

# Ku帯非静止衛星通信システム(高度500km)の周波数共用検討

---

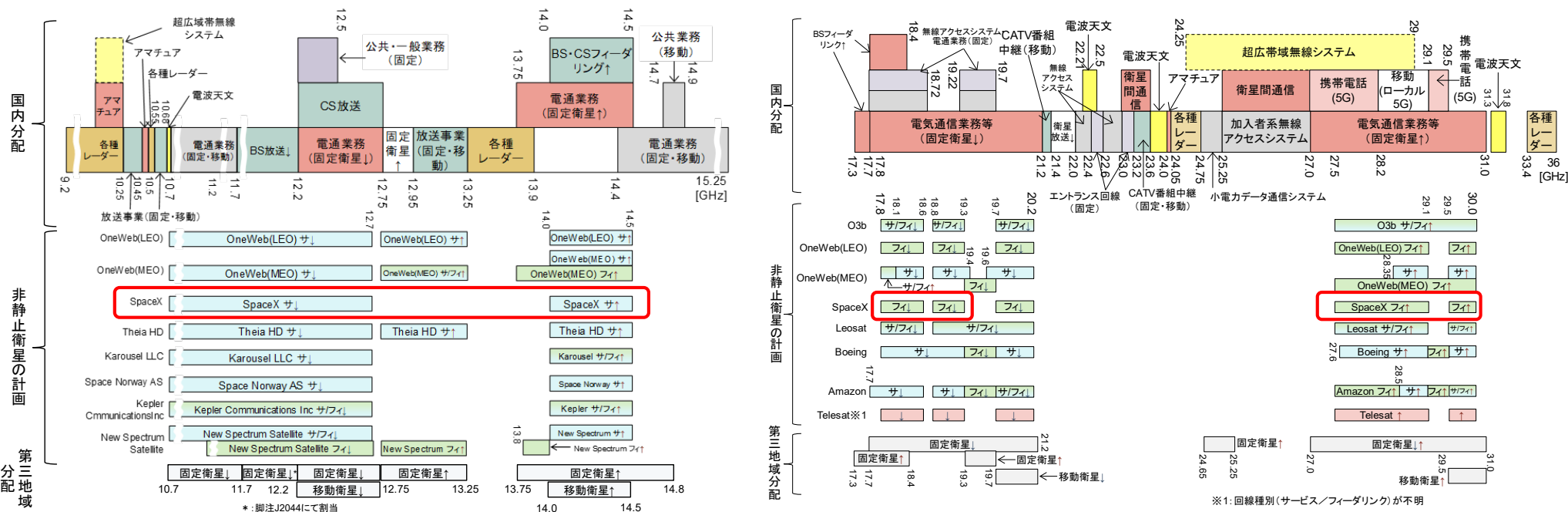
2020年10月7日

 株式会社三菱総合研究所

# 調査概要

■ 衛星通信システム委員会で審議が開始された、高度500km程度の傾斜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(SpaceX/Starlink)を対象とした共用検討を実施。干渉量を評価し、その結果に基づき、離隔距離等の共用条件を整理。

- ユーザ地球局(サービリンク)の共用検討 ← 本日ご報告(前回からの変更分)
- Gateway地球局(フィーダリンク)の共用検討 ← 本日ご報告



主要なKu/Ka帯非静止衛星システムと既存無線システムとの周波数共用状況

# 計算の前提条件

---

## ■ 離隔距離計算に使用したモデル

- ITU-R勧告P.452-16 (ITU-Rが公開しているMATLABを使用)

## ■ 設定値

- 時間率: 利用状況に応じて設定
- $\Delta N$  (大気屈折率の最悪月の平均値): 50
- $N_0$  (海面レベル屈折率): 350
- $d_{ct}$  (送信点からの海岸までの陸上距離): 500km
- $d_{cr}$  (受信点から海岸までの陸上距離): 500km
- 標高は 0m
- ゾーン: A2 (内陸)
- 計算間隔: 1km
- 送受信局の緯度経度: E140, N36 (東京付近)

## ■ 想定するアンテナ高

- Ku帯非静止衛星の地球局: 1.5m、10m※  
※ECC Report 271 「A2.4 GENERAL CHARACTERISTICS OF SPACEX EARTH STATIONS」
- Ka帯非静止衛星の地球局: 1.5m、10m
- 共用相手側のアンテナ高: 利用状況に応じたアンテナ高

# Ku帯周波数共用検討シナリオ

## サービスリンク干渉ケース

	No	与干渉	被干渉	同一/隣接
D/L	1	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (10.7-12.7GHz)	電波天文 (10.6-10.7GHz)	隣接
	2	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (10.7-12.7GHz)	電気通信業務(固定、移動) (10.7-11.7GHz)	同一
	3	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (10.7-12.7GHz)	公共・一般業務(固定) (12.2-12.5GHz)	同一
	4	電気通信業務(固定、移動) (10.7-11.7GHz)	Ku帯非静止衛星(地球局) (10.7-12.7GHz)	同一
	5	公共・一般業務(固定) (12.2-12.5GHz)	Ku帯非静止衛星(地球局) (10.7-12.7GHz)	同一
U/L	6-1	Ku帯非静止衛星(地球局) (14.0-14.5GHz)	電気通信業務(固定、移動) (14.4-15.25GHz)	同一
	6-2			隣接
	7	電気通信業務(固定、移動) (14.4-15.25GHz)	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (14.0-14.5GHz)	同一

- RR Article 22.2により、非静止衛星システムは放送衛星を含む静止衛星ネットワークに干渉を与えてはならないことが規定されている。

# シナリオ1:Ku帯非静止衛星(宇宙局)→電波天文【隣接】

以下の通り、ECC Report 271の検討結果(宇宙局→電波天文)から、共用可能と結論付けられる。

## ■ 電波天文のパラメータ

項目	パラメータ	数値	ITU-R勧告
干渉基準	電力束密度(PFD)閾値	-160 dBW/m <sup>2</sup>	RA.769
	許容データ損失率	2%	RA.1513
	実効電力束密度(EFPD)閾値	-239.4dBW/m <sup>2</sup> /(100MHz)	—
アンテナ	最大アンテナ利得	81dBi	RA.1631
	最大アンテナ径	100m	S.1428
	アンテナ効率	70%	—

## ■ 計算方法

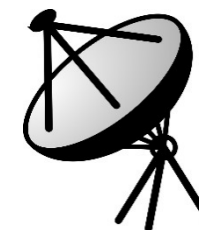
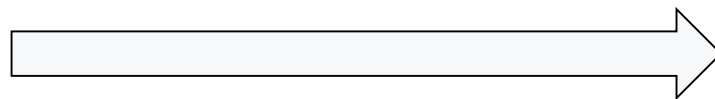
- ・SpaceX全衛星4,408機が最大EIRPをとるワーストケースで計算
  - 720機が-142dBW/Hz、3,688機が-155dBW/Hz
- ・RASサイト付近でKu帯の最も低いチャネル(10.7-10.95GHz)は使用しない
- ・2,000秒間の平均データ損失率を算出
- ・欧州、ロシア、トルコの21か所をシミュレーション

## ■ 結果

- ・EFPD閾値-239.4dBW/m<sup>2</sup>/(100MHz)及びデータ損失率2%以下どちらの条件も満たす
  - 右上図と右下図は100m級アンテナを使用する独Effelsbergの結果

※なお、電波天文の干渉基準については、本来EFPD閾値は勧告ITU-R RA.769の電力束密度(PFD)閾値に相当する-241dBW/m<sup>2</sup>/(100MHz)として検討することが適切である。当該条件で個別に検討を行った結果、電波天文付近では、Ku帯の最も低いチャネル(10.7-10.95GHz)は使用しない、フィルタ挿入を行うという条件において、共用可能であるとの結論が得られている。

## シナリオ2: Ku帯非静止衛星(宇宙局)→電気通信業務(固定、移動)【同一】



Ku帯非静止衛星(宇宙局)(10.7-12.7GHz)

電気通信業務(固定、移動)(10.7-11.7GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①宇宙局のepfd↓制限値	-174 [dBW/m <sup>2</sup> /(40kHz)] =-160 [dBW/m <sup>2</sup> /MHz]	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 非静止衛星軌道から見える地表面において左記の値を超えない(RR Article 22.5C、TABLE 22-1Aより、10.7~11.7GHz、アンテナ径60cm、時間率90%、基準周波数40kHzの値を選択)</li> <li>✓ アンテナ径は、SpaceXアンテナ径0.48m*1に最も近い値を選択</li> <li>✓ 時間率は、F.758-7の長期干渉における時間率20%より大きい、最も近い値を選択</li> </ul>
②アンテナ面積	1.13 [m <sup>2</sup> ] = 0.5 [dBm <sup>2</sup> ]	<p>電気通信業務(固定、移動)のアンテナ径は、陸上無線通信委員会報告*2「参考資料3: 18GHz帯空中線標準利得」の試算例の中で、最も大きい開口径1.2mとする。</p> $10\log\left(\frac{\pi \cdot 1.2^2}{4}\right) = 0.5[\text{dB} \cdot \text{m}^2]$
③地上局での受信電力	-159 [dBW/MHz]	①epfd↓制限値+②アンテナ面積

\*1: 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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より

\*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、平成26年5月「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」

## シナリオ2:Ku帯非静止衛星(宇宙局)→電気通信業務(固定、移動)【同一】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
③地上局での受信電力	-159 [dBW/MHz]	(前頁再掲)
④受信アンテナ利得	-3 [dBi]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13:基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、11GHz帯のアンテナパターンを適用。 $52.5 - 4.88\theta^2$ [dBi] ( $0^\circ \leq \theta < 2.5^\circ$ ) $32 - 25 \log \theta$ [dBi] ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ ) $-10$ [dBi] ( $48^\circ \leq \theta$ ) ここで、 $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角*2)とする。
⑤干渉基準	-149 [dBW/MHz]	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 雑音電力 = <math>-139</math> [dBW/MHz] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 8より、10.7-11.7GHzの値を適用)</li> <li>✓ 混信保護基準 (<math>I/N</math>) = <math>-10</math> [dB] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 5より、3GHz以上の値を適用)</li> <li>✓ 長時間干渉での電力密度 = 雑音電力 + <math>I/N</math></li> </ul>
⑥所要改善量	-13 [dB]	③地上局での受信電力+④受信アンテナ利得-⑤干渉基準

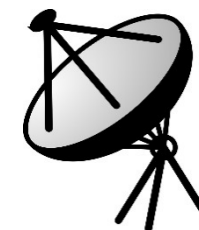
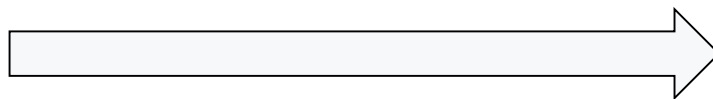


共用可能

\*1: 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、平成26年5月  
 「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」

\*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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より

## シナリオ3:Ku帯非静止衛星(宇宙局)→公共・一般業務(固定)【同一】



Ku帯非静止衛星(宇宙局)(10.7-12.7GHz)

公共・一般業務(固定)(12.2-12.5GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①宇宙局のepfd↓制限値	-174 [dBW/m <sup>2</sup> /(40kHz)] =-160 [dBW/m <sup>2</sup> /MHz]	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 非静止衛星軌道から見える地表面において左記の値を超えない(RR Article 22.5C、TABLE 22-1Aより、10.7~11.7GHz、アンテナ径60cm、時間率90%、基準周波数40kHzの値を選択)</li> <li>✓ アンテナ径は、SpaceXアンテナ径0.48m*1に最も近い値を選択</li> <li>✓ 時間率は、F.758-7の長期干渉における時間率20%より大きい、最も近い値を選択</li> </ul>
②アンテナ面積	1.13 [m <sup>2</sup> ] = 0.5 [dBm <sup>2</sup> ]	<p>電気通信業務(固定、移動)のアンテナ径は、陸上無線通信委員会報告*2「参考資料3:18GHz帯空中線標準利得」の試算例の中で、最も大きい開口径1.2mとする</p> $10\log\left(\frac{\pi \cdot 1.2^2}{4}\right) = 0.5[\text{dB} \cdot \text{m}^2]$
③地上局での受信電力	-159 [dBW/MHz]	①epfd↓制限値+②アンテナ面積

