

第4章 アナログ無線局とデジタル無線局の

周波数を共用する際に考慮すべき条件

第1節 アナログ波とデジタル波を共用する場合の検討

(1) 共用する場合の問題点

ア 実証試験における妨害試験結果から予想される問題点

(ア) 妨害波試験の概要

図4-1に示すシステム構成でアナログ、デジタル通信時に、アナログ、デジタル局から妨害を与える実証試験を行った。(第3章第1節(3)参照)試験方法は「固定局と希望波局の距離」と「固定局と妨害波局の距離」及び「希望波からの離調周波数」を変化させ妨害を与えたときのメリットを観測している。

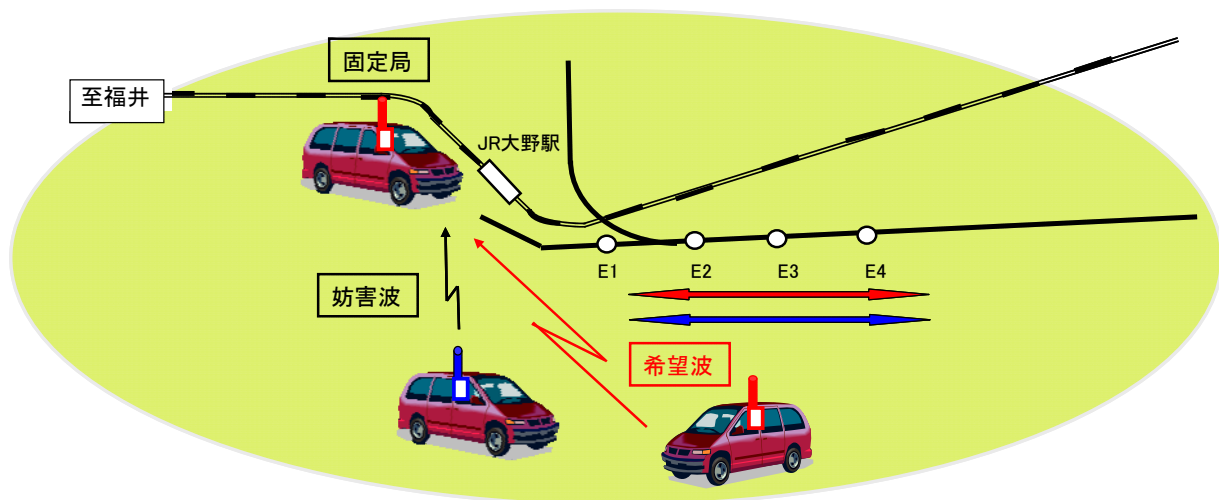


図4-1 妨害波の実証試験のシステム構成図

試験手順は下記組合せで行った。

- A. アナログ通話中にアナログ機で妨害した試験
- B. アナログ通話中にデジタル機で妨害した試験
- C. デジタル通話中にデジタル機で妨害した試験
- D. デジタル通話中にアナログ機で妨害した試験

(イ) 妨害試験の試験結果

試験結果は第3章第1節(3)にグラフで示されているが全体を把握するため、表4-1にまとめた。離調周波数が0kHzは、希望波と妨害波が同一周波数を表す。妨害状況をわかり易くするため、妨害を受けなかったところ（両者とも受信のメリットが4以上）ところは網掛けを行った。

表 4-1 妨害試験の試験結果

希望波局間の距離	希望波局←妨害波局	離調周波数	固定局←妨害波局の距離とメリット(A社/B社)					
			0km	0.5km	1.0km	1.5km	2.0km	3.0km
0km	A. アナログ←アナログ	0kHz	4/2	5/5	5/5			
		+20kHz	5/5					
	B. アナログ←デジタル	0kHz	3/3	5/5	5/5			
		+6.25kHz	3/5	5/5	5/5			
		+12.50kHz	5/5					
		+18.75kHz	5/5					
	C. デジタル←デジタル	0kHz	5/5					
		+6.25kHz	5/5					
		+12.50kHz	5/5					
		+18.75kHz	5/5					
	D. デジタル←アナログ	0kHz	3/1	5/5				
		+6.25kHz	5/3	5/5				
+12.50kHz		5/5	5/5					
+18.75kHz		5/5	5/5					
0.5km	A. アナログ←アナログ	0kHz	3/1	5/1	-/4			
		+20kHz	-/3	-/5				
	B. アナログ←デジタル	0kHz	1/1	1/4	5/5			
		+6.25kHz	1/1	4/4	5/5			
		+12.50kHz	4/1	5/5				
		+18.75kHz	5/4	5/5				
	C. デジタル←デジタル	0kHz	1/1	1/1	5/5			
		+6.25kHz	5/1	5/5	5/5			
		+12.50kHz	5/5	5/5	5/5			
		+18.75kHz	5/5	5/5	5/5			
	D. デジタル←アナログ	0kHz	1/1	1/1	5/5	5/-		
		+6.25kHz	1/1	5/5	5/5	5/-		
+12.50kHz		3/5	5/5	5/5	5/-			
+18.75kHz		5/5	5/5	5/5	5/-			
1.5km	A. アナログ←アナログ	0kHz	1/1	1/1	4/1	3/3	3/4	4/4
		+20kHz	1/1	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	B. アナログ←デジタル	0kHz	1/1	1/1	1/1	1/1	1/3	4/4
		+6.25kHz	1/1	1/1	1/1	5/3	1/4	5/4
		+12.50kHz	1/1	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
		+18.75kHz	1/1	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	C. デジタル←デジタル	0kHz	1/1	1/1	1/1	1/1	1/4	5/5
		+6.25kHz	1/1	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
		+12.50kHz	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
		+18.75kHz	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
	D. デジタル←アナログ	0kHz	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	5/5
		+6.25kHz	1/1	5/5	5/5	5/5	5/4	5/5
+12.50kHz		3/1	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	
+18.75kHz		4/1	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5	

