

小型衛星コンステレーションによる衛星通信システム (Ku帯非静止衛星通信システム) の検討状況について

2020年 4月27 日



Space Exploration Technologies / TIBRO Japan GK
In cooperation with KDDI

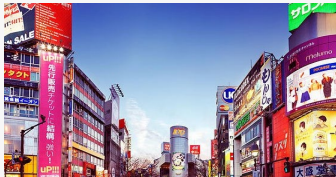
システム概要・サービスイメージ

当該非静止衛星通信システムの概要

システム概要		内容
衛星総数		4,409機
軌道高度		1584衛星@550km / 2825衛星@1110-1325km
打ち上げ開始		2019年5月24日
サービス開始		2020年（日本含む）
利用周波数	サービスリンク（Ku）	10.7-12.7GHz（宇宙から地球） 14.0-14.5GHz（地球から宇宙）
	フィーダーリンク（Ka）	17.8-18.6 / 18.8-19.3 GHz（宇宙から地球） 27.5-29.1 / 29.5-30.0 GHz（地球から宇宙）
サービスリンクビーム幅		ビーム幅2.6度 半径573～900kmの可変カバレッジ
地上設備	GW/SNP/POP	連続したカバレッジを提供するため全世界（日本含む）へ展開
	TT&C	世界的に展開予定（ただし、現時点で日本に設置する計画はなし）
	SOC	世界的に展開予定（ただし、現時点で日本に設置する計画はなし）
	GNOC	世界的に展開予定（ただし、現時点で日本に設置する計画はなし）



想定サービス

	コンシューマー利用 (優先事項)	法人・官公庁	衛星バックホール	その他
想定サービス例				   
概要	衛星通信による固定ブロードバンドサービスを、コンシューマー向けに提供（優先事項）。特に山間部・離島など僻地において、地上網を確保できない場所へ衛星通信を提供。	災害等で地上通信網が不通となった場合に、データ提供のバックアップとして提供。山間部・離島など僻地において、地上網を確保できない場所へ衛星通信を提供。	携帯電話不感地帯において、携帯電話基地局のバックホールとして衛星通信を提供。 (カバレッジ拡大)	
想定ユーザー	コンシューマー	法人・官公庁等	携帯電話事業者	
想定ロケーション	自宅等	都市部・山間部・離島	山間部・離島等	航空、海上、陸上、IoTバックホール、遠隔地利用等も想定
アンテナタイプ	フラットパネルアンテナ	フラットパネルアンテナ	フラットパネルアンテナ	

ユーザー端末例

アンテナタイプ	想定サービス	G/T	サイズ (cm)	スループット	追尾方式
フラットパネルアンテナ	コンシューマー利用 法人・官公庁 携帯バックホール IoTバックホール 海上利用 遠隔地利用	9dB/K	55 (直径)	350Mbps DL 130Mbps UL	電気式 (フェーズド アレー)

国際標準化・制度化状況

周波数の国際分配状況(10.7~12.75GHz)

第一地域			国際分配 第二地域		第三地域		日本	
10.7-10.95 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.441 固定衛星(↑) 5.484 移動(航空移動を除く)		10.7-10.95 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.441 移動(航空移動を除く)		10.7-11.7 GHz	固定 固定衛星(↓) 移動(航空移動を除く)	
10.95-11.2 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.484A/5.484B 固定衛星(↑) 5.484 移動(航空移動を除く)		10.95-11.2 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.584A/5.484B 移動(航空移動を除く)				
11.2-11.45 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.441 固定衛星(↑) 5.484 移動(航空移動を除く)		11.2-11.45 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.441 移動(航空移動を除く)				
11.45-11.7 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.484A/5.484B 固定衛星(↑) 5.484 移動(航空移動を除く)		11.45-11.7 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.484A/5.484B 移動(航空移動を除く)				
11.7-12.5 GHz	固定 放送 放送衛星 5.492 移動(航空移動を除く) 5.487/5.487A	5.492	11.7-12.1 GHz	固定 5.486 固定衛星(↓) 5.484A/5.484B 5.488 移動(航空移動を除く) 5.485	11.7-12.2 GHz	固定 移動(航空移動を除く) 放送 放送衛星 5.492 5.487/5.487A	11.7-12.2 GHz	放送 放送衛星
			12.1-12.2 GHz	固定衛星(↓) 5.484A/5.484B 5.488 5.485/5.489				
			12.2-12.7 GHz	固定 移動(航空移動を除く) 放送 放送衛星 5.492 5.487A/5.488/5.490		12.2-12.5 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.484B 移動(航空移動を除く) 放送 5.484A/5.487	12.2-12.5 GHz
12.5-12.75 GHz	固定衛星(↓) 5.484A/5.484B 固定衛星(↑) 5.494/5.495 5.496				12.5-12.75 GHz	固定 固定衛星(↓) 5.484A/5.484B 移動(航空移動を除く) 放送衛星 5.493	12.5-12.7 GHz	固定衛星(↓) 移動衛星(↓) 放送衛星

