

# テレメーター・テレコントロールの 高度利用に関する調査検討会

<報告>

平成27年12月8日



総務省 北海道総合通信局

※平成27年12月8日のロボット作業班(第6回)での指摘を受け、配布資料より一部修正。

## 項目

【1】フィールド試験結果報告

【2】周波数共用条件

【3】実証試験のまとめ

【4】技術的条件案

# 【1】フィールド試験結果報告

# 項目

- 1 試験機材の状況
- 2 測定ポイント
- 3 地上での電波伝搬特性
- 4 上空からの電波伝搬特性
- 5 静止画、動画伝送の実証確認
  - (1)地上での実証確認
  - (2)上空からの実証確認

参考資料 フィールド試験測定結果一覧

# 1 試験機材

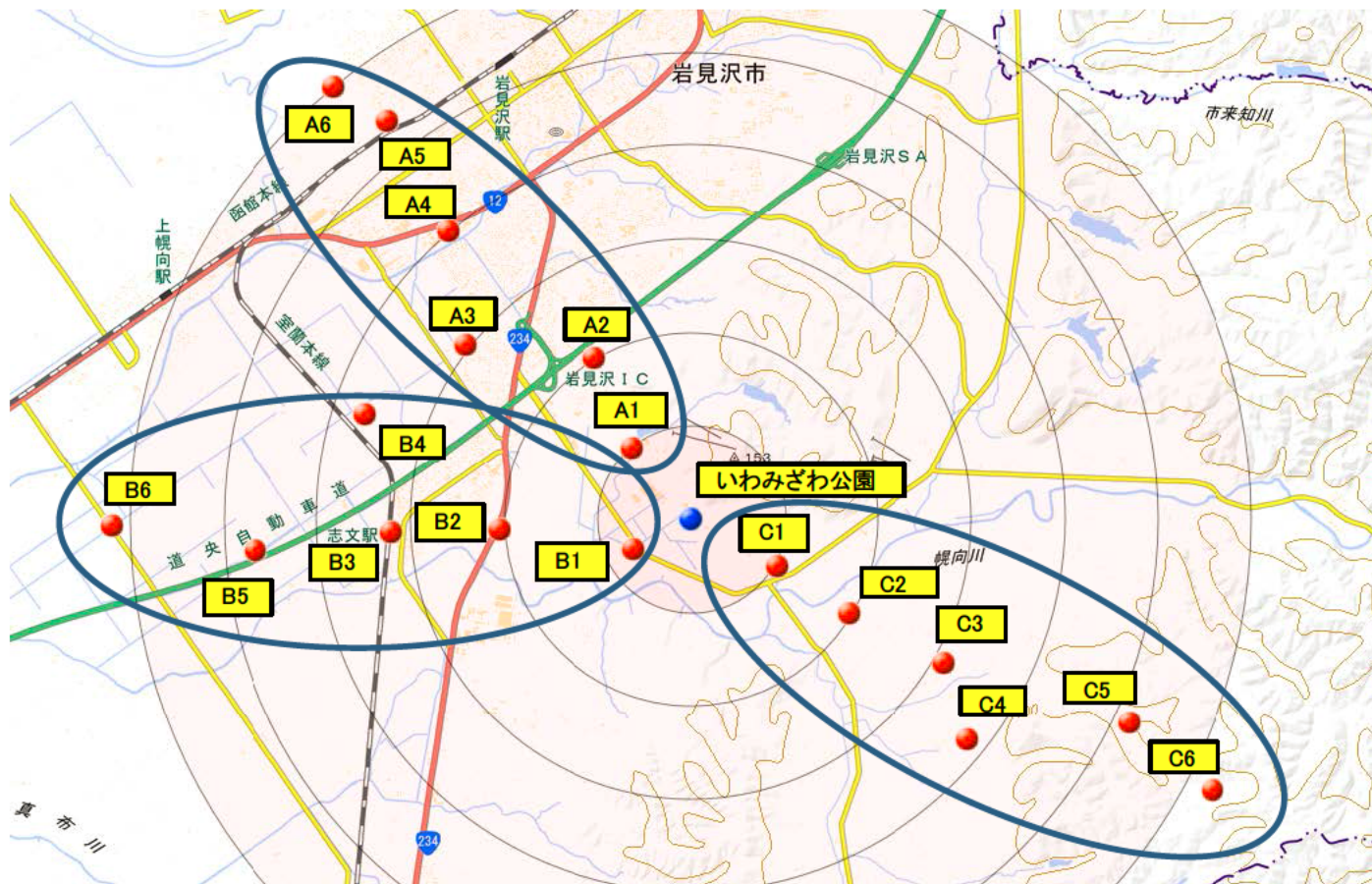
本検証では、複数の変復調方式を用いて特性評価を比較するため、複数の変復調方式の実装が容易なソフトウェア無線機を用いて実験を行った。

仕様	諸元	
	中継局	親局・子局
送信出力	QPSK : 7dBm (5mW)	4 値 FSK : 10dBm (10mW) QPSK/16QAM : 7dBm (5mW)
周波数	169.200MHz	
帯域幅	300kHz	
受信感度 (BER: $1 \times 10^{-2}$ )	4 値 FSK : 10dB $\mu$ V QPSK : 10dB $\mu$ V 16QAM : 16dB $\mu$ V	
空中線利得	2.14dBi	5.12dBi

## 2 測定ポイント

フィールド試験は、テレメーター・テレコントロールのあらゆる場面での使用を見越して、大きく3つのエリア(郊外型都市モデルのエリアA、開放地見通し環境モデルのエリアB、山林等遅延波環境モデルのエリアC)で調査を行った。

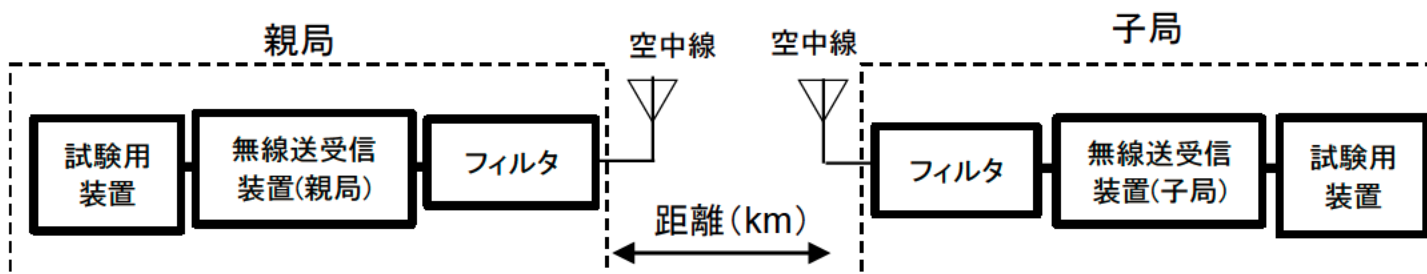
各測定ポイントはいわみざわ公園を起点として、約1km毎に設け最長6km付近まで測定を行った。



### 3 地上での電波伝搬特性（その1）

#### ■ 検討内容

電波伝搬特性の調査として、いわみざわ公園に設置した子局の無線送受信装置（空中線地上高2m）から、QPSK方式の試験電波を発射し、各測定ポイントに設置した親局の無線送受信装置（空中線地上高3m）における、BER、受信機入力電圧及び遅延プロファイルの測定を行った。（なお、参考データとして、4値FSK方式及び16QAM方式による試験電波発射時においても、親局側でBER及び受信機入力電圧を測定した。）



### 3 地上での電波伝搬特性（その2）

#### ■ 検討結果

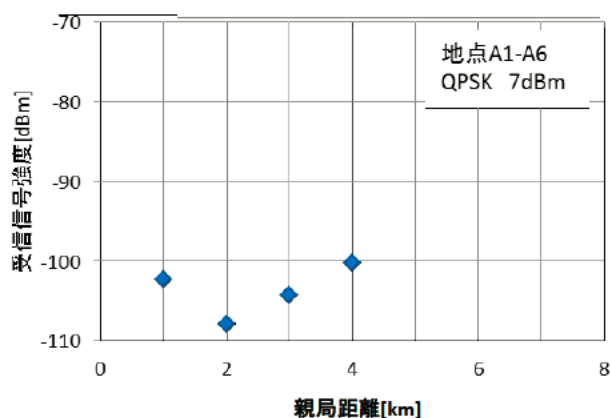
子局及び親局の空中線がそれぞれ地上高2m及び3mの場合、エリアA及びエリアBともに1kmのポイントのみでBERの測定が可能であり、2km以上離れたポイントではBERの測定が行えなかった。これは、子局及び親局の空中線高がほぼ同じでかつ低いため、周辺の建造物などの影響により遮蔽損失が増大した結果と考えられる。

一方、エリアCにおいては、1kmのポイントではBERの測定が行えなかったが、2km、3kmのポイントでは受信可能との結果が得られた。これはエリアCが山間部のため、いわみざわ公園から2km、3km離れた地域では親局の標高が高くなり、この結果、見通しに近い状態が得られたことから受信可能になったものと考えられる。

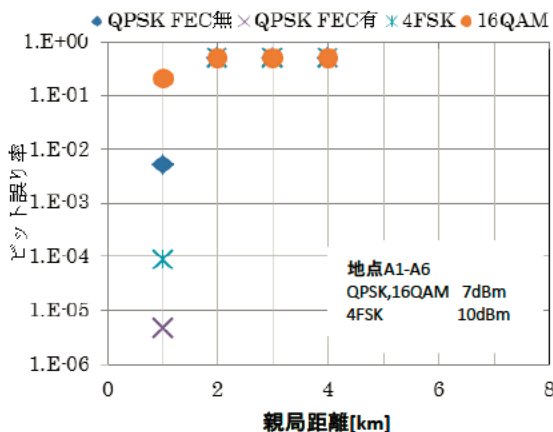
(また、周波数伝達関数から44pt DFT(方形窓)にて遅延プロファイルを算出した。データは、先行波を0dBに正規化し、周波数領域の不連続性より、時間解像度は±2.5us程度である。長遅延波として見えているものは、先行波のレベルが小さいことに伴う、雑音信号と推定される。なお、親局の空中線が地上高3mでは、子局側では受信できないため解析データは得られない。)

#### エリアA

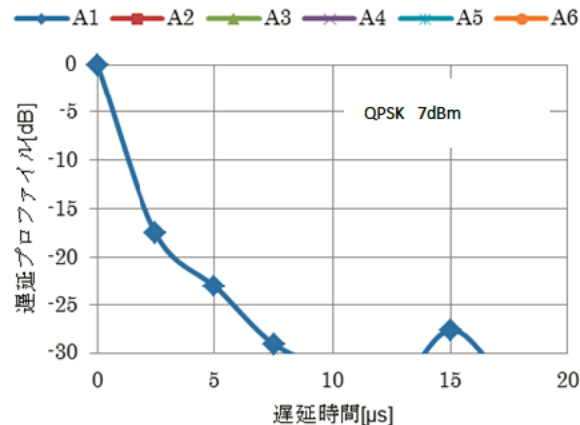
#### 受信信号強度



#### BER特性



#### 遅延プロファイル

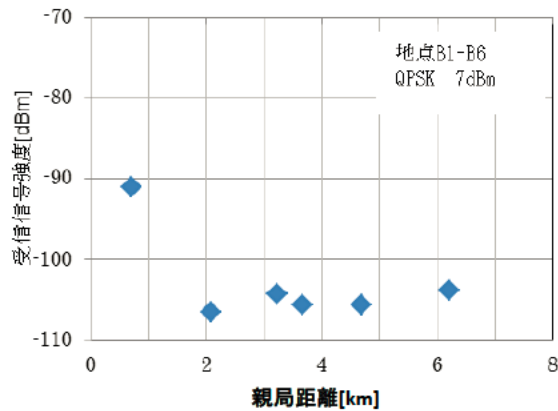




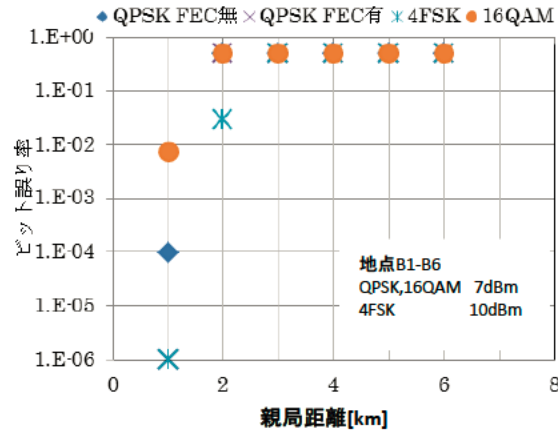
### 3 地上での電波伝搬特性 (その3)

