資料34－1

Kuiperシステムに関する報告書

「高度600kmの軌道を利用する衛星コンステレーションによるKa帯非静止衛星通信システム」の概要及び周波数共用について

2025年8月20日

amazon | project kuiper

調査の概要

- 背景及びKuiperシステムの概要
- 国内外標準化動向
- 衛星システムとの周波数共用
- 地上システムとの周波数共用

背景及びKuiperシステムの概要

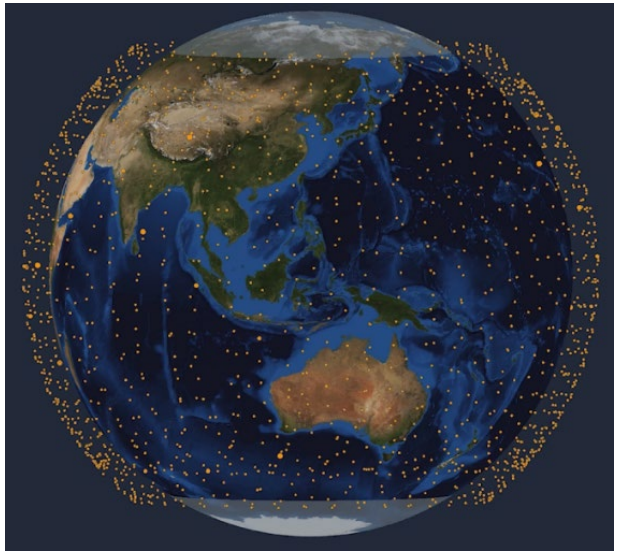
更新

AmazonのProject Kuiper

- Amazon Kuiper Japan合同会社及びその関連会社(Amazon.com LLCの完全子会社であるKuiper Systems LLCを含みます)(以下「Amazon」と総称します)は、 Project Kuiperの開始・運用を計画しています。同プロジェクトは、低周回軌道(LEO)における最大3232基の非静止衛星(NGSO)固定衛星業務(FSS)宇宙局による衛星コンステレーションであり(以下「Kuiperシステム」といいます)、日本を含む世界中でユビキタス、大容量、低遅延のブロードバンドサービスを提供します。

- Amazonは、Project Kuiperを通じて、日本の様々な顧客に対し新たな選択肢を提供し、緊急時や災害時のサービス継続・冗長化を含む、幅広い場面でのブロードバンド接続を可能にしたいと考えています。さらに、Kuiperシステムは移動用途でのユースケース(航空、海上、陸上)*にも強靭かつグローバルな接続を提供します。

- Amazonは米国からKuiper衛星の開始・運用に係る免許を取得し、Ka帯周波数で運用予定です。



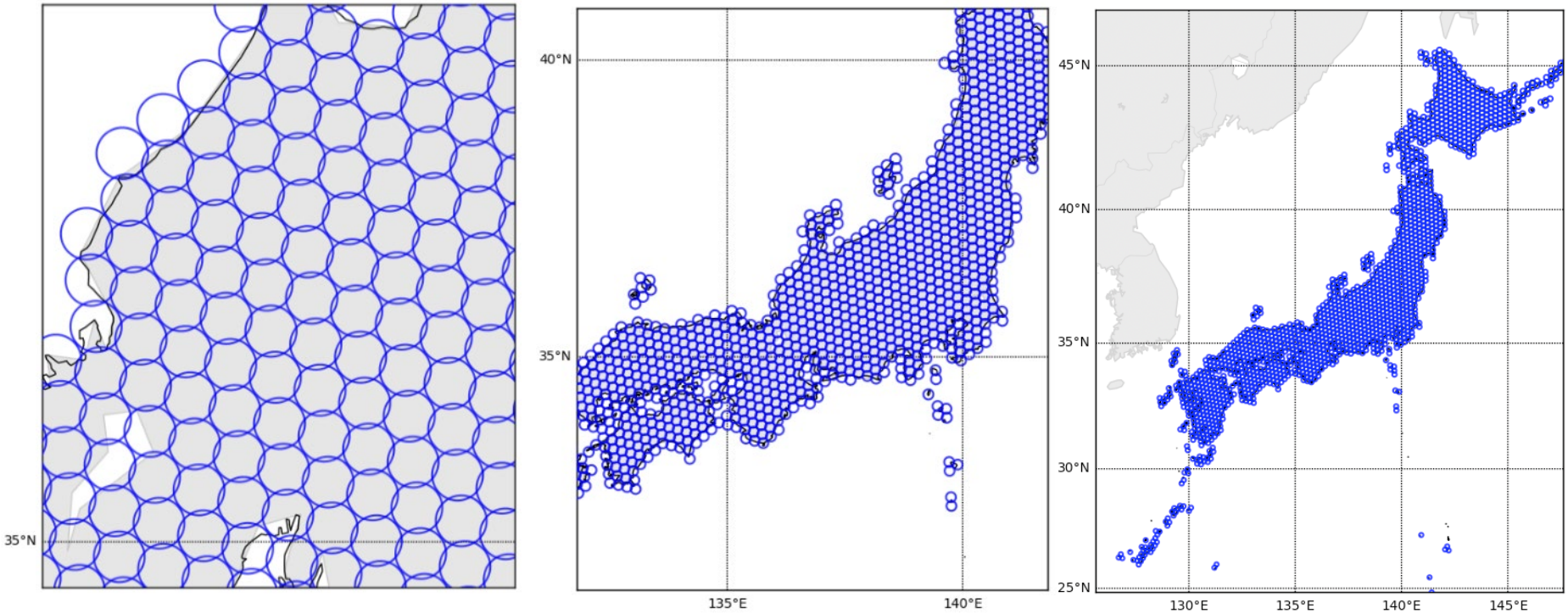
* Ka帯のNGSO向けESIM(Earth Station in Motion)はWRC-23 の議題1.16にて特定されました。本報告書はESIMについては記載しておらず、検討の対象外となります。

システムの概要

衛星の合計数	当初のコンステレーションとしては低軌道上に最大3,232基
軌道高度及び傾斜角	衛星は3つの高度及び軌道傾斜角に展開： 590 km/33°, 610 km/42°, 630 km/51.9°
想定されるサービス対象エリア	Kuiper Systemのサービスエリアは北緯56°から南緯56°までの、日本の排他的経済水域(EEZ)全体を含むエリアをカバーし、世界の人口の95%へのサービスの提供を可能に。
設置される予定の無線局の種類	ゲートウェイ設備、固定アンテナ顧客端末、移動地球局(ESIM)*
使用する具体的な周波数帯(Ka帯)** • 顧客端末 • ゲートウェイ	顧客端末のダウンリンク： 17.7-18.6GHz / 18.8-19.4GHz / 19.7-20.2GHz 顧客端末のアップリンク： 28.35-29.1GHz / 29.5-30.0GHz ゲートウェイのダウンリンク： 17.7-18.6GHz / 18.8-20.2GHz ゲートウェイのアップリンク： 27.5-30.0GHz
ITU衛星ネットワーク申請	USASAT-NGSO-8A, USASAT-NGSO-8B, USASAT-NGSO-8C

* 本報告書はESIMについては記載しておらず、検討の対象外となります。

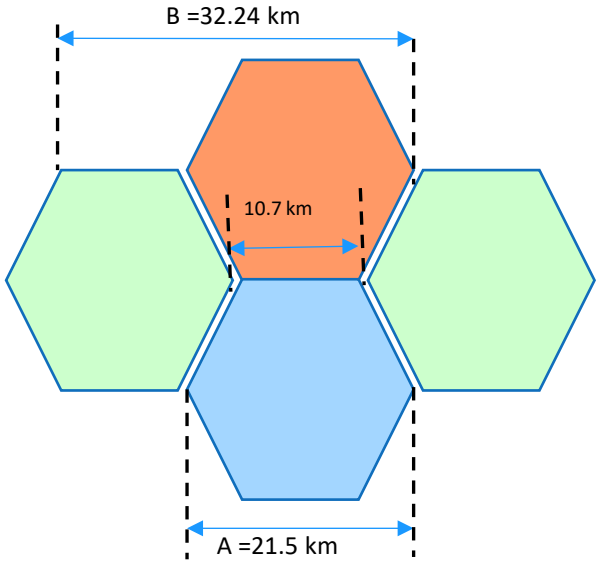
ビームカバレッジ



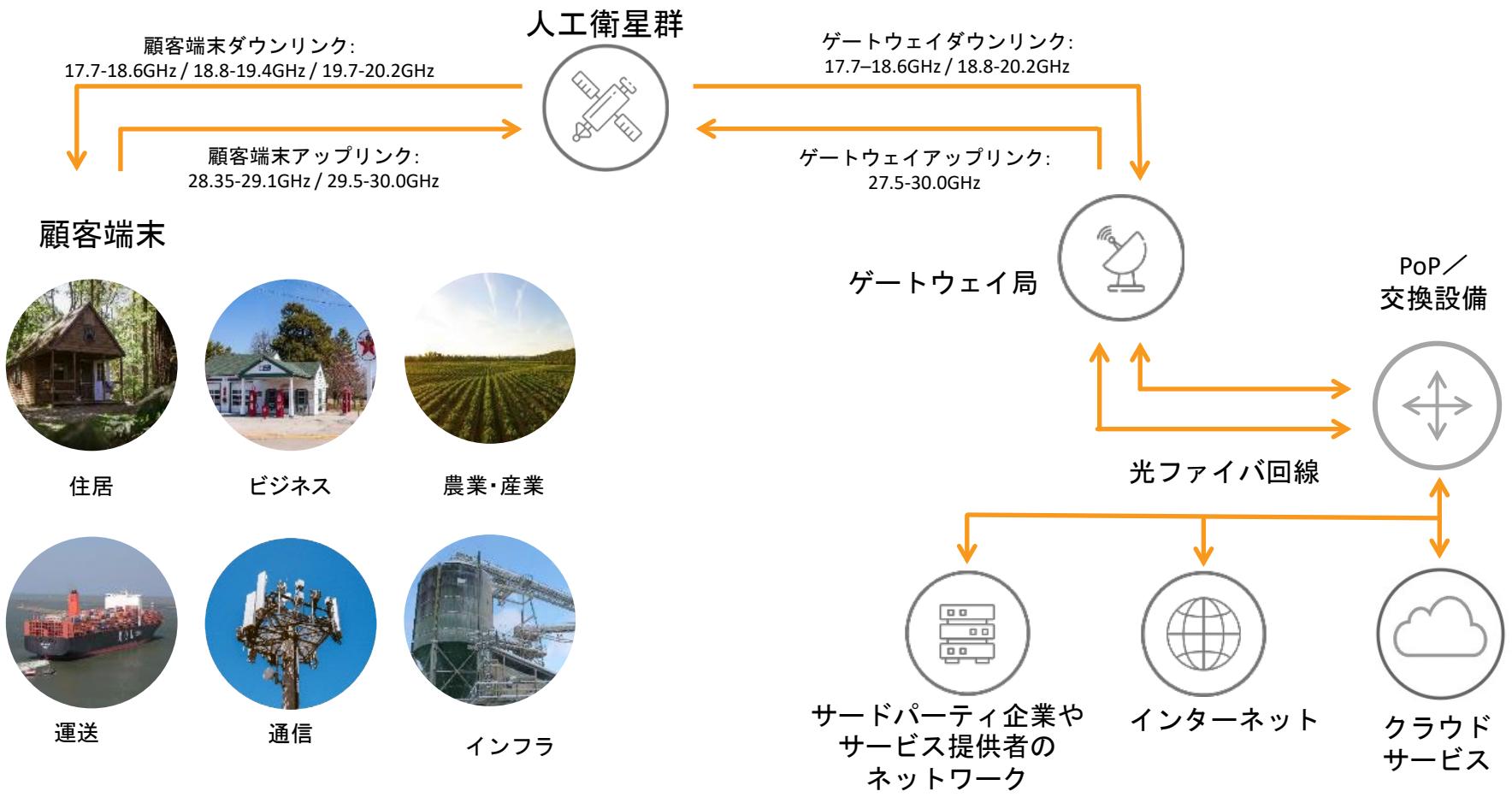
Kuiper衛星のユーザービームは、仮想スポットにより世界中に通信環境を提供します。低軌道高度で運用される高利得で操作可能なフェーズドアレイアンテナを使用することで、約300km^2(半径10km弱)の仮想スポットを作り出します。
ユーザービームは、非静止衛星の移動に伴い、その動きを補正するために仮想スポットビームの係数を絶えず更新することにより、仮想スポットビームが特定の地面を照らし続けるように制御されます。
さらに、ユーザービームが衛星間で切り替えられる場合、通信ペイロードはシームレスなハンドオフと切り替えを実現し、顧客の通信を維持します。

Kuiperシステムのチャネル割り当て

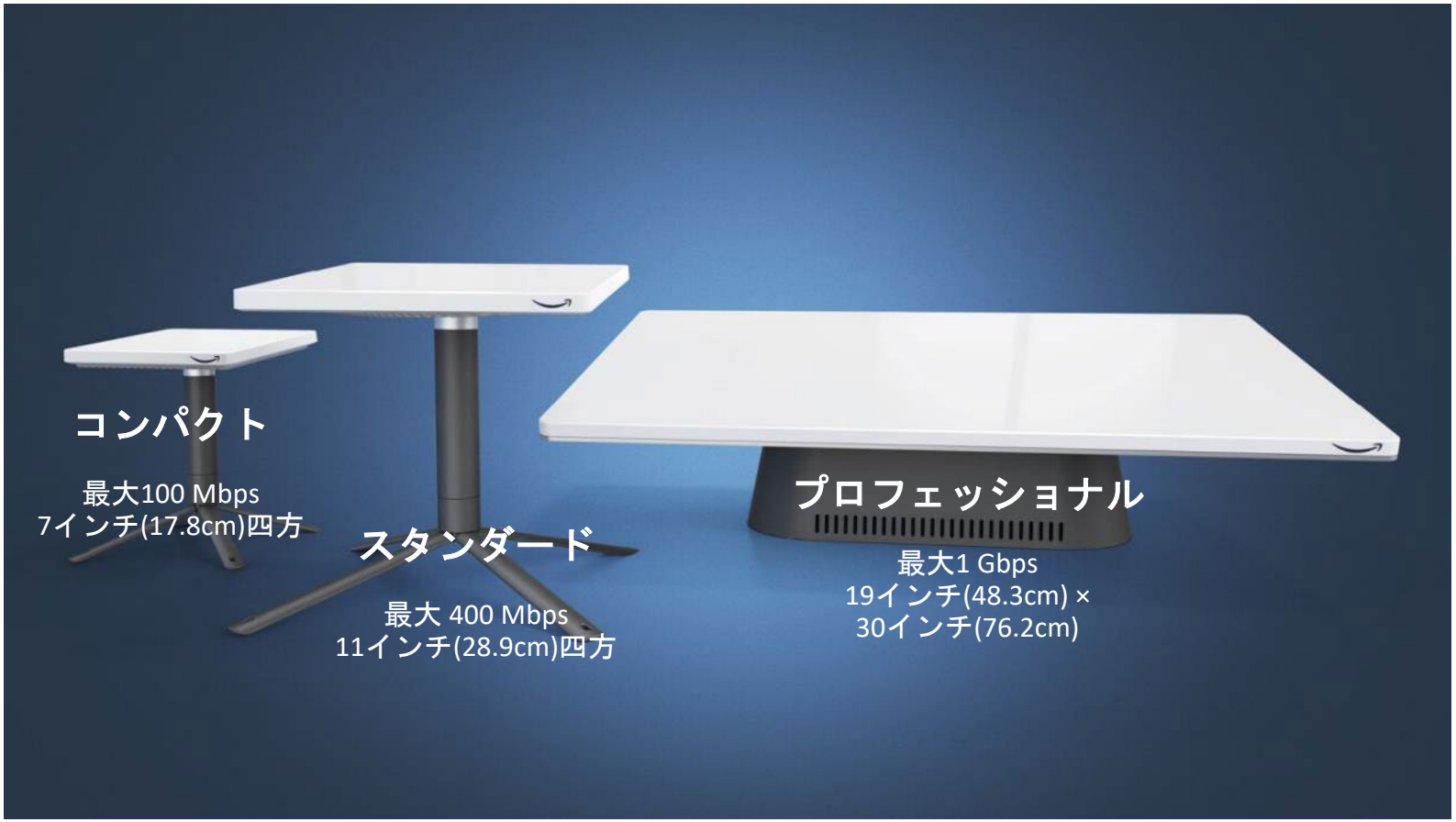
- Kuiperシステムネットワークスケジューラーは、各スポットビーム内にOFDM(直交周波数分割多重方式)チャネルを割り当てます。
- 利用される周波数再利用スキームは、顧客端末に対して隣接スポット内に同じ周波数チャネルを割り当てることをしません。
- Kuiper顧客端末に対する共用周波数と共用偏波数の最大値は1です。つまり、各スポット内のある周波数チャネルに同時に割り当てられる顧客端末は一つのみです。
- Kuiperシステムの顧客端末の標準的なデューティサイクルは 10% 未満 です。



システム構成


人工衛星群
顧客端末ダウンリンク:
17.7-18.6GHz / 18.8-19.4GHz / 19.7-20.2GHz
顧客端末アップリンク:
28.35-29.1GHz / 29.5-30.0GHz
ゲートウェイダウンリンク:
17.7–18.6GHz / 18.8-20.2GHz
ゲートウェイアップリンク:
27.5-30.0GHz
顧客端末
住居
ビジネス
農業・産業
運送
通信
インフラ
ゲートウェイ局
PoP／
交換設備
光ファイバ回線
サードパーティ企業や
サービス提供者の
ネットワーク
インターネット
クラウド
サービス

Kuiperシステムの顧客端末



Kuiperシステムの利用例



Telecommunications /通信
無線通信及び携帯電話の新規地域への拡大



Emergency Services /救急サービス
緊急事態及び災害救助活動をサポートし強靭性を向上させる信頼性の高いブロードバンド



Enterprise & Transportation /企業及び交通機関
陸海空全般にわたる各種資産に無線接続するための柔軟性ある安全なブロードバンド



Public Services/公共サービス
情報、教育、医療に対するアクセスの拡大



Small Businesses/中小企業
中小企業のDXへの移行



Residential /住宅
各家庭のための高速で低遅延なサービス

国内外標準化動向

周波数分配状況(17.7-20.2GHz)

<table>
<tr><th>第一地域</th><th>第二地域</th><th>第三地域</th><th colspan="2">国内</th></tr>
<tr><td rowspan="4">17.7-18.1
固定
固定衛星(宇宙から地球)
5.484A 5.517A
固定衛星(地球から宇宙)
5.516
移動</td><td>17.7-17.8
固定
固定衛星(宇宙から地球)
5.517 5.517A
固定衛星(地球から宇宙)
5.516
放送衛星
移動
5.515</td><td rowspan="4">17.7-18.1
固定
固定衛星(宇宙から地球)
5.484A 5.517A
固定衛星(地球から宇宙)
5.516
移動</td><td>17.7 - 17.82</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J206 J222A
移動
固定衛星(地球から宇宙)J222</td></tr>
<tr><td rowspan="3">17.8-18.1
固定
固定衛星(宇宙から地球)
5.484A 5.517A
固定衛星(地球から宇宙)
5.516
移動
5.519</td><td>17.82 - 17.85</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J206 J222A
移動
固定衛星(地球から宇宙)J222</td></tr>
<tr><td>17.85 - 17.97</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J206 J222A
固定衛星(地球から宇宙)J222</td></tr>
<tr><td>17.97 - 18.1</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J206 J222A
移動
固定衛星(地球から宇宙)J222</td></tr>
<tr><td colspan="3">18.1-18.4
固定
固定衛星(宇宙から地球) 5.484A 5.516B 5.517A
固定衛星(地球から宇宙) 5.520
移動
5.519 5.521</td><td>18.1 - 18.4
J223</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J206 J222A
固定衛星(地球から宇宙)J222
移動</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">18.4-18.6
固定
固定衛星(宇宙から地球) 5.484A 5.516B 5.517A
移動</td><td>18.4 - 18.57</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J206 J222A
移動</td></tr>
<tr><td>18.57 - 18.6</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J206 J222A
移動</td></tr>
</table>

周波数分配状況(17.7-20.2GHz)

<table>
<tr><th>第一地域</th><th>第二地域</th><th>第三地域</th><th colspan="2">国内</th></tr>
<tr><td rowspan="2">18.6-18.8
地球探査衛星(受動)
固定
固定衛星(宇宙から地球)
5.517A 5.522B
移動(航空移動を除く)
宇宙研究(受動)
5.522A 5.522C</td><td rowspan="2">18.6-18.8
地球探査衛星(受動)
固定
固定衛星(宇宙から地球)
5.516B 5.517A 5.522B
移動(航空移動を除く)
宇宙研究(受動)
5.522A</td><td rowspan="2">18.6-18.8
地球探査衛星(受動)
固定
固定衛星(宇宙から地球)
5.517A 5.522B
移動(航空移動を除く)
宇宙研究(受動)
5.522A</td><td>18.6 - 18.72
J224</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J222A J225
地球探査衛星(受動)
宇宙研究(受動)</td></tr>
<tr><td>18.72 - 18.8
J224</td><td>固定
移動(航空移動を除く)
固定衛星(宇宙から地球)
J222A J225
地球探査衛星(受動)
宇宙研究(受動)</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">18.8-19.3
固定
固定衛星(宇宙から地球) 5.516B 5.517A 5.523A
移動</td><td>18.8 - 19.22</td><td>固定
移動
固定衛星(宇宙から地球)J222A J226</td></tr>
<tr><td>19.22 - 19.3</td><td>固定
移動
固定衛星(宇宙から地球) J222A
J226</td></tr>
<tr><td colspan="3">19.3-19.7
固定
固定衛星(宇宙から地球) (地球から宇宙) 5.517A 5.523B 5.523C 5.523D 5.523E
移動</td><td>19.3 - 19.7</td><td>固定
固定衛星(宇宙から地球)J222A J227
J228 J229 J230
固定衛星(地球から宇宙)J222A J227
J228 J229 J230
移動</td></tr>
<tr><td>19.7-20.1
固定衛星(宇宙から地球)
5.484A 5.484B 5.516B
5.527A
移動衛星(宇宙から地球)
5.524</td><td>19.7-20.1
固定衛星(宇宙から地球)
5.484A 5.484B 5.516B
5.527A
移動衛星(宇宙から地球)
5.524 5.525 5.526
5.527 5.528 5.529</td><td>19.7-20.1
固定衛星(宇宙から地球)
5.484A 5.484B 5.516B
5.527A
移動衛星(宇宙から地球)
5.524</td><td>19.7 - 20.1</td><td>固定 J231
移動 J231
固定衛星(宇宙から地球)J206 J232
移動衛星(宇宙から地球)</td></tr>
</table>

周波数分配状況(17.7-20.2GHz)

第一地域	第二地域	第三地域	国内	
18.8-19.3 固定衛星(宇宙から地球) 5.484A 5.484B 5.516B 5.527A 移動衛星(宇宙から地球) 5.524 5.525 5.526 5.527 5.528			20.1 - 20.2 J233 J234 J235 J236	固定 J231 移動 J231 固定衛星(宇宙から地球)J206 J232 移動衛星(宇宙から地球)

周波数分配状況(27.5-30GHz)

