

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)

諮問第 82 号

「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」のうち
「高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる
Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」

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	検討事項	1
II	委員会及び作業班の構成	1
III	審議経過	1
IV	検討概要	3
1	検討の背景とシステム概要	3
1. 1	検討の背景	3
1. 2	Ku 帯非静止衛星通信システムの概要	3
2	他の無線システムとの周波数共用	8
2. 1	周波数配置状況	8
2. 2	他の無線システムとの周波数共用	12
3	Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件	25
3. 1	一般的条件	25
3. 2	送信装置の条件	26
4	測定法	29
4. 1	送信装置	29
5	周波数共用に関する条件	31
V	審議結果	33
	参考資料	45
	参考資料 1 衛星コンステレーションの動向	46
	参考資料 2 欧州における Ku 帯非静止衛星通信システムの制度化動向	54
	参考資料 3 他の無線システムとの周波数共用検討詳細	60

I 検討事項

衛星通信システム委員会（以下「委員会」という。）は、電気通信技術審議会諮問第 82 号「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」（平成 7 年 9 月 25 日）のうち、「高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」について検討を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会の構成は別表 1 のとおりである。委員会の調査検討を促進するため、衛星通信システム委員会作業班において技術的条件に関する調査を行った。作業班の構成は別表 2 のとおりである。

III 審議経過

「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」（平成 7 年 9 月 25 日）のうち、「高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」について委員会及び作業班での検討経過は以下のとおりである。

1 委員会

(1) 第 33 回委員会（平成 29 年 6 月 27 日）

「小型衛星から構成される衛星コンステレーションによる衛星通信システムの技術的条件」に関して、委員会の運営方針及び検討スケジュールについて検討を行った。

(2) 第 38 回委員会（令和元年 10 月 17 日）

作業班における「Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」の検討に関し、中間報告が行われた。

(3) 第 39 回委員会（令和 2 年 2 月 17 日）

作業班から、「高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」に関する報告を受け、衛星通信システム委員会報告（案）をとりまとめた。

(4) 第 40 回委員会（令和■年■月■日）

委員会報告（案）のパブリックコメント（令和■年■月■日～令和■年■月■日）で提出された意見に対する委員会の考え方及び委員会報告のとりまとめを行った。

2 作業班

(1) 第 10 回 (平成 29 年 6 月 27 日)

委員会の運営方針、検討体制について説明が行われ、「小型衛星から構成される衛星コンステレーションによる衛星通信システムの技術的条件」に関する調査の進め方等について検討を行った。

(2) 第 11 回 (平成 30 年 1 月 18 日)

Ku 帯非静止衛星通信システムの状況に関する報告が行われた。

(3) 第 15 回 (令和元年 6 月 11 日)

技術試験事務による調査結果の報告、及び、Ku 帯非静止衛星通信システムの検討状況に関する報告が行われた。

(4) 第 16 回 (令和元年 8 月 22 日)

「Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」に関する周波数共用条件等について検討を行った。

(5) 第 17 回 (令和元年 10 月 1 日)

「Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」に関する中間報告(案)等について検討を行った。

(6) 第 18 回 (令和元年 12 月 12 日)

「Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」に関する技術的条件等について検討を行った。

(7) 第 19 回 (令和 2 年 2 月 3 日)

「高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」に関する委員会報告(案)及びその概要について検討を行った。

また、本件に関しては検討の促進を図るため、電波利用料財源技術試験事務による調査検討を実施し、「Ku/Ka 帯を用いた非静止衛星システムに係る周波数共用技術に関する調査検討会」(主査：三次仁 慶應義塾大学環境情報学部 教授)を開催し、技術的条件(案)を策定するための検討を行った。

IV 検討概要

1 検討の背景とシステム概要

1. 1 検討の背景

衛星搭載機器の小型軽量化や衛星打上げ費用の低廉化により、小型の人工衛星の実用化が比較的容易になった。また非静止衛星システムは、静止衛星に比べ低い高度（低軌道は高度約 2,000km 以下）を周回するため、通信の遅延時間が短い（最小 20 ミリ秒程度）。そのため、中・低軌道に打ち上げた多数の小型衛星を連携させて一体的に運用する「衛星コンステレーション」を構築し、極域を含めた世界全域を対象として、緊急時・平時を問わず、ビジネス用途の高信頼・高速大容量通信など多様なサービスを提供することが可能となった。

これを受けて、非静止軌道衛星については、中軌道（MEO）又は低軌道（LEO）に投入される多数の小型衛星でコンステレーションを構築する計画が複数検討されている。中軌道（高度 2,000～36,000km）については、国内未参入の既存衛星オペレータ及び航空宇宙メーカーによる衛星コンステレーションが、楕円軌道のものも含めて計画されている。低軌道（高度 2,000km 以下）については、既存衛星オペレータによる現行衛星の高度化計画に加え、新興衛星オペレータによる計画が進んでいる。利用周波数については L 帯のほか、Ku 帯、Ka 帯及び V 帯が想定されており、いずれも移動通信端末向けのブロードバンドサービス等を提供する予定である。

高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる Ku 帯非静止衛星通信システム（以下「Ku 帯非静止衛星通信システム」という。）による新たな通信サービスは、令和 3 年から開始される予定であり、我が国でも本サービスを導入可能とするための検討を行うものである。

1. 2 Ku 帯非静止衛星通信システムの概要

Ku 帯非静止衛星通信システムは低軌道衛星コンステレーションを利用し全世界にブロードバンド衛星通信サービス、特にインターネット接続を提供する。図 1-1 に Ku 帯非静止衛星通信システムのイメージ、及び図 1-2 に Ku 帯非静止衛星通信システムの接続イメージを示す。



図 1-1 Ku 帯非静止衛星通信システムのコンステレーションイメージ

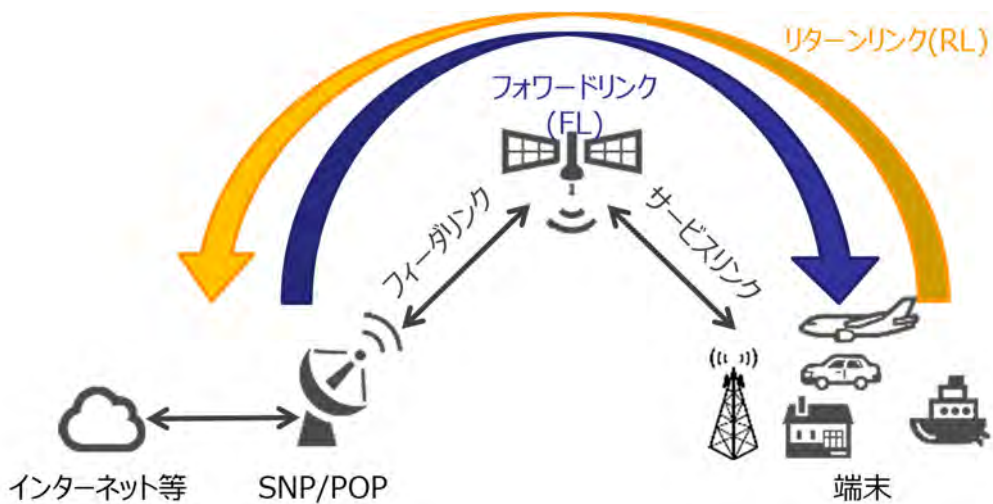


図 1-2 Ku 帯非静止衛星通信システムの接続イメージ

地球上の複数の極軌道（南北方向の軌道）を高度 1,200km の低軌道で周回（周期約 110 分）し、当初サービスでは合計約 600 機の衛星が配置される。サービスリンクに Ku 帯（宇宙から地球：10.7～12.7GHz、地球から宇宙：14～14.5GHz）、フィーダリンクに Ka 帯（宇宙から地球：17.8～18.6GHz 及び 18.8～19.3GHz、地球から宇宙：27.5～29.1 GHz 及び 29.5～30.0GHz）を用いる。サービスリンクは、各衛星から図 1-3 に示す 16 個のビームを（65×1,667km の長方形ビーム）照射し、複数の衛星のビームをオーバーラップさせてカバレッジを確保している。

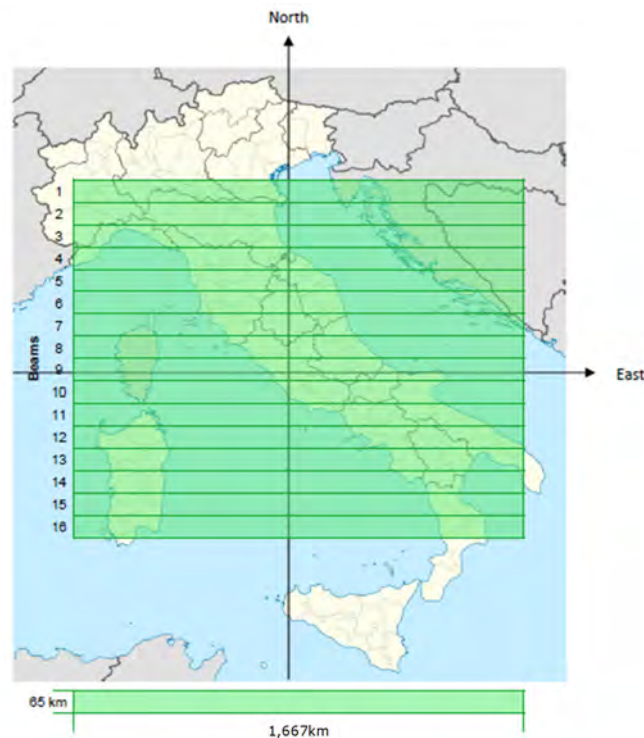


図 1-3 Ku 帯非静止衛星通信のビームパターン（サービスリンク）

サービスリンクの周波数利用方法は、宇宙から地球方向で 1 ビーム当たり 250MHz 幅の全 2GHz 幅、地球から宇宙方向で 1 ビームあたり 125MHz 幅の全 500MHz 幅となる。従って、宇宙から地球方向では 2 ビーム、地球から宇宙方向で 4 ビームが同一周波数を繰り返して利用することとなる。

フィーダリンク用のゲートウェイ設備は SNP/POP (Satellite Network Portal / Point of Presence) と呼ばれ、アンテナ/RF 制御、ビーム制御、通信リソース制御、及びコアネットワーク設備が設置される。我が国を含む、全世界で 40～50 局程度の SNP/POP を設置される予定である。なお、Ku 帯非静止衛星通信システムは衛星間通信システムを具備していないため、全ての衛星で SNP/POP を介した通信が行われる。

Ku 帯非静止衛星通信サービスは移動端末のみでなく、固定端末を含め多くの利用シーンが想定されている。例として法人・官公庁向けには災害時のバックアップ回線の提供などの BCP 用途、携帯電話不感地帯における基地局バックホールの提供などが固定端末の利用シーンとして、また、航空機、船舶、車両へのブロードバンド衛星通信サービスの提供が移動端末の利用シーンとして検討されている。これらの利用シーンへ対応するため、複数のユーザ端末の開発

が進められている。図 1-5 にユーザ端末の一例を示す。



図 1-4 Ku 帯非静止衛星通信サービスの利用シーン

アンテナタイプ	ユースケース	G/T	サイズ (cm)	スループット (DL/UL)	追尾方式
	法人・官公庁 携帯バックホール IoTバックホール ポータブル 個人向け	12dB/K	90×80 (直径×高さ)	195 Mbps DL 33 Mbps UL	機械式
	船舶	15dB/K	120×100 (直径×高さ)	195 Mbps DL 33 Mbps UL	機械式
	法人・官公庁 携帯バックホール IoTバックホール ポータブル 船舶 個人向け 陸上モビリティ	9dB/K	50×45 (縦×横)	75 Mbps DL 6 Mbps UL	電気式
	航空機	13dB/K	150×70 (縦×横)	195 Mbps DL 33 Mbps UL	電気式

図 1-5 ユーザ端末の一例

無線通信規則において、非静止衛星システムは静止衛星網（固定衛星、放送衛星）へ許容し得ない混信を生じさせてはならない（22.2 条）とされており、具体的な保護の条件として等価電力束密度（EPFD）が規定されている。この規定を遵守するため、Ku 帯非静止衛星通信システムでは図 1-6 に示すプログレッシブピッチ（Progressive Pitch）と呼ばれる独自の技術を採用している。この

技術は、静止衛星とビームの離角が小さくなり干渉を与える恐れのある赤道付近ではビーム停止し、その他の衛星が放射軸を傾けてカバーするというものであり、カバレッジの確保とビームの離角確保による静止衛星網への干渉回避の両立を実現している。

衛星は約±30度の緯度よりビーム放射軸を傾け始め、赤道上空（約±3度以下）でビームを停止、その後逆方向に放射軸を傾けたビームを再発射し徐々に放射軸を真下方向へ戻すという一連の動作が組み込まれているため、本技術は地球局からの制御でなく、全ての衛星が位置情報を元に自律的に動作する仕組みとなっている。

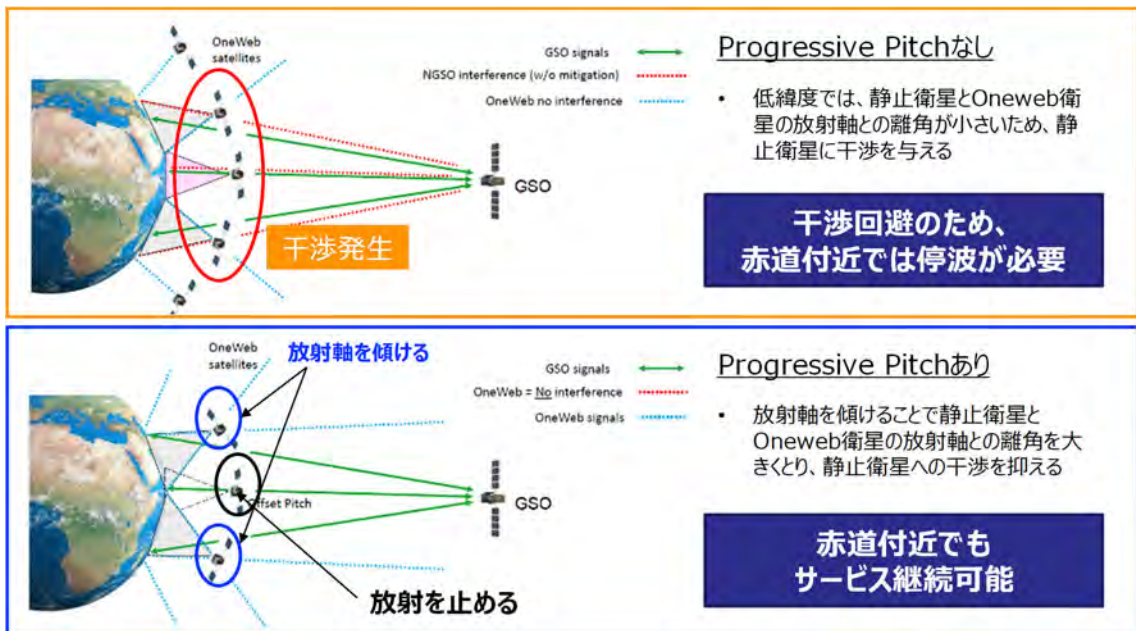


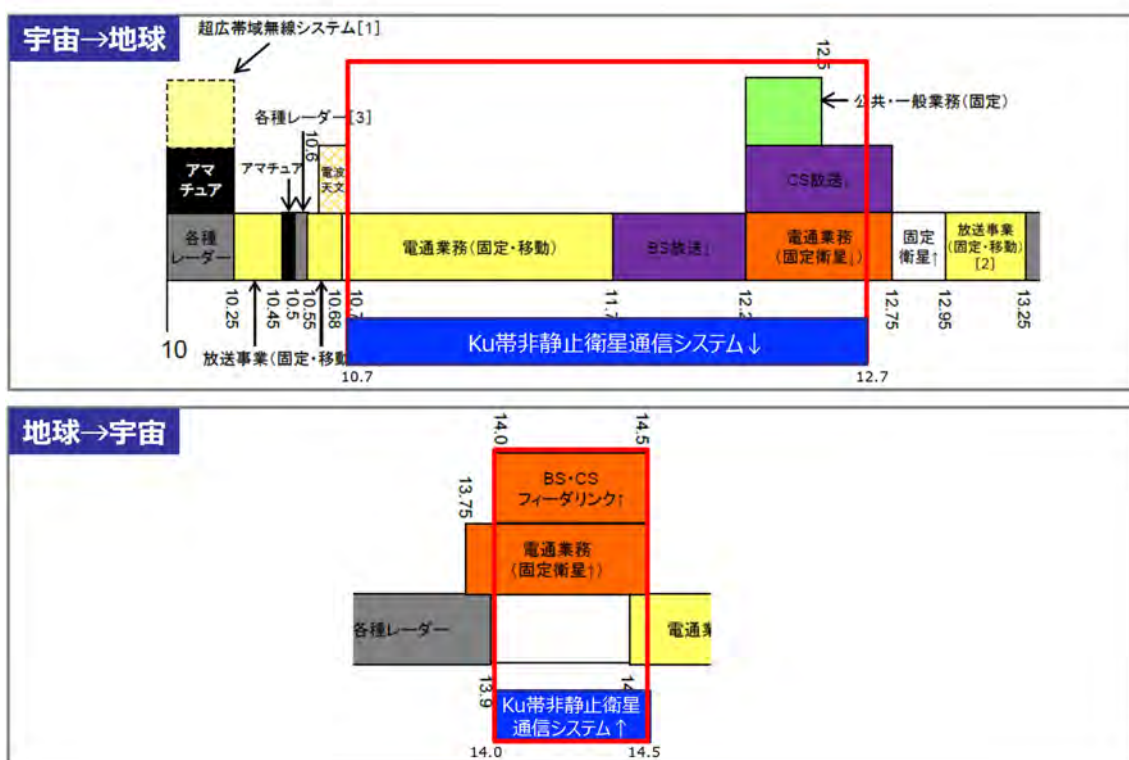
図 1-6 プログレッシブピッチ概要

2 他無線システムとの周波数共有

2.1 周波数配置状況

Ku 帯非静止衛星通信システムが使用するサービスリンク周波数(Ku 帯: 10.7-12.7GHz、14.0-14.5GHz。四角枠で示した箇所)の我が国の利用状況を図 2-1 に示す。

図 2-1 我が国における Ku 帯の周波数使用状況



Ku 帯における共用検討が必要となる対象システムとの組み合わせを、表 2-1 のとおり分析した。

表 2-1 Ku 帯における共用検討対象システムの分析

与干渉	被干渉	分析
Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(10.7-12.7GHz)	電波天文 (10.6-10.7GHz)	要検討(※1)
Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(10.7-12.7GHz)	電気通信業務(固定・移動) (10.7-11.7GHz)	無線通信規則 21 条の電力束密度(PFD)制限の遵守により保護が行われるため、検討は不
Ku 帯非静止衛星通信システム	公共一般業務(固定)	

宇宙局(10.7-12.7GHz)	(12.2-12.5GHz)	要。
Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(10.7-12.7GHz)	放送衛星・固定衛星地球局 (11.7-12.75GHz)	無線通信規則 22 条の等価電力束密度(EFPD)制限の遵守により保護が行われるため、また、無線通信規則 5.487A によって放送衛星に対して許容できない干渉があれば直ちに除去しなければならないため、検討は不要。(※2)
電気通信業務(固定・移動) (10.7-11.7GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(10.7-12.7GHz)	要検討
公共一・般業務(固定) (12.2-12.5GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(10.7-12.7GHz)	要検討
放送衛星・固定衛星宇宙局 (11.7-12.7GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(10.7-12.7GHz)	無線通信規則 5.487A、22.2 条に基づき、非静止衛星システムは静止衛星網(固定衛星、放送衛星)からの干渉保護を求めてはならないとされていることから、検討は不要。
Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(14.0-14.5GHz)	電気通信業務(固定・移動) (14.4-15.25GHz)	要検討
Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(14.0-14.5GHz)	固定衛星宇宙局 (14.0-14.5GHz)	無線通信規則 22 条の EFPD 制限の遵守により保護が行われるため、検討は不要。
電気通信業務(固定・移動) (14.4-14.5GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(14.0-14.5GHz)	要検討
固定衛星地球局 (14.0-14.5GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(14.0-14.5GHz)	無線通信規則 22 条の EFPD 制限の遵守により保護が行われるため、検討は不要。

