

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)

諮問第 2037 号

「K a 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件について」

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

目次

I	検討事項	3
II	委員会及び作業班の構成	3
III	検討経過	3
IV	検討概要	5
1	システム概要	5
1.1	Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの概要	5
1.1.1	提供されるサービス	7
1.1.2	利用形態	8
2	他の無線システムとの周波数共用について	10
2.1	周波数配置状況	10
2.2	他のシステムとの周波数共用	10
2.2.1	電波天文業務（21GHz 帯及び 23GHz 帯）	10
2.2.2	電波天文業務（31GHz 帯）	13
2.2.3	無線アクセスシステムー電気通信業務（固定）	18
2.2.4	検討結果まとめ	22
3	無線設備の技術的条件	24
3.1	Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システム	24
3.1.1	一般的条件	24
3.1.2	無線設備の条件	25
4	測定法	29
4.1	送信装置	29
4.1.1	周波数の偏差	29
4.1.2	占有周波数帯幅	29
4.1.3	スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度	29
4.1.4	空中線電力の偏差	29
4.1.5	軸外輻射電力	30
4.2	受信装置	30
4.2.1	副次的に発生する電波などの限度	30
V	検討結果	30

I 検討事項

衛星通信システム委員会（以下、「委員会」という。）は、電気通信技術審議会諮問第 2037 号「Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件について」（平成 28 年 6 月 30 日）について検討を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会の構成は別表〇のとおりである。

委員会の調査検討を促進するため、衛星通信システム委員会作業班において技術的条件に関する調査を行った。作業班の構成は別表〇のとおりである。

III 検討経過

「Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」について、委員会及び作業班での検討経過は以下のとおりである。

1. 委員会

(1) 第 29 回（平成 28 年 7 月 22 日）

「Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」に関して、委員会の運営方針及び検討スケジュールについて検討を行った。

(2) 第 30 回（平成 28 年 12 月 8 日）

作業班における「Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」に関し、中間報告が行われた。

(3) 第 31 回（平成 29 年 2 月 10 日）

作業班から、「Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」に関する報告を受け、衛星通信システム委員会報告（案）をとりまとめた。

(4) 第 32 回（平成 29 年〇月〇日）

委員会報告（案）のパブリックコメントで提出された意見に対する委員会の考え方及び委員会報告のとりまとめを行った。

2. 作業班

(1) 第 6 回（平成 28 年 8 月 26 日）

作業班の運営方針、検討体制について説明が行われ、「Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」に関する調査の進め方等について検討を行った。また、Ka 帯移動衛星通信システムの世界動向等の紹介が行われた。

(2) 第 7 回（平成 28 年 10 月 25 日）

「Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」に関する周波数共用条件等について検討を行った。

(3) 第8回（平成28年11月21日）

「Ka帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」に関する周波数共用条件等について検討を行った。

(4) 第9回（平成29年1月20日）

「Ka帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」に関する作業班報告書（案）について検討を行った。

IV 検討概要

1 システム概要

1.1 Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの概要

陸上における移動通信環境の高速大容量化に伴い、船舶や航空機等の移動通信環境においても社会・家族・友人とのコミュニケーションの円滑化等によるデジタル・ディバイド改善、船舶・航空機の運航システムの ICT 化に伴う陸上との高速大容量通信へのニーズが高まっている。

これらの課題を解決するには、広域なサービスエリアを確保可能な移動衛星通信システムの利活用が重要である。現在、我が国においては L 帯 (1.6GHz 帯)、S 帯 (2GHz 帯)、Ku 帯 (12/14GHz 帯) 等を用いた移動衛星通信サービスが提供されており、移動体向けサービスとしては、船舶・航空機向けインマルサットサービス (L 帯) で 500kbps 程度、船舶 VSAT サービス (Ku 帯) で 1~2Mbps 程度の通信速度となっている。

