

# Ku/Ka帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る周波数共用技術に関する調査検討

## 平成30年度結果報告（Ku/Ka帯周波数共用検討）

---

2019年6月11日

衛星通信システム委員会作業班（第15回）

 株式会社三菱総合研究所

---

# 全体概要

---

## 背景と目的

### <背景>

- Ku/Ka帯を用いる非静止コンステレーション衛星通信システム(以下、Ku/Ka帯システム)の計画は、欧米を中心に多数計画。衛星の運用数や軌道高度など、様々なコンセプトが提案。
- 我が国への早期導入も期待され、現在のところ、2020年以降にOneWeb、LEOSATのサービス展開が計画。将来的には他の非静止衛星システムを用いたサービス展開も想定。
- 他方、我が国におけるKu/Ka帯システムの検討事例はこれまでになく、既存システムとの共用条件の検討は、喫緊の課題。
- また、今後想定される複数のKu/Ka帯システムのサービス展開を見据え、個別システムではなく、複数の衛星システムに対する包括的な技術的条件の検討も必要。

### <目的>

- こうした背景を踏まえ、Ku/Ka帯システムについて、技術基準等に反映するため、電波天文学業務、静止衛星通信・放送システム、その他無線局等との周波数共用技術に関する調査検討等、技術的条件(案)を策定するための検討を実施

## Ku/Ka帯を用いた非静止衛星システムに係る周波数共用技術に関する調査検討会

## ■ 構成員

主査	三次 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
委員	伊藤 信幸	日本無線株式会社 マリンシステム技術部 衛星通信グループ 課長
委員	小竹 信幸	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター 技術部 部長
委員	正源 和義	株式会社放送衛星システム(B-SAT) 総合企画室 エグゼクティブ・エンジニア
委員	上馬 弘敬	三菱電機株式会社 通信機製作所 通信情報システム部 プロジェクト部長
委員	辻 宏之	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレス ネットワーク総合研究センター 宇宙通信研究室 研究マネージャー
委員	西本 友成	日本放送協会 技術局 計画管理部 副部長
委員	福井 裕介	KDDI株式会社 グローバルネットワーク・オペレー ションセンター 衛星通信グループ マネージャ
委員	福本 史郎	ソフトバンク株式会社 電波企画室 標準化推進部 国際規格課 課長
委員	本間 希樹	国立天文台 水沢VLBI観測所 所長・教授
委員	牧山 隆宏	株式会社NTTドコモ 電波部 電波企画 担当部長
委員	森田 靖彦	株式会社スカパーJSAT 衛星技術本部 テレポート技術部 部長

## ■ 開催状況

回次	開催日	主な議題
第1回 会合	2018年 10月19日	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 実施計画について</li> <li>■ Ku/Ka帯システムの動向について</li> <li>■ 周波数共用検討の実施方針について</li> <li>■ アンテナ方式検討について</li> </ul>
第2回 会合	2019年 1月24日	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 諸外国の制度調査結果</li> <li>■ Ku/Ka帯システムの共用技術について</li> <li>■ 周波数共用検討結果</li> <li>■ アンテナ方式検討結果</li> </ul>
第3回 会合	2019年 3月26日	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 周波数共用検討結果</li> <li>■ アンテナ方式検討結果</li> <li>■ 技術的条件項目(案)について</li> <li>■ 報告書(案)の審議</li> </ul>