#### エリアB

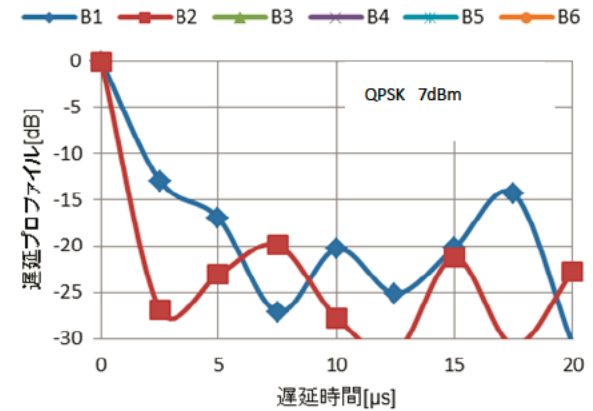
受信信号強度



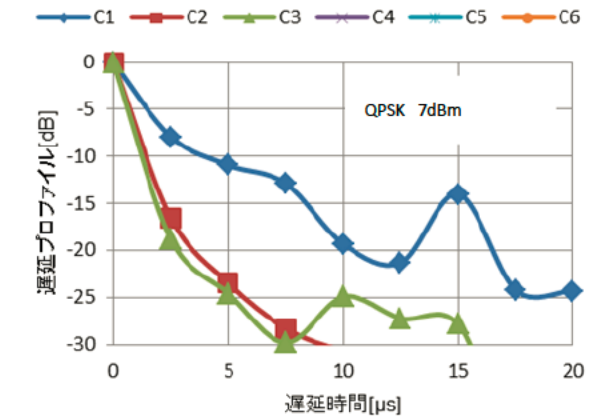
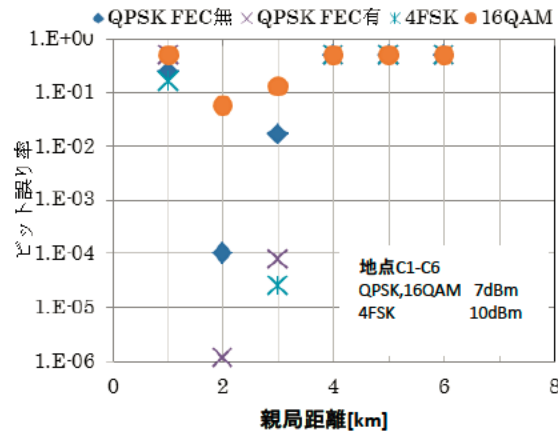
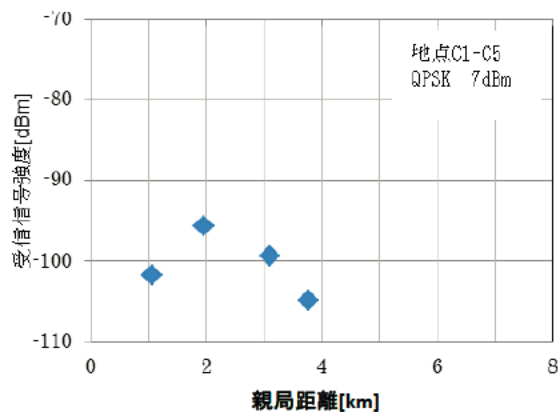
BER特性



遅延プロファイル



#### エリアC



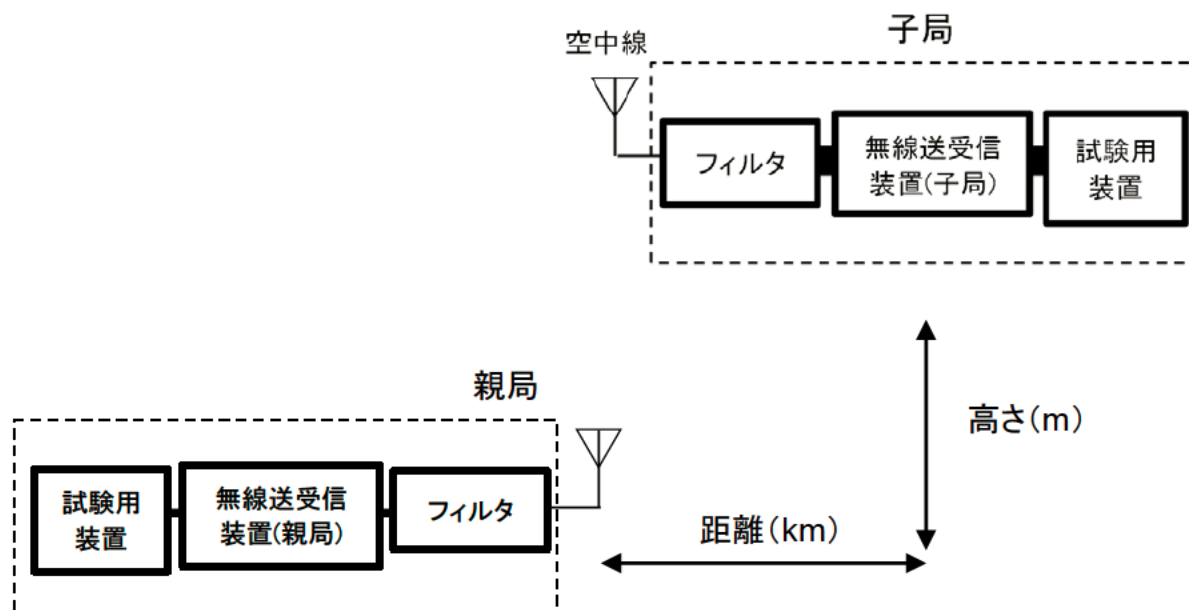
## 4 上空からの電波伝搬測定（その1）

### ■ 検討内容

子局の無線送受信装置を高所作業車にて上空に上げ、親局の無線送受信装置と中継局間の離隔距離に対する伝搬環境特性を測定した。

伝搬環境特性は、子局を地上高22mに上昇し、測定はそこから5mごとに下降させ、その都度親局側で測定を行った。

また、距離をパラメータとして、BER、受信信号強度及び遅延プロファイルを親局側で測定した。最大離隔距離は6kmとし、段階的に測定を行った。（なお、参考データとして、子局が地上高22mの地点における4値FSK方式及び16QAM方式による試験電波発射時においても、親局側でBER及び受信機入力電圧を測定した。）



## 4 上空からの電波伝搬測定（その2）

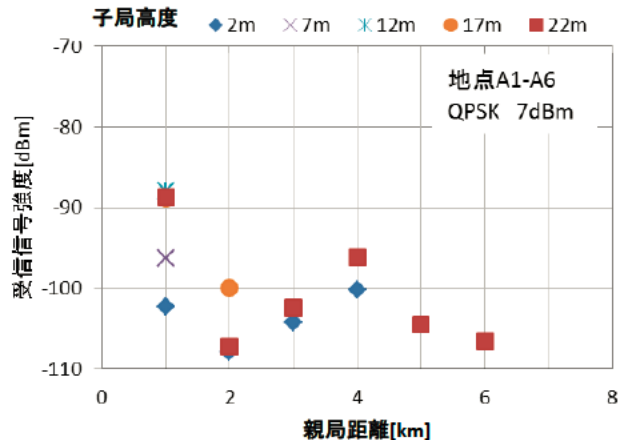
### ■ 検討結果

エリアBの開放地、エリアCの山林等の両地形においては、3kmから4kmのポイントまでBER測定が可能となった。一方、エリアAにおいては、1kmのポイントではBER測定が行えたが、2km以降は測定が不可能であった。これは、2kmのポイントでは地形的な影響によるもの、3km以降のポイントでは、地形的な影響に加え、移動した親局の周辺の建造物などの影響により遮蔽損失が増大したことが要因と考えられる。

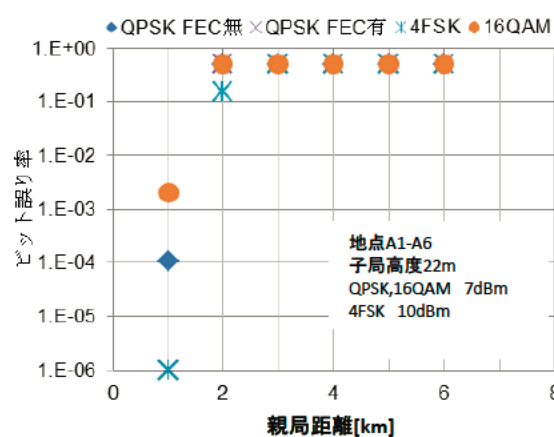
(また前項と同様に、周波数伝達関数から44pt DFT(方形窓)にて遅延プロファイル算出した。前項の親局の空中線が地上高3mの場合と同様、長遅延波として見えているものは、先行波のレベルが小さいことに伴う雑音信号と推定される。)

#### エリアA

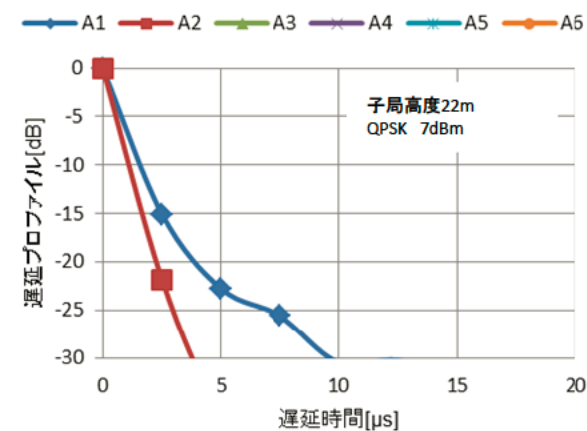
#### 受信信号強度



#### BER特性



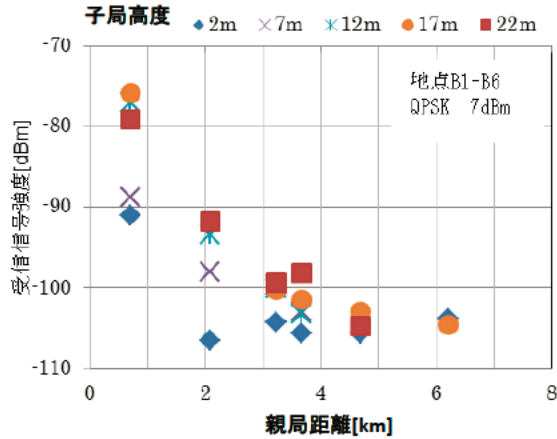
#### 遅延プロファイル



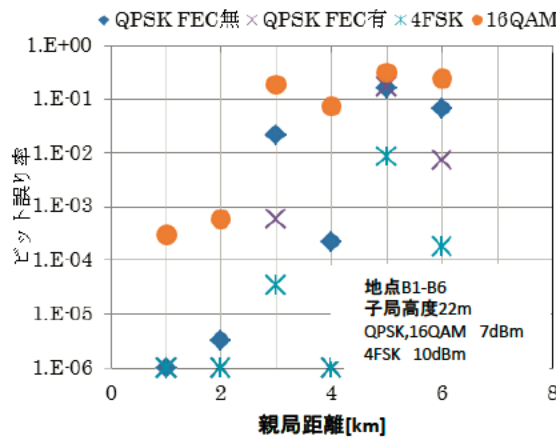
# 4 上空からの電波伝搬測定 (その3)