現在主流となっているこれらの周波数帯は逼迫しつつあり、近年では更に高い周波数帯である Ka 帯 (20/30GHz 帯) が、次世代の高速衛星通信用の帯域として世界的に注目されている。Ka 帯においては、インマルサット等の事業者が移動体向けグローバルサービスを計画中である。また 2015 年 11 月に開催された国際電気通信連合 (ITU) 世界無線会議 (WRC-15) では、グローバルサービスを実現するための「移動する地球局 (ESIM: Earth station in motion)」の技術的条件が規定された決議 156 が承認され、29.5-30.0GHz (地上→宇宙)、19.7-20.2GHz (宇宙→地上) において、固定衛星業務用の通信衛星 (FSS 用衛星という) を利用した移動体向け衛星通信システムが運用可能となった。Ka 帯サービスが実現されれば、陸上のほか、船舶や航空機を対象に数 10Mbps 程度の高速通信サービスの提供が可能となり、デジタル・ディバイドの解消が見込まれる。

こうした背景を踏まえ、本検討では、Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件について検討を行った。本システムでは、図 1-1 に示すように、Ka 帯を利用して、静止軌道上に配置された FSS 用衛星を介し、基地局と、船舶や航空機等に搭載された移動局との間でブロードバンド通信を提供するものである。システム全体及び各セグメントが具備すべき機能を以下に示す。

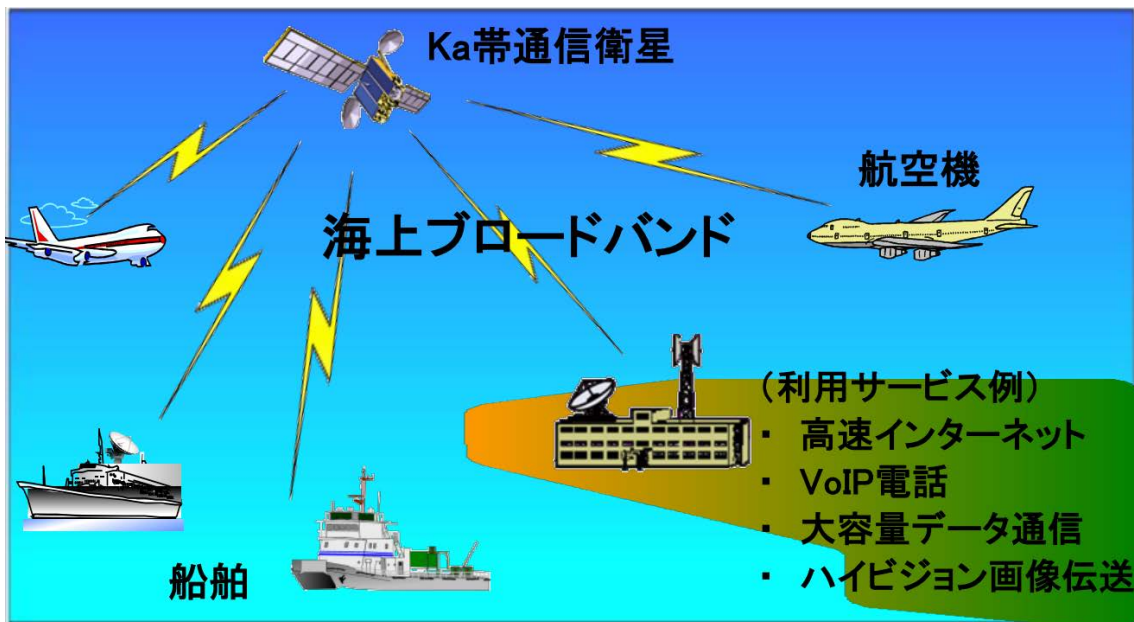


図 1-1 Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの構成

(1) システム全体の機能

静止軌道上に配置された FSS 用衛星を経由して、移動局と基地局間の通信サービスを提供する（移動局と基地局の定義は以下参照）。周波数は WRC-15 で運用可能となった以下の周波数を使用する。

