

<令和3年度終了案件 情通審>

短波帯固定局のデジタル方式の導入のための 共用条件等に関する調査検討報告概要

担当課室：基幹通信室

実施期間：令和元年度～令和3年度

事務局：一般財団法人電波技術協会

1. 本技術試験事務を実施する目的
2. 年度毎の調査検討概要
3. 各国における運用状況と許認可制度
4. 技術的課題
5. 技術検証の結果
6. 短波帯デジタル固定局の技術的条件
7. 実用化にむけた留意事項

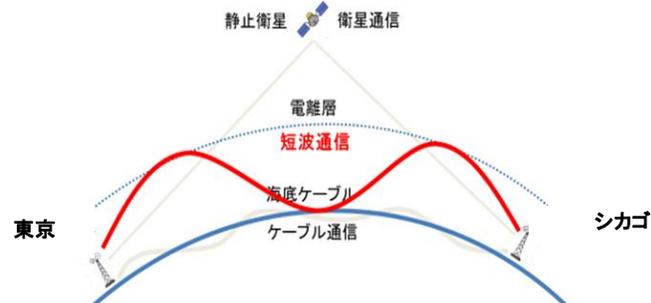
1.本技術試験事務を実施する目的(短波帯デジタル固定局の検証)

短波帯デジタル固定局の実用化に向け、2018年度から2021年度に本試験事務を実施した。

国際間の長距離通信の方法としては、主に下表のような方法が挙げられる。特に、金融情報などの一刻を争う情報伝達においては遅延時間の差が重要視される。

長距離において最も遅延時間が短いのは短波帯による無線通信である。

国際間の通信伝送時間の比較



東京—シカゴ間を約10,000kmとすると信号が届く遅延時間は
 短波通信:33mS < 光ケーブル通信:50mS < 静止衛星通信:260mS

各種通信方式の比較

通信方式	遅延時間	メリットおよびデメリット
短波帯無線通信	電波伝搬速度：約30万km/秒（光速） 東京-シカゴ間を約10,000kmとすると、 ⇒約33mS	メリット；遅延時間が小さい。 デメリット；電離層反射のため季節・時刻や周波数および太陽黒点数により通信が不可能な時間が発生することがあり、通信疎通率が劣る。 回線品質は、下記方式に比べて劣る。
光ケーブル通信	ガラス系の媒体中を伝搬するため光速の2/3程度 東京-シカゴ間を約10,000kmとすると、 ⇒約50mS (東京JPX-シカゴCME間の実質遅延時間:121mS ^{*1})	メリット；回線品質は良い。 デメリット；遅延時間が電波より約50%大きい。
静止衛星通信	電波伝搬速度：約30万km/秒（光速） 東京と衛星、衛星とシカゴ間の距離をそれぞれ37,500kmとし、衛星の中継遅延を10mSとすると、 ⇒約260mS	メリット；回線品質は良い。 デメリット；静止衛星を利用するため空間伝搬時間が増大し、遅延時間が大きい。

年度毎の調査検討概要

年度	2018 (平成30)	2019 (令和1)	2020 (令和2)	2021 (令和3)
検討内容	<ul style="list-style-type: none">・ 海外における短波帯デジタル固定局の運用状況や国際標準化の動向を調査・ デジタル方式の導入に伴う技術的条件の他、既存の短波帯の通信システムと周波数の共用を可能とするための技術的条件などの検討	<ul style="list-style-type: none">・ 短波帯におけるデータ通信の利用可能性・ 既存の短波帯通信システムとの周波数共用に関する検証・ デジタル方式の導入に伴う技術的条件などの検討	<ul style="list-style-type: none">・ 異免許人間による同一周波数の共用及び他システムとの共用条件の検討及び策定・ 短波帯デジタル固定局の技術的条件案の策定・ 実験試験局による伝搬状況の検証 <p>(コロナ禍のため、実験試験局の設置に時間を要し、2年度に渡り検証)</p>	

1) 米国・英国および豪州における短波帯デジタル固定局の運用状況と許認可制度

○米国(2018年11月末時点)

米国における短波帯デジタル固定局は、商用利用も可能な実験局のみが存在し、短波帯(3MHz以上30MHz未満)で有効な免許を持つ無線局を検索すると157局存在する。

そのうち、実験無線業務を行う無線局の種別は、固定局と移動局の2種類のみだが、固定局として運用されている無線局は112局存在する。さらに、空中線電力(実効輻射電力とする。以下同じ。)0.5kW以上とすると37局となり、ここからデジタル変調を利用しているものに絞り込むと、12局である。

短波帯デジタル固定局が存在するのは、実質的に、実験無線業務(連邦規則集第47巻第1章第5項)のみとなる。そのため、現在は、短波帯デジタル固定局は、実験無線業務の許認可制度の中で運用されている。

○英国

英国では、短波帯においてデジタル変調方式を用いた固定局は導入されていない。しかし、イノベーション及びトライアル免許(Innovation and trial licence)を利用した、国際短波データ通信リンク(International HF data communications links)の試験が開始された模様である。

Ofcomは2018年9月5日、5.9-26.1MHzの放送サービスに割り当てられた短波帯の季節的計画を網羅する無線規則第12条に基づき、調整された周波数帯で動作する国際短波データ通信リンクを試験し、試用するための申請を受け付けたと発表した。