\*1: 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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より

\*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、平成26年5月「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」



## シナリオ3:Ku帯非静止衛星(宇宙局)→公共・一般業務(固定)【同一】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
③地上局での受信電力	-159 [dBW/MHz]	(前頁再掲)
④受信アンテナ利得	7 [dBi]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13:基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、12GHz帯のアンテナパターンを適用。 $53.3 - 3.89\theta^2$ [dBi] ( $0^\circ \leq \theta < 2.5^\circ$ ) $38 - 22.5 \log \theta$ [dBi] ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ ) 0 [dBi] ( $48^\circ \leq \theta < 90^\circ$ ) $58.5 - 0.65\theta$ [dBi] ( $90^\circ \leq \theta < 110^\circ$ ) -13 [dBi] ( $110^\circ \leq \theta$ ) ここで、 $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角*2)とする。
⑤干渉基準	-144 [dBW/MHz]	✓ 雑音電力 = -134 [dBW/MHz] (ITU-R勧告F.758-7 Annex3 Table 18より、12.75 - 13.25GHzの値を適用) ✓ 混信保護基準 ( $I/N$ ) = -10 [dB] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 5より、3GHz以上の値を適用) ✓ 長時間干渉での電力密度 = 雑音電力 + $I/N$
⑥所要改善量	-9 [dB]	③地上局での受信電力 + ④受信アンテナ利得 - ⑤干渉基準



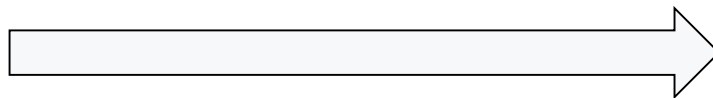
共用可能

- \*1: 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、平成26年5月  
 「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」
- \*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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より

## シナリオ4: 電気通信業務(固定、移動) → Ku帯非静止衛星(地球局)【同一】



電気通信業務(固定、移動)(10.7-11.7GHz)



Ku帯非静止衛星(地球局)(10.7-12.7GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	55 [dBm] =25 [dBW]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13:基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、11GHz帯のEIRPを適用。 $65 - 25 \log \theta$ [dBm] ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ ) $23$ [dBm] ( $48^\circ \leq \theta$ ) ここで、 $\theta = 2.5^\circ$ とする。
②受信アンテナ利得	4.7 [dBi]	RR Appendix8 Annex3 (BR IFICのSpaceXシステム(STEAM-1)の共用検討で使用*2)のアンテナパターン( $D/\lambda < 100$ の場合)を適用する。 $52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \theta$ [dBi] ここで、 $D/\lambda \doteq 17.1$ 、 $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角*3)とする( $D=0.48\text{m}$ *3、 $f=10.7\text{GHz}$ )。

\*1: 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、平成26年5月「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」

\*2: ただし、高度変更前の共用検討(Attachment 5: Interference Analysis to Accompany the Request for Modification of the STEAM-1 Non-Geostationary Satellite System)  
<https://www.itu.int/en/ITU-R/space/Pages/brificAdditionalInformation.aspx>

\*3: 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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

## シナリオ4: 電気通信業務(固定、移動) → Ku帯非静止衛星(地球局)【同一】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	25 [dBW]	(前頁再掲)
②受信アンテナ利得	4.7 [dBi]	(前頁再掲)
③干渉基準	-154 [dBW]	ITU-R勧告SF.1006-0 式(3)(4)及び以下の諸元(SF.1006-0 Table 1の10-15GHzの値を適用)より、長時間の許容干渉レベル $P_r$ を計算。 $k = 1.38E - 23$ [J/K] (ボルツマン定数) $p_1 = 20$ [%], $p_2 = 0.005$ [%], $n_2 = 20$ [%], 受信システム雑音温度 $T_r = 200$ [K] (受信システム雑音温度) $B = 1E + 6$ [Hz] (参照帯域幅) $J = -8.5$ [dB] (長期許容干渉電力と熱雑音電力の比) $M_s = 4$ [dB] (リンクのフェードマージン) $N_L = 1$ [dB] (衛星中継器によるリンクへのノイズ寄与) $W = 0$ [dB] (基準帯域内の妨害電波の熱雑音等価係数) 長時間: $P_r(20\%) = 10\log(k \cdot T_r \cdot B) + J - W$ [dBW] = -154 [dBW]
④所要改善量	184 [dB]	①EIRP+②受信アンテナ利得-③干渉基準



電気通信業務(固定、移動)のアンテナ高を30m、  
時間率は20%に設定

SpaceX 地球局アンテナ高	離隔距離
1.5 [m]	46 [km]
10 [m]	58 [km]

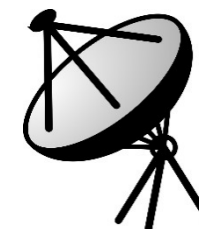
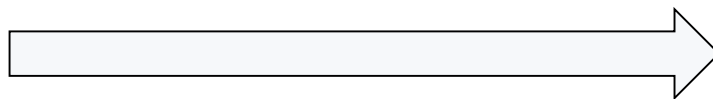


共用するには、46~58kmの離隔距離が必要

## シナリオ5: 公共・一般業務(固定) → Ku帯非静止衛星(地球局)【同一】



公共・一般業務(固定)(12.2-12.5GHz)



Ku帯非静止衛星(地球局)(10.7-12.7GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	49 [dBm] =19 [dBW]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13:基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、12GHz帯のEIRPを適用。 $58 - 22.5 \log \theta$ [dBm] ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ ) $20$ [dBm] ( $48^\circ \leq \theta < 90^\circ$ ) $78.5 - 0.65 \theta$ [dBm] ( $90^\circ \leq \theta < 110^\circ$ ) $7$ [dBm] ( $110^\circ \leq \theta$ ) ここで、 $\theta = 2.5^\circ$ とする。
②受信アンテナ利得	4.7 [dBi]	RR Appendix8 Annex3 (BR IFICのSpaceXシステム(STEAM-1)の共用検討で使用*2)のアンテナパターン( $D/\lambda < 100$ の場合)を適用する。 $52 - 10 \log(D/\lambda) - 25 \log \theta$ [dBi] ここで、 $D/\lambda \approx 17.1$ 、 $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角*3)とする( $D=0.48\text{m}$ *3、 $f=10.7\text{GHz}$ )。

\*1: 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、平成26年5月「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」

\*2: ただし、高度変更前の共用検討 (Attachment 5: Interference Analysis to Accompany the Request for Modification of the STEAM-1 Non-Geostationary Satellite System)

\*3: 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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

## シナリオ5: 公共・一般業務(固定) → Ku帯非静止衛星(地球局)【同一】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	19 [dBW]	(前頁再掲)
②受信アンテナ利得	4.7 [dBi]	(前頁再掲)
③干渉基準	-154 [dBW]	ITU-R勧告SF.1006-0 式(3)(4)及び以下の諸元(SF.1006-0 Table 1の10-15GHzの値を適用)より、長時間の許容干渉レベル $P_r$ を計算。 $k = 1.38E - 23$ [J/K] (ボルツマン定数) $p_1 = 20$ [%], $p_2 = 0.005$ [%], $n_2 = 2$ [-] $T_r = 200$ [K] (受信システム雑音温度) $B = 1E + 6$ [Hz] (参照帯域幅) $J = -8.5$ [dB] (長期許容干渉電力と熱雑音電力の比) $M_s = 4$ [dB] (リンクのフェードマージン) $N_L = 1$ [dB] (衛星中継器によるリンクへのノイズ寄与) $W = 0$ [dB] (基準帯域内の妨害電波の熱雑音等価係数) 長時間: $P_r(20\%) = 10 \log(k \cdot T_r \cdot B) + J - W$ [dBW] = -154 [dBW]
④所要改善量	178 [dB]	①EIRP + ②受信アンテナ利得 - ③干渉基準



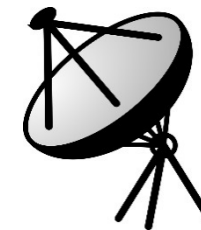
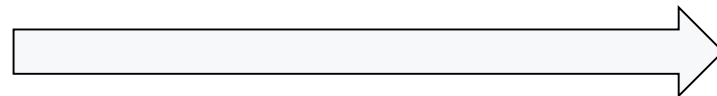
公共・一般業務(固定)のアンテナ高を30m、  
時間率は20%に設定

SpaceX 地球局アンテナ高	離隔距離
1.5 [m]	42 [km]
10 [m]	53 [km]



共用するには、42~53kmの離隔距離が必要

## シナリオ6-1: Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【同一】



Ku帯非静止衛星(地球局)(14.0-14.5GHz)

電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	-27.3 [dBW/40kHz] = -13 [dBW/MHz]	✓ SpaceX地球局(Ku帯)が最小仰角25°で運用している場合における、水平方向のEIRP(アンテナ最小仰角の場合)*1を適用する。

\*1: 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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より

## シナリオ6-1:Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【同一】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	-13 [dBW/MHz]	(前頁再掲)
②受信アンテナ利得	54.8 [dBi]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13:基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、15GHz帯のアンテナパターンを適用。 $54.8 - 5.248\theta^2$ [dBi] ( $0^\circ \leq \theta < 2.5^\circ$ ) $32 - 25 \log \theta$ [dBi] ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ ) $-10$ [dBi] ( $48^\circ \leq \theta$ ) ここで、 $\theta = 0^\circ$ とする。
③干渉基準	-146 [dBW/MHz]	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 雑音電力 = <math>-136</math> [dBW/MHz] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 9より、14.4-15.35GHzの値を適用)</li> <li>✓ 混信保護基準(<math>I/N</math>) = <math>-10</math> [dB] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 5より、3GHz以上の値を適用)</li> <li>✓ 長時間干渉での電力密度 = 雑音電力 + <math>I/N</math></li> </ul>
④所要改善量	187 [dB]	①EIRP + ②受信アンテナ利得 - ③干渉基準



電気通信業務(固定、移動)のアンテナ高を**30m**、  
時間率を20%(ITU-R勧告F.758-7より)に設定

SpaceX地球局アンテナ高	離隔距離
1.5 [m]	46 [km]
10 [m]	57 [km]



共用するには、**46~57km**の離隔距離が必要

\*1: 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、平成26年5月  
「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」

# シナリオ6-1: Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【同一】

干渉範囲のケーススタディとして、既存の電気通信業務の無線局が設置されている地域を対象に、地形情報を考慮した離隔距離の計算を実施

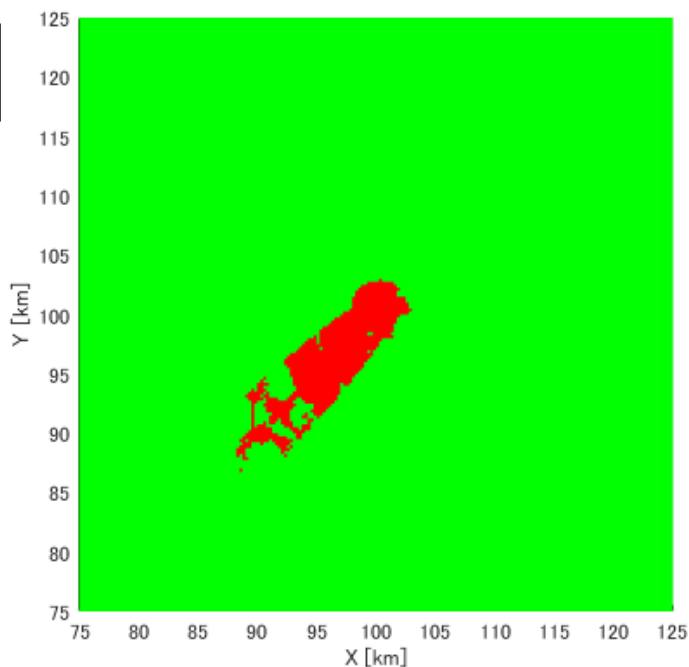
## ■ 伝搬モデル、評価手法

項目	概要
伝搬モデル	・ITU-R P.452(時間率20%)、標高を考慮。
評価手法	・電通業務無線局の設置位置(仮設定)を中心に200km四方の範囲(250m×250mメッシュ)を対象に、電通業務の指向方向を仮設定し、P.452による電波伝搬を計算。