## エリアB

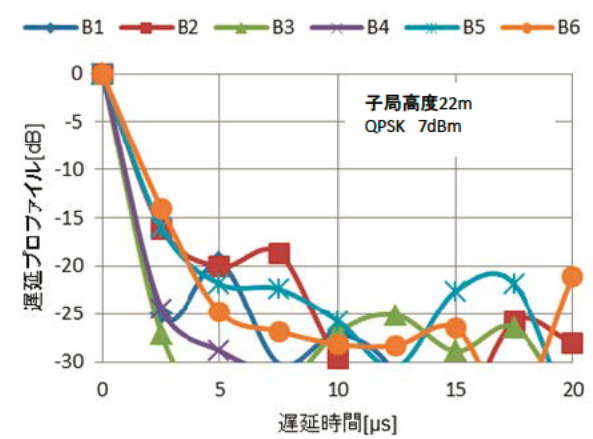
受信信号強度



BER特性

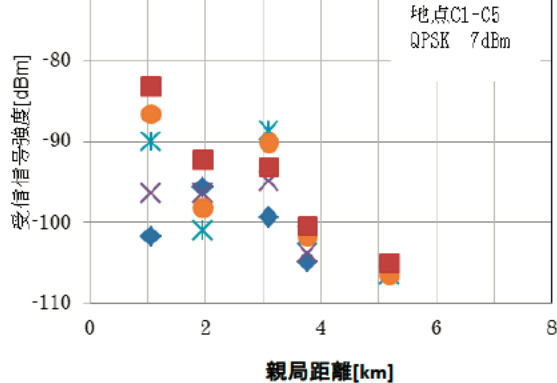


遅延プロファイル

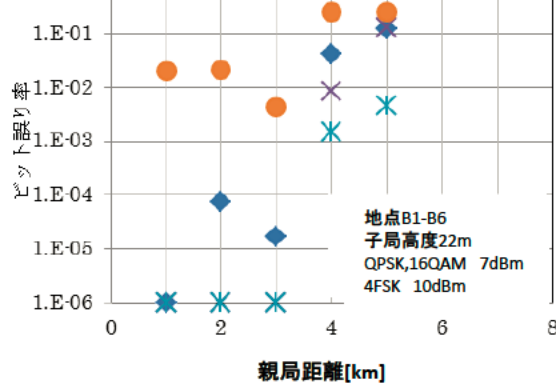


## エリアC

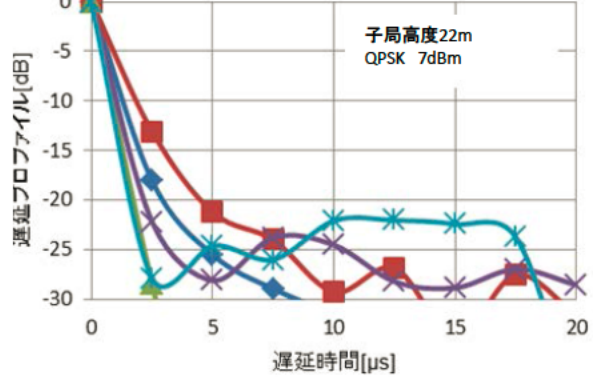
受信信号強度



BER特性



遅延プロファイル



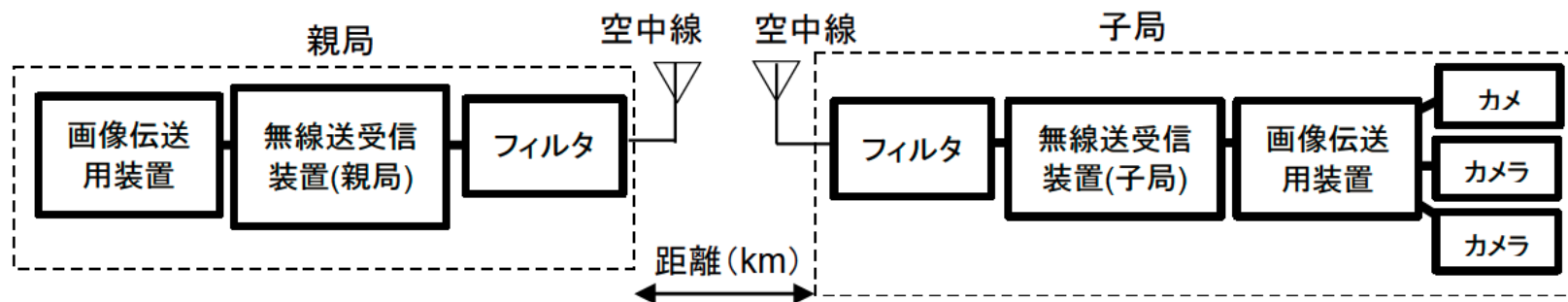
## 5 静止画、動画伝送の実証確認／(1)地上での実証確認（その1）

### ■ 検討内容

子局に設置したカメラ画像を無線回線を通して伝送可能であることを確認した。その際、親局から子局を段階的に離し、各測定ポイントで画像伝送が行えるかを確認した。

伝送する画像は、サイズQVGA(320×240ピクセル)の準動画とし、テレメーター、テレコントロールによる動作確認を実施した。

テレメーターの動作確認は、親局から指定したカメラの画像を子局の画像伝送用装置で選択し、指定されたカメラ画像を親局へ伝送が行えるかについて、また、テレコントロールの動作確認は、親局の画像伝送用装置から子局の画像伝送用装置に接続された3台のカメラの切替制御を行えるかについて確認した。



## 5 静止画、動画伝送の実証確認／(1)地上での実証確認 (その2)

### ■ 検討結果

各エリア共に地上での伝送については、1km程度離れたポイント1では、全てにおいて視聴が可能であったが、3km以上離れた地域では、ブロックノイズがひどく、しばしばグレイアウトとなり、視聴できない状態であった。

今回の測定結果から、地上対地上での伝送においては、送信出力5mW・QPSK方式(誤り訂正あり)の無線送受信装置を使用した場合、伝送距離はおおよそ1~2km程度と推定される。

測定ポイント	エリアA	エリアB	エリアC
1	○/○	○/○	○/○
2	×/ー	○/○	○/○
3	×/ー	×/ー	△/ー
4	×/ー	×/ー	×/ー
5	×/ー	×/ー	×/ー
6	×/ー	×/ー	×/ー

※左側(テレメーター) ○:視聴可能 △:ブロックノイズ有 ×:グレイアウト  
右側(テレコントロール) ○:可能 ー:画像伝送できないため確認せず



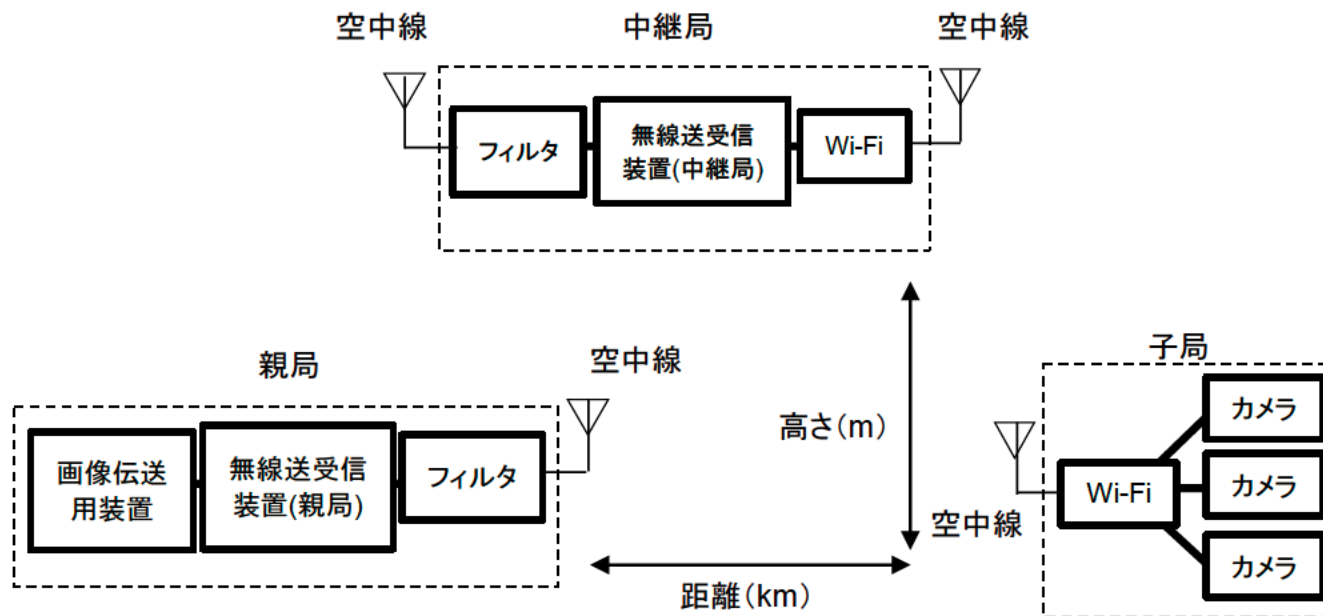
## 5 静止画、動画伝送の実証確認／(2)上空からの実証確認（その1）

### ■ 検討内容

地上での動画確認と同様に、地上に設置したカメラ画像をWi-Fiを使用して空中線地上高22mの中継局へ送信し、中継局から無線回線を通して画像が伝送可能であることを確認した。

その際、中継局から親局を段階的に離し、各測定ポイントで画像伝送が行えるかについて確認を行った。

なお、伝送する画像サイズや、テレメーター、テレコントロールによる動作確認については、5(1)と同様である。



## 5 静止画、動画伝送の実証確認／(2)上空からの実証確認（その2）

### ■ 検討結果

エリアA(郊外型都市部)においては、地上での伝送と同様、1km程度離れたポイント1のみ視聴可能であり、2km以上離れた地域では、動画の視聴ができなかった。これは、エリアAの2km以上離れた場所では、周辺の建造物などの影響により遮蔽損失が増大し、動画伝送が視聴できない状態であったと想定される。

一方、エリアB(開放地)、エリアC(山林等)においては、3～4km程度離れた地域でも視聴が行えることが確認された。

この結果から、開放地及び山林等においては、送信点の空中線地上高22mが確保される環境であれば、送信出力5mW・QPSK方式(誤り訂正あり)の無線送受信装置を使用した場合、伝送距離はおおよそ3～4km程度と推定され、開放地における画像伝送の使用は可能と判断できる。

郊外型都市部で開放地及び山林等と同等の視聴可能距離を確保するためには、一般的に郊外型の建造物においては10～15dB程度の遮蔽損失となることから、開放地及び山林等における5mW出力に対して、100mW程度の出力が必要と推定される。

測定ポイント	エリアA(市街地)	エリアB(開放地)	エリアC(山林等)
1	○／○	○／○	○／○
2	×／－	○／○	○／○
3	×／－	△／○	○／○
4	×／－	○／○	△／○
5	×／－	×／－	×／－
6	×／－	×／－	×／－

また今回、公開実証試験においてはUAVを使用し、地上高100mまで中継局の高さを上げた場合には、回線がほぼ見通しとなることから、5.3kmの区間でブロックノイズの無い画像伝送を行えることが確認できている。