イノベーション及びトライアル免許とは、無線周波数への迅速なアクセス、研究開発の実施、革新的なワイヤレス技術の試験を、可能な限り簡便に提供するもので、調整と利用可能性に従って、全ての周波数帯へのアクセスを提供している。ワイヤレス試験の迅速で安価なアクセスを提供するため、免許料は、イノベーション研究免許が50£/年/場所、デモ&トライアル免許が50£/月/場所となっている。ただし、免許期限終了後に運用又は商用の目的で周波数を利用できることを保証するものではない。

○豪州(2018年時点)

ACMAのデジタル及びアナログについての定義は、ITUの定義に従い、デジタルは、主搬送波が量子化型式に符号化されている信号によって変調されているものとし、電波型式の第2文字目「1/2/7/9」であるものを対象にしている。本調査検討では「D1D/D2D/D7D/F1D/F2D/F7D/G1D/G2D/G7D」を短波帯デジタル固定局の対象とした。

デジタル固定局(電波型式:D1D/D2D/D7D/F1D/F2D/F7D/G1D/G2D/G7D)の免許は57交付されている。ただし、これらの全てが金融情報用の局とは限らない。

豪州では、人口の約85%が海岸沿いで暮らしている一方、内陸は道路や電線が整備されておらず電気通信の設備もないため、国内通信において短波帯を利用している。

具体的には、学校から短波帯通信を利用したりリモートレッスンや、短波帯を利用する携帯電話のようなサービス(複数のプロバイダがあり:VKS-737 Australian 4WD Network、VKE-237 HF Radio Club、VMS-469 Reids Radio Data / Bush Telegraph、HF OZ / RADTEL等)があり、また内陸部には病院がないため、飛行機を病院として利用する際に短波帯を使用して対応を取る場合がある。

こうした利用に対応するため、豪州では必要に応じて短波帯(実用局)の利用に係る規制が整備されている。

2) 短波帯デジタル固定局の技術基準・無線諸元(2018年時点)

○米国

非連邦政府の無線局を実験無線業務で運用する時は、無線局の技術基準中で一番基本的な基準である電波の質に関する基準も存在せず、唯一の技術基準的な記述は第5.110条中の「送信放射電力は実験の成功のために必要な最低限の実用的な放射電力に限る。」と、第5.111条中の「本章の第2項の周波数分配表に従って運用されている無線局が行っている業務に有害な混信を起こさないこと」であることがわかる。

実験無線業務は、実用段階として運用されているワイヤレスラジオ業務とは独立した許認可制度となっているが、ワイヤレスラジオ業務中の各業務では、電波の質はもちろんのこと、詳細な技術基準が規定されている。

○英国

英国では短波帯デジタル固定局は導入されていない。

○ 豪州

豪州では利用条件を定めた技術基準や無線諸元は陸上移動局とグループ化されている。ACMA Home Pageによると、これ以上の詳細な情報は有料での提供となる。ACMAの公開資料によると、基準として「一般的な帯域幅は3kHz」と書かれているが上限は設定されておらず、3kHz以上の帯域幅の免許は実際に交付されている。送信電力についても同じように「一般的送信電力は100W」と書かれているが同じく上限は設定されておらず、10kWの免許もいくつかある。

無線局の開設にあたって与干渉の考慮のための離隔距離の条件

・帯域幅が3kHz未満かつ出力が100W以下の場合：

新たに設置したい局から30km圏内にあり、新設する無線局の周波数から±300kHzを使用している全ての既設局への与干渉を考慮する義務がある。

・帯域幅が3kHz以上あるいは出力が100Wを超える場合：

新たに設置したい局から100km圏内にあり、新設する無線局の周波数から±2MHz以内で使用している全ての既設局への与干渉を考慮する義務がある。

同じ周波数で通信時間帯を分けて共用利用する場合の離隔距離の条件

最低離隔距離 = 中心周波数の波長 × 3

あくまでも絶対最低離隔距離であり、その後個別に行われる干渉検討の結果によっては、上記の距離より遠くなる場合がある。

・隣接周波数の場合の離隔距離の条件

短波帯の固定局あるいは移動局が既設局と隣接周波数を利用する場合、最低離隔距離の条件は以下のとおりである。

“最低離隔距離” (km)=30/周波数離隔(kHz) × √((送信電力(W))/100)

出所：FAP 8 – Assignment of HF fixed and land mobile services

4. 技術的課題

(1) 技術的課題

短波通信による金融情報等などの電気通信役務に係る業務を円滑に遂行するためには以下の課題を解決する必要がある。

検討課題	結論・解決策
1 異免許人間による同一周波数の共用条件の検討	電離層反射によるフェージングなどが発生するため、同一周波数での共用は難しいことが判った。
2 他システムとの共用条件の検討	デジタル固定局と他業務或いは放送局との離隔距離が近距離の場合の所要離隔距離については与干渉局の帯域外領域の成分が被干渉局の占有周波数帯幅に入らないという条件からスプリアス領域以上離す必要がある。 ・ $BN(U) < 4\text{kHz} \Rightarrow 10\text{kHz} + BN(D) / 2\text{kHz}$ 以上 ・ $4\text{kHz} \leq BN(U) < 100\text{kHz} \Rightarrow 2.5BN(U) + BN(D) / 2\text{kHz}$ 以上 ※BN(U)は 妨害波側(与干渉側)の占有周波数帯幅を、BN(D)は希望波側(被干渉側)の占有周波数帯を示す。
3 短波帯デジタル固定局の技術的条件案の検討	短波帯デジタル固定局に必要な技術的条件案をまとめた。詳細は7項の技術的条件案を参照。
4 実証実験と伝搬シミュレーションの比較検証および必要な波数	VOACAPによる通信疎通のシミュレーション結果および実証実験の結果から12MHz未満の周波数では、冬季を中心に比較的シミュレーション結果と似た状況で疎通が確認された。12MHz以上の周波数については受信局の周囲ノイズが高く受信が出来ないことが多かった。これについては商用局の場合、予め受信局設置予定場所のノイズ状況を確認の必要がある。必要な波数は、5項で記しているように4~6波程度と考えられる。
5 実証実験局による伝搬状況の検証	シミュレーションおよび実証実験の結果からも、冬季には12MHz以下の周波数で疎通率が良い日が多かった。ただし、12MHz以上の周波数ではシミュレーションでは受信可能だが受信局周辺のノイズレベルが高く受信不可のことが多かった。これはノイズレベルを高めた場合のシミュレーションも同様だったため、ノイズレベルが低い環境であれば問題ないと考えられる。
6 割当可能な周波数帯の検討	短波帯で短波帯デジタル固定局に割当て可能な周波数を抽出できた。