(ウ) 考察

- ① アナログ通信にアナログ機で妨害した場合 (A. アナログ←アナログ)、希望波局間の距離、及び妨害波局の距離が 0km であっても隣接チャンネルの妨害は受けないが、希望波局だけが 0.5km 以上離れると妨害を受ける。
- ② アナログ通信にデジタル機で妨害した場合 (B. アナログ←デジタル)、妨害波局の距離が 0.5km 以上離れると共に、離調周波数が 12.5kHz 以上であれば、良好な通信の確保が出来る。
- ③ デジタル通信にデジタル機で妨害した場合 (C. デジタル←デジタル)、及びデジタル通信にアナログ機で妨害した場合 (D. デジタル←アナログ)、妨害波局の距離が 0.5km 以上離れると共に、離調周波数が 6.25kHz 以上であれば良好な通信の確保が出来る。
- ④ A から D の全ての条件で (アナログ帯域にデジタル波を共用した場合)、固定局に対して妨害波局がどれくらい離れれば妨害を受けないか見る。
 - ・ 希望波間の距離 0km において妨害波局の距離は 0.5km 以上必要。
 - ・ 希望波間の距離 0.5km において妨害波局の距離は 1.0km 以上必要。
 - ・ 希望波間の距離 1.5km において妨害波局の距離は 3.0km 以上必要。よって、希望波間の距離に対して大よそ 2 倍の妨害波局の距離が確保できれば良好な通信が確保できた。

(エ) 問題点

- ① 希望波局と妨害波局の位置関係で妨害の度合いが変わる。どれくらいの位置関係であれば問題ないか把握する必要がある。
- ② 希望波周波数から妨害波周波数が離れれば妨害を回避できる。妨害は位置関係と離調周波数で左右される。

イ 通話表示の問題

(7) 話中検出特性試験の概要と結果

希望波の近傍の周波数の信号を受信したときの、受信機の話中 (Busy) 表示機能の動作の測定を行った結果を図 4-2 に示す。(中心周波数から離調した信号を入力し、受信入力電圧を可変して話中表示が点灯するところをプロットした。)

