

第2章 実地試験

2.1 目的と概要

2.1.1 実地試験の目的

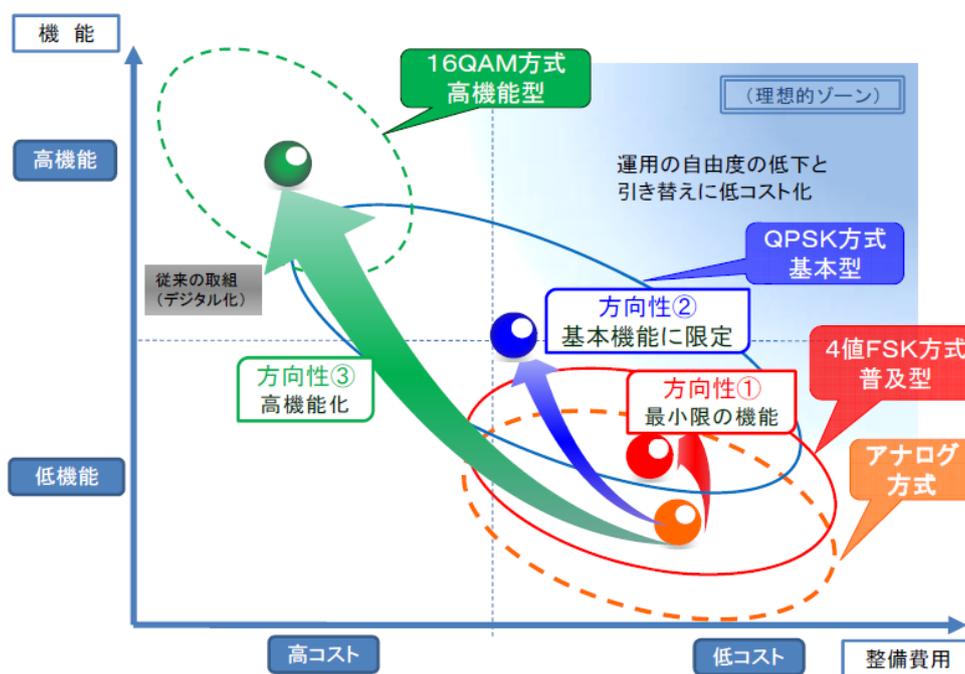
総務省では、新たな移動通信技術を利用したより低廉な同報系防災無線システムの検討を行っており、現行の16QAM方式と比べ、所要受信入力電圧の低減が可能な変調方式としてQPSK方式、4値FSK方式の同報系防災無線システムの検討を行っている。

中国総合通信局では、上記の同報系無線システムのうち、戸別受信機の技術的検証に特化して、当該機器の外部アンテナ等に係る技術的な検証を実施することとした。

これは、下表2-1-1に示すように機能を絞りつつも新たな方式の導入により戸別受信機のアンテナを簡便なものにできる可能性があり、下記のような点で同報系防災無線システム導入コスト低減の可能性を期待するものである。

- ・戸別受信機の外部アンテナ設置不要率の向上によるアンテナ経費低減
- ・一般家庭において、上記に伴って建屋に同軸ケーブルを引き込むために必要であった穴空け等工事の不要化による経費低減と設置場所の自由度向上

図表 2-1-1: 固定系無線システムの方向性 (想定イメージ)



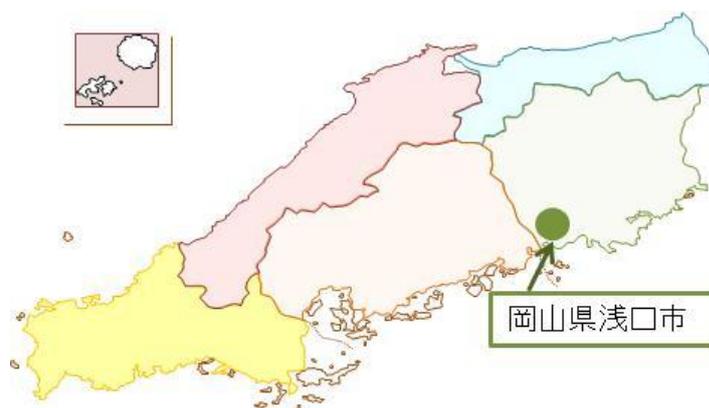
【出典：防災無線の高度利用技術等に関する調査検討（平成25年3月）】

2.1.2 実地試験場所等

実地試験場所等は次のとおり。

場所についてはいずれも浅口市の協力により、その保有施設を活用させていただいた。

- ・ 実地試験日 平成 25 年 10 月 21 日(月)～平成 25 年 10 月 25 日(金)
- ・ 実地試験地 岡山県浅口市 浅口市役所(送信場所)
リサイクルセンター(受信場所①)
六条院東会館(受信場所②)



【岡山県浅口市の概要】

浅口市は、平成 18 年 3 月 21 日に金光町、鴨方町、寄島町が合併して誕生。

岡山県の南西部に位置し、瀬戸内海に隣接する自然豊かなまち。

周りを浅口郡里庄町、倉敷市、笠岡市、小田郡矢掛町に囲まれ、金光地域・鴨方地域を山陽自動車道や国道 2 号線、JR 山陽本線、山陽新幹線等の基幹的な交通軸が通るほか、北の遙照山系から南の瀬戸内海まで多様な地勢となっている。

面積 66.46 平方キロメートル

人口 36,070 人、世帯数 13,879 世帯（住民基本台帳（平成 25 年 12 月末）による）

（浅口市ホームページより）

なお、浅口市は、住宅地・農地等が混在する都市の標準的な都市形態と平野部において丘陵が散在する地形から、伝搬のモデル等の設定に適するものとして選定されたところである。

2.1.3 実地試験の概要

実地試験は、以下の 2 段階（事前試験、本試験）にて実施した。

（1）事前条件確認（事前試験）

- ア 回線設計（机上検討）
- イ 周囲ノイズ（妨害波）の実地確認
- ウ 伝搬状況（伝搬損失、反射波）の実地確認

（2）現地試験（本試験）

3 方式（16QAM、QPSK 及び 4 値 FSK）について下記試験を実施した。

ア 送信局の設定

親局の送信電力は 10W を減衰器（以下、ATT）で段階的に絞る。

イ 受信局での測定

受信局では送信電力を低減するごとに次のような項目を測定した。

(ア) 受信入力電圧

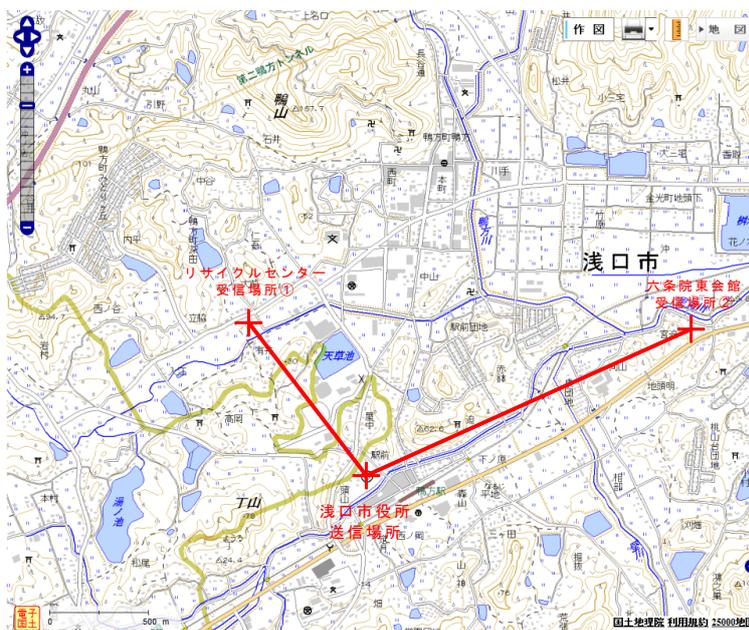
(イ) ビットエラーレート (以下、BER)

(ウ) 音質評価のための音源の記録 (記録 (録音) は、音質評価に活用 (2. 4 項))

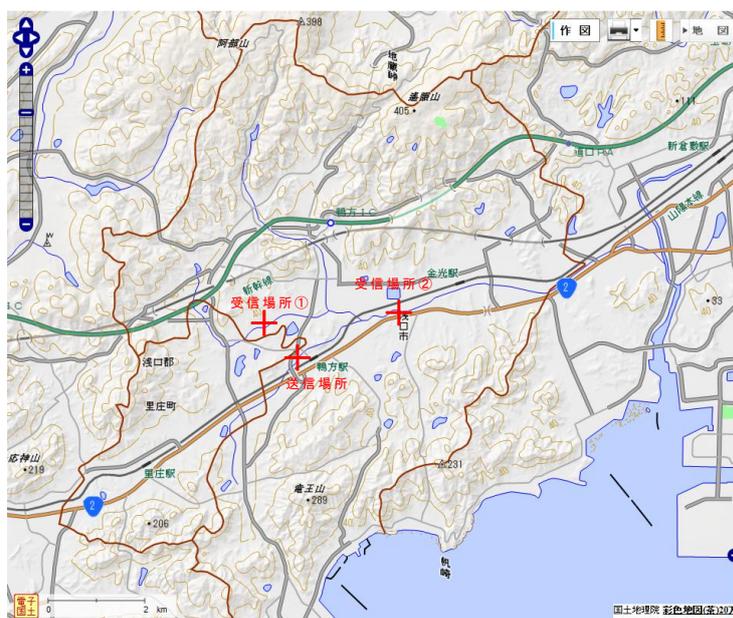
(3) 地形等の状況

地形、建物、設置等の状況については、下記図表 2-1-2 から 2-1-13 のとおりである。

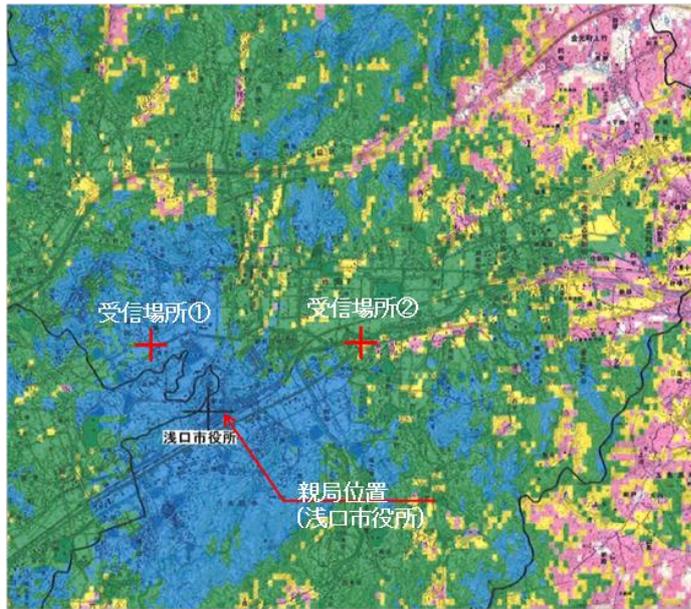
図表 2-1-2: 試験実施予定エリア (1)



図表 2-1-3: 試験実施予定エリア (2)



図表 2-1-4: 試験予定エリア 無線サービスエリア図 (参考)