(2) デジタル化によるメリット/デメリット

メリット

- ・ 一定の信号強度以上の場合、アナログ通信と比較すると混信等による妨害に比較的強い。
- ・ アナログ通信と比較して周波数の利用効率が良く、使用可能な周波数範囲でより多くの局が使用可能である。
- ・ 受信可能であれば回線品質は良い。

デメリット

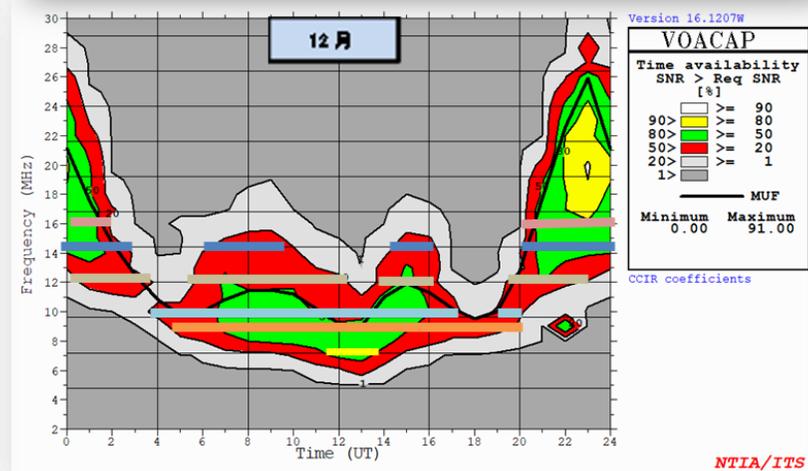
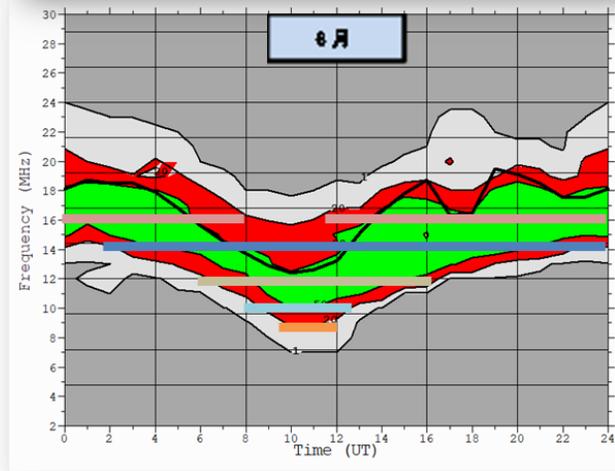
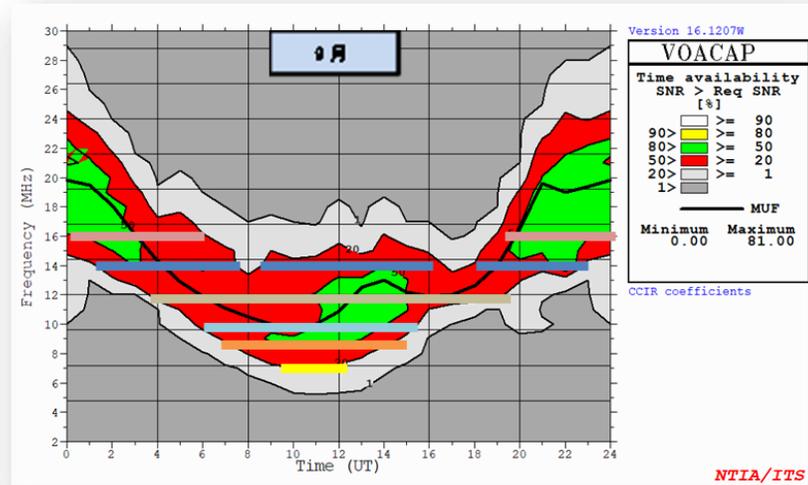
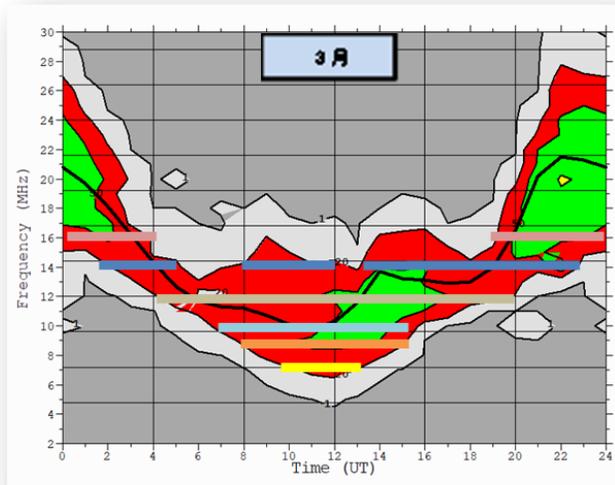
- ・ アナログ通信と比較するとデジタル通信機器は、設備費用面で高くなる。
- ・ 電離層の伝搬状況や受信局周辺のノイズ状況によっては受信不可の場合がある。

