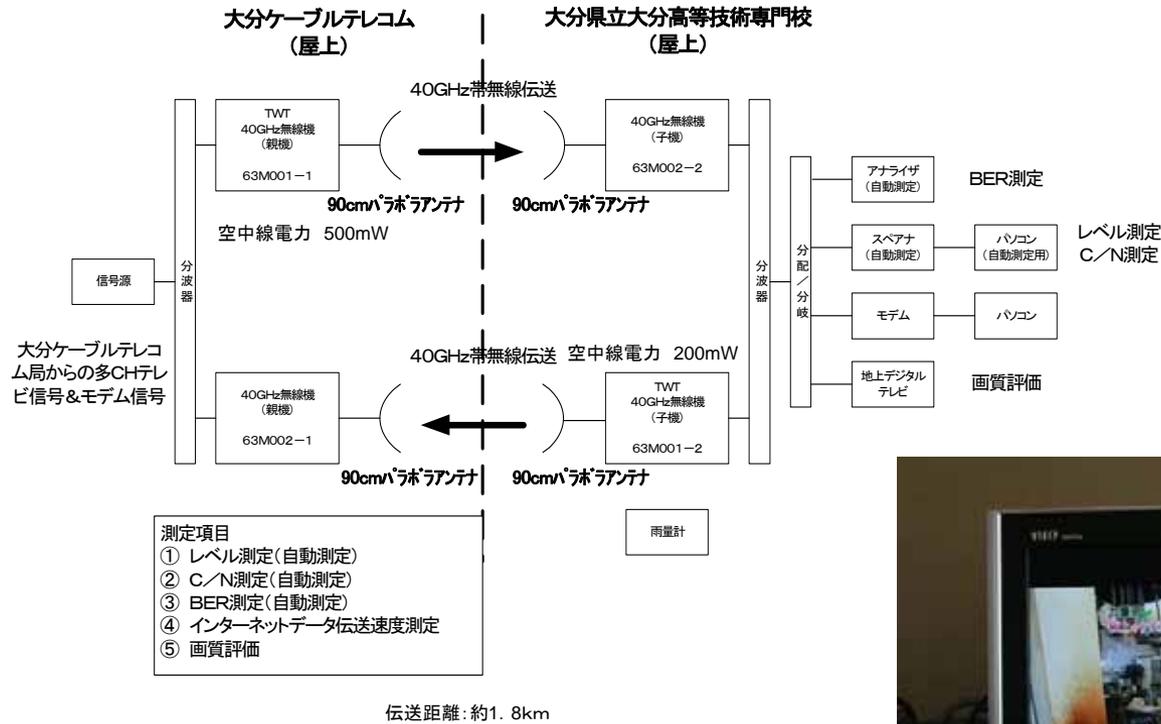
レベル測定
C/N測定
伝送レート測定



伝送速度測定結果は下り17Mbps、
上り1.9Mbpsの結果が得られた。

一対一対向(P-P)試験

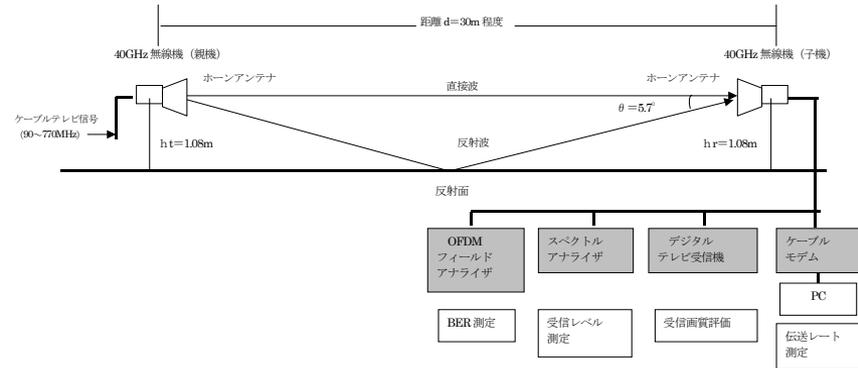
一対一対向(P-P)実証試験系統図



反射試験

測定は、子局アンテナを親局アンテナに向かって移動させて、直接波と反射波の受信レベルの変化や受信画像を調査した。なお、反射波の遅延時間は0.2ns程度（路長差7cm程度）の反射波の影響は特に観測されなかった。