※ 1 : 電波天文と同一帯域に分配されている地球探査衛星業務(受動)の検討も実施

※ 2 : 但し EFPD↓の適合性に関し、姿勢喪失等の異常時への対応のため、個別の静止衛星網との運用調整を実施

Ku 帯非静止衛星通信システムが使用するフィーダリンク周波数(Ka 帯: 17.8-18.6/18.8-19.3GHz、27.5-29.1/29.5-30.0GHz。四角枠で示した箇所。の我が国

の利用状況を図 2-2 に示す。

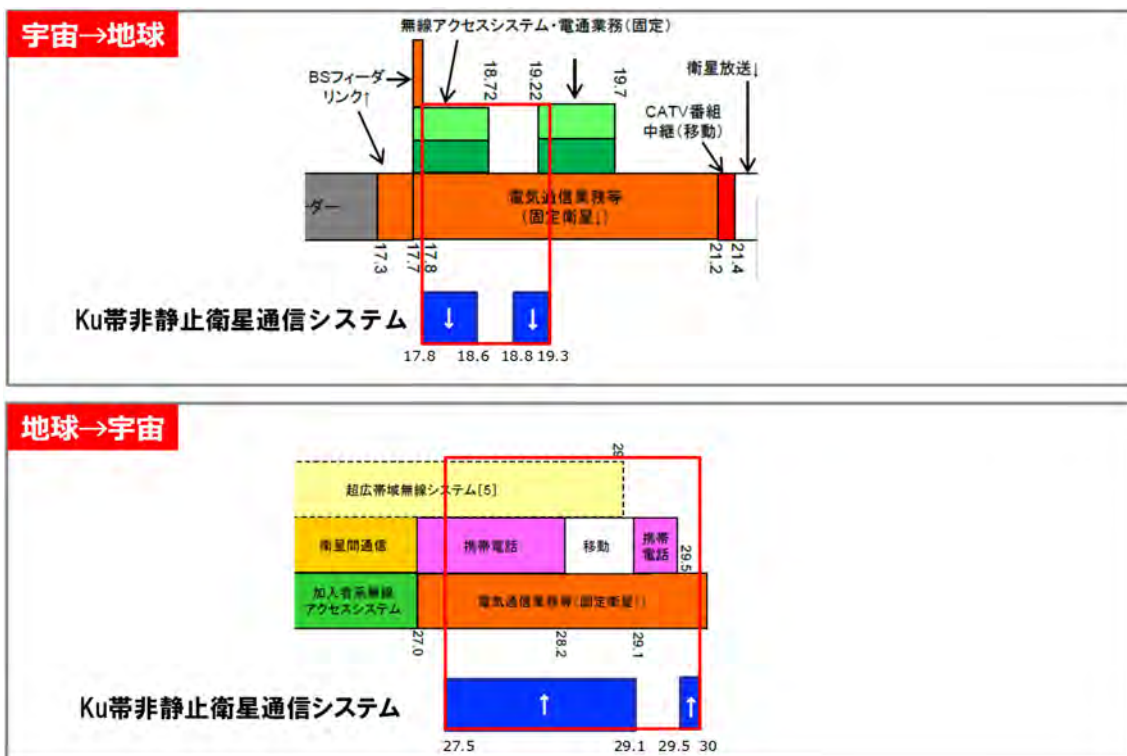


図 2-2 我が国における Ka 帯の周波数使用状況

Ka 帯における共用検討が必要となる対象システムとの組み合わせを、表 2-2 のとおり分析した。

表 2-2 Ka 帯における共用検討対象システムの分析

与干渉	被干渉	分析
Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	固定衛星地球局 (17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	17.6-18.6GHz は無線通信規則 22 条の EPFD 制限の遵守により保護が行われる。また、18.8-19.3GHz は無線通信規則に基づく国際調整により共用が図られるため、検討は不要。
Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	無線アクセスシステム・ 電気通信業務(固定) (17.7-18.72/19.22-19.7GHz)	無線通信規則 21 条の PFD 制限の遵守により保護が行われるため、検討は不要。
固定衛星宇宙局 (17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	17.6-18.6GHz は無線通信規則 22.2 条に基づき、非静止衛星システムは静止衛星網(固定衛

		星、放送衛星)からの干渉保護を求めてはならないとされている。また、18.8-19.3GHzは無線通信規則に基づく国際調整により共用が図られるため、検討は不要。
無線アクセスシステム・電気通信業務(固定) 17.7-18.72/19.22-19.7GHz	Ku帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	要検討
Ku帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(27.5-29.1/29.5-30GHz)	第5世代移動通信システム (27.5-29.5GHz)	要検討
Ku帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(27.5-29.1/29.5-30GHz)	固定衛星宇宙局 (27.5-29.1/29.5-30GHz)	28.6-29.1GHzは無線通信規則に基づく国際調整により共用が図られる。その他周波数は無線通信規則22条のEPFD制限の遵守により保護が行われるため、検討は不要。
第5世代移動通信システム (27.5-29.5GHz)	Ku帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(27.5-29.1/29.5-30GHz)	要検討
固定衛星地球局 (27.5-29.1/29.5-30GHz)	Ku帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(27.5-29.1/29.5-30GHz)	28.6-29.1GHzは無線通信規則に基づく国際調整により共用が図られる。その他周波数は無線通信規則22.2条に基づき、非静止衛星システムは静止衛星網(固定衛星、放送衛星)からの干渉保護を求めてはならないとされているため、検討は不要。

※18.6-18.8GHzは地球探査衛星業務(受動)、及び宇宙研究業務(受動)に分配されているが、当該周波数は固定業務、及び固定衛星業務(宇宙から地球)が同等の優先度で分配されており同一周波数による共用が前提となっている。Ku帯非静止衛星通信システムの利用周波数は当該周波数の隣接にあたり、同一周波数を利用する他の業務より受動業務与える影響が低いいため、検討は不要とした。

2. 2 他の無線システムとの周波数共用

前項の表 2-1、表 2-2 の分析に基づき、検討要とした Ku 帯非静止衛星通信システムと同一周波数、隣接周波数帯を使用する無線システムを対象に干渉検討を行った。一部の無線システムは参考資料 2 に示す通り、欧州郵便電気通信主管庁会議（CEPT）内の電気通信委員会（ECC）において、Ku 帯非静止衛星通信システムとの干渉検討が実施されていることから、我が国の無線システムとの干渉検討も当該検討結果（ECC Report 271）に包含可能であるかの観点で検討を実施している。なお、検討結果の詳細は参考資料 3 に示す。

2. 2. 1 電波天文業務

2. 2. 1. 1 電波天文業務の概要

電波天文業務の用に供する受信設備は、天体から放射される電波を受信することにより、天体や宇宙空間の物理状態、さらには宇宙そのものの成因など、宇宙全体を観測するためのシステムである。

2. 2. 1. 2 Ku 帯非静止衛星通信システム宇宙局（10.7-12.7GHz）から電波天文業務（10.6-10.7GHz）への干渉検討

ECC Report 271 の検討結果に包含することが可能であるかとの観点で検討を実施した。

ECC Report 271 では、電波天文業務の干渉基準として ITU-R 勧告 RA. 769 の電力束密度（PFD）閾値である $-240 \text{ dBW/m}^2 \cdot \text{Hz}$ 、勧告 RA. 1513 で規定される許容データ損失 2%以下を採用している。また、アンテナパターンは ITU-R 勧告 RA. 1631 より最大利得 81dBi（100m 級アンテナ）を用いている。なお、電波天文業務への干渉は電波天文アンテナのメインローブ方向に存在する場合は支配的であり、サイドローブ方向からの干渉影響は低く、アンテナ径に干渉差分は少ない。従って、当該勧告の recommends 3 に基づき典型的な最大アンテナ利得を利用している。

干渉計算の結果、以下表 2-3 に示すビーム毎の最大不要発射 EIRP 値を満たすことで、ITU-R 勧告 RA. 1513 の基準である 2%以下のデータ損失を達成する。

表 2-3 電波天文業務保護のためのビーム毎の不要発射制限値

衛星ビーム	EIRP 値
1、5、9、13	-34.9 dBW/100MHz
2、6、10、14	-61.9 dBW/100MHz
3、7、11、15	-49.9 dBW/100MHz

4、8、12、16	-61.9 dBW/100MHz
-----------	------------------

ここで、以下の観点から我が国の電波天文との共用は ECC Report 271 の検討結果に包含することが可能と考えられる。

- 欧州の検討では、最大アンテナ利得の 81dBi（ドイツ Effelsberg の 100m アンテナ）を利用している。ITU-R 勧告 RA. 1631 に基づく典型的な最大アンテナ利得であり、これにより他のアンテナ径の検討も包含される。
- 欧州の検討では、日本より高緯度の北緯 45° での検討を行っている。高緯度では非静止衛星が多く見えることから、国内より厳しい条件（与干渉送信電力観点）で共用検討を実施している。

以上を踏まえ、欧州の電波天文保護のための不要発射制限値を満たすことで、国内の電波天文の保護は可能と考えられる。

なお、表 2-3 示した不要発射制限値はフィルタ挿入等に加え、電波天文の最隣接チャンネルの発射停止等により実現可能となる。また、10.6-10.7GHz を利用する電波天文の可視エリアは、図 2-3 の通り南極を除くほぼ全地球上であり、これらのエリアでの宇宙局運用に際しては発射制限等が必要となる可能性がある。従って、この運用を行うことで、我が国の電波天文も保護されることが考えられる。

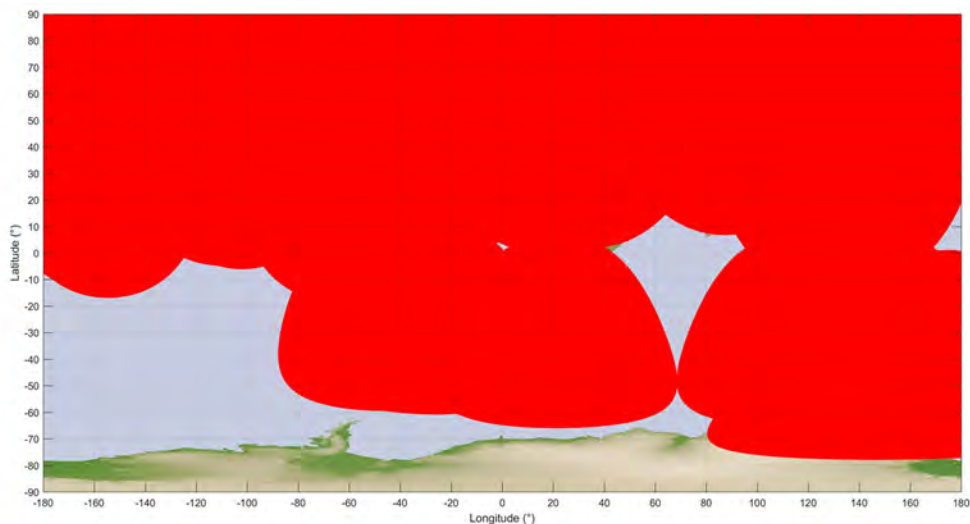


図 2-3 電波天文の可視エリア（ECC Report 271）

なお、ECC Report 271 において、電波天文保護のための不要発射制限値を満たすことで、地球探査衛星業務（受動）の保護も可能と結論を得ている。

- 2. 2. 2 電気通信業務（固定・移動）、公共・一般業務（固定）
- 2. 2. 2. 1 電気通信業務（固定・移動）（10.7-11.7GHz）、公共・一般業務（固定）（12.2-12.5GHz）
- 2. 2. 2. 1. 1 電気通信業務（固定・移動）（10.7-11.7GHz）、公共・一般業務（固定）（12.2-12.5GHz）の概要

電気通信業務（固定・移動）は電気通信事業者が、主に携帯電話等の基地局エントランス、災害等発生時の伝送路の救済や確保のために、臨時回線を構築する目的やイベント等開催時に、現地からの臨時映像を伝送するために利用している。平成30年度電波の利用状況調査の結果では3,523局が存在している。

公共・一般業務（固定）は、主に公益事業者、国及び地方公共団体が、音声、データ及び画像（映像を含む）などの多様な情報を伝送するために利用している。平成30年度電波の利用状況調査の結果では1,307局が存在している。

- 2. 2. 2. 1. 2 電気通信業務（固定・移動）（10.7-11.7GHz）、公共・一般業務（固定）（12.2-12.5GHz）から Ku 帯非静止衛星通信システム地球局（10.7-12.7GHz）への干渉検討

一対一干渉シナリオにて所要改善量を算出した結果、電気通信業務（固定）で184dB、電気通信業務（移動）で133dB、公共・一般業務（固定）で178dBとなった。本所要改善量を満たす所要離隔距離は、ITU-R 勧告 P.452-16 を用いて11~70kmとなった。

前項に示した通り、電気通信業務、公共・一般業務と共に多くの局が存在すること、また電気通信業務移動局は運用場所を特定できないことから、上記の離隔距離を確保しつつ Ku 帯非静止衛星通信システム地球局を運用することは困難である。なお、公共・一般業務については、設置場所等の詳細情報自体が取得困難である。

欧州での検討結果は「固定局の干渉から保護を要求しない」とされており、国内においても電気通信業務（固定・移動）、及び公共・一般業務（固定）からの干渉に対して保護を求めない運用が適当と考えられる。

ただし、実際の運用に際して、地球局設置場所の干渉波測定を踏まえたサイトエンジニアリング等の実施、また電気通信業務の実際の周波数利用状況より、多くの固定局と重複する周波数の利用を回避するよう Ku 帯非静止衛星通信システム側で適切な周波数利用設計を行う等の工夫により干渉の低減が可能となる。それでも周波数が重複する少数の固定局からの干渉が発生する可能性があるが、Ku 帯非静止衛星通信システムでは時間的に変動するビーム毎に異なる周波数で運用していることから、ある時間で干渉が発生しても次の時間で回避

することになるため、通信サービスへ干渉の影響を与えないよう運用を行うことが可能と考えられる。

2. 2. 2. 2 電気通信業務（固定・移動）（14.4-15.25GHz）

2. 2. 2. 2. 1 電気通信業務（固定・移動）（14.4-15.25GHz）の概要

11GHz帯と同様、電気通信事業者が、主に携帯電話等の基地局エントランス、災害等発生時の伝送路の救済や確保のために、臨時回線を構築する目的やイベント等発生時に、現地からの臨時映像を伝送するために利用している。

2. 2. 2. 2. 2 Ku帯非静止衛星通信システム地球局（14.0-14.5GHz）から電気通信業務（固定・移動）（14.4-15.25GHz）への干渉検討

Ku帯非静止衛星通信システムの地球局種別（陸上、航空機、船舶）毎に干渉検討を実施した。Ku帯非静止衛星通信システム地球局（船舶、航空機）から電気通信業務への干渉検討はECC Report 271の検討結果に包含することが可能であるかとの観点で検討を実施した。

（1）Ku帯非静止衛星通信システム地球局（陸上）から電気通信業務（固定）への干渉

ECC Report 271に基づき、固定地球局では水平方向EIRP $-20\text{dBW}/40\text{kHz}$ 、アンテナ高20m、移動地球局では水平方向EIRP $-33\text{dBW}/40\text{kHz}$ 、アンテナ高5mを干渉パラメータとして用いた。また、ITU-Rへ報告されているKu帯非静止衛星通信システムがEPFD \uparrow を満たす地球局EIRPマスクに基づき、移動地球局で水平方向EIRP $-20\text{dBW}/40\text{kHz}$ を用いるパラメータでも検討した。

既存電気通信業務（固定）事業者より提供された2地点に被干渉局を1局配置し、周辺に与干渉局をメッシュ配置（250m \times 250m）し、各メッシュで同一周波数による干渉発生有無を判定した。なお、伝搬モデルはITU-R勧告P.452-16に基づき、実際の地形による損失効果を加味している。

図2-4～2-6に結果を示す。

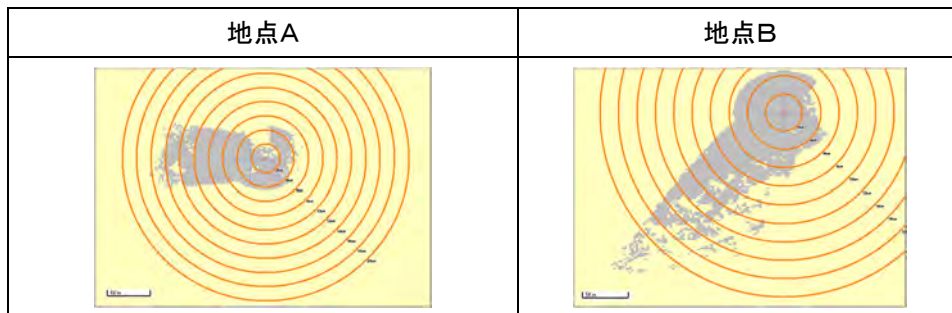


図 2-4 固定地球局の干渉エリア

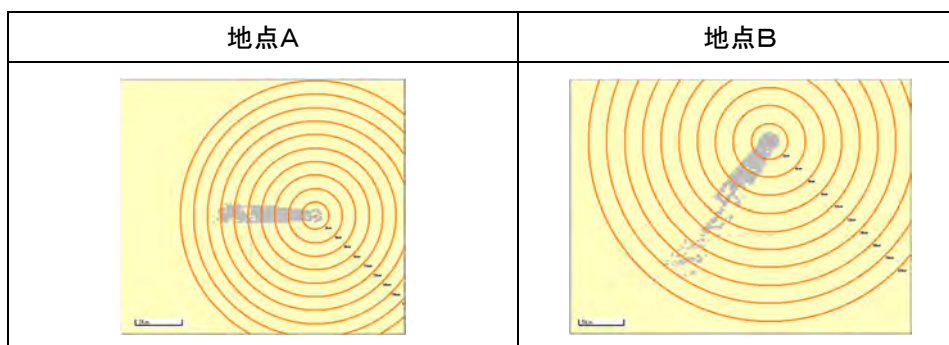


図 2-5 移動地球局（水平方向 EIRP -33dBW/40kHz）の干渉エリア

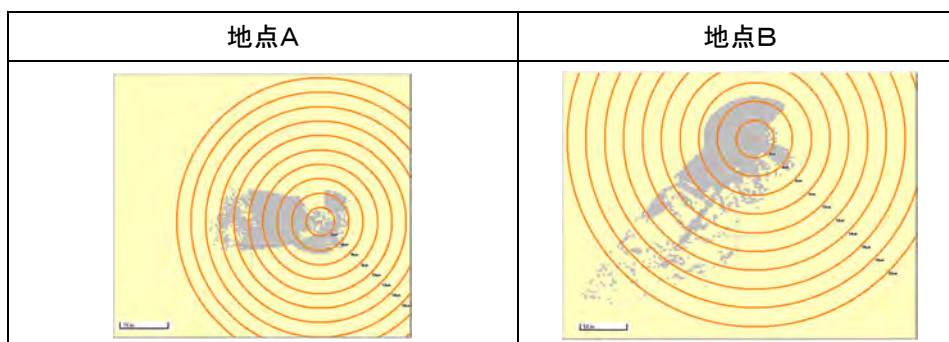


図 2-6 移動地球局（水平方向 EIRP -20dBW/40kHz）の干渉エリア

固定地球局で最大 17~25km、移動地球局で最大 16~25km の離隔距離が必要との結果となった。ただし、本離隔距離は電気通信業務（固定局）のメインローブ方向であり、サイドローブ方向については 6km 未満となっている。

このように電気通信業務（固定局）設置の場所や条件により離隔距離が異なるため、実際の運用に際しては、各固定局に除外ゾーンを設け、当該ゾーン内で地球局は固定局と同一周波数の送信を行わないという対応により、周波数共用が可能であると考えられる。

なお、除外ゾーンの調整や具体的な発射停止方法については、事業者間の運用調整により行われることが想定される。

また、隣接周波数共用について分析した。14-14.4GHz を用いる VSAT 地球局の不要発射強度は、平成 17 年総務省告示第 1228 号にて規定されている。また、平成 21 年情報通信審議会報告（VSAT 高度化）の VSAT 地球局パラメータより、アンテナのサイドローブ利得は -10dBi ($\theta > 25^\circ$) であることから、不要発射 EIRP は -29dBW/MHz と考えられる