シミュレーション条件			
測定電波の方向		下り	
親局	設置場所	浅口市役所	
	図上マーク	+	
	経度(世界測地系)	133° 35' 06"	
	緯度(世界測地系)	34° 31' 40"	
	標高	13.0m	
	送信出力	10W	
	送信周波数	60MHz	
	アンテナ	形式	スリーブ型
		利得	2.15dB
		指定方向	無指向
アンテナ地上高	15.0m		
ケーブル長(10D-2V)	25.0m		
その他損失	-1.2dB		
子局	アンテナ	形式	スリーブ型
		利得	2.15dB
	アンテナ地上高	2.0m	
	ケーブル長(5D-2V)	5.0m	
土地係数	-10dB		
受信入力電圧 (色区分)			
机上		50dB μ V 以上	ロッドアンテナ
		30~50dB μ V	ダイポールアンテナ
		20~30dB μ V	3素子八木アンテナ
		0~20dB μ V	受信不可
		0dB μ V 未満	

【出典：「浅口市デジタル防災行政無線(同報系)施設整備事業基本設計報告書(平成24年3月)」】

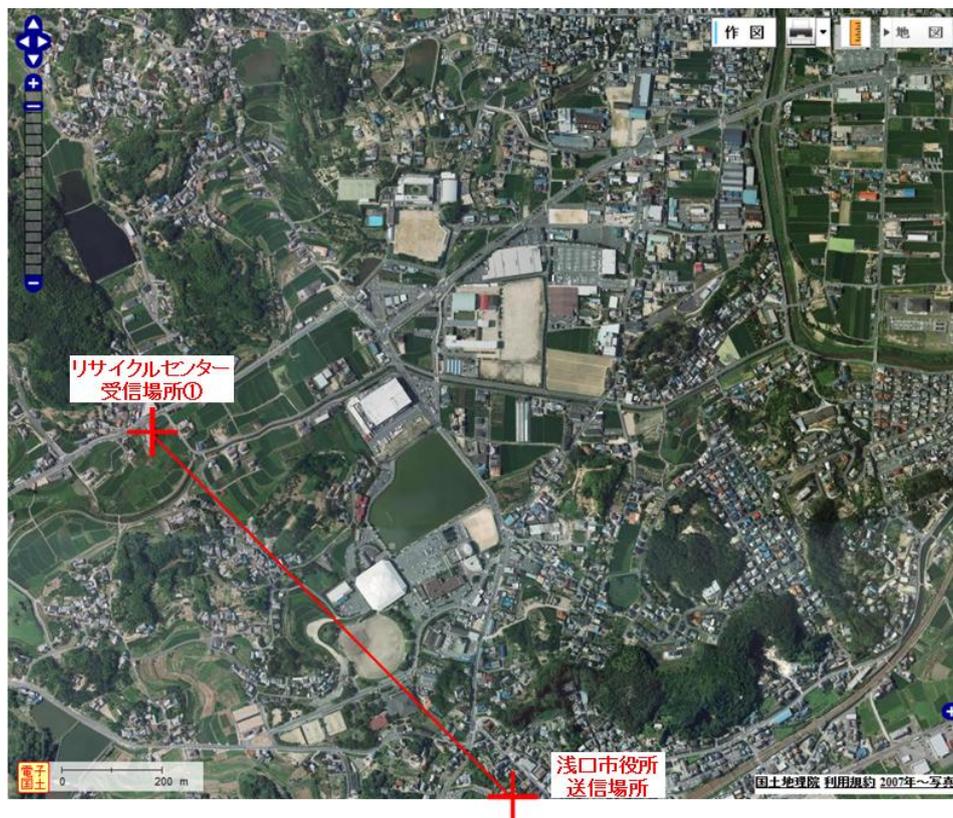
(4) 送受信場所
ア 浅口市役所

図表 2-1-5: 送信場所 (浅口市役所)



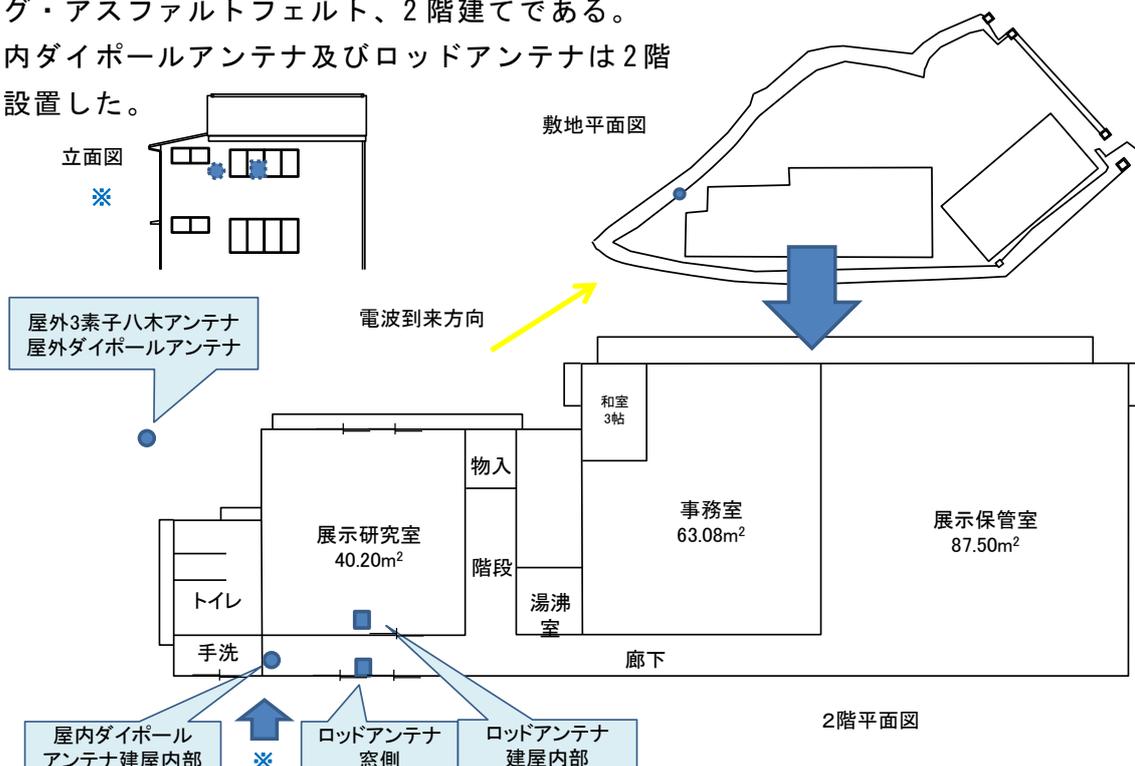
イ 受信場所①リサイクルセンター

図表 2-1-6: 受信場所① リサイクルセンター回線経路



図表 2-1-7: 受信場所① リサイクルセンター立面図及び平面図

受信場所①の建物構造は鉄骨造、壁は断熱サイディング・アスファルトフェルト、2階建てである。屋内ダイポールアンテナ及びロッドアンテナは2階に設置した。



図表 2-1-8: 受信場所① (リサイクルセンター)



屋外3素子八木アンテナ



屋外ダイポールアンテナ(送信場所方向)



外部アンテナ接続測定状況(16QAM)



屋内ダイポールアンテナ建屋内部(11月25日)

図表 2-1-9 受信場所① (リサイクルセンター)



測定状況



ロッドアンテナ窓近傍(QPSK)



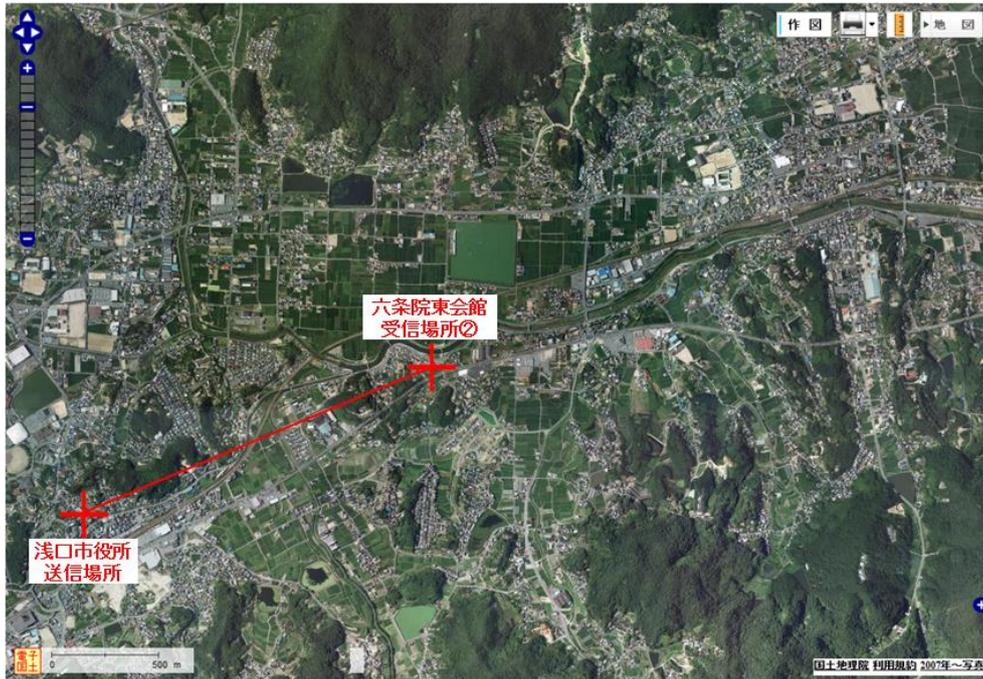
ロッドアンテナ建屋内部(16QAM)



ロッドアンテナ建屋内部(QPSK)

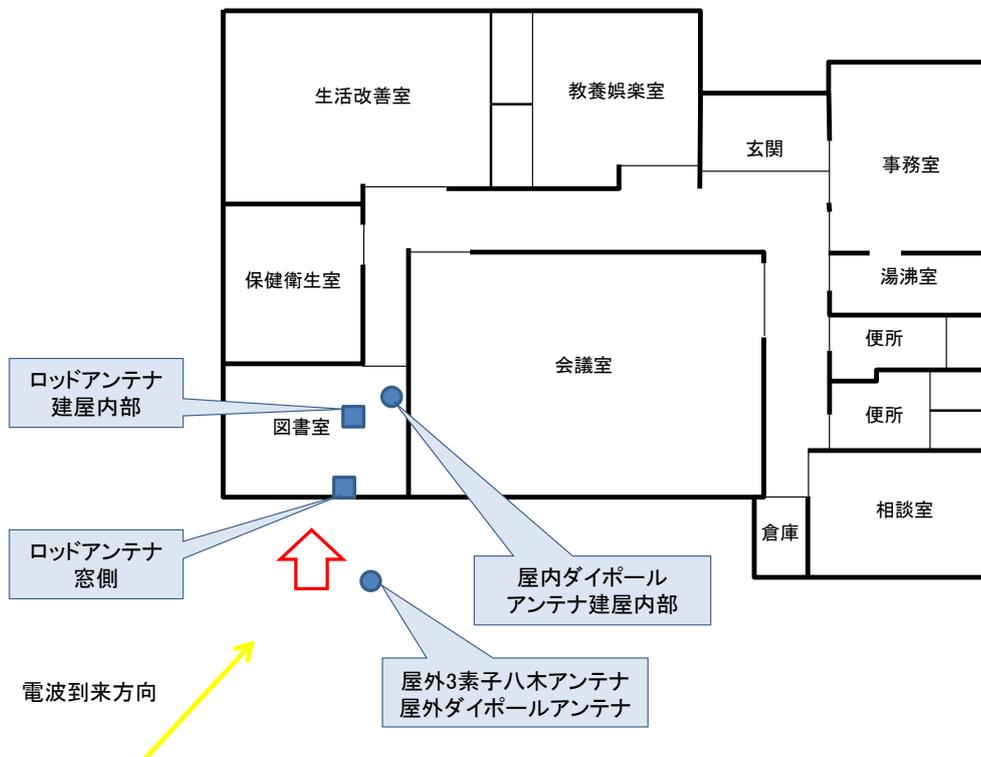
ウ 受信場所②六条院東会館

図表 2-1-10: 受信場所② 六条院東会館 回線経路



受信場所②の建物構造は鉄骨 ALC 造・平屋建てである。

図表 2-1-11: 受信場所② 六条院東会館 1階平面図



図表 2-1-12: 受信場所② (六条院東会館)



