

Ku帯非静止衛星通信システム 技術的条件案の検討

2019年12月12日
ソフトバンク株式会社

技術的条件案

項目		欧州の規定例		評価	技術的条件（案）
		ETSI	CEPT		
必要な機能	周波数選択制御	—	○	欧州規格、及び他システム保護の観点で必要	<ul style="list-style-type: none"> 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。
	追尾機能	○	—		<ul style="list-style-type: none"> 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。
	インターロック機能	○	—		<ul style="list-style-type: none"> 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。
	自動停波機能	○	—		<ul style="list-style-type: none"> 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。
	地球局送信制御	○	—		<ul style="list-style-type: none"> 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。
	地球局位置送信	○	—		<ul style="list-style-type: none"> 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。
適用周波数帯		○	○	欧州規格、及び事業者利用周波数より規定	<ul style="list-style-type: none"> 送信：14.0-14.5 GHz 受信：10.7-12.7 GHz
通信方式		—	—	最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われることが適当	規定しない
多元接続方式					
変調方式					
電磁環境対策		—	—	過度な強度の電波から人体を保護するため現行基準に準拠	<ul style="list-style-type: none"> 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取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。 移動地球局は、電波防護指針で定められた要求条件を満足すること。

<送信装置の条件>

項目	欧州の規定例		評価	技術的条件 (案)
	ETSI	CEPT		
空中線電力の許容偏差	-	-	他システム保護の観点で必要 現行基準に準拠	• 上限50%、下限50%
周波数の許容偏差	-	-		• 100 (百万分率)
占有周波数帯幅の許容値	-	-	柔軟性を確保するため、一律の値を規定しない	• 規定しない
不要発射の強度の許容値	○	-	他システム保護の観点で必要 欧州規格(ETSI EN 303 980, 4.2.3 Off-axis spurious radiation)が既存告示1228号より厳しい規制となるため、当該規格の採用が適当	• 次ページ

<受信装置の条件>

項目	欧州の規定例		評価	技術的条件 (案)
	ETSI	CEPT		
副次的に発射する電波の強度	-	-	欧州の地球局規格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	• 規定しない

