

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報告（案） 概要

「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」のうち
「高度1200kmの極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の技術的条件」

衛星通信システム委員会

検討背景

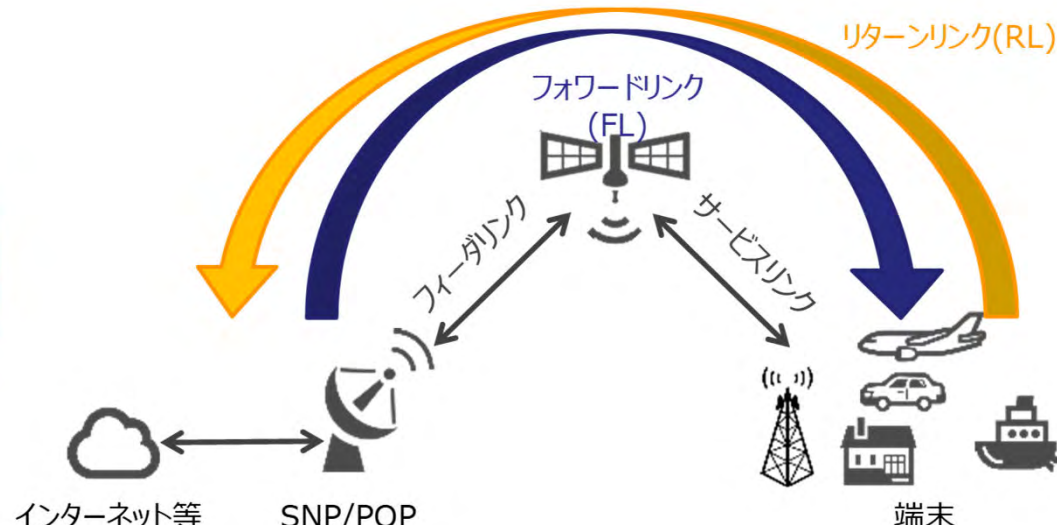
- 小型の人工衛星の実用化が比較的容易になったことにより、通信の遅延時間が短い中・低軌道に打ち上げた多数の小型衛星を連携させて一体的に運用する「衛星コンステレーション」を構築し、高速大容量通信など多様なサービスを提供することが可能となった。
- これを受けて、高度1200kmの極軌道を利用する衛星コンステレーションによるKu帯非静止衛星通信システム(以下、「Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)」という。)が、令和3年にサービス開始予定であるため、我が国でもサービスを導入可能とするための検討を行った。

コンステレーションイメージ等

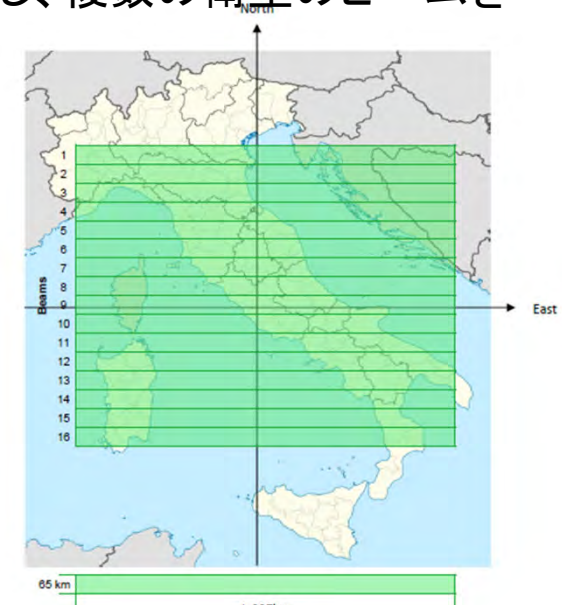
- Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)は、高度1,200kmの複数の極軌道を周回する衛星コンステレーションを利用し、全世界にブロードバンド衛星通信サービス、特にインターネット接続を提供する。
- 当初サービスでは合計約 600 機の衛星が配置され、サービスリンクにKu帯、フィードリンクにKa帯を用いる。
- サービスリンクは、各衛星から16個のビームを(65×1,667kmの長方形ビーム)照射し、複数の衛星のビームをオーバーラップさせてカバレッジを確保している。