屋外3素子八木アンテナ



送信場所方向



屋内ダイポールアンテナ建屋内部1



外部アンテナ接続測定状況(4値FSK)

図表 2-1-13 : 受信場所② (六条院東会館)



測定状況



ロッドアンテナ窓近傍(4値FSK)



音声実聴状況



ロッドアンテナ窓近傍(QPSK)

2.2 事前条件確認

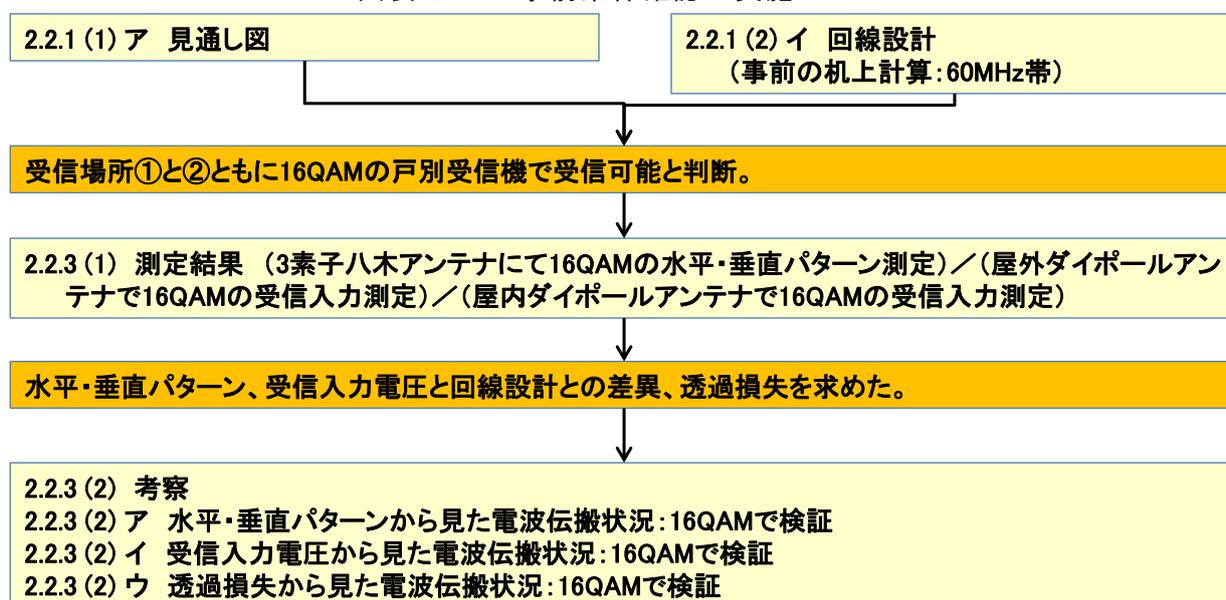
事前条件確認として、各種机上検討のほか、現地試験（本試験）予定場所において 60MHz 帯電波伝搬の概況及び求められる諸要件に対する確認を行った。

2.2.1 事前条件確認の目的と実施フロー

事前条件確認は、現地試験に当たり、下記についてあらかじめ実施し、試験場所の電波伝搬状況を把握することを目的としたものである。

- ・ 受信場所の机上検討
- ・ 受信場所の基本的な電波伝搬状況の測定

図表 2-2-1: 事前条件確認の実施フロー



2.2.2 事前条件確認の概要

事前条件確認の項目は次のとおりである

- ・回線設計（机上検討）：見通し図、回線マージン
- ・周囲ノイズ：受信場所における試験周波数帯における周囲ノイズ状況を調査
- ・伝搬状況：試験周波数帯において、送信場所から実験試験局により電波を発射し、受信場所までの伝搬状況（伝搬損失や反射波の有無等）について調査

(1) 回線設計（机上検討）

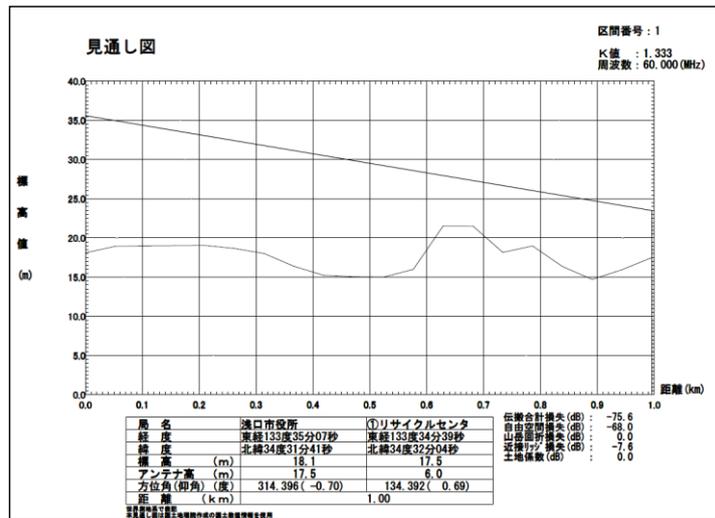
ア 見通し図

見通し図は図表 2-2-2 及び 2-2-3 のとおりである。

受信場所①は見通し範囲の通信であり、受信場所②は地形（丘）による遮蔽のある見通し外の通信となる。

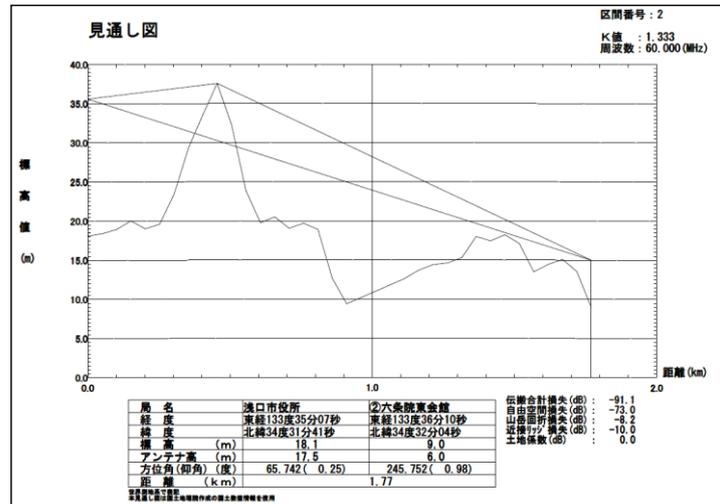
図表 2-2-2: 回線見通し図①

送信場所（浅口市役所屋上）－受信場所①（リサイクルセンター）



図表 2-2-3: 回線見通し図②

送信場所（浅口市役所屋上）－受信場所②（六条院東会館）



イ 回線設計

屋外における受信を想定した回線設計を図表 2-2-4 に示す。

机上計算では次のようなマージンが見込まれている。

- ・ 受信場所①の回線マージンは 30dB 程度（16QAM、遮蔽損失を除く）
- ・ 受信場所②の回線マージンは 17dB 程度（16QAM、遮蔽損失を除く）

図表 2-2-4:回線設計（事前の机上計算 60MHz 帯）

項番	項目	受信場所①	受信場所②	備考	
1	送信側 条件	送信出力 (W)	10	10	送信局：浅口市役所（屋上）
2		送信出力 (dB μ V)	153	153	
3		フィルタ、アイソレータ、 共用器／結合器損失 (dB)	2	2	
4		給電線損失 (dB)	1.5	1.5	
5		空中線利得 (dBi)	2.15	2.15	
6		等価等方輻射電力 EIRP (dB μ V)	151.65	151.65	
7	伝搬条件	伝搬損失（回折損等を含む） （dB）	75.6	91.1	机上計算値
8		土地係数（dB）	0	0	（見通し図より）
9		総合伝搬損失（dB）	75.6	91.1	
10	受信側 条件	空中線利得 (dBi)	2.15	2.15	室内ダイポールアンテナ
11		遮蔽損失（dB）	20	20	
12		受信入力電圧 (dB μ V)	58.2	42.7	
13		所要受信入力電圧 (dB μ V)	25.1	25.1	現行審査基準
14	回線マージン（dB）	33.1	17.6		

注 1 現行の電波法関係審査基準（以下、現行審査基準）：

- ・ 外来雑音電力（60MHz 帯 16QAM(防災)）：-113dBm/11.25kHz（0dB μ V/11.25kHz）
- ・ 所要受信入力電圧（60MHz 帯 16QAM(防災)）：25.1dB μ V（16kbps 高効率音声符号化方式を使用するもの）

注 2 実地試験に際しては、可変減衰器（以下、可変 ATT）を挿入し、おおむね 10W~1 μ W 相当とした。

注 3 受信側条件遮蔽損失 20dB は、ARIB STD-T86「付属資料 2 回線設計 2-2 回線設計 (3)回線設計 イ 屋内受信による減衰」を基に設定。

なお、電波法関係審査基準においても、「2 公共業務用(1)防災行政用 オ(エ) b 各戸受信方式の受信設備を通信の相手方とする再送信子局及び簡易中継局における家屋透過損失 0dB~20dB」として同様の考え方となっている。

上記回線設計（図表 2-2-4）をもとに、屋内での受信については、下記のように想定した。

- ・ 屋内損失（建物の遮蔽損失）を最大 20dB と想定すると、受信場所②（回線マージン：17.6dB）では約 3dB 不足するが、音声受信するための復調の BER の限界（BER=2 \times 10⁻²、注）は確保されるものと想定される。

注：ARIB STD-T86「付属資料 2 回線設計 2.3 (1)ア」におけるメリット評価からの目標 BER（回線品質の限界）による。

- ・ このように屋外を前提とした回線マージンが 17~30dB 程度あることから、建物内を前提とした受信限界周辺の受信入力電圧値を想定した実地試験（遮蔽損失を含む）が可能であると想定される。

(2) 周囲ノイズの確認

親局及び受信場所において、以下の調査を行った。

ア 受信場所のアンテナ設置場所において、予定のアンテナの高さ（6m）で、図表 2-2-5 のとおり無指向性アンテナと電測計（又はスペクトラムアナライザ（スペアナ））を使用し、60MHz 帯（帯域中の上/中/下の各周波数）及び試験予定周波数のノイズレベルを測定した。

イ 周囲ノイズ（妨害波）の確認の具体的方法（親局及び受信候補地）

（ア）測定場所

- ・浅口市役所（屋上）
- ・受信場所①
- ・受信場所②

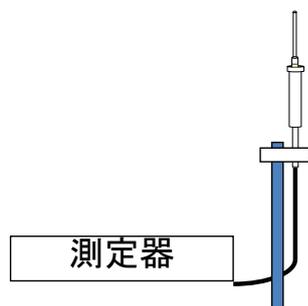
（イ）測定する周波数

- ・60MHz 帯（54MHz～70MHz）
- ・試験周波数：59.69MHz

（注）測定通過帯幅は 15kHz とする。（7.5kHz 幅は測定結果を帯域換算する）

図表 2-2-5:測定系（60MHz 帯）

無指向性アンテナ



(3) 伝搬状況（伝搬損失、反射波）の確認

送信局から実験波（10W）を送信し、図表 2-2-6 の測定系を使用して受信場所において以下の調査を行った。

ア 伝搬損失の測定（本試験の予定の高さでの測定及びハイトパターン）

受信場所のアンテナ設置場所にて、本試験の予定のアンテナの高さ（6m）で、無指向性アンテナと電測計（又はスペアナ）を使用して、試験周波数の受信レベルを測定し、無線回線の伝搬損失を求めた。

