

情報通信審議会 情報通信技術分科会
陸上無線通信委員会
報告 概要

「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち
「6/6.5/7.5GHz帯固定通信システムの高度化に係る技術的条件」

令和7年7月
陸上無線通信委員会

検討の背景

- 固定通信システムは、携帯電話事業者の基地局向けや、官公庁や地方自治体の拠点間等の通信連絡網として、光ファイバ網とともに情報通信インフラの重要な役割を担っている。
- 5G/Beyond 5G時代に向け、市民のアクセス回線における通信需要は益々増大する一方、通信インフラの能力不足による島嶼部等人口閑散地域のデジタルデバインド(情報格差)の拡大が解決すべき社会課題となっている。光ファイバ敷設困難(あるいは経済合理性から不適)な場所への長距離無線中継回線の必要性により、6/6.5/7.5GHz帯固定通信システムの高度化(高速大容量化)が求められている。
- 6/6.5/7.5GHz帯の固定通信システム(電気通信業務用、公共・一般業務用)の高度化を図るための技術的条件の検討を行った。

※情報通信審議会諮問第2033号 (H25.5.17)

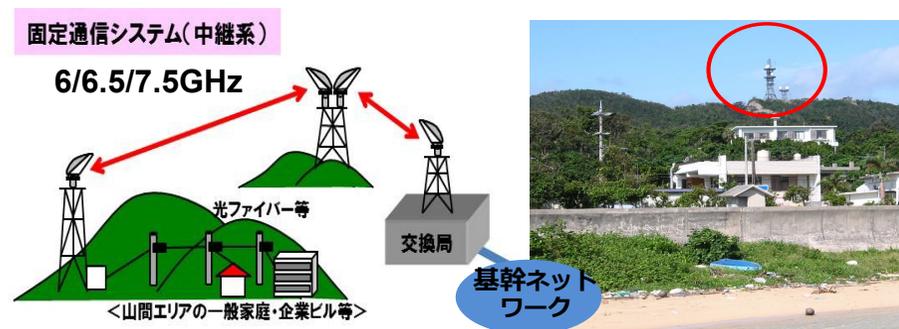
【検討概要】

○ 6/6.5/7.5GHz帯固定通信システムの動向

- ・固定通信システムの現状と新たなニーズ
- ・欧米における利用動向
- ・欧米における規制動向

○ 無線システムの高度化に関する規定方法等の検討

○ 技術的条件の検討



<現状>

- 用途：
 - ・長距離中継固定マイクロ
 - ・光ファイバ敷設困難な場所
 - ・伝送路冗長化による信頼性向上
- 伝送速度：150Mbps程度
- 伝送距離：40km程度

技術的条件における検討項目の抽出

これまでの固定通信システムの高度化検討経緯(11/15/18GHz帯等)を踏まえ、6/6.5/7.5GHz帯の高度化に資する技術的条件について検討項目を以下の通り抽出。

検討項目	現状の技術的条件	検討概要	期待できる効果
高次多値変調方式	<ul style="list-style-type: none"> ・128QAM以下の変調方式が審査基準に規定されている。 ・11/15/18GHz帯では高度化により1024QAMまで規定済。 	高次多値変調を用いることについての検討。	伝送容量の向上
空中線特性	変調方式毎に絶対利得の値が規定されている。	ETSI規格(アンテナClass毎に規定がある)との整合性の確認とETSI規格の導入可否を判断するための検討。	グローバル製品の導入が容易となる。
回線設計手法 (受信感度の導入)	各変調方針において、雑音指数や所要C/Nが規定されているが、「受信感度」は用いられてない。	変調方式の切り替わり条件となる受信電力の閾値として「受信感度」を用いるか検討。	規定を導入することで柔軟な回線設計が可能となる。
回線設計手法 (無線LANとの共用)	審査基準に伝送の質に関わる計算式の規定がある。	6GHz帯において無線LANとの共用も踏まえた回線瞬断率計算を行う。	回線瞬断率計算結果との誤差が小さくなる規定値を採用する。

