地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の 効率的な送信システムに関する調査検討報告書

平成 25 年 3月

地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の 効率的な送信システムに関する調査検討会

はじめに

平成 23 年 7 月の地上アナログテレビ放送終了後に跡地となった周波数帯のうち、207.5MHz~222MHzの周波数帯を用いた携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)が、平成 24 年の 春より東名阪及び九州・沖縄において開始されました。また、札幌市においても、同年末よりサー ビスが開始されています。この放送は、地デジの持つ優れた移動受信特性はそのままに、映像の高 品質化,映像や音声をはじめとするさまざまな大容量ファイルの伝送、通信との連携強化などの方 式を使用することが大きな特徴です。

携帯端末向けマルチメディア放送は、移動受信を主な受信形態としていることから、地下街等での利用も見込まれています。地上と異なり情報入手が難しい環境にある、地下街等の閉鎖空間では、 災害時における情報通信メディアの果たす役割が重要視されています。ここに、輻輳することなく 一斉同報で情報伝達ができる、携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)は、緊急時や災害 時などの情報提供ツールとしても期待されています。

一方、207.5MHz~222MHzの周波数帯を用いた本放送システムについては、閉鎖空間でかつ高 雑音環境である地下街等においては、いまだ受信状況や伝搬特性が明らかでなく、それらの把握は 緊急の課題となっています。特に、積雪寒冷地の大都市である札幌は、他の都市と比べ大規模な地 下街や地下通路が生活空間として非常に重要な役割を果たしており、ここでの本放送システムの役 割は極めて大きいものがあります。

このような背景を踏まえ、本調査検討会では、各分野の専門家の皆様にお集まりいただき、地下 街等の閉鎖空間における携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High 帯)に必要な送信システム の技術的条件に関する調査検討を行いました。その結果、地下街等の閉鎖空間における雑音環境や 伝搬特性の把握、送信システムの技術的要件など、良好な受信環境確保のために必要な技術課題が 明らかになりました。

本報告書が、各都市の地下街などで携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)サービス の提供を計画されている、自治体、事業者など関係各位に広く参考となるよう期待しています。最 後に、多忙な中熱心に調査しご検討いただきました委員各位に、また地下街という困難な環境下で フィールド試験に当られたメンバー各位、フィールド試験実施にあたりご協力いただいた札幌市、 地下街管理会社の関係各位に心より感謝申し上げます。

平成 25 年 3 月

「地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の効率的な送信システムに関する調査検討会」

座長 東海大学 生物理工学部 特任教授 上瀧 實

目 次

第	1	章	調査検討の概要	
	1	- 1	開催趣旨	1
	1	- 2	調査検討の目的	1
	1	— 3	調査検討の背景	2
	1	- 4	調査検討項目	2

第2章 携帯端末向けマルチメディア放送	
2-1 携帯端末向けマルチメディア放送とは	3
2-2 携帯端末向けマルチメディア放送の概要	4
2-2-1 VHF-High 帯マルチメディア放送	4
(1)マルチメディア放送の特徴	4
(2)技術的条件	7
2-2-2 VHF-Low 帯マルチメディア放送	15
(1)VHF-Low 帯マルチメディア放送の概要	15
(2)VHF-Low 帯マルチメディア放送の実証実験	15
2-3 携帯端末向けマルチメディア放送の普及状況	16
2-3-1 VHF-High 帯マルチメディア放送のサービス	16
2-3-2 契約者数	17
2-3-3 携帯端末向けマルチメディア放送の現状課題	18
(1)放送エリア内の充実に向けて	18
(2) 地下街等の閉鎖空間における受信ニーズ	18
(3)室内受信改善のニーズ	18

第3章 增	」下街等の閉鎖空間における情報伝達
-------	-------------------

3-1 地下街等の閉鎖空間における情報伝達の現状	19
3-1-1 放送分野	19
(1)AMラジオ	19
(2)FMラジオ	19
(3)地上デジタル放送(ワンセグ)	19

(4) マノ	レチメディア放送	19
3 - 1 - 2	通信分野	21
3 — 1 — 3	その他情報伝達分野	21
3-2 地1	F街等の閉鎖空間における情報伝達の課題	22
3 - 2 - 1	地下街等の閉鎖空間における情報伝達の課題	22
3-2-2	放送分野のシステム導入に向けての課題	23
(1)技術	析的課題	23
(2)整侦	#するための課題	23
3-2-3	通信分野のシステム導入に向けての課題	24
(1)技術	桁的課題	24
(2)整侦	備するための課題	24

第4章 実証試験

4-1 実証試験の目的 2	5
4-2 実証試験の概要	5
4-2-1 期間	5
(1)机上検討・ラボ試験2	5
(2)フィールド試験	5
4-2-2 実施場所	5
(1)机上検討・ラボ試験2	5
(2)フィールド試験	5
4-2-3 試験内容	8
(1) 地下街等の閉鎖空間における電波伝搬特性2	8
(2)地下街等の閉鎖空間における送信システム	8
4-2-4 システム構成、無線局の諸元及び設置状況 2	8
(1)システム構成2	8
(2)無線局の諸元と設置状況3	1
(3)受信点の受信特性	5
4-3 実証試験の結果 3	6
4-3-1 地下街等の閉鎖空間における電波伝搬特性 3	6
(1)VHF-High 帯の電波伝搬特性(基礎調査)3	6
1) ISDB-Tmm(マルチメディア放送信号)の基本特性試験	6
①机上検討3	6
②ラボ試験	7

2)	平面大地における電波伝搬特性	46
	①机上検討	46
	②ラボ試験	54
3)	地下街における電波伝搬特性	59
	①机上検討	59
	②ラボ試験	80
	③フィールド試験	84
4)	考察	100
(2)地	下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(特徴的な空間での伝搬調査)	107
1)	地下街特有の電波伝搬特性	107
	①机上検討	107
	②フィールド試験	115
2)	考察考察	134
4 – 3 – 2	地下街等の閉鎖空間における送信システム	138
(1)効	率的な送信設備及び送信方法...............................	138
1)	送信条件	138
	①机上検討	138
	②フィールド試験	139
2)	小型な再送信システム	152
	①机上検討	152
	②フィールド試験	152
3)	考察	159
(2)干	渉検討及び干渉回避手法	160
1)	SFN受信障害	160
	①机上検討	160
2)	マルチパス受信障害	160
	①机上検討	160
	②ラボ試験 	166
	③フィールド試験	174
3)	他の無線システムとの干渉	190
	①机上検討	190
	(2)フィールド試験	190
4)	考察	193
(3)施	工方法	195
1)	施工時の留意点	195
	①机上検討	195

②フィールド試験1	97
2)考察	201
(4) 地下街等の高雑音環境における受信機特性2	202
1)受信障害(雑音障害など)を受けた無線通信機器等	202
①机上検討2	202
2) 雑音源とされる機器・装置 2	202
①机上検討2	202
②ラボ試験2	203
③フィールド試験2	207
3)受信機特性	214
①フィールド試験2	214
4)考察	216

第5章 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の効率的な送信システム	4
の整備に向けて	
5-1 地下街等の閉鎖空間における送信システムの技術的条件 2	219
5-1-1-1 実証試験結果の概要2	219
(1)VHF-High 帯の電波伝搬特性(送信電力 100mW(33 セグメント))2	219
(2)地下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(特徴的な空間での伝搬調査) 2	220
(3) 効率的な送信設備及び送信方法2	221
(4) 干渉検討及び干渉回避手法2	222
(5)施工方法	222
(6) 地下街等の高雑音環境における受信機特性 2	222
5-1-2 地下街等の閉鎖空間における無線設備の技術的条件	224
(1)周波数帯域及び周波数偏差2	224
(2)占有周波数帯幅2	224
(3)空中線電力、空中線電力の許容偏差及び電波防護規定2	224
(4) スプリアス 2	224
(5)スペクトラムマスク 2	225
(6)所要電界強度	225
(7)同一チャンネル混信保護比2	225
(8)置局条件	225
(9)無線設備の機能及び構成2	225
(10)隣接システムとの干渉2	226
(11)他の無線システムとの干渉2	226

5 – 1 – 3 地下街等の閉鎖空間における安全と信頼性の技術的条件	227
5-1-4 課題等	227
(1)整備主体	227
(2)小型な再送信システム	227
5-2 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の導入に向けて	228
5-2-1 携帯端末向けマルチメディア放送の送信設備整備に向けて	228
(1)放送エリアとなる伝搬距離	228
(2)送信高	229
(3)送信アンテナと偏波面	229
(4)送信電力	229
(5)アンテナ間隔	230
(6)送信設備の整備	230
(7)法的規制	231
(8)小型な再送信システム	231
(9)地上への漏えい	231
(10)他の無線システムとの干渉	231
(11)受信高	231
5-2-2 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の導入に向けて	232

資料編

< A 1 >	地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の 効率的な送信システムに関する調査検討会 設置要綱	233
< A 2 >	地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の 効率的な送信システムに関する調査検討会 委員構成	235
< A 3 >	検討経過報告	236
< A 4 >	アンケート結果	238
< A 5 >	用語集	241

第1章

調査検討の概要

第1章 調査検討の概要

1-1 開催趣旨

アナログテレビ放送の跡地を利用した携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯) は、平成24年4月より東名阪及び九州・沖縄において放送が開始されており、札幌市及び 旭川市においても平成24年12月にサービスが開始された。

携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)は、移動受信を主な受信形態としている ことから、地下街等での利用も見込まれている。また、地下街等の閉鎖空間は、地上と異 なり電波的に情報入手が難しい環境にある。災害時における情報通信メディアの果たす役 割が重要視されているなか、携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)は、放送の特 徴から輻輳を生じることなく一斉同報ができるものであり、緊急時や災害時などの情報提 供ツールとしても有効であると考えられている。

その一方、携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)は、使用する周波数が従来の アナログテレビ放送のものであるため、その伝搬特性も含め、地下街等における受信につ いては今後の課題となっている。

札幌市は、積雪寒冷地にある大都市であるため、他都市と比べ地下街が生活空間として 非常に重要であり、大規模な地下街が整備されている。また、その利用者は年々増大して いる傾向にある。

このような背景を踏まえ、本調査検討会では、各分野の専門家のもと、地下街等の閉鎖 空間における携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)の良好な受信のために必要 な送信システムの技術的条件に関する調査検討を行う。

1-2 調査検討の目的

緊急時や災害時などにおける地下街等の閉鎖空間での情報提供ツールとしても有効であると考えられている携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)に関し、同空間における良好な受信環境確保のために必要な送信システムの技術的条件に関する調査検討を行う。

1-3 調査検討の背景

1-4 調査検討項目

1-3 調査検討の背景

平成24年4月より東名阪及び九州・沖縄において携帯端末向けマルチメディア放送のサービスが開始された。北海道では、平成24年12月から札幌市及び旭川市においてエリア拡大に伴いサービスが開始されたところである。

携帯端末向けマルチメディア放送は、外出先など移動受信ができるメディアとして地下 街等での利用も見込まれている。札幌市は積雪寒冷地であり、他都市と比べ地下街や地下 通路が生活空間として非常に重要な役割を果たしている。

携帯端末向けマルチメディア放送は、新しいメディアであるため、

- ・ 地下街等の高雑音環境下における受信劣化状況
- ・ 使用する周波数がVHF帯であることから、地下街等の閉鎖空間における伝搬特性が つまびらかではない。

このような背景を踏まえ、地下街等の閉鎖空間において携帯端末向けマルチメディア放 送を良好に受信するために必要な送信システムの技術的条件に関する調査検討を行う。

1-4 調査検討項目

- (1)地下街等の閉鎖空間における携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯) の電波伝搬特性
 - 1) VHF-High 帯の電波伝搬特性
 - 2)地下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(特徴的な空間での伝搬調査)
- (2) 地下街等の閉鎖空間における携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯) の送信システム
- 1) 効率的な送信設備及び送信方法
- 2) 干渉検討及び干渉回避手法
- 3)施工方法
- 4) 地下街等の高雑音環境における受信機特性

第2章

携帯端末向けマルチメディア放送

第2章 携帯端末向けマルチメディア放送

2-1 携帯端末向けマルチメディア放送とは

「マルチメディア放送」とは、平成23年7月24日(宮城県・岩手県・福島県では平成24年3 月31日)の地上テレビジョン放送のデジタル化により使用可能な周波数となった90~ 108MHz(1~3chに相当)及び207.5~222MHz(10~12chに相当)を使用して、主に移動体 端末に向けてサービスをする新しい放送メディアである。

平成19年6月の情報通信審議会で、VHF帯(90~108MHz、170~222MHz)はマルチメ ディア放送と自営通信(公共ブロードバンド)に割当てを行う方向性が示され、図2-1に示 すアナログ跡地の周波数再編に向けた検討が開始された。

平成20年7月のマルチメディア放送懇談会では、VHF-High帯(10~12ch)は全国向けに、 VHF-Low帯(1~3ch)は地域ブロック向けに割当てることが提言された。

図2-2にマルチメディア放送導入に向けた全体スケジュール(当初プラン)を示す。

なお、VHF-High 帯マルチメディア放送は、平成 24 年 4 月 1 日からサービスを開始して いる。



『「電波有効利用のための技術的条件」のうち「VHF/UHF 帯における電波の有効利用のための技術的条件」』より引用 (平成 19 年 6 月 総務省 情報通信審議会答申)

図 2-1 アナログ跡地の周波数再編

2-2 携帯端末向けマルチメディア放送の概要



図 2-2 マルチメディア放送導入に向けた全体スケジュール

2-2 携帯端末向けマルチメディア放送の概要

2-2-1 VHF-High 帯マルチメディア放送

(1) マルチメディア放送の特徴

VHF-High 帯マルチメディア放送は、「放送」サービスと「通信」サービスのそれ ぞれの特徴を生かし連携させた、新時代のメディアサービスである。ここでは、携帯 端末向けマルチメディア放送サービスの主な特徴について述べる。

- 1) 2つの放送スタイル
- ①リアルタイム型放送

放送中の番組をリアルタイムに視聴できるサービスである。 高画質・高品質な映像・コンテンツサービスをリアルタイムで楽しむことができる。 サービス例を図 2-3 に示す。

②蓄積型放送

見たい放送コンテンツが自動的に対応デバイス内に保存され、いつでもどこでもコ ンテンツを楽しむことができるサービスである。

映画やドラマだけでなく、マンガ・小説・音楽・ゲームなど、映像に限らずさまざ まな形式のサービスが利用できる。サービス例を図 2-4 に示す。



2) ハードウェア事業者とソフトウェア事業者の分離

VHF-High 帯マルチメディア放送では、さまざまな放送事業者が参入できるよう、 ハードウェア事業者とソフトウェア事業者を分離させた制度が採用されている。制度 の概要について、図 2-5 に示す。

ソフトウェア事業者は、番組やコンテンツの制作・編成を行い、ハードウェア事業 者へ番組やコンテンツの放送を委託する。

ハードウェア事業者は、マルチメディア放送用に割当てられた周波数(周波数帯: 207.5~222MHz、帯域幅:14.5MHz(33 セグメント))を使い、ソフトウェア事業者 からのコンテンツを日本全国に構築したマルチメディア放送送信所から放送する。



図 2-5 ハードウェア事業者とソフトウェア事業者

3) 衛星を利用した全国一斉配信

VHF-High 帯のマルチメディア放送は、番組やコンテンツを一旦放送センターにま とめ、中継回線として衛星を利用して全国のマルチメディア放送送信所に時間差を最 小限に抑えて配信している。

配信方法について、図 2-6 に示す。



4)災害に対するメディアとしての取り組み

VHF-High 帯マルチメディア放送は、大規模災害などが発生した際に、リアルタイム型放送と蓄積型放送のそれぞれの強みを活かし、様々な情報の配信を想定している。 災害発生時の対応例について、図 2-7 に示す。

例えば、通信回線の輻輳により回線が繋がりにくい状況になった場合でも、放送の 優位性を生かして、放送エリア内であれば、ユーザーに最新の情報を配信し続けるこ とができる。

また、ライブで配信すべき情報と、ユーザー端末に一時保存し繰り返し視聴するような利便性の高い情報(例えば一時避難場所の地図や、災害対策施設の情報など)と で切り分け配信することも可能となっている。

・放送の特徴として、輻輳を生じることなく一斉同報ができるため緊急速報に適している。
 ・リアルタイム型放送により災害番組や災害情報を提供。
 ・さらに、蓄積型放送によって、様々な災害情報を一斉同報し、蓄積後、視聴。



^{「『}NOTTV』紹介資料より引用

図 2-7 マルチメディア放送の特徴を生かした災害発生時の対応

5) 放送と通信の連携

放送と通信の連携により、放送受信を欠落した場合に通信を用いて補完することも できるほか、放送を受信しながら通信回線を活用し番組連携やメール、SNS なども楽 しむことができるなど、新たなサービスや楽しみ方ができる放送メディアとして期待 されている。

(2) 技術的条件

1) マルチメディア放送の技術的条件

携帯端末向けマルチメディア放送のISDB-Tmm方式の技術的条件については、無線 設備規則等で定められている。

①ISDB-Tmm方式の技術的条件

無線設備規則等で定められているISDB-Tmm方式を用いる携帯端末向けマルチメ ディア放送の技術的条件について表2-1に示す。

No	項目	内容		備考
1	周波数帯域	207.5~222MHz (14.5MHz)		
2	周波数許容偏差		1Hz	注1~3
3	占有周波数帯幅		14. 2MHz	
4	空中線電力	上限規定なし	(開設計画に基づき認定)	このほか電波防護規定を 満足する必要がある。
5	空中線電力の 許容偏差	上限 10% 下限 20%		
6	スプリアス	帯域外領域	1mW以下、かつ60dBc	1.68W以下の場合は100µW以下
0		スプリアス領域	1mW以下、かつ60dBc	42₩以下の場合は25µ₩以下
7	スペクトラムマスク	図2-8及び表2-2、表2-3		
8	所要電界強度	地上高4mにおいて61dB µ V/m(13セグメント) (33セグメントの値を参考で記載)		65dB µ V/m (33セク゛メント)
9	同一チャンネル混信 保護比		24. 8dB	

表2-1 マルチメディア放送の技術的条件の概要(ISDB-Tmm方式)

(注1) 電波の能率的な利用を著しく阻害するものではないと総務大臣が特に認めたもの 500Hz

(注2)他の放送局の放送番組を中継する方法のみによる放送を行うもの

(ア) 空中線電力が0.5Wを超えるもの 3kHz

(イ) 空中線電力が0.5W以下のもの 10kHz

- (ウ) 電波伝搬の特性上閉鎖的であり、かつ、狭小な区域を対象とし、空中線電力 が0.05W以下のもの(単一周波数ネットワークを構成しないものを除く) 20kHz
- (注3) 単一周波数ネットワーク(SFN)を構成する2以上の放送局にあっては、上記規定に よるほか、当該2以上の放送局間の周波数の相対的な偏差の値は10Hz以内とする。



図2-8 スペクトラムマスク(13セグメント/5.6MHzの例)

表 2-2 スペクトラムマスクのブレイクポイント(n≥13)

搬送波の周波数からの差 [MHz]	基本周波数の平均電力Pからの減衰量 [dB/10kHz]	規定の種類
$\pm (3 \times n/14 + 0.25/126)$	10 og(10/(6000/14×n))	上限
$\pm (3 \times n/14 + 0.25/126 + 1/14)$	-20+10 og(10/(6000/14×n))	上限
$\pm (3 \times n/14 + 0.25/126 + 3/14)$	-27+10 og(10/(6000/14×n))	上限
± (3×n/14+0.25/126+22/14)	-50+10 og(10/(6000/14×n))*1	上限

*1 空中線電力が 0.025×n/13W を超え 2.5×n/13W 以下の無線設備にあっては-(73.4+10logP) dB/10kHz、 空中線電力が 0.025×n/13W 以下の無線設備にあっては-57.4dB/10kHz とする。

(注1) 複数波同時増幅を行う無線設備の隣接チャンネル間については、上表にかかわらず、平均電力 Pからの減衰量10log(10/(6000/14×n)) [dB/10kHz] を上限とすることができる。

(注2) 搬送波の変調波スペクトルの許容値の規定範囲は、搬送波の周波数を中心として、
 ±(2.5×(6/14×n+38.48/1000)) [MHz] とする。

(注3) nは、デジタル放送の OFDM フレームに含まれる OFDM セグメントの数とする。

(注4)上表にかかわらず、202.5 [MHz]の周波数における空中線電力Pの上限は、表 2-3 に示すとおりとする。

空中線電力 [W/MHz]	202.5MHzにおける空中線電力の上限 [dBW/10kHz]
P>1,000/6	-62.4
1,000/6≧P>100/6	10 log (P) - 20 - 65
100/6≧P	-72.4

表2-3 202.5MHzにおける空中線電力の上限規定

ここで、Pは基本周波数の平均電力

②ISDB-Tmm方式の回線設計

情報通信審議会一部答申による ISDB·Tmm 方式の回線設計例を表 2-4 に示す。

	項目			携带端末受信(屋外)		
No	周波数(MHz)	화문	単位	215MHz		
NO	変調方式		412	QPSK	QPSK	<u>16QAM</u>
	外符号			1/2	2/3	1/2
1	所要 C/N(ESR5 of TU6 ch1)	C/N	dB	7.9	10.9	13.0
2	装置化劣化		dB	2	2	2
3	干渉マージン		dB	2	2	2
4	受信機所要 C/N	C/N	dB	11.9	14.9	17.0
5	受信機雑音指数	NF	dB	5	5	5
6	雑音帯域幅(1seg)	В	kHz	429	429	429
7	受信機熱雑音電力	Nr	dBm	-112.7	-112.7	-112.7
8	外来雑音電力	No	dBm	-118.3	-118.3	-118.3
9	全受信雑音電力	NT	dBm	-111.6	-111.6	-111.6
10	受信機入力終端電圧	Vin	dB μ V	9.1	12.1	14.2
11	受信アンテナ利得	Gr	dBd	-15.0	-15.0	-15.0
12	アンテナ実効長	λ/π	dB	-7.0	-7.0	-7.0
13	フィーダー損、機器挿入損	L	dB	—	_	—
14	最小電界	Emin	dB μ V/m	37.0	40.0	42.1
15	場所率補正(中央値変動補正)	L%	dB	4.8	4.8	4.8
16	壁の通過損(70%値)		dB	0.0	0.0	0.0
17	所要電界(h2=1.5m, 1seg)	E	dB μ V/m	41.8	44.8	46.9
18	h2=1.5m から 4m変換		dB	2.6	2.6	2.6
19			dB μ V/m	44.4	47.4	49.5
20	1セグメントから 13 セグメントへの換算		dB	11.1	11.1	11.1
21		E4	dB μ V/m	55.6	58.6	60.7

表 2-4 ISDB-Tmm 方式回線設計例

総務省情報通信審議会資料より抜粋(http://www.soumu.go.jp/main_content/000041358.pdf)

③ 周波数と ISDB-Tmm セグメント

ISDB-Tmm 方式のセグメントについては、全体が33セグメントで構成されており、 セグメントを分割して委託放送事業者が使用するという形態となっている。

- ・大規模枠事業者 1事業者(13セグメント)
- ・中規模枠事業者 1事業者(7~10 セグメント)
- ・小規模枠事業者 複数事業者(1~3セグメント)※最大6事業者
- ・ワンセグ事業者 7事業者

この事業者ごとに使用するセグメントをスーパーセグメントと言い、2つの13セグ メント形式と7つの1セグメント形式を連結して放送されている。

周波数とセグメントの概念を図 2-9 に、スーパーセグメントにおける中心周波数等 について表 2-5 に示す。



図 2-9 周波数とスーパーセグメントの概念

スーパー セグメント	周波数[MHz]	帯域幅	中心セグ メント番号	番組供給
タイプA(13 セグ)	210.4285714	5.6MHz	7	なし
タイプA(13 セグ)	216.0000000	5.6MHz	20	番組供給中
タイプB(1 セグ)	219.0000000	468kHz	27	なし
タイプB(1 セグ)	219.4285714	468kHz	28	なし
タイプB(1 セグ)	219.8571429	468kHz	29	なし
タイプB(1 セグ)	220.2857143	468kHz	30	なし
タイプB(1 セグ)	220.7142857	468kHz	31	なし
タイプB(1 セグ)	221.1428571	468kHz	32	なし
タイプB(1 セグ)	221.5714286	468kHz	33	なし

表 2-5 スーパーセグメントごとの中心周波数(平成 25 年 3 月現在)

④伝送パラメータ

1セグメント方式の伝送信号パラメータを表 2-6 に示す。

表 2-6 1 セグメント方式の伝送信号パラメータ(ARIB STD-B46 より抜粋)

	モード	Mode 1	Mode 2	Mode 3		
セ	グメント帯域幅		6000/14 = 428.57…kHz			
	井 400	Bws + Cs	Bws + Cs	Bws + Cs		
		= 432.5…kHz	= 430.5…kHz	= 429.5…kHz		
_	差動変調部 セグメント数		nd			
	同期変調部 セグメント数		ns (ns+nd=1)			
	キャリア間隔	Bws/108= 3.968…kHz	Bws/216= 1.984…kHz	Bws/432= 0.992…kHz		
	総数	108 + 1 = 109	216 + 1 = 217	432 + 1 = 433		
	データ	96	192	384		
+	SP	9 × ns	18 × ns	36 × ns		
ý	CP*1	nd+1	nd+1	nd+1		
と数	TMCC*2	ns+ 5 × nd	2 × ns + 10 × nd	4 × ns + 20 × nd		
	AC1*3	2	4	8		
	AC2*3	4 × nd	9 × nd	19 × nd		
+	ャリア変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK				
シ	ンボル数/フレーム	204				
(OFDM シンホ [・] ル)	204				
有効シンボル長		252 μs	504 <i>μ</i> s	1.008 ms		
		63 μ s(1/4),	126 μ s (1/4),	252 μ s (1/4),		
ガー	ドインターバル長	31.5 μ s(1/8),	63 μs(1/8),	126 μs(1/8),		
		$15.75 \mu \mathrm{s}(1/16),$	31.5 μ s (1/16),	63 μ s (1/16),		
		$7.875 \mu \mathrm{s}(1/32)$	15.75 μ s (1/32)	31.5 μ s (1/32)		
		64.26 ms (1/4),	128.52 ms(1/4),	257.04 ms (1/4),		
	フレーム長	57.834 ms (1/8),	115.668ms(1/8),	231.336 ms (1/8),		
		54.621 ms (1/16),	109.242 ms (1/16),	218.484 ms (1/16),		
		53.0145 ms (1/32)	106.029 ms (1/32)	212.058 ms (1/32)		
- FF I	サンノリンク 周波剱		64/63 = 1.0158···· MHz			
<u>ح</u>	周波数	セク	「メント内周波数インターリ	ーフ		
ンタ		I=0 (0 シンボル),	I=0 (0 シンボル),	I=0 (0 シンボル),		
Ę	時間	I=4 (380 シンボル),	I=2 (190 シンボル),	I=1 (95 シンボル),		
ڔؙ	101	I=8 (760 シンボル),	I=4 (380 シンボル),	I=2 (190 シンボル),		
		I=16 (1520 シンボル)	I=8 (760 シンボル)	I=4 (380 シンボル)		
	内符号*4	畳込み	み符号(1/2, 2/3, 3/4, 5/	6, 7/8)		
<u> </u>	ヾ゙イトインターリーフ゛ <u></u>	12 バイト毎の畳込みバイトインターリーブ				
	外符号	RS (204,188)				

*1: CP 数は、セグメント内の CP に加え、全帯域の上端に 1 本追加したものを含む。

*2: TMCC(Transmission and Multiplexing Configuration Control)は、制御情報を伝送するために挿入される。

*3: AC (Auxiliary Channel)は、付加情報を伝送するための信号であり、 AC1 はすべてのセグメントに同一数、AC2 は差動 セグメントにのみ挿入される。

*4: 内符号は、拘束長 7(状態数 64)、符号化率 1/2 のマザーコードをパンクチュアードした畳込み符号とする。

	モード	Mode 1	Mode 2	Mode 3			
0	FDM セグメント数		13 セグメント				
	₩ + 3 #2	Bws×Ns+Cs	Bws×Ns+Cs	Bws×Ns+Cs			
	市攻幅	= 5.575…MHz	= 5.573…MHz	= 5.572…MHz			
	差動変調部		nd				
	セグメント数		na				
	同期変調部		ns				
	セグメント数		(ns+nd=Ns)				
	キャリア間隔	Bws/108	Bws/216	Bws/432			
		= 3.968…kHz	= 1.984…kHz	= 0.992…kHz			
	総数	108×Ns + 1 = 1405	216 × Ns + 1 = 2809	432 × Ns + 1 = 5617			
+	データ	96 × Ns = 1248	192 × Ns = 2496	384 × Ns = 4992			
++	SP	9×ns	18 × ns	36 × ns			
リ	CP*1	nd + 1	nd + 1	nd + 1			
ア 数	TMCC*2	ns + 5 \times nd	2 × ns + 10 × nd	4 × ns + 20 × nd			
	AC1*3	2 × Ns= 26	4 × Ns= 52	8×Ns= 104			
	AC2*3	4 × nd 9 × nd 19 × nd					
1	Fャリア変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK					
シンボル数/フレーム		204					
	(OFDM シンホ [・] ル)	204					
	有効シンボル長	252 μs	504 μs	1.008 ms			
		63 μ s (1/4),	126 μ s (1/4),	252 μ s (1/4),			
ガ-	-ドインターバル長	31.5 μ s (1/8),	63 μ s (1/8),	126 μs(1/8)			
//		15.75 μ s (1/16),	31.5 μ s (1/16),	63 μ s(1/16),			
		7.875 μs(1/32)	15.75 μs(1/32)	31.5 μs(1/32)			
		64.26 ms (1/4),	128.52 ms (1/4),	257.04 ms (1/4),			
	フレーム長	57.834 ms (1/8),	115.668 ms (1/8),	231.336 ms (1/8),			
		54.621 ms (1/16),	109.242 ms (1/16),	218.464 ms (1/16),			
		53.0145 ms (1/32)	106.029 ms (1/32)	212.058 ms (1/32)			
FF	Tサンプリング周波数	2	2048/252 = 8.12698···· MH	łz			
	周波数	セグメント間は	およびセグメント内周波数	インターリーブ			
いい		I=0 (0 シンボル),	I=0 (0 シンボル),	I=0 (0 シンボル),			
Ĩ	中間	I=4 (380 シンボル),	I=2 (190 シンボル),	I=1 (95 シンボル),			
L-	14[日]	I=8 (760 シンボル),	I=4 (380 シンボル),	I=2 (190 シンボル),			
\$		I=16 (1520 シンボル)	I=8 (760 シンボル)	I=4 (380 シンボル)			
	内符号*4	畳込み	み符号 (1/2, 2/3, 3/4, 5/	6, 7/8)			
	バイトインターリーフ゛	12 バイ	ト毎の畳込みバイトインタ	ーリーブ			
	外符号		RS (204,188)				

13 セグメント方式の伝送信号パラメータを表 2-7 に示す。

表 2-7 13 セグメント方式の伝送信号パラメータ(ARIB STD-B46 より抜粋)

*1: CP 数は、セグメント内の CP に加え、全帯域の上端に 1本追加したものを含む。

*2: TMCC(Transmission and Multiplexing Configuration Control)は、制御情報を伝送するために挿入される。

*3: AC (Auxiliary Channel)は、付加情報を伝送するための信号であり、AC1 はすべてのセグメントに同一数、AC2 は差動 セグメントにのみ挿入される。

*4: 内符号は、拘束長 7(状態数 64)、符号化率 1/2のマザーコードをパンクチュアードした畳込み符号とする。

現在、放送に使用されているスーパーセグメントの OFDM 伝送パラメータについて、表 2-8 に示す。

表 2-8 OFDM 伝送パラメータ(平成 25年2月現在)

キャリア変調方式	16QAM
符号化率	1/2
ガードインターバル	$1/4(252\mu{ m sec})$

⑤所要電界強度

所要電界強度の値は、受信するセグメント数や受信アンテナの高さの違いによって 異なってくる。そこで、表 2-4 の回線設計例と表 2-8 の伝送パラメータをもとに整理 すると、所要電界強度の値は、表 2-9 のように示される。

表2-9 所要電界強度の換算例 (単位:dB µ V/m)

セグメント	地上高 1.5m	地上高 4m	備考(換算値)
33 セグメント	62. 1	64. 7	・受信高 1.5→4m : +2.6dB
13 セグメント	58.1	60. 7	・1 セグ→13 セグ :+11.1dB
1セグメント	46.9	49.5	・13 セグ→33 セグ : +4. 0dB

※回線設計例を参照し、小数点以下1桁で表示しているが、整数で取扱うこともある。

⑥映像と音声の規格

マルチメディア放送の映像と音声の規格について、表2-10に示す。

マルチメディア放送 項目 (参考)ワンセグ 映像規格 ITU-T H.264/MPEG-4 AVC ITU-T H.264 Maim(リアルタイム型放送)レヘ・ル3 映像プロファイル/レベル Baseline レヘル1.2 High(蓄積型放送)レヘル4.2 720×480(VGA+)(リアルタイム型放送) 映像画角 320 × 240 (QVGA) 1920×1080(1080HD)(蓄積型放送) 30フレーム/秒(リアルタイム型放送) 映像フレーム 15フレーム/秒 60フレーム/秒(蓄積型放送) 音声規格 HE-AACv2.Surround AAC+SBR(HE-AACv1相当)

表 2-10 マルチメディア放送の映像と音声の規格

2) マルチメディア放送の安全・信頼性に関する技術的条件

放送に係る安全・信頼性に関する技術的条件については、放送法施行規則等で携帯 端末向けマルチメディア放送の条件が定められている。

この放送に係る安全・信頼性に関する技術的条件については、放送の高い公共性と 重要な社会基盤として位置付けられている背景を鑑み、国民生活に必要な情報をあま ねく届け、災害や国民的な関心事に関する重要な情報を広範な国民に対して瞬時に伝 達できることから、その使命と機能を十分に発揮するとともに、地震などの災害時に おいても確実な放送が維持確保できるよう、平成23年6月に整備されたものである。

この制度では、地上デジタルテレビ放送、中波放送、超短波放送、コミュニティ放送、有線放送、マルチメディア放送など放送分野ごとに指定されており、放送法施行規則等で定められているマルチメディア放送の安全・信頼性に関する技術的条件について、表2-11に示す。

なお、放送局の送信設備の規定については、現在、大規模な放送局のみ制度化され ている。

			設備の分類	番組送出 設備	中継回線 設備	放送局 設	の送信 備
講じるべき措置 (大項目)		構成する機器の一例・		 ・送出マトリクス ・エンコーダ ・多重化装置 ・送出管理装置 	番組送出 設備から 放送送出	 ・基準信号発生装置 ・伝送路符号化装置 ・送信装置 ・空中線 等 	
		講じ	るべき措置(小項目)	・基準信号発生装置 等	設備間の 回線	大規模な 放送局 ^{※1}	小規模な 放送局 ^{※2}
(1)	予備機器等		予備機器の確保、切替	0	0	0	※ 3
		1	故障等を直ちに検出、運用者 へ通知	0	0	0	0
(2)	故障検出	2	やむを得ず①の措置を講ずる ことができない設備について、 故障等を速やかに検出、 運用者への通知	※ 4	※ 4	※ 4	0
(2)	試験機器及び 広刍復旧機材	1	試験機器の配備	0	O %7	0	0
(3)	の配備	2	応急復旧機材の配備	0	O %7	0	0
		1	設備据付けに関する地震対策	0	O %7	0	0
(4)	耐震対策	2	設備構成部品に関する 地震対策	0	O %7	0	0
		3	①,②に関する大規模地震対策	0	O %7	0	0
(5)		1	予備機器の機能確認	0	0	0	0
(5)	1茂 用印 1 記	2	電源供給状況の確認	0	0	0	0
(6)	停電対策	1	予備電源の確保	0	O %7	0	0
(6)		2	発電機の燃料の確保	0	O %7	0	0
(7)	送信空中線に 起因する 誘導対策		電磁誘導の防止	0	O %7	0	0
(8)	防火対策		火災への対策	0	O %7	0	0
(9)	屋外設備	1	空中線等への環境影響の防止	※ 5	O %7	0	0
(0)	座/100桶	2	公衆による接触の防止	※ 5	O %7	0	0
	放送設備を	1	建築物の強度	0	O %7	0	0
(10)	収容する	2	屋内設備の動作環境の維持	0	O %7	0	0
	建築物	3	立ち入りへの対策	0	O %7	0	0
(11)	耐雷対策		雷害への対策	0	O %7	0	0
(12)	宇宙線対策		宇宙線等への対策	※ 6	0	※ 6	※ 6
₩1	 ※1 放送用周波数使用計画(昭和六十三年十月一日郵政省告示第六百六十一号)の第7に定める、テレビジョン放送(地 上系(標準テレビジョン放送等のうちデジタル放送に関する送信の標準方式によるものに限る。))における親局及び中 継局に相当する空中線電力を使用する放送局 ※2 ※1 以外の放送局 						