さらにアンテナ高さを可変（2m～6m）してハイトパターン（高さごとの受信入力電圧）を測定した。

イ 反射波の確認

指向性アンテナ（3素子八木アンテナ）を実地試験の予定位置に設置し、アンテナ方位を 30 度ずつ回転しながら 360 度まで電測計（又はスペアナ）で試験周波数の受信レベルを測定した（水平パターン）。

さらに、送信局方向の受信レベルを測定し、無指向性アンテナでの測定結果との差より、無指向性／指向性アンテナの相対利得を求めた。

測定条件は次のとおりである。

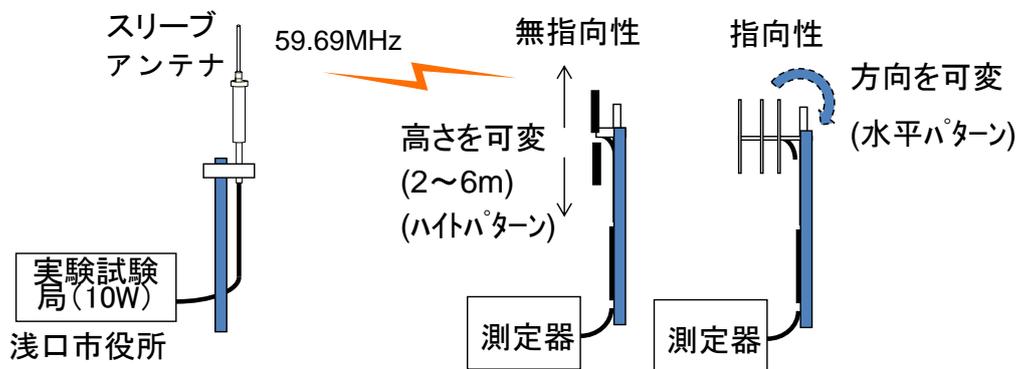
(ア) 測定する周波数：

- ・ 試験周波数：59.69MHz（測定通過帯幅＝15kHz）

(イ) 測定場所：

- ・ 受信場所①
- ・ 受信場所②

図表 2-2-6:測定系（60MHz 帯）



2.2.3 事前条件確認の結果と考察

(1) 測定結果

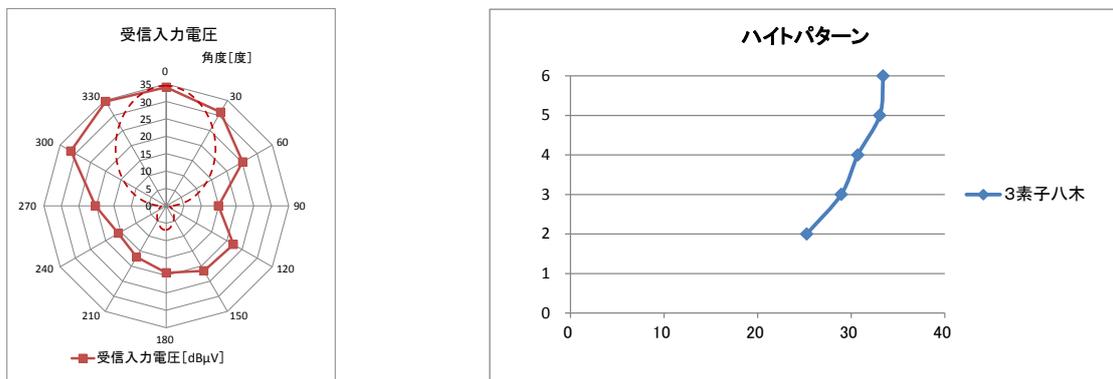
ア 受信場所① 10月21日測定 16QAM、送信 ATT 値 30dB

測定結果は図表 2-2-7 のとおりである。

水平パターンについては、一定の反射波による影響が認められた。

後方側の歪みについては、測定地点の背後にある丘陵地などからの地形の影響が考えられるが、無指向アンテナでのスペクトラムからは、遅延広がりによる周波数特性の歪みや、干渉波などは、特に観測されなかった。

図表 2-2-7: 受信場所① 水平パターン及びハイトパターン



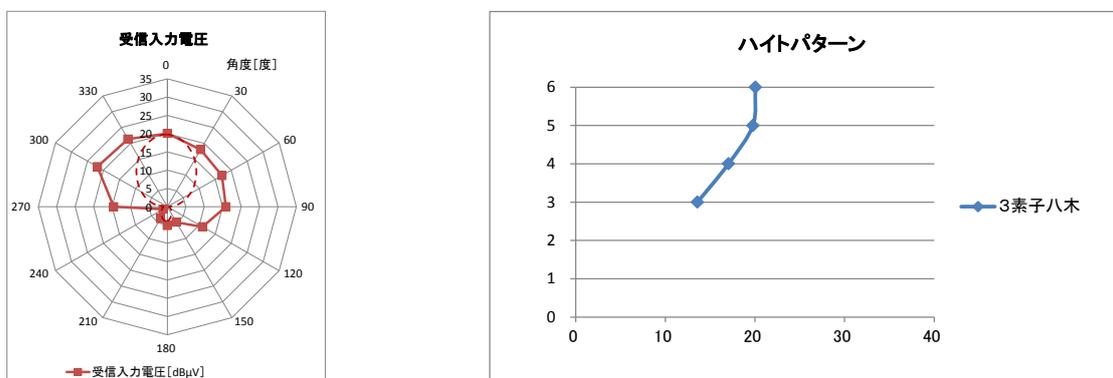
※図中の点線はアンテナ指向特性

イ 受信場所② 10月23日測定 16QAM、送信 ATT 値 30dB

測定結果は図表 2-2-8 のとおりである。

見通し外であり、受信場所①に比べて減衰が大きく、反射波による影響が認められた。

図表 2-2-8: 受信場所② 水平パターン及びハイトパターン



※図中の点線はアンテナ指向特性

ウ 受信入力電圧と回線設計の差異及び建物遮蔽損失

事前条件確認としての測定結果より受信入力電圧と回線設計の差異を検討するとともに、本試験に向けて建物の遮蔽損失を算出した結果は図表 2-2-9 及び 2-2-10 のとおりである。

受信入力電圧の計測結果と回線設計との差は、受信場所①は約 5dB μ V、受信場所②は約 23dB μ V 低い結果となった。

また、建物遮蔽損失は、受信場所①では大きく、②では比較的小さい。

図表 2-2-9: 受信入力電圧計測結果と回線設計の差異

	受信場所① (dB μ V)	受信場所② (dB μ V)	備考
受信入力電圧 (屋外ダイポールアンテナ)	73.55	39.67	16QAM の受信入力電圧に ATT 値を加えた数値の平均
回線設計 (屋外ダイポールアンテナ)	78.2	62.7	回線設計値(図表 2-2-4)から遮蔽損失を除いた値(土地係数: 0dB)
差異	-4.65	-23.03	

図表 2-2-10: 建物遮蔽損失

	受信場所① 平均 (dB μ V)	受信場所② 平均 (dB μ V)	備考
受信入力電圧 (屋外ダイポールアンテナ)	73.55	39.67	16QAM の受信入力電圧に ATT 値を加えた数値の平均
受信入力電圧 (屋内ダイポールアンテナ)	44.2	36.64	16QAM の受信入力電圧に ATT 値を加えた数値の平均
建物遮蔽損失	29.35	3.03	

(2) 考察

ア 水平パターン・ハイトパターンから見た電波伝搬状況: 16QAM で検証(図表 2-2-7 及び図表 2-2-8 参照)

(ア) 受信場所①は、水平パターンから、周辺地形による反射の影響がある。

(イ) 受信場所②は、水平パターンから、周辺地形による後方反射と思われる影響が認められる。

(ウ) ハイトパターンについては、一般的なものと考えられる。

イ 受信入力電圧から見た電波伝搬状況: 16QAM で検証(図表 2-2-9 参照)

(ア) 受信場所①は見通しであり、回線設計とほぼ同等である。

(イ) 受信場所②は差異が約 23dB あるが、至近距離において植生や墓地などがあるなど、見通しではないことから、地形による総合反射減衰等が見込まれる。

ウ 建物遮蔽損失から見た電波伝搬状況：16QAM で検証（図表 2-2-10 参照）

（ア）受信場所①は建物遮蔽損失が 29.35dB と大きい。これは、鉄筋構造の建物で、直接波方向が壁であり、また壁面から 10cm の離隔であるが、窓からは廻り込みづらい位置にあるためと考えられる。

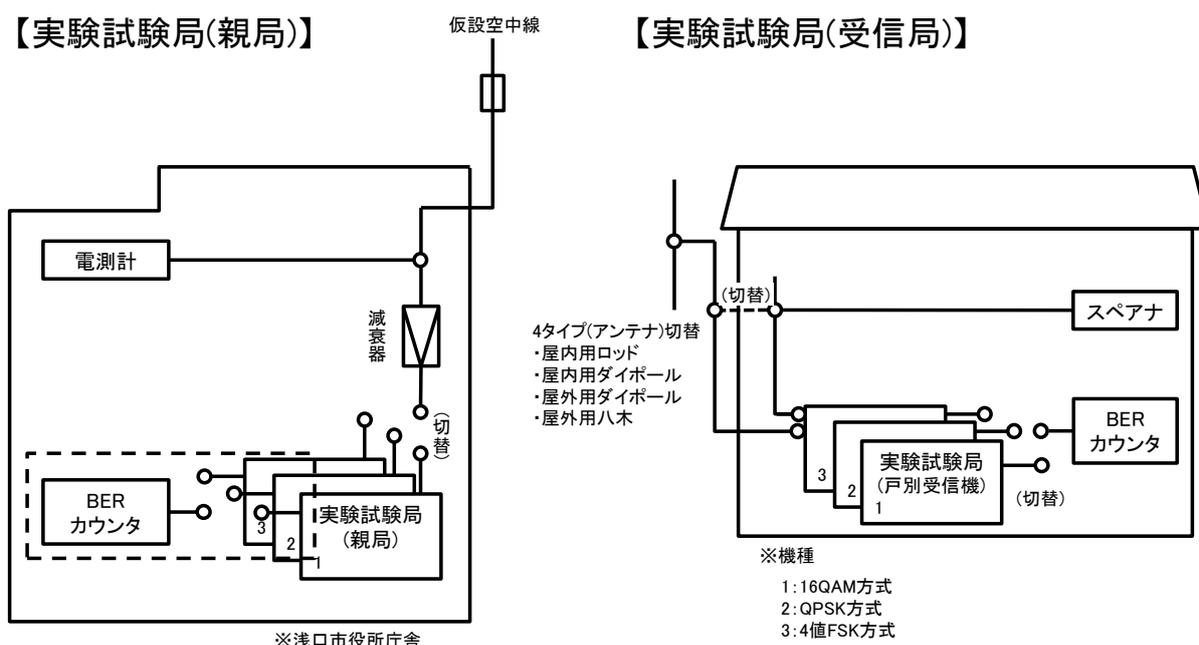
（イ）受信場所②は透過損失が 3.03dB と小さい。これは鉄骨構造の建物で、直接波方向が窓であり、また壁面からは 10cm の離隔、窓からは 2m の離隔で取付けたため、窓からの到来波が多いためと考えられる。