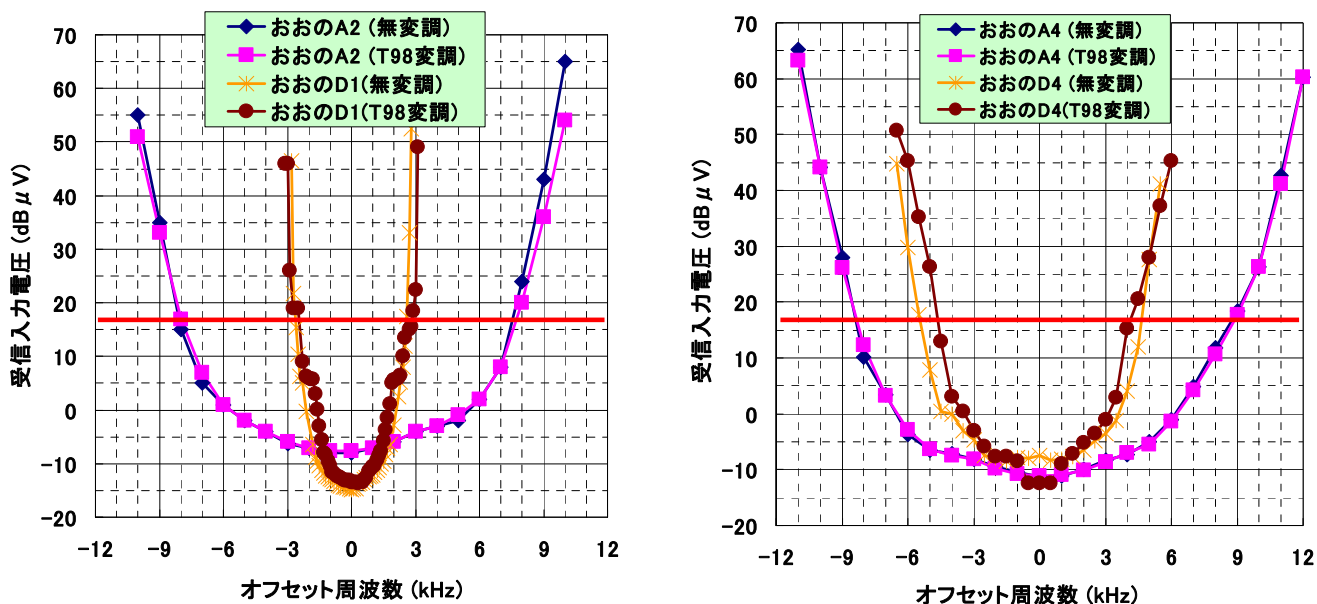


図 4-2 アナログ機とデジタル機の話中検出範囲(左図：A社、右図：B社)

(イ) 考察

- ① 話中表示が点灯するオフセット周波数範囲は受信入力電圧によって異なるため、ここでは無線設備規則第 52 条第 2 号に基づく総務省告示第 467 号(平成 20 年)の第 4 項で規定されているキャリアセンスの判定レベルである $7\mu\text{V}$ ($17\text{dB}\mu\text{V}$) を基準として検討する。話中表示が点灯する周波数範囲は、アナログ機は両社ともほぼ同じであるが、デジタル機では異なる。

A 社：アナログ機 約 $\pm 8.0\text{kHz}$ 、デジタル機 約 $\pm 2.5\text{kHz}$

B 社：アナログ機 約 $\pm 8.5\text{kHz}$ 、デジタル機 約 $\pm 4.5\text{kHz}$

- ② アナログ周波数帯にデジタル波が共存した場合、アナログ波の存在することをデジタル機が認識できなければ妨害を与えることになる。アナログ波で、デジタル機の話中表示が点灯する範囲は、点灯する範囲が狭い A 社の測定結果で考えると、 $\pm 2.5\text{kHz}$ 以内となる。

- ③ 4 値 FSK のチャンネル間隔は 6.25kHz であるため、 $\pm 6.25\text{kHz}$ 離調したデジタル波を受信した場合には、話中表示が点灯しないことが望ましい。

④ 電波法関係審査基準において、4 値 FSK の等価雑音帯域幅は 4kHz である。両社のデジタル機の受信帯域幅はほぼ 4kHz であるが、第 3 章 第 3 節 考察 で述べたようにベースバンドのデジタル信号処理アルゴリズムが異なることで点灯する範囲に差異が発生し、また受信感度よりも 20dB 以上大きい 17dB μ V にて判定した場合には受信帯域フィルタの減衰特性の傾きのために 4kHz よりも広い範囲が得られる。

⑤ 使用したデジタル実験試験局は、アナログ波を入力したときでも適切に話中表示が働くように処理を最適化したものではない。150MHz 帯デジタル簡易無線が実用化されるときには、所要 D/U（隣接チャンネル選択度）を満たした上で、 ± 6.25 kHz 離調したデジタル波を受信した場合には話中表示が点灯せず、少なくとも ± 2.5 kHz 離調したアナログ波に対しては話中表示が点灯することを条件とすることが望ましい。

(ウ) 問題点

① 図 4-3 にアナログ機に対して、デジタル機のチャンネル間隔が 5kHz オフセットした場合の話中検出の様子を示す。この場合、話中表示が点灯しない場合が考えられ、デジタル機はアナログ機の電波の存在が認識できない問題がある。