5.技術検証の結果

VOACAPによるシミュレーションと房総半島-シカゴ間の実証実験

VOACAPによる通信疎通のシミュレーション結果および実証実験の結果から12MHz未満の周波数では、冬季を中心に比較的シミュレーション結果と似た状況で疎通が確認された。12MHz以上の周波数については受信局における周囲ノイズが高く受信が出来ないことが多かった。

これについては商用局化の場合、予め受信局設置予定場所のノイズ状況を確認の必要がある。なお、これらの結果から必要な波数は、場所にも影響されるが4波～6波と考えられる。



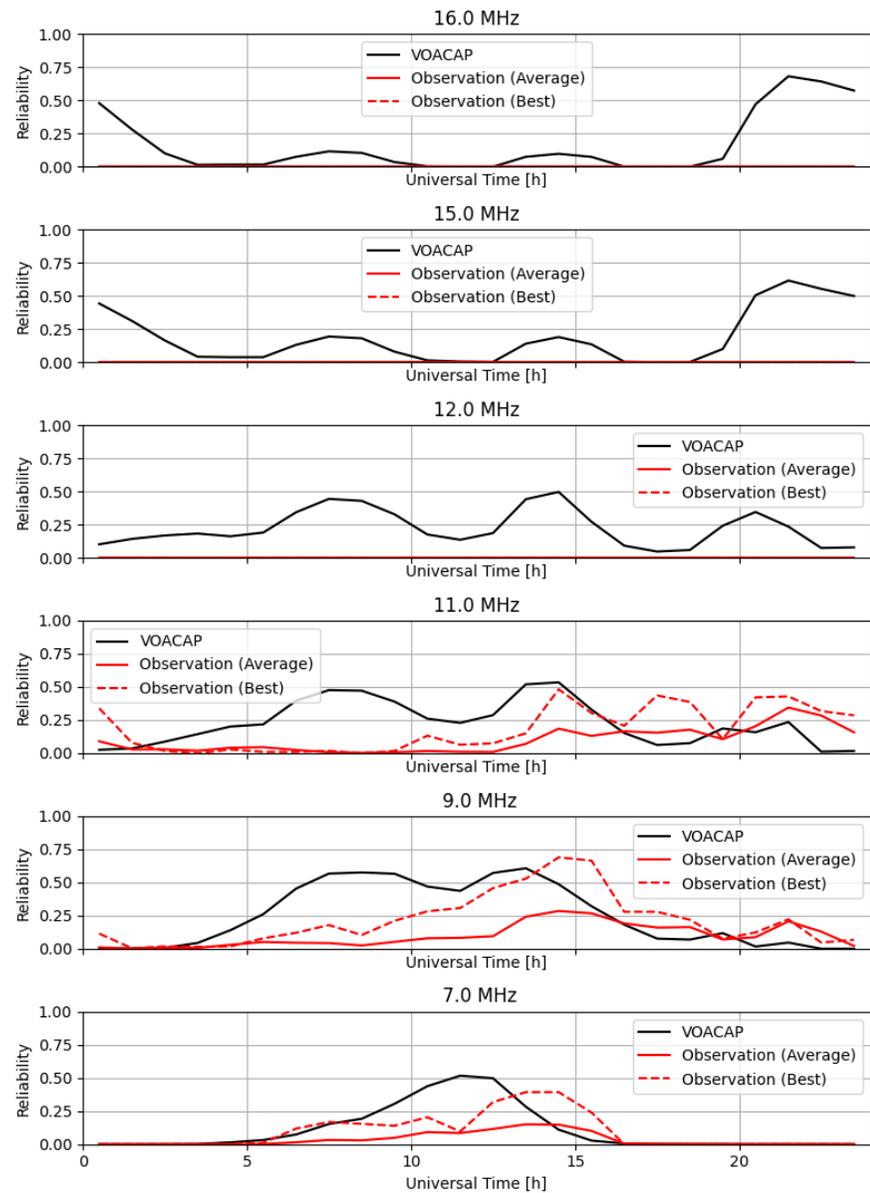
実証実験に使用した周波数の疎通可能な時刻 (シミュレーション)