- 19.7-20.2GHz（静止衛星→移動局）
- 29.5-30.0GHz（移動局→静止衛星）

WRC-15 決議 156 では、上記の周波数を使用する移動体向け衛星通信システムは、以下の機能が必要とされている。

- 移動局は、ネットワーク制御・監視センター (NCMC: Network Control and Monitoring Center)、もしくは、それに相当する設備により永続的にモニタリングと制御が行われること。少なくとも送信及び停波のコマンドを NCMC から受信し、動作すること。
- 移動局は、通信の相手方となる FSS 用衛星を追尾する機能を有すること。隣接衛星を捕捉・追尾しないこと。
- 移動局の運用は、その権利を保有する領域内のみを制限する機能を有すること。

なお、WRC-15 決議 156 では、本システムを生命安全 (safety-of-life) に関わる通信に利用してはならない、としている。

(2) 静止衛星の機能

移動局向けの通信サービスは、国・特定地域内で提供されるものから、グローバルに連続的に提供されるものまで想定される。従って、一衛星のカバレッジ内でのサービスだけでなく、カバレッジが重なり合う複数の静止衛星を使用したサービスも想定される。

各静止衛星は、固定衛星業務用として既に関係主管庁間で許可されたものを、その許可条件の下で使用するため、隣接衛星や地上業務等、他システムへの干渉回避の条件を遵守する限り、本システムのための特別な追加の条件は必要ない。

(3) 基地局の機能

移動局と地上ネットワークとの接続を行うため、静止衛星との間で電波の送受信を行う。また、本システムとしての機能を実現するため、NCMC と接続し、移動局の指令・制御に関する信号を送受信する。

(4) 移動局の機能

船舶や航空機、あるいは車両等の陸上移動体に搭載され、静止衛星との間で電波の送受信を行う。隣接衛星や地上業務を保護するため、衛星ネットワーク間の調整合意事項を遵守すること、所定の軸外輻射電力の規定を満足すること、等の要件を満足する必要がある。

(5) ネットワーク制御・監視センター (NCMC)

本システムの集中監視、管理、制御の役目を担うもので、日本国外に設置される場合もある。NCMC の主な機能としては、静止衛星の使用状況の監視、移動局から静止衛星に発射する電波の周波数や電力レベル等の制御・監視、移動局の電波発射許可あるいは停波のための制御信号の送出等が挙げられる。

NCMC と基地局とは、システム信頼性を保つため、専用線で結ばれていることが望ましい。

1.1.1 提供されるサービス

Ka 帯を用いた移動体向け衛星通信システムでは、船舶や航空機等からの高速インターネット接続やハイビジョン画像伝送、VoIP 電話等のサービスが提供・計画されている。

現在提供・計画されている主なサービスを以下に示す。

表 1-1 Ka 帯を用いた主な移動体向け衛星通信サービス

オペレータ (国)	Inmarsat (英国)	Telenor (ノルウェー)	Viasat (米国)	Eutelsat (フランス)
主な使用衛星	Inmarsat-5	Thor-7	Viasat-1, Viasat-2	KA-SAT
サービス対象 (移動体)	船舶、航空機	船舶	航空機	航空機
サービス地域	全世界 (極地を除く)	欧州、地中海、北海 周辺	北米、大西洋北部	欧州
通信速度	上り：最大 5Mbps 下り：最大 50Mbps	上り：2-6Mbps 下り：数 10Mbps	上り：2.5-20Mbps 下り：70-100Mbps	最大 100Mbps

1.1.2 利用形態

Ka 帯を用いた移動体向け衛星通信システムは、船舶、航空機のほか、車両や鉄道等の陸上移動体における利用が想定される。以下に、船舶、航空機での利用シーンを示す。

- 利用シーン[1]：船舶での利用

海上・洋上において、携帯電話等の電波が届かないエリアを航行する商船、漁船、客船等でブロードバンド通信を利用する。具体的には、船舶から陸上への画像を含む業務用データ伝送（船舶情報、貨物情報等）、安全・省エネ運航のための気象・海象情報伝送、ブロードバンドインターネット接続等を行う。船舶運航のための業務用途に加え、乗員の娯楽や家族や友人とのコミュニケーション手段の提供という福利厚生という側面もある。