関連する国際分配表の脚注（10.7~12.75GHz）

7

脚注番号	内容	備考
5.487	第一地域及び第三地域では、11.7-12.5GHzの周波数帯においては、それぞれの分配における固定業務、固定衛星業務、移動業務（航空移動を除く。）及び放送業務は、無線通信規則付録第30号の第一地域及び第三地域の計画に従って運用する放送衛星局に対して有害な混信を生じさせてはならない。また、それらの局からの保護を求めてはならない。	BSSの保護
5.487A	付加分配：第一地域では11.7-12.5GHz、第二地域では12.2-12.7GHz及び第三地域では11.7-12.2GHzの周波数帯は、非静止衛星システムに限り、一次的基礎で固定衛星業務（宇宙から地球）にも分配し、固定衛星業務の他の非静止衛星システムとの調整のため、無線通信規則第9.12号の規定に従うことを条件とする。固定衛星業務の非静止衛星システムは、それが適当な場合には固定衛星業務の非静止衛星システムのための完全な調整情報又は通告情報、また、それが適当な場合には静止衛星通信網のための完全な調整情報又は通告情報の無線通信局による受領の日にかかわらず、無線通信規則に従って運用する放送衛星業務の静止衛星網からの保護を求めてはならず、かつ、無線通信規則第5.43A号の規定は適用しない。この周波数帯における固定衛星業務の非静止衛星システムは、その運用中に生ずる可能性がある許容できないいかなる混信をも迅速に除去できるような方法で運用されなければならない。	BSSの静止衛星の保護



周波数の国際分配状況(14～14.5GHz)

第一地域				国際分配 第二地域		第三地域		日本	
14-14.25 GHz	固定衛星(↑) 無線航行 移動衛星(↑) 宇宙研究			5.457A/5.457B/5.484A/5.484B/5.506/5.506B 5.504 5.504B/5.504C/5.506A 5.504A/5.505			14-14.4 GHz	固定衛星(↑) 移動衛星(↑)	
14.25-14.3 GHz	固定衛星(↑) 無線航行 移動衛星(↑) 宇宙研究			5.457A/5.457B/5.484A/5.484/5.506/5.506B 5.504 5.504B/5.506A/5.508A 5.504A/5.505/5.508					
14.3-14.4 GHz	固定 固定衛星(↑) 移動(航空移動を除く) 移動衛星(↑) 無線航行衛星	5.457A/5.457B 5.484A/5.484B 5.506/5.606B 5.504B/5.506A 5.509A 5.504A	14.3-14.4 GHz	固定衛星(↑) 移動衛星(↑) 無線航行衛星	5.457A/5.484A 5.484B/5.506 5.506B 5.506A 5.504A	14.3-14.4 GHz			固定衛星(↑) 移動(航空移動を除く) 移動衛星(↑) 無線航行衛星
14.4-14.47 GHz	固定 固定衛星(↑) 移動(航空移動を除く) 移動衛星(↑) 宇宙研究(↓)			5.457A/5.457B/5.484A/5.484B/5.506/5.506B 5.504B/5.506A/5.509A 5.504A			14.4-14.47 GHz	固定 固定衛星(↑) 移動(航空移動を除く) 移動衛星(↑)	
14.47-14.5 GHz	固定 固定衛星(↑) 移動(航空移動を除く) 移動衛星(↑) 電波天文			5.457A/5.457B/5.484A/5.484B/5.506/5.506B 5.504B/5.506A/5.509A 5.149/5.504A			14.47-14.5 GHz	固定 固定衛星(↑) 移動(航空移動を除く) 移動衛星(↑) 電波天文	