# 平成30年度実施概要

## 1. Ku/Ka帯システムの技術諸元調査

国内外で運用・計画されているKu/Ka帯システムのサービス計画や技術諸元等を調査。

## 2. 制度等に関する調査

国際的な標準化機関や主要な海外主管庁におけるKu/Ka帯システムの技術基準、共用条件等の策定状況・検討状況を調査

## 3. 周波数共用検討

周波数共用検討が必要な既存無線システムとの干渉モデルを検討し、そのモデルに基づき周波数共用検討を実施。

## 4. アンテナ方式の技術検討

地球局アンテナをモデル化し、捕捉、追尾、ハンドオーバ等の特性を評価すると共に、他システムへの干渉軽減に必要な要件を整理。

## 5. 技術的条件項目の整理

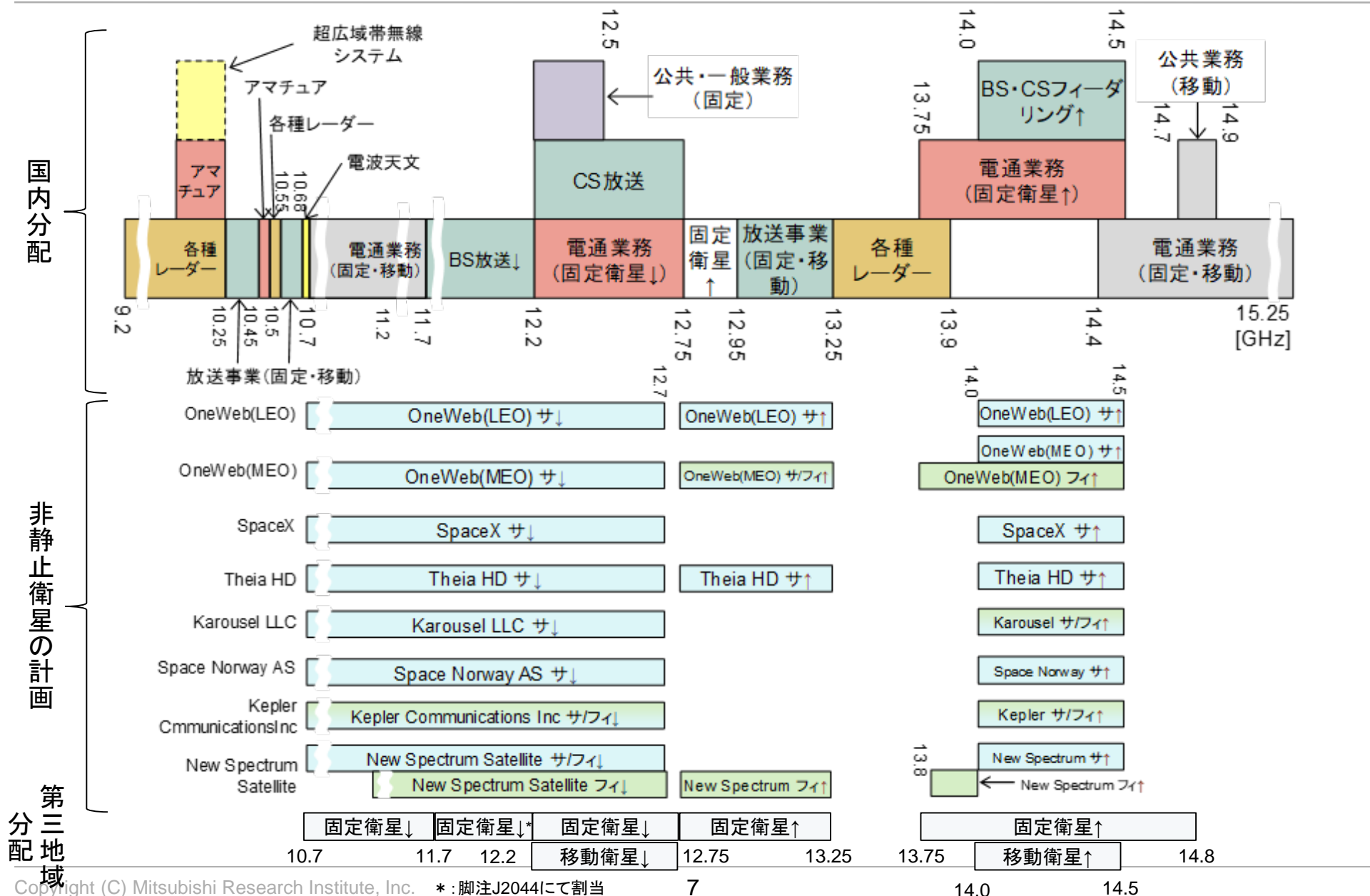
1～4の検討結果をもとに、Ku/Ka帯システムの技術的条件として必要な項目を検討し、今後の検討課題を整理。

---

## Ku帯周波数共用検討

---

# Ku帯非静止衛星との周波数共用状況(1/2)



## Ku帯非静止衛星との周波数共用状況(2/2)

- RR Article 22.2により、非静止衛星システムは固定衛星及び放送衛星の静止衛星ネットワークに干渉を与えてはならない。(気象衛星は対象外)



- 固定衛星及び放送衛星の静止衛星ネットワークとの周波数共用検討は除く。
- 同一周波数帯であっても、被干渉システムの帯域が与干渉システムの帯域に完全に包含されない場合は隣接周波数帯としての検討も行う。

	同一周波数帯	隣接周波数帯
ダウンリンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電気通信業務(固定、移動)(10.7-11.7GHz)</li> <li>• 公共・一般業務(固定)(12.2-12.5GHz)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電波天文(10.6-10.7GHz)</li> </ul>
アップリンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 放送事業(固定、移動)(12.95-13.25GHz)</li> <li>• 電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)</li> <li>• 電波天文(14.47-14.5GHz)</li> <li>• 公共業務(移動)(14.7-14.9GHz)※</li> </ul>	

※: 第三地域の分配では、14.5-14.8GHzのFSSは、脚注により「静止衛星に限定」されているため共用検討から除く



# 周波数共用検討シナリオ

	No.	与干渉	被干渉	同一/隣接
ダウン リンク	1	Ku帯非静止衛星(宇宙局)(10.7-12.75GHz)	電波天文(10.6-10.7GHz)	隣接
	2	Ku帯非静止衛星(宇宙局)(10.7-12.75GHz)	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)(10.7-12.75GHz)	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)(10.7-12.75GHz)	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)(10.7-12.75GHz)	同一
アップ リンク	6-1	Ku帯非静止衛星(地球局)(13.75-14.5GHz)	放送事業(固定、移動)(12.95-13.25GHz)	同一
	6-2			隣接
	7-1	Ku帯非静止衛星(地球局)(13.75-14.5GHz)	電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)	同一
	7-2			隣接
	8-1	Ku帯非静止衛星(地球局)(13.75-14.5GHz)	電波天文(14.47-14.5GHz) ※現在国内での利用なし	同一
	8-2			隣接
9	放送事業(固定、移動)(12.95-13.25GHz)	Ku帯非静止衛星(宇宙局)(13.7-14.5GHz)	同一	
10	電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)	Ku帯非静止衛星(宇宙局)(13.7-14.5GHz)	同一	