<コンステレーションイメージ>



<接続イメージ>



<ビームパターン>

利用シーン・端末例

○ Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)は、多くの利用シーンが想定されている。例として災害時のバックアップ回線の提供などのBCP 用途、携帯電話不感地帯における基地局バックホールの提供などが固定端末の利用シーンとして、また、航空機、船舶、車両へのブロードバンド衛星通信サービスの提供が移動端末の利用シーンとして検討されている。これらの利用シーンへ対応するため、複数のユーザ端末の開発が進められている。



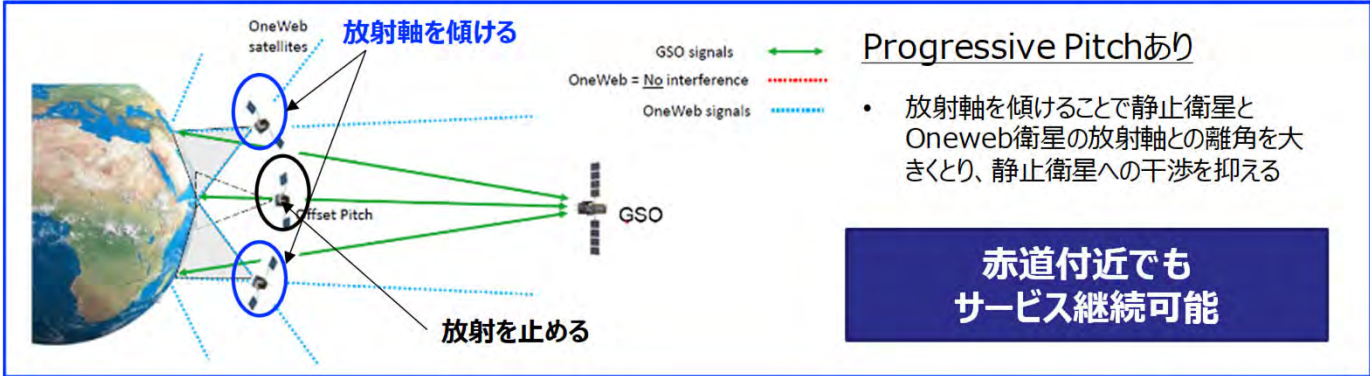
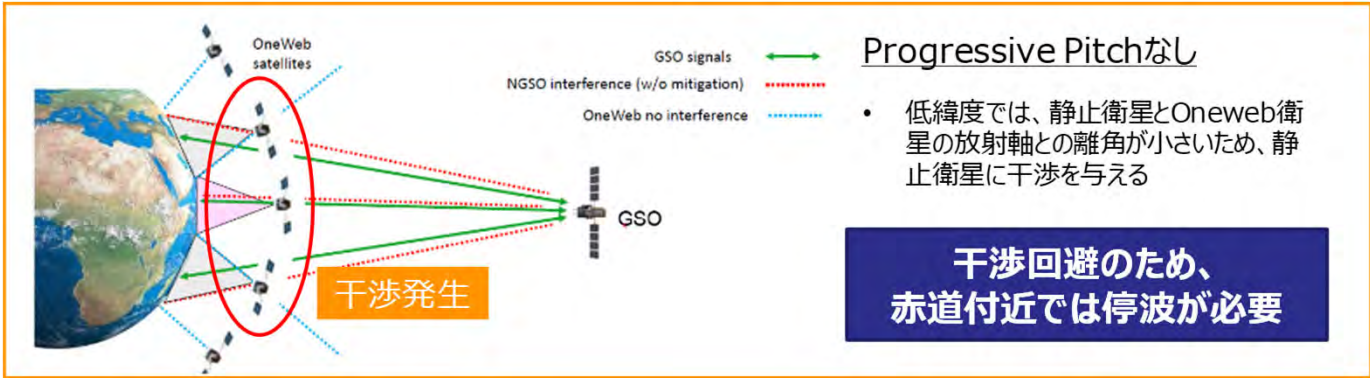
<利用シーン>

アンテナタイプ	サイズ (cm)	スループット (DL/UL)	追尾方式
	90×80 (直径×高さ)	195 Mbps DL 33 Mbps UL	機械式
	120×100 (直径×高さ)	195 Mbps DL 33 Mbps UL	機械式
	50×45 (縦×横)	75 Mbps DL 6 Mbps UL	電気式
	150×70 (縦×横)	195 Mbps DL 33 Mbps UL	電気式