技術的条件の検討結果(概要)

- 過年度での①固定通信システムにおける高度化の検討経緯、②諸外国(欧州ETSI)規格との比較検証、及び③フィールド実証を踏まえ、技術的条件の検討を行った。
- 検討にあたっては、固定通信システムに求められる通信品質等を維持しつつ、他システム等への共用条件に影響を及ぼさないことに留意した。

・高次多値変調方式

導入対象とする高次多値変調方式(256QAM/512QAM/1024QAM/2048QAM)について、欧州ETSI規格を参考に回線設計パラメータを導出し、フィールド実証結果を踏まえ、追加規定した。

・空中線特性

6/6.5/7.5GHz帯の空中線特性について、欧州ETSI規格はサイドローブ方向の上限が国内現行基準より緩やかな値となっている。そのため、運用事業者内既存ルートの一部において干渉影響がみられる評価結果が得られたが、国内製品の供給状況からの運用事業者要望を踏まえ、欧州ETSI規格準拠の空中線の導入を可能とした。

・回線設計手法

－受信感度の導入

過年度の11/15/18GHz帯高度化検討と同様に、これまでの雑音指数(NF)と所要C/Nによる規定を改め、総合的な指標である「受信感度」による規定に変更。

－無線LANとの共用

6GHz帯について、無線LANとの共用(無線LANから固定通信システムへの干渉)を考慮した回線計算に変更。また無線LANの干渉レベルは都市規模種別(都市部/郊外部)、及び空中線種別(現行審査基準/ETSI規格)毎に定義し、雑音配分(C/N配分)に組込むこととした。

・その他

本検討での干渉軽減係数の見直しについては、他システム(放送システム)に関する現行の干渉軽減係数に準拠するために変更対象外としたが、運用事業者要望によっては将来的に変更の可能性は想定され、その場合においては、放送システムのフィルタ条件実力値等を用い、実機検証含む共用検討の実施を踏まえた見直しが想定される。

高次多値変調方式の導入

- ・現行審査基準と欧州ETSI規格を比較・検証し、ETSI規格を基に導入対象とする高次多値変調方式(256QAM/512QAM/1024QAM/2048QAM)について回線設計パラメータを導出。
- ・フィールド実証より審査基準で規定される回線瞬断率を満たしていることが確認できた。
- ・これにより、当該システムの大容量化(最大約50%の通信容量増)が可能となる。

現行審査基準とETSI規格の比較・検証

現行審査基準に無い高次多値変調方式の回線設計パラメータの検討に関して、ETSI規格を基に導出した。

周波数帯	占有周波数帯域の許容値	標準的な変調方式	標準受信入力 (dBm)	最大受信入力 (dBm)
7.5GHz帯	2.5MHz	4PSK	-67.5+Fmr/2	-45.0
6.5、7.5GHz帯	5MHz		-64.5+Fmr/2	-43.9
	9.5MHz	16QAM	-59.5+Fmr/2	-39.3
		128QAM	-57.5+Fmr/2	-38.0
	19MHz	128QAM	-54.5+Fmr/2	-36.0
	28.5MHz		64QAM	-55.5+Fmr/2
36.5MHz	256QAM			
6.5、7.5GHz帯	28.5MHz	512QAM		
		1024QAM		
		256QAM		
	36.5MHz	512QAM		
1024QAM				