## シナリオ1 Ku帯非静止衛星(宇宙局)→電波天文



Ku帯非静止衛星  
10.7GHz~12.75GHz

## RR Article 22.2 Table 22-1A

→epfd↓ = -195.45dBW/m<sup>2</sup>/40kHz (時間率99%、アンテナ径10m)  
= -241.47dBW/m<sup>2</sup>Hz



## 帯域外領域(不要発射の許容値(平成17年告示1228号))

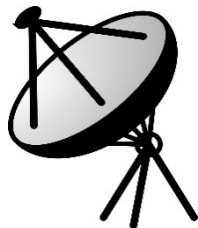
→最大電力密度 -  $40 \log \left( \frac{2F}{BN} + 1 \right)$  dBW/4kHz

F: 必要周波数帯幅と帯域外領域の境界より中心周波数と反対方向に離れる周波数の値  
BN: 必要周波数帯幅

## スプリアス領域(不要発射の許容値(平成17年告示1228号))

→50μW又は基本周波数の平均電力より60dB低い値(参照帯域4kHz)

10.6~10.7GHz  
電波天文

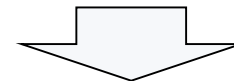


## 受信電力の閾値

→ITU-R勧告RA.769-2  
連続観測 (Table-1)

-240dBW/m<sup>2</sup>Hz (10.650GHz)

→ITU-R勧告RA1513-2では2%以下のデータ損失を許容



epfd↓は時間率98%以上でITU-R勧告RA.769-2の閾値を超えないため共用可能

## シナリオ2&amp;3 Ku帯非静止衛星(宇宙局)→電気通信業務、一般・公共業務



Ku帯非静止衛星

10.7GHz~12.75GHz

## RR Article 22.2 Table 22-1A

→epfd↓ =  $-178.4\text{dBW}/\text{m}^2/40\text{kHz}$  (時間率99.5%、アンテナ径1.2m)  
 =  $-164.4\text{dBW}/\text{m}^2/\text{MHz}$



最悪、直径1.2mのアンテナで受信する全電力密度 =  $-164.4\text{dBW}/\text{m}^2/\text{MHz} + 10\log(((1.2/2)^2\pi)$   
 =  **$-163.9\text{dBW}/\text{MHz}$**



アンテナ径1.2mのアンテナで受信する電力密度の最悪値は許容干渉レベル以下であるため共用可能である。

電気通信業務(固定、移動)(10.7-11.7GHz)

公共・一般業務(固定)(12.2-12.5GHz)



## ITU-R勧告F.758-6 Annex2 Table 7

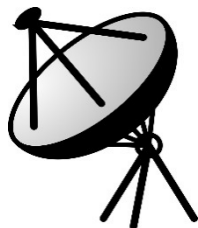
→許容干渉レベル(長時間干渉での電力密度)

-159dBW/MHz (10.7-11.7GHz)

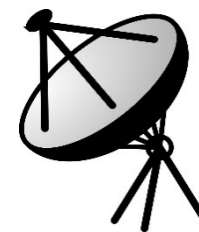
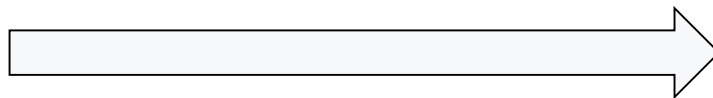
-154dBW/MHz (12.75-13.25GHz)

ただしAnnex2 Table 4よりI/N=-20とした。

→アンテナ利得\*

11GHz帯: -10dBi( $\theta \geq 48$ 度)12GHz帯: 0dBi( $48$ 度 $\leq \theta < 90$ 度)、 $58.5 - 0.65\theta$ ( $90$ 度 $\leq \theta < 110$ 度)、-13dBi( $110$ 度 $\leq \theta$ )

## シナリオ4&amp;5 電気通信業務、一般・公共業務→ Ku帯非静止衛星(地球局)



電気通信業務(固定、移動)(10.7-11.7GHz)  
 公共・一般業務(固定)(12.2-12.5GHz)

Ku帯非静止衛星(地球局)  
 10.7GHz~12.75GHz

E.I.R.P.\*

- 11GHz帯(周波数帯幅:40MHz、60MHz)
  - 65-25log $\theta$ (2.5度 $\leq \theta < 48$ 度)
  - 23dBm(48度 $\leq \theta$ )
- 12GHz帯(周波数帯幅:30MHz)
  - 58-22.5log $\theta$ (2.5度 $\leq \theta < 48$ 度)
  - 20dBm(48度 $\leq \theta < 90$ 度)
  - 78.5-0.65 $\theta$ dBm(90度 $\leq \theta < 110$ 度)
  - 7dBm(110度 $\leq \theta$ )

許容干渉レベル(dBW)

→ ITU-R SF.1006-0 Table 1より

長時間(20%)

$$10 \log(kT_r B) + J - W = -154$$

短時間(0.0025%)

$$10 \log(kT_r B) + 10 \log\left(10^{\frac{M_S}{10}} - 1\right) + N_L - W = -143$$

アンテナ利得

最小仰角:40度(SpaceX)、55度(OneWeb)

アンテナ利得:-5dBiを想定

(ETSI EN 303 980受信アンテナの軸外利得パターンより)

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)