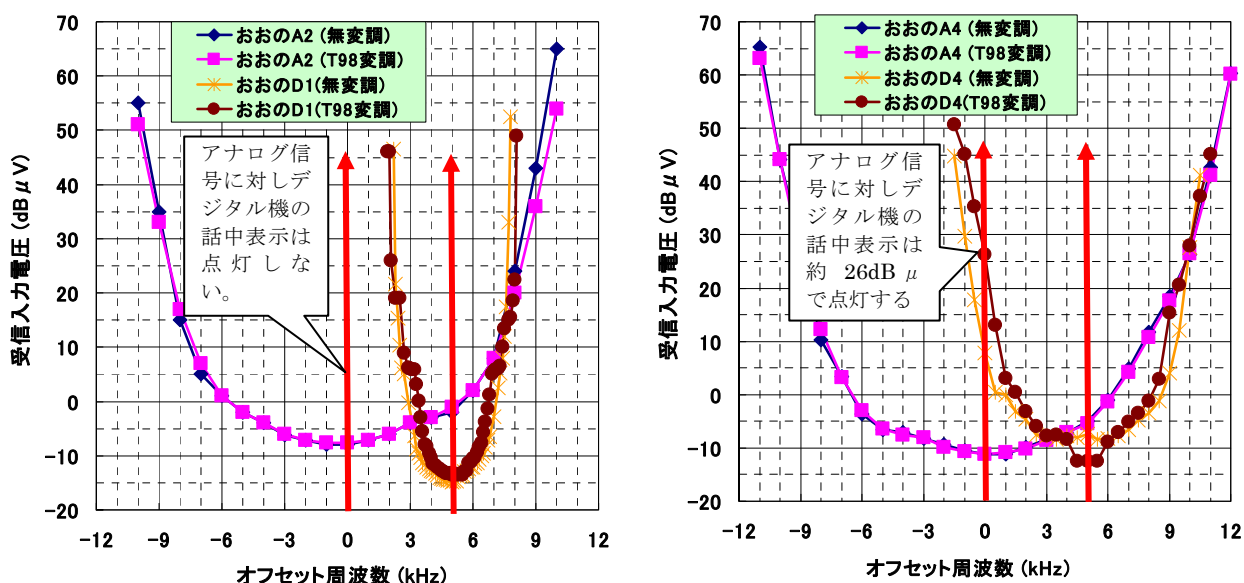


図 4-3 アナログ機とデジタル機のチャンネル間隔が 5kHz オフセットした場合の話中検出
(左図：A 社、右図：B 社)

ウ 妨害波の聴感上の問題

(7) 混信音について

① アナログ通信におけるアナログ波の妨害波の音

現行の FM 変調のアナログ通信において混信が発生した場合、受信側は強い信号の音声聞こえる。但し、両方の信号が弱くスケルチが開放状態の場合は、FM 特有のホワイトノイズが支配的に聞こえる。

② デジタル通信におけるデジタル波の妨害波の音

4 値 FSK 変調は基本的に FM 変調であるため、アナログ通信と同様に強いほうの信号の音声聞こえる。両方の信号が弱くなった場合は、一瞬ボコーダ特有の音声（AMBE+2 の場合は鼻が詰まった様な音声）が聞こえる場合があるが、ノイズは発生せず無音になる。

③ デジタル通信におけるアナログ波の妨害波の音

デジタル通信においてアナログ機からの信号は、同期ワードを検出できないため無音となる。

④ アナログ通信におけるデジタル波の妨害波の音

アナログ通信において、アナログ波より強いデジタル波が入感するとデジタル波が復調されて聞こえる。4 値 FSK は 2400bps のシンボルレートで FM 変調されるため、この FM 波をアナログ機で受信すると、「ゴー」と言う音が聞こえる。音声とは異なる機械音のため、聴感上好ましくない音である。

(1) 問題点

妨害波の聴感上の問題としては、アナログ通信においてデジタル通信の妨害があったときに、音声と異なる機械音が聞こえ、これが耳障りになり問題と考えられる。

エ 混信回避の問題（周波数切替等）

(7) 混信の回避方法

簡易無線は共用周波数であるため、混信が発生したら周波数を変更して他の空いている周波数を使用し、回避することが望まれる。

(1) 問題点

150MHz 帯の簡易無線は当初（昭和 25 年）の周波数割当ては 1 波であり、昭和 32 年に 3 波となり、その後昭和 44 年に 9 波に周波数割当てが拡張された。また、平成 14 年には 1 筐体で 9 波が利用可能となった。しかしながら、現在も 1 波しか割当てられていない簡易無線局が存在し、デジタル機が共存した場合周波数を変更して回避する手段がない。

(2) 共用する場合に必要とする対策

ア 距離と離調周波数の関係（妨害波が極力少なくなる周波数配置）

(7) 問題点

- ① 希望波局と妨害波局の位置関係で妨害の度合いが変わる。どのくらいの位置関係であれば問題ないか把握する必要がある。
- ② 希望波周波数から妨害波周波数が離れれば妨害を回避できるが、位置関係と離調周波数で左右される。

(イ) 検討事項（シミュレーション）

アナログ機にデジタル機が共用する条件 $D/U=-30\text{dB}$ を確保する場合、簡易無線とデジタルチャンネルは 10kHz 以上の間隔である。（第3章第1節(3)参照）そこで $D/U=-30\text{dB}$ 確保するシミュレーションを行う。