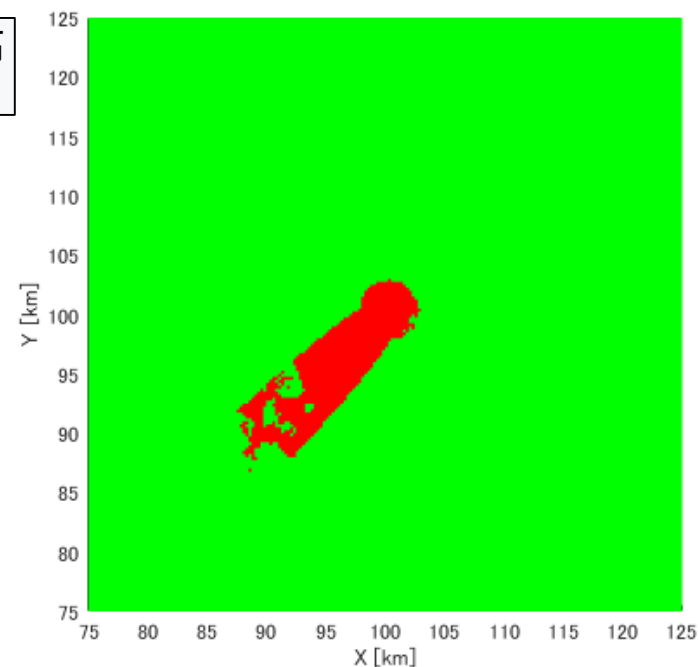
## ■ 計算結果

- ・ 中心位置(x=100km, y=100km)に固定業務(被干渉局)を配置し、周辺に地球局(与干渉局)をメッシュ配置(250m×250m)。
- ・ 固定業務の設置位置における干渉電力が、許容干渉電力を上回った時の地球局位置を赤色で表示している。
- ・ 干渉エリアは、固定業務の指向方向18km程度×幅数km程度の範囲に限定されている。

地球局アンテナ高  
1.5m



地球局アンテナ高  
10m

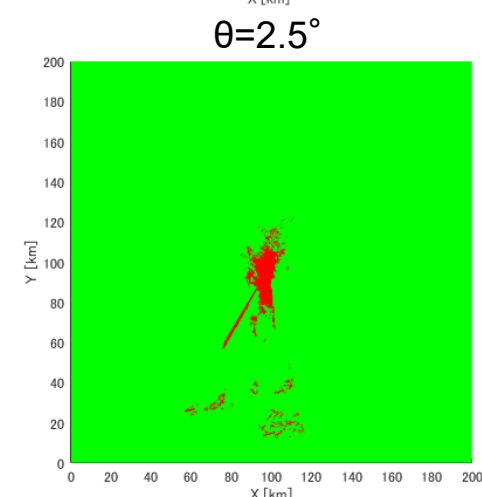
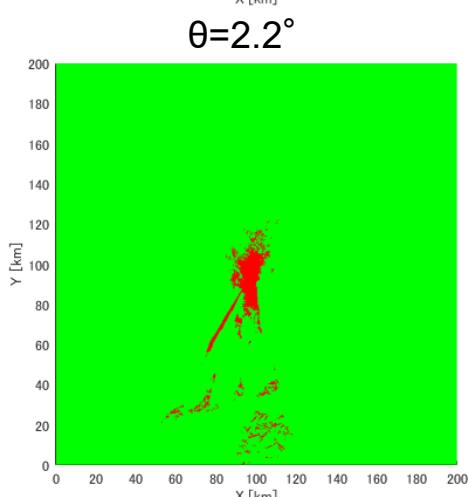
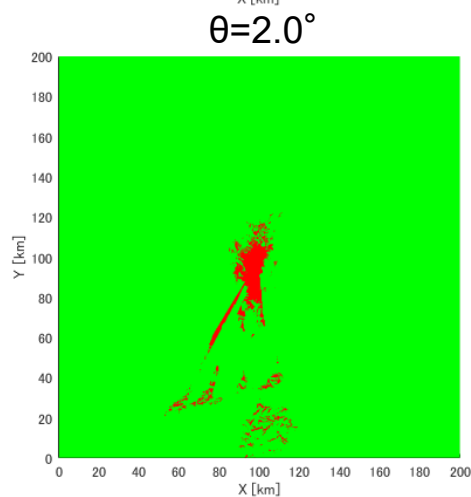
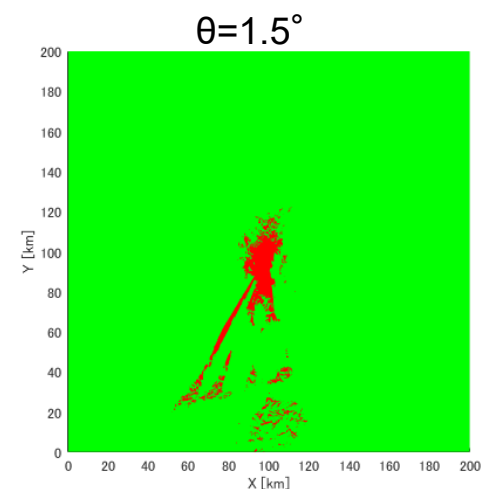
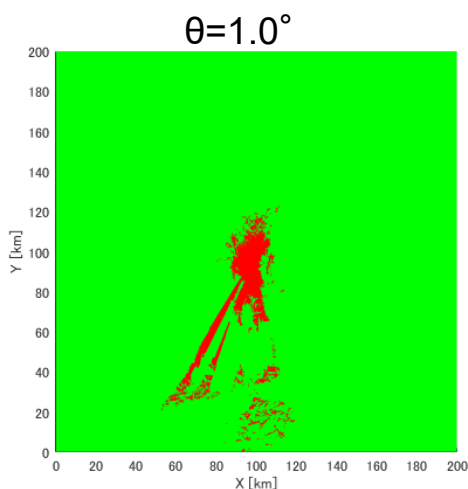
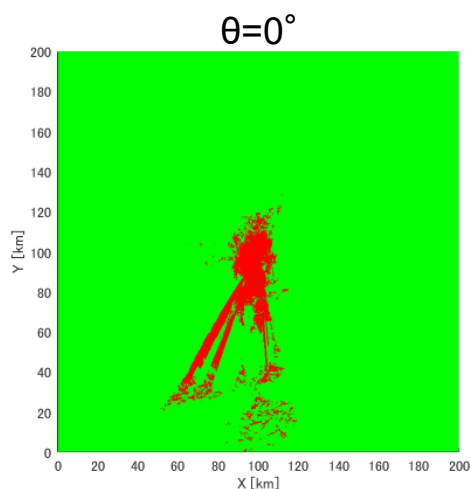




# シナリオ6-1: Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【同一】

## ■ 計算結果

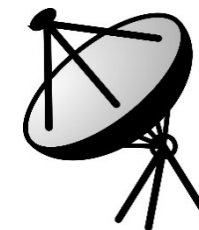
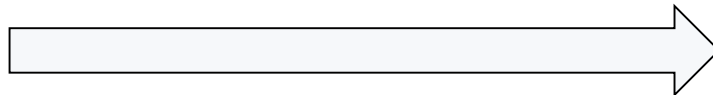
- 固定業務の指向方向を全方位で検討した場合の干渉範囲を示すと共に、固定業務への入射角度(仰角方向)を変化させて場合の干渉範囲の変化を検討した。(地球局アンテナ高:10m)
- 入射角度が $0^\circ \sim 2.5^\circ$ まで変化すると、最大離隔距離は80km程度から40km程度まで低減される。



## シナリオ6-2: Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【隣接】



Ku帯非静止衛星(地球局)(14.0-14.5GHz)

電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)  
(※14.5-15.25GHzの帯域が対象)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①不要発射の制限値	-35 [dBW/MHz]	ETSI EN 303 981の軸外不要発射強度規定*1より、95dBpW/10MHz(14.5~14.75GHz)または71dBpW/MHz(14.75~21.2GHz)、すなわち、-35dBW/MHzまたは-49dBW/MHz ⇒最悪ケースとして-35dBW/MHzを適用

\* 1: ETSI EN 303 981 V1.0.12 (2020-08) 4.2.3 Off axis spurious radiationより

## シナリオ6-2: Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【隣接】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①不要発射の制限値	-35 [dBW/MHz]	(前ページ再掲)
②受信アンテナ利得	54.8 [dBi]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13:基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、15GHz帯のアンテナパターンを適用。 $54.8 - 5.248\theta^2$ [dBi] ( $0^\circ \leq \theta < 2.5^\circ$ ) $32 - 25 \log \theta$ [dBi] ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ ) $-10$ [dBi] ( $48^\circ \leq \theta$ ) ここで、 $\theta = 0^\circ$ とする。
③干渉基準	-146 [dBW/MHz]	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 雑音電力 = <math>-136</math> [dBW/MHz] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 9より、14.4-15.35GHzの値を適用)</li> <li>✓ 混信保護基準(<math>I/N</math>) = <math>-10</math> [dB] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 5より、3GHz以上の値を適用)</li> <li>✓ 長時間干渉での電力密度 = 雑音電力 + <math>I/N</math></li> </ul>
所要改善量	166 [dB]	①不要発射 + ②受信アンテナ利得 - ③干渉基準



電気通信業務(固定、移動)のアンテナ高を30m、  
時間率を20%(ITU-R勧告F.758-7より)に設定

SpaceX地球局アンテナ高	離隔距離
1.5 [m]	34 [km]
10 [m]	45 [km]



共用するには、34~45kmの離隔距離が必要

注) 静止衛星を用いた現行のVSAT地球局(送信帯域: 14.0-14.4GHz)については、過去の情報通信審議会等の議論において既存無線局への影響はないとされている。

\*1: 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、平成26年5月「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」

## シナリオ6-2: Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【隣接】

シナリオ6-1と同様、ケーススタディとして、既存の電気通信業務の無線局が設置されている地域を対象に、地形情報を考慮した離隔距離の計算を実施

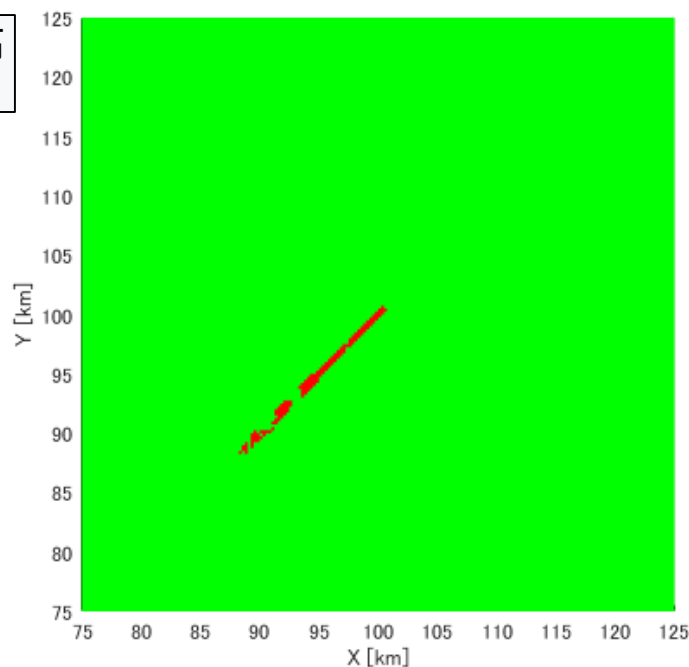
### ■ 伝搬モデル、評価手法

項目	概要
伝搬モデル	・ITU-R P.452(時間率20%)、標高を考慮。
評価手法	・電通業務無線局の設置位置(仮設定)を中心に200km四方の範囲(250m×250mメッシュ)を対象に、電通業務の指向方向を仮設定し、P.452による電波伝搬を計算。