## シナリオ6-1 Ku帯非静止衛星(地球局) → 放送事業(固定、移動)



Ku帯非静止衛星(地球局)  
12.75GHz~13.25GHz

RR Article 22.22.5D

静止衛星軌道において-160dBW/m<sup>2</sup>/40kHzを超えない

周波数: 13GHz

地球局-静止衛星間距離: 36,000 km

地球局の出力: 16dBW/MHz

アンテナ利得

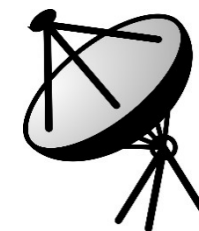
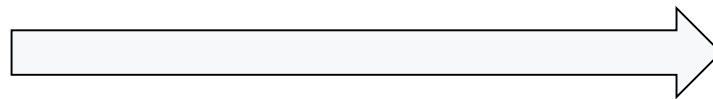
$29-25\log\theta$  dBi ( $1^\circ \leq \theta < 36^\circ$ )

-10 dBi ( $36^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )

最小仰角: 40度(SpaceX)、55度(OneWeb)

ビーム中心からの減衰は39dB

(FCC 47 CFR § 25.209 (h)送信アンテナの利得パターンより)



放送事業(固定、移動)(12.95-13.25GHz)  
許容干渉レベル

I/N=-20dB (ITU-R F.758-6 Annex 2 Table 4)

長時間干渉電力密度: -154 dBW/MHz  
(ITU-R F.758-6 Annex 3 Table 16)

アンテナ利得(ARIB STD B-12)

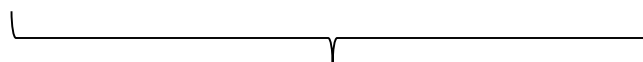
$54-2.7\theta^2$  dBi ( $0^\circ \leq \theta < 3^\circ$ )

$41.3-24\log\theta$  dBi ( $3^\circ \leq \theta < 48^\circ$ )

1 dBi ( $48^\circ \leq \theta < 90^\circ$ )

$59.5-0.65\theta$  dBi ( $90^\circ \leq \theta < 110^\circ$ )

-12 dBi ( $110^\circ \leq \theta$ )



所要改善量は、185 dB(0度)

ITU-R勧告P.452-16による離隔距離は31km(0度)

## シナリオ6-2 Ku帯非静止衛星(地球局) → 放送事業(固定、移動)



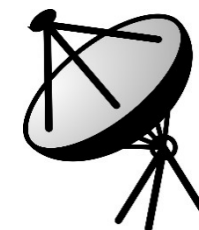
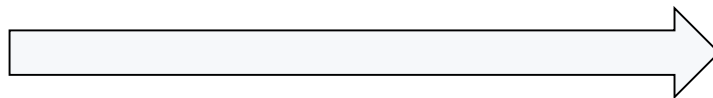
Ku帯非静止衛星(地球局)  
12.75GHz~13.25GHz

スプリアス領域の不要発射(総務省告示1228号)

- 50 $\mu$ W以下または基本周波数の平均電力より60dB低い値
- -43dBW/4kHz(-19dBW/MHz) or -44 dBW/MHz
- -19dBW/MHzで計算

## アンテナ利得

- 29-25log $\theta$  dBi ( $1^\circ \leq \theta < 36^\circ$ )
- 10 dBi ( $36^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )
- 最小仰角: 40度(SpaceX)、55度(OneWeb)
- ビーム中心からの減衰は39dB
- (FCC 47 CFR § 25.209 (h)送信アンテナの利得パターンより)



放送事業(固定、移動)(12.95-13.25GHz)  
許容干渉レベル

- I/N=-20dB (ITU-R F.758-6 Annex 2 Table 4)
- 長時間干渉電力密度: -154 dBW/MHz
- (ITU-R F.758-6 Annex 3 Table 16)

## アンテナ利得(ARIB STD B-12)

- 54-2.7 $\theta^2$  dBi ( $0^\circ \leq \theta < 3^\circ$ )
- 41.3-24log $\theta$  dBi ( $3^\circ \leq \theta < 48^\circ$ )
- 1 dBi ( $48^\circ \leq \theta < 90^\circ$ )
- 59.5-0.65 $\theta$  dBi ( $90^\circ \leq \theta < 110^\circ$ )
- 12 dBi ( $110^\circ \leq \theta$ )

所要改善量は、150dB(0度)  
ITU-R勧告P.452-16による離隔距離は8km(0度)

## シナリオ7-1 Ku帯非静止衛星(地球局) → 電気通信業務、一般・公共業務



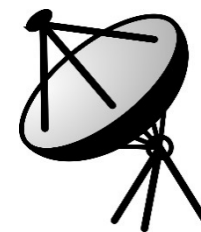
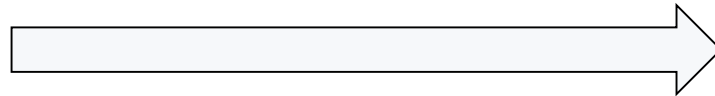
Ku帯非静止衛星(地球局)  
13.75GHz~14.5GHz

RR Article 22.22.5D  
静止衛星軌道において-160dBW/m<sup>2</sup>/40kHzを超えない

周波数: 14.4GHz  
地球局-静止衛星間距離: 36,000 km  
地球局の出力: 16dBW/MHz

## アンテナ利得

$29-25\log\theta$  dBi ( $1^\circ \leq \theta < 36^\circ$ )  
-10 dBi ( $36^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )  
最小仰角: 40度(SpaceX)、55度(OneWeb)  
ビーム中心からの減衰は39dB  
(FCC 47 CFR § 25.209 (h)送信アンテナの利得パターンより)