表2-11 マルチメディア放送に係る安全・信頼性に関する措置と対象設備

放送の停止等の影響を及ぼす範囲が限定的であるため、経済合理性の観点から、措置を要さない。 $\times 3$

番組送出設備、放送番組を大規模な放送局へ送信するための中継回線設備、及び大規模な放送局に設置される送 **X**4 信設備は、放送の停止等の影響を及ぼす範囲が極めて大きく、特に重要な放送設備であるため、これらの設備につい ては、故障等を直ちに検出、運用者へ通知することが適当。

- Ж5 番組送出設備には、屋外設備は含まれないことから、措置を要さない。
- Ж6 番組送出設備、及び放送局の送信設備には、人工衛星は利用されないことから、措置を要さない。

Ж7 中継回線設備のうち、人工衛星に設置される放送設備については、措置を要さない。

<u>(注)「放送局の送信設備」の規定については、現在、大規模な放送局のみ制度化されている。</u>

2-2-2 VHF-Low帯マルチメディア放送

(1) VHF-Low帯マルチメディア放送の概要

VHF・Low帯マルチメディア放送は、地上テレビジョン放送のデジタル化により空いたVHF帯のうち、90~108MHz(18MHz幅)の周波数を使った新しい放送で、現在は、実用化に向けて全国各地で実証実験が進められている。

VHF-High帯マルチメディア放送は、全国向け放送として1つの周波数帯で放送する のに対して、VHF-Low帯マルチメディア放送は、地方向け放送として割り当てられて いる18MHz幅の周波数を分割使用し、都道府県域向け放送または、地方ブロック向け 放送が計画されているほか、周波数の有効利用により地域コミュニティ放送などの利 用も検討されている。

このVHF・Low帯マルチメディア放送の技術方式は、ISDB・TsB方式を採用している。

(2) VHF-Low帯マルチメディア放送の実証実験

総務省が平成23年11月22日に「VHF-Lowマルチメディア放送の実証実験」について の提案を募集し、表2-12のとおり現在全国7カ所で実験が進められている。

実験地域	実施主体
宮城県	宮城V-Lowマルチメディア放送実験協議会
福島県	福島V-Lowマルチメディア放送推進協議会
喜多方市	喜多方·会津地方V−Low実証実験協議会
前橋市	前橋防災デジタルコミュニティラジオ連絡会
逗子市·葉山町·鎌倉市	湘南防災デジタルコミュニティラジオ連絡会
大阪市・阪神電鉄沿線・加古川市	近畿V-Low実証実験協議会
福岡県	福岡V-Lowマルチメディア放送実験協議会

表2-12 VHF-Low帯マルチメディア放送実証実験一覧

総務省HPより転載

なお、東日本大震災を契機に地域での防災情報の確保と強化が重要視され、平成24 年2月20日にVHF-Low帯マルチメディア放送を活用して行う非常時の防災減災のため の情報提供、平時の地域情報提供及び関連の調査研究を行うとともに、その効率的推 進と将来展望を関係者が共有することを目的とした「V-Lowマルチメディア放送推進 全国協議会」が設立された。

2-3 携帯端末向けマルチメディア放送の普及状況

2-3-1 VHF-High帯マルチメディア放送のサービス

平成24年4月から、東名阪、広島、福岡、沖縄の一部においてサービスが開始され、北海 道においては、平成24年12月14日から札幌市を中心とした石狩、後志、空知、胆振及び日 高管内の約125万世帯及び旭川市を中心とした上川管内の約18万世帯を対象にサービスが 開始されている。

サービスの提供エリアについては、1つの送信所で広範囲な地域をカバーし、十分な品 質を効率良く得られる設備設計を行い、126局の送信所で全国をカバーする計画である。(図 2-10参照)

平成25年3月には、放送エリアも拡大し全国40局の送信所で30の都道府県でサービスが提供されている。図2-11及び表2-13に放送サービス提供状況と、サービス開始に向けた準備の進捗状況を示す。



No.	都道府県	送信所	進捗状況	No.	都道府県	送信所	進捗状況
1	東京	墨田	サービス提供中	21	広島	福山	サービス提供中
2	千葉	佐原	サービス提供中	22	宮城	仙台	サービス提供中
з	神奈川	横浜	サービス提供中	23	北海道	札幌	サービス提供中
4	愛知	名古屋	サービス提供中	24	北海道	旭川	サービス提供中
5	愛知	豊橋	サービス提供中	25	靜岡	浜松	サービス提供中
6	三重	津	サービス提供中	26	石川	金沢	サービス提供中
7	大阪	大阪	サービス提供中	27	岩手	盛岡	サービス提供中
8	京都	京都	サービス提供中	28	富山	富山	サービス提供中
9	兵庫	三木	サービス提供中	29	山梨	甲府	サービス提供中
10	広島	広島	サービス提供中	30	福島	福島	サービス提供中
11	福岡	福岡	サービス提供中	31	茨城	水戸	サービス提供中
12	福岡	北九州	サービス提供中	32	群馬	前橋	サービス提供中
13	沖縄	那覇	サービス提供中	33	栃木	宇都宮	サービス提供中
14	岡山	岡山	サービス提供中	34	神奈川	相模原	サービス提供中
15	広島	尾道	サービス提供中	35	長野	長野	サービス提供中
16	靜岡	静岡	サービス提供中	36	兵庫	神戸	サービス提供中
17	熊本	熊本	サービス提供中	37	愛媛	松山	サービス提供中
18	和歌山	和歌山	サービス提供中	38	高知	高知	試験電波発射中(2013年3月15日サービス開始予定)
19	兵庫	姫路	サービス提供中	39	長崎	長崎	試験電波発射中(2013年3月21日サービス開始予定)
20	神奈川	小田原	サービス提供中	40	鹿児島	鹿児島	試験電波発射中(2013年3月25日サービス開始予定)

表 2-13 放送サービス提供状況・進捗状況(送信所単位)

※2013年度内(末)に全都道府県で提供予定。

株式会社ジャパン・モバイルキャスティング HP より転載

※2013年2月28日時点のモバキャスサービス展開予定です。対象送信所や時期は変更になる場合があります。

2-3-2 契約者数

携帯端末向けマルチメディア放送は、平成25年1月に全国で50万契約を突破し、順調に契約数が伸びている。契約者数推移を図2-12に示す。



NOTTV契約者数推移

株式会社 mmbiHP より転載

図2-12 携帯端末向けマルチメディア放送の契約者数推移

2-3-3 携帯端末向けマルチメディア放送の現状課題

(1) 放送エリア内の充実に向けて

現在、放送の全国サービスに向けて、事業者によって急ピッチに送信所の建設が進 められている。

この放送エリア拡大と合わせて、放送エリア内の移動受信環境を充実する検討が進められており、その対策として小規模な電力(例えば 75W 以下)のギャップフィラー 設備の導入などが考えられている。

(2) 地下街等の閉鎖空間における受信ニーズ

携帯端末向けマルチメディア放送の特徴として、通信による放送補完を行う技術は あるものの、地下街等の閉鎖空間では地上と異なり全く受信することができない。

災害時等における情報通信メディアの果たす役割について昨今重要視されている中、 携帯端末向け VHF-High 帯マルチメディア放送の緊急時や災害時などの情報提供の有 効性から、閉鎖空間における放送サービスの提供についても期待されている。

(3) 室内受信改善のニーズ

住宅や店舗、マンションなどの建物内であっても、浴室や寝室など建物の奥(特に 鉄筋コンクリートの場合)では受信できなくなるケースも多々存在している。

事業者等が行ったユーザーアンケートによると、室内受信について改善を求められ ており、マルチメディア放送の普及に伴い、建物内等の受信改善は一層求められてい くものと考えられている。(図 2-13 参照)

このようなユーザーニーズに応えるため、事業者では外部接続アンテナの無料配布 を行い対応を進めているが、端末の移動性を考慮した屋内受信環境の改善に向けて、 今後一層の技術的検討が求められている。



図2-13 ユーザーアンケート結果*1

 ※1:対象地区:東京、愛知、大阪、京都、奈良 N=5,693、調査期間:平成 24 年 5 月~8 月 (マルチメデ・47放送関連事業者実施)

第3章

地下街等の閉鎖空間における情報伝達

第3章 地下街等の閉鎖空間における情報伝達

3-1 地下街等の閉鎖空間における情報伝達の現状

3-1-1 放送分野

(1)AMラジオ

地下街などの閉鎖空間のほかに地下鉄構内及び車両内、病院建物内、国道、高速道路、道路トンネル等、AMラジオが聞こえない、または聞こえにくい場所にAM再送信システムが設置されている。

再送信システムとしては、主に誘導線方式または漏えい同軸ケーブル(LCX)方式の2つの方式が採用されている。

また、ハイウェイラジオ(1,620kHz)では、道路交通情報を提供しているほか、道路トンネル内においては、AMラジオ放送の番組に割り込み、緊急時や災害時の避難 情報を提供する仕組みが設けられている。

(2) FMラジオ

地下街などの閉鎖空間への設置については、東名阪の主要な地下街数カ所では再送 信システムが導入されている。それ以外の地下街ではFM放送は提供されていない。

また、高速道路トンネル等にもFM再送信装置が設置されている。

再送信方式としては、漏えい同軸ケーブル(LCX)方式あるいはアンテナ方式の2つの方式が採用されている。

(3) 地上デジタル放送(ワンセグ)

地下街などの閉鎖空間への設置については、東名阪の主要な地下街数カ所では再送 信システムが導入されている。それ以外の地下街では地上デジタル放送(ワンセグ) は提供されていないが、ワンセグは外出先でも番組受信できるため、導入を期待する 声も高い。

また、地下街以外の地下鉄などには導入例がない。

再送信方式としては、UHF帯の電波を再送信することから、アンテナ方式が採用されている。

このほか、平成24年4月からエリア放送と呼ばれる、UHF帯のテレビホワイトスペースを活用して、放送局以外の独自の番組を放送することができるようになったが、テレビホワイトスペースを2次業務として使用するため、地上デジタル放送に影響を与えない技術的条件により、広範囲に放送することが難しいシステムである。

(4) マルチメディア放送

地下街などの閉鎖空間について、マルチメディア放送の再送信システムの導入例は ない。 表3-1に、地下街等の閉鎖空間における放送分野のシステム導入状況を示す。

区分	地下街	地下鉄	その他
AMラジオ	 ・八重洲地下街 ・川崎アゼリア ・京都市御池(オイケ)地下街 ・横浜ダイヤモンド ・広島地下街シャレオ 他 	 ・都営大江戸線 ・都営三田線 ・都営浅草線 ・都営新宿線 ・相模鉄道湘南台駅 他 	JH高速道トンネル、首都高トンネ ル、国道トンネルなどの道路トンネル その他、競技場(国技館、札幌 ドーム、名古屋トニーム)、病院・福 祉施設等にも導入されている
FMラジオ	 ・品川インターシティー地下 ・八重洲地下街 ・川崎アゼリア ・大阪ホワイティうめだ ・大阪なんばウォーク ・名古屋エスカ ・大阪NAMBAなんなん ・大阪あべちか 	導入例なし	JH高速道トンネル、首都高トンネ ル、国道トンネルなどの道路トンネル
地上デジタル 放送	 ・八重洲地下街 ・川崎アゼリア ・大阪ホワイティうめだ ・大阪なんばウォーク ・名古屋エスカ ・大阪NAMBAなんなん ・大阪あべちか 	導入例なし (実証実験のみ)	東京証券取引所など建物内へ の再送信システム導入事例も あり
マルチメディア 放送	導入例なし	導入例なし	導入例なし

表3-1 地下街等の閉鎖空間における放送分野のシステム導入状況

なお、東名阪の主要地下街では、社団法人デジタルラジオ推進協会が主体となり、 AMラジオ、FMラジオ、地上デジタル放送の再送信システムを整備している。これ は、首都直下型地震や東海地震等の災害対策に向けてモデル的に導入したものである。

このほかに、「臨時災害放送局」というものがありFM放送の電波を使用し、災害 発生後、被災者への支援及び救援活動等の円滑な実施を確保するための番組を放送す るものである。

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災では、最大時で 29 局が開設運用し現在も 20 局が運用を続けている。

この「臨時災害放送局」は、阪神・淡路大震災の経験等を踏まえて、平成7年2月に 制度化され、「暴風、豪雨、洪水、地震、大規模な火事その他による災害が発生した 場合に、その被害を軽減するために役立つ」放送を、地方公共団体等が住民向けに情 報を提供するために開設できる放送局となっている。
3-1-2 通信分野

電波遮へい空間への携帯電話の小型基地局の設置については、携帯電話の利用可能な生 活空間の拡大を目的とした電波遮へい事業により、整備が進められ、全国の道路トンネル や地下街、地下駅などのほとんどの場所で整備されている。整備実績を表3-2に示す。

最近は、公衆無線LANやWiMAX、LTEなど高速通信向けの小型基地局についても、地下 街などの電波遮へい空間への設置も進んでいる。

通信分野においては、UHF帯以上の高い周波数を使っていることもあり、アンテナ方式が 採用されるケースが多い。

整備箇所数	整備率
658	100%
79	98.80%
482	93.20%
232	87.90%
86	97.70%
	整備箇所数 658 79 482 232 86

表3-2 電波遮へい対策事業等によるトンネル整備実績(平成6年度~平成20年度)

※総務省 携帯電話エリア整備推進検討会資料(http://www.soumu.go.jp/main_content/000065870.pdf)より抜粋

3-1-3 その他情報伝達分野

放送や通信分野以外に、地下街施設に整備されているものとしては、次のようなものが 挙げられる。

- 避難誘導灯
- 地下街館内放送(防災放送、非常放送)
- ・緊急地震速報
- ・総合案内所(インフォメーション)
- ·電光掲示板
- ・デジタルサイネージ

3-2 地下街等の閉鎖空間における情報伝達の課題

3-2-1 地下街等の閉鎖空間における情報伝達の課題

地下街等の閉鎖空間は、地下街店舗の利用者のほか、オフィスビル、地下駐車場などと の接続による歩行者など、1日に数千人から数万人という多くの利用者が行き交う地下都 市空間となっている。

このような多数の利用者が行き交う地下街において、災害等が発生した場合における情報伝達の手段としては、地下街等に整備されている緊急地震速報などを活用した館内防災 放送を中心に情報が伝達され、続いて地下街施設管理者、警備員、テナント従業員等によ る連絡・連携によりマニュアルに定められた避難誘導などがある。

これは施設管理者側で行われる情報伝達であるが、このほか、地下街の利用者側が情報 を入手できる手段としては、携帯電話やラジオ放送などが考えられるが、現状の課題とし て考えられるものを表3-3に示す。

No	情報伝達手段	メリット	デメリット
1	館内放送	 一度に大勢の利用者に情報伝達が 可能 パニック防止に有効 	・個々の事情に対する情報提供は 難しい ・設備故障した際には情報が届け られない
2	係員等人による誘導	・地下街の避難口等地下街の位置関 係を把握した者による適切な誘導 が可能	 一度に大勢の利用者に伝達する 場合は、係員の人数が大勢必要 ・係員間の情報伝達ツールがない と十分な対応ができない
3	放送メディアからの 情報入手 (プッシュ型)	 ・総合的で正確な情報をリアルタイムで入手できる ・情報更新や地域情報に迅速に対応できる ・緊急警報放送、緊急地震速報の情報伝達が受信者に可能 	・地下街等で再送信システムがな ければ、放送メディアの情報は 入手できない ・利用者が受信機を持っていない と情報は入手できない
4	通信からの情報入手 (プル型)	 ・知りたい情報を入手することができる ・家族、知人、仲間などとの情報共有、情報交換することができる 	 ・災害時に回線の輻輳により、通信ができなくなる可能性がある ・正確な情報を入手できる操作が必要 ・個人情報の扱いに配慮が必要

表3-3 地下街等における情報伝達の課題

3-2-2 放送分野のシステム導入に向けての課題

(1) 技術的課題

地下街等の閉鎖空間では、地上空間と異なり地下街での放送メディアを受信するに は、そのための再送信システムを整備する必要である。

また、放送メディアもAMラジオ、FMラジオ、地上デジタルテレビ放送、マルチ メディア放送などのメディアがあり、それぞれ電波を使用して情報伝達をしているが、 周波数が異なるため技術的な課題がある。考えられる課題について、表**3-4**に整理した。

表3-4	放送再送信システムの技術的課題
10 1	水ど行どにノハノニット的日本区

No	放送メディア	課題等
1	AMラジオ	 ・誘導線またはLCX(漏えい同軸ケーブル)を放送が必要な範囲まで張り 巡らすため、大規模な設備整備となる ・雑音の影響を受け、高圧受電設備等受信できない場所が発生してしまう
2	FMラジオ	 ・アンテナ方式の場合、アナログ方式により伝送するため、相互間で混信が発生しやすく、専門的な技術が必要である ・LCX方式の場合、AMラジオと同様に放送が必要な範囲まで張り巡らすため、大規模な設備整備となる
3	地上デジタル テレビ放送	・きめ細かく放送サービスを行うためには、微小電力で数多くの送信地点 を設ける必要がある
4	共通事項	 ・地上への漏えいを抑制する設計が必要(混信防止) ・地下街の美観を損ねないアンテナ設備設置が必要

(2) 整備するための課題

・整備主体及び設備費の負担

再送信する設備の整備主体について、誰になるか、経費負担は誰がするのか、が 大きな課題となっている。

地下街の広範囲エリアに対して設備導入する場合は、数千万円程度の設備が必要 になることから、費用負担を地下街会社だけとなる場合には大きな負担となる。(設 備工事は日中できないため夜間作業となり工事費増に)

·法制度面

FMラジオについては、現行制度では放送事業者しか免許できないが、AMラジオ(高周波利用設備)や地上デジタルテレビ放送(受信障害を対策する中継する放送局)は、放送事業者以外の者でも設備整備することができる。

地デジについては、ワンセグしか再送信しない場合には、設備経費も低減可能と 思われるが、現行制度では元の信号を加工して伝送することができないため、課題 である。

3-2-3 通信分野のシステム導入に向けての課題

(1) 技術的課題

地下街等の閉鎖空間について、通信分野では既に100%に近い整備率となっているが、 通信分野のシステムは数年で新しい方式に変わるため、それらのシステムに適合する 設備整備を行う必要がある。

(2) 整備するための課題

通信分野の設備整備のスキームは、既に成熟しており事業者が主体となって整備す ることになっているため大きな課題はないが、設備整備のためには地下街等施設管理 者の協力が必要不可欠である。

第4章 実証試験

第4章 実証試験

4-1 実証試験の目的

携帯端末向けマルチメディア放送(VHF・High帯)は、移動受信を主な受信形態としている ことから、地下街等での利用も見込まれている。また、地下街等の閉鎖空間は、地上と異 なり情報入手が難しい環境にあり、緊急時や災害時などの情報提供ツールとしても有効で あると考えられているが、使用する周波数が従来のアナログテレビ放送で使用していた VHF-High帯であるため、その伝搬特性も含め、地下街等における受信については今後の 課題となっている。

実証試験では、データ取得のための実験システムを構築し、机上検討、ラボ試験、フィ ールド試験を通じて技術的な各種データを取得する。

また、机上検討及びラボ試験で取得したデータとフィールド試験で取得したデータを比 較検討することによって、机上検討及びラボ試験の妥当性を検証し、実フィールドへ適用 する場合の留意点を検討する。

4-2 実証試験の概要

- 4-2-1 期間
- (1)机上検討・ラボ試験

平成24年9月10日から平成24年12月23日まで

(2)フィールド試験

平成24年12月11日から平成25年2月21日まで

4-2-2 実施場所

- (1) 机上検討・ラボ試験
 - ・東京都渋谷区神南1-4-1 (株)NHKアイテック・本社
 - ・北海道札幌市白石区東札幌6条4丁目1-11 (株)NHKアイテック・北海道支社
- (2) フィールド試験
 - ・札幌市 さっぽろ地下街オーロラタウン

さっぽろ地下街オーロラタウンは、約300mの均一構造の直線通路があり、長距離方 向の伝搬特性が検証できる。また、天井形状も地上への開口面がなく一般的な構造で あるほか、地下街交差点により分岐路の検証、両側には店舗が連なっていることから 夜間や昼間の変化検証など、閉鎖空間における各種の電波伝搬特性を把握するために、 最も適しているフィールドであることから選定した。

札幌駅及び大通駅周辺の地下空間について、図4-1(1)(2)に示す。





図4-1(2) フィールド試験実施場所(オーロラタウン)の概要

(参考) 札幌市内の地下街について

札幌は世界的にも稀な積雪都市で、札幌オリンピックを契機に快適性や安全性、交 通環境の向上を目的として札幌駅及び大通駅周辺を中心に地下街や地下通路が建設さ れ、現在までに全国有数の地下都市空間が形成された。札幌駅及び大通駅周辺の地下 街の面積について、表4-1に示す。

また、主な地下街及び周辺のビルには地下駐車場が併設されており、各地下駐車場 間を通行可能にして利便性を高めているところもある。

i. さっぽろ地下街(オーロラタウン、ポールタウン)

大通駅を中心に、東西に走るオーロラタウンと南北に走るポールタウンの2つの ストリートで構成され、1971年11月に開通。現在、1日の利用者が15万人以上を数 える全国有数の地下街である。

ii. 札幌駅地下街(JRタワースクエアの地下街)

JRタワースクエアは、札幌駅JRタワーを中心に建設された複合商業施設で、アピア・エスタ・パセオ・ステラプレイスの4つのゾーンに分かれており、地下には地下街が形成されている。

iii. 札幌市営地下鉄コンコース

札幌市営地下鉄の改札外の路線間を結ぶ歩行通路で、さっぽろ駅・大通駅・すす きの駅・バスセンター前駅にある。

iv. 札幌駅前通地下歩行空間

札幌駅と大通駅を結ぶ、全長約520m(国道約160m含む)、標準幅20mの地下歩 道で、2011年3月12日に開通した。

札幌駅前通地下歩行空間開通1年後、札幌駅前通りの歩行者通行量は、開通前と 比較して、平日で3倍、休日で約2倍に増加し、このうち約8割以上が地下歩行空 間を利用している^{*1}。

※1:札幌市HP「札幌駅前通地下歩行空間の開通から1年後の歩行者通行量と利用状況」より

地下街名	面積(m)
さっぽろ地下街オーロラタウン	33, 645. 6
さっぽろ地下街ポールタウン	14, 230. 4
札幌駅アピア地下街	49, 900. 0
札幌駅パセオ地下街	3, 864. 0

表 4-1 札幌地下街の面積

4-2-3 試験内容

(1)地下街等の閉鎖空間における電波伝搬特性

- 1) VHF-High帯の電波伝搬特性(基礎調査)
- 2)地下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(特徴的な空間での伝搬調査)

(2) 地下街等の閉鎖空間における送信システム

- 1) 効率的な送信設備及び送信方法
- 2) 干渉検討及び干渉回避手法
- 3)施工方法
- 4) 地下街等の高雑音環境における受信機特性

4-2-4 システム構成、無線局の諸元及び設置状況

(1) システム構成

フィールド試験の送信系統について、測定のメインとなるオーロラタウンの基本送 信系統を図4-2に、店舗内など小エリアを対象とする小型な再送信システムの送信系統 を図4-3にそれぞれ示す。また、図4-2に対応した機器類を図4-4に、図4-3に対応した 機器類を図4-5に示す。



図 4-2 フィールド試験における基本送信系統



図 4-3 小型な再送信システムの送信系統



(1) 受信装置の外観とその内部



(2) 送信機 1/送信機 2 の外観とその内部



(3) ISDB-Tmm 信号発生器 (MS2690A)



[33seg(14.2MHz)のスペクトラム波形]

(4) 入力信号波形

図 4-4 受信装置と送信機及び信号発生器





(2) 実験用 BPF



(3)ブースター(送信部)



(4) 出力 ATT



(5) 受信アンテナ



(6) 送信アンテナ

(2) 無線局の諸元と設置状況

無線局の主な諸元を表4-2に、オーロラタウンの天井に設置した送信アンテナ及び小型な再送信システムの送信アンテナの諸元を図4-6(1)~(3)に、送信アンテナの形状及び設置状況を図4-7と図4-8に、それぞれ示す。

水平偏波の送信アンテナについて、主ビームがオーロラタウンのメイン通路を向くように設置する。

送信点位置から見たパノラマ写真を図4-9に示す。

送信諸元				
無線局	周波数等	最大送信電力	信号源	偏波
実験試験局1 ・ 実験試験局2	14M2 X7W 214.714286	100mW	信号発生器 または 放送波	水平(H偏波) •
実験試験局3	MHz	20mW	放送波	亜直(Ⅵ偏波)

表 4-2 無線局の主な諸元



図 4-6(1) 送信アンテナ(水平偏波)の諸元(公表値または標準値)



図 4-6(2) 送信アンテナ(垂直偏波)の諸元(公表値または標準値)



図 4-6(3) 送信アンテナ(小型な再送信システム)の諸元(公表値または標準値)



(1) 送信アンテナ (水平偏波)



(2) 送信アンテナ (垂直偏波)



(3) 地下街での取り付け状況(送信1)

(4) 地下街での取り付け状況(送信2)

平偏波)

送信アンテナ (垂直偏波)

図 4-7 送信アンテナの形状と設置状況



図 4-8 送信アンテナ(小型な再送信システム)の形状と設置状況





図 4-9 送信点位置から見たパノラマ写真

(3) 受信点の受信特性

(3)

コンスタレーションと MER 特性

受信アンテナ設置状況と放送波の受信特性について、図4-10に示す。

放送波を地下街で再送信するため、8素子八木アンテナを屋外に設置し、地下街に 同軸ケーブルで引き込んでいる。受信点位置は高層ビル群に囲まれ、地上3m高である ため、親局(手稲山送信所)方向は見通し外となっている。

測定された帯域電力は、33セグメントで-34.3dBm、13セグメントで-37.4dBmであ る。13セグメントの総合MERは27.3dBで、遅延プロファイル特性からもわかるとおり、 遅延時間が20μs以内のマルチパスが多く存在し、特に約2.6μs (D/U=約6dB)のマル チパスが強い。



図 4-10 受信アンテナ設置状況と放送波の受信特性(夜間測定)

遅延プロファイル特性

(4)

4-3 実証試験の結果

4-3-1 地下街等の閉鎖空間における電波伝搬特性

(1) VHF-High 帯の電波伝搬特性(基礎調査)

1) ISDB-Tmm (マルチメディア放送信号)の基本特性試験

①机上検討

ア. ISDB-Tmm信号形式

ISDB-Tmm信号のスペクトラムイメージを図4-11に示す。

ISDB-Tmm信号の形式は、13セグメント形式のスーパーセグメント1、2と1セグ メント形式が7つあるスーパーセグメント3の計33セグメントで構成され、キャリア 総数は14,257本(地デジ放送では5,617本)で、キャリア間隔0.992kHzとなっている。

セグメント単位のキャリア本数は432本なので、帯域上限にCP(コンティニアルパロット)を1本加え、ISDB・Tmm信号のキャリア数は432×33+1=14,257本となる。

マルチメディア放送波周波数帯域は 207.5~222MHzで、中心周波数は 214.714286MHz(以下、214.714MHz)である。



図 4-11 ISDB-Tmm 信号のスペクトラムイメージ

イ. ISDB-Tmm信号のセグメント電力

マルチパスの影響を受けない状態のOFDM信号は、平坦なスペクトラム波形となる。ここでは、この平坦なスペクトラム波形をフラット特性と呼ぶこととする。

フラット特性での受信電力は、測定するセグメント数(周波数帯域幅の比率と等価)の違いを電力で示すことと等価で、まとめたものを表4-3に示す。ここで、13セグメントを基準にすると、33セグメントの電力は、10·log₁₀(33/13) = 4.0 dB となる。

表4-3 OFDM信号のセグメント電力の比較

豆 八	セグメント比較			
	1セグメント	13セグメント	33セグメント	
占有周波数帯域幅	468kHz	5.6MHz	14.2MHz	
電力比〔1セグ基準〕	0dB	+11.1dB	+15.2dB	
〃〔13セグ基準〕	—11.1dB	0dB	+4.0dB	
〃〔33セグ基準〕	—15.2dB	-4.0dB	0dB	

②ラボ試験

実験室において ISDB-Tmm 信号発生器を用いてラボ試験を実施した。

ア. 試験構成

ラボ試験の基本となる信号を3系統に分配及び合成する測定系統を図4-12に示す。 ここで、ATT1とATT2により遅延が生じるため、系統①ライン(直接波を想定)に 補償用同軸ケーブルL3(約2.1m)を挿入し、合成器出力で系統①~③の信号位相をそ ろえている。



図 4-12 基本となる測定回路構成

使用する測定機器類について、表 4-4 と図 4-13 に示す。

表 4-4 測定機器類

測定器	メーカ	型名	備考
っぺっトラ / マナライザ	アンリツ (株)	MS2690A	ISDB-Tmm SG付き
XN9FJA7 J J1 J	ローデ・シュワルツ	ETL	TG付き
可変アッタネータ	(株)多摩川電子	TRA-110	DC~1GHz、75Ω,0.5W
分配器·合成器	日本アンテナ(株)	CD-4W	75Ω系 4分配器を使用
同軸ケーブル	日本アンテナ(株)	S-5C-FB	75Ω系

測定の際、ISDB-Tmm 信号は、スペクトラムアナライザ(以下、スペアナ) (MS2690A) に内蔵されている波形パターンのうち、図 4-11 に示す信号を用いる。



図 4-13 主な測定機器

イ. 試験内容

(ア) ATT1とATT2の遅延調整

測定に要する同軸ケーブルL1、L2の長さを同じにしても、可変ATTで遅延が生 じる。そこで、トラッキングジェネレータ(以下、TG: Tracking Generator)測 定によりATT1とATT2の遅延時間 τ を求め、補償用ケーブルL3の長さを決定し、遅 延調整を行う。

(イ) 合成器出力における信号レベル

ATTの遅延時間相当の補償用同軸ケーブルL3(約2.1m)を系統①に挿入し、ATT1 とATT2を可変させてTG測定を行い、合成器出力における信号レベルを測定する。

(ウ) フラット特性試験

スペアナ(MS2690A)からのISDB-Tmm信号のレベルを変化させて、33セグメ ント帯域、13セグメント帯域、1セグメント帯域、それぞれの端子電圧と変調誤差 比(以下、MER: Modulation Error Ratio)の変化を測定する。

マルチメディア放送波帯域の中心周波数は214.714MHzであるが、さらに中心周 波数をずらした1セグメント(215.572MHz)も測定する。

測定系統は、図4-12に示した基本となる測定系統をもとに、図4-14に示す系統②のATT1を変化させて測定する。



図 4-14 フラット特性の測定系統

(エ) マルチパス特性試験

ISDB-Tmm 信号を2系統に分配し、系統③に同軸ケーブル(L τ :約140m, τ =0.585 μ s)を利用して遅延を発生させ、各種特性(周波数特性、端子電圧)を把握する試験を行う。

測定系統は、図 4-15 に示すとおり ATT1 の系統②を希望波とし、ATT2 の系統③ をマルチパス波系統として構成する。



図 4-15 マルチパス特性の測定系統

ウ. 試験結果

(ア) ATT1とATT2の遅延調整

L3を挿入しないときのATT1とATT2により遅延が発生している状況を図4-16に示す。

ここで、ATT1とATT2の遅延によるリップル周期 Δf は114.0MHzであり、遅延時間 τ は両ATTともに0.00877 μ sであった。

したがって、直接波を0.00877 μ sだけ補償用ケーブルL3 (約2.1m)を挿入して遅延させると、合成器出力では3系統の信号が同相で加わることになる。

補償後のTG測定した周波数特性について、図4-17に示す。

なお、図4-16と図4-17の横軸周波数は、0~1,000MHzである。

• $\tau = 1/\Delta f = 1/(114 \times 10^6) = 0.00877 \mu s$



・ L3 = τ×光速×波長短縮率 = 0.00877×300×0.8 ≒ 2.1m





図 4-17 L3 を挿入したときの系統①と系統②(系統③)の TG 測定波形

(イ) 合成器出力における信号レベル

ATT の遅延時間相当の補償用同軸ケーブルL3 (約 2.1m)を系統①に挿入し、ATT1 と ATT2 を可変させて TG 測定してとりまとめた結果を表 4-5 に示す。

理論的には、1 波から 2 波の同相合成では 6.02dB、1 波から 3 波では 9.54dB の 上昇となる。測定結果では、理論値と約 0.3dB の差異にとどまったことから、補償 用ケーブルによって本測定系の合成器出力では、ほぼ同相合成になっていると見な すことができる。

表 4-5 合成器出力における信号の合成状況

波数	ATT1 (dB)	ATT2 (dB)	マーカーレベル (dB µ V)	1波に対する 偏差 (dB)	理論値 (dB)	理論値に対する 偏差 (dB)
3波	0	0	71.03	9.27	9.54	-0.27
0.itt	70	0	67.45	5.69	6.02	-0.33
2 波	0	70	67.54	5.78	6.02	-0.24
1波	70	70	61.76	0.00	-	—

(ウ) フラット特性試験

ATT1 を変化させ、それぞれの帯域の端子電圧を測定した結果について、図 4-18 に示す。

ここで、凡例は次の意味である。

・fo 14.14M ・・・・ 33 セグメント帯域(中心周波数: 214.714MHz)
・fo 5.57M ・・・・ 13 セグメント帯域(中心周波数: 214.714MHz)
・fo 429k ・・・・ 1 セグメント帯域(中心周波数: 214.714MHz)
・shift 429k ・・・・ 1 セグメント帯域(中心周波数: 215.572MHz)



図 4-18 フラット特性の測定結果

図 4-18 より、ATT1 の変化に対応して、各帯域の端子電圧が直線的に変化してい るのがわかる。また、遅延波が加わっていないために帯域特性がフラットであり、 1 セグメント帯域では中心周波数をずらしても同じ測定結果が得られている。 セグメント帯域と端子電圧(電力)の関係は、以下の帯域換算計算で求められる。

- ・33 セグメント→1 セグメント: 10×log(14.14MHz/429kHz) = 15.2dB
- ・33 セグメント→13 セグメント: 10 × log(14.14MHz/5.57MHz) = 4.0dB
- ・13 セグメント→ 1 セグメント: 10 × log(5.57MHz/429kHz) = 11.1dB

図 4-18 に示した測定された電力の差分平均値は、33 セグメント→1 セグメント は 15.1dB、33 セグメント→13 セグメントは 4.0dB、13 セグメント→1 セグメン トは 11.1dB であった。フラットな帯域特性では、ほぼ理論値どおりの結果が得ら れている。



フラット特性の測定波形例(ATT1:10dBの場合)を図 4-19 に示す。

図 4-19 フラット特性の測定波形例(ATT1:10dBの場合)

次に、ATT1 を変化させ、33 セグメント帯域の端子電圧と、フラット特性の各セ グメント帯域の MER を測定した結果を図 4-20 に示す。図 4-20 の凡例は次の意味 である。



図 4-20 フラット特性における端子電圧と MER の関係

図 4-20 より、33 セグメント端子電圧が 40dB μ V以上のレベルにおいて、セグメントによる MER の相違はなく、1:1の関係になっている。ただし、40dB μ V以下では、若干のバラツキが見られた。