したがって、地上高100mで送信電力が100mW程度の中継局を使用する場合は、見通しとなる郊外型の都市部環境において、10km程度の通信距離が確保できるものと考えられる。

※左側(テレメータ) ○:視聴可能 △:ブロックノイズ有 ×:グレーアウト  
右側(テレコントロール) ○:可能 -:画像伝送できないため確認せず



# 【参考資料】フィールド試験測定結果一覧（その1）

## エリアA

測定ポイント	送信点空中線地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送	
								2m	22m
A1	4値FSK	受信電圧(dB μV)	12.04				27.11		
		BER	$8.9 \times 10^{-5}$				$1.0 \times 10^{-6}$		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	10.74	16.7	25.02	24.08	24.25	○	○
		BER	$5.2 \times 10^{-3}$	$9.0 \times 10^{-2}$	$5.4 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-4}$		
		BER(FEC)	$4.8 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-3}$	EF	EF	EF		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	10.59				24.53		
BER		$2.1 \times 10^{-1}$				$2.0 \times 10^{-3}$			
A2	4値FSK	受信電圧(dB μV)	5.3				6.27		
		BER	測定不可				$1.5 \times 10^{-1}$		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	5.16	測定不可	測定不可	13.04	5.81	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可				測定不可		
BER		測定不可				測定不可			
A3	4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.6				10.4		
		BER	測定不可				測定不可		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	8.78	測定不可	測定不可	測定不可	10.59	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	9.96				10.64		
BER		測定不可				測定不可			
A4	4値FSK	受信電圧(dB μV)	13.47				11.34		
		BER	測定不可				測定不可		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	16.84	測定不可	測定不可	測定不可	12.79	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	13.96				12.51		
BER		測定不可				測定不可			
A5	4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可				8.52		
		BER	測定不可				測定不可		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	8.45	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可				8.77		
BER		測定不可				測定不可			
A6	4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可				7.78		
		BER	測定不可				測定不可		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	6.45	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可				6.97		
BER		測定不可				測定不可			

## エリアB

測定ポイント	送信点空中線地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送		
								2m	22m	
B1	4値FSK	受信電圧(dB μV)	24.77				36.74			
		BER	$1.0 \times 10^{-6}$				$1.0 \times 10^{-6}$			
	QPSK	受信電圧(dB μV)	22	24.23	35.89	37.08	33.86	○	○	
		BER	$9.6 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-6}$	EF			
		BER(FEC)	EF	$3.5 \times 10^{-4}$	EF	EF	EF			
	16QAM	受信電圧(dB μV)	20.91				34.39			
BER		$7.4 \times 10^{-3}$				$3.0 \times 10^{-4}$				
B2	4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.7				23.56			
		BER	$3.0 \times 10^{-2}$				$1.0 \times 10^{-6}$			
	QPSK	受信電圧(dB μV)	6.45	14.87	19.56	21.2	21.2	○	○	
		BER	測定不可	$1.8 \times 10^{-2}$	$2.1 \times 10^{-4}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-6}$			
		BER(FEC)	測定不可	$1.7 \times 10^{-2}$	EF	EF	EF			
	16QAM	受信電圧(dB μV)	8.3				22.88			
BER		測定不可				$5.9 \times 10^{-4}$				
B3	4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.18				16.28			
		BER	測定不可				$3.5 \times 10^{-5}$			
	QPSK	受信電圧(dB μV)	8.72	13.31	12.8	12.74	13.6	×	△	
		BER	測定不可	測定不可	$8.8 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-1}$	$2.1 \times 10^{-2}$			
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	$6.0 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-1}$	$5.8 \times 10^{-4}$			
	16QAM	受信電圧(dB μV)	10.86				14.03			
BER		測定不可				$1.9 \times 10^{-1}$				
B4	4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.03				17.3			
		BER	測定不可				$1.0 \times 10^{-6}$			
	QPSK	受信電圧(dB μV)	7.3	10.04	9.67	11.41	14.73	×	○	
		BER	測定不可	測定不可	$1.0 \times 10^{-1}$	$1.3 \times 10^{-1}$	$2.2 \times 10^{-4}$			
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	$1.9 \times 10^{-1}$	$2.4 \times 10^{-1}$	EF			
	16QAM	受信電圧(dB μV)	10.48				15.11			
BER		測定不可				$7.5 \times 10^{-2}$				
B5	4値FSK	受信電圧(dB μV)	5.91				9.85			
		BER	測定不可				$8.5 \times 10^{-3}$			
	QPSK	受信電圧(dB μV)	7.33	測定不可	測定不可	測定不可	9.98	8.21	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	$1.6 \times 10^{-1}$		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	$1.7 \times 10^{-1}$		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	8.79				8.44			
BER		測定不可				$3.1 \times 10^{-1}$				
B6	4値FSK	受信電圧(dB μV)	7.88				12.22			
		BER	測定不可				$1.8 \times 10^{-4}$			
	QPSK	受信電圧(dB μV)	9.04	測定不可	測定不可	8.34	測定不可	×	×	
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	$6.9 \times 10^{-2}$			
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	$7.4 \times 10^{-3}$			
	16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可				9.96			
BER		測定不可				$2.4 \times 10^{-1}$				

※画像伝送 ○:視聴可能 △:ブロックノイズ有 ×:グレーアウト

# 【参考資料】フィールド試験測定結果一覧（その2）

## エリアC

測定ポイント	送信点空中線地上高(m)		2	7	12	17	22	画像伝送	
								2m	22m
C1	4値FSK	受信電圧(dB μV)	12.36				26.93		
		BER	$1.6 \times 10^{-1}$				$1.0 \times 10^{-6}$		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	11.11	16.53	23.02	26.46	29.79	○	○
		BER	測定不可	$1.1 \times 10^{-2}$	$9.8 \times 10^{-3}$	EF	EF		
		BER(FEC)	測定不可	$1.4 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-6}$	EF	EF		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	12				24.57		
BER		測定不可				$2.1 \times 10^{-2}$			
C2	4値FSK	受信電圧(dB μV)	20.1				15.28		
		BER	$6.6 \times 10^{-7}$				$1.0 \times 10^{-6}$		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	17.28	16.62	11.89	14.73	20.7	○	○
		BER	$1.0 \times 10^{-4}$	$8.6 \times 10^{-6}$	$1.2 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-6}$	$7.4 \times 10^{-5}$		
		BER(FEC)	$1.2 \times 10^{-6}$	EF	$1.5 \times 10^{-3}$	EF	EF		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	15.16				13.69		
BER		$5.9 \times 10^{-2}$				$2.1 \times 10^{-2}$			
C3	4値FSK	受信電圧(dB μV)	16.1				22.22		
		BER	$2.5 \times 10^{-5}$				$1.0 \times 10^{-6}$		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	13.52	18.1	24.38	22.84	19.91	△	○
		BER	$1.6 \times 10^{-2}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{-6}$	$1.2 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$		
		BER(FEC)	$7.9 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-6}$	EF	EF	EF		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	13.95				20.16		
BER		$1.3 \times 10^{-1}$				$4.4 \times 10^{-3}$			
C4	4値FSK	受信電圧(dB μV)	9.63				14.74		
		BER	測定不可				$1.5 \times 10^{-3}$		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	8.12	9.12	11.31	11.2	12.54	×	△
		BER	測定不可	測定不可	$3.4 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-2}$	$4.2 \times 10^{-2}$		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	$8.9 \times 10^{-3}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$8.7 \times 10^{-3}$		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	8.85				12.79		
BER		測定不可				$2.5 \times 10^{-1}$			
C5	4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可				8.93		
		BER	測定不可				$4.8 \times 10^{-3}$		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	6.4	6.45	7.87	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	$1.3 \times 10^{-1}$		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	$1.4 \times 10^{-1}$		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可				7.24		
BER		測定不可				$2.6 \times 10^{-1}$			
C6	4値FSK	受信電圧(dB μV)	測定不可				6.76		
		BER	測定不可				測定不可		
	QPSK	受信電圧(dB μV)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	×	×
		BER	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
		BER(FEC)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可		
	16QAM	受信電圧(dB μV)	測定不可				測定不可		
BER		測定不可				測定不可			

## 画像伝送結果例

視聴可能  
(○)



ブロック  
ノイズ有  
(△)



グレイアウト  
(△)



※画像伝送 ○:視聴可能 △:ブロックノイズ有 ×:グレイアウト

## 【2】周波数共用条件

# 項目

- 1 共用検討の方法
- 2 干渉検討パラメータ
- 3 共用条件の検討

# 1 共用検討の方法（その1）

テレメーター・テレコントロールの高度利用に向け、既存の169MHz帯における周波数共用条件について検討を行う。

169MHz帯には、既にFM-FM方式もしくはPCM方式などを用いた広帯域テレメーターとして、計測用テレメーター用に最大400kHzの占有帯域幅、空中線電力1Wの3波が周波数割当てされている。

今回、高度利用に向けて検討するに当たり、これら方式での運用条件内で運用することにより、既設割当て周波数と同様の無線性能を実現し、他のシステムとの共用が行えることを確認する。また、高度利用を行うため、今回実証実験を行った占有帯域幅300kHzでの運用検討を行う。また、隣接周波数での帯域内運用を想定し、占有帯域幅を100kHzとした際にチャンネル帯域内での繰返し条件について検討を行う。

上側隣接帯域との周波数共用条件の検討においては、H19年6月27日「情報通信審議会情報通信技術分科会電波有効利用方策委員会報告」※ においてVHF帯の電波の有効利用方策の検討が行われている。今回の検討においても、この委員会報告を尊重して共用検討を行うものとする。

下側隣接帯域

既存の通信システム  
(放送事業者用連絡無線など)

テレメーター・  
テレコントロール

上側隣接帯域

公共用広帯域移動通信システム

# 1 共用検討の方法（その2）

## (1) 検討対象周波数帯域

今回検証対象の周波数帯は、169.050MHzから169.3975MHzと169.8075から170.000MHzの帯域となる。各周波数の上限および下限の周波数に、占有帯域幅300kHzの2倍を乗じた帯域を検討対象周波数とする。

下限周波数： $168.450\text{MHz} = 169.050\text{MHz} - 2 \times 0.3\text{MHz}$

上限周波数： $170.600\text{MHz} = 170.000\text{MHz} + 2 \times 0.3\text{MHz}$

## (2) 検討対象周波数帯の代表的なシステム

下側隣接帯域：放送事業者用連絡無線

上側隣接帯域：公共用広帯域移動通信システム

## (3) 下側隣接帯域との共用検討の考え方

下側隣接帯域は、デジタル方式の放送事業用連絡用無線の高群との共用検討となり、既存の広帯域テレメーターで規定される無線規格を満足する条件であれば、相互運用が可能として運用検討されており、広帯域テレメーターの運用条件内であれば、干渉に対する影響はないものと想定される。また、上空での利用は、無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルールである飛行高度150m※を上限として検討する。

## (4) 上側隣接帯域との共用検討の考え方

上側隣接帯域は、アナログテレビジョン放送で使用されていたが、放送のデジタル化により、現在は「公共用広帯域移動通信システム（以下、公共BB）」が使用している。過去に公共用広帯域移動通信システムを導入する際、隣接周波数との干渉検討が行われており、これらの結果をもとに検討を行うものとする。

