

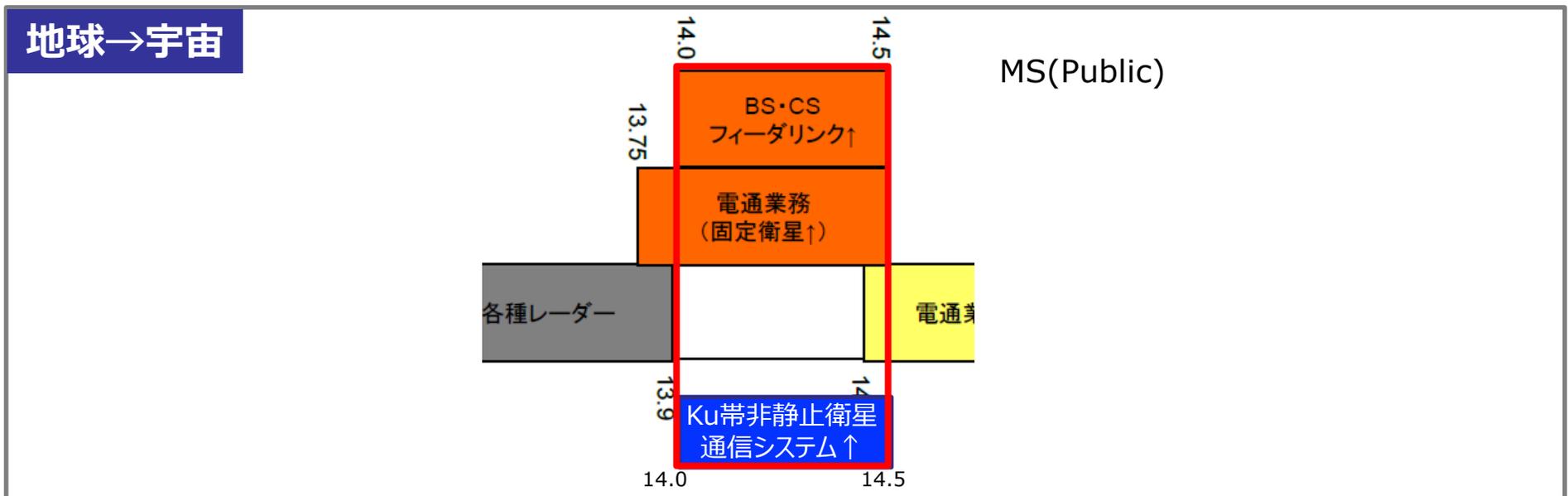
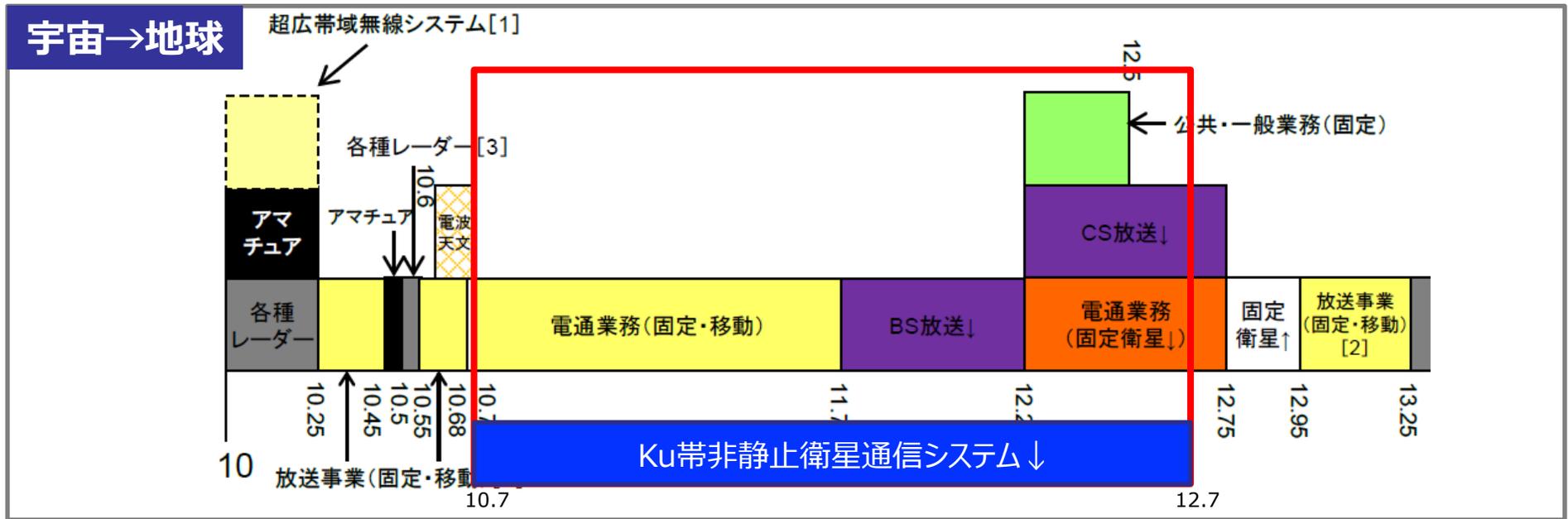
Ku帯非静止衛星通信システムと 国内既存システムとの共用検討について