一方、欧州電気通信標準化機構で規格化された ESTI EN303 980 にて、Ku 帯

非静止衛星通信システム地球局の軸外不要発射強度規定は 95dBpW/10MHz または 71dBpW/MHz、即ち-35dBW/MHz または-49dBW/MHz (EIRP) と規定されており上記の VSAT 不要発射強度を下回る。

従って、Ku 帯非静止衛星通信システム地球局の不要発射強度は ETSI 規格に準拠することで、隣接周波数を用いる固定局の保護が可能と考えられる。

(2) Ku 帯非静止衛星通信システム地球局 (陸上) から電気通信業務 (移動) への干渉

一対一干渉シナリオにて所要改善量を算出した結果、固定地球局で 130～166dB、移動地球局 (水平方向 EIRP -33dBW/40kHz) で 117～153dB、移動地球局 (水平方向 EIRP -20dBW/40kHz) で 130～166dB となった。本所要改善量を満たす所要離隔距離は、ITU-R 勧告 P. 452-16 を用い固定地球局で 5～45km、移動地球局で 1km 未満～45km となった。

移動局は運用場所を特定出来ないことから、上記の離隔距離を確保しつつ Ku 帯非静止衛星通信システム地球局を運用することは困難である。一方で、電気通信業務 (移動) は、災害発生時やイベント等の開催時の臨時回線を目的として利用されていることから、移動局の利用時には、周辺の Ku 帯非静止衛星システム地球局から干渉を与えないような措置 (対象周波数の利用禁止等、具体的には関係する事業者間で予め調整) を行うことにより共用は可能と考えられる。

実際の運用に際しては、事業者間の連絡体制を構築の上、移動局の利用計画に基づいて干渉対策を都度検討することにより、周波数共用が可能と考えられる

なお、隣接周波数共用は電気通信業務固定局と同様、Ku 帯非静止衛星通信システム地球局の不要発射強度が ETSI 規格に準拠することで保護が可能と考えられる。

(3) Ku 帯非静止衛星通信システム地球局 (航空機) から電気通信業務 (固定・移動) への干渉

ECC Report 271 では実際の航空路上に複数の地球局を配置し、各地球局 (同一周波数にて同時送信) からの干渉波に基づく I/N と時間率をシミュレーションにより算出、固定局の保護基準を ECC Report 026 に基づく I/N=-20dB (時間率 20%) として、当該保護基準を満たすための PFD マスクを表 2-4 の通り導き出している。このマスクは ECC Decision 18(5) に適用されている。

表 2-4 固定局保護のための Ku 帯非静止衛星通信システム地球局 (航空機)

の PFD マスク

水平方向を基準とした電波の到来角(θ)	PFD (dBW/m ² ·Hz)
$\theta \leq 5^\circ$	-122
$5^\circ < \theta \leq 40^\circ$	-127+ θ
$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$	-87

ここで、以下の観点から我が国の電気通信業務（固定・移動）との共用は ECC Report 271 の検討結果に包含することが可能と考えられる。

- 欧州の検討では、日本より高緯度の北緯 45° での検討を行っている。高緯度では非静止衛星が多く見えることから、Ku 帯非静止衛星通信システム地球局（航空機）の同一周波数による同時送信数が国内より多くなるため、より厳しい条件（与干渉送信電力観点）で共用検討を実施
- 電気通信業務（移動）は臨時運用を目的とした回線であり、固定通信システムと同様な技術特性となっているため、固定局との共用検討に包含することが可能
- 但し、電気通信業務の局を設置する海拔高によっては、Ku 帯非静止衛星通信システム地球局（航空機）が近接するケースでは PFD マスクが適切に機能しない場合が想定される、その際は Ku 帯非静止衛星通信システム地球局（陸上）同様に近傍での電波発射停止措置等による対策が必要

以上を踏まえ、欧州の PFD 規定、及び事業者間運用調整により、国内の電気通信業務（固定・移動）との共用は可能と考えられる。

（４）Ku 帯非静止衛星通信システム地球局（船舶）から電気通信業務（固定・移動）への干渉

ECC Report 271 では、ITU-R 勧告 SF. 1650 の検討手法を踏襲し、複数の地球局が同一周波数で同時送信した場合の陸上に設置された固定局（アンテナ利得 49dBi、及び 37dBi）保護のための所要離隔距離を算出している。干渉計算の結果、ITU-R 勧告 P. 452-16 の海上プロファイルに基づき 3.7~14.6km の所要離隔距離が算出されており、このことから固定局が海岸から 15km 以上内陸に設置されている場合は離隔距離が不要という結論を得ている。また、ECC Decision 18(05)において Ku 帯非静止衛星通信システム地球局（船舶）から固定局保護のための PFD 制限（低潮線から海拔 80m 地点において -116 dBW/m²·Hz）が規定されている。

ここで、以下の観点から我が国の電気通信業務（固定・移動）との共用は ECC Report 271 の検討結果に包含することが可能と考えられる。

- 欧州の検討は伝搬モデルに海上プロファイルを利用していることから、

地理的特性に影響しない

- 電気通信業務(移動)は臨時運用を目的とした回線であり、固定通信システムと同様な技術特性となっているため、固定局との共用検討に包含することが可能
- 但し、瀬戸内海等の内海での運用では PFD 制限の適用が困難であるため、Ku 帯非静止衛星通信システム地球局(陸上)同様に近傍での電波発射停止措置等による対策が必要

以上を踏まえ、欧州の PFD 規定、及び事業者間運用調整により、国内の電気通信業務(固定・移動)との共用は可能と考えられる。

2. 2. 2. 2. 3 電気通信業務(固定・移動)(14.4-15.25GHz)から Ku 帯非静止衛星通信システム宇宙局(14.0-14.5GHz)への干渉検討

我が国で利用される電気通信業務(固定・移動)の無線局から、宇宙局に入力される干渉電力による雑音温度増加率($\Delta T/T$)の評価を行った。

電気通信業務固定局、及び移動局 1 台あたりの $\Delta T/T$ はそれぞれ 0.06%、0.01% となる。ここで、平成 30 年度の電波の利用状況調査の結果より全国の固定局数、移動局数はそれぞれ 1,798 局、72 局であるが、これらの無線局が 14.4~15.25GHz 帯において均等に周波数を利用していると仮定し、周波数の重複割合(100MHz/850MHz)、Ku 帯非静止衛星通信システムの上り周波数繰り返し回数 4(1 ビーム当たり 125MHz 幅を割当、16 ビーム中 4 ビームが 14.4-14.5GHz を利用)を勘案すると、宇宙局受信と同一周波数を送信する台数は 52.9 台(固定局)、2.1 台(移動局)と算定できる。

以上を踏まえた干渉雑音増加率は 3.14%(固定局)、0.02%(移動局)となり、無線通信規則 付録第 5 号の 6%を下回ることから共用は可能と考えられる。

2. 2. 3 無線アクセスシステム・電気通信業務(固定)

2. 2. 3. 1 無線アクセスシステム・電気通信業務(固定)の概要

本システムは、公益事業者、国及び地方公共団体が、音声、データ及び画像(映像を含む)などの多様な情報を伝送するため使用している。具体的には、主に自治体が構築する地域公共ネットワークの中継回線や、公共施設や災害現場等までのラストワンマイルとしてなど、条件不利地域等におけるブロードバンド化のために利用されている。

2. 2. 3. 2 無線アクセスシステム・電気通信業務(固定)(17.7-18.72/19.22-19.7GHz)から Ku 帯非静止衛星通信システムフィーダリンク地

球局（17.8-18.6/18.8-19.3GHz）への干渉検討

Ku 帯非静止衛星通信システムのフィーダリンク地球局は、我が国で2局設置されることが計画されている。設置場所に応じた個別の対応となるため、設置の際は候補地周辺の干渉状況に応じて防護壁を設置するなどの措置で干渉を回避することにより共用が可能と考えられる。また、設置後は既存の地球局と同様の調整スキームを適用することにより、後発の無線アクセスシステム・電気通信業務（固定）との周波数共用が可能と考えられる。

2. 2. 4 第5世代移動通信システム（5G）

2. 2. 4. 1 5Gの概要

5Gは4Gを発展させた「超高速」だけでなく、「多数接続」、「超低遅延」といった新たな機能を持つ次世代の移動通信システムであり、IoT時代に、多種多様なネットワークを包含する総合的なICT基盤を提供するものである。我が国では情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告（平成30年7月31日）にて5Gの技術的条件が検討済みであり、その中でKu 帯非静止衛星通信システムフィーダリンク地球局を含む衛星システムとの共用検討も実施されている。ここでは当該検討結果の抜粋を示す。なお、当該報告書では5G携帯電話とローカル5Gは区別せず、包括的に検討がなされている。

2. 2. 4. 2 Ku 帯非静止衛星通信システムフィーダリンク地球局（27.5-29.1/29.5-30GHz）から5G（27.5-29.5GHz）への干渉

新世代モバイル通信システム委員会報告では、「地球局1-1、1-2」としてKu 帯非静止衛星通信システムフィーダリンク地球局から5Gへの干渉検討が行われており、以下のとおり共用可能との結論を得ている。

フィーダリンクでの利用が予定されている非静止衛星地球局と5Gシステムとは、地球局の近傍（6km程度以内の数地点）を除いて基地局の許容干渉電力を満たす結果となった。したがって、本離隔距離を考慮した上で、地球局の近傍において干渉が大きくなる地点には基地局を設置しない等の必要な対策を取れば、同一周波数干渉の条件を含めて共用は可能と考えられる。また、基地局が地球局の周辺に設置されていなければ、陸上移動局が地球局の近傍で通信を行うこともないことから、陸上移動局との共用も可能と考えられる。

また、当該結論は電波法関係審査基準の別紙1 第25 地球局及び携帯基地地球局において、以下のとおり反映されている。

3 27.0GHz から 31.0GHz までの周波数の電波を送信する地球局及び携帯基地地球局である場合は、27.0GHz から 28.2GHz まで又は 29.1GHz から 29.5GHz までの周波数を使用する電気通信業務の無線局（携帯無線通信を行う既設のもの（予備免許を受けているものを含む。）に限る。）及び法第 27 条の 13 第 1 項の規定に基づく認定（27.0GHz から 28.2GHz まで又は 29.1GHz から 29.5GHz までの周波数を指定しているものに限る。）を受けた開設計画（法第 27 条の 14 第 1 項の規定による変更の認定があったときは、その変更後のもの）に基づき当該認定の有効期間中に開設される特定基地局（既設のもの（予備免許を受けているものを含む。）を除く。）の免許人との間で周波数の共用について合意していること。ただし、当該地球局及び携帯基地地球局が当該電気通信業務の無線局及び当該特定基地局へ混信その他の妨害を与えないことが明らかであるときは、この限りでない。

従って、本審査基準に基づく事業者間調整等により周波数共用は可能と考えられる。

2. 2. 4. 3 5G (27.5-29.5GHz) から Ku 帯非静止衛星通信システムフィーダリンク宇宙局 (27.5-29.1/29.5-30GHz) への干渉

新世代モバイル通信システム委員会報告では、「非静止衛星 1」として 5G から Ku 帯非静止衛星通信システムフィーダリンク宇宙局への干渉検討が行われており、以下のとおり共用可能との結論を得ている。

本検討で想定した基地局諸元に基づけば、低仰角の条件でクラッタ損を考慮しない場合には約 6,000~8,000 局の基地局を設置すると非静止衛星の許容干渉電力に到達するが、これらの低仰角の条件ではクラッタ損を期待できるため、その場合には十分な数（数万局程度）の基地局を設置できるとの結果が得られた。陸上移動局からの干渉影響は、基地局からの干渉影響に比較して、大幅に増加することはないものと考えられる。

同一周波数の条件を含めて 5G システムと非静止衛星との共存を実現するには、基地局の設置状況を適切に管理していく必要がある。

従って、5G 基地局の設置状況を適切に管理することにより共用が可能と考えられる。

2. 2. 5 検討結果まとめ

Ku 帯非静止衛星通信システムの導入可能性を評価するため、他の無線システムとの周波数共用検討を行った。そのまとめを表 2-5、2-6 に示す。

表 2-5 周波数共用検討まとめ (Ku 帯)

与干渉	被干渉	周波数共用
Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(10.7-12.7GHz)	電波天文 (10.6-10.7GHz)	フィルタ挿入等に加え、電波天文の最隣接チャネルの発射停止等により、欧州の電波天文保護のための不要発射制限値を満たすことで、国内の電波天文の保護は可能
Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(10.7-12.7GHz)	電気通信業務(固定・移動) (10.7-11.7GHz)	無線通信規則 21 条の電力束密度(PFD)制限の遵守により共用は可能
Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(10.7-12.7GHz)	公共一般業務(固定) (12.2-12.5GHz)	
Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(10.7-12.7GHz)	放送衛星・固定衛星地球局 (11.7-12.75GHz)	無線通信規則 22 条の等価電力束密度(EPFD)制限の遵守により共用は可能
電気通信業務(固定・移動) (10.7-11.7GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(10.7-12.7GHz)	既存システムの干渉から保護を要求しないが、Ku 帯非静止衛星通信システム側の対処により、運用は可能
公共一般業務(固定) (12.2-12.5GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(10.7-12.7GHz)	
放送衛星・固定衛星宇宙局 (11.7-12.7GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(10.7-12.7GHz)	無線通信規則 22.2 条に基づき、非静止衛星システムは静止衛星網(固定衛星、放送衛星)からの干渉保護を求めない
Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(14.0-14.5GHz)	電気通信業務(固定・移動) (14.4-15.25GHz)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地球局(陸上):事業者間調整により共用可能 ・ 地球局(航空機・船舶):欧州の PFD 規定を満たすこと、及び事業者間調整により共用は可能
Ku 帯非静止衛星通信システム 地球局(14.0-14.5GHz)	固定衛星宇宙局 (14.0-14.5GHz)	無線通信規則 22 条の EPFD 制限の遵守により共用は可能。
電気通信業務(固定・移動)	Ku 帯非静止衛星通信システム	共用可能。

(14.4-14.5GHz)	宇宙局(14.0-14.5GHz)	
固定衛星地球局 (14.0-14.5GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム 宇宙局(14.0-14.5GHz)	無線通信規則 22 条の EPFD 制限の遵守により共用は可能

表 2-6 周波数共用検討まとめ (Ka 帯)

与干渉	被干渉	分析
Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(17.8- 18.6/18.8-19.3GHz)	固定衛星地球局 (17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	17.6-18.6GHz は無線通信規則 22 条の EPFD 制限の遵守によ り、18.8- 19.3GHz は無線通信 規則に基づく国際調整により共 用が可能
Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(17.8- 18.6/18.8-19.3GHz)	無線アクセスシステム・ 電気通信業務(固定) (17.7-18.72/19.22-19.7GHz)	無線通信規則 21 条の PFD 制 限の遵守により保護が行われ るため、共用は可能
固定衛星宇宙局 (17.8-18.6/18.8-19.3GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(17.8- 18.6/18.8-19.3GHz)	17.6-18.6GHz は無線通信規則 22.2 条に基づき、非静止衛星 システムは静止衛星網(固定衛 星、放送衛星)からの干渉保護 を求めない。 18.8-19.3GHz は無線通信規則 に基づく国際調整により共用が 可能
無線アクセスシステム・ 電気通信業務(固定) 17.7-18.72/19.22-19.7GHz	Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(17.8- 18.6/18.8-19.3GHz)	候補地周辺の干渉状況に応じ た個別の対応(防護壁を設置 するなどの措置)で干渉を回避 することにより共用が可能
Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(27.5- 29.1/29.5-30GHz)	第5世代移動通信システム (27.5-29.5GHz)	電波法関係審査基準に基づく 事業者間調整等により共用が 可能
Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク地球局(27.5- 29.1/29.5-30GHz)	固定衛星宇宙局 (27.5-29.1/29.5-30GHz)	28.6-29.1GHz は無線通信規則 に基づく国際調整により、その 他周波数は無線通信規則 22 条の EPFD 制限の遵守により 共用が可能
第5世代移動通信システム (27.5-29.5GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(27.5-	5G 基地局の設置状況を適切 に管理することにより共用が可

	29.1/29.5-30GHz)	能
固定衛星地球局 (27.5-29.1/29.5-30GHz)	Ku 帯非静止衛星通信システム フィーダリンク宇宙局(27.5- 29.1/29.5-30GHz)	28.6-29.1GHz は無線通信規則 に基づく国際調整により共用が 可能。その他周波数は無線通 信規則 22.2 条に基づき、非静 止衛星システムは静止衛星網 (固定衛星、放送衛星)からの 干渉保護を求めない

3 Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件

Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件については、国際的な電波に関する条約等及び国内の電波法令に適合することが必要である。具体的には以下の通りとすることが適当である。

3. 1 一般的条件

3. 1. 1 必要な機能

- (1) 送信する周波数や電力は、基地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。
- (2) 自局の通信の相手方である人工衛星局の方向を自動的に捕捉・追尾する機能を有すること。また、自動的に捕捉・追尾できなくなった場合に直ちに送信を停止できること。
- (3) 基地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。
- (4) 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基地局が送信する信号を正常に受信できないときは、送信を自動的に停止する機能を有すること。
- (5) 基地局の制御により電波の発射を停止する機能を有すること。
- (6) 位置情報を測定して基地局に送信する機能を有する等、他の無線局の運用に妨害を与えないための措置が講じられていること。

3. 1. 2 適用周波数帯

適用周波数帯は、地球から宇宙方向（アップリンク）には 14.0-14.5GHz 帯（Ku 帯）、宇宙から地球方向（ダウンリンク）には、10.7-12.7GHz 帯（Ku 帯）を使用することが適当である。なお、運用に当たっては、無線通信規則による国際調整結果を遵守すること。

3. 1. 3 通信方式

複信方式での利用が考えられるが、それ以外の利用形態も考えられることから、特定の方式に限定しないことが適当である。

3. 1. 4 多元接続方式

多元接続方式としては、変調方式や通信方式により、さまざまな方式が可能であることを考慮すると、最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、特定の方式に限定しないことが適当である。

3. 1. 5 変調方式

変調方式としては、PSK（位相偏位変調）方式や QAM（直交振幅変調）方式等が考えられるが、最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、特定の方式に限定しないことが適当である。

3. 1. 6 電磁環境対策

固定地球局については、発射される電波の強度が基準値を超える場所に取り扱者のほか容易に出入りすることができないよう施設すること。

移動地球局については、電波防護指針で定められた要求条件を満足すること。

3. 2 送信装置の条件

3. 2. 1 送信装置

(1) 空中線電力の許容偏差

無線設備規則第 14 条に規定されているとおり、空中線電力の許容偏差は、上限 50%、下限 50%であることが適当である。

(2) 周波数の許容偏差

周波数の許容偏差は、Ku 帯における一般の地球局の規定値である $\pm 50\text{ppm}$ とすることが適当である（無線設備規則第 5 条）。

(3) 占有周波数帯幅の許容値

占有周波数帯幅は、様々な用途における柔軟性を確保するため、一律の値を規定しないことが適当である。

(4) 不要発射の強度の許容値

不要発射の強度の許容値は、本システムを利用する欧州の地球局規格 ETSI EN 303 980 を考慮し、表 3-1、表 3-2 に示す軸外輻射不要発射の強度の許容値（空中線の最大指向方向から 7 度超の軸外輻射）とすることが適当である。

表 3-1 送信停止時状態の軸外不要発射の強度の許容値
（空中線の最大指向方向から 7 度超の軸外輻射）

周波数	EIRP	測定帯域幅
1.0~2.0 GHz	52 dBpW	1 MHz
2.0~10.7 GHz	58 dBpW	1 MHz
10.7~21.2 GHz	64 dBpW	1 MHz
21.2~60.0 GHz	70 dBpW	1 MHz

表 3-2 送信停止時状態の軸外不要発射の強度の許容値
(空中線の最大指向方向から7度超の軸外輻射)

周波数	EIRP	測定帯域幅
1.0~2.0 GHz	53 dBpW	1 MHz
2.0~3.4 GHz	59 dBpW	1 MHz
3.4~10.7 GHz	65 dBpW	1 MHz
10.7~13.75 GHz	71 dBpW	1 MHz
13.75~14.0 GHz	95 dBpW (※)	10 MHz
14.50~14.75 GHz	95 dBpW (※)	10 MHz
14.75~21.2 GHz	71 dBpW	1 MHz
21.2~27.35 GHz	77 dBpW	1 MHz
27.35~27.50 GHz	85 dBpW	1 MHz
27.50~30.00 GHz	85 dBpW	1 MHz
30.00~31.00 GHz	85 dBpW	1 MHz
31.00~31.15 GHz	85 dBpW	1 MHz
31.15~60.0 GHz	77 dBpW	1 MHz