2.3 実地試験結果

2.3.1 検証方法と概要

本試験としての実地試験における測定は、下の図表 2-3-1 の実地試験基本構成図のとおりに、複数のアンテナと受信装置の組み合わせについて、親局の送信出力を可変 ATT で低減させながら、受信入力電圧と BER を測定した。

図表 2-3-1: 実地試験基本構成図



アンテナについては、下の図表 2-3-2 のとおり、4 種類のアンテナを用いて、3 つの変調方式について実施した。

図表 2-3-2: 実地試験で使用したアンテナ

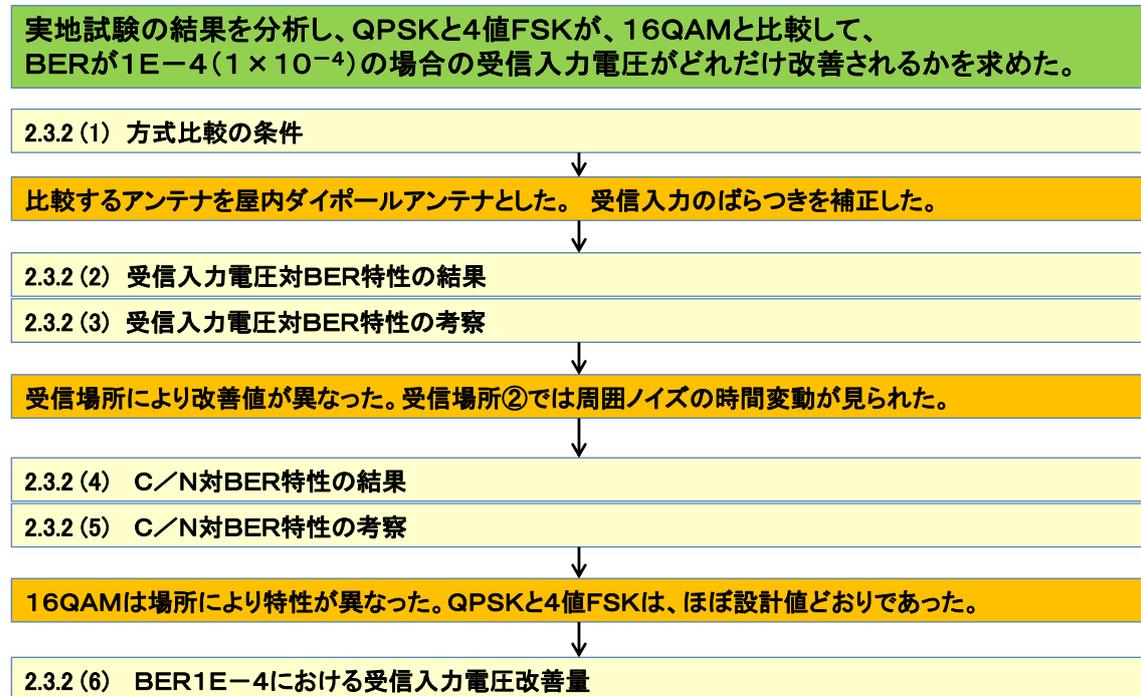
アンテナ	設置場所	
屋外 3 素子八木アンテナ	敷地内 1 か所	
屋外ダイポールアンテナ	敷地内 1 か所	
屋内ダイポールアンテナ	窓際	建屋内
ロッドアンテナ	窓際	建屋内

受信入力電圧の測定については、各測定において、ATT 値を変える都度、アンテナを測定器につなぎ変えて記録し、さらに親局送信停止時の周囲ノイズも記録した。

BER の測定については、各受信装置の BER 測定機能による結果を記録した。

実地試験の結果の分析に当たっては、図表 2-3-3 のように QPSK と 4 値 FSK の各方式について、 $BER=1 \times 10^{-4}$ （現行電波法審査基準の回線基準）（以下、 $BER=1E-4$ ）の場合の受信入力電圧が 16QAM 方式と比較して、どれだけ改善されるかを求めた。

図表 2-3-3: 実地試験結果の検証概要



2.3.2 実地試験結果と考察

(1) 方式比較の条件

ア アンテナ系の統一

図表 2-3-1 の各アンテナについて受信入力電圧の測定を試みたところ、アンテナの設置条件、ノイズの影響、建物の金属部分等が試験結果に及ぼす影響が大きく、さらにロッドアンテナについては受信機の構造等から測定方法を変調方式ごとに異なるものとせざるを得ないなど、条件の差異が大きいたことが明らかとなった。

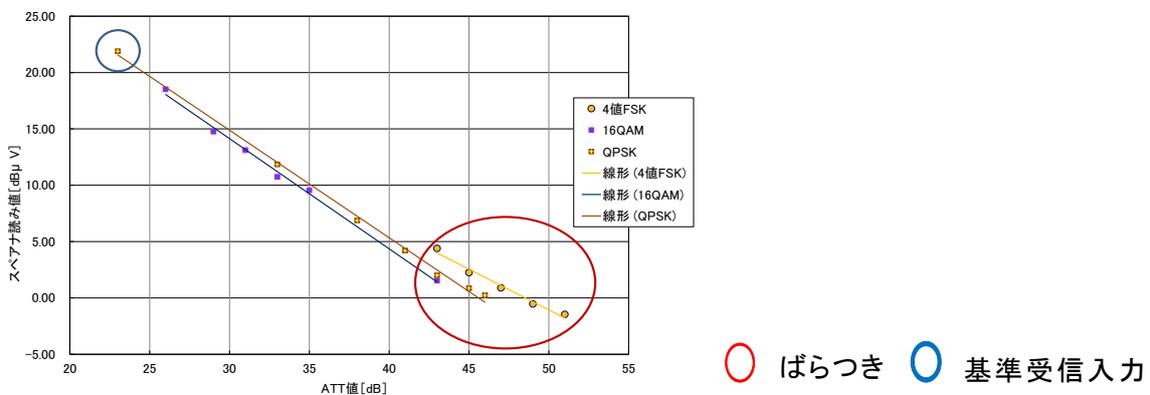
このため、比較のためのアンテナは、ダイポールアンテナを用いた測定条件に統一することとし、変調方式による受信入力電圧、所要 C/N 等の比較は、実際の戸別受信機の設置状況を考慮して建屋内の位置等を統一した環境で行うこととした。

イ 受信入力電圧における ATT 換算値の採用

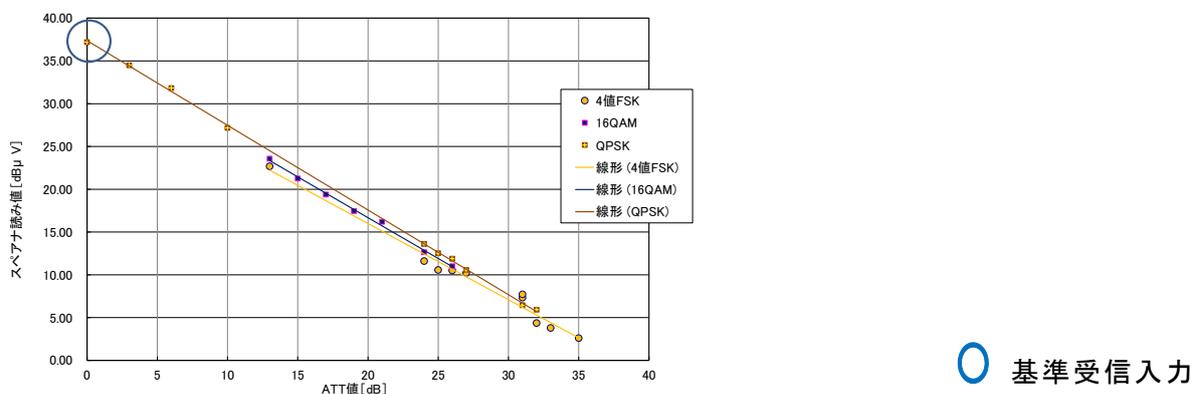
屋外ダイポールアンテナを使用したスペアナ読み値と ATT 値の関係を図表 2-3-4 及び図表 2-3-5 に示す。

屋内ダイポールアンテナにより受信し、スペアナで表示させた場合、受信入力電圧が $0\text{dB}\mu\text{V}$ 前後では測定系の特性によると思われる確度の低下が認められたため、受信入力電圧の値の十分大きい測定値を基準に、送信電力を減衰させるために用いた可変 ATT の値だけ受信入力電圧が減衰するものとして計算した。

図表 2-3-4: 屋内ダイポールアンテナにおけるスペアナ読み値と ATT 値の関係(受信場所①)



図表 2-3-5: 屋内ダイポールアンテナにおけるスペアナ読み値と ATT 値の関係(受信場所②)



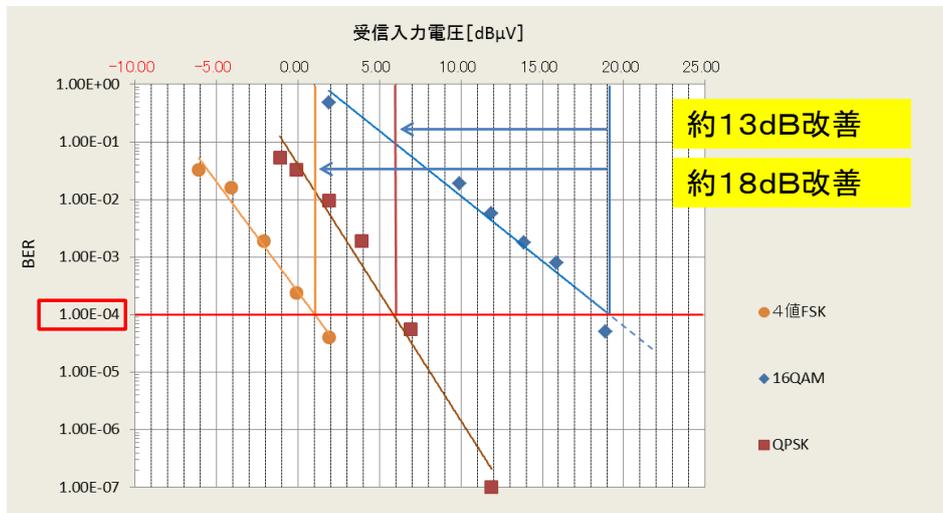
(2) 受信入力電圧対 BER 特性の結果

測定結果より受信入力電圧対 BER 特性のグラフを作成し、指数近似による漸近線を引き、16QAM、QPSK 及び 4 値 FSK の BER=1E-4 での受信入力電圧の改善値を求めた。

結果は図表 2-3-6 及び 2-3-7 のとおりであり、同一の BER を前提とした場合、16QAM 方式に対する改善度（感度の向上に相当）は、QPSK 方式で約 7~13dB、4 値 FSK 方式では約 12~18dB となった。

ただし、受信場所②においては、受信入力電圧と BER の分散が大きいほか、変動するノイズが観測されたため、(3) で述べるとおり分析に当たってはこれらを考慮する必要が認められた。