(エ) マルチパス特性試験

遅延用ケーブルでは遅延とともに減衰があるため、ATT1とATT2を調整して、 合成器出力で同一レベル (D/U=0dB) に環境を整える必要がある。ATT を調整し た結果の TG 特性を図 4-21 に示す。

このリップル波形から遅延時間を求め、ケーブル長は約140mと計算される。

 $\tau = 1/\Delta f = 1/(1.709 \text{MHz}) = 0.585 \mu s$

・Lτ = τ×光速×波長短縮率 = 0.585×300×0.8 ≒ 140m



⁽¹⁾ マルチパス特性

同一レベルとなった状態(D/U=0dB)から、ATT2を可変させると、その変化量 がマルチパス特性の DU 比となる。

ここでは、DU比を可変して、33 セグメント帯域、13 セグメント帯域、1 セグメ ント帯域、それぞれの端子電圧の変化を測定した。帯域の中心周波数は 214.714MHz であるが、さらに中心周波数を 215.572MHz にずらした 1 セグメン ト帯域も測定した。

測定した結果について図 4-22 に、測定帯域区間を図 4-23 にそれぞれ示す。

図 4-21 マルチパス特性の初期波形(D/U=0dB)と遅延用ケーブル



(1) DU 比と 33 セグメント端子電圧の関係

(2) DU 比と各セグメント端子電圧の関係





図 4-23 マルチパス特性の測定帯域区間 (D/U=3dB)

図 4-22(1)からは、DU 比が大きくなるにつれて端子電圧が下がる傾向を示し、 D/U=0dB と D/U=30dB では、3.1dB の差があった。これは、遅延によって位相が 異なる信号の合成であるため同相合成とはならず、D/U=0dB のときに電力が2倍

(10×log2 = 3dB) となる関係であることが確認できた。また、D/U=10dB 以上で は顕著な変化はない。図 4-22(2)は、DU 比に対応した各セグメントの端子電圧の 変化を示している。

図 4-23 からは、前述したとおりリップル周期Δf は 1.709MHz で、ワンセグ帯域の約 4 倍となっている。リップル周期のディップ点がワンセグ帯域に含まれると大きなレベル低下となり、「shift 429k」の値が「fo 429k」よりも低下していることがわかる。

2) 平面大地における電波伝搬特性

①机上検討

ア. 平面大地における電波伝搬の基本式

平面大地における電波伝搬モデルを図4-24に示す。

VHF帯やUHF帯の電波伝搬では、直接波と大地反射波との合成により、受信電界 強度が計算で求められる。このとき、大地反射波の反射係数(以下、大地反射係数) は反射面の媒質によって異なり、反射波の振幅や位相は変化するが、放送波帯の電 波伝搬で扱われる大地反射係数^kは通常-1として計算される。

その結果、受信電界強度の計算式は、次式で示される。

$$\begin{split} \vec{E}_r &= E_0 \cdot \left(e^{+j\theta} + \dot{R} \cdot e^{-j\theta} \right) \\ &= E_0 \cdot 2j \cdot \sin \theta \\ \\ \text{いま}, \quad \theta &= \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_1 h_2}{d} \quad \text{fr} \mathcal{O} \subset, \\ \\ E_r &= E_0 \cdot 2 \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right| \quad \text{[V/m]} \end{split}$$
(4-1 式)

ここで、 E_0 は自由空間電界強度で、実効放射電力をERP〔W〕、送信点受信点間 距離をd〔m〕とすると、次式で示される。

$$E_0 = \frac{7\sqrt{ERP}}{d} \tag{4-2 t}$$



図 4-24 平面大地における電波伝搬モデル

実際の電波伝搬を扱う上では、都市減衰などの影響を考慮し、統計的な処理によ り値を求めて扱うことが多い。一方、地下街等での電波伝搬では、都市減衰に類似 して、人並みや通路、天井面等に取り付けられている表示板や垂れ壁なども電波の 減衰要因としてあるが、数値的な値が不明のため、本机上検討では考慮しないこと とする。

イ. 大地反射係数

テレビ放送波帯における大地反射係数は、送信点からサービスエリアまでの距離 が一定以上あることから、接地角が小さくなり、水平偏波も垂直偏波も平面大地に おける伝搬モデルでは、通常-1で扱うことが多い。

しかし、地下街等での電波サービスを想定した場合、送信点近傍でも受信エリア となり、このときの接地角も変化するため、接地角に対応した大地反射係数で扱う 必要がある。

地下街等で水平偏波を放射した場合、通路面や天井面での反射波は水平偏波の反 射として振る舞うが、通路壁面で反射すると垂直偏波の反射として扱うことになる。

このため、大地反射係数は、図4-25に示す境界面における反射の状況をもとに、(4-3 式)に示したフレネルの反射公式を用いて算出することになる。

ここで、大地反射係数計算に用いた図4-25における媒質2の電気定数を表4-6に、 フレネルの反射公式で求めた大地反射係数の例を図4-26に、その位相変移を図4-27 に示す。

・水平偏波 :
$$\dot{R}_{H} = \frac{\sin\phi - \sqrt{\varepsilon_{c} - \cos^{2}\phi}}{\sin\phi + \sqrt{\varepsilon_{c} - \cos^{2}\phi}}$$

・ 垂直偏波 : $\dot{R}_{V} = \frac{\varepsilon_{c}\sin\phi - \sqrt{\varepsilon_{c} - \cos^{2}\phi}}{\varepsilon_{c}\sin\phi + \sqrt{\varepsilon_{c} - \cos^{2}\phi}}$ (4-3 式)

ただし、

- Ø:電波の接地角 [rad]
- ε_c : ε_r j60 $\lambda\sigma$
- ε_r:媒質2の媒質1に対する比誘電率
- σ:媒質2の導電率 [S/m] (大気の導電率=0)



図 4-25 境界面における反射

区分	εr	σ (S/m)
海水	80	4
淡水	80	1E-03
湿った土地	10	2E-03
乾いた土地	40	1E-04
金属	1E+09	1E+09
コンクリート	8	2

表 4-6 各種媒質 2 の電気定数



図 4-26 各種媒質 2 における大地反射係数の計算結果 [f: 214.714MHz]



図 4-27 各種媒質 2 における大地反射係数の位相変移 [f:214.714MHz]

- ウ. 平面大地における電波伝搬シミュレーション結果
- (ア) 基本モデル (大地反射係数: $\dot{R} = -1$)

平面大地における電波伝搬の傾向を把握するため、送信高(h1)を2m、3m、4m、 送信パターンを無指向性(相対利得0dBで扱う)とし、受信高(h2)を1.5mと1m、大 地反射係数 R = -1 とした場合、直接波と大地反射波、その合成波のシミュレーシ ョンを行った。シミュレーションの計算条件を表4-7に示す。

区分	条件
送信高h1	2m, 3m, 4m
受信高h2	1.5m、1m
周波数f	VHF(214.714MHz)、UHF(600MHz)
送信電力P	0. 1W
送信アンテナ	無指向アンテナ、ダイポールアンテナ
偏波面	H∶水平偏波、V∶垂直偏波
大地反射係数	-1(基本)、金属面(R=-1)、コンクリート面

表 4-7 シミュレーション条件

シミュレーション結果を図4-28に示す。

図4-28より、直接波と大地反射波の強さは、距離が遠くなるにつれて同じレベル で低下するが、合成波は、送信点に近い距離では直接波と大地反射波の位相差によ って振幅が変化する。この傾向は受信高が同じであれば、(4-1式)より送信点が高 くなるほど顕著になる。また、水平偏波の極大値の距離は垂直偏波の極小値の距離 にほぼ相当し、垂直偏波の極大値の距離は水平偏波の極小値の距離にほぼ相当する。

送信点から遠くなるにしたがって直接波と大地反射波の振幅は同レベルで小さ くなるが、水平偏波の合成波はさらに小さくなる。一方、垂直偏波では直接波と大 地反射波の振幅より合成波が高くなっている。これは、大地反射係数による大地反 射波の位相変化によるもので、水平偏波では逆相、垂直偏波では同相で合成される ことによる。また、水平偏波では距離が2倍になると電界は12dB低下(12dB/oct)し ている。

4-3 実証試験の結果



図4-28 平面大地モデルのシミュレーション結果 (h1=3m、h2=1,1.5m、0.1W、R = -1)

(イ)モデル1 (大地反射係数:金属面(R = −1))
 表4-7に示すパラメータをもとにして、大地反射係数を金属面(R = −1)としたときのシミュレーション結果を図4-29に示す。



図 4-29 平面大地モデルのシミュレーション結果 (h1=2,3,4m、h2=1,1.5m、0.1W、R = -1(金属))

図4-29より、送信点近傍では、送信点が高くなるにつれ、水平偏波・垂直偏波と もに振幅変化が顕著である。また、同じ送信高では、受信点が高いほど振幅変化が 顕著である。

送信点から遠い領域では、垂直偏波の方が水平偏波より電界が高い傾向にある。 また、同じ受信高では、送信点が低いほど、その乖離は大きくなる傾向にある。

ここで参考までに、送信高を3m、受信高を1.5m、送信アンテナをダイポールに したときのVHFとUHFの比較シミュレーション結果を図4-30に示す。

図4-30(1)のダイポールアンテナ(相対利得0dB)と図4-29(3)の無指向アンテナ(相対利得0dB)では、主方向で同一傾向となっている。UHFでは、VHFに比べ波長が短いため振幅変化が顕著な特性となっている。



図4-30 ダイポール送信アンテナとUHFでの伝搬 (h1=3m、h2=1.5m、0.1W、 $\dot{R} = -1$)

(ウ) モデル2 (大地反射係数:コンクリート面)

表4-7に示した条件で、大地反射係数をコンクリート面としたときのシミュレー ション結果を図4-31に示す。

図4-31より、送信点近傍での落ち込みは、大地反射係数を金属面 ($\dot{R} = -1$)とした場合より小さく、特に垂直偏波が顕著である。

送信点から遠い領域では、垂直偏波が水平偏波より電界が高い傾向は同様である が、送信点が高いほど乖離は小さくなっている。水平偏波の特性は、金属面とほぼ 同じであるが、垂直偏波では金属面の場合よりも電界が低下している。







(4) h1=3m, h2=1m



図 4-31 平面大地モデルのシミュレーション結果(h1=2,3,4m、h2=1,1.5m、0.1W、R: コンクリート)

②ラボ試験

ア. 試験構成

直接波と大地反射波の平面大地モデルについて、同軸ケーブルを用いて再現して 試験する構成を図4-32に示す。

系統①は直接波系統、系統②は大地反射波系統をイメージし、直接波よりも大地 反射波の伝搬距離が長いため、それに相当する遅延時間を同軸ケーブルLτで再現す る。



図 4-32 伝搬路特性試験1(直接波+大地反射波)の測定系統

イ. 試験内容

図 4-32 の ATT1 を可変して各種特性 (伝搬路特性、周波数特性、端子電圧、MER) を測定する。

試験モデルとする伝搬路において、大地反射波による位相合成で落ち込みが発生 する条件を算出し、その遅延時間 *τ* を求めて、同一環境となる条件で試験を行う。
ウ. 試験結果

(ア) 伝搬路特性

モデルとした伝搬路特性の計算結果(位相損失と遅延時間の距離特性)を図4-33に示



図 4-33 伝搬路特性試験1モデル計算例(直接波+大地反射波)

いま、該当落ち込み位置の遅延時間 ($\tau = 0.00466 \mu s$)は、マルチメディア放送の中心周波数214.714MHzの1波長に相当する。電波伝搬上では、大地反射で位相が180[°]回転したのちに同レベルで合成されることから、結果的に逆相関係となり、受信電界強度が極端に低下する落ち込みが生じることになる。

しかし、実験室では位相反転を容易に再現できないため、さらに半波長遅らせて 逆相関係となるようにした。つまり、 $\lambda/2$ ケーブル長を付加して計 1.5λ となるよう、 ケーブル長L τ を1.68mとした。

• $\tau = 0.00466\mu s(\lambda) + 0.00233\mu s(\lambda/2) = 0.00699\mu s$

・Lτ = τ×光速×波長短縮率 = 0.00699×300×0.8 ≒ 1.68m

(イ) 周波数特性

大地反射波相当の遅延用ケーブルLτを付加したときのTGによる周波数特性の 測定結果を図4-34に示す。





大地反射波の反射係数は、通常、-1で扱われることが多いが、大地反射波の伝搬 を妨げる凹凸や構築物、人並み等によっては絶対値が小さくなる。

(ウ) 端子電圧

図4-35(1)は、この反射係数と減衰量の関係を示すとともに、図4-35(2)では反射 係数に相当する減衰量をATT1で変化させたときの端子電圧の変化を測定した結果 を示している。

図4-35から、反射係数が小さくなると大地反射波が弱くなり、直接波が支配的に なるため、結果的に端子電圧が高くなる傾向を示している。また、反射係数が大き くなると、大地反射波が強くなり、逆相関係で合成されることにより端子電圧は低 下する。

反射係数|R|が1から0となったときに測定された端子電圧変化は約13dBであり、 図4-33に示した単一周波のように急激に落ち込まないものの、大地反射波があるこ とで、約13dB減衰していると見ることができる。

測定した端子電圧は、33セグメント帯域全体のレベルであり、局所的に落ち込ん でも帯域全体の総和としての値で表示するため、極端な低下とはならない。つまり、 ISDB-Tmm波はマルチキャリアで、約14.2MHz全体の総電力でレベルを表すこと から、帯域の一部で落ち込んでも、レベル全体に与える影響は少ない。シングルキ ャリアとは異なる大きな特徴である。 ここで、反射係数|R|が1のときの測定波形を図4-36に示す。

図4-36から、大地反射波によって帯域内で逆相関係となる周波数でレベルの落ち 込みがあり、同位置でのサブキャリアMERは最悪値となっていることがわかる。



(1) 反射係数|R|と減衰量

図 4-35 大地反射係数と端子電圧の関係(直接波+大地反射波)



図 4-36 大地反射波の影響による観測波形(直接波+大地反射波) |R|=1

(I) MER

大地反射係数と端子電圧の変化に伴うMERの測定結果について図4-37に示す。 なお、端子電圧は 33 セグメント帯域での値であり、グラフの凡例は次の意味で ある。

- ・Total: スーパーセグメント 1~3 帯域全体の MER
- ・SS1 : スーパーセグメント1 (13 セグメント形式)の MER
- ・SS2 : スーパーセグメント2 (13 セグメント形式)の MER
- ・SS3 : スーパーセグメント3 (1 セグメント形式×7)の MER

図4-37(1)では、反射係数|R|が大きいほど大地反射波が強くなり、帯域内のディ ップも深くなるため、MERが悪くなる傾向にある。さらに、ディップ位置がスーパ ーセグメント1帯域にあり、このMERが最も悪い値を示している。

図4-37(2)では、端子電圧が高くなるにつれてMERが改善されている。直接波レベルは常に一定で、大地反射波の系統②のATT1のみを可変しているため、反射係数が大きい領域では端子電圧も低下し、各セグメントのMERもバラツキを伴って低くなっている。



(1) 大地反射係数とMER

(2) 端子電圧と MER

図 4-37 大地反射係数/端子電圧と MER の関係(直接波+大地反射波)

3)地下街における電波伝搬特性

①机上検討

- ア. 幾何光学的手法による検討
- (ア) 閉鎖空間における電波伝搬の基本式

地下街等の閉鎖空間における電波伝搬モデルとしては、平面大地モデルの直接波 と大地反射波のほかに、天井からの反射波と通路両壁面からの反射波が加わること になる。つまり、伝搬路長が微妙に異なる5つの電波が受信点で合成され、受信電 界強度が形成されることになる。

なお、直接波以外の反射波において、大地反射波ではさらに天井で反射する経路 や天井反射波が大地で反射する経路、加えて側面A・B反射波の大地反射や天井反 射も想定されるが、2回反射となることからその振幅は小さくなる。このため、こ こでは2回反射波成分は除外し、伝搬路のパスを5系統として扱うこととする。

ここで、閉鎖空間をモデル化したときの電波伝搬計算式を導出するための電波伝搬モデルを図4-38に示す。

なお、電波が理想的に伝搬するには一定の空間(フレネルゾーン)が必要である。 フレネルゾーンより狭い空間を伝搬すると減衰を受けることになるが、この項では、 閉鎖空間においても前述の平面大地モデルと同様に各伝搬路がフレネルゾーンを 満足していることとして、各伝搬路を幾何光学的に扱って受信電界強度の式を導出 することとする。



(1) 立面図 (SOLID VIEW)





(2) 側面図 (SIDE VIEW)







図4-38から、各伝搬路に対応した受信電界強度は、次式で求められる。

・直接波
・直接波
・
だ₁ =
$$\frac{7\sqrt{ERP}}{r_1} \cdot D_{11} \cdot e^{-j\beta(r_1-r_0)}$$

・
大地反射波
・
だ₂ = $\frac{7\sqrt{ERP}}{r_2} \cdot D_{12} \cdot \dot{R_2} \cdot e^{-j\beta(r_2-r_0)}$
・
天井反射波
だ₃ = $\frac{7\sqrt{ERP}}{r_3} \cdot D_{13} \cdot \dot{R_3} \cdot e^{-j\beta(r_3-r_0)}$

・側面A反射波
・側面B反射波

$$\dot{E}_4 = \frac{7\sqrt{ERP}}{r_4} \cdot D_{14} \cdot \dot{R}_4 \cdot e^{-j\beta(r_4 - r_0)}$$

・側面B反射波
 $\dot{E}_5 = \frac{7\sqrt{ERP}}{r_5} \cdot D_{15} \cdot \dot{R}_5 \cdot e^{-j\beta(r_5 - r_0)}$

ここで、 r_0 は基本パス長として $r_1 \sim r_5$ は各伝搬路の伝搬路長で、 $D_{11} \sim D_{15}$ は各 伝搬路方向の送信アンテナ指向性、 β は位相定数(= $2\pi/\lambda$)である。各伝搬路長は、 次式で求められる。

・基準パス
r₀ =
$$\sqrt{(W_1 - W_2)^2 + h_1^2 + d^2}$$

・直接波
r₁ = $\sqrt{(W_1 - W_2)^2 + (h_1 - h_2)^2 + d^2}$
・大地反射波
r₂ = $\sqrt{(W_1 - W_2)^2 + (h_1 + h_2)^2 + d^2}$
・天井反射波
r₃ = $\sqrt{(W_1 - W_2)^2 + (2H_0 - h_1 - h_2)^2 + d^2}$
・側面 A 反射波
r₄ = $\sqrt{(W_0 - W_1 - W_2)^2 + (h_1 - h_2)^2 + d^2}$
・側面 B 反射波
r₅ = $\sqrt{(W_0 + W_1 + W_2)^2 + (h_1 - h_2)^2 + d^2}$

次に、大地反射係数 $\dot{R_2} \sim \dot{R_5}$ を求めるための接地角 $\phi_2 \sim \phi_5$ は、次式で求められる。

・大地反射波
の

$$\phi_2 = \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{\sqrt{d^2 + (W_2 - W_1)^2}}$$

・天井反射波
の
 $g_3 = \tan^{-1} \frac{2H_0 - h_1 - h_2}{\sqrt{d^2 + (W_2 - W_1)^2}}$
・側面A反射波
の
 $\phi_4 = \tan^{-1} \frac{W_0 - W_1 - W_2}{\sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}}$
・側面B反射波
 $\phi_5 = \tan^{-1} \frac{W_0 + W_1 + W_2}{\sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2}}$

接地角 $\emptyset_2 \sim \emptyset_5$ をもとに前述した(4-3式)で大地反射係数 $\dot{R}_2 \sim \dot{R}_5$ を求めるが、 例えば偏波面が水平偏波のとき、大地反射波と天井反射波は水平偏波の式で求め、 側面A・Bの反射係数は垂直偏波の式を用いることになる。偏波面が垂直偏波のと きには、その逆となる。ここで、大地反射係数の扱いを表**4-8**に示す。

反射波	口时边	送信偏波						
	<u> </u>	水平偏波 H	垂直偏波 ∨					
	大地反射波	R _{H2}	R_{V2}					
	天井反射波	R _{H3}	R_{V3}					
	側面A反射波	R_{V4}	R_{H4}					
	側面B反射波	R_{V5}	R _{H5}					

表 4-8 大地反射係数の扱い

したがって、受信点Rにおける受信電界強度 \vec{E}_r は、各伝搬路に対応した受信電界 強度 $\vec{E}_1 \sim \vec{E}_5$ の合成により、次式で示される。

$$\dot{E}_r = \dot{E}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_3 + \dot{E}_4 + \dot{E}_5 \tag{4-7 } \vec{\Xi})$$

いま、送信点受信点間距離が十分に遠く、直接波と大地反射波しか存在しないものとすると、受信電界強度 \vec{E}_r は次式で示される。

$$\begin{split} \vec{E}_{r} &= \vec{E}_{1} + \vec{E}_{2} \\ &= \frac{7\sqrt{ERP}}{r_{1}} \cdot D_{11} \cdot e^{-j\beta(r_{1} - r_{0})} + \frac{7\sqrt{ERP}}{r_{2}} \cdot D_{12} \cdot \vec{R}_{2} \cdot e^{-j\beta(r_{2} - r_{0})} \\ &\subset \vec{C}, \ r_{1} = r_{2} = d, \ D_{11} = D_{12} = 1, \ \vec{R}_{2} = -1, \ \beta(r_{0} - r_{1}) = \beta(r_{2} - r_{0}) = \theta \\ &\neq 0 \leq b \leq . \end{split}$$

$$\begin{split} \dot{E}_{r} &= \dot{E}_{1} + \dot{E}_{2} \\ &= \frac{7\sqrt{ERP}}{d} \cdot \left(e^{+j\theta} - e^{-j\theta}\right) \\ &= E_{0} \cdot \left(e^{+j\theta} - e^{-j\theta}\right) = E_{0} \cdot 2j \cdot \frac{\left(e^{+j\theta} - e^{-j\theta}\right)}{2j} \\ &= E_{0} \cdot 2j \cdot \sin \theta \\ & \text{いま}, \ \theta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h_{1}h_{2}}{d} \text{ なので, 結果的に} \\ &E_{r} &= E_{0} \cdot 2\left|\sin\frac{2\pi h_{1}h_{2}}{\lambda d}\right| \end{split}$$

となり、前述した平面大地における電波伝搬基本式(4-1式)と同じになる。

送信アンテナで使用するダイポールアンテナの指向性 $D_{11} \sim D_{15}$ は、アンテナ軸方向を0として角度 Ψ に対応した次式で示される。なお、 $\lambda/4$ ホイップアンテナは無指向性のため、 $D_{11} \sim D_{15} = 1$ として扱うこととする。

・ダイポールアンテナ
$$D_{11\sim15} = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cdot\cos\psi\right)}{\sin\psi}$$
 (4-8式)

(イ) 閉鎖空間における電波伝搬シミュレーション結果

閉鎖空間における電波伝搬シミュレーションの計算条件を表4-9に示す。

ここで、送信高と閉鎖空間の高さは同一とし、送信アンテナが天井に取り付けられ るモデルについてシミュレーションする。

区分	条件				
送信高h1	2m、3m、4m(天井高と同一)				
受信高h2	1.5m、1m				
周波数f	VHF (214. 714MHz)				
送信電力P	0. 1W				
偏波面	H∶水平偏波、V∶垂直偏波				
通路の条件	天井高:2m、3m、4m 通路幅:8m、5m				
反射面の媒質	通路・天井面:コンクリート、壁面:金属/なし				

表 4-9 シミュレーション条件

前項では、5つの伝搬路それぞれの電界強度と合成された電界強度を求める一般式 を導出してきた。送信高と通路高が同じ場合、天井反射波は存在しないことから、実 質的に4つの伝搬路でシミュレーションすることになる。

a. 基本モデル(通路幅8m、通路面:コンクリート、両側面:金属、送受信点:中心軸)

標準的な距離特性を把握するモデルとして、通路幅は8m、送信高は2~4mで無指 向性、受信アンテナは無指向性で高さ1.5m及び1m、送信点・受信点ともに通路の 中心軸に配置され、通路面の媒質はコンクリート、両側面はシャッターが閉じた状 態とみなし金属体として扱い、通路の中心軸を想定したシミュレーションを行った。

シミュレーション結果のうち、水平偏波の場合を図4-39に、垂直偏波の場合を図 4-40にそれぞれ示す。

図4-39の水平偏波では、直接波と大地反射波、両側面反射波それぞれの電界強度 は、距離が遠くなるにつれて同じレベルになり、約20m以遠では同じ値を示してい る。合成波振幅の距離特性は、平面大地モデルが12dB/octの減衰特性であったのに 対し、約5dB/octと緩やかな減衰特性を示している。そして、4つの伝搬路による合 成波は、1つの波の強さよりも高いレベルで推移していく傾向にある。

図4-40の垂直偏波では、直接波や各反射波などの電界強度よりも合成された受信 電界強度のほうが高くなっている。合成波振幅の距離特性は、100m以遠で6~ 7dB/octと水平偏波よりはやや大きな減衰特性を示している。

また、直接波と両側面反射波は約20m以遠では同じ値を示しているが、大地反射 波は直接波や両側面反射波よりもレベルが低い。これは、通路面の垂直偏波による 反射係数が小さくなっていることによるものと推定される。 さらに、100m 以遠において同じ偏波面であれば、送信アンテナや受信アンテナ の高さの変化にかかわらず、同じ距離ではほぼ同じ電界値を示している。

なお、シミュレーションでは示した単一周波数で計算するが、実際のマルチメデ ィア放送波では14.2MHz等の帯域電力(電界強度)を測定することから、帯域内の 周波数特性に変化があっても測定値には現れにくく、シミュレーションとの対比が 難しい側面があることに留意が必要である。



(5) h1=4m、h2=1.5m、水平偏波

(6) h1=4m、h2=1m、水平偏波

図4-39 閉鎖空間におけるシミュレーション結果 (通路幅8m、通路面:コンクリート、両側面:金属、水平偏波)



図4-40 閉鎖空間におけるシミュレーション結果 (通路幅8m、通路面:コンクリート、両側面:金属、水平偏波)



b. モデル1(基本モデルの通路幅8mを5mに変更)

通路幅を8mから5mとしたときのシミュレーション結果のうち、水平偏波を図 4-41に、垂直偏波を図4-42に、それぞれ示す。

図4-41 閉鎖空間におけるシミュレーション結果 (通路幅5m、通路面:コンクリート、両側面:金属、水平偏波)



図4-42 閉鎖空間におけるシミュレーション結果 (通路幅5m、通路面:コンクリート、両側面:金属、垂直偏波)

図4-41の水平偏波の場合、4つの伝搬路による合成波は、送信点から30m以内で は位相合成によって電界強度が変化しているが、50m以遠ではほぼ一様な減衰特性 を示している。

図4-42の垂直偏波の場合、水平偏波よりも近く15m以内では位相合成によって電 界強度が変化しているが、それ以遠は一様な減衰特性を示している。

さらに、50m以遠において同じ偏波面であれば、送信アンテナや受信アンテナの 高さの変化にかかわらず、同じ距離ではほぼ同じ電界値を示している。

c. モデル2(基本モデルの両側面を金属から壁面なしに変更)

両側面のシャッターが開いた状態で壁面からの反射波がないと仮定したとき、つまり直接波と大地反射波の2つのパスによるシミュレーション結果を図4-43に示す。図示した結果からは、平面大地モデルと同じ結果が得られ、水平偏波は12dB/oct、 垂直偏波は10dB/octの減衰特性となっている。送信点が天井よりも低い位置に設置 される場合には、天井反射波が加わることにより異なった距離特性となる。



図 4-43 閉鎖空間モデルのシミュレーション結果 (通路面:コンクリート、両壁面なしの2パス)

d. モデル3(基本モデルの受信点を中心軸から側面方向へ変更)

受信点位置が中心軸から側面方向にずれた場合のシミュレーション結果 (W₁:0、W₂:±可変)について、水平偏波の場合を図 4-44 に、垂直偏波の場合 を図 4-45 に、それぞれ示す。

送信点位置は通路幅8mの中心軸にあり、受信点位置は通路と直交する軸方向に 3mまで1m間隔で計算し、送信点近傍の電界変化が表現できるよう、後方距離を50m までとした。送信点を中心軸に配置していることから、受信点位置の±で対称分布 となる。

結果からは、偏波面にかかわらず中心軸からの直交距離や受信高によって、大き く受信電界が変化していることがわかる。



図 4-44 閉鎖空間モデルのシミュレーション結果 (水平偏波、中心軸からの直交距離:4パス)

70



図 4-45 閉鎖空間モデルのシミュレーション結果 (垂直偏波、中心軸からの直交距離:4パス)

図4-44と図4-45は、送信点を中心軸に置いたときの結果であるが、実際に設置工 事をする際には、中心軸に送信点があるとは限らない。ここでは示さないが、中心 軸から数10cmずらして設置した場合のシミュレーションでは、さらに複雑な受信電 界強度の変化として現れている。

加えて、実際の地下街等の閉鎖空間の電波伝搬路では、机上検討の冒頭に述べた フレネルゾーンを満足しない条件下にあり、光学的には見通しであっても結果的に 遮蔽の影響を受け、計算値よりも受信電界強度は低下すると考えられる。

(ウ) フレネルゾーン

電波伝搬する各ルートにおいて、この回転楕円体に何の障害物もなければ、これ までに示した結果が得られるが、図4-46より、地下街そのもののサイズがフレネル ゾーンを満足していないことがわかるとともに、このことが直接波や反射波が減衰 することを意味し、直接波や反射波のさらなる位相変化を伴うことになる。これら の影響を取り入れた計算手法は、これまで学会等でも発表されていない。 地下街の空間では、地上の放送電波の送信点の周囲状況と異なり、送信点近傍に おいても十分な空間が得られず、電波進行方向に方向指示物や垂れ壁など電波を遮 蔽する物体や、柱など電波反射体も存在する。

したがって、理想的な空間を模したシミュレーションで得られた距離特性よりも、 実際の測定結果では、さらに電界低下した複雑な距離特性となって表れることが容 易に想定される。



(1) フレネルゾーン断面図



(2) フレネルゾーン平面図



イ. レイトレーシング手法による検討

(ア)検討条件

地下街空間の電波伝搬特性を解析する手法として、電波の到達変化を光の到達変 化の原理と同等とみなして平面的に描くことができる光学的手法と呼ばれるレイ トレーシング手法で検討を行う。

このレイトレーシング手法では、地下街空間を4面(通路面、天井面、両壁面) に囲まれ通路方向は開放とした直方体としてモデル化し、地下街にある突起物など の細部の凹凸はないものとして計算する方法で、4面の寸法と材質及び送信と受信 の条件を設定する。

今回の計算では、表 4-10、表 4-11 に示すパラメータ及び図 4-47 に示すモデルにより計算を行う。

区分	パラメータ	
地下街空間のモデル	通路幅(5m・8m)、天井高(2m・3m・4m)、材質(コンクリート・金属)	
送信条件	送信電力 100mW、偏波(水平·垂直)、送信指向性(無指向)、	
	送信高(送信点は天井面に配置)、送信アンテナ位置(通路中心・	
	通路中心から 2m 壁寄り)	
受信条件	偏波(送信偏波面と同一)、受信指向性(無指向)、受信高(1.5m・1m)	

表 4-10 検討パラメータ

表 4-11 パラメータの物理値

材質名	比誘電率 ε r	導電率σ(S/m)	
金属	1E+9	1E+9	
コンクリート	8	2	



図 4-47 地下街空間モデル(基本モデル)

表 4-10 に示したパラメータをもとに、表 4-12 に設定したモデルによりシミュレ ーションを行う。

区分	通路幅	天井高	材質 (天井·通路)	材質 (壁面)	送信点 (位置)	送信点 (数)	受信高	図番
1	8m	3m	コンクリート	金属	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48(1)①
2	8m	3m	コンクリート	金属	中心軸	1ヵ所	<mark>1m</mark>	図 4-48(1)②
3	8m	<mark>2m</mark>	コンクリート	金属	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48(1)③
4	8m	<mark>4m</mark>	コンクリート	金属	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48(2)④
5	<mark>5m</mark>	3m	コンクリート	金属	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48(2)⑤
6	8m	3m	コンクリート	<mark>壁なし</mark>	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48(2)⑥
7	8m	3m	コンクリート	金属	<mark>2m 壁寄り</mark>	1ヵ所	1.5m	図 4-48(2)⑦
8	8m	3m	コンクリート	<mark>コンクリート</mark>	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48(3)⑧
9	8m	3m	<mark>金属</mark>	金属	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48(3)9
10	8m	3m	コンクリート	金属	中心軸	<mark>2 ヵ所</mark> <mark>(間隔 100m)</mark>	1.5m	図 4-48(3)①
1	8m	3m	コンクリート	金属	中心軸	<mark>2 ヵ所</mark> (間隔 200m)	1.5m	図 4-48(3) ①
(12)	<mark>5m</mark>	3m	コンクリート	<mark>コンクリート</mark>	中心軸	1ヵ所	1.5m	図 4-48 (4) ①

表 4-12 シミュレーションモデル(①が基本モデル)

(イ) 検討結果

各パラメータによりシミュレーションした結果を図 4-48(1)~(4)に示す。





③基本モデルの天井高を3m→2mに変更

図 4-48(1) レイトレーシング電界分布















⑦基本モデルの送信点を中央から 2m壁寄りに移動

図 4-48(2) レイトレーシング電界分布



⑧基本モデルの4面(通路・天井・両壁)の材質を全てコンクリートに変更









図 4-48(3) レイトレーシング電界分布



図 4-48(4) レイトレーシング電界分布

検討結果から、電界分布の特性については以下のとおりである。

a. 基本モデルにおける伝搬特性(①)

水平偏波、垂直偏波ともに距離方向で減衰するが、垂直偏波に比べ水平偏波の方 が、伝搬距離が長いことが確認された。(水平偏波は垂直偏波に比べ、100m 付近 で平均電界強度差が約 10dB、200m 地点で約 13dB 程度高い)

これは、材質がコンクリートである通路及び天井面において、垂直偏波の方が水 平偏波に比べて反射しにくいことが原因と考えられる。(「図 4-26 各媒質2におけ る大地反射係数の計算結果」参照)

b. 受信高の違い(①と②の比較)

受信高 1.5m と 1m を比較した場合、伝搬距離としては大きな差は見られないが、 電界分布については違いが出ることが確認された。

これは、受信地点ごとにハイトパターンが存在するものと考えられる。

c. 天井高(=送信高)の違い(①と③と④の比較)

天井高 2m、3m(基準)、4m で比較すると、水平偏波では大きな差が見られないが、垂直偏波では天井高が低いほど伝搬距離が短くなる。

これは、天井高を低くすると遠方では直接波より反射波による伝搬が支配的にな るが、垂直偏波の場合、通路及び天井面(コンクリート)での反射が小さくなるた め、遠方ほど伝搬しにくくなるためと考えられる。

d. 通路幅の違い

通路幅 8m(基準) と 5m で比較すると、基本モデル(両壁金属)では水平偏波・ 垂直偏波とも大きな差が見られなかった。(①と⑤の比較) しかし4面コンクリートにして通路幅 8m(基本)と 5m で比較すると、水平偏 波では通路幅が狭くなると伝搬距離は短くなる。(⑧と⑫の比較)

これは、垂直偏波の時に天井高を低くすると遠くまで伝搬しにくくなるのと同様、 水平偏波で通路幅を狭くした場合、壁面(コンクリート)での反射が小さくなるため、遠方ほど伝搬しにくくなるためと考えられる。

e. 壁面を開放にした場合の伝搬(①と⑥の比較)

壁面を開放にした場合、水平偏波の方が垂直偏波に比べより遠くまで伝搬する。 また、基本モデル(両壁金属)と比較すると、壁面反射がなく送信エネルギーが 外に漏れてしまうため、距離により急速に減衰する。

f.送信位置を壁側に寄せた場合の伝搬(①と⑦の比較)

