

情報通信審議会 情報通信技術分科会
衛星通信システム委員会

報告（案）

平成 22 年 12 月 14 日

情報通信審議会 情報通信技術分科会
衛星通信システム委員会 報告

目次

I	審議事項	1
II	委員会及び作業班の構成	1
III	審議経過	1
	1 委員会での審議	1
	2 作業班での審議	1
IV	審議概要	3
	1. Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの概要	3
	1.1. 審議の背景	3
	1.2. ヘリコプター通信システムの現状	3
	1.2.1. 危機管理対策機関におけるシステム	3
	1.2.2. 放送事業者におけるシステム	4
	1.3. ヘリコプター通信システムの課題	5
	1.4. ヘリコプター通信システムの高度化の検討	6
	1.4.1. 基本コンセプト	6
	1.4.2. 標準画質レベルのヘリコプター衛星通信システム	8
	1.4.3. 高画質映像伝送が可能なヘリコプター衛星通信システム	8
	1.5. 要求条件	9
	1.6. 実現方法等	10
	2. システム及び無線設備の技術的条件	12
	2.1. 一般的条件	12
	2.1.1. 定義	12
	2.1.2. 必要な機能	12
	2.1.3. 適用周波数帯	13
	2.1.4. 変調方式	13
	2.1.5. 通信方式	13
	2.1.6. アクセス方式	13
	2.1.7. 電磁環境対策	14
	2.1.8. その他	14
	2.2. ヘリコプター地球局の無線設備の条件	14
	2.2.1. 送信装置の条件	14
	2.2.1.1. 周波数の許容偏差	14
	2.2.1.2. 占有周波数帯幅の許容値	14
	2.2.1.3. スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度の許容値	15
	2.2.1.4. 空中線電力の許容偏差	15
	2.2.1.5. 軸外輻射電力の許容値	15
	2.2.1.6. 交差偏波輻射電力の制御	16

2.2.2. 受信装置の条件	16
2.2.2.1. 副次的に発生する電波等の限度	16
2.2.3. 空中線の条件	16
2.2.3.1. 覆域	16
2.2.3.2. 偏波	17
2.2.3.3. 交差偏波識別度	17
2.2.4. 監視・制御装置の条件	17
2.2.4.1. 故障検出機能	17
2.2.4.2. 機内設備とのインタフェース	17
3. 測定法	18
3.1. 送信装置	18
3.1.1. 周波数の偏差	18
3.1.2. 占有周波数帯幅	18
3.1.3. スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度	18
3.1.4. 空中線電力の偏差	18
3.1.5. 軸外輻射電力	19
3.2. 受信装置	19
3.2.1. 副次的に発生する電波などの限度	19
4. 周波数共用に関する条件	20
4.1. 固定衛星業務	21
4.2. 固定業務・移動業務	21
4.3. 電波天文業務	23
4.4. 宇宙研究業務	23
V 審議結果	24
別紙 1 情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会 構成員	25
別紙 2 ヘリサット作業班構成員名簿	26
別添 「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」(案)	27
参考資料 1 技術試験結果の概要	39
参考資料 2 ヘリサットのドップラーシフトによる送信周波数偏差の検討	53
参考資料 3 ヘリサットシステムにおける周波数共用に関する検討	55
参考資料 4 ITU-R 勧告 M.1643	61
参考資料 5 各種の伝送方式に応じて確立している占有周波数帯幅の許容値の計算手法	67
参考資料 6 現在開発されている機器による想定諸元例	69

I 審議事項

衛星通信システム委員会は、情報通信審議会諮問第 2025 号「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」（平成 20 年 7 月 29 日諮問）について審議を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会の構成については、別紙 1 のとおりである。

なお、本件に関して調査検討の促進を図るため、ヘリサット作業班を設置して検討を行った。作業班の構成については、別紙 2 のとおりである。

III 審議経過

1 委員会での審議

(1) 第 16 回委員会（平成 22 年 9 月 22 日）

情報通信審議会情報通信技術分科会（平成 22 年 9 月 16 日）において、高画質映像伝送も可能な Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの導入に向けて、衛星通信システム委員会において、「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」の審議を再開することが承認された旨報告があった。また、検討再開にあたり、委員会の運営方針、審議方針、作業班の変更等について承認された。さらに、調査検討に資するため、関係者の意見陳述の機会を設けることが承認された。（9 月 22 日から 10 月 22 日まで意見陳述の募集を実施したが、申出はなかった。）

(2) 第 17 回委員会（平成 22 年 12 月 14 日）

作業班からの検討結果報告に基づき検討を行い、衛星通信システム委員会報告（案）をとりまとめ、パブリックコメントを募集することとした。（予定）

(3) 第 18 回委員会（平成 22 年 2 月 日）

2 作業班での審議

(1) 第 4 回作業班（平成 22 年 10 月 22 日）

事務局から、審議開始の背景、調査検討体制、作業班の運営方針についての説明を聴取した。また、関係者から、「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システム」に係るこれまでの調査検討状況についての説明を聴取した。これらを受けて、今後の検討の進め方について承認された。

(2) 作業班映像デモ（平成 22 年 11 月 8 日）

危機管理対策機関、放送事業者等に対する映像確認を実施した。

(3) 第 5 回作業班（平成 22 年 11 月 11 日）

Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件について検討を行った。

(4) 第 6 回作業班（平成 22 年 12 月 1 日）

作業班報告案について検討を行い、とりまとめを行った。

IV 審議概要

1. Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの概要

1.1. 審議の背景

災害時においては、救助活動や復旧対策を迅速かつ円滑に行うため、災害現場の状況を的確に把握することが重要であるが、機動性に優れたヘリコプターを用いて上空から情報収集を行うことが有効である。

現在では、地上の無線局を中継してヘリコプターから映像の伝送を行う方式が使われているが、運用範囲が地上の無線局の見通し範囲内に限られる制約がある。このため、耐災害性に優れ広域をカバーする通信衛星を利用することで、地上の無線局が設置されていない地域においても映像をリアルタイムで伝送可能とするヘリコプター衛星通信システムに対するニーズが高まっている。

このような背景を踏まえ、平成 20 年 7 月より情報通信技術分科会において「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」の審議を開始し、取り急ぎ、平成 21 年 1 月に標準動画及び音声の伝送が可能なシステム（情報速度 1.5 Mbps 程度以下を想定）について一部答申を取りまとめたところである。

こうした中で、近年の放送のデジタル化の進展に伴うモニターの高画質化の進展等により、ヘリコプター衛星通信システムにおける高画質映像伝送の実現への期待が高まっていることから、この度、高画質映像伝送も可能な Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの導入に向けて、必要な技術的条件について検討を行ったものである。

1.2. ヘリコプター通信システムの現状

1.2.1. 危機管理対策機関におけるシステム

危機管理対策機関においては、ヘリコプターに搭載されたカメラの映像を危機管理センターの大画面に映し出し、被災状況を速やかに把握し、応援部隊の派遣を決定する等、被災状況に応じた的確な応急対策を速やかに講じる必要がある。

このため、警察、消防、国交及び海保の各省庁及び地方公共団体においては、計 200 機を超えるヘリコプターを運用するとともに、「ヘリテレ（ヘリコプターテレビ電送システム）」と呼ばれるヘリコプターからの 15GHz 帯の電波を地上の無線局で受信することにより、映像の伝送を行うシステムを整備している。また、各機関の映像は、中央防災無線により、首相官邸を含め、各府省が共有することが可能となっており、政府全体における危機管理に重要な役割を果たしている。

災害時等における情報伝達の例を図 1-1 に示す。

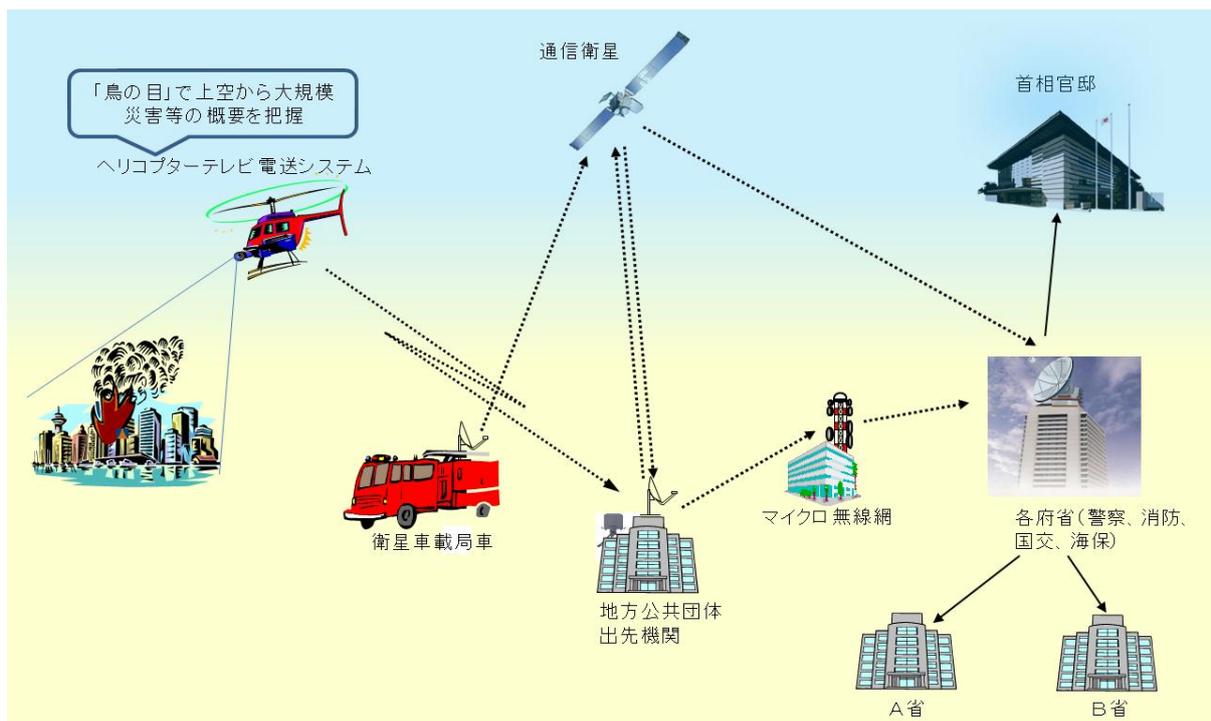


図 1-1 災害時等における情報伝達の例

1.2.2. 放送事業者におけるシステム

放送事業者においては、様々な報道や番組制作のため、NHK 及び民放の主要系列が各十数機のヘリコプターを拠点局に配置して運用しており、搭載されたカメラの映像を放送番組内で使用している。

放送事業者においては、様々な中継現場からスタジオまで番組素材伝送を行うための「FPU(Field Pickup Unit)」と呼ばれる地上の無線システムを整備している。主要な放送事業者においては、「FPU」をヘリコプターに搭載し、ヘリコプターからの電波を地上の無線局で受信することにより、映像の伝送を行っている。FPU の使用例を図 1-2 に示す。FPU は、以下の様々な周波数帯を使用している。

- 800MHz 帯 : 770MHz~806MHz
- B バンド : 5850MHz~5925MHz
- C バンド : 6425MHz~6570MHz
- D バンド : 6870MHz~7125MHz
- E バンド : 10.25GHz~10.45GHz
- F バンド : 10.55GHz~10.68GHz
- G バンド : 12.95GHz~13.25GHz

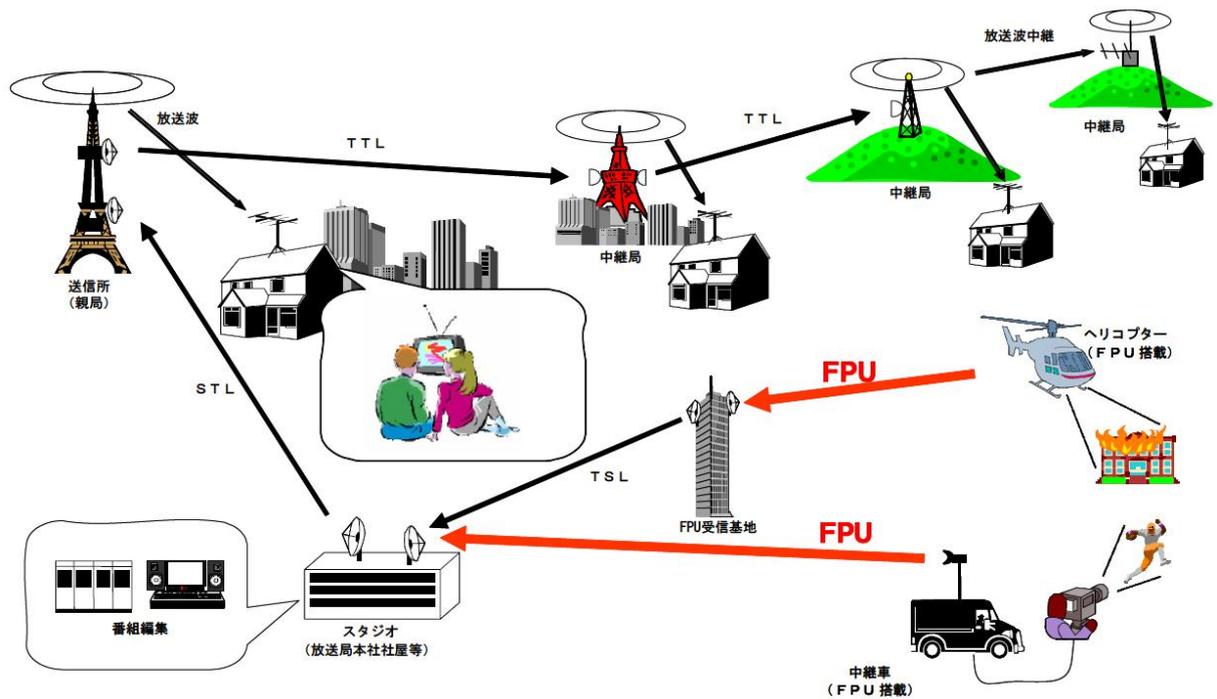


図 1-2 F P Uの使用例

1.3. ヘリコプター通信システムの課題

ヘリテレ及びFPUは、ヘリコプターからの電波を地上の無線局で受信することにより映像の伝送を行うシステムであり、運用範囲が地上の無線局の見通し範囲(数十km)内に限られる課題がある。ヘリテレの伝送可能エリアの例を図1-3に示す。各機関ともに、地上の無線局をタワーや山頂に設置し、運用範囲を広範囲とするよう努めているものの、ヘリコプターは撮影時には低空(150-450m)を飛行することが多いため、ヘリコプターと地上の無線局の間が、地形や建造物により遮られる場合には、近距離であっても、映像の伝送ができないケースも生じている。消防庁「ヘリコプターによる被災地情報収集の在り方に関する検討会報告書」によると、固定の地上の無線局のみで管轄エリアをカバーしているのは、45%の消防機関に留まっている状況である。特に、最近では、震度6強を記録した平成20年の岩手・宮城内陸地震、震度6強を記録した平成19年の能登半島地震、震度7を記録した平成16年の新潟県中越地

ヘリコプターテレビによる映像配信が可能であるエリア(理論値)を示す。

○ 整備済み地域(平成21年3月現在)



(出典) 消防白書

図 1-3 ヘリテレの伝送可能エリアの例

震等、エリアカバー率の低い中山間地や半島において大規模地震が相次いでおり、早急な対応が求められる。

このため、各機関においては、可搬型の受信設備を保有し、固定の設備のエリア外において映像伝送を行う場合には、映像伝送地点の近くに可搬型の受信設備を搬入する等の措置を講じている。しかしながら、イベント等の事前に映像伝送地点が特定可能な場合には、このような措置で対応可能であるが、災害はいつどこで発災するか分からないことから、発災後に可搬型受信設備を搬入することとなり、長時間を要する課題がある。また、大規模地震の場合には、被災地への陸路が途絶する等、搬入が困難となる場合も想定される。

1.4. ヘリコプター通信システムの高度化の検討

1.4.1. 基本コンセプト

現在のヘリコプター通信システムの課題を克服するため、耐災害性に優れ、広域をカバーする通信衛星を利用し、ヘリコプターから直接通信衛星に電波を発射することにより、地上の無線局が設置されていない地域においても映像等をリアルタイムで伝送可能とするシステムのニーズが高まっている。

Ku帯ヘリコプター衛星通信システム（以下、「ヘリサット」という。）は、ヘリコプターに搭載された地球局から、静止軌道上に配置された通信衛星を介してリアルタイムに映像情報等を地上へ伝送するシステムである。ヘリサットでは、広域をカバーする静止衛星を利用することで、地上の無線局が設置されていない地域や地上でのアクセスが困難な場合においても、被災地の映像情報を迅速に伝送することが可能となる。

また、エリアをカバーするために多数必要となる地上の無線局に係る整備・運用コストの大幅低減が見込まれる。

さらに、電力・鉄道等のインフラ企業においては、広域に渡り施設を有し、災害時等には、速やかに復旧する必要がある一方で、これまで、ヘリコプター通信システムを有していなかったが、ヘリサットを導入することで、指令センターにおいて、施設の状況をリアルタイムで把握可能となる。

システム構成の例を、図 1-4 に示す。

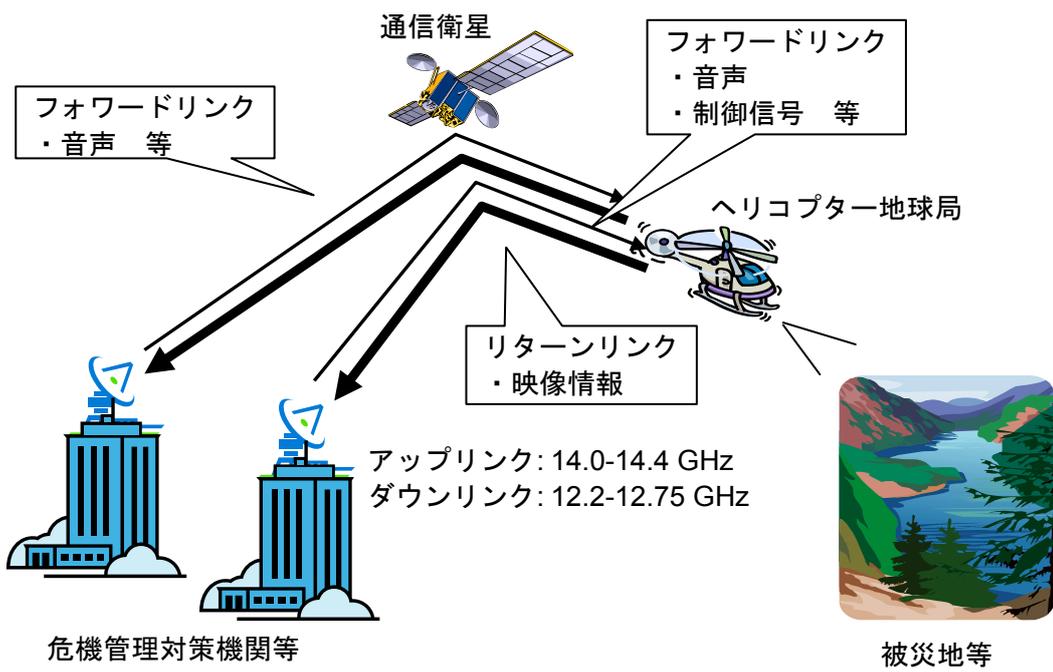


図 1-4 システム構成の例

このシステムの実現のためには、ヘリコプターの上部にはローターブレードが存在することから、図 1-5 のように、高速回転するローターブレードの隙間を縫って、電波を間欠的に発射する技術を採用する必要がある。