測定項目は、伝送したケーブルテレビ信号の受信レベル、BER、画質である。



屋上反射試験概念図



反射試験測定サイト



40GHz帯ホーン取り付け状況

測定結果

測定信号	測定項目	伝搬距離						
		30.5m	31.0m	31.5m	32.0m	32.5m	33.0m	33.5m
地上デジタル放送波 (NHK総合28ch)*1	受信画質評価	良好	良好	良好	受信不能	受信不能	良好	良好
	BER	1.3×10^{-3}	1.5×10^{-3}	2.0×10^{-3}	—	—	1.5×10^{-3}	1.3×10^{-3}
	受信レベル	40.5	40.0	39.0	30.0	33.0	40.0	40.5
地上アナログ放送波 (NHK総合9ch)*2	受信画質評価	良	良	良	受信不能	不良*3	良*4	良
	受信レベル	54.5	54.0	54.0	24.0	48.0	54.0	54.0

*1 試験装置入力に於ける地上デジタル放送信号のBER= 6.7×10^{-6}

*1,*2 40GHz試験装置入力信号(熊本ケーブルネットワーク伝送経由)

試験結果の分析・評価

P-MP方式(熊本)の試験結果

伝送距離380mに対し、送信部に出力5mWの半導体増幅器を用いた。

アナログTVの受信C/Nは35dB、地上デジタルTVの場合は、送信側で入力信号レベルをアナログTV信号より10dB低く設定したので受信C/Nは25dBとなったが、両方とも受信の画像は十分良好であった。

インターネット通信の結果も良好であった。

測定項目		測定値
受信レベル		-37dBm
C/N	アナログ	35 dB
	デジタル	25dB
BER		1×10^{-4}
実効伝送速度	下り	17Mbps
	上り	1.9Mbps
画像評価		良好

P-P方式(大分)の試験結果

伝送距離は1.8kmと比較的長いため送信部に高出力の増幅器として500mWのTWTAを用いた。

アナログTVの受信C/Nは30dB、地上デジタルTVの場合は送信側で入力信号レベルをアナログTV信号より10dB低く設定したので受信C/Nは20dBとなったが、両方とも受信の画像は十分良好であった。

インターネット通信の結果も良好であった。

測定項目		測定値
受信レベル		-27dBm
C/N	アナログ	30dB
	デジタル	20dB
BER		1×10^{-4}
実効伝送速度	下り	12Mbps
	上り	2.2Mbps
画像評価		良好

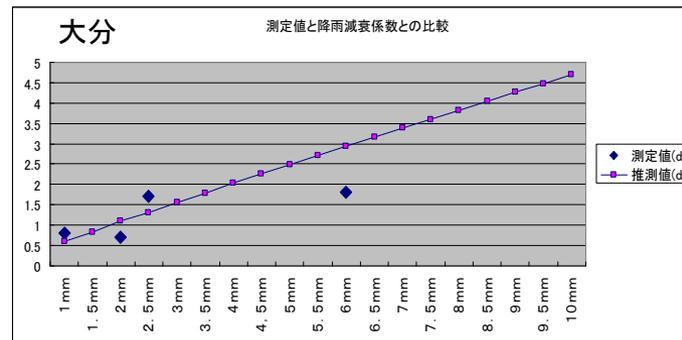
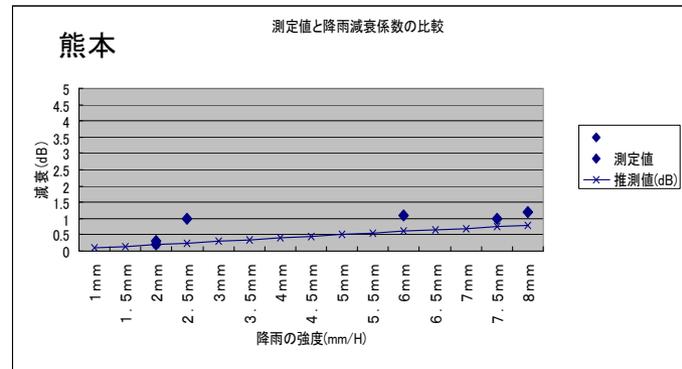
試験結果の分析・評価

降雨減衰

熊本地区については比較的近距离の380m、大分地区については1.8kmと比較的長距離の降雨減衰のデータが取得できた。

試験期間中の測定値(降雨減衰量)は、右図のとおり、ミリ波帯の特徴で示したITU-R(Rec P721-3)や審査基準の推定法から算出した減衰量と比較したところ良く近似(差は1dB以内)していた。