<ユーザ端末の一例>

プログレッシブピッチ

- ITU-Rの無線通信規則(RR)において非静止衛星システムは静止衛星網へ許容し得ない混信を生じさせてはならないとされており、この規定を遵守するため、Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)ではプログレッシブピッチと呼ばれる独自の技術を採用している。
- この技術は、静止衛星とビームの離隔角度が小さくなり干渉を与えるおそれのある赤道付近ではビーム停止し、その他の衛星が放射軸を傾けてカバーするというものである。
- 衛星は約±30度の緯度よりビーム放射軸を傾け始め、赤道上空(約±3度以下)でビームを停止、その後逆方向に放射軸を傾けたビームを再発射し徐々に放射軸を真下方向へ戻すという一連の動作が組み込まれているため、本技術は地球局からの制御でなく、全ての衛星が位置情報を元に自律的に動作する仕組みとなっている。

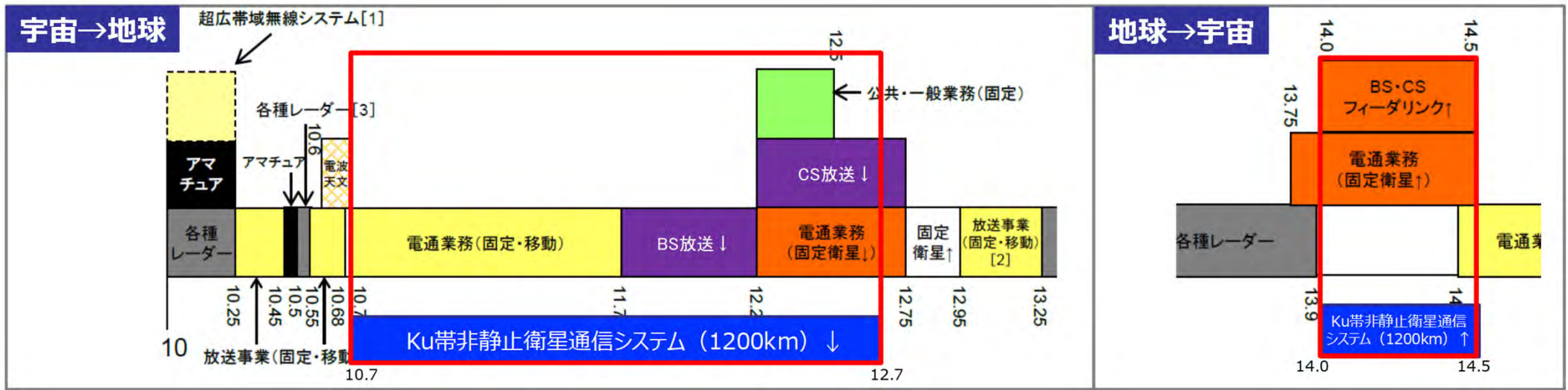


<プログレッシブピッチ>

周波数共用(Ku帯)

- 以下の理由により検討不要となるものを除き、右表に示す場合について干渉検討を行った。
 - 静止衛星ネットワークとの共用は、RR 22条(EPFD)遵守により満たされるため、検討は不要。ただし、EPFD↓の適合性に関し、姿勢喪失等の異常時への対応のため、個別の静止衛星網との運用調整を実施。
 - 宇宙局から地上局へ干渉についても、RR 21条(PFD)遵守により保護されるため、検討は不要。
 - 14.47-14.5GHzを用いる電波天文は国内に存在しないため、検討は不要。
- 一部の無線システムは欧州郵便電気通信主管庁会議(CEPT)内の電気通信委員会(ECC)において、干渉検討が実施されていることから、当該検討結果(ECC Report 271)に包含可能であるかの観点で検討を実施した。

No.	与干渉	被干渉
a	宇宙局 10.7-12.7GHz	電波天文 10.6-10.7GHz
b	電通業務(固定・移動) 10.7-11.7GHz	地球局 10.7-12.7GHz
c	公共・一般業務(固定) 12.2-12.5GHz	地球局 10.7-12.7GHz
d	地球局 14.0-14.5GHz	電通業務(固定・移動) 14.4-15.25GHz
e	電通業務(固定・移動) 14.4-14.5GHz	宇宙局 14.0-14.5GHz



<我が国におけるKu帯の周波数使用状況>

a. 宇宙局→電波天文

衛星ビーム No.	EIRP値 [dBW/100 MHz]
1,5,9,13	-34.9
2,6,10,14	-61.9
3,7,11,15	-49.9
4,8,12,16	-61.9