送信位置を壁側に寄せた場合、基本モデルと比べると水平・垂直偏波とも伝搬距 離については大きな差は見られないが、特に100m以遠において電界分布が蛇行し 通路幅方向における電界分布の偏りが確認された。

g. 地下街材質の違い

4面コンクリートとした場合、基本モデル(両壁金属)と比べると特に水平偏波 の時の伝搬距離は短くなることが分かった。(①と⑧の比較)

4面金属とした場合、基本モデル(両壁金属)と比べると、おおよそ2倍の距離 特性が得られる傾向となった。(①と⑨の比較)

h.送信点を2カ所にした場合(11)、11)

送信点を2カ所に場合、送信点間に定在波が発生し電界変動密度が高くなること が確認された。

②ラボ試験

地下街等の閉鎖空間において、各反射波の遅延時間(通路長差は1~2m未満)は極めて短く、かつ5つの電波伝搬路を実験室で忠実に再現するのは極めて難しい。

ここでは、実際の地下街等の閉鎖空間を模したラボ試験は困難なため、直接波と大 地反射波に壁面等からのその他の反射波を加えた3波の干渉伝搬路モデルを設定し、 測定実施可能な条件のもと伝搬路特性試験を行う。

ア.試験構成

電波伝搬路のうち、直接波と大地反射波、その他の反射波の3つの伝搬路による 合成をイメージし、系統①は直接波、系統②は大地反射波、系統③はその他の反射 波として、直接波よりも反射波の伝搬距離は長いため、それに相当する遅延時間τ1、 τ2を同軸ケーブルで再現した。3つの伝搬路をイメージした測定系統を図4-49に示 す。



図 4-49 伝搬路特性試験2(直接波+大地反射波+その他の反射波)の測定系統

イ. 試験内容

図4-49のATT1、ATT2を可変することで大地反射波とその他の反射波のレベルを 変化させ、各種特性測定(伝搬路特性、周波数特性、端子電圧、MER)を実施する。 試験モデルとする伝搬路では、直接波、大地反射波とその他の反射波により位相 損失が最も低下した位置での条件を算出し、その遅延時間τを求めて、同一環境と なる条件で試験を行う。

ウ. 試験結果

(ア) 電波伝搬距離特性

モデルとした位相損失の距離特性の計算結果を図4-50に示す。



図 4-50 伝搬路特性試験2モデル計算例(直接波+大地反射波+その他の反射波)

いま、距離特性で落ち込んでいる8m位置においては、3つの電波が位相を伴った 合成により位相損失(受信電界強度)が低下している。2波以上の合成になると、 安定した逆相関係が生じにくく、結果的に位相損失の落ち込み量が小さくなる傾向 にある。

ここでは、直接波に対する大地反射波とその他の反射波の通路長差をもとに遅延 時間を算出し、それに伴い、遅延ケーブルに位相反転のためのλ/2のケーブル長を 付加して逆相関係となるようにした。

〔大地反射波の遅延ケーブルLτ1〕

- $\tau 1 = 0.00396\mu s + 0.00233\mu s(\lambda/2) = 0.00629\mu s$
- ・Lτ1 = τ×光速×波長短縮率 = 0.00629×300×0.8 ≒ 1.51m
- 〔その他の反射波の遅延ケーブルLτ2〕
 - $\tau 2 = 0.00099\mu s + 0.00233\mu s(\lambda/2) = 0.00332\mu s$
 - ・Lτ2 = τ×光速×波長短縮率 = 0.00332×300×0.8 ≒ 0.797m
- (イ) 周波数特性

大地反射波とその他の反射波相当の遅延用ケーブルLτ1、Lτ2を付加したときの TG測定結果を図4-51に示す。

マルチメディア放送波帯域では、やや右肩下がりの周波数特性となっている。



図 4-51 TG 特性結果(直接波+大地反射波+その他の反射波)

(ウ)端子電圧

反射係数を変化させたときの端子電圧の変化を測定した結果を図4-52に示す。 図4-52より、直接波と大地反射波とその他の反射波の合成では、反射係数|R|=1 の領域では端子電圧が最低とはならず、|R|=0.7付近で最低となっている。これは、 反射係数の低下だけでは端子電圧がリニアに変化せず、位相関係を含めた状態で合 成振幅が低下すると考えられる。

実際の地下街等の環境では、さらに他の反射電波も到来し、直接波と多数の反射 波が合成されることから、顕著な落ち込みはあまり発生しないと想定される。



(1) 反射係数|R|と減衰量

(2) 反射係数|R|と端子電圧(実測値)

図 4-52 大地反射係数と端子電圧の関係(直接波+大地反射波+その他の反射波)

ここで、反射係数|R|が0.7のときの測定波形を図4-53に示す。

図4-53(1)の帯域特性では周波数が高くなるにしたがってレベルが低下している。 また、図4-53(2)では、周波数が高くなるにしたがってサブキャリアMERが低下 している。



(2) コンスタレーションとサブキャリア MER

(I) MER

反射係数|R|と端子電圧の変化に伴うMERの変化について、図4-54に示す。 図4-54から、大地反射波のみの場合と異なり、反射係数|R|が0.7~0.8のときに MERが最も低下している。また、右肩下がりの周波数特性のため、周波数の高いス ーパーセグメント3 (SS3) のMERが最も低くなっている。これは、キャリアごと の位相関係が反射係数の変化に伴って変化していると想定される。



(1) 大地反射係数とMER

(2) 端子電圧とMER

図 4-54 大地反射係数と各セグメント MER の関係(直接波+大地反射波+その他の反射波)

図 4-53 大地反射波の影響による観測波形(直接波+大地反射波+その他の反射波) |R|=0.7

③フィールド試験

ア. 試験構成

(ア)送信系統

送信系統を図4-55に示す。

閉鎖空間における電波伝搬の基本特性を把握する際には、信号発生器と受信装置 を接続し、送信機1のみを動作させて水平偏波と垂直偏波のアンテナを切り換え、 必要によりATT1により出力を可変して電波発射する。



図 4-55 送信系統

(イ) 受信信号の測定系統

受信信号の測定系統について、図4-56に示す。

測定用の受信アンテナは標準ダイポールアンテナを使用し、水平偏波・垂直偏波 のどちらかに設定し、受信高は、1.5mと1mの2区分とし、測定評価項目によって 切り換える。



図 4-56 測定系統

イ. 試験内容

(ア) 基本的電波伝搬特性の試験パラメータ

地下街での空間の一般的な見通しの良い通路において基本的電波伝搬特性を把 握するため、送受信パラメータにおける距離分布特性を環境雑音レベルに至るまで 測定する。また、通路中央及び南北壁面周辺による分布特性も調査する。

送信高については、送信アンテナが設置可能な約3mとし、受信高については1.5mと1mで調査を行い評価する。

ここで、測定評価する条件の組合せと測定結果図番について、表4-13に示す。 なお、この条件に示した調査は、地下街の営業が終了した夜間(深夜)に行う。

送信条件				受信条件			測定結果の図番		
周波数等	送信 電力	信号源	偏波	測定 方向	受信高	測定項目	電界強度	MER	
			水平	中央 ルート	1.5m	33セグ電力/電界強度	図4-60(1)、図4-66(1)		
					1m		図4-60(3)、図4-66(3)		
					1.5m	13セグ電力/電界強度	図4-60(1)、図4-66(1)	図4-110(1)	
		信号 発生器			1m		翌4-60(3)、翌4-66(3)	図4-110(1)	
					1.5m	14/*雪力/雪男改安	図4-60(1)、図4-66(1)		
					1m	107电刀/电外强度	翌4-60(3)、翌4-66(3)		
				北壁面	北壁面 ルート 南壁面 ルート	33セグ電力/電界強度	図4-63(1)、図4-68(1)		
				ルート		13セグ電力/電界強度	図4-63(1)、図4-68(1)	図4-114(1)	
14M2 X7W				南壁面 ル−ト		33セグ電力/電界強度	翌4-63(3)、翌4-68(3)		
211 711206	100mW					13セグ電力/電界強度	翌4-63(3)、翌4-68(3)	図4-114(2)	
MHz	TOOIIIW		中5 ルー 垂直 北壁 ルー 南壁 ルー	中央ルート	1.5m	・33セグ電力/電界強度	翌4-60 (2)、 翌4-66 (2)		
					1m		翌4-60(4)、翌4-66(4)		
					1.5m	13セグ電力/電界強度	翌4-60 (2)、 翌4-66 (2)	図4-110(2)	
					1m		翌4-60(4)、翌4-66(4)	図4-110(2)	
					1.5m		翌4-60 (2)、 翌4-66 (2)		
					1m	107电刀/电外强度	翌4-60(4)、翌4-66(4)		
				北壁面 ルート 南壁面		33セグ電力/電界強度	翌4-63(2)、翌4-68(2)		
					1.5m	13セグ電力/電界強度	翌4-63(2)、翌4-68(2)	図4-114(1)	
						33セグ電力/電界強度	翌4-63(4)、翌4-68(4)		
				ルート		13セク電力/電界強度	図 4-63(4)、 図 4-68(4)	図4-114(2)	

表 4-13 測定評価する条件の組合せと測定結果図番

(イ) 受信信号の測定

送信された電波の特性を定量的に把握するため、連続移動測定と10m間隔の移動 定点測定により受信電界強度、MER、遅延プロファイルなどを測定する。

受信電界強度 $Ef[dB \mu V/m]$ は、測定器であるスペアナで取得した帯域電力chPwr〔単位:dBm〕から次式をもとに求められる。

Ef $[dB \mu V/m] = chPwr [dBm] + 107 - Gr - 20 \cdot log(\lambda / \pi) + L + Zc + Zio$

ここで、上式のパラメータの意味とその値は次のとおり。

・dBm→dBµV換算値	107 dB
・Gr(アンテナ利得)	0 dBd
・20·log(λ/π)(アンテナ実効長)	- 7.05 dB (215MHz)
・L (ケーブル損失)	0.2 dB (5D-2W 1.5m)
・Zc(ダイポール内75Ω-50Ω変換損失)	$1.65~\mathrm{dB}$
・Zio (開放終端換算値)	6 dB

したがって、帯域電力chPwrから受信電界強度Ef への換算は、次のとおりとなる。

Ef = chPwr (dBm) + 121.9 [dB μ V/m]

連続移動測定と10m間隔の移動定点測定の状況について、図4-57に示す。

連続移動測定では、距離センサーをつけた移動測定台車にAC100Vインバータと バッテリー、スペアナとデータ自動記録用のパソコンを搭載し、距離センサーに対 応した帯域電力を連続測定する。データ取得は、台車を押すスピードによって異な るが、数10cmから2m程度の間に1回、設定した帯域電力データをパソコンに取り 込み、連続測定する。パソコンディスプレイで発生するノイズが取得データに影響 を与えないよう、パソコンを疑似シールドケースに収納している。

10m間隔の移動定点測定では、送信アンテナ1の直下を基準に10mごとに定点マ ーカーのシールを床に貼り付け、その位置で帯域電力、MER、遅延プロファイル等 のデータを取得する。



(2) 移動定点測定(10m 単位)

図 4-57 連続移動測定と 10m 間隔の移動定点測定の測定風景(夜間測定)

(ウ) 測定ルートと測定帯域

基本的電波伝搬特性を把握するため、1つの送信点からの電波を測定するルートの状況について、図 **4-58** に示す。

試験フィールドのさっぽろ地下街オーロラタウンは、天井高3m、通路幅8mであ り、その通路中心のルートと±2.4mの離隔をとった壁面ルート(北側壁面、南側壁 面)の3ルートで測定する。中央ルートと壁面ルートの離隔距離については、通路 面のタイルが30cm四方のため、8枚分の2.4mとした。

夜間の地下街において、本測定のほかにも他の業務の工事が実施されている。通 路中央に脚立をたてて配線している工事などでは、電波的には影響を受けることに なる。



(1) 試験フィールド (オーロラタウン)の測定ルートのイメージ



(2) 大通駅方向の状況

(3) 測定時の障害物の例

図 4-58 測定ルートの状況

次に、測定するセグメントと周波数帯域の関係を図4-59に、測定するセグメントの中心周波数と測定帯域幅等を表4-14に、それぞれ示す。

連続移動測定では、1ライン走行で33セグメント、13セグメント、1セグメントの帯 域電力のいずれか1つを測定する。また、受信高は、中央ルートでは1.5mと1m、 北側壁面ルートと南側壁面ルートでは1.5mで測定する。これに、偏波面を水平と垂 直に変えると、20通りの組合せとなり、それぞれ連続移動測定する。

移動定点測定では、10mごとに、連続移動測定と同様に各セグメント帯域電力と MER、遅延プロファイルを測定する。MERと遅延プロファイルは、放送波を再送 信しているスーパーセグメント2の13セグメントで、中心周波数fo は216MHz、測 定帯域幅BW は5.57MHzで測定する。

なお、信号源は、図4-59に示した形式の信号を信号発生器で発生させ、送信する。 測定結果では、各セグメント単位で測定した帯域電力から受信電界強度に換算し て表示する。



図 4-59 セグメントイメージと周波数帯域の関係

区分	中心周波数 fo 〔MHz〕	測定帯域幅 BW 〔MHz〕	RBW [kHz]	VBW [kHz]
33セグメント	214. 714286	14. 2	30	1
13セグメント	216. 000000	5. 57	30	1
1セグメント	220. 285714	0. 43	30	1

表 4-14 測定するセグメント中心周波数と測定帯域幅等

ウ. 試験結果

(ア)連続移動測定

a. 中央ルート

中央ルートでの連続移動測定の結果について、図4-60に示す。横軸は送信点からの距離〔m〕、縦軸は電界強度〔dB µ V/m〕で示している。

図4-60より、3つのセグメントの電界強度は、変動を繰り返しながら、送信点から遠く離れるにしたがって減衰する特性となっている。各セグメントの電界強度差は、フラット特性であれば、表4-3に示したとおり、一定値(33→13セグメント: -4dB、13→1セグメント:-11.1dB)となるが、図4-60からは距離によって変化している。これは、帯域特性が変化して、フラット特性になっていないことを意味する。

図4-60(1)(3)は水平偏波、図4-60(2)(4)は垂直偏波である。水平偏波では、微少 区間の変動を無視すると、緩やかな右肩下がりの特性となっているが、垂直偏波で は、送信点から70~80m付近までは急減な減衰特性で、それ以遠では水平偏波より 緩やかな距離特性を示している。





図 4-60 中央ルートでの電界強度の連続移動測定結果(夜間測定)
次に、中央ルートにおける水平偏波と垂直偏波の電界強度の距離特性を比較した グラフを図 4-61 に示す。

図4-61より、33セグメントと13セグメントの距離特性には大きな相違はないが、 水平偏波と垂直偏波とでは特徴的な変化が現れている。電界強度は、送信点近傍で は垂直偏波の方が高く、50~60m付近からは水平偏波の方が高くなっている。

送信点近傍では、一般に受信アンテナは送信アンテナから3 λ 以上離さないと誘導 電界の影響を受けて正確な受信電界(放射電界)が得られないと言われている。 215MHzでは、3 λ は約4.2mに相当する。

さらに、送信点近傍では垂直偏波に比べ水平偏波の電界強度が約10dB低い。これ は、水平偏波の送信アンテナを天井に取り付ける際に、落下防止のため金属板を使 ってアンテナの裏面処理していることに起因している。金属板の影響については別 途、「4-3-1(2) 地下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(特徴的な空間での伝搬調 査)」で説明する。

このほか、送信点近傍の構築物と送信アンテナの垂直指向性があいまって、10m 付近までは受信電界に複雑に影響していると想定される。



図4-61 中央ルートでの電界強度のH/V偏波面比較(受信高: 1.5m、1m/夜間測定)

中央ルートでの受信高を1.5mと1mとしたときの電界強度の距離特性について比較したグラフを図4-62に示す。

図4-62(1)(3)は33セグメントの電界強度を、図4-62(2)(4)は13セグメントの電界 強度で、それぞれ受信高の違いによる距離特性を示している。

33セグメントの電界強度の距離特性では、帯域内の特性変化があっても測定帯域 が広いことにより、結果的に電界強度の差はあまり現れていない。しかし、13セグ メントでは、33セグメントの39%と帯域が狭まるため、帯域特性の変化が電界強度 の変化として現れやすくなる。このため、受信高の違いによる電界強度の違いが顕 著となっていると考えられる。





図 4-62 中央ルートでの電界強度の受信高比較(夜間測定)

b. 壁面ルート

壁面ルートでの連続移動測定の結果を図4-63に示す。

図4-63(1)(2)は中央ルートから北側に2.4m離れたルートで、図4-63(3)(4)は中央 ルートから南側に2.4m離れたルートでの測定結果である。

セグメントによる電界差や、水平偏波と垂直偏波の距離特性のおおまかな傾向は、 中央ルートのときとほぼ同じである。



図 4-63 壁面ルートでの電界強度の連続移動測定結果(受信高: 1.5m/夜間測定)

図4-63に示した特性から、同じ壁面ルートでの偏波面の違いによる距離特性を比較したグラフを図4-64に示す。

北側壁面ルートも南側壁面ルートも同様に、送信点から約60~70mまでは垂直偏 波の方が電界強度は高く、それ以遠では水平偏波の方が高い傾向を示している。特 に、南側壁面ルートは中央ルートと同じ傾向にあるが、垂直偏波と水平偏波が逆転 する距離は、壁面ルートの方がやや送信点から離れた位置にある。



図 4-64 壁面ルートでの電界強度の H/V 偏波面比較(受信高: 1.5m/夜間測定)

c. 中央ルートと壁面ルート

ここでは、同じ偏波とセグメント数において、中央、北側、南側の3ルートをパ ラメータとしたときの距離特性について、図4-65に示す。

全体的にはどのルートでも同じ距離特性の傾向にあるが、同じ距離ではルートに よって複雑に変化している。これは、同一距離でも横断距離によって周波数帯域特 性が変化していると想定される。

水平偏波において、ルート間差は小さく、平均的には中央ルートの方が壁面ルー トよりも電界強度が高くなっている。

垂直偏波でも、ルート間差は小さいが、中央ルートの電界強度は壁面ルートより 低い傾向にある。





図 4-65 ルートの違いによる電界強度の比較(受信高: 1.5m/夜間測定)

(イ) 移動定点測定

a. 中央ルート

中央ルートで移動定点測定した結果を図4-66に示す。10m間隔の測定結果をプロ ットし、測定点間は直線で結んで表示している。

3つのセグメントの電界強度は、変動を繰り返しながら、送信点から遠く離れる にしたがって減衰する特性となっている。各セグメントの電界強度差は、一定値に なっていない。これは、帯域特性が変化していることにほかならない。

図4-66(1)(3)は水平偏波、図4-66(2)(4)は垂直偏波である。連続移動測定とほぼ 同様な距離特性となっている。水平偏波では、緩やかな右肩下がりの特性となって いる一方、垂直偏波では、送信点から80m付近まで急減に変化する特性となってい る。





図 4-66 中央ルートでの電界強度の移動定点測定結果(夜間測定)

中央ルートにおける水平偏波と垂直偏波の電界強度の距離特性を比較したグラフを図4-67に示す。

33セグメントと13セグメントの距離特性には大きな相違はないが、水平偏波と垂 直偏波とでは、連続移動測定とほぼ同様に、特徴的な変化が現れている。電界強度 は送信点の近傍では垂直偏波の方が高く、50~60m付近からは水平偏波の方が高く なっている。





図 4-67 中央ルートでの電界強度の H/V 偏波面比較(夜間測定)

b. 壁面ルート

壁面ルートでの移動定点測定の結果を図4-68に示す。

図4-68(1)(2)は中央ルートから北側に2.4m離れたルートで、図4-68(3)(4)は中央 ルートから南側に2.4m離れたルートでの測定結果である。

セグメントによる電界差や、水平偏波と垂直偏波の距離特性のおおまかな傾向は、 中央ルートのときとほぼ同じで、連続移動測定の結果と同様な傾向の結果が得られ ている。





図 4-68 壁面ルートでの電界強度の移動定点測定結果(受信高:1.5m/夜間測定)

測定結果を示した図4-68をもとに、同じ受信高で偏波面による違いを比較したグラフを図4-69に示す。

電界強度は、送信点の近傍では垂直偏波の方が高く、50~60m付近からは水平偏 波の方が高くなっている。これは、連続移動測定の結果と同様である。



図 4-69 壁面ルートでの電界強度の H/V 偏波面比較(受信高:1.5m/夜間測定)

4) 考察

①机上検討結果との伝搬損失比較

地下街等におけるVHF帯の電波伝搬特性については、表2-9に示したマルチメディ ア放送の所要電界強度である約60dB µ V/m付近において自由空間の理論値と比べる と、図4-70に示すとおり、約50dBの損失があった。これは、オープン環境となる地上 空間の電波伝搬と比較すると、地下街等の閉鎖空間におけるVHF帯の伝搬特性は悪い と言える。(UHF帯など高い周波数帯に比べ伝搬損失が大きい)

地下街空間の天井、床、壁面の影響を受けて、電波伝搬のフレネルゾーンを確保で きないため伝搬損失が大きくなっていると考えられる。





図4-70 机上検討とフィールド試験結果の比較

②地下街の電波伝搬とシミュレーション

地下街での電波伝搬は、天井、床、壁面等の反射を繰り返しながら複雑に伝搬して いる。さらに地下街の環境は、天井や壁面に案内表示板や垂れ壁などが複数取り付け られており、これらの凹凸の影響も受けて伝搬するため、シミュレーションで近似値 を導くためには、複雑な伝搬に加え全ての障害物の影響も考慮し計算する必要があり、 容易に算出できるものではなく、課題であると考えられる。

シミュレーションについては、自由空間の理論式のほか、平面大地伝搬、幾何光学 的手法、レイトレーシングの4通りで行っているが、いずれの電界強度の計算結果も 実測値と比較すると乖離が大きい結果であった。

しかし、空中線電力100mW(33セグメント)で送信した場合の特性(図4-70)として は、送信地点から30mまでの近傍界では、電界強度が激しく変化し距離減衰特性も急 激に減衰する傾向である一方、50m付近から遠方界においては緩やかに減衰する特性 に変わる傾向については、机上検討と概ね一致している。(図4-70)

また、電界強度が一旦減衰しても更に距離方向に移動すると電界強度が上昇する地 点が現れる特徴があり、このような伝搬を繰り返しながら遠方界で収束していく傾向 についても机上検討と概ね一致している。(図4-70)

地下街通路の中央ルートと壁面ルートでの電界強度分布は、距離特性では概ね同一 傾向にあるものの、反射波を繰り返して伝搬するため、少しの場所の違いでも電界強 度が異なる結果となり、傾向は机上検討と概ね一致している。(図4-48①⑦と図4-65)

③電界強度の減衰特性とフレネルゾーン

これまで述べてきたとおり、地下街では高さや通路幅など物理的な制約から、電波 伝搬の基本となる直接波ですらフレネルゾーンを満足していない。このことが、理論 計算の減衰特性から大きく乖離している要因の一つであると考えられる。

送信点から離れるにしたがって、フレネルゾーンの半径は大きくなる。例えば、距離が100m離れると、その中間地点の50m位置ではフレネルゾーン半径は約6mとなる。

フレネルゾーン半径6mの円のなかには、地下街の断面がすっぽり入るため、受信点 には必要とする一部の電波量しか到達しないことになる。

地下街におけるフレネルゾーンと電波伝搬のイメージを図4-71に示す。

電波伝搬では、フレネルゾーン内に遮へい物がないのが理想であるが、遮へい物は 大なり小なり存在する。これが電波伝搬の損失となり、理論特性との乖離の一つとな る。

試験フィールドの地下街においても、何もない空間ではない。



(1) スリット空間とフレネルゾーン (2) 地下街とフレネルゾーン



各伝搬路がフレネルゾーンを確保できている伝搬路であれば、電界強度はフレネル 積分によるベクトル計算によって求められる。この手法は、これまでテレビ放送の建 造物による電波障害予測技術検討などで応用されている。

ここで、オーソライズされた考え方ではないが解析方法の一手法として、送信点からの距離をパラメータとして、地下街の開口面積とフレネルゾーン面積との対比をフレネル積分により算出し、損失特性を推定する。

光学的見通し線上に遮へい物が何もなく受信点まで見通せる条件で、図4-72に示す 遮へい率と位相の関係をもとに遮へい物後方の電界強度を求める手法を応用し、有限 の方形空間を伝搬することで低下する減衰量をベクトル計算で求め、結果的にデジベ ル表示の損失量として表した。その結果を図4-73に示す。



図 4-72 ナイフエッジによる遮へい率と位相の関係(フレネル積分)



図4-73 フレネル積分による減衰量推定(送信高3m・受信高1.5m/天井高3m・通路幅8m)

この単純モデル化した計算結果より、送信点近傍では天井高と送信点が同じである ため、約6dB減衰していることがわかる。送信電力としては4分の1に相当する。

また、20~200mで約9dB減衰することがわかる。実証試験結果からは、光学的見 通しが得られない領域を含め、さらに減衰した特性となっている。

④トンネル内の電波伝搬(モード伝搬)

走行している自動車内で聞いている中波放送やFM放送が突然トンネルに入ると聞 こえにくくなり、やがて雑音だけになり、出口近くになると、また聞こえ始める。放 送を再送信していないトンネル内で、よく経験する現象であり、電波がトンネル内に 進入しにくいことを端的に表している。

平面波の電波がトンネルに入射すると急激に減衰し、その後、モード伝搬という緩 やかな伝搬損失領域になるといわれている。減衰度合いは、トンネルサイズと波長と の比率、偏波面、トンネル内の壁面材質などによって異なる。

トンネルは通常、道路面や壁面がコンクリートで覆われている閉鎖空間で、具体的 には材質の誘電率によって減衰度合いが異なる。

地下街は、見方を変えると空間形状だけは方形断面のトンネルと見ることができる。 ここでは、モード伝搬の考え方をもとに、伝搬損失の検討を試行する。

トンネル内では壁面や天井・道路面で反射を繰り返しながら伝搬し、反射面の反射 係数によって減衰度合いが決まるという考え方がある。この反射係数は、「4-3-1(1) 2)平面大地における電波伝搬特性 ①机上検討」の項で述べた大地反射係数と同じで、 反射係数をもとに減衰定数αを求めている。

減衰定数 α は、内部の各面が同じで凹凸のない材質(誘電率 ϵ_r)で、トンネル断面の横幅b、高さをaとすると、モード伝搬解析から導出された次の近似式で示されている。

〔水平偏波〕

$$\alpha_{\rm h} = K_h \cdot \lambda^2 \left(\frac{\varepsilon_r}{a^3 \sqrt{\varepsilon_r - 1}} + \frac{1}{b^3 \sqrt{\varepsilon_r - 1}} \right) \qquad \text{[dB/m]} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4-9 \text{ rt})$$

〔垂直偏波〕

出典文献:細矢良雄監修「電波伝搬ハンドブック」,リアライズ社,(1994.12) 進士昌明編著「無線通信の電波伝搬」,電子情報通信学会,(1992.2)ほか

(4-9式)と(4-10式)では、方形型のトンネルに電波(平面波)が入射し、壁面や大地 面、天井面で反射したときの減衰定数を求めている。例えば水平偏波の電波がトンネ ルに入射すると、天井面と大地面では水平偏波の大地反射係数を、壁面では垂直偏波 の大地反射係数を求めて合成していることに他ならない。垂直偏波では、その逆となる。

また、(4-9式)と(4-10式)の括弧内の第1項は入射電波が壁面で反射したときの反射 係数で、第2項は天井・道路面での反射係数を意味している。数値的には、b>aの場 合には、第2項が第1項よりも大きな値となる。

(4-9式)と(4-10式)の構成からもわかるとおり、送信高や受信高、測定位置などの位置に関係していない。また、材質が空気の場合、誘電率が1となり、不定形となるため計算不能となっている。

(4-9式)と(4-10式)から、サイズを今回の試験場所の地下街に合わせ、誘電率ε_rを8~ 3で変化させ、水平偏波と垂直偏波の減衰定数(伝搬損失)を200mまでを計算した結 果について、距離特性を図4-74に、50mと100mでの伝搬損失の値を表4-15に示す。



図 4-74 方形型トンネルでの減衰定数の距離特性($\varepsilon_r = 8 \sim 3$ 、高さ 3m、横幅 8m)

区公	伝搬損失 (dB) 〔 ٤ r =8 〕			
区门	50m	100m	差分	
水平偏波	8.4	16.8	8.4	
垂直偏波	47.6	95.2	47.6	
差分	39.2	78.4	_	

表 4-15 方形型トンネルでの減衰定数の距離特性(ε_r = 8、高さ 3m、横幅 8m)

水平偏波では誘電率が大きくなると伝搬損失が小さくなっているが、垂直偏波では 逆に大きくなっている。

垂直偏波のほうが水平偏波よりも伝搬損失が大きくなっているとともに、伝搬損失 は距離に対して対数的に直線の距離特性となっている。つまり、50mと100mの伝搬 損失は、対数的に倍の値となっている。

50mから100mの位置では、水平偏波は約8dBの減衰に対し、垂直偏波では約48dBの減衰で、その差は約40dBになっている。

例えば、送信アンテナ直近において垂直偏波で100dB μ V/mの電界強度があったとして、100m離れた位置では、計算では95dB減衰して約5dB μ V/mとなるはずであるが、実証試験結果からは約45dB μ V/mであり、計算結果とは大きく乖離している。

一方、水平偏波では、送信アンテナ直近において100dB μ V/mの電界強度であった として、計算上では約17dBの減衰を受け約83dB μ V/mとなるところが、試験結果で は50~60dB μ V/mと、やはり乖離がある。次に、(4-9式)と(4-10式)から、100m離れ た位置における周波数特性を計算した結果を図4-75に示す。

計算結果からは、VHF帯は非常に伝搬損失が大きく、UHF帯になると少なくなる 傾向を示している。垂直偏波では、マルチメディア放送の帯域で約95dBであるが、 UHF帯の地上デジタル放送帯域では20dB以下の損失である。トンネル内では高い周 波数ほど伝搬損失が少なく、使用周波数帯域による違いが明確に現れている。

文献等で記述されているトンネル内伝搬式は、携帯電話等の通信用で使用される GHz前後の周波数においての研究成果であるが、VHF帯でのマクロな傾向はつかめる ものの、実証試験における実態との差違が著しいと考えられる。



図 4-75 方形型トンネルでの減衰定数の周波数特性(εr = 8、高さ 3m、横幅 8m、距離 100m)

今回の実証試験では、いわばトンネル内で電波を発射したときの各種特性を把握し てきた。モード解析で得られた伝搬式からは、外部から侵入した電波の減衰を扱って いることから、トンネル内で電波を発射したときの減衰特性ではないため、地下街の 電波伝搬を定量的に推定するには至らなかった。

また、トンネル内などの電波伝搬については、電波伝搬ハンドブック(リアライズ社発行)で文献報告されており、電波伝搬特性は開口面積と周波数によって、遮断領域、 モード伝搬領域、幾何光学的領域の電波伝搬となることが記載されている。その報告 では横6.3m高さ3mの方形断面内を伝搬するVHF帯200MHzは、減衰定数がマイクロ 波帯に比べ非常に大きく、水平偏波は40dB以上/100m、垂直偏波は100dB以上/100m となっており、いずれも減衰特性が大きいことが明らかになっている。

⑤放送エリアとなる伝搬距離

送信電力 100mW(33 セグメント)で送信した場合の各セグメントの伝搬距離特性について、マルチメディア放送の所要電界強度(受信高 1.5m)となる地点の距離(放送エリア)は、表 4-16 のとおりとなる。

送信電力 100mW (33 セグメント)の場合、13 セグメントの放送エリアは、半径 80m 程度となる。

	水平偏波		垂直	፤ 偏波	所要電界強度
セグメント	連続測定 [m]	定点測定 [※] [m]	連続測定 [m]	定点測定 [※] [m]	(受信高 1.5m) [dB <i>μ</i> V/m]
33 セグメント	93	90	65	57	62
13 セグメント	82	74	62	60	58
1 セグメント	72	72	63	55	47

表 4-16 偏波面とセグメントによる伝搬距離(100mW送信、受信高 1.5m、送信高 3m)

⑥偏波面による電波伝搬特性の違い

偏波面の違いによる電波伝搬特性については、水平偏波は、距離方向に対して緩や かな減衰特性であるのに対して、垂直偏波は送信点近傍では水平偏波に比べ電界強度 が高く急激に減衰するが、送信点から50mを超える付近で遠方にかけて水平偏波の方 が高くなり、距離方向も伸びている。これは、机上検討における幾何光学的手法及び レイトレーシング手法においても同様な傾向が確認されており、地下街等の閉鎖空間 における電波伝搬の距離特性だけを見ると水平偏波は、垂直偏波に比べ遠方に伝搬す る特性である。(図4-39(1)と図4-40(1)との比較、図4-48(1)①の水平偏波と垂直偏 波の比較、図4-61) (2) 地下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(特徴的な空間での伝搬調査)

1) 地下街特有の電波伝搬特性

①机上検討

「4-3-1(1)3) 地下街における電波伝搬特性 ①机上検討」で実施した一般的な地下街 環境モデルのほかに、地下街特有の閉鎖的環境の特徴的な空間における電波伝搬特性 についてレイトレーシング法により検討を行う。

ア. 検討条件

行止り通路、地下街の交差点となる十字路とT字路及びL字路、上り通路の5つのモデルについてシミュレーションを行った。なお、通路幅・天井高・材質・送信高・送信アンテナ位置・受信高については「4-3-1(1)3)地下街における電波伝搬特性」の項の基本モデルと同じ値とした。

検討パラメータを表 4-17 及び表 4-18 に、空間モデルを図 4-76 に示す。

区分	パラメータ
地下街空間のモデル	通路幅(8m)、天井高(3m)、材質(通路及び天井はコンクリート、両壁は金属) 行止り通路、十字路、T字路、L字路、上り通路
送信条件	送信電力 100mW、偏波(水平・垂直)、指向性(水平・垂直面無指向)、 送信高(3m)、送信アンテナ位置(中央)
受信条件	偏波(送信偏波面と同一)、指向性(水平・垂直面無指向)、受信高(1.5m)

表 4-17 検討パラメータ

表 4-18 パラメータの物理値

材質名	比誘電率 ε r	導電率 $\sigma(S/m)$		
金属	1E+9	1E+9		
コンクリート	8	2		



図 4-76 地下街空間モデル(基本通路)

表 4-17 に示したパラメータをもとに、表 4-19 に設定したモデルによりシミュレ ーションを行う。(通路幅、天井高、材質、受信高については、共通)

区公	地下街坊右エデル	盗败 师	天井高	材質		马信吉	図 来
区川	地下国符有てアル	通时间		天井·通路	壁面	文信向	四世
1	行止り通路	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(1) ①
2	十字路(中央からの送信)	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(1)②
3	十字路(通路からの送信)	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(2) ③
4	T字路(中央からの送信)	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(2)④
5	T字路(行止り通路からの送信)	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(3) ⑤
6	T字路(直線通路からの送信)	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(3) ⑥
7	L字路(中央からの送信)	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(4) ⑦
8	L字路(通路からの送信)	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(4) ⑧
9	上り通路	8m	3m	コンクリート	金属	1.5m	図 4-77(5) 9

表 4-19 シミュレーションモデル

イ. 検討結果

各地下街特有モデルによりシミュレーションした結果を図 4-77(1)~(5)に示す。



①行止り通路で送信した場合



②十字路 中央から送信した場合

図 4-77(1) レイトレーシング電界分布

電界強度の色分け(単位:dB µ V/m)

● 送信点









図 4-77(2) レイトレーシング電界分布



⑤T字路 行止り通路から送信した場合



図 4-77(3) レイトレーシング電界分布

電界強度の色分け(単位:dB µ V/m)

● 送信点



⑦L字路 中央から送信した場合



⑧L字路 通路から送信した場合

図 4-77(4) レイトレーシング電界分布



水平偏波

⑨上り通路で送信した場合

図 4-77(5) レイトレーシング電界分布

検討結果から、電界分布の特性については以下のとおりである。

(ア)行止り通路(①)

行止りの手前 50mから送信した場合では、壁からの反射による定在波が発生し、 行止りの壁付近では電界変動密度が高くなっている。

(イ) 十字路(②と③)