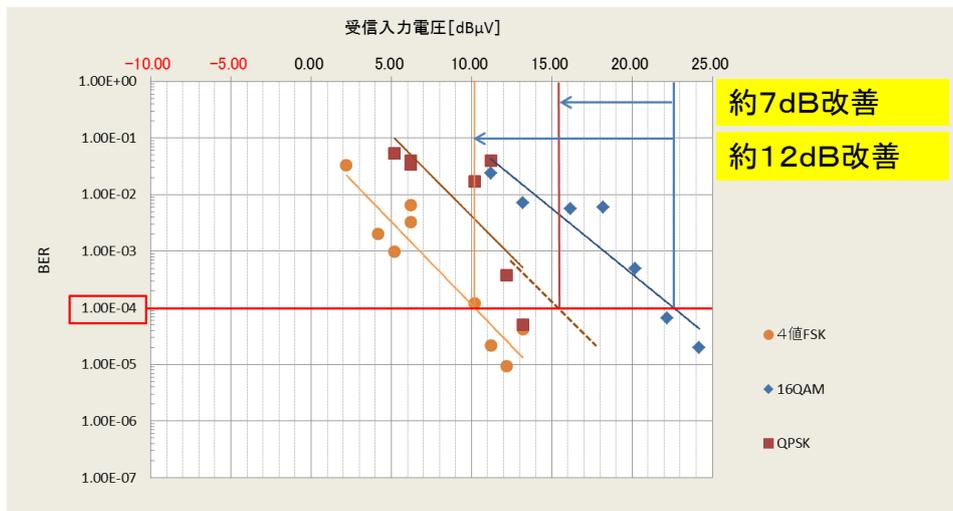
図表 2-3-6: 受信場所①での方式比較（屋内ダイポールアンテナ建屋内部）



漸近線はエクセルの指数近似により描いた。

(エラーフリー点 (BER が極めて小さく比較が困難な領域) は除く)

図表 2-3-7: 受信場所②での方式比較（屋内ダイポールアンテナ建屋内部）



漸近線はエクセルの指数近似により描いた。(エラーフリー点は除く)

(3) 受信入力電圧対 BER 特性の考察

BER が $1E-4$ となる受信入力電圧は、図表 2-3-6 及び図表 2-3-7 のグラフをもとに整理したものが下の図表 2-3-8 である。

方式ごとの改善量に着目しても受信場所①及び②で異なる。また、受信場所②においては、受信入力電圧に対する BER の分散が大きいことが確認された。

図表 2-3-8: BER= $1E-4$ となる受信入力電圧

場所 方式	受信場所①		受信場所②	
	BER= $1E-4$ となる 受信入力電圧 (dB μ V)	16QAM からの 改善度 (dB)	BER= $1E-4$ となる 受信入力電圧 (dB μ V)	16QAM からの 改善度 (dB)
16QAM	19.1		22.6	
QPSK	5.9	13.2	15.7	6.9
4 値 FSK	1	18.1	10.2	12.4

一方、受信場所②においては、測定中に下の図表 2-3-9 のように 5dB~7dB の屋内周囲ノイズの時間的な変動が確認された。

図表 2-3-9: 屋内周囲ノイズの変動

	受信場所②の屋内周囲ノイズの測定時刻と変動 (dB μ V)							変動幅 (dB)
	14:35	14:40	14:43	14:47	14:51	14:56	15:00	
16QAM 測定時	1	1	1	3	5	-2	-1	7.0
QPSK 測定時	11:17	11:22	11:25	11:30	12:02	11:35	14:19	
	1	0	2	-1	0	1	5	6.0
4 値 FSK 測定時	13:11	13:17	13:22	13:26	13:29	13:33	14:08	6.0
	1	-1	3	4	3	3	5	

このことから、分析・検討に当たってはこのノイズの影響（相対的な C/N の増減）を排除できるよう比較を行うこととし、測定結果を C/N 対 BER 特性に置き換えて検討することとした。

（以降、C/N 対 BER 特性による検証・考察を実施。）

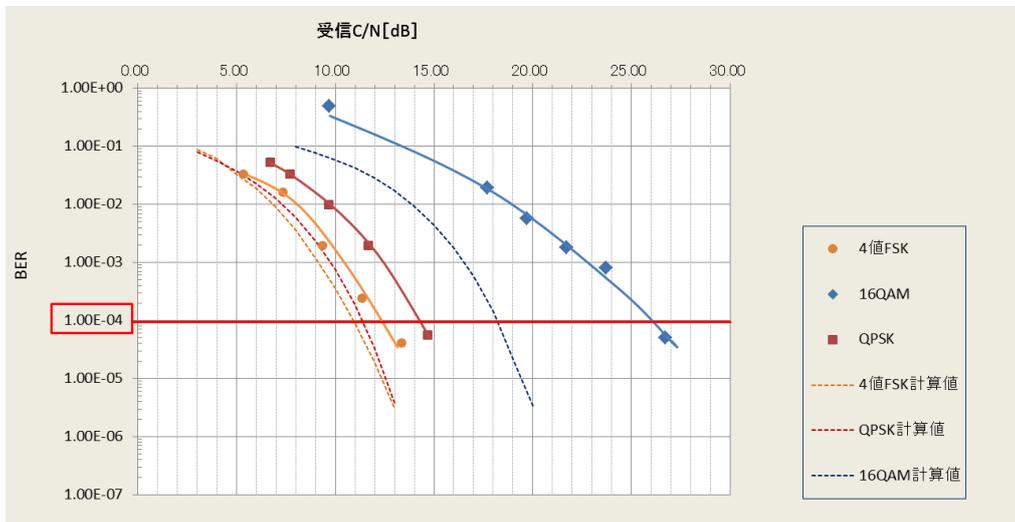
(4) C/N 対 BER 特性の結果

図表 2-3-10 及び 2-3-11 は、(2) で述べた受信入力電圧の測定結果について、それぞれ同時に検出された周囲ノイズの値を考慮して C/N 対 BER 特性に再構成したものである。

この場合においてノイズはスペアナの読み値に対して等価受信帯域の換算を行い、電圧値に置き換えたものであり、15kHz 幅チャンネル電力の電圧を各方式の等価受信帯域幅 (QPSK 及び 16QAM : 11.25kHz、4 値 FSK : 4.8kHz) におけるノイズの値に絞ったものとして算出したものである。

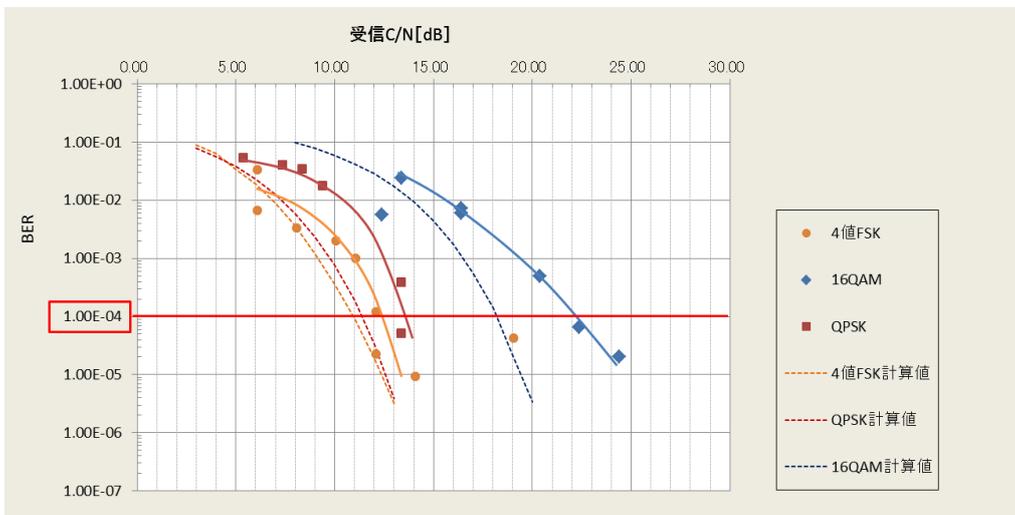
特に受信場所②において、図表 2-3-7 と比較して図表 2-3-11 における BER の変動傾向が明らかとなった。

図表 2-3-10: 受信場所①での方式比較 (屋内ダイポールアンテナ建屋内部)



漸近線はフリーハンド

図表 2-3-11: 受信場所②での方式比較 (屋内ダイポールアンテナ建屋内部)



漸近線はフリーハンド

同一のノイズ環境にある場合の、BER=1E-4 となる受信入力電圧を換算すると下の図表 2-3-12 のとおりである。

同一の BER を前提とした場合、16QAM 方式に対する改善度は、QPSK 方式で約 8~12dB、4 値 FSK 方式では約 14~17dB となっている。

図表 2-3-12 : BER=1E-4 となる受信入力電圧 (同一ノイズ環境)

方式	場所	BER=1E-4 となる C/N			受信入力電圧換算値※	
		C/N 理論値 (dB)	C/N 測定値 (dB)	理論値との差 (dB)	受信入力電圧 (dB μ V)	16QAM からの改善度 (dB)
16QAM	受信場所①	18.2	26.0	7.8	26.2	
	受信場所②		22.2	4.0	22.4	
QPSK	受信場所①	11.4	14.1	2.7	14.3	11.9
	受信場所②		13.9	2.5	14.1	8.3
4 値 FSK	受信場所①	10.8	12.2	1.4	8.7	17.5
	受信場所②		12.2	1.4	8.7	13.7

注※) 基準受信入力電圧 (想定) = 所要 C/N + 総合雑音電力による。

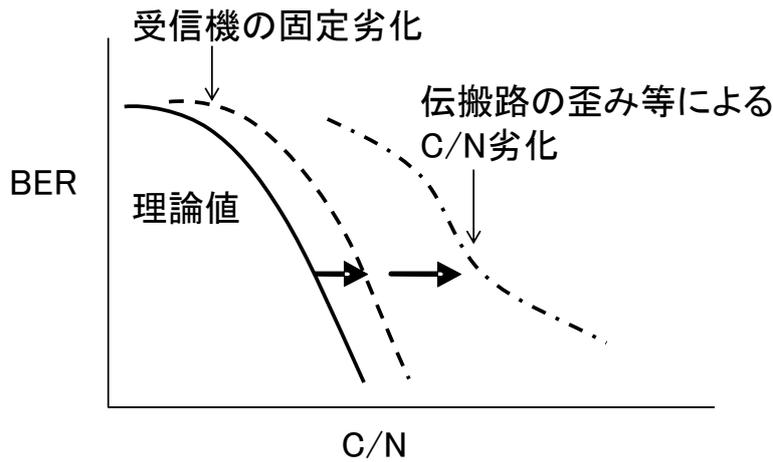
ここで総合雑音電力は、周囲雑音 (-113dBm/11.25kHz (現行審査基準)) と熱雑音の和と仮定 (0.2dB μ V/11.25kHz)。

また、一方、4 値 FSK は、等価受信帯域幅が狭いため、その等価受信帯域比 (4.8kHz/11.25kHz (熱雑音は等価受信帯域に比例)) 約 3.7dB μ V 補正した。

(5) C/N 対 BER 特性の考察

C/N 対 BER 特性は、一般的に、理論特性に対して、受信機の固定劣化 (実際の機器製造上の差) と伝搬路の歪み (遅延波等の影響で発生) による劣化により、図表 2-3-13 のような特性になるとされている。