第一地域	第二地域	第三地域	国内	
27.5-28.5 固定 5.537A 固定衛星(地球から宇宙) 5.484A 5.516B 5.517A 5.539 移動 5.538 5.540			27.5 - 28.2 J250 J251	固定衛星(地球から宇宙) J206 J222A J249 移動 固定 J252
28.5-29.1 固定 固定衛星(地球から宇宙) 5.484A 5.516B 5.517A 5.523A 5.539 移動 地球探査衛星(地球から宇宙) 5.541 5.540			28.2 - 28.5 J251	固定衛星(地球から宇宙)J206 J222A J232 J249 移動 J252A 固定
29.1-29.5 固定 固定衛星(地球から宇宙) 5.516B 5.517A 5.523C 5.523E 5.535A 5.539 5.541A 移動 地球探査衛星(地球から宇宙) 5.541 5.540			28.5 - 29.1 J251	固定衛星(地球から宇宙)J206 J222A J226 J232 J249 移動 固定 地球探査衛星(地球から宇宙)
29.5-29.9 固定衛星 (地球から宇宙) 5.484A 5.484B 5.516B 5.527A 5.539 地球探査衛星 (地球から宇宙) 5.541 移動衛星(地球から宇宙)	**29.5-29.9** 固定衛星 (地球から宇宙) 5.484A 5.484B 5.516B 5.527A 5.539 移動衛星(地球から宇宙) 地球探査衛星 (地球から宇宙) 5.541	**29.5-29.9** 固定衛星 (地球から宇宙) 5.484A 5.484B 5.516B 5.527A 5.539 地球探査衛星 (地球から宇宙) 5.541 移動衛星(地球から宇宙)	29.1 - 29.5 J251	固定衛星(地球から宇宙)J222A J229 J230 J232 J249 J254 J255 移動 地球探査衛星(地球から宇宙)J253 固定
29.9-30 固定衛星(地球から宇宙) 5.484A 5.484B 5.516B 5.527A 5.539 移動衛星(地球から宇宙) 地球探査衛星(地球から宇宙) 5.541 5.543 5.525 5.526 5.527 5.538 5.540 5.542			29.5 - 29.9 J233 J234 J251	固定衛星(地球から宇宙)J206 J232 J255A 移動衛星(地球から宇宙) 固定 J256 移動 J256 地球探査衛星(地球から宇宙) J253

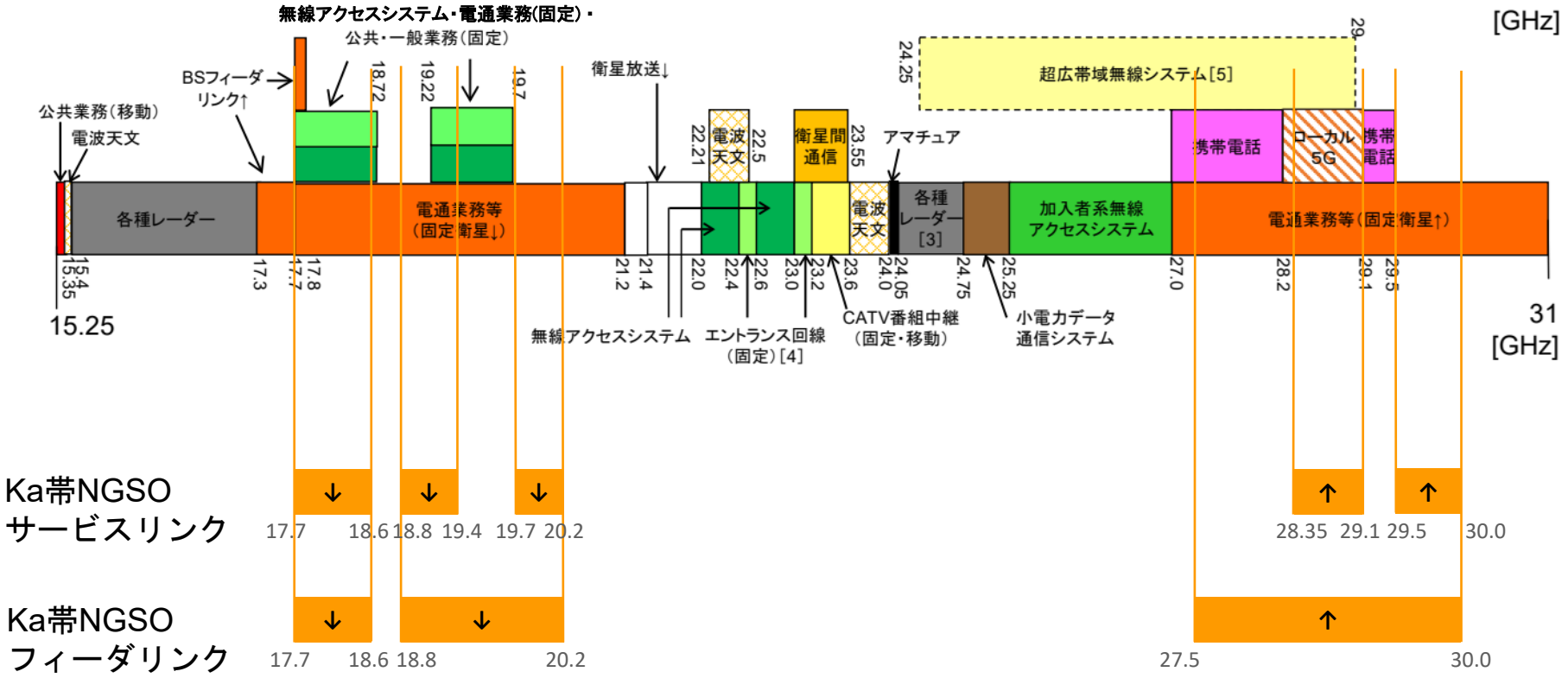
周波数割当計画のKa帯固定衛星業務に関連する脚注

- ***J206*** *固定衛星業務の非静止衛星システムによる10.95-11.2GHz(宇宙から地球)、11.45-11.7GHz(宇宙から地球)、12.2-12.75GHz(宇宙から地球)、13.75-14.5GHz(地球から宇宙)、17.8-18.6GHz(宇宙から地球)、19.7-20.2GHz(宇宙から地球)、27.5-28.6GHz(地球から宇宙)及び29.5-30GHz(地球から宇宙)の使用は、固定衛星業務の他の非静止衛星システムとの調整のため、ITU無線通信規則No.9.12の規定に従うことを条件とする。固定衛星業務の非静止衛星システムは、固定衛星業務の非静止衛星システムのための完全な調整情報又は通告情報のいずれか及び静止衛星網のための完全な調整情報又は通告情報のいずれかの無線通信局による受領の日にかかわらず、ITU無線通信規則に従って運用する固定衛星業務の静止衛星通信網からの保護を求めてはならず、かつ、ITU無線通信規則No.5.43Aは適用されない。これらの周波数帯における固定衛星業務の非静止衛星システムは、その運用中に生じる可能性がある許容できないいかなる混信をも迅速に除去できるような方法で運用されなければならない。*

- ***J252A*** *28.45-29.1GHzの周波数帯を使用する移動業務のローカル5Gの局は、固定衛星業務の地球局からの保護を要求してはならない。*

- ***J252*** *27.9-28.2GHzの周波数帯における固定業務への分配は、高高度プラットフォーム局(HAPS)にも割り当てることができる。HAPSによる当該周波数帯の使用は、補助周波数帯とする。HAPS に割り当てられた当該周波数帯の使用は、HAPS から地上方向への運用に限定し、他の固定業務システム又は他の一次業務の局に有害な混信を生じさせてはならず、これらの局からの保護を要求してはならない。HAPSは、これらの他の業務の発達を妨げてはならない。決議145(Rev.WRC-07)参照。*

周波数の国内使用状況 (Ka帯周波数)



出典: https://www.tele.soumu.go.jp/resource/e/search/myuse/use0303/10g.pdf

更新

海外地域の関連する規則と規制 (米国)

47 CFR § 25

- Ka帯周波数での運用に対応した、技術的条件を含む米国連邦通信委員会(FCC)の規則と規制は、連邦規則集(CFR)のTitle 47に記載されています。固定アンテナ端末の無線局免許に関する規則は、原則、地球局に適用される規則と同じ第25.115条です。

- 10.7-30.0GHzのNGSO固定衛星業務(FSS)の地球局を規制するSection25.115(f)は、特に以下のことを規定しています。
  a. 個別免許または包括免許は、17.8-18.6GHz、18.8-19.4GHz、19.6-20.2GHz、28.35-29.1GHz、29.5-30.0GHzの帯域を含むさまざまな周波数帯域で適用できます。
  b. 申請者は、ITU無線通信規則の第22条第2項および決議76で適用される等価電力束密度(EPFD)制限に準拠していることを証明する必要があります。
  c. 17.8-18.3GHz、19.3-19.4GHz、19.6-19.7GHz の各帯域での包括免許は、固定業務(FS)で動作する現在および将来のシステムに関して、保護なしの条件で許可されます。

- Ka帯のNGSO FSS地球局に適用されるその他の技術的条件の例

§ 25.204 (b)	地球局の電力制限	特定の仰角について、地上無線業務と同等に共有される帯域におけるEIRP制限の設定(θ≤0°の場合は任意の1MHz帯域で+64 dBW、0°<θ≤5°の場合は任意の1MHz帯域で+64+3θ dBW)
§ 25.205	最小アンテナ仰角	地上無線業務と共有する周波数帯内において5度
§ 25.271 (g)	送信局の制御	送信地球局の免許人は、対象となる衛星からの信号との同期が失敗したときに送信を停止するように設計されていないリモート地球局をネットワークで使用することを禁じられています。

- ~~(参考)17.7-17.8GHz帯（宇宙から地球への向き）については現時点では米国内での固定衛星業務への分配がなくKuiperシステムへの割当てがないものの、ITUファイリング"USASAT-NGSO-8"には17.7-17.8GHz帯が含まれており、FCCは同ファイリングに基づきKuiperシステムが米国外の第１～第３地域でこの周波数帯を使用することを免許しています。なお、FCCは2022年8月に固定衛星業務による17.7-17.8GHz帯の使用を許可するための規則改定を開始しております。[1]~~

~~1: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-22-63A1.pdf~~

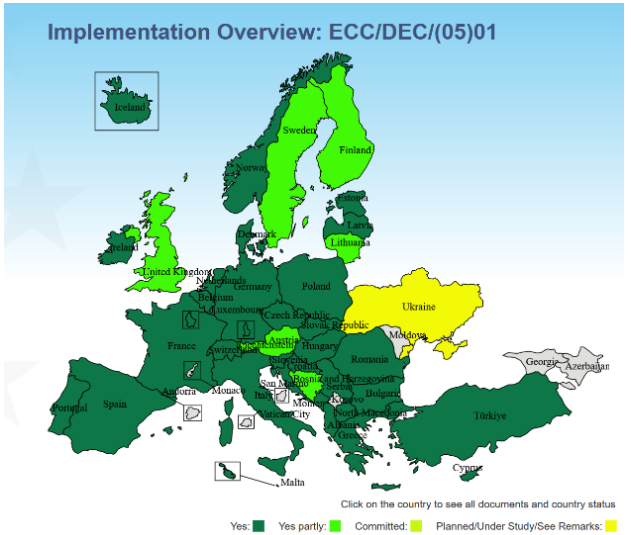
海外地域の関連する規則と規制 (欧州)

ECC Decision (05) 01

- ヨーロッパでは、電子通信委員会(ECC)がECC Decision (05)01を発効しています。これは、固定業務および固定衛星業務(地球から宇宙)における個別調整が不要な地球局による27.5-29.5GHz帯の使用を規定するものです。

- Ka帯のNGSO FSS地球局に適用されるその他の技術的条件の例

周波数バンド	個別調整が不要な固定衛星業務(FSS)地球局むけ、27.5-27.8285GHz、28.4445-28.8365GHz、29.4525-29.5GHz
隣接するバンドでの EIRP 制限	固定業務(FS)が使用する隣接するサブバンドでは、放射される軸外EIRP密度は-35 dBW/MHzに制限する必要がある。
最小仰角	仰角は3°以上
EIRP の上限値	個別調整が不要なFSS地球局の最大EIRPは60dBWに制限されるものとする。TDMAネットワーク内で運用する、上記で定義されている非調整のFSS地球局の最大EIRPは、デューティ比を考慮されるものとする。



The Radio Equipment Directive 2014/53/EU

- 欧州電気通信標準化機構(ETSI)の規格EN 303 699(NGSO FSSの運用に関するガイドラインを提供)への準拠など、無線機器がEU規格に適合していることを実証するために、EUは複数の手法を策定しています。

海外地域の関連する規則と規制 (欧州)

ECC Decision (00)07

- ECC Decision (00)07は、固定業務と固定衛星業務の地球局による17.7-19.7GHz帯の周波数の共用について指針を示しました。当該周波数帯においては、個別調整が不要な衛星端末の設置が許可されています。しかしながら、これらの局は、固定業務からの保護を主張したり、固定業務に干渉を引き起こしたりすることは許容されません。
  - 固定衛星業務システムは、可能な範囲で次のうちの１つ以上の緩和措置を講ずる：
    - 永続的／継続的な動的チャネル割当て(DCA)[1]
    - 干渉評価のために行政が提供する固定業務の割当て情報の使用
    - サイトの遮蔽
    - 固定業務が密集している地域においては、サイドローブ利得が低くなるように設計された受信アンテナを使用

ECC Report 241

- ECC Report 241は個別調整が不要な固定衛星業務の無線局による17.7-19.7GHz帯の周波数へのアクセス強化に関して言及しています。本レポートは、DCA及び固定衛星の割当て情報を含む一連の可能な緩和措置を使用して、地域によって固定衛星業務の使用に適した周波数を決定することの利点について検討しています。本レポートは、固定衛星業務局を当該帯域内に配置することは可能であり、固定業務が密集している地域でも、固定衛星業務地球局は利用可能な周波数帯を見つけて干渉なしで運用できると結論付けています。

1: 永続的/継続的な動的チャネル割当て(DCA) ：FSSシステムは、FSS端末の試運転中および運用中に、そのチャネルに有害な干渉が発生した場合に、端末に割り当てられたチャネル周波数を再割り当てしたり、場合によっては変更したりできます。このプロセスは、変化し続ける干渉状況に応じて必要な回数だけ繰り返されます。(参考: ECC Report 241)

他の衛星システムとの周波数共用

国内GSO FSSとの周波数共有

ITU 無線通信規則第22条に記載されているEPFD制限が適用される周波数帯域については、ITU無線通信規則に準拠することで周波数の共用が可能です。第22条EPFD制限の対象とならない周波数帯域については、国内GSO FSS事業者と周波数共用の事業者間調整により調整されます。

ITU無線通信規則第22条EPFD制限の適用がある帯域

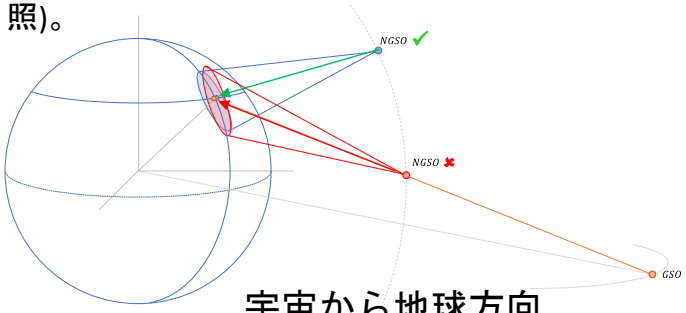
Ka帯NGSO FSSシステムは、ITU無線通信規則第22条に準拠します。これにより、NGSO FSSシステムは第22.2に基づく要求事項を満たし、Ka帯の該当する帯域において静止衛星ネットワークを保護します。

- 第22.5Cは、17.8-18.6GHz帯と19.7-20.2GHz帯における宇宙から地球への方向に対応しています。
- 第22.5Dは、27.5-28.6GHz帯と29.5-30GHz帯における地球から宇宙への方向に対応しています。
- 第22.5Fは、17.8-18.4GHz帯における宇宙から宇宙への方向に対応しています。

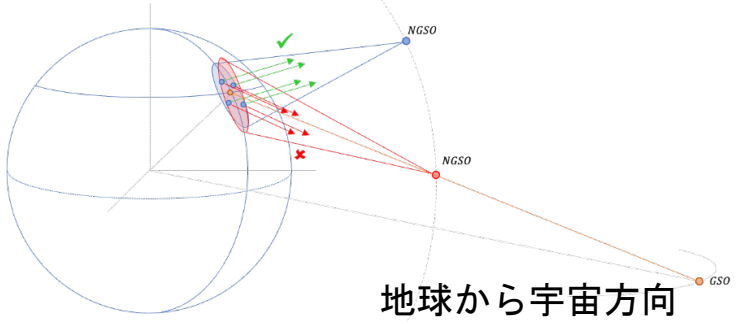
ITU無線通信規則第22条EPFD制限の適用がない帯域

18.8-19.3GHz帯(宇宙から地球)および28.6-29.1GHz帯(地球から宇宙) のNGSO FSSシステム、そして19.3-19.7GHz帯(宇宙から地球)および29.1-29.5GHz帯(地球から宇宙)のNGSO MSS F/Lは、ITU無線通信規則9.12Aおよび9.13に基づきGSO FSSネットワークと運用に関する調整を行います。17.7-17.8GHzの帯域では、NGSO FSSはGSO FSSに許容できない干渉を引き起こしてはなりません。Ka帯NGSO FSS システムは、帯域ごとに次の事項を実施します。

- 28.6-29.5GHz 帯(地球から宇宙)では、ITU無線通信規則第22条の表 22-2 の制限をGSO FSSの保護のために適用します。
- 17.7-17.8および18.8-19.7GHz帯域(宇宙から地球)では、22条の表22-1Bの制限をGSO FSS の保護のために適用します。
- NGSO衛星がGSO衛星と近接して並ぶ場合に、NGSO衛星への送受信を避けることで、上記の要件を満足させます (下図参照)。

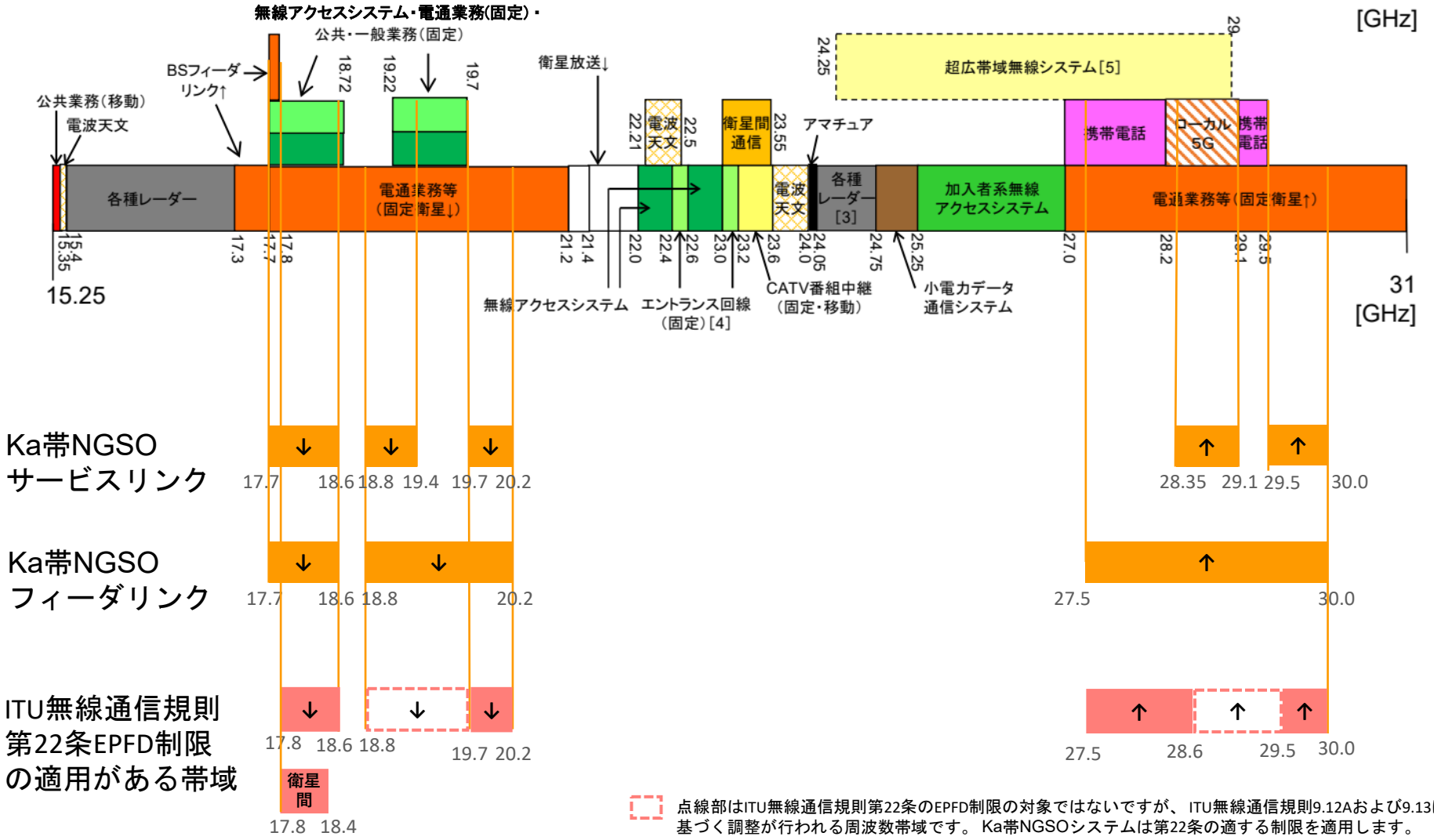


宇宙から地球方向



地球から宇宙方向

国内GSO FSSとの周波数共用



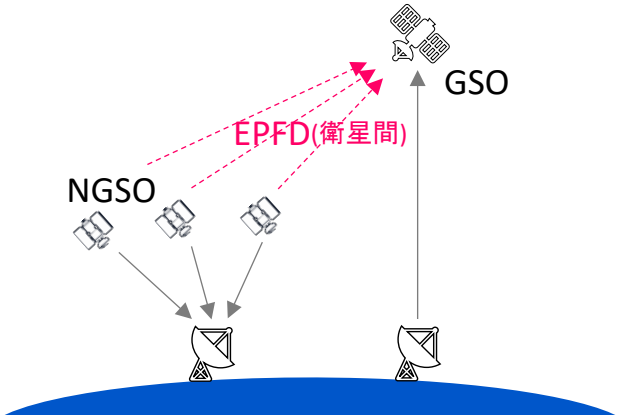
点線部はITU無線通信規則第22条のEPFD制限の対象ではないですが、ITU無線通信規則9.12Aおよび9.13に基づく調整が行われる周波数帯域です。 Ka帯NGSOシステムは第22条の適する制限を適用します。