2019年8月22日

ソフトバンク株式会社

 SoftBank

サービスリンク利用帯域と国内既存システム



各シナリオの共用検討手法

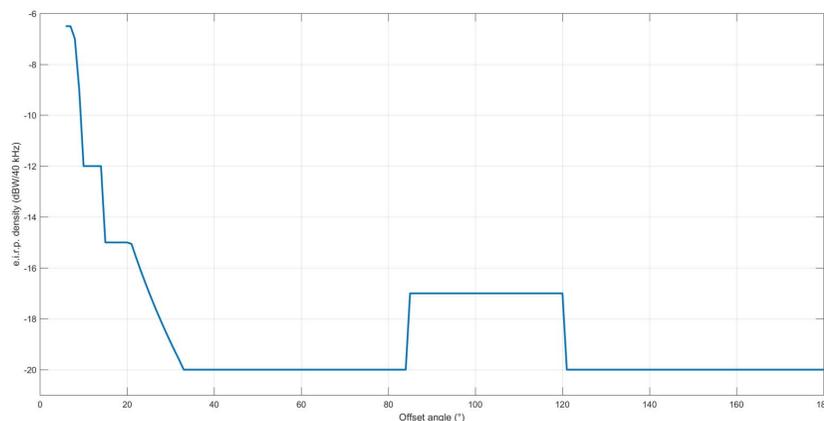
シナリオ	与干渉	被干渉	検討手法
a (技術試験事務:1)	宇宙局 10.7-12.7GHz	電波天文 10.6-10.7GHz	● ECC Report 271の検討結果へ包含可能か分析
b (技術試験事務:4)	電通業務(固定・移動) 10.7-11.7GHz	地球局 10.7-12.7GHz	● 欧州検討結果：固定局の干渉から保護を要求しない ● その他海外における地球局被干渉の検討事例等を調査の上、必要に応じて個別検討を実施
c (技術試験事務:5)	公共・一般業務(固定) 12.2-12.5GHz	地球局 10.7-12.7GHz	
d (技術試験事務:7)	地球局 14.0-14.5GHz	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
e (技術試験事務:10)	電通業務(固定・移動) 14.4-15.25GHz	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を調査の上、必要に応じて個別検討を実施

地球局パラメータ ECC Report 271より抜粋

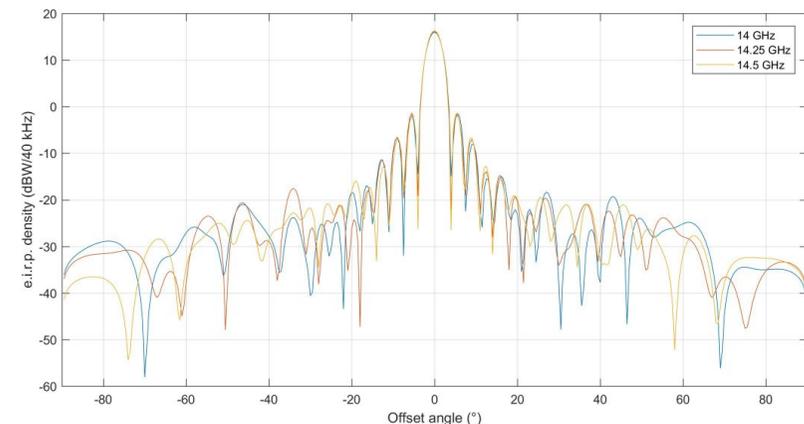
地球局パラメータ

	コンシューマ向け地球局	エンタープライズ向け地球局
周波数	14.0 - 14.5 GHz	14.0 - 14.5 GHz
最大EIRP	34 dBW	34 dBW
CH幅 (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	1 dB
送信電力(アンテナ入力点)	0 dB	-6 dB
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