図表 2-3-13 : C/N 対 BER 特性



これらを前提に2つの受信場所（屋内ダイポールアンテナ）における C/N 対 BER 特性の結果と考えられる影響事項を下の表 2-3-14 にまとめる。

図表 2-3-14 : C/N 対 BER 特性の考察

場所 方式	受信場所①	受信場所②
16QAM	全体として理論値より劣化しており、C/N が高い部分で劣化が大きく、伝搬路（遅延波等）による影響が想定される。BER=1E-4 における変動量は約 7.8dB で変動劣化は約 5.3dB。 （機器固定劣化<約 2.5dB）	C/N が低い部分では理論値に近いが、C/N が高い部分で劣化が大きく、伝搬路（遅延波等）による劣化が想定される。BER =1E-4 における変動量は約 4.0dB で変動劣化は約 1.5dB。 （機器固定劣化<約 2.5dB）
QPSK	理論特性とカーブが近似しており、伝搬路の劣化は少ないと想定される。BER =1E-4 における変動量は約 2.7dB で変動劣化は特に認められなかった。 （機器固定劣化<約 2.7dB）	理論特性とカーブが近似しており、伝搬路の劣化は少ないと想定される。BER =1E-4 における変動量は約 2.5dB で変動劣化は特に認められなかった。 （機器固定劣化<約 2.7dB）
4 値 FSK	理論特性とカーブが近似しており、伝搬路の劣化は少ないと想定される。BER =1E-4 における変動量は約 1.4dB で変動劣化は特に認められなかった。 （機器固定劣化<約 1.4dB）	理論特性とカーブが近似しており、伝搬路の劣化は少ないと想定される。BER =1E-4 における変動量は約 1.4dB で変動劣化は特に認められなかった。 （機器固定劣化<約 1.4dB）

（6）BER=1E-4 における受信入力電圧改善度

おおむね良好な復調が可能と見込まれる BER=1E-4 の値における改善度の比較結果を図表 2-3-15 にまとめる。

ア 基準受信入力電圧改善度（図表 2-3-15 NO. 2）に対して、今回測定結果の受信入力電圧改善度（図表 2-3-15 No. 4）は、受信場所①は大きく改善し、受信場所②では同等であった。

イ ノイズの影響が考えられたため、測定結果を C/N 対 BER 特性に置き換え、影響を除いた結果（図表 2-3-15 No. 6）においても、アと同様の傾向であった。

ウ 16QAM の伝送路等の歪みの影響と思われる劣化（図表 2-3-14）を除いた改善度（図表 2-3-15 NO. 8）は、基準受信入力電圧改善度（図表 2-3-15 NO. 2）と同等となった。

結果として、新たな変調方式（QPSK 及び 4 値 FSK）による受信入力電圧の改善度は、おおむね当初試算値どおりの改善度が得られたと考えられる。

図表 2-3-15 : BER=1E-4 における受信入力電圧改善度

No	変調方式	16QAM	QPSK	4 値 FSK	備考・条件
1	所要受信入力電圧 (dB μ V) 机上検討値 BER=1E-4	27.4	20.6	16.3	※本省検討報告 (表 2.3-8) (基準受信入力電圧 (試算例))
2	改善度 相対値 (dB)	0	6.8	11.1	
3	受信入力電圧 (dB μ V) BER=1E-4 (受信場所①/受信場所②)	19.1/22.6	5.9/15.7	1.0/10.2	図表 2-3-8
4	上記改善度 相対値 (dB) (受信場所①/受信場所②)	0	13.2/6.9	18.1/12.4	図表 2-3-8
5	C/N 測定による受信入力電圧 (dB μ V) BER=1E-4 (受信場所①/受信場所②)	26.2/22.4	14.3/14.1	8.7/8.7	受信入力電圧換算値 図表 2-3-12
6	上記改善度 相対値 (dB) (受信場所①/受信場所②)	0	11.9/8.3	17.5/13.7	屋内ダイポールアンテナ 図表 2-3-12
7	伝送路の歪みと思われる劣化 (dB)	5.3/1.5	0/-0.2	0/0	図表 2-3-14
8	上記を加味した改善度 相対値 (dB) (受信場所①/受信場所②)	0	6.6/6.6	12.2/12.2	

注※) 平成 24 年度総務省「防災無線の高度利用技術等に関する調査検討報告書」(以下、本省検討報告)

(7) 考察まとめ

ア 屋内測定結果のまとめ (屋内のダイポールアンテナ受信による比較)

(ア) 新たな変調方式(QPSK 及び 4 値 FSK)による受信入力電圧の改善度は、C/N 対 BER 特性の考察の伝送路歪みと思われる劣化を加味した結果、おおむね当初試算値 (図表 2-3-15 No. 2) どおりの結果が得られた。

(イ) 受信場所①と②の改善度の差異約 5dB(4.9~5.6 dB)については、建造物の遮蔽損失の変動の影響が考えられるほか、周囲伝搬環境における変調方式の耐力の相違等の要因も想定される。

イ 各方式の測定結果のまとめ

(ア) 16QAM は、他の方式に比べて伝搬路の歪み・周囲の電界変動による影響を受けやすく劣化が大きい。

また、場所によって回線品質の劣化量は約 1.5~5.3dB (図表 2-3-14、平均 3.4dB) と幅のある実測結果となった。

(イ) QPSK は、伝搬路の歪みによる影響を受けにくく、同一の室内設置環境においては 16QAM に比べて約 8.3~11.9dB 低い受信入力電圧 (平均 : 14.2dB μ V) で所要の回線品質を満たす結果を得た。

また、BER=1E-4 となる C/N は理論値 + 受信機の固定劣化約 2.5~2.7dB (図表 2-3-14) であり、設計値とほぼ同等であった。

(ウ) 4 値 FSK は、伝搬路の歪みによる影響を受けにくく、同一の室内設置環境においては 16QAM に比べて約 13.7~17.5dB 低い受信入力電圧（平均：8.7dB μ V）で所要の回線品質を満たす結果を得た。

また、BER=1E-4 となる C/N は理論値+受信機の固定劣化約 1.4dB（図表 2-3-14）であり、設計値とほぼ同等であった。

2.4 音質評価

各種の変調方式及び伝搬条件のもとで得られた復調音声について、実聴試験による音質評価を行った。

2.4.1 実聴試験方法等

(1) 実聴試験方法

音質評価に当たっては実聴によることとし、これに当たっては

- ・平成24年度本省調査検討会実聴試験（屋外拡声子局を想定）のように、大規模かつ、大人数による一斉の実聴試験は非常に困難であること。
- ・今回は戸別受信機を想定した実聴試験であること。

ことを考慮しつつ、次のとおりの評価方法とした。

ア 音源は、人の話す言葉について男性・女性の各アナウンスを使用したほか、音調の単純なサイレン・チャイム・ミュージックを取り入れた。

イ 各変調方式の比較は、むしろ組み合わせて使用される符号化・復号化方式の特性が影響することから、BERをできるだけ均一にして比較することとし、BERの低い伝送品質の高い条件と低い条件とを比較することとした。

ウ 図表2-4-1に示す音質評価用データシートとともに、録音音声（CD-R）を評価者へ配布し、PC等（汎用の音声プレーヤソフト）にて再生することとした。エ 音質については、5段階評価にて評価することとし、先入観の防止のため原則として音源の伝送条件を事前に提示することはしないこととした。

オ 評価者については、本調査検討会委員各社2名、各団体1名の計20名を標準とし、可能な限り男女別と世代別を配慮するとともに、多数の評価者が得られた場合には特に利害関係が問題とならない限り採用することとした。

(2) 試験日程及び結果取りまとめ

試験及び結果取りまとめ等に係る日程等は次のとおり。

ア 平成25年11月下旬

録音音声（CD-R）と音質評価用データシートファイルを関係者へ配布。

イ 平成25年12月6日

音質評価用データシートに結果を記入。録音音声（CD-R）とともに事務局返送

ウ 事務局にて評価結果、評価者の男女別及び世代（〇十歳代）別を取りまとめ

図表 2-4-1 : 音質評価用データシート

該当項目に○をつけてください
音質評価用データシート 評価者氏名
 男・女 年齢 20・30・40・50・60 代

項番	音質評価		情報認知評価		
	①品質	②雑音の影響度	③聞く努力	④単語の理解度	⑤言葉の明瞭度
男性	5 非常に良い	5 雑音なし	5 聞く努力不要	5 全く問題なし	5 非常に明瞭
	4 良い	4 雑音があるが影響なし	4 ほとんど努力は不要	4 ほとんど問題なし	4 十分に明瞭
	3 普通	3 雑音の影響あり	3 若干の努力が必要	3 時々理解できない	3 やや明瞭
	2 悪い	2 雑音が邪魔	2 努力が必要	2 しばしば理解できない	2 あまり明瞭ではない
	1 非常に悪い	1 雑音が非常に邪魔	1 努力したが聞き取れない	1 全く理解できない	1 悪い
女性	5 非常に良い	5 雑音なし	5 聞く努力不要	5 全く問題なし	5 非常に明瞭
	4 良い	4 雑音があるが影響なし	4 ほとんど努力は不要	4 ほとんど問題なし	4 十分に明瞭
	3 普通	3 雑音の影響あり	3 若干の努力が必要	3 時々理解できない	3 やや明瞭
	2 悪い	2 雑音が邪魔	2 努力が必要	2 しばしば理解できない	2 あまり明瞭ではない
	1 非常に悪い	1 雑音が非常に邪魔	1 努力したが聞き取れない	1 全く理解できない	1 悪い
サイレン	5 非常に良い	5 雑音なし	5 聞く努力不要	5 全く問題なし	5 非常に明瞭
	4 良い	4 雑音があるが影響なし	4 ほとんど努力は不要	4 ほとんど問題なし	4 十分に明瞭
	3 普通	3 雑音の影響あり	3 若干の努力が必要	3 時々理解できない	3 やや明瞭
	2 悪い	2 雑音が邪魔	2 努力が必要	2 しばしば理解できない	2 あまり明瞭ではない
	1 非常に悪い	1 雑音が非常に邪魔	1 努力したが聞き取れない	1 全く理解できない	1 悪い
チャイム	5 非常に良い	5 雑音なし	5 聞く努力不要	5 全く問題なし	5 非常に明瞭
	4 良い	4 雑音があるが影響なし	4 ほとんど努力は不要	4 ほとんど問題なし	4 十分に明瞭
	3 普通	3 雑音の影響あり	3 若干の努力が必要	3 時々理解できない	3 やや明瞭
	2 悪い	2 雑音が邪魔	2 努力が必要	2 しばしば理解できない	2 あまり明瞭ではない
	1 非常に悪い	1 雑音が非常に邪魔	1 努力したが聞き取れない	1 全く理解できない	1 悪い

- ①品質 : 聞いた音に対し原音と比較し、音声品質を総合的に評価する。
(拡声通報に適するかどうかの観点から評価を行う。)
- ②雑音の影響度 : 聞いた音に対して音声コーデックの異音(音飛び、音化け等)が影響したかを評価する。
- ③聞く努力 : メッセージ理解のために努力が必要であったかを評価する。
- ④単語の理解度 : 単語自体の理解が困難であったかを評価する。
- ⑤言葉の明瞭度 : それぞれの言葉がはっきりしているかを評価する。

2.4.2 実聴試験結果と考察

(1) 実聴試験結果

ア 音声の種類ごとの評価比較

図表 2-4-2 は、音声の種類ごとの比較である。

本調査検討会委員 28 名のほか、一般行政職員 10 名による評価も実施した。(実聴試験の状況、実施方法等は(参考)を参照)

回線条件については、

- ・ BER=1E-4 の領域
- ・ BER=1E-2 の領域

とおおむねべき乗の単位が一致するよう、心がけたものの、音声録音中にも BER のわずかな変動があったことに留意する必要がある。

なお、内容については後述するが、両グループ間の評価傾向は、おおむね一致している。

図表 2-4-2：委員等評価と一般行政職員による評価との比較

個別 PC 等再生による評価

(委員等 28 名)