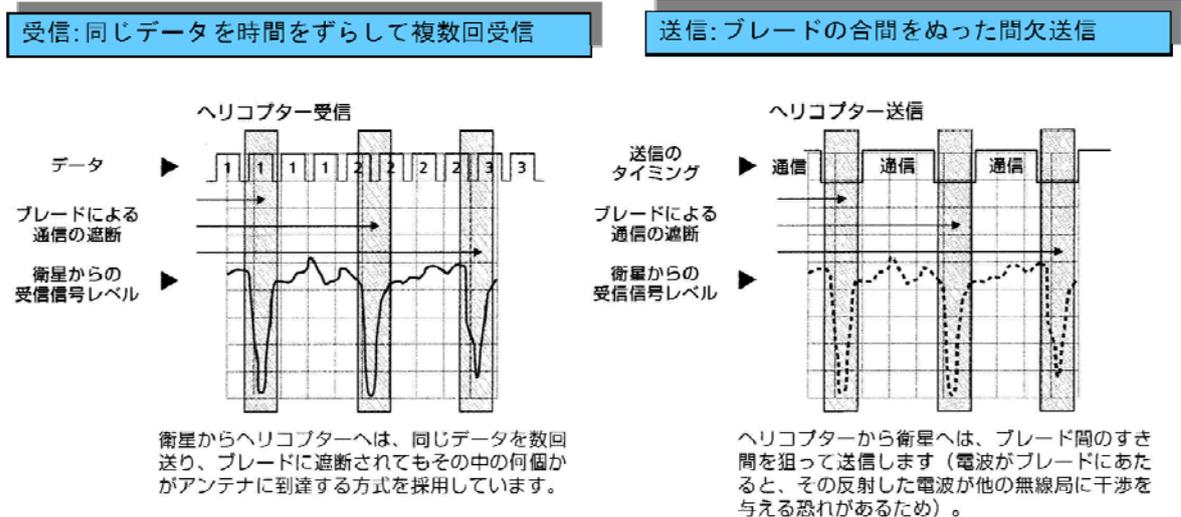


図 1-5 ヘリサットの技術

1.4.2. 標準画質レベルのヘリコプター衛星通信システム

この Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムについては、平成 13 年度から平成 16 年度にかけて情報通信研究機構（NICT）において調査検討が行われ、ヘリコプターからの衛星通信の基本技術を確認するとともに、実際に飛行中のヘリコプターから通信衛星を経由して NICT 鹿島局までの間で 384kbps の準動画の映像伝送試験に成功したところである。その後、中越地震の発災を受けて、被災地情報収集の重要性が再認識されたことを受け、平成 18 年には、消防庁及び消防研究所も調査検討に加わり、飛行中のヘリコプターから通信衛星を経由して消防庁の消防防災・危機管理センターまでの間において MPEG4 による 1.5Mbps の映像伝送に成功し、被災状況の把握に必要な映像伝送の高速化に成功するとともに、消防防災・危機管理センターとヘリコプター間の双方向音声通話による撮影指示を含め、ヘリコプター衛星通信システムが災害時における被災地情報収集に有効であることが検証された。

その後、消防庁においてヘリコプター衛星通信システムの共通仕様書策定の検討が行われる等、早期の実用化に向けた動きが進められたことを受けて、平成 20 年 7 月 29 日に情報通信審議会に「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」が諮問され、本委員会における調査検討を経て、取り急ぎ平成 21 年 1 月 27 日に標準動画及び音声の伝送が可能なシステム（情報速度 1.5 Mbps 程度以下を想定）について、一部答申が取りまとめられたところである。

1.4.3. 高画質映像伝送が可能なヘリコプター衛星通信システム

一部答申に係る調査検討の過程において、ユーザ側より高画質映像伝送のため、更に高速伝送が可能なシステムの実現を期待する意見もあったが、更なる高速伝送を実現するためには、送信電力及び帯域幅の増加等を踏まえた検討が必要となるが、検討に必要な技術データ等が得られていないため、その技術的条件については、将来的な課題として今後の検討に委ねることとされた。

平成 23 年 7 月 24 日の地上デジタル放送への完全移行を間近に控え、ディスプレイの高精細化及び大型化が急速に進展する中で、危機管理対策機関の高画質映像伝送ニーズも急速に高まりつつあり、また、本システムは、危機管理対策機関のみならず、放送事業者の報道取材にも有効であることから、放送事業者の関心も高まってきている中で、ヘリコプター衛星通信システムにおける高画質映像伝送の実現に対する期待が高まっている。

このような状況を踏まえ、高画質映像伝送も可能な Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの導入に向けて、高画質映像伝送のための伝送速度の高速化を図ることを目的とし、必要な技術的条件について一部答申に引き続き検討を行ったものである。

1.5. 要求条件

高画質映像伝送を実現するに際し、各危機管理対策機関や放送事業者等の使用目的により、要求する映像品質が異なる可能性があることから、H.264 コーデックを使用した場合の様々な伝送速度の映像のデモを行った。

危機管理対策機関からの主な感想は、表 1-1 のとおりである。

表 1-1 危機管理対策機関からの主な感想

画素数	フレームレート	映像レート	感想
720×480	10fps	320kbps	被災状況の概況の把握が可能
720×480	15fps	700kbps	被災状況の把握が可能
720×480	30fps	1.41Mbps	被災状況の把握が可能
1440×1080	15fps	1.41Mbps	被災状況の詳細の把握が可能
1440×1080	15fps	2.88Mbps	原画との差異を認識し難い
その他			画質よりも、回線が安定して繋がることが重要であり、確保可能な伝送速度の範囲内で、可能な限り画質が良い事が望ましい。

放送事業者からの主な感想は、表 1-2 のとおりである。

表 1-2 放送事業者からの主な感想

画素数	フレームレート	映像レート	感想
720×480	10fps	320kbps	報道取材用としては、画質よりも、回線が安定して繋がることが重要であり、確保可能な伝送速度の範囲内で、可能な限り画質が良い事が望ましい。 なお、フレームレートを落とした映像には違和感があることから、フレームレートを落とす方法だけでなく、720×480 にこだわらずに QVGA 等まで画素数を落として伝送した上で、伝送後にアップコンバートした方が、きれいな映像となるのではと考えられ、フレームレートと画素数の両方を適切に設定することに改善の余地がある。
720×480	15fps	700kbps	
720×480	30fps	1.41Mbps	
1440×1080	15fps	1.41Mbps	

1440×1080	15fps	2.88Mbps	現状では、細部の映像に破綻が生じている点があるため、画素数を下げざるを得ないが、今後のコーデックの調整により、緊急報道用としては許容される可能性がある。
1440×1080	15fps	4.3Mbps	
1440×1080	30fps	5.82Mbps	(社)電波産業会の「素材伝送用 AVC コーデック画質評価実験報告書」によれば、H.264 コーデックの SNG (衛星による映像伝送)用途の映像ビットレートの必要条件として ・21Mbps 以上 (1920×1080) ・14Mbps 以上 (1440×1080) との結論が出されていることから、一般的な放送用途では十分ではないが、緊急報道用等の限られた用途では許容されると考えられる。
1920×1080	30fps	9.73Mbps	
その他			可変ビットレート使用時の映像を見る必要がある。

(注) 標準画質 (SD) 及び高精細度 (HD) については、SMPTE (米国映画テレビ技術者協会) において、SD : 720×480, 29.97fps、HD : 1920/1440×1080, 29.97fps と規格化されているものであり、伝送速度による定義は存在しない。

このように、ヘリサットに求められる映像品質の絶対的な要件は存在しないことから、特定の伝送速度を要件とせず、衛星の広い周波数帯域を有効に活用して、機器が対応し、ユーザが衛星帯域を確保する限り、また、コーデック等の今後の技術進展に応じ、可能な限り高い伝送速度が実現可能なよう、技術的条件の検討を行うこととした。

また、ヘリサットは、海上や離島等の地上の中継基地局が充実しておらず、これまでリアルタイム映像伝送が困難であった地域において、特に利用価値が高いことから、高画質伝送とは別に、これらの地域においても伝送路の状況に応じ伝送速度を柔軟に下げ、安定的な回線接続及び一定の画質が確保可能なよう、技術的条件の検討を行うこととした。

1.6. 実現方法等

要求条件の実現のため、表 1-3 の方法により高画質映像伝送を目指すこととし、必要な技術的条件について検討することとする。

表 1-3 高画質映像伝送の実現方法

	一部答申の検討	今回の検討
圧縮方式	MPEG-4	MPEG-4 AVC/H.264
画像情報レート	~1.5Mbps	高速化
変調	BPSK	QPSK
占有帯域幅	7.8MHz	拡大
誤り訂正	LDPC(1/2)	LDPC(3/4)
送信 e.i.r.p.	35dBW 以上	45dBW 以上

なお、基地地球局からのアップリンク及び通信衛星からのダウンリンクについては、固定衛星業務としての運用と変わらないため、本検討においてはヘリコプター地球局（回転翼航空機に搭載して使用する地球局をいう。以下同じ。）からの送信のみについて実施している。

検討方法としては、本来は、標準画質レベルのシステムの検討時同様に実際に飛行中のヘリコプターからの実証試験を実施することが望ましいが、今回は、様々な制約のため、地上に駐機したヘリコプターからの固定伝送実験、動揺試験台による指向精度確認試験等の技術試験結果（参考資料 1 参照）に基づき、実施することとした。

2. システム及び無線設備の技術的条件

2.1. 一般的条件

2.1.1. 定義

Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件について諮問されているものであり、使用形態及び 14.4GHz を超える周波数帯を使用する移動・固定業務等との周波数共用を考慮し、回転翼航空機に搭載して使用する地球局であって 14.0GHz を超え 14.4GHz 以下の周波数の電波を送信するものとするのが適当である。

2.1.2. 必要な機能

ヘリコプターの上部にはローターが存在することから、高速回転するローターブレードの隙間を縫って、電波を間欠的に発射する機能を有する必要がある。一部答申においては、ヘリコプター地球局は、送信空中線の主輻射が自機の機体（ブレードを含む。）に輻射しないよう、自動的に電波の発射を停止する機能を有することが必要であるとして、間欠発射機能とインターロック機能を一緒に規定していたが、これらの機能は、異なる機能であるため、分けて規定することとした。

また、ヘリコプター地球局は、移動中に電波を発射するものであり、ヘリコプターに大きな姿勢変化があった場合にも、地上の無線局に干渉が生じないようにする必要がある。

さらに、ヘリコプターのペイロード制限により、搭乗者数も限定しなければならない場合も多いと考えられ、搭乗者が常時操作することは困難であると考えられるため、被制御型の無線局とすることが適当であり、同様に移動中に電波を発射する地球局である E S V（無線設備規則第 45 条の 21）及び Ku 帯航空機地球局（無線設備規則第 49 条の 24 の 2）の規定を踏まえ、以下のとおり、被制御型の無線局の機能を有することが適当である。

- (1) ヘリコプター地球局の空中線は、通信の相手方である人工衛星局のみを自動的に捕捉及び追尾することができるものであつて、当該人工衛星局を自動的に捕捉及び追尾することができなくなった場合は、直ちに電波の発射を停止する機能を有すること。
- (2) ヘリコプター地球局は、制御基地地球局が送信する制御信号を受信した場合に限り、送信を開始できる機能を有すること。
- (3) ヘリコプター地球局が使用する周波数及び輻射する電力は、制御基地地球局が送信する制御信号によって自動的に設定されるものであること。
- (4) ヘリコプター地球局は、自局の障害を検出する機能を有し、障害を検出したとき及び人工衛星局を経由した基地局からの信号を正常に受信できないときに、自動的に電波の発射を停止する機能を有すること。

2.1.3. 適用周波数帯

新たに規定した定義の中に適用周波数帯が含まれることから、適用周波数帯として規定する必要はない。

2.1.4. 変調方式

一部答申では、標準画質レベルの動画伝送を想定し、変調方式として BPSK 等が規定されていたが、高画質伝送のためには QPSK 等の多値変調方式の使用により伝送速度を大幅に増やす必要がある。また、今後の技術進展に柔軟に対応可能とするためには、特定の変調方式に限定せずに様々な変調方式を使用可能とすることが望まれる。さらに、与干渉特性に係る試験結果からも様々なデジタル変調方式による与干渉特性に大きな差異は生じなかった。

なお、デジタル変調では方式によらずスペクトルは均一で平坦であるが、アナログ変調では信号に変化が無い場合にスペクトラムが集中し、電力密度が高くなり、映像伝送において軸外輻射電力密度規定を満足することが困難であることから、アナログ変調は適さないと考えられる。

これらを踏まえ、ヘリサットの変調方式としては、デジタル変調方式と規定することが適当であると考えられる。

また、高画質伝送のために QPSK 等の多値変調方式を使用した場合、所要 C/N が増加し、回線のマージンが減少することから、大雨・電波干渉時や地域による伝搬路の状況に応じ、伝送速度を落とす代わりに回線の安定度を向上させるため、変調方式を選択可能とすることが望ましい。なお、この場合においても、伝搬路の状況によっては、所要 C/N が確保できず、使用できない場合もあることに留意が必要である。

2.1.5. 通信方式

通信方式は、現在具体的な利用方法が想定されているシステムにおいては、リターンリンクは映像、フォワードリンクは音声及び制御信号が中心となると考えられるため、基本的には複信方式の非対称通信が基本となるが、将来的には本システムの様々な応用利用も考えられることから、無線設備の条件として特定の方式に限定する必要はない。

2.1.6. アクセス方式

アクセス方式は、変調方式や通信方式によって様々な方式が考えられるため、無線設備の条件として特定の方式に限定する必要はない。

2.1.7. 電磁環境対策

ヘリコプター地球局は、移動する無線局であることから、電波強度に対する安全施設を設けることを定めた電波法施行規則第21条の3の規定は適用されないものの、過度な強度の電波から人体を保護するための必要条件を満たすよう、電波防護指針で定められた要求条件を満たすことが必要である。

また、ヘリコプター地球局はヘリコプターに搭載されることから、航空計器類に影響がないことが求められるが、ヘリコプターへのヘリコプター地球局の搭載は、航空法第16条に基づく修理改造検査が必要であり、当該検査において航空計器類に影響がないことが確認されることとなる。

2.1.8. その他

放送用途では、可能な限り高画質映像伝送の実現が期待されることから、映像符号化方式については、特定の方式に限定せずに、今後の技術進展に応じ、様々な方式を使用可能とすることが望まれる。また、その他伝送パラメータについても、安定的な映像伝送の実現に向けた検証を実施する必要があるものの、ヘリコプターの位置、姿勢、方向に応じ、ローターブレードによる遮断率は変動することから、遮断率に応じ、回線稼働率の向上のために適応的に送信バースト長・符号化率を可変とすることや画質の向上のために適応的に映像レートを可変とすることが望ましい。(参考資料6参照)

さらに、ヘリコプター地球局は、各ユーザにより、利用目的が大きく異なることが想定されることから、各ユーザの運用を踏まえ、秘匿機能等の必要な機能を有することが望ましい。また、広域応援等の相互運用を図るユーザ間における共通仕様書の作成等により、相互接続性の確保を図ることが望ましい。

2.2. ヘリコプター地球局の無線設備の条件

2.2.1. 送信装置の条件

2.2.1.1. 周波数の許容偏差

ヘリコプター地球局の移動に伴うドップラーシフトは、ヘリコプターの最大移動速度を180 kt (約333 km/h) と仮定した場合、最大で0.308 ppm となり(参考資料2参照)、補正しなくても周波数の引き込み範囲に収まるため、周波数の許容偏差はKu帯における一般的な地球局の規定値である ± 100 ppm とすることが適当である。

2.2.1.2. 占有周波数帯幅の許容値

一部答申では、標準画質伝送を行うため変調をBPSKとして、帯域を7.8MHz以下と規定した。高速化に際しては、様々な用途に応じ伝送する情報量や採用

する変調方式により占有周波数帯域幅は大きく変化することとなる。また、電力密度を低減させるため、スペクトル拡散方式の採用も考えられ、さらに帯域が広がることが考えられる。このような状況を踏まえ、ヘリコプター地球局の占有周波数帯幅については、様々な用途における柔軟性を確保するため、一律の値を規定せずに、一般的に地球局で適用されているように、電波法関係審査基準に規定されている各種の伝送方式に応じて確立している計算手法（参考資料5参照）を適用し、無線局の免許の際に指定することが適当である。なお、この場合の伝送速度は、ローターブレードによる遮断率が0%であるときの伝送速度を適用することが適当である。

2.2.1.3. スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度の許容値

スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度の許容値は、宇宙無線通信を行う無線局の許容値として、以下に示す総務省告示第 1228 号（平成 17 年 10 月 21 日）に従うことが必要である。

(1) スプリアス領域における不要発射の強度の許容値

50 μ W 以下又は基本周波数の平均電力より 60 dB 低い値のいずれか厳しくない値。

(2) 帯域外領域における不要発射の強度の許容値

上記の値と、必要周波数帯幅内における 4 kHz の周波数帯域幅当たりの最大電力密度から、4 kHz の周波数帯域幅当たり $40 \log (2F/BN + 1)$ dB の値とのいずれか小さい方の値。ここで、F は必要周波数帯幅と帯域外領域の境界より中心周波数と反対方向に離れる周波数の値、BN はシングルキャリアの場合にあっては占有周波数帯幅の許容値（割当帯域幅を有する場合には当該割当帯域幅の両端に位置する周波数の占有周波数帯幅の許容値）、マルチキャリアの場合にあっては割当帯域幅とする。

2.2.1.4. 空中線電力の許容偏差

空中線電力の許容偏差として無線設備規則第 14 条に規定されている ± 50 % 以内とすることが必要である。

2.2.1.5. 軸外輻射電力の許容値

隣接衛星に対する干渉を避けるため、無線設備規則第 45 条の 21 を踏まえ、静止衛星軌道に対し南北方向の $\pm 3^\circ$ 以内のすべての方向に輻射される電力は、以下の値とすることが必要である。

主輻射の方向からの離角 (θ)	最大輻射電力 (40 kHz あたり)
$2.5^\circ \leq \theta < 7^\circ$	33 - 25 log θ dBW
$7^\circ \leq \theta < 9.2^\circ$	12 dBW
$9.2^\circ \leq \theta < 48^\circ$	36 - 25 log θ dBW
$48^\circ \leq \theta$	-6 dBW

θ は、主輻射の方向からの離角とする。

なお、ヘリコプター地球局の空中線は、通信の相手方である人工衛星局のみを自動的に追尾することができる機能を有することとしているが、追尾誤差が生じることから、輻射方向の利得には、実測値等に基づく追尾誤差等を考慮した値を用いることが必要である。

また、他の衛星方向への輻射電力に関し、事業者間調整値等の制限がある場合には、当該制限値以下であることが必要である。

ヘリコプター地球局の空中線は、小型の開口面アンテナを使用する機会が多いと考えられ、主輻射の幅が広く、主輻射が追尾誤差を考慮して軸外輻射電力の許容値を満足しなければならないことから、スペクトル拡散方式を用いることにより、電力密度を下げるのが有効と考えられる。

2.2.1.6. 交差偏波輻射電力の制御

交差偏波輻射電力に関しては、その通信の相手方である人工衛星局の交差偏波側の中継器を利用するシステムに有害な干渉を生じさせない十分小さな値になるよう制御されることが必要である。しかしながら、メーカーの機器製作の自由度を高める観点から、一律に規定せずに、衛星通信事業者が、裏側の偏波の使用状況を踏まえて、設定することが適切であるため、無線設備の条件として規定する必要はない。

2.2.2. 受信装置の条件

2.2.2.1. 副次的に発生する電波等の限度

他の無線設備の機能に支障を与えない限度として、無線設備規則第 24 条に規定される 4 nW 以下とすることが必要である。

2.2.3. 空中線の条件

2.2.3.1. 覆域

ヘリコプター地球局の送信空中線の最小運用仰角は、一般的な地球局と同様に、水平面から +3 度以上とすることが必要である。

ヘリコプター地球局の地表線に対する等価等方輻射電力の許容値は、一般的な地球局と同様に以下の値とすることが必要である。

仰角 (θ)	等価等方輻射電力の許容値
$\theta \leq 0^\circ$	40 dBW/4kHz
$0^\circ < \theta \leq 5^\circ$	$40 + 3\theta$ dBW/4kHz

θ は、送信空中線の輻射の中心から見た地表線の仰角とする。

2.2.3.2. 偏波

一部答申では、偏波は、直線偏波又は円偏波としていたが、無線設備の条件として規定する必要性は低いと考えられる。

2.2.3.3. 交差偏波識別度

交差偏波識別度は、同一の衛星で周波数の再利用を行っているシステムにおいてはシステム内干渉として重要な要素となり、この干渉量を最小限に抑えることが望ましい。VSAT システムにおいては、27dB 以上と規定されているところであるが、例えばスペクトル拡散方式を用いる場合には 10dB 程度でも十分である場合もあり、メーカーの機器製作の自由度を高める観点から、一律に規定せずに、交差偏波電力が通信の相手方である人工衛星局の交差偏波側の中継器を利用するシステムに有害な干渉を生じさせないようにユーザとの契約の際に衛星通信事業者が個別に指定することが適当である。