電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)

許容干渉レベル  
I/N=-20dB (ITU-R F.758-6 Annex 2 Table 4)  
長時間干渉電力密度: -156 dBW/MHz  
(ITU-R F.758-6 Annex 2 Table 8)

## アンテナ利得\*

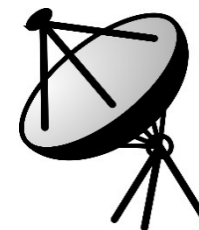
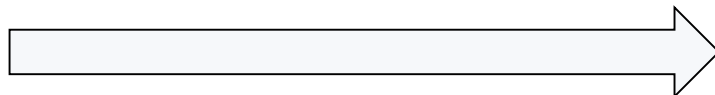
$54.8-5.248\theta^2$  dBi ( $0^\circ \leq \theta < 2.5^\circ$ )  
 $38-25\log\theta$  dBi ( $2.5^\circ \leq \theta < 45^\circ$ )  
-10 dBi ( $45^\circ \leq \theta$ )

所要改善量は155dB(2.5度)、123dB(45度以上)  
ITU-R勧告P.452-16による離隔距離は10km(2.5度)、2km(45度以上)

## シナリオ7-2 Ku帯非静止衛星(地球局) → 電気通信業務、一般・公共業務



Ku帯非静止衛星(地球局)  
13.75GHz~14.5GHz



電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)

スプリアス領域の不要発射(総務省告示1228号)

50 $\mu$ W以下または基本周波数の平均電力より60dB低い値

→ -43dBW/4kHz(-19dBW/MHz) or -44 dBW/MHz

→ -19dBW/MHzで計算

アンテナ利得

$29-25\log\theta$  dBi ( $1^\circ \leq \theta < 36^\circ$ )

-10 dBi ( $36^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )

最小仰角: 40度(SpaceX)、55度(OneWeb)

アンテナ利得: -10dBiを想定

ビーム中心からの減衰は39dB

(FCC 47 CFR § 25.209 (h)送信アンテナの利得パターンより)

許容干渉レベル

I/N=-20dB (ITU-R F.758-6 Annex 2 Table 4)

長時間干渉電力密度: -156 dBW/MHz  
(ITU-R F.758-6 Annex 2 Table 8)

アンテナ利得\*

$54.8-5.248\theta^2$  dBi ( $0^\circ \leq \theta < 2.5^\circ$ )

$38-25\log\theta$  dBi ( $2.5^\circ \leq \theta < 45^\circ$ )

-10 dBi ( $45^\circ \leq \theta$ )

所要改善量は120dB(2.5度)、88dB(45度以上)

ITU-R勧告P.452-16による離隔距離は2km (2.5度)、1km未満(45度以上)

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おり、Ku/Ka帯システムの制度化の議論の折には、整合性に留意が必要



## シナリオ8-1 Ku帯非静止衛星(地球局) → 電波天文



Ku帯非静止衛星(地球局)

13.75GHz~14.5GHz

RR Article 22.22.5D

静止衛星軌道において-160dBW/m<sup>2</sup>/40kHzを超えない

周波数: 14.4GHz

地球局-静止衛星間距離: 36,000 km

地球局の出力: 16dBW/MHz

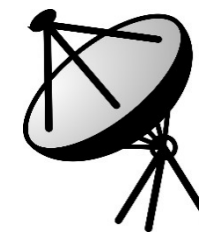
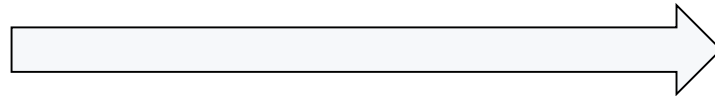
## アンテナ利得

29-25log $\theta$  dBi ( $1^\circ \leq \theta < 36^\circ$ )-10 dBi ( $36^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )

最小仰角: 40度(SpaceX)、55度(OneWeb)

ビーム中心からの減衰は39dB

(FCC 47 CFR § 25.209 (h)送信アンテナの利得パターンより)



電波天文(14.47-14.5GHz)

※現在国内での利用なし

許容干渉レベル ITU-R勧告RA.769-2 Table2より

-214 dBW/150kHz = -206dBW/MHz

所要改善量は183dB  
ITU-R勧告P.452-16による離隔距離は29km

## シナリオ8-2 Ku帯非静止衛星(地球局) → 電波天文



Ku帯非静止衛星(地球局)

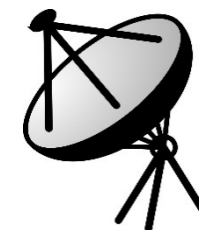
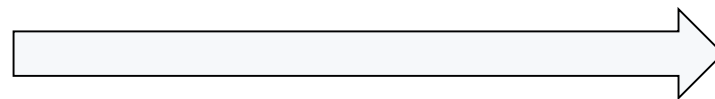
13.75GHz~14.5GHz

スプリアス領域の不要発射(総務省告示1228号)

50 $\mu$ W以下または基本周波数の平均電力より60dB低い値

→ -43dBW/4kHz(-19dBW/MHz) or -44 dBW/MHz

→ -19dBW/MHzで計算



電波天文(14.47-14.5GHz)