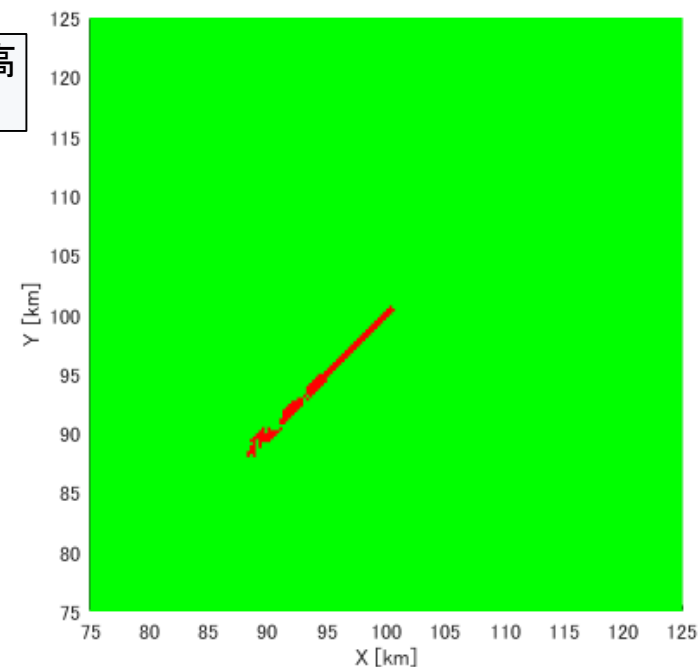
### ■ 計算結果

- 中心位置(x=100km, y=100km)に固定業務(被干渉局)を配置し、周辺に地球局(与干渉局)をメッシュ配置(250m×250m)。
- 固定業務の設置位置における干渉電力が、許容干渉電力を上回った時の地球局位置を赤色で表示している。
- 干渉エリアは、固定業務の指向方向18km程度の範囲に限定されている。

地球局アンテナ高  
1.5m



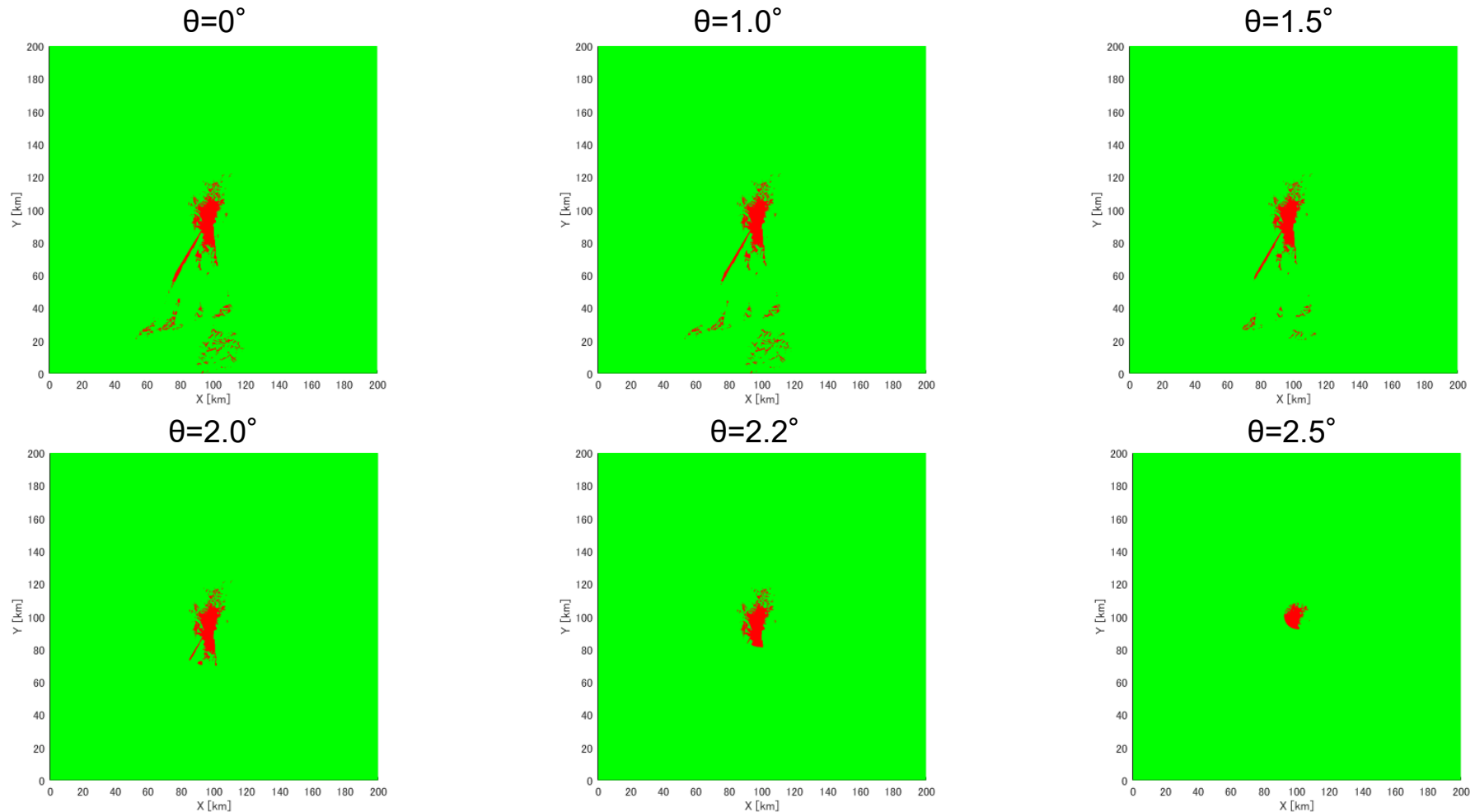
地球局アンテナ高  
10m



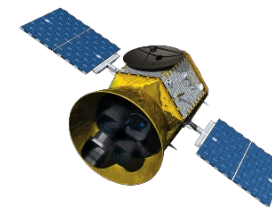
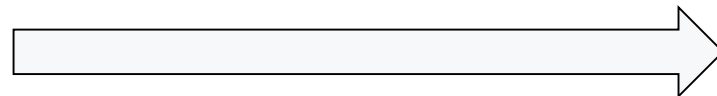
# シナリオ6-2: Ku帯非静止衛星(地球局)→電気通信業務(固定、移動)【隣接】

## ■ 計算結果

- 固定業務の指向方向を全方位で検討した場合の干渉範囲を示すと共に、固定業務への入射角度(仰角方向)を変化させて場合の干渉範囲の変化を検討した。(地球局アンテナ高:10m)
- 入射角度が $0^\circ \sim 2.5^\circ$ まで変化すると、最大離隔距離は50km程度から数km程度まで低減される。



## シナリオ7: 電気通信業務(固定、移動) → Ku帯非静止衛星(宇宙局)【同一】



電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)

Ku帯非静止衛星(宇宙局)(14.0-14.5GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	23 [dBm] = -7 [dBW]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13: 基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、15GHz帯のEIRPを適用。 $65 - 25 \log \theta$ [dBm] ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ ) 23 [dBm] ( $48^\circ \leq \theta$ ) ここで、 $\theta = 90^\circ$ とする。
②自由空間伝搬損失	170 [dB]	周波数: 14.4GHz 地球局-非静止衛星間距離 (SpaceX): 550 km*2
③受信アンテナ利得	35.7 [dBi]	✓ FCCファイリングより、Beam ID: RX12 (受信帯域14.0-14.5GHz)のPeak Gain*3は35.7 [dBi] ✓ ITUファイリングより、当該宇宙局におけるアンテナパターンはS.1528に準拠
④干渉波の電力 I	-157 [dBW]	①EIRP - ②伝搬損失 + ③アンテナ利得

- \* 1: 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、平成26年5月  
「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」  
\* 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 資料の地球局パラメータ(Ku帯)より  
\* 3: FCCファイリング (SATMOD2019083000087) Tech Reportより

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

## シナリオ7: 電気通信業務(固定、移動) → Ku帯非静止衛星(宇宙局)【同一】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
④干渉波の電力 $I$	-157 [dBW]	(前ページ再掲)
⑤増加雑音温度 $\Delta T$	3.08E-02 [K]	$\Delta T = \frac{10 \left( \frac{I}{10} \right)}{kB}$ $B = 500$ [MHz] (SpaceX受信キャリア帯域)*1 $k = 1.38E - 23$ [J/K] (ボルツマン定数)
⑥温度増加率 $\Delta T/T$	7.27E-03 [%]	システム1台による温度増加率 $\Delta T/T$ 受信機の等価雑音温度 $T = 424$ [K] (ITU-RのBR IFIC*2より)
⑦全台による温度上昇率	0.21 [%]	$\Delta T/T \times (\text{台数})$ ✓ 15GHz帯FWAは全国で1798台 (H30年度*3) ✓ NGSO周波数帯と重なる台数は、各無線局が15GHz帯に均等に分布していると仮定し推計 : $1798 \times (14.5-14.4)/(15.25-14.4) \approx 212$ 台 ✓ S.1528において、メインローブとサイドローブのクロスポイントは4.8° との記載があり、本検討ではその範囲内を対象とするビーム範囲とする。 ✓ 高度550kmの位置に衛星が位置し、ビーム幅4.8° で照射すると、地表にはおよそ半径23kmの円状のカバレッジエリアができる。当該カバレッジエリアの面積は1,661km <sup>2</sup> となり、日本の全面積377,900km <sup>2</sup> のおよそ0.004の割合である。 ✓ 全台による温度上昇率 = $\Delta T/T \times 212(\text{台}) \times 0.004$
⑧干渉基準	6 [%]	$\Delta T/T$ は6%を越えない(RR Appendix 5 Table 5-1)



⑦温度上昇率が干渉基準6%を下回るため  
共用可能

- \*1: FCCファイリング (SATMOD2019083000087) Tech Reportより  
\*2: ただし、高度変更前の共用検討 (Attachment 5: Interference Analysis to Accompany the Request for Modification of the STEAM-1 Non-Geostationary Satellite System)  
<https://www.itu.int/en/ITU-R/space/Pages/brificAdditionalInformation.aspx>  
\*3: 総務省 平成30年度電波の利用状況調査より

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

# Ku帯周波数共用検討の結果

	No	与干渉	被干渉	同一/ 隣接	共用検討結果
D/L	1	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (10.7-12.7GHz)	電波天文 (10.6-10.7GHz)	隣接	• 共用可能
	2	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (10.7-12.7GHz)	電気通信業務(固定、移動) (10.7-11.7GHz)	同一	• 共用可能
	3	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (10.7-12.7GHz)	公共・一般業務(固定) (12.2-12.5GHz)	同一	• 共用可能
	4	電気通信業務(固定、移動) (10.7-11.7GHz)	Ku帯非静止衛星(地球局) (10.7-12.7GHz)	同一	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電気通信業務では、所要離隔距離は46～58km程度</li> <li>• 公共・一般業務では、所要離隔距離は42～53km程度</li> <li>• 固定業務からの保護を要求しない運用とすることが適当</li> <li>• 実際の運用に際しては、サイトエンジニアリング等の工夫により干渉の低減が可能</li> </ul>
	5	公共・一般業務(固定) (12.2-12.5GHz)	Ku帯非静止衛星(地球局) (10.7-12.7GHz)	同一	
U/L	6-1	Ku帯非静止衛星(地球局) (14.0-14.5GHz)	電気通信業務(固定、移動) (14.4-15.25GHz)	同一	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同一周波数帯では、所要離隔距離は、地形等を考慮しない最も保守的な条件において46～57km程度</li> <li>• 但し、電気通信業務の指向方向や地形等を考慮した、地球局のサイトエンジニアリング等の工夫により干渉の低減が可能(陸上を移動中に運用を行う地球局については別途検討が必要)</li> <li>• なお、隣接周波数帯では、地形等を考慮しない最も保守的な条件において、34～45km程度の所要離隔距離が算出されたが、現行の静止衛星システムにおいて許容できない干渉が生じていない現状を鑑みると、静止衛星システムの条件を下回る場合には、共用可能と考えられる。</li> </ul>
	6-2			隣接	
	7	電気通信業務(固定、移動) (14.4-15.25GHz)	Ku帯非静止衛星(宇宙局) (14.0-14.5GHz)	同一	