なお、技術試験の結果において、交差偏波との D/U が約 10dB となっているが、降雨時や隣接衛星からの干渉等に備えたマージンが必要と考えられる。

2.2.4. 監視・制御装置の条件

2.2.4.1. 故障検出機能

一部答申では、ヘリコプター地球局は、故障検出機能を持ち、システムの動作に影響のある故障を検出したときは直ちに送信を停止する機能を有することが規定されていたが、機能要件にも含まれていることから、監視・制御装置の条件としては、規定する必要はない。

2.2.4.2. 機内設備とのインタフェース

ヘリコプターの安全航行を確保するため、安全に係る機器にはいかなる場合も影響を与えないインタフェース条件とすることが重要であるが、無線設備の条件として規定する必要はない。

3. 測定法

ヘリコプター地球局の無線設備の測定法については、国内で定められた測定法に準拠して以下のとおりとすることが望ましい。

3.1. 送信装置

3.1.1. 周波数の偏差

受検機器を無変調の状態で作動させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求める。測定器などにより測定可能であれば変調状態で測定してもよい。

3.1.2. 占有周波数帯幅

受検機器を変調の状態で作動させ、スペクトラムアナライザを用いて測定する。

測定点はアンテナ端子又は測定用モニター端子とする。

使用するパターン発生器は規定伝送速度に対応した標準符号化試験信号を発生する信号源とする。

誤り訂正を使用している場合は、そのための信号を付加した状態で測定する（内蔵パターン発生器がある場合はこれを使用してもよい）。

標準符号化試験信号はランダム性が確保できる信号とする。

3.1.3. スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度

変調状態で動作させ、搬送波の平均電力に対する各不要発射波成分の平均電力又は相対値をスペクトラムアナライザで測定する。ただし、拡散変調において変調波による測定が困難な場合は無変調の状態での測定し、変調による拡散係数を計算により求めて換算する。

拡散係数とは搬送波の無変調状態における当該不要波の平均電力に対する搬送波変調時の当該不要波の 4 kHz 当たりの電力密度に対する比とする。

3.1.4. 空中線電力の偏差

変調の状態での連続送信として動作させ、送信設備の電力出力を電力計又はスペクトラムアナライザを用いて測定し、規定された空中線電力との比を求める。

ただし、アクティブフェーズドアレイアンテナのように、空中線電力を直接測定することが困難な場合は、あらかじめ測定された較正值により確認してもよい。試験用ホーンアンテナを用いて送信輻射電力を測定し、既知であるホーンアンテナ利得、スパンロス及び空中線利得から空中線電力を求める方法もある。

3.1.5. 軸外輻射電力

3.1.4 の項目にて測定した送信設備の電力に、送信損失及び空中線の指向特性の利得を加えて求める。

3.2. 受信装置

3.2.1. 副次的に発生する電波などの限度

副次的に発生する電波などの限度については、受検機器を連続受信状態にし、副次的に発生する電波の電力を、スペクトラムアナライザを用いて測定する。

4. 周波数共用に関する条件

ヘリサットでは、二次業務として移動衛星業務に分配されている Ku 帯を利用することから、周波数共用に当たっては一次業務の無線局との関係に特に留意する必要がある。

本周波数帯の周波数割当計画を、表 4-1 に示す。

表 4-1 14-14.5 GHz の周波数割当計画

国際分配 (GHz)			国内分配 (GHz)		無線局の目的 (5)	周波数の使用に関する条件 (6)
第一地域 (1)	第二地域 (2)	第三地域 (3)	(4)			
14-14.25	固定衛星 (地球から宇宙) 5.457A 5.457B 5.484A 無線航行 5.504 移動衛星 (地球から宇宙) 5.504B 5.504C 5.506A 宇宙研究 5.504A 5.505	5.457A 5.457B 5.484A 5.506 5.506B	14-14.4 J144A	固定衛星 (地球から宇宙) J129A J144 移動衛星 (地球から宇宙) J153B	電気通信業務用 公共業務用 放送事業用 (放送衛星局のフィーダリンク用) 電気通信業務用 公共業務用	
14.25-14.3	固定衛星 (地球から宇宙) 5.457A 5.457B 5.484A 無線航行 5.504 移動衛星 (地球から宇宙) 5.504B 5.506A 5.508A 宇宙研究 5.504A 5.505 5.508	5.457A 5.457B 5.484A 5.506 5.506B				
14.3-14.4	14.3-14.4 固定衛星 (地球から宇宙) 5.457A 5.484A 5.506 5.506B 移動衛星 (地球から宇宙) 5.506A 無線航行衛星 5.504A	14.3-14.4 固定衛星 (地球から宇宙) 5.457A 5.484A 5.506 5.506B 移動 (航空移動を除く。) 移動衛星 (地球から宇宙) 5.504B 5.506A 5.509A 無線航行衛星 5.504A				
14.4-14.47	固定衛星 (地球から宇宙) 5.457A 5.457B 5.484A 移動 (航空移動を除く。) 移動衛星 (地球から宇宙) 5.504B 5.506A 5.509A 宇宙研究 (宇宙から地球) 5.504A	5.457A 5.457B 5.484A 5.506 5.506B	14.4-14.47 J144A	固定衛星 (地球から宇宙) J129A J144 移動 (航空移動を除く。) 移動衛星 (地球から宇宙) J153B	電気通信業務用 電気通信業務用 公共業務用 放送事業用 (放送衛星局のフィーダリンク用) 電気通信業務用 公共業務用 電気通信業務用 公共業務用	電気通信業務用での使用は、固定回線の障害時等の臨時回線に限る。
14.47-14.5	固定衛星 (地球から宇宙) 5.457A 5.457B 5.484A 移動 (航空移動を除く。) 移動衛星 (地球から宇宙) 5.504B 5.506A 5.509A 電波天文 5.149 5.504A	5.457A 5.457B 5.484A 5.506 5.506B	14.47-14.5 J144A	固定衛星 (地球から宇宙) J129A J144 移動 (航空移動を除く。) 移動衛星 (地球から宇宙) J153B 電波天文	電気通信業務用 電気通信業務用 公共業務用 放送事業用 (放送衛星局のフィーダリンク用) 電気通信業務用 電気通信業務用 公共業務用	電気通信業務用での使用は、固定回線の障害時等の臨時回線に限る。

14.0-14.5 GHz は、2003 年に開催された世界無線通信会議 (WRC-03) において航空移動衛星業務への二次分配が承認されたものである。この審議過程において、国際分配されている業務との共用条件として ITU-R 勧告 M.1643 が制定されており、ヘリサットにおける周波数共用の検討に当たって参考とした。

我が国において 14.0-14.5 GHz は、一次業務として固定、固定衛星（地球から宇宙）及び移動（航空移動を除く。）に、二次業務として移動衛星（地球から宇宙）及び電波天文に分配されている。この中で 14.4-14.5 GHz については、無線局運用規則第 151 条の 2 において、高度 3000m 未満を航行中のときは電波の送信を行わないこととされているため、ヘリコプターの運用高度を踏まえた場合、ヘリサットで実質的に使用可能な周波数帯は 14.0-14.4 GHz であるものとして共用条件の検討を行う。

なお、ヘリサットは災害時等での運用も見込まれているが、非常通信を行う場合には、電波法第 56 条第 1 項ただし書の規定が適用される。

4.1. 固定衛星業務

固定衛星業務は、災害対策、ニュース素材伝送、CS放送アップリンク、インターネット接続等の衛星通信事業者による電気通信役務の提供や人工衛星の運用等に使用されている。

固定衛星業務との共用については、ヘリコプター地球局から人工衛星局に対する干渉が問題となる。高速伝送の実現に際しては、送信出力の増大が必要となり、与干渉も増大する恐れがあるが、技術試験の結果より、ヘリコプター地球局の信号は、通常の地球局のデジタル信号とほぼ等価の与干渉特性を有していることから、通常の地球局と同様に扱うことが可能である。このため、固定衛星業務を行う人工衛星局の中継器を使用するヘリサットは、無線通信規則に定められた国際調整において特定又は代表地球局として公表され、調整された条件で運用されなければならない。

この際、ヘリコプター地球局の軸外等価等方輻射電力を変動させる、空中線の追尾誤差、放射特性の変動、送信電力の許容偏差の変動を考慮する必要がある。

なお、スペクトル拡散方式を用いる場合には、同一衛星システムに属し、同一周波数を利用するすべての地球局等からの総和の干渉レベルを当該衛星システムと他衛星システムとの調整で合意された許容干渉量以下に抑える必要があるため、他衛星システムとの調整で合意された軸外等価等方輻射電力の総和の値を超えて運用しないことが必要である。

4.2. 固定業務・移動業務

14.4-15.35GHz の周波数帯において、固定業務としては、携帯電話の基地局エントランス用無線局が 3 千 8 百局強存在している。また、移動業務としては、電気通信事業者が災害等が起こった際の伝送路の救済及び確保のため、臨時回線を構築するための無線局が 2 百局強存在している。

それぞれの無線局のイメージを図 4-1 及び図 4-2 に示す。

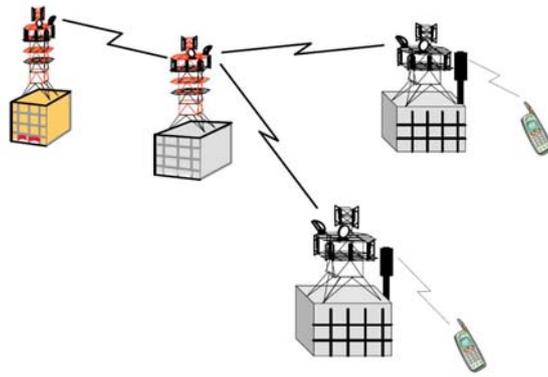


図 4-1 携帯電話の基地局エントランス用無線局（固定業務）のイメージ

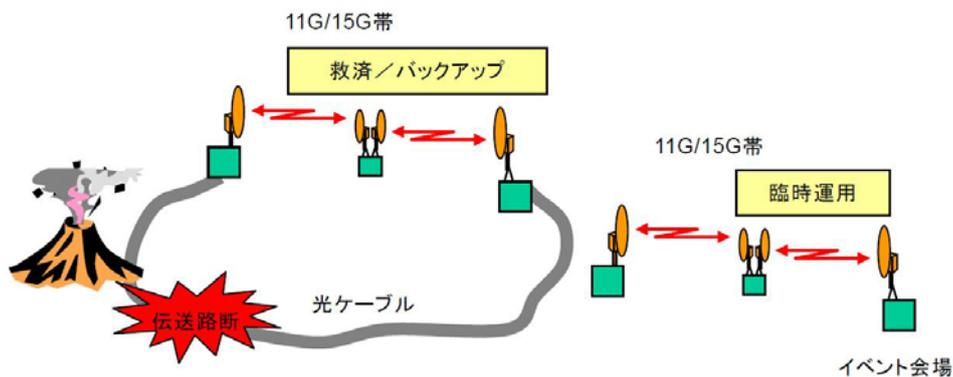


図 4-2 臨時回線を構築するための無線局（移動業務）のイメージ

ITU-R 勧告 M.1643 (参考資料 4 参照) では、固定業務を運用している主管庁の領域の見通し範囲内では、一つの航空機地球局から地表面に対して放射される電力束密度は以下の値を超えてはならないと勧告されている。

$$\begin{array}{llll}
 -132+0.5 \theta & \text{dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{for} & \theta \leq 40^\circ \\
 -112 & \text{dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{for} & 40^\circ < \theta \leq 90^\circ
 \end{array}$$

θ は、ヘリコプター地球局から発射された電波の到来方向の地表面における仰角とする。

我が国において、固定業務は 14.4 GHz を超える周波数帯に分配されており、無線局運用規則では高度 3000m 未満では電波の発射を停止することとされている。

このため、14.4 GHz 以下で運用する場合において不要発射電力が上記規定値を満足することが適当である。

高速伝送の実現に際しては、送信出力の増大が必要となるが、ヘリコプター地球局から地表面に放射されるのは、軸外輻射電力であり、その許容値は、一部答申時から変更していないこと、また、技術試験の結果より、ヘリコプターの機体による反射を考慮したヘリコプター下方の電力束密度の実測値は、計算値を下回っていることから、最低安全高度である 150m で飛行した場合においても、上記規定値を実現することは、技術的に可能と考えられる。(参考資料 3 参照)

4.3. 電波天文業務

我が国において電波天文業務は、14.47 GHz を超える周波数帯に分配されており、無線局運用規則第 151 条の 2 第 2 項第 4 号の規定により、航空機地球局は、14.47-14.5 GHz の周波数の電波を受信している電波天文業務の用に供する受信設備からの見通し域内では、14.47-14.5 GHz の電波の送信は行わないこととされている。

ITU-R 勧告 M.1643 では、電波天文との共用条件として、14.47-14.5 GHz で航空機地球局を運用する場合には、電波天文局の見通し領域内での送信を行わないか、電波天文局との間で特別な合意を結ぶことと勧告されている。また、14.47 GHz 以下の周波数で航空機地球局を運用する場合には、電波天文局に対して放射される電力束密度が以下の値を満足するものであれば、ITU-R 勧告 RA.769 に示される電波天文局の電力束密度及び ITU-R 勧告 RA.1513 に示されるデータ損失の割合を満たすものとして示されており、無線局運用規則第 151 条の 2 第 2 項第 5 号においても同じ値が規定されている。高速伝送の実現に際しては、送信出力の増大が必要となるが、固定業務・移動業務と同様の理由により、下記規定値を実現することは技術的に可能と考えられることから、14.47 GHz 以上のヘリコプター地球局からの不要発射電力が下記規定値を満足することにより電波天文業務との両立性を確保することが適当である。

$$\begin{array}{llll} -190+0.5 \theta & \text{dB (W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{for} & \theta \leq 10^\circ \\ -185 & \text{dB (W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{for} & 10^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

θ は、ヘリコプター地球局から発射された電波の到来方向の地表面における仰角とする。

4.4. 宇宙研究業務

平成 15 年 10 月 29 日の情報通信審議会答申、「Ku 帯を用いた高速・大容量航空移動衛星システムの技術的条件」において、「14.136-14.264 GHz で運用されている宇宙研究業務用地球局の見通し領域内では、運用についての合意された条件が定められるまでは当該周波数での送信は停止することとされており、無線局運用規則第 151 条の 2 第 2 項第 6 号においては当該周波数帯では見通し領域内での電波の送信は行わない」こととされている。

現時点においては、本周波数帯における宇宙研究業務の分配はなく、また運用も行われていないため、宇宙研究業務との周波数共用について検討する必要はない。

V 審議結果

「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」について、別添のとおり答申（案）を取りまとめた。

情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会 構成員

(敬称略、専門委員は五十音順)

氏名	主要現職
主査 服部 武	上智大学 理工学部 情報理工学科 教授
専門委員 阿部 宗男	三菱電機(株) 通信システム事業本部 通信事業部 通信第一部長
〃 大石 雅寿	自然科学研究機構 国立天文台 天文データセンター 准教授
〃 尾上 誠蔵	(株) エヌ・ティ・ティ・ドコモ 執行役員 研究開発推進部長
〃 門脇 直人	(独) 情報通信研究機構 新世代ワイヤレス研究センター 研究センター長
〃 河合 宣行	KDDI(株) ネットワーク技術本部 国際ネットワーク部 担当部長
〃 川口 さち子	パナソニック株式会社 コーポレート戦略室 戦略企画グループ プラットフォーム技術総括 参事
〃 佐藤 祐子	(株) 東芝社会システム社 電波システム事業部 電波システム技術部 参事
〃 高橋 和子	(株) フジテレビジョン 技術開発局技術開発室 企画開発部 副部長
〃 徳永 恭子	NEC 東芝スペースシステム (株) 技術本部 電波センサグループ エキスパートエンジニア
〃 本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
〃 正村 達郎	日本無線(株) 取締役 研究開発本部長
〃 増田 紀子	スカパーJSAT(株) 技術運用本部 衛星技術部長
〃 三浦 佳子	消費生活コンサルタント
〃 若尾 正義	(社) 電波産業会 専務理事

ヘリサット作業班構成員名簿

(敬称略、五十音順)

氏名		主要現職
主任	すずき りゅうたろう 鈴木 龍太郎	(独) 情報通信研究機構 新世代ワイヤレス研究センター 宇宙通信ネットワークグループリーダー
主任代理	さとう まさき 佐藤 正樹	(独) 情報通信研究機構 新世代ワイヤレス研究センター 宇宙通信ネットワークグループ 主任研究員
構成員	ありむら しんじ 有村 真二	国土交通省 大臣官房技術調査課電気通信室 課長補佐
"	おおいし まさとし 大石 雅寿	自然科学研究機構 国立天文台 天文データセンター 准教授
"	おおうち ちはる 大内 智晴	(財) 自治体衛星通信機構 技術部長
"	おか しんじ 岡 真二	海上保安庁 総務部情報通信課システム整備室 課長補佐
"	おざき ゆたか 尾崎 裕	三菱電機(株) 通信情報システム部システム第二課 担当部長
"	きむら よしのぶ 木村 好信	(株) フジテレビジョン 技術開発局技術開発室 企画開発部 部長
"	きりやま つとむ 桐山 勉	日本無線(株) ソリューション事業本部 電波応用技術部 レーダシステムグループ 課長
"	さいとう やすひろ 斉藤 康弘	警察庁 情報通信局通信施設課 課長補佐
"	すずき はじめ 鈴木 始	朝日航洋(株) 航空事業本部 品質保証部
"	せと のぶゆき 瀬戸 伸幸	(株) エヌ・ティ・ティ・ドコモ 電波部電波技術担当課長
"	そね ゆたか 曾根 裕	(独) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室長
"	たき あきら 滝 明	総務省消防庁 国民保護・防災部防災課防災情報室 課長補佐
"	なかがわ えいしん 中川 永伸	(財) テレコムエンジニアリングセンター 技術部 担当部長
"	なかむら としお 中村 俊男	NTT アクセスサービスシステム研究所 第三推進プロジェクト 主任研究員
"	なごや たすく 名古屋 翼	スカパーJSAT(株) 技術運用本部 通信技術部 マネージャー
"	ほそかわ まさふみ 細川 直史	消防研究センター 技術研究部 地震等災害研究室長
"	みき けいすけ 三木 圭輔	(株) TBS テレビ 技術局 報道・中継技術部
"	やじま りょういち 矢島 亮一	日本放送協会 技術局報道施設部 副部長
"	わたなべ そういち 渡邊 聡一	(独) 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター EMC グループ 研究マネージャー

別 添

情報通信審議会諮問第 2025 号

「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」(案)

諮問第 2025 号「Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件」に対する答申（案）

Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムの技術的条件については、以下のとおりとすることが適当である。

1 定義

回転翼航空機に搭載して使用する地球局であって 14.0GHz を超え 14.4GHz 以下の周波数の電波を送信するもの。

2 一般的条件

(1) 必要な機能

Ku 帯ヘリコプター衛星通信システムには、以下の機能が必要である。

ア ヘリコプター地球局の空中線は、通信の相手方である人工衛星局のみを自動的に捕捉及び追尾することができるものであつて、当該人工衛星局を自動的に捕捉及び追尾することができなくなった場合は、直ちに電波の発射を停止する機能を有すること。

イ ヘリコプター地球局は、送信空中線の主輻射が自機のブレードに輻射しないよう、回転するブレードの合間を縫って間欠送信する機能を有すること。

ウ ヘリコプター地球局は、制御基地地球局が送信する制御信号を受信した場合に限り、送信を開始できる機能を有すること。

エ ヘリコプター地球局が使用する周波数及び輻射する電力は、制御基地地球局が送信する制御信号によって自動的に設定されるものであること。

オ ヘリコプター地球局は、自局の障害を検出する機能を有し、障害を検出したとき及び人工衛星局を経由した基地局からの信号を正常に受信できないときに、自動的に電波の発射を停止する機能を有すること。

カ ヘリコプター地球局は、送信空中線の主輻射が自機の機体に輻射しないよう、自動的に電波の発射を停止する機能を有すること。

(2) 変調方式

変調方式は、デジタル変調方式であること。

3 ヘリコプター地球局の無線設備の条件

(1) 送信装置の条件

ア 周波数の許容偏差

±100 ppm 以下であること。

イ 占有周波数帯幅の許容値

原則として、各種の伝送方式に応じて確立している計算式により算出した値以下として無線局の免許の際に指定することが適当である。

ウ スプリアス発射の強度の許容値

スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度の許容値は、4 kHz の周波数帯域幅当たり、それぞれ以下の値であること。