海外の標準化・制度化検討状況

9

■ 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

標準団体	文書番号	内容
ETSI	EN 303 981	2020年5月発行予定
	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	https://www.ecodocdb.dk/download/89ca1a89-b33c/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



ETSI European Standard EN 303 981

10

■ 概要

- 非静止衛星と通信を行うKu帯地球局（固定／移動）に関する技術標準。
- 2020年5月発行予定

仕様が定められている項目	該当条項	概要
EIRP密度マスク	4.1.7	アンテナ製造業者は、RR 22条に規定されたepfd（↑）制限を遵守するために、ITU-R 勧告S.1503-2において規定されたシミュレーションを実行するためのEIRP密度マスク値の公表義務。アンテナ製造業者は最大EIRP密度となる運用モードの公表と、WBES(Wide Band Earth Station)のための試験モードの提供義務
アンテナのビーム・ポインティング	4.2.2	最大アンテナビームポインティングエラーの公表義務
軸外スプリアス放射	4.2.3	軸外の不要発射EIRP密度の上限値を規定
軸上スプリアス放射	4.2.4	軸上の不要発射EIRP密度の上限値を規定
搬送波抑圧	4.2.5	故障時、電波発射停止が必要な条件下において、NCF（Network Control Facility）によりWBESの搬送波抑圧を規定
電波発射停止	4.2.6	WBESの電波発射が許可されない場合は、電波発射を停止する義務
WBESのIDと位置	4.2.7	WBES個別のID（固定もしくは移動）を識別する機能を具備する義務
制御・監視機能（CMFs）	4.2.8	WBESを適切に制御・監視するための機能を具備する義務
受信アンテナのoff-axis利得パターン	4.2.9	所望信号に対する地上業務、他衛星サービスからの干渉保護のためのアンテナ利得パターンの規定
ブロッキング性能	4.2.10	帯域内干渉を防ぐためのブロッキング性能を規定
隣接信号選択性	4.2.11	所望信号に対する隣接周波数を用いる他衛星からの送信EIRP密度を規定



■ 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. $\text{eirp} \leq 60\text{dBW}$ (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:

	GHz	共用周波数帯	隣接周波数帯
ダウンリンク	10.7-12.75		・ 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	・ 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、RRArticle22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

ECC Report 271②

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	- 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ンネル(10.7~10.95GHz)の発射停止
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	- FS周辺に“保護ゾーン”設定。FSSの同一チャンネル送信を規制。 - 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）		- FS周辺に“保護ゾーン”設定。FSSの同一チャンネル送信を規制（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	- 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%or4.5%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/(m²・MHz)) $5^\circ < \theta \leq 40^\circ$: -127+θdB(W/(m²・MHz)) $40^\circ < \theta \leq 90^\circ$: -87dB(W/(m²・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。
 - a. センターからの制御、EN 303980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）
 - b. $e_{irp} \leq 54.5\text{dBW}$ （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