+字路中央から送信した場合では、水平偏波では送信点から離れるにつれ比較的 緩やかに減衰するが、垂直偏波の場合では送信点近傍で数mごとに同心円状の電界 の落ち込みが確認された。

十字路の手前 30m の通路から送信した場合では、交差点十字路の左右に回り込 む伝搬については、直線方向の伝搬に比べ見通し外の回り込んでいる伝搬路のため、 電界強度が低くなる傾向にある。

直線距離方向については、十字路のように途中開口部が新たにできたことにより、 70m 以遠について電界強度が低くなる傾向にある。

(ウ) T字路(23と456の比較)

T字路の手前 30m の通路から送信した場合では、十字路と比べると左右に回り 込む伝搬については同じ環境にあるが、T字路の突き当りで電波が反射するため、 壁からの反射により定在波が発生し、T字路周辺の電界変動が十字路に比べ高い傾 向にある。

(エ) L字路(④56と⑦8の比較)

T字路での行止り通路から送信した場合と比べると、伝搬路が左右片側のみになるため、その分送信電力が集中し伝搬距離が長くなっている。

(オ)上り通路(⑨)

平坦な水平通路と比べると、50m以遠の上り通路において急激に電界が減衰する。 特に水平偏波に比べ垂直偏波の方が減衰が大きい傾向にある。 ②フィールド試験

ア. 試験構成

(ア)送信系統

送信系統を図4-78に示す。

電波伝搬の基本特性を把握する際には、信号発生器を信号源の基本として受信装置を接続し、送信機1のみを動作させて水平偏波と垂直偏波のアンテナを切り換え ATT1により出力を可変して電波発射する。また、必要に応じて、信号源を放送波に切り換え、送信機2も動作させる。



図 4-78 送信系統

(イ) 受信信号の測定系統

受信信号の測定系統について、図4-79に示す。

測定用の受信アンテナは標準ダイポールアンテナを使用し、水平偏波・垂直偏波 のどちらかに設定し、受信高の基本は、1.5mと1mの2区分とし、測定評価項目に よって切り換える。



図 4-79 測定系統

イ. 試験内容

(ア) 電波伝搬特性の試験パラメータ

地下街の特徴的な空間形状の違いにおける電波伝搬特性を把握するため、表4-20 に示す空間構造の分類と、表4-21に示す送受信パラメータにおける距離分布特性を 環境雑音レベルに至るまで測定し検証する。

表 4-20 地下街空間構造の分類

	地下街空間構造の分類
А	開口面積が広い通路
В	開口面積が狭い通路
С	通路と通路が交わる交差点
D	通路から地上階に抜ける分岐路(出口など)
E	地下街の材質や環境の違いの変化(シャッターの開閉や歩行者混雑度)

表 4-21	測定評価す	る条件の組合せ	ŀ
--------	-------	---------	---

送信条件			后油	受信条件		测空语口
周波数等	送信電力	信号源	1冊 次	測定方向	受信高	测足項日
14M2 X7W 214.714286 MHz	1~100mW	信号発生器 又は放送波				33セグ電力/電界強度
			水平	中央ルート	1.5m	13セグ電力/電界強度
			(H偏波)		1.5m	1セグ電力/電界強度
				複数任意地点		13セグ電力/電界強度
					ኑ 1.5m	33セグ電力/電界強度
			垂直	中央ルート		13セグ電力/電界強度
			(∨偏波)			1セグ電力/電界強度
				複数任意地点		13セグ電力/電界強度

(イ) 測定場所のイメージ

地下街の特徴的な空間形状の違いにおける電波伝搬特性を把握するため、表4-20のA~Eの空間構造において、測定ルートを定めて連続移動測定を行う。

この測定ルートと送信点との位置関係を図4-80に示す。

送信点では、図4-80に示す送信点1 (TX1) 又は送信点2 (TX2)から、水平偏 波と垂直偏波を測定項目に応じて切り換える。



図 4-80 試験フィールドの測定ルートイメージ

(ウ)送信アンテナの取付方法による影響(送信ハイトパターン)

水平偏波の平面アンテナを天井に取り付ける際に、アンテナの裏面を金属板と木板としたときの違いを確認するため、図 4-81 と図 4-82 に示すように、ロープを使用して送信アンテナの高さを可変し、出力は 100mW で電界強度を測定する。これを送信ハイトパターン測定と呼ぶこととする。

送信アンテナの高さは、通路面から 1~3m(点検口内の所定位置)で、0.5m お きに配置して送信する。

受信点では、送信点から5m離れた高さ1.5mの位置に固定し、ダイポールアンテ ナを送信偏波面に合わせて水平偏波で測定する。

なお、通常の測定時には、取付強度の観点から、水平偏波の平面アンテナを金属 板で固定し、天井の点検口へ取り付けて試験を行う。

4-3 実証試験の結果











(2) 裏面金属の平面アンテナ (3) 裏面木板の平面アンテナ

図 4-81 送信ハイトパターン測定風景と送信アンテナ(水平偏波)



図 4-82 送信ハイトパターンの測定位置断面(水平偏波)

(エ) 垂れ壁による影響

地下街には、天井から垂れ下がったような形状の壁がある。これは、火災時に発 生する煙を遮るために設置されている。地下街の垂れ壁の材質はガラスが使われて いるが、強度を増すためにガラス内部に金属ワイヤが埋め込まれている。 試験フィールドであるオーロラタウンの垂れ壁について、図4-83に示す。



(1) 垂れ壁

(2) 垂れ壁ガラス内の金属ワイヤ

図 4-83 地下街にある「垂れ壁」

金属ワイヤは、少なからず電波に影響を及ぼすことになる。

水平偏波は水平方向の金属ワイヤ、垂直偏波は垂直方向の金属ワイヤが特に影響 が大きい。このため、垂れ壁の電波に対する影響度合いを現地で簡易な方法で確か めるため、図4-84に示すように、垂れ壁の前後1mの位置で電界強度を測定する。





ウ. 試験結果

(ア) 連続移動測定

a. 中央ルート(開口面積が広い通路(A))

中央ルートは、開口面積が広い通路(A)に該当し、天井高3m、通路幅8mである。 この中央ルートで、昼間において出力10mWで1つの送信点から電波を発射し、 水平偏波を垂直偏波を切り換え測定した結果を図4-85に示す。

水平偏波は、送信点近傍で急峻にレベル低下しているが、送信点から20m以遠で は緩やかな減衰特性となっている。

垂直偏波は、送信点から約50~60mまでは直線的に減衰している傾向にあり、その後はほぼ一定値でノイズレベルに達していると想定される。





図 4-85 中央ルートでの電界強度の連続移動測定結果(放送波 10mW/昼間測定)

b. テレビ塔方向(開口面積が広い通路(A))

中央ルートのうち、テレビ塔方向(東方向)に着目して、夜間において連続移動 測定した結果を図4-86に示す。

3つのセグメントの電界強度は、変動を繰り返しながら、送信点から遠く離れる にしたがって減衰する特性となっている。各セグメントの電界強度差は、一定値に なっていない。これは、帯域特性が変化していることにほかならない。



図 4-86 テレビ塔方向での電界強度の連続移動測定結果(出力 100mW/夜間測定)

c. オーロラスクエア(開口面積が広い通路(A))

「オーロラスクエア」ルートは、開口面積が広い通路(A)に該当するが、一辺が1mの柱が林立している場所で、天井高3mであるが、送信点のある中央ルートとオーロラスクエアとの間に段差があり、その間は2.5m高となっている。

出力100mWで夜間測定した結果を図4-87に、出力10mWで昼間測定した結果を図4-88に、それぞれ示す。





図4-87 オーロラスクエアでの電界強度の連続移動測定結果(出力100mW/夜間測定)

(1) 受信高 1.5m・H偏波(13セグメント電界)

(2) 受信高 1.5m・V偏波(13セグメント電界)

図4-88 オーロラスクエアでの電界強度の連続移動測定結果(出力10mW/昼間測定)

d. 小鳥の広場(開口面積が広い通路(A))

「小鳥の広場」ルートは、開口面積が広い通路(A)に該当するが、中央部には 小鳥小屋があり、その両サイドのみが通路となっているため、実質的にはあまり開 口面積は広くない。

出力100mWで夜間測定した結果を図4-89に、出力10mWで昼間測定した結果を 図4-90に、それぞれ示す。

なお、夜間は小鳥小屋のすぐ近くのドアが閉鎖されているが、昼間はオーロラタ ウン南側の地下鉄通路が使えることから、測定距離が異なっている。

水平偏波は緩やかに減衰する距離特性となっているが、垂直偏波は水平偏波より も急に減衰する距離特性を示している。



図4-89 小鳥の広場での電界強度の連続移動測定結果(出力100mW/夜間測定)



図4-90 小鳥の広場での電界強度の連続移動測定結果(出力10mW/昼間測定)

e. 防災センター通り(開口面積が狭い通路(B))

「防災センター通り」ルートは、開口面積が狭い通路(B)に該当し、中央ルートからすぐに天井高2.5mとなり、通路幅5mである。

夜間に送信点2から電波を発射して出力100mWで測定した結果を図4-91に示す。 水平偏波では、送信点近傍で急激に減衰しているが、それ以遠では緩やかに 12dB/oetに近い距離特性となっている。垂直偏波では、送信点から離れるにしたが って約40~50dB/oetの減衰特性を示している。





また、昼間において、垂直偏波で送信点1の出力10mWで、送信点2の出力だけを100mWに増力して送信したときに、13セグメント帯域を受信高1.5mで連続移動 測定した結果について図4-92に示す。

10mWと100mWでは送信電力の差(10dB)が確認されたが、電界強度の距離特 性の変化についてはほぼ同じ傾向となっている。



図4-92 防災センター通りでの連続移動測定結果(放送波・垂直偏波/TX2:100mW/昼間測定)

参考までに、昼間に送信点1から出力10mWで電波発射し、測定した結果を図4-93 に示す。

当該ルートには、送信点1からの電波はほとんど到来していないため、潜在雑音 レベルの距離特性とみることができる。雑音レベルは、中央ルート位置が最も雑音 レベルが高く、南北の通路にいくにしたがって低くなっている。



図 4-93 防災センター通りでの電界強度の連続移動測定結果 (TX1:出力 10mW/昼間測定)

f.防災センター通りと中央ルートとの十字路(通路と通路が交わる交差点(C)) 通路と通路が交わる交差点における電波伝搬を検証するため、図4-94に示す中央 ルート(通路幅約8m)と防災センター通り(通路幅約5m)が交わる十字路で電界 強度を連続移動測定した。その結果を図4-95に示す。





図 4-94 防災センター通りと中央ルートの交差点での測定場所



測定結果を見ると、垂直偏波では中央ルート(幅8m)及び防災センター通り(幅 5m)でほぼ同じ減衰特性だが、水平偏波では通路幅が狭い防災センター通りの方 が距離に対する減衰が大きくなっている。

机上検討で行った幾何光学的手法による検討では、水平偏波における通路幅が8 mと5mを比較した場合、通路幅が5mでは送信点から10~30m付近で急激に減衰す る傾向が見られたが、測定結果でも同様の傾向が確認できた。
g.地下街地上出口(通路から地上階に抜ける分岐路(D))

通路から地上階に抜ける分岐路(折り返し階段)における電波伝搬を検証するため、送信点1から10mWで送信した場合、図4-96に示す地上出口で電界強度を移動 定点測定した。その結果を図4-97に示す。



図 4-96 地上出口での電界強度調査地点



図 4-97 地上出口での電界強度測定結果(TX1 出力 10mW)

測定結果を見ると地下街から出口に行くにしたがって折り返しまでは減衰して いくが、折り返しの踊り場から地上に向かうにしたがって再び電界が上がる。

これは地上の親局から送信されている放送波の飛び込みによるものである。

なお、地下街再送信波と地上波との電波干渉については、「4-3-2(2)干渉検討及 び干渉回避手法」の項で説明する。 h. 昼間と夜間の比較(地下街の材質や環境の違いの変化(E))

地下街の材質や環境の違いの変化を検証するため、図4-98に示す中央ルートで水 平偏波で送信した場合の昼間(シャッター開・歩行者で混雑)及び夜間(シャッタ ー閉・歩行者なし)における電界強度を連続移動測定した。その結果について図4-99 に示す。



図 4-98 昼間と夜間の電波伝搬を比較した連続移動測定ルート



図 4-99 中央ルートでの電界強度の連続移動測定結果(昼間と夜間の違い)

昼間と夜間の電界分布を比較すると、送信点から昼間のほうが電界が落ちている ことが確認された。

これは、夜間は店舗の金属製のシャッターが閉められ反射による伝搬で遠くまで 届きやすいのに対し、昼間はシャッターが開けられているため反射による伝搬は見 込めないこと、また、夜間は無人であるが、昼間は人通りも多く人体による減衰が 多いことが原因と考えられる。 (イ)送信アンテナの取付方法による影響(送信ハイトパターン)

送信高を可変し、アンテナ裏面材質の違いによる電界強度を測定した結果を表 4-22に示すとともに、電界強度の変化を図4-100に示す。

送信アンテナと受信アンテナが正対している1.5mでは、垂直偏波と裏面木板の水 平偏波とでほぼ同じレベルであるが、裏面木板と裏面金属板とでは約10dBの差があ った。これは金属板による影響にほかならない。

さらに、点検ロ内の所定位置(3m)に収納したときでは、約20dBの差があった。 これは、他の点検ロを利用して送信できるようにしたため、アンテナ部が数cmほど 点検ロ内に位置したことによるほか、アンテナの放射空間が得られなくなることに よるものと想定される。

なお、送受信点間の距離は、誘導電界の影響を避けるため3λ(4.2m)以上となる 5mで測定したが、大地反射波や天井反射波等が受信電界に加わるため、得られた結 果がアンテナ部単体の指向性をそのまま表していないことに留意が必要である。

ここで、アンテナ裏面材質の違いによる連続移動測定ルートを図4-101に、電界 変化の測定結果を図4-102に、それぞれ示す。

送信高		水平偏波	垂直偏波	供 老	
h1 (m)	H: 裹面金属	H: 裹面木板	差分〔dB〕	V: λ /4ホイップ	
3.0	84.9	104.6	19.7	97.9	3mlt、
2.5	90.7	109.0	18.3	96.2	点検口内の
2.0	92.8	108.2	15.4	98.3	псш
1.5	95.8	105.7	9.9	104.1	単位
1.0	93.3	92.8	-0.5	107.4	$[dB \mu V/m]$

表 4-22 送信高とアンテナ裏面材質の違いによる電界強度測定結果



図4-100 送信高とアンテナ裏面材質の違いによる電界強度の変化



図 4-101 アンテナ裏面材質の違いによる連続移動測定ルート



図 4-102 アンテナ裏面材質の違いによる電界距離特性結果(受信高 1.5m)

(ウ)「垂れ壁」による電波への影響

垂れ壁の電波に対する影響度合いを確かめるため、垂れ壁の前後1mの位置で電界 強度を測定した結果を表4-23に示す。

結果として、金属と平行となる垂直偏波では、垂れ壁によって約10dBの透過損失 が認められた。一方、水平偏波は、-1dBとほとんど影響がない状況であった。

表 4-23 「垂れ壁」の前後位置における電界強度

庐油	受信アン	シテナ位置と電	差分〔dB〕			
1/冊 /汉	#1	#2	#3	#4	#1-#2	#3-#4
水平	73.0	74.0	75.6	69.0	-1.0	6.6
垂直	98.0	88.4	100.9	100.3	9.6	0.6

測定した垂れ壁は、送信点から約 10m の位置にあり、受信アンテナには直接波 の他に大地反射波なども合成された結果として電界強度が得られる。このため、測 定する位置が数 cm 違っても測定する電界強度は変化する。

表 4-23 の見通し状況での電界強度の差分(#3-#4)では、送信点から 2m 後方で、水平偏波では 6.6dB も低くなっているが、垂直偏波では 0.6dB と変化がわずかである。これは、大地反射波の強さの違いによるものと推定される。

一方、垂れ壁の前後の電界強度の差分(#1-#2)では、水平偏波では-1dB、垂直 偏波で 9.6dB であった。

測定位置のわずかな違いがあったとしても、垂直偏波の方が明らかに金属ワイヤ 入りのガラス垂れ壁によって、約10dB減衰しているのが確かめられた。

なお、ダイポールアンテナの全長は約0.7mで、垂直偏波では#2位置は送信点からみて垂れ壁の背後にすっぽり隠れる位置になる。

この 10dB の減衰は、材質による透過損失であり、このときの反射損失は 1dB 以下と計算される。垂直偏波では、この垂れ壁は金属板とほぼ等価とみなせるとともに、電波の遮へい物として影響を及ぼすことになる。

つまり、この垂れ壁は、水平偏波では何もない空間とほぼ等価であるが、垂直偏 波では遮へいする金属板と等価になっている。試験フィールドの地下街にある垂れ 壁は、同上の構造であったが、この材質が透明アクリル板など電波に影響を与えな い誘電体であれば伝搬距離が伸びると思われる。



ここで、試験フィールドであるオーロラタウンにある垂れ壁の主な位置を図 4-103 に示す。

図 4-103 オーロラタウンにある「垂れ壁」の主な位置

電波伝搬としては、垂直偏波に影響を与える垂れ壁に入っている金属ワイヤは、 メッシュ状の金網に見立てて考えることができる。金網の縦方向ワイヤは垂直偏波、 横方向ワイヤは水平偏波に関係し、ワイヤの太さと間隔が電波への影響度を決定す ることがわかっている。

ここで、垂れ壁のワイヤの間隔50mmをもとにワイヤの太さを可変した理論計算を 行った。算出した反射・透過係数から損失量を計算した結果例を図4-104に、ワイ ヤ径が1mmの場合の反射波と透過波の位相項の計算例を図4-105に示す。

ワイヤ径が太くなるほど電波は透過しなくなり、反射損失は小さくなるが、ワイ ヤ径が0.25~2mmでも200MHz帯の反射損失は1dB以下であり、金属板とほぼ等価 である。

また、透過した電波は位相変化が伴い、透過波と大地反射波などが合成された電 波は、複雑な帯域特性となることが想定される。



図 4-104 金網による反射損失と透過損失の計算例(間隔 50mm のケース) 〔参考文献〕N.Marucuvitz 「WAVE GUIDE HANDBOOK」McGraw-Hill Book, 1955



図4-105 反射波と透過波の位相項計算例 (ワイヤ径1mm・間隔50mmのケース)

2) 考察

①遅延時間と帯域特性

連続移動測定や移動定点測定を送・受信パラメータを変更しつつ実施した結果、測 定する微妙な位置の違いによって電界強度が変化するなど、閉鎖空間である地下街に おける電波伝搬特有の現象が確認できた。

測定したスペアナ帯域特性にも現れているように、帯域の中央部などで急峻に落ち 込む波形や、帯域特性が右肩上がりや左肩上がりなどの特性もみられた。これらは、 全てns(ナノ秒:nano second)オーダーの遅延時間を伴った電波が干渉し、数センチ ずれても位相差が変化するため、結果的に帯域特性は変化することになり、これが電 界強度の変化として現れることになる。

この遅延時間は、測定器では解析不可能な領域で、これまで放送波で観測してきた 遅延時間の1,000分の1に相当し、野外での放送波受信調査などで見られない閉鎖空間 の大きな特徴である。

天井高3mで通路幅8mの試験フィールドに対応し、送信高3mで受信高1.5mとした ときの直接波や各反射波との遅延時間の距離特性を図4-106に示す。遅延時間は1ns~ 20ns程度で、送信点から10m以上離れると、遅延時間は10ns以下となることがわかる。



図 4-106 送信点からの各波の遅延時間(送信高 3m・受信高 1.5m/天井高 3m・通路幅 8m)

机上検討等で説明したように、nsオーダーの遅延時間差をもつ電波の干渉は、マル チメディア放送の帯域全体の関係する特性変化となって現れる。

ここで、図4-106に示す送信点から10m位置で、DU比3dBとしたとき、大地反射波 と直接波(τ=2.8ns)、側面反射波と直接波(τ=9.3ns)、大地反射波と側面反射波 (τ=6.4ns)の関係において、高周波位相差を0度と180度と変化させたときの帯域特 性シミュレーション結果を図4-107に示す。図中に示す値は、直接波だけの平均レベ ルを0dBとしたときに、遅延時間と高周波位相差を伴って合成されたときの平均レベ ルの変化を示している。高周波位相差が0度と180度とでは、空間距離に換算すると、 わずか70cmに相当する。



単なるシミュレーション結果からでも、70cmだけ相対位置がずれただけで、図4-107の(3)と(4)とではレベルが約14dB変化していることがわかる。

(5) *τ*: 6.4 ns、位相差: 0deg



図 4-107 送信点から 10m 位置の帯域特性計算例 (D/U=3dB/送信高 3m・受信高 1.5m/天井高 3m・通路幅 8m)

②柱などによる受信への影響

VHF帯の電波は、遮へい物背後の位置では偏波にかかわらず直接波の電界強度が低くなるが、その位置には壁面や柱などで反射した電波が到来している。

机上検討で説明したとおり、反射波強度は反射する物体の材質が大きく関係すると ともに、そのサイズによって決まる。地下街では、反射波電界強度の定量測定は困難 であるが、壁面や柱からの反射波は垂直偏波の方が水平偏波よりも強いと想定される。

水平偏波と垂直偏波では、反射体の面積が同じであれば、同じ電波量が入射するが、 入射電波の電界面が反射体と平行となる偏波のほうが強く反射する。つまり通路面で は水平偏波が、壁や柱では垂直偏波が反射しやすいことを意味する。

柱などの陰で送信点が見通せない場所では、水平偏波では受信不可であったが、垂 直偏波では受信可能となるケースがオーロラスクエアで確認されている。この場所は、 直接波よりも反射波が支配的となって電界強度が形成されると考えられる。

結果的に、地下街などで柱が多いエリアや遮へいされたエリアにおいては、垂直偏 波の方が水平偏波よりも反射波によって受信できる可能性が高いと考えられる。

③昼間と夜間との電波伝搬の違い

地下街等の空間においては、夜間(店舗シャッター閉(壁面が金属)・歩行者なし) の環境と、昼間(シャッター開・歩行者あり)の環境では、夜間の方がより遠方に電 波が到達する結果となり、机上検討と傾向が一致する。(図4-48①と⑥、図4-99)

④開口面積の違いによる電波伝搬の違い

地下街等の空間における電波伝搬については、開口面積が広い空間に比べ、狭い空 間は電波の伝搬距離が短くなる傾向であり、机上検討と傾向が一致する。

⑤交差点における効率的な送信方法

地下街通路の交差点でメイン通路及び分岐路に効率的に送信するためには、交差点 付近に送信地点を設けることが効率的である。

⑥曲がり角における電波伝搬

曲がり角がある通路の電波伝搬においては、電波侵入路から90度以上曲がることに よって、曲がった先の距離方向については遮断する特性になり、机上検討と傾向が一 致する。これは、地上階から地下街にかけての階段通路の伝搬特性及び逆方向の地下 街から地上階にかけての階段通路の伝搬特性においても傾向が一致する。

⑦垂れ壁による受信への影響

天井に据え付けられた垂れ壁など、電波伝搬に与える影響が少なくないことも確認 された。試験フィールドの垂れ壁は、金属ワイヤ入りのガラス製で、天井から0.8mの 長さ、横幅は通路幅と同じ8mのサイズである。 天井高3mに送信点が取り付けられ、垂れ壁が金属板と等価であり、送信点から10m 位置に天井から0.8mの長さがあるとして、垂直偏波で受信高1.5mの場合、光学見通 し状況を計算すると、送信点から約19m離れると見通し外になり、受信高1mの場合に は25mとなる。

垂直偏波において、送信点から10m以遠での距離特性では、水平偏波の特性に比べ 減衰特性の傾きが大きくなっている理由と考えられる。

光学的見通しとならない電波伝搬路の遮へい地域においては、反射・散乱された電 波が主体的になり、これまでの理論計算の条件や結果と大きく差異が生じることが確 認できた。水平偏波でも、垂れ壁の下にある横方向の金属も、何らかの影響を及ぼし ていると考えられる。

試験では天井に取り付けた送信アンテナを受信高1.5mで測定したが、見方を変える と、通路面に置いた送信アンテナを受信高1.5mで測定するのと等価な位置関係にある ことがわかる。通路面に置いた送信アンテナでは、空中にある送信アンテナの場合と 異なり、周辺地物や周辺構造物の影響を受けやすいことが直感的に理解できる。これ が電波を減衰させることになる。

これらのことから、実際の地下街においては直接波、大地反射波などが明確に区分 できる理想的な環境ではなく、送信点を離れるにしたがって、光学的見通し内も含め て散乱された波の合成の電界強度を測定していると考えられる。 4-3-2 地下街等の閉鎖空間における送信システム

(1) 効率的な送信設備及び送信方法

1)送信条件

①机上検討

ア.空中線電力

マルチメディア放送を視聴するために十分な電界強度が得られるものでなければ ならない。屋外であれば100mWの送信電力で十分な電界強度が得られることが確認 されているが、地下街のレイトレーシングにおけるシミュレーションでは、100mW の出力でも200m以上の伝搬距離が得られる結果となっている。

地下街では、一般歩行者が無線設備に近づく環境にあることから、電波防護規定 に従い、電力とアンテナの組合せで適正な値に管理することが重要である。

また、多数の無線設備が狭い空間で運用されていることから、送信電力を増加さ せることによる相互干渉についても十分考慮する必要がある。

イ.アンテナの型式

地下街では、物理的に設置できるアンテナに限界があり、次のようなアンテナが 適するものと考えられる。

- ・ モノポールアンテナ
- ターンスタイルアンテナ
- ・ 平面アンテナ

ウ. アンテナ指向性

天井面にアンテナを取り付けて使用するため、天井面(天井裏)にエネルギー放 射しないもので、水平方向に対して多少のダウンチルトがかかるような特性が望ま しいと考えられる。

エ. 偏波面

レイトレーシングにおけるシミュレーションから、垂直偏波よりも水平偏波の方 が遠方への伝搬特性は良いことが確認されたが、この場合は水平偏波送信の水平偏 波受信した条件である。

マルチメディア放送など携帯端末で視聴するものについての受信アンテナでは、 垂直偏波に近い受信形態になると考えられるため、その点を考慮する必要がある。

オ.送信アンテナの間隔

2地点に送信アンテナを配置する場合、100mW送信時においては半径50~80mが1地 点のカバー範囲となることから、送信アンテナの2点間離隔距離は、その倍の100~ 180m程度が最適と考えられるが、実際には地下空間は看板や照明など多数設置され ていることや歩行者の混雑度によっても電波伝搬環境が変わるため、地下街の環境 を考慮し間隔を決める必要がある。

カ.送信設備の設置条件

地下街空間に設備を設置する場合、既存の施設や設備に影響を与えることなく設置 することが重要であり、かつ景観的、美観的に地下空間に許容できるものが望まれる。

また、送信するアンテナの配置については、電波伝搬上効率の良い地点に設置す ることが重要であり、その場合は周辺に障害物がなく電波カバーをする範囲に対し てクリアランスが確保されているところが適している。

地震などの災害時においても有効な情報手段として活用する場合においては、十 分な耐震対策や万が一天井が外れても設備が歩行者に落下衝突しないような落下防 止対策を施すことも重要である。

そのほか、既存の地下街には多数の設備が入り乱れているため、配線ルートの確 保も設備整備には重要なポイントとなる。

②フィールド試験

ア. 試験構成

(ア) 1つのアンテナ及び2つのアンテナによる送信システム

送信系統を図4-108に示す。

効率的な送信設備及び送信方法を把握する際には、放送波を信号源の基本として 受信装置を接続し、送信機1と送信機2を動作させて水平偏波と垂直偏波のアンテ ナを切り換え必要によりATTにより出力を可変して電波発射する。必要に応じて、 信号源を信号発生器とし、また、送信機2を停波させて試験する。



イ. 試験内容

(ア) 1つのアンテナ及び2つのアンテナによる送信システム

1つのアンテナ及び2つのアンテナによる送信システムの電波伝搬特性を把握 するため、表4-24に示す送受信パラメータにおける距離分布特性を10m間隔で環境 雑音レベルに至るまで測定し検証する。

2送信点における測定ルートを図4-109に示す。

表 4-24 1 つのアンテナ及び 2 つのアンテナから送信する調査パラメータ

送信条件			后油	受信条	件	测合语口	
周波数等	送信電力	信号源	1偏次	測定方向	受信高	測正項日	
						13セグ電力/電界強度	
14M2 X7W 100mW 214.714286 . MHz 10mW	100mW	100mW 放送波	水平	中央ルート	1.5	MER	
						遅延プロファイル	
	ていた。		反び 任意地点	I.om	13セグ電力/電界強度		
			垂直			MER	
						遅延プロファイル	



図 4-109 2 送信点における測定ルート関係

ウ. 試験結果

(ア) 1つのアンテナ及び2つのアンテナによる送信システム

- a. 1つの送信点からの電波による伝搬特性
- (a)中央ルート

受信高1.5mと1mで13セグメントのMERを測定した結果を図4-110に示す。

図4-110(1)の水平偏波では、1.5mの方が1mよりMER特性は良好である。1mでは100m付近で極端にMERが低下している。図4-110(2)の垂直偏波では、一部距離で極端に低下しているものの、受信高の違いはあまり見られず、1.5mの方が若干良い程度である。

なお、MERは5回平均で取得した総合MERで示している。図4-110の中で「測定 不能」と記載している部分は、測定器で値は表示しているものの「信号解析失敗」 のアラート表示が出ているデータで、入力信号の低下や信号劣化が激しい場合に 表示される。



図 4-110 中央ルートでの受信高の違いによる MER 距離特性結果(夜間測定)

測定結果を示した図4-110をもとに、同じ受信高で偏波面による違いを比較した グラフを図4-111に示す。

受信高にかかわらず、距離が遠くなるにつれて水平偏波の方がMER特性は良好である。



図 4-111 中央ルートでの偏波面の違いによる MER 距離特性比較(夜間測定)

次に、MERと電界強度の相関を見るために、縦軸を電界強度、横軸をMERとして10mごとに測定した各値をプロットしたグラフを図4-112に示す。

この相関グラフは、図4-66と図4-110のグラフから、距離パラメータを除外して プロットした分布であるとともに、測定不能であったMERは除外している。

水平偏波、垂直偏波ともに相関係数Rは約0.9程度で強い相関がある。図4-112(1) の水平偏波での相関係数は、受信高1.5mで0.882、1mで0.829である。図4-112(2) の垂直偏波での相関係数は、受信高1.5mで0.822、1mで0.909であった。

この値からは、垂直偏波の受信高1mが最も相関係数が高い。図4-66(4)と図 4-111(2)の垂直偏波のラインを見比べると、同様な変化となっていることが読み 取れる。



図4-112 中央ルートでのMERと電界強度の相関比較(夜間測定)

ここで、中央ルートにおいて夜間に測定した帯域特性波形とコンスタレーション波形及び遅延プロファイル波形について、代表的なデータとして、水平偏波で受信高1.5mを図4-113に示す。

遅延プロファイル波形では、信号源として信号発生器を使用しているので、地 下街で発生する反射波のみが現れるはずだが、その遅延時間はnsオーダーと、極 めて短いため測定限界以下となり、結果の特性波形には現れていないことがわか る。

一方、遅延プロファイル波形に現れないほどの遅延時間が極端に短いマルチパスは、帯域特性やセグメントごとの電界強度の変化として現れる。この特性変化に伴って、コンスタレーションの拡がり度合いやMERの変化となる。

これらの特性をスペアナで測定するが、スペアナ設定条件を変える動作を少な くして短時間でデータ取得をするために、同じスペアナ条件のもと10m単位で移 動して測定した。このため、帯域特性とコンスタレーションの波形には、取得す る際の時間差と空間的な測定環境条件に差があり、必ずしも同じ状態での測定と はいかないことに留意が必要である。

4-3 実証試験の結果



図 4-113 中央ルートでの帯域特性、MER、遅延プロファイル特性(受信高 1.5m/水平偏波)

(b)壁面ルート

受信高が1.5mで13セグメントのMERを測定した結果を図4-114に示す。 偏波面による違いは、図4-110に示した中央ルートのMER距離特性とほぼ同様な 傾向であり、垂直偏波よりも水平偏波の方がMERは良好である。



図 4-114 壁面ルートでの MER 距離特性結果(受信高:1.5m/夜間測定)

次に、MER と電界強度の相関を見るために、縦軸を電界強度、横軸を MER と して 10m ごとに測定した各値をプロットしたグラフを図 4-115 に示す。相関グラ フは、図 4-66 と図 4-114 のグラフから、距離パラメータを除外してプロットした 分布である。

電界強度とMERとの相関係数Rを計算して図示しているが、図4-115(1)の水平 偏波での相関係数は約0.8~0.93、また図4-115(2)の垂直偏波では相関係数は約0.9 前後となっており、強い相関があることがわかる。



図4-115 壁面ルートでのMERと電界強度の相関比較(夜間測定)

ここで、壁面ルートにおいて受信高1.5mで測定した帯域特性波形とコンスタレ ーション波形について、代表的なデータとして北側壁面ルートの水平偏波を図 4-116に示す。

各種波形は、送信点から10m間隔で130mまで把握しているが、ここでは送信点から20m間隔で100mまでの波形を示している。

また、遅延プロファイル波形も取得しているが、中央ルートのケースと同様に 遅延時間はns(ナノセカンド)オーダーと極めて短いため測定限界以下となった。

垂直偏波の40m地点などスペクトラム波形に鋭いディップが観測されているが、 遅延プロファイルで観測できるところでは目立つ遅延波がないことから、測定器 では計測できないnsオーダーの近接遅延波が存在してスペクトラム波形が乱れて いるものと推定される。



図 4-116 北側壁面ルートでの帯域特性、MER 特性(受信高 1.5m/水平偏波)

b. 2つの送信点からの電波による伝搬特性(連続移動測定)

(a) 夜間の伝搬状況(中央ルート)

夜間の中央ルートにおいて、2つの送信点から出力100mWで水平偏波と垂直偏 波で送信し、13セグメント帯域を受信高1.5mで連続移動測定した結果について図 4-117に示す。このとき、信号源は放送波を用いた。

図4-117では水平偏波の方が垂直偏波より電界強度が約10dB低い結果となっているが、これは水平偏波の平面アンテナを取り付けている金属板の影響と考えられる。



図 4-117 2送信点での電界強度の連続移動測定結果(放送波/夜間測定)

(b) 昼間の伝搬状況(中央ルート)

昼間の中央ルートにおいて、2つの送信点から出力10mWで水平偏波と垂直偏波 で送信し、13セグメント帯域を受信高1.5mで連続移動測定した結果について図 4-118に示す。このとき、信号源は放送波を用いた。

図4-118より、出力10mWの昼間帯でも図4-117と同様な傾向となっている。



図 4-118 2送信点での電界強度の連続移動測定結果(放送波/昼間測定)

次に、2つの送信点から出力10mWの垂直偏波で送信し、午前と午後の2回、時間帯を変えて13セグメント帯域を受信高1.5mで連続移動測定した結果について図 4-119に示す。なお、午後帯でTX1から東側は混雑により測定できなかった。

図 4-119 より、時間帯に多少の変化は見られるものの、おおむね類似した特性 となっている。微妙な違いについて、通行量によるものかどうかまでは判別でき なかった。



図 4-119 2送信点での電界強度の連続移動測定結果(放送波・垂直偏波/昼間測定)

(c) 夜間と昼間の伝搬状況比較(中央ルート)

送信点1から出力10mWで13セグメント帯域を受信高1.5mで連続移動測定した 結果について、夜間と昼間の特性グラフを重ね合わせ比較した。

水平偏波の場合を図4-120に、垂直偏波の場合を図4-121に、それぞれ示す。 距離によって電界強度の多少の違いはあるものの、おおむね類似した特性とな



図4-120 電界強度の連続移動測定結果の昼夜比較(放送波・水平偏波)



図4-121 電界強度の連続移動測定結果の昼夜比較(放送波・垂直偏波)

c. 2つの送信点からの電波による伝搬特性(移動定点測定)