(ア) スプリアス領域における不要発射の強度の許容値

50 μW 以下又は基本周波数の平均電力より 60 dB 低い値のいずれか厳しくない値。

(イ) 帯域外領域における不要発射の強度の許容値

上記の値と、必要周波数帯幅内における 4 kHz の周波数帯域幅当たりの最大電力密度から、4 kHz の周波数帯域幅当たり $40 \log (2F/BN + 1)$ dB の値とのいずれか小さい方の値。ここで、F は必要周波数帯幅と帯域外領域の境界より中心周波数と反対方向に離れる周波数の値、BN はシングルキャリアの場合にあっては占有周波数帯幅の許容値（割当帯域幅を有する場合には当該割当帯域幅の両端に位置する周波数の占有周波数帯幅の許容値）、マルチキャリアの場合にあっては割当帯域幅とする。

エ 空中線電力の許容偏差

±50%以内であること。

オ 軸外輻射電力の許容値

静止衛星軌道に対し南北方向の±3°以内のすべての方向に輻射される電力は、以下の値であること。

主輻射の方向からの離角 (θ)	最大輻射電力 (40 kHz あたり)
$2.5^\circ \leq \theta < 7^\circ$	$33 - 25 \log \theta$ dBW
$7^\circ \leq \theta < 9.2^\circ$	12 dBW
$9.2^\circ \leq \theta < 48^\circ$	$36 - 25 \log \theta$ dBW
$48^\circ \leq \theta$	-6 dBW

θ は、主輻射の方向からの離角とする。

なお、輻射方向の利得には、実測値等に基づく追尾誤差等を考慮した値を用いること。

また、他の衛星方向への輻射電力に関し、事業者間調整値等の制限がある場合には、当該制限値以下であること。

(2) 受信装置の条件

副次的に発生する電波等の限度は、4 nW 以下であること。

(3) 空中線の条件

ア 覆域

ヘリコプター地球局の送信空中線の最小運用仰角は、水平面から+3度以上であること。

ヘリコプター地球局の地表線に対する等価等方輻射電力の許容値は、以下の値であること。

仰角 (θ)	等価等方輻射電力の許容値
$\theta \leq 0^\circ$	40 dBW/4kHz
$0^\circ < \theta \leq 5^\circ$	$40 + 3\theta$ dBW/4kHz

θ は、送信空中線の輻射の中心から見た地表線の仰角とする。

イ 交差偏波識別度

交差偏波電力が通信の相手方である人工衛星局の交差偏波側の中継器を利用するシステムに有害な干渉を生じさせないようにユーザとの契約の際に衛星通信事業者が個別に指定することが適当である。

4 測定法

ヘリコプター地球局の無線設備の測定法については、国内で定められた測定法に準拠して以下のとおりとすること。

(1) 送信装置

ア 周波数の偏差

受検機器を無変調の状態で作動させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求める。測定器などにより測定可能であれば変調状態で測定してもよい。

イ 占有周波数帯域幅

受検機器を変調の状態で作動させ、スペクトラムアナライザを用いて測定する。

測定点はアンテナ端子又は測定用モニター端子とする。

使用するパターン発生器は規定伝送速度に対応した標準符号化試験信号を発生する信号源とする。

誤り訂正を使用している場合は、そのための信号を付加した状態で測定する(内蔵パターン発生器がある場合はこれを使用してもよい)。

標準符号化試験信号はランダム性が確保できる信号とする。

ウ スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度

変調状態で動作させ、搬送波の平均電力に対する各不要発射波成分の平均電力又は相対値をスペクトラムアナライザで測定する。但し、拡散変調において

変調波による測定が困難な場合は無変調の状態での測定し、変調による拡散係数を計算により求めて換算する。

拡散係数とは搬送波の無変調状態における当該不要波の平均電力に対する搬送波変調時の当該不要波の 4 kHz 当たりの電力密度に対する比とする。

エ 空中線電力の偏差

変調の状態での連続送信として動作させ、送信設備の電力出力を電力計又はスペクトラムアナライザを用いて測定し、定格出力との比を求める。

ただし、アクティブフェーズドアレーアンテナのように、空中線電力を直接測定することが困難な場合は、あらかじめ測定された較正值により確認しても良い。試験用ホーンアンテナを用いて送信輻射電力を測定し、既知であるホーンアンテナ利得、スパンロス及び空中線利得から空中線電力を求める方法もある。

オ 軸外輻射電力

エの項目にて測定した送信設備の電力に、送信損失及び空中線の指向特性の利得を加えて求める。

(2) 受信装置

副次的に発する電波などの限度については、受検機器を連続受信状態にし、副次的に発する電波の電力を、スペクトラムアナライザを用いて測定する。

5 周波数の共用条件

(1) 固定衛星業務

無線通信規則に定められた国際調整において特定又は代表地球局として公表され、調整により合意された値を超えないこと。

スペクトル拡散方式を用いるヘリコプター地球局は、当該人工衛星局と隣接する人工衛星局との間で調整された同一の通信の相手方である人工衛星局の同一のトランスポンダを使用して、同一の周波数を使用する一又は二以上の地球局等の輻射する隣接する人工衛星局方向の軸外等価等方輻射電力の総和の値を超えて運用しないこと。

(2) 固定業務・移動業務

ヘリコプター地球局からの送信による不要発射の地表面での最大電力束密度は、14.4 GHz を超える周波数において、以下の値を超えないこと。

$$\begin{array}{llll} -132 + 0.5 \theta & \text{dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{for} & \theta \leq 40^\circ \\ -112 & \text{dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{for} & 40^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

θ は、ヘリコプター地球局から発射された電波の到来方向の地表面における仰角とする。

(3) 電波天文業務

ヘリコプター地球局は、14.47-14.5 GHz で運用されている電波天文局の見通し領域内では、一つのヘリコプター地球局からの送信による不要発射の当該電波天文局における地表面での最大電力束密度は、14.47-14.5 GHz において、以下の値を超えないこと。

$$\begin{array}{llll} -190+0.5 \theta & \text{dB (W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{for} & \theta \leq 10^\circ \\ -185 & \text{dB (W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{for} & 10^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

θ は、ヘリコプター地球局から発射された電波の到来方向の地表面における仰角とする。

6 その他配慮すべき事項

ヘリコプター地球局は、航空計器類等に対する影響のないように配慮すること。

参 考 资 料

参考資料 目次

番 号	表 題	ページ
参考資料 1	技術試験結果の概要 (移動体衛星通信(ヘリサットシステム)における高速大容量伝送技術に関する調査検討報告書)	39
参考資料 2	ヘリサットのドップラーシフトによる送信周波数偏差の検討	53
参考資料 3	ヘリサットシステムにおける周波数共用に関する検討	55
参考資料 4	I T U-R 勧告 M. 1 6 4 3	61
参考資料 5	各種の伝送方式に応じて確立している占有周波数帯幅の許容値の計算手法	67
参考資料 6	現在開発されている機器による想定諸元例	69

移動体衛星通信(ヘリサットシステム) における高速大容量伝送技術に関する調査検討報告書

2010年3月
スカパーJSAT(株)

目的等

目的

広域災害時等において、現場上空のヘリコプターから通信衛星を介して災害現場の映像を伝送するヘリサットシステムについて、高画質映像等の高速大容量伝送を実現するため、これらの技術的データを取得し、技術基準案の策定に資することを目的とする。

必要性及び背景

- 災害時においては、災害現場の迅速な情報収集が重要
 - 地上インフラの被災の影響を受けず、機動性の高いヘリコプターによる上空からの情報収集が有効
- 現在は、類似システムとしてヘリテレが存在
 - サービスエリアが地上の無線局の通信範囲内に制限、地上の無線局が被災する場合もあり
- 近年のデジタル放送の普及等に伴い、高画質映像伝送に対する需要が増大
 - ヘリコプター衛星通信システムについて、伝送効率の一層の向上、周波数の有効利用が必要

実施概要

平成20年度

- 理論検討
 - 伝送効率の向上のため、ヘリコプターのローターブレードによる干渉予測、ブロッキング率に応じた送信バースト長、システムの基本設計、試験方法等について理論検討を実施
- 機能確認
 - 理論検討に基づき、ヘリコプター搭載無線設備からの送信について、室内での折り返し試験及び衛星を介した実通試験を実施

平成21年度

- 機能確認
 - 駐機状態のヘリコプターの下に仮設置したヘリコプター搭載無線設備の送受信について、伝送試験を実施
 - インターロック機能の確認試験
- 干渉による影響の確認
 - 衛星中継器の効率的な利用のため、室内折り返しによる電波伝送において隣接キャリア干渉、交差偏波干渉、隣接衛星干渉による影響を確認

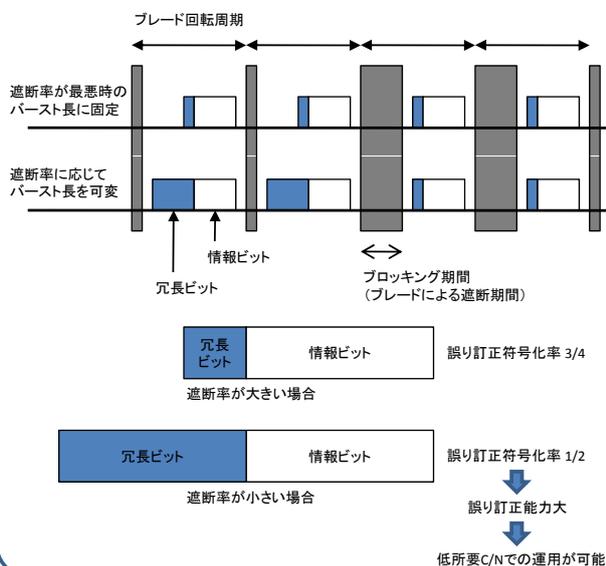
* 2か年計画

3

理論検討: 1. ブロッキング率に応じた送信バースト長/符号化率可変技術

検討背景

- 伝送速度が高速化するにつれ、広帯域となり電力密度が低下する。そのため安定した受信を行うためには、所要C/Nを下げる事が望まれる。
- 飛行中、ブレードによるブロッキング期間が変化するため、ブロッキング期間が短い場合は送信可能な時間が多くなる。その期間を有効利用し、冗長ビットを多くすることで誤り訂正能力を高め、所要C/Nを下げることを検討する。



遮断率に閾値を設け、遮断率が閾値よりも改善される場合は遮断がない時間に誤り訂正符号を増加させることにより、誤り訂正能力を高めることができる。

検討の一例として、誤り訂正符号化率1/2と3/4を遮断率に応じて切り替えた場合の検討を行い、誤り訂正符号化率を3/4に固定にする場合に比べ、ブレードによる遮断期間が短い場合は所要C/Nを下げる事ができ、結果として全体の回線稼働率が上がることが判明した。

※ 固定ビットレートの映像伝送を前提に、符号化率の可変させて検討。情報レートを可変して、バースト長を可変させることも有効。

4

検討背景

- ブレード等の反射によって地上へ放射される反射波が地上系のシステムに障害を引き起こさないためにITU-R勧告M.1643の周波数共用条件を満足する必要がある。
- 本検討では、地上の無線局等と共用が可能であることを検討する。



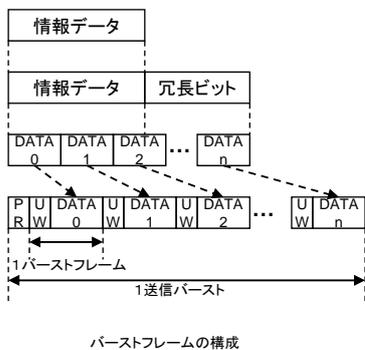
アンテナはヘリコプターの側面に装備されることから、特定の方位・仰角の範囲内ではヘリコプターのブレードがアンテナの指向方向を遮蔽することとなり、この範囲で電波を送信した場合、電波の反射・散乱を生じ、アンテナ放射特性の劣化を生じる恐れがある。

ブレードによる反射波が地上系システムに干渉し障害を引き起こす可能性があるが、情報通信審議会答申「標準画質レベルの動画及び音声の伝送が可能なシステムの技術的条件(平成21年1月)」において、ITU-R勧告S.728-1の規定値以下の軸外EIRPが地上へ放射されるレベルを検討し、フィルタで抑圧することによりITU-R勧告M.1643の周波数共用条件を満足できることが示されている。このことから、本システムでも同様の軸外放射電力のレベルを満足することにより、地上の無線局等と共用は可能である。

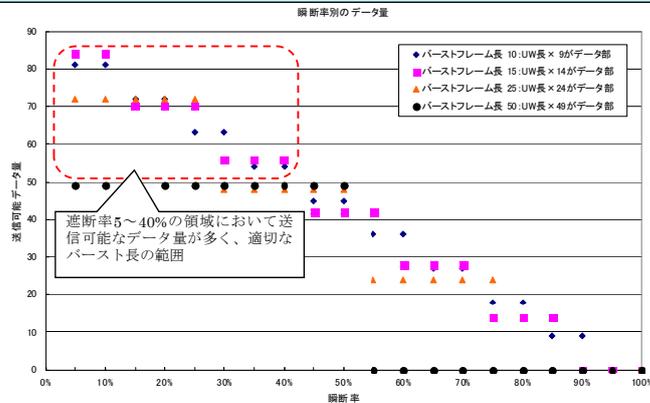
- ITU-R勧告S.728-1: VSAT地球局からの最大軸外EIRP密度の許容値
- ITU-R勧告M.1643: 14-14.5 GHzにおける固定衛星網の中継器を使用する航空移動衛星業務の地球局に関する技術及び運用要件

検討背景

- 高速大容量伝送を実現するためには、従来に比べ送信データ量を増加する必要があり、送信可能な時間の有効利用が望まれる。
- 本検討では、以下の項目を検討し、最適なバーストフレーム長を算出する。
 - ①バーストフレームにおけるPR長とUW長の最適化
 - ②1送信バースト長の最適化



バーストフレームの構成



検討結果

比較的発生頻度の高い遮断率5%~40%において①、②を検討した結果、送信可能なデータ量が多くなるバーストフレーム長は10~25であることがわかった。

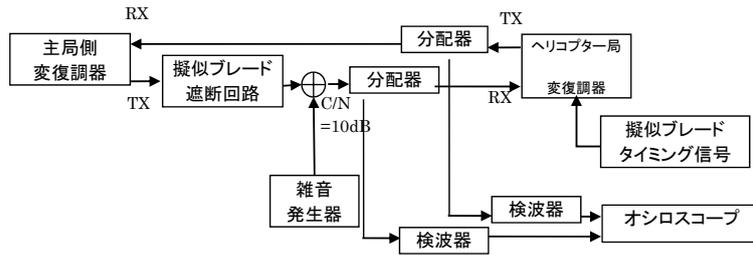
局内折り返し: 1. インターロック等の機能確認試験

検討背景

- 他衛星や他システムへの干渉を防止するため、電波を発射・停止するインターロック機能が必要とされる。
- 本検討では、障害物による遮蔽、機体による遮蔽、万が一アンテナの追尾が外れた場合を主局の信号の送信をOn/Offすることにより、ヘリコプター局の変復調器にて模擬し、電波が発射・停止するインターロック機能を確認する。

試験手順

- 主局の送信信号とヘリコプター局の送信信号を検波器を経由してオシロスコープへ入力する。
- 主局の送信をOn/Offした場合に、ヘリコプター局の送信が自動的に停止、再送信することと動作時間をオシロスコープにて観測する。

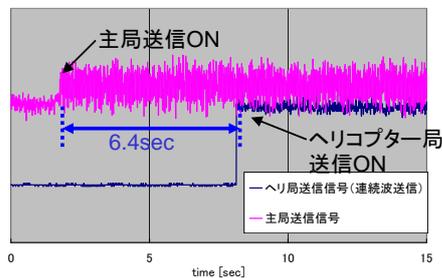


試験構成

局内折り返し: 1. インターロック等の機能確認試験

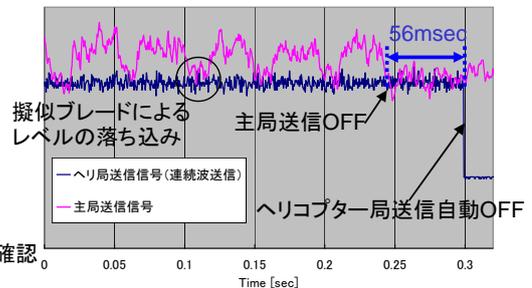
1-1. 主局からの電波を受信し送信することの確認

遮断率[%]	0	10	20	30	40
ヘリ局が正常に受信し送信可能になる	○	○	○	○	○
測定結果[sec]	5.8	5.0	1.9	6.4	5.0



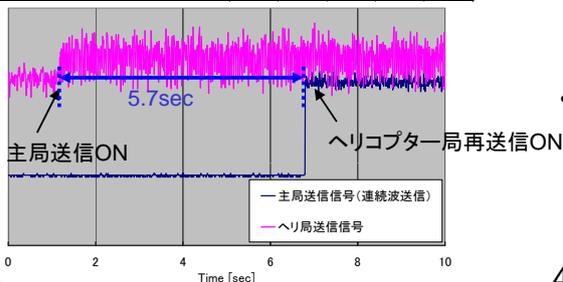
1-2. 主局の電波を遮断した場合に電波の発射が自動的に停止することの確認

遮断率[%]	0	10	20	30	40
ヘリ局の送信が自動的に停止する	○	○	○	○	○
測定結果[msec]	58	60	60	56	56



1-3. 主局の電波が遮断から復帰した場合に送信が再開されることの確認

遮断率[%]	0	10	20	30	40
ヘリ局が正常に受信し送信が自動的に回復する	○	○	○	○	○
測定結果[sec]	3.4	2.0	4.2	5.7	1.9



試験結果

- 主局からの電波が遮断された場合、ヘリコプター局は自動的に停止することが確認され、停止までの時間は60msecと十分短い時間であった。
- 主局からの電波を受信した際にヘリコプター局が送信可能になること、又は送信が再開されることを確認した。

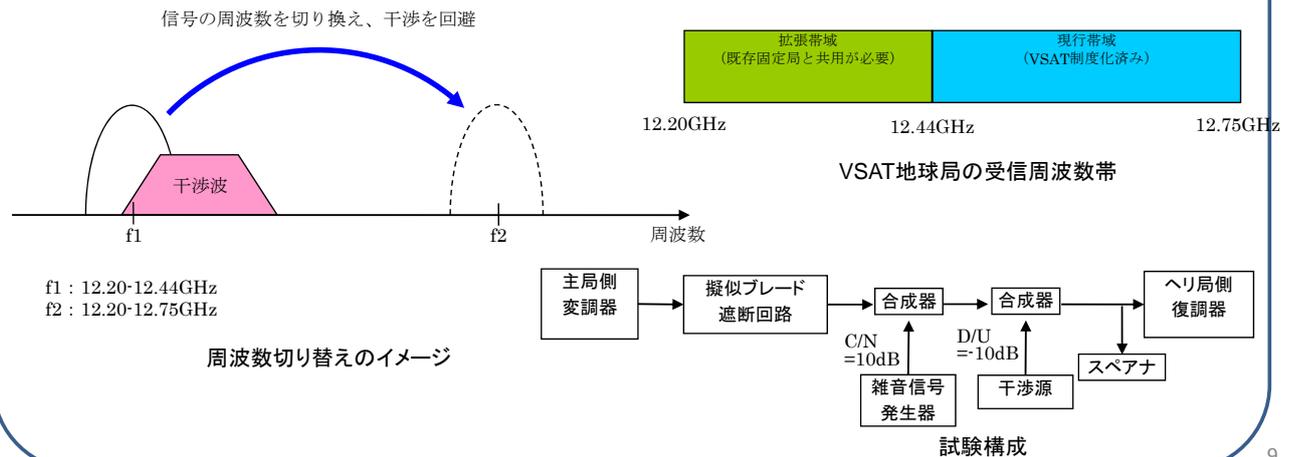
局内折り返し: 1. インターロック等の機能確認試験

検討背景

- Ku帯VSATでは、12.2GHz-12.44GHzを利用して信号を受信する際に、既存の固定局及び将来設置される固定局からVSAT地球局への干渉を回避するため、干渉のある受信周波数帯を除外する等が必要とされている。
- ヘリサットにおいてこの周波数帯域を利用することが可能となれば周波数の有効利用に繋がるため、周波数切り替え機能の動作を確認する。