※現在国内での利用なし

許容干渉レベル ITU-R勧告RA.769-2 Table2より

-214 dBW/150kHz = -206dBW/MHz

## アンテナ利得

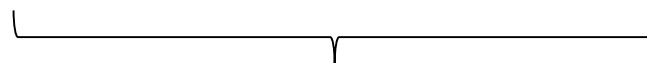
$29-25\log\theta$  dBi ( $1^\circ \leq \theta < 36^\circ$ )

-10 dBi ( $36^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ )

最小仰角: 40度(SpaceX)、55度(OneWeb)

ビーム中心からの減衰は39dB

(FCC 47 CFR § 25.209 (h)送信アンテナの利得パターンより)



所要改善量は148dB

ITU-R勧告P.452-16による離隔距離は8km

## シナリオ9 放送事業(固定、移動)→ Ku帯非静止衛星(宇宙局)



Ku帯非静止衛星  
12.75GHz~13.25GHz

## RR Article 5 Table 5-1 9)

→  $\Delta T/T$ は6%を超えない

衛星受信機の等価雑音温度 766Kを想定 (ITU-R勧告S.1324 Table 2)

周波数 12.9GHz (電気通信業務の下限周波数)

衛星高度 1110 km ← 1200 km (OneWeb), 1110 km (Space X)

地上-衛星間の伝搬損失 176 dB

衛星アンテナゲイン 37.2 dBiを想定 (ITU-R勧告S.1324 Table 2)

増加雑音温度  $\Delta T = \frac{10^{I/10}}{kB} = 0.126$  [K]

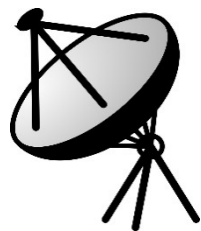
I (干渉波の電力):  $18.2 - 30 - 176 + 37.2 = -150.6$  [dBW]

k (ボルツマン定数):  $1.38E-23$  W/K/Hz

B (周波数幅): 非静止衛星の受信帯域として0.5GHz

またはOneWebのフィーダーリンク帯域(250MHz)

12.95GHz~13.25GHz 放送事業(固定、移動) ※地上局と衛星局のアンテナ偏波損失は考慮していない



単一周波数用空中線のEIRP  
18.2dBm ( $110^\circ \leq \theta$ )  
(ARIB-STD-B12表2,6)

1台による増加率は0.02%~0.03%  
13GHz帯FPUの台数は5局 (H27年度)、STL/TTL/TSLの台数は189局。  
OneWebのビームは約1100km x 1100km。割当周波数と周波数の重なり比率で15GHz帯FWAの台数を按分し、ビームが日本列島の1/3をカバーすると想定し、ビーム内のSTL/TTL/TSLを63台と想定  
63台からの干渉波による温度上昇率は1%~2%。  
よって共用可能。

## シナリオ10 電気通信業務(固定、移動) → Ku帯非静止衛星(宇宙局)



Ku帯非静止衛星  
13.75GHz~14.5GHz

## RR Article 5 Table 5-1 9)

→  $\Delta T/T$ は6%を超えない

衛星受信機の等価雑音温度 766Kを想定 (ITU-R勧告S.1324 Table 2)

周波数 14.4GHz (電気通信業務の下限周波数)

衛星高度 1110 km ← 1200 km (OneWeb), 1110 km (Space X)

地上-衛星間の伝搬損失 176 dB

衛星アンテナゲイン 37.2 dBiを想定 (ITU-R勧告S.1324 Table 2)

増加雑音温度  $\Delta T = \frac{10^{I/10}}{kB} = 0.254$

I (干渉波の電力):  $23-30-176+37.2 = -145.8$  [dBW]

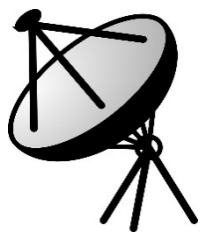
k (ボルツマン定数):  $1.38E-23$  W/K/Hz

B (周波数幅): 非静止衛星の受信帯域として0.75GHz

またはOneWebのフィーダーリンク帯域(250MHz)

※地上局と衛星局のアンテナ偏波損失は考慮していない

14.4GHz~15.25GHz  
電気通信業務(固定、移動)



E.I.R.P.\*

→ 15GHz帯

65-25log $\theta$  dBm ( $2.5^\circ \leq \theta < 48^\circ$ )

23 dBm ( $48^\circ \leq \theta$ )

1台による増加率は0.03%~0.09%  
15GHz帯FWAの台数は全国で3174局 (H27年度)  
OneWebのビームは約1100km x 1100km。割当周波数と周波数の重なり比率で15GHz帯FWAの台数を按分し、ビームが日本列島の1/3をカバーすると想定し、ビーム内のFWAを124台と想定  
124台からの干渉波による温度上昇は4%~12%。  
共用可能かどうかは非静止衛星の受信機帯域に依存する。