- 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

- 送信中、及び搬送波を送信していないとき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）

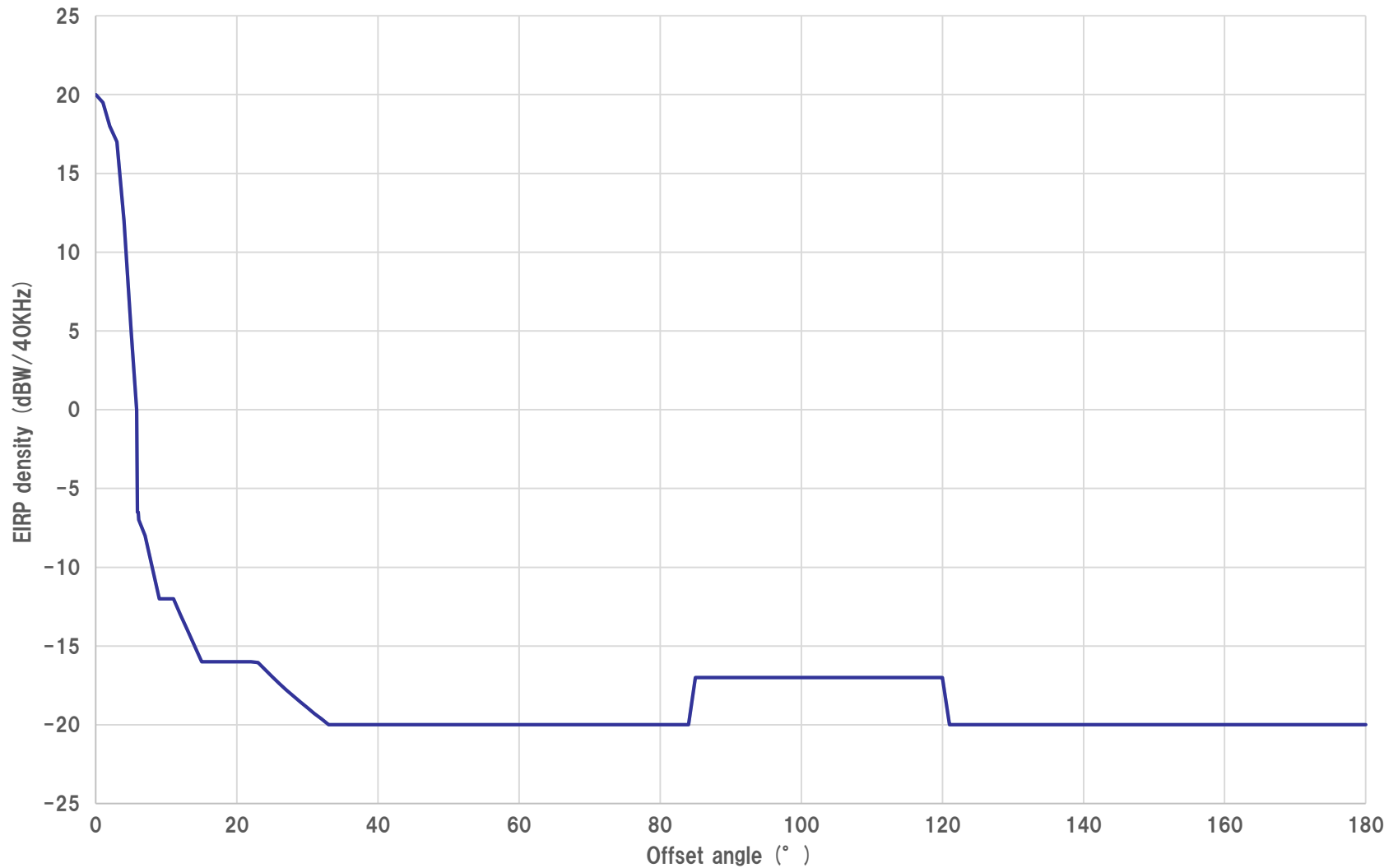
周波数	EIRP	測定帯域幅
1.0~2.0 GHz	53 dBpW	1 MHz
2.0~3.4 GHz	59 dBpW	1 MHz
3.4~10.7 GHz	65 dBpW	1 MHz
10.7~13.75 GHz	71 dBpW	1 MHz
13.75~14.0 GHz	95 dBpW [※]	10 MHz
14.50~14.75 GHz	95 dBpW [※]	10 MHz
14.75~21.2 GHz	71 dBpW	1 MHz
21.2~27.35 GHz	77 dBpW	1 MHz
27.35~27.50 GHz	85 dBpW	1 MHz
27.50~30.00 GHz	85 dBpW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

- ※以下の場合、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
- ・ 当該周波数範囲が「指定された周波数帯幅（製造業者により指定される、占有周波数帯幅より広い送信帯幅）」の範囲内
 - ・ 不要発射EIRP密度が軸内最大EIRP密度より40dB以上低い

調整中

項目	欧州の規定例		評価	技術的条件（案）
	ETSI	CEPT		
空中線の最小仰角	○	—	他システム保護の観点で必要 但し、運用仰角の範囲を設備の技術基準とすると、設備の設計において過剰な制約となる可能性が懸念 個別システム毎に、必要に応じ運用仰角の範囲を運用基準として無線局運用規則等に規定	<ul style="list-style-type: none"> 最小仰角：3度以上 運用仰角：45~90度*
地表線方向の等価等方輻射電力	—	—	現行基準（電波法施行規則、及び無線通信規則）に準拠	<ul style="list-style-type: none"> 0度以下：40 dBW/4kHz 0度を越え5度以下：40+3θ dBW/4kHz
軸外輻射電力	○	—	欧州規格、及び他システム保護の観点で必要	<ul style="list-style-type: none"> ITU-R勧告S.1503に基づく計算で用い、無線通信規則 22条に定められたEPFD \uparrow 制限に適合することがITUにより確認された、EIRPマスクを指定すること 当該指定EIRPマスクを満たすこと
指向精度	—	—	静止衛星保護の観点ではEPFD \uparrow 制限値を満足すれば良く、指向精度について一律の基準を設ける必要は無い。また、他システム保護の観点では、追尾機能の規定で十分と考えられる	<ul style="list-style-type: none"> 規定しない