試験手順

- ヘリコプター局が、主局からの信号を受信中に干渉源から干渉を与え、正常に受信できなくなる状態にする。
- 地上マイクロ波等からの干渉を受けない主局信号の周波数に切り替え、ヘリコプター局は自動的に周波数を切り替えることと運用を継続できることを確認する。



局内折り返し: 1. インターロック等の機能確認試験

試験結果

- ① 干渉により受信同期が外れた後、主局の送信周波数をf2に設定した。試験の結果、ヘリコプター局の受信周波数はf2に自動的に切り替わり、約5秒後(受信同期が外れてから約55秒後)に再同期が確認された。
- ② 干渉により受信同期が外れた後、主局の送信周波数をf1の状態を保持し、20秒後に干渉をOFFにした。試験の結果、ヘリコプター局の受信周波数は切り替わらず、干渉がOFFになってから約6秒後(受信同期が外れてから約26秒後)に再同期が確認された。

以上の結果より、ヘリコプター局が主局からの信号を受信中に地上マイクロ波等の干渉を受けて正常に受信できなくなる場合、これを検出し干渉を受けない主局信号に切り替えて運用を継続できることを確認した

局内折り返し: 2. 干渉試験

検討背景

- ヘリコプター局の送信キャリアが隣接衛星や隣接キャリア及び交差偏波から被干渉となる場合、またはヘリコプター局の送信キャリアが隣接衛星や隣接キャリア及び交差偏波への与干渉となる場合に、ヘリコプター局の運用方法、トランスポンダの配置、回線設計の検討等に関して与被干渉の影響度合いを知る必要がある。

試験手順

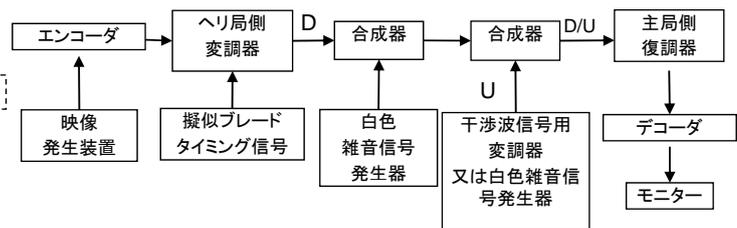
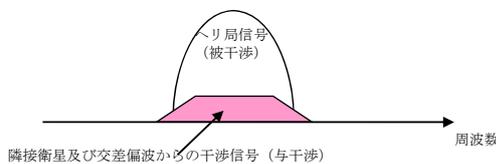
- ヘリコプター局信号に、隣接衛星及び交差偏波を想定した干渉波を重畳し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-1)。
- ヘリコプター局信号に、隣接キャリアを想定した干渉波を隣接に配置し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-2)。
- ヘリコプター局信号を隣接衛星及び交差偏波に想定した与干渉波信号とし、被干渉信号に重畳し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-3)。
- ヘリコプター局信号を隣接キャリアに想定した与干渉波信号とし、被干渉信号の隣接に配置し、伝送映像が破綻する際のD/Uを求める(試験: 2-4)。

11

局内折り返し: 2. 干渉試験(ヘリコプター局側が被干渉)

2-1. ヘリコプター局に隣接衛星、交差偏波を想定した干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

隣接衛星及び交差偏波に対するヘリ局信号の被干渉の影響度合いを評価



試験結果

測定結果の9dB前後の値は、通常の干渉レベル(交差偏波では25dB程度)よりもかなり高いレベルの干渉と言えるため、ヘリサットは干渉に対して十分な耐性を持つことを確認した

干渉源	D/U [dB]	
	遮断率 35%	遮断率 0%
QPSK信号	9.2	9.2
8PSK信号	9.2	9.0
16APSK信号	9.2	9.0

干渉源	D/U [dB]
	遮断率 35%
白色雑音	9.0

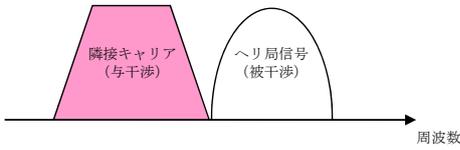
ヘリコプター局信号			
C/N	シンボルレート	遮断率	ロールオフ率
5.6dB (error free)	11.85Mpsps	0%, 35%	0.2

与干渉波信号				
変調	シンボルレート	ロールオフ率	キャリア配置	キャリア間隔
QPSK 8PSK 16APSK 白色雑音	11.85Mpsps	0.35	同一周波数に重畳	0Hz

局内折り返し: 2. 干渉試験 (ヘリコプター局側が被干渉)

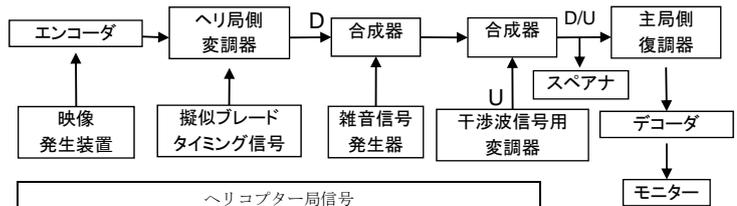
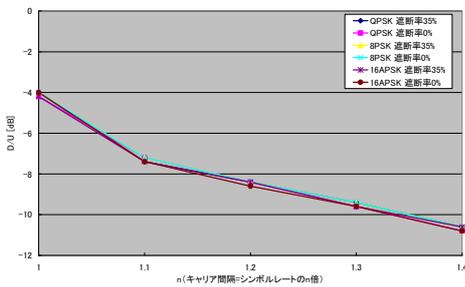
2-2. ヘリコプター局に隣接キャリアを想定した干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

隣接キャリアに対するヘリコプター局信号の被干渉の影響度合いを評価



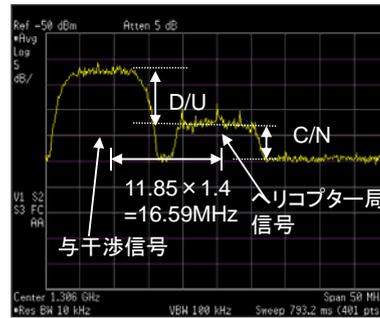
試験結果

・通常キャリア間隔はシンボルレートの1.4倍であり、またヘリサットの信号は衛星上の他の信号と比べ10dB程度低いことが予想されるため問題ない。また遮断率の違いによる差はほとんど認められなかった



ヘリコプター局信号			
C/N	シンボルレート	遮断率	ロールオフ率
5.6dB (error free)	11.85Msp/s	0%, 35%	0.2

与干渉波信号				
変調	シンボルレート	ロールオフ率	キャリア配置	キャリア間隔
QPSK 8PSK 16APSK	11.85Msp/s	0.35	シンボルレートの1.0~1.4倍 (0.1倍刻み)	11.85MHz~16.59MHz (1.185MHz刻み)

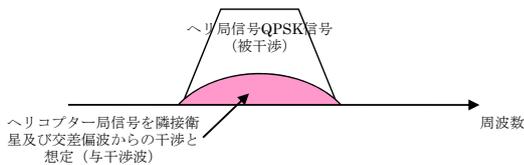


13

局内折り返し: 2. 干渉試験 (ヘリコプター局側が与干渉)

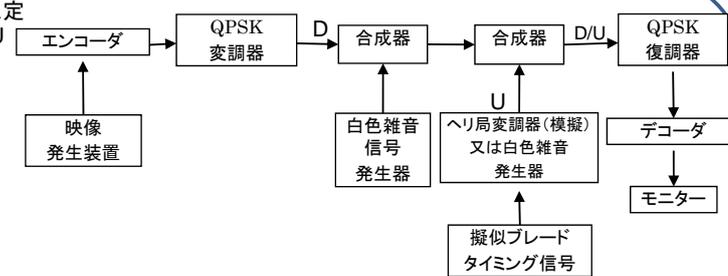
2-3. ヘリコプター局信号を隣接衛星、交差偏波に想定した干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

ヘリコプター局信号を隣接衛星及び交差偏波からの干渉波信号想定し、被干渉の影響度合いを評価



試験結果

・2-1の与干渉、被干渉の立場を逆にした試験であり、結果はほぼ同様であることからヘリサット信号はQPSK信号等とほぼ等価の与干渉特性を持ち、衛星上、他のキャリアと混在して運用することに問題ないことが確認された



ヘリコプター局信号 (干渉波信号)					
変調	シンボルレート	遮断率	ロールオフ率	キャリア配置	キャリア間隔
QPSK 8PSK 16APSK 白色雑音	11.85Msp/s	0%, 35%	0.2	同一周波数に重畳	0Hz

干渉源	D/U [dB]	
	遮断率 35%	遮断率 0%
QPSK	10.2	10.2
8PSK	10.2	10.4
16APSK	10.2	10.0

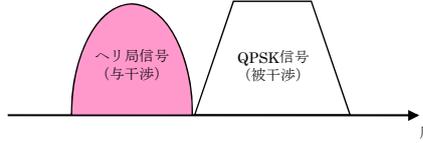
隣接衛星及び交差偏波信号			
変調方式	シンボルレート	C/N	ロールオフ率
QPSK	11.85Msp/s	6.3dB (error free)	0.35

干渉源	D/U [dB]
	遮断率 35%
白色雑音	10.4

局内折り返し: 2. 干渉試験(ヘリコプター局側が与干渉)

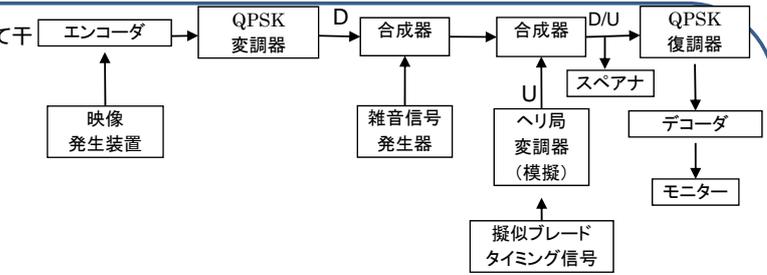
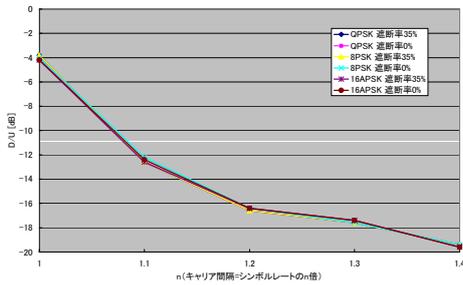
2-4. ヘリコプター局信号を隣接キャリアに想定して干渉を与えた場合のブロックノイズが発生するD/U

ヘリコプター局信号を隣接キャリアに想定し、QPSK信号への被干渉の影響度合いを評価



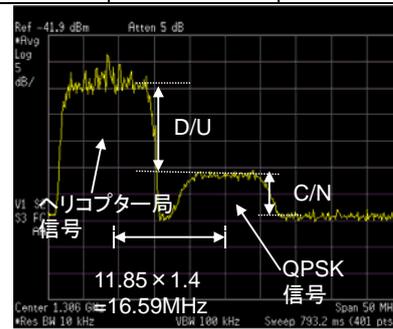
試験結果

・キャリア間隔がシンボルレートの1.4倍の結果は一般的なMODEMの仕様よりもヘリコプター局は干渉の程度が低いため、一般に衛星通信に利用されている信号と混在して運用することに問題ないことが確認された



ヘリコプター局信号 (与干渉波信号)					
変調方式	シンボルレート	遮断率	ロールオフ率	キャリア配置	キャリア間隔
QPSK 8PSK 16APSK	11.85Mps	0%, 35%	0.2	シンボルレートの1.0~1.4倍 (0.1倍刻み)	11.85MHz~16.59MHz (1.185MHz刻み)

隣接キャリア			
変調方式	シンボルレート	C/N	ロールオフ率
QPSK	11.85Mps	6.3dB(error free)	0.35



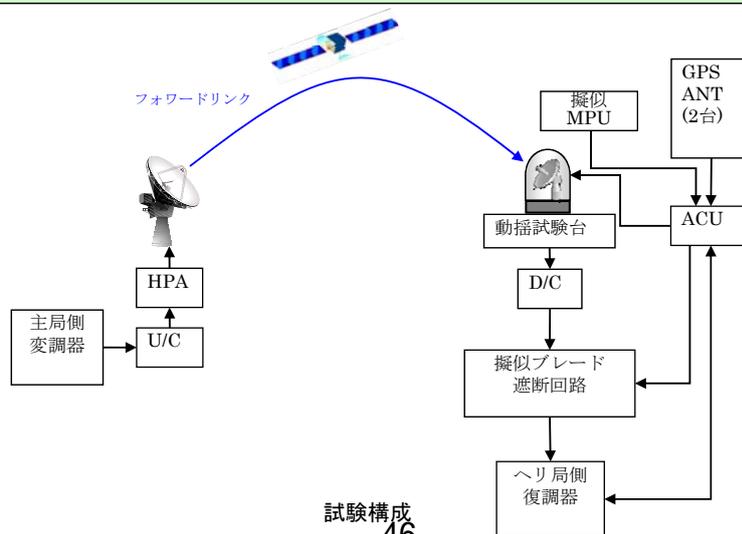
衛星試験: 1. 指向精度確認試験

検討背景

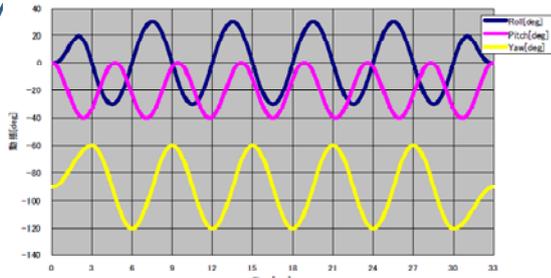
- ・アンテナが小型化されたことで、ヘリコプターの飛行性能への影響は低減されるが、主ビームが広がること、衛星追尾の難度は大型アンテナに比して大きくなることから、指向精度の確認が必要である。
- ・本検討では、ヘリコプターの運用条件を想定した動揺条件をアンテナへ印加して試験を行う。

試験手順

- ・動揺試験台を停止した状態で、主局からフォワードリンク信号を送信し、ヘリコプターのアンテナが衛星初期捕捉の後、自動追尾が確立することを確認する。
- ・動揺試験台に動揺を加え、指向精度を測定する。ヘリコプター側の受信信号は擬似ブレード遮断回路によってブレードによる遮断を考慮した断続的な信号により行う。

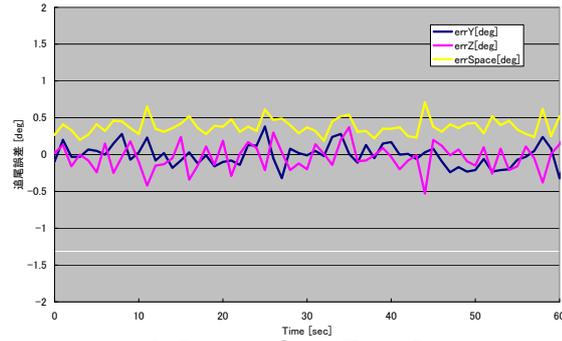


衛星試験: 1. 指向精度確認試験



動揺パターン②のパターン例

errX: 衛星に向かって水平右手方向の誤差
 errZ: 鉛直地球中心方向の誤差
 $errSpace: \arctan(\sqrt{(\tan errX)^2 + (\tan errZ)^2})$



動揺パターン②の追尾精度測定結果

試験結果

- ・動揺が最も厳しい条件(動揺パターン②)の追尾誤差は0.7度程度であるが、軸外輻射電力の規定等を満足して運用が可能な範囲であり問題ない値である
- ・また追尾誤差0.7度は受信レベルに換算して約0.4dBであり、回線全体に与える影響が小さいため問題ない値である

試験結果

動揺パターン	Roll [deg]	Pitch [deg]	Yaw [deg]	追尾誤差 (測定時間 60sec)	
				平均 [deg]	最大 [deg]
①	±15 (周期6sec)	±10 (周期4sec)	±15 (周期6sec)	0.42	0.67
②	±30 (周期6sec)	±20 (周期4sec)	±30 (周期6sec)	0.38	0.71
③	0	0	±15 (周期6sec)	0.29	0.43
④	5	0	±15 (周期6sec)	0.31	0.54
⑤	0	5	±15 (周期6sec)	0.28	0.37
⑥	5	5	±15 (周期6sec)	0.28	0.42
⑦	10	0	±15 (周期6sec)	0.29	0.58
⑧	0	10	±15 (周期6sec)	0.29	0.49
⑨	5	10	±15 (周期6sec)	0.26	0.41
⑩	10	5	±15 (周期6sec)	0.31	0.47
⑪	10	10	±15 (周期6sec)	0.3	0.51

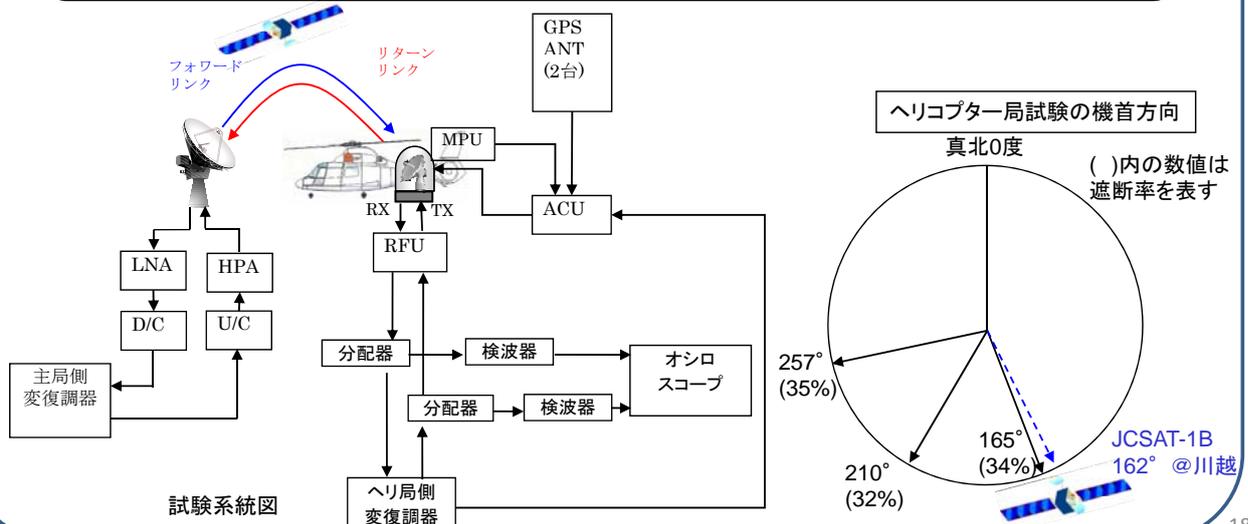
衛星試験: 2. インターロック等機能確認試験

検討背景

- ・他衛星や他システムへの干渉を防止するため、電波を発射・停止するインターロック機能が必要とされる。
- ・本検討では、障害物による遮蔽、機体による遮蔽、万が一アンテナの追尾が外れた場合を主局の信号の送信をOn/Offすることにより、ヘリコプター局の変復調器にて模擬し、電波が発射・停止するインターロック機能を確認する。

試験手順

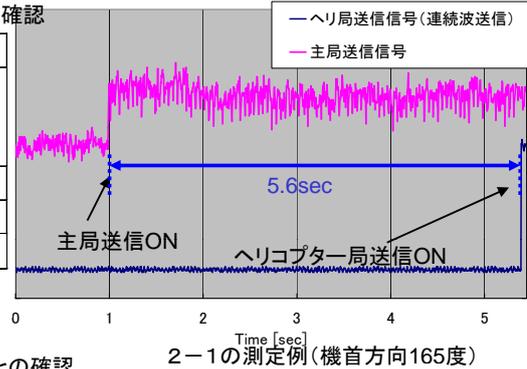
- ・主局の送信信号とヘリコプター局の送信信号を検波器を経由してオシロスコープへ入力する。
- ・主局の送信をOn/Offした場合に、ヘリコプター局の送信が自動的に停止、再送信することと動作時間をオシロスコープにて観測する。