# まとめ

	No.	与干渉	被干渉	同一/隣接	周波数共用
ダウン リンク	1	Ku帯非静止衛星(宇宙局)(10.7-12.75GHz)	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)(10.7-12.75GHz)	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)(10.7-12.75GHz)	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)(10.7-12.75GHz)	同一	共用するためには、対向する場合は 離隔距離33km程度必要
	5	公共・一般業務(固定)(12.2-12.5GHz)	Ku帯非静止衛星(地球局)(10.7-12.75GHz)	同一	共用するためには、対向する場合は 離隔距離26km程度必要
アップ リンク	6-1	Ku帯非静止衛星(地球局)(12.75- 13.25GHz)	放送事業(固定、移動)(12.95-13.25GHz)	同一	共用するためには、対向する場合は 離隔距離31km程度必要
	6-2			隣接	共用するためには、対向する場合は 離隔距離8km程度必要
	7-1	Ku帯非静止衛星(地球局)(13.75-14.5GHz)	電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)	同一	共用するためには、対向する場合は 離隔距離10km程度必要、対向しない 場合は離隔距離2km程度必要
	7-2			隣接	共用するためには、対向する場合は 離隔距離2km程度必要、対向しない 場合は離隔距離1km程度必要
	8-1	Ku帯非静止衛星(地球局)(13.75-14.5GHz)	電波天文(14.47-14.5GHz)	同一	共用するためには、離隔距離29km程 度必要
	8-2			隣接	共用するためには、離隔距離8km程 度必要
	9	放送事業(固定、移動)(12.95-13.25GHz)	Ku帯非静止衛星(宇宙局)(12.75-13.25GHz)	同一	共用可能
	10	電気通信業務(固定、移動)(14.4-15.25GHz)	Ku帯非静止衛星(宇宙局)(13.75-14.5GHz)	同一	共用可能かどうかは非静止衛星の受 信機帯域に依存

---

## 参考資料

---

# Ku/Ka帯システムの技術諸元調査(主要システム諸元)

- 国内外で運用・計画されているKu/Ka帯システムのサービス計画や技術諸元等を調査した。以下に代表的なKu/Ka帯システムの主要諸元を示す。
- 地球局アンテナとしては、パラボラアンテナに加え、フェーズドアレーアンテナも検討されている。

事業者名	OneWeb	SpaceX	LeoSat	Telesat	O3b
イメージ図					
衛星機数	LEO: 720機※→1,980機 MEO: 2,560機	LEO: 4,425機 VLEO: 7,518機	78~108機	117機	O3bN: 24機, O3bI: 16機 O3b mPOWER: 7機
軌道高度	LEO: 約1,200km MEO: 約8500km	LEO: 約1,150km VLEO: 約340km	約1,400km	極軌道: 1000km 傾斜軌道: 1248km	8062km
製造者	Airbus Defence & Space	SpaceX	Thales Alenia Space	Space Systems Loral	Thales Alenia Space, Boeing
利用周波数帯	Ku帯、Ka帯、V帯、W帯	Ku帯、Ka帯、V帯	Ka帯	Ka帯	Ka帯
遅延	50ms以下	LEO: 25~35ms	16ms以下	30~50ms	150ms以下
設計容量	LEO: 7.5Gbps/衛星	LEO: 17-23Gbps/衛星	10Gbps/衛星	最大数Tbps/システム	O3b: 84Gbps/8衛星 O3b mPOWER: 10Tbps/システム
通信速度	LEO: 50Mbps MEO: 2.5Gbps	LEO: 1Gbps	1.6Gbps	数Gbps	1Gbps

※FCC承認済機数

# Ku/Ka帯システムの技術諸元調査(干渉軽減手法の整理)

■ Ku/Ka帯システムで検討されている静止衛星及び他の非静止衛星への干渉軽減手法を整理した。

衛星システム	サービスリンク周波数	衛星数	静止衛星との離角に基づく輻射制御	無線リソース・通信経路制御	衛星ビーム制御	適切な地球局アンテナ径による運用
	軌道高度	軌道種類				
OneWeb	Ku帯	720(1980)	• 低緯度エリアにおいて停波・衛星切替	• 視野内に複数衛星を配置	—	—
	LEO	極軌道				
SpaceX	Ku帯	4425	—	• 視野内に複数衛星を配置 • In-line干渉が生じない通信経路制御	—	• 高指向性ビームを生成可能なアンテナ径
	LEO	極軌道				
Kepler	Ku帯	140	• 最小離角条件を規定	• SDRによるチャネルシフト	• In-line干渉発生時のビーム放射軸制御	—
	LEO	極軌道				
O3b	Ka帯	24+16	—	• 視野内に複数衛星を配置	—	• 低緯度エリアにおいて小アンテナ径の運用制約
	MEO	赤道上+傾斜軌道				
Telesat	Ka帯	72+45	—	• In-line干渉が生じない通信経路制御(無線割当て管理) • 視野内に複数衛星を配置(2種の軌道)	—	—
	LEO	極軌道+傾斜軌道				
LEOSAT	Ka帯	78	• 最小離角条件を規定	• 視野内に複数衛星配置	• フレキシブルなスポットビーム配置	—
	LEO	極軌道				
Viasat	Ka/V帯	20	• 最小離角条件を規定	—	—	• 緯度とアンテナ径に基づく最小離角条件の規定
	MEO	極軌道				



## 制度等に関する調査

- 主要な海外主管庁におけるKu/Ka 帯システムの周波数割当状況、免許方針、技術的条件、電波天文業務、その他既存無線局等との共用条件等を調査・整理した。また、ITU、ETSI 等の標準化機関におけるKu/Ka 帯システムの制度化動向や技術基準、周波数共用条件等を調査・整理した。
- 調査結果のポイントは以下の通り。