地球局EIRPマスク



固定局（パラボラアンテナ）



移動局（フェーズドアレイアンテナ）

ECC Report 271 検討結果

■電波天文パラメータ

- 干渉基準：ITU-R勧告RA.769 (pfd閾値=-241dBW/m²·Hz)、勧告RA.1513(許容データ損失2%以下)
- アンテナパターン：ITU-R勧告RA.1631 (最大利得=81dBi ※100m級アンテナ)

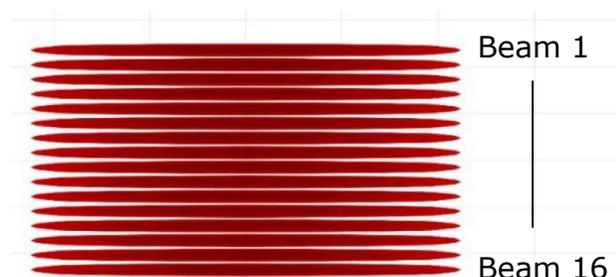
■干渉計算手法

- 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)。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)

■結果

- 以下の不要発射e.i.r.pを満たすことで、勧告RA.1513の基準である2%以下のデータ損失を達成

Satellite beams	e.i.r.p. in the RAS band (dBW/100 MHz)
Beams 1,5,9,13	-34.9
Beams 2,6,10,14	-61.9
Beams 3,7,11,15	-49.9
Beams 4,8,12,16	-61.9



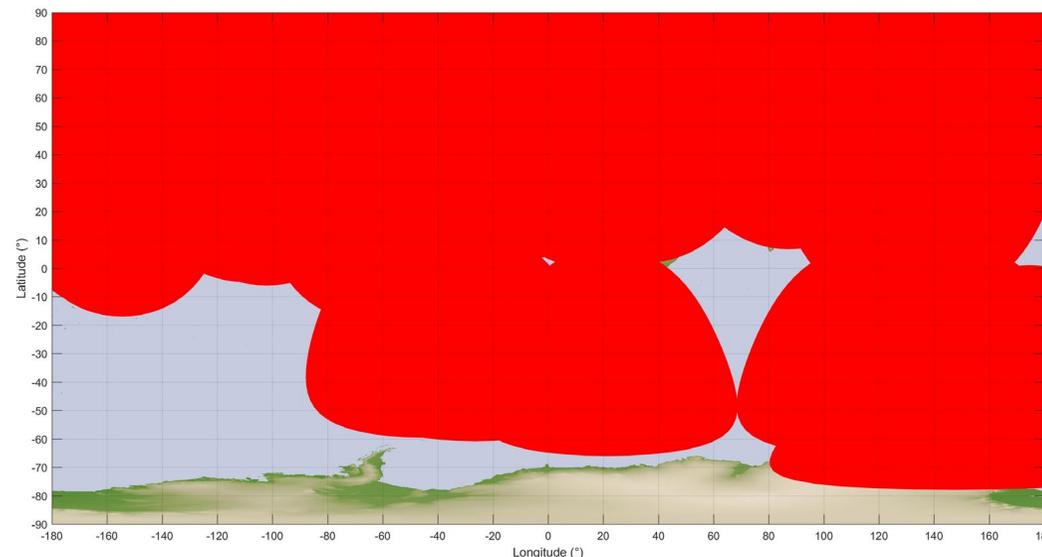
■国内の電波天文との共用は、以下よりECC Report 271の検討結果に包含することが可能と考える

1. 欧州の検討では、最大アンテナ利得の81dBi(100mアンテナ@Effelsberg ドイツ)を利用。国内の電波天文アンテナより厳しい条件（被干渉受信電力観点）で共用検討を実施
2. 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