この結果から、モデルシステムのための回線設計にITU-R(Rec. P721-3)や審査基準の推定法を用いて差し支えないと考えられる。



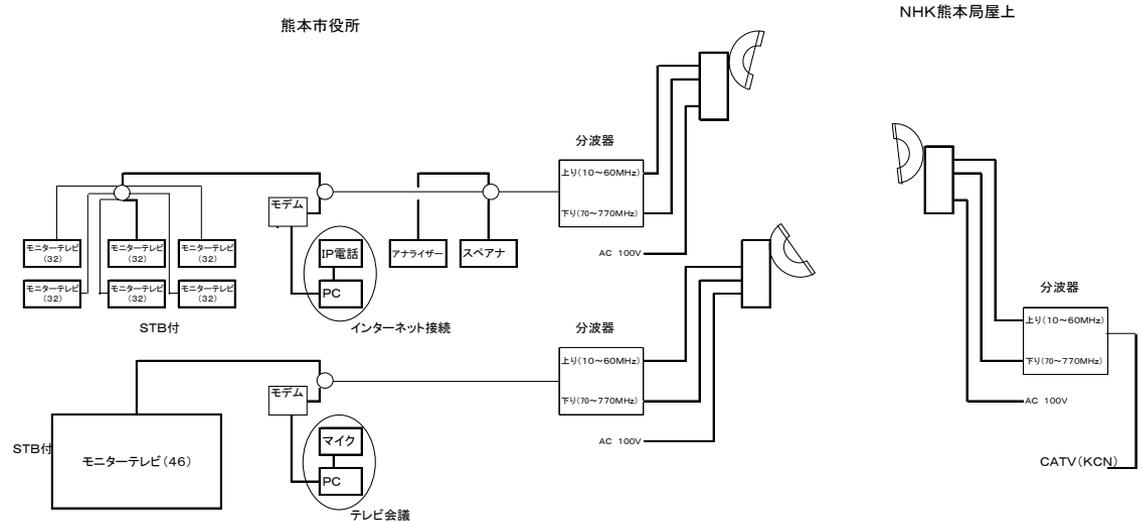
反射

比較的近距离の伝送なので反射波の遅延時間による影響は観測されなかったが、直接波に対して反射波が逆位相となった距離では受信電力が大きく低下したので注意を要する。これには受信側にシャープなビーム特性を有するアンテナを用いることで容易に影響を軽減できると考えられる。