○ ECC Report 271では電波天文業務の干渉基準として以下の規定を参照している。

- ITU-R勧告RA.769より PFD閾値: -240 dBW/m²・Hz
- ITU-R勧告RA.1513より 許容データ損失 2%以下
- ITU-R勧告RA.1631より 最大アンテナ利得81dBi(100m級アンテナ)

○ 干渉計算の結果、右表に示すビーム毎の最大不要発射EIRP値を満たすことで、許容データ損失2%以下を達成する。

○ なお、右表の不要発射制限値はフィルタ挿入等に加え、最隣接チャネルの発射停止等により実現可能となる。

○ 以下の観点から我が国の電波天文との共用はECC Report 271の検討結果に包含することが可能と考えられる。

- 最大アンテナ利得の81dBi(100mアンテナ)を利用していることから、他のアンテナ径の検討も包含される。
- 日本より高緯度の北緯45°での検討を行っており、可視範囲の非静止衛星数が多いため、厳しい条件で検討されている。

b、c. 電気通信業務(固定・移動)、公共・一般業務(固定)→地球局

○ 一対一干渉シナリオにて所要離隔距離を算出した結果、右表の結果となり、電気通信業務及び公共・一般業務のいずれも多くの方が存在すること等から、右表の離隔距離を確保しつつ地球局を運用することは困難である。

与干渉システム	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [km]
電気通信業務(固定)	184	70
電気通信業務(移動)	133	31
公共・一般業務(固定)	178	65

○ ECC Report 271では「固定局の干渉から保護を要求しない」とされており、国内においても同様の運用が適切と考えられる。

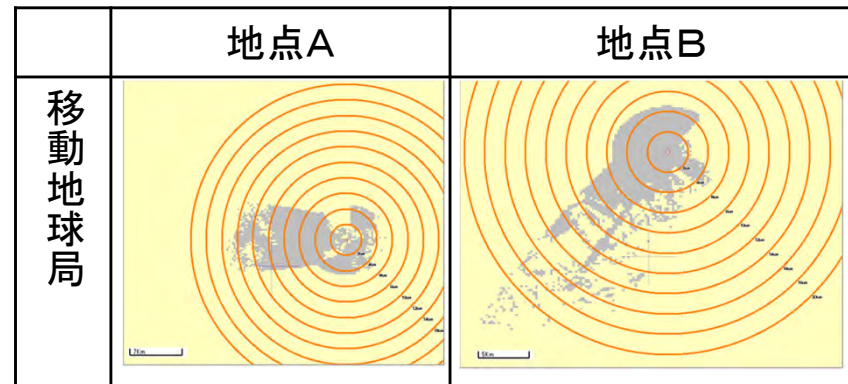
○ ただし、実際の運用に際して、地球局設置場所の干渉波測定を踏まえたサイトエンジニアリングの実施等の工夫により干渉の低減が可能となる。

○ それでも周波数が重複する少数の固定局からの干渉が発生する可能性があるが、Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)ではビーム毎に異なる周波数で運用していることから、ある時間で干渉が発生しても次の時間で回避することになるため、通信サービスへ干渉の影響を与えないよう運用を行うことが可能と考えられる。

d. 地球局→電気通信業務(固定・移動)

(1) 地球局(陸上)→電気通信業務(固定)

- 固定局周辺に地球局を配置して干渉発生有無を判定した結果、右図の例のように最大16~25kmの離隔距離が必要となった。
- 実際の運用に際しては、事業者間の運用調整により各固定局に対して除外ゾーンを設け、地球局は固定局と同一周波数の送信を行わないという対応により、共用が可能であると考えられる。



(2) 地球局(陸上)→電気通信業務(移動)

- 一対一干渉シナリオにて所要離隔距離を算出した結果、右表の結果となった。
- 移動局はイベント等の臨時回線として利用されていることから、利用時には対象周波数の利用禁止等、関係する事業者間で予め調整を行うことにより共用は可能と考えられる。

与干渉地球局	所要改善量 [dB]	所要離隔距離 [km]
陸上(固定)	130~166	5~45
陸上(移動)	117~166	1未満~45

(3) 地球局(航空機・船舶)→電気通信業務(固定・移動)