検証項目

①審査基準とETSI規格の調査
6GHz帯、および6.5/7.5GHz帯の審査基準とETSI規格の受信性能指標の比較

②高次多値変調のパラメータの検討
256QAM/512QAM/1024QAM/2048QAMに関する所要C/N、雑音配分、標準受信入力の検討



高次多値変調方式の標準受信入力等の導出

6.5/7.5 GHz帯

周波数帯	占有周波数帯域の許容値	標準的な変調方式	標準受信入力 (dBm)	最大受信入力 (dBm)
7.5GHz帯	2.5MHz	4PSK	-67.5+Fmr/2	-45.0
	5MHz		-64.5+Fmr/2	-43.9
	9.5MHz		-59.5+Fmr/2	-39.3
	6.5、7.5GHz帯	16QAM	-57.5+Fmr/2	-38.0
		128QAM	-54.5+Fmr/2	-36.0
6.5、7.5GHz帯	36.5MHz	64QAM	-55.5+Fmr/2	-37.0
		256QAM	-52.0+Fmr/2	-35.0
	28.5MHz	512QAM	-49.0+Fmr/2	-33.0
		1024QAM	-46.0+Fmr/2	-31.0
		256QAM	-51.0+Fmr/2	-34.0
	36.5MHz	512QAM	-48.0+Fmr/2	-32.0
		1024QAM	-45.0+Fmr/2	-30.0
6.5、7.5GHz帯	28.5MHz	2048QAM	-43.0+Fmr/2	-29.0
	36.5MHz	2048QAM	-42.0+Fmr/2	-28.0

6GHz帯

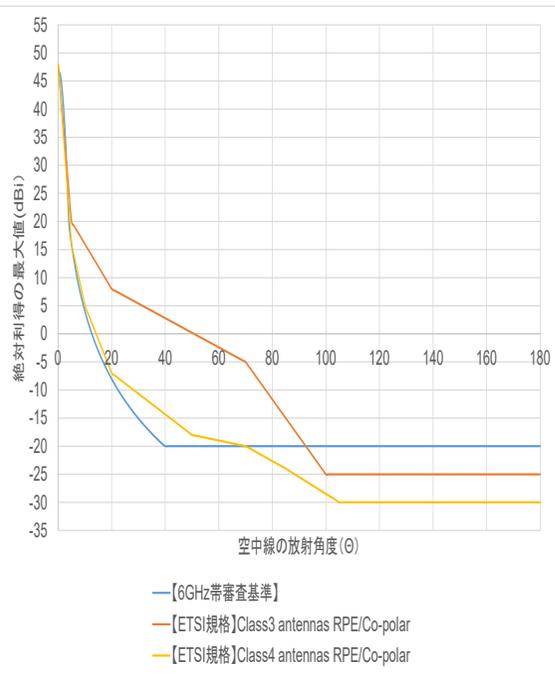
周波数帯	占有周波数帯域の許容値	標準的な変調方式	標準受信入力 (dBm)	最大受信入力 (dBm)
6GHz帯	5MHz	4PSK	-57.0	-51.0
	9.5MHz	256QAM	-40.0	-34.0
	18.5MHz	16QAM	-43.0	-37.0
		64QAM	-40.0	-34.0
	36.5MHz	256QAM	-37.0	-31.0
6GHz帯	53.5MHz	64QAM	-37.0	-31.0
		16QAM	-37.0	-31.0
	18.5MHz	512QAM	-33.0	-27.0
		1024QAM	-30.0	-24.0
		2048QAM	-25.0	-19.0
	36.5MHz	512QAM	-30.0	-24.0
		1024QAM	-27.0	-21.0
		2048QAM	-22.0	-16.0
		512QAM	-28.0	-22.0
	53.5MHz	1024QAM	-25.0	-19.0
2048QAM		-20.0	-14.0	