夜間の中央ルートにおいて、2つの送信点から出力100mWで水平偏波と垂直偏 波で送信し、13セグメント帯域を受信高1.5mで、送信点1から西方向に移動定点測 定した結果について図4-122に示す。このとき、信号源は放送波を用いた。

水平偏波の方が垂直偏波より電界強度が約10dB低いが、これは水平偏波の平面ア ンテナを取り付けている金属板の影響と考えられる。



図 4-122 2送信点での電界強度の移動定点測定結果(放送波/夜間測定)

図4-122と同じ条件で測定したMER特性について、図4-123に示す。

MERが距離によって極端に変化しているのは、nsオーダーの遅延時間の波との合成によって帯域特性に落ち込みが発生しているためと考えられる。

送信点1と2の中間点付近では垂直偏波は水平偏波に比べMERが極端に劣化していることが確認された。



図 4-123 2送信点での MER の移動定点測定結果(放送波/夜間測定)

次に、夜間に2つの送信点から出力10mWの垂直偏波で送信し、13セグメント帯 域を受信高1.5mで移動定点測定した結果を図4-124に示す。

昼間の移動定点測定は、通行人の妨げになるため実施しなかったが、連続移動測 定の結果からは、際だった昼夜での距離特性の差違は認められていない。

この送信パラメータのときに、昼間に携帯端末で受信可否を確認したところ、送 信点1を起点として約45~90mの間では、画面にブロックノイズが出たり受信不 可となったりしていた。

このときの電界強度は、図 4-124 から約 60dB µ V/m 以下のレベルであった。



図 4-124 2送信点での電界強度の移動定点測定結果(放送波・垂直偏波/夜間測定)

2) 小型な再送信システム

①机上検討

小型な再送信システムについては、半径数メートル程度の範囲を受信改善するもの で、簡易に設置でき、十分な電界強度と電波品質が確保できれば有効であると考えら れている。

特に、受信信号の品質(安定した電界強度とMER)が安定的に確保できることが重要であることと、システム発振防止に向けては、送信アンテナと受信アンテナの相互間の離隔を十分確保する必要がある。

しかし、これらの設置方法や運用の仕方を含め専門的な知識がなければ安定運用で きないシステムであれば課題であるため、技術的条件について十分な検討が必要である。

②フィールド試験

ア. 試験構成

試験系統をを図4-125に示す。

この構成は、地下街のメイン通りをカバーしている電波を受信し、地下街店舗内 の喫茶店の奥などに最大で20mWの小電力で再送信し、半径数メートルの範囲を改善 するものである。



図4-125 小型な再送信システムの送信系統

イ. 試験内容

(ア)小型な再送信装置の OFF/ON に対する電界強度及び MER の改善度調査

表 4-25 に示す送受信パラメータにおける距離特性を 4m 間隔で測定し、併せて受 信機による視聴確認を行う。

なお、試験については、オーロラタウン最西端の受信不可エリアである通路を地 下街店舗と想定して行う。

試験装置を図4-126に示す

送信条件			后油	受信条件		测合语句	
周波数等	送信電力	信号源	1/冊 /文	測定方向	受信高	测足項日	
			水平	〈平 複数任意		13 セグ電力/電界強度	
	1~20mW (※傾向特性 が確認できる よう電力を可 変調整する)				1.5m	送受回り込み/遅延プロファイル	
14M2 X7W						送信電力	
		向特性 恩できる 放送波 — :カを可 整する)				MER	
214.714286			五古	地点		13 セグ電力/電界強度	
MHz						送受回り込み/遅延プロファイル	
			王旦			送信電力	
						MER	

表 4-25 小型な再送信システムの送受信パラメータ

※上記パラメータのほか、数m程度のエリア改善を行うための必要電力を検証するため1mW以下の低電 カについても確認を行う。



図4-126 試験装置

送信アンテナと受信アンテナの直線距離は約10mで、送信アンテナと受信アンテ ナの高さは地上高約1.5mの近距離位置関係で試験を行う。

送受信アンテナの位置関係について図4-127に示す。

送受信アンテナ間のシステムへの回り込みによる発振を抑えるため、送信電力を約0.1mW(-10dBm)に設定する。



図 4-127 送受信アンテナ位置関係 (小型な再送信装置の OFF/ON に対する電界強度及び MER の改善度調査)



(イ)送受信位置を変えた場合の発振限界とエリア半径との関係

送受信位置を変えて発振限界とエリア半径の関係についての試験を行う。 その時の送受信アンテナの位置関係を図4-128に示す。

> 図 4-128 送受信アンテナ位置関係 (発振限界とエリア半径との関係)

(ウ) 小型な再送信装置における送信電力と伝搬距離との関係

送信電力を20mWから1mW以下まで変化させ、その時のエリア改善半径について 確認を行う。試験では入力信号に信号発生器を用いて33セグメントの電力について C/N=20dBの状態で送信し、受信電界強度が62dBµV/mとなる距離について、送信 高を1.5mと2mの2つの条件で測定する。図4-129に調査時の送信位置を示す。 なお、送信点1及び送信点2の送信機出力はOFFにする。



図 4-129 微小送信電力における試験の送信位置

ウ. 試験結果

(ア)小型な再送信装置のOFF/ONに対する電界強度及びMERの改善度について

図4-127に示した調査地点①~⑤において、小型な再送信装置のOFF/ONに対する 電界強度及びMERの改善度について表4-26に示す。

表 4-26 小型な再送信システムの試験結果(送信電力 0.1mW)

	再送信	装置 OFF	再送信	電界強度			
No	13seg 電界強度 (dB <i>μ</i> V/m)	MER (dB)	視聴	13seg 電界強度 (dB <i>μ</i> V/m)	MER (dB)	視聴	改善度 (dB)
1	34.6	×(測定不可)	×	48.8	4.6	×	14.2
2	31.6	×(測定不可)	×	51.5	×(測定不可)	×	19.9
3	33.9	×(測定不可)	×	57.6	12.1	0	23.7
4	33.2	×(測定不可)	×	76.0	22.5	0	42.8
5	37.0	×(測定不可)	×	85.0	20.9	0	48.0

改善度が顕著となった調査地点⑤について、電界強度と MER の変化を図 4-130 に示す。



図 4-130 地点⑤における電界強度と MER の変化

送受の回り込みによる発振を引き起こさずにエリア改善ができる送信電力 0.1mW(-10dBm)で試験をした結果、半径約10mの範囲について視聴可能となり、 受信環境を改善することができた。

電界強度の改善では、小型な再送信装置の近傍約 4m 付近では 40dB 以上の改善 が確認できた。また、MER についても約 4m付近では 20dB 以上を確保することが でき、安定受信環境を作ることができた。

この小型な再送信装置にて受信改善を行うにあたって留意すべき事項としては、 以下の2点が考えられる。

第一に受信信号をいかに良好なものが得られるか、特に電界強度と信号品質となる MER が十分な値が得られるかが重要である。

第二には小型な再送信装置の送信アンテナから送信した信号が受信アンテナに いかに回り込まない構成で設置できるかである。

これらの2点を十分確保することにより、受信改善が可能なエリアを広げること が可能となる。

これらの結果から、小型な再送信装置における半径数メートルという狭小な範囲 の受信改善には効果があることが確認でき、地下街店舗内の受信不可エリアとなる 喫茶店などの奥の空間などに適するものと考えられる。

(イ)送受信位置を変えた場合の発振限界とエリア半径との関係

送受信位置を変えて発振限界とエリア半径の関係について試験を行った結果を 表 4-27 に示す。

試験を行った結果、送受信距離(離隔距離)が十分に大きいもしくは遮へい損が 大きい場合、エリア半径は 10m 以上となることが確認できた。ただし、送受信間 距離が 7.9m(受信①、送信 a)であってもエリア半径は 2.0m となっている。これ は MER 値が低いことも原因のひとつになっていると考えられ、再送信においては、 送信電力だけではなく、受信した信号の品質も重要であると考えられる。

亚层	`* <i>i</i> =	产 学习 产 明			承之法	エリア		
受信 位置	达信 位置	运受信间 距離(m)	l3seg 电乔强度 (dB <i>μ</i> V∕m)	(dB)	/////////////////////////////////////	設定装置 利得(dB) ^{※2}	エリア半径 (m)	
						1110(02)	(,	
1	а	7.9	54.8	8.2	5	43	2.0	
2	b	10.1	65.9	20.1	10	52	10.0	
2	а	11.5	65.9	20.1	10	53 以上 ^{※3}	18.8 ^{※4}	

表 4-27 小型な再送信システムにおける発振限界とエリア半径の関係

※1:送受信距離と発振限界の利得からの計算値

※2:発振しない安定した利得値に設定

※3:装置利得を最大値の 53dB に設定しても発振しなかった

※4:装置利得 53dB 時のエリア半径

(ウ) 小型な再送信装置における送信電力と伝搬距離との関係

小型な再送信装置により、送信電力を変化させた場合の伝搬距離の変化について、 垂直偏波における送信高 1.5m、2m で所要電界強度 62dBµV/m (33 セグメント、 受信高 1.5m) となる地点の距離を求めた結果を表 4-28 に示す。

表 4-28 送信電力の違いによる伝搬距離

送信電力(mW)	伝搬距離(m)				
(33 セグメント)	送信高 1.5m	送信高 2m			
0. 01	14	19			
0. 05	20	21			
0. 1	21	23			
0.5	39	38			
1	45	43			
10	50	50			
20	55	58			

(33 セグメント、垂直偏波、受信高 1.5m)

この結果から、送信高の 1.5m、2m の条件の違いはあるものの、送信電力を増加 させても距離特性は極端には増加しないことがわかった。

3) 考察

①送信点の相互離隔距離と出力

送信点から離れるにしたがって電界強度が低くなる傾向は、試験結果に示したとお りである。送信点が2つあるとき、その中間地点が最も電界強度が低くなる。中間地 点には、微弱になった両送信電波が到来するが電界強度の単純な電力加算とはならず、 空間的位相差をもって合成され、帯域特性の変化となって現れることは既に述べた。

今回の実証試験での水平偏波の場合、遠地点で垂直偏波より電界強度が高く伝搬損 失が少ないことが確認できた。しかし、送信アンテナの裏面には、天井面への取り付 け強度を確保する関係から、やむを得ず金属板を使用している。これにより、送信点 近傍での電界強度が垂直偏波に比べ約10dB低いことが確認されている。この要因によ り、安定受信を可能とする送信点の相互離隔距離検討には適さないと考える。

そこで、垂直偏波の無指向性アンテナにおいて、今回の実証試験で得られた特性から考察する。

受信電界と受信可否との関係では、受信機特性や位置関係が明確に対応していない が、おおよそ垂直偏波の例では50~60dB *μ* V/mで受信できることが確認されている。

約130m離れた2つの送信点から出力10mWで垂直偏波を送信したとき、受信不良 地帯の電界強度は約50dB μ V/mであった。

少ない事例ではあるが、地下街にある機器からの雑音発生も考慮すると、電界強度 として60dBμV/m以上あればおおむね安定受信できると想定される。

したがって、オーロラタウンの中央ルートでは、垂直偏波の電界強度50dBµV/mの 場所を10dB上昇させるには、送信電力を100mWにすることで中間地点の受信不良地 帯が解消されるとともに、中央ルートの全体がカバーされると想定される。

一方、垂直偏波の送信点から約40~50m離れた位置の電界強度は、出力10mWで おおよそ60dBµV/mであった。このことから、出力10mWの場合で中間地点の受信 不良地帯を解消するには、送信点の離隔距離を80~100mにする必要があるが、両送 信点の外側となる位置では電界強度が低下する。このため、さらに送信点を設置する 必要があり、オーロラタウンの中央ルート全体を出力10mWでカバーするには、3~ 4つの送信点が必要と考えられる。

②微小電力での電波伝搬

0.01mWの極微小電力での伝搬は、送信アンテナの見通し近傍付近(20m 程度)し か伝搬しないため自由空間理論式に近い値となった。それよりも遠方に伝搬させる領 域については伝搬損失が極端に増加する特性があるが、送信電力を増やすことで伝搬 距離をある程度は確保できることが確認できた。

(2) 干渉検討及び干渉回避手法

S F N 受信障害

①机上検討

SFN受信障害とは、複数地点から同一周波数で送信された電波が、ある地点におい て時間差と信号強度差の関係で、受信機で正常に受信できない受信障害のことをいう。 マルチメディア放送は、地上デジタル放送と同様なガードインターバルという干渉 を回避する機能を使用していることから、同じ周波数を使用しても即混信となるもの ではなく受信機側で良好に視聴できるよう調整している。

しかし、地下街においてSFN受信障害となる場合は、地上〜地下街間及び地下街〜 地下街間のある2地点から送信した電波の遅延時間差が252µs以上ある場合、その信 号強度比が一定値以下になると受信できなくなる。マルチメディア放送の技術的条件 では、表2-1に示したように、混信保護比を24.8dBとしている。

したがって、地上〜地下街間及び地下街〜地下街間で、252µs以上の時間差を生じ ないように設備構成を組むことや、電波遮蔽効果により24.8dB以上の信号強度比を確 保することで混信なくシームレスな受信が可能となる。

SFN 受信障害についてのラボ試験は、次項「2) マルチパス受信障害 ②ラボ試験」 と併せて実施する。

2) マルチパス受信障害

①机上検討

ア.マルチパスのDU比と遅延時間の関係

マルチメディア放送や地上デジタル放送では、マルチキャリアのOFDM方式を採 用している。このOFDM波の希望波とともに、物体に反射したマルチパスやSFN波 などの遅延波が加わると、帯域内特性が変化して受信障害となることがある。

マルチパスがあるOFDM波をスペアナで帯域観測すると、遅延時間によって帯域 内の包絡線スペクトラムにリップルが生じている。このリップル振幅の最大〜最小 がDU比に相当し、周波数軸の山〜山(谷〜谷)の周波数間隔が遅延時間に相当する。



マルチパスがあるOFDM信号をスペアナで帯域観測した波形イメージを図4-131

に示す。

図4-131に示した観測波形のリップル振幅からDU比を求めてみる。

波形の最大部は(D+U)dBで、最小部は(D-U)dBであり、その振幅差はL(dB)で示される。ここで、これらの関係式を導出する。

リップル振幅のピーク点レベルとディップ点レベルには、以下の関係がある。

$$\begin{split} 10^{\frac{L}{20}} &= \frac{10^{\frac{D}{20}} + 10^{\frac{U}{20}}}{10^{\frac{D}{20}} - 10^{\frac{U}{20}}} \quad \forall \& \Im \Im i \\ 10^{\frac{L}{20}} \left(10^{\frac{D}{20}} - 10^{\frac{U}{20}} \right) &= \left(10^{\frac{D}{20}} + 10^{\frac{U}{20}} \right) \\ \frac{10^{\frac{D}{20}}}{10^{\frac{D}{20}}} &= \frac{10^{\frac{L}{20}} + 1}{10^{\frac{D}{20}} - 1} \\ \vdots & \supset \forall \chi , \\ (D_{U}) \ [dB] &= 20 \cdot \log \left(\left| \frac{10^{\frac{L}{20}} + 1}{10^{\frac{D}{20}} - 1} \right| \right) \\ L \ [dB] &= 20 \cdot \log \left(\left| \frac{1 + 10^{\frac{D}{20}}}{1 - 10^{\frac{D}{20}}} \right| \right) \end{split}$$
(4-11 xt)

また、遅延時間 τ は次式で示される。

$$\tau \left[\mu s\right] = \frac{1}{\Delta f \left[MHz\right]} \tag{4-12}$$

(4-11式)をもとに、帯域内リップル振幅とDU比の関係を計算したグラフを図4-132 に示す。





イ、マルチメディア放送とマルチパス遅延時間の関係

マルチメディア放送は、中心周波数214.714286MHz(波長約1.4m)で、周波数帯 域は207.643310~221.785262MHzの約14.2MHz帯域幅の中に14,257本のキャリア が0.992kHz間隔で配列されている。

この信号をスペアナで観測すると、その分解能帯域幅(RBW: Resolution Bandwidth)に対応して包絡線がスペクトル波形として観測される。

マルチメディア放送の周波数と遅延時間τとの関係から、次のことがわかる。

- ・ 帯域幅が約14.2MHzであるので、(4-12式)からτ=1μsのマルチパスでは、 スペアナでリップルのピークまたはディップ点が約14ヶ所観測される。
- 帯域幅が約14.2MHzであるので、その逆数の約0.071µs(=1/14.2MHz)の 遅延時間で、帯域内にはピークまたはディップ点が1ヶ所観測される。
- ・ 中心波長の1.5波長相当(2.1m=1.4m×1.5)の遅延時間約0.007 μs(=2.1m/300)のマルチパスでは、帯域の中心で落ち込み、中心周波数から離れるにしたがってレベルは上昇する。nλの長さで同相、λ(n+1/2)で逆相合成される。

これらの関係のスペクトル波形をシミュレーションした結果を図4-133に示す。



(3) τ=0.007 μs のマルチパス


図4-133(3)より、希望波と妨害波はD/U=0dBであるため等レベルで合成され、位 相差がない状態(同相)では振幅が2倍(+6dB)となるが、逆相関係となる周波数 では急峻にレベル低下することがわかる。

っまり帯域特性では、遅延時間によってピークまたはディップ点間の周波数間隔∆ f が決まり、位相差によってピークまたはディップ点の位置が変わることになる。 また、DU比によって、ピーク点とディップ点とのリップル振幅が変わる。

このようにして、帯域内に急峻な落ち込みがあると、そのキャリア位置における 信号のビット誤り率が極端に悪くなり、周辺キャリアの誤り率も増加するため、結 果的に帯域全体のビット誤り率が大きくなるとともに、MERが劣化することになる。

ある程度の遅延時間でD/U=0dBのマルチパスがあると理論的には振幅がゼロとなる周波数はあるが、実際のスペアナの観測波形では分解能帯域幅RBWによって、 ISDB-Tmm波のキャリア間隔0.992kHzよりもRBWが広くなっているため完全に落ち込む波形とならないことに留意が必要である。

ここで、希望波とマルチパスとのDU比3dBで遅延時間 τ が0.1 μ sのとき、位相差 ϕ を変化させたときの帯域特性のシミュレーション結果を図4-134に示す。なお、遅延時間の0.1 μ sは、空間距離では30mの差に相当する。



図4-134 マルチパス1波による帯域特性例 (*τ*=0.1 µ s、D/U=3dB)

D/U=3dBであるから、ピーク点とディップ点とのレベル差は、(4-11式)から 15.3dBとなる(図4-132を参照)。また、ピーク点とディップ点との周波数間隔Δf は、遅延時間τが0.1μsであるから、(4-12式)より10MHzとなる。図4-134からもこ の関係が理解できる。

さらに、位相差 ϕ の変化に対応してピーク点やディップ点位置の周波数が変化しているとともに、同相($\phi=0^\circ$)と逆相($\phi=180^\circ$)で、波形が反転しているのがわかる。

図4-134(1)の遅延時間からさらに1/2波長分(0.7m→0.0023µs)遅れた状態にすると、図4-134(3)の逆相状態と同じ波形になる。

ウ. 複数のマルチパスが合成された状況

基本波にマルチパスが2波加わったときの帯域特性のシミュレーション結果を、 図4-135に示す。ここで、マルチパス1波目のDU比は3dB、遅延時間 τ は0.1 μ sで、 2波目のDU比は6dB、 τ は2 μ sであり、それぞれ位相差はなく同相(ϕ =0°)で加 わっていることとする。

図4-135(1)からマルチパスのレベルが低い周波数位置でも-10dB程度であるが、図 4-135(3)の合成波では-20dB以下になっている。それぞれの周波数位置におけるキャ リアでは、レベルと位相差を伴ったベクトル合成で求まることから、極端にレベル 低下する波形が観測されることがある。



(3) 基本波とマルチパス2波の合成波

図4-135 マルチパス2波による帯域特性のシミュレーション結果(*τ*=0.1 μ s、2 μ s)

次に、図4-135の状態にもう1波、計3波のマルチパスの状態で、3波目の遅延時 間 τ は0.02 μ sで、位相を変えたときのシミュレーション結果を図4-136に示す。

3波目の $\tau = 0.02 \mu s o \Delta f lt 50 MHz o c b 、緩やかな帯域特性の変化となり、その傾き傾向が位相によって異なっていることがわかる。$

また、合成波振幅が-20dB以下になるような急峻な落ち込みの周波数位置は見あたらないことから、受信品質は図4-135(3)よりもよくなっていることがわかる。

ビット誤り率やMERなど、デジタル放送特有の受信品質を示す尺度からは、マルチ パスが1波のときが最も劣化し、マルチパスが多くなればなるほど、ある一定値 (Rayleigh分布)に収れんすることがわかっている。このことが、本シミュレーシ ョンでも確認された。

なお、本計算に用いたシミュレーションツールは、マルチメディア放送のキャリ ア14,257本を12分の1に間引き、周波数間隔を0.992kHz から11.904kHzとし、キ ャリア数1,189本としてマルチパス帯域特性を求めている。したがって、計算間隔は 約12kHzであるため、正確に計算で再現できる最大遅延時間は約84μsとなっている。



図4-136 マルチパス3波による帯域特性のシミュレーション結果(*t*=0.1 µ s、2 µ s、0.02 µ s)

②ラボ試験

ア. 試験構成

試験回路の構成は、図4-137に示すように、ISDB-Tmm信号発生器から2系統に信号を分配し、系統③に同軸ケーブル(L τ :約140m、 τ =0.585 μ s)を利用して遅延を発生させる。



図 4-137 マルチパス特性の測定系統

イ. 試験内容

ATT1の系統②を希望波系統とし、ATT2の系統③をマルチパス波系統として各種 特性(周波数特性、帯域特性、MER 特性)を把握する試験を行う。

ウ. 試験結果

(ア) マルチパス特性

遅延用ケーブルでは遅延とともに減衰があるため、ATT1とATT2を調整して、合成器出力で同一レベル(D/U=0dB)に環境を整える必要がある。ATTを調整した結果のTG特性を図4-138に示す。

リップルがある周波数特性では、D/U=0dB が最もリップル振幅が大きい状態に なるとともに、合成器出力端で同一レベルになっていることを確認している。

さらに、調整後の〔ATT1-ATT2〕の値が遅延用ケーブルの損失となる。

このリップル波形の周波数間隔 Δf から遅延時間 τ を求めると、ケーブル長L τ は約140mと計算され、帯域内に8~9個のピークが観測される。

 $\cdot \tau = 1/\Delta f = 1/(1.709 \text{MHz}) = 0.585 \mu s$

- ・Lτ = τ×光速×波長短縮率 = 0.585×300×0.8 ≒ 140m
- ・リップル波形:14.2/Δf = 8.31 ・・・帯域内に 8~9 個のピークが観測される



(1) マルチパス特性

図 4-138 マルチパス特性の初期波形 (D/U=0dB) と遅延用ケーブル

同一レベル状態となった状態(D/U=0dB)から、ATT2を可変させると、その変 化量がマルチパス特性のDU比となる。

(イ) マルチパスによる帯域特性

受信レベルを一定にしてDU比を1~30dBと可変させたときの代表的な帯域特性 波形を、図4-139に示す。リップル波形をできるだけ正確に観測するためRBWを 10kHzで測定した。ここで、観測波形との対比のため、(4-11)式をもとに計算した 理論値を表4-29に示す。

図4-139のスペアナ画面の縦軸は10dB/divで、DU比が小さくなるほどリップル振幅が大きくなる傾向が確認された。また、DU比から求めたリップル振幅の理論値と帯域特性波形から読み取ったリップル振幅とが合致しているのがわかる。

DU比 〔dB〕	リップル振幅 〔dB〕
0	∞
1	24.8
3	15.3
6	9.6
10	5.7
15	3.1
20	1.7
30	0.5

表 4-29 DU 比とリップル振幅の関係(理論値)



図4-139 マルチパスによるDU比可変時の帯域特性波形 (τ=0.585 μs)

(ウ) マルチパスによるコンスタレーションと MER 特性 (DU 比可変)

マルチパスによるDU比可変時のコンスタレーションとMER特性の代表的な波形を図4-140に示す。

各図の上段左側はマルチメディア放送波全体のコンスタレーション、右側数値は 周波数偏差や全体とセグメント単位のMER値を示している。下段のグラフ横軸は0~ 14,256までのキャリア番号(周波数に相当)ごとのMER(以下、サブキャリアMER) を表示し、上に行くほどサブキャリアMERが悪くなり、0~40dBまで10dB間隔で 表示している。

図4-140より、DU比が改善されるほど、コンスタレーションの各ドットの拡がり が小さくなり、MERが改善されることがわかる。また、図4-139の帯域特性が落ち 込んだ周波数でのサブキャリアMERが特に劣化していることが読み取れる。





次に、DU 比を可変したときの MER 特性グラフについて図 4-141 に示す。

図4-141より、DU比が大きくなるにつれてMERは改善されているが、特にDU比が0~1dBあたりでは特性が急激に劣化している。一方、1~10dBの間では、各セグメントごとのMERに違いはなく、DU比が10dBを超えるとMERはほぼ一定値となっている。



図 4-141 マルチパスによる DU 比と MER 特性

ここで、凡例にあるTotal、SS1~SS3等は測定帯域区間を表し、既に4-3-1(1)項 で説明しているが、あらためて以下に説明と図4-142を示す。

• Total	:	スーパーセグメント 1~3 帯域全体の MER
\cdot SS1	:	スーパーセグメント1(13 セグメント形式)の MER
\cdot SS2	:	スーパーセグメント 2(13 セグメント形式)の MER
\cdot SS3	:	スーパーセグメント3(1 セグメント形式×7)の MER



図 4-142 マルチパス特性の測定帯域区間

(エ)マルチパスによるコンスタレーションとMER特性(端子電圧レベル可変)
 DU比を3dBで一定にして、スペアナの入力レベルをATT1とATT2を調節して
 5dB間隔で低下させたときのコンスタレーションとMERの特性波形を図4-143に示す。



(5) D/U=3dB、受信レベル-20dB

(6) D/U=3dB、受信レベル-25dB

図4-143 DU比一定で端子電圧レベル可変時のコンスタレーションとMER特性波形(τ=0.585μs)

コンスタレーションでは、入力レベルが低下するほど各シンボルがばらつき、 -20dBあたりからはシンボル位置が定かでなくなっている。サブキャリアMERも入 カレベル低下に伴って平均的に劣化している。特に、帯域特性の落ち込み周波数位 置では、顕著で、-20dBあたりからはMERは0dBとなっている。

次に、フラット特性とマルチパス特性との違いを見るため、33セグメント端子電 圧を可変したときのMER特性グラフを図4-144に示す。

フラット特性では、端子電圧が40dB μ V以上のレベルにおいて各セグメントによるMERの相違はなく、1:1の関係になっている。端子電圧が40dB μ V以下では若干のバラツキが見られる。

一方、マルチパスがあるとフラット特性よりもMERが低くなり、DU比3dBの場合では約5dBのMER差が確認された。端子電圧が高くなるにつれてMERも改善され、端子電圧が45dB µ V以上では、1:1の関係になっている。



図 4-144 フラット/マルチパス特性における端子電圧と MER の関係

ここで、33セグメント端子電圧と各セグメント帯域ごとのMERの関係(DU比一定)を図4-145に示す。

DU比が大きくなるほど、また端子電圧が高くなるにつれてMERは改善されてい るが、DU比が小さい1dB、3dBでは端子電圧50dBµV以下のところで、直線からや や変化している。



図 4-145 端子電圧と各セグメント帯域の MER の関係(DU 比一定)

③フィールド試験

ア. 試験構成

(ア)送信系統

送信系統を図4-146に示す。

干渉検討及び干渉回避手法を把握する際には、放送波と受信装置を接続し、送信機1と送信機2を動作させて水平偏波と垂直偏波のアンテナを切り換え、必要によりATTにより出力を可変して電波発射する。



(イ) 受信信号の測定系統

受信信号の測定系統について、図4-147に示す。



図 4-147 測定系統

イ. 試験内容

地下街で複数送信アンテナから送信をすることにより発生する送信アンテナ相互 間の電波干渉を把握するため、次の送受信パラメータにおける距離分布特性を測定 し検証する。 併せて、地上のマルチメディア放送波への影響を確認するため、地上への漏えい 電力についても測定し検証する。

調査におけるパラメータを表4-30に示す。

表 4-30 2つのアンテナから送信する相互干渉パラメータ

送信条件			后油	受信条件		测学语日	
周波数等	送信電力	信号源	1冊 次	測定方向	受信高	测定項日	
14M2 X7W 214.714286 MHz	100mW - 10mW		水平 - 垂直	複数任意地点		干渉地点の13セグ電力/電界強度	
		nW 放送波 wW			1.5m	干渉地点の遅延プロファイル	
						干渉地点のMER	
						地上漏えい	

(ア)送信アンテナ相互間における電波干渉(中央ルート)

送信点1 (TX1) と送信点2 (TX2) の2送信点間の電波干渉を把握するため、 TX1からの距離25mの (副地点、50mの (副地点、100mの (回地点と、3つの地点を両送 信点間に定め、TX2の電波がON時とOFF時の違いを測定する。

測定地点は中央ルート上にあり、両送信点との位置関係を図4-148に示す。



図 4-148 2送信点における干渉試験の測定位置

(イ) 電界強度の時間変動(中央ルート)

送信点1 (TX1)と送信点2 (TX2)の2送信点から電波を発射し、④地点、⑧ 地点、⑥地点の3地点(中央ルート上)において、約5分間(約300sec)受信高を 1.5mに固定して、昼間の電界強度の時間変動を測定する。

送信点と測定地点との位置関係を図4-149に示す。



図 4-149 電界強度の時間変動調査位置(ABC 3 地点)

(ウ) 階段ルートでの電波干渉

地上と地下を結ぶ階段ルートでの電波干渉調査を行うため、図4-150に示すよう に、オーロラタウンとオーロラスクエアの交わる場所を基点として、地下から地上 までの6地点を選定し、昼間において調査日を変えて受信特性を測定した。



図 4-150 階段ルートにおける干渉試験測定位置



階段ルートに設定した調査地点において、測定している状況を図4-151に示す。

(1) ①地点·水平偏波受信測定

(2) ⑤地点·垂直偏波受信測定

図 4-151 階段ルートにおける干渉試験の測定風景

ウ. 試験結果

(ア)送信アンテナ相互間における電波干渉(中央ルート)

▲BCの各測定地点において、TX2の出力10mWの電波をON時とOFF時の電界 強度の変化をとりまとめたものを図4-152に示す。

水平偏波と垂直偏波の切り換えは、天井の点検口の内で機器を接続変更するため、 昼間は作業ができない。このため、夜間に接続変更し、試験日を変えて測定した。

④地点では、TX1による電界が支配的な地点であり、TX2のONによって水平偏波では電界強度が4.1dB下がっているが、干渉よりも測定周囲環境の変化と考えられる。
 ⑧地点は、TX1とTX2のほぼ中間に位置し、水平偏波でTX2がOFF時の電界強度が4.1dB下がっているが、垂直偏波では変化がほとんど見られない。

©地点は、TX2による電界が支配的な地点で、TX2のONによって電界強度は水平 偏波で7.4dB、垂直偏波で9.4dBそれぞれ上昇した。



図 4-152 ④ B C 点における電界強度の変化(昼間調査/放送波/出力 10mW)

受信特性波形について、代表的なデータとして^④地点で取得した波形を、図4-153 に示す。

④地点の遅延プロファイル波形は、ほとんどTX2のON時とOFF時ともに顕著な変化が認められない。

⑧地点と©地点のコンスタレーション・MER波形と遅延プロファイル波形は、スペアナ画面に「信号解析失敗」のアラートが表示された。スペアナの内蔵プリアンプがON状態でも、信号入力レベルが低い場合や波形の乱れが多い場合に表示される。

 ④地点は、TX1から25m、TX2から105mなので、その差は80mで、遅延時間に換算すると約0.27µsとなる。
 ⑤地点は、TX1から50m、TX2から80mなので、その差は30mで遅延時間は0.1µsとなる。
 〇地点は、TX1から100m、TX2から30mなので、その差は70mで遅延時間は約0.23µsとなる。

したがって、[®]地点の遅延時間が3地点で最も短いが、遅延時間0.1µsは遅延プ ロファイル測定では検知できない領域である。



図 4-153 ④点における受信特性波形(昼間調査/放送波/出力 10mW/受信高 1.5m)

ここで、③BCの各測定地点の遅延時間に対応したマルチパスのDU比3dB(高周 波位相差:0deg)としたときの帯域特性シミュレーション結果について、図4-154 に示す。測定した帯域波形からは、再送信波に含まれるマルチパスの影響が大きく、 この遅延時間に対応した顕著な特性は確認できない。











図 4-154 ABC点の遅延時間に対応した帯域特性シミュレーション結果

(イ) 電界強度の時間変動(中央ルート)

電界強度の時間変動分布(絶対値レベル)を図4-155に示す。

ここで、水平偏波はTX1で10mW、TX2で10mWと同じ出力での測定結果であるが、垂直偏波ではTX1で10mW、TX2で100mWと異なる出力時での測定結果である。





得られた観測データから、受信電界強度の平均値と変動の標準偏差、それにP-P 値(Peak to Peak)を求めた結果を表4-31に示す。

標準偏差σは、データの分布の広がり(バラツキ)をみる一つの尺度で、平均値 と標準偏差の値がわかれば、データがどの範囲にどのような割合で散らばっている かの分布がある程度明らかになる。そして、平均値±1σの間には全体の68.3%の 確率でデータが含まれることを意味する。

④地点は、TX1による電界が支配的な地点であり、平均値は垂直偏波の方が約
 28dB高くなり、標準偏差も小さくなっている。

⑧地点は、TX1とTX2のほぼ中間に位置し、水平偏波も垂直偏波も平均値は変わらない結果となっているが、3地点で最も電界強度が低いこともあって、垂直偏波の標準偏差が2.9と3地点で最も分布のバラツキが大きくなっている。

©地点は、TX2による電界が支配的な地点で、垂直偏波の方が約30dB高くなり、 標準偏差も1.1と最も分布のバラツキが小さくなっている。

表 4-31 ABC各点における電界強度の時間変動の標準偏差

		水平偏波		垂直偏波		
	平均值 標準偏差 P-P值		平均值 標準偏差 P-F		P-P值	
④ 地点	59.9	2.5	11.7	87.6	1.2	8.0
⑧ 地点	51.6	2.0	10.5	49.4	2.9	11.8
© 地点	69.0	2.0	8.5	98.7	1.1	5.3

単位:平均值〔dBμV/m〕、標準偏差/P-P值〔dB〕

3地点の電界強度時間分布の分散度合いをみるため、平均値を0とし、縦軸の電 界強度を±10dBµV/mの範囲にして標準偏差を点線で示したグラフを、図4-156に 示す。

電界変動が通行量によるものかは判断できないが、比較的に電波が弱くなる送信 点間の中間のバラツキが大きいことが読み取れる。



図 4-156 ④ B C 各点における電界強度の時間変動(昼間調査/放送波)

- (ウ) 階段ルートでの電波干渉
 - a. 階段ルートでの放送局電波(地上)の測定(実験試験局電波(地下):停止状態) 地下からの電波が出ていない状態において、水平偏波で送信されているマルチメ ディア放送局の地上波について、受信高1.5mで階段ルート6地点での受信特性を測 定した。水平偏波の電波を水平ダイポールアンテナと垂直ダイポールアンテナそれ ぞれで受信した時の電界強度の変化を図4-157(1)に、MERの変化を図4-157(2)に示 す。

①~⑥地点の電界強度は、水平偏波で受信した方が強いが、その偏差(水平偏波 受信電界と垂直偏波受信電界との差)は、最大でも4.2dBであった。特に、地上部 分の入口である⑥地点では、偏差が2.1dBと受信アンテナの偏波方向によってもほ とんど変わっていないことがわかった。

一方、MER特性では、電界強度と相関があることがわかったが、MERが0dB以下となった①~③地点の値は、スペアナの「信号解析失敗」アラート表示が出る結果となった。







(2) 放送局電波の H/V 偏波受信の比較〔MER〕

図 4-157 階段ルートにおける放送局単独電波の測定結果(昼間/13 セグ/受信高 1.5m)