※14-14.5GHz の中で送信される搬送波の中心周波数から125MHz以下の範囲で、本許容値を上回ることが出来る。但し、無線設備規則第7条及び平成17年総務省告示第1228号に基づく以下の許容値を超えてはならない。

- ・ スプリアス領域の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60dB低い値であること。
ここで、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値は、4kHzの周波数帯域幅における電力とする。
- ・ 帯域外領域の不要発射の強度の許容値
必要周波数帯域内における4kHzの周波数帯域幅当たりの最大電力密度から、4kHzの周波数帯域幅当たり次の式により求められる値と、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値のうち小さい方の値以下であること。

$$40\text{Log}((2F/\text{BN})+1) \text{ [dB]}$$

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であり、BNは必要周波数帯幅である。

3. 2. 2 受信装置

(1) 副次的に発射する電波の強度

欧州の地球局規格に副次的に発射する電波の強度に該当する規定は無い。

また、フェーズドアレイアンテナを利用する地球局では空中線端子がない場

合も想定される。その際には OTA (Over The Air) による EIRP 等の測定が考えられるが、受信アンテナの最大指向性方向と、副次的に発射する電波の強度の方向が異なる場合、空中線絶対利得の値が不明となるため、現行基準の空中線端子から発射される電波の限度を厳密に測定することは事実上困難であると考えられる。

一方で、「不要発射の強度の許容値」では、搬送波を送信していないときの電力レベル (EIRP) も規定されており、これが実質的に受信機から副次的に発する電波等を重畳した値となる、従って、当該搬送波を送信していないときの電力レベルの規制値を以て、副次的に発射する電波の強度の規定を除外することが適当と考えられる

3. 2. 3 空中線

(1) 空中線の最小仰角

送信空中線の最小仰角は、電波法施行規則 32 条に準拠し、3 度以上とすることが適当である。

また、周波数共用検討結果を踏まえ、運用上の仰角範囲を 45~90 度とすることが適当である。

(2) 地表線方向の等価等方輻射電力

地表線方向の等価等方輻射電力の許容値は、電波法施行規則 32 条の 2 に準拠し、仰角 θ が 0 度以下の場合は 40 dBW/4kHz、0 度を越え 5 度以下の場合は $40+3\theta$ dBW/4KHz とすることが適当である

(3) 軸外輻射電力

静止衛星システム保護のための無線通信規則 22 条により EPFD \uparrow 制限が規定されている。軸外輻射電力は、ITU-R 勧告 S. 1503 に基づく EPFD \uparrow の計算で用いられ、無線通信規則 22 条に適合することが ITU-R により確認された EIRP マスクとすることが適当である。

(4) 指向制度

静止衛星システム保護の観点では EPFD \uparrow 制限を満足することで十分なため、指向制度を必ずしも定める必要はない。

4 測定法

空中線端子を有する地球局の測定法については、国内で適用されている地球局の測定法に準ずることが適当である。

空中線端子を有していない（アクティブフェーズドアレイアンテナを用いる）地球局の測定法については、OTA（Over The Air）による測定法を適用することが適当である。また、技術的条件の規定内容に応じ、送信装置には等価等方輻射電力（EIRP：Equivalent Isotropic Radiated Power）または総合輻射電力（TRP）を適用する。

4. 1 送信装置

4. 1. 1 空中線電力の許容偏差

（ア） 空中線端子がある場合

変調の状態連続送信させ、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。

（イ） 空中線端子がない場合

被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、指向方向を固定する。試験用空中線は被試験器の輻射電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し送信輻射電力を測定し、試験用空中線利得、伝搬損失、被試験器の空中線利得等から空中線電力を求める。

4. 1. 2 周波数の許容偏差

（ア） 空中線端子がある場合

被試験器を無変調の状態動作させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求める。被試験器が無変調動作できない場合や、測定器等により測定可能であれば変調状態で測定してもよい。

（イ） 空中線端子がない場合

被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、指向方向を固定する。試験用空中線は被試験器の輻射電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し、被試験器の周波数を測定する。試験器を無変調状態とすることができる場合には周波数計を用いて測定してもよい。

4. 1. 3 不要発射の強度の許容値

（ア） 空中線端子がある場合

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。EIRPで指定された規定に対しては、被試験器のアンテナ利得と乗算し不要発射の等価等方輻射電力を求

める。送信停止状態、及び搬送波を送信していない状態でも同様の測定をする。

(イ) 空中線端子がない場合

被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、試験用空中線において、被試験器の空中線利得が一定値(例 8dBi)となるよう、また被試験機の不要発射の強度が最大となるように被試験機と試験用空中線の配置、被試験機の指向方向を適切に設定する。スペクトルアナライザを使用し、被試験器の不要発射の強度を測定する。送信停止状態、及び搬送波を送信していない状態でも同様の測定をする。

なお、電力で指定された規定に対しては、全放射面における TRP を求め、導出した TRP にバースト時間率の逆数を乗じた値を測定値とすることもできる。

5 周波数共用に関する条件

2章に示した他のシステムとの周波数共用検討結果を踏まえ、以下に Ku 帯非静止衛星通信システムの周波数共用に関する条件を示す。

5. 1 静止衛星システムの保護に関する条件

ITU-R の審査により無線通信規則 22 条の EPFD ↑ 制限値へ適合と判定されていること。

ITU-R 勧告 S. 1503 に基づく EPFD ↑ の計算で用いられ、無線通信規則 22 条に適合することが ITU-R により確認された EIRP マスクを指定し、当該指定 EIRP マスクを満たすこと。

5. 2 非静止衛星システムの保護に関する条件

電波の公平かつ能率的な利用を確保するため、無線通信規則 9 条に基づく国際周波数調整の結果を遵守し、非静止衛星システム間の調整を適切に行う必要がある。

また、今後の国際周波数調整の状況により、我が国における周波数の使用条件が変更された場合は、適宜見直す必要がある。

5. 3 Ku帯非静止衛星通信システム地球局（陸上）に関する条件

14. 4-14. 5GHz の既存業務保護のため、既存業務局の周辺で 14. 4-14. 5GHz の送信禁止ゾーンを設ける等運用調整により、予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

5. 4 Ku帯非静止衛星通信システム地球局（船舶）に関する条件

ECC Decision(18)05 に基づき、14. 4-14. 5GHz において、我が国の低潮線の海拔 80m 地点における PFD 制限 $-116 \text{ dBW/m}^2 \cdot \text{Hz}$ を満たすこと。なお、本 PFD 制限を遵守するため、地球局は自身による位置情報・姿勢情報等のモニタリング機能と自動的に EIRP を低減または送信を停止する機構を具備すること。

但し、内海での運用を考慮し予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

5. 5 Ku帯非静止衛星通信システム地球局（航空機）に関する条件

ECC Decision(18)05 に基づき、14. 4-14. 5GHz において、表 5-1 に示す地表面における PFD 制限値を満たすこと。なお、本 PFD 制限を遵守するため、地球局は自身による位置情報・姿勢情報等のモニタリング機能と自動的に EIRP を低減または送信を停止する機構を具備すること。

但し、実際の運用を考慮し予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

表 5-1 地表面における PFD 制限値

水平方向を基準とした電波の到来角 (θ)	PFD (dBW/m ² ·Hz)
$\theta \leq 5^\circ$	-122
$5^\circ < \theta \leq 40^\circ$	-127+ θ
$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$	-87

V 審議結果

電気通信技術審議会諮問第 82 号「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」(平成 7 年 9 月 25 日)のうち、「高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」について、別添のとおり一部答申をとりまとめた。

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 構成員

氏 名	所 属
主 査 委 員 安藤 真	独立行政法人 国立高等専門学校機構 理事
主査代理 専門委員 井家上 哲史	明治大学 理工学部 教授
委 員 森川 博之	東京大学大学院 工学系研究科 教授
専門委員 有木 節二	一般社団法人 電気通信事業者協会 専務理事(～第 37 回)
” 今井 正道	一般社団法人 情報通信ネットワーク産業協会 常務理事 (第 38 回～)
” 碓井 照子	奈良大学 名誉教授
” 梅比良 正弘	茨城大学 理工学研究科 教授・副工学部長
” 片山 泰祥	一般社団法人 情報通信ネットワーク産業協会 専務理事 (～第 37 回)
” 加藤 寧	東北大学 情報科学研究科 教授
” 門脇 直人	国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事(～第 38 回)
” 庄司 るり	東京海洋大学大学院 海洋工学系 教授
” 舘 和夫	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 理事補佐(第 34 回～)
” 豊嶋 守生	国立研究開発法人 情報通信研究機構 ワイヤレスネット ワークセンター 宇宙通信研究室 室長 (第 39 回～)
” 松井 房樹	一般社団法人 電波産業会 専務理事・事務局長
” 三浦 佳子	消費生活コンサルタント
” 三神 泉	一般財団法人 衛星測位利用推進センター 専務理事
” 山本 一晴	一般社団法人 電気通信事業者協会 専務理事(第 39 回～)
” 山本 静夫	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 理事(～第 33 回)

別表2

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作業班 構成員

氏名	主要現職
主任 藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授
主任代理 松井 房樹	一般社団法人 電波産業会 専務理事・事務局長
構成員 姉齒 章	双葉電子工業株式会社 企画開発部 主幹技師（～第14回）
〃 有木 節二	一般社団法人 電気通信事業者協会 専務理事（～第16回）
〃 市川 麻里	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長（第13回～）
〃 伊藤 信幸	日本無線株式会社 マリンシステム技術部 衛星通信グループ
〃 伊藤 泰成	UQコミュニケーションズ株式会社 渉外部 課長（第12回）
〃 大石 雅寿	大学共同利用機関放任 自然科学研究機構 国立天文台 周波数資源保護室 室長 特任教授（第19回～）
〃 大島 浩	日本電気株式会社 宇宙システム事業部 シニアエキスパート
〃 大幡 浩平	スカパーJ S A T株式会社 技術運用本部 技術担当主幹（～第13回）
〃 小竹 信幸	一般財団法人 テレコムエンジニアリングセンター 技術部 部長
〃 加島 勝	一般社団法人 日本船主協会 海務部 副部長（～第16回）
〃 菊池 弘明	全日本空輸株式会社 整備センター技術部 マネージャー
〃 城戸 克也	日本航空株式会社 I T企画本部 I T運営企画部 海外I T・ネットワーク戦略グループ
〃 行田 弘一	芝浦工業大学 工学部 情報通信工学科 教授
〃 小出 孝治	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長（～第12回）
〃 正源 和義	株式会社放送衛星システム 総合企画室 専任部長（第12回～）
〃 上馬 弘敬	三菱電機株式会社 通信情報システム部 衛通移動体プロジェクト部長
〃 城田 雅一	クアルコムジャパン株式会社 標準化部長
〃 関口 和浩	イリジウムコミュニケーションズ リージョナルディレクター
〃 竹林 哲哉	一般社団法人 日本船主協会 海務部 副部長（第17回～）
〃 富田 浩	気象庁 観測部 気象衛星課 課長補佐（第19回～）
〃 田中 祥次	NHK放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員（～第11回）
〃 中山 稔啓	株式会社フジテレビジョン 技術局 局次長（～第18回）
〃 拮石 康博	UQコミュニケーションズ 渉外部 渉外グループマネージャー（第13回～ 第14回）
〃 菱倉 仁	株式会社I P モーション I C T事業部 モバイルソリューショングループ チーフエンジニア
〃 福井 裕介	KDD I 株式会社 技術統括本部 グローバルネットワーク・ オペレーションマネジメント部 衛星通信グループ マネージャー
〃 福本 史郎	ソフトバンク株式会社 電波企画室 標準化推進部 部長
〃 古川 憲志	株式会社N T T ドコモ 電波部 電波企画担当部長（～第11回）

〃	本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
〃	本間 希樹	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台 水沢VLBI観測所 所長・教授（～第18回）
〃	牧山 隆宏	株式会社NTTドコモ 電波部 電波企画担当部長（第15回～）
〃	三浦 周	国立研究開発法人 情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク 総合研究センター 宇宙通信研究室 主任研究員
〃	三浦 俊二	株式会社NTTドコモCS 営業法人本部 衛星サービス事業部 衛星技術部 技術サポート担当部長（第12回～第14回）
〃	村瀬 和也	スカパーJSAT株式会社 衛星技術本部 通信システム技術部 部長代行（第14 回～）
〃	森 正幸	古野電気株式会社 船用機器事業部 営業企画部 担当部長
〃	森本 聡	株式会社フジテレビジョン 技術局 電波担当部長（第19回～）
〃	山本 一晴	一般社団法人 電気通信事業者協会 専務理事（第17回～）
〃	横畑 和典	NHK放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員（第12回～）

別添

諮問第 82 号

「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」のうち「高度 1200km の極軌道を利用する衛星コンステレーションによる Ku 帯非静止衛星通信システムの技術的条件」

電気通信技術審議会諮問第 82 号「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」(平成 7 年 9 月 25 日)のうち、「高度1200kmの極軌道を利用する衛星コンステレーションによるKu帯非静止衛星通信システムの技術的条件」についての一部答申(案)

1 一般的条件

1. 1 必要な機能

- (1) 送信する周波数や電力は、基地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。
- (2) 自局の通信の相手方である人工衛星局の方向を自動的に捕捉・追尾する機能を有すること。また、自動的に捕捉・追尾できなくなった場合に直ちに送信を停止できること。
- (3) 基地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。
- (4) 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基地局が送信する信号を正常に受信できないときは、送信を自動的に停止する機能を有すること。
- (5) 基地局の制御により電波の発射を停止する機能を有すること。
- (6) 位置情報を測定して基地局に送信する機能を有する等、他の無線局の運用に妨害を与えないための措置が講じられていること。

1. 2 適用周波数帯

適用周波数帯は、地球から宇宙方向(アップリンク)には 14.0-14.5GHz 帯(Ku 帯)、宇宙から地球方向(ダウンリンク)には、10.7-12.7GHz 帯(Ku 帯)を使用することが適当である。なお、運用に当たっては、無線通信規則による国際調整結果を遵守すること。

1. 3 通信方式

複信方式での利用が考えられるが、それ以外の利用形態も考えられることから、特定の方式に限定しないことが適当である。

1. 4 多元接続方式

多元接続方式としては、変調方式や通信方式により、さまざまな方式が可能であることを考慮すると、最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、特定の方式に限定しないことが適当である。

1. 5 変調方式

変調方式としては、PSK（位相偏位変調）方式や QAM（直交振幅変調）方式等が考えられるが、最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、特定の方式に限定しないことが適当である。

1. 6 電磁環境対策

固定地球局については、発射される電波の強度が基準値を超える場所に取り扱者のほか容易に出入りすることができないよう施設すること。

移動地球局については、電波防護指針で定められた要求条件を満足すること。

2 送信装置の条件

2. 1 送信装置

(1) 空中線電力の許容偏差

無線設備規則第 14 条に規定されているとおり、空中線電力の許容偏差は、上限 50%、下限 50%であることが適当である。

(2) 周波数の許容偏差

周波数の許容偏差は、Ku 帯における一般の地球局の規定値である $\pm 50\text{ppm}$ とすることが適当である（無線設備規則第 5 条）。

(3) 占有周波数帯幅の許容値

占有周波数帯幅は、様々な用途における柔軟性を確保するため、一律の値を規定しないことが適当である。

(4) 不要発射の強度の許容値

不要発射の強度の許容値は、本システムを利用する欧州の地球局規格 ETSI EN 303 980 を考慮し、表 3-1、表 3-2 に示す軸外輻射不要発射の強度の許容値（空中線の最大指向方向から 7 度超の軸外輻射）とすることが適当である。

表 3-1 送信停止時状態の軸外不要発射の強度の許容値
（空中線の最大指向方向から 7 度超の軸外輻射）

周波数	EIRP	測定帯域幅
1.0~2.0 GHz	52 dBpW	1 MHz
2.0~10.7 GHz	58 dBpW	1 MHz
10.7~21.2 GHz	64 dBpW	1 MHz
21.2~60.0 GHz	70 dBpW	1 MHz

表 3-2 送信停止時状態の軸外不要発射の強度の許容値
(空中線の最大指向方向から7度超の軸外輻射)

周波数	EIRP	測定帯域幅
1.0~2.0 GHz	53 dBpW	1 MHz
2.0~3.4 GHz	59 dBpW	1 MHz
3.4~10.7 GHz	65 dBpW	1 MHz
10.7~13.75 GHz	71 dBpW	1 MHz
13.75~14.0 GHz	95 dBpW (※)	10 MHz
14.50~14.75 GHz	95 dBpW (※)	10 MHz
14.75~21.2 GHz	71 dBpW	1 MHz
21.2~27.35 GHz	77 dBpW	1 MHz
27.35~27.50 GHz	85 dBpW	1 MHz
27.50~30.00 GHz	85 dBpW	1 MHz
30.00~31.00 GHz	85 dBpW	1 MHz
31.00~31.15 GHz	85 dBpW	1 MHz
31.15~60.0 GHz	77 dBpW	1 MHz

※14-14.5GHz の中で送信される搬送波の中心周波数から125MHz以下の範囲で、本許容値を上回ることが出来る。但し、無線設備規則第7条及び平成17年総務省告示第1228号に基づく以下の許容値を超えてはならない。

- ・ スプリアス領域の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60dB低い値であること。
ここで、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値は、4kHzの周波数帯域幅における電力とする。
- ・ 帯域外領域の不要発射の強度の許容値
必要周波数帯幅内における4kHzの周波数帯域幅当たりの最大電力密度から、4kHzの周波数帯域幅当たり次の式により求められる値と、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値のうち小さい方の値以下であること。

$$40\text{Log}((2F/\text{BN})+1) \text{ [dB]}$$

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であり、BNは必要周波数帯幅である。

2. 2 受信装置

(1) 副次的に発射する電波の強度

欧州の地球局規格に副次的に発射する電波の強度に該当する規定は無い。

また、フェーズドアレイアンテナを利用する地球局では空中線端子がない場

合も想定される。その際には OTA (Over The Air) による EIRP 等の測定が考えられるが、受信アンテナの最大指向性方向と、副次的に発射する電波の強度の方向が異なる場合、空中線絶対利得の値が不明となるため、現行基準の空中線端子から発射される電波の限度を厳密に測定することは事実上困難であると考えられる。

一方で、「不要発射の強度の許容値」では、搬送波を送信していないときの電力レベル (EIRP) も規定されており、これが実質的に受信機から副次的に発する電波等を重畳した値となる、従って、当該搬送波を送信していないときの電力レベルの規制値を以て、副次的に発射する電波の強度の規定を除外することが適当と考えられる

2. 3 空中線

(1) 空中線の最小仰角

送信空中線の最小仰角は、電波法施行規則 32 条に準拠し、3 度以上とすることが適当である。

また、周波数共用検討結果を踏まえ、運用上の仰角範囲を 45~90 度とすることが適当である。

(2) 地表線方向の等価等方輻射電力

地表線方向の等価等方輻射電力の許容値は、電波法施行規則 32 条の 2 に準拠し、仰角 θ が 0 度以下の場合は 40 dBW/4kHz、0 度を越え 5 度以下の場合は $40+3\theta$ dBW/4KHz とすることが適当である

(3) 軸外輻射電力

静止衛星システム保護のための無線通信規則 22 条により EPFD \uparrow 制限が規定されている。軸外輻射電力は、ITU-R 勧告 S. 1503 に基づく EPFD \uparrow の計算で用いられ、無線通信規則 22 条に適合することが ITU-R により確認された EIRP マスクとすることが適当である。

(4) 指向制度

静止衛星システム保護の観点では EPFD \uparrow 制限を満足することで十分なため、指向制度を必ずしも定める必要はない。

3 測定法

空中線端子を有する地球局の測定法については、国内で適用されている地球局の測定法に準ずることが適当である。

空中線端子を有していない（アクティブフェーズドアレイアンテナを用いる）地球局の測定法については、OTA（Over The Air）による測定法を適用することが適当である。また、技術的条件の規定内容に応じ、送信装置には等価等方輻射電力（EIRP：Equivalent Isotropic Radiated Power）または総合輻射電力（TRP）を適用する。