<条件>

- ・周波数 150MHz
- ・空中線高 基地局 5m 移動局 1.5m
- ・基地局－移動局間の距離 1km を基準

<シミュレーション結果>

	Urban	Suburban	Open area
大都市	1km Loss = -116.8dB	1km Loss = -110.4dB	1km Loss = -93.1dB
	5.5km Loss = -146.7dB	5.5km Loss = -140.2dB	5.5km Loss = -123.0dB
中小都市	1km Loss = -116.9dB	1km Loss = -110.4dB	1km Loss = -93.2dB
	5.5km Loss = -146.7dB	5.5km Loss = -140.3dB	5.5km Loss = -123.0dB

Calculated by SEAMCAT (Modified HATA)

結果：離隔距離 1km に対して、約 5.5km → 伝搬路差約 4.5km に相当

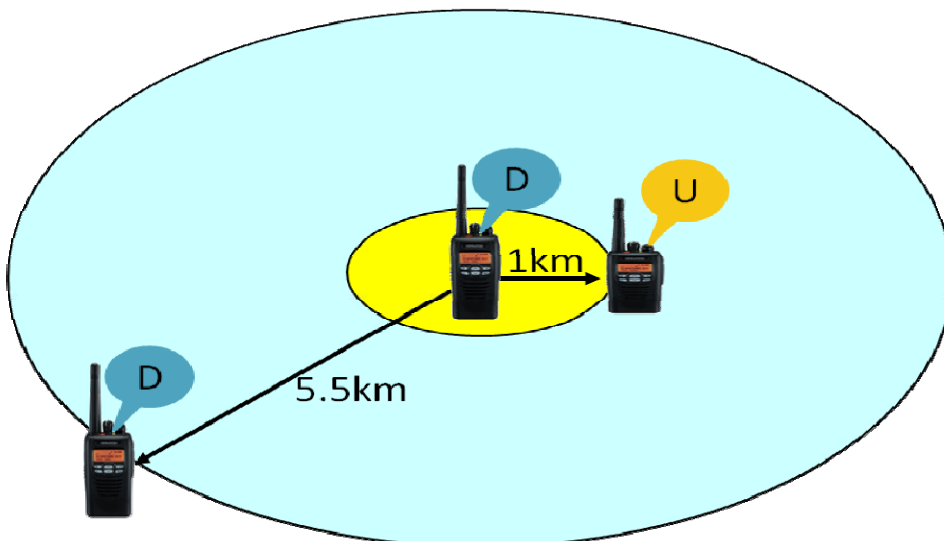


図 4-4 離隔距離 1km に対して、約 5.5km → 伝搬路差約 4.5km の図

(ウ) 対策

- ① 実証試験の結果、同一周波数においては希望波局間の距離に対して、妨害波局は 2 倍以上離れば実用的な通信が確保できた。
- ② 実証試験とシミュレーション結果から、希望波局の距離に対して妨害波局の距離が約 5 分の 1 離れると共に、アナログ通信の場合は妨害波との離調周波数が 12.5kHz、デジタル通信の場合は 6.25kHz 離れば実用的な通信が確保できた。

イ 通話表示の対策

(ア) 問題点

アナログ機の周波数に対して、デジタル機のチャンネル間隔が $\pm 2.5\text{kHz}$ 以上オフセットした場合、デジタル機から送信した電波は、アナログ機では帯域内のため話中表示は点灯するが、アナログ機から送信した電波は、デジタル機では話中表示は点灯せず、デジタル機はアナログ機に妨害を与える恐れがある。

(イ) 検討事項

対策方法として①、②の2つが考えられる。

- ① デジタル波を共存させる場合、通話表示が点灯する周波数のみを割当てる。

アナログ周波数帯にデジタル周波数を割当てた様子を表 4-2 に示す。この表は実験試験局で使用したシンセサイザの基準周波数 6.25kHz、3.125kHz、1.25kHz の配置で割当てた。アナログ機の周波数 A1, A2 に対して、デジタル機のチャンネル間隔が $\pm 2.5\text{kHz}$ 以内に割当てが出来るものは緑色で記したチャンネルである。それぞれのシンセサイザ基準周波数に対し、全アナログ帯域で $\pm 2.5\text{kHz}$ 以内にいくつ配置出来るか、表 4-3～表 4-5 に記載した。