*低緯度地域において非常に短い時間で45度付近まで運用仰角が下がる場合あり（99%以上の時間は50度以上で運用）



- 静止衛星システムの保護に関する条件
 - 無線通信規則 22条のEPD ↑ 制限を満たしていること
(ITU-R勧告S.1503に基づく計算結果に対して、ITU-Rの審査により適合と判定されていること)
 - ITU-R勧告S.1503に基づく計算で用い、無線通信規則 22条に定められたEPFD ↑ 制限に適合することがITUにより確認された、EIRPマスクを指定すること。また、当該指定EIRPマスクを満たすこと
- 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。
- 固定地球局、移動地球局（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
- 移動地球局（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地点における電力束密度（PFD）制限 -116 dB (W/(m²・MHz))を満たすこと。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
- 移動地球局（航空機搭載）に関する条件
 - ECC Decision(18)05に基づき、14.4-14.5GHzにおいて、地表面における以下のPFD制限値を満たすこと。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

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

測定法案

- 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、送信装置には実効輻射電力（EIRP：Equivalent Isotropic Radiated Power）を適用する。

① 空中線電力の許容偏差

A) 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。

B) 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。

② 周波数の許容偏差

A) 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。

B) 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 不要発射の強度の許容値 (ETSI EN 303 980, 6.2 Off-axis spurious radiationを参照)

A) 空中線端子がある場合

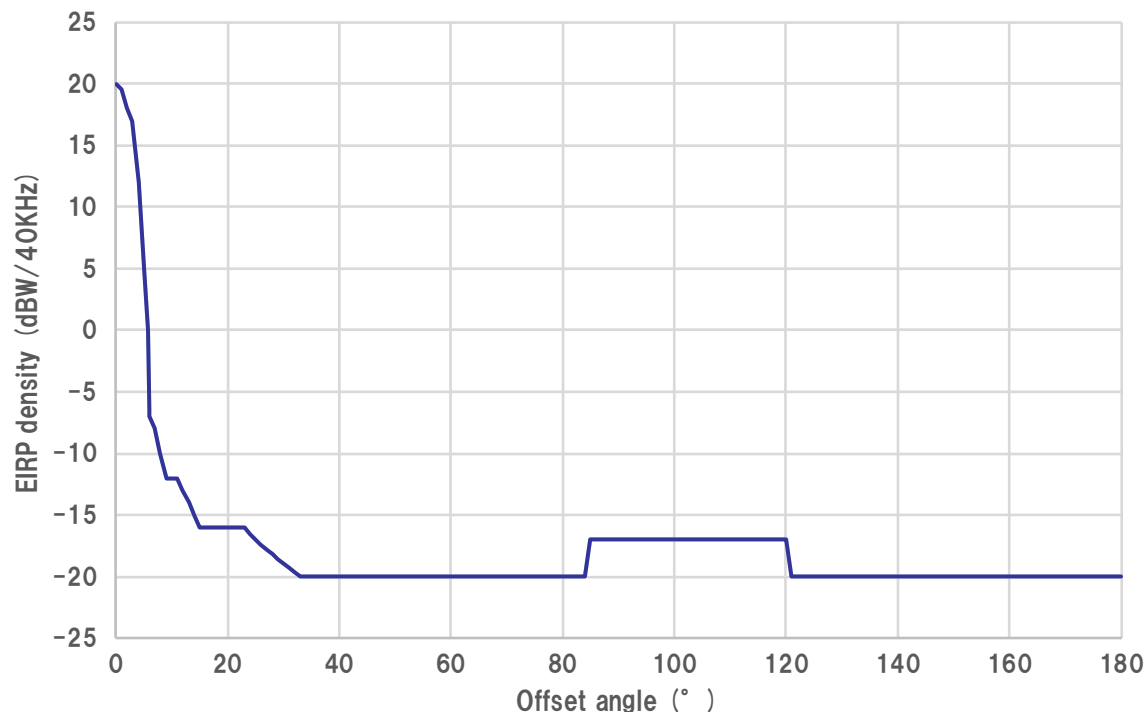
- 変調状態で動作させ、搬送波の平均電力に対する各不要発射波成分の平均電力又は相対値をスペクトラムアナライザで測定する。被試験器のアンテナ利得と乗算し不要発射の実効輻射電力を求める。送信停止状態、及び搬送波を送信していない状態でも同様の測定する。