音声主観評価 (S-CODEC (16QAM)) 同条件当局評価比-0.3 程度

条件	回線条件	男性音声	女性音声	電子サイレン	ミュージックチャイム
①	1.4×10^{-5}	4.8	4.8	4.6	4.6
②	1.9×10^{-2}	4.0	4.1	3.5	2.5
③	2.4×10^{-2}	4.3	4.4	4.0	2.6

音声主観評価 (AMR-WB+ (QPSK)) 同条件当局評価比-0.8 程度

条件	回線条件	男性音声	女性音声	電子サイレン	ミュージックチャイム
①	1.72×10^{-4}	4.5	4.4	3.7	4.3
②	4.0×10^{-2}	4.5	4.4	3.5	4.0
③	5.3×10^{-2}	3.0	2.7	2.0	1.9

音声主観評価 (AMBE+2 (4 値 FSK)) 同条件当局評価比-0.3 程度

条件	回線条件	男性音声	女性音声	電子サイレン	ミュージックチャイム
①	1.85×10^{-5}	3.8	3.9	1.8	1.4
②	2.2×10^{-2}	3.7	3.8	1.7	1.4
③	3.3×10^{-2}	3.4	2.4	1.6	1.3

※4 値 FSK 方式の電子サイレン及びミュージックチャイムは評価対象外のため、参考まで評価を取りまとめ

評価者 28 名の分布 (人)

性別	20 代	30 代	40 代	50 代	60 代
男性	2 (7%)	0	8 (29%)	9 (32%)	1 (4%)
女性	2 (7%)	3 (11%)	2 (7%)	1 (4%)	0
計	4 (15%)	3 (11%)	10 (36%)	10 (36%)	1 (4%)

※委員等評価者については、各社 2 名 (なお、6 名が 1 社、4 名が 2 社)、各団体 1 名の計 28 名

可搬型スピーカー再生による評価

(一般行政職員 10 名)

(参考○回線条件が委員等評価と一部異なることに注意)

音声主観評価 (S-CODEC (16QAM))

条件	回線条件	男性音声	女性音声	電子サイレン	ミュージックチャイム
①	1.4×10^{-5}	4.8	4.9	5.0	4.8
②	1.9×10^{-2}	4.5	4.6	3.9	3.2
③	2.4×10^{-2}	4.6	4.8	4.4	2.8

音声主観評価 (AMR-WB+ (QPSK))

条件	回線条件	男性音声	女性音声	電子サイレン	ミュージックチャイム
①	4.89×10^{-2}	4.8	4.8	4.2	4.1
②	5.3×10^{-2}	4.0	4.0	2.6	2.4
③	$5.94 \sim 8.0 \times 10^{-2}$	3.6	3.5	3.2	2.5

音声主観評価 (AMBE+2 (4 値 FSK))

条件	回線条件	男性音声	女性音声	電子サイレン	ミュージックチャイム
①	1.85×10^{-5}	4.1	4.3	2.1	1.3
②	1.6×10^{-2}	4.2	4.3	2.0	1.3
③	3.3×10^{-2}	3.8	2.6	2.0	1.3

評価者 10 名の分布 (人)

性別	20 代	30 代	40 代	50 代	60 代
男性	1 (10%)	0	2 (20%)	3 (30%)	1 (10%)
女性	0	2 (20%)	1 (10%)	0	0
計	1 (10%)	2 (20%)	3 (30%)	3 (30%)	1 (10%)

イ 符号化方式ごとの比較

図表 2-4-3～2-4-6 は符号化方式ごとの比較である。

比較に当たっては、無線回線品質が良いためビット誤りが少なく、おおむね安定して復調できる条件（BER=1E-4 の領域：回線条件①）と復調が限界に近い条件（BER=1E-2 の領域：回線条件②）とがおおむね一致する回線条件のデータを掲載した。

なお、関連する受信入力電圧改善度は図表 2-3-14 に記載している。

条件①及び条件②において、委員等によるアナウンス音声評価では S-CODEC（16QAM）及び AMR-WB+（QPSK）は 4 ポイント台、AMBE+2（4 値 FSK）は 3 ポイント台後半の結果が得られた。これは、AMBE+2 に比べて他の符号化方式は音声品質がやや高いことを示しているが、いずれも実用上支障のない音声と理解できる。

他方、サイレン・ミュージックについては大きな差が生じており、AMBE+2 については回線条件に係わらず実用に耐えないものと考えられる。

おって、全体を通じて一般行政職員での評価は委員等評価よりも若干高めに出ているが、これは室内拡声用のアンプ内蔵スピーカーを接続して再生したため、アンプの特性等により、PC のみでの再生よりも良い評価結果が得られたものと考えられる。

条件①（誤りが少なく、無線回線の良い状態）での委員等評価結果

図表 2-4-3：男性／女性音声の評価結果（右：（参考）H24 本省拡声子局評価）

項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2	項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2
		1.4×10^{-5}	1.72×10^{-4}	1.85×10^{-5}			1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}
1	品質	◎	◎	○	1	品質	○～◎	◎	○
2	雑音の影響度	◎	◎	◎	2	雑音の影響度	○～◎	◎	◎
3	聞く努力	◎	◎	◎	3	聞く努力	◎	◎	◎
4	単語の理解度	◎	◎	◎	4	単語の理解度	◎	◎	◎
5	言葉の明瞭度	◎	◎	○	5	言葉の明瞭度	○～◎	◎	○

凡例（評価値） ◎：4 以上 5 以下、○：3 以上 4 未満、△：2 以上 3 未満、×：1 以上 2 未満

図表 2-4-4：電子サイレン／ミュージックチャイムの評価結果

（右：（参考）H24 本省拡声子局評価）

項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2	項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2
1	品質	◎	○～◎	×	1	品質	○	○～◎	×
2	雑音の影響度	◎	◎	×～△	2	雑音の影響度	◎	◎	×～○

凡例（評価値） ◎：4 以上 5 以下、○：3 以上 4 未満、△：2 以上 3 未満、×：1 以上 2 未満

※ 4 値 FSK 方式の電子サイレン及びミュージックチャイムは評価対象外のため、参考まで評価を取りまとめ

条件②（固定系無線として限界と思われる誤り率）での委員等評価結果

図表 2-4-5：男性／女性音声の評価結果（右：（参考）H24 本省拡声子局評価）

項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2	項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2
		1.9×10^{-2}	4.0×10^{-2}	2.2×10^{-2}			2×10^{-2}	5×10^{-2}	3×10^{-2}
1	品質	○	◎	○	1	品質	○	◎	○
2	雑音の影響度	◎	◎	◎	2	雑音の影響度	◎	◎	○～◎
3	聞く努力	◎	◎	○～◎	3	聞く努力	◎	◎	◎
4	単語の理解度	◎	◎	◎	4	単語の理解度	◎	◎	◎
5	言葉の明瞭度	○～◎	◎	○	5	言葉の明瞭度	○～◎	◎	○

凡例（評価値） ◎：4以上5以下、○：3以上4未満、△：2以上3未満、×：1以上2未満

図表 2-4-6：電子サイレン／ミュージックチャイムの評価結果

（右：（参考）H24 本省拡声子局評価）

項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2	項番	評価項目	S-CODEC	AMR-WB+	AMBE+2
1	品質	△～○	○	×	1	品質	×～○	△～○	×
2	雑音の影響度	△～○	○～◎	×～△	2	雑音の影響度	△～○	○	×～△

凡例（評価値） ◎：4以上5以下、○：3以上4未満、△：2以上3未満、×：1以上2未満

※ 4値FSK方式の電子サイレン及びミュージックチャイムは評価対象外のため、参考まで評価を取りまとめ

（2）考察

実聴試験による音質評価については、次のとおりの結果が得られた。

- ・ 音声に関しては、回線条件が悪い場合（音声受信するための復調が限界に近い条件の領域）でも3方式ともおおむね良好であった。

これは各方式の音声符号化方式と組み合わせている誤り訂正の効果により、回線条件が悪い場合においても一定の音質が確保されているものと想定される。

- ・ 検討対象方式である AMR-WB+（QPSK）及び AMBE+2（4値FSK）ともに、音質（品質、雑音の影響度）で3以上、情報認識（聞く努力、単語の理解度及び言葉の明瞭度）では、約4以上の結果が得られたことから、音声品質に多少の差はあるものの、いずれも戸別受信機用として十分使用可能と考えられる。
- ・ サイレン・チャイムに関しては、AMR-WB+（QPSK）、S-CODEC（16QAM）についてはともに良好である。

一方、参考評価とした AMBE+2（4値FSK）は非常に音質が悪く、実用上の問題があると考えられる。これは本省検討報告とも同等の結果となっており、特に低い実効ビットレートで伝送できるように工夫された当該符号化方式の原理的な特徴であるとも考えられ、容易に改善することは困難であると考えられることから、その対策としては音調が単純であることを生かして受信機に音源を蓄積する方式の採用等、視点を変えた工夫が必要であると考えられる。

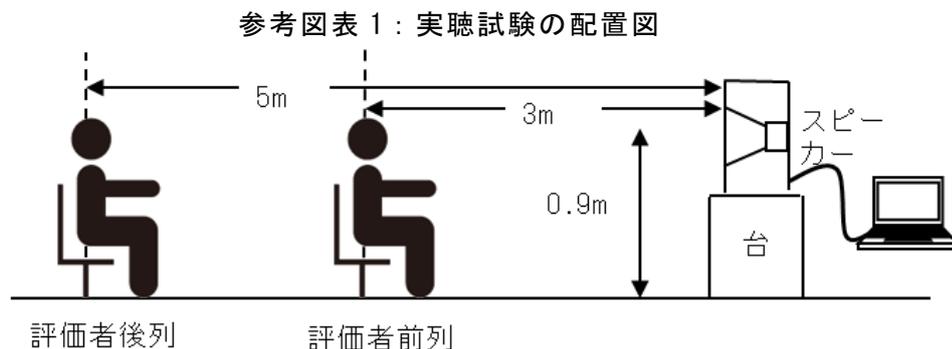
参考：一般行政職員実聴試験報告について

(1) 試験実施の日程及び方法

平成 25 年 11 月 12 日、中国総合通信局会議室において、男女、各世代を考慮した一般行政職員 10 名を評価者として実聴試験を実施した。

試験は、10 月に浅口市で実施した実地試験において、あらかじめ作成した模擬アナウンス等の音源を使用した各方式の受信音を録音し、録音音声を PC から接続した可搬型スピーカーより再生した音声を聞き取る方式とし、途中、原音を挟んで実聴試験を実施した。

配置状況等は参考図表 1 のとおりである。



参考図表 2：実聴試験の状況



(2) 実聴試験結果概要

一般行政職員実聴試験による音質評価結果の概要は、次のとおり。

ア 本省検討報告と比べて、

- ・ S-CODEC (16QAM) は全般的にかなり上回る評価結果
- ・ AMR-WB+ (QPSK) は若干の差こそあるものの、おおむね同等の評価結果
- ・ AMBE+2 (4 値 FSK) は一定レベル以上 (回線条件①及び②) では、男女の音声いずれも評価 4 以上の良好な評価結果 (なお、参考評価のサイレン等は低評価。)

イ 以上のことから、検討対象の「AMR-WB+ (QPSK)」及び「AMBE+2 (4 値 FSK)」ともに音声については、戸別受信機用として十分使用可能という結果が得られた。