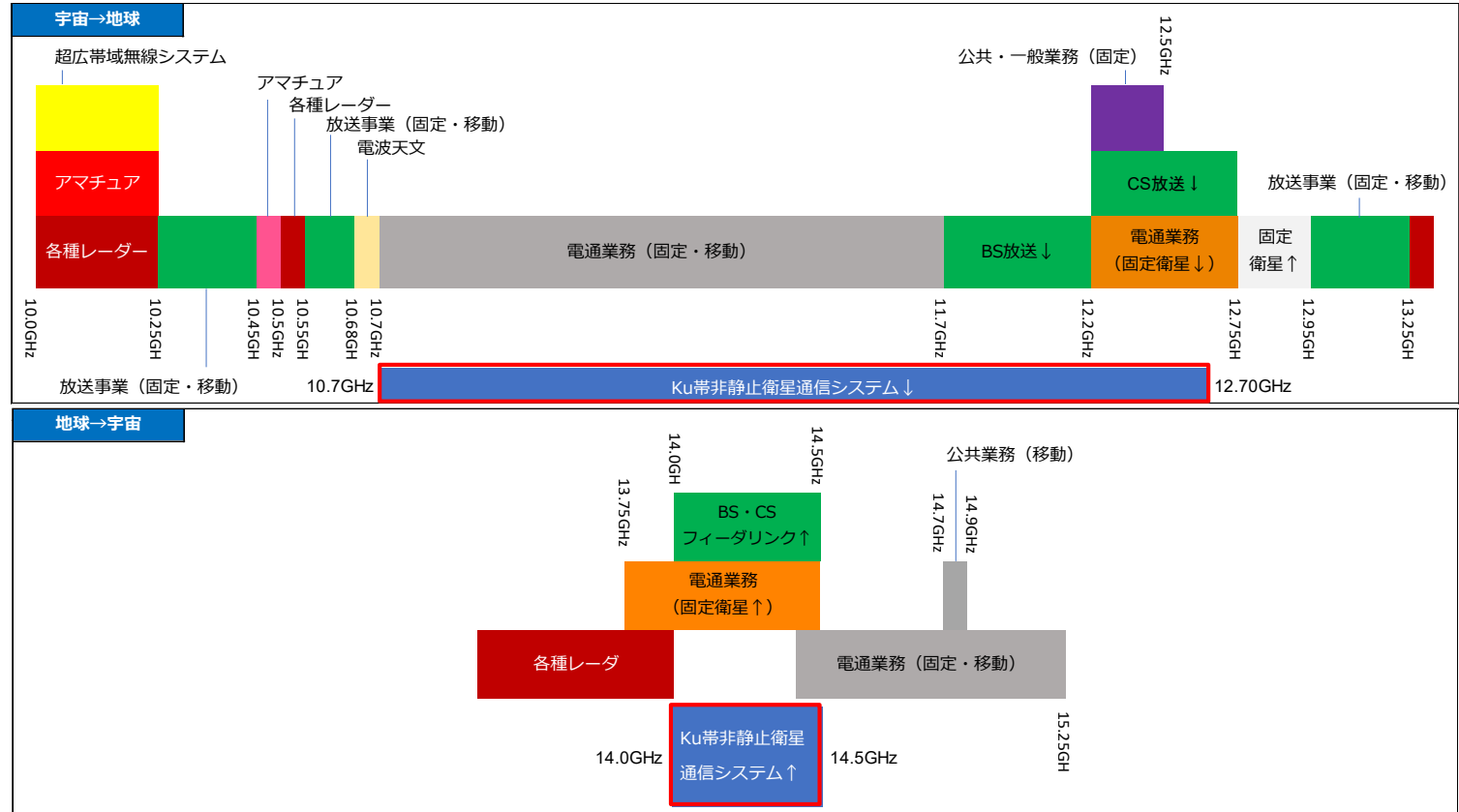
※固定地球局のDecisionと違い、飛行場周辺の調整に関する規定は無し。

【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 $e_{irp} \leq 54.5\text{dBW}$ 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 $e_{irp} 34\text{dBW}$ のため追加制約なし。

国内既存システムとの共用検討について

Ku帯サービスリンク

サービスリンク利用帯域と国内既存システム



共用検討の進め方（Ku帯）

■ 共用検討シナリオ

DL/UL	シナリオ	与干渉	被干渉
ダウンリンク	a	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
	b	電通業務（固定・移動）10.7-11.7GHz	非静止衛星通信システム 地球局 10.7-12.7GHz
	c	公共・一般業務（固定）12.2-12.5GHz	非静止衛星通信システム 地球局 10.7-12.7GHz
アップリンク	d	非静止衛星通信システム 地球局 14.0-14.5GHz	電通業務（固定・移動）14.4-15.25GHz
	e	電通業務（固定・移動）14.4-15.25GHz	非静止衛星通信システム 宇宙局 14.0-14.5GHz