- ECC Report 271ではシミュレーションを実施し、右表のPFDマスクを定めている。
- 以下の観点から我が国の電気通信業務(固定・移動)との共用はECC Report 271の検討結果に包含することが可能と考えられる。
 - 日本より高緯度の北緯45°での検討を行っており、可視範囲の非静止衛星数が多いため、厳しい条件で検討されている。
 - 但し、地球局との位置関係によってはPFDマスクが適切に機能しない場合が想定されるため、(1)、(2)と同様に近傍での電波発射停止措置等による対策を事業者間運用調整により実施する。

与干渉地球局	PFD [dBW/m ² ·Hz] (θ:水平方向からの電波の到来角)
航空機	-122 (θ ≤ 5°)
	-127+θ (5° < θ ≤ 40°)
	-87 (40° < θ ≤ 90°)
船舶	-116 (海拔80m)

＜シミュレーションの既存局保護基準＞

- 地球局(航空機): I/N = -20dB (時間率20%)
- 地球局(船舶): 許容干渉電力: -109dBW (時間率: 0.00027%/0.0119%)

e. 電気通信業務(固定・移動)→宇宙局

- 雑音温度増加率($\Delta T/T$)評価の結果、1台あたりの $\Delta T/T$ は下表のとおりとなる。
- H30年度の固定局数、移動局数はそれぞれ1,798局、72局であるが、これらが14.4~15.25GHz帯を均等に利用していると仮定し、周波数の重複割合(100MHz/850MHz)、宇宙局が受信する16ビーム中4ビームが14.4-14.5GHzを利用することを勘案すると、宇宙局が受信する周波数と同一周波数を送信する台数は下表のとおりとなる。
- 以上を踏まえた $\Delta T/T$ は下表のとおりとなり、RR付録第5号の6%を下回ることから共用は可能と考えられる。

与干渉システム	1局あたりの $\Delta T/T$ [%]	重複帯域を利用すると想定される台数	$\Delta T/T$ [%]
固定局	0.06	52.9	3.14
移動局	0.01	2.1	0.02

周波数共用(Ku帯)まとめ

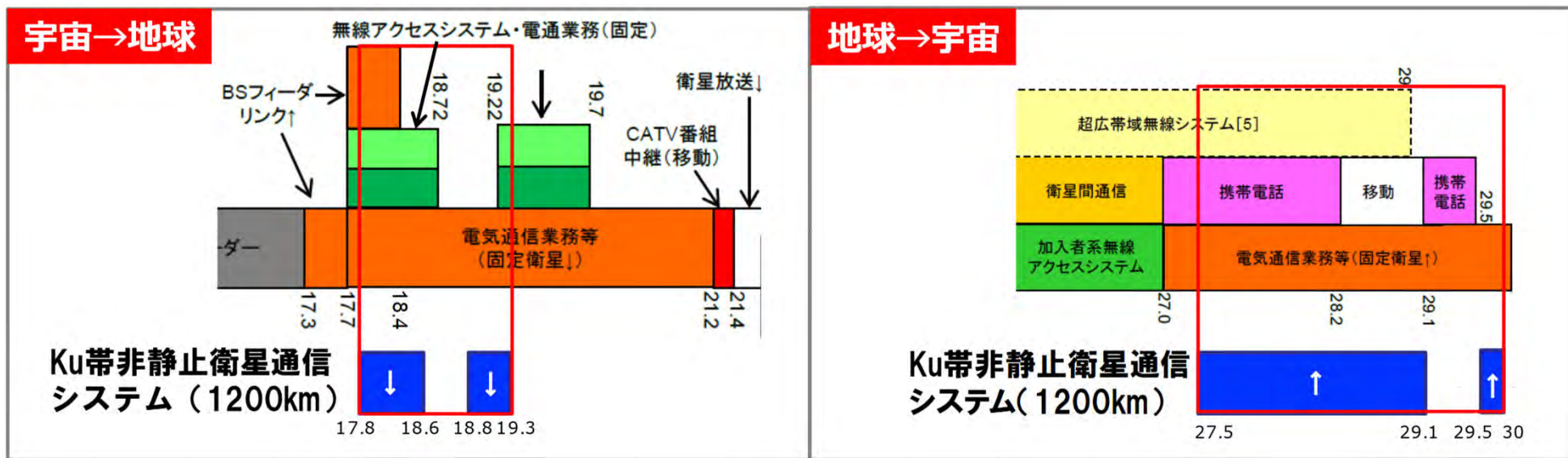
No.	与干渉	被干渉	周波数共用
a	宇宙局 10.7-12.7GHz	電波天文 10.6-10.7GHz	<ul style="list-style-type: none"> フィルタ挿入等に加え、電波天文の最隣接チャネルの発射停止等により、欧州の電波天文保護のための不要発射制限値を満たすことで、国内の電波天文の保護は可能と考えられる
b	電通業務(固定・移動) 10.7-11.7GHz	地球局 10.7-12.7GHz	<ul style="list-style-type: none"> 固定局・移動局の干渉から保護を要求しない Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)側の対処により、運用は可能と考えられる
c	公共・一般業務(固定) 12.2-12.5GHz	地球局 10.7-12.7GHz	
d	地球局 14.0-14.5GHz	電通業務(固定・移動) 14.4-15.25GHz	<ul style="list-style-type: none"> 地球局(陸上): 事業者間調整により共用可能 地球局(航空機・船舶): 欧州のPFD規定を満たすこと、及び事業者間調整により共用は可能と考えられる
e	電通業務(固定・移動) 14.4-14.5GHz	宇宙局 14.0-14.5GHz	<ul style="list-style-type: none"> 共用可能