衛星試験: 2. インターロック等機能確認試験

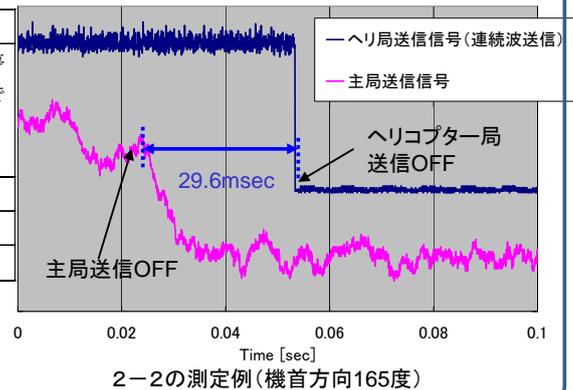
2-1. ヘリコプター局が主局からの電波を受信し、送信可能になることの確認

機首方向 [度]	遮断率 [%]	ブレード回転あり		ブレード回転なし	
		送信可能になる	送信可能になるまでの時間[sec]	送信可能になる	送信可能になるまでの時間[sec]
165	34	○	5.6	○	4.2
210	32	○	8.6	○	1.1
257	35	○	8.6	○	7.1



2-2. 主局の電波を遮断した場合に電波の発射が自動的に停止することの確認

機首方向 [度]	遮断率 [%]	ブレード回転あり		ブレード回転なし	
		自動的に停止する	自動的に停止するまでの時間[msec]	自動的に停止する	自動的に停止するまでの時間[msec]
165	34	○	29.6	○	30.0
210	32	○	30.0	○	34.0
257	35	○	25.6	○	33.6



試験結果

- (2-1) 初期捕捉時に必要な時間のため運用上問題ない範囲である
- (2-2) 停波までの時間であり、十分小さい値のため問題がない

19

衛星試験: 2. インターロック等機能確認試験

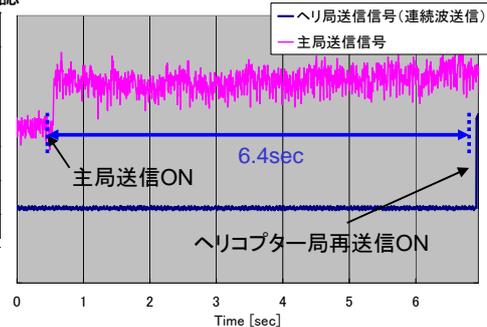
2-3. 主局の信号が遮断から復帰した場合に送信が再開されることの確認

機首方向 [度]	遮断率 [%]	ブレード回転あり		ブレード回転なし	
		送信可能になる	送信可能になるまでの時間[sec]	送信可能になる	送信可能になるまでの時間[sec]
165	34	○	6.4	○	1.0
210	32	○	5.5	○	4.9
257	35	○	2.6	○	1.1

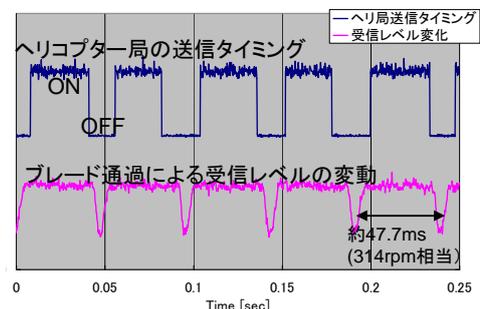
(a) 10秒遮断

機首方向 [度]	遮断率 [%]	ブレード回転あり		ブレード回転なし	
		送信可能になる	送信可能になるまでの時間[sec]	送信可能になる	送信可能になるまでの時間[sec]
165	34	○	17	○	16
210	32	○	32	○	31
257	35	○	18	○	24

(b) 90秒遮断



2-4. 主輻射がブレードを含むヘリの機体の方向を指向した場合に電波の発射が自動的に停止することの確認



試験結果

- (2-3) 再送信に関しては遮蔽等からの復帰の動作であり、短時間で再送信が行われている

(2-4)

- ①機体ブロッキングの確認
 - 機体方向へ指向した場合はモデム動作により自動的に停止することを確認した
- ②ブレードブロッキングの確認
 - ブレードの回転に同期して、送信を行っていることを確認した(右図)

20

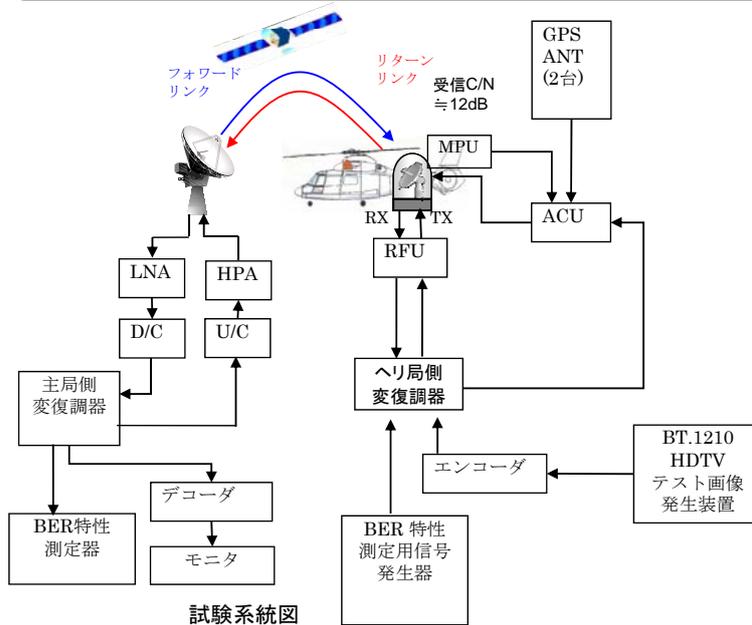
衛星試験: 3. 映像伝送、伝送品質確認試験

検討背景

- 一部答申では、標準画像伝送として最大1.5Mまでの伝送について検討されたが、本検討では、高画質伝送として最大10M伝送の実現性、伝送品質の確認を行う

試験手順

- ヘリコプター局から6Mおよび10Mのバースト送信にて1125/60 HDTVテスト画像を送信し、主局のモニターにて確認する。また、BER測定用信号を送信し、主局にてBERを測定する



21

衛星試験: 3. 映像伝送、伝送品質確認試験



使用したHDTVテスト画像 (ITE標準動画No.16)

映像伝送、伝送品質 (BER) の結果

試験結果

6M及び10Mの映像伝送を確認し、伝送品質 (BER特性) も全ての条件にてerror freeであり、問題がなかった

機首方向	映像伝送の確認				BER 評価			
	6M 伝送		10M 伝送		6M 伝送		10M 伝送	
	ブレード回転あり	ブレード回転なし	ブレード回転あり	ブレード回転なし	ブレード回転あり	ブレード回転なし	ブレード回転あり	ブレード回転なし
165 度	○	○	○	○	error free	error free	error free	error free
210 度	○	○	○	○	error free	error free	error free	error free
257 度	○	○	○	○	error free	error free	error free	error free

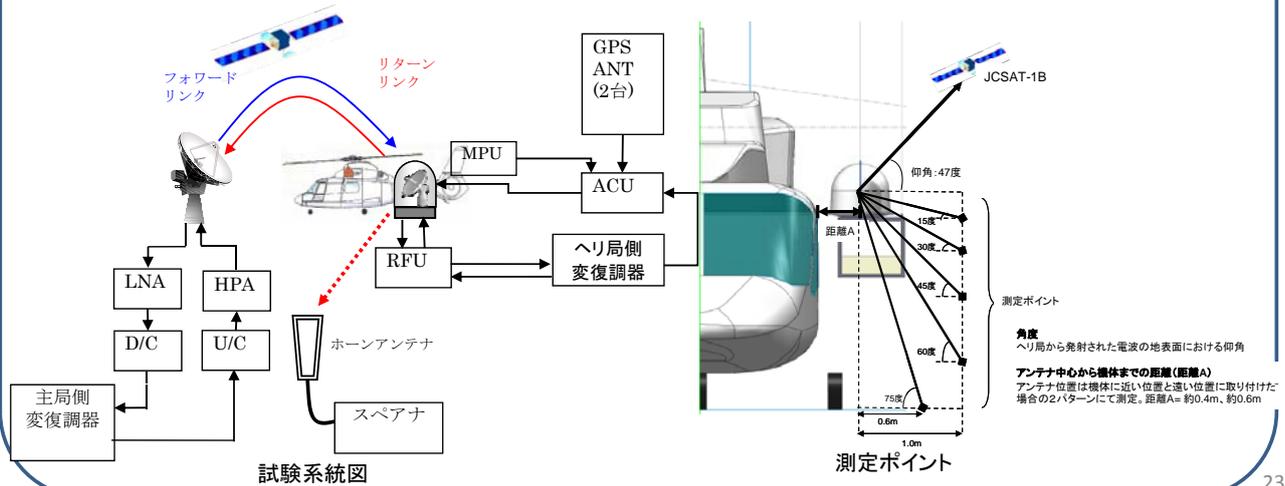
衛星試験: 4. 周波数の共用条件に関する検討

検討背景

- 無線通信規則に定められた国際調整において特定又は代表地球局として公表され、調整により合意された値を超えないことが必要であるため、固定業務・移動業務及び電波天文業務との周波数共用を検討する

試験手順

- ヘリコプター局送信空中線より下方での電波強度をホーンアンテナにて測定する(図の測定ポイントにて実施)
- その結果をヘリコプターが高度150mを飛行している状態における地表面での電力束密度に換算し、ヘリ局の空中線特性及びヘリコプターの機体による反射を考慮した場合の計算結果と比較を行う



衛星試験: 4. 周波数の共用条件に関する検討

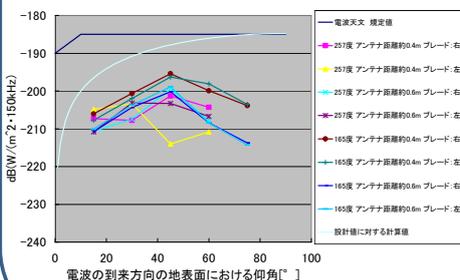
設計値に対する計算値

表にある軸外輻射電力の許容値と上空150mを飛行しているヘリコプターから地球局までの距離、送信機の抑圧量を考慮して求めた

最大輻射電力		主輻射からの離隔
33-25logθ	dBW/40kHz	2.5° ≤ θ < 7°
12		7° ≤ θ < 9.2°
36-25logθ		9.2° ≤ θ < 48°
-6		48° ≤ θ

試験結果

機首方向165度、257度、アンテナ取り付け位置が近い部分(アンテナ中心から約0.4m)と遠い部分(アンテナ中心から約0.6m)にて試験を実施し、いずれの測定結果が計算値及び規定値を下回る結果となりこれらの業務と周波数の共用を図ることが可能である。



電波天文業務規定値との比較

規定値

固定業務規定値

$$-132 + 0.5\theta \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz)) for } \theta \leq 40^\circ$$

$$-112 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz)) for } 40^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

電波天文業務規定値

$$-190 + 0.5\theta \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 150\text{kHz)) for } \theta \leq 10^\circ$$

$$-185 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 150\text{kHz)) for } 10^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

θは、ヘリコプター地球局から発射された電波の到来方向の地表面における仰角

測定値の対する計算式

地表面での最大電力束密度

$$= (\text{測定値}) - (\text{ホーンアンテナ受信スパンロス}) - (\text{ホーンアンテナ利得})$$

-(地表面までの拡散ロス) - (送信機の抑圧及びフィルタの抑圧)

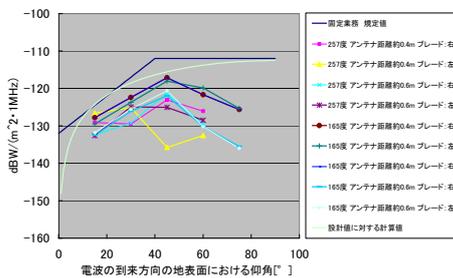
$$\text{ホーンアンテナ受信スパンロス} = 20 \log(4\pi \cdot dr/\lambda)$$

$$\text{地表面までの拡散ロス} = 10 \log(4\pi \cdot d^2)$$

dr:ヘリコプターからホーンアンテナの距離(km)

d:ヘリコプターから干渉地点までの距離(km)

ホーンアンテナの利得(ケーブルロス含む): 24.2 dBi



固定業務規定値との比較

衛星試験: 5. ヘリコプターキャビン内へ輻射する電波強度の測定

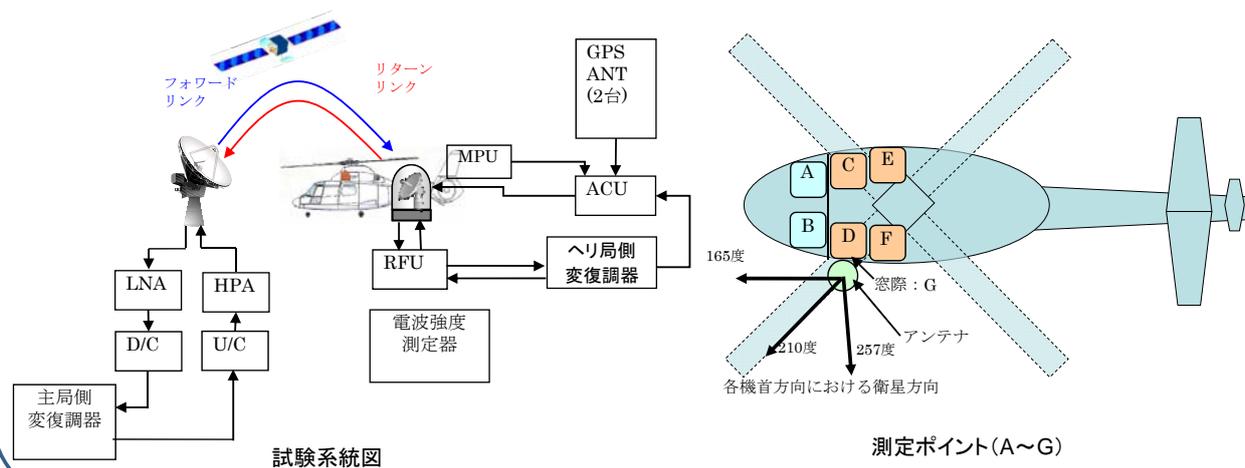
5-1 電波強度測定

検討背景

- 防護指針に観点から人体へ影響がないか確認する必要がある。本システムでは、インターロック機能により、主ビームがキャビン内へ輻射することはないが、軸外輻射等による人体への影響がないか検討する。

試験手順

- ヘリコプター座席近傍にて電波強度測定器を用い、電波強度を測定する。測定箇所は図の測定ポイントに示したA～Gの箇所をMAX HOLDにて空間的に測定を行う



25

衛星試験: 5. ヘリコプターキャビン内へ輻射する電波強度の測定

試験結果

測定は、3つの機首方向、ブレード回転状態、停止状態で実施した。いずれの結果も電波防護指針の許容値内であり、問題はなかった

機首方向	測定結果 [mW/cm ²]							
	ブレード	A	B	C	D	E	F	G
165度	回転	0.005	0.010	0.003	0.013	0.001	0.004	0.024
	停止	0.003	0.010	0.002	0.001	0.002	0.002	0.040
210度	回転	0.003	0.024	0.001	0.003	0.005	0.003	0.020
	停止	0.013	0.025	0.005	0.003	0.001	0.002	0.014
257度	回転	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.024
	停止	0.001	0.005	0.002	0.004	0.001	0.004	0.027
電波防護指針の許容値	1 [mW/cm ²]							

5-2 機体計器、アビオニクス類への影響調査

検討背景

- ヘリコプター局は、航空計器類等に対する影響のないように配慮する必要があり、機体計器及びアビオニクス類への影響を調査する。

試験手順

- 主局、ヘリコプター局間の回線を確立させ、ヘリコプターに搭載された航空計器類等への影響を調査する



アンテナ実装位置

試験結果

機体計器及びアビオニクス類への影響調査においては今回のヘリサットシステムでは1Fとして1GHz帯を使用しているが、通信機器は一般的に適切なシールド処理がされていることもあり、動作に影響を与える点は確認されなかった

機器	条件	結果					
		165度		210度		257度	
		ブレード 回転	ブレード 停止	ブレード 回転	ブレード 停止	ブレード 回転	ブレード 停止
機体計器		○	○	○	○	○	○
VHF COM1, 2	129.60MHz TX/RX	○	○	○	○	○	○
Transponder		○	○	○	○	○	○
DME	978.00MHz	○	○	○	○	○	○
VOR/LOC1, 2	108.00/108.10MHz	○	○	○	○	○	○
G/S1, 2	334.70MHz	○	○	○	○	○	○
M/B	75.00MHz	○	○	○	○	○	○
ADF	954kHz	○	○	○	○	○	○
RADIO ALT		○	○	○	○	○	○
GPS装置		○	○	○	○	○	○
A/PILOT1, 2		○	○	○	○	○	○
機体方位 (コンパス)		○	○	○	○	○	○

ヘリサットのドップラーシフトによる送信周波数偏差の検討

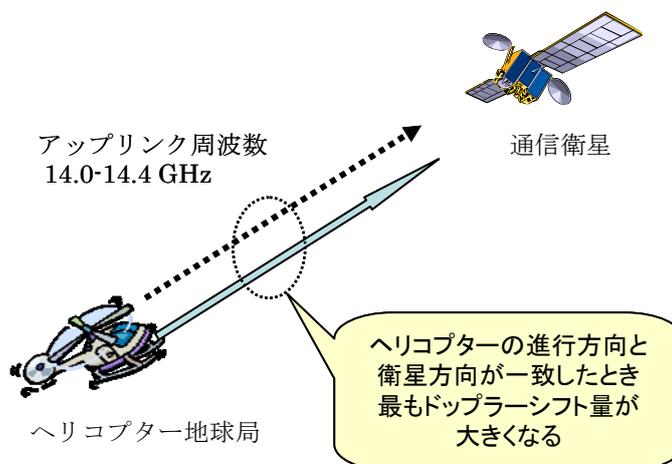
ヘリコプターのような移動体通信においては、高速移動によるドップラーシフトにより周波数偏差が生じるので、周波数偏差量について検討した。

1. 無線局の条件

- ・周波数 14.0GHz－14.4GHz:
- ・許容偏差 100ppm(電波法による規定値)

2. ヘリコプターの条件

- ・移動速度 180kt (通常利用されるヘリコプターの最大速度)
- ・移動方向 ドップラーシフトが最大となる衛星電波到来方向へ進行



図参2-1 ヘリサットのドップラーシフト

3. 周波数偏差量の計算

- ・移動速度 180kt: $180 \times 0.514444 \text{ m/s} = 92.59992 \text{ m/s}$
- ・光速 $299,792,458 \text{ m/s}$
- ・偏差は $92.59992 \div 299,792,458 = 3.08 \times 10^{-7} \text{ 乗} = 0.308 \text{ ppm}$