## 【参考】FSS地球局とFSの共用検討

- 欧州のECC Report 271の条件を満たせば、日本国内でも固定業務(FS)と共用可能といえる
  - ・SpaceX地球局(ES)の種類は、固定局及び移動局(陸上、海上、航空)

### ① 固定局または陸上/海上移動局

- ・ITU-R勧告P.452の伝搬モデルを使用し、  
時間率20%で $I/N < -10\text{dB}$ となる離隔距離をとる

$$L_p = \text{e.i.r.p.} + G_R - N - \frac{I}{N} + 10\log(B)$$

- ・陸上と海上の移動局は、以下の理由により  
固定局と同様に扱う
  - アンテナ高がほぼ同じで、パスロスが  
固定局とあまり変わらない
  - あまり動かないので長時間干渉の  
保護基準を適用可能

パラメータ	概要	単位
$L_p$	伝搬損失	dB
EIRP	SpaceX地球局の水平方向の放射	dBW/Hz
$G_R$	FS局のアンテナ利得	dBi
N	FS局のノイズレベル	dBW
I/N	FS局の保護基準	dB
B	FS局の参照帯域幅	MHz等

⇒緯度経度に影響する計算方法ではないため、日本におけるESとFSの数値を上式に代入し、  
離隔距離を取れば良いと考えられる

## 【参考】FSS地球局とFSの共用検討

### ②航空移動局

- ・OneWebと同じ下表のPFD保護マスクを適用
  - 水平方向の放射上限は $-72.76\text{dBW/Hz}$

⇒欧州と比べて日本は緯度が低く、航空移動局から見える衛星の数が少ないことから、日本でも同じPFD保護マスクを使用すればFSと共用可能といえる

数値 [dBW/m <sup>2</sup> /MHz]	条件 ( $\theta$ は到来角)
$-119.5$	$\theta \leq 5^\circ$
$-124.5 + \theta$	$5^\circ < \theta \leq 20^\circ$
$-84.5$	$20^\circ < \theta \leq 90^\circ$

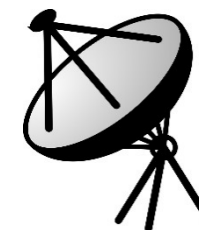
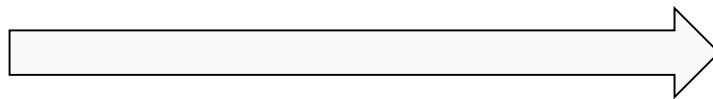
# Ka帯周波数共用検討シナリオ

## フィーダリンク干渉ケース

	No	与干渉	被干渉	同一/隣接
D/L	1-1	Ka帯非静止衛星(宇宙局) (17.8-18.6、18.8-19.3GHz)	無線アクセスシステム、電通業務(固定) (17.7-18.72、19.22-19.7GHz)	同一
	1-2			隣接
	2-1	無線アクセスシステム・電通業務(固定) (17.7-18.72、19.22-19.7GHz)	Ka帯非静止衛星(地球局) (17.8-18.6、18.8-19.3GHz)	同一
	2-2			隣接
U/L	3	Ka帯非静止衛星(地球局) (27.5-29.1、29.5-30.0GHz)	移動(5G) (27.0-29.5GHz)	同一
	4	移動(5G) (27.0-29.5GHz)	Ka帯非静止衛星(宇宙局) (27.5-29.1、29.5-30.0GHz)	同一

- RR Article 22.2により、非静止衛星システムは放送衛星を含む静止衛星ネットワークに干渉を与えてはならないことが規定されている。
- 18.8～19.3GHz及び28.6～29.1GHz帯域は、RR Article 9.12aに基づき、個別調整が必要となる。

# シナリオ1-1: Ka帯非静止衛星(宇宙局)→無線アクセスシステム【同一】 電通業務(固定)【同一】



Ka帯非静止衛星(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)  
電通業務(固定)(17.7-18.72、19.22-19.7GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①宇宙局のepfd↓制限値	-175.4 [dBW/m <sup>2</sup> /(40kHz)] =-161 [dBW/m <sup>2</sup> /MHz]	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 非静止衛星軌道から見える地表面において左記の値を超えない(RR Article 22.5C、TABLE 22-1Bより、17.8~18.6GHz、アンテナ径1m、時間率90%、基準周波数40kHzの値を選択)</li> <li>✓ アンテナ径は、SpaceXアンテナ径1.47m*1に最も近い値を選択</li> <li>✓ 時間率は、F.758-7の長期干渉における時間率20%より大きい、最も近い値を選択</li> </ul>
②アンテナ面積	1.13 [m <sup>2</sup> ] = 0.5 [dBm <sup>2</sup> ]	<p>電気通信業務(固定、移動)のアンテナ径は、陸上無線通信委員会報告*2「参考資料3: 18GHz帯空中線標準利得」の試算例の中で、最も大きい開口径1.2mとする。</p> $10\log\left(\frac{\pi \cdot 1.2^2}{4}\right) = 0.5[\text{dB} \cdot \text{m}^2]$
③地上局での受信電力	-161 [dBW/MHz]	①epfd↓制限値+②アンテナ面積

\*1: 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 資料の地球局パラメータ(Ka帯)より

\*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、平成26年5月「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」

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

# シナリオ1-1: Ka帯非静止衛星(宇宙局)→無線アクセスシステム【同一】 電通業務(固定)【同一】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
③地上局での受信電力	-161 [dBW/MHz]	(前頁再掲)
④受信アンテナ利得* <sup>3</sup>	9 [dBi]	Gamax = 38.4 [dBi] (無線アクセスシステム)、38.0 [dBi] (電通業務) (回線設計条件例* <sup>1</sup> より)として下式* <sup>1</sup> で計算 $G_a(\theta) = 43 - 4 \cdot \log(10^{(G_{max} - 8.4)/20}) - 20 \log(\theta)$ [dBi] $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角* <sup>2</sup> )とする。
⑤干渉基準	-149 [dBW/MHz]	長時間干渉での電力密度 (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table9及び5より、I/N=-10を想定)
⑥所要改善量* <sup>3</sup>	-3 [dB]	③地上局での受信電力+④受信アンテナ利得-⑤干渉基準



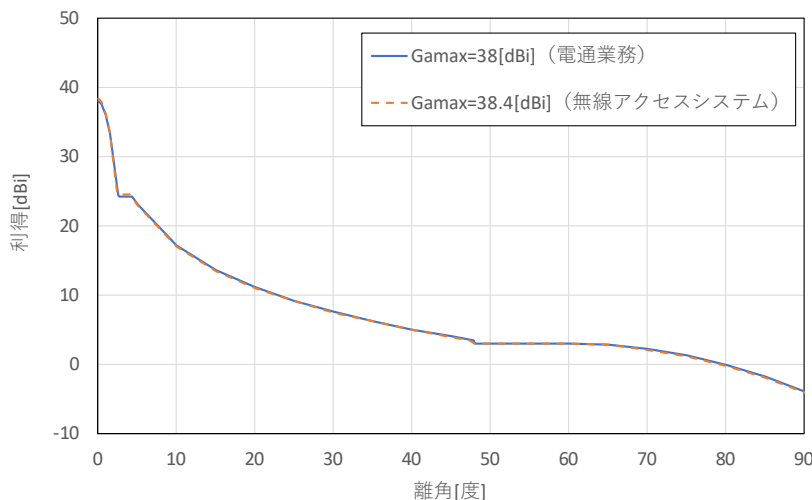
共用可能

- \*1: 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、平成26年5月「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」
- \*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 資料の地球局パラメータ(Ka帯)より
- \*3: 小数点以下を丸めた場合、無線アクセスシステムと電通業務(固定)の値は同じとなった

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

# シナリオ1-1: Ka帯非静止衛星(宇宙局)→無線アクセスシステム【同一】 電通業務(固定)【同一】

受信アンテナ利得と離角の関係\*1



$\theta=25^\circ$  のEIRPは電通業務とFWAでほぼ同じであるため、FWAのアンテナ利得についても同じ式を適用する

受信アンテナ利得と離角の関係式(電通業務)\*1

1 Gamax が 20 [dBi] を超え 40.3 [dBi] 以下の場合

$$Ga(\theta) \leq Gamax - 2.2 \cdot 10^{-3} \cdot [(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20)] \cdot \theta^2 \text{ [dBi]}$$

$$0^\circ \leq \theta \leq \theta_q$$

$$Ga(\theta) \leq 2 + 15 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) \text{ [dBi]} \quad \theta_q < \theta \leq \theta_r$$

$$Ga(\theta) \leq 43 - 4 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) - 20 \log(\theta) \text{ [dBi]}$$

$$\theta_r < \theta \leq \theta_s \quad (\theta_s < \theta_t \text{ の場合}) \text{ 又は } \theta_r < \theta \leq \theta_t \quad (\theta_t \leq \theta_s \text{ の場合})$$

$$Ga(\theta) \leq 3 \text{ [dBi]} \quad \theta_s < \theta \leq \theta_t \quad (\theta_s < \theta_t \text{ の場合})$$

$$Ga(\theta) \leq 3 - 0.0075(\theta - (97.5 - Gamax))^2 \text{ [dBi]} \quad \theta_t < \theta \leq 90^\circ$$

$$Ga(\theta) \leq 10 - 10 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) \text{ [dBi]} \quad 90^\circ < \theta \leq 180^\circ$$

ただし、 $\theta$  は空中線の主輻射方向からの角度 [°] とする。

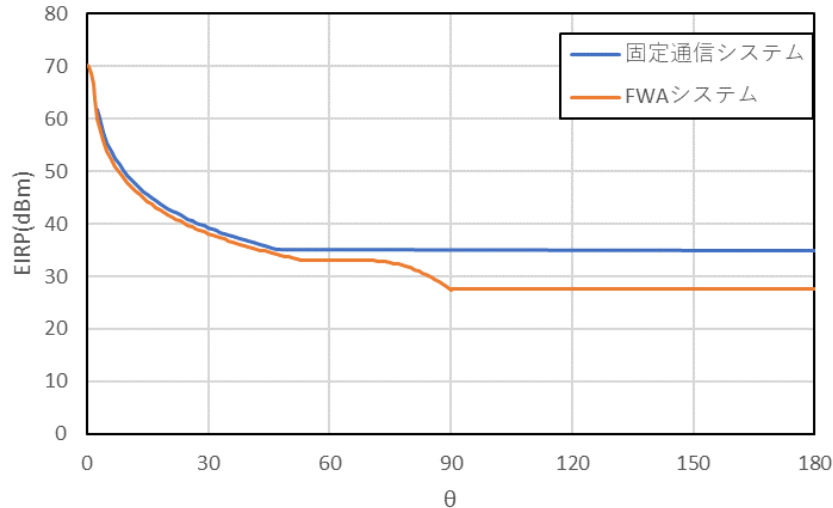
$$\theta_q = 21.2 / (10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) \cdot \text{SQRT}[Gamax - [2 + 15 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20)]] \text{ [}^\circ \text{]}$$

$$\theta_r = 10^{\frac{\theta}{20}} [2.12 - \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20)] \text{ [}^\circ \text{]}$$

$$\theta_s = 10^{\frac{\theta}{20}} [2.05 - 0.25 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20)] \text{ [}^\circ \text{]}$$

$$\theta_t = 97.5 - Gamax \text{ [}^\circ \text{]}$$

EIRPと離角の関係\*1



2 Gamax が 40.3 [dBi] を超え 46.3 [dBi] 以下の場合

$$Ga(\theta) \leq Gamax - 2.0 \cdot 10^{-3} \cdot [(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20)] \cdot \theta^2 \text{ [dBi]}$$

$$0^\circ \leq \theta \leq \theta_q$$

$$Ga(\theta) \leq 2 + 15 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) \text{ [dBi]} \quad \theta_q < \theta \leq \theta_r$$

$$Ga(\theta) \leq 43 - 4 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) - (6.2 + 2Gamax/5) \cdot \log(\theta) \text{ [dBi]}$$

$$\theta_r < \theta \leq \theta_s$$

$$Ga(\theta) \leq 15.83 - Gamax/3 \text{ [dBi]} \quad \theta_s < \theta \leq \theta_t$$

$$Ga(\theta) \leq 15.83 - Gamax/3 - (0.02675 - 0.0005 \cdot Gamax) \cdot (\theta - 177.56 + 3.08 \cdot Gamax)^2 \text{ [dBi]} \quad \theta_t < \theta \leq \theta_u$$

$$Ga(\theta) \leq 10 - 10 \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) \text{ [dBi]} \quad \theta_u < \theta \leq 180^\circ$$