出典: https://www.tele.soumu.go.jp/resource/e/search/myuse/use0303/10g.pdf

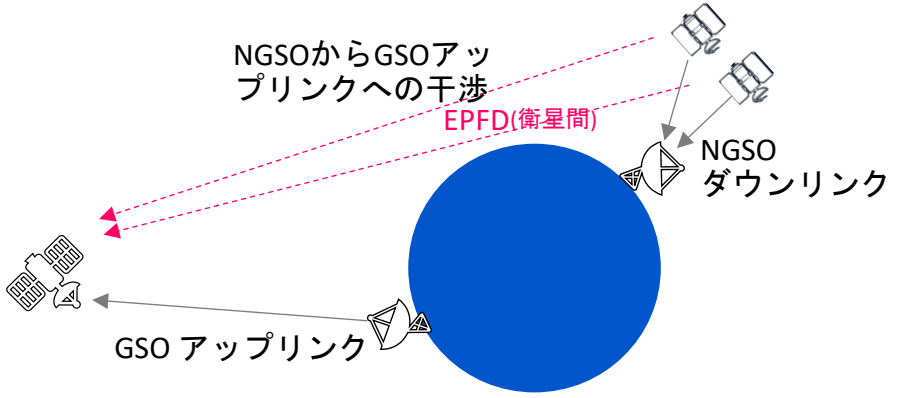
更新

国内GSO BSSとの周波数共用

固定衛星業務(地球から宇宙)における静止衛星システムによる17.3-18.1GHz帯域の使用は、放送衛星業務のフィーダリンクに限定されています。同じ帯域で使用されているNGSO FSSの使用とは逆の方向で運用されるため、干渉が発生するケースは2つあります。



ケース 1:NGSOバックローブからGSOへの干渉



ケース 2: NGSOサイドローブからGSOへの干渉

- 17.8-18.4GHzにおいて、両ケースはITU無線通信規則第22.5F(衛星間EPFD)と表22-3の適用されるEPFD制限の対象となり、GSO BSS(地球から宇宙方向)に対するNGSO FSS(宇宙から地球方向) による干渉から保護されます。
- 17.7-17.8 GHzでは、NGSO FSSシステムはITU無線通信規則第22.2号の対象となります。この規則では、「固定衛星業務および放送衛星業務における静止衛星ネットワークへの容認できない干渉を引き起こしてはならず、本規則に別段の定めがない限り、静止衛星ネットワークからの保護を主張してはならない」と定められています。
- ITU無線通信規則では義務付けられていませんが、17.7-17.8GHzにおいて、Ka帯NGSO FSSシステムは表22-3と同じ衛星間EPFD制限を適用し、17.7-18.4GHz帯域全体で均一な運用を実施します。
- 一方、国内では、ITU無線通信規則が17.7-17.8 GHz帯の国内利用におけるEPFD制限が規定されていないことによる周波数共用の懸念が指摘されています。しかしながら、事業者間で調整を実施することにより、これらの懸念は解消できるものと考えます。

新規

国内GSO BSSとの周波数共用

17.7-17.8 GHz帯におけるEPFD解析

以下の解析は、Kuiperのダウンリンク運用がITU無線通信規則の表22-3に対してどの程度のマージンがあるかを示しています。

右に示されているKuiperに関するITUへのEPFD提出書類から引用された衛星ダウンリンクEIRP密度マスクを使用して、前ページのケース1、2におけるNGSOからの送信EIRPとEPFDを導き出すことができます。
この解析により十分なマージンがあることが示され、17.7-17.8GHz帯におけるITU-RR表22-3へのKuiperの適合性を実証しています。

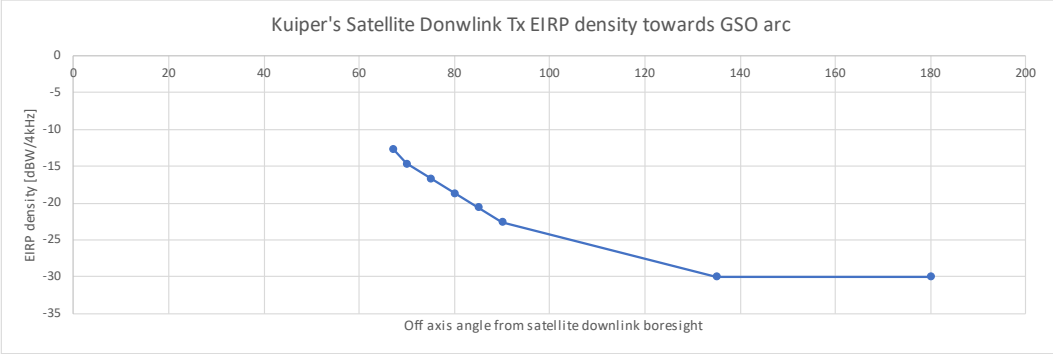


図　静止軌道弧方向のKuiperの衛星ダウンリンクEIRP密度(1)

(1) 0-67度の範囲にEIRP密度値がない理由は、この角度における送信が地球の表面に当たってしまうことにより、送信電力が受信する静止軌道衛星の方向にないことを意味します。ケース1とケース2は、ともにこれらの軸外角度を超えた範囲での軸外放射を評価しています。

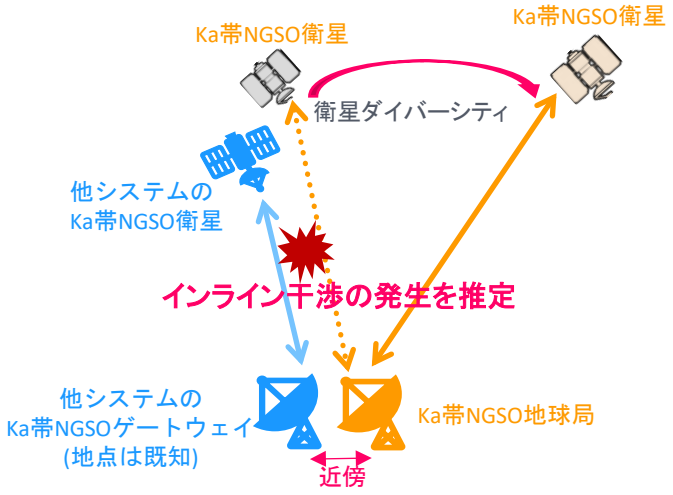
値	単位	ケース1	ケース2
周波数	MHz	17700	17700
干渉方向	Degrees	180	~67 degrees
NGSO(送信)からGSO(受信)へのEIRP密度	dB(W/Hz)	-30.0	-12.6
NGSO(送信)からGSO(受信)の距離	Meters	35176000	44485060
NGSO(送信)方向に対するGSO(受信)の利得	dBi	32.5	32.5
拡散損失	dB	161.9	164.0
EPFD 値	dB/m2/40kHz	-181.9	-166.6
表22-3のEPFD制限値	dB/m2/40kHz	-160	-160
EPFD制限値からのマージン	dB	21.9	6.6

NGSO FSSシステムとの周波数共用

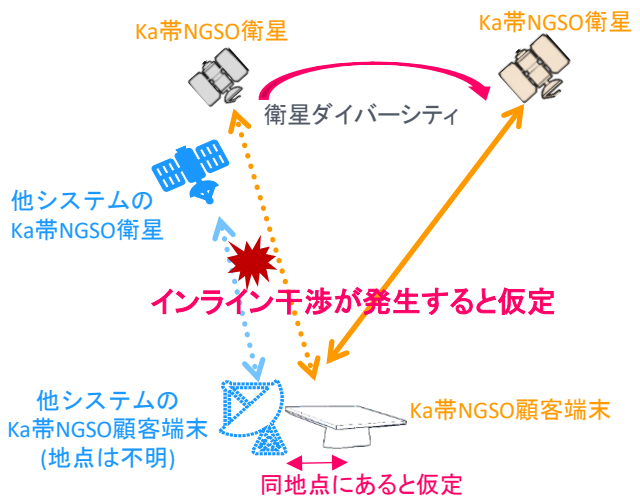
- 17.7-18.6GHz, 18.8-20.2GHz(宇宙から地球)及び27.5-30.0GHz(地球から宇宙)では、NGSOシステムは、ITU無線通信規則第9.12条の規定に基づいて適切に運用されます。

- 効果的な干渉低減措置である衛星ダイバーシティの概要は、ITU勧告ITU-R S.1431に記載されています。複数のNGSOシステム間で地球局・衛星間の通信回線が同じ周波数帯域で重なることで発生するインライン干渉を回避するために、別の衛星を選択する手法です。インライン干渉の可能性は、衛星の位置と地球局の位置に基づいて推定されます。この技術はアップリンクとダウンリンクの両方に適用されます。

  - 各NGSOシステムの衛星の位置は、エフェメリスデータを使用して決定できます。米国では、認可を受けた各事業者は、エフェメリスデータを他の事業者が利用できるようにする必要があります(FCC規則47 CFR § 25.146 (e))。実際には、space-track.orgのウェブサイトを使ってこの情報を共有しています。
  - 他NGSOシステムの地球局の位置が分かっている場合(例えばゲートウェイ)、衛星ダイバーシティは、Kuiperの地球局が他のNGSOシステムの地球局から一定の距離内にある場合にのみ必要となります。
  - 他NGSOシステムの地球局の位置が不明な場合(例えば顧客端末)、Kuiperは他のNGSOシステムの地球局がKuiperの地球局に併設されていると仮定し、一直線上に重なる場合(インライン時)には衛星ダイバーシティを活用します。



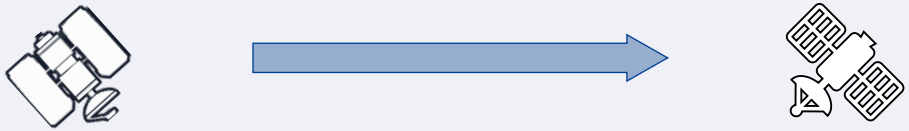
他NGSOシステムの地球局の位置が分かっている場合の例



他NGSOシステムの地球局の位置が不明な場合の例

隣接帯域干渉からの地球探査衛星業務(EESS)(受動)の保護

与干渉	被干渉
Ka帯NGSO宇宙局(サービスリンクとフィーダリンク) 17.7-18.6/18.8-19.4/19.7-20.2GHz	EESS(受動) 18.6-18.8GHz



- Ka帯NGSO宇宙局は、ITU無線通信規則第5.522B号の制限により、18.6-18.8GHz帯域では運用しません。
- 隣接する周波数でのKuiperシステムの運用による18.6-18.8GHzへの帯域外発射に関し、PFDはITU無線通信規則第21.16.2号の許容制限を大幅に下回ります。
- Ka帯NGSO FSSシステムのフィーダリンクの場合、帯域内PFDはサービスリンクよりも10dB低いため、帯域内PFDについてもITU無線通信規則第21.16.2号の隣接帯域PFD制限を満たします。

地上システムとの周波数共用の検討

Ka帯周波数共用シナリオ

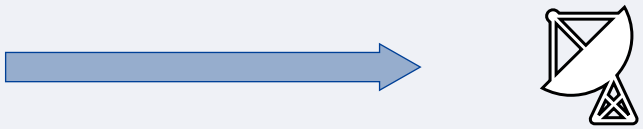
	ケース	与干渉	被干渉	帯域重複	ページ
サービスリンク	1-A	Ka帯NGSO FSS宇宙局(サービスリンク) 17.7-18.6GHz/ 18.8-19.4GHz/ 19.7-20.2GHz(宇宙から地球)	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72GHz/ 19.22-19.7GHz	同一	30
	1-B	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72GHz/ 19.22-19.7GHz	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 17.7-18.6GHz/ 18.8-19.4GHz/ 19.7-20.2GHz(宇宙から地球)	同一	31
	1-C	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 28.35-29.1GHz/ 29.5-30GHz(地球から宇宙)	ローカル5Gシステム 28.2-29.1GHz	同一	33
	1-D	ローカル5Gシステム 27.0-29.5GHz	Ka帯NGSO FSS宇宙局 28.35-29.1GHz/ 29.5-30GHz	同一	48
	1-E	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 28.35-29.1GHz/ 29.5-30GHz(地球から宇宙)	携帯事業者5Gシステム 27.0-28.2GHz/ 29.1-29.5GHz	隣接	49
	1-F	携帯事業者5Gシステム 27.0-28.2/29.1-29.5GHz	Ka帯NGSO FSS宇宙局(サービスリンク) 28.35-29.1GHz/29.5-30GHz (地球から宇宙)	隣接	59
	1-G	BSSフィーダリンク(地球から宇宙) 17.3-17.8GHz	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 17.7-18.6GHz/ 18.8-19.4GHz/ 19.7-20.2GHz(宇宙から地球)	同一	60
フィーダリンク	2-A	Ka帯NGSO FSS宇宙局(フィーダリンク) 17.7-18.6/ 18.8-20.2GHz(宇宙から地球)	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72/ 19.22-19.7GHz	同一	62
	2-B	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72/ 19.22-19.7	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局 17.7-18.6GHz/ 18.8-20.2GHz(宇宙から地球)	同一	63
	2-C	Ka帯NGSOゲートウェイ地球局 27.5-30GHz(地球から宇宙)	ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム 27.0-29.5GHz	同一	65
	2-D	ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム 27.0-29.5GHz	Ka帯NGSO FSS宇宙局 27.5-30GHz (地球から宇宙)	同一	70
	2-E	BSSフィーダリンク(地球から宇宙) 17.3-17.8GHz	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局 17.7-18.6/ 18.8-20.2GHz(宇宙から地球)	同一	71
	2-F	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局 27.5-30GHz(地球から宇宙)	超広帯域(UWB)無線システム 24.25-29GHz	同一	73

Ka帯NGSO地球局の運用パラメータ

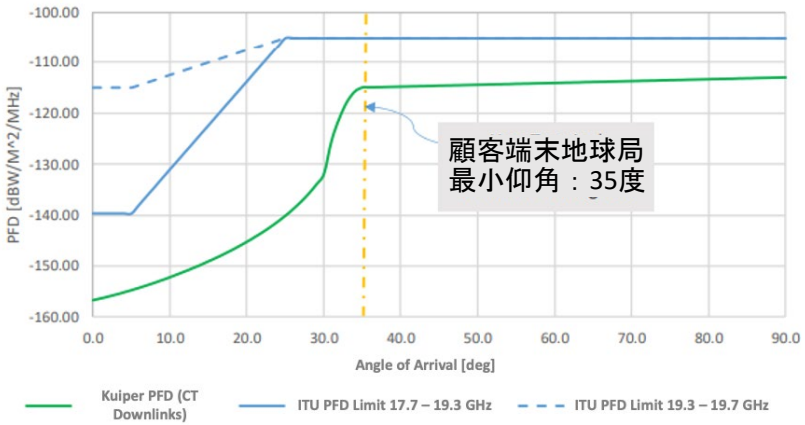
パラメータ	顧客端末地球局	ゲートウェイ地球局
周波数帯(受信)	17.7 – 18.6GHz 18.8 – 19.4GHz 19.7 – 20.2GHz	17.7 – 18.6GHz 18.8 – 20.2GHz
周波数帯(送信)	28.35 – 29.1GHz 29.5 – 30.0GHz	27.5 – 30.0GHz
チャネル帯幅(送信)	最大 200 MHz 最小 16.67 MHz	最大 500 MHz 最小 50 MHz
占有周波数帯幅(送信)	最大 200 MHz 最小 16.67 MHz	最大 490 MHz 最小 49 MHz
アンテナ径	0.18m – 0.76m	2.4 m
最小仰角	35 度	20 度
最大アンテナ利得(送信)	29.5 – 36.5 dBi	52.8 dBi
最大EIRP密度	26 dBW/MHz	35.8 dBW/MHz

ケース1-A: Ka帯NGSO宇宙局(サービスリンク)→固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)

ケース	与干渉	被干渉
1-A	Ka帯NGSO FSS宇宙局(サービスリンク) 17.7-18.6GHz/ 18.8-19.4GHz/ 19.7-20.2GHz	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72GHz/ 19.22-19.7GHz



- ITU無線通信規則21条は、地上固定業務及び固定無線アクセスシステムの保護を確保するため、NGSO FSS宇宙局のPFDを制限しています。
- Ka帯NGSOシステムのダウンリンク通信は、ITU無線通信規則　表21-4のPFD制限に適合しています(右図参照)。
- 顧客端末の最小仰角は35度です。FSやFWAのアンテナの通常仰角は低いことに加え、端末顧客の仰角をこのように取ることで、FSやFWAの運用を有害な干渉から保護する上で十分な大きさのアンテナサイドローブアイソレーションが確保されます。



検討結果

ITU無線通信規則21条のPFD制限を満たすことで、Ka帯NGSO宇宙局(サービスリンク)は、地上固定業務や固定無線アクセスシステムとの周波数共用が可能と考えられます。

ケース1-B: 固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)→Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局

ケース	与干渉	被干渉
1-B	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72GHz/ 19.22-19.7GHz	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 17.7-18.6GHz/ 18.8-19.4GHz/ 19.7-20.2GHz



下記のパラメータを用いて無線アクセスシステム(FWA)および電気通信業務(FS)からKa帯NGSO FSS 顧客端末地球局までの干渉しきい値を超過しないために必要となる離隔距離を算出しました。各送信側の離角に対して解析しました。

	無線アクセスシステム(FWA)	電気通信業務(FS)	注記
FSまたはFWA EIRP	70 dBm (40 dBW)(最大値) Gamax=38.4[dBi]とし、下式より求める。 【0°≦θ≦2.5°】：70.3 - 1.65×θ^2 【2.5°≦θ＜54°】：68.05 - 20.23×log(θ) 【54°≦θ＜70°】：33 【70°≦θ＜90°】：33.0 - 0.0138×(θ - 70)^2 【90°≦θ】：27.5	62 dBm (32 dBW) (最大値) Gamax=38.0[dBi]とし、下式より求める。 【θ >= 2.5 and θ < 48】： EIRP = 70-20.8log(θ) dBm 【For θ >= 48】: EIRP = 35 dBm	*1,2 固定業務: 電波法関係審査基準 (令和3年3月14日改正後) 別表2表6
FSまたはFWA アンテナ高	30m	30m	*1
FSS 受信アンテナ利得	-10 dBi	-10 dBi	Kuiperアンテナの水平方向における典型的な軸外受信利得(最小仰角35度を考慮)。
FSS アンテナ高	10m, 0.3m	10m, 0.3m	
干渉閾値	-151 dBW	-151 dBW	ITU-R SF.1006, Eq3
経路損失	ITU-R P.452	ITU-R P.452	郊外クラッタを使用

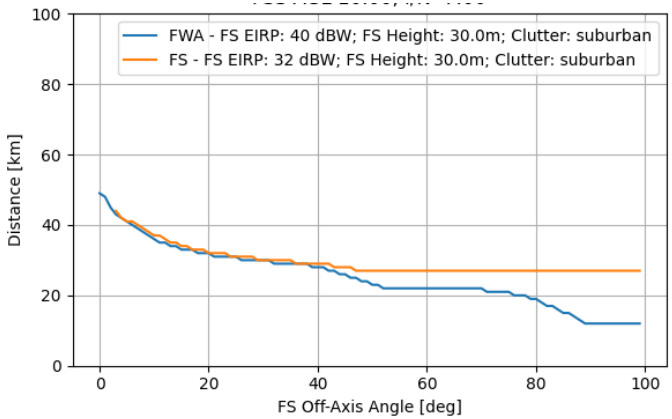
*1：情報通信審議会情報通信技術分科会衛星通信システム委員会作業班資料Ku帯非静止衛星通信システム(高度500km)の周波数共用検討(2020/10/7)
*2：情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会報告、平成26年5月「業務用陸上無線通信の高度化等に関する技術的条件」のうち「基幹系無線システムの高度化等に係る技術的条件
注：[dB]を単位に含む各値は小数点以下を丸めて表記しているため、そのまま用いると離隔距離は図に記載の値の通りにはならない場合があります。

ケース1-B: 固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)→Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局

解析結果

- 干渉の可能性は、次の2要因に大きく依存しています。(1)固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)送信機とNGSO FSSゲートウェイ地球局との間の距離、(2)FS送信機の軸外離角(送信ゲイン減衰を生じさせることにより干渉の可能性を低減)。
- ワーストケースで求められる離隔距離は約49 kmですが、固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)の送信機がKa帯NGSO FSSゲートウェイ地球局に直接向けられていない場合、必要な離隔距離ははるかに小さくなります。

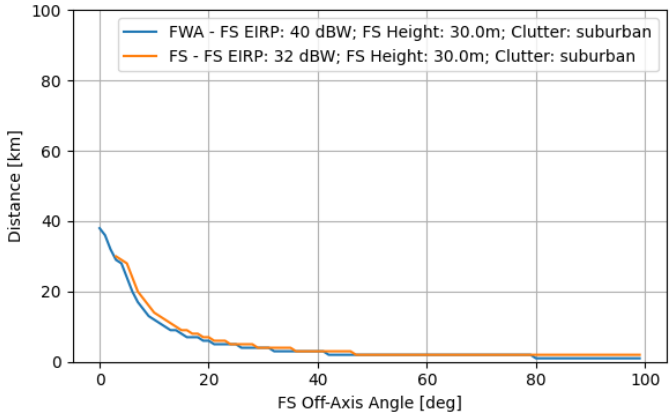
NGSO FSSアンテナ高10m



干渉緩和技術

- Ka帯NGSO FSSシステム顧客端末の最小仰角は35度あり、Ka帯NGSOシステム顧客端末と固定業務局の電波が干渉する可能性は小さいです。
- Ka帯NGSO FSSシステム顧客端末と固定業務局のアンテナ指向性により、干渉の可能性を低くします。
- 干渉源方向のサイドローブ無効化を実現するため、受信機ビームパターンを操作・形成します。
- 顧客端末受信機のデジタル干渉キャンセレーション技術を活用します。
- 地上の送信機・受信機の位置及び各通信リンクの帯域情報に基づき、干渉を回避するようネットワークレベルで調整します。
- Ka帯NGSO FSSシステムは、環境を自ら学習し、空間およびスペクトルの使用状況に関するデータベースを段階的に構築して、特定の場所における特定の周波数を回避することができます。

NGSO FSSアンテナ高0.3m

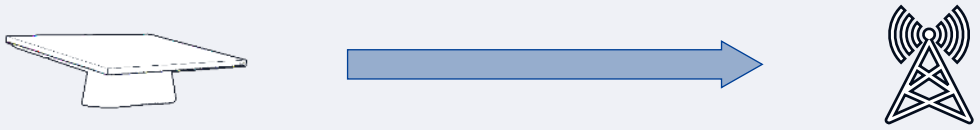


検討結果

- 干渉は、実際のアンテナの運用パラメータを考慮に入れることでさらに軽減できると考えられます。
- ECC Decision (00)07と同様に、Ka帯NGSO FSS顧客端末は、固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)からの保護を求めないことを条件とした限定的な干渉リスクの下で運用可能です。
- 上記の複数の緩和措置により、Ka帯NGSO FSSシステムとの周波数共用が可能と考えられます。

ケース1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

ケース	与干渉	被干渉
1-C	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 28.35-29.1GHz/ 29.5-30GHz	ローカル5Gシステム 28.2-29.1GHz



解析方法

- 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(平成30年7月31日)(以下、新世代モバイル通信システム委員会報告)の5.3.2.4章「非静止衛星地球局から5Gシステムへの干渉検討」で使用された同じ方法論を用いて、ローカル5Gシステムの屋外および屋内基地局の干渉に対するKa帯NGSO FSS顧客端末地球局に関する解析を実施しました。

- 解析に使用した5Gシステムの仕様は、3GPPで規定されている5G NR(New Radio)に基づいており、3GPPで指定されていないその他の仕様はITU-Rにおける共用研究に基づいて設定しています。