図 1-2 船舶における利用イメージ

- 利用シーン[2]：航空機での利用

航空機に搭乗する旅客が機内インターネットを利用する。具体的には機内に整備された Wi-Fi を介してインターネットに接続し、Web サイトの閲覧や SNS の利用、映像・音楽の視聴等を行う。今後、航空業務に該当しない範囲において、乗務員が利用可能な通信手段としての利用も想定される。



図 1-3 航空機における利用イメージ

2 他の無線システムとの周波数共用について

2.1 周波数配置状況

WRC-15 決議に基づき、Ka 帯を用いた移動体向け衛星通信システム（以下では ESIM と記す）は、上りサービスリンク（Ka 帯、29.5 - 30.0GHz）及び下りサービスリンク（Ka 帯、19.7 - 20.2GHz）を使用する。

我が国における Ka 帯の周波数使用状況を図 2-1 に示す。ESIM 向け帯域は四角枠で示した箇所である。

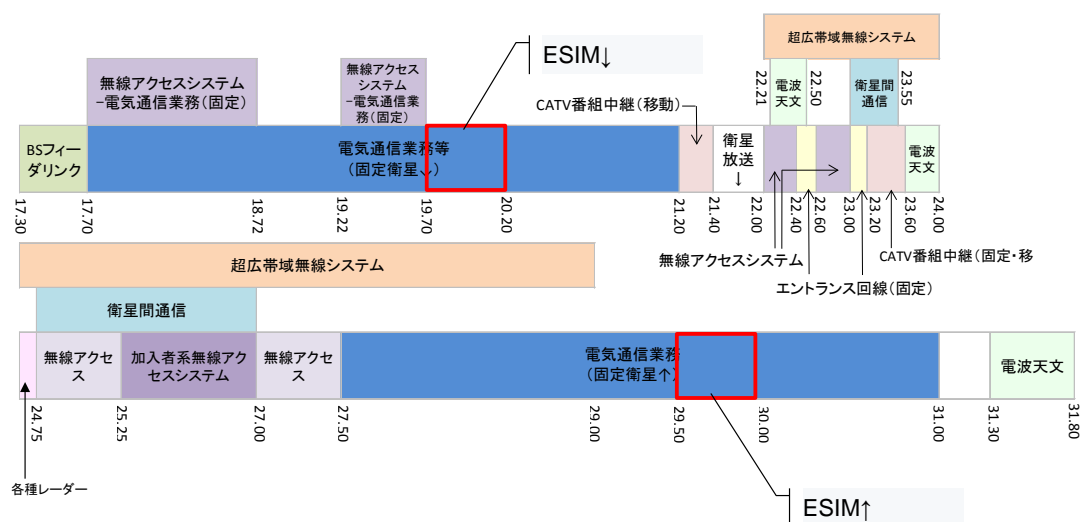


図 2-1 我が国における Ka 帯の周波数使用状況

2.2 他のシステムとの周波数共用

図 2-1 に示す通り、ESIM に関して同一周波数帯を使用する他のシステムは存在しない。ここでは、隣接周波数帯を使用する無線システムとの共用について、以下の無線通信業務を対象に干渉検討を行った。なお、検討結果の詳細は参考資料 3 に示す。

- 電波天文業務（22GHz 帯及び 23GHz 帯）
- 電波天文業務（31GHz 帯）
- 無線アクセスシステム-電気通信業務（固定）

2.2.1 電波天文業務（22GHz 帯及び 23GHz 帯）

2.2.1.1 電波天文業務（22GHz 帯及び 23GHz 帯）の概要

電波天文業務の用に供する受信設備は、天体から放射される電波を受信することにより、天体や宇宙空間の物理状態、さらには宇宙そのものの成因など、宇宙全体を観測するため

のシステムである。

遠方の天体から放射される線スペクトルは、宇宙膨張のため長い波長にずれる（赤方偏移によって、最大7倍程度）。また、微弱天体を感度よく観測するために広帯域で観測されており、そのため観測は可能な限り広帯域で行われている。