B) 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)となるよう指向方向を固定する。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。被試験器の地球局を一定の角度ごとに回転させ、順次、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する。

Ku帯非静止衛星通信システム 追加共用検討

- 技術的条件の軸外輻射電力において、無線通信規則22条のEPFD ↑ 制限に適合するためのEIRPマスク指定することを検討
- EPFD ↑ 適合のため、ITU-Rへ提出されたOneWebのEIRPマスクは以下の通り水平方向EIRPがECC Report 271の移動地球局と異なり、国内で想定される最小仰角45°において-20dBW/40kHzとなる
- 整合性の観点から、当該水平方向EIRPを用いた追加共用検討を実施し、共用条件の分析を実施した

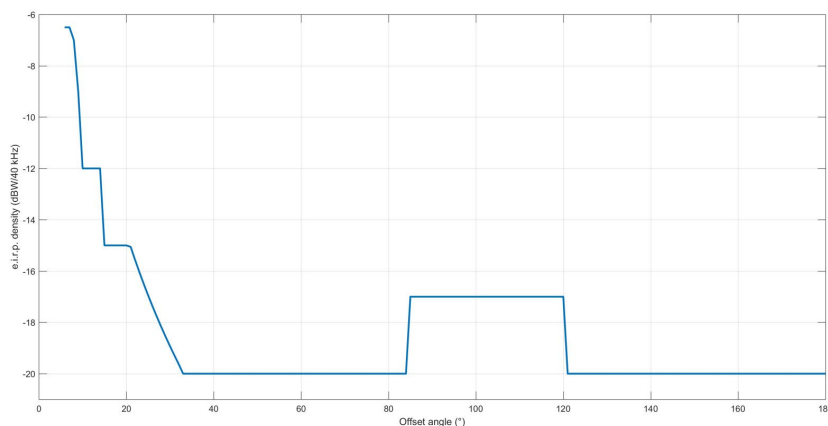


無線通信規則22条に適合する指定EIRPマスク

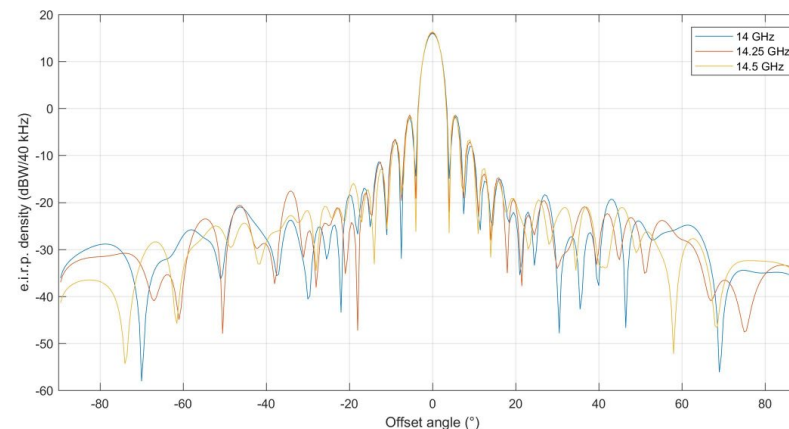
地球局パラメータ

	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	45 °	45 °
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45°の場合)	-20 dBW/40kHz	-20 dBW/40kHz