※：国土交通省令 航空法施行規則第二百三十六条の二

## 2 干渉検討パラメータ／(1)下側隣接帯域

### (1)下側隣接帯域

放送事業者用連絡無線 ARIB STD-B54

干渉条件	機種	基地局	移動局		
	仕様	基地局	車載機	へリ搭載機	携帯機
与干渉	送信出力	50W	10W／50W	1W/5W	1W/5W
	周波数	高群 (168MHz帯)	低群 (166MHz帯)		
	占有帯域幅	5.8kHz			
	損失 G:空中線利得 L:フィーダ損失 F:フィルタ損失	G=10.2dBi L=3.0dB F=4.5dB	G=4.65dBi L=1.0dB F=0.0dB	G=2.15dBi L=0.0dB F=0.0dB	
	空中線高	30～200m	1～10m		
被干渉	周波数	低群 (166MHz帯)	高群 (168MHz帯)		
	等価受信帯域幅	5.8kHz			
	外来雑音	-122.6dBm			
	所要S/N、C/N	16.0dB			



## 2 干渉検討パラメータ／(2)上側隣接帯域

### (2)上側隣接帯域

#### 公共用広帯域移動無線システム

干渉条件	機種	集中制御通信モード		自律通信モード	
	仕様	移動	基地	移動	基地
与干渉	送信出力	20W			
	中心周波数	175.0MHz			
	占有帯域幅	4.6MHz			
	損失 G:空中線利得 L:フィーダ損失 F:フィルタ損失	G=0.0dBi L=0.0dB F=0.0dB	G=10.0dBi L=2.0dB F=0.0dB	G=7.0dBi L=0.0dB F=0.0dB	G=6.0dBi L=2.0dB F=0.0dB
	空中線高	50m		1.5m	
被干渉	中心周波数	175.0MHz			
	等価受信帯域幅	4.6MHz			
	NF	8.0dB	5.0dB	8.0dB	5.0dB
	想定外来雑音	-100.9dBm/MHz			
	ダイバシティ利得	0dB	3.0dB	0dB	
	所要C/N	7.9dB	8.9dB	7.9dB	8.9dB



## 2 干渉検討パラメータ／(3) 自帯域

### (3) 自帯域

広帯域テレメーター(既設システム)

干渉条件	機種	計測用テレメーター		騒音テレメーター
与干渉	送信出力	1W		0.03W
	周波数	169.25MHz/ 169.65MHz/ 169.81MHz		169.09MHz~169.81MHz
	占有帯域幅	400kHz		30kHz
	損失 G: 空中線利得	G=0.0dBi		
被干渉	周波数	169.25MHz/ 169.65MHz/ 169.81MHz		169.09MHz~169.81MHz
	受信帯域幅	400kHz		30kHz
	ダイバシティ利得	0dB	0dB	0dB
	許容電界強度	55dB $\mu$ V/m		

### 3 共用条件の検討／(1)下側隣接システムとの共用条件 (その1)

#### (1)下側隣接システムとの共用条件

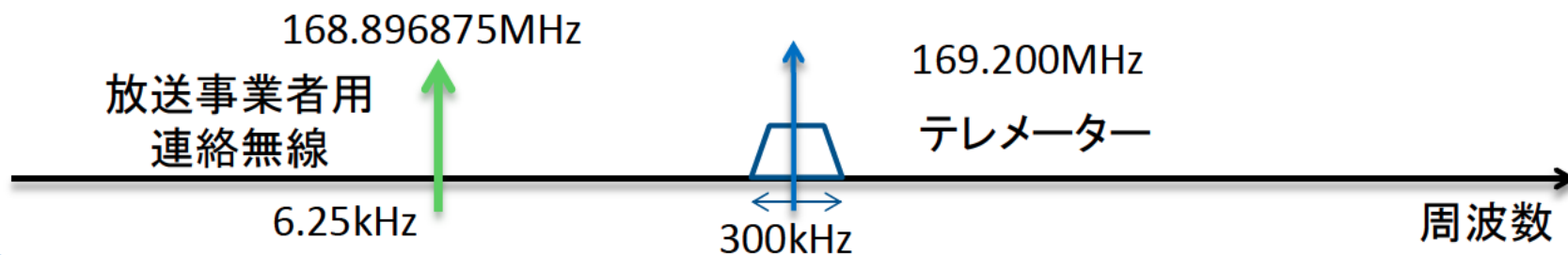
##### ①検討方針(周波数条件)

下側隣接システムで使用される放送事業者用連絡無線システムのチャンネル割当にて一番周波数の高い168.896875MHzと、広帯域テレメーターにて下側隣接システムに近い周波数である、中心周波数169.2MHzの2波が使用された場合を想定し、周波数共用条件を検討する。

##### ●検討諸元

諸元	広帯域 テレメーター	放送事業者連絡無線	
		基地局	移動局
送信出力	1W	50W	10W
中心周波数	169.2MHz	送信：168.896875MHz	受信：168.896875MHz
占有帯域幅	300kHz	6.25kHz	
所要C/N	10dB	16dB	

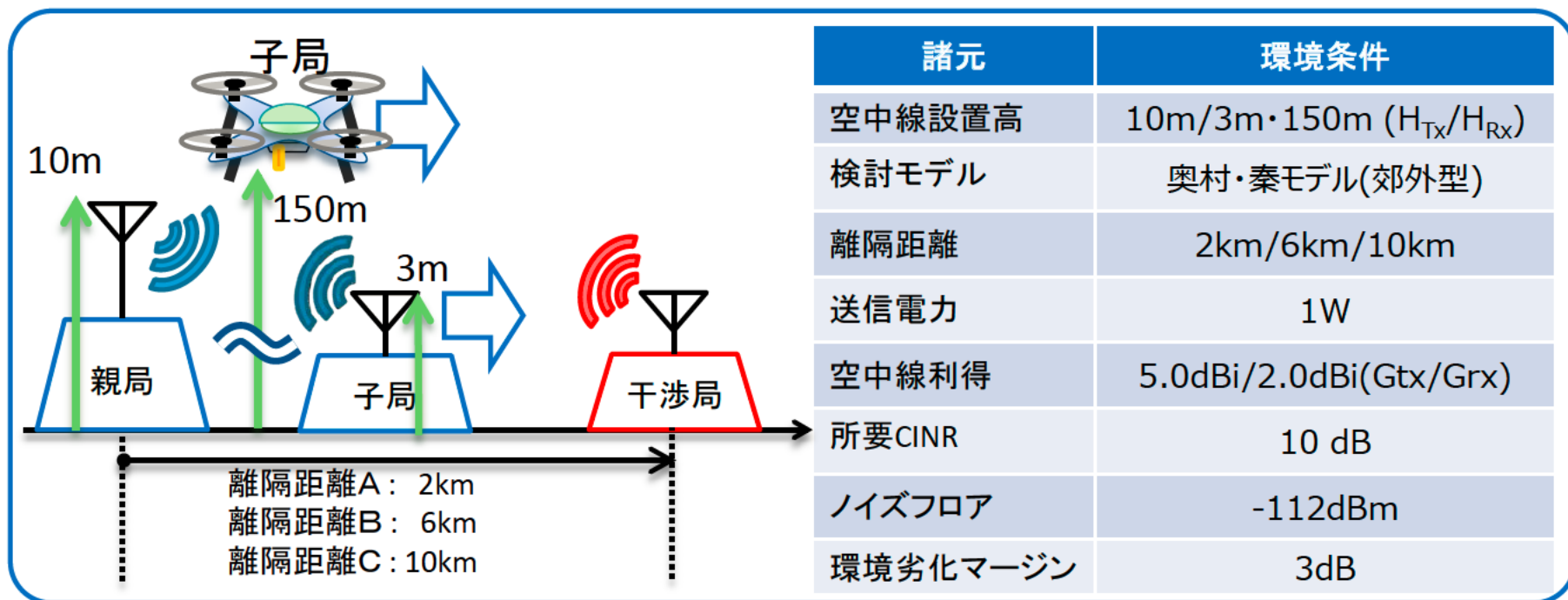
##### ●検討条件 “下側隣接システムの周波数関係”



### 3 共用条件の検討／(1)下側隣接システムとの共用条件（その2）

#### ②環境条件

本検討では、陸上に親局、陸上または上空に子局が開設され、干渉局となる放送事業者用連絡無線が設置されたことを前提として検討を行う。検討は親局と子局の間隔をパラメータとする方法で行い、干渉局との離隔距離を2km,6km,10kmの3段階とした場合に、親局に対する干渉影響を確認する。なお、干渉局は放送事業者用連絡無線の干渉検討パラメータを使用する。子局の移動範囲は、親局から干渉局までの間とし、空中線高は3mと150mとする。検討条件として、無線局の送信電力および空中線利得は親局、干渉局共に同一とする。また、空間伝搬損失は奥村・秦モデルの郊外型モデルを使用する。



放送事業者用連絡無線への与干渉ケースの条件設定及び共用計算・検証を実施中。

### 3 共用条件の検討／(2)上側隣接システムとの共用条件（その1）

#### (2)上側隣接システムとの共用条件

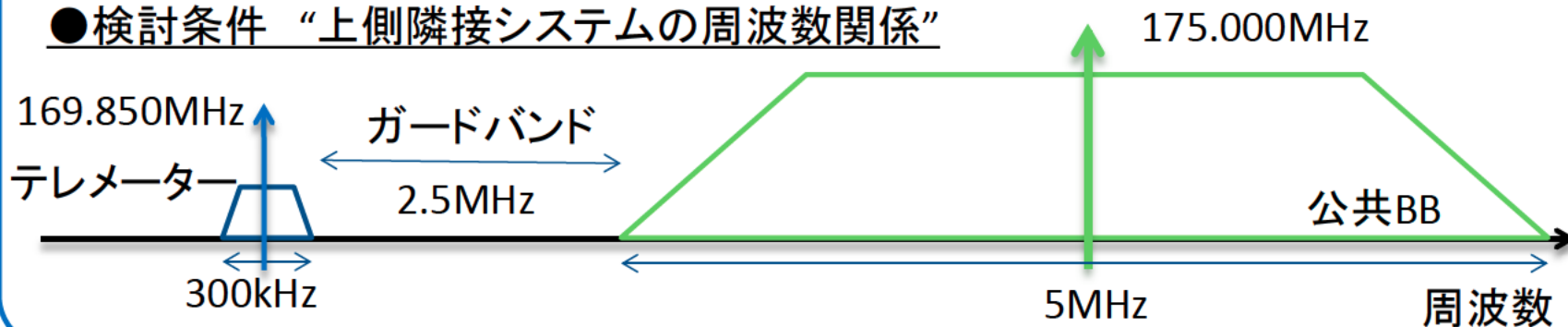
##### ①検討方針(周波数条件)

上側隣接システムで使用される公共BBのチャンネル割当にて一番周波数の低い175MHzと、広帯域テレメーターにて上側隣接システムに隣接する周波数である、中心周波数169.85MHzの2波が使用された場合を想定し、周波数共用条件を検討する。

##### ●検討諸元

諸元	広帯域テレメーター	公共BB
送信出力	1W	20W
中心周波数	169.85MHz	175.0MHz
占有帯域幅	300kHz	5MHz
所要C/N	10dB	8.9dB