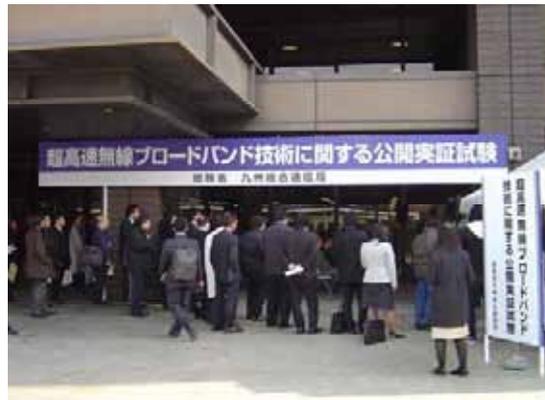
公開実証試験

公開試験の回線構成

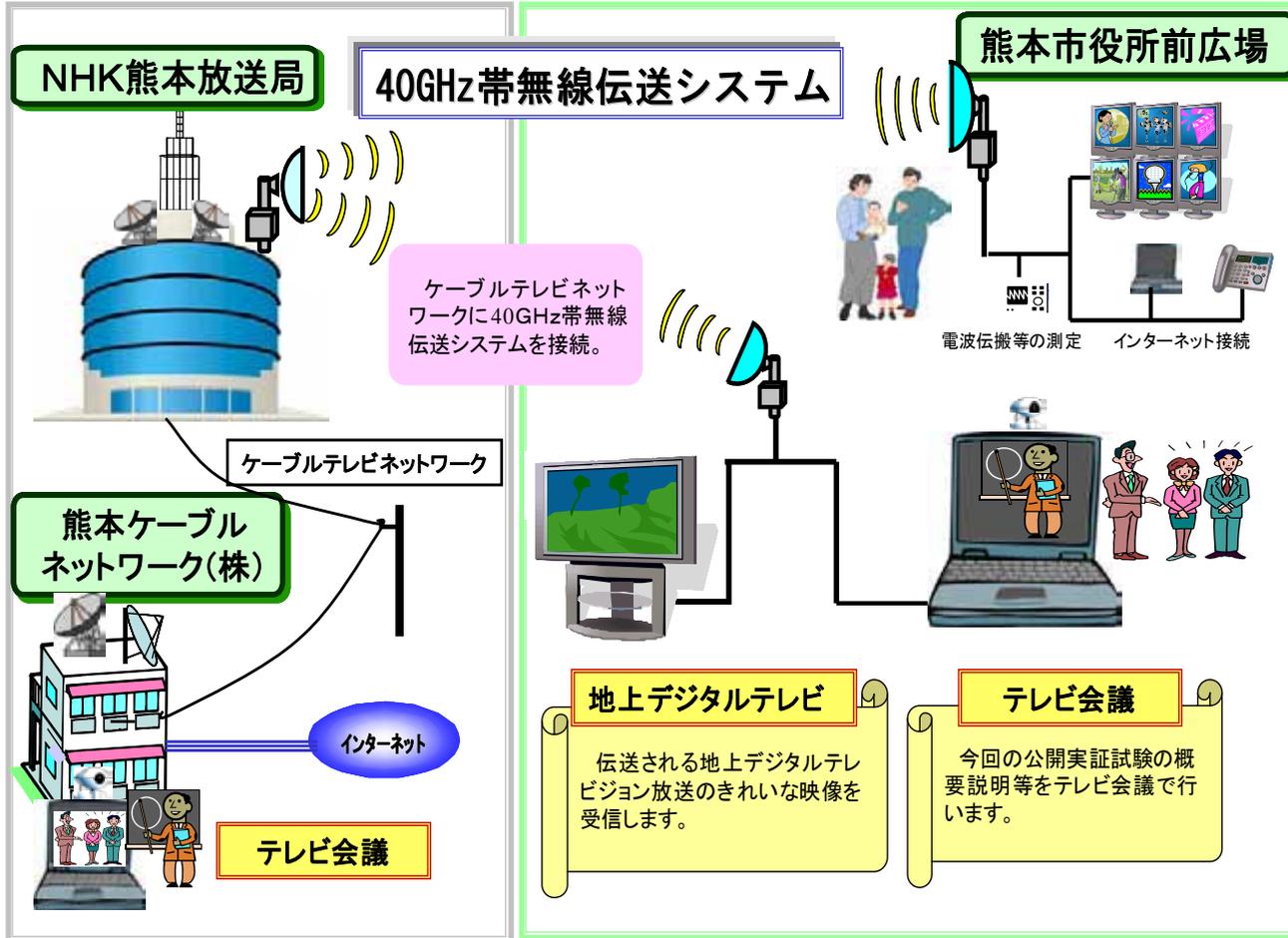
公開試験は、熊本ケーブルネットワークからケーブルテレビ信号をNHK熊本放送局の屋上に設置した親局無線装置に接続し、40 GHz帯を使い回線設定をした。