4. 結論

- ・ヘリサットの移動による周波数偏差は約0.31ppmであり、電波法の規定100ppm以下を十分満足する。

ヘリサットシステムにおける周波数共用に関する検討

(1) 周波数共用検討のための前提条件

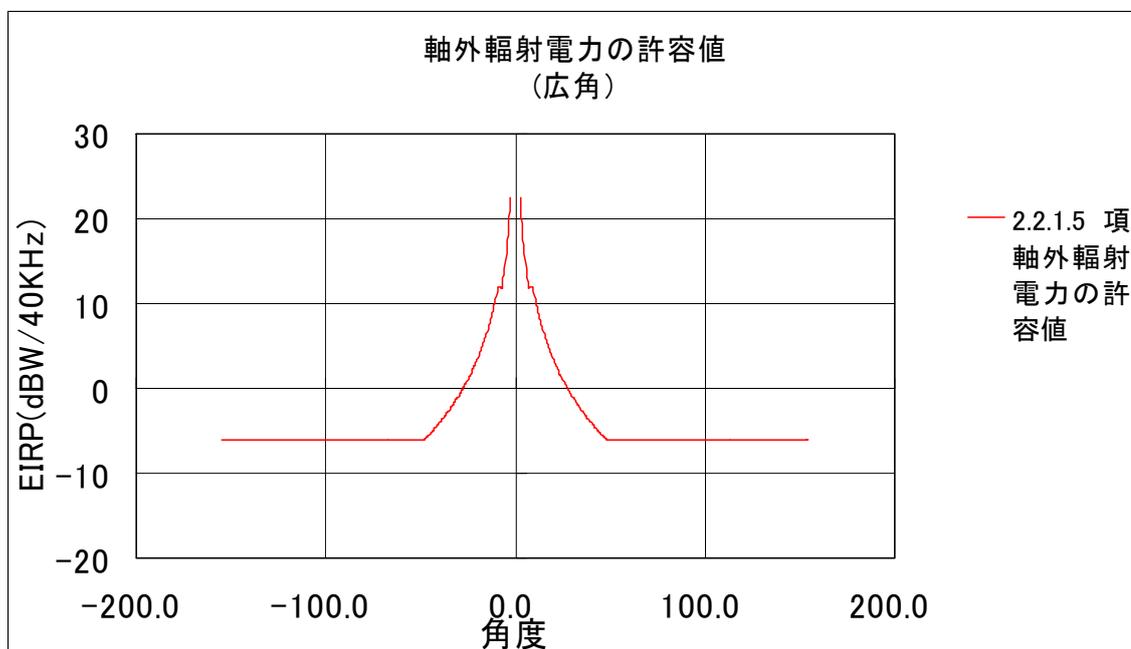
以下の項目について検討の前提とした条件を示す。

- ・ アンテナからの軸外輻射電力の許容値
- ・ 衛星仰角
- ・ ヘリコプター高度
- ・ 電力束密度の求め方

① アンテナからの軸外輻射電力

アンテナからの軸外輻射電力としては、2.2.1.5 項にて規定の値を用いた。

下図に 2.2.1.5 項の軸外輻射電力の広角における許容値を示す。



② 衛星仰角

ヘリコプターから追尾する衛星として下記国内主要衛星を想定し、国内運用における最低仰角を用いた。ただし 110° 衛星は含まない。

SB-A、SB-B2、SB-C、JCSAT-1B、JCSAT-2A、JCSAT-3A、JCSAT-4A、JCSAT-5A

最低仰角は SB-B2 の稚内における角度 34.2° であり、検討に用いる具体的な値としては EL=34° を用いた。

③ ヘリコプター高度

航空施行規則第七十四条 (最低安全高度) の規定において、「人又は家屋の密集している地域の上空にあつては、当該航空機を中心として水平距離六百メートルの範囲内の最も高い障害物の上端から三百メートル以上」「人又は家屋のない地域及び広い水面の上空または、規定する地域以外の地域の上空にあつては、

地表面又は水面から百五十メートル以上」と定められている。これより、本検討においては、地表面への放射電力が一番厳しいヘリコプターの高度として150mを用いた。

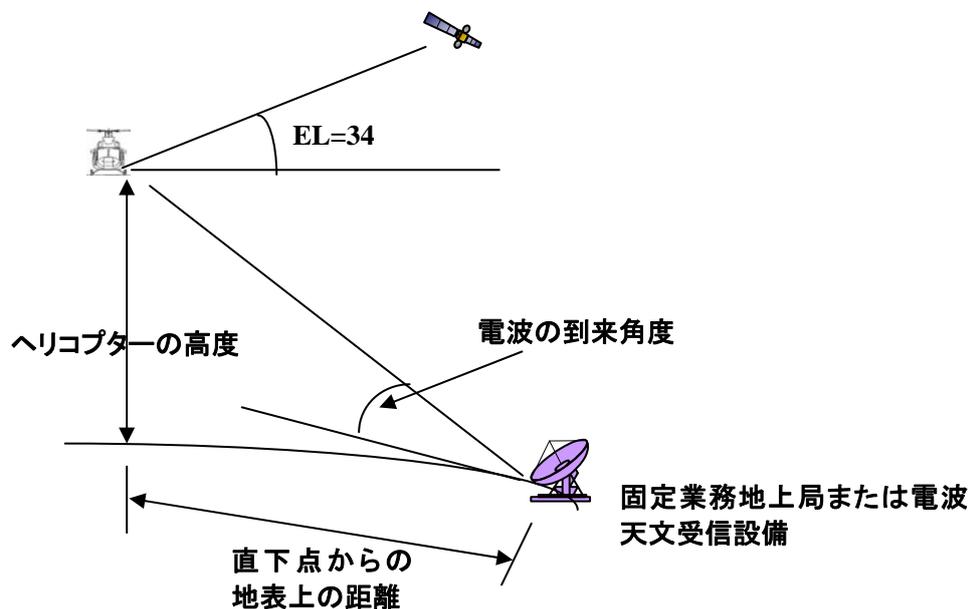
④ 電力束密度の求め方

下図に電力束密度を求める方法を示す。

ヘリコプターの高度150mにおいてEL34°にアンテナが指向している時に、ヘリコプター直下点から地上局または電波天文受信局までの距離をX軸とし、地上局または電波天文受信局での電力束密度をY軸に求めた。(2),(3)項)

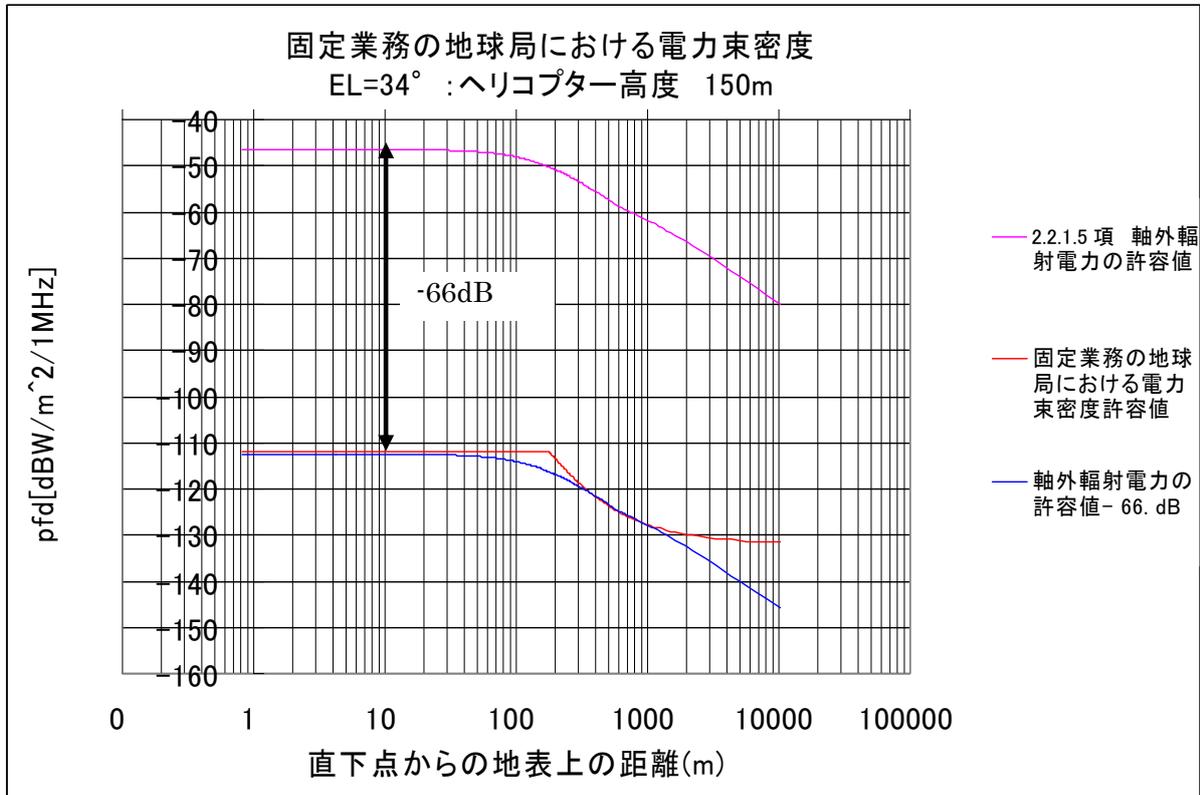
地上局又は電波天文受信局から見たヘリコプター局の角度は、地上局又は電波天文地球局の位置における水平面からの角度とした。

また、電力束密度についてはヘリコプター局のビーム方向が衛星方向を向いているものとし、ヘリコプターから地表面に対して軸外輻射電力相当の電力密度が放射されているものとして、アンテナから地上局または電波天文受信局間の直線距離でのスパンロスから求めた。



(2) 固定業務との周波数共用に関する検討

軸外輻射電力の許容値で運用した場合の固定業務での電力束密度と本報告書 4.2 項で規定の電力束密度許容値との関係を下図に示す。



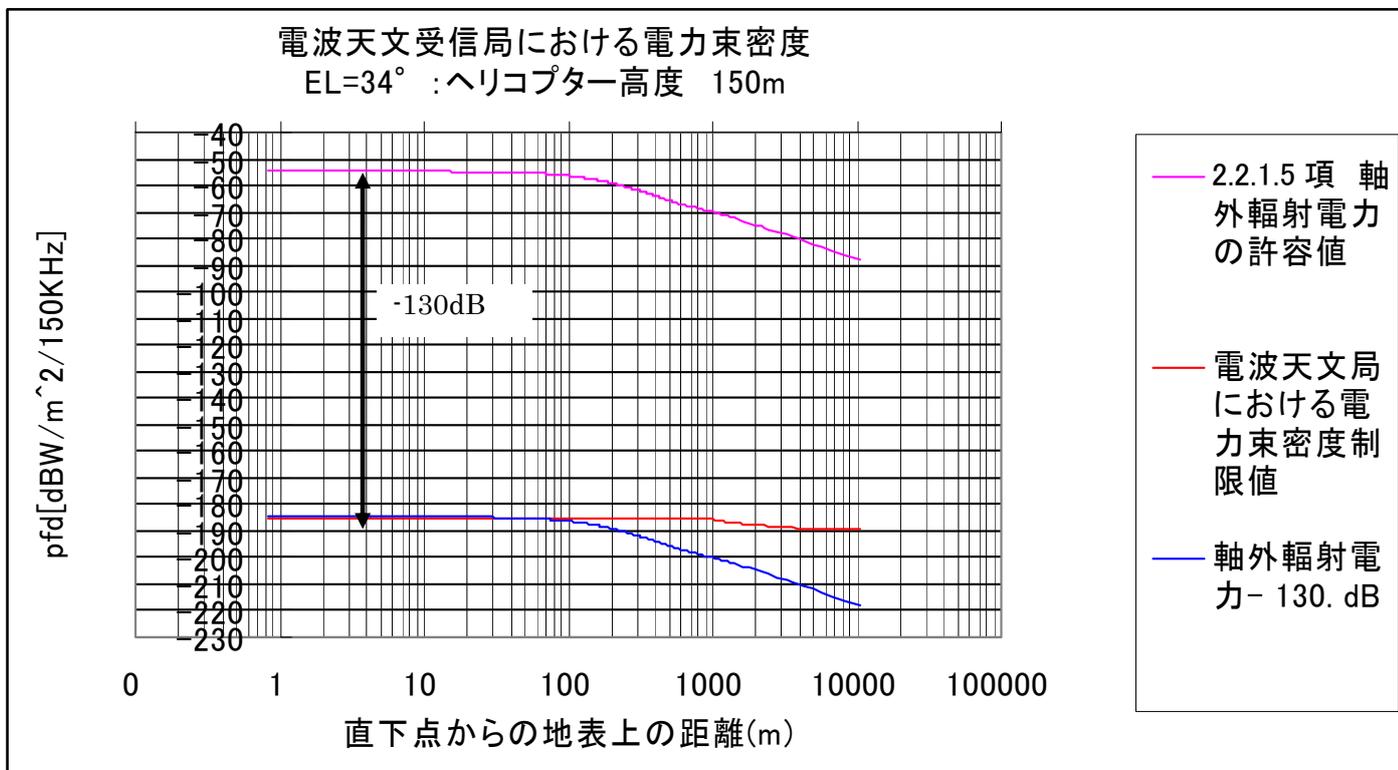
上図から 2.2.1.5 項の軸外輻射電力許容値での運用を行った場合は 66dB 以上の抑圧量が必要となる。

ヘリサットは 14~14.4GHz までの運用としており、固定局は 14.4GHz からの運用である。

送信機の性能としては 60dB 程度の抑圧量が現実的な値であり、不足する場合は、フィルターを追加することにより上記必要量を確保可能であり、技術的に実現可能と考えられる。

(3) 電波天文業務との周波数共用に関する検討

軸外輻射電力の許容値で運用した場合の固定業務での電力束密度と本報告書 4.3 で提案されている電力束密度許容値の関係を下図に示す。



上図から 2.2.1.5 項の軸外輻射電力許容値の特性を持ったアンテナを使用した場合は 130dB 以上の抑圧量が必要となる。

ヘリサットは 14~14.4GHz までの運用としており、電波天文局は 14.47GHz からの運用である。

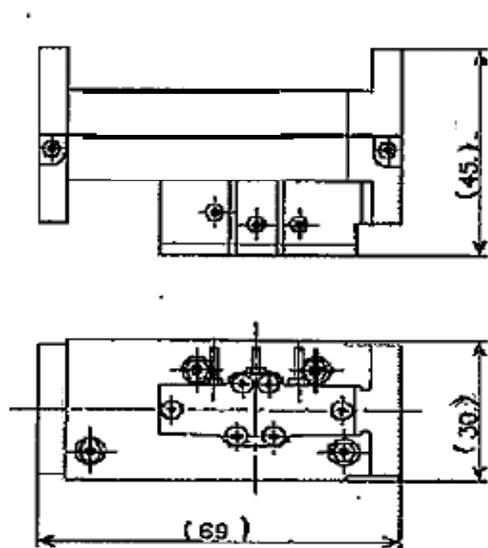
この条件において、送信機の性能としては 60dB 程度の抑圧量が現実的な値であり、更にフィルターを追加することにより上記必要量を確保可能であり、技術的に実現可能と考えられる。

上記条件を満足するためのフィルターについて、一例を次ページに示す。

本フィルタを 2 段用いることにより、送信機の特性で 60dB、フィルタ 2 段で 70dB の抑圧量を確保でき、合計で 130dB 程度の抑圧量の確保が可能と考えられる。

電波天文対応フィルター特性

1. 周波数範囲 14.0-14.4GHz
2. 帯域内挿入損失 0.4dB 以下
3. 帯域内周波数特性 0.15dBpp/36MHz
4. 抑圧量 35dB@14.47GHz-14.5GHz



RECOMMENDATION ITU-R M.1643*

**Technical and operational requirements for aircraft earth stations
of aeronautical mobile-satellite service including those
using fixed-satellite service network transponders in
the band 14-14.5 GHz (Earth-to-space)**

(2003)

Summary

This Recommendation provides the technical and operational requirements for aircraft earth stations (AES) of aeronautical mobile-satellite service (AMSS), including those using FSS network transponders operating in the band 14-14.5 GHz (Earth-to-space), that should be used by administrations as a technical guideline for establishing conformance requirements for AES and facilitating their licensing, for worldwide use.

The ITU Radiocommunication Assembly,

considering

- a) that various technically and operationally different aeronautical mobile-satellite service (AMSS) networks have been designed to commence operation in the near future;
- b) that these planned AMSS networks may provide access to a variety of broadband communication applications (Internet, email, internal corporate networks) to and from aircraft on a global basis;
- c) that the aircraft earth station (AES) will operate on national and international airlines around the world;
- d) that circulation of AES is usually a subject of a number of national and international rules and regulations including satisfactory conformance to a mutually agreed technical standard and operational requirements;
- e) that there is a need for identifying the technical and operational requirements for the conformance testing of AES;

* NOTE – The Arab Group represented at RA-03 reserves its position on this Recommendation and is not ready to accept any repercussions with respect to WRC-03 Agenda item 1.11.

f) that the identification of technical and operational requirements for AES would provide a common technical basis for facilitating conformance testing of AES by various national and international authorities and the development of mutual recognition arrangements for conformance of AES;

g) that the technical and operational requirements need to achieve an acceptable balance between radio equipment complexity and the need for effective use of the radio-frequency spectrum,

considering also

a) that in the frequency band 14-14.5 GHz there are allocations to the FSS (Earth-to-space), radionavigation, fixed and mobile (except aeronautical mobile) services on a primary basis; that secondary services allocated in the band 14-14.5 GHz or in parts of the band include mobile-satellite (except aeronautical mobile-satellite) service (Earth-to-space), space research service (SRS), radio astronomy service (RAS), and radionavigation-satellite service;

b) that there is a requirement to fully protect all primary services and pre-existing systems of secondary services in the band 14-14.5 GHz;

c) that results of the studies conducted in accordance with Resolution 216 (Rev.WRC-2000) showed the feasibility of using the band 14-14.5 GHz by AMSS (Earth-to-space) on a secondary basis under certain conditions and arrangements¹;

d) that the identification by ITU-R of technical and operational requirements for AES operating in the band 14-14.5 GHz could assist administrations to prevent harmful and/or unacceptable interference to other services;

e) that technical and operational characteristics should be continuously and accurately measurable and controllable,

recommends

1 that the technical and operational requirements¹ for aircraft earth stations of AMSS networks operating in the band 14-14.5 GHz given in Annexes 1 and 2 be used by administrations as a guideline for:

- establishing conformance requirements for AES;
- facilitating AES operations.

¹ The characteristics of the typical aircraft earth stations need to fulfil the requirements described in this Recommendation and, further, need to be within the envelope of those initially published in the International Frequency Information Circular (BR IFIC) relating to the corresponding FSS network. In the case that the characteristics are outside of the envelope of those in the initial publication, the required coordination of such an aircraft earth station needs to be effected in accordance with the current provisions of the Radio Regulations (RR) and a modified Rule of Procedure as contained in § 2 of the Rules of Procedure relating to RR No. 11.32, as appropriate.

Annex 1

Technical and operational requirements for AES of AMSS networks in the band 14-14.5 GHz (Earth-to-space)

Part A

Essential requirements related to the protection of FSS networks

- 1** AMSS networks should be coordinated and operated in such a manner that the aggregate off-axis e.i.r.p. levels produced by all co-frequency AES within AMSS networks are no greater than the interference levels that have been published and coordinated for the specific and/or typical earth station(s) pertaining to FSS networks where FSS transponders are used.
- 2** The design, coordination and operation of an AES should, at least, account for the following factors which could vary the aggregate off-axis e.i.r.p. levels generated by the AES:

 - 2.1** mispointing of AES antennas. Where applicable, this includes, at least, effects caused by bias and latency of their pointing systems, tracking error of closed loop tracking systems, misalignment between transmit and receive apertures for systems that use separate apertures, and misalignment between transmit and receive feeds for systems that use combined apertures;
 - 2.2** variations in the antenna pattern of AES. Where applicable, this includes, at least, effects caused by manufacturing tolerances, ageing of the antenna and environmental effects. AMSS networks using certain types of AES antennas, such as phased arrays, should account for variation in antenna pattern with scan angles (elevation and azimuth). Networks using phased arrays should also account for element phase error, amplitude error and failure rate;
 - 2.3** variations in the transmit e.i.r.p. from AES. Where applicable, this includes, at least, effects caused by measurement error, control error and latency for closed loop power control systems. Network control and monitoring centres (NCMCs) that calculate the e.i.r.p. of AES based on the received signal need to take into account error sources and latency in this calculation. NCMCs that calculate the e.i.r.p. of AES based on input power must account for measurement error and reporting latency.
- 3** AES that use closed loop tracking of the satellite signal need to employ an algorithm that is resistant to capturing and tracking adjacent satellite signals. AES must immediately inhibit transmission when they detect that unintended satellite tracking has happened or is about to happen.
- 4** AES should be subject to the monitoring and control by an NCMC or equivalent facility. AES must be able to receive at least “enable transmission” and “disable transmission” commands from the NCMC. AES must automatically cease transmissions immediately on receiving any

“parameter change” command, which may cause harmful interference during the change, until it receives an “enable transmission” command from its NCMC. In addition, it should be possible for the NCMC to monitor the operation of an AES to determine if it is malfunctioning.

5 AES need also to be self-monitoring and, should a fault which can cause harmful interference to FSS networks be detected, the AES must automatically mute its transmissions.

Part B

Essential requirements related to the protection of the fixed service

In the 14-14.5 GHz frequency band as used by fixed service networks, within line-of-sight of the territory of an administration where fixed service networks are operating in this band, the maximum pfd produced at the surface of the Earth by emissions from a single AES, of an AMSS network should not exceed:

$$\begin{array}{lll} -132 + 0.5 \cdot \theta & \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{for } \theta \leq 40^\circ \\ -112 & \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{for } 40 < \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

where θ is the angle of arrival of the radio-frequency wave (degrees above the horizontal).