代表的な受信特性波形として、①~⑥地点において、水平偏波受信により測定した波形を図4-158に示す。

図 4-158 放送局電波の受信特性波形〔水平偏波受信〕

(昼間/階段ルート/受信高 1.5m)

b. 階段ルートでの干渉試験

昼間において地下からの電波の偏波面を1日ごとに変えて出力10mWで送信し、 受信高1.5mとして階段ルート6地点で受信特性を測定した。

マルチメディア放送局電波(地上波)単独の測定結果とともに、6地点の電界強度の変化を図4-159(1)に、MERの変化を図4-159(2)に、それぞれ示す。

⑤・⑥地点では、地上に近い地点であり測定日が異なってもほぼ同じ電界強度を 示していることから、放送局電波だけで地下からの電波は到来していないと考えら れる。

①・②地点は、地下街入口付近の位置にあり、地下からの電波が支配的になって いる。

中間で同じ高さにある③・④地点において、地上から直線上の④地点では放送局 電波が強く、地下から直線上にある③地点では地下からの電波が強い。

一方、MER特性では、電界強度の変化と同様で、相関があることがわかった。

地下からの電波が停止している段階では、受信機の種類によって若干の差異は認 められるものの、地上から④・⑤・⑥の直線上にある地点では受信可能で、地下か ら直線上にある①・②・③各地点では受信不可であった。

一方、地下からの電波を送信すると、①~⑥全ての地点でほぼシームレスに受信 可能であった。

これらのことから、受信機特性にもよるが、このルートにおいては図4-159(1)の 距離特性をもとに電界強度が約50dBµV/m以上あれば受信可能の目安となると考 えられる。



(1) 実験試験局(地下)と放送局(地上)の受信比較〔電界強度〕



図 4-159 階段ルートにおける干渉試験結果(昼間/13 セグ/受信高 1.5m)

ここで、2つの送信点からの電波について、送信点2の電波をONとOFFに切り 換えるなど送信条件を変え、受信高1.5mで測定した階段ルート6地点のうち、地下 にある①地点、階段中間にある④地点、地上にある⑥地点の受信特性波形を図4-160 に示す。



図 4-160 〔①地点〕 2 送信点の条件切換による受信特性波形(昼間/階段ルート/受信高 1.5m)



図 4-160〔④地点〕2送信点の条件切換による受信特性波形(昼間/階段ルート/受信高 1.5m)



図 4-160 〔⑥地点〕 2 送信点の条件切換による受信特性波形(昼間/階段ルート/受信高 1.5m)

3)他の無線システムとの干渉

①机上検討

地下街等で運用されている他の無線局については、携帯電話、公衆無線 LAN、保安 用無線(警察、消防)や施設管理用無線など多数の無線局が存在する。

これらの無線設備は、地上空間においても運用されていることから、周波数関係で は影響を与えるものではないものの、送信設備近傍の強電界エリアや送信することに よる雑音レベルの増加などにより干渉を引き起こすこともある。

また、多数の周波数の組合せと無線設備受信部の非直線性の特性から、相互変調や 混変調などの障害を引き起こすことも考えられるため、設備間での十分な事前検討に より技術的に干渉回避を行うことが重要である。

②フィールド試験

ア. 試験構成

(ア)送信系統

送信系統を図4-161に示す。

他の無線システムとの干渉を測定する際には、信号発生器と受信装置を接続し、 送信機1のみを動作させて水平偏波と垂直偏波のアンテナを切り換えて電波発射 する。



図 4-161 送信系統

(イ)受信信号の測定系統

受信信号の測定系統について、図4-162に示す。



図 4-162 測定系統

イ. 試験内容

他の無線システムとの干渉を検証するため、最も電界強度が強い送信点近傍にお いて、マルチメディア放送波の送信 ON/OFF 時における雑音変化量(電界強度)に ついて距離を変えて測定し、水平偏波と垂直偏波それぞれの電界強度を比較する。 併せて、受信機による視聴確認も行う。

調査におけるパラメータを表 4-32 に、測定方法のイメージを図 4-163 に示す。

表 4-32 他の無線システムとの干渉パラメータ

送信条件			受信条件		+	测空道日	供去	
周波数等	送信電力	信号源	7年1次	測定方向	受信高	测足項日	11用 行	
14M2 X7W	100mW	信号発生器	水平	複数任意地点	1.5m	スペクトラム雑音	150、202.5、260、300、 400、800MHz帯	
MHz						13セグ電力/電界強度		



図 4-163 送信点近傍における距離分布特性の測定方法イメージ(水平偏波の例)

ここで、効率的にデータを取得するため、送信をOFFの状態で送信点からの距離 を0m、10m、20m離して各周波数で測定を行い、その後、送信をONの状態にして 同様に測定を行う。

ウ. 試験結果

スペアナ条件として、RBW1kHz、VBW1kHz、SPAN20MHzに設定し、それぞれの周波数で1Hzあたりの電力(電界強度)を測定した結果について、表4-33に示す。

洋信什能	受信偏波	距離	測定周波数〔MHz〕						
这百八恩		(m)	150	202.5	260	300	400	800	
		0	-12.7	1.4	-25.0	-21.7	-24.7	-26.1	
	水平	10	-16.6	-19.8	-25.8	-20.8	-22.9	-26.6	
送信の日日		20	-15.6	-24.5	-26.9	-26.6	-25.2	-27.8	
达旧UFF		0	-5.0	-1.3	-26.2	-10.1	-25.5	-22.1	
	垂直	10	-4.4	-10.6	-28.7	-11.1	-22.4	-25.4	
		20	-3.8	-20.4	-27.9	-10.6	-19.4	-22.3	
		0	-9.3	-14.9	-26.4	-17.3	-27.3	-25.7	
	水平	10	-14.2	-28.4	-25.8	-22.8	-24.0	-27.4	
送信 이지		20	-13.9	-26.2	-26.5	-22.5	-27.5	-26.5	
	垂直	0	-5.0	-4.2	-26.2	-10.3	-23.9	-24.6	
		10	-7.6	-11.3	-26.2	-12.2	-22.7	-24.3	
		20	-4.7	-22.9	-28.0	-11.9	-22.8	-21.1	
		0	3.1	-16.2	-1.4	11	-26	0.4	
送信ONIによる 雑音成分 増加量	水平	10	2 <u>4</u>	-8.6	0.0	-2.0	-1.1	-0.8	
		20	1.7	-1.7	0.4	4.1	-2.3	1.3	
		0	0.0	-2.9	0.0	-0.2	1.6	-2.5	
	垂直	10	-3.2	-0.7	2.5	-1.1	-0.3	1.1	
		20	-0.9	-2.5	-0.1	-1.3	-3.4	1.2	

表 4-33 送信点近傍における送信 ON/OFF による電界距離特性分布

単位: dB µ V/m/Hz

表4-33をもとに、送信ONによる雑音成分増加量についてグラフ化したものを図 4-164に示す。

増加量の変化は、垂直偏波よりも水平偏波の方が大きいが、送信をONにしても 5dB/Hz以内にとどまるとともに、202.5MHzの水平偏波では逆に低くなっている。 送信をONにして雑音が減少することはあり得ないことから、測定位置の微妙な違い によるものと推定される。

これらのことから、測定誤差はあるものの、マルチメディア放送の送信電波によって当該周波数へ干渉することはないと想定される。



図 4-164 送信 ON による雑音成分増加量

4) 考察

①地下街における電波干渉

地下街などの閉鎖空間で発生する干渉には、発射された電波が受信点に至る経路で 反射して干渉しつつ合成されて受信する場合(マルチパス)や、同じ放送内容の異な る送信点からの電波を同時に受信する場合(SFN)と、希望波の他に電子機器等で発 生する雑音電波が干渉する場合が考えられる。

反射波との合成による干渉の場合、「4-3-1(2)2)考察 ア. 遅延時間と帯域特性」 で説明したとおり、帯域特性が変化し、結果的に電界強度の変化や変動となって現れる。

同じ放送内容の異なる送信点からの電波を同時に受信する場合、ガードインターバル長を超えない遅延波が干渉しても、受信機特性によって希望波信号だけが端末の内部回路で抽出され、結果的に妨害とならない処理をしている。ただし、遅延時間が極端に短く、例えばnsオーダーの遅延波の場合、SFN混信とは別な現象で帯域特性の変化となって現れ、電界強度が低くなり、携帯端末内部の受信アンテナ出力の端子電圧が低下して受信できなることがある。

現在運用しているマルチメディア放送のガードインターバル長は252µsであり、伝 搬路長差では約76kmの距離に相当する。この距離差を超える遅延波がある空間では、 遅延波とのDU比によっては干渉による受信破綻が考えられる。しかし、地下街など の閉鎖空間で発生する遅延波は、現在運用中のガードインターバル長と比べるとはる かに短い遅延量であるため、地下街においてSFN混信は発生しないといえる。

②地下街等閉鎖空間でのマルチパスの状況

地下街等の閉鎖空間において、マルチパス等の遅延波の発生源としては、外部から の同一プログラムの信号が混入しない限り、天井面や通路面、両側面からの反射波に よるものしかない。この反射波の伝搬では、直接波との通路差が遅延時間に相当する。

閉鎖空間の通路差は小さく、1~2m程度で最大でも10m未満と想定される。このと きの遅延時間は3~7×10⁻³ μ s (max: 約30×10⁻³ μ s) と極めて短い。

一方、スペアナの遅延プロファイル測定では、主に野外フィールドで観測される遅 延波の遅延時間やDU比を測定解析するもので、正確に測定できる遅延時間は基本波 から2~5µs以上とされている。閉鎖空間では、野外フィールドでのマルチパス実態 の1,000分の1程度の遅延時間である。

このため、地下街等では遅延プロファイル測定ができないことから、スペクトル波形 や測定した受信電界強度をもとに、これまで述べてきた技術検討方法をふまえてマル チパス波の状況を検討するしか手立てがないのが現状である。

③昼間における電界強度の時間変動

昼間における地下街での電波伝搬では、電界強度が時間的に変動することも確認さ

れた。これは歩行者の通行などによる地下街の伝搬路内の周囲変化の影響を受け、電 界強度が変動するものと考えられる。変動の変化量は±約5dB程度であったが地点や その時の環境によっても異なる。(図4-156)

- (3)施工方法
 - 1)施工時の留意点

①机上検討

ア.設備設置の施工方法や安全性

地下街は、不特定多数の人々が通行する環境のため、設備を確実な施工により設 置する必要があり、また、地震など災害発生時においても安全性を保ち機能を維持 する必要がある。

- 天井が落下した場合でも機器などの設備が落下しないような落下防止が必要である。
- 配線ケーブルについては、光ファイバーなど機械的に弱いものもあるため、強度的に十分なケーブルを選定するか、または十分な保護管などによりケーブルの損傷を防ぐ必要がある。
- ・ 地震など災害発生時においても安全性を保ち機能を維持するためには、耐震対策や防火対策を施す必要がある。
- 他の工事による誤配線切断等がないよう、配線ケーブル等には容易に確認できるような線名札や表示札を付ける必要がある。

イ.施工方法の課題

既存施設内に施工するため、次のような点に留意して施工することが重要である。

- 設備設置に際しては、地下街管理会社、設備管理担当者、隣接無線局等に十分 な事前協議を行い、相互に影響を与えないよう進める必要がある。
- ・ 誤って他の設備に影響を与えることがないよう、既存設備の状態を確認するほか施工内容の事前確認を十分に行い既設設備に影響を与えないよう施工を進める必要がある。
- 無線設備を運用する上では、保守性が保たれる必要があるため、特に隠ぺい部分などに設置する場合には、設計時及び施工時には保守を行うことを前提に取り組む必要がある。また、大きさや重量については、保守性を考慮し交換作業などができる最適なサイズ、重量の範囲にしておく必要がある。
- 地下街では既存の美観、景観を著しく損なうことなく設置できるよう、特に空 中線などのように露出して取り付けるものについては検討が必要である。

ウ. 電波防護規定への準拠

電波防護規定については、電磁波が与える人体等への影響から保護するため、電 波の強度に対する安全施設を設ける規定が電波法施行規則第21条の3及び同規則別 表第2号の3の2に定められている。電波法施行規則別表第2号の3の2について表4-34 に示す。

この規定によると、電波法施行規則別表第2号の3の2に定める値を超える場所に取 扱者のほかに容易に出入りすることができないように、施設をしなければならない とされており、電波防護規定に合致するよう、送信電力及び送信アンテナの諸元を 設計する必要がある。

例えば、100mWで送信した際は、送信アンテナから13cmの範囲が強電界となるため注意が必要であるが、この範囲に人体等が容易に入れない環境とすることが必要である。

	周波数	電界強度 (V/m)	磁界強度 (A/m)	電力束密度 (mW/cm ²)
1	10kHz を超え 30kHz 以下	275	72. 8	
2	30kHz を超え 3MHz 以下	275	2. 18f ⁻¹	
3	3MHz を超え 30MHz 以下	824f ⁻¹	2. 18f ⁻¹	
4	30MHz を超え 300MHz 以下	27. 5	0. 0728	0. 2
5	300MHz を超え 1.5GHz 以下	1.585f ^{1/2}	f ^{1/2} /237.8	f/1500
6	1.5GHz を超え 300GHz 以下	61.4	0. 163	1

表 4-	-34	電波防護規定の電波強度値	(電波法施行規則別表第2号の3の2抜粋)
· · ·			

注1 fは、MHzを単位とする周波数とする。

注2 電界強度及び磁界強度は、実効値とする。

エ. その他の法令手続き

地下街にマルチメディア放送の送信設備を設置するためには、次の法令等を遵守 して手続き及び整備をする必要がある。

- · 建築基準法関係法令
- 消防法関係法令
- · 道路交通法関係法令
- 公園法関係法令
- · 電波法関係法令
- · 有線電気通信法関係法令等

②フィールド試験

ア. 試験構成

(ア)送信系統

送信系統を図4-165に示す。

電波防護規定関係の試験では、信号発生器と受信装置を接続し、送信機1のみを 動作させて水平偏波と垂直偏波のアンテナを切り換えて電波発射する。



図 4-165 送信系統

(イ) 受信信号の測定系統

受信信号の測定系統について、図4-166に示す。



図 4-166 測定系統

イ. 試験内容

地下街の形状に合わせた送信システムにおける電波防護規定について、分布特性 を調査測定する。送受信パラメータを表 **4-35** に示す。

j	送信条件		后油		受信条件	测点语句
周波数等	送信電力	信号源	1年1次	測定位置	受信高	測足項日
14M2 X7W 214.714286 MHz			고나	<平 送信 アンテナ 直 ■	人体が最も強電界エリア に接近する高さ	33セグ電力/電界強度
	100mW	100mW 信号 発生器	小十			13セグ電力/電界強度
			垂直			33セグ電力/電界強度
						13セグ電力/電界強度

表 4-35 施工方法検討の送受信パラメータ

電波防護規定では、強電界領域に人体が最も近づける場所における強度を測定す ることになっている。一般に、テレビ等の送信所においては、強電界地域はフェン ス等で区切ることになっているため、人体が最も接近する可能性のあるフェンス沿 いで最も強電界になる地点において電界強度を測定している。

送信アンテナの直下とその近傍において、水平偏波と垂直偏波の強電界分布特性として受信ハイトパターンを測定する。

図4-167に示すように、送信点直下と2m、4m離れた位置において、受信高を0.5mから2.5mまで0.5m間隔として電界強度の垂直分布を測定する。

測定方向は、図4-168示すように、水平偏波は東方向、南方向、西方向、北方向の 4方向、垂直偏波は東方向と南方向の2方向とする。

信号源は帯域特性がフラットな信号発生器を使用し、送信電力は最大である 100mWとする。 送信点





図 4-167 送信点近傍における強電界分布特性の測定イメージ1 (水平偏波の1方向)
ウ. 試験結果

受信ハイトパターンについて、水平偏波は33セグメントと13セグメントの電界強度を測定し、垂直偏波は13セグメントの電界強度を測定した。

測定した結果をとりまとめたグラフについて、垂直偏波の13セグメントの電界強度を図4-169に、水平偏波の33セグメントと13セグメントの電界強度を図4-170に、 それぞれ示す。

その結果、電界強度が最大となったのは、水平偏波ではアンテナ直下の受信高2.5m で、33セグメントで110dBµV/m、13セグメントで104dBµV/mであった。

垂直偏波の13セグメントの最大電界強度は、アンテナ直下の受信高2.5mで 122dBμV/mであり、33セグメントに帯域換算すると126dBμV/mとなる。

電波防護規定において、214MHzでの電界強度の基準値として、27.5V/mと規定されている。これをデシベルに換算すると148.8dBµV/mとなる。この電界強度は、実効放射電力ERPを100mWとすると、総務省告示の算出方法による電界強度の計算では0.13mの距離に相当する。

したがって、最大出力である100mWで得られた電界強度分布特性からは、電波防 護規定を満足している。

ただし、送信アンテナの設置場所を選定する際には、送信アンテナの特性が十分 に発揮されるよう、空間を十分に確保することが望ましい。



図 4-169 送信点近傍における受信ハイトパターン(垂直偏波)



図 4-170 送信点近傍における受信ハイトパターン(水平偏波)

2) 考察

地下街等の閉鎖空間に今回のような無線システムを設置する場合は、配慮すべき事 項があるため、これらの必要内容を満たす設計と施工が必要である。

施工方法については、確実な施工と安全性を重視した設置をすることが重要である。 また、緊急災害時においての情報伝達機能として有効に活用されるためにも、日常 から点検確認に努め機能を維持することが望ましい。

このほか、既存施設内に設置する関係から地下街管理会社等と協議により相互に影響を与えないことや、地下街の美観を損ねない設計、施工が必要であることから、施 設関係者との調整を図りながら整備する必要がある。

併せて、電波防護規定に対して準拠する設計、施工が必要である。

(4) 地下街等の高雑音環境における受信機特性

1)受信障害(雑音障害など)を受けた無線通信機器等

①机上検討

近年、高周波雑音はIT化とともに増加の傾向にある。その中で特に問題視されている ものとして、最近ではLED照明機器があるが、これ以外にもテレビブースターの発振に よる障害などもある。

このようなLED照明機器や電子機器によって、次のような無線設備に影響が与えられているという報告がある。

- ・ 地上デジタルテレビ受信機
- FM放送受信機
- 150MHz帯、400MHz帯の鉄道無線
- ・ 自動車のキーロック
- · 警察、消防、防災無線等
- · 携带電話基地局

2) 雑音源とされる機器・装置

①机上検討

近年報告されている雑音源については、次のようなものがある。

- LED照明機器
- ・ ポータブル機器用のACアダプター
- ・ テレビブースター
- ノートPC用クーラー
- オーディオアンプ
- · 自動販売機
- ・ ネオン看板

②ラボ試験

ア. 試験構成

(ア) 雑音機器の実態把握

雑音電界強度測定と雑音源広帯域スペクトラム波形測定の測定系統を図 4-171 に 示す。 BBW:100kHz、VBW:1MHz



(イ) 雑音耐力

雑音耐力の測定系統を図 4-172 に示す。



- 図 4-172 雑音耐力測定系統
- イ.試験内容

(ア) 雑音機器の実態把握

地下街への配置が想定される機器で、比較的雑音源となる機器について、207MHz におけるピーク雑音レベル、雑音レベルの距離特性、広帯域(30~300MHz)スペク トラム波形を測定する。

試験場所については、可能な限り放送波など外部からの電波が入らないよう、地下にある部屋を選んで測定するが、僅かにマルチメディア放送及び FM 放送の放送 波が侵入することが考えられるため、雑音レベルを測定する周波数については、マルチメディア放送帯域近傍の周波数を選んで測定する。

(イ) ISDB-Tmm の雑音耐力

ISDB-Tmm 信号に AWGN 雑音信号を加えた際の C/N と MER との関係を調べる。

ウ. 試験結果

(ア) 雑音機器の実態把握

高雑音源となる機器による雑音測定した値を表4-36に、雑音スペクトラム波形を 図4-173に示す。

LED照明については、ほとんど雑音を発生しない製品がある一方、数10MHz付 近あるいは190MHz付近に雑音のピークがあるものもあった。各種LED照明の雑音 電界強度の距離特性については、図4-174に示す

また、雑音源から離れるにつれ雑音レベルが急激に減衰する傾向も確認できた。 雑音の周期については、機器が動作している時の突入時がピークになることが多いが、機器によっては常に変動しているものもあった。

機器名	雑音レベル (雑音源からの距離1.5m) [dB <i>μ</i> V/m]	ピーク周波数帯	雑音ピークレベル (雑音源からの距離0m) [dB <i>μ</i> V/m]
LED照明(A)	1.6 ※1	40MHz付近	65 ※2
LED照明(B)	2.3 ※1	30MHz以下	58 ※2
LED照明(C)	6.2 ※1	50MHz付近	70 %2
LED照明(D)	14.8 ※1	190MHz付近	80 ※2
LED照明(E)	9.1 ※1	30MHz付近	90 %2
LED照明(F)	2.1 ※1	ピークなし	-
LED照明(G)	16.7 ※1	30~50MHz付近	95 ※2
LED照明(H)	5.6 ※1	50MHz付近	90 %2
LED照明(I)	21.2 ※1	190MHz付近	95 ※2
LED照明(J)	8.0 ※1	190MHz付近	75 ※2
LED照明(K)	2.5 ※1	ピークなし	72 ※2
LED照明(L)	7.6 ※1	190MHz付近	75 ※2
LED照明(M)	19.8 ※1	190MHz付近	85 ※2
LED照明(A)×3	2.2 ※1	40MHz付近	72 ※2
PC(A)	38 ※2	130MHz付近	72 %2
PC(B)	37 ※2	50MHz付近	70 %2
電子レンジ	50 %2	180MHz付近	85 ※2
複合コピー機	40 ※2	80MHz付近	85 ※2
自動販売機	39 ※2	80MHz付近	85 ※2

表4-36 高雑音源となる機器による雑音測定結果

※1: 雑音電界強度は、測定系統1で測定

※2: 雑音電界強度は、測定系統2で測定



図 4-173 雑音機器の雑音スペクトラム波形(距離 0m)



図4-174 各種LED照明の雑音電界強度の距離特性

(イ) ISDB-Tmmの雑音耐力 (16QAM 1/2)

ISDB-Tmm信号にホワイトガウス雑音(AWGN: additive white Gaussian noise) を加えた際のMERとBER(MS8901ビタビ後)との関係について測定した結果を表 4-37に示す。

C/N [dB]	MER [dB]		BER		
(AWGN 付加)	A 階層	B 階層	A 階層	B 階層	
40.0	37.4	36.7	エラーフリー	エラーフリー	
35.0	33. 1	32. 8	エラーフリー	エラーフリー	
30.0	28. 2	28. 2	エラーフリー	エラーフリー	
25.0	23. 9	23. 3	エラーフリー	エラーフリー	
20.0	18. 3	18. 3	7. 0E-05	7. 3E-05	
15.0	13. 6	13.6	1.2E-02	1.2E-02	
10.0	10. 1	10. 0	8. 4E-01	8. 5E-02	
5.0	4. 7	4. 2	1.6E-01	1.6E-01	
0.0			1.7E-01	1.7E-01	

測定した結果、BERが2E-4となるC/N比は約18dBだった。

表4-37 C/NとMERとBER(MS8901A)の関係

③フィールド試験

ア. 試験構成

(ア)送信系統

送信系統を図4-175に示す。

潜在雑音レベルを測定する際には、送信機1及び送信機2の電源をOFFにした状態で測定する。

また、雑音機器の実態を把握する際には、信号発生器と受信装置を接続し、送信 機1及び2を動作させて、垂直偏波で電波発射する。



図 4-175 送信系統

(イ) 受信信号の測定系統

潜在雑音レベル及び雑音機器の実態を把握する際の受信信号の測定系統を図 4-176に示す。



イ. 試験内容

(ア) 中央ルートでの潜在雑音レベル調査

夜間の中央ルートにおいて、送信機の電源を止めて送信停止した状態で、受信ア ンテナを水平偏波と垂直偏波にそれぞれ合わせ、連続移動測定を行う。受信高は 1.5mで、13セグメント帯域の雑音レベルを測定する。

(イ) 主な雑音源による影響について

a. 調査パラメータ

地下街には、IT機器、OA機器、照明(特にLED)など雑音となる機器が配置さ れており、地上に比べ高雑音環境にあるため、雑音による受信機への影響特性を測 定し検証する。また、受信機による視聴確認も行う。

調査にあたって事前に想定した主な雑音源及び調査パラメータについて、表4-38 及び表4-39に示す。

	主な雑音源の分類
А	IT 機器及び OA 機器
В	電子看板(ネオン含む)
С	照明(特に LED)
D	自動販売機
E	自動ドアなど各種センサー

表4-38 事前に想定した主な雑音源

表4-39 調査パラメータ

送信条件			受信条件					
周波数等	送信電力	信号源	偏波	測定方向	受信高	測定項目		
								雑音周波数
	N 86 100mW 信号 発生器 垂直 ^{雑音源から} そ ^{1.5} 、3、5m ※1 と		雑音レベル					
14M2 X7W 214.714286 MHz		_{OmW} 信号	垂直	雑音源から Om(雑音源周辺)、	それそれの 距離における	雑音周期		
		ΣĿ	1.5、3、5m ※ 1	ビークレベル となる高さ	MER			
					BER			
						帯域内周波数特性		

※1 ただし測定方向に壁などがあり測定不可能な場合は、測定可能な距離までとした。

表4-38に示すような代表的な雑音源の周辺において、雑音強度及びマルチメディ ア放送の信号をダイポールアンテナ等で測定調査するとともに、マルチメディア放 送受信への影響について確認する。

b. 試験場所

高雑音源と思われる機器の設置場所について、図4-177に示す。図の6地点にお いて、調査を実施する。雑音調査状況について、図4-178に示す。



図4-177 雑音調査地点



1. 飲料水自販機



4. 自動ドア







5. エレベータ

図 4-178 雑音調査状況



3. 天井LED照明



6. パソコン

ウ. 試験結果

(ア) 中央ルートでの潜在雑音レベル調査

測定した結果を図4-179に示す。距離によって雑音電界強度の違いはあるものの、 おおむね40dBμV/m程度の電界強度で、垂直偏波が水平偏波よりも高い傾向にあった。

13セグメント帯域での連続移動測定や移動定点測定で得られた特性では、おおむ ね40dB µ V/mまでがマルチメディア放送波信号電力を表していることに留意が必 要である。



図 4-179 中央ルートによる雑音電界強度距離特性(受信高: 1.5m/夜間測定)

なお、使用スペアナ(MS8911)の内部ノイズは、図4-180に示すように、13セグ メント帯域において電界強度換算で、内蔵プリアンプON時で21.6dBµV/m、OFF 時で38.4dBµV/mであった。これは地下街の潜在雑音レベルより低い値となっている。



図 4-180 使用スペアナの内部雑音測定(50Ω終端時)

(イ) 主な雑音源による雑音調査結果

雑音対象物1~6におけるノイズスペクトラムとマルチメディア放送のコンス タレーション/MERの調査結果について、図4-181(1)~(3)に示す。

なお、3mの距離における天井LED照明・自動ドア及び5mの距離における全雑音 源の測定については、測定方向に壁などの障害があり測定できなかった。

No	雄音酒	雑音源からOm (雑音源周辺)				
NU		ノイズスペクトラム	コンスタレーション	MER	BER	受信
1	飲料水 自販機	10 200		-10	測定不能	不可
2	タバコ 自販機			28.5	エラー フリー	可
3	天井 LED 照明	Control data (Marcoline) Data (Marcoline) Data (Marcoline)		24.2	エラー フリー	可
4	自動 ドア			19.8	8E-6	可
5	エレ ベータ			8.3	1E-1	不可
6	パソコン	Bit 1 and 1 a		12.9	2E-2	不可

図 4-181(1) 雑音測定結果(雑音源から Om(雑音源周辺))

No	雄音酒	雑音源から1.5m				
NO		ノイズスペクトラム	コンスタレーション	MER	BER	受信
1	飲料水 自販機			23	エラー フリー	不可
2	タバコ 自販機			27	エラー フリー	可
3	天井 LED 照明			25	17- 7IJ-	可
4	自動 ドア			21	2E-7	可
5	エレ ベータ			-5	測定 不能	時々 ブロック ノイス 発生
6	パソコン			17	4E-4	可

図4-181(2) 雑音測定結果(雑音源から1.5m)



図4-181(3) 雑音測定結果(雑音源から3m)

測定した結果、地下街における雑音については、地上空間に比べ比較的高い値で あるが、今回の試験ではマルチメディア放送の受信に影響を与えるような高雑音は 確認されなかった。

一部の機器については、215MHz以上の周波数帯でもレベル自体は低いものの複数の周波数でノイズの盛り上がりが確認された。

3)受信機特性

①フィールド試験

ア. 試験構成

送信系統を図4-182に示す。

信号源は受信端末で受信できるようにするために、受信機に地上で受信した放送 波を入力し、送信機1のみを動作させて、水平偏波と垂直偏波のアンテナを切り換 えて、出力100mWで送信する。



図 4-182 送信系統

イ. 試験内容

受信機の違いによる受信距離の違いを調査するため、図4-183に示すルートで調査 を行う。



ウ. 試験結果

送信点からの最大受信距離について測定した結果を表4-40及び図4-184に示す。 垂直偏波で送信した場合、調査した全受信機の最大受信距離の平均は、95.3mで、 機種による差は33mあった。

また、水平偏波で送信した場合の平均は73.6mで、機種による差は45mであった。

表 4-40 受信機の最大受信距離

最大受信距離(100mW出力) 差 受信機アンテナの 受信機 垂直偏波(A) 水平偏波(B) (A)–(B) 立て方 [m] [m] [m] 受信機 A 斜め45° 5 90 85 受信機 B 斜め45° 101 70 31 受信機 C 斜め45 108 80 28 受信機 D 斜め45 100 95 5 受信機 E 斜め45 100 80 20 受信機 F 斜め45 85 55 30 49 受信機 G 斜め45° 99 50 受信機 H 垂直 75 60 15 受信機 Ι 垂直 90 55 35 受信機 J 垂直 105 90 15 受信機 K 斜め45 5 95 90 平 均 95.3 73.6 21.6 標準偏差 9.1 15.5 13.6 最 大 108 49 95 最 小 75 50 5 差(最大-最小) 33 45 44





4) 考察

①マルチメディア放送の受信可否

地下街空間のマルチメディア放送の信号強度が一様ではないことから、雑音源と受 信可否について整理することは難しいが、全般的にはマルチメディア放送の信号が強 ければ雑音が多少あっても受信は可能であった。

一方、マルチメディア放送の信号が弱い場合は、雑音が加わるとブロックノイズが 発生したり、受信不可となることが確認された。

2 雑音強度

地下街空間は全般的に雑音のノイズフロアが高い傾向にあった。

マルチメディア放送の 215MHz から低い周波数帯に多く雑音が確認され、特に自動 販売機や LED 照明についてはノイズフロアが全体的に盛り上がる傾向が見られた。

そのほかには、雑音源によってパルス的なノイズピークが複数観測されたものもあった。

雑音源の距離特性としては、雑音源周辺はそれなりに大きな雑音があるものの、1.5 m、3mと距離が離れるとこれらのノイズも急激に減衰することが確認された。この ことから、受信機に影響を与えると考えられる範囲は雑音源周辺と整理することがで きる。

また、デジタル放送の特徴として受信レベルが一定以上確保できれば多少の雑音が 混入しても受信可能であることから、雑音電波との干渉については、機器からの発生 雑音が極端に強い場合や雑音発生機器の直近での受信に限られると想定される。

ただし LED 照明については、製品によっては高雑音タイプのものもあるため、注 意が必要である。

③他の無線設備等

雑音のほかに、どの地点においても他の無線局の信号と思われる高周波信号が観測 された。地下街においては地上と同様に他の無線局も運用 されており、雑音に加え 他の無線局の信号と思われる高周波信号が観測されていることから、地下街に整備さ れている無線局について予め調査するとともに、無線局相互間で干渉を起こさない対 応が必要である。

④受信機特性

携帯端末には、受信アンテナが内蔵されているため可搬性は良いが、小さな機器内 に波長1.4mに対応する受信アンテナを組み込んでいるため、その感度は良いとは言い にくく、機種間の性能格差も大きいと想定される。

テレビ放送のように、受信アンテナが受信機に直接接続される形態の場合、受信可 否と測定した電界強度など技術データとの対比や相関がとれやすいが、マルチメディ ア放送では電界強度と携帯端末での受信可否の対応がとれない難しさがある。

ARIB標準規格のSTD-B53 『セグメント連結伝送方式による地上マルチメディア放送用受信装置』「第4章 マルチメディア放送受信装置各部の定格及び仕様」の「受信アンテナ」項によれば、

・「アンテナゲイン」:アンテナゲインは受信条件により異なるため規定しない

・「指向特性」:指向特性は受信条件により異なるため規定しない

と規定されている。

これは、テレビ放送電波の回線設計に必要な受信性能を有する標準受信機について、 マルチメディア放送では規定されていないことに相当する。

したがって、受信端末の受信アンテナ特性や偏波面特性が製造メーカによって異な り、技術情報も公表されていないことから、周辺電界強度との比較や受信可否検討が 困難になっている現状にある。

今回の実証試験において、測定位置と受信確認位置の微妙な差や、携帯端末を保有 している身体の向きや電波到来方向との関係などによって、受信可否状況が微妙に変 わることが確認されている。特に、電界強度が低い場所では顕著になっている。

第5章

地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の 効率的な送信システムの整備に向けて

第5章 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の効率 的な送信システムの整備に向けて

5-1 地下街等の閉鎖空間における送信システムの技術的条件

本調査検討における調査検討項目に関し、さっぽろ地下街オーロラタウンでの実証試験 を通じて検証された事項をまとめると次のとおりである。

5-1-1 実証試験結果の概要

- (1) VHF-High 帯の電波伝搬特性(送信電力 100mW(33 セグメント))
 - ・ 地下街における VHF-High 帯の電波伝搬について、受信電界強度が 60dBµV/m 付 近で自由空間の理論式と比較すると、約 50dB と非常に大きな伝搬損失があった。
 - ・ 送信点から近傍区間(水平偏波 20m、垂直偏波 60m)は、急激な減衰特性となっているが、その付近から遠方区間では緩やかな減衰特性となり、次第に環境雑音レベルに達する。(2 段階の電波伝搬特性)
 - ・ 水平偏波と垂直偏波を比較すると、垂直偏波の方が伝搬損失が大きい。(近似曲線 で比較すると 60dBµV/m 地点で約 20m の違い)





図 5-1 机上検討とフィールド試験結果の比較

- (2) 地下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(特徴的な空間での伝搬調査)
 - ・ 地下街の開口面積が広い空間に比べ、狭い空間では水平偏波の伝搬距離が短くなる ことが確認できた。
 - ・ 曲がり区間については、90 度曲がった先で急激に減衰する特性が確認され、特に 垂直偏波の減衰量が大きいことが確認できた。
 - 夜間の両壁シャッター環境と、昼間の店舗開店時の歩行者ありの環境と比較すると、
 送信点から遠方区間について夜間環境の方が約 10dB 電界強度が高いことが確認で
 きた。また、昼間歩行者がいる環境において、定点による電界強度変動を確認したところ、約 10dB の時間変化があることが確認できた。
 - ・ 地下街設置の障害物の影響については、偏波面と並行(同一方向)の障害物がある 場合その影響を受けることが確認された。(垂直ワイヤー入り垂れ壁の影響によって 垂直偏波が約10 dB 減衰、天井高が 50cm 下がると水平偏波が受信劣化起こすなど)
 - ・ 地下街での電波伝搬は、地下街の周囲環境の影響を受け易く、電界分布の変化も大きいため、シミュレーションで近似値を導くには課題がある。
 - ・ ns(10⁻⁹秒)オーダーの反射波による干渉で帯域特性が変化し、電界低下する現象も 確認された。





図5-2 開口面積の広い、狭いの違い、昼間と夜間の違い、昼間の時間変動 (出力 10mW、13 セグメント、水平偏波、受信高 1.5m)