3. 1 送信装置

3. 1. 1 空中線電力の許容偏差

（ア） 空中線端子がある場合

変調の状態連続送信させ、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。

（イ） 空中線端子がない場合

被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、指向方向を固定する。試験用空中線は被試験器の輻射電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し送信輻射電力を測定し、試験用空中線利得、伝搬損失、被試験器の空中線利得等から空中線電力を求める。

3. 1. 2 周波数の許容偏差

（ア） 空中線端子がある場合

被試験器を無変調の状態動作させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求める。被試験器が無変調動作できない場合や、測定器等により測定可能であれば変調状態で測定してもよい。

（イ） 空中線端子がない場合

被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、指向方向を固定する。試験用空中線は被試験器の輻射電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し、被試験器の周波数を測定する。試験器を無変調状態とすることができる場合には周波数計を用いて測定してもよい。

3. 1. 3 不要発射の強度の許容値

（ア） 空中線端子がある場合

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。EIRPで指定された規定に対しては、被試験器のアンテナ利得と乗算し不要発射の等価等方輻射電力を求

める。送信停止状態、及び搬送波を送信していない状態でも同様の測定をする。

(イ) 空中線端子がない場合

被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、試験用空中線において、被試験器の空中線利得が一定値(例 8dBi)となるよう、また被試験機の不要発射の強度が最大となるように被試験機と試験用空中線の配置、被試験機の指向方向を適切に設定する。スペクトルアナライザを使用し、被試験器の不要発射の強度を測定する。送信停止状態、及び搬送波を送信していない状態でも同様の測定をする。

なお、電力で指定された規定に対しては、全放射面における TRP を求め、導出した TRP にバースト時間率の逆数を乗じた値を測定値とすることもできる。

4 周波数共用に関する条件

4. 1 静止衛星システムの保護に関する条件

ITU-R の審査により無線通信規則 22 条の EPFD ↑ 制限値へ適合と判定されていること。

ITU-R 勧告 S. 1503 に基づく EPFD ↑ の計算で用いられ、無線通信規則 22 条に適合することが ITU-R により確認された EIRP マスクを指定し、当該指定 EIRP マスクを満たすこと。

4. 2 非静止衛星システムの保護に関する条件

電波の公平かつ能率的な利用を確保するため、無線通信規則 9 条に基づく国際周波数調整の結果を遵守し、非静止衛星システム間の調整を適切に行う必要がある。

また、今後の国際周波数調整の状況により、我が国における周波数の使用条件が変更された場合は、適宜見直す必要がある。

4. 3 Ku帯非静止衛星通信システム地球局(陸上)に関する条件

14. 4-14. 5GHz の既存業務保護のため、既存業務局の周辺で 14. 4-14. 5GHz の送信禁止ゾーンを設ける等運用調整により、予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

4. 4 Ku帯非静止衛星通信システム地球局(船舶)に関する条件

ECC Decision(18)05 に基づき、14. 4-14. 5GHz において、我が国の低潮線の海拔 80m 地点における PFD 制限 $-116 \text{ dBW/m}^2 \cdot \text{Hz}$ を満たすこと。なお、本 PFD 制限を遵守するため、地球局は自身による位置情報・姿勢情報等のモニタリング

機能と自動的に EIRP を低減または送信を停止する機構を具備すること。

但し、内海での運用を考慮し予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

4. 5 Ku帯非静止衛星通信システム地球局（航空機）に関する条件

ECC Decision(18)05 に基づき、14. 4-14. 5GHz において、表 5-1 に示す地表面における PFD 制限値を満たすこと。なお、本 PFD 制限を遵守するため、地球局は自身による位置情報・姿勢情報等のモニタリング機能と自動的に EIRP を低減または送信を停止する機構を具備すること。

但し、実際の運用を考慮し予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

表 4-1 地表面における PFD 制限値

水平方向を基準とした電波の到来角 (θ)	PFD (dBW/m ² ·Hz)
$\theta \leq 5^\circ$	-122
$5^\circ < \theta \leq 40^\circ$	-127+ θ
$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$	-87

参考資料

- 参考資料 1 衛星コンステレーションの動向
- 参考資料 2 欧州における Ku 帯非静止衛星通信システムの制度化動向
- 参考資料 3 他の無線システムとの周波数共用検討詳細

Ku/Ka帯システムのサービス計画や技術諸元等の調査結果

2019年10月11日

Ku/Ka帯を用いた非静止衛星システムに係る周波数共用技術に関する調査検討会
令和元年度 第1回会合資料

MR 株式会社三菱総合研究所

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

調査概要

- 今年度の調査検討では、昨年度調査対象としたサービス計画・システムについて、最新の動向を調査し、情報のアップデートを行うとともに、最近発表されている新しいサービス計画やコンセプトの調査を行う。
- 具体的には、各システムについて以下の内容を整理した。
 - 運用衛星数
 - 衛星軌道（軌道種類・軌道高度）
 - 使用周波数（サービスリンク、ファイタリンク、その他リンク（衛星間、TT&C等））
 - 通信容量（一衛星もしくはシステム全体のスループット）
 - サービス内容（対象ユーザー、用途・ユースケース、端末向け通信速度等）
 - 地上端末
 - サービス実施状況／予定時期 等
- 主な調査対象を以下に示す。
 - 米国FCC向け申請資料
 - ✓ FCC Current Authorizations Listの添付資料
 - ✓ FCC Pending Application Listの添付資料
 - 各衛星事業者公式ホームページ

調査対象の非静止コンステレーション衛星システム

事業者	国	軌道	業務領域	使用周波数帯
Oneweb	米国	LEO, MEO	FSS	Ku帯, Ka帯, V帯, E帯
SpaceX	米国	LEO	FSS	Ku帯, Ka帯, V帯
Telesat	カナダ	LEO	FSS	Ka帯, V帯
Leosat	米国	LEO	FSS	Ka帯
O3b (SES)	米国	MEO	FSS	Ka帯
Kepler Communications	カナダ	LEO	FSS	Ku帯
Boeing	米国	LEO	V帯:FSS Ka帯:FSS/MSS	Ka帯, V帯
Amazon	米国	LEO	FSS	Ka帯

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

OneWeb社

- 2012年にWorldVu Satelliteという名で創業し、2015年に現名に改名した米国企業である。
- 2016年、Ku/Ka帯を用いたLEO衛星コンステレーションを構築することを発表した。
- 2017年、同コンステレーションを補完することを目的に、よりニーズの高い都市部等とカバーする広帯域幅のV帯衛星コンステレーションを、カバー範囲の異なるLEO・MEOそれぞれに構築することを発表。
- 2018年、MEO衛星コンステレーションの衛星機数の増加および周波数拡大を発表。
- 2018年3月に、当初申請数720機のLEO衛星コンステレーションを1980機へ拡張する旨の申請をFCCへ行った。
- 2019年2月、LEO衛星コンステレーションシステムの最初の6機の打ち上げに成功。
- 2019年9月、さらなるLEO衛星コンステレーションシステム充実に向けて、Iridium社と協働することが決定。
- 2020年に消費者向けのデモを開始、2021年までには24時間体制ですべての衛星が連動したサービスの開始を計画している。

	LEO衛星	MEO衛星
衛星機数	1980機(36軌道×55機)	2560機 (32軌道×80衛星)
軌道高度	約1200km	8500km
製造業者	Airbus Defence & Space	Airbus Defence & Space
利用周波数帯	【サービリンク】 DL : 10.7-12.7GHz UL : 12.75-13.25, 14.0-14.5GHz 【ファイザリンク】 DL : 17.8-18.6, 18.8-19.3, 19.7-20.2GHz UL : 27.5-29.1, 29.5-30.0GHz	★2017年申請分 (V帯) 【サービリンク】 DL : 40.0-42.0GHz UL : 48.2-50.2GHz 【ファイザリンク】 DL : 37.5-42.5GHz UL : 42.5-43.5, 47.2-50.2, 50.4-51.4GHz ★追加分 (Ku/Ka帯, E帯, V帯) 【サービリンク】 DL : 10.7-12.7, 18.1-18.6, 18.8-19.4, 19.6-20.2, 37.5-42.5GHz UL : 12.75-13.25, 14.0-14.5, 17.8-18.1, 28.35-29.1, 29.5-30.0, 47.2-50.2, 50.4-51.4GHz 【ファイザリンク】 DL : 19.3-19.7, 37.5-42.5, 71.0-76.0GHz UL : 12.75-13.25, 13.75-14.5, 15.43-15.63, 17.8-18.1, 27.5-30.0, 42.5-43.5, 47.2-50.2, 50.4-51.4, 71.0-76.0, 81.0-86.0GHz 【TT&C】 DL : 27.5-27.55GHz / UL : 19.7-19.77GHz
レイテンシ	平均32ms(50ms以下)	NA
スループット	NA	NA
通信速度	200Mbps	2.5Gbps
地上局端末の種類	ユーザ端末 : 30~75cm型アンテナゲドウェイ : 2.4m型アンテナ	ユーザ端末 : 30cm~75cm型アンテナゲドウェイ : 1.2~4.5m型アンテナ

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

3

OneWeb社

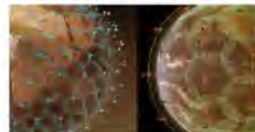
LEO衛星コンステレーションにおける衛星数の変遷

- 当初、衛星数は648機と予定されていた。
- 2016年4月、FCCに720機の利用を申請。
- 2016年11月、18の各軌道の衛星数を36,40,49と段階的に増加させ、計882機の配備を構想していると発表した。
- 2018年1月にはITUへ、同年3月にFCCへ、720機のコンステレーションを1980機へ拡張する旨の申請を行った。
- 2018年12月、OneWeb社CEOであるGreg Wylerは”the company will need only 600 satellites or so instead of 900 after ground tests of the first satellites demonstrated better than expected performance”と発言し、と全球カバーに必要な衛星数が想定していた900機よりも300機減少して、600機で十分であるとの見解を示した。

Iridium社との協働

- 2019年9月17日、OneWeb社とIridium社が協働し、サービスを展開していくことが発表された。
- 異なる周波数帯域を使用するLEO衛星事業者が協働することは初めてである。(OneWeb社:主にKu帯を使用、Iridium社:主にL帯を使用)
- 大容量データを転送できるKu帯と気象変動に強いL帯の補完的な関係により、より広範囲に高速で低遅延なブロードバンド接続できるサービスを提供する。

各コンステレーションシステムの概観 (左: oneweb, 右: iridium)



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

4

SpaceX社

MRI

- 2002年に設立され、米国カリフォルニア州に拠点を置く。
- 2016年11月、4425衛星からなるLEO衛星コンステレーション「starlink」を構築する計画を発表した。
- 2018年11月8日、上記のLEO衛星コンステレーションシステムに関して以下2点の変更をFCCへ申請した。(2019年4月承認)
 1. LEO衛星コンステレーションに関して当初の計画の4425機から4409機へ変更。
 2. 当初の計画では1150km軌道での運用が予定されていた1584機(24軌道×66機)は、550km軌道での運用に変更。(1110km~1325km間で2825機の配置も認証済み。)
- 2019年5月23日、4409衛星からなるLEO衛星コンステレーションシステムの最初の60機の打ち上げに成功。
- 2019年8月30日、LEO衛星コンステレーションの軌道面の拡充及び1軌道当たりの衛星数の減少をFCCに申請。(次ページにて詳細記載)
- 「starlink」の完成は2025年を計画しており、2020年には720機ほどの衛星を周回軌道に乗せ、地球上の最も人口の多い地域を継続的に網羅できるように計画している。
- 2020年1月29日、2019年末及び2020年1月6日に次いで、60機の衛星を打ち上げており、4回目のバッチ打ち上げに成功した。(合計240機の打ち上げに成功)【※2020年2月3日時点での状況に更新】

SpaceX衛星コンステレーションの詳細(各種資料よりMRIが作成)

	LEO衛星コンステレーション	VLEO衛星コンステレーション
衛星機数	4409機	7518機
軌道高度	550km, 1110km-1325km	約340km(335-346km)
製造業者	自社	自社
利用周波数帯	【サービスリンク】 D/L: 10.7-12.7GHz U/L: 14.0-14.5, 12.75-13.25GHz 【フィードリンク】 D/L: 10.7-12.7, 17.8-18.6, 18.8-19.3, 19.7-20.2GHz U/L: 14.0-14.5, 27.5-29.1, 29.5-30.0GHz 【TT&C】 D/L: 12.15-12.25, 18.55-18.6GHz U/L: 13.85-14.0GHz	【サービスリンク】 D/L: 37.5-42.5GHz U/L: 47.2-50.2, 50.4-52.4GHz 【フィードリンク】 D/L: 37.5-42.5GHz U/L: 47.2-50.2, 50.4-52.4GHz 【TT&C】 D/L: 37.5-37.75GHz U/L: 47.2-47.45GHzGHz
レイテンシ	25-35 ms	NA
スループット	17-23Gbps per 1 satellite	NA
通信速度	1Gbps per user	NA
地上局端末の種類	フェーズドアレイアンテナ	フェーズドアレイアンテナ

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

5

SpaceX社

MRI

LEO衛星コンステレーションの周波数拡大

- 2018年11月8日、段階に合わせて適用周波数を拡大していくシステムの詳細を発表した。
- 当該システムでは“initial phase”から“final phase”にかけてサービスリンクにおけるU/L、及びフィードリンクにおけるD/L、U/L、TT&CのD/Lの周波数帯を拡大する。
- “initial phase”ではサービスリンクとフィードリンクで同一周波数帯を用いているが、衛星数が少数であるため、自己干渉抑制のため空間的に間隔は十分設けられると考えている。

Type of Link and Transmission Direction	Initial Frequency Range ¹	Final Frequency Range ²
User Downlink Satellite-to-User Terminal	10.7 - 12.7 GHz	16.7 - 12.7 GHz
Gateway Downlink Satellite to Gateway	10.7 - 12.7 GHz	16.7 - 12.7 GHz 17.8 - 18.6 GHz 18.8 - 19.3 GHz 19.7 - 20.2 GHz
User Uplink User Terminal to Satellite	14.0 - 14.5 GHz	12.75 - 13.25 GHz ³ 14.0 - 14.5 GHz
Gateway Uplink Gateway to Satellite	14.0 - 14.5 GHz	14.0 - 14.5 GHz 25.5 - 29.1 GHz 29.5 - 30.0 GHz
TT&C Downlink	12.15 - 12.25 GHz	12.15 - 12.25 GHz 18.55 - 18.60 GHz
TT&C Uplink	13.85 - 14.00 GHz	13.85 - 14.00 GHz

Table A-2-2. Summary of Planned Frequency Usage

出所) LEO衛星コンステレーション“Technical Information”

LEO衛星コンステレーションの軌道面の拡大

- 2019年8月30日、LEO衛星コンステレーションの軌道数の増加及び1軌道当たりの衛星数の減少をFCCに申請した。
- 本申請では軌道数を24軌道から72軌道へ増加させ、1軌道当たりの衛星数を66機から22機への減少を提案している。合計の衛星数・高度・仰角に変化はない。
- SpaceXによると、この修正は顧客へのサービス提供だけでなく、衛星の無線周波数特性や低高度軌道内でのデブリ軽減特性などに影響を与えるものではないとしている。

Parameter	Current Authorization	Proposed Modification
Orbital Planes	24	72
Satellites Per Plane	66	22
Total Satellites	1,584	1,584
Altitude	550 km	550 km
Inclination	53°	53°

Table 1. Summary of Proposed Modification

出所) LEO衛星コンステレーション“Legal Narrative”

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

6

Telesat社

- Telesat社は1969年創立、カナダに本社を持つ衛星通信事業者である。
- 2018年、LEO衛星コンステレーションの第一陣であるLEO1衛星が打上げられており、2022年のサービス提供開始が目標されている。
- 2019年1月24日、Alphabet社の子会社であるLoon社と、LEO衛星コンステレーションシステムをサポートするために使用するネットワークオペレーティングシステムの設計を提供する契約を行ったと発表した。これにより民間企業及び政府機関に対し、低遅延で信頼性の高いインターネット接続を提供できるとしている。
- 2019年1月30日、Blue Origin社と衛星打ち上げを協働して行う旨の契約を行ったと発表した。この契約により、Blue Origin社保有の「New Glenn（大重量打ち上げ可能）」を使用することができるため、1回当たりの打ち上げで搭載できる衛星数が増加するため、大幅なコスト削減が見込まれる。

Telesat LEO衛星 コンステレーションの詳細

衛星機数	117機 以上+代替機 (1000kmに6軌道×12衛星、 1248kmに5軌道×9衛星)
軌道高度	1000km(極軌道)または1248km(傾斜軌道)
製造者	Space Systems Loral等
利用 周波数帯	17.8-18.6GHz, 18.8-19.3GHz, 19.7-20.2GHz (D/L) 27.5-29.1GHz, 29.5-30.0GHz (U/L)
レイテンシ	30~50ms
スループット	最大数Tbps
通信速度	数Gbps
地上局端末 の種類	ゲートウェイ・ユーザ端末ともにアクティブアレー アンテナ

Telesat LEO衛星 コンステレーションのイメージ図



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

7

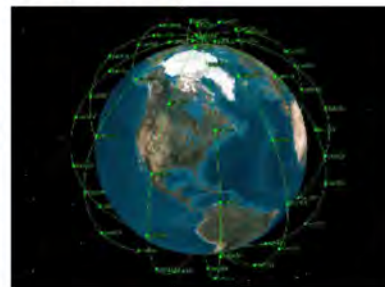
Leosat社

- Leosat社は2013年に創業、本社を米国に置く衛星通信事業者である。
- 提供予定サービスとしては、主に政府および石油・天然ガス、海運、金融分野等の企業向けの大容量衛星通信サービスや、映像配信サービス、4G/5Gのバックホール通信サービス提供を予定。
- コンステレーション内の衛星をレーザーリンクで接続することで、地上の1.5倍高速なネットワーク接続を行う。
- 2019年5月、Leosat衛星コンステレーション実現に向けて、20億米ドルの調達に成功した。契約顧客にはX2nSat社やFMC GlobalSat社などが挙げられ、各社が低遅延且つ大容量データ通信可能なLEO衛星コンステレーションシステムに期待している。
- 2020年に打上げを開始し、2022年には全世界でのサービス提供を開始予定。

LeoSat衛星コンステレーションの詳細

衛星機数	78機(6軌道×13衛星) ※長期的には108機を計画
軌道高度	約1400km
製造業者	Thales Alenia Space
利用 周波数帯	17.8-18.3GHz (S&F D/L), 18.3-18.6GHz (S&F D/L), 18.8- 19.3GHz (S&F, TT&C D/L), 19.3-19.7GHz (S&F D/L), 19.7- 20.2GHz (S&F D/L), 27.5-28.35GHz (S&F U/L), 28.35-28.6GHz (S&F U/L), 28.6-29.1GHz (S&F, TT&C U/L), 29.5-30.0GHz (S&F U/L) ※その他、光衛星間通信あり
レイテンシ	16 ms
スループット	1.6 Gbps/リンク、5.2Gbps/衛星、10Gbps/システム全体
通信速度	1.2 Gbps
地上局端末の 種類	ユーザ端末: 1.2m型アンテナ(パラボラ/電子フェーズドアレー アンテナ) ゲートウェイ: 2.4m型アンテナ

コンステレーションの概観



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

8

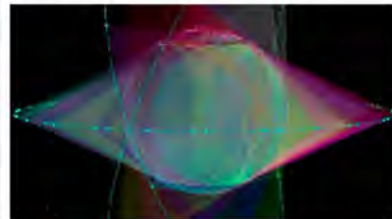
O3b社

- 2007年に創業され、本社をオランダに置く。(2017年8月にSES社の完全子会社化)
- インターネットで繋がるが出来ない発展途上国に住む「Other 3 billion (残り3億)」の人々に高速で低価格のインターネットサービスを提供することを目指し、中軌道衛星 (MEO) を運用。
- トランキング、バックホール通信、エネルギー産業向け衛星通信、海洋向け衛星通信、政府用衛星通信等を提供予定
- 2019年4月4日、4つのMEO衛星 (O3bN)の打ち上げが成功し、すでに打ち上げ済みの16機と合わせて、合計で20機の衛星によるコンステレーションが実現している。
- 2019年9月9日、O3b社は「O3b mPOWER」の打ち上げをSpaceX社と協働して行うことを発表した。打ち上げは2021年を予定している。
- 2019年、O3b社はKythera Space Solutions社と提携して、Adaptive Resorce Control (ARC)を共同開発していることを発表した。同システムは「O3b mPOWER」システムの電力、スループット、ビーム数、及び適用周波数の動的な制御と最適化を可能としており、顧客の需要と地理的位置に合わせたサービスを提供することができる。