周波数共用(Ka帯)

○ 以下の理由により検討不要となるものを除き、右表に示す場合について干渉検討を行った。

- 静止衛星ネットワークとの共用は、個別の国際調整又はRR 22条(EPFD)遵守により満たされるため、検討は不要。
- 宇宙局から地上局へ干渉についても、RR 21条(PFD)遵守により保護されるため、検討は不要。

No.	与干渉	被干渉
A	無線アクセスシステム・電気通信業務(固定) 17.7-18.72/19.22-19.7GHz	フィーダリンク地球局 17.8-18.6/18.8-19.3GHz
B	フィーダリンク地球局 27.5-29.1/29.5-30GHz	5Gシステム 27.0-29.5GHz
C	5Gシステム 27.0-29.5GHz	フィーダリンク宇宙局 27.5-29.1/29.5-30GHz



<我が国におけるKa帯の周波数使用状況>

A. 無線アクセスシステム・電気通信業務(固定)→フィーダリンク地球局

○ Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)のフィーダリンク地球局は、我が国で2局設置されることが計画されている。設置場所に応じた個別の対応となるため、設置の際は候補地周辺の干渉状況に応じて防護壁を設置するなどの措置で干渉を回避することにより共用が可能と考えられる。

○ また、設置後は既存の地球局と同様の調整スキームを適用することにより、後発の無線アクセスシステム・電気通信業務(固定)との周波数共用が可能と考えられる。

B、C. 5Gシステム↔フィーダリンク地球局・宇宙局

○ 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)にて5Gの技術的条件が検討済みであり、その中でKu帯非静止衛星通信システム(1200km)フィーダリンク地球局・宇宙局との共用検討も実施されている。当該検討結果の抜粋を以下に示す。

(1) フィーダリンク地球局→5G

フィーダリンクでの利用が予定されている非静止衛星地球局と5Gシステムとは、地球局の近傍(6km程度以内の数地点)を除いて基地局の許容干渉電力を満たす結果となった。したがって、本離隔距離を考慮した上で、地球局の近傍において干渉が大きくなる地点には基地局を設置しない等の必要な対策を取れば、同一周波数干渉の条件を含めて共用は可能と考えられる。また、基地局が地球局の周辺に設置されていなければ、陸上移動局が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る。

(2) 5G→フィーダリンク宇宙局

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6,000~8,000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。

周波数共用(Ka帯)まとめ

No.	与干渉	被干渉	周波数共用
A	無線アクセスシステム ・電気通信業務(固定) 17.7-18.72/19.22-19.7GHz	フィーダリンク地球局 17.8-18.6/18.8-19.3GHz	候補地周辺の干渉状況に応じた個別の対応で干渉を回避することにより共用が可能
B	フィーダリンク地球局 27.5-29.1/29.5-30GHz	5Gシステム 27.0-29.5GHz	事業者間調整等により共用が可能
C	5Gシステム 27.0-29.5GHz	フィーダリンク宇宙局 27.5-29.1/29.5-30GHz	5G基地局の設置状況を適切に管理することにより共用が可能