- 16MHz台
- 14MHz台
- 12MHz台
- 10MHz台
- 9MHz台
- 6MHz台

色別	疎通率 (色分け)
黄色	80～90%
緑	50～80%
赤	20～50%

6. 技術検証の結果（実証実験における疎通率）

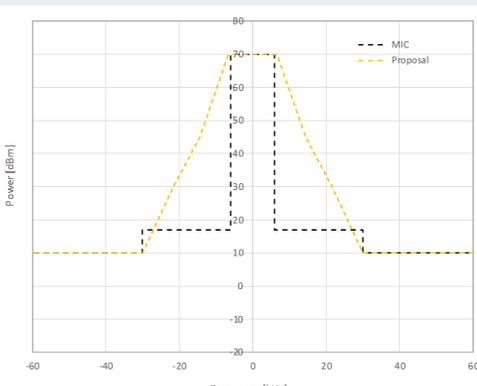
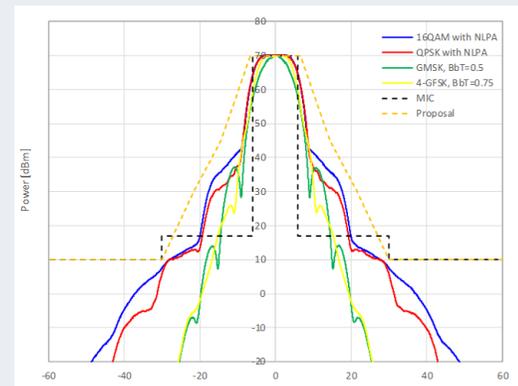
房総半島－シカゴ間の短波通信において2021年11月9日から2022年2月20日までの実証実験データとVOACAPによるシミュレーションの疎通率の比較結果を右図に示す。この図は実証実験期間において平均した通信の疎通率 (Reliability) を示している。ここでの疎通率とは、VOACAPの場合は電離層や自然ノイズなどの環境が変化する中でS/N比が一定以上とれる頻度と定義される。一方、実証実験における疎通率は、C/N0比が20dB-Hz以上かつビットエラーレートが0.3以内となる頻度とした。実証実験に使用している周波数は、大まかに6波(7.0, 9.0, 11.0, 12.0, 15.0, 16.0MHz)である。7 MHzから11MHzにおいては、シミュレーションより頻度は低いが実証実験で通信できることを確認した。全期間の平均疎通率は30%未満であるが、通信環境が良好な時期(2021年12月15~21日)では、平均疎通率がシミュレーションと同等レベルの40~70%に達する時間帯もあった。一方、12MHzから16MHzにおいては、シミュレーションでは通信が可能な周波数帯であるものの、実証実験結果では全期間・時刻を通じて通信が出来なかった。これについては受信局での周囲ノイズ状況が関係していると推測される。



各周波数帯におけるVOACAP（黒線）と実証実験（赤線）の疎通率の比較

項目	単位	規定値等	備考 (根拠等)
使用周波数帯	MHz	3-30	固定局へ割当可能な周波数帯
周波数の許容偏差	ppm	10	電波法施行規則 別表第一号の周波数の許容偏差 4MHzを超え29.7MHz 固定局 500W超 10ppm以下(既存規程)
最大送信電力	kW	10	短波帯においては出力を出来るだけ大きくし、疎通率を少しでも高くすることが考えられるが、10kWを超える送信電力についてはその周辺の重要無線局への干渉増大の可能性や人体への電波防護に対する考慮も含め、広大な敷地が必要となること等から必要最小限に抑える必要がある。 VOACAPによる疎通可能性から年間を通じていずれかの周波数において可能な限り終日通信が可能でかつ他システムへの干渉を考慮した最大送信出力として10kW程度が妥当と考えられる。
送信電力の許容偏差	%	+10/-20	無線設備規則 第14条 空中線電力の許容偏差で定められている短波放送局の場合に準じた。
通信方式	-	単行方式	--
変調方式	-	PSK,GMSK, 4-GFSK,QPSK	・ 左記以外の電波型式についても使用可とするが、占有周波数帯幅及び不要輻射の強度の許容値の遵守を前提とする。 ・ 16QAMについては周波数効率が良いので一度に多くのデータが送信可能となるが、電力効率が悪いので適さない。
電波型式	-	主に以下の形式 G1D/G2D/G7D D1D/D2D/D7D F1D/F2D/F7D	・ PSKは、実証実験に使用したBPSKも抱合しており、この方式も規定することが望ましい。 ・ PM,CPM等のパルス変調系については占有周波数帯幅が広帯域に広がることで不要発射の強度の許容値において問題があるため除外する。

7. 短波帯デジタル固定局の技術的条件 (2 / 2)

項目	単位	規定値等	備考 (根拠等)
最大空中線利得	dBi	22	実現性の高い短波帯用広帯域空中線の最大利得が22dBiのため。
占有周波数帯幅	kHz	12(最大)	事業者からは最大48kHzという希望もあったが、短波帯で割当可能な周波数が少ないことから最大12kHzに絞った提案とした。
水平面主輻射の角度の幅	deg.	80	以下の条件を付加し、マルチビーム使用を防ぐことで周辺既存局等への干渉を軽減する。 副次輻射パターンが主輻射に対して利得は6dB以上低いこと。
不要輻射の強度の許容値	-	<ul style="list-style-type: none"> ・ 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値: 50mW以下であり、かつ、基本周波数の平均電力より40dB低い値ただし、単側波帯を使用する送信設備にあっては、50dB低い値 ・ スプリアス領域における不要発射の強度の許容値: 基本波の搬送波より60dB低い値 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無線設備規則 別表第三号(第七条関係)に記載の30MHz以下の記載内容に準じ、左記の値を提案する。 ・ 実証実験局で実測した機器の送信特性結果を踏まえ下図のようなスペクトラムマスク案を提案する。 <p>下記左側の図は、現状のMIC規格(黒点線)と提案する短波帯デジタル固定局のスペクトラムマスク案(黄色の点線)を示す。右側の図は、そのスペクトラムマスク案に対して短波帯デジタル固定局の変調方式例が規格案のなかに収まることを示す。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