### <ITU-R>

- ITU-Rでは、特段の定めがある場合を除き、**非静止衛星システムは固定衛星業務及び放送衛星業務の静止衛星網に許容し得ない混信を生じさせてはならず、それらの静止衛星通信網からの保護を要求してはならない**としており、非静止衛星システムの宇宙局および地球局のepfd値制限を定めている。
  - 上記適用外となるのは、18.8-19.3GHz帯(↓)、19.3-19.7(フィーダリンク、↓)28.6-29.1GHz帯(↑)、29.1-29.5GHz帯(フィーダリンク、↑)で運用する非静止衛星システムである。
- また、非静止衛星システムに限らず、1GHz帯以上の周波数帯で地上業務と共用する宇宙業務の地球局に対して、**e.i.r.p.制限とpfd制限**を定めている。

### <米国>

- FCC規則は**上記ITU-R規則を基本的に踏襲している**が、追加の規定として、10.7-11.7GHz帯、12.75-13.15GHz帯、13.2125-13.25GHz帯、13.8-14.0GHz帯、14.4-14.5 GHz帯におけるNGSO FSSのゲートウェイ地球局に対して、アンテナ送信利得の制限を規定している。
- その他詳細の技術基準は規定しておらず、他のシステムとの周波数調整についても、オペレータ間の個別調整をまずは行うよう推奨している。その上で調整が成立せず、特定の電波環境の条件を満たした場合には、周波数を均等に分配する調整手続きを行うよう規定されている。

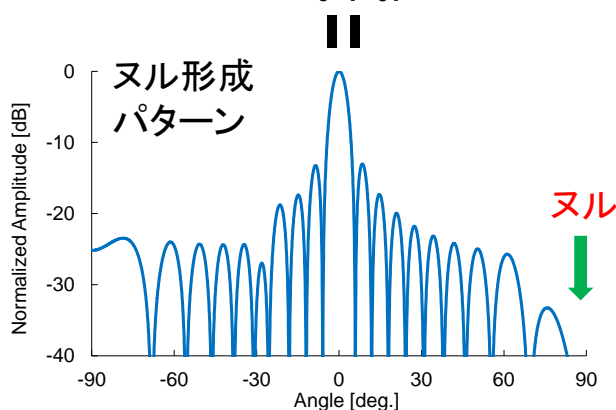
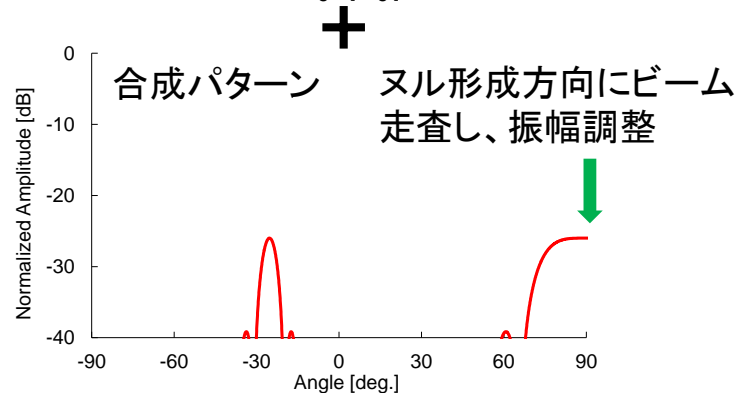
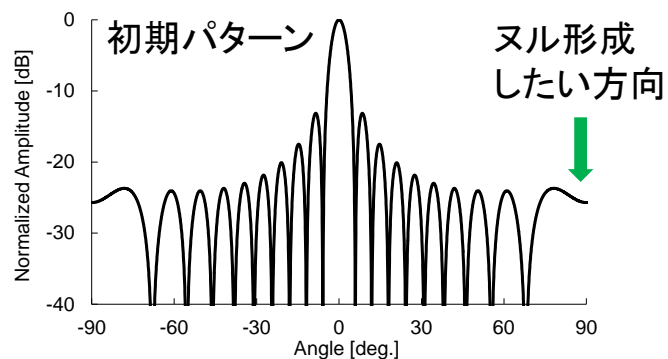
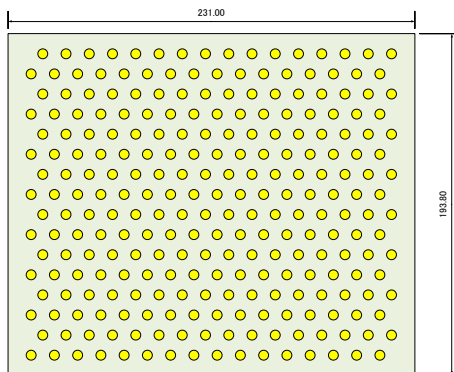
### <欧州>

- 欧州では、地域内の周波数の効率利用・有害干渉の防止を目的に、**利用周波数帯や運用方法ごとに、個別の運用・技術基準をECC DecisionやEN規格として定めている**。
- これらの規格では、ITU-Rや米国の法規制と比べ、詳細に技術基準が定められている。

# アンテナ方式の技術検討(ヌル点制御の検討)

- 干渉軽減技術として、ビームのピーク方向と同時にヌル点方向(輻射電力を抑制する方向)の制御をシミュレーションにより検討した。

シミュレーションで想定した  
送信AESA(256素子)



平面波合成法によるヌル形成