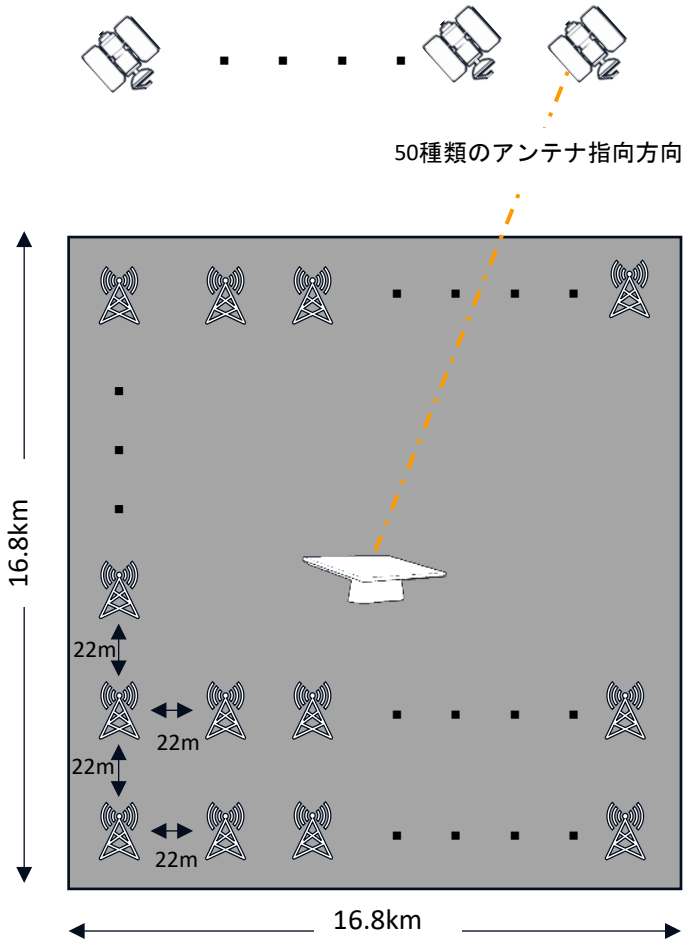
- 28GHz帯域の5Gシステムは、アンテナと増幅器が統合されたアクティブアンテナシステム(AAS)を使用します。AASは、各アンテナ素子に供給される信号位相を制御し、5Gシステムの放射パターン特性を動的に変更します(ビームフォーミング)。そのため、ビームフォーミングを考慮した解析を行っています。

ケース1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

解析方法(続き)

評価方法：

- アンテナ地上高10m/0.3mの顧客端末が屋外ローカル5Gシステムへ干渉するシナリオを設定しました。都市型/郊外型のクラッタ損を想定しています。また、アンテナ高10m/0.3mの顧客端末が屋内のローカル5Gシステムに干渉するシナリオも検討し、郊外型のクラッタ損を適用しています。
- 各シナリオについて、干渉が閾値を超える可能性のある最大距離と、干渉が閾値を超える確率を計算しました。
- 各基地局をメッシュ上(基地局数：564,000、メッシュサイズ：16.8km x 16.8km、間隔：22m)に配置しました。基地局のメッシュには東京の地形モデルが使用され、各基地局にはランダムな方位角が与えられました。
- Ka帯NGSO FSS 顧客端末地球局をメッシュの中央に配置しました。そして、NGSO FSS顧客端末の送信ビームが軌道上衛星を追尾移動している状況での干渉をモデル化するために、50種類のアンテナ指向方向を想定して解析しました。結果、2,800万を超える干渉計算サンプルを得ました。
- NGSO FSS顧客端末から各基地局への同一チャネル干渉電力レベルは、基地局の平均アンテナパターンモデルと最大アンテナパターンモデルの両方を使用して計算しました。干渉電力レベルをグラフ(X軸に離隔距離、Y軸に干渉電力レベル)として図示しました。



ケース1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

ローカル5Gシステムの基地局仕様

解析パラメータ	値		備考
	ローカル5Gシステム (屋内)	ローカル5Gシステム (屋外)	
受信エレメント利得	5 dBi		新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1
アレーサイズ	8 x 8		
最大受信ゲイン	約23dBi		
水平/垂直 3dB ビーム幅	65 deg		ITU-R M.2292
アンテナ高	3 m	6 m	新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1
チルト角	90 deg, 45 deg	10 deg	
アンテナ利得	最大値と平均値(次スライド参照)		新世代モバイル通信システム委員会報告の手法を用いてモデル化
干渉閾値	I = -110 dBm/MHz		I/N = -6 dB、新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1

環境仕様

解析パラメータ	値		備考
	ローカル5Gシステム (屋内)	ローカル5Gシステム (屋外)	
電波伝搬モデル	ITU-R P.452		20%-time allowance, 250m以下は自由空間損
デジタル標高モデル	SRTM-3		
屋内伝搬損	Thermally Efficient:41.5 dB Traditional: 20.1dB	該当なし	ITU-R P. 2109 (場所率50%) Thermally Efficient/Traditional建物[2]
設置場所	東京		

Ka帯NGSO顧客端末の地球局仕様(Kuiper)

解析パラメータ	値	備考
送信利得	32.5 dBi [1]	屋外設置
送信 EIRP 密度	-34 dBW/Hz	
水平方向最大EIRP密度	-10.4 dBW/MHz	
送信アンテナ高	0.3, 10 m	屋外設置
最小送信仰角	35 deg	
方位角	複数(衛星追尾をモデル化するため)	
送信デューティサイクル	100%, 25%, 10%	典型的なデューティサイクルは10%未満

1 Kuiper顧客端末の最大利得は36.5dBiですが、軸外EIRP密度が最も高いKuiper顧客端末モデルは最大利得が32.5dBiとなります。
2 Thermally efficient建物: 金属化ガラス、金属ホイルを裏打ちしたパネルを用いた建物

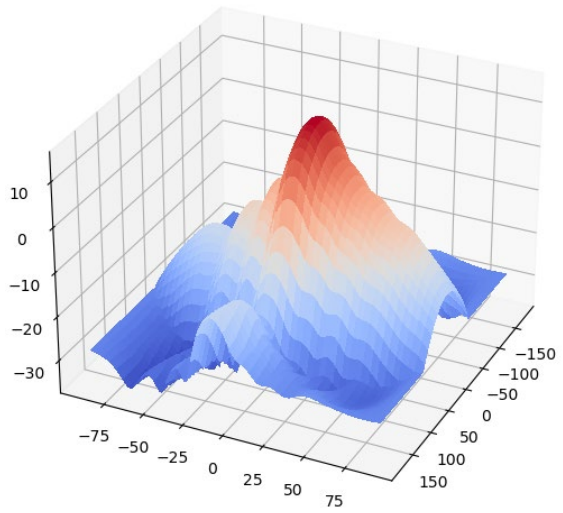
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

基地局アンテナパターンのモデル

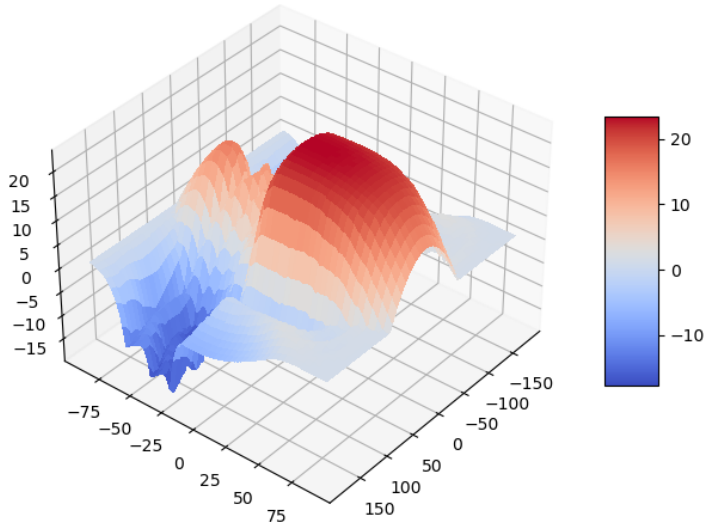
- 平均アンテナパターンと最大アンテナパターンは、新世代モバイル通信システム委員会報告の4.1章と同じ手法でモデル化しました。
- 5G基地局のビームフォーミングアンテナにより、干渉源からの受信干渉は時間とともに変動します。
- 共用検討では、この干渉電力の変動を考慮した評価を行うことが必要となります。

ビームフォーミングを考慮した空中線指向特性のモデル化 (参考: 新世代モバイル通信システム委員会報告の表 4.1.2-5)	
平均パターン	• 陸上移動局を基地局エリア内に配置し、基地局のメインビームを陸上移動局に向ける空中線指向特性を、勧告ITU-R M.2101の Annex 1 の 5 章に示される数式に基づき生成。 • 陸上移動局の位置を変更しつつ、上記の方法に基づい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、任意の方向の空中線利得を**平均値**によりモデル化。
最大パターン	• 陸上移動局を基地局エリア内に配置し、基地局のメインビームを陸上移動局に向ける空中線指向特性を、勧告ITU-R M.2101の Annex 1 の 5 章に示される数式に基づき生成。 • 陸上移動局の位置を変更しつつ、上記の方法に基づい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、任意の方向の空中線利得を**最大値**(包絡線)によりモデル化。

平均パターン



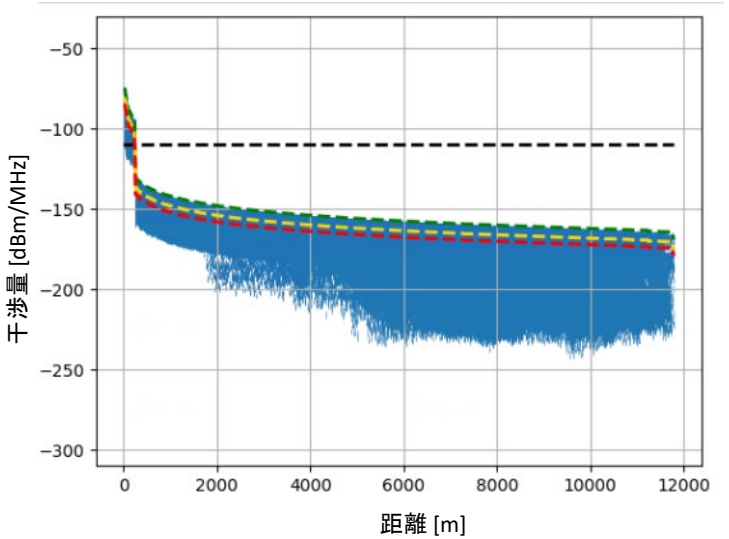
最大パターン



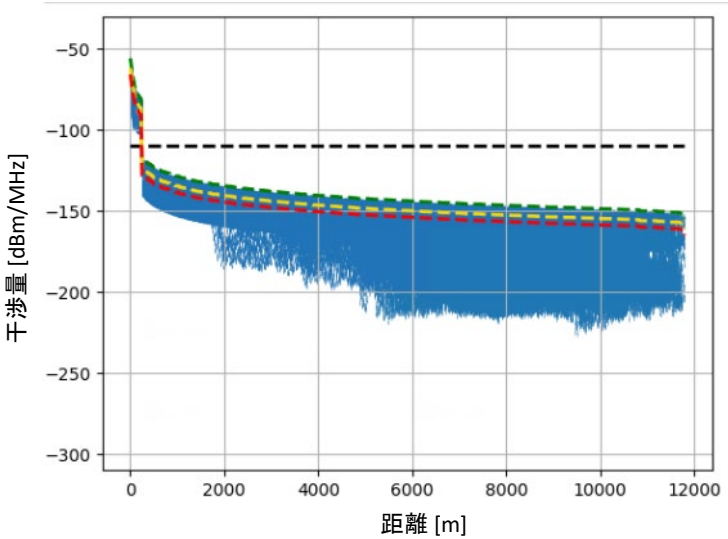
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

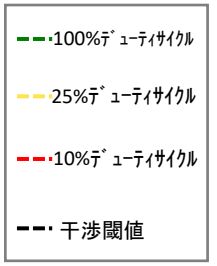
解析結果: ローカル5Gシステム屋外設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 10m, 都市クラッタ

平均パターン



最大パターン





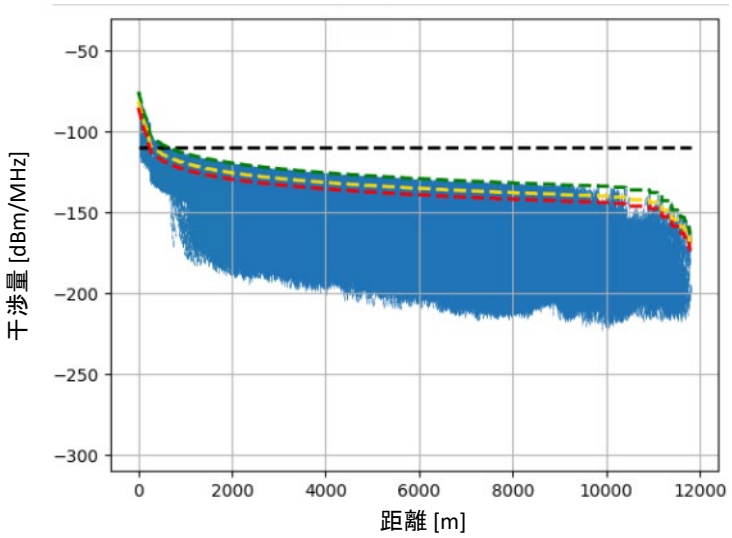
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	249m	0.06%
	25%	249m	0.16%
	100%	249m	0.09%
5G 受信最大パターン	10%	249m	0.16%
	25%	249m	0.16%
	100%	249m	0.16%

小数点第3位以下は切り捨て

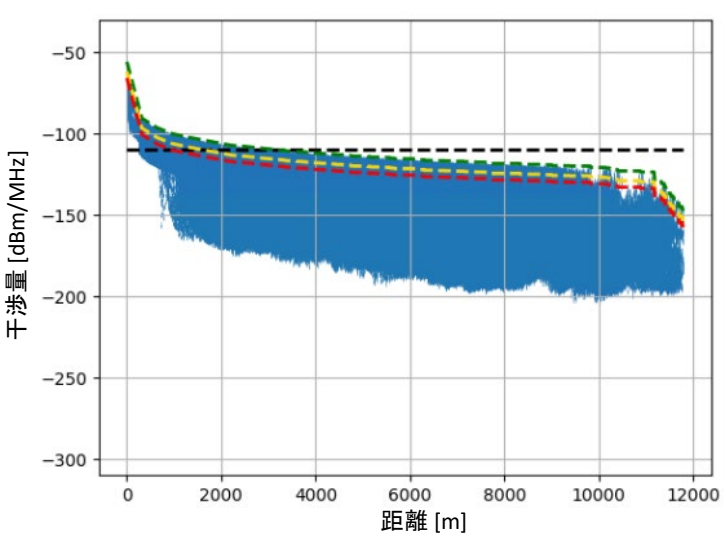
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

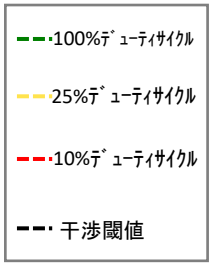
解析結果: ローカル5Gシステム屋外設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 10m, 郊外クラッタ

平均パターン



最大パターン





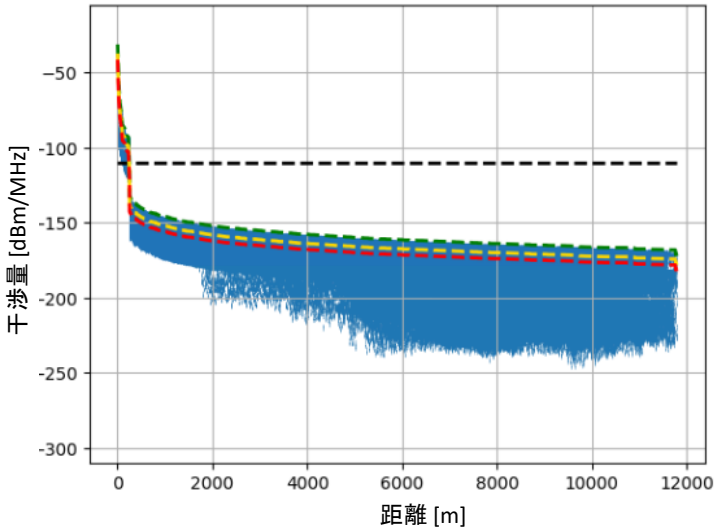
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	249m	0.06%
	25%	318m	0.09%
	100%	649m	0.14%
5G 受信最大パターン	10%	946m	0.24%
	25%	1612m	0.41%
	100%	3180m	1.14%

小数点第3位以下は切り捨て

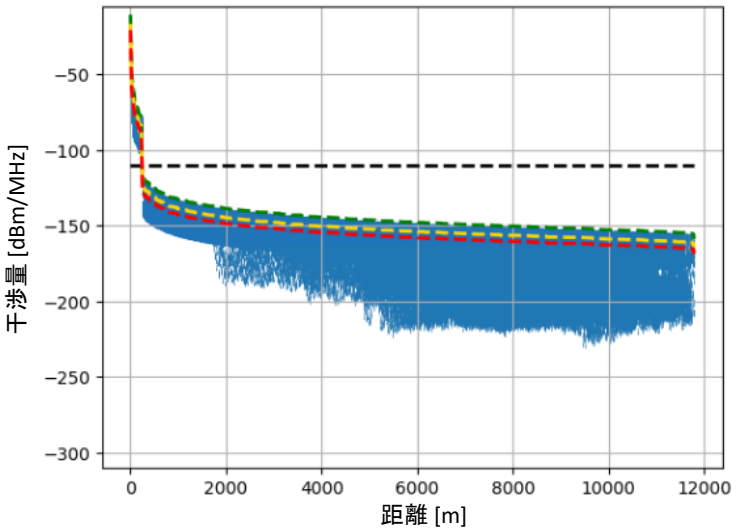
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

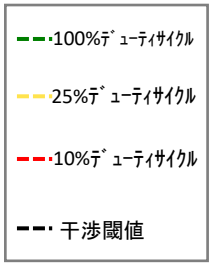
解析結果: ローカル5Gシステム屋外設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 0.3m, 都市クラッタ

平均パターン



最大パターン





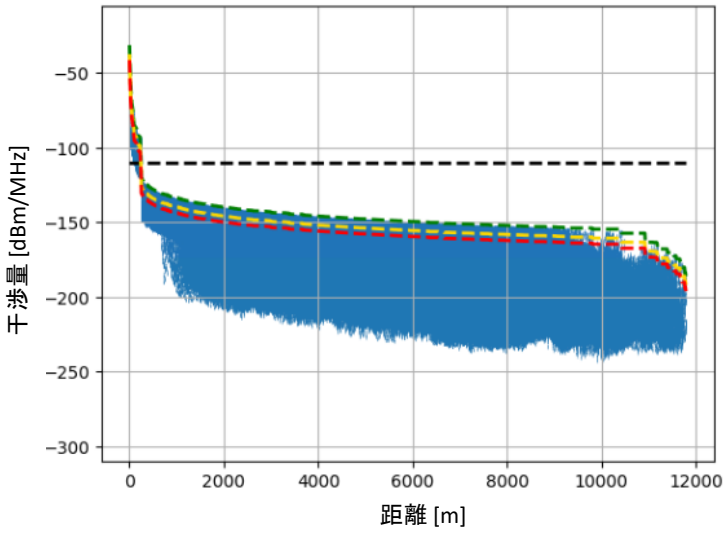
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	249m	0.08%
	25%	249m	0.11%
	100%	249m	0.14%
5G 受信最大パターン	10%	249m	0.15%
	25%	249m	0.16%
	100%	249m	0.16%

小数点第3位以下は切り捨て

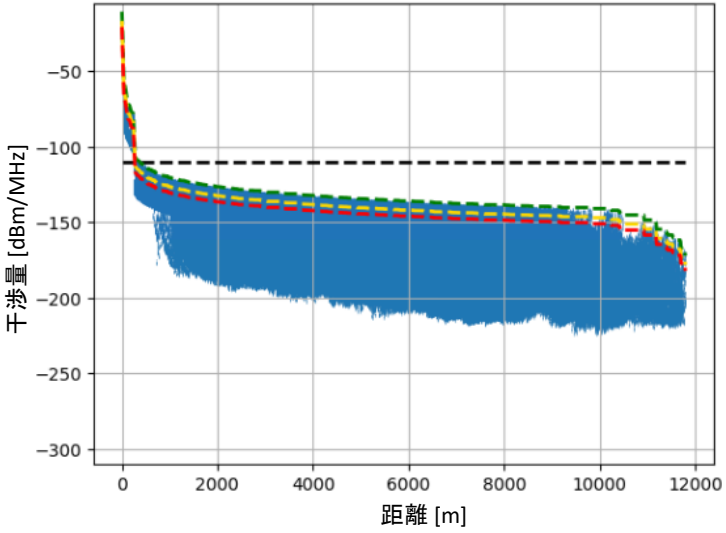
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

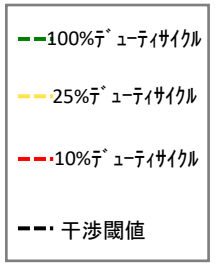
解析結果: ローカル5Gシステム屋外設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 0.3m, 郊外クラッタ

平均パターン



最大パターン





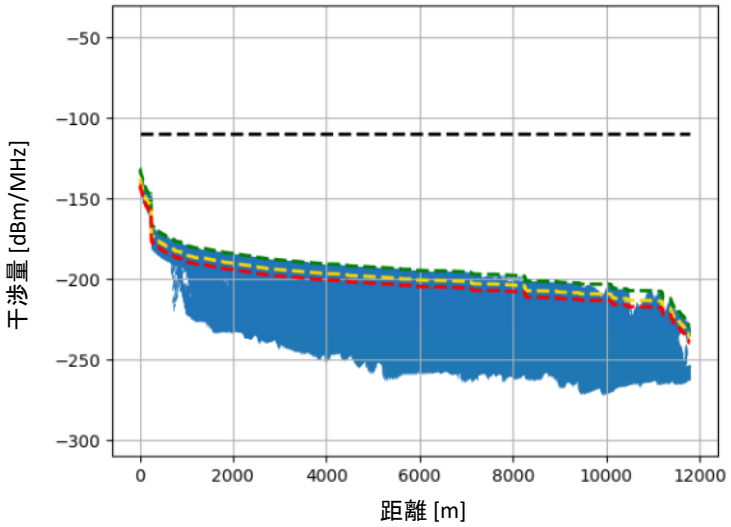
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	249m	0.08%
	25%	249m	0.11%
	100%	249m	0.14%
5G 受信最大パターン	10%	249m	0.15%
	25%	249m	0.16%
	100%	398m	0.16%

小数点第3位以下は切り捨て

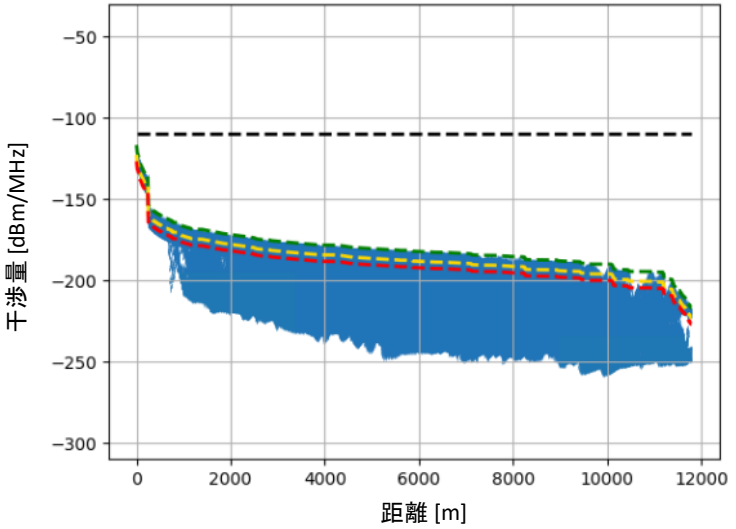
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