O3b衛星 コンステレーションの詳細

衛星機数	O3bN: 24機 (内、16機打ち上げ済み)、O3bI: 16機、O3b mPOWER: 7機
軌道高度	O3bN: 8,062km (赤道上の周回軌道)、O3bI: 8062km (軌道傾斜角76度)
製造者	Thales Alenia Space, Boeing等
利用周波数帯	【サービスリンク・フィーダリンク】 DL: 17.8-18.6, 18.8-19.3, 19.7-20.2, 37.5-42.0GHz (FSS) UL: 27.5-29.1, 29.5-30.0, 47.2-50.2, 50.4-51.4GHz (FSS) ※うち19.7-20.2GHzおよび29.1-30.0GHz帯はMSSSとしての利用も許可 【TT&C】 DL: 18.8-19.3/UL: 28.6-29.1 GHz
レイテンシ	150ms以下
スループット	ビームごとに1.6Gbps、8衛星ごとに84Gbps ※O3b mPOWERの場合: 衛星ごとに200Gbps、システム全体で10Tbps
通信速度	バックホール向け: 1Gbps 船舶向け: 350Mbps
地球局端末	エッジコンピューティング機能付き小型フェーズドアレイアンテナ

O3b衛星コンステレーションのイメージ



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

9

O3b社

- 既存のO3b MEO衛星コンステレーションと「O3b mPOWER」の違いについて「技術的差異」と「顧客需要的差異」に分けて以下に示す。

技術的差異

1. ビーム数

- 既存のO3bには10本のビームが搭載されているのに対して、「O3b mPOWER」には500倍の5000本ものビームが搭載されている。
- より多くのビームを搭載しているため、低遅延且つ大容量の通信を行うことができる。

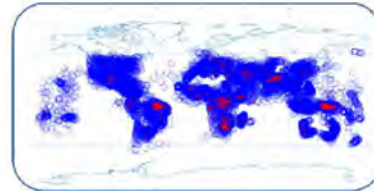
2. データレート

- 既存のO3bは最大で約1Gbpsのデータレートを実現することができるのに対し、「O3b mPOWER」ではフルビームで10倍の最大10Gbpsを実現する。
- また、既存のO3bのビーム容量が432MHzであるのに対して、「O3b mPOWER」は5倍以上の2500MHzであるため、単位通信当たりでより大容量のデータを送信することができる。

3. アンテナ技術

- 1,2を実現するために、衛星局及び地上局には高度なフェーズドアレイアンテナを搭載しており、電子制御ビームを生成することができる。

O3b mPOWERのビームフォーミングのイメージ



顧客需要的差異

- 政府特に軍事ユーザーにとって「O3b mPOWER」は重要な役割を果たすと考えられている。
- 時々刻々変化する軍事的状況に柔軟性をもって瞬時に対応するために、柔軟で様々な状況に適応できるネットワークを必要とする。
- 「O3b mPOWER」に搭載されているビームは固定式と可動式であり、帯域幅を低スループットから高スループットまで幅広く割り当てることができ、あらゆる形態の通信にリソースを提供することができる。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

10

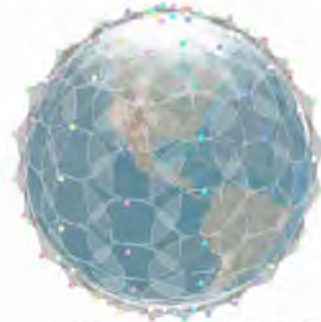
Kepler Communications Inc.社

- Kepler Communications Inc.社は2015年創立、カナダに本社を置く衛星通信事業者である。
- 現在、すでにLEO衛星コンステレーションの2つの衛星が打ち上げられており、サービスの一部提供を開始している。
- 2020年に最大15機の衛星からなるGEN1を打ち上げる予定であり、広帯域接続を提供する。
- 2021～2022年の間に、最大50機の衛星からなるGEN2の打ち上げを計画しており、広帯域及び狭帯域の両方の接続が可能で、世界のあらゆる場所にIoTサービスを提供する。
- 2022～2023年の間に、140機すべての衛星を打ち上げ、完全なサービスが展開されることを予定している。

Kepler Communications Inc LEO衛星 コンステレーションの詳細

衛星機数	140機
軌道高度	500-650km (低軌道衛星)
製造者	AAC Clyde 等
利用周波数帯	10.7-12.7GHz (サービスリンクD/L) 14.0-14.5GHz (サービスリンクU/L) 10.7-12.7GHz (フィードリンクD/L) 14.0-14.5GHz (フィードリンクU/L) 【TT&C】 401-402MHz, 2200-2290MHz (D/L), 148-149.9MHz, 2025-2110MHz, 449.75-450.25MHz (U/L) 【衛星間通信】25.25-27.5GHz
レイテンシ	N/A
スループット	N/A
通信速度	20 Mbps レンジ
地上局端末の種類	ユーザ端末: 直径30cm相当フェーズドアレーンテナ ※ビームパターン、チャネル幅、出力等を動的に調整可能 ゲートウェイ端末: 2.4m

コンステレーションの概観



出所) Kepler Communications Technical Narrative

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

11

Boeing社

- Boeing社は1934年に創設され、本社を米国に置く航空宇宙機器開発製造会社である。
- 最大で2956機の衛星を運用し、インターネットアクセスを提供することを提案している。具体的にはシステムの初期段階として1396機の衛星をライセンス取得後6年以内に高度1200kmの低高度で運用し、最終的に2956機の衛星を運用する計画である。
- Boeing社が提案しているV-bandにおけるNGSOシステムはインターネット通信システムを構築できない農村部や山間部で容易にインターネット環境構築できる可能性が示唆されている。また提供サービスとしては、住宅、商用、企業、政府、およびプロフェッショナル向けの5G通信サービスを予定している。
- Boeing社は2016年6月にFCCに対して上述の大規模なLEO衛星コンステレーションシステムの申請を行ったが、2018年6月段階でシステムの構築は前進していないことを表明した。

LEO衛星コンステレーション (V-band)の詳細

衛星機数	1396機 (最終的に2956機)
軌道高度	傾斜角45度の35軌道及び55度の6軌道: 約1200km 傾斜角88度の軌道: 約1000km
製造業者	Boeing
利用周波数帯	[サービスリンク及びフィードリンク] 37.5 - 42.5 GHz (D/L) 47.2 - 50.2 GHz (U/L) 50.4 - 52.4 GHz (U/L)
レイテンシ	N/A
スループット	N/A
通信速度	D/L: 最低25Mbps U/L: 最低3Mbps
地上局端末	N/A

Boeing LEO衛星コンステレーション (V-band)のイメージ



Figure II-17. NGSO System Overview and Facilities

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

12

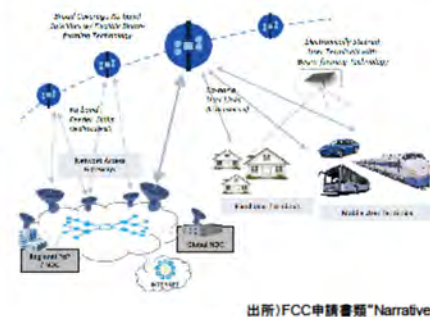
Boeing社

- Boeing社は2016年11月にFCCに対してKa-bandを活用した3段階衛星コンステレーションシステムの申請を行った。
 - 第1計画：北米・南米地域向けに、軌道傾斜角約40度の楕円軌道に10衛星配備。
 - 第2計画：欧州・アフリカ地域向け、およびアジア・オセアニア地域向けの楕円軌道に各10衛星配備。
 - 最終計画：30衛星を各地域の需要に応じて各軌道にそれぞれ追加。
- 第1計画はFCC承認後6年以内、第2計画はFCC承認後10年以内に完了予定。
- 提供サービスは、住宅、商用、企業、政府、プロフェッショナル向けの通信サービスを予定している。

衛星コンステレーション (Ka-band)の詳細

衛星機数	60機
軌道高度	27355 km-44221km
製造業者	Boeing
利用周波数帯	【FSSサービスリンク】【MSSサービス【フィーダリンク】】 17.8-19.3 GHz/ 19.7- リンク】 20.2 GHz (D/L) 19.7-20.2 GHz 19.3-19.7 GHz 27.6-29.1 GHz/ 29.5- (D/L) (D/L) 30.0 GHz (U/L) 29.5-30.0 GHz 29.1-29.5 GHz (U/L) (U/L)
レイテンシ	N/A
スループット	N/A
通信速度	D/L:最低25Mbps U/L:最低3Mbps
地上局端末	N/A

Boeing 衛星コンステレーション (Ka-band)のイメージ



出所)FCC申請書類"Narrative"

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

13

Amazon社

- Amazon社は1994年に創設され、本社を米国に置くECサイト、Webサービス会社である。
- 2019年7月4日、Amazon社の子会社であるKuiper Systems LLCはFCCに対して、大規模なLEO衛星コンステレーションシステム (Ka-band) に関する申請書をFCCへ提出した。
- 同社は同システムをFSSとして申請しているものの、17.8-18.3GHz, 18.3-18.6GHz, 18.8-19.3GHz, 19.3-19.4GHz, 28.35-28.6GHz, 28.6-29.1GHz帯を固定衛星業務で非静止衛星軌道上の宇宙局と通信する地球局 (ESIM) として使用するために、米国周波数割り当て及びKa/Cバンドの計画の改定をFCCに申請している。
- 同システムでは、3236機の衛星を低軌道に配備する計画を立てており、590kmに784機、610kmに1296機、630kmに1156機の衛星が配備される予定である。
- 衛星群は北緯56度から南緯56度までをカバーできる予定で、予定されているサービスは未だインターネットにアクセスすることができない数十億の人々に低遅延で高速なブロードバンド接続可能なインターネットを提供するというものである。
- 同システムではスペースデブリの軽減や円滑な脱軌道への向けシステム構築が進んでいる。

Kuiper system LLC LEO衛星コンステレーションの詳細

衛星機数	3236機		
軌道高度	約590km、約610km、約630kmの3軌道		
製造業者	Boeing		
利用周波数帯	【サービスリンク】 D/L:17.7-17.8GHz(non-U.S), 17.8-18.3GHz,18.3-18.6GHz, 18.8-19.3GHz,19.7-20.2GHz U/L:28.5-28.6GHz,28.6-29.1GHz, 29.5-30.0GHz	【フィーダリンク】 D/L:19.3-19.4GHz,19.4-19.6GHz, 19.6-19.7GHz,19.7-20.2GHz U/L:27.5-28.35GHz,28.35-28.5GHz 29.1-29.25GHz,29.25-29.5GHz 29.5-30.0GHz	【TT&C】 D/L:19.25-19.4GHz U/L:27.5-27.55GHz 27.95-28.0GHz 28.0-28.05GHz
レイテンシ	N/A		
スループット	N/A		
通信速度	N/A		
地上局端末の種類	ユーザ端末:フェーズドアレイアンテナとディッシュアンテナをミックスしたアンテナ		

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

14

Amazon社



「Project Kuiper」適用分野

- 「Project Kuiper」が提供する予定のサービスは以下のとおりである。
 - 固定ブロードバンドサービスを享受できていない農村部や山間部の人々へサービスを提供し、デジタル格差の解消を支援する。
 - 航空機、船舶、陸上車両といったシステムも対象とし、当該システムへ高スループットのモバイルブロードバンド接続サービスを提供する。
- 消費者ブロードバンドに焦点を当てていない、Telesat社や、Leosat社のようなほかの低地球軌道システムとの競合を可能にする。

LEO衛星コンステレーションシステム概要



出所) Application of Kuiper Systems LLC "TECHNICAL APPENDIX"

Space Debris (Nasa earth observatory)




出所) <https://earthobservatory.nasa.gov/images/401173/space-debris>

Debris mitigation and deorbit plans


- 軌道上のスペースデブリの処理は大きな関心事になっており、2018年にはNASAが故障した衛星は速やかに軌道から離れる必要があることを示唆している。
- Amazon社の予測では、不測の事態により故障した衛星で平均で5~7年、意図的に処分する衛星は機内推進を用いて1年以内に軌道から離れると予測している。
- Amazon社は「project kuiper」の設計や、衛星操縦の安全性について米国空軍の「space Operations Ceter」と協働して取り組んでいる。

参考資料 2 欧州における Ku 帯非静止衛星通信システムの制度化動向


欧州の標準化・制度化検討状況



欧州では、Ku帯非静止衛星通信システム*の技術的条件を用いた共用検討や、その結果を踏まえた標準を策定




- ◆ **EN 303 980** (欧州統一規格；遵守義務あり)
⇒Ku帯地球局に関する技術標準。2018年6月発行
- ◆ **TR 103 399** (システム参照文書)
⇒Ku帯地球局に関する検討結果 (ECC Report 271の共用共存検討結果を含む)、欧州統一利用に向けた制度に関するETSIの見解を纏めた文書。欧州以外の地域向けの参照文書の位置付けもあり。2019年4月発行



- ◆ **ECC Decision (17)04** (ECC決定；遵守義務なし)
⇒Ku帯固定地球局の欧州統一利用・個別免許免除に関する制度の標準。2017年6月発行
- ◆ **ECC Report 271** (レポート)
⇒Ku帯非静止衛星通信システムに関する共用共存検討結果を纏めたレポート。2018年1月発行
- ◆ **ECC Decision (18)05** (ECC決定；遵守義務なし)
⇒Ku帯移動地球局の欧州統一利用・個別免許免除に関する制度の標準。2018年7月発行
- ◆ **ECC Report 279** (レポート)
⇒Ku帯移動地球局の許可に関する制度的枠組を纏めたレポート。2018年5月発行

*OneWebシステムを前提

ETSI European Standard EN 303 980



■ 概要

Ku帯地球局（固定/移動）に関する技術標準。 EU無線機器指令の必須要件を満たす仕様を規定。

仕様が定められている項目	該当条項	概要
EIRP密度マスク	4.2.1	ITU-R S.1503-2のシミュレーションに用いたEIRP密度マスク値の公表義務
アンテナのビーム・ポインティング	4.2.2	ポインティングエラーの最大値、エラー検知やエラー抑制時間の最大値の公表義務
軸外スプリアス放射	4.2.3	軸外の不要放射EIRP密度の上限値を規定
軸上スプリアス放射	4.2.4	軸上の不要放射EIRP密度の上限値を規定
搬送波抑圧	4.2.5	故障・放射停止時の軸上のEIRP密度の上限値を規定
放射停止	4.2.6	放射停止機能の実装義務、地球局のインタフェース公表義務など
NGSO地球局のIDと位置	4.2.7	送信中の地球局やその地理的な位置の特定・報告の手段を具備する義務
制御・監視機能 (CMFs)	4.2.8	プロセッサ・監視機能の具備、Network Control Facilityとのやり取りの手順など
受信アンテナのoff-axis利得パターン	4.2.9	co-polarized/cross-polarizedコンポーネント毎の最大アンテナ利得を規定
ブロッキング性能	4.2.10	受信機ブロッキング除去の下限値を規定
隣接信号選択性	4.2.11	所望信号に対する隣接信号の電力レベルを規定

■概要

Ku帯非静止衛星通信システムと運用する固定地球局の、周波数の欧州統一利用と個別免許免除に関する制度の標準。

- 10.7-12.75GHz (↓) と14-14.5GHz (↑) を、NGSO FSS衛星システムの固定地球局用に指定。
- 以下の場合に、上記帯域で運用する固定地球局の個別免許を免除。
 - a. センターからの制御、EN 303 980の準拠など技術的・運用的要求条件を満たす
 - b. eirp \leq 60dBW
(1つのアンテナが2以上の送信機と一緒にいる場合、又は1つの送信機がマルチキャリアオペレーションを行う場合、メインローブのアンテナからの全ての同時放射の合計値が上記水準を満たしている)
 - c. 10.7-11.7GHzの固定業務の無線局からの保護を要求しない
 - d. 他の一次業務との共存性を維持しながらNGSO FSS衛星システムと運用する
 - e. 機器の利用に関してEUのRadio Equipment Directive Article 3(2)の基本要件を順守する
- 飛行場周辺の調整に関しては、本Decision Annex 2に定める要求条件を用いることも可能。
- 2017年6/30発行済。(CEPT加盟国に対する推奨施行時期：2017年12/30)

■概要

- **Ku帯のFSS帯域で運用する非静止衛星通信システムに関する共用共存結果を纏めたレポート。**
- 本結果はNGSO FSSの①周波数の欧州統一利用、②地球局の個別免許免除に関する制度の標準 (ECC Decision) のベースとなる。
- 共用検討におけるNGSO FSS側パラメータはKu帯非静止衛星通信システムのものを使用。
- 共用共存検討対象業務：(結果は次ページにサマリ掲載)

	GHz	共用周波数帯	隣接周波数帯
ダウンリンク	10.7-12.75		<ul style="list-style-type: none"> • 電波天文(10.6-10.7GHz) • 地球探査衛星(10.6-10.7GHz)
アップリンク	14-14.5	<ul style="list-style-type: none"> • 固定業務 • 電波天文 (二次業務) 	

- 当初計画では14-14.5GHzのみの検討であったが、電波天文からの要求に基づき10.7GHzの隣接共用も対象に追加
- 宇宙研究、無線航行、無線航行衛星は分配はされているものの展開無しのため共用検討対象外
- 静止衛星ネットワークとの共用は、RR Article 22に規定された静止衛星保護のためのEPFDを満たす必要があるため、追加共用検討は不要 (ETSI TR 103 399)
- 10.7-12.7GHzは固定業務からの被干渉が考えられるが、欧州では包括免許の場合は個別免許を有する業務からの干渉許容を原則としていることから、Ku帯非静止衛星通信システムが被干渉の検討は実施されていない

■ 共用共存検討結果

既存業務		FSS地球局	FSS側の条件	共用共存検討結果
帯域	展開状況			
10.6-10.7 電波天文	ベルギー、独、伊、露、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、トルコ、英	—	電力制限	<ul style="list-style-type: none"> FSS宇宙局の不要発射：時間率2%以上で10.6-10.7GHzのEPFD\leq-241 dBW/m² 不要発射実現のため、フィルタ挿入等に加え、電波天文/地球探査衛星が見えるエリアでは最隣接チャネル(10.7~10.95GHz)の発射停止 電波天文保護のため不要発射制限を満たすことで、EESS(受動)保護が可能
10.6-10.7 EESS(受動)	露			
14.25-14.5 FS	英、仏、独、露、伊、ルーマニア (露は廃止予定)	固定	地理的隔離	<ul style="list-style-type: none"> FS周辺に“保護ゾーン”設定。FSSの同一チャネル送信を規制。 保護ゾーンの規模は個々の局の特性や地形により決定。 ※規模感：フラット環境 58~77km。実際の地形考慮 11km
		移動 (陸上)		<ul style="list-style-type: none"> FS周辺に“保護ゾーン”設定。FSSの同一チャネル送信を規制 (GPSを利用し、Network Control Unitで自動停止) 保護ゾーンの規模は個々の局の特性や地形により決定。 ※規模感：フラット環境 57~77km。実際の地形考慮 11km
		移動 (海上)	電力制限	<ul style="list-style-type: none"> 水平方向にEIRP -33dBW/40kHzの地球局の場合、(海岸近くのFS保護のための) 海岸からの地理的隔離は不要 あらゆるNGSO FSSシステムを網羅するため、海岸ではPFD制限の設定が可能。 推奨値：時間率0.06% or 4.5%で-116 dBW/m²/MHz @ 海拔80m
		移動 (航空)		Pfd mask : θ = 水平面上の入射波の到来角度 $\theta \leq 5^\circ$: -122 dB(W)/(m ² ·MHz) $5^\circ < \theta \leq 40^\circ$: -127+ θ dB(W)/(m ² ·MHz) $40^\circ < \theta \leq 90^\circ$: -87 dB(W)/(m ² ·MHz)