<一般的条件>

項目		技術的条件(案)
必要な機能	周波数選択制御	<ul style="list-style-type: none"> 送信する周波数や電力は、基地局が送信する制御信号によって自動的に設定されるものであること。
	追尾機能	<ul style="list-style-type: none"> 自局の通信の相手方である人工衛星局の方向を自動的に捕捉・追尾する機能を有すること。また、自動的に捕捉・追尾できなくなった場合に直ちに送信を停止できること。
	インターロック機能	<ul style="list-style-type: none"> 基地局が送信する制御信号を受信した場合に限り、送信を開始できる機能を有すること。
	自動停波機能	<ul style="list-style-type: none"> 自局の障害を検出する機能を有し、障害を検出したとき及び基地局が送信する信号を正常に受信できないときは、送信を自動的に停止する機能を有すること。
	地球局送信制御	<ul style="list-style-type: none"> 基地局の制御により電波の発射を停止する機能を有すること。
	地球局位置送信	<ul style="list-style-type: none"> 位置情報を測定して基地局に送信する機能を有する等、他の無線局の運用に妨害を与えないための措置が講じられていること。
適用周波数帯		<ul style="list-style-type: none"> 送信: 14.0-14.5 GHz 受信: 10.7-12.7 GHz
通信方式		
多元接続方式		<ul style="list-style-type: none"> 特定の方式に限定しない。
変調方式		
電磁環境対策		<ul style="list-style-type: none"> 固定地球局については、発射される電波の強度が基準値を超える場所取扱者のほか容易に出入りすることができないよう施設すること。 移動地球局は、電波防護指針で定められた要求条件を満足すること。

<送信装置の条件>

項目	技術的条件(案)
空中線電力の許容偏差	• 上限50%、下限50%
周波数の許容偏差	• 100(百万分率)
占有周波数帯幅の許容値	• 規定しない
不要発射の強度の許容値	• 下表のとおり

- 送信不可状態の軸外不要発射の強度の許容値
(空中線の最大指向方向から7度超の軸外輻射)

周波数	EIRP	測定帯域幅
1.0~2.0 GHz	52 dBpW	1 MHz
2.0~10.7 GHz	58 dBpW	1 MHz
10.7~21.2 GHz	64 dBpW	1 MHz
21.2~60.0 GHz	70 dBpW	1 MHz

- 送信状態、及び送信停止状態の軸外不要発射の強度の許容値
(空中線の最大指向方向から7度超の軸外輻射)

周波数	EIRP	測定帯域幅
1.0~2.0 GHz	53 dBpW	1 MHz
2.0~3.4 GHz	59 dBpW	1 MHz
3.4~10.7 GHz	65 dBpW	1 MHz
10.7~13.75 GHz	71 dBpW	1 MHz
13.75~14.0 GHz	95 dBpW [※]	10 MHz
14.50~14.75 GHz	95 dBpW [※]	10 MHz
14.75~21.2 GHz	71 dBpW	1 MHz
21.2~27.35 GHz	77 dBpW	1 MHz
27.35~27.50 GHz	85 dBpW	1 MHz
27.50~30.00 GHz	85 dBpW	1 MHz
30.00~31.00 GHz	85 dBpW	1 MHz
31.00~31.15 GHz	85 dBpW	1 MHz
31.15~60.0 GHz	77 dBpW	1 MHz

※14~14.5GHzの中で送信される搬送波の中心周波数から125MHz以下の範囲で、本許容値を上回ることが出来る。但し、無線設備規則第7条及び平成17年総務省告示第1228号第一、第二項の1の許容値を超えてはならない。

<受信装置の条件>

項目	技術的条件(案)
副次的に発射する電波の強度	<ul style="list-style-type: none"> 規定しない

<空中線の条件>

項目	技術的条件(案)
空中線の最小仰角	<ul style="list-style-type: none"> 最小仰角:3度以上 運用仰角:45~90度
地表線方向の等価等方輻射電力	地球局の送信空中線の輻射の中心から見た地表線の仰角 θ が <ul style="list-style-type: none"> 0度以下:40 dBW/4kHz 0度を超え5度以下:$40+3\theta$ dBW/4kHz
軸外輻射電力	<ul style="list-style-type: none"> ITU-R勧告S.1503に基づく計算で用い、無線通信規則 22条に定められたEPFD\uparrow制限に適合することがITUにより確認された、EIRPマスクとすることが適当
指向精度	<ul style="list-style-type: none"> 規定しない