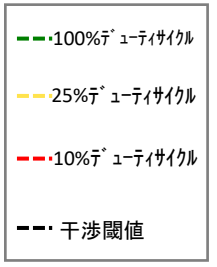
解析結果: ローカル5Gシステム屋内設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 10m, 郊外クラッタ,
基地局チルト角90度(天井取り付け), Thermally Efficient 建物

平均パターン



最大パターン





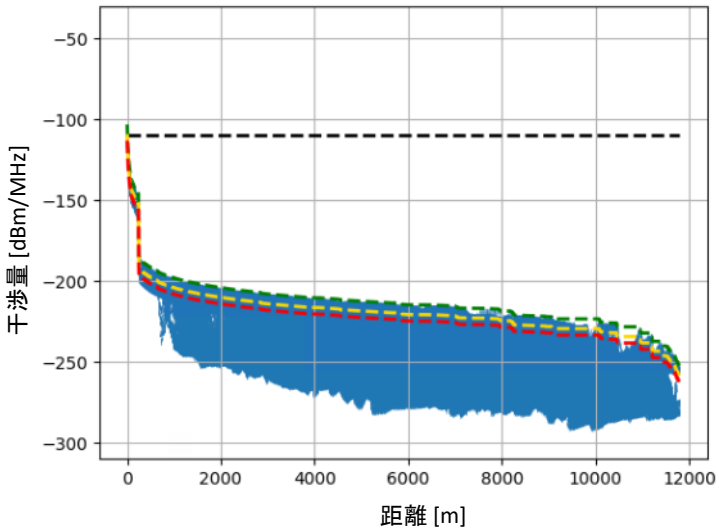
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	0m	0.00%
5G 受信最大パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	0m	0.00%

小数点第3位以下は切り捨て

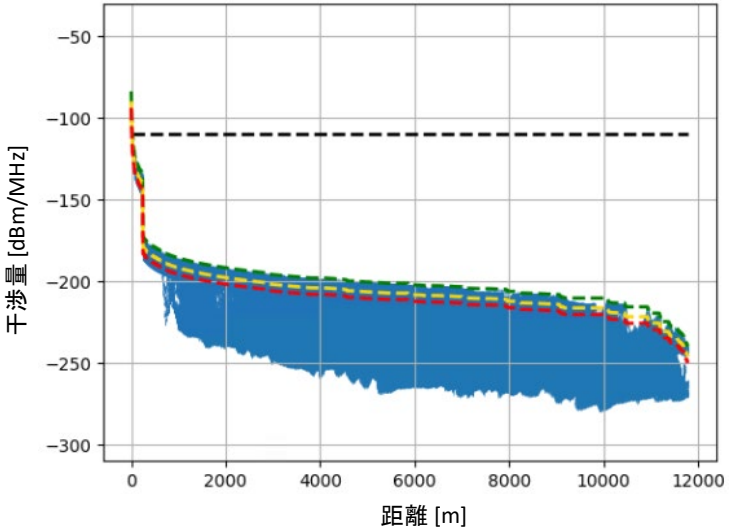
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

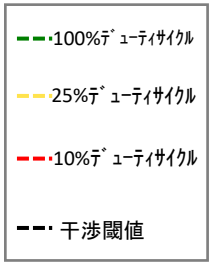
解析結果: ローカル5Gシステム屋内設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 0.3m, 郊外クラッタ,
基地局チルト角90度(天井取り付け), Thermally Efficient 建物

平均パターン



最大パターン





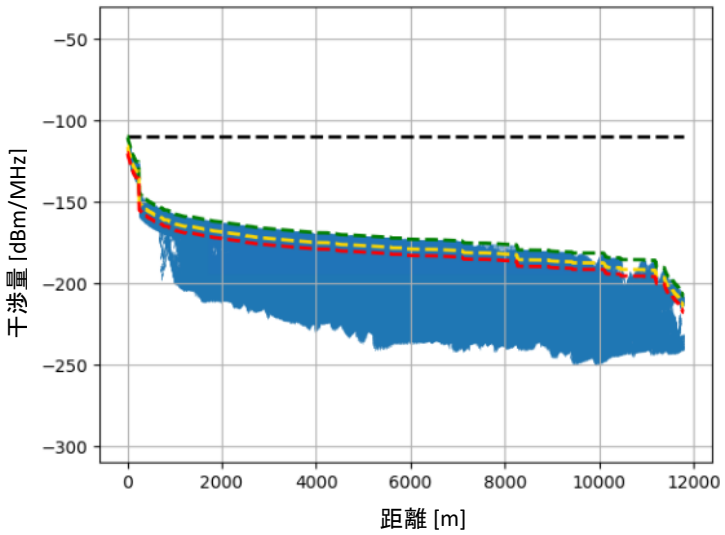
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	6m	0.00%
5G 受信最大パターン	10%	12m	0.00%
	25%	14m	0.00%
	100%	25m	0.00%

小数点第3位以下は切り捨て

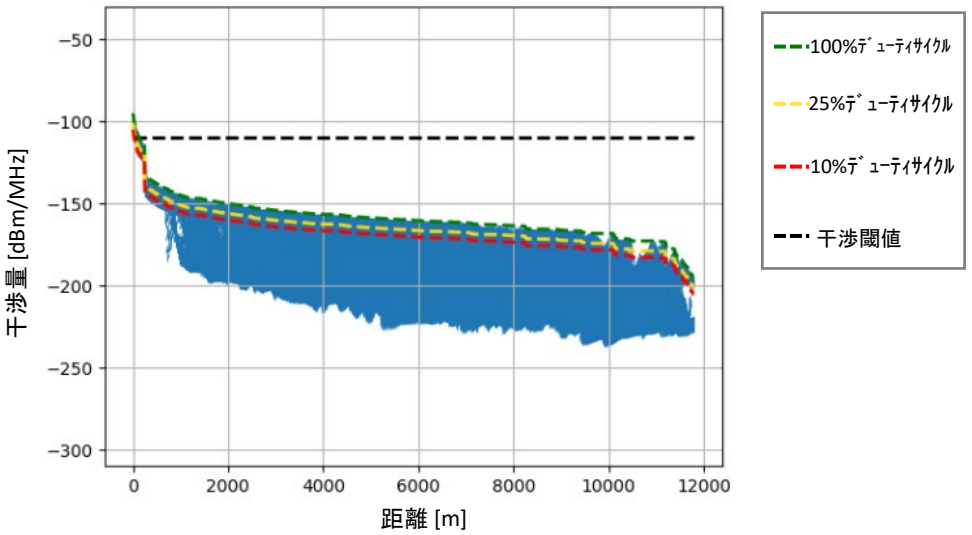
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

解析結果: ローカル5Gシステム屋内設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 10m, 郊外クラッタ,
基地局チルト角90度(天井取り付け), Traditional 建物

平均パターン



最大パターン



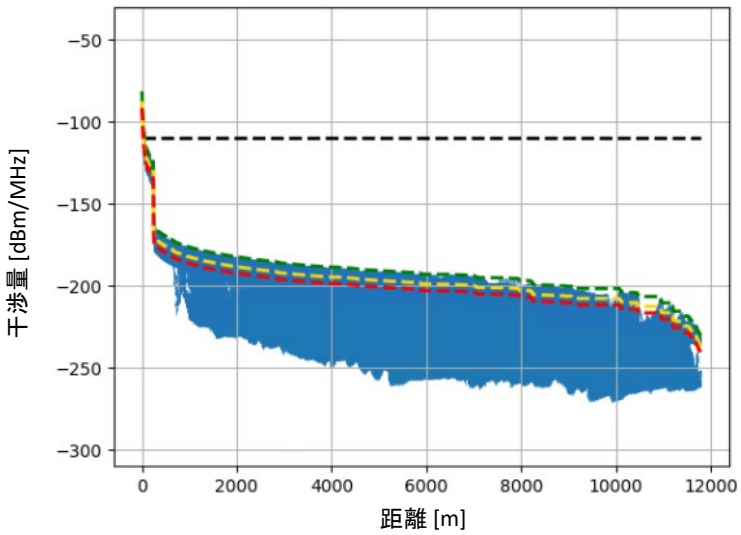
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	9m	0.00%
5G 受信最大パターン	10%	19m	0.00%
	25%	56m	0.00%
	100%	135m	0.00%

小数点第3位以下は切り捨て

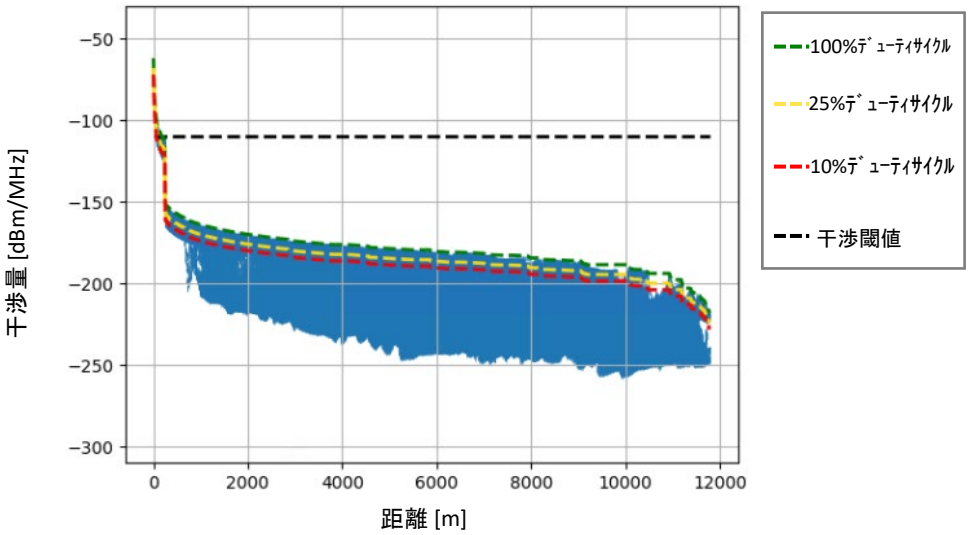
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

解析結果: ローカル5Gシステム屋内設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 0.3m, 郊外クラッタ,
基地局チルト角90度(天井取り付け), Traditional 建物

平均パターン



最大パターン



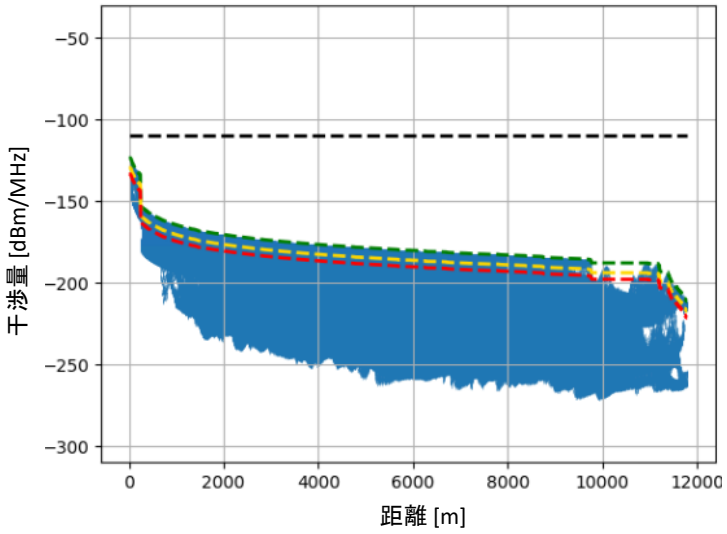
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	24m	0.00%
	25%	36m	0.00%
	100%	55m	0.02%
5G 受信最大パターン	10%	67m	0.03%
	25%	92m	0.05%
	100%	178m	0.09%

小数点第3位以下は切り捨て

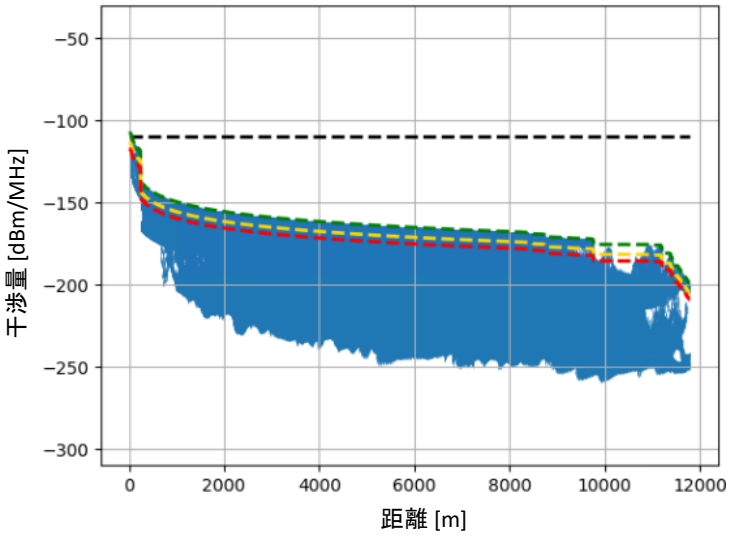
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

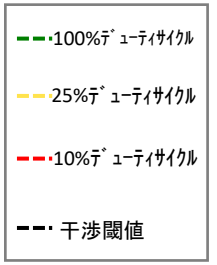
解析結果: ローカル5Gシステム屋内設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 10m, 郊外クラッタ,
基地局チルト角45度(壁取り付け) , Thermally Efficient 建物

平均パターン



最大パターン





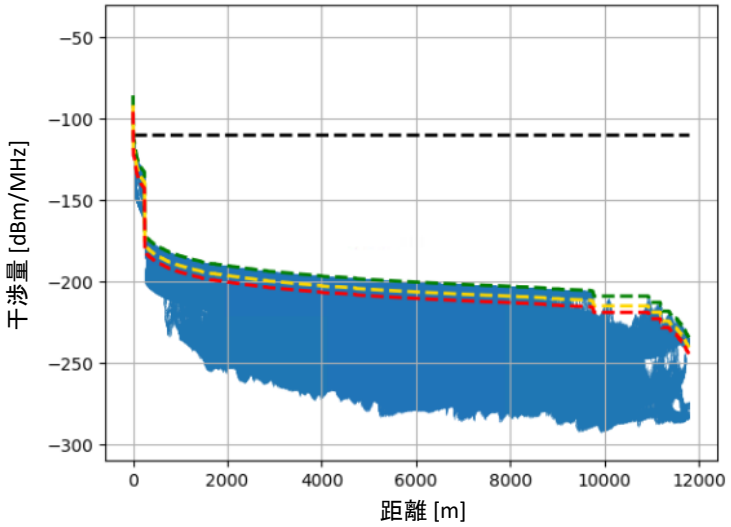
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	0m	0.00%
5G 受信最大パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	61m	0.00%

小数点第3位以下は切り捨て

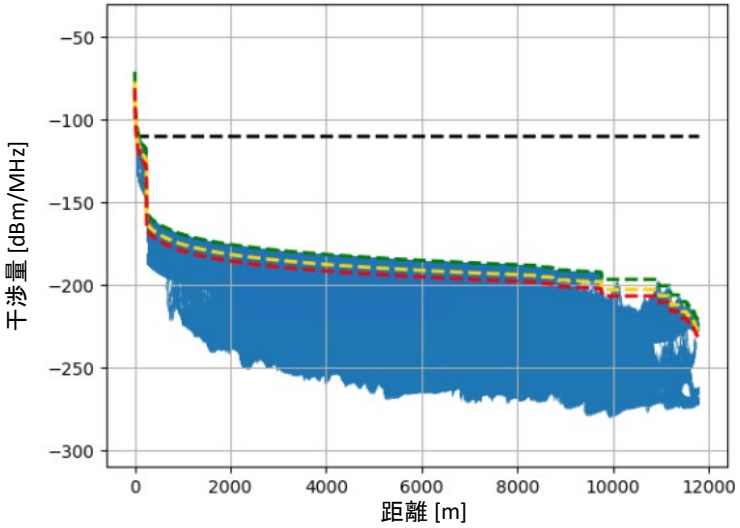
ケース 1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

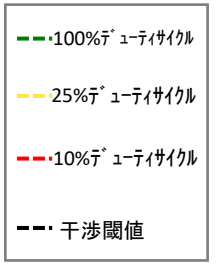
解析結果: ローカル5Gシステム屋内設置, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 0.3m, 郊外クラッタ,
基地局チルト角45度(壁取り付け) , Thermally Efficient 建物

平均パターン



最大パターン





	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	0m	0.00%
	25%	6m	0.00%
	100%	9m	0.00%
5G 受信最大パターン	10%	31m	0.00%
	25%	50m	0.00%
	100%	89m	0.00%

小数点第3位以下は切り捨て

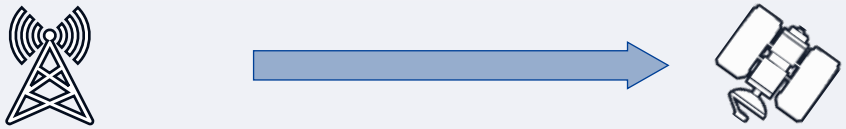
ケース1-C: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→ローカル5Gシステム

検討結果

- 基地局の空中線指向特性はビームフォーミングにより常に変動しており、地球局からの干渉が時間的に連続して生じる訳ではないため、基地局の空中線指向特性について、平均パターンの条件で考察を行いました。
- 干渉の可能性は、地域の環境(郊外、都市)と基地局のビームが地球局に直接向けられているかどうかに大きく依存します。
- ローカル5Gシステムが屋外設置、NGSO FSS 顧客端末アンテナ高が10m及びデューティサイクル10%、ミリ波5Gが展開される可能性が最も高い都市環境で計算した場合、離隔距離は最大249mとなりました。
- ローカル5Gシステムが屋外設置、NGSO FSS 顧客端末アンテナ高が10m及びデューティサイクル100%、郊外環境で計算した場合、離隔距離が最大となり649mとなりました。
- そして、以下の理由によりこの干渉の可能性は更に減少します。
  - 解析では考慮されていない離隔250m以内における建築物、樹木や地形等による実際の環境におけるクラッタ損。
  - ローカル5G基地局近傍に配されたNGSO顧客端末が同じ周波数を利用する可能性は低く、さらにローカル5Gの設置場所が事前にわかっていれば同じ周波数を利用することを回避できます。
  - 地球局の不要発射強度や基地局の許容干渉電力の実力値等を考慮することができます。
  - Ka帯顧客端末の平均送信デューティサイクルは、各ビームにおける実際の顧客端末展開密度では通常10%未満となります。
- 日本の周波数割当表注J252Aには「28.45-29.1GHzの周波数帯を使用する移動業務のローカル5Gシステムの局は、固定衛星業務の地球局からの保護を要求してはならない。」と記載されております。また、本解析はローカル5Gシステムへの潜在的な干渉が非常に低いことを示しています。
- 屋内ローカル5Gシステムにおいては、さらに建物による減衰が生じるため、干渉の可能性はより小さくなります。
- 28.35-28.45GHzの周波数帯についても、ローカル5GシステムがFSS地球局から受ける影響は限定的という解析結果となっています。具体的な干渉が生じる環境を考慮して、屋内運用、離隔距離の確保、遮蔽措置を取る等の緩和措置を採用することで、干渉に対処できます。また、Ka帯NGSO FSSシステムは、影響を受けるローカル5G事業者と連携し、干渉が観察された場合は追加の干渉軽減対策を実施できます。

ケース1-D: ローカル5Gシステム→Ka帯NGSO FSS宇宙局

ケース	与干渉	被干渉
1-D	ローカル5Gシステム 27.0-29.5GHz	Ka帯NGSO FSS宇宙局 28.35-29.1GHz/ 29.5-30GHz



- 新世代モバイル通信システム委員会報告及び情報通信審議会技術分科会衛星通信システム委員会報告(2020年12月15日)(以下、衛星通信システム委員会報告)も、 基地局の設置状況を適切に管理することで5GシステムはNGSO FSSシステムと共用できると結論付けています。

> *本検討で想定した基地局諸元に基づけば、低仰角の条件でクラッタ損を考慮しない場合には約8,500局の基地局を設置すると非静止衛星の許容干渉電力に到達するが、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)の基地局を設置できるとの結果が得られた。陸上移動局からの干渉影響は、基地局からの干渉影響に比較して、大幅に増加することはないものと考えられる。同一周波数の条件を含めて５Ｇシステムと非静止衛星との共存を実現するには、基地局の設置状況を適切に管理していく必要がある。*
>
> *出典: https://www.soumu.go.jp/main_content/000723548.pdf*

- Kuiperシステムのパラメータは、衛星通信システム委員会報告で使用されたパラメータに準じ、同共用検討結果が適用されます。

検討結果

- これらの検討により、5GシステムからFSS宇宙局に対する累積干渉は、定義されたFSS保護基準を下回るI/Nレベルであり、周波数共用が可能であると考えられます。

ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

ケース	与干渉	被干渉
1-E	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 28.35-29.1 / 29.5-30GHz	携帯事業者5Gシステム 27.0-28.2/29.1-29.5GHz
		

解析方法

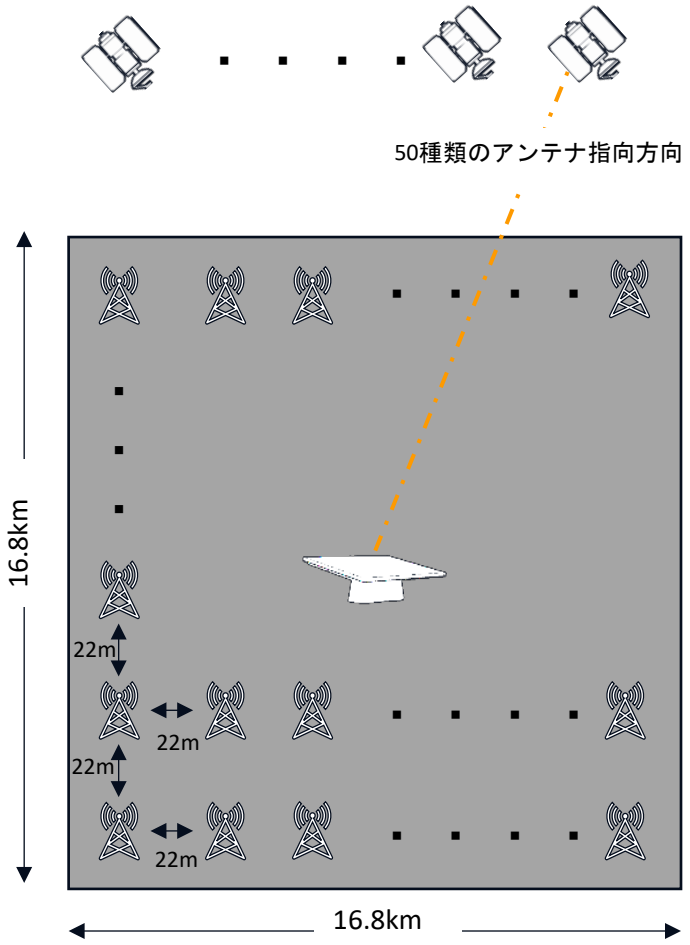
- 新世代モバイル通信システム委員会報告の5.3.2.4章「非静止衛星地球局から５Ｇシステムへの干渉検討」で使用された同じ方法を用いて、5Gの屋外および屋内基地局の干渉に対するKa帯NGSO FSS顧客端末地球局に関する解析を実施しました。
- 解析に使用した5Gシステムの仕様は、3GPPで規定されている5G NR(New Radio)に基づいており、3GPPで指定されていないその他の仕様はITU-Rでの共用研究に基づいて設定しています。
- 28GHz帯域の5Gシステムは、アンテナと増幅器が統合されたアクティブアンテナシステム(AAS)を使用します。AASは、各アンテナ素子に供給される信号位相を制御し、5Gシステムの放射パターン特性を動的に変更します(ビームフォーミング)。そのため、ビームフォーミングを考慮した解析を行っています。

ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

解析方法(続き)

評価方法:

- アンテナ地上高10m/0.3mの顧客端末が屋外の携帯事業者5Gに干渉するシナリオを設定しました。ここで、都市型/郊外型のクラッタ損を適用しています。
- 各シナリオについて、干渉が閾値を超える可能性のある最大距離と、干渉が閾値を超える確率を計算しました。
- 各基地局をメッシュ上(基地局数：564,000、メッシュサイズ：16.8km x 16.8km、間隔：22m)に配置しました。基地局のメッシュには東京の地形モデルが使用され、各基地局にはランダムな方位角が与えられました。
- Ka帯NGSO FSS 顧客端末地球局をメッシュの中央に配置しました。そして、NGSO FSS顧客端末の送信ビームが軌道上衛星を追尾移動している状況での干渉をモデル化するために、50種類のアンテナ指向方向を想定して解析しました。結果、2,800万を超える干渉計算サンプルを得ました。
- NGSO FSS顧客端末から各基地局への同一チャネル干渉電力レベルは、基地局の最大アンテナパターンモデルと平均アンテナパターンモデルの両方を使用して計算しました。干渉電力レベルをグラフ(X軸に離隔距離、Y軸に干渉電力レベル)として図示しました。



ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

5Gの基地局仕様

解析パラメータ	値	備考
受信エレメント利得	5 dBi	新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1
アレーサイズ	8 x 8	
最大受信ゲイン	約23dBi	
水平/垂直 3dB ビーム幅	65 deg	ITU-R M.2292
アンテナ高	6 m	新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1
チルト角	10 deg	
アンテナ利得	最大値と平均値(次スライド参照)	新世代モバイル通信システム委員会報告の手法を用いてモデル化
干渉閾値	I = -110 dBm/MHz	I/N = -6 dB、新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1

環境仕様

解析パラメータ	値	備考
電波伝搬モデル	ITU-R P.452	20%-time allowance, 250m以下は自由空間損
デジタル標高モデル	SRTM-3	
設置場所	東京	

Ka帯NGSO顧客端末の地球局仕様(Kuiper)

解析パラメータ	値	備考
送信利得	32.5 dBi [1]	屋外設置
送信 EIRP 密度	-34 dBW/Hz	
隣接帯域水平方向最大EIRP密度	-45 dBW/MHz	~~100MHz帯域幅で平均化した値~~ ECC Dec (05)/01 の制限より10dB低い値
送信アンテナ高	0.3, 10 m	屋外設置
最小送信仰角	35 deg	
方位角	複数(衛星追尾をモデル化するため)	
送信デューティサイクル	100%, 25%, 10% (典型)	典型的なデューティサイクルは10%未満

1 Kuiper顧客端末の最大利得は36.5dBiですが、軸外EIRP密度が最も高いKuiper顧客端末は最大利得が32.5dBiとなります。

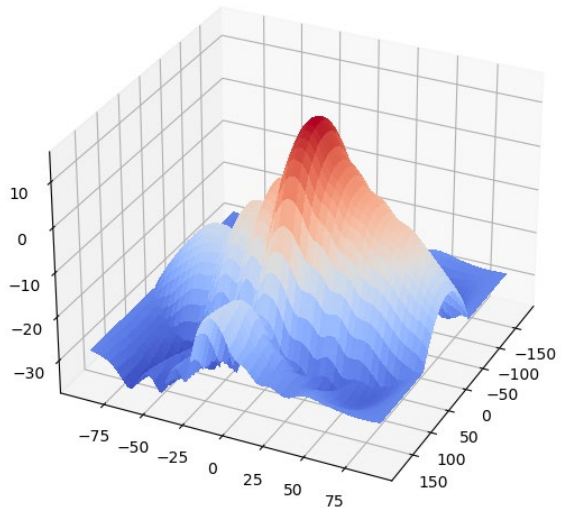
ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

基地局アンテナパターンのモデル

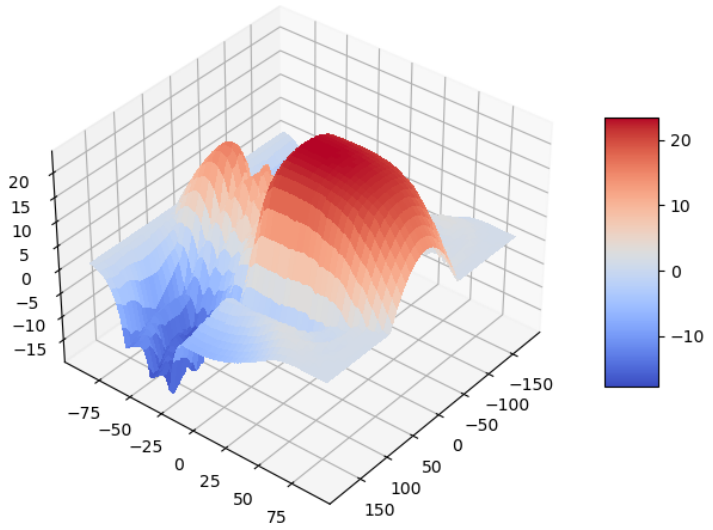
- 平均アンテナパターンと最大アンテナパターンは、新世代モバイル通信システム委員会報告の4.1章と同じ手法でモデル化しました。
- 5G基地局のビームフォーミングアンテナにより、干渉源からの受信干渉は時間とともに変動します。
- 共用検討では、この干渉電力の変動を考慮した評価を行うことが必要となります。

ビームフォーミングを考慮した空中線指向特性のモデル化 (参考:新世代モバイル通信システム委員会報告の表 4.1.2-5)	
平均パターン	• 陸上移動局を基地局エリア内に配置し、基地局のメインビームを陸上移動局に向ける空中線指向特性を、勧告ITU-R M.2101の Annex 1 の 5 章に示される数式に基づき生成。 • 陸上移動局の位置を変更しつつ、上記の方法に基づい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、任意の方向の空中線利得を**平均値**によりモデル化。
最大パターン	• 陸上移動局を基地局エリア内に配置し、基地局のメインビームを陸上移動局に向ける空中線指向特性を、勧告ITU-R M.2101の Annex 1 の 5 章に示される数式に基づき生成。 • 陸上移動局の位置を変更しつつ、上記の方法に基づい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、任意の方向の空中線利得を**最大値**(包絡線)によりモデル化。

平均パターン

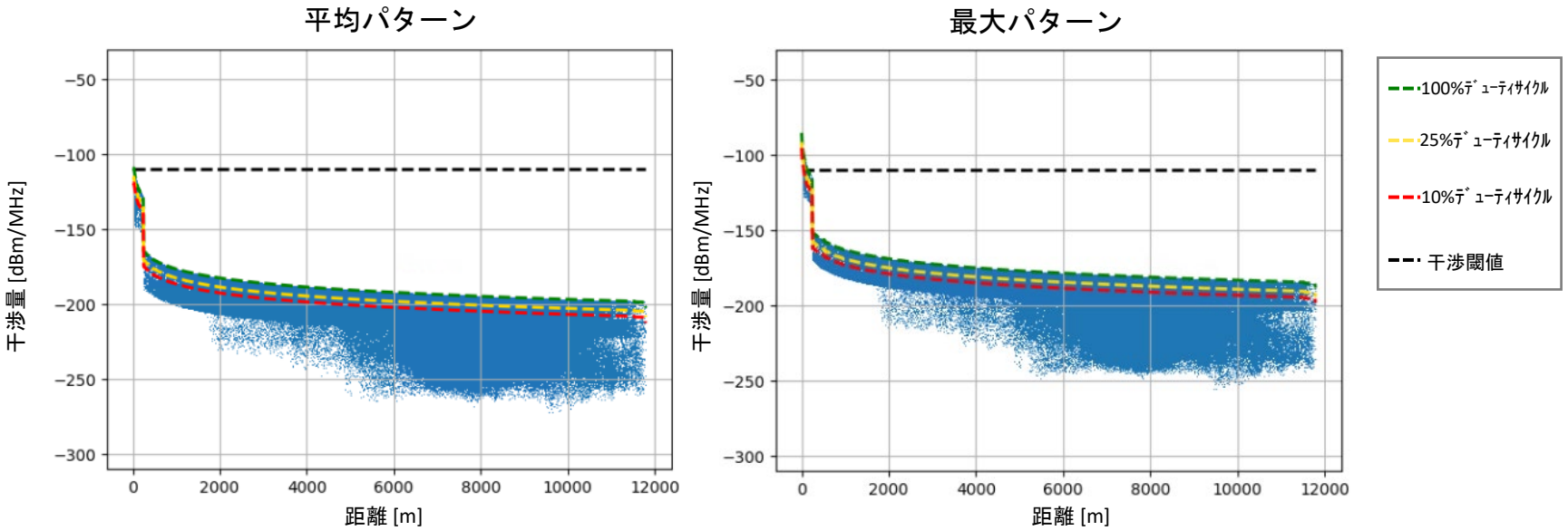


最大パターン



ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

解析結果: 携帯事業者5G, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 10m, 都市クラッタ



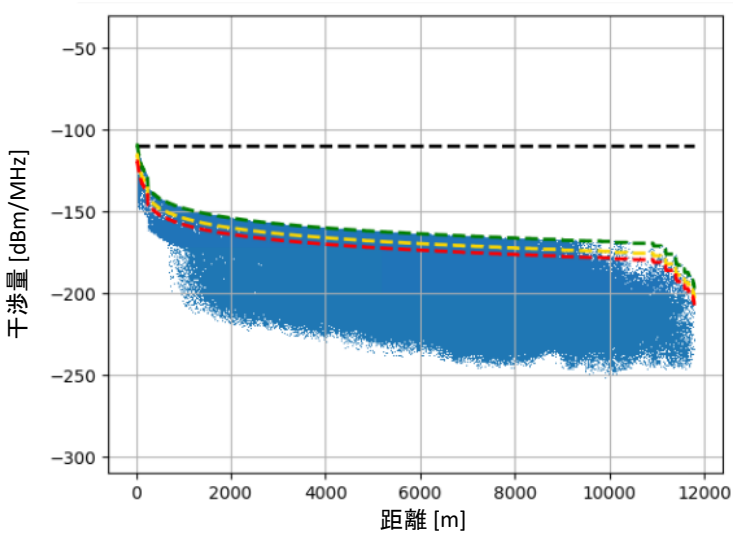
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	30m	0.00%
5G 受信最大パターン	10%	47m	0.00%
	25%	70m	0.01%
	100%	134m	0.03%

小数点第3位以下は切り捨て

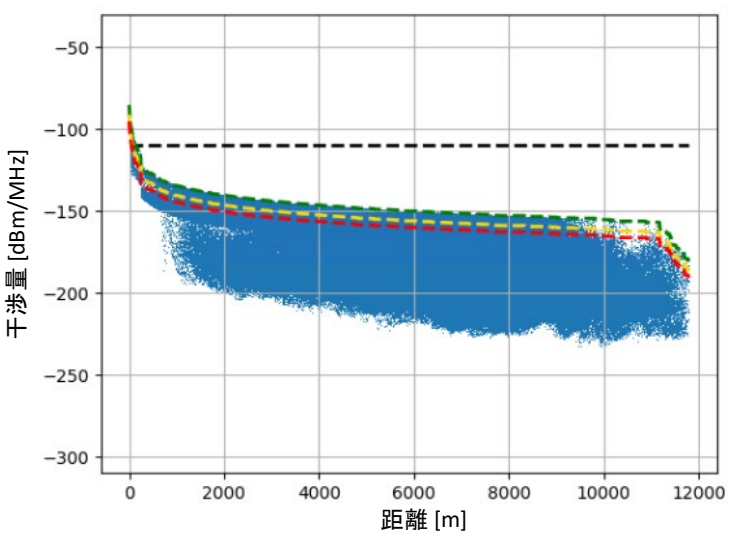
ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

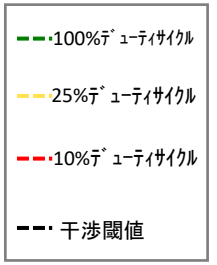
解析結果: 携帯事業者5G, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 10m, 郊外クラッタ

平均パターン



最大パターン



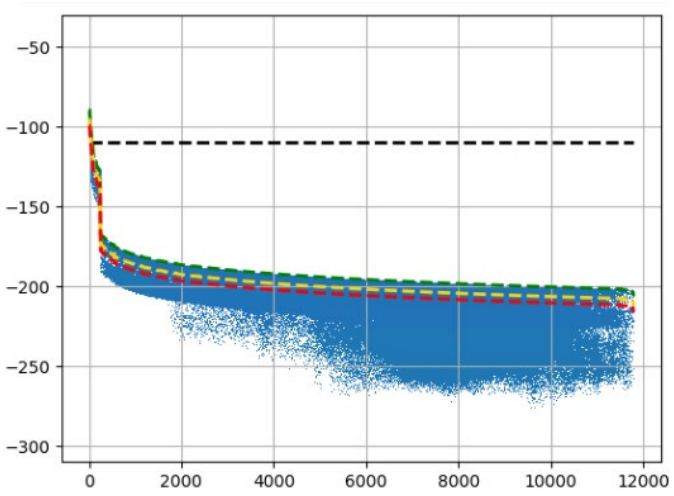


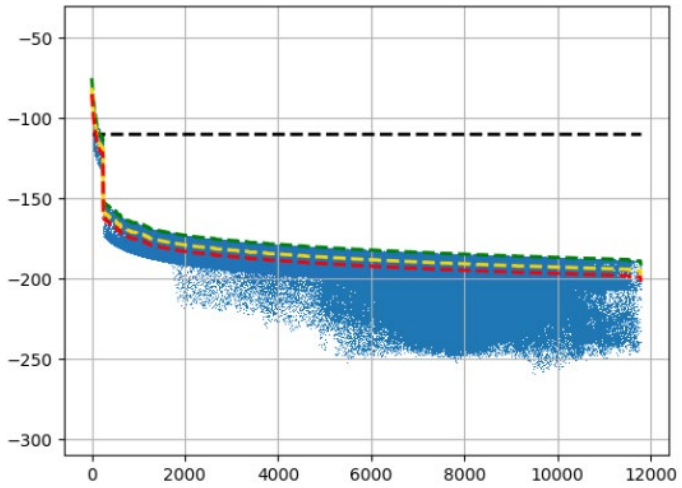
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	0m	0.00%
	25%	0m	0.00%
	100%	30m	0.00%
5G 受信最大パターン	10%	47m	0.00%
	25%	70m	0.01%
	100%	134m	0.03%

小数点第3位以下は切り捨て

ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

解析結果: 携帯事業者5G, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 0.3m, 都市クラッタ



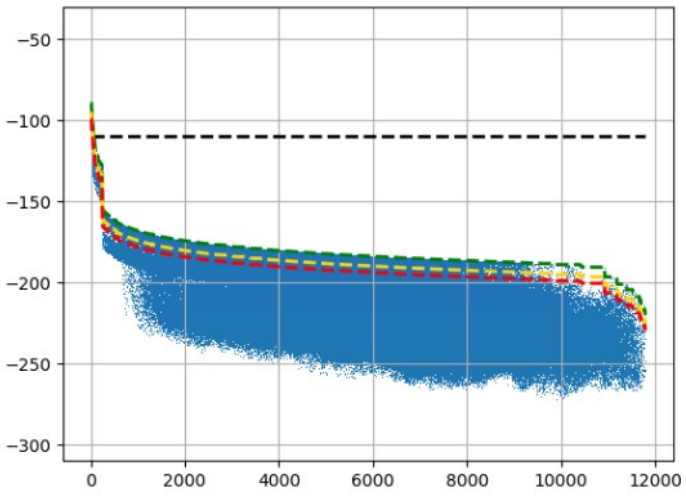


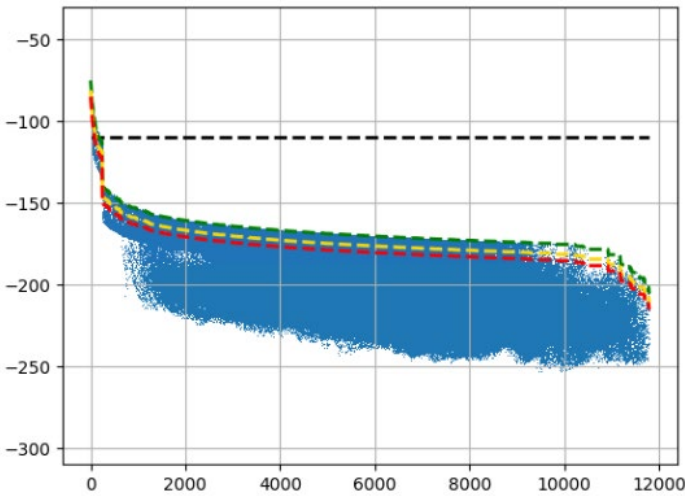
	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	33m	0.00%
	25%	47m	0.00%
	100%	64m	0.01%
5G 受信最大パターン	10%	86m	0.03%
	25%	111m	0.04%
	100%	180m	0.05%

小数点第3位以下は切り捨て

ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

解析結果: 携帯事業者5G, NGSO FSS 顧客端末アンテナ高 0.3m, 郊外クラッタ





	Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	10%	33m	0.00%
	25%	47m	0.00%
	100%	64m	0.01%
5G 受信最大パターン	10%	86m	0.03%
	25%	111m	0.04%
	100%	180m	0.05%

小数点第3位以下は切り捨て

新規

ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

デューティーサイクル適用手法について

2通りのデューティーサイクルを解析に適用する方法があります。

方法1-干渉量にデューティーサイクルを静的に適用:
デューティサイクルを用いて干渉計算する方法として、等価等方放射電力(EIRP) 値に10 log (デューティサイクル値)を加算するものが従来よりあります。これは、被干渉システムのtime durationが与干渉のscheduling timeよりも長い場合に有効となります。 Kuiper顧客端末のアップリンクの最大scheduling timeは1ms 未満です。

方法2-干渉確率にデューティーサイクルを動的に適用:
デューティサイクルを適用するもう1つの方法がありますが、それは送信デューティサイクルの時間においては最大EIRPと同等のEIRP が観測され、残りの時間サンプルにおいては EIRP が送信されないことを考慮に入れるものです。たとえば、10% の時間干渉サンプルは軸外 EIRP の最大値が計算され、残りの 90% の時間は干渉が発生しません。これにより、干渉が確率的に減少します。

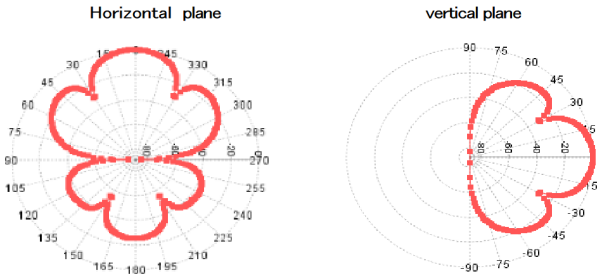
本報告書では、解析に方法1を適用しました。個別の周波数調整では、デューティサイクルの適用について詳細調整することや、方法1または方法2のいずれかで確認して実際の影響を評価できます。

ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

陸上移動局への追加干渉解析

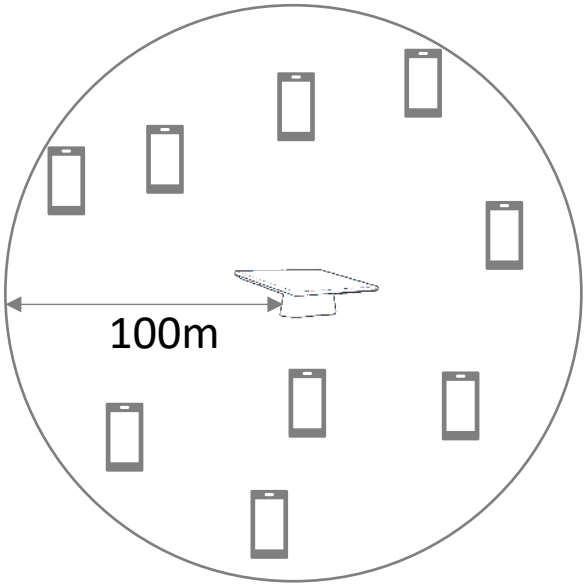
5Gの陸上移動局仕様

解析パラメータ	値
受信ゲイン	20dBi (4 x 4 Array)
アンテナ高	1.5 m
アンテナパターン	ITU-R M2101
受信系給電損失	0dB
その他損失	4dB (人体吸収損)
干渉閾値	I = -110 dBm/MHz



解析モデル

Ka帯NGSO顧客端末局（与干渉局）の周囲、半径100mの円内に、陸上移動局500局をランダムに配置し、与干渉局から陸上移動局に到達する干渉電力をモンテカルロシミュレーションを1000回繰り返し求めます。干渉電力の値が干渉閾値を超える確率が３％以下となるための所要改善量を求めます。
解析モデルは新モバイル通信システム委員会報告のFWAと5Gの共用検討を参考に作成しました。



解析結果

Ka帯NGSO FSS顧客端末の送信デューティサイクル	所要改善量
10%	-7.7dB
25%	-3.7dB
100%	2.3dB

更新

ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

過去の周波数共用の検討

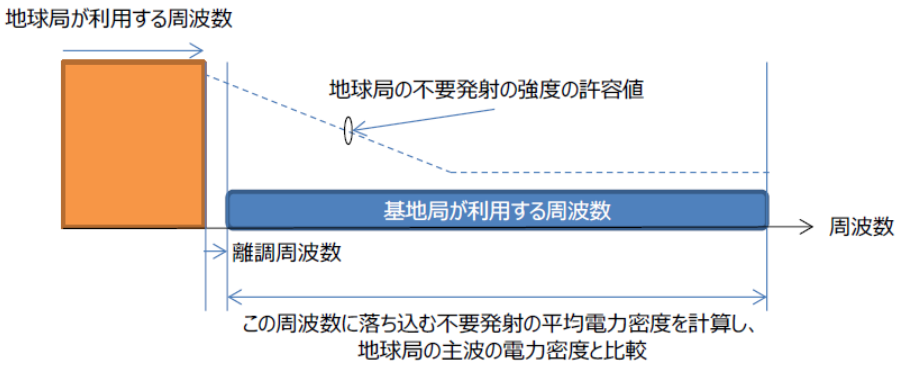
- 新世代モバイル通信システム委員会報告も、次のとおり、Ka帯NGSO顧客端末地球局地球局は隣接周波数を利用する条件で携帯事業者システムと周波数共用の可能性があると結論付けています。