- (3) 効率的な送信設備及び送信方法
 - ・ マルチメディア放送の受信端末は、「情報通信審議会」一部答申の回線設計例にある、58dBµV/m(13セグメント、16QAM 1/2)以上の電界強度があれば受信できることが確認できた。
 - ・ 電界強度 60dBµV/m 付近における信号品質 MER は、水平偏波で 20dB 以上、垂 直偏波で 15dB 以上が得られており、電界強度が 60dBµV/m 以上あれば電波環境的 には受信機の所要 C/N (16QAM 1/2、13dB) を満足できることが確認できた。
 - ・ 送信電力 100mW (33 セグメント)、アンテナ利得 0dBd とした場合、13 セグメントの放送エリアは半径約 80m程度となったのに対し、送信電力 10mW (33 セグメント)の場合、半径約 50m 程度となった。
 - ・ 送信電力 100mW (33 セグメント)、アンテナ利得 0dBd で 160m 間隔で 2 地点から送信した場合、2 地点間を干渉なくシームレス受信できることが確認できた。
 - 小型な再送信システムでは、安定した受信信号品質を確保できれば狭小なエリアを
 受信改善できることが確認できた。





図 5-3 電界強度と MER、2 地点送信による送信電力差

- (4) 干渉検討及び干渉回避手法
 - ・ 2地点送信における SFN 混信については発生しなかった。なお、2地点からの電 界強度が同じレベルになる付近では信号品質が劣化するポイントが確認された。
 - 地下街から地上への混信及び地上から地下街への混信を確認したが、いずれも障害 が発生していないことが確認できた。(階段中間点が、それぞれの電波の伝搬範囲と なっていた)
 - ・ 運用しているマルチメディア放送のガードインターバルは 252µs で、混信保護比 は 24.8dB となっている。この値に近くなるようなマルチパスは検出されなかったた め、SFN 混信による干渉障害は発生しなかった。
 - ・ 150~800MHz帯を使用する他の無線システムへの影響については、送信アンテナ 直下の環境でも雑音増加量が数 dB 程度であり、実運用では干渉を与えないものと確 認できた。
- (5)施工方法
 - 施工の際には、電波防護規定について、人体が送信アンテナに最も接近する距離に おいて、規定値を遵守するよう送信設備の設計を行う必要がある。
- (6) 地下街等の高雑音環境における受信機特性
 - 地下街における雑音については、地上空間に比べ比較的高い値であるが、今回の試験ではマルチメディア放送の受信に影響を与えるような高雑音は確認されなかった。
 - ・ 雑音源としては個体差があったが、LED 電球、自動販売機、電子レンジなど一部 の機器で高い雑音レベルが観測された。
 - ・ 雑音の伝搬距離特性としては、雑音源から 1.5m、3m と離れると急激に減衰する ことが確認された。
 - ・ 雑音の周波数特性としては、マルチメディア放送の 215MHz 帯よりも低い周波数 に高雑音が集中する傾向にあることが確認された。
 - ・ 一部の LED 電球や他の電子機器については、215MHz 以上の周波数帯でもレベル 自体は低いものの複数の周波数でノイズの盛り上がりが確認された。
 - ・ 情報通信審議会の一部答申による回線設計例の所要電界強度(58dBµV/m(13 セグ メント))以上であれば、今回試験をした受信機では偏波面に関係なく受信可能であっ た。



図 5-4 30~300MHz における雑音スペクトラム波形(代表的な機器)

5-1-2 地下街等の閉鎖空間における無線設備の技術的条件

今回の調査検討結果から、地下街等の閉鎖された構造空間では、地上からの電波侵入が なく電波閉鎖空間となっていることも確認され、これらを踏まえ地下街等で整備する無線 システムの技術的条件について、現行定められている基準と照らし合わせ望ましい技術的 条件について検討した。

(1) 周波数帯域及び周波数偏差

周波数帯域については、現行基準207.5~222MHzをそのまま適用可能と考えられる。 周波数許容偏差については、現行基準によりそのまま適用可能と考えられる。

特に、地下街等の閉鎖空間においては、電波伝搬の特性上閉鎖的であり、かつ、狭 小な区域を対象に送信する設備となることから、空中線電力が0.05W以下の極微小電力 で送信するものについては軽減規定による適用が想定される。

(2) 占有周波数带幅

占有周波数帯幅については、現行基準14.2MHzをそのまま適用可能と考えられる。

(3) 空中線電力、空中線電力の許容偏差及び電波防護規定

空中線電力については、現行基準では上限規定等が定められていないため、そのま ま適用可能と考えられる。

ただし、地下街等の閉鎖空間に無線設備を設置する際には、一般者が出入りする領 域がアンテナ近傍の数十センチメートルとなることから、電波防護規定に基づいて空 中線電力の上限値を決めることが望ましい。

VHFマルチメディア放送の電波防護規定値の電界強度は27.5V/m(148.8dB µ V/m) であり、空中線電力及びアンテナの構成により電波防護規定を満足する設備整備の検 討が必要である。

空中線電力の許容偏差については、現行基準上限10%、下限20%をそのまま適用可 能と考えられる。

ただし、空中線電力が極微小となる50mW出力程度の設備については、そのまま適 用可能か検討が必要である。

(4) スプリアス

スプリアス規定については、現行基準1mW以下、かつ60dBc又は空中線電力が1.68W 以下の帯域外領域100 µW、空中線電力が42W以下のスプリアス領域25 µWをそのまま 適用可能と考えられる。

ただし、空中線電力が極微小となる50mW出力程度の設備については、そのまま適用 可能か検討が必要である。

(5) スペクトラムマスク

スペクトラムマスクについては、現行基準をそのまま適用可能と考えられる。

ただし、空中線電力が極微小となる50mW出力程度の設備については、そのまま適用 可能か検討が必要である。

(6) 所要電界強度

所要電界強度については、現行基準の61dBμV/m(13セグメント)(65dBμV/m(33 セグメント)(地上高4m))をそのまま適用可能と考えられる。

ただし、地下街等の閉鎖空間における受信高については、4mでの値で表示するより も受信高1.5mで規定することが適当と考えられる。(1.5mと4mの補正値2.6dB、した がって58dB μ V/m)

(7) 同一チャンネル混信保護比

同一チャンネル混信保護比については、現行基準24.8dBをそのまま適用可能と考えられる。

- (8) 置局条件
 - 1) ネットワーク

ネットワークについては、現行基準の全国SFNをそのまま適用可能と考えられる。

2) 偏波面

偏波面については、現行基準の置局状況で水平/垂直の選択をそのまま適用可能と 考えられる。

(9) 無線設備の機能及び構成

現行基準に加え、次の機能及び構成を満足する必要がある。

1) 受信設備及び受信部

受信設備については、地上基幹放送の送信電波を受信し再生せずに再送信するもの については、良質な信号(電界強度60dB µ V/m以上、MER20dB以上)を安定受信で きるためのアンテナ設備や機能が必要である。

2)送信部

送信機能については、受信入力信号が変動しても送信電力を一定に保つ機能が必要 となる。特に、受信信号が過入力になった場合や大幅に減衰した場合において求めら れる機能である。

ただし、空中線電力が極微小となる数十ミリワット出力程度の設備については、空 中線電力の許容偏差(上限10%、下限20%)を現行基準のまま適用可能か検討が必要で ある。

3) 伝送線(連絡線)

伝送線(連絡線)については、同軸ケーブル又は光ファイバーケーブルを使用し受

信部から送信部へ接続される。地下街のように、遠方に複数の送信地点を設ける場合 には、分配損失を含み適正な信号が送信部に供給されるよう分配損失分を補うための 増幅器を設けるなどの設計が必要である。

特に、伝送線が長くなる場合には光ファイバーによる伝送も有効である。

4)回り込み抑制

回り込み抑制については、送信アンテナからの電波が受信アンテナに回り込み、シ ステム回路が発振を起こし基本機能が動作しないことを防止する機能又は構成が必 要である。

そのために、システム設計として送信アンテナからの電波が受信アンテナへ回り込 む結合量が少なくなるよう、アンテナ相互間に十分な距離を設けることや、アンテナ 指向特性や遮へい効果などを用いて回り込み量を抑える設計が必要である。

また、上述のような機械的な設計で回り込み量を確保できない場合には、補償装置 (回り込みキャンセラー)や発振防止回路などの装置を用いて改善を行う必要がある。

(10) 隣接システムとの干渉

隣接システムとの干渉については、低い周波数帯には公共ブロードバンドシステム、 高い周波数帯には航空無線システムがあるが、それぞれ地上に設置する基準をそのま ま適用可能と考えられる。

ただし、今回のように地下街等の一定の遮へいされた空間においては、上下に隣接 するバンドへの影響(与干渉)は、地上空間とは同一条件とならない場合もあるため、 干渉を受ける側のモデルを整理するなど、そのまま適用可能か検討が必要である。

(11)他の無線システムとの干渉

他の無線システムへの干渉については、地下街空間の狭い環境の中で複数のシステムが運用するため、各システム間と設備諸元及び相互における干渉について、事前の 協議により、相互に干渉回避をするための干渉離隔距離を設けるなどの措置を行った 上で、設備整備することが望ましいため、現行基準に加え配慮が必要である。

5-1-3 地下街等の閉鎖空間における安全と信頼性の技術的条件

放送における安全と信頼性に関する技術的条件については、平成23年6月に整備されたもので、これはマルチメディア放送が放送開始(平成24年4月)する前に整備されたものである。

今回試験を行った地下街での無線設備については、地上で放送されている無線設備の設備規模や影響範囲と比較すると非常に小規模な設備であるため、現行規定されている大規 模な放送局及び小規模な放送局の基準で適用されることが望ましいか、又は、地上デジタ ルテレビ放送のように更に小規模な設備について「その他の中継局」という区分を設ける 必要があるのか検討が必要である。

5-1-4 地下街等の閉鎖空間における送信システムの課題等

(1) 整備主体

携帯端末向けマルチメディア放送の無線設備の整備主体について、現行基準では開 設認定計画を認定されている事業者が免許を受けて整備するものとなるが、地上デジ タルテレビ放送のように受信障害を改善したい者が整備できる制度があると、他の者 でも免許を申請し整備することも可能となるため、そのような制度があることが望ま しいか検討が必要である。

(2) 小型な再送信システム

携帯端末向けマルチメディア放送に係るユーザーニーズとしては、例えば自宅の奥まった寝室など屋外からの電波侵入が少ない場所について、受信改善が望まれている。

今回試験を行った、小型な再送信システムなどを用いて簡便かつ容易に設備整備が 可能であれば実現性が高いものと考えられるが、その場合の設備基準をどのように設 けることが望ましいか検討が必要である。

5-2 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の導入に向けて

5-2-1 携帯端末向けマルチメディア放送の送信設備整備に向けて

(1)放送エリアとなる伝搬距離

送信機1を用いた測定で、マルチメディア放送の所要電界強度となる地点のセグメントごとの伝搬距離について、表 5-1 に示す。また、送信機3を用いた測定で、33 セグメントの送信電力を変化させた際の伝搬距離について、表 5-2 に示す。

表 5-1 偏波面とセグメントによる伝搬距離(出力 100mW、受信高 1.5m、送信高 3m)

	水平偏波		垂直	፤ 偏波	所要電界強度
セグメント	連続測定 [m]	定点測定 [※] [m]	連続測定 [m]	定点測定 [※] [m]	(受信高 1.5m) [dB <i>μ</i> V/m]
33 セグメント	93	90	65	57	62
13 セグメント	82	74	62	60	58
1 セグメント	72	72	63	55	47

※ 上表の定点測定の距離は、10m間隔で測定した結果をもとに直線補間で求めた。

空中線電力 (33 セグメント) [mW]	送信高 1.5m [m]	送信高 2m [m]
0.01	14	19
0.05	20	21
0.1	21	23
0.5	39	38
1	45	43
10	50	50
20	55	58

表 5-2 電力の違いによる伝搬距離(垂直偏波、受信高 1.5m)

今回実証試験を行ったさっぽろ地下街は、横幅 8m、高さ 3m の環境で、地下街空間 としては一般的なものと言われている。他の地下街空間がこの横幅と高さを下回る場 合には更に伝搬損失が大きくなり、逆に横幅と高さを超える場合は伝搬損失が少なく なる傾向にあるが、地下街空間が極端に違わない場合は、表 5-1 及び表 5-2 のデータ を参考に設計することが可能と考えられる。加えて地下街の環境に合わせて電界変動 マージンを考慮し設計しておく必要がある。

(2)送信高

送信高については、低い地点より高い地点から送信する方が遠方に伝搬される傾向 であることが確認できた。

送信アンテナを地下街に取り付けられる場合は、設置場所等に制約があるため送信 アンテナ高を自由に変えられる設計にはならないが、送信点から放送エリアをカバー する領域に障害物が少なくなる高さで設置できることが望ましい。

(3)送信アンテナと偏波面

1)送信アンテナ

送信アンテナについては、地下街の天井面に設置することを考慮し、天井や周囲環 境の影響を受けず、放送エリアをカバーする領域に適する指向特性のあるものを選定 することが望ましい。

特に地下街は、防火の観点から難燃性構造となっているため、天井面が金属製の場 所も多く存在する。このような環境に設置する場合は、アンテナの指向特性が劣化し ない特性のものを設計する必要がある。

また、VHF帯は波長が長いためアンテナのサイズも大きくなるが、設置可能なスペースに適するアンテナを選択することが望ましい。併せて、地下街環境の美観を損ねない形状や配色であることが望ましい。

2) 偏波面

偏波面については、受信端末の特性を考慮すると、垂直偏波を選択すると若干では あるが遠方受信が可能である。

3) アンテナ指向特性

アンテナの指向特性の水平面指向特性について、放送エリアを水平面 360 度カバー する場合や交差点をカバーする場合などでは、無指向性が望ましい。

また、垂直面指向特性について、天井面に設置することを考慮すると、主指向性を 下向きにして人通りのある通路面に向けることで効率良くサービスできるものと考え られる。

(4)送信電力

送信電力については、技術的条件で触れられていたように電波防護規定に適合する 電力で設計する必要がある。

215MHz 帯の電波防護規定では、27.5V/m(148.8dB µ V/m)となることから、送信 電力とアンテナ利得の関係から、表 5-3 に例示するとおりとなる。

送信電力 [W]	アンテナ利得 [dBi]	防護距離 [m]	電波防護規定判定※	
0.1W	2.14	0.13	0	
0.5W	5.14	0.41	0	
1W	2.14	0.41	0	
1W	5.14	0.58	×	

表 5-3 電波防護規定に基づく送信電力との関係

※天井高 3m、人体頭部地上高 2m、送信アンテナ長 0.45mとした場合に、防護 しなければならない領域を満足しているかの判定

また、地下街においては、地下街空間の構造(例えば、交差点配置や送信アンテナ が取り付けられる場所)などを考慮して、送信電力を設計することが望ましい。

この場合において、放送エリアの電界強度は所要電界強度 33 セグメント 62dBµV/m (1.5m 高)以上で検討することが望ましい。

(5) アンテナ間隔

複数地点にアンテナを設置する場合のアンテナ間隔については、それぞれのアンテ ナから送信される中間点において、所要電界強度 62dBµV/m(33 セグメント、地上高 1.5m)以上に保たれるよう設計することが望ましい。

ただし、地下街によっては地上との開口部(吹き抜け)などがあるところもあり、 地上から到来する電波と SFN 干渉が発生するかの事前確認が必要である。

複数の送信点を設置する場合などでは、使用機器や伝送路ケーブルなどの遅延時間 をあらかじめ把握しておき、システム設計時に考慮しておく必要がある。

例えば、送信電力 100mW で 33 セグメント出力の場合、半径約 80m まで放送エリアとなることから、2 地点送信する場合には 160m 間隔で整備するとシームレス受信が可能となる。

(6)送信設備の整備

設備設置に関しては、施設管理者と十分協議の上、既存設備に影響を与えないよう、 かつ美観を損ねないよう設計するほか、地下街環境に適用する設備(温度、湿度、粉 じん、難燃等)とする必要がある。

また、地下街に設置する設備については、天井裏などの隠ぺい部分に設置する場合 が多いことから、適切かつ確実な設置方法が求められる。例えば、天井裏の設備につ いては、ワイヤーなどを用いて脱落防止用の措置をとるなどの施工が望ましい。

さらに、地下街施設内では一年を通して工事や保守点検が複数実施される場合があ るため、他の工事会社等が出入りしても支障がないよう、設備保護、配線保護等を行 うほか、配線名称札などを明示しトラブルが生じないよう努めることが望ましい。

(7)法的規制

送信設備を地下街に設置する際には、次のような法令に従い設計・整備するほか、 必要な手続きを行わなければならない。

- · 建築基準法関係法令
- 消防法関係法令
- · 道路交通法関係法令
- 公園法関係法令
- 電波法関係法令
- 有線電気通信法関係法令等

(8)小型な再送信システム

小型な再送信システムについては、極微小な送信電力(0.1~20mW)で半径10m程度の狭小なエリアの受信改善を図るには有効で、整備する際には良質な受信信号を確保 することが重要であり、また送受信アンテナの設置に関しては回り込みを考慮したア ンテナ構成にする必要がある。

(9) 地上への漏えい

地下街から地上へ電波漏えいによる地上への混信及び地上から侵入してくる電波に よる地下街への混信については、障害が発生していないことが確認された。

このような伝搬環境は、送信電力100mWにおけるさっぽろ地下街のケースであるが、 送信電力を100mWから増加させる場合や地上への階段が、コンクリート造りではなく 吹き抜けでガラス張りとなるような環境では状況が変わるため、それぞれの環境に応 じて検討する必要がある。

(10)他の無線システムとの干渉

他の無線システムとの干渉については、実運用では干渉を与えないものと確認できた。しかし、地下街においては、数多くの無線システムが運用されているため、新た に電波を発射する際には、地下街施設内に整備・運用されている無線局に事前周知及 び干渉検討を行った上で行うことが望ましい。

(11)受信高

受信高の違いによる電界強度の変化は、地点によって多少のバラツキはあるものの、 1.5mに比べ1mの方が数dB低い値となっていた。 受信高の違いによる顕著な変化はないが、受信高が低くなると電界強度も低下する ことについて、システムを設計する上で留意が必要である。

5-2-2 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の導入に向けて

携帯端末向けマルチメディア放送は、移動受信ながら高画質受信が可能であり、災害発 生時には、緊急警報放送や緊急地震速報に対応し、放送のリアルタイム性、同報性を優位 に発揮する。また、外出先でも災害に係る情報を入手できるほか、蓄積型放送を活用し避 難情報など必要な情報を蓄積し、何度も視聴ができる。

このような新しい放送メディアも、地下街など閉鎖空間では地上と同様に電波で情報を 入手することができないが、今回の試験した送信システムが地下街に整えば、地上空間と 同様に多くの情報を入手することができ安全・安心のための社会インフラが加わることに なる。

これらの調査検討会で得られた成果を有効に活用いただき、地下街や自宅内など幅広い 電波閉鎖空間等で実用化されることを期待するところである。
資料 編

<A1> 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の効率的な送信 システムに関する調査検討会 設置要綱

1 名称

本調査検討会は、「地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の効率的な送信システムに関する調査検討会(以下「調査検討会」という。)」と称する。

2 目的

緊急時や災害時などにおける地下街等の閉鎖空間での情報提供ツールとしても有効であると考えられている携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High帯)に関し、同空間における良好な受信環境確保のために必要な送信システムの技術的条件に関する調査検討を行う。

3 検討項目

調査検討会の目的を遂行するために、次の項目について検討する。

(1)地下街等の閉鎖空間における携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High 帯)の電 波伝搬特性

①VHF-High 帯の電波伝搬特性

②地下街特有の閉鎖的環境の電波伝搬特性(狭小な閉鎖空間など複数の空間形状に おける電波伝搬特性)

(2)地下街等の閉鎖空間における携帯端末向けマルチメディア放送(VHF-High 帯)の送 信システム

③効率的な送信設備及び送信方法

②干渉検討及び干渉回避手法

③施工方法

④地下街等の高雑音環境における受信機特性

4 構成

調査検討会の構成は、次のとおりとする。

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

5 運営

調査検討会の運営は次のとおりとする。

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

6 開催期間

設置の日から平成25年3月31日までの間で報告書を取りまとめる日までとする。

7 その他

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

<A2> 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の効率的な送信 システムに関する調査検討会 委員構成

株式会社 NHK アイテック 営業本部(事業開発)担当部長	岩田	昭光
株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ北海道支社 ネットワーク部電波担当課長	安藤	文一
株式会社エフエム北海道常務取締役	杉田	光雄
株式会社 mmbi 取締役 経営企画部長	石川	昌行
札幌駅総合開発株式会社 施設管理本部 施設部長	佐藤	文雄
札幌駅前通まちづくり株式会社 取締役 総務部長	白鳥	健志
札幌市 市民まちづくり局都市計画部 都心まちづくり推進室 都心まちづくり課長	奥村	俊文
札幌市 総務局情報化推進部 IT 推進課長	小田原	〔 史佳
株式会社札幌都市開発公社 施設部 次長	末武	寛章
株式会社ジャパン・モバイルキャスティング 技術企画部長	北川	真清
◎東海大学 生物理工学部 生体機能科学科 特任教授	上瀧	實
日本放送協会 札幌放送局 技術部(企画) 専任部長	大崎	公士
北海道 総合政策部科学 IT 振興局情報政策課 主幹	曽根	宏之
○北海道大学 大学院情報科学研究科 インテリジェント情報通信研究室 准教授	大鐘	武雄
北海道文化放送株式会社 技術局長	成田	雅文

◎座長 ○副座長 ※敬称略、機関名五十音順

<A3> 検討経過報告

第1回検討会

- 日時 平成24年6月21日(木) 16:00~
- 場所 北海道総合通信局 第1会議室
- 議題 1 調査検討会の設置について
 - 2 調査検討項目、スケジュールについて

第2回検討会

開催期間 平成24年11月7日(水)~11月14日(水)開催形式 電子メール議題 机上検討・ラボ試験計画書(案)について

第3回検討会

開催期間	平成24年12月21日(金)~12月27日(木)
開催形式	電子メール
議題	1 机上検討・ラボ試験結果報告書について
	2 フィールド試験計画書(案)について
	3 報告書骨子(案)について

第4回検討会

開催期間 平成25年1月24日(木)~1月30日(水)
 開催形式 電子メール
 議題 フィールド試験結果報告書について

第5回検討会

日時 平成25年2月5日(火) 16:00~場所 札幌市民ホール 第1会議室議題 報告書(案)について

第6回検討会

日時 平成25年3月5日(火) 16:00~

- 場所 北海道総合通信局 第1会議室
- 議題 報告書について

〇調査検討会





検討会議事(第5回検討会)



上瀧座長と大鐘副座長(第6回検討会)

○公開実証試験〔平成25年2月5日:札幌市民ホール/さっぽろ地下街 オーロラタウン〕



公開実証試験の説明風景



公開実証試験風景

<A4> アンケート結果

(1) 実施概要

平成25年2月5日に実施した公開実証試験と翌日6日にかけて、さっぽろ地下街のオー ロラスクエアにブースを設け、マルチメディア放送及び受信端末の紹介並びに体験受 信機の貸出を行うとともに、地下街を通行する一般の方を含め緊急時や災害時の情報 収集手段についてのアンケートを行った。

1) 実施場所

札幌市 さっぽろ地下街 オーロラスクエア

2)実施期間

平成25年2月5日~6日(2日間)

3) アンケート回答者の構成

回答者数 127名

回答者の性別

男性:82名、女性:43名、不明:2名

回答者の年齢構成

10代:0名、 20代:12名、30代:28名、40代:24名、 50代:20名、 60代:19名、70代:20名、80代以上:4名

- (2) アンケート結果
 - Q1:緊急時や災害時に利用すると考えられる情報提供ツールは何ですか? 考えられる番号を記載してください。(複数回答可)

No	選択項目	人数
1	テレビ	90名
2	携帯電話	84名
3	AMラジオ	75名
4	FMラジオ	48名
5	ワンセグ	37名
6	固定インターネット	27名
7	マルチメディア放送	4名
8	その他	4名

⁽回答数順)





No	選択項目	人数	FMラジオ その他 マルチメディア放送
1	テレビ	48名	1% 2% 0% 未記入 ワンセグ 4%
2	AMラジオ	37名	1%
3	携帯電話	28名	固定インターネット
4	固定インターネット	4名	3% 携帯電話 38%
5	ワンセグ	2名	
6	FMラジオ	1名	AMラジオ
7	その他	2名	29%
8	マルチメディア放送	0名	
	未記入	5名	
	(回:	答数順)	

Q2:Q1の回答の中で、最初に思い浮かぶ情報提供ツールは何ですか?

Q3:お答えになったQ1で「その他」を選ばれた方は、その情報提供ツールについ て記述をお願いします。

回答:スマートフォン、ツイッター

Q4:地下街や外出先等で、緊急時や災害が起きた場合、情報提供について何を頼り にしますか?考えられる番号を記載してください。(複数回答可)

No	選択項目	人数
1	携帯電話	81名
2	施設管理者からの情報	52名
3	ワンセグ	34名
4	警察·消防	33名
5	AMラジオ	27名
6	FMラジオ	19名
7	自治体	15名
8	マルチメディア放送	10名
9	その他	8名



⁽回答数順)

Q5:地下街や外出先等で緊急時や災害が起きた場合における情報提供について、要望 することがあれば教えてください。

主な回答(同様の内容については集約した)

- ·避難誘導情報(11名)
- ・館内放送(10名)
- ・早く正確な情報(9名)
- ・地下街での地デジやマルチメディア放送の再送信(5名)
- ・分り易い情報(4名)
- ・携帯不感エリアの解消(4名)
- ・その場所特有の情報(4名)
- ・デジタルサイネージによる災害情報提供(3名)
- ・エリアメールなど携帯端末へのプッシュ型配信(3名)
- ・警備員や施設管理者などからの情報(2名)
- ・障がい者にも伝わる情報伝達手段(2名)
- ・地下街でのAMラジオ再送信(2名)

(3) アンケート結果について

緊急時や災害時に利用すると考える情報提供ツールについては、複数回答者では 様々な情報収集手段を上げているが、単一回答者ではテレビなどの放送メディアが88 名なのに対し、携帯電話や固定インターネットなど通信メディアを上げる人は32名と 少なかった。これは、緊急・災害時の情報収集手段としてリアルタイム性に優れ障害 が起きにくい放送メディアをより身近に感じていることが理由と思われる。

また、東日本大震災時に注目されたツイッターを上げた人もいた。

地下街や外出先等で災害等が発生した場合に頼る情報については、携帯電話を上げ る人が最も多いが、ワンセグやAMラジオなどの放送メディアを選択する人や、施設 管理者からの情報などのローカル情報を上げる人も多かった。

地下街や外出先等で災害等が発生した場合の情報提供については、「館内放送」「避 難誘導方法」「その場所特有の情報」や「警備員や施設管理者などからの情報」など ローカル情報を得たいという要望が多かった。

「館内放送」や「デジタルサイネージ」など情報収集デバイスを必要としない情報 手段を上げる人も多く、視覚障がい者や聴覚障がい者にも伝わる情報伝達手段を要望 する声もあった。

また、地下街におけるAMラジオ、地デジやマルチメディア放送の再送信を望む声 もあった。

<A5> 用語集

用語	説明
^ T T	Attenuator:減衰器
	信号を適切な信号レベルに減衰させる電子部品又は装置。
	Band Pass Filter
BPF	必要な範囲の周波数のみを通し、他の周波数は通さない(減衰
	させる)フィルタ回路。
	decibel (デシベル)
	ある物理量(信号電力等)Yを基準となる量Xとの比を常用対数
ав	で表し、それを10倍したときの単位。
	Y(dB)=10×log10(物理量Y/基準量X)
d Due	1mWを基準として電力をデシベルで表す際の単位。
	例:0dBm=1mW、30dBm=1W
	Desired to Undesired signal ratio
D/U(DU比)	希望波と妨害波の強度の比。値が大きいほど妨害が少ない。単
	位 [dB]
	1個または13 個のOFDM セグメントで伝送帯域を構成する移
ISDB-Imm	動体・携帯端末向け地上マルチメディア放送の放送方式。
	Modulation Error Ratio : 変調誤差比
	コンスタレーションの理想的なシンボル位置から受信シンボ
MER	ルまでのベクトル量の比をデジベルで表したもの。この値が大
	きいほど、受信した信号品質が良い。
	Orthogonal Frequency Division Multiplexing:直交周波数分
0.5.0.4	割多重。
	地上波デジタル放送や無線LANで使われるデジタル信号の変
	調方式で、マルチキャリア伝送方式の一種。
SFN	Single Frequency Network:単一周波数ネットワーク。
	同じ放送系統で、中継局電波の周波数を親局電波の周波数と同
	じにしたネットワーク。我が国のデジタル放送技術の特徴の一
	つで、周波数の有効利用が可能。
SG	Signal Generator : 信号発生器
	回路や機器、システムなどの入出力特性を評価するための波形
	信号源として用いられるものを信号発生器という。

用語	説明
	Tracking Generator :トラッキングジェネレーター
ТG	スペアナの同調周波数と同じ周波数の信号を出力し、かつスペ
	アナの掃引に追従して出力周波数を掃引する信号発生器で、ス
	ペアナと組合せて回路やシステムの振幅周波数特性が測定可
	能。スペアナの機能として内蔵されている機器が多い。
	Ultra High Frequency Band
UHF	極超短波(300MHz~3GHz)の周波数帯。地上デジタル放送
	は470~710MHzの周波数帯で、UHF帯に属する。
	Very High Frequency Band
VHF	超短波(30~300MHz)の周波数帯。VHF-High帯マルチメデ
	ィア放送は207.5~222MHzの周波数帯で、VHF帯に属する。
	アンテナ素子に誘起した電流分布の面積が同じとして、誘起し
	た最大振幅で均一の電流分布をもった等価的なアンテナとし
	たときの素子の長さ。半波長ダイポールアンテナの実効長は、
	λ / π で示される。
	送信側でデジタル信号情報の1伝送期間である有効シンボル
	長の後ろの一定期間を取り出し、それを有効シンボルの前に冗
	長部分として付加したものを送信する。受信側では、有効シン
ガードインターバル	ボル長だけを取り出して再生することにより、アナログ放送に
	おけるゴースト妨害のようなマルチパスによる干渉障害を解
	消することができる。この付加した冗長部分の一定期間をガー
	ドインターバル(Guard Interval)という。
	Antenna (アンテナ)
中 十 4 年	電磁波の送信や受信に使用され、電気エネルギーを効率よく電
空中線 	磁波として空間に放射する。また、空間を伝搬している電磁波
	を効率よく電気エネルギーに変換する働きをする。
	Constellation
コンスタレーション	デジタル信号の各シンボル位置について搬送波位相、振幅との
	関係を図に示したもので、コンスタレーションは星座を意味
	し、各シンボル位置が座標上にちりばめられている様子が星座
	に似ているので名付けられた。

用語	説明
サブキャリア	OFDMでは、多数の搬送波を用意して、それぞれの搬送波でデ
	ータを並列に運び、搬送波はサブキャリアと呼ばれる。OFDM
	では、サブキャリアの周波数帯域が重なっても、混ざらずに受
	信側で周波数を弁別することができ、この性質を「直交性」と
	いう。
	遮へい物のない空間で電波を放射したとき、直接的に伝搬する
	電界強度を意味し、その強さは送信電力に比例し距離に反比例
自由空間電界強度	する。テレビ帯における電波伝搬では直接波の電界強度に相当
	する。単位は〔V/m〕。またテレビ帯では、1 µ V/mを基準とし
	て、1mV/mの電界はデジベルでは60dBµV/mとなる。
	空中線に供給される電力に、与えられた方向における空中線の
宇动故射雷力	相対利得を乗じたもので、ある一定の方向に放射される電波の
天刻成羽龟刀	電力の強さを意味する。ERP(Equivalent Radiated Power)
	と呼ばれる。
垂直偏波	電磁波において、電界の振動方向が地面に対して垂直なもの。
水平偏波	電磁波において、電界の振動方向が地面に対して水平なもの。
	Spectrum analyzer
 スペクトラムアナライザ	周波数分析に用いる計測器。横軸を周波数、縦軸を電力とする
	二次元のグラフを画面に表示する。短縮した呼称として、「ス
	ペアナ」とも呼ばれる。
	6MHz帯域幅のOFDMにおいて、帯域を14分割した1つを
	OFDMセグメントといい、キャリア本数は432本である。地上
セグメント	デジタル放送では6MHz帯に13のセグメントを有し、「ワンセ
	グ」は中央部の1つで放送されている。マルチメディア放送の
	帯域では33のセグメントが割り当てられている。
ターンスタイルアンテナ	半波長ダイポールアンテナを直角に配置したアンテナ。指向性
	は無指向性。
ダイポールアンテナ	ケーブルの先(給電点)に2本の直線状の導線(エレメント)
	を周波数に対応した長さで左右対称につけた最も基本的な線
	状アンテナ。一般に、波長の半分のエレメント長のアンテナを
	半波長ダイポールアンテナといい、単にダイポールともいう。

用語	説明
遅延時間	遅れ時間のことで、遅延波は直接波にくらべ、伝搬経路が 長く経由して到来するため、直接波との伝搬距離差が生じ
遅延プロファイル	る。この距離差が遅延時間に相当する。 デジタル放送の受信信号に含まれる遅延波(マルチパス波) を分析し、遅延時間とDU比の関係を表示したもの。 遅延プロファイルの測定結果は、横軸が基本波に対する遅 れ時間、縦軸が信号の強さとしてグラフ表示され、遅延波 の強さは、直接波の強さに対する DU 比(D/U)で表さ
電波防護規定	れる。 電波が人体に悪影響を及ぼさない範囲を策定したもの。 総務省では、安全な電波利用の一層の徹底を図るため、無 線局の開設者に電波の強さに対する安全施設を設けること を義務づけている。通常、人が出入りする場所で無線局か ら発射される電波の強さが基準値を超える場所がある場合 には、無線局の開設者が柵などを施設し、一般の人々が容 易に出入りできないようにする必要がある。
都市減衰	電波伝搬において、建造物など都市部の構造により、大地 反射波による位相合成率の低下や不特定の遮へいによって 生じる電波の減衰。
波長短縮率	電波が伝送線路を伝わるとき、伝搬速度が落ち、波長が短 縮する。この割合を波長短縮率という。一般に、波長短縮 率は伝送線路の比誘電率によって決まる。
ハイトパターン	受信アンテナ高の変化に対応して、受信電界強度が変化す る特性をいう。受信ハイトパターンともいう。
パルス	短時間に急峻な変化をする、一定の幅を持った矩形波のこと。
ビット誤り率	Bit Error Rate (BER) デジタル信号の誤りビット数と伝送したビット数の比。 BERは、10 ^{-x} (10のマイナスx乗)と表記し、値が小さいほ ど誤りビット数が少ない。
ブロックノイズ	DU比が劣化した場合に画面に現れるブロック状のノイズ。

用語	説明
分解能帯域幅	RBW (resolution bandwidth) スペアナの基本機能の一つで、接近した信号を分離して測 定できる帯域幅のこと。値を小さくすることで、周波数が 近接した信号を観測できる。
マルチパス	受信アンテナに到来する電波が、直接波の他に送信点から 複数経路(multi-path)を経由して到達する遅延波のこと。 マルチパスの数が多く、そのDU比が小さいほど、受信信号 品質は低下する。
無指向性アンテナ	360°全方向均一に電波が放射されるアンテナのこと。
モノポールアンテナ	アンテナの一方の端を接地するアンテナ。ダイポールアン テナのさらに半分の長さ(すなわち波長の1/4)でも同じ効 果を得られる。携帯電話で利用されている「ホイップアン テナ」はモノポールアンテナの一種。

地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の 効率的な送信システムに関する調査検討報告書

平成 25 年 3月

- 発 行: 地下街等における携帯端末向けマルチメディア放送の 効率的な送信システムに関する調査検討会
- 連絡先: 北海道総合通信局 無線通信部 企画調整課
 〒060-8795 札幌市北区北8条西2丁目 札幌第1合同庁舎
 電話 011-709-2311 (内 4622)
 FAX 011-700-5463
 HP http://www.soumu.go.jp/soutsu/hokkaido/