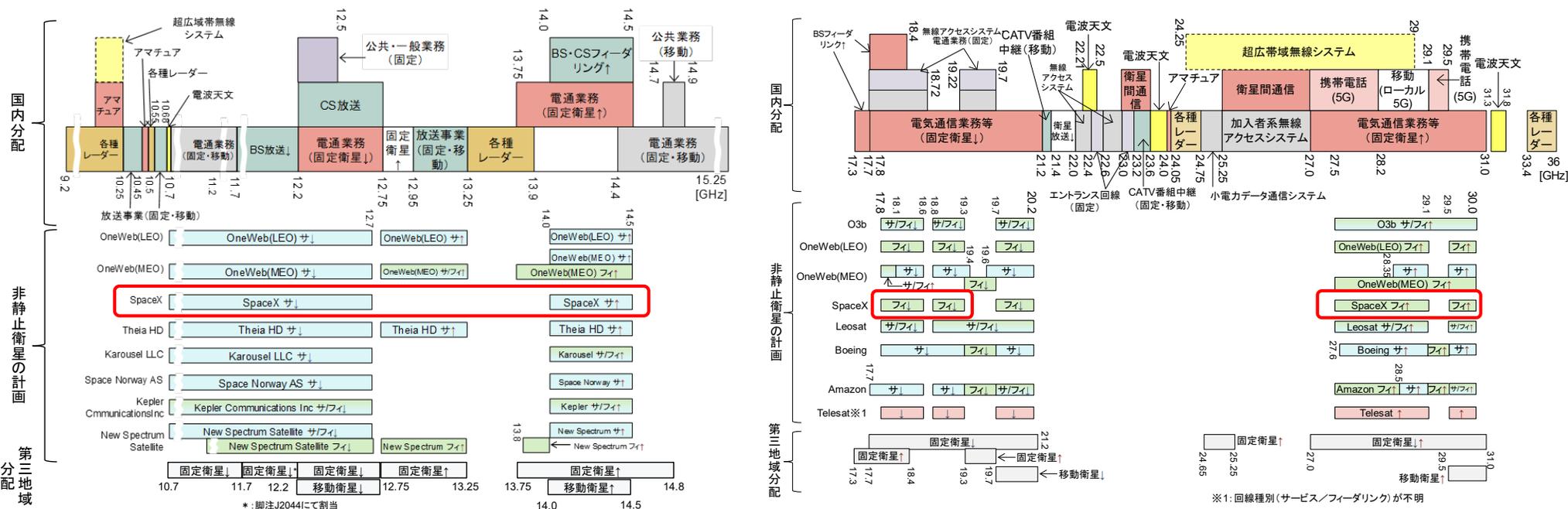


Ku帯非静止衛星通信システム(高度500km)の周波数共用検討

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。

- 第1回検討会:ユーザ地球局(サービスリンク)の共用検討 ← 本日ご報告
- 第2回検討会: Gateway地球局(フィーダリンク)の共用検討



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

Ku帯周波数共用検討シナリオ

- 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。→放送衛星を含む静止衛星ネットワークとの周波数共用検討は除く。

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

Ka帯周波数共用検討シナリオ

- 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。→放送衛星を含む静止衛星ネットワークとの周波数共用検討は除く。

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	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 隣接
	2	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 隣接
U/L	3-1	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
	3-2			隣接
	4-1	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
	4-2			隣接

計算の前提条件(Ku帯)

- 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
 - ΔN (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」
 - 共用相手側のアンテナ高: 利用状況に応じたアンテナ高

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 ²	RA.769
	許容データ損失率	2%	RA.1513
	実効電力束密度(EPFD)閾値	-239.4dBW/m ² /(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%	—

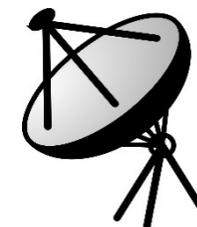
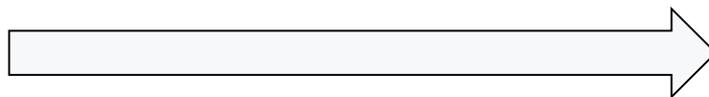
■ 計算方法