ただし、 $\theta$  は空中線の主輻射方向からの角度 [°] とする。

$$\theta_q = 22.5 / (10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20) \cdot \text{SQRT}[Gamax - [2 + 15 \cdot \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20)]] \text{ [}^\circ \text{]}$$

$$\theta_r = 10^{\frac{\theta}{20}} [1.82 + Gamax/150 - \log(10^{\frac{\theta}{20}} \cdot (Gamax - 8.4) / 20)] \text{ [}^\circ \text{]}$$

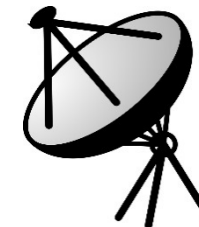
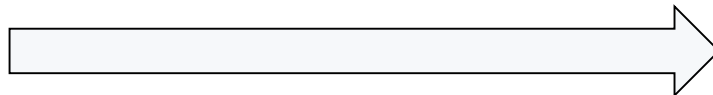
$$\theta_s = 94.55 - 1.5Gamax \text{ [}^\circ \text{]}$$

$$\theta_t = 177.56 - 3.08Gamax \text{ [}^\circ \text{]}$$

$$\theta_u = 130.8 - Gamax \text{ [}^\circ \text{]}$$

\* 1: 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、平成26年5月「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」

# シナリオ1-2: Ka帯非静止衛星(宇宙局)→無線アクセスシステム【隣接】 電通業務(固定)【隣接】



Ka帯非静止衛星(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)  
電通業務(固定)(17.7-18.72、19.22-19.7GHz)  
(※19.3-19.7GHzの帯域が対象)

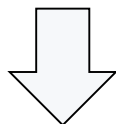
諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①宇宙局の出力	-104 [dBW/MHz]	FCCファイリング*1より、Beam ID: TX9 (送信帯域18.8-19.3GHz) の Max EIRP Densityは、-44.3 dBW/Hz(=-104.3dBW/MHz)
②不要発射の制限値	-19 [dBW/MHz]	50μW以下または基本周波数の平均電力(上記の①宇宙局の出力)より60dB低い値(平成17年 総務省告示1228号より) →-43 [dBW/4kHz](-19 [dBW/MHz]) or -164 [dBW/MHz](保守的なケースを選択)

\* 1: FCCファイリング(SATMOD2019083000087) Tech Report

# シナリオ1-2: Ka帯非静止衛星(宇宙局)→無線アクセスシステム【隣接】 電通業務(固定)【隣接】

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
②不要発射の制限値	-19 [dBW/MHz]	(前ページ再掲)
③送信アンテナ利得	32 [dBi]	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ITU-R勧告 S.1528の軸外アンテナ利得(LEO)を適用</li> <li>✓ シナリオ2-2の結果からKu帯非静止衛星システム地球局と無線アクセスシステム/電通業務の固定局間の離隔距離14kmと仮定すると、メインビームからの離角が約1.5°となる。</li> <li>✓ ITU-R勧告S.1528より、離角1.5°における利得は32[dBi]</li> </ul>
④自由空間伝搬損失	173 [dB]	周波数: 19.3 GHz、地球局-非静止衛星間距離: 550 km* <sup>1</sup>
⑤受信アンテナ利得* <sup>3</sup>	-3 [dBi]	Gamax = 38.4 [dBi] (無線アクセスシステム)、38.0 [dBi] (電通業務) (回線設計条件例* <sup>2</sup> より)として下式* <sup>2</sup> で計算 $G_a(\theta) = 3 - 0.0075(\theta - (97.5 - G_{max}))^2$ [dBi] $\theta = 90 - 1.5 = 88.5^\circ$ とする。
⑥干渉基準	-149 [dBW/MHz]	長時間干渉での電力密度 (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table9及び5より、I/N=-10を想定)
⑦所要改善量* <sup>3</sup>	-14 [dB]	②不要発射+③送信アンテナ利得-④伝搬損失 +⑤受信アンテナ利得-⑥干渉基準

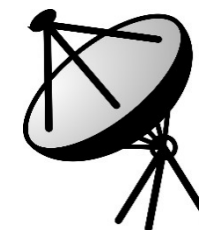
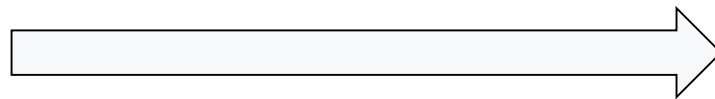


共用可能

- \*1: 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 資料の地球局パラメータ(Ka帯)より
- \*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、平成26年5月  
「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」
- \*3: 小数点以下を丸めた場合、無線アクセスシステムと電通業務(固定)の値は同じとなった



# シナリオ2-1:無線アクセスシステム→Ka帯非静止衛星(地球局)【同一】 電通業務(固定)



無線アクセスシステム(17.7-18.72、19.22-19.7GHz)  
電通業務(固定)(17.7-18.72、19.22-19.7GHz)

Ka帯非静止衛星(地球局)(17.8-18.6、18.8-19.3GHz)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	70 [dBm] =40 [dBW](無線アクセスシステム)  62 [dBm] =32[dBW](電通業務)	<p><math>G_{max} = 38.4</math> [dBi] (無線アクセスシステム)、<math>38.0</math> [dBi] (電通業務) (回線設計条件例*1より)とし、下式*1より求める。</p> <p><b>【無線アクセスシステム】</b></p> <p><math>70.3 - 1.65 \times \theta^2</math> [dBm] (<math>0^\circ \leq \theta \leq 2.5^\circ</math>)</p> <p><math>68.05 - 20.23 \times \log(\theta)</math> [dBm] (<math>2.5^\circ \leq \theta &lt; 54^\circ</math>)</p> <p>33 [dBm] (<math>54^\circ \leq \theta &lt; 70^\circ</math>)</p> <p><math>33.0 - 0.0138 \times (\theta - 70)^2</math> [dBm] (<math>70^\circ \leq \theta &lt; 90^\circ</math>)</p> <p>27.5 [dBm] (<math>90^\circ \leq \theta</math>)</p> <p>離角<math>\theta = 0^\circ</math> (保守的な条件とする)</p> <p><b>【電通業務】</b></p> <p><math>70 - 20.8 \times \log(\theta)</math> [dBm] (<math>2.5^\circ \leq \theta &lt; 48^\circ</math>)</p> <p>35 [dBm] (<math>48^\circ \leq \theta</math>)</p> <p>離角<math>\theta = 2.5^\circ</math> (保守的な条件とする)</p>

\*1: 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、平成26年5月  
「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」

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

# シナリオ2-1:無線アクセスシステム→Ka帯非静止衛星(地球局)【同一】 電通業務(固定)

(続き)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①EIRP	40[dBW](無線アクセスシステム) 32[dBW](電通業務)	(前ページ再掲)
②受信アンテナ利得	-5.4[dBi]	SpaceX Gateway局アンテナパターン*1より、 $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角*2)の場合のアンテナ利得
③干渉基準	-151[dBW]	ITU-R勧告SF.1006-0 式(3)(4)及び以下の諸元(SF.1006-0 Table 1の15-40GHzの値を適用)より、長時間の許容干渉レベル $P_r$ を計算。 $k = 1.38E - 23$ [J/K](ボルツマン定数) $p_1 = 20$ [%], $p_2 = 0.003$ [%], $n_2 = 2$ [-] $T_r = 300$ [K](受信システム雑音温度) $B = 1E + 6$ [Hz](参照帯域幅) $J = -7$ [dB](長期許容干渉電力と熱雑音電力の比) $M_s = 6$ [dB](リンクのフェードマージン) $N_L = 1$ [dB](衛星中継器によるリンクへのノイズ寄与) $W = 0$ [dB](基準帯域内の妨害電波の熱雑音等価係数) 長時間: $P_r(20\%) = 10 \log(k \cdot T_r \cdot B) + J - W$ [dBW] = -151[dBW]
④所要改善量	186[dB](無線アクセスシステム) 177[dB](電通業務)	①EIRP-②受信アンテナ利得-③干渉基準

↓ 与干渉側のアンテナ高を30m、  
時間率を20%に設定

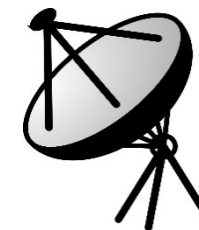
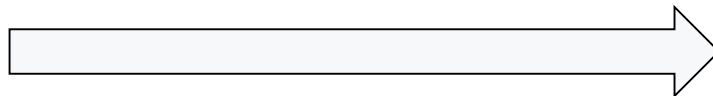
\*1: SpaceX社より提供

\*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 資料の地球局パラメータ(Ka帯)より

地球局アンテナ高	離隔距離
1.5 [m]	43[km] (無線アクセスシステム) 39[km] (電通業務)
10 [m]	53[km] (無線アクセスシステム) 49[km] (電通業務)

43~53km(無線アクセスシステム)、39~49km(電通業務(固定))の離隔距離を取ることによって共用可能

# シナリオ2-2: 無線アクセスシステム→Ka帯非静止衛星(地球局)【隣接】 電通業務(固定)



無線アクセスシステム(17.7-18.72、19.22-19.7GHz)  
電通業務(固定)(17.7-18.72、19.22-19.7GHz)

Ka帯非静止衛星(地球局)(17.8-18.6、18.8-19.3GHz)  
(※18.8-19.22GHzの帯域が対象)

諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
①不要発射の制限値	-43 [dBW/MHz]	50μW/MHz以下(無線設備規則別表三号33より)
②送信アンテナ利得	38.4 [dBi] (無線アクセスシステム) 38.0 [dBi] (電通業務)	$G_{max} = 38.4$ [dBi] (無線アクセスシステム)、 $38.0$ [dBi] (電通業務) (回線設計条件例*1より)として 下式*1で計算 $G_a(\theta) = G_{max} - 2.2E-3 \cdot [(10^{(G_{max}-8.4)/20}) \cdot \theta]^2$ [dBi] $\theta = 0^\circ$
③受信アンテナ利得	-5.4[dBi]	SpaceX Gateway局アンテナパターン*2より、 $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角*2)の場合のアンテナ利得
④干渉基準	-151 [dBW]	ITU-R勧告SF.1006-0 Table 1より、長時間(20%)の許容干渉レベル(シナリオ2-2と同様)
⑤所要改善量	141[dB] (無線アクセスシステム) 140[dB] (電通業務)	①不要発射+②送信アンテナ利得+③受信アンテナ利得-④干渉基準

与干渉側アンテナ高を30m、  
時間率を20%に設定

\*1: 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、平成26年5月「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」

\*2: SpaceX社より提供

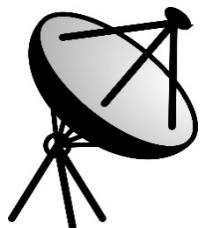
\*3: 情報通信審議会 情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会作業班 資料の地球局パラメータ(Ka帯)より

地球局アンテナ高	離隔距離
1.5 [m]	14[km] (無線アクセスシステム) 14[km] (電通業務)
10 [m]	14[km] (無線アクセスシステム) 14[km] (電通業務)

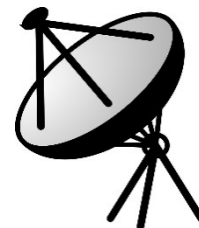
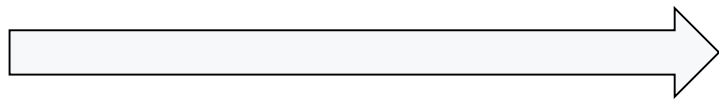
14km(無線アクセスシステム、電通業務(固定))の離隔距離を  
取ることで共用可能