(1) 短波帯デジタル固定局の受信局に関する留意事項

- ・ 短波帯デジタル用受信局の設置検討において、事前に設置する場所付近における短波帯での周囲雑音レベルの事前調査が必要。

周囲雑音レベルの大きい場所では、受信すべき信号レベルより雑音レベルが大きい場合には受信不可になるため受信局の設置場所の選定時には留意が必要である。

⇒ 実証実験開始後に判った受信局周辺のノイズ環境が悪く、12MHz以上の周波数における受信が殆どできなかつたため。

- ・ 受信専用局は、電波天文業務の受信設備など特に定める場合を除いて、近傍に干渉や抑圧を受ける可能性がある無線送信局が存在しないかを十分に調査しておく必要がある。

⇒ 実証実験の受信局は、送信実験局を設置した会社の関係会社が所有している無線局のアンテナタワーがある場所を借用とのことで、上記対応は不明である。

検討対象としては、特に重要度の高い通信(航空移動業務、海上移動業務)に対し干渉を与える恐れがないかに主眼を置いて検討を行った。なお、放送業務については所要離隔周波数について検討を行った。

1. 検討の前提条件

1) 干渉条件

干渉条件については、ITUの無線通信規則(RR) APPENDIX 27の中に、干渉距離条件を定めている「27/25 1.2 Interference range」という項目があり、航空局における航空機からの希望波(D波)と、同じ周波数での干渉局からの干渉波(U波)の比率(D/U比)を“15dB以上”と定めているので、この規定を元に所要離隔距離を検討した。また、海上移動業務に対する干渉条件の規定については定義されていないため、海岸局における船舶からの希望波(D波)と、同じ周波数での干渉局からの干渉波(U波)の比率(D/U比)を、航空移動業務での規定と同様の“15dB以上”として検討した。

2) 不要輻射の強度

不要輻射の強度については、無線設備規則別表第三号第7条に規定されている許容値を用いて検討するが帯域外領域におけるスプリアス発射の強度については、スプリアスマスクが定められておらずこの規定より厳しい値になると想定されるので、スプリアス領域における不要輻射について検討した。

3) デジタル固定局の諸元

共用条件を検討するにあたり、デジタル固定局の諸元を下表に示す内容でシミュレーションした。

送信周波数	5~25 MHz
送信出力	10kW (70dBm)
占有周波数帯幅	最大12kHz
変調方式	FSK、GMSK、QPSK
空中線型式	ログペリオディックアンテナ等
空中線利得	最大22dBi
F/B比	6dB以上
給電線損失	0.4dB/5MHz, 0.9dB/15MHz, 1.2dB/25MHz (20D-2V 100m)
空中線地上高	50m
送信局位置	房総半島

2. 所要離隔距離の検討

所要離隔距離を検討するにあたり、希望波の地上波(直接波)による通信距離は、航空移動業務については、上空10,000mを飛行している航空機との通信が、VHF通信からHF通信に切替わる地点として250kmを想定し、最も遠い所は等価地球半径を用いて算出した電波の見通し距離(430~435km)を設定する。また、海上移動業務については、沿岸での利用を想定して海岸局から50kmと、遠い所は地上波での最大通信距離(通常SSBで90km程度)以上である100kmを設定して求めた。

干渉の検討は、まずは千葉県房総半島に設置されるデジタル固定局側を干渉波とし、航空機局、航空局、船舶局及び海岸局側を希望波とした。希望波(D波)と、希望波より占有周波数帯幅の2.5倍以上離れた周波数でデジタル固定局が送信した場合のスプリアス領域での不要発射の強度(U波)との比較をD/U比として、ITU-R P.368-9(Ground-wave propagation curves for frequencies between 10kHz and 30MHz)の根拠となっているシミュレーションソフトウェアの「GRWAVE」(Ground-wave propagation software)により5, 15, 25 MHzにおける伝搬損失を計算し、所要離隔距離を求めた。

ここで求める所要離隔距離は、相互の空中線が「正対」している最も厳しい条件であるので、実際の設置にあたっては、被干渉局との実際の距離や位置関係、空中線の利得の差や指向性のずれによる減衰などを加味して、条件を満足するかどうかを判定する必要がある。

1) 検討対象とする他システム

- ① 航空移動業務; 国土交通省 東京航空局 東京システム運用管理センター

- ・坂戸無線通信所(受信局)
- ・友部無線通信所(送信局)
- ・成田空港無線通信所(送受信局)
- ・航空機局

② 海上移動業務

- ・千葉県水産情報通信センター 千葉県漁業無線局(御宿町)
- ・船舶局

「航空局および航空機局」と「海岸局および船舶局」の諸元は、各々下表に示す内容でシミュレーションした。

航空局および航空機局の諸元

海岸局および船舶局の諸元

	航空局 (注1) (友部<送信>・坂戸<受信>)	航空局 (注1) (成田空港)	航空機局
使用周波数	2850-3025kHz、3400-3500kHz、4650-4700kHz、5480-5680kHz、6525-6685kHz、8815-8965kHz、10005-10100kHz、11275-11400kHz、13260-13360kHz、17900-17970kHz、21924-22000kHz (周波数割当表より) (NP) 2932, 5628, 5667, 6655, 8915, 8951, 10048, 11330, 13293, 17946, 21925kHz (CWP) 2998, 3455, 4666, 6532, 8903, 11384, 13300, 17904kHz		
送信出力	5kW (66.99dBm)	1kW (60.00dBm)	最大400W (56.02dBm)
帯域幅	3 kHz	3 kHz	3 kHz
変調方式	SSB (音声) 他	SSB (音声) 他	SSB
空中線型式	進行波傾斜V型	頂部負荷型	フィーダーアンテナ等
送信空中線利得	11 dBi	2.14 dBi	0 dBi
受信空中線利得	11 dBi	2.14 dBi	0 dBi
給電線損失	0.4dB/5MHz, 0.9dB/15MHz, 1.2dB/25MHz (20D-2V 100m)		0.2dB/5MHz, 0.4dB/15MHz, 0.6dB/25MHz (20D-2V 50m)
空中線地上高	30 m	20 m	上空10,000m
送受空中線方向	北東、南東、南西	無指向性	無指向性