■ 概要

Ku帯非静止衛星通信システムと運用する移動地球局 (ESIM) の、周波数の欧州統一利用と個別免許免除に関する制度の標準。

- 10.7-12.75GHz (↓) と14-14.5GHz (↑) を、NGSO FSS衛星システムのESIM用に指定。
- 以下の場合に、上記帯域で運用するESIMの個別免許を免除。
 - センターからの制御、EN 303 980の準拠など技術的・運用的要求条件 (Annex 1) を満たし、Annex 1を満たす旨の宣言やオペレータに関する情報をCEPT事務局に提出 (Annex 2)
 - eirp \leq 54.5dBW
(1つのアンテナが2以上の送信機と一緒にいる場合、又は1つの送信機がマルチキャリアオペレーションを行う場合、メインローブのアンテナからの全ての同時放射の合計値が上記水準を満たしている)
 - 10.7-11.7GHzの固定業務の無線局からの保護を要求しない
 - 他の一次業務との共存性を維持しながらNGSO FSS衛星システムと運用する
 - 機器の利用に関してEUのRadio Equipment Directive Article 3(2)の基本要件を順守する

※ 固定地球局のDecisionと違い、飛行場周辺の調整に関する規定は無し。

【補足】 ECC Report 272 (航空機周辺で運用する地球局に関するレポート) の記載

「Ku帯においてeirp \leq 54.5dBWで運用するESIMは、飛行場周辺での運用に関する追加制約なし」と記載。
 OWはeirp 34dBWのため追加制約なし。

Annex 1 ※固定地球局のDecisionには無い規定のみ

航空ESIM
PFD制限値

6. For ESIM installed on aircraft the PFD values on earth are the following:

- $-122 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ for $\theta \leq 5^\circ$
- $-127 + \theta \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ for $5^\circ < \theta \leq 40^\circ$
- $-87 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ for $40^\circ < \theta \leq 90^\circ$

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

海上ESIM
PFD制限値

7. For ESIM installed on vessels, the PFD threshold value is $-116 \text{ dBW/m}^2/\text{MHz}$ at a height of 80 metres above mean sea level at the low-water mark of the territory of the administrations in paragraph 5 above;

陸上ESIM
PFD制限値
*ECC Report 279の値

8. For land based ESIM, a PFD limit of $-116 \text{ dBW/m}^2/\text{MHz}$ at 30 m height above ground of the territory of the administrations in paragraph 5 above;

電波天文 (二次)
周辺での発射停止

9. In the band 14.47-14.5 GHz, ESIM installed on aircraft are required to cease emissions when in visibility of a RAS station performing observations in this band;

10. In the band 14.47-14.5 GHz, the PFD threshold values in paragraphs 11 and 12 shall not be exceeded;

電波天文 (二次)
保護用
海上/陸上ESIM
PFD制限値
*ECC Report 279の値
(ITU-R勧告値)

11. For ESIM installed on vessels, the PFD threshold value at the observatory of $-169 \text{ dBW/m}^2/(150 \text{ kHz})$, not to be exceeded more than 2% of the time (Ref: Recommendation ITU-R RA.769 [20]);

12. For land based ESIM, the PFD threshold value at the observatory of $-169 \text{ dBW/m}^2/(150 \text{ kHz})$, not to be exceeded more than 2% of the time (Ref: Recommendation ITU-R RA.769 [20]);

PFD制限値遵守のため
の機能具備

13. For ensuring compliance with the above PFD provisions ESIM shall have self-monitoring functions and automatic mechanisms (locally, or under the control of the NCF) to reduce its e.i.r.p. or cease transmissions.

Annex 2 ※固定地球局のDecisionには無い規定

ANNEX 2: INFORMATION AND DECLARATION TO BE SUBMITTED BY ESIM OPERATORS TO THE OFFICE AND INFORMATION RELATING TO FS (14.25–14.50 GHz) AND RAS DEPLOYMENTS

A2.1 Information and declaration to be submitted by ESIM Operators

Any ESIM operator intending to operate ESIM within the framework of this ECC Decision is required to submit to the Office (<http://www.cept.org/eco>):

- a declaration that its system complies with the requirements of Annex 1 of this Decision, including compatibility with each of the services mentioned in decides 3 d),
- the information (with any subsequent changes) requested in Table 1 below.

Table 1: Information to be provided by ESIM operators

Information	To be filled in
ESIM operator	
ESIM operator contact details (address, telephone number, email)	
Network Control Facility (NCF) contact details (address, telephone number, email)	

A2.2 INFORMATION ON ADMINISTRATIONS DEPLOYING FS AND RAS STATIONS¹

Administration currently with Fixed Service deployments in the frequency band 14.25–14.50 GHz:

- France
- Germany
- Italy
- Romania
- Russian Federation
- United Kingdom

■概要

- Ku帯の非静止衛星通信システムと運用する移動地球局（ESIM）の利用に関する制度的枠組※について纏めたレポート。ECC Report 271の結果を考慮。
※ESIM用帯域の指定、個別免許免除及び域内自由流通・自由利用を前提としたESIMの許可
- 本結果はKu帯NGSO FSSのESIMの許可に関する制度の標準（ECC Decision）のベースとなる。

■結論

- ① ESIMの扱い：FSS地球局とし、FSS地球局用帯域（10.7-12.5GHz、14-14.25GHz）で運用可能
- ② 14-14.5GHzにおけるESIMの許可方法
 - 個別免許免除及び域内自由流通・自由利用を前提とした許可が可能
 - 固定業務（14.25-14.5）/電波天文（14.47-14.5）で利用中の国やその隣国においても、同様に許可が可能。（ECC Report 271のとおり、NGSO FSSとそのESIMの技術的措置実施により既存業務の保護が可能のため）
- ③ ESIMのeirp \leq 54.5dBWの場合、飛行場周辺での運用に関する追加制約は不要
- ④ 国によっては、国内規制に従うために海上・航空ESIMを個別免許とすることも可能
- ⑤ 電波天文/地球探査衛星（受動）（10.6-10.7GHz）への干渉は不要発射制限や周辺での最隣接チャンネルの発射停止により回避可能。なお、OW以外のNGSOシステムによる干渉は、複数のNGSO/GSOシステムによるアグリゲート干渉を考慮のうえ、個別に評価が必要。

（参考）ESIMをFSS地球局と整理する根拠

以下を理由に、Ku帯 NGSOと運用するESIMはFSS地球局として扱われ、FSS分配帯域（10.7-12.5GHz、14-14.25GHz）での運用を可能とする。

Ku帯NGSOと運用する固定地球局とESIMの類似特性を有し、RRのNGSO関連規定（GSO保護のためのEPFD limit含む）を全て遵守

- 固定地球局もESIMも、当該NGSOシステム内又は他のNGSO/GSOとの周波数調整に関する合意内容に基づく運用が必要であり、運用と干渉環境については固定地球局とESIMで差分なし
- 固定業務と電波天文に対するESIMの与干渉シナリオは固定地球局と変わらない。
- 以下の設計検討により、ESIMが固定地球局に倣った運用を行うことをサポート。
 - ①地球局アンテナのポインティング誤り（mis-pointing）
 - ②地球局アンテナのアンテナパターンの変化
 - ③地球局の送信eirpの変化

(参考) ETSI、ECC文書のURL

■ ETSI

- **EN 303 980**

- http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/303900_303999/303980/01.01.01_60/en_303980v010101p.pdf

- **TR 103 399**

- https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103300_103399/103399/01.01.01_60/tr_103399v010101p.pdf

■ ECC

- **ECC Decision (17)04**

- <http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/ECCDEC1704.pdf>

- **ECC Report 271**

- <https://www.ecodocdb.dk/download/3ab9e6bc-0afd/ECC%20Report%20271.pdf>

- **ECC Decision (18)05**

- <https://www.ecodocdb.dk/download/a885e3f1-0c26/ECCDec1805.pdf>

- **ECC Report 279**

- <https://www.ecodocdb.dk/download/055cd0f3-9a8a/ECCRep279.pdf>

参考資料 3 他の無線システムとの周波数共用検討詳細

1 Ku 帯非静止衛星通信システム地球局パラメータ

表 参 1-1 地球局パラメータ (ECC Report 271 より抜粋)¹

	移動地球局	固定地球局
周波数	14.0 - 14.5 GHz	14.0 - 14.5 GHz
最大EIRP	34 dBW	34 dBW
チャンネル帯 (ABW)	20 MHz	20 MHz
帯域幅 (OBW)	18.2 MHz	18.2 MHz
アンテナ径	0.45 m	0.9 m
アンテナ最小仰角	50 - 60°	50 - 60°
送信アンテナビーム幅	3.24°	1.64°
送信空中線利得	35 dBi	41 dBi
送信給電線損失	1 dB	-6 dB
送信電力 (アンテナ入力点)	0 dBW	0 dBW
水平方向におけるEIRP (アンテナ仰角57° の場合)	-33 dBW/40kHz	-20 dBW/40kHz

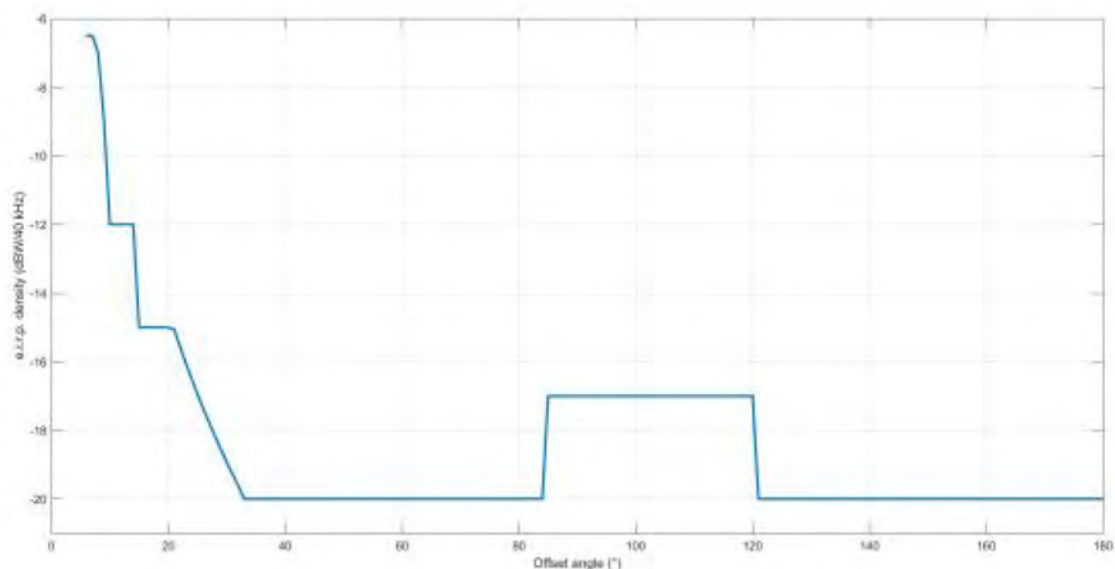


図 参 1-1 固定地球局 EIRP マスク (ECC Report 271 より抜粋)

¹ 送信のみ。ECC Report 271 では地球局被干渉の検討は行っていない

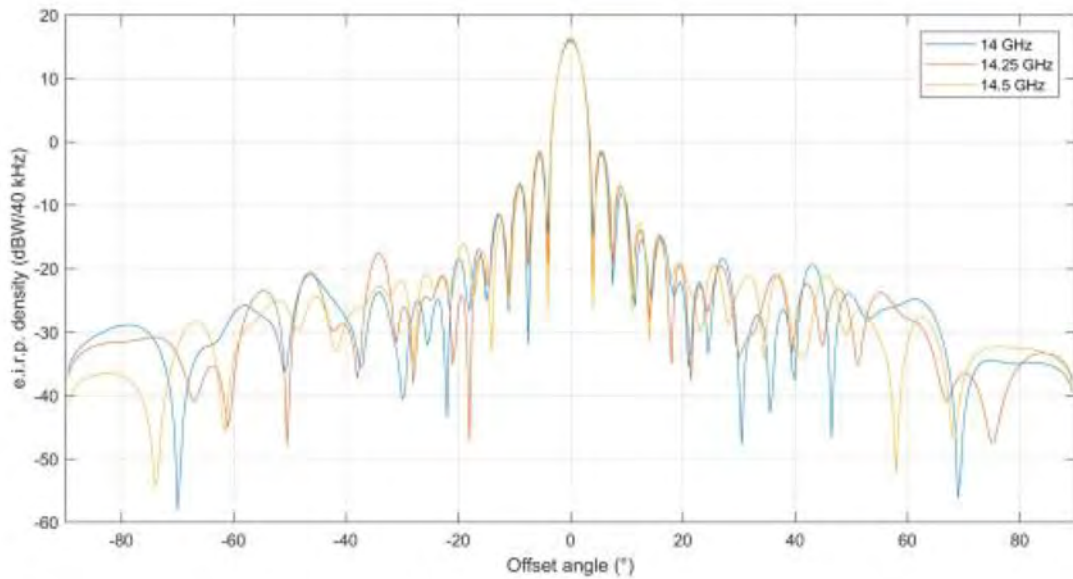


図 参 1-2 移動地球局 EIRP マスク (ECC Report 271 より抜粋)

干渉計算は上記パラメータに加え、我が国における地球局の最低運用仰角、及び ITU-R へ報告されている Ku 帯非静止衛星通信システムが EPFD ↑ を満たす地球局 EIRP マスクに基づき、移動地球局で水平方向 EIRP $-20\text{dBW}/40\text{kHz}$ を用いるパラメータでも検討した。

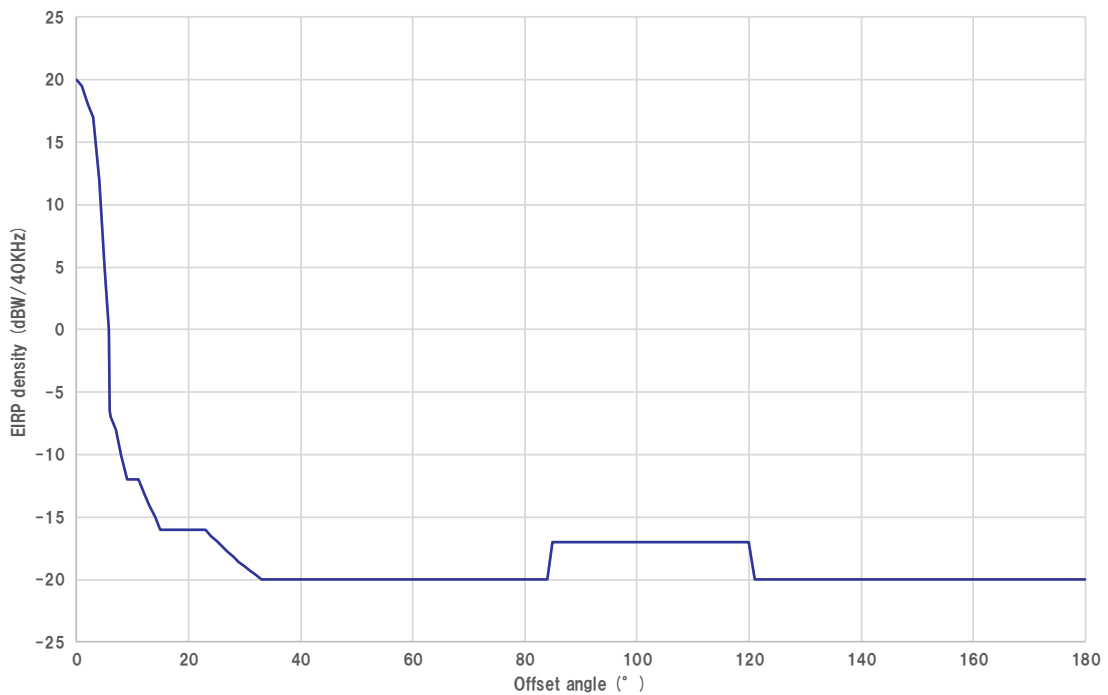


図 参 1-3 無線通信規則 22 条 EPFD ↑ に適合する EIRP マスク

2 他の無線システムとの周波数共用

2. 1 電波天文 (ECC Report 271 における検討結果)

ECC Report 271 では、電波天文の干渉基準として ITU-R 勧告 RA. 769 の電力束密度 (PFD) 閾値である $-240 \text{ dBW/m}^2 \cdot \text{Hz}$ 、勧告 RA. 1513 で規定される許容データ損失 2%以下を採用している。また、アンテナパターンは ITU-R 勧告 RA. 1631 より最大利得 81dBi (100m 級アンテナ) を用いている。

なお、電波天文の干渉基準を示した ITU-R 勧告 RA. 769 における PFD 閾値 (-160 dBW/m^2 : 10.6-10.7GHz) は、アンテナ利得 0dBi の値のため、非静止衛星との共用検討においては電波天文アンテナの最大利得を加味した値を EPFD の閾値にすることが定められている。

- アンテナ利得 81dBi (100m 級) : $-241 \text{ dBW/m}^2 \cdot 100 \text{ MHz}$
- アンテナ利得 69dBi (25m 級) : $-229 \text{ dBW/m}^2 \cdot 100 \text{ MHz}$

この閾値は 2000 秒の観測を行った際の平均電力として定められており、これらに基づくアンテナ径による差分が過去の ITU-R WP7D において以下の通り検討されている (Document 7D/99)。

- 低軌道非静止衛星システムからの干渉を 3 つのアンテナ (95m, 55m, 25m) で分析
- 電波天文のメインローブ方向に衛星が存在する場合の干渉が支配的であり、サイドローブ方向からの干渉影響は低いため、アンテナ径による結果の差分は非常に少なく、また 2000 秒観測のシミュレーション間隔を短くすることでその差分は更に小さくなる
- 結論として、非静止衛星システムとの共用検討においては、典型的な最大アンテナ利得を定義し用いることを提案

また、電波天文のアンテナパターンを示した ITU-R 勧告 RA. 1631、recommends 3 において典型的な最大アンテナ利得が定義されている (10.6-10.7GHz では 81dBi)。

以上を踏まえ、ECC Report 271 では最大アンテナ利得 81dBi で検討することで当該周波数を観測するその他の電波天文との共用検討も包含している。

干渉計算手法は、ITU-R 勧告 M. 1583, S. 1586 に基づき、全天 (半球) をほぼ同じ面積のセルへ分割 (2, 334 セル) し、各セルへ電波天文のメインローブを 100 回ランダムに向け、干渉電力が基準を上回る回数をモンテカルロ・シミュレーションにより算出 (合計 233, 400 回の試行) している。なお、シミュレーションにあたり、Ku 帯非静止衛星通信システム宇宙局から送信される各ビームの不要発射 EIRP 値 (10.6-10.7GHz) を表 参 2-1 の通りとした。

表 参 2-1 宇宙局不要発射 EIRP 値(10.6-10.7GHz)

衛星ビーム	EIRP 値
1、5、9、13	-34.9 dBW/100MHz
2、6、10、14	-61.9 dBW/100MHz
3、7、11、15	-49.9 dBW/100MHz
4、8、12、16	-61.9 dBW/100MHz

上記不要発射 EIRP を満たすことで、図 参 2-1 に示す通りデータ損失が 1.93% となり勧告 RA. 1513 の許容値を満たす結果となった。

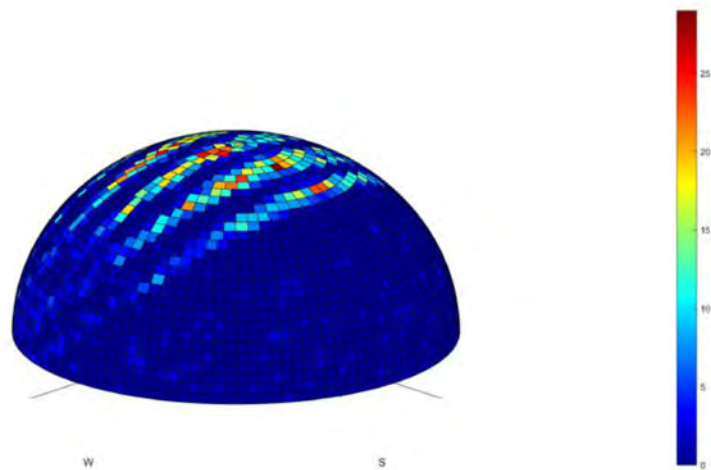


図 参 2-1 データ損失のシミュレーション結果

2. 2 電気通信業務(固定) (10.7-11.7GHz)