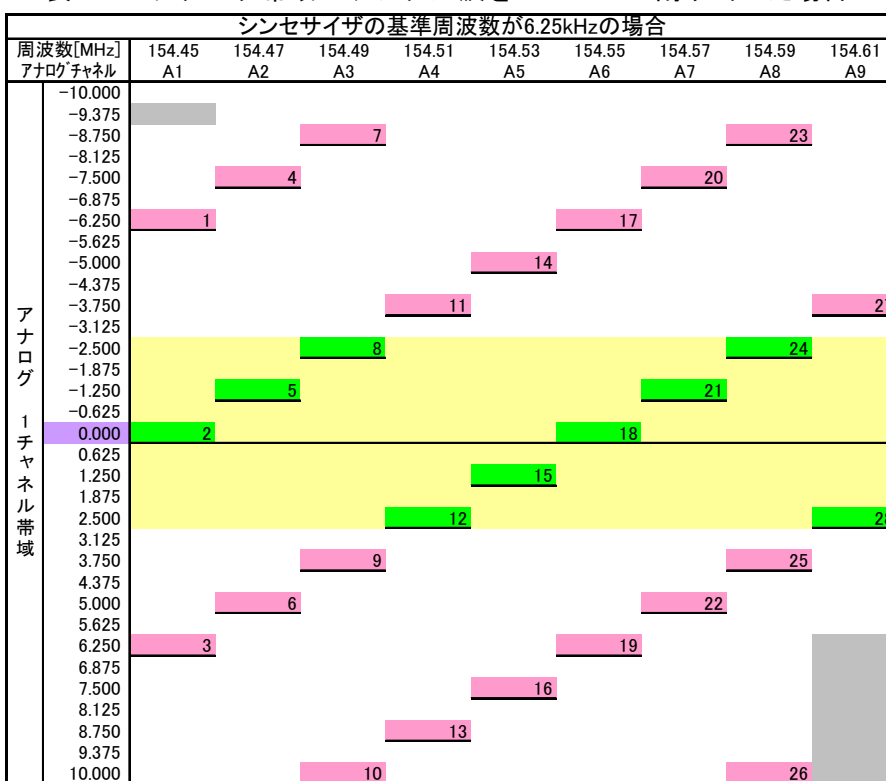
UHF 帯のデジタル簡易無線はシンセサイザの基準周波数が 6.25kHz の配置で割当てられている。この方法でアナログ周波数帯にデジタル波を 6.25kHz で割り当てた場合表 4-3 のようになる。アナログの中心周波数 $\pm 2.5\text{kHz}$ 以内に配置できる周波数は緑色で記している 9 波となる。

表 4-2 アナログ周波数±2.5kHz 以内のデジタル波の周波数割当

周波数[MHz]	シンセサイザの基準周波数		
	6.25kHz	3.125kHz	1.25kHz
154.440000			
154.441250			
154.441875			
154.442500			
154.443125			
154.443750	1 -6.250 kHz		1 -6.250 kHz
154.444375			
154.445000			
154.445625			
154.446250			
154.446875		1 -3.125 kHz	
154.447500	-2.5kHz		
154.448125			
154.448750			
154.449375			
A1 154.450000	2 0.000 kHz		2 0.000 kHz
154.450625			
154.451250			
154.451875			
154.452500			
154.453125	+2.5kHz	2 3.125 kHz	
154.453750			
154.454375			
154.455000			
154.455625			
154.456250	3 6.250 kHz		3 6.250 kHz
154.456875			
154.457500			
154.458125			
154.458750			
154.459375		3 9.375 kHz	
154.460000			
154.460625			
154.461250			
154.461875			
154.462500	4 -7.500 kHz		
154.463125			
154.463750			4 -6.250 kHz
154.464375			
154.465000		4 -4.375 kHz	
154.465625			
154.466250			
154.466875			
154.467500	-2.5kHz		
154.468125			
154.468750	5 -1.250 kHz		
154.469375			
A2 154.470000			5 0.000 kHz
154.470625			
154.471250			
154.471875		5 1.875 kHz	
154.472500	+2.5kHz		
154.473125			
154.473750			
154.474375			
154.475000	6 5.000 kHz		
154.475625			
154.476250			6 6.250 kHz
154.476875			
154.477500			
154.478125		6 8.125 kHz	
154.478750			