【参考】地球局EIRPマスク (ECC Report 271)



固定局 (パラボラアンテナ)



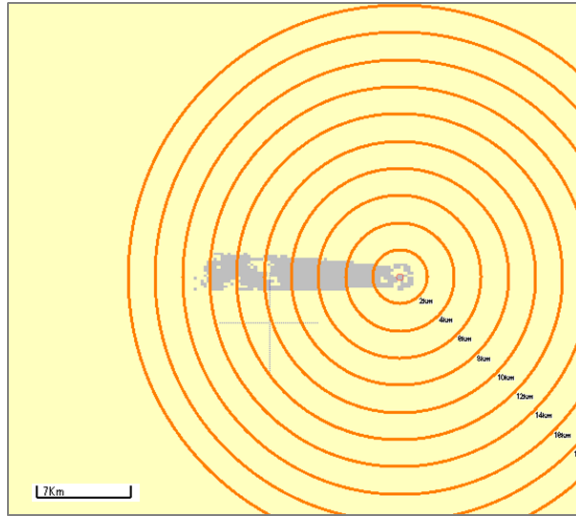
移動局 (フェーズドアレイアンテナ)

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	● 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
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

**地球局水平方向EIRPの値の影響を受けるシナリオdでの
陸上地球局（移動地球局）→電通業務（固定・移動）の追加検討を実施**

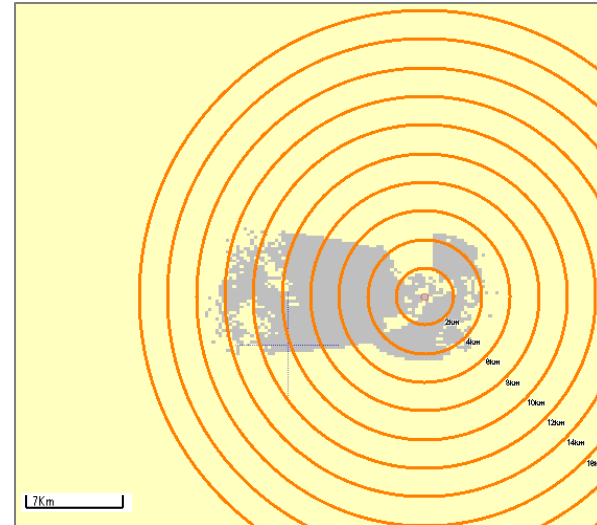
シナリオd. Ku帯非静止衛星通信システム(陸上移動地球局)→電通業務(固定)