→ 欧州の電波天文保護のための不要発射を満たすことで、国内の電波天文の保護は可能と考えられる

電波天文保護のための不要発射値

Satellite beams	e.i.r.p. in the RAS band (dBW/100 MHz)
Beams 1,5,9,13	-34.9
Beams 2,6,10,14	-61.9
Beams 3,7,11,15	-49.9
Beams 4,8,12,16	-61.9



電波天文の可視エリア (ECC Report 271)

- 上記の不要発射値は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実現可能
- 10.6-10.7GHzを利用する電波天文の可視エリアは、上図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、国内の電波天文も保護されると考えられる

シナリオb&c. 電通、公共・一般業務→Ku帯非静止衛星通信システム（地球局）

共用検討結果 衛星通信システム委員会作業班第15回 資料15-1「平成30年度結果報告（Ku/Ka帯周波数共用検討）」より

- 所要改善量は184dB（11GHz帯）、178dB（12GHz帯）
- ITU-R勧告P.452-16 による離隔距離は33km（11GHz帯）、26km（12GHz帯）

- 平成30年電波利用状況調査の結果から、以下の通り多くの既存局が存在することから、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（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）
 - 11GHz帯 電気通信業務固定局：3,297局
 - 12GHz帯 公共・一般業務固定局：1,307局
- 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、国内においても同様な運用が適当と考えられる
- また、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等を加味したKu帯非静止衛星通信システムの適切な周波数利用設計等の工夫により、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

シナリオd. Ku帯非静止衛星通信システム（陸上地球局）→電通業務 ①

シナリオ・パラメータ

■ 電通業務固定局パラメータ

	地点A	地点B	引用元
周波数	14.4-14.5 GHz		
アンテナ利得	54.8 - 5.248 θ^2 dBi ($0^\circ \leq \theta \leq 2.5^\circ$) 38 - 25log θ dBi ($2.5^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$) -10dBi ($45^\circ \leq \theta$)		H30年度技術試験事務
アンテナ高	30 m		ECC Report 271
アンテナ方位角	272 °	210 °	事業者様提供情報
許容干渉レベル	I/N=-10dB(共用CH)		ITU-R勧告F.758-6
雑音電力	-136 dBW/MHz		ITU-R勧告F.758-6
長時間許容干渉電力	-146 dBW/MHz		

■ 干渉モデル(1対1のメッシュ配置)

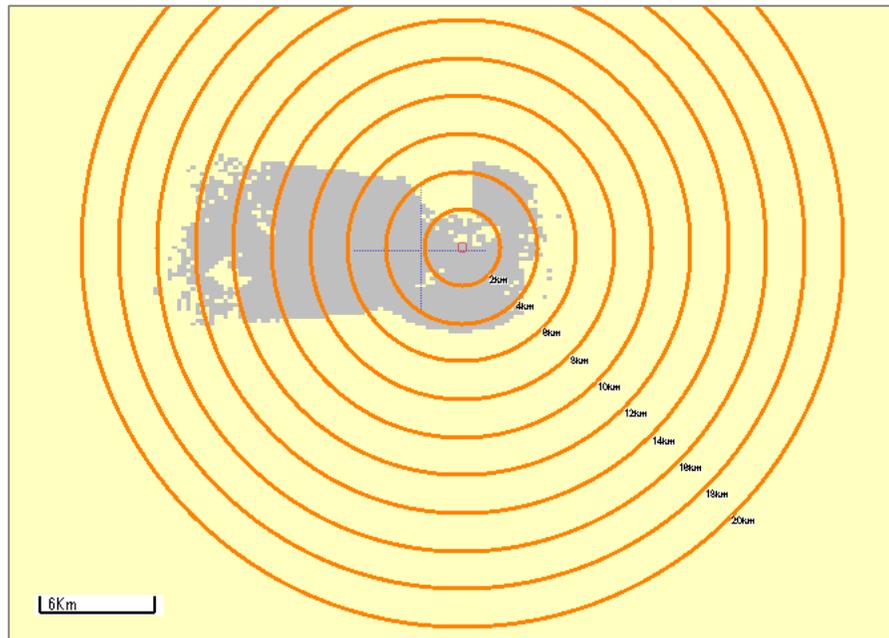
- 地点A、Bに被干渉局を1局配置し、周辺に与干渉局をメッシュ配置 (250m×250m)
- 各メッシュで同一周波数干渉発生有/無を判定し、干渉発生エリアを図示
- ITU-R勧告P.452-16に基づく、実際の地形による損失効果を加味