	海岸局 (注2)	船舶局
送信周波数	4, 6, 8, 12, 16, 18/19, 22, 25/26 MHz帯	
送信出力	1kW (60dBm)	最大250W (53.98dBm)
帯域幅	3 kHz	3 kHz
変調方式	SSB (音声) 他	SSB
空中線型式	マルチバンド八木型	単一型
送信空中線利得	5 dBi	2.14 dBi
受信空中線利得	5 dBi	2.14 dBi
給電線損失	0.4dB/5MHz, 0.9dB/15MHz, 1.2dB/25MHz (20D-2V 100m)	0.25dB/5MHz, 0.43dB/15MHz, 0.58dB/25MHz (10D-2V 25m)
空中線地上高	35 m	20m
空中線指向性	南東、南、南西	無指向性

(注2) 出所：千葉県漁業協同組合

(注1) 出所：航空局については開示されていないため、構成員及びWeb等から得た情報を元にした想定値

2) 所要離隔距離の検討結果

デジタル固定局と航空局および海岸局との所要離隔距離の計算結果は、下表のような内容になった。

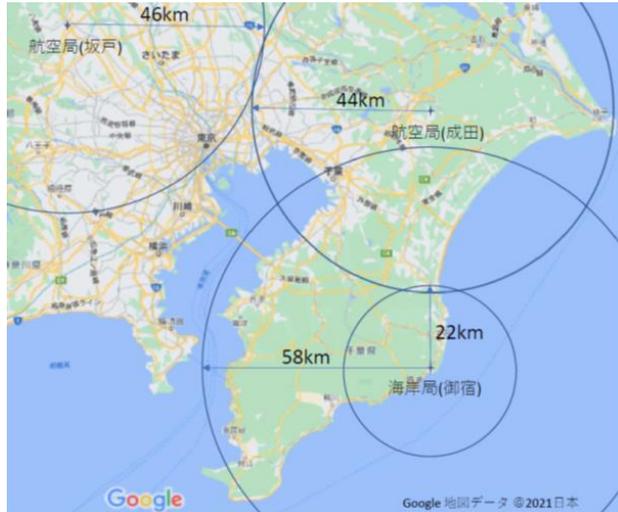
デジタル固定局と航空局および海岸局との所要離隔距離

対航空局(坂戸)	
周波数帯	25MHz
航空局(友部)からの航空機までの距離	435km
アンテナ条件	正対
希望波の受信電力(dBm)	航空機局送信 -75.37
干渉波の受信電力(dBm)	デジタル固定局送信 -90.37
D/U比(dB)	15.00
所要離隔距離(km)	46

対航空局(成田)	
周波数帯	25MHz
航空局(成田)からの航空機までの距離	430km
アンテナ条件	正対
希望波の受信電力(dBm)	航空機局送信 -86.35
干渉波の受信電力(dBm)	デジタル固定局送信 -101.35
D/U比(dB)	15.00
所要離隔距離(km)	44

対海岸局(御宿)	
周波数帯	25MHz
海岸局からの船舶局までの距離	100km
アンテナ条件	正対
希望波の受信電力(dBm)	航空機局送信 -79.85
干渉波の受信電力(dBm)	デジタル固定局送信 -94.85
D/U比(dB)	15.00
所要離隔距離(km)	58

この結果を図に示すと下図のようになる。



左図において御宿にある海岸局からの所要離隔距離を示す円が房総半島に大きく掛かっているが、この円はあくまでも相互の空中線が正対している場合であり、実際の設置場所を房総半島中央付近と考えると、シカゴ/マレーシア向けデジタル固定局では空中線の最大利得方向が70~110°程度ずれ、またシドニー向けデジタル固定局では空中線の指向方向が、海岸局方向に対して70~100°前後ずれることになる。また、海岸局の空中線の最大利得方向は、南東から南西であり、デジタル固定局方向に向いていない。よって、空中線最大利得方向のずれによる減衰が、デジタル固定局側で少なくとも15dB、海岸局側で少なくとも5dB見込まれるので合計20dB改善され、これを加味して所要離隔距離を求めると22kmとなる。このように、被干渉局との実際の距離や位置関係、空中線の利得差や指向性による減衰等を加味すると所要離隔距離を影響のない距離まで短くすることができる。

例えば、デジタル固定局が被干渉局から所要離隔距離よりも離れていて、D/U比が20dB取れていると、条件値であるD/U=15dBより5dB大きいので、減衰量としては5dBが加算され、更に空中線利得が17dBiであれば、最大利得の22dBiに対して5dB減少となり、空中線の指向性方向が正対でなくずれていて、双方の利得減少分の合計が20dBあれば、それらの減衰量の合計が30dBとなり所要離隔距離を短くすることができる。