空中線特性の更新

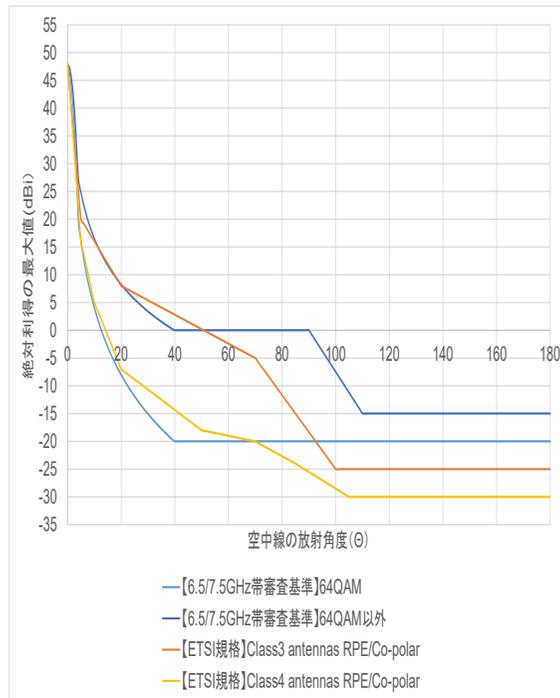
- 6/6.5/7.5GHz帯の空中線特性について、欧州ETSI規格はサイドローブ方向の上限が国内現行基準より緩やかな値となっている。そのため、運用事業者内の既存ルートの一部において干渉影響がみられるが、国内製品の供給状況からの運用事業者要望を踏まえ、欧州ETSI規格準拠の空中線の導入を可能とした。
- 空中線特性の規定として現行審査基準及びETSI規格空中線(Class3及びClass4注)を包含する特性を定義。

注 ETSI規格では、利用周波数により、絶対利得による制限値となる標準受信空中線特性のみを規定しており、また、干渉程度による標準受信空中線特性の使用を4段階の「Class」に分けている。海外においては、Class3が多く利用され、回線が混み合った場合等に限りClass4が考慮されるため、国内での利用においても同様にClass3及びClass4の利用を想定し検討を行った。

6GHz帯



6.5/7.5GHz帯



【6GHz帯】

空中線の放射角度 (θ)	受信空中線の標準特性 (dBi) 注
$\theta = 0^\circ$	47.3
$\theta = 5^\circ$	20
$\theta = 20^\circ$	8
$\theta = 70^\circ$	-5
$92.5^\circ \leq \theta$	-20

注 放射角度の断区間における標準特性は、 0° と 5° の間は $47.3 - 1.092 \theta^2$ 、それ以外は断区間両端標準特性の線形とする。

【6.5/7.5GHz帯】

空中線の放射角度 (θ)	受信空中線の標準特性 (dBi) 注
$0^\circ \leq \theta < 4^\circ$	$48 - 1.28 \theta^2$ ($47.3 - 1.706 \theta^2$)
$4^\circ \leq \theta < 20^\circ$	$44 - 27.5 \log \theta$ ($44 - 40 \log \theta$)
$50^\circ \leq \theta < 90^\circ$	0 (-20)
$90^\circ \leq \theta < 110^\circ$	$67.5 - 0.75 \theta$ (-20)
$110^\circ \leq \theta$	-15 (-20)

注 占有周波数帯幅の許容値が36.5MHzの場合は、括弧内の値とする。また、放射角度の断区間における標準特性は、断区間両端標準特性の線形とする。

回線設計手法の見直し

・受信感度の導入

過年度の11/15/18GHz帯の高度化検討と同様に、これまでの雑音指数(NF)と所要C/Nによる規定を改め、総合的な指標である「受信感度」による規定に変更した。

・無線LANとの共用

6GHz帯について、無線LANとの共用(無線LANから固定通信システムへの干渉)を考慮した回線計算に変更した。

雑音指数(NF)及び所要C/Nから受信感度による規定への変更

現行審査基準においては、雑音指数(NF)及び所要C/Nが個別に規定されており、受信機全体の性能が良いにも関わらず雑音指数または所要C/Nの規定を満足しない装置は国内への導入ができないという課題を踏まえ、ETSI規格と同様に「受信感度」による規定($C/N = \text{受信感度} - 10\log(\text{ボルツマン定数} \times \text{温度} \times \text{等価雑音帯域幅}) - NF$)を導入することが適当とした。