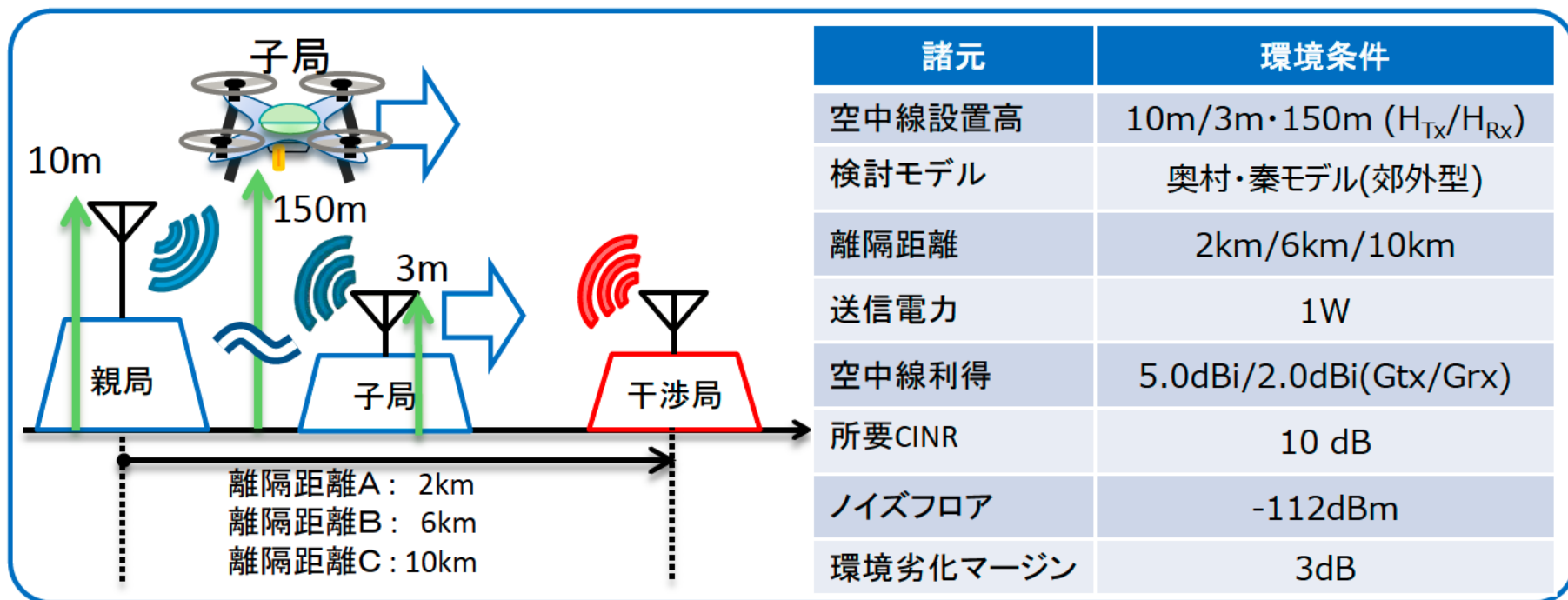
##### ●検討条件 “上側隣接システムの周波数関係”



### 3 共用条件の検討／(2)上側隣接システムとの共用条件（その2）

#### ②環境条件

本検討では、陸上に親局、陸上または上空に子局が開設され、干渉局である公共BB移動局が設置されたことを前提として検討を行う。検討は親局と子局の間隔をパラメータとする方法で行い、干渉局との離隔距離を2km,6km,10kmの3段階とした場合に、親局に対する干渉影響を確認する。ただし、干渉局は公共BB移動局の干渉検討パラメータを使用する。子局の移動範囲は、親局から干渉局までの間とし、空中線高は3mと150mとする。検討条件として、無線局の送信電力およびアンテナ利得は親局、干渉局共に同一とする。また、空間伝搬損失は奥村・秦モデルの郊外型モデルを使用する。



公共用広帯域移動無線への与干渉ケースの条件設定及び共用計算・検証を実施中。

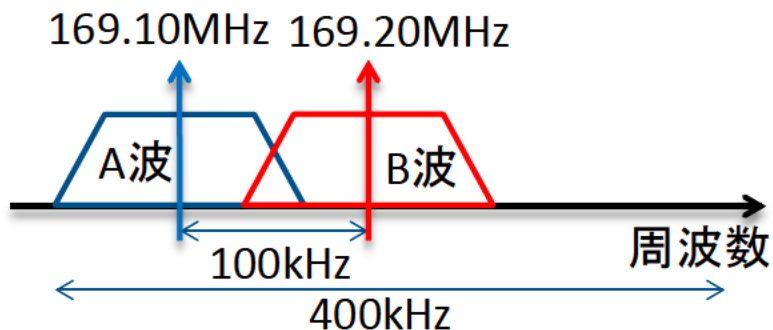
### 3 共用条件の検討／(3) 自帯域における陸上利用時の共用検討（その1）

#### (3) 自帯域における陸上利用時の共用検討

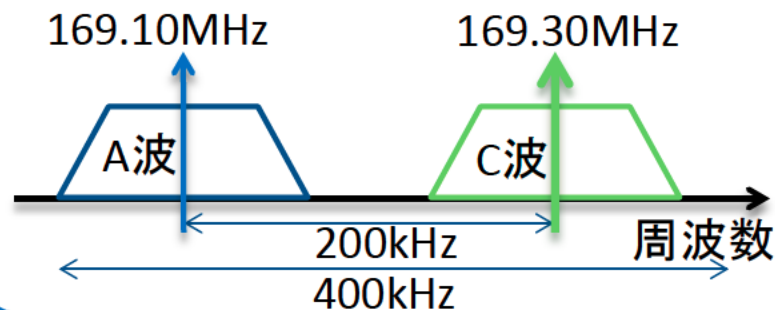
##### ① 検討方針(周波数条件)

自帯域となる169.250MHzを中心とした400kHzの帯域内に占有帯域幅100kHzの2波を配置する事を仮定し、周波数共用条件を検討する。検討諸元を表に記載する。本検討では周波数間隔100kHzの隣接チャネル検討と、200kHzの次隣接チャネルを検討する。

##### ● 検討条件1 “隣接チャネル検討”



##### ● 検討条件2 “次隣接チャネル検討”



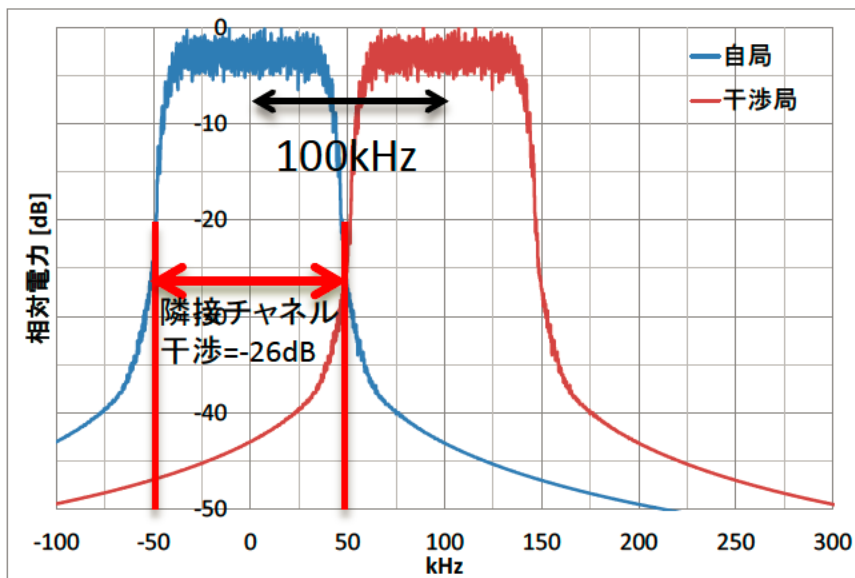
諸元	検討値
送信出力	1W
中心周波数	A波: 169.10MHz B波: 169.20MHz C波: 169.30MHz
占有帯域幅	100kHz
シンボルレート	80kHz



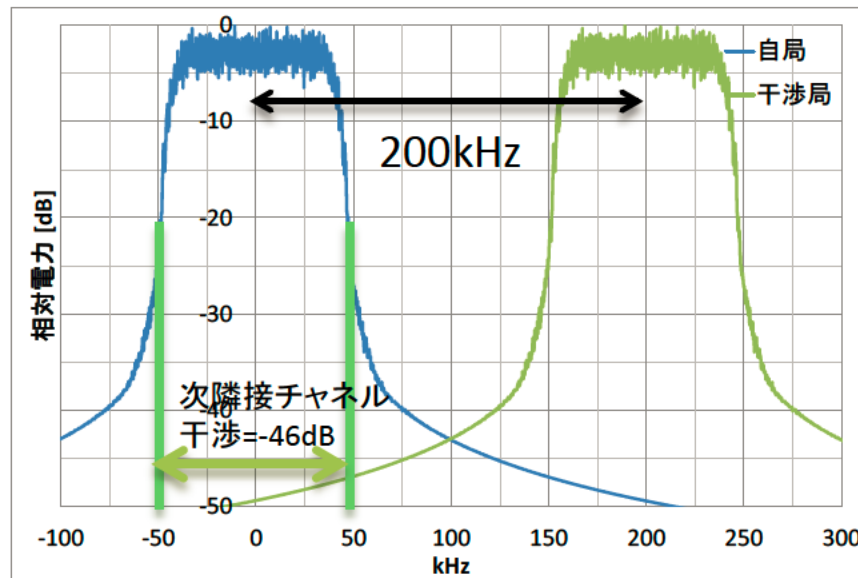
### 3 共用条件の検討／(3) 自帯域における陸上利用時の共用検討 (その2)

計算機シミュレーションで取得したスペクトラムを下図に示す。自局チャンネルに対して、隣接チャンネル、または、次隣接チャンネルから漏れこむ電力が干渉電力となる。干渉電力および自局からの電力は、各局との相対的な距離によって変化する。

#### ・スペクトラム



隣接チャンネル

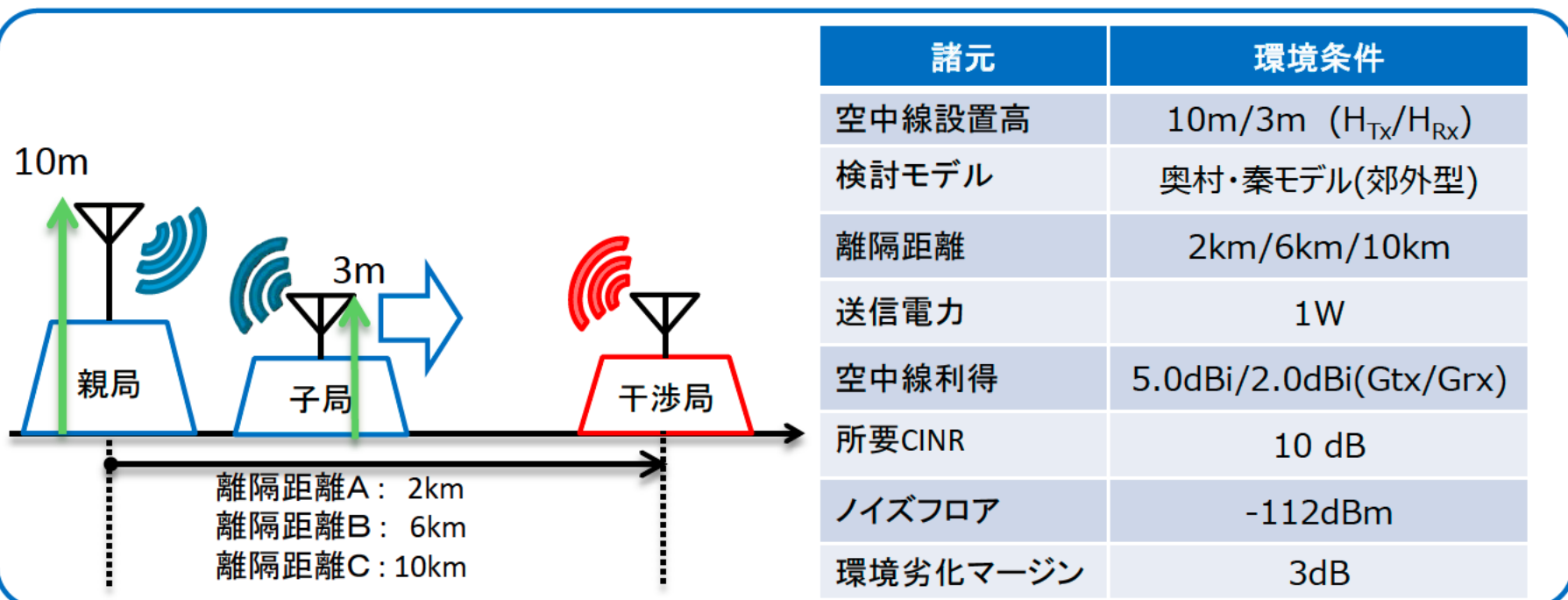


次隣接チャンネル

### 3 共用条件の検討／(3) 自帯域における陸上利用時の共用検討（その3）

#### ②環境条件

本検討では、陸上に親局と子局が開設された場合を前提として検討を行う。検討は親局と子局の間隔をパラメータとする方法で行い、干渉局との離隔距離を2km,6km,10kmの3段階とした場合に、親局に対する干渉影響を確認する。ただし、子局の移動範囲は、親局から干渉局までの間とする。検討条件として、無線局の送信電力および空中線利得は親局、干渉局共に同一とする。また、空間伝搬損失は奥村・秦モデルの郊外型モデルを使用する。