これらの減衰量と所要離隔距離の関係を下表に示す。

①各種減衰量を加味した場合の所要離隔距離

各種減衰量の合計(dB)	0	5	10	15	20	25	30
航空局(坂戸)との所要離隔距離(km)	46	38	29	23	17	13	10
航空局(成田)との所要離隔距離(km)	44	36	28	21	16	13	10
海岸局(御宿)との所要離隔距離(km)	58	47	39	29	22	17	13

同様にデジタル固定局と航空機局および船舶局との所要離隔距離をまとめると下表になる。

②デジタル固定局と航空機局および船舶局との所要離隔距離

対航空機局(友部局送信)	
周波数帯	25MHz
航空局(友部)からの航空機までの距離	435km
アンテナ条件	正対
希望波の受信電力(dBm) 航空局送信	-64.21
干渉波の受信電力(dBm) デジタル固定局送信	-79.21
D/U比(dB)	15.00
所要離隔距離(km)	218

対航空機局(成田局送信)	
周波数帯	25MHz
航空局(成田)からの航空機までの距離	430km
アンテナ条件	正対
希望波の受信電力(dBm) 航空局送信	-75.19
干渉波の受信電力(dBm) デジタル固定局送信	-90.19
D/U比(dB)	15.00
所要離隔距離(km)	360

対船舶局(御宿局送信)	
周波数帯	25MHz
海岸局からの船舶局までの距離	100km
アンテナ条件	正対
希望波の受信電力(dBm) 海岸局送信	-88.76
干渉波の受信電力(dBm) デジタル固定局送信	-103.76
D/U比(dB)	15.00
所要離隔距離(km)	50

上表②において友部局送信の場合の航空機局との所要離隔距離と、御宿局送信の場合の船舶局との所要離隔距離はその位置が海上となり問題ないが、成田局が送信で航空機局が受信の場合、航空機局からデジタル固定局までの所要離隔距離が360kmとなっており、この距離をデジタル固定局の空中線方向が南西向きの場合と南向きの場合の各々で図にしめすと次ページの地図でアンテナゲイン:22dBiの線のようになり、かなり房総半島の南部に掛かっている。

デジタル固定局の空中線利得の違いによる航空機局との所要離隔距離

デジタル固定局の アンテナ利得 (dBi)	D/U=15dBとなる 伝搬損失 (dB)	航空機からの 所要離隔距離 (km)
22	121.74	360
19	118.74	343
16	115.74	323

実際のデジタル固定局の空中線利得を 19dBi、16dBi としたときの航空機局との所要離隔距離を計算すると上表のようになる。これを地図に表すと下図のアンテナゲイン: 19dBi、16dBiの線になり問題なくなる。仮にアンテナゲインが 22dBiであっても、スプリアス領域における不要発射の強度を-60dBから6dB改善できれば、同様の結果となり問題なくなる。

デジタル固定局の空中線利得の違いによる航空機局との所要離隔距離



3) 所要離隔周波数の検討

航空移動業務、海上移動業務或いは放送業務の局が、固定業務用に分配されている周波数に隣接している場合、所要離隔周波数がどの程度必要かについて検討した。

デジタル固定局と既存の局が近距離にある場合の周波数離調については、与干渉局の帯域外領域の成分が被干渉局の占有周波数帯幅に入らないという条件から、スプリアス領域以上離す必要がある。下記計算式は、下表にあるスプリアス領域の境界の周波数の定義に基づいて作成した。

帯域外領域およびスプリアス領域の境界の周波数

周波数範囲	必要周波数帯域幅の条件 (注1)	帯域外領域及びスプリアス領域の境界の周波数
150kHz < fc ≤ 30MHz	Bn < 4 kHz	fc ± 10kHz
	4 kHz ≤ BN ≤ 100kHz	fc ± 2.5BN

注1: 「BN」とは、帯域外領域およびスプリアス領域の境界の周波数を算出するために用いる必要周波数帯幅をいう。

- ・ $BN(U) < 4\text{kHz} \Rightarrow 10\text{kHz} + BN(D) / 2\text{kHz}$ 以上
- ・ $4\text{kHz} \leq BN(U) \leq 100\text{kHz} \Rightarrow 2.5BN(U) + BN(D) / 2\text{kHz}$ 以上

※ BN(U)は妨害波側(与干渉側)の占有周波数帯幅を、BN(D)は希望波側(被干渉側)の占有周波数帯幅を示す。

従って航空移動業務および海上移動業務は変調型式が J3E(SSB)で占有周波数帯幅は3kHzであり、同様に放送業務は変調型式がA3E(AM)で占有周波数帯幅は6kHzであり、被干渉局の周波数帯幅が 3kHz又は6kHzが必要となる。デジタル固定局の周波数帯幅を3kHz、6kHz、9kHz、12kHzとした場合の最低離隔周波数は下表のようになる。

既存の局に対する所要離隔周波数(kHz)

被干渉局の周波数帯幅 [BN(D)] (kHz)	与干渉局の周波数帯幅 [BN(U)] (kHz)			
	3.0	6.0	9.0	12.0
3.0	11.5	16.5	24.0	31.5
6.0	13.0	18.0	25.5	33.0

この表に示す周波数を離調すれば、干渉の影響は生じないと考えらる。例えば、与干渉(デジタル固定局)の周波数帯幅が 12kHzで、被干渉局の周波数帯幅が3kHzの場合には、31.5kHzの最低離調周波数が必要であり、6kHzの場合には、33kHzの最低離調周波数が必要である。