電気通信業務(固定)の送信 EIRP は情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告²より以下のように与えられる。

送信 EIRP (周波数帯幅 : 40MHz、60MHz)

$65-25\log\theta$ ($2.5\text{度}\leq\theta<48\text{度}$)

23dBm ($48\text{度}\leq\theta$)

² 情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告

「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち「基幹系無線システムの高度化等に係る技術的条件」

Ku 帯非静止衛星通信システム地球局の許容干渉レベルについては、ITU-R 勧告 SF. 1006-0 の Table 1 の長時間 (20%) -154dBW、短時間 (0.0025%) -143dBW とした。また ETSI EN 303 980 受信アンテナの軸外利得パターンより水平方向の受信アンテナ利得を-5dBi とした。

電気通信業務（固定）から Ku 帯非静止衛星通信システム地球局への一対一の干渉シナリオに基づく所要改善量は 184dB となり、ITU-R 勧告 P. 452-16 に基づく離隔距離はアンテナ高に応じて 30~70km となる。

2. 3 電気通信業務（移動）（10.7-11.7GHz）

電気通信業務（移動）のパラメータは過去の審議会報告で参照できるものがなかったため、表 参 2-2 以下の通りとした。

表 参 2-2 11GHz 帯 電気通信業務（移動）パラメータ

	送信パラメータ	引用元
周波数	10.7-11.7 GHz	
送信電力	28 dBm	事業者提供
送信帯域幅	40、60 MHz	
アンテナ径	30 - 90 cm	事業者提供
アンテナ高	5 -20 m	

Ku 帯非静止衛星通信システム地球局の干渉基準、及びアンテナ利得は 2. 2 節と同じ値を利用し、電気通信業務 移動局のアンテナ利得を-10dBi ($\theta=48^\circ$) とした。

電気通信業務（移動）から Ku 帯非静止衛星通信システム地球局への一対一の干渉シナリオに基づく所要改善量は 184dB となり、ITU-R 勧告 P. 452-16 に基づく離隔距離はアンテナ高に応じて 11~31km となる。

2. 4 公共・一般業務（固定）（12.2-12.5GHz）

公共・一般業務（固定）（12.2-12.5GHz）の送信 EIRP は情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告³より以下のように与えられる。

送信 EIRP（周波数帯幅：30MHz）

³ 情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告

「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち「基幹系無線システムの高度化等に係る技術的条件」

- 58-22.5log θ (2.5度 $\leq\theta<48$ 度)
- 20dBm (48度 $\leq\theta<90$ 度)
- 78.5-0.65 θ dBm (90度 $\leq\theta<110$ 度)
- 7dBm (110度 $\leq\theta$)

Ku 帯非静止衛星通信システム地球局の干渉基準、及びアンテナ利得は 2.2 節と同じ値を利用した。

公共・一般業務（固定）から Ku 帯非静止衛星通信システム地球局への一対一の干渉シナリオに基づく所要改善量は 178dB となり、ITU-R 勧告 P. 452-16 に基づく離隔距離はアンテナ高に応じて 20~65km となる。

2.5 電気通信業務（固定・移動）（14.4-15.25GHz）

2.5.1 Ku 帯非静止衛星通信システム地球局（陸上）から電気通信業務（固定）（14.4-15.25GHz）への干渉

電気通信業務（固定）（14.4-15.25GHz）のパラメータを表 参 2-3 に示す

表 参 2-3 15GHz 帯 電気通信業務（固定）パラメータ

	地点A	地点B	引用元
周波数	10.7-11.7 GHz		
アンテナ利得	54.8 - 5.248 θ dBi (0° $\leq\theta\leq$ 2.5°) 38 - 25log θ dBi (2.5° $\leq\theta\leq$ 45°) -10dBi (45° $\leq\theta$)		情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告 ⁴
アンテナ高	30 m		
アンテナ方位角	272°	210°	事業者提供
許容干渉レベル	I/N=-10dB(同一周波数)		ITU-R 勧告 F.758-6
干渉雑音	-136 dBW/MHz		ITU-R 勧告 F.758-6
長時間許容干渉電力	-146 dBW/MHz		

干渉計算手法は、地点 A、地点 B それぞれに 2 地点に被干渉局を 1 局配置し、周辺に与干渉局をメッシュ配置（250m×250m）し、各メッシュで同一周波数による干渉発生有無を判定した。なお、伝搬モデルは ITU-R 勧告 P. 452-16 に基づき、実際の地形による損失効果を加味している。結果を図 参 2-2~2-4 に示

⁴ 情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告

「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち「基幹系無線システムの高度化等に係る技術的条件」

す。

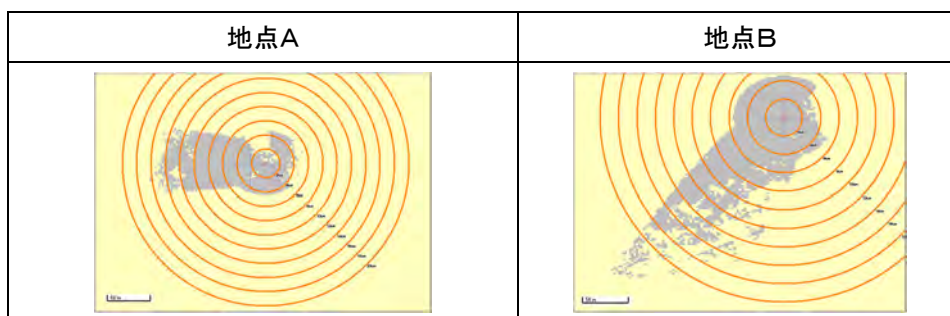


図 参 2-2 固定地球局の干渉エリア

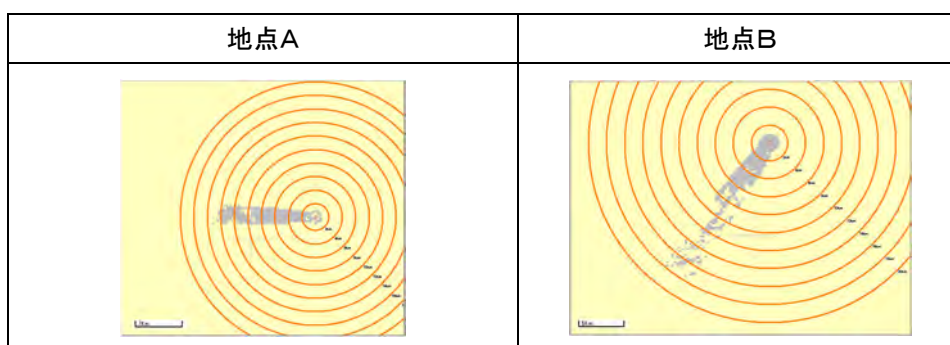


図 参 2-3 移動地球局（水平方向 EIRP -33dBW/40kHz）の干渉エリア

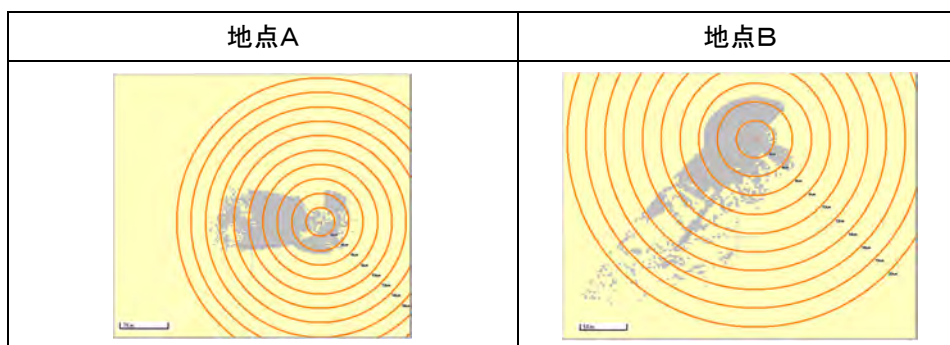


図 参 2-4 移動地球局（水平方向 EIRP -20dBW/40kHz）の干渉エリア

固定地球局で最大 17~25km、移動地球局で最大 16~25km の離隔距離が必要との結果となった。ただし、本離隔距離は電気通信業務（固定局）のメインローブ方向であり、サイドローブ方向については 6km 未満となっている。

2. 5. 2 Ku 帯非静止衛星通信システム地球局(陸上)から電気通信業務(移動) (14.4-15.25GHz) への干渉

電気通信業務(移動) (14.4-15.25GHz)のパラメータを表 参 2-4 に示す

表 参 2-4 15GHz 帯 電気通信業務(移動) パラメータ

	受信パラメータ	引用元
周波数	14.4-14.5 GHz	
送信帯域幅	40、60 MHz	
アンテナ径	30 - 90 cm	事業者提供
アンテナパターン	ITU-R 勧告 F.699-7 recommends 2.1.1	
アンテナ高	5 -20 m	
許容干渉レベル	I/N=-10dB(同一周波数)	ITU-R 勧告 F.758-6
干渉雑音	-136 dBW/MHz	ITU-R 勧告 F.758-6
長時間許容干渉電力	-146 dBW/MHz	

干渉計算は一對一の干渉シナリオにより所要改善量を算出し、ITU-R 勧告 P. 452-16 に基づき離隔距離を算出した。

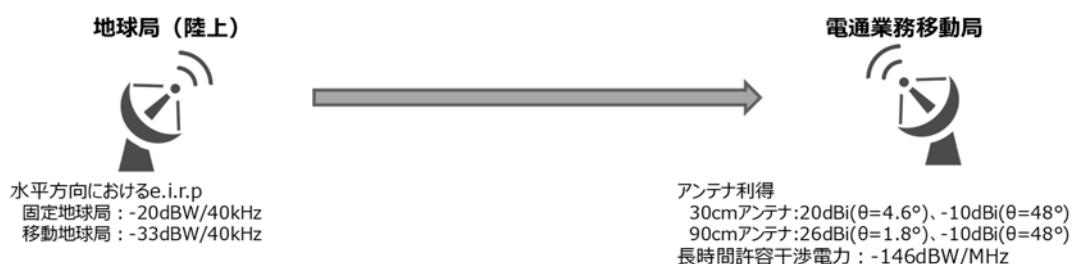


図 参 2-5 干渉シナリオ

表 参 2-5 干渉計算結果

地球局(陸上)	電通業務移動局	所要改善量	離隔距離
固定地球局	アンテナ径:30cm	160dB($\theta=4.6^\circ$)	32km($\theta=4.6^\circ$)
地上高:20m	地上高:5m	130dB($\theta=48^\circ$)	5km($\theta=48^\circ$)
固定地球局	アンテナ径:30cm	160dB($\theta=4.6^\circ$)	42km($\theta=4.6^\circ$)
地上高:20m	地上高:20m	130dB($\theta=48^\circ$)	5km($\theta=48^\circ$)
固定地球局	アンテナ径:90cm	166dB($\theta=1.8^\circ$)	38km($\theta=1.8^\circ$)
地上高:20m	地上高:5m	130dB($\theta=48^\circ$)	5km($\theta=48^\circ$)
固定地球局	アンテナ径:90cm	166dB($\theta=1.8^\circ$)	45km($\theta=1.8^\circ$)
地上高:20m	地上高:20m	130dB($\theta=48^\circ$)	5km($\theta=48^\circ$)
移動地球局	アンテナ径:30cm	147dB($\theta=4.6^\circ$)	19km($\theta=4.6^\circ$)
地上高:5m	地上高:5m	117dB($\theta=48^\circ$)	1km 未満($\theta=48^\circ$)

移動地球局 地上高:5m	アンテナ径:30cm 地上高:20m	147dB($\theta=4.6^\circ$) 117dB($\theta=48^\circ$)	31km($\theta=4.6^\circ$) 1km未満($\theta=48^\circ$)
移動地球局 地上高:5m	アンテナ径:90cm 地上高:5m	153dB($\theta=1.8^\circ$) 117dB($\theta=48^\circ$)	26km($\theta=1.8^\circ$) 1km未満($\theta=48^\circ$)
移動地球局 地上高:5m	アンテナ径:90cm 地上高:20m	153dB($\theta=1.8^\circ$) 117dB($\theta=48^\circ$)	39km($\theta=1.8^\circ$) 1km($\theta=48^\circ$)

2. 5. 3 Ku 帯非静止衛星通信システム地球局(航空機)から電気通信業務(固定) (14.4-15.25GHz) への干渉 (ECC Report 271 における検討結果)

干渉検討手法は、実際の航空路上に複数の航空地球局を配置し、各航空地球局(同一周波数にて同時送信)からの干渉波に基づく I/N と時間率をシミュレーションにより算出した。

- 航空地球局の高度は 1,000~11,000m で変化
- 同一周波数を同時に送信する航空地球局数は、北緯 45° で同時に可視となる衛星数 (6 機) と全体トラヒックの 10% が航空地球移動局を利用する前提に更にマージンを踏まえ 6 局と想定 (北緯 0° では同時可視衛星数は 3 機)
- 固定局の保護基準は ECC Report 026 に基づき、I/N=-20dB(時間率 20%)
- 上記の条件に基づき、干渉が発生しない(固定局の保護基準を遵守する) PFD マスクを設定

シミュレーションの結果、以下の地表面における PFD マスクを満たすことで、固定局の保護が可能となった。

表 参 2-6 固定局保護のための Ku 帯非静止衛星通信システム地球局 (航空機) の PFD マスク

水平方向を基準とした電波の到来角(θ)	PFD (dBW/m ² ·Hz)
$\theta \leq 5^\circ$	-122
$5^\circ < \theta \leq 40^\circ$	-127+ θ
$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$	-87

2. 5. 4 Ku 帯非静止衛星通信システム地球局(船舶)から電気通信業務(固定) (14.4-15.25GHz) への干渉 (ECC Report 271 における検討結果)

干渉検討手法は、複数の海上地球局が同一周波数で同時送信した場合の離隔距離を算出 (勧告 SF. 1650 の検討手法を踏襲) した。

- 帯域幅を 2MHz として 2 波分、即ち-13dBW/4MHz を海上地球局 1 台当たりの与干渉 EIRP と設定
- 海上地球局数は勧告 SF. 1650 に基づき 3 台と 6 台の場合を検討
- 固定局の保護基準は、許容干渉電力：-109dBW（勧告 SF. 1650）、時間率：0.00027%/0.0119%
- 上記の条件に基づき、固定局の保護基準を遵守するために必要な離隔距離を ITU-R 勧告 P. 452-16 の海上プロファイルを利用して計算

計算結果を表 参 2-7 に示す。

表 参 2-7 所要離隔距離

	49 dBi FS with ps=0.00027%	49 dBi FS with ps=0.0119%	37 dBi FS with ps=0.00027%	37 dBi FS with ps=0.0119%
3 vessels per day	13.4 km	8.7 km	4.6 km	3.7 km
6 vessels per day	14.6 km	9.2 km	4.9 km	3.9 km

以上の結果から、海岸から 15 km以上内陸に設置されている場合、離隔距離は不要と結論を得ている。

2. 5. 5 電気通信業務(固定・移動) (14. 4-15. 25GHz) から宇宙局への干渉
宇宙局の干渉基準は無線通信規則 無線通信規則 付録第 5 号 表 5-1 に基づき、 $\Delta T/T$ が 6%を超えないこととした。

電気通信業務(固定・移動) 1 台当たりの増加雑音温度 ΔT は以下の通り求めることができる。

$$\Delta T=10^{I/10}/kB$$

- I =干渉電力：電気通信業務送信 EIRP(固定局 23dBm、移動局 14dBm)-自由空間伝搬損失(高度 1, 200km@14. 4GHz=177. 2dB)+宇宙局アンテナ利得(30. 6dBi)-偏波損失(1. 7dB⁵)=-155. 3dBW(固定局)、-164. 3dBW(移動局)
- k =ボルツマン定数(1. 38⁻²³ W/K/Hz)
- B =送信帯域幅(60MHz)

宇宙局の雑音温度を ITU-R ファイリングより 600K とすると、1 台あたりの干渉雑音増加率はそれぞれ固定局で 0. 06%、移動局で 0. 01%となる。

⁵ ITU-R 勧告 F.1245

ここで、平成 30 年度の電波の利用状況調査の結果より全国の固定局数、移動局数をそれぞれ 1,798 局、72 局であるが、これらの無線局が 14.4~15.25GHz 帯に均等に周波数を利用していると仮定し、周波数の重複割合 (100MHz/850MHz)、Ku 帯非静止衛星通信システムの上り周波数繰り返し回数 4 (1 ビーム当たり 125MHz 幅を割当、16 ビーム中 4 ビームが 14.4~14.5GHz を利用) を勘案すると、宇宙局受信と同一周波数を送信する固定局は 52.9 台 (固定局)、2.1 台 (移動局) と算定できる。

以上を踏まえた干渉雑音増加率は 3.14% (固定局)、0.02% (移動局) となり、無線通信規則 付録第 5 号の 6% を下回ることから共用は可能と考えられる。

2. 6 地球探査衛星衛星業務 (受動)

2. 6. 1 地球探査衛星衛星業務 (受動) (10.6~10.7GHz)

ECC Report 271 において、OneWeb 宇宙局 (10.7~12.75GHz) から地球探査衛星業務 (受動) (10.6~10.7GHz) への干渉検討を行っている。

ECC Report 271 では、衛星の不要発射 EIRP を -34.9dBW/100MHz とし、以下の二つの干渉について、最悪ケースを想定の上、ITU-R 勧告 RS.2017 に定められている干渉許容値を遵守できるかどうかを検証している。

(ア) OneWeb が地球探査衛星業務 (受動) 用の衛星の真上に来た場合の地球探査衛星業務 (受動) 用のセンサへのバックローブによる干渉

(イ) 地球探査衛星業務 (受動) 用のセンサのメインビーム方向に入る OneWeb の発射電波の海面での反射波による干渉

その結果、上記の(ア)及び(イ)のいずれの干渉についても、地球探査衛星業務 (受動) の干渉許容値と比較すると、大きなマージンがあることから、電波天文を保護するための不要発射 EIRP のうちの最大値となる -34.9dBW/100MHz を満たしていれば、地球探査衛星業務 (受動) の保護が可能であるとの結論が得られている。

2. 6. 2 地球探査衛星衛星業務 (受動) (18.6~18.8GHz)

18.6~18.8GHz に関しては、地球探査衛星業務 (受動) とともに、固定業務、固定衛星業務及び移動業務 (航空移動業務を除く。) にも一次分配がなされているため、10.68~10.7GHz の場合とは異なり、地球探査衛星業務 (受動) は、この帯域においては、他の能動業務からの電波発射をすでに受け入れていることとなる。

また、18.6~18.8GHz においては、同一帯域に分配されている固定衛星業務から地球探査衛星業務 (受動) を保護するため、無線通信規則 21.16.2 により、この帯域で運用されている固定衛星業務用の衛星に対して、200MHz 当たり、地

表面での PFD 値が -95 dBW/m^2 を超えないように規定がなされている。

このような状況を踏まえ、ECC では、周波数の分配がある 17.7-18.6GHz 及び 18.8-19.3GHz において固定衛星業務を行う非静止衛星と、隣接帯域である 18.6-18.8GHz で運用されている地球探査衛星業務（受動）との間での干渉検討については、必要がないものとして、行っていない。

また、Ku 帯非静止衛星通信システムは、軌道高度が 1,200km であることを踏まえ、上記の PFD 制限値を衛星からの EIRP に換算すると $37.6 \text{ dBW}/200 \text{ MHz}$ となる。一方で、Ku 帯非静止衛星通信システムの EIRP は $8 \text{ dBW}/\text{MHz}$ ⁶であるため、これを 200MHz に換算した場合には $31 \text{ dBW}/200 \text{ MHz}$ となるが、この値は、上記の PFD 制限値から換算した EIRP よりも低いものとなっている。さらに、Ku 帯非静止衛星通信システムは、18.6-18.8GHz の地球探査衛星業務（受動）と同一帯域ではなく、隣接帯域を利用することを考慮すると、Ku 帯非静止衛星通信システムから地球探査衛星業務（受動）には影響がないものと考えられる。

⁶ ONEWEB NON-GEOSTATIONARY SATELLITE SYSTEM, ATTACHMENT A, Technical Information to Supplement Schedule S <https://licensing.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=1134939>