シナリオd. Ku帯非静止衛星通信システム（陸上地球局）→電通業務②

干渉発生エリア（固定地球局与干渉）

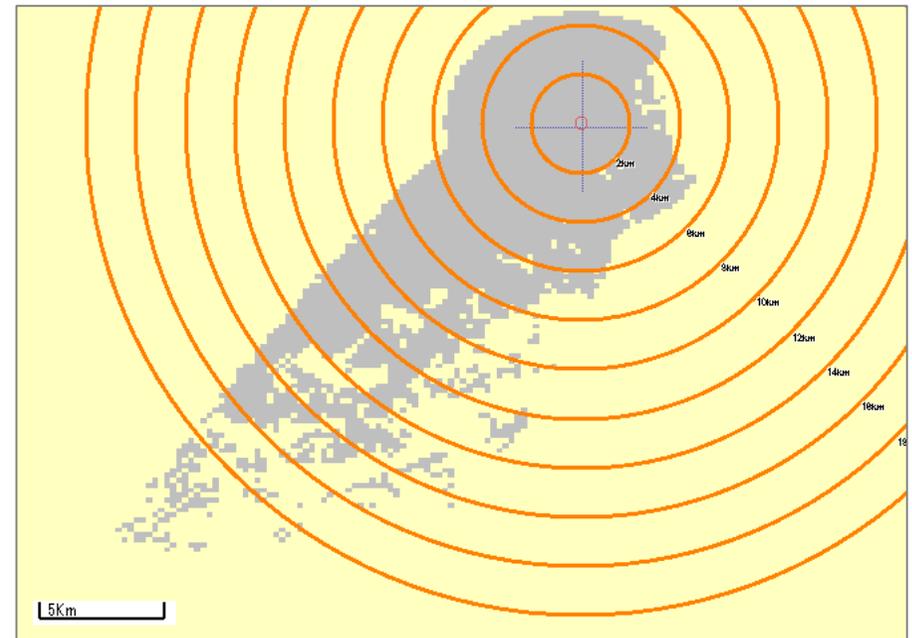
- ✓ Ku帯非静止衛星通信システム地球局アンテナ高：20m
- ✓ Ku帯非静止衛星通信システム地球局EIRP：-20dBW/40kHz
- ✓ 固定局保護基準値：I/N = -10dB