無線LANとの共用

無線LAN導入の調査検討を踏まえ、固定通信システムとの共用においてETSI規格の空中線導入のもとでの検討を実施。無線LAN(VLP/LPI/SPモード)から固定通信システムへの干渉影響評価結果(モンテカルロ・シミュレーション)を踏まえ、6GHz帯の審査基準上の区間断時間率計算において、無線LANからの干渉を考慮することとした。

(C/N_{id} の算出方法を以下に示す)

$$C/N_{id} = \min \left[-10 \log \left\{ \sum_{j=1}^m 10^{-\frac{C/N_{idj}}{10}} + 10^{-\frac{C/N_{id}(y)}{10}} + 10^{-\frac{C/N_{WLAN}}{10}} \right\}, C/N_{id0} - M \right]$$

- ・ $\min(x, y)$: x又はyの小さい方を採用する。
- ・ m : 異なる伝送路となる干渉波の数
- ・ C/N_{WLAN} : 無線LANの干渉波レベルが N_{WLAN} であるときのWLAN干渉雑音によるC/N(dB)
右表により、設置環境が郊外部か都市部かに応じて選択する。

設置環境	N_{WLAN}
郊外部	-107.2 dBm
都市部	-97.3 dBm

※なお6.5GHz帯については、無線LANとの共用は限定的であり現段階において審査基準改訂の必要はないが、SPモードに加えVLP/LPIモード制度化が行われた際には、上記6GHz帯と同様の回線計算変更が考えられる。

導入項目	現状 (Before)	導入後 (After)
高次多値変調方式	<ul style="list-style-type: none"> ・128QAM以下の変調方式が審査基準に規定されている。 ・11/15/18GHz帯では高度化により1024QAMまで規定済。 	2048QAMまでの変調方式を導入することにより50%の伝送容量の向上 (150Mbps → 225Mbps)
高出力化	<ul style="list-style-type: none"> ・現行無線機器においては、変調方式2048QAMにおいて最大送信電力は25dBmとなり、推定最長伝送距離は40Kmとなる。 	高出力化により2048QAMにおける最大送信電力は29dBmとなり、推定最長伝送距離は47.5Kmまで延伸可能。
回線設計手法 (受信感度の導入)	各変調方針において、雑音指数や所要C/Nが規定されているが、「受信感度」は用いられてない。	変調方式の切り替わり条件となる受信電力の閾値として「受信感度」を用いることにより、柔軟な回線設計が可能となる。
回線設計手法 (無線LANとの共用)	審査基準において、6GHz帯における無線LANとの共用条件は考慮されてない。	6GHz帯において無線LANとの共用も踏まえた回線瞬断率計算が可能となる。

■ 多値変調(512QAM/1024QAM等)における回線品質及び適応変調技術の検証

【主な成果】

- 6.5GHz/7.5GHz帯審査基準における高次多値変調方式(512QAM/1024QAM等)の規格案の妥当性を検証するため、机上検討した規格案を元に回線設計を行い、フィールド試験を行った。
- フィールド試験の取得データから瞬断率規格を満足していることを確認し、机上検討した審査基準の規格案が妥当であり、審査基準で求められる回線品質が確保可能であると判断した。

回線設計

● フィールド試験における回線設計手法

審査基準に則った標準的な回線設計では、無線装置の性能マージン等が含まれている。それらを削減した「フィールド試験用」の回線設計を行い、伝送の質(回線瞬断率)を満足しているか、より高確度な検証を実施した。