- 静止衛星通信システムとの共用は、欧州での検討と同様にRR Article 22条遵守により満たされるため、個別の検討は不要。但し、個別の衛星通信システムとの運用調整は実施。
- 非静止衛星通信システムとの共用は、RR 9.12条により調整。
- 宇宙局から地上局へ干渉（宇宙局→電通業務（固定・移動）10.7-11.7GHz、公共・一般業務（固定）12.2-12.5GHzについても欧州での検討ではRR Article 21条遵守により保護されると結論。
- 14.47-14.5GHzを用いる電波天文は国内に存在しないことから、個別の検討は不要。

■ 共用検討手法

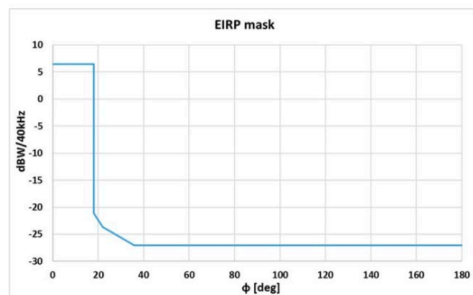
- 地球局のパラメータは**次頁**のものを利用し、当該レポートの検討手法、技術試験事務、その他海外等の検討内容を踏まえ、上記シナリオにおける個別共用検討を実施。

地球局パラメータ（Ku帯）

19

地球局パラメータ	コンシューマ向け地球局 Starlink system
周波数	14.0-14.5 GHz
最大EIRP	38.2 dBW *
CH幅（ABW）	62.5 MHz
帯域幅（OBW）	60 MHz
アンテナ径	0.48 m
アンテナ最小仰角	25 °
送信アンテナビーム幅	2.8 °
最大送信空中線利得	34.6 dBi *
送信給電線損失	N/A（Phased Array）
最大送信電力（アンテナ入力点）	6.08 dBW *
水平方向におけるEIRP（アンテナ最小仰角の場合）	-27.3 dBW/40 kHz

地球局EIRPマスク
フェーズドアレーアンテナ



*NOTE

フェーズドアレーアンテナの天頂方向が送信空中線利得が最大となるが、EIRPは衛星が天頂方向以外に存在する場合に最大となる。そのため、最大EIRP=最大送信空中線利得+最大送信電力とはならない。