NOTE 1 – The aforementioned limits relate to the pfd and angles of arrival that would be obtained under free-space propagation conditions.

NOTE 2 – An e.i.r.p. mask can be derived from the aforementioned pfd mask by applying the method given in Annex 2 of this Recommendation. Simplification of the resulting e.i.r.p. mask could also be considered.

Part C

Essential requirements related to sharing with the RAS

In order to protect the radio astronomy in the band 14.47-14.5 GHz, AMSS earth stations should comply with both following measures:

AMSS channels in the 14.47-14.5 GHz band

- AMSS stations do not transmit in the 14.47-14.5 GHz band within line-of-sight of radio astronomy stations operating within this band;
- or,
- if an AMSS operator intends to operate co-frequency within the visibility of the radio astronomy station, a specific agreement with the radio astronomy station will be needed to ensure that AMSS AES will meet the requirements of Recommendations ITU-R RA.769 and ITU-R RA.1513 within the 14.47-14.5 GHz band during observations. Where practicable, this may include advance information to AMSS operators regarding observation schedules.

AMSS channels in the 14-14.47 GHz band

All AES transmitters on channels in the 14-14.47 GHz band within line-of-sight of radio astronomy stations during radio astronomy observations have emissions in the band 14.47-14.5 GHz such that they meet the levels and percentage of data loss given in

Recommendations ITU-R RA.769 and ITU-R RA.1513. Results from studies show that the following AES pfd levels (dB(W/(m² · 150 kHz))) in the band 14.47-14.5 GHz are sufficient, with some margin, to meet the radio astronomy pfd levels in Recommendation ITU-R RA.769 and the percentage of data loss given in Recommendation ITU-R RA.1513, i.e.:

$$\begin{array}{lll} -190 + 0.5 \cdot \theta & \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{for } \theta \leq 10^\circ \\ -185 & \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{for } 10^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

where θ is the angle of arrival of the radio-frequency wave (degrees above the horizontal).

Such AES pfd levels in the band 14.47-14.5 GHz may be achieved by the AMSS operators through a combination of reduced AES signal power, sharp filtering, maintaining adequate frequency separation, or better AES antenna performance.

Part D

Essential requirements related to sharing with the space research service

Coordination agreements should be developed between AMSS and space research systems based on controlling the emissions levels of the AES in the frequency band used by the SRS systems, and, in severe cases, may require cessation of AES emissions on frequencies used by the SRS system when operating in the vicinity of the space research earth station. Specifics of the agreements will vary based on the characteristics of the individual SRS sites and the AMSS networks.

Annex 2

Derivation of a lower hemisphere e.i.r.p. mask from a pfd mask

In testing AMSS equipment to determine if it meets a given pfd mask, such as the one in Annex 1, Part B, it may be useful to determine an equivalent e.i.r.p. mask that can be used for testing purposes.

The pfd mask, $\text{pfd}(\theta)$ where θ is the angle of arrival (elevation angle) at the Earth's surface, can be used to mathematically determine an e.i.r.p. mask, $\text{e.i.r.p.}(\gamma, H)$ where γ is the angle below the local horizontal plane and H is the altitude of the aircraft. This conversion proceeds in two steps. First, γ is converted to an equivalent angle of arrival, θ . Then the length of the propagation path for angle of arrival θ is determined and used to calculate the spreading loss for the path and the resulting e.i.r.p.

Step 1: Calculation of an angle of arrival in degrees, θ , from γ and H :

$$\theta = \arccos((R_e + H) \cos(\gamma)/R_e)$$

where:

- θ : angle of arrival
- R_e : earth radius (6378 km)
- H : altitude of the aircraft (km)
- γ : angle below horizontal.

NOTE 1 – If the argument of the arccos function is greater than 1, the propagation path in the direction of the angle γ does not intersect the Earth. In this case, which occurs for values of γ of about 3.5° or less, a value for θ does not exist and so there is no defined value for the pfd mask.

Step 2: Calculation of the e.i.r.p. value from the defined pfd(θ):

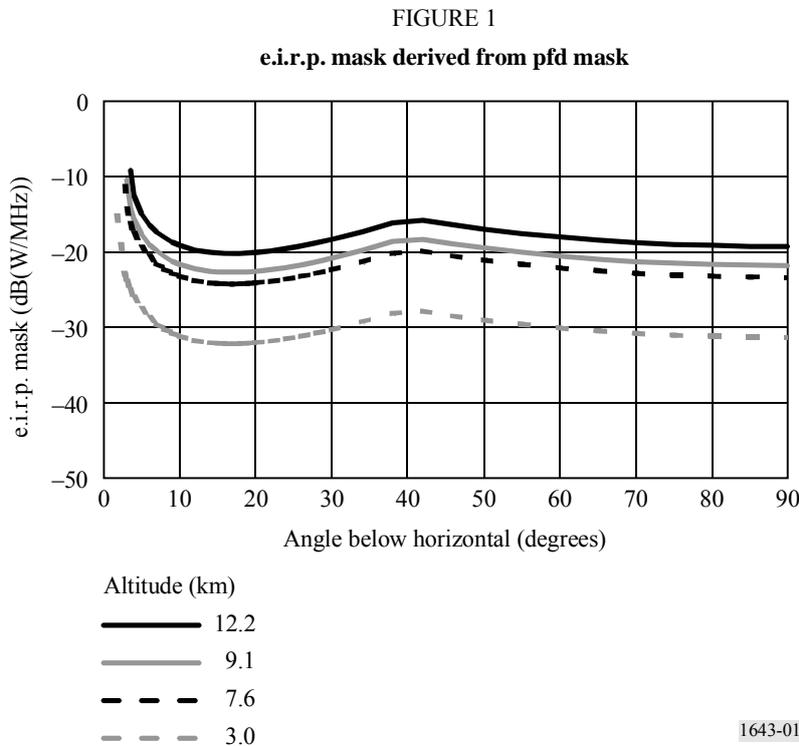
$$d = (R_e^2 + (R_e + H)^2 - 2 R_e (R_e + H) \cos(\gamma - \theta))^{1/2}$$

$$\text{e.i.r.p.}(\gamma, H) = \text{pfd}(\theta) + 10 \log_{10}(4 \pi d^2) + 60$$

where:

- d : distance between the AES and the considered point on the Earth's surface (km)
- pfd(θ): (dB(W/(m² · MHz)))
- e.i.r.p.: (dB(W/MHz)).

The graph in Fig. 1 shows this function for various aircraft altitudes based on the pfd mask provided in Annex 1, Part B of this Recommendation.



各種の伝送方式に応じて確立している占有周波数帯幅の許容値の計算手法

占有周波数帯幅は、変調方式の種別ごとに、次式により求める値以下であること。ただし、これにより難しい場合は、この限りでない。

PSK方式、QAM方式及びAPSK方式

$$B=2k \cdot fcl$$

B：占有周波数帯幅の許容値 (Hz)

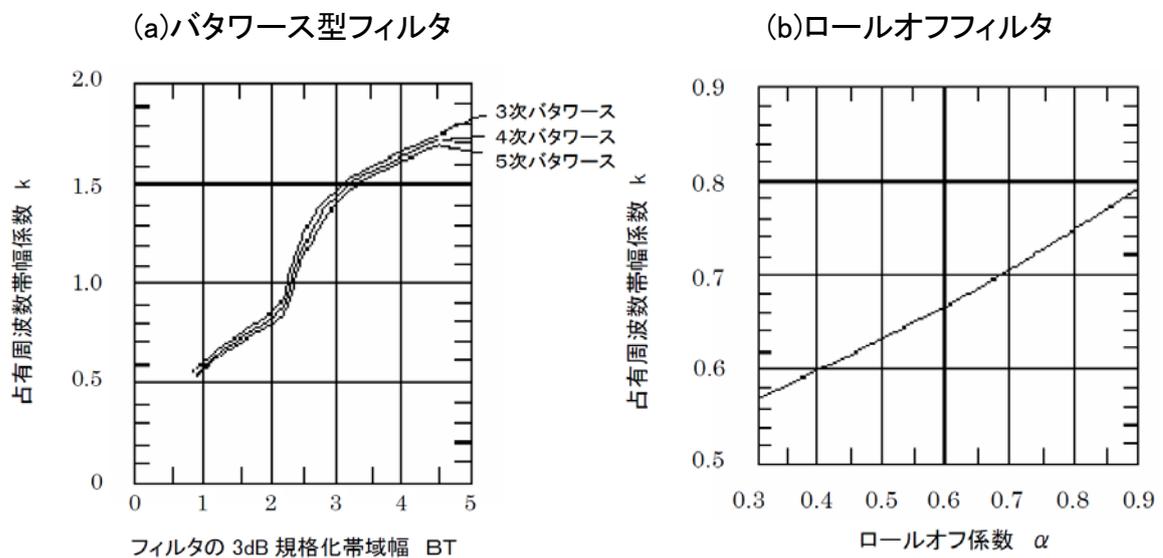
k：送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数 バタワース型フィルタ又はロールオフフィルタを用いる場合は、別図のとおりとする。

fcl：パルスの繰り返し周波数 (Hz)。この値は、次式により求める。

$$fcl = R/n$$

R：伝送速度 (bps)

n：1シンボル内で伝送される符号数



別図 占有周波数帯幅係数

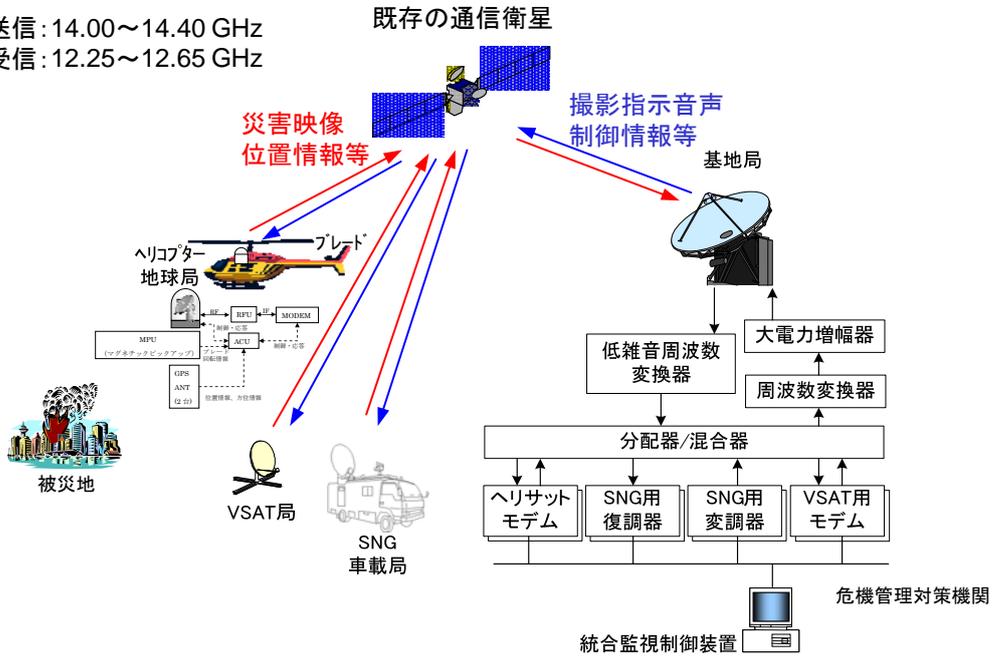
現在開発されている機器による想定諸元例

表参 6-1 仕様・性能の例

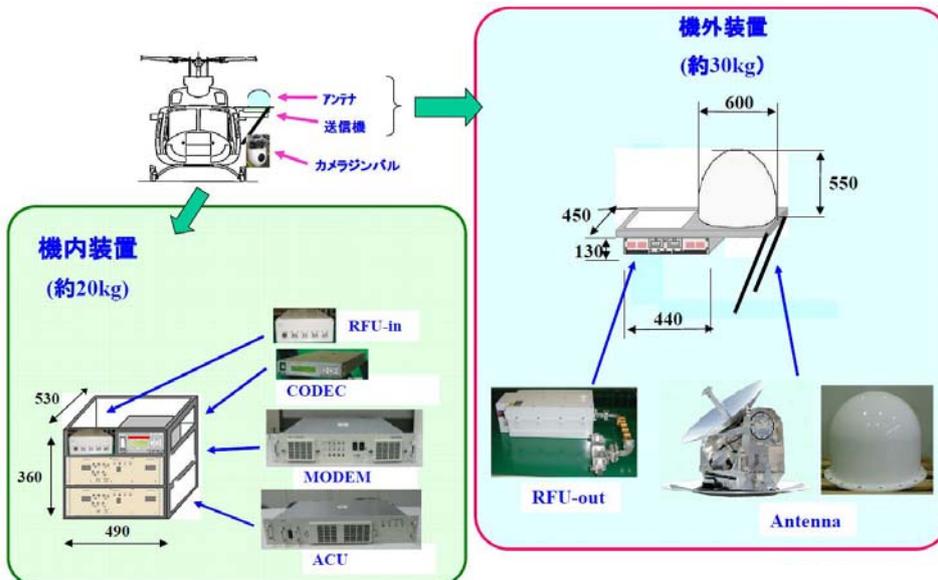
	項目	仕様・性能	備考
1	システム		
1.1	利用周波数帯	送信：14.00～14.40 GHz 受信：12.25～12.65 GHz	
1.2	機能	映像送信、双方向音声、データ通信	
1.3	通信方式	送信：ヘリコプターのブレード回転に同期した間欠送信方式 受信：時間ダイバーシティ受信方式	
2	アンテナ/送受信装置		
2.1	アンテナ	0.4mφパラボラアンテナ	
2.2	衛星追尾方式	受信信号強度によるスキャン方式	
2.3	偏波	送受直交直線偏波 送信：V(H)偏波、受信：H(V)偏波 切替可能	
2.4	e. i. r. p.	45dBW 標準	地域により異なる
3	変調装置		
3.1	変調方式	$\pi/2$ シフト BPSK/同期検波、QPSK/同期検波	
3.2	誤り訂正方式	LDPC 符号	
3.3	情報速度	384kbps～10Mbps	地域により異なる
4	ヘリ搭載条件		
4.1	飛行最大速度	160kt (約 296.3km/h)	ヘリコプター衛星通信システム運用時
4.2	最大高度	11,000ft	同上
4.3	ピッチ角	$\pm 30^\circ$	同上
4.4	バンク角	$\pm 20^\circ$	同上
5	その他		
5.1	電源条件	DC28V	ヘリコプター搭載標準電源に対応
5.2	環境条件	機外装置：-25℃～50℃ 機内装置：0℃～40℃	
5.3	寸法	機外アンテナ：600Φ×550(mm) 機外送受信装置：460×450×130(mm) 機内装置：490×300×530(mm)	
5.4	質量	機外装置：約 30kg 機内装置：約 20kg	アンテナ、送受信機
5.5	アンテナ駆動範囲	AZ 方向：360度(連続) EL 方向：5度～80度	

○ 危機管理対策機関の既存の衛星通信システムと一体運用も可能とする。

送信: 14.00~14.40 GHz
 受信: 12.25~12.65 GHz



図参 6-1 システムイメージ

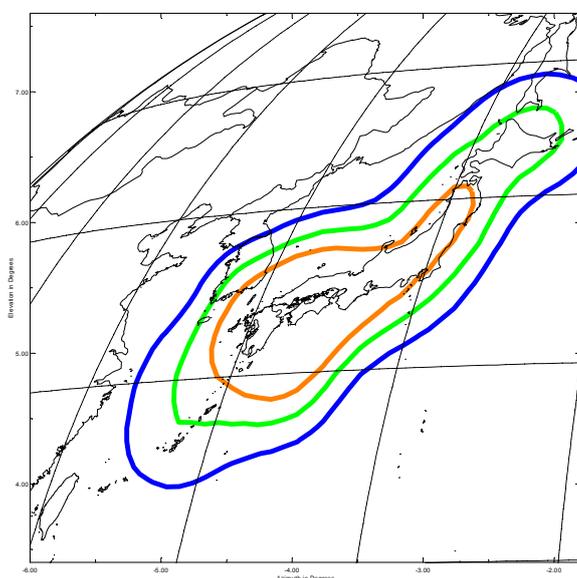


この他、取付部材、ケーブル等が約 50kg あり、
 総重量としては、約 100kg となる。

図参 6-2 ヘリコプター地球局機器の例

表参 6-2 現在開発されている機器及び一般的な国内衛星を使用した場合の降雨減衰を考慮した利用可能エリアの一例

映像レート(遮断率35%)	320Kbps	700Kbps	1.41Mbps		2.88Mbps	5.82Mbps	9.73Mbps
情報速度(遮断率35%)	421Kbps	805Kbps	1.573Mbps		3.109Mbps	6.181Mbps	10.405Mbps
映像レート(遮断率0%)(注9)	540Kbps	1120Kbps	2.280Mbps		4.590Mbps	9.220Mbps	15.580Mbps
情報速度(遮断率0%)(注9)	647Kbps	1238Kbps	2.420Mbps		4.783Mbps	9.509Mbps	16.007Mbps
変調方式	$\pi/2$ shift BPSK				QPSK		
画素数	720×480	720×480	720×480 1440×1080	720×480 1440×1080	1440×1080	1440×1080	1920×1080
占有周波数帯幅	1.459MHz	2.790MHz	5.452MHz	2.726MHz	3.585MHz	7.128MHz	12.000MHz
一般的な国内衛星を使用した場合の降雨減衰を考慮(稼働率99%以上)した利用可能エリアの一例	青線		緑線		茶線	電波干渉等の条件による。(注3)	電波干渉等の条件による。(注3)



(注1) 大雨の際(時間率1%以下)では、エリアの縮小や使用できない場合もある。

(注2) 利用可能エリアについては、利用する衛星、偏波、トランスポンダの干渉状況、基地局のアンテナ径等によって、変化するため、ユーザ毎に衛星通信事業者による個別の検討が必要となる。なお、一部島嶼部においては、上図のモデルとした衛星・ビームでは、回線マージンが若干不足しているが、利用する衛星、偏波、トランスポンダの干渉状況の個別の検討により、利用可能エリアとなる可能性が高い(衛星によっては、沖縄向けビームや可動ビームを搭載しており、これを使用する場合には、島嶼部においても高速伝送が可能と考えられる。)

(注3) 最大送信電力の制約上、帯幅の増加に伴い回線マージンが低下するため、衛星・トランスポンダの干渉状況について、個別の詳細検討が必要となる。

(注4) 可動ビームの活用や他衛星の活用により、これ以外のエリアについても使用可能

となり得る。

- (注5) 変調方式や占有周波数帯域幅は、基地局からの制御により、変更可能である。
- (注6) 回線品質が厳しい場合、一定の占有周波数帯域幅を保ちつつ、情報速度を下げ、誤り訂正の符号化率を増加することにより、利用可能エリアを拡大することも可能であり、将来的な実運用における有効な手段として期待できる。特に、衛星通信のユーザにおいては、衛星通信事業者と契約した帯域幅についてチャンネル分割して（例えば、放送事業者の場合 9MHz 幅が一般的）運用するケースが多く、チャンネル幅を有効に活用して安定的に回線を確保する有効な運用方法と考えられる。
- (注7) 現在開発されている機器は映像コーデックとして H.264 を使用しているが、将来的には、現在標準化作業中の次世代コーデック（H.264 の 2 倍の効率を目標）の使用により、現在の半分の伝送速度で伝送可能となることが期待される。
- (注8) 現在開発されている機器は対応していないが、将来的には、送信バースト長／符号化率可変技術を採用することにより、遮断率が小さい場合には、所要 C/N が下げられ、全体としての回線稼働率が向上することが見込まれる。ただし、変復調器における適応制御の動作安定性の検証等が必要である。
- (注9) 現在開発されている機器は対応していないが、将来的には、遮断率変動に適応的に映像レートを切り替えることにより、遮断率が小さい場合には、画質が向上し、伝送路容量を無駄なく使用可能となることが見込まれる。ただし、画質が時間的に変動することから、遮断率の変動範囲を調査の上、画質変動を検証する必要がある。また、映像レート切替時の画像変動を目立たなくするための手法の開発や適応制御機能を付加した専用のコーデックの開発、適応制御の動作安定性の検証等が必要となる。