公開実証試験ブロックダイアグラム



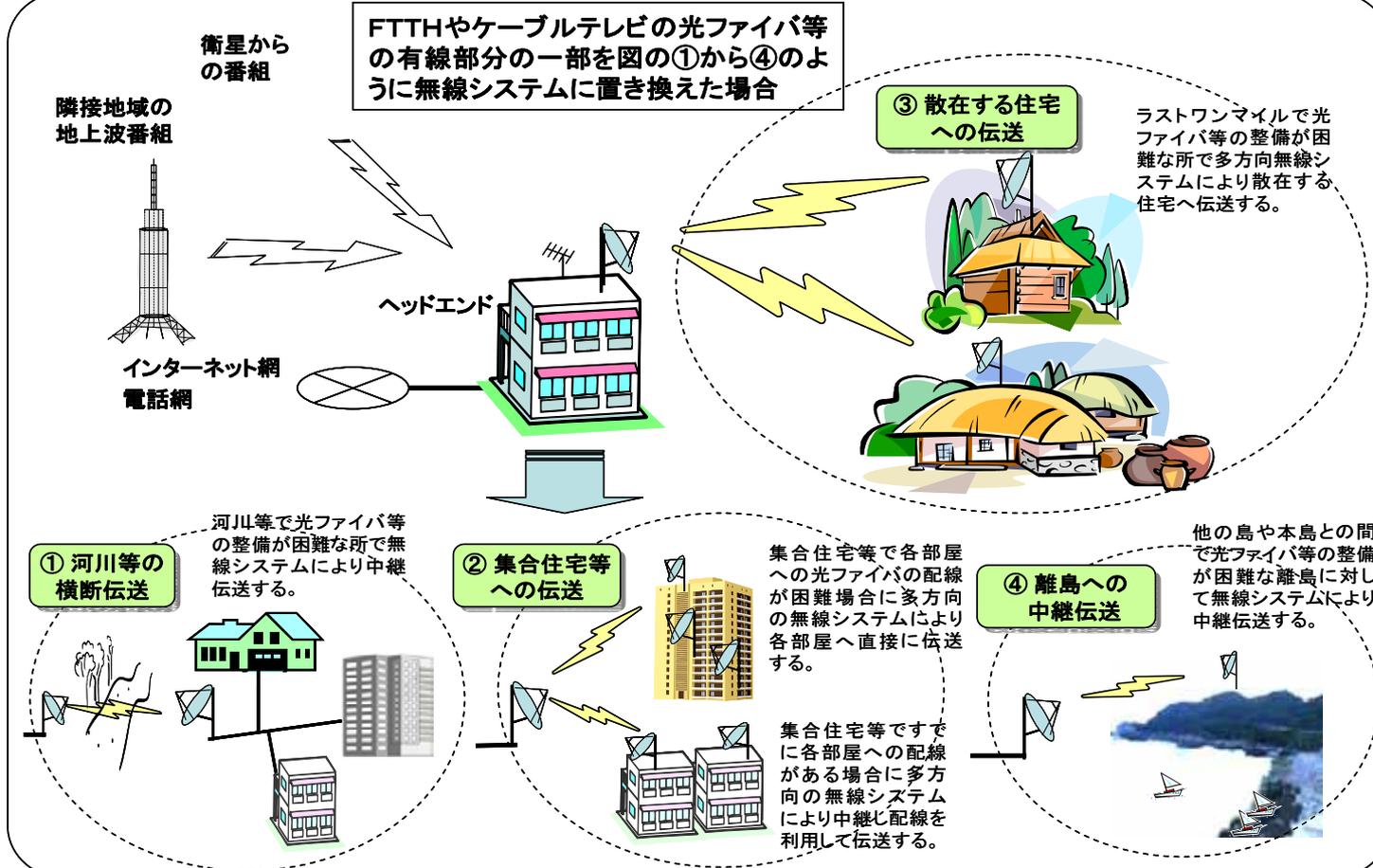
公開実証試験



第3章 ミリ波を利用した超高速無線ブロードバンドシステムの実現 ～超高速無線ブロードバンド技術の導入に関する意向調査～

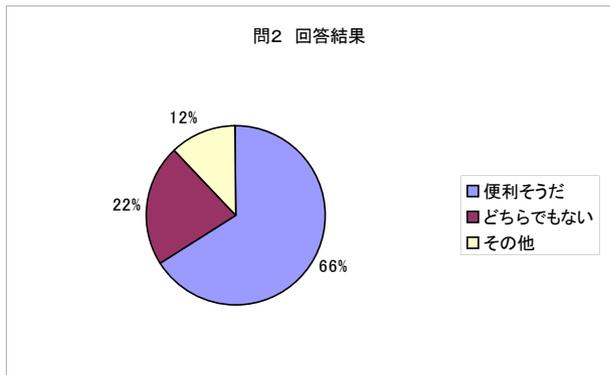
ミリ波技術を活用したブロードバンドに関する意向調査

無線ブロードバンドシステムの想定される利用形態



ミリ波技術を活用したブロードバンドに関する意向調査

無線によるブロードバンドについての意見



「便利そうだ」とする意見が66%を占め、その主なコメントでは、離島、山間部等の過疎地域、散在集落など光ファイバなどの有線の敷設が困難もしくは経費的に高価になる条件地域での利活用、あるいは河川で区切られた施設の接続等に有効との意見が多い。

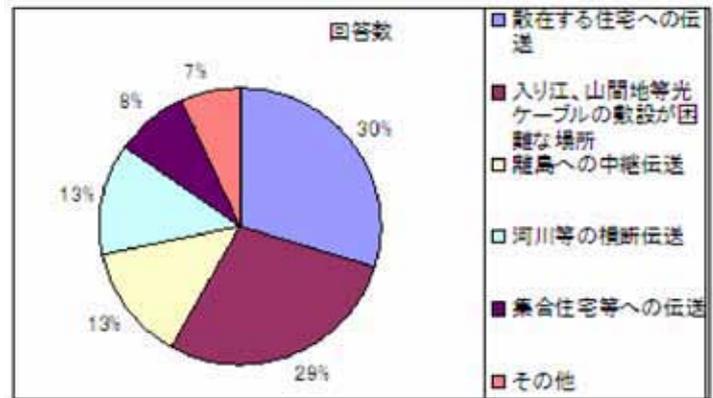
調査結果の集計と分析

この中で、入り江、山間地など光ケーブルの敷設が困難な場所については、離島への伝送と類似した利用形態と考えられる。このことから、モデルシステムのために想定した4つの利用形態とほぼ一致した。