回線設計検討	ルート①		ルート②		ルート③	
	鉄塔A-鉄塔B		鉄塔A-鉄塔C		鉄塔D-鉄塔E	
伝送距離	34km		33km		32km	
周波数帯	6.5GHz		7.5GHz		6.5GHz	
SD構成	無し		無し		有り	
占有周波数帯幅	28.5MHz		28.5MHz		28.5MHz	
アンテナ利得(送受)[dB]	86.2		87.4		78.4	
空間損失(フィーダ含む)[dB]	-142.3		-143.0		-141.9	
固定変調/適応変調	固定変調		固定変調	適応変調	固定変調	
標準的な変調方式	512QAM	1024QAM	2048QAM	128QAM	512QAM	1024QAM
変調方式範囲(適応変調時)	-	-	-	128QAM ~1024QAM	-	-
標準受信入力[dBm]	-40.0	-37.0	-33.8	-45.3	-44.3	-41.3
所要フェージングマージン[dB]	18.0	18.0	18.4	18.4	9.5	9.5
標準的な回線設計						
送信出力 [dBm]	16.0	19.0	29.0	18.0	19.0	22.0
受信電力 [dBm]	-40.1	-37.1	-39.6	-45.0	-44.5	-41.5
実フェージングマージン[dB]	19.2	18.8	18.4	21.2	14.8	14.4
フィールド試験用						
送信出力 [dBm]	12.0	16.0	26.0	13.0	11.0	15.0
受信電力 [dBm]	-44.1	-40.1	-36.6	-50.0	-52.5	-48.5
実フェージングマージン[dB]	18.2	18.8	18.4	19.2	9.8	10.4
目標回線瞬断率	1.36E-05		1.32E-05		1.28E-05	
回線断時間[s] (1カ月あたり)	35.3		34.2		33.2	

高次多値変調におけるフィールド試験結果の検証

● フィールド試験取得データの検証

512QAM/1024QAM/2048QAMのいずれの変調方式においても、審査基準で規定される回線瞬断率を満足することを確認した。

変調方式	周波数	試験区間	測定日数	瞬断率判定
512QAM	6.5GHz帯	鉄塔D-鉄塔E	69日間	規格内
		鉄塔A-鉄塔B	63日間	規格内
1024QAM	6.5GHz帯	鉄塔A-鉄塔B	70日間	規格超過※
		鉄塔D-鉄塔E	63日間	規格内
2048QAM	7.5GHz帯	鉄塔A-鉄塔C	70日間	規格内

※ フィールド試験用に減衰させた受信レベルで算出すると規格超過であるが、標準的な回線設計の場合、規格内である。

● 適応変調による伝送効率の向上

標準的な変調方式128QAMによる回線設計でフィールド試験を実施した。稼働時間の99.7%以上が最高次の変調方式2048QAMであり、高効率による伝送を確認した。

周波数帯	6.5GHz				7.5GHz			
	占有周波数帯幅				占有周波数帯幅			
占有周波数帯幅	28.5MHz				28.5MHz			
標準変調方式	128QAM				128QAM			
変調方式の範囲	128QAM~1024QAM				64QAM~2048QAM			
測定期間	2023/6/8~2023/8/28				2023/11/16~2024/1/17			
ルート	ルート① 鉄塔A-鉄塔B間				ルート② 鉄塔A-鉄塔C間			
方向	鉄塔A→鉄塔B		鉄塔B→鉄塔A		鉄塔A→鉄塔C		鉄塔C→鉄塔A	
	稼働時間[h]	稼働率	稼働時間[h]	稼働率	稼働時間[h]	稼働率	稼働時間[h]	稼働率
2048QAM	-	-	-	-	1490.77	99.951%	1489.52	99.949%
1024QAM	1862.25	99.755%	1841.22	99.755%	0.42	0.028%	0.47	0.031%
512QAM	3.18	0.171%	1.95	0.171%	0.17	0.011%	0.15	0.010%
256QAM	0.83	0.045%	0.57	0.045%	0.10	0.007%	0.12	0.008%
128QAM※	0.55	0.029%	0.60	0.029%	0.02	0.001%	0.02	0.001%
64QAM	-	-	-	-	0.03	0.002%	0.02	0.001%