<地点A>

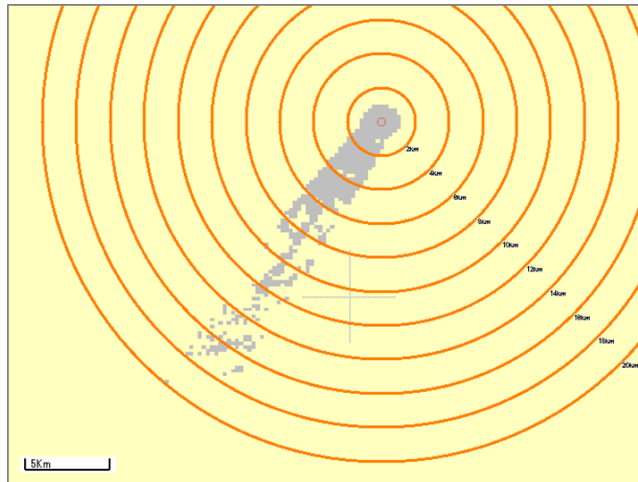


EIRP=-33dBW/40kHz 最大離隔距離:16km程度

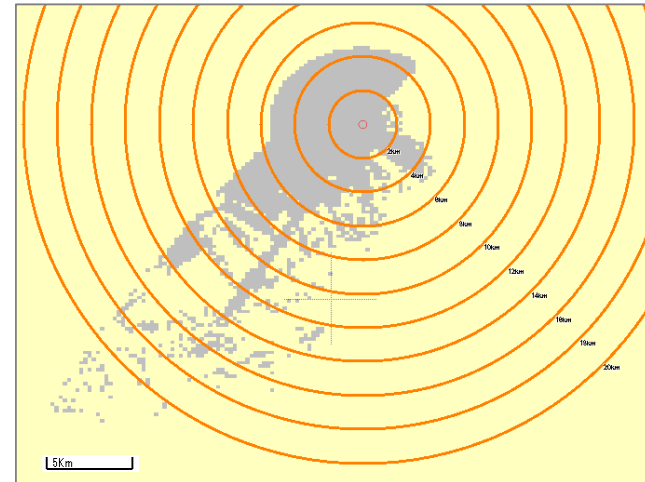
EIRP=-20dBW/40kHz 最大離隔距離:16km程度



<地点B>



EIRP=-33dBW/40kHz 最大離隔距離:20km程度



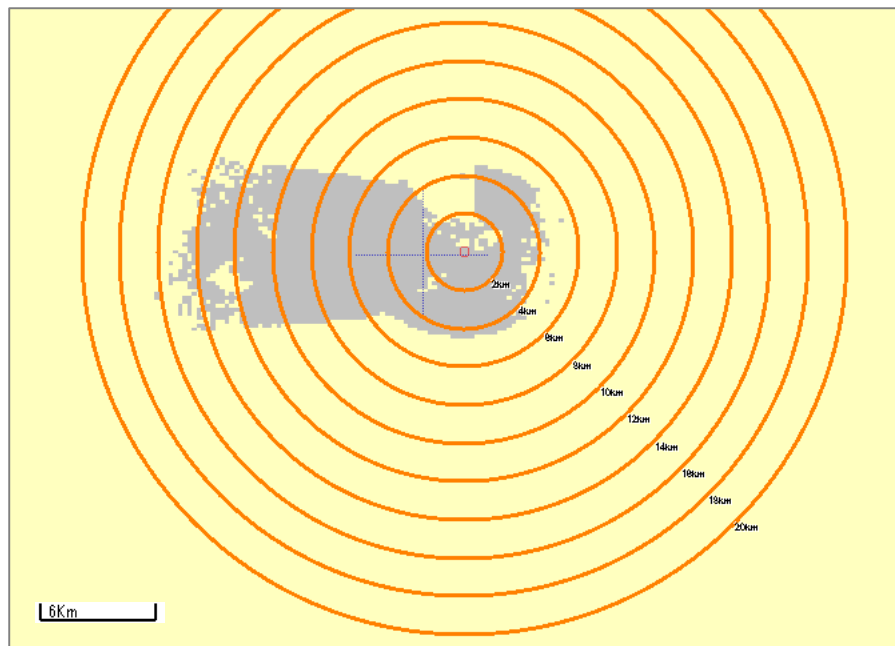
EIRP=-20dBW/40kHz 最大離隔距離:25km程度

【参考】固定地球局→電通業務(固定)の共用 ※第16回作業班資料より

干渉発生エリア (固定地球局与干渉)