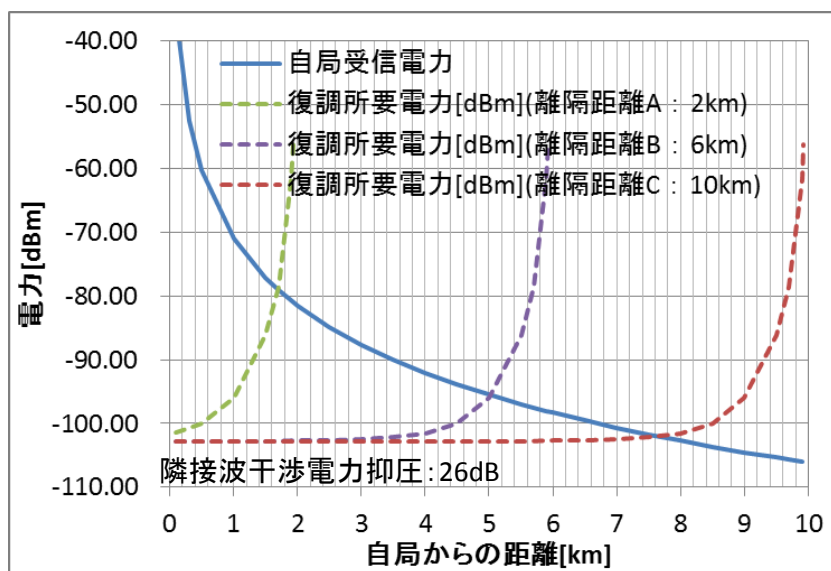
### 3 共用条件の検討／(3) 自帯域における陸上利用時の共用検討 (その4)

#### ③計算結果

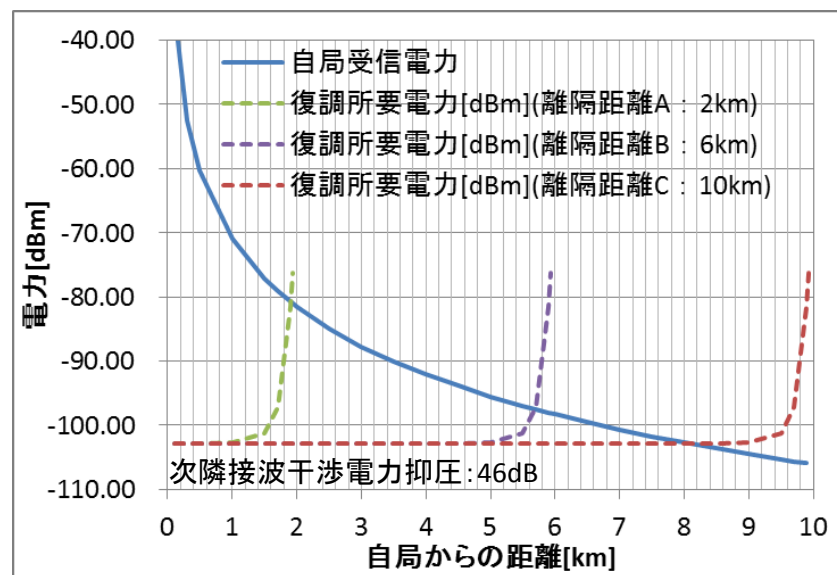
図中の青線は自局からの受信電力を示し、破線は復調に必要な受信電力を示し、無線局の間隔毎に緑線:2km、紫線:6km、赤線:10kmとしている。

検証の結果、自局から距離が離れるにしたがい受信電力が減衰し、干渉局の近傍になるにつれ、干渉電力が高くなるため復調に必要な受信電力が高くなる。また、隣接波を使用した場合の方が、次隣接波を使用した場合に比べ、干渉電力が大きくなる。

#### 検討条件1 隣接波との干渉



#### 検討条件2 次隣接波との干渉



### 3 共用条件の検討／(3) 自帯域における陸上利用時の共用検討（その5）

#### ④ 検証結果

##### ・隣接チャネルからの干渉：

親局と干渉局の距離が近くなるに従い、通信可能距離は短くなる。離隔距離が10kmの場合は、干渉電力に比べ親局の受信機における熱雑音が支配的となり、通信可能距離に影響はない。離隔距離が6kmまで近づくと干渉局の影響により、通信可能距離が短くなる。

##### ・次隣接チャネルからの干渉：

次隣接波の場合は、希望波への漏洩電力が少ないため、干渉波の影響は非常に軽微となり、離隔距離が2kmの場合でも、干渉局から100m以上離れた地域では、干渉局の影響は無く、自帯域内における共用も可能となる。

検討条件	通信可能距離	
	隣接チャネル (周波数間隔100kHz)	次隣接チャネル (周波数間隔200kHz)
離隔距離A(2km)	1.6km (干渉局から0.4kmは使用不可)	1.9km (干渉局から0.1kmは使用不可)
離隔距離B(6km)	5.0km (干渉局から1.0kmは使用不可)	5.6km (干渉局から0.4kmは使用不可)
離隔距離C(10km)	7.6km (ほぼ影響なし)	8.0km (影響なし)

※最大通信可能距離は8.0kmとなる。

### 3 共用条件の検討／(4) 自帯域における上空利用時の共用検討（その1）

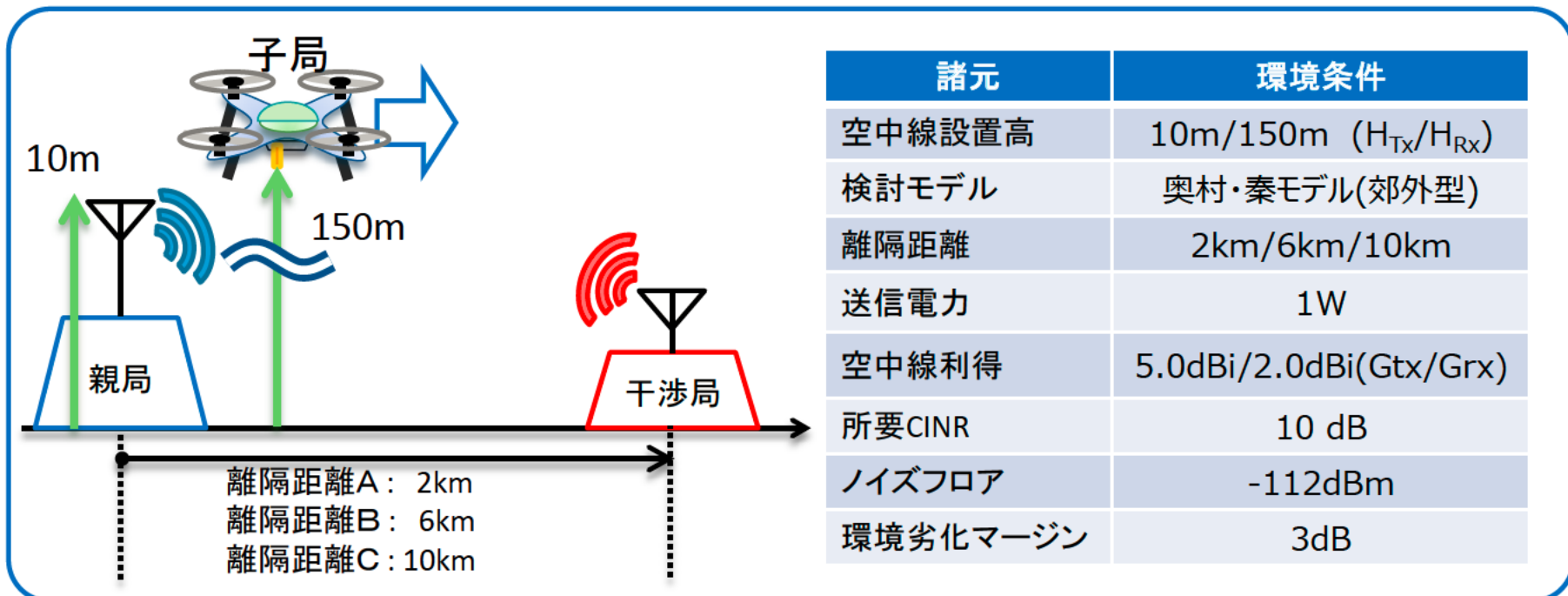
#### (4) 自帯域における上空利用時の共用検討

##### ① 検討方針(周波数条件)

自帯域における陸上利用時の共用条件と同一条件とする。上空利用は、UAVを前提とし、無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルールに指定される高度150m以下で検討を行う。

##### ② 環境条件

本検討では、陸上に親局、上空に子局が開設された場合を前提として検討を行う。検討は、陸上利用時と同一の離隔距離とする。なお、空間伝搬損失は奥村・秦モデルの郊外型モデルを使用する。

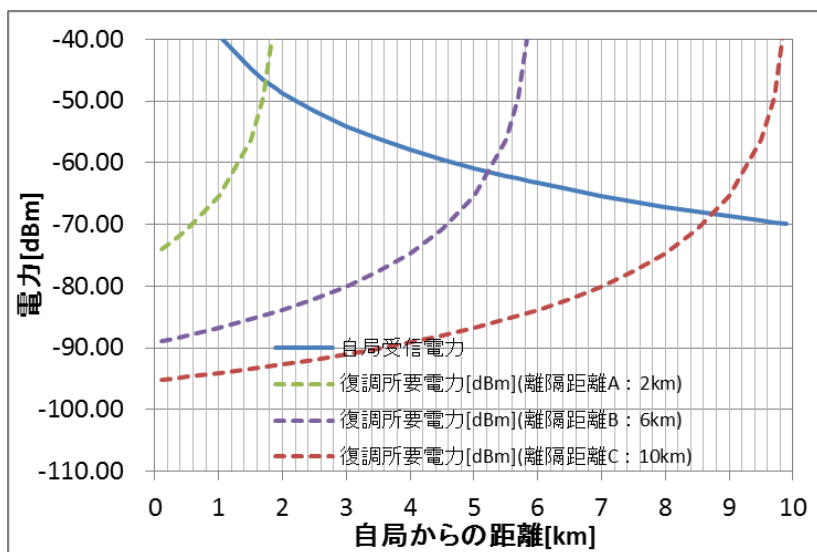


### 3 共用条件の検討／(4) 自帯域における上空利用時の共用検討 (その2)

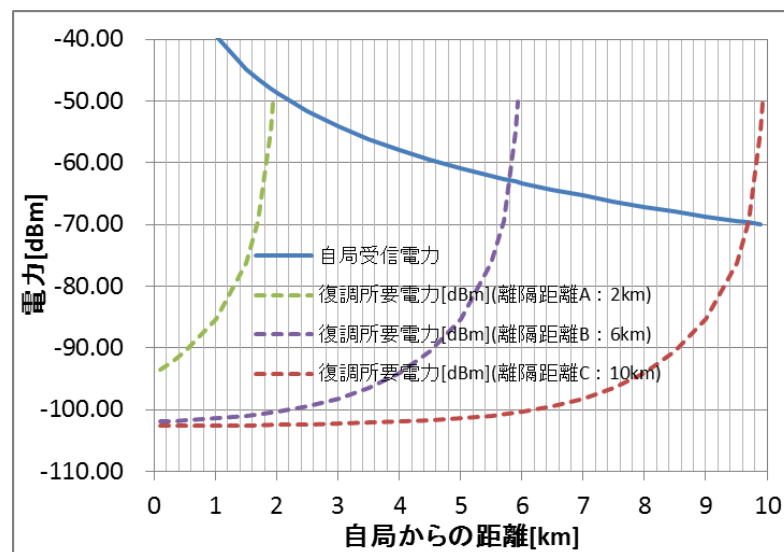
#### ③ 計算結果

陸上利用時に比べ、損失が低下したことから親局の受信電力が高くなっている。一方、所要電力は陸上利用時と同じとなる。

#### 検討条件1 隣接波との干渉



#### 検討条件2 次隣接波との干渉



#### ④ 検証結果

検証の結果、陸上利用時に比べ、全般的に使用可能範囲が拡大しているが、傾向は陸上利用と同じ傾向を示しており、上空利用においても、陸上利用と同じ共用条件で利用が可能と判断できる。