- ・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

- ・EPFD閾値-239.4dBW/m²/(100MHz)及びデータ損失率2%以下どちらの条件も満たす

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 ² /(40kHz)] =-160 [dBW/m ² /MHz]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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) ✓ アンテナ径は、SpaceXアンテナ径0.48m*1に最も近い値を選択 ✓ 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
②アンテナ面積	1.13 [m ²] = 0.5 [dBm ²]	<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"> ✓ 雑音電力 = -139 [dBW/MHz] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 8より、10.7-11.7GHz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	-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

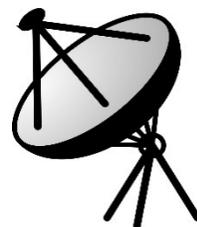
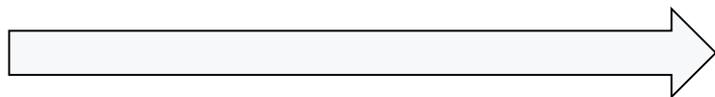


共用可能

*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 ² /(40kHz)] =-160 [dBW/m ² /MHz]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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) ✓ アンテナ径は、SpaceXアンテナ径0.48m*1に最も近い値を選択 ✓ 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
②アンテナ面積	1.13 [m ²] = 0.5 [dBm ²]	<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)

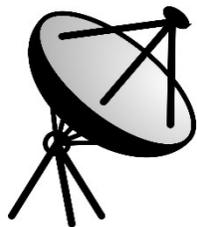
諸量	値※ [単位]	根拠/仮定/計算式 等
③地上局での受信電力	-159 [dBW/MHz]	(前頁再掲)
④受信アンテナ利得	7 [dBi]	陸上無線通信委員会報告*1「参考資料13:基幹系無線システムの主な技術的条件について(1)固定通信システム」より、12GHz帯のアンテナパターンを適用。 $53.3 - 3.89\theta^2$ [dBi] ($0^\circ \leq \theta < 2.5^\circ$) $38 - 22.5 \log \theta$ [dBi] ($2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$) 0 [dBi] ($48^\circ \leq \theta < 90^\circ$) $58.5 - 0.65\theta$ [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



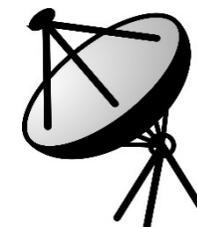
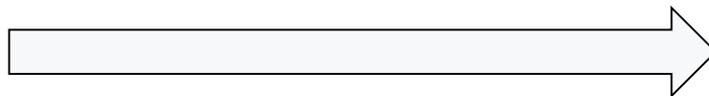
共用可能

- *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20m、
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]

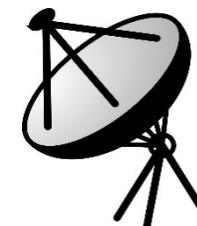
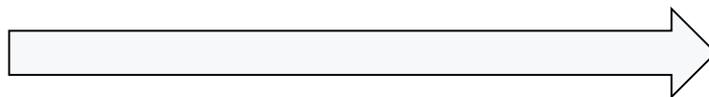


共用するには、42~53kmの離隔距離が必要

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) $p_1 = 20$ [%], $p_2 = 0.005$ [%], $n_2 = 20$ [%], 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	178 [dB]	①EIRP + ②受信アンテナ利得 - ③干渉基準



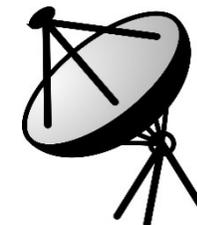
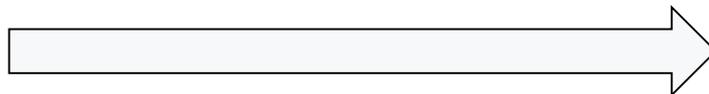
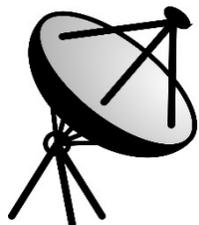
公共・一般業務(固定)のアンテナ高を20m、
時間率は20%に設定

SpaceX 地球局アンテナ高	離隔距離
1.5 [m]	37 [km]
10 [m]	48 [km]