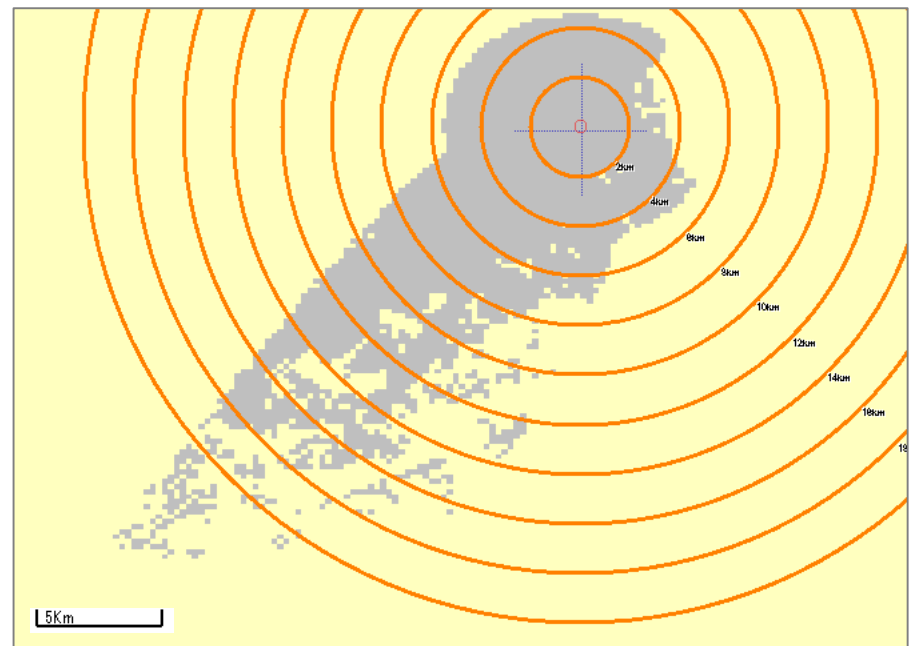
- ✓ Ku帯非静止衛星通信システム地球局アンテナ高：20m
- ✓ Ku帯非静止衛星通信システム地球局EIRP：-20dBW/40kHz
- ✓ 固定局保護基準値：I/N = -10dB

<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(陸上移動地球局)→電通業務(移動)

結果

Ku帯NGSO地球局



水平方向におけるe.i.r.p
 移動地球局：-20dBW/40kHz
 アンテナ高：5m



電通業務移動局



アンテナ利得
 30cmアンテナ:20dBi($\theta=4.6^\circ$)、-10dBi($\theta=48^\circ$)
 90cmアンテナ:26dBi($\theta=1.8^\circ$)、-10dBi($\theta=48^\circ$)
 長時間許容干渉電力：-146dBW/MHz

移動地球局	電通業務移動局	所要改善量	離隔距離
水平方向EIRP= -33dBW/40kHz	アンテナ径:30cm/地上高:5m	147dB($\theta=4.6^\circ$) 117dB($\theta=48^\circ$)	19km($\theta=4.6^\circ$) 1km未満($\theta=48^\circ$)
	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($\theta=48^\circ$)
	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($\theta=48^\circ$)
	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($\theta=48^\circ$)
水平方向EIRP= -20dBW/40kHz	アンテナ径:30cm/地上高:5m	160dB($\theta=4.6^\circ$) 130dB($\theta=48^\circ$)	22km($\theta=4.6^\circ$) 5km($\theta=48^\circ$)
	アンテナ径:30cm/地上高:20m	160dB($\theta=4.6^\circ$) 130dB($\theta=48^\circ$)	32km($\theta=4.6^\circ$) 5km($\theta=48^\circ$)
	アンテナ径:90cm/地上高:5m	166dB($\theta=1.8^\circ$) 130dB($\theta=48^\circ$)	25km($\theta=1.8^\circ$) 5km($\theta=48^\circ$)
	アンテナ径:90cm/地上高:20m	166dB($\theta=1.8^\circ$) 130dB($\theta=48^\circ$)	35km($\theta=1.8^\circ$) 5km($\theta=48^\circ$)

【参考】固定地球局→電通業務(移動)の共用 ※第16回作業班資料より

結果

Ku帯NGSO地球局



水平方向におけるe.i.r.p
固定地球局：-20dBW/40kHz



電通業務移動局



アンテナ利得
30cmアンテナ:20dBi($\theta=4.6^\circ$)、-10dBi($\theta=48^\circ$)
90cmアンテナ:26dBi($\theta=1.8^\circ$)、-10dBi($\theta=48^\circ$)
長時間許容干渉電力：-146dBW/MHz

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

電通業務（固定）との共用について

- 所用離隔距離が若干拡大しているが、概ね固定地球局（最大17~25km）と同等である
- 引き続き、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

電通業務（移動）との共用について

- 所用離隔が若干拡大しているが、固定地球局（最大45km）以下となっている
- 引き続き、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

以上