## 【3】実証試験のまとめ

# 実証試験のまとめ（その1）

## ■ 基本検討項目の抽出

### (1) 1次変調方式の要件

- 4値FSK方式は、PAPRの点において優れているが、周波数利用効率が低くまた伝送レートが低いため、画像伝送を行う際には、非常に低レートの伝送となることが避けられない。
- 16QAM方式は、周波数利用効率に優れ、画像伝送に必要な伝送レートも十分に確保できる反面、PAPRの影響によりパワーアンプの設計や消費電力の問題から小型、低消費電力化が難しいと判断される。
- QPSK方式は、コンスタレーションの軌跡は振幅成分を含むものの、位相成分のみに情報を載せる方式となり、PAPRにおいても16QAM方式に比べ容易にパワーアンプの設計が可能となる。また、伝送レートにおいても、画像伝送を行うのに必要となる速度を確保可能なことが確認された。

以上より、小型・軽量で準動画の送信に適した無線送受信装置には、1次変調方式としてはQPSK方式が適していると考えられる。（なお、今回検討を行った4値FSK方式、16QAM方式ともに長所もあるため、テレメーター・テレコントロール用の無線設備として、各々の得失を活かした無線設備の構築も可能と考えられる。）

### (2) 2次変調方式の要件

- SC方式では、遅延波の数に応じて処理量が指数関数的に増加することから、複数の遅延波が存在する環境で使用するには、ハードウェアの構成が大規模となる。
- SCBT方式では、遅延等化に係る演算処理量が遅延波数に依存せず一定の処理量となり、屋外における運用を前提とした伝搬環境を考慮すると、SCBT方式が有利と考えられる。

以上より、2次変調方式としては、屋外での利用が見込まれるテレメーター・テレコントロール用途として、伝搬環境の影響を受けにくいSCBT方式を設定することが適していると考えられる。

# 実証試験のまとめ（その2）

## ■ 画像伝送に必要な帯域幅

### (1) 動画伝送の要件

動画フォーマットとしては、H.264フォーマットとし、画像サイズはQVGA(320×240ピクセル)を用いた。この基本ビットレートは120kbpsとなる。

また、動画の画像品質としては、1秒間に5枚の画像を送り、画像の駒落ちは許容するが、極力ブロックノイズによる画像の破綻を回避するため、Iフレームのみを送る方式とした。なお、今回は5fpsの動画とするためビットレートを120kbpsとしたが、Iフレームの送信枚数を低減する事により、ビットレートを下げることで低レートの伝送路でも送信できるものと考えられる。

### (2) 動画伝送に必要な帯域幅

無線機においては、1次変調方式をQPSK方式とし、データ伝送を行うため、パケット化(プリアンブル、パイロット挿入)、誤り訂正(畳込み符号:拘束長 $K=7$ 、符号化率 $R=1/2$ )を導入した。この際、実使用周波数帯域幅は、99%電力帯域を300kHzに収まるよう275kHzと設定した。

- この結果、今回用いた動画フォーマットはビットレートが120kbpsであり、QPSK方式で実伝送レート382.8kbps、QPSK+FEC(畳込み符号有)で実伝送レート190.9kbpsが確保できているため、この2種類の方式において動画の伝送が可能となる。
- 複数チャネルの共用を考慮した場合、帯域幅を300kHzから200kHzもしくは100kHzに狭めた運用も考慮する必要がある。これら帯域に狭めた際の実伝送レートは比例して低下し、QPSK方式では、帯域幅を200kHzとした場合、実伝送レートは255.2kbpsとなる。また、QPSK+FECでは、帯域幅を100kHzとした場合、実伝送レートは127.2kbpsであり、今回設定した動画フォーマットを何とか送信できるものと想定される。

(なお、4値FSK方式では、実使用周波数帯域幅275kHzにおいて、実伝送レートが95.7kbpsとなり、今回準備した動画フォーマットは送信できず、フレーム数を削減した動画フォーマットが必要となる。)



# 実証試験のまとめ（その3）

## ■ 通信可能エリア

### (1) 通信エリアの設定

フィールド試験を行う電波伝搬環境の要件として、郊外型の都市及び平野・山林が広がる開放型の地域を満足するエリアを調査した結果、岩見沢市のいわみざわ公園を起点として、郊外型都市モデルとなる北部の岩見沢市街地（エリアA）、開放地見通し環境モデルとなる西部地域（エリアB）、山林等遅延波環境モデルとなる東部地域（エリアC）3つのエリアが満足していることから、当該地域を通信エリアとして設定した。

各エリアにおいては、おおよそ1km毎に測定ポイントを設け、最長6km付近まで、BER、受信機入力電圧及び遅延プロファイルを測定した。

### (2) 想定される送信出力

測定結果より、

送信点の空中線地上高3mのもと、送信出力5mW・変調方式QPSK方式（誤り訂正あり）の無線送受信装置を使用した場合、開放地見通し環境であるエリアB、及び山林等の遅延波環境となるエリアCにおいて2km程度の伝送距離の確保が確認された。一方で、郊外型の都市部となるエリアAにおいては、家屋による遮蔽の影響のためエリアB及びCよりも短い伝送距離となることが確認された。

同様に、送信点の空中線地上高22mのもとでは、エリアB及びエリアCにおいては3～4km程度の伝送距離の確保が確認され、エリアAにおいては、家屋による遮蔽の影響のためエリアB及びCよりも短い伝送距離となることが確認された。

これらの結果から、広帯域テレメーターをエリアBの開放地見通し環境に近い圃場で使用する場合、今回の実証試験で使用した送信出力5mWに対し、送信出力を20mW程度とすることにより、実運用環境において5km程度の伝送距離を確保できるものと考えられる。

（なお、公開実証試験においてUAVを用いて空中線地上高を100m程度まで上げた場合には、回線がほぼ見通しとなることから、エリアA方向においても5.3km程の区間でブロックノイズの無い画像伝送を行えることが確認できている。よって送信電力が100mW程度あれば、上空で見通しとなる郊外型の都市部環境であれば10km程度の通信距離が確保できるものと考えられる。）



# 実証試験のまとめ（その4）

## ■ 通信可能エリア

### (2) 想定される送信出力

今回の検証結果より、

- 一般に開放地で、家屋の屋上と、圃場のトラクタなどの屋根に空中線を設置して使用する用途であれば、送信出力20mW以下が適当と考えられる。この場合、家屋の屋上に空中線地上高10m程度の親局用空中線を設置し、センサーとなる機器を子局としてトラクタなどの屋根(3m程度)に設置する条件とした場合、半径5km程度の範囲でデータの授受が可能となる。また、周辺地域における周波数の繰り返し使用も可能となる。
- 郊外型の都市部環境での使用を想定する場合は、建造物などの影響により遮蔽損失が増大することが想定され、同じ伝送距離を得るためには、送信出力を100mW程度とすることが望ましいと考えられる。
- 非常災害時(火山の噴火状態、土砂災害現場等)における利用については、人が立ち入れない環境でもあり、遠距離で安定した通信状態を維持することが重要なため、このような状況下においては、送信出力1W以下での運用が必要と考えられる。なおこの際は、周囲で使用される広帯域テレメータ無線局への干渉等を広範囲に考慮する必要がある。

## 【4】技術的条件案

# 技術的条件案（その1）

広帯域テレメーター・テレコントロール用無線局に適した無線システムの技術的条件については、以下のとおり定めることが適当である。

## 1. 一般的条件

### 1.1 変調方式

広帯域テレメーター・テレコントロール用無線局に適した方式として、QPSK変調(直行振幅変調)方式とすること。ただし、ユーザのニーズに応じて4値FSK変調(周波数振幅変調)方式、16QAM変調(16値直交振幅変調)方式も使用可能とすること。

### 1.2 周波数

「169.050MHz～169.3975MHz」及び「169.8075MHz～170.000MHz」であること。

### 1.3 電波の型式

次に示す、いずれかの電波であること。 F1D、G1D、D1D、F1E、G1E、D1E、F1F、G1F、D1F

## 2. 無線設備の技術的条件

### 2.1 送信装置の条件

#### (1) 周波数の許容偏差

±3.0×10<sup>-6</sup>以内であること。

#### (2) 占有周波数帯幅の許容値

300kHz以内であること。

#### (3) スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値

設備規則別表第3号第7条に準拠していること。

#### (4) 空中線電力及びその許容偏差

空中線電力は、1W以下とすること。

空中線電力の許容偏差は、上限20%、下限50%とすること。

#### (5) 隣接チャネル漏えい電力

1W以下の無線局の場合は 45dB以上低い値とすること。

### 2.2 受信装置の条件

#### (1) 副次的に発する電波等の限度

4ナノワット以下であること。

# 技術的条件案（その2）

## 3. 測定法

測定に用いる変調入力信号は、特別の規定がない限り、データ端子から与えた標準符号化試験信号（符号長511ビット2値擬似雑音系列）とするか又は装置内で発生した標準符号化試験信号とする。

### 3.1 送信装置

#### (1) 周波数の偏差

無変調波を送出してこれを周波数計で測定すること。

#### (2) 占有周波数帯幅

標準符号化試験信号を入力信号として加えたときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分におけるそれぞれの電力和が、全電力の0.5%となる周波数幅を測定すること。

#### (3) スプリアス発射又は不要発射の強度

##### 1) スプリアス発射の強度

変調はテストモードの設定で無変調搬送波を発生させ、スペクトルアナライザを用いて測定するものとする。

##### 2) 不要発射の強度

占有周波数帯幅を測定する変調状態にして、スペクトルアナライザを用いて平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を測定する。

#### (4) 空中線電力の偏差

##### 1) QPSK変調方式／16QAM変調方式

変調された連続波とし、標準符号化試験信号を入力して、平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を測定する。

##### 2) 4値FSK変調方式

標準符号化試験信号を入力信号として加えフレーム構造を含まない連続波送信状態として、平均電力（バースト波にあっては、バースト内の平均電力）を測定する。

#### (5) 隣接チャネル漏洩電力

占有周波数帯幅を測定する変調状態にしてスペクトルアナライザを用いて変調された搬送波の電力及び搬送波から隣接チャネル間隔離れた周波数において技術基準で定められる帯域内の電力を測定し、搬送波電力との比を測定することが適当である。

### 3.2 受信装置

#### (1) 副次的に発する電波等の限度

空中線端子に擬似負荷（インピーダンス整合回路又は減衰器等）を接続しスペクトルアナライザ等を用いて測定すること。