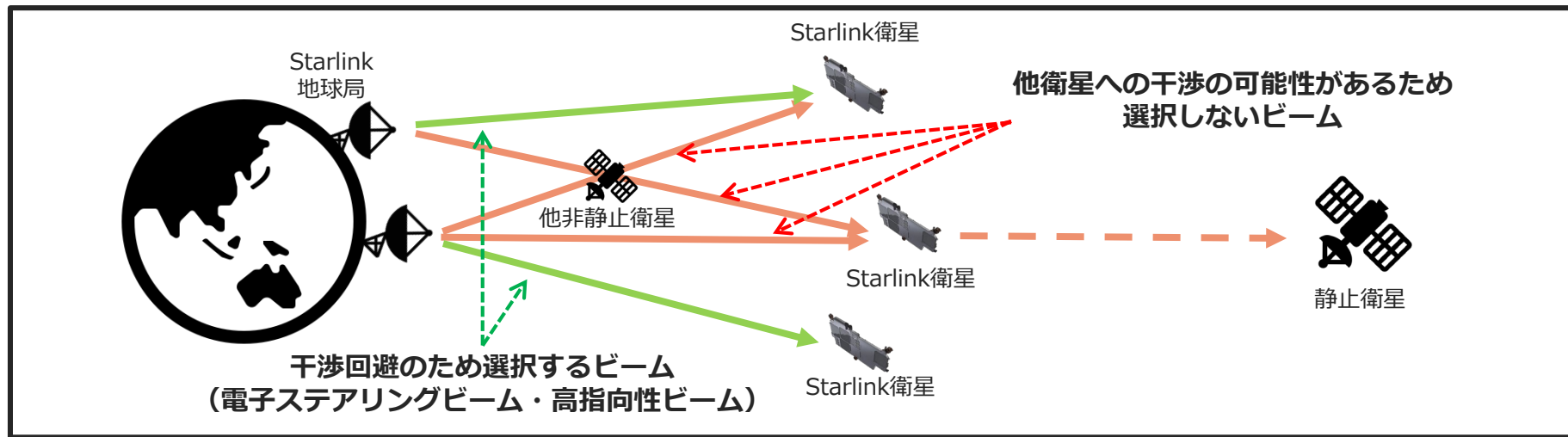


各シナリオの共用検討手法（Ku帯）

シナリオ	与干渉	被干渉	検討手法
A	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	ECC Report271の検討結果へ包含可能と分析
B	電通業務（固定・移動） 10.7-11.7GHz	非静止衛星通信システム 地球局 10.7-12.7GHz	- 欧州検討結果：固定局の干渉から保護を要求しない - その他海外における地球局被干渉の検討事例や、過去の非静止衛星通信システムに関する国内検討内容を調査の上、必要に応じて個別検討を実施
C	公共・一般業務（固定） 12.2-12.5GHz	非静止衛星通信システム 地球局 10.7-12.7GHz	
D	非静止衛星通信システム 地球局 14.0-14.5GHz	電通業務(固定・移動) 14.4-15.25GHz	- 地球局パラメータ、及び地形や建物による損失効果を考慮した所要離隔距離を算出 - 実際の固定局設置場所の例として、国内2拠点における地形・建物による損失効果を計算 - ECC Report271の検討結果へ包含可能か分析
E	電通業務(固定・移動) 14.4-15.25GHz	非静止衛星通信システム 宇宙局 14.0-14.5GHz	- 欧州では検討なし - その他海外における宇宙局被干渉の検討事例等や、過去の非静止衛星通信システムに関する国内検討内容を調査の上、必要に応じて個別検討を実施