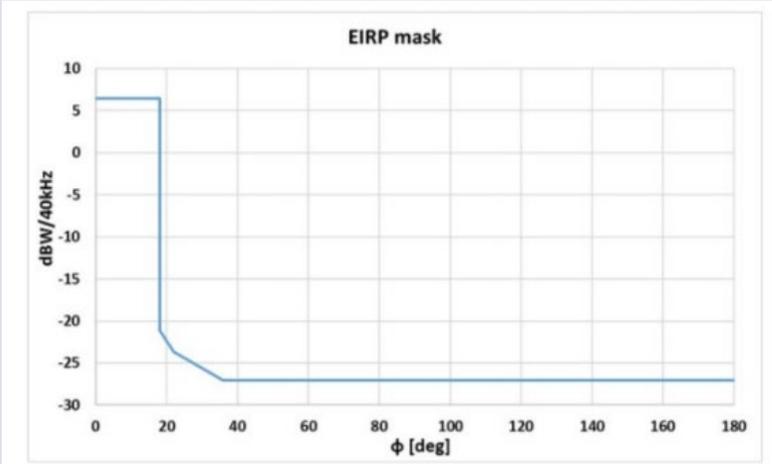
共用するには、37~48kmの離隔距離が必要

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	-24 [dBW/40kHz] = -10 [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)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	-10 [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]	✓ 雑音電力 = -136 [dBW/MHz] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 9より、14.4-15.35GHz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
④所要改善量	191 [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20m、
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]	44 [km]
10 [m]	54 [km]



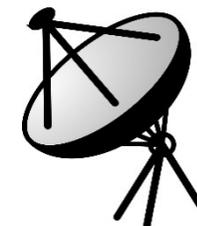
共用するには、44~54kmの離隔距離が必要

*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6-2: Ku帯非静止衛星(固定地球局)→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スプリアス領域の不要発射の制限値	-43 [dBW/4kHz] =-19 [dBW/MHz]	50μW以下(平成17年 総務省告示1228号より) →-43 [dBW/4kHz]
②送信アンテナ利得	3.5 [dBi]	RR Appendix8 Annex3(BR IFICのSpaceXシステム(STEAM-1)の共用検討で使用*1)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、 $D/\lambda \cong 22.4$ 、 $\theta = 25^\circ$ (SpaceX最小仰角*2)とする($D=0.48\text{m}$ *2、 $f=14.0\text{GHz}$)。

*1: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)

*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

※[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6-2: Ku帯非静止衛星(固定地球局)→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スプリアス領域の不要発射の制限値	-19 [dBW/MHz]	(前ページ再掲)
②送信アンテナ利得	3.5 [dBi]	(前ページ再掲)
③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。
④干渉基準	-146 [dBW/MHz]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 雑音電力 = -136 [dBW/MHz] (ITU-R勧告F.758-7 Annex2 Table 9より、14.4-15.35GHz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
所要改善量	185 [dB]	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



電気通信業務(固定、移動)のアンテナ高を20m、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]	40 [km]
10 [m]	51 [km]

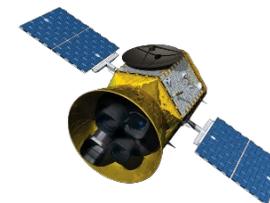
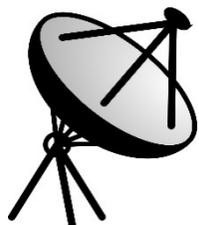


共用するには、40~51kmの離隔距離が必要

- * 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」
- * 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

※[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】



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	20.7 [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 ✓ シナリオ6の結果からKu帯非静止衛星システム地球局と電気通信業務の固定局間の離隔距離50kmと仮定すると、宇宙局はメインビームからの離角が約5°のアンテナ利得にて電通業務より干渉を受ける。ITU-R勧告S.1528より、離角5°において利得は少なくとも15 [dB]減少することより、 $35.7 - 15 = 20.7$ [dBi]
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 ΔT	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	1.5 [%]	$\Delta T/T \times$ (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
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
- *4: 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

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	共用するには、42～53kmの離隔距離が必要
	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	共用するには、37～48kmの離隔距離が必要
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	共用するには、44～54kmの離隔距離が必要
	隣接			共用するには、40～51kmの離隔距離が必要	
	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	共用可能

【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 -72.76dBW/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 ² /MHz]	条件 (θ は到来角)
-119.5	$\theta \leq 5^\circ$
$-124.5 + \theta$	$5^\circ < \theta \leq 20^\circ$
-84.5	$20^\circ < \theta \leq 90^\circ$