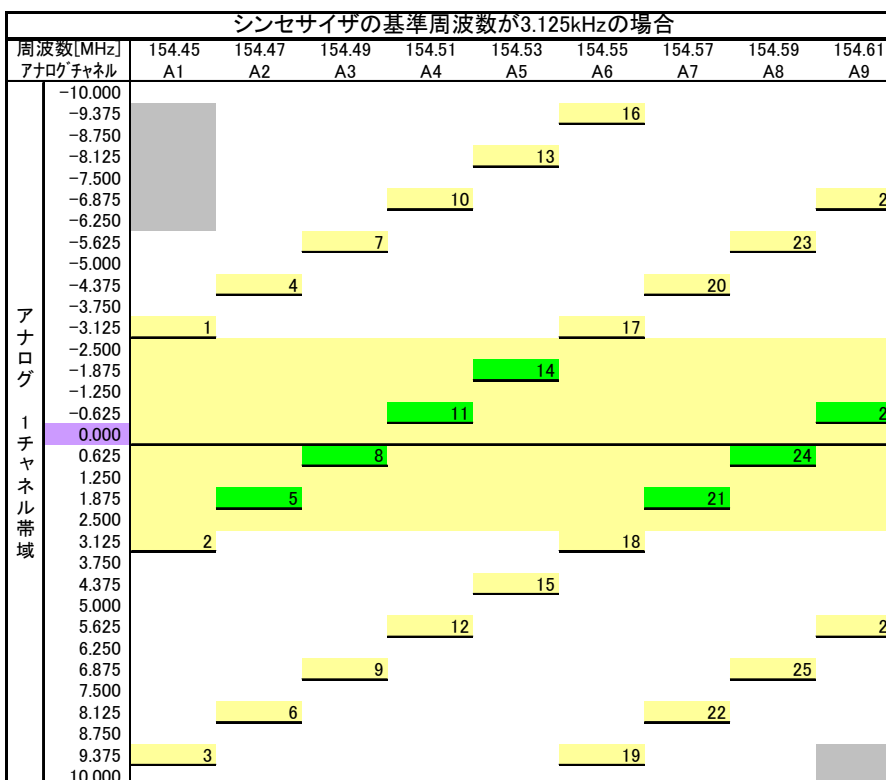
⋮

表 4-3 アナログ帯域にデジタル波を 6.25kHz で割り当てた場合



i アナログ帯域にデジタル波を 3.125kHz で割り当て場合、表4-4 のようになり、アナログの中心周波数±2.5kHz 以内に配置できる周波数は7波となる。

表 4-4 アナログ帯域にデジタル波を 3.125kHz で割り当てた場合



- ii アナログ帯域にデジタル波を 1.25kHz で割り当て場合、表 4-5 のようになりアログの中心周波数±2.5kHz 以内に配置できる周波数は 9 波となる。

表 4-5 アナログ帯域にデジタル波を 1.25kHz で割り当てた場合

シンセサイザの基準周波数が1.25kHzの場合									
周波数[MHz]	154.45	154.47	154.49	154.51	154.53	154.55	154.57	154.59	154.61
アナログチャンネル	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
-10.000									
-9.375									
-8.750									
-8.125									
-7.500									
-6.875									
-6.250	1	4	7	10	13	16	19	22	25
-5.625									
-5.000									
-4.375									
-3.750									
-3.125									
-2.500									
-1.875									
-1.250									
-0.625									
0.000	2	5	8	11	14	17	20	23	26
0.625									
1.250									
1.875									
2.500									
3.125									
3.750									
4.375									
5.000									
5.625									
6.250	3	6	9	12	15	18	21	24	27
6.875									
7.500									
8.125									
8.750									
9.375									
10.000									

- iii アナログ帯域に割り当てられるデジタル波のチャンネル数をまとめると表 4-6 のようになる。チャンネルが一番多く割り当てられるシンセサイザの基準周波数は 6.25kHz である。

表 4-6 アナログ帯域に割り当てられるデジタルのチャンネル数

シンセサイザの基準周波数	アナログ帯域に割り当てられるチャンネル数	±2.5kHz 以内に割り当てられるチャンネル数
6.25kHz	28 チャンネル	9 チャンネル
3.125kHz	28 チャンネル	7 チャンネル
1.25kHz	27 チャンネル	9 チャンネル

② 通話前に近傍のアナログチャンネルをスキャンし確認する方法。

i ①の方法は、アナログ周波数帯域にデジタル波の配置は一部のチャンネルしかできない。そこで通話をする前に妨害を与えるアナログチャンネルをスキャンして、信号があるか確認することにより全チャンネル使用できる方法を検討する。

ii 表 4-2 でシンセサイザの基準周波数が 6.25kHz の場合、デジタルの 1 チャンネルは±2.5kHz 以外になるためアナログ周波数 A1 の局の電波があっても、デジタル機の話中表示は点灯しない。そこでデジタル機が送信するときにアナログ周波数 A1 を傍受しアナログ局の電波がないことを確認してから送信する様にする。

iii 同様にアナログ周波数 A1 と A2 の間にあるデジタル 4 チャンネルは、アナログ周波数 A1 と A2 の局の電波があっても、デジタル機の話中表示は点灯しない。そこでデジタル機が送信するときにアナログ周波数 A1 を傍受し、次にアナログ周波数 A2 を傍受し、アナログ局の電波が無いことを確認してから送信を行う様にする。

iv この方式によれば、妨害を与えることなくアナログ周波数帯域に最大限のデジタル周波数を配置できる。またこの機能を装備するには、ハードウェアの変更は無く、ソフトウェアの変更だけで実現できる為、コストアップの影響は少ないと考えられるが、下記の懸念点が考えられる。