※標準的な変調方式

■ 高出力/低消費電力/小型化に向けた歪み補償技術等の検証

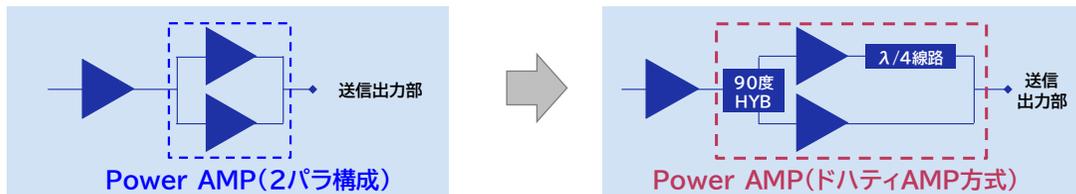
【主な成果】

- 試作無線機において、高出力化を達成とともに、出力性能を維持しつつPower AMP部の改良を検討。単純な並列構成から高効率化が可能であるドハティAMP構成へ改良し、低消費電力、および小型化を実現した。
- 本検証により高次多値変調方式においても波形歪の影響を抑圧しつつ高出力化することが可能であり、高次多値変調2048QAMにおいて伝送距離延伸が可能であることを確認した。

小型化、低消費電力化の検討

● ドハティAMP方式の採用

令和4年度に達成した送信出力性能(+36dBm)を維持しつつ、小型化、および低消費電力化を実現する方法を検討し、パワーアンプ部をドハティ方式の回路構成へ改良した。



小型化 試作評価

体積: 約16%削減
(令和4年度比)

	令和4年度改良無線機	令和5年度改良無線機
体積	7.9L 290mm(W)×290mm(H)×94mm(D)	6.6L(※83.5%) 250mm(W)×250mm(H)×105mm(D)
重量	6.9kg	5.8kg (※84.1%)
外観		

※令和4年度比

低消費電力化 試作評価

消費電力: 約11%削減
(令和4年度比)

	令和4年度改良無線機	令和5年度改良無線機
最大送信電力 (QPSK設定)	4W (+36dBm)	4W (+36dBm)
消費電力(max値)	66.4W	59.2W
送信電力1Wあたりの消費電力	16.6W	14.8W (※89.2%)

※令和4年度比

高出力の有効性

一般的な無線機では、変調多値数の増加に伴い歪耐力が低下するため最大送信電力は低下していく。一方、本検証の高出力化手法では、高次多値変調方式についても波形歪を抑圧しつつ高出力化が可能であり、既存の6.5GHz/7.5GHz帯審査基準の最大送信出力+33dBmの規格内で伝送距離の延伸が実現可能となる。

項目	回線パラメータ	
周波数帯	6.5GHz	
変調方式	2048QAM	
占有周波数帯幅	28.5MHz	
空中線利得 送信 / 受信	43.1dB / 43.1dB	
給電線損失 送信 / 受信	1.36dB / 1.36dB	
受信機熱雑音電力	-94.5dBm	
フェージング時の所要C/Ntho	42.1dB	
	現行無線機最大送信出力	改良無線機最大送信出力
送信機出力	25dBm	29dBm
推定最長伝送距離	40.0km	47.5km
自由空間損失	141.0dB	142.5dB
標準時熱雑音	62.0dB	64.5dB
実フェージングマージン	19.9dB	22.4dB
所要フェージングマージン Fmr	19.9dB	22.4dB
所要フェージングマージン Fms	19.9dB	22.4dB
フェージング時熱雑音 対Fmr	42.1dB	42.1dB
フェージング時熱雑音 対Fms	42.1dB	42.1dB
回線瞬断率規格 Pis・d	1.60E-05	1.90E-05
区間瞬断率 Pi	1.59E-05	1.88E-05
標準受信入力	-33.1dBm ± 3dB	-31.8dBm ± 3dB
受信入力	-32.5dBm	-30.0dBm