<地点A>



最大離隔距離:17km程度

<地点B>



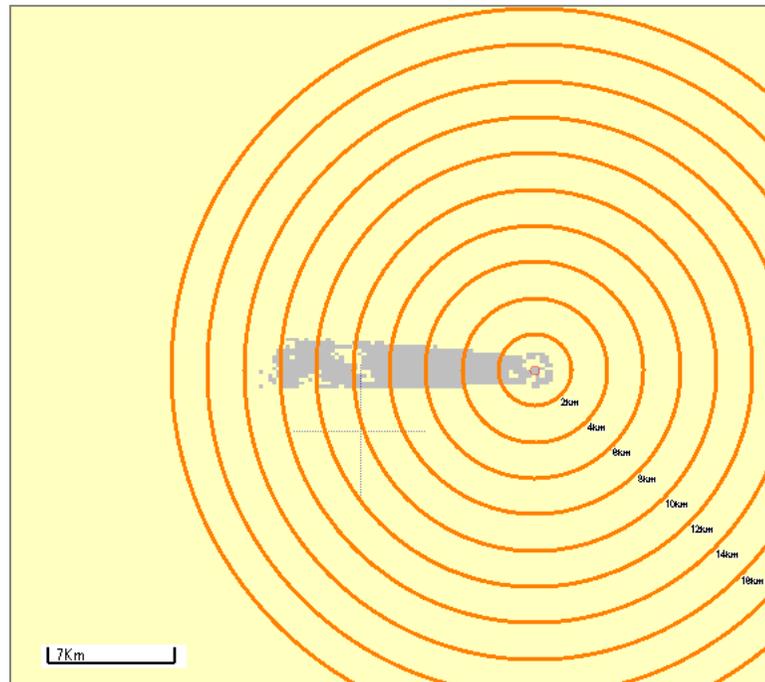
最大離隔距離:25km程度

シナリオd. Ku帯非静止衛星通信システム（陸上地球局）→電通業務 ③

干渉発生エリア（固定地球局与干渉）

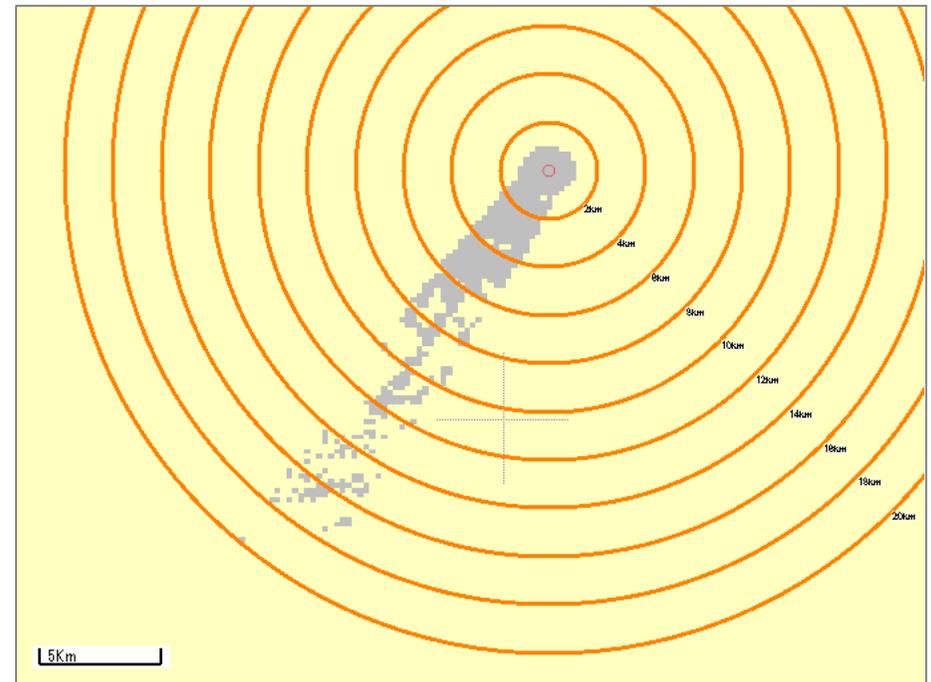
- ✓ Ku帯非静止衛星通信システム地球局アンテナ高：5m
- ✓ Ku帯非静止衛星通信システム地球局EIRP：-33dBW/40kHz
- ✓ 固定局保護基準値：I/N = -10dB

<地点A>



最大離隔距離:16km程度

<地点B>



最大離隔距離:20km程度

シナリオd. Ku帯非静止衛星通信システム（陸上地球局）→電通業務④

考察

- 地形による損失効果を加味して、以下の所要離隔距離を算出した
 - 固定地球局で最大17~25km
 - 移動地球局で最大16~20km
- ただし、この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

隣接周波数共用について

- 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VASAT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
- 一方でESTI EN303 980より、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

ECC Report 271 検討結果

■ 干渉計算手法

- 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
 - 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

■ 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（この値はECC Decision 18(5) に適用）
 - -119.5 dBW/m²/MHz for $0 \leq 5^\circ$
 - -124.5+ θ dBW/m²/MHz for $5^\circ \leq 20^\circ$
 - -84.5 dBW/m²/MHz for $20^\circ \leq 90^\circ$

■ 国内の電気通信業務（固定局）との共用は、以下よりECC Report 271の検討結果に包含することが可能と考える

- 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、航空地球局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

→ 欧州のPFD規定を満たすことで、国内の固定局の保護は可能と考えられる

ECC Report 271 検討結果

■ 干渉計算手法

- 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)
 - 帯域幅を2MHzとして、 $-33\text{dBW}/40\text{kHz} * 2\text{CH} = -13\text{dBW}/4\text{MHz}$ を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計算