※[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると、「地球局の出力」、「所要改善量」は表に記載の値の通りにはならない場合がある

# シナリオ3: Ka帯非静止衛星(地球局)→携帯電話(5G)



Ka帯非静止衛星(地球局)  
(27.5-29.1, 29.5-30.0GHz)



移動(5G)(27.0-29.5GHz)

- シナリオ3は、「平成30年度 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」と同様の検討手法を使用する。

## ■ 送信側(NGSO地球局)パラメータ

項目	地球局1	地球局2
設置場所*1	山口県	北海道
送信周波数	27.5 GHz	
送信電力	18.78 (case1) or 10.46 (case 2) dBW/(480MHz) <sup>※2</sup>	
空中線利得	SpaceX社より提供	
空中線指向特性	ITU-R S.465又はS.1428に基づき地球局毎の値を利用	
空中線仰角	25° (最小仰角) <sup>*3</sup>	

※1: SpaceXのGateway局の設置予定地域の中から、電波伝搬の特性が異なる代表的な2地域(平けた地域と山間の地域)を選定

※2: 本送信電力は8つのアンテナのサイドローブの影響を加味し、1アンテナあたりの電力に換算した値である。

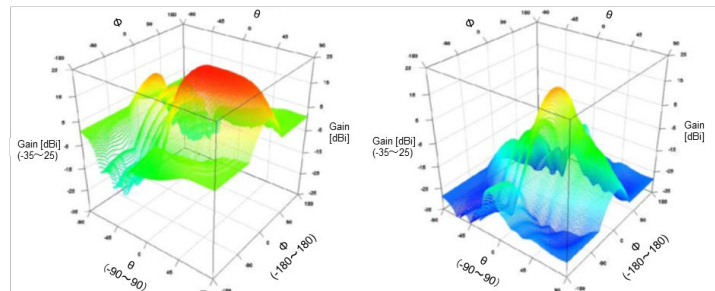
※3: 情報通信審議会 情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会作業班資料の地球局パラメータ(Ka帯)より

## ■ 受信側(5G基地局)パラメータ

項目	数値	備考
許容干渉電力	-110dBm/MHz	※1
空中線指向特性	ITU-R M.2101から計算した最大・平均パターン	※2
チルト角	10°	※1
空中線高	6m	※1

※1: ITU-RのIMT-2020共用検討パラメータに基づく(Document 5-1/36-E)

※2: ITU-R M.2101 Annex 1の5章の数式によって生成された多数のスナップショットに対して統計処理を行い、任意方向の空中線利得を最大値(包絡線)あるいは平均値によりモデル化



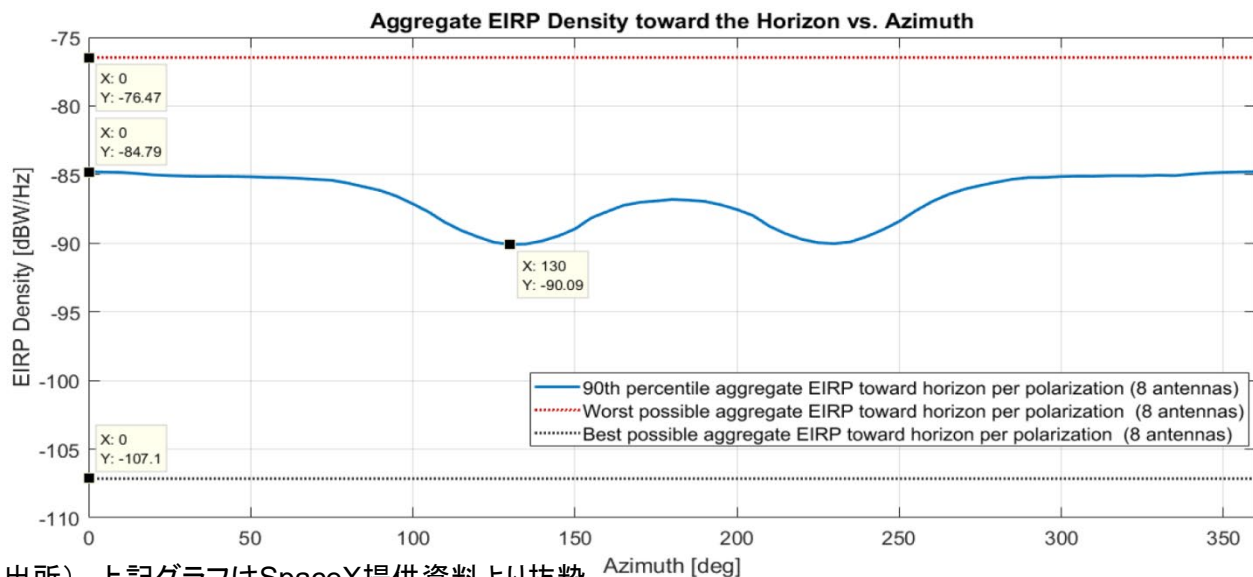
(a) 最大パターン

(b) 平均パターン

# シナリオ3: Ka帯非静止衛星(地球局)→携帯電話(5G)

## 計算の前提条件

- SpaceX社より、仰角が0-10 [deg]において信号強度を20 [dB]減衰させるシールドイングについてパラメータを提供いただいた。本シミュレーションではシールドイングの効果について実装した。
  - SpaceX社より、8基のアンテナを同一周波数ch内で運用した場合の水平面方向の累積EIRP密度に関する統計的分析結果について提供いただいた。本シミュレーションでは当該結果にもとづいて、単一アンテナにおける送信電力を決定した。
    - 本検討では2種類のEIRP密度 (Case1及びcase2)において、単一のアンテナが25[°]の運用仰角にて水平方向に当該EIRP密度で運用していると仮定
      - Case1: EIRP Density = -76.47 [dBW/Hz] (赤点線に対応) ⇒ 18.78 [dBW/480MHz(1ch)]<sup>※1</sup>
      - Case2: EIRP Density = -84.79 [dBW/Hz] (青実線の“最大値”に対応) ⇒ 10.46 [dBW/480(1ch)]<sup>※1</sup>
    - SpaceXのgateway局のアンテナは両偏波 (bi-polarization) で信号を発出することを仮定 (下記、グラフは片偏波を仮定した結果であることに注意)
- (※1: 本送信電力は8つのアンテナのサイドローブの影響を加味し、1局あたりの電力に換算した値である。)



### ○電力計算例 (case1)

- ・EIRP Density
  - = -76.47 [dBW/Hz/pol]
  - = -73.46 [dBW/Hz] (※両偏波のため)
  - = 13.35 [dBW/480MHz(1ch)]
- ・送信電力
  - = 13.35 [dBW] - (-5.431 [dBi])
  - = 18.78 [dBW/480MHz(1ch)]
 (※25[°]におけるSpaceX gateway局アンテナパターンより-5.431[dBi]を適用)

出所) 上記グラフはSpaceX提供資料より抜粋

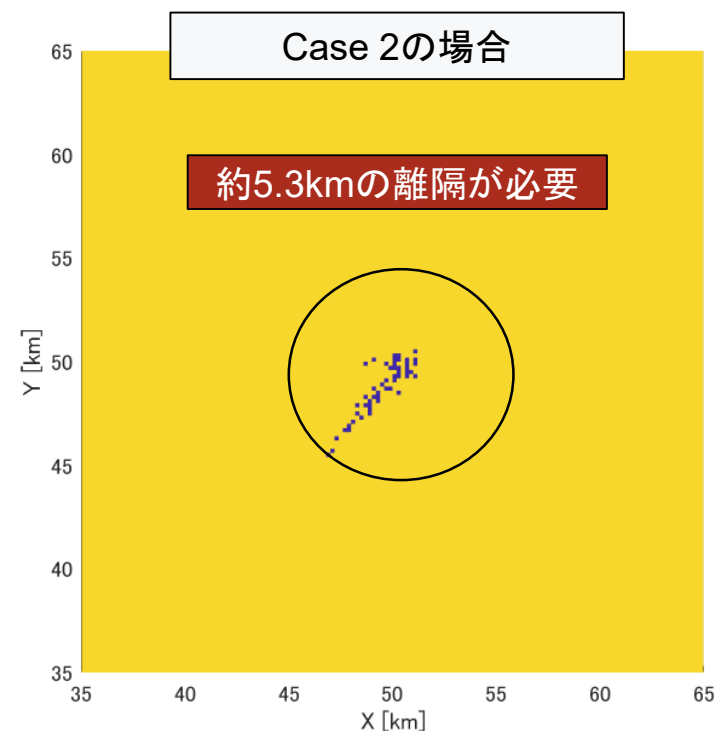
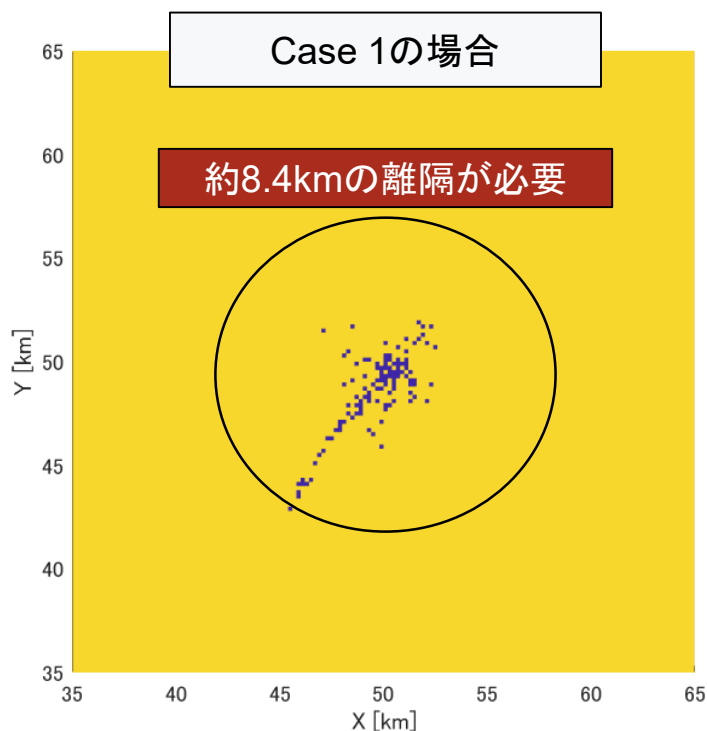
# シナリオ3: Ka帯非静止衛星(地球局)→携帯電話(5G)

## ■ 伝搬モデル、評価手法

項目	概要
伝搬モデル	・ITU-R P.452(時間率20%)、標高を考慮。
評価手法	・地球局1(山口)を中心に100km四方の範囲を対象に、P.452による電波伝搬を計算。

## ■ 計算結果

- 100km四方のうち中心部分(x=50km, y=50km)地点にSpaceX地球局を配置する。(下記図では見やすさのためx,y軸ともに35~65kmを抽出)
- 5G基地局のアンテナパターンは**最大パターン**にて評価。(※前回結果より最大パターンの方が長い離隔距離が必要との結果が得られたため)
- Gateway局は最小仰角25 [°]で運用されていると仮定。(※前回結果より低仰角の方が長い離隔距離が必要との結果が得られたため)
- **Case 1の場合には5G基地局との離隔距離は約8.4km程度必要。また、Case 2場合離隔距離は約5.3km程度必要との結果が得られた。**