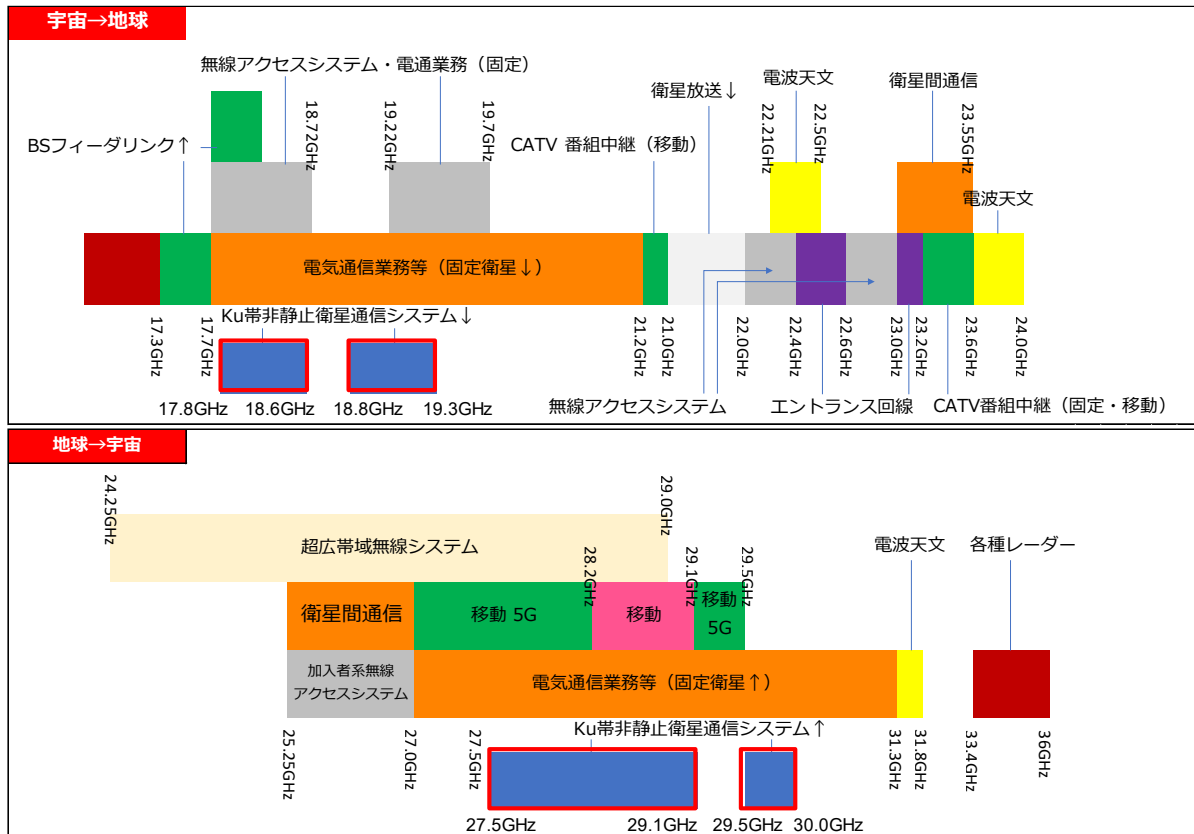
干渉回避手法（静止衛星及び他非静止衛星向け）

- Starlinkシステムでは、以下の機能により静止衛星及び他非静止衛星との干渉を回避可能。
 - 電子ステアリングビーム
 - 強いサイドローブ低減が可能な高指向性ビーム
 - 周波数再利用
- 軌道上に多くの衛星が存在するため、他衛星への干渉が発生しないビームを選択可能。



Ka帯サービスリンク

サービスリンク利用帯域と国内既存システム



共用検討の進め方（Ka帯）

■ 共用検討シナリオ

DL/UL	シナリオ	与干渉	被干渉
ダウンリンク	A	非静止衛星通信システム 宇宙局 17.8-18.6/18.8-19.3GHz	無線アクセスシステム 17.7-18.72/19.22-19.7GHz
	B	無線アクセスシステム 17.7-18.72/19.22-19.7GHz	非静止衛星通信システム 地球局 17.8-18.6/18.8-19.3GHz
アップリンク	C	非静止衛星通信システム地球局 27.5-29.1/29.5-30GHz	携帯（5Gシステム） 27.0-29.5GHz
	D	携帯（5Gシステム） 27.0-29.5GHz	非静止衛星通信システム 宇宙局 27.5-29.1/29.5-30GHz

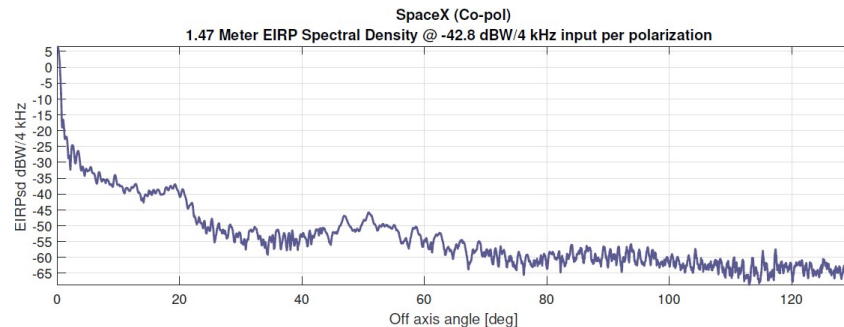
- 静止衛星通信システムとの共用は、欧州での検討と同様にRR Article 22条遵守により満たされるため、個別の検討は不要。
- 上記の共用シナリオの具体的な検討については、フィードリンク地球局の免許申請者により、適切に行われるものと想定。

地球局パラメータ（Ka帯）

25

地球局パラメータ	Starlink GW地球局
周波数	27.5-29.1/29.5-30GHz
最大EIRP	66.5dBW
CH幅（ABW）	500MHz
帯域幅（OBW）	480MHz
アンテナ径	1.47m
アンテナ最小仰角	25°
送信アンテナビーム幅	0.5°
送信空中線利得	49.5dBi
送信給電線損失	0dB
送信電力（アンテナ入力点）	16.98dBW
水平方向におけるEIRP （アンテナ最小仰角の場合）	-32.8 dBW/40kHz

地球局EIRPマスク
パラボラアンテナ



EOF