無線によるブロードが便利(有効)な場所

散在する住宅への伝送が30%、山間地が29%、離島、河川横断が続いている。

その他、CATV伝送路でのバックアップ用や地中化地区への配信に有効との意見がある。



モデルシステムの提案(P-MP方式)

散在する住宅への伝送【P-MP】

親局は送信電力を500mW、アンテナは半値角30度のホーンアンテナを使用する。

子局は送信電力を10mW、アンテナは直径30cm(パラボラ)を使用する。

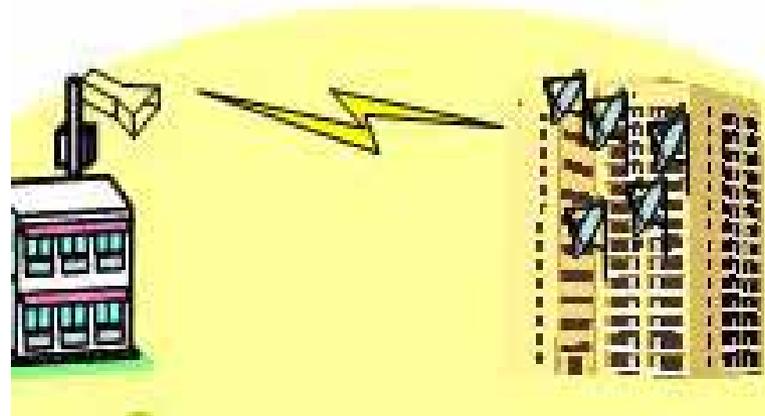


伝送容量	伝送距離
8ch	700m
16ch	550m
40ch	400m
80ch	300m

集合住宅等への伝送【P-MP】

親局は送信電力を20mW、アンテナは半値角30度のホーンアンテナを使用する。

子局は送信電力を1mW、アンテナは直径30cm(パラボラ)を使用する。



伝送容量	伝送距離
8ch	200m
16ch	150m
40ch	100m
80ch	70m

モデルシステムの提案(P-P方式)

離島、入り江、山間地への伝送【P-P】

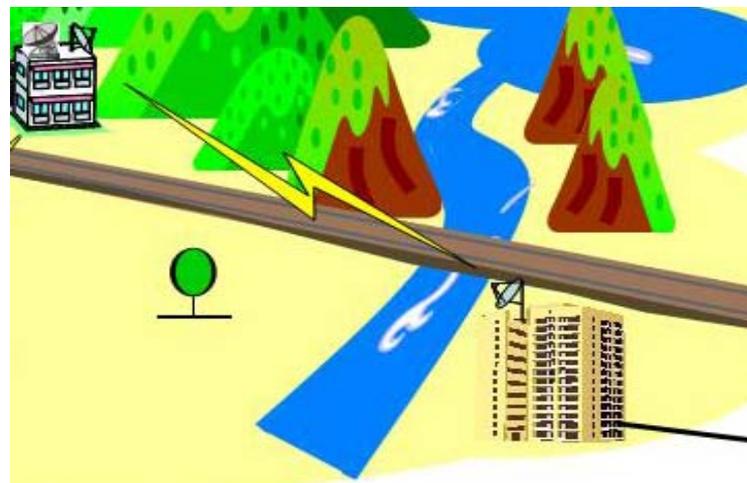
親局、子局とも送信電力を500mWとし、アンテナは90cm(パラボラ)を使用する。



伝送容量	伝送距離
8ch	4km
16ch	3.7km
40ch	3.2km
80ch	3km

河川、鉄道横断の伝送【P-P】

親局、子局とも送信電力を5mWとし、アンテナは90cm(パラボラ)を使用する。



伝送容量	伝送距離
8ch	2.1km
16ch	1.8km
40ch	1.5km
80ch	1.2km

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

超高速無線ブロードバンド技術に関する調査検討会

発行 総務省 九州総合通信局（平成19年5月）

URL: <http://www.kbt.go.jp/>

連絡先 総務省 九州総合通信局

〒860-8795 熊本市二の丸1-4

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

E-mail: h-kikaku2@rbt.soumu.go.jp