■ 結果

- ITU-R勧告P.452の海上プロファイル利用で以下の離隔距離で共用が可能

	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

- 固定局が海岸から15km以上内陸に設置されている場合、離隔距離は不要
- ECC Decision 18(05)において $\text{PFD} = -116\text{dBW}/\text{m}^2/\text{MHz}$ @海岸線 海拔80mと規定※

※勧告SF.1650の固定局パラメータ、及び干渉計算手法に基づき計算

■ 海上地球局がECC Decision 18(05)のPFD規制を満たす場合

- 海岸線に設置されている固定局の受信干渉電力(dBW/MHz)は $\text{pfd}(\text{dBW}/\text{m}^2/\text{MHz}) + G\lambda^2/4\pi(\text{dBm}^2)$ より以下の値となり、固定局のアンテナの最大利得から離角が 5° 以上となる場合は、許容干渉電力($-146\text{dBW}/\text{MHz}$ ：P.7参照)を満たすため干渉が発生しない
 - $-136.6\text{ dBW}/\text{MHz}$ ($\theta=2.5^\circ$)
 - $-147.0\text{ dBW}/\text{MHz}$ ($\theta=5^\circ$)
- また、 2.5° の場合は許容干渉電力 ($-146\text{dBW}/\text{MHz}$) を満たすため、9.4dBの改善が必要であるが、固定局が海岸線に船舶へ正対するように設置されることは考えにくく、実際の設置環境を考慮すると地形・建物による損失が見込めることから、共用は可能と考えられる

→ 欧州のPFD規定を満たすことで、国内の固定局の保護は可能と考えられる

共用検討分析 衛星通信システム委員会作業班第15回 資料15-1「平成30年度結果報告（Ku/Ka帯周波数共用検討）」の手法を適用

■宇宙局の干渉基準

- RR Article 5 Table 5-1 9)より $\Delta T/T$ は6%を超えない

■増加雑音温度 $\Delta T = 10^{I/10}/kB$

- $I = \text{固定局送信EIRP}(23\text{dBm}) - \text{自由空間伝搬損失}(1,200\text{km}@14.4\text{GHz} = 177.2\text{dB})$
+ 宇宙局アンテナ利得(30.6dBi)-偏波損失(1.7dB*¹) = -155.3dBW
- $k = \text{ボルツマン定数}(1.38\text{E}-23\text{W/K/Hz})$
- $B = \text{送信帯域幅}(60\text{MHz})$
→ Ku帯非静止衛星通信システムの雑音温度を600K *²とすると、1台あたり0.06%の干渉雑音増加率となる

■干渉に寄与する電気通信業務（固定局）の数

- 平成30年度電波の利用状況調査結果から全国で1,798台
- 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台と算定できる

■以上を踏まえた干渉雑音増加率は3.14%となり、宇宙局の干渉基準を満たす

*¹ITU-R勧告F.1245 *²ITUファイリング情報より

→ 電気通信業務(固定局)とKu帯非静止衛星通信システム(宇宙局)との共用は可能と考えられる

シナリオ	与干渉	被干渉	周波数共用
a (技術試験 事務:1)	宇宙局 10.7-12.7GHz	電波天文 10.6-10.7GHz	<ul style="list-style-type: none"> ● 欧州の電波天文保護のための不要発射を満たすことで、国内の電波天文の保護は可能と考えられる
b (技術試験 事務:4)	電通業務(固定・ <u>移動*</u>) 10.7-11.7GHz	地球局 10.7-12.7GHz	<ul style="list-style-type: none"> ● 既存システムの干渉から保護を要求しない ● Ku帯非静止衛星通信システム側の対処により、運用は可能と考えられる
c (技術試験 事務:5)	公共・一般業務(固定) 12.2-12.5GHz	地球局 10.7-12.7GHz	
d (技術試験 事務:7)	地球局 14.0-14.5GHz	電通業務(固定・ <u>移動*</u>) 14.4-15.25GHz	<ul style="list-style-type: none"> ● 陸上地球局：事業者間調整により共用可能 ● 航空・海上地球局：欧州のPFD規定を満たすことで、国内の固定局の保護は可能と考えられる
e (技術試験 事務:10)	電通業務(固定・ <u>移動*</u>) 14.4-14.5GHz	宇宙局 14.0-14.5GHz	<ul style="list-style-type: none"> ● 共用可能

*電気通信業務(移動) は検討中