- ・デジタル簡易無線の免許局はキャリアセンスの装備は必要ないが、この機能を実現するためキャリアセンスを装備する必要がある。
- ・キャリアセンスの前にアナログ周波数をスキャンするため、PTT を送信してから電波が出るまでタイムラグが発生し使い勝手が悪くなる。
- ・将来的にアナログ局が無くなった場合この機能は不要である。6.25kHz 間隔のデジタル局だけになったときでもスキャンを行うと、隣接波に対して話中表示が点灯する現象が発生する。それを回避するためには、スキャンする機能を削除したソフトウェアに書き換えるか、新しい無線機に買い換える必要がある。

ウ 妨害波の聴感上の問題対策

(7) 問題点

妨害波の聴感上の問題としては、アナログ通信においてデジタル通信の妨害があったときに、音声と異なる機械音が聞こえ、これが耳障りになり問題になると考えられる。

(イ) 対策

アナログ無線機は CTCSS (選択受信装置 : Continuous Tone-Coded Squelch System) が装備されているものがほとんどである。4 値 FSK 変調方式をアナログ機で受信した場合、CTCSS で選択受信されることは無いので、アナログ機についてはこの使用が望まれる。

第2節 アナログ波とデジタル波を共用する際の条件

(1) デジタル無線設備に必要とする条件

ア デジタル周波数について

150MHz 帯のアナログ簡易無線の周波数帯に、デジタル波を共存できることは明解になった。しかしアナログ局にデジタル局が妨害を与えないように当初 9 チャンネルの周波数割当を行い、アナログ局が少なくなってから 28 チャンネルの割当にすることになる。

- ① 当初の割り当てチャンネルは 9 チャンネルとする。
- ② 適当な時期に、9 チャンネルから 28 チャンネルへ増波する。

イ デジタル機の話中検出について

アナログ波と共存するために、デジタル機の話中検出の範囲を以下とする。

- ① $\pm 2.5\text{kHz}$ の範囲で離調したアナログ波を受信したとき、 $7\mu\text{V}$ 以下の受信入力電圧にて話中検出が可能であること。

ウ 150MHz 帯アナログ無線設備の使用について

平成 20 年度「電波利用状況調査」では、下記のように評価されている。

「150MHz 帯を使用する簡易無線については、山間部における根強い需要を踏まえ、デジタル方式を導入し、アナログ方式を廃止していくことが望ましい。なお、アナログ方式の廃止にあたっては、使用期限を定めずに、現在使用されている無線機器の耐用年数に従い、自然消滅としていくことが適当である。」としている。

現存するアナログ無線設備の多くは平成 17 年施行のスプリアス発射の強度の許容値に係る技術基準等の改定により平成 34 年 11 月末までの使用制限が課せられている。

しかしながら、デジタル方式の導入後も技術基準に適合したアナログ無線設備の生産を継続すれば、アナログ方式は需要の減少はあっても自然消滅することはあり得ず、同方式の廃止の見通しはたたない。

また、デジタル及びアナログのいずれの方式も継続して存置する場合は、電波の効率的な利用の点で疑義が生じ、無線設備も両方式に対応した機器の生産・供給を続ける必要があり効率的ではない。

よって、デジタル方式の導入に際しては、アナログ方式の無線設備の新規使用に何らかの制限を設けるか、400MHz 帯と同様にアナログ方式の廃止時期を明示することが必要と考える。

(2) デジタル無線局の運用の際に求められる条件

福井県大野市で行った実証試験や基礎実験から、アナログ周波数帯にデジタル波が共存した場合の運用に求められる条件を次に掲げる。

ア 同一周波数においては希望波局間の距離に対して、妨害波局は2倍以上離れば実用的な通信が確保できた。地形や空中線等の条件により異なるが大よその目安になる。

イ 希望波局の距離に対して妨害波局の距離が約1/5 離れると共に、アナログ通信の場合は妨害波との離調周波数が12.5kHz、デジタル通信の場合は6.25kHz 離れば実用的な通信が確保できた。地形や空中線等の条件により異なるが大よその目安になる。

ウ アナログ機でデジタル機の信号を受信した場合、「ゴー」という聴感上好ましくない音が聞こえる。現在のアナログ無線機は CTCSS (選択受信装置 : Continuous Tone-Coded Squelch System) が装備されているため、この機能を使用すれば雑音を回避することができる。