各種情報伝送向けでの利用が予定されている非静止衛星地球局については、５Ｇシステムが展開されるエリアに、小型地球局（Very Small Aperture Terminal）等が潜在的に設置される可能性がある。包括免許のように位置が特定できない場合には、地球局と基地局を共存させるための離隔距離を確保できないケースがあるため、同一周波数干渉の条件での共用には課題がある。個別の干渉調整の実現性の検討や、お互いが別の周波数を利用して共用する、同一周波数で共用する場合には５Ｇシステムを屋内限定で利用する、等の方策が必要である。

- *隣接周波数を利用する条件では、地球局に極めて近接する条件を除いて、基地局の許容干渉電力を概ね満たす結果となった。地球局に極めて近接する条件においても、地球局の不要発射強度の実力値や基地局の許容干渉電力の実力値等を考慮すれば、共用の可能性があると考えられる。*
- *建物侵入損の値が小さくなるような材質の建物内や窓際には基地局を設置しないこと、建物の開口部方向に対して基地局の空中線利得が大きくならないように空中線を配置すること等の対策を行えば、５Ｇシステムを屋内限定で利用することにより、同一周波数の条件において、共用は可能と考えられる。*
- *上記の検討結果は、計画中の地球局の運用位置及び設備の想定に基づき生じうる干渉を分析したものである。地球局の空中線指向特性においてサイドローブからの干渉影響の低減することや、地球局からの干渉影響が小さくなるように地球局の設置位置を工夫することができれば、基地局の設置可否に係る条件が緩和されることになる。*

出典: https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf

- 地球局が用いる周波数端からの離調周波数に応じて、基地局が利用する帯域（400MHz幅）へ落ち込む平均的な干渉電力密度を計算し低減量として考慮することができると示唆されています。



更新

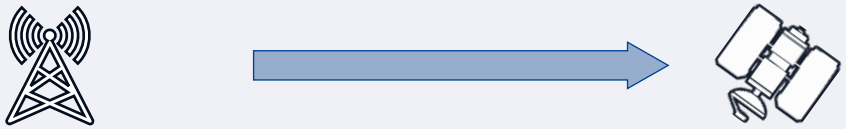
ケース1-E: Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局→携帯事業者5Gシステム(隣接)

検討結果

- 基地局の空中線指向特性はビームフォーミングにより常に変動しており、地球局からの干渉が時間的に連続して生じる訳ではないため、基地局の空中線指向特性について、平均パターンの条件で考察を行いました。
- 解析結果は、地球局が基地局に非常に近い場合(NGSO FSS 顧客端末アンテナ高0.3m、送信デューティサイクル10%の条件で計算した場合離隔が33mとなり、送信デューティサイクル100%の時64mとなります。)を除いて、干渉が一般に-110 dBm/MHzレベルを超えないという結果となりました。
- 以下の理由により干渉の可能性は更に減少します。
  - 5G基地局近傍の地球局の実際の不要発射強度を更に低めたり、基地局の許容干渉電力の実力値や、解析では考慮されていない離隔250m以内における建築物、樹木や地形等による実際の環境におけるクラッタ損を考慮することができます。
  - 顧客端末には、全アップリンク周波数範囲のうち、小さなサブセットのみが割り当てられます。Ka帯NGSO顧客端末の送信周波数に直接隣接する周波数チャネルで基地局が受信する可能は低い。
  - Ka帯NGSO顧客端末の平均送信デューティサイクルは、各ビームにおける実際の顧客端末展開密度では通常10% 未満となります。
  - 送信アンテナ高0.3mは顧客端末が地面近くに設置された場合を想定していますが、 顧客端末は空が開けた場所に設置されるので、多くの場合0.3mより高いアンテナ高となり、干渉確率は減少します。
  - 基地局が利用する帯域（400MHz幅等）へ落ち込む平均的な干渉電力密度を考慮することができる可能性があります。
  - これらの考察も含め、隣接周波数を利用する携帯電話事業者との個別の運用調整を行うことにより共用は可能と考えられる.
- 携帯端末の陸上移動局に対する干渉量について、所要改善量が0dB以下となり(NGSO FSS 顧客端末送信デューティサイクル10%, 25%の条件)、干渉を受ける可能性は極めて限定的となります。

ケース1-F:携帯事業者5G→Ka帯NGSO FSS宇宙局(サービスリンク)

ケース	与干渉	被干渉
1-F	携帯事業者5G 27.0-28.2/29.1-29.5GHz	Ka帯NGSO FSS宇宙局 28.35-29.1GHz/ 29.5-30GHz



- 新世代モバイル通信システム委員会報告及び衛星通信システム委員会報告も、 5GシステムはNGSO FSSシステムと共用できると結論付けています。

> - *自由空間伝搬損失のみでは、低仰角の条件において基地局の設置可能局数に制限がかかるが、低仰角の条件では、一般にクラッタ損を期待することができる。その場合には、十分な数の基地局数を設置可能であり、基地局の設置状況を適切に管理していけば、共用可能である*
> - *陸上移動局からの影響についても、基地局に比較して干渉影響が大幅に増加することはないものと考えられるため、共用可能である*
>
> *出典:https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf*

- Kuiperシステムのパラメータは、衛星通信システム委員会報告で使用されたパラメータに準じ、同共用検討結果が適用されます。

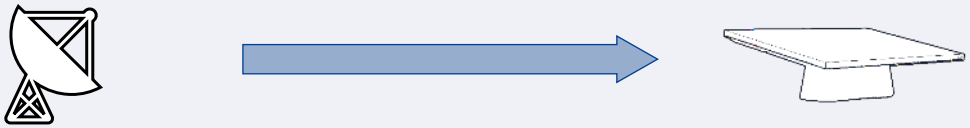
検討結果

- これらの検討により、5Gシステム局からFSS宇宙局に対する累積干渉は、定義されたFSS保護基準を下回るI/Nレベルであり、周波数共用が可能であると考えられます。

更新

ケース 1-G: BSSフィーダリンク→Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局

ケース	与干渉	被干渉
1-G	BSSフィーダリンク(地球から宇宙) 17.3-17.8GHz	Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局 17.7-18.6GHz/ 18.8-19.4GHz/ 19.7-20.2GHz (宇宙から地球)



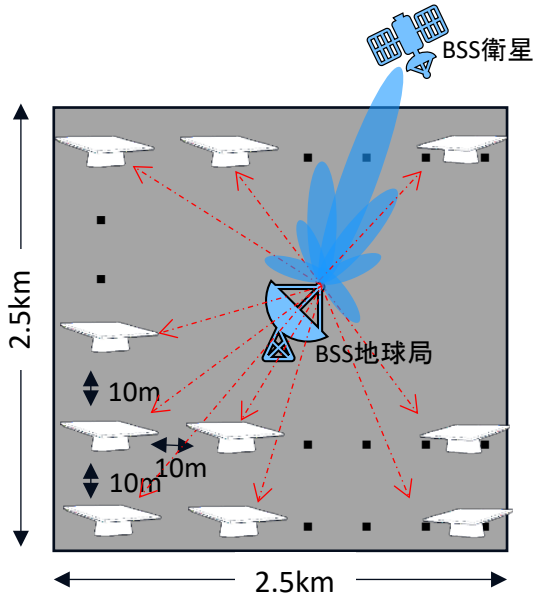
- BSSフィーダリンクに対するKa帯NGSO顧客端末の離隔距離を求めるため、下表のパラメータを使用して解析を行いました。
- 2.5 x 2.5kmのグリッドを作成し顧客端末を10mごとに配置し、中央にBSS地球局を置きました。そして、すべてのグリッド点でI/N値を計算しました。
- ワーストケースとして、顧客端末は常にBSS地球局に向かって真っすぐ(方位角)向くように設定されています。
- 本解析では、保守的な目標として I/N < 0 dB を適用しました。

注: ITU 無線通信規則 のAppendix 7 では、反対方向で帯域を利用する衛星サービス間の許容干渉閾値として -138dBW/MHz が推奨されています。これはI/N = 7.5 dBに相当し、これを採用した場合離隔距離はより短く算出されますが、高すぎる閾値と判断しました。

	BSS フィーダリンク	備考
電波型式	34M5G7W	総務省の無線局免許情報より引用
帯域	34.5MHz	総務省の無線局免許情報より引用
周波数	17.7-17.8GHz	
アンテナ径/利得	5.5m/57.9 dBi	
送信アンテナパターン	ITU-R S.580-6	
出力	200 W / 23.0 dBW	
送信EIRP	81.0 dBW	
送信EIRP密度	65.6 dBW/MHz	

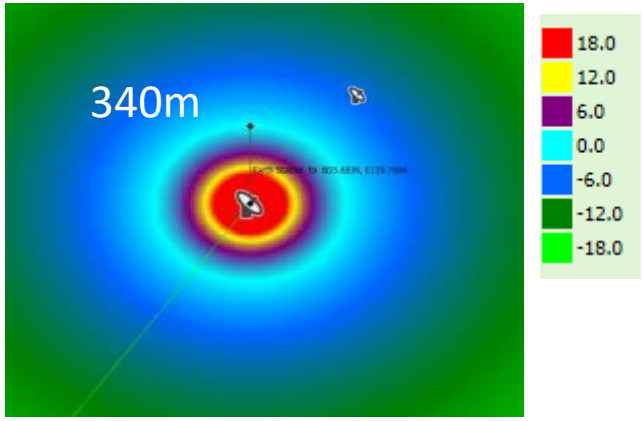
	NGSO顧客端末地球局
最小仰角35°における受信利得	-7 dBi
受信システムノイズ [Tsys]	195 K
顧客端末への相対送信利得	-72.2 dB
干渉閾値	I/N = 0 dB

	環境パラメータ
電波伝搬損	ITU-R P.452(自由空間損) ITU-R P.452 (クラッタ条件: 針葉樹)



ケース 1-G: BSSフィーダリンク→Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局

解析結果



干渉がI/N = 0 dBを超過する可能性がある最大距離
340m

干渉緩和技術

- Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局は、以下の機能と技術により、BSSフィーダリンクシステムからの干渉を適切に管理できます。
  - Ka帯NGSO顧客端末地球局の最小仰角は35度です。Ka帯NGSO FSS顧客端末地球局とBSSフィーダリンク地球局のビームが重なる可能性は非常に低いです。
  - BSSフィーダリンクは仰角が大きい(30度以上)ため、 Ka帯NGSO顧客端末地球局への送信はBSS地球局のサイドローブ部により行われ、受信信号は有害な干渉レベル以下になります。
  - Ka帯NGSO顧客端末地球局とBSSフィーダリンク地球局のアンテナの指向性により、干渉の可能性が最小限に抑えられます。
  - 地形に基づく伝搬損失と、BSS地球局から顧客端末への追加のクラッタ損失により、Ka帯という高い運用周波数における干渉の可能性が大幅に減少されます。
  - Ka帯NGSO顧客端末地球局のモデム受信器のデジタル干渉キャンセル技術の活用
  - ネットワークレベルでのスケジューリングにより、地上の送信器/受信器の位置/スペクトルに関する事前の情報に基づいて干渉を回避し、計画的に干渉を回避します。

検討結果

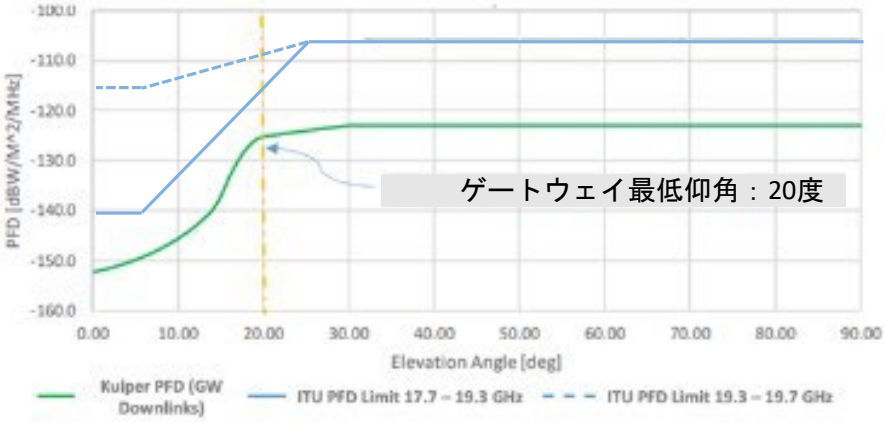
- BSSフィーダリンクの地球局近傍にて干渉が発生する可能性がありますが、上記の複数の緩和技術により、Ka帯NGSO FSSシステムはBBSフィーダリンクと周波数帯域を共用可能と考えられます。

ケース2-A: Ka帯周波数NGSO FSS宇宙局(フィーダリンク)→ 固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)

ケース	与干渉	被干渉
2-A	Ka帯NGSO宇宙局(フィーダリンク) 17.7-18.6GHz / 18.8-20.2GHz	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72GHz / 19.22-19.7GHz



- ITU無線通信規則21条は、地上固定業務及び固定無線アクセスシステムの保護を確保するため、NGSO宇宙局のPFDを制限しています。
- Ka帯周波数のNGSOシステムのダウンリンクビームは、17.7 - 19.3GHz及び19.3 - 19.7GHz帯の両方でITU無線通信規則表21-4のPFD制限に適合しています (下図参照)。
- ゲートウェイ地球局の最小仰角は20度です。一方、FSやFWAのアンテナの通常仰角は低いことから、FSやFWAの運用を有害な干渉から保護する上で十分な大きさのアンテナサイドローブアイソレーションが確保されます。



検討結果

- ITU無線通信規則21条のPFD制限を満たすことにより、Ka帯NGSO宇宙局(フィーダリンク)は地上固定業務や固定無線アクセスシステムと周波数共用が可能と考えられます。

ケース2-B: 固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)→Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局

ケース	与干渉	被干渉
2-B	固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA) 17.7-18.72GHz / 19.22-19.7GHz	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局 17.7-18.6GHz / 18.8-20.2GHz



下記のパラメータを用いて無線アクセスシステム(FWA)および電気通信業務(FS)からKa帯NGSO FSS 顧客端末地球局までの干渉しきい値を超過しないために必要となる離隔距離を算出しました。各送信側の離角に対して解析しました。

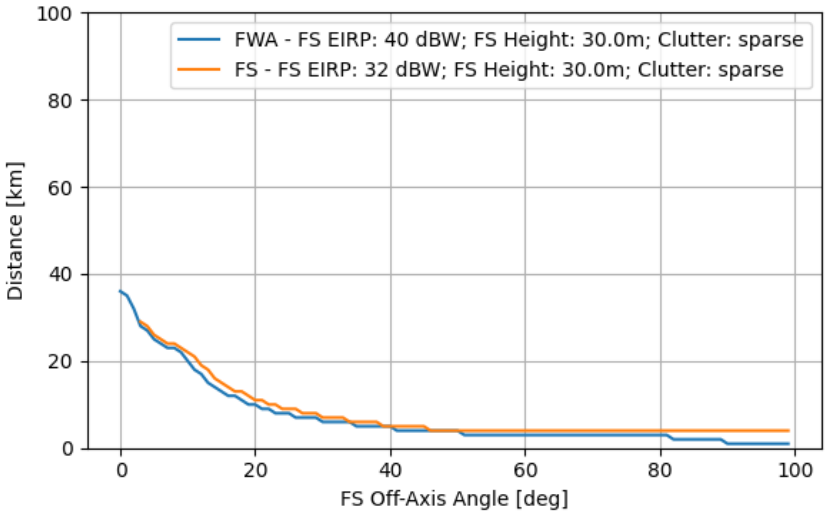
	無線アクセスシステム(FWA)	電気通信業務(FS)	注記
FSまたはFWA EIRP	70 dBm (40 dBW)(最大値) Gamax=38.4[dBi]とし、下式より求める。 【0°≦θ≦2.5°】：70.3 - 1.65×θ^2 【2.5°≦θ＜54°】：68.05 - 20.23×log(θ) 【54°≦θ＜70°】：33 【70°≦θ＜90°】：33.0 - 0.0138×(θ - 70)^2 【90°≦θ】：27.5	62 dBm (32 dBW) (最大値) Gamax=38.0[dBi]とし、下式より求める。 【θ >= 2.5 and θ < 48】： EIRP = 70-20.8log(θ) dBm 【For θ >= 48】: EIRP = 35 dBm	*1,2 固定業務: 電波法関係審査基準 (令和3年3月14日改正後)別表2表6
FSまたはFWA アンテナ高	30m	30m	*1
FSS 受信アンテナ利得	-10 dBi	-10 dBi	Kuiperアンテナの水平方向における典型的な軸外受信利得(最小仰角20度を考慮)。
FSS アンテナ高	10m	10m	
干渉閾値	-151 dBW	-151 dBW	ITU-R SF.1006, Eq3
経路損失	ITU-R P.452	ITU-R P.452	最も低いクラッタカテゴリを使用。背の高い穀物畑／公園／ 不規則な間隔のまばらな木／果樹園／まばらな家屋

*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(2020/10/7)
*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」
注：[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、そのまま用いると離隔距離は図に記載の値の通りにはならない場合があります。

ケース2-B: 固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)→Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局

解析結果

- 干渉の可能性は、次の2要因に大きく依存しています。(1)固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)送信機とNGSO FSSゲートウェイ地球局との間の距離、(2)FS送信機の軸外離角 (送信ゲイン減衰を生じさせることにより干渉の可能性を低減)。
- ワーストケースで求められる離隔距離は約36kmですが、固定業務(FS)及び無線アクセスシステム(FWA)の送信機がKa帯NGSO FSSゲートウェイ地球局に直接向けられていない場合、必要な離隔距離ははるかに小さくなります。



検討結果

- Ka帯NGSOゲートウェイ地球局の周囲を遮蔽したり、固定業務の送信機の方角においてはより高い仰角となるようゲートウェイ地球局を運用することにより、干渉を軽減可能です。
- Ka帯NGSOシステムは、固定業務事業者との間で帯域の使用を適切に調整することが可能です。

ケース2-C: Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局→ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム

ケース	与干渉	被干渉
2-C	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局 27.5-30GHz	ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム 27.0-29.5GHz

解析方法

新世代モバイル通信システム委員会報告の5.3.2.4章「非静止衛星地球局から５Ｇシステムへの干渉検討」で使用された同じ方法を用いて、ローカル5Gシステムの屋外および屋内基地局の干渉に対するKa帯NGSO FSS顧客端末地球局に関する解析を実施しました。

評価方法:

- 山地および平地にあるNGSO FSSゲートウェイ地球局が屋外の5Gシステムに干渉するシナリオを設定しました。ここで、村の中心部型のクラッタ損を適用しています。
- 各シナリオについて、干渉が閾値を超える可能性のある最大距離と、干渉が閾値を超える確率を計算しました。
- 各基地局をメッシュ上(基地局数：564,000、メッシュサイズ：16.8km x 16.8km、間隔：22m)に配置しました。基地局のメッシュには平坦なエリアと山岳地帯という、それぞれ独自の地形特性を持つ地形モデルが使用され、各基地局にはランダムな方位角が与えられました。
- Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局をメッシュの中央に配置しました。そして、NGSO FSS顧客端末の送信ビームが軌道上衛星を追尾移動している状況の干渉をモデル化するために、50種類のゲートウェイアンテナ指向方向を想定して解析しました。結果、2,800万を超える干渉計算サンプルを得ました。
- NGSO FSSゲートウェイから各基地局への同一チャネル干渉電力レベルは、基地局の最大アンテナパターンモデルと平均アンテナパターンモデルの両方を使用して計算しました。干渉電力レベルをグラフ(X軸に離隔距離、Y軸に干渉電力レベル)として図示しました。

ケース2-C: Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局→ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム

ローカル5G・携帯事業者5Gシステムの基地局仕様

解析パラメータ	値	備考
受信エレメント利得	5 dBi	新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1
アレーサイズ	8 x 8	
最大受信ゲイン	約23dBi	
水平/垂直 3dB ビーム幅	65 deg	ITU-R M.2292
アンテナ高	6m	新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1
チルト角	10 deg	
アンテナ利得	最大値と平均値	新世代モバイル通信システム委員会報告の手法を用いてモデル化。ケース1-C および 1-E を参照
干渉閾値	I = -110 dBm/MHz	I/N = -6 dB、新世代モバイル通信システム委員会報告、表 5.2.1-1

環境仕様

解析パラメータ	値	備考
電波伝搬モデル	ITU-R P.452	20%-time allowance, 250m以下は自由空間損
デジタル標高モデル	SRTM-3	
設置場所	山岳地帯、平地帯	

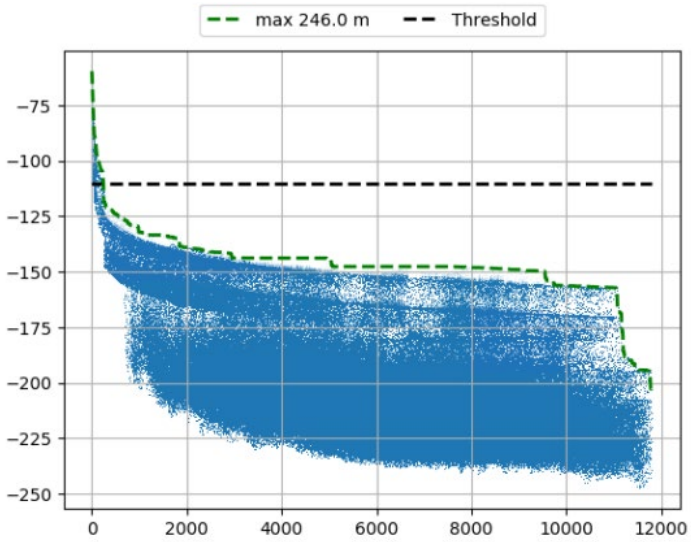
Ka帯NGSOゲートウェイの地球局仕様(Kuiper)

解析パラメータ	値	備考
送信利得	52.8 dBi	屋外設置
送信 EIRP 密度	-24.2 dBW/Hz	
水平方向最大EIRP密度	-20.0 dBW/MHz	
送信アンテナ高	2.75m	中心線の高さ
最小送信仰角	20 deg	
方位角	複数(衛星追尾をモデル化するため)	
送信デューティサイクル	100%	

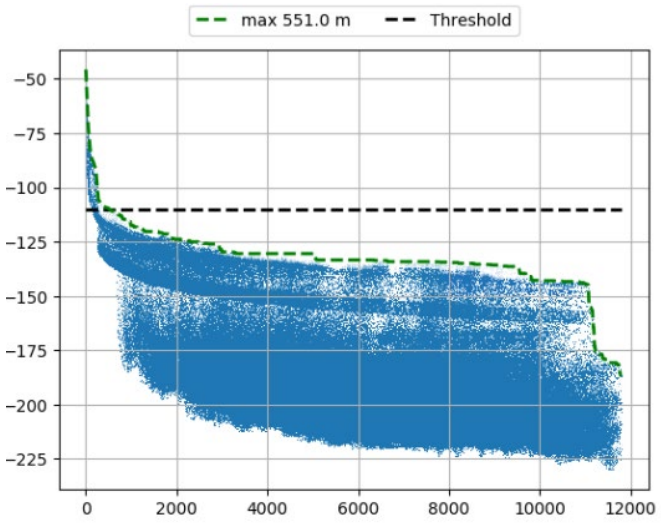
ケース2-C: Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局→ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム

解析結果

ゲートウェイ１(山地)、屋外
基地局平均パターン受信利得



ゲートウェイ１(山地)、屋外
基地局最大パターン受信利得

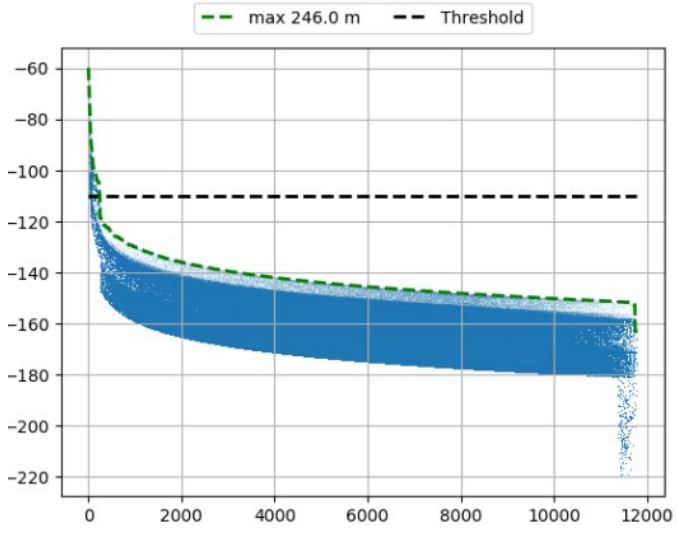


	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	100%	246m	0.06%
5G 受信最大パターン	100%	551m	0.14%

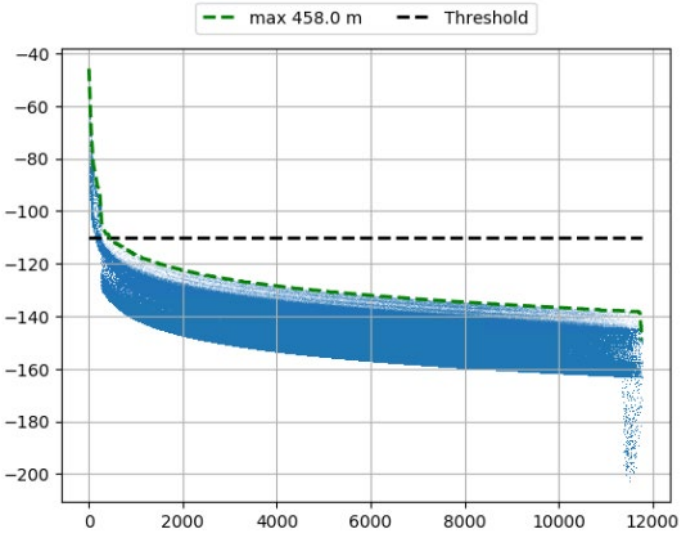
ケース2-C: Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局→ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム

解析結果

ゲートウェイ 2 (平地)、屋外
基地局平均パターン受信利得



ゲートウェイ 2 (平地)、屋外
基地局最大パターン受信利得



	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局の送信デューティサイクル	干渉が -110 dBm/MHz を超過する可能性がある最大距離	干渉確率
5G 受信平均パターン	100%	246m	0.06%
5G 受信最大パターン	100%	458m	0.14%

更新

ケース2-C: Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局→ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム

検討結果

- 屋外基地局において、干渉が -110 dBm/MHz を超える可能性のある最大距離は、基地局の受信ビームが地球局に直接向けられている最悪ケースでは551mですが、基地局の軸外受信ゲインの平均パターンを使用した場合、246m以下となりました。
- 屋内ローカル5Gシステム においては、さらに建物による減衰が生じるため、干渉の可能性は非常に低くなります。
- NGSOゲートウェイ地球局は、必要な離隔距離の確保及び運用者間の調整により、5Gシステムと周波数共用が可能と考えられます。
- また、５Ｇ基地局がフィーダリンク地球局の周辺に設置されていなければ、陸上移動局がフィーダリンク地球局の近傍で通信を行うこともないことから、陸上移動局との共用も可能と考えられます。

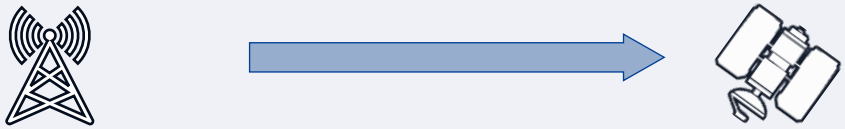
過去の周波数共用の検討

- 新世代モバイル通信システム委員会報告も、次のとおり、Ka帯NGSOゲートウェイ地球局は5Gシステムと周波数共用が可能と結論付けています。

> *フィーダリンクで計画中の地球局については、地球局の近傍で必要な干渉調整を実施すれば、同一周波数の条件を含めて共用可能である*
> *参照: https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf*

ケース2-D: ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム→Ka帯NGSO FSS宇宙局

ケース	与干渉	被干渉
2-D	ローカル5G及び携帯事業者5Gシステム 27.0-29.5GHz	Ka帯NGSO宇宙局(フィーダリンク) 27.5-30GHz

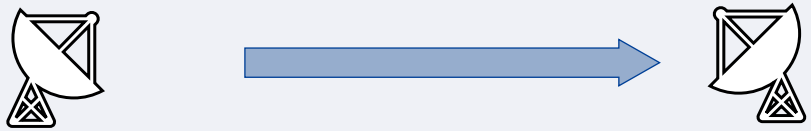


- ケース1-Fと同様に、NGSO FSS宇宙局は5G基地局からの有害な干渉を回避可能です。

更新

ケース 2-E: BSSフィーダリンク→Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局(フィーダリンク)

ケース	与干渉	被干渉
2-E	BSSフィーダリンク(地球から宇宙) 17.3-17.8GHz	Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局(フィーダリンク) 17.7-18.6GHz/ 18.8-20.2GHz(宇宙から地球)



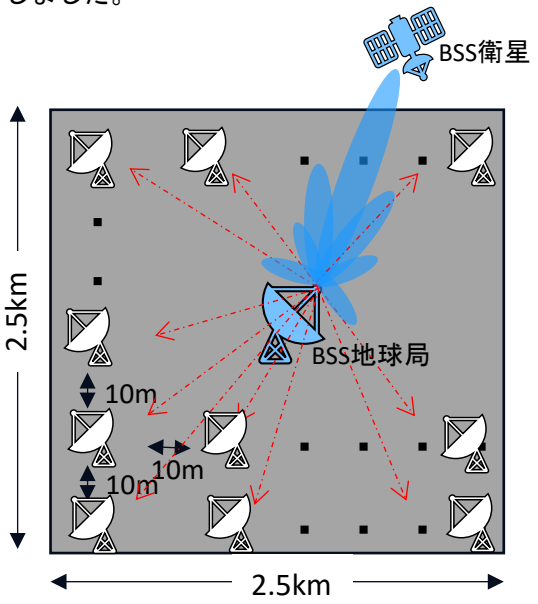
- BSSフィーダリンクに対するKa帯NGSOゲートウェイの離隔距離を求めるために下表のパラメータを使用して解析を行いました。
- 2.5 x 2.5kmのグリッドを作成し顧客端末を10mごとに配置し、中央にBSS地球局を置きました。そして、すべてのグリッド点でI/N値を計算しました。
- ワーストケースとして、顧客端末は常にBSS地球局に向かって真っすぐ(方位角)向くように設定されています。
- 本解析では、保守的な目標として I/N < 0 dB を適用しました。

  注:ITU 無線通信規則 のAppendix 7 では、反対方向で帯域を利用する衛星サービス間の許容干渉閾値として -138dBW/MHz が推奨されています。これはI/N = 7.5 dBに相当し、これを採用した場合離隔距離はより短く算出されますが、高すぎる閾値と判断しました。

	BSS フィーダリンク	備考
電波型式	34M5G7W	総務省の無線局免許情報より引用
帯域	34.5MHz	総務省の無線局免許情報より引用
周波数	17.7-17.8GHz	
アンテナ径/利得	5.5m / 57.9dBi	
送信アンテナパターン	ITU-R S.580-6	
出力	200 W / 23.0 dBW	
送信EIRP	81.0 dBW	
送信EIRP密度	65.6 dBW/MHz	

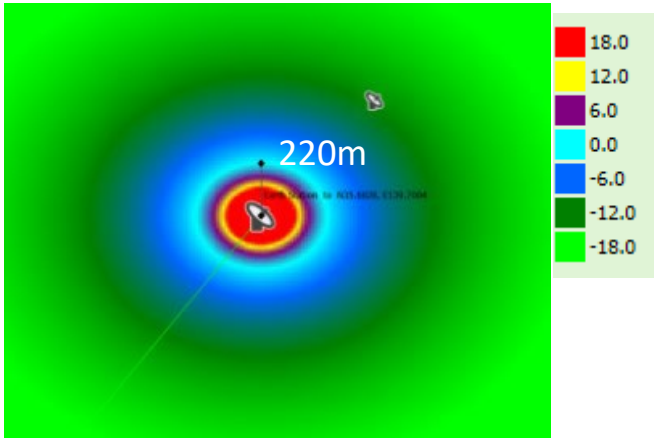
	NGSOゲートウェイ地球局
最小仰角35°における受信利得	-13 dBi
受信システムノイズ [Tsys]	195 K
顧客端末への相対送信利得	-72.2 dB
干渉閾値	I/N = 0 dB

	環境パラメータ
電波伝搬損	ITU-R P.452 (クラッタ条件: 針葉樹)



ケース 2-E: BSSフィーダリンク→Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局(フィーダリンク)

解析結果



干渉がI/N = 0 dBを超過する可能性がある最大距離
220m

干渉緩和技術

- Ka帯NGSO FSSゲートウェイ地球局は、以下の機能と技術により、 BSSフィーダリンクシステムからの干渉を適切に管理できます。
  - Ka帯NGSOゲートウェイ地球局の最小仰角は20度です。Ka帯NGSOゲートウェイ地球局とBSSフィーダリンク地球局のビームが重なる可能性は非常に低いです。
  - BSSフィーダリンクは仰角が大きい(30度以上)ため、ゲートウェイ局への送信はBS地球局のサイドローブ部により行われ、受信信号は有害な干渉レベル以下になります。
  - Ka帯NGSOゲートウェイ地球局とBSSフィーダリンク地球局のアンテナの指向性により、干渉の可能性が最小限に抑えられます。
  - 地形に基づく伝搬損失と、BSS地球局からゲートウェイ局への追加のクラッタ損失により、Ka帯という高い運用周波数における干渉の可能性が大幅に減少されます。
  - Ka帯NGSOゲートウェイ地球局のモデム受信器のデジタル干渉キャンセル技術の活用
  - ネットワークレベルでのスケジューリングにより、地上の送信器/受信器の位置/スペクトルに関する事前の情報に基づいて干渉を回避するべく周波数チャネルを割り当てます。
  - 適切なサイト調査を行ってゲートウェイ局の場所を選定します。原則、BSSフィーダリンク地球局の近傍は選択しません。

検討結果

- 保守的な想定の元、 NGSO FSSゲートウェイ地球局はI/N=0 dBとなる干渉を270m地点から受ける結果となりましたが、 NGSO FSSゲートウェイ地球局の配備に対して十分に小さな離隔距離と言えます。
- 上記の複数の緩和技術により、Ka帯NGSO FSSシステムはBSSフィーダリンクと周波数帯域を共用できると考えられます。

ケース 2-F: Ka帯NGSO FSSゲートウェイ >超広帯域 (UWB) 無線システム

ケース	与干渉	被干渉
2-F	Ka帯NGSOゲートウェイ地球局　27.5-30GHz(地球から宇宙)	超広帯域 (UWB) 無線システム　24.25-29GHz

- 24.25-29GHz帯[1]において 免許不要局の車両衝突回避UWBレーダーが運用されており、帯幅4.75GHz以下、電力密度-41.3dBm/MHz以下、最大出力0dBm/50MHz[2],ナノ秒パルス単位で送信されます。電力密度-41.3 dBm/MHzは数メーターの伝搬ロスによりノイズフロア(-114 dBm/MHz)を下回りますが運用可能です。
- 超広帯域無線システムにはノイズフロア以下で動作するための干渉軽減技術が適用されています。[4]
  - マルチゾーン運用[5]
  - 24GHz帯における伝搬損失は高く、ビーム幅が狭く、変調側波帯の電力が非常に低いため、±2.5GHzですべての主要ユーザーとの共存が可能。[6]
  - 車両の近くの物体の位置/動きを検出するために指向性アンテナを利用。[7]
- ゲートウェイ局アンテナは通常、周囲の道路よりも高く視界を遮るものはありません。より低い土地を走行する車両や、道路上の高さにある超広帯域無線システム端末に対しては、主にゲートウェイ局アンテナのバックローブからの電波放射となります。
- UWBによる当該周波数帯域の使用は、周波数割当計画の第２に規定する周波数割当表に従って運用する他の無線局又は受信設備に有害な混信を生じさせてはならず、また、他の無線局による有害な混信からの保護を要求してはならないこととなっています。[8]

検討結果

これらの検討とNon Interference Basis(NIB)の条件で割り当てられていることを考慮すると、Ka帯NGSOシステムは超広帯域無線システムと周波数帯域を共用できると考えられます。

[1] https://www.tele.soumu.go.jp/resource/e/search/myuse/use0303/10g.pdf
[2] ARIB STD-T91
[3] https://www.tele.soumu.go.jp/resource/search/share/pdf/musensisutemu.pdf
[4] Design and analysis of ultra-wideband ad hoc covert wireless radar-comm networks, ACM 2011.
[5] ETSI TS 102 754
[6] ETSI 101 982
[7] Mariani, Getting Back to Basics with Ultra-Wideband (UWB), Qorvo White Paper.
[8] https://www.tele.soumu.go.jp/resource/search/share/pdf/musensisutemu.pdf

Appendix

(参考)総務省の過去の携帯事業者5G周波数共用検討との比較(サービスリンク)

	新世代モバイル通信システム委員会報告	本レポートの解析
固定衛星業務(FSS) 送信アンテナパターン	ITU-R S.465 or S.1428	Kuiperアンテナ仕様
FSS 送信アンテナの高さ	6、15、30、60m	0.3m, 10 m
FSS送信地点	東京	東京
FSS方位角	北、南、東、西	衛星追尾
FSS仰角	最小仰角	衛星追尾
FSS周波数	27.5GHz	29083.33-29100 MHz
FSS送信電力	(地球局毎の値を利用)	-66.5 dBW/Hz
FSS送信利得	(地球局毎の値を利用)	32.5 dBi (最大利得)
最大水平方向EIRP	(地球局毎の値を利用)	-45dBW/MHz (隣接帯域)
5G受信利得	ITU-R M.2011 5 dBi (エレメントゲイン)、8 x 8 アレイ	ITU-R M.2011 5 dBi (エレメントゲイン)、8 x 8 アレイ
5Gアンテナの高さ	6m	3 m (屋内ローカル5Gシステム) 6 m (屋外ローカル5G および携帯事業者5Gシステム)
5Gチルト角度	10 度	90 度 、45度(屋内ローカル5Gシステム) 10 度(屋外ローカル5G および携帯事業者5Gシステム)[1]
5G周波数	27.5GHz	29100-29200GHz (100 MHz)
屋内減衰	ITU-R P.2109 (屋内5G向け) Thermally Efficient / Traditional 建物、 50% 場所率	ITU-R P.2109 (屋内ローカル5Gシステム向け) Thermally Efficient建物、 50% 場所率
5G干渉しきい値	I = -110 dBm/MHz (-6 dB I/N)	I = -110 dBm/MHz (-6 dB I/N)
電波伝播モデル	ITU-R P.452、20%-time allowance	ITU-R P.452、20%-time allowance
デジタル標高モデル	標高データと建物の平均高さプロファイル	SRTM-3

1: チルト角の基準は水平方向

(参考)総務省の過去の携帯事業者5G周波数共用検討との比較(フィーダリンク)

	新世代モバイル通信システム委員会報告	本レポートの解析
固定衛星業務(FSS) 送信アンテナパターン	ITU-R S.465 or S.1428	Kuiperアンテナ仕様
FSS 送信アンテナの高さ	6、15、30、60m	0.3m, 10 m
FSS送信地点	茨城、山口	平地、山地
FSS方位角	北、南、東、西	衛星追尾
FSS仰角	最小仰角	衛星追尾
FSS周波数	27.5GHz	29.1GHz
FSS送信電力	(地球局毎の値を利用)	-77 dBW/Hz
FSS送信利得	(地球局毎の値を利用)	52.8 dBi (最大利得)
最大水平方向EIRP	(地球局毎の値を利用)	-20 dBW/MHz
5G受信利得	ITU-R M.2011 5 dBi (エレメントゲイン)、8 x 8 アレイ	ITU-R M.2011 5 dBi (エレメントゲイン)、8 x 8 アレイ
5Gアンテナの高さ	6m	3 m (屋内ローカル5Gシステム) 6 m (屋外ローカル5G および携帯事業者5Gシステム)
5Gチルト角度	10 度	10 度 (屋外ローカル5G および携帯事業者 5G)[1]
5G周波数	27.5GHz	29.1GHz
屋内減衰	ITU-R P.2109 (屋内5G向け) Thermally Efficient / Traditional 建物、 50% 場所率	ITU-R P.2109 (屋内ローカル5Gシステム向け) Thermally Efficient建物、 50% 場所率
5G干渉しきい値	I = -110 dBm/MHz (-6 dB I/N)	I = -110 dBm/MHz (-6 dB I/N)
電波伝播モデル	ITU-R P.452、20%-time allowance	ITU-R P.452、20%-time allowance
デジタル標高モデル	標高データと建物の平均高さプロファイル	SRTM-3

1: チルト角の基準は水平方向

(参考)総務省の過去の携帯事業者5G周波数共用検討との比較

サービスリンクの離隔距離

	新世代モバイル通信システム委員会報告[1]	本レポートの解析[2]
同一周波数 (ローカル5G)	数km	249m
隣接周波数 (携帯事業者5G、ローカル5G)	極めて近傍	33m

フィーダリンクの離隔距離

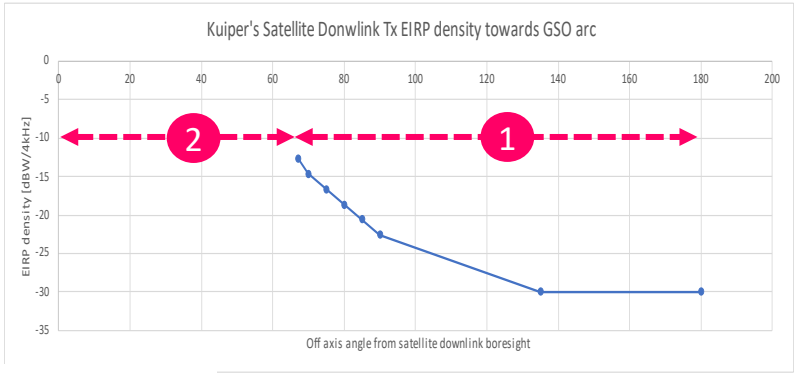
	新世代モバイル通信システム委員会報告[1]	本レポートの解析[3]
同一周波数	6km	246m

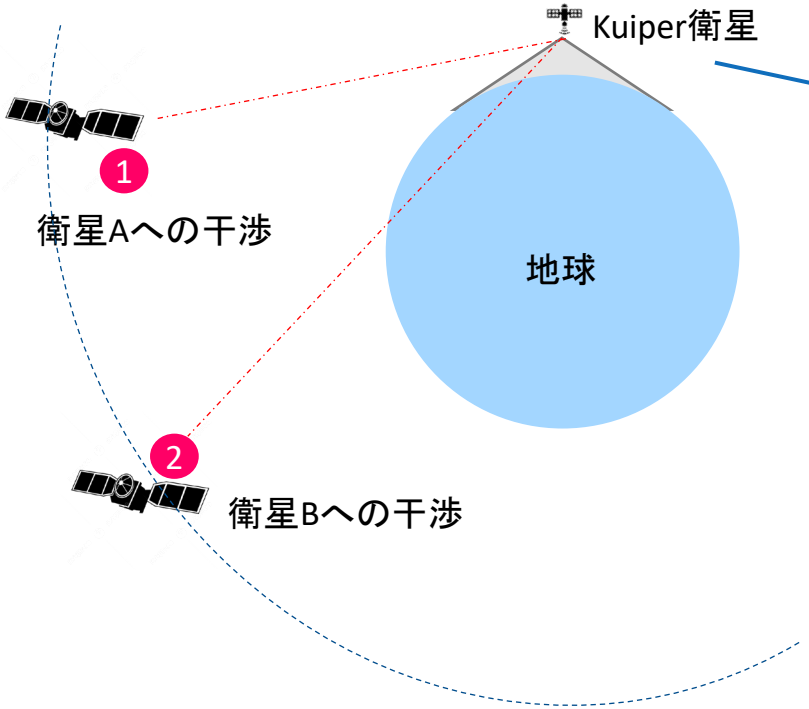
1. https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf
2. NGSO顧客端末のデューティサイクル10%、アンテナ高0.3m、および5G基地局の平均アンテナパターンの条件にて
3. 5G基地局の平均アンテナパターンの条件にて

新規

（参考）静止軌道衛星から見た衛星ダウンリンク送信電力

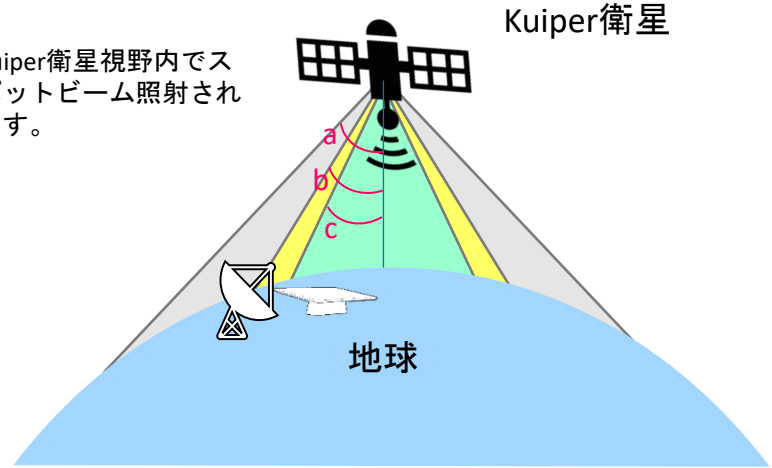
ページ25「国内GSO BSSとの周波数共用」で説明されているように、Kuiper衛星から、地球から宇宙方向にて運用している静止軌道上衛星への干渉は、幾何学的配置により特定の角度に限定されます。衛星Aへの干渉は、Kuiperの軸外角度67-90度からのものとなります。衛星Bへの干渉は、下図に示されているように地球の表面によって遮断されます。





拡大図

Kuiper衛星視野内でスポットビーム照射されます。



角度a：67度 = 軌道高度590kmを想定したカイパー衛星の視野（衛星の高度が高いほど角度は小さくなります）
角度 b: 59 度 = 最低仰角20度のゲートウェイ局をカバーする最大角度
角度c: 48度 =最低仰角35度の顧客端末局をカバーする最大角度

【衛星異常時】誘導航法制御（GNC）システムの故障などの異常が発生した場合、Kuiper衛星は自動的に省電力モードに入るように設計されており、その際には通信を遮断します。