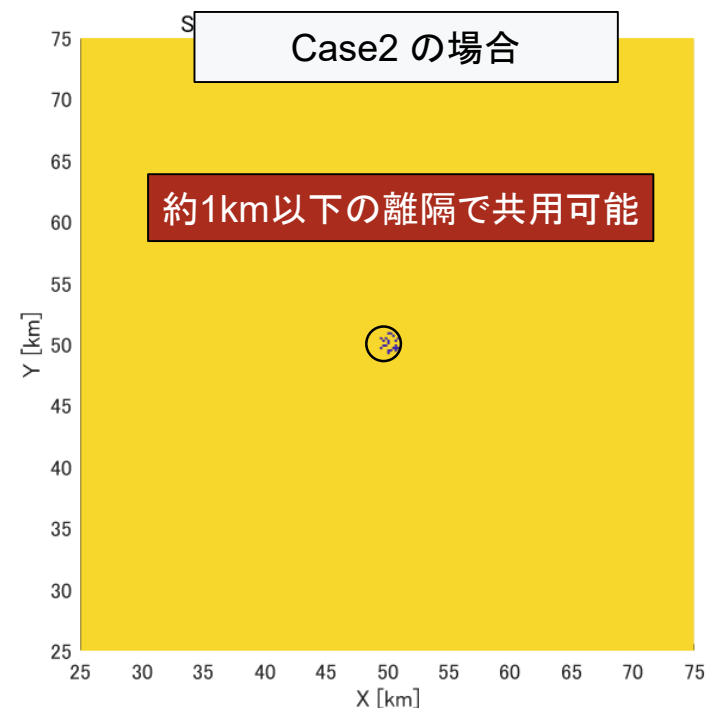
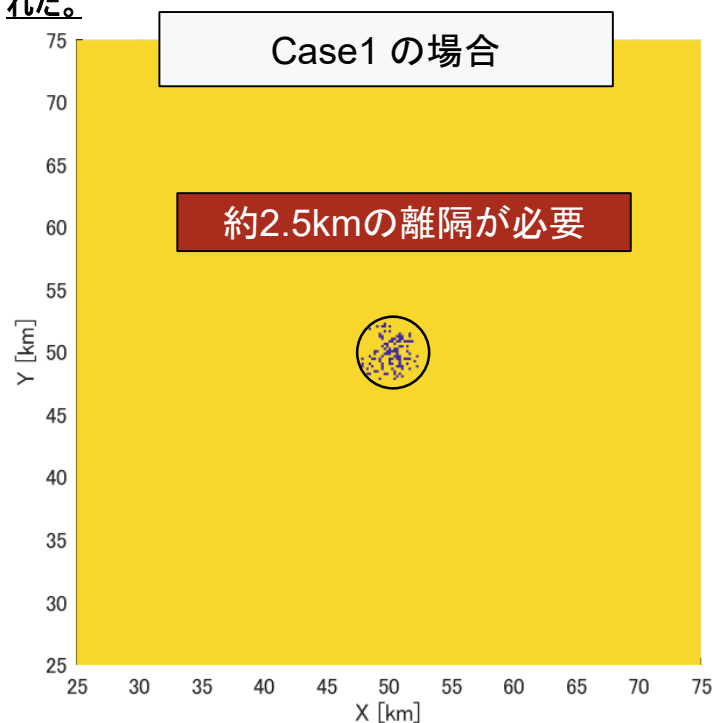
# シナリオ3: Ka帯非静止衛星(地球局)→携帯電話(5G)

## ■ 伝搬モデル、評価手法

項目	概要
伝搬モデル	・ITU-R P.452(時間率20%)、標高を考慮。
評価手法	・地球局2(北海道)を中心に100km四方の範囲を対象に、P.452による電波伝搬を計算。

## ■ 計算結果

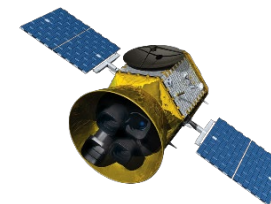
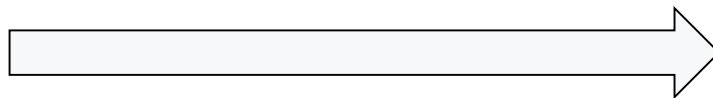
- 100km四方のうち中心部分(x=50km, y=50km)地点にSpaceX地球局を配置する。(下記図では見やすさのためx,y軸ともに25~75kmを抽出)
- 5G基地局のアンテナパターンは**最大**パターンにて評価。(※前回結果より最大パターンの方が長い離隔距離が必要との結果が得られたため)
- Gateway局は最小仰角25 [°]で運用されていると仮定。(※前回結果より低仰角の方が長い離隔距離が必要との結果が得られたため)
- **Case 1の場合には5G基地局との離隔距離は約2.5km程度必要。また、Case 2場合離隔距離は1km以下の離隔にて共用可能との結果が得られた。**



## シナリオ4: 携帯電話(5G) → Ka帯非静止衛星(宇宙局)



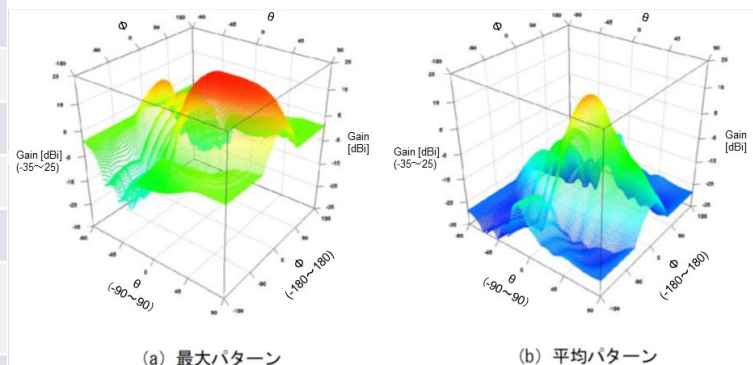
移動(5G) (27.0-29.5GHz)

Ka帯非静止衛星(宇宙局)  
(27.5-29.1, 29.5-30.0GHz)

- シナリオ4は、「平成30年度 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」と同様の検討手法を使用する。

## ■ 送信側(5G基地局)パラメータ

項目		数値	備考
送信周波数		27.5 GHz	※1
送信電力	P	5 dBm/MHz	※1
空中線利得	$G_t$	約23dBi (素子当たり5dBi、素子数8×8)	※1
送信系各種損失	$P_{tl}$	3 dBi	※1
等価等方輻射電力(EIRP)	$P_D$	25dBm/MHz ( $P_D = P + G_t - P_{tl}$ )	※1
空中線指向特性	G	ITU-R M.2101から計算した最大・平均パターン(右下図)	※2
チルト角		10°	※1
空中線高		6m	※1



&lt;ビームフォーミングを考慮した5G空中線指向特性&gt;

※1: ITU-RのIMT-2020共用検討パラメータに基づく(Document 5-1/36-E)

※2: ITU-R M.2101 Annex 1の5章の数式によって生成された多数のスナップショットに対して統計処理を行い、任意方向の空中線利得を最大値(包絡線)あるいは平均値によりモデル化



# シナリオ4: 携帯電話(5G) → Ka帯非静止衛星(宇宙局)

## ■ 受信側(NGSO宇宙局)パラメータ

項目		設定
受信空中線パターン	$G_r$	SF.1528の軸外アンテナ利得(LEO)を適用
許容干渉電力		ITU-R S.1432に基づき設定

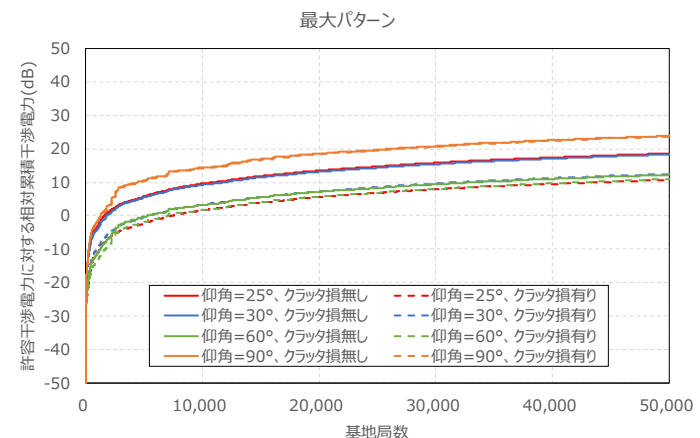
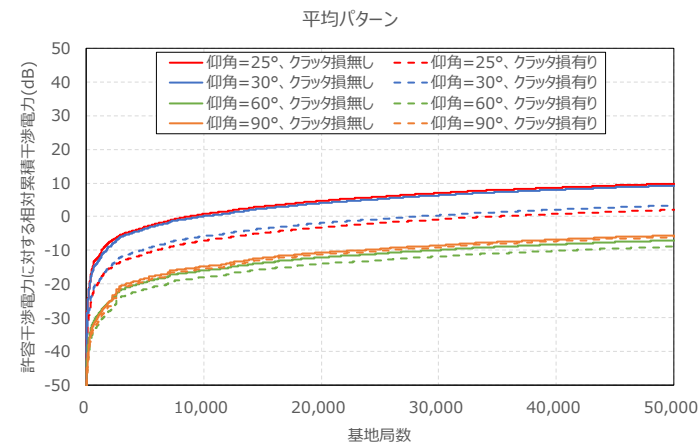
## ■ 伝搬モデル、評価手法

項目	概要
伝搬モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>自由空間伝搬損失のみ (<math>L_b</math>)</li> <li>自由空間伝搬損失 (<math>L_b</math>) + クラッタ損(場所率50%) (<math>L_{CL}</math>)</li> </ul>
評価手法	国内の昼間人口の多い地点順に基地局を1局ずつ配置し、非静止衛星における複数の基地局からの累積干渉電力を算出して、許容干渉電力と比較

## ■ 計算結果

- 設置局数に対する累積干渉電力を計算
- 累積干渉電力が許容干渉電力と等しくなる局数(=設置可能局数)を算出する
- 設置可能局数が50,000局を超える場合は、50,000局設置時のマージンを算出

条件	仰角	設置可能局数	
		平均パターン	最大パターン
自由空間伝搬損失のみ	25度	約8,500局	約1,600局
	30度	約10,000局	約1,800局
	60度	50,000局以上(約7dB)	約5,400局
	90度	50,000局以上(約6dB)	約1,300局
自由空間伝搬損失+クラッタ損	25度	約34,000局	約7,400局
	30度	約28,000局	約5,400局
	60度	50,000局以上(約9dB)	約7,100局
	90度	50,000局以上(約6dB)	※挿入内はマージン



# Ka帯周波数共用検討の結果

	No	与干渉	被干渉	同一/ 隣接	共用検討結果
D/L	1-1	Ka帯非静止衛星 (宇宙局)	無線アクセスシステム、 電通業務(固定)	同一	<ul style="list-style-type: none"> <li>共用可能</li> </ul>
	1-2	(17.8-18.6、 18.8-19.3GHz)	(17.7-18.72、 19.22-19.7GHz)	隣接	
	2-1	無線アクセスシステム、 電通業務(固定)	Ka帯非静止衛星 (地球局)	同一	<ul style="list-style-type: none"> <li>同一周波数帯の所要離隔距離は、無線アクセスシステムでは最大43～53km程度、電気通信業務では最大39～49km程度</li> <li>隣接周波数帯の所要離隔距離は、無線アクセスシステムでは最大32～42km程度、電気通信業務では最大31～42km程度</li> <li>設置の際に、サイト周辺の干渉状況に応じた干渉回避が可能</li> </ul>
	2-2	(17.7-18.72、 19.22-19.7GHz)	(17.8-18.6、 18.8-19.3GHz)	隣接	
U/L	3	Ka帯非静止衛星 (地球局)	移動(5G)	同一	<ul style="list-style-type: none"> <li>地域における地形を考慮した検討の結果、所要離隔距離は、対象とした2ケースにおいて最大で2.5～8.4km程度</li> <li>地球局設置地域の所要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対策を取ることが必要</li> </ul>
	4	(27.5-29.1、 29.5-30.0GHz)	(27.0-29.5GHz)	同一	
		移動(5G)	Ka帯非静止衛星 (宇宙局)	同一	<ul style="list-style-type: none"> <li>低仰角の条件でクラッタ損を考慮しない場合には8,500局程度の基地局を設置すると宇宙局の許容干渉電力に到達</li> <li>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)の基地局を設置可能</li> <li>5G基地局の設置状況を適切に管理していくことが必要</li> </ul>
		(27.0-29.5GHz)	(27.5-29.1、 29.5-30.0GHz)		