<測定法>

- ① 空中線電力の許容偏差
 - ア) 空中線端子がある場合
変調の状態連続送信させ、送信設備の電力出力を電力計又はスペクトラムアナライザを用いて測定し、規定された空中線電力との比を求め。
 - イ) 空中線端子がない場合
被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、指向方向を固定する。試験用空中線は被試験器の輻射電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し送信輻射電力を測定し、試験用空中線利得、伝搬損失、被試験器の空中線利得等から空中線電力を求め。
- ② 周波数の許容偏差
 - ア) 空中線端子がある場合
被試験器を無変調の状態動作させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求め。被試験器が無変調動作できない場合や、測定器等により測定可能であれば変調状態で測定してもよい。
 - イ) 空中線端子がない場合
被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、指向方向を固定する。試験用空中線は被試験器の輻射電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し、被試験器の周波数を測定する。試験器を無変調状態とすることができる場合には周波数計を用いて測定してもよい。
- ③ 不要発射の強度の許容値
 - ア) 空中線端子がある場合
変調状態で動作させ、搬送波の平均電力に対する各不要発射波成分の平均電力又は相対値をスペクトラムアナライザで測定する。EIRPで指定された規定に対しては、被試験器のアンテナ利得と乗算し不要発射の等価等方輻射電力を求め。送信不可状態、及び送信停止状態でも同様の測定する。
 - イ) 空中線端子がない場合
被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、試験用空中線において、被試験器の空中線利得が一定値(例 8dBi)となるよう、また被試験機の不要発射の強度が最大となるように被試験機と試験用空中線の配置、被試験機の指向方向を適切に設定する。スペクトルアナライザを使用し、被試験器の不要発射の強度を測定する。送信不可状態、及び送信停止状態でも同様の測定する。

● 静止衛星システムの保護に関する条件

- 無線通信規則 22条のEPD ↑ 制限を満たしていること。
(ITU-R勧告S.1503に基づく計算結果に対して、ITU-Rの審査により適合と判定されていること)
- ITU-R勧告S.1503に基づく計算で用い、無線通信規則 22条に定められたEPFD ↑ 制限に適合することがITUにより確認された、EIRPマスクを指定すること。また、当該指定EIRPマスクを満たすこと。

● 非静止衛星システムの保護に関する条件

- 電波の公平かつ能率的な利用を確保するため、無線通信規則9条に基づく国際周波数調整の結果を遵守し、他の非静止衛星システムとの調整が適切に行われていること。
- また、今後の国際周波数調整の状況により、我が国における周波数の使用条件が変更された場合は、適宜見直す必要がある。

● 固定地球局、移動地球局(陸上)に関する条件

- 14.4-14.5GHzの既存業務保護のため、既存業務局の周辺で14.4-14.5GHzの送信禁止ゾーンを設ける等の運用調整により、予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

● 移動地球局(船舶)に関する条件

- ECC Decision(18)05に基づき、14.4-14.5GHzにおいて、我が国の低潮線の海拔80m地点における電力束密度(PFD)制限 $-116 \text{ dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ を満たすこと。なお、本PFD制限を遵守するため、地球局は自身による位置情報・姿勢情報等のモニタリング機能と自動的にEIRPを低減または送信を停止する機構を具備すること。但し、内海での運用を考慮し予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

● 移動地球局(航空機搭載)に関する条件

- ECC Decision(18)05に基づき、14.4-14.5GHzにおいて、地表面における右表のPFD制限値を満たすこと。なお、本PFD制限を遵守するため、地球局は自身による位置情報・姿勢情報等のモニタリング機能と自動的にEIRPを低減または送信を停止する機構を具備すること。但し、実際の運用を考慮し予め既存業務の免許人との間で周波数の共用について合意すること。

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

● 電波天文(10.6-10.7GHz)保護に関する条件

- ECC Report 271に基づき、Ku帯非静止衛星通信システム(1200km)宇宙局は10.6-10.7GHzの電波天文保護のため、右表に示すビーム毎の不要発射制限値を満たすこと。本不要発射制限値を満たすため、フィルタ挿入等に加え、電波天文の最隣接チャネルの発射停止等の適切な措置が講じられること。

衛星ビームNo.	EIRP値 [dBW/100MHz]
1,5,9,13	-34.9
2,6,10,14	-61.9
3,7,11,15	-49.9
4,8,12,16	-61.9