電波法第五十六条第一項の規定による電波天文業務の用に供する受信設備のうち、22.21-22.5GHz及び23.6-24.0GHzを受信する設備は、申請予定を含めて以下が挙げられる。

表 2-1 検討対象とした電波天文業務の用に供する受信設備

No.	設置場所*	東経	北緯	告示
1	長野県南佐久郡南牧村野辺山	138° 28' 21"	35° 56' 40"	平成25年総務省告示第195号
2	岩手県奥州市水沢区星ガ丘町	141° 07' 57"	39° 08' 01"	平成22年総務省告示第448号
3	東京都小笠原村父島字旭山	142° 13' 00"	27° 05' 31"	
4	鹿児島県薩摩川内市入来町浦之名	130° 26' 24"	31° 44' 52"	
5	沖縄県石垣市字登野城嵩田	124° 10' 16"	24° 24' 44"	
6	鹿児島県鹿児島市平川町字狐迫	130° 30' 26"	31° 27' 51"	平成24年総務省告示第52号
7	岩手県奥州市水沢区星ガ丘町	141° 07' 57"	39° 08' 00"	平成24年総務省告示第174号
8	茨城県高萩市	140° 41' 41"	36° 41' 55"	申請予定
9	茨城県日立市	140° 41' 32"	36° 41' 51"	申請予定
10	岐阜県岐阜市	136° 46' 12"	35° 28' 47"	申請予定

*: 設置場所は番地以下を省略

2.2.1.2 電波天文業務（22GHz帯及び23GHz帯）への干渉の検討

本ケースは、ESIM宇宙局が与干渉、電波天文が被干渉となる関係である。表2-2に示した諸元及びに自由空間伝搬損失を基に、日本から可視範囲にあるInmarsat F1(63E)及びF3(180E)と電波天文業務（22GHz帯及び23GHz帯）との干渉の検討を行った。

電波天文業務への割当周波数は22.21-22.5GHz、及び23.6-24.0GHzであるが、告示にある電波天文の指定周波数域が22.21GHzであり、また、周波数割当表脚注J36により22.01-22.21GHz帯は電波天文に保護されていることから、自由空間伝搬損失を計算する際に用いた周波数は最低周波数である22.01GHzを用いた。また、ESIM宇宙局からのスプリアス領域での不要発射は平成17年総務省告示1228号を適用した際の最悪値を用いた。

表 2-2 共用検討諸元

項目	単位	計算に用いた値
周波数	GHz	22.01
スプリアス領域での不要発射（最悪値）	dBW/4kHz	-35.6

ITU-R 勧告 RA. 769-2 で規定されている電力束密度の閾値は、22.01GHz に最も近い周波数では、連続波観測で $-231\text{dB(W/(m}^2\cdot\text{Hz))}$ (22.355GHz)、輝線スペクトル観測で $-216\text{dB(W/(m}^2\cdot\text{Hz))}$ (22.200GHz) である。

ESIM 宇宙局として、日本から可視範囲にある Inmarsat F1 (63E) 及び F3 (180E) を対象として、ITU-R 勧告 RA. 769-2 で規定されている電力束密度の閾値を満たしているかどうかを検討した。22.01GHz における検討結果に対し、連続波観測の 22.355GHz における電力束密度の閾値 $-231\text{dB(W/(m}^2\cdot\text{Hz))}$ との比較を示す。

表 2-3 検討結果

No.	東経	北緯	マージン[dB]	
			F1 (63E)	F3 (180E)
1	138° 28' 21"	35° 56' 40"	3.9	3.3
2	141° 07' 57"	39° 08' 01"	4.0	3.3
3	142° 13' 00"	27° 05' 31"	4.0	3.2
4	130° 26' 24"	31° 44' 52"	3.8	3.4
5	124° 10' 16"	24° 24' 44'	3.6	3.5
6	130° 30' 26"	31° 27' 51"	3.8	3.4
7	141° 07' 57"	39° 08' 00"	4.0	3.3
8	140° 41' 41"	36° 41' 55"	4.0	3.3
9	140° 41' 32"	36° 41' 51"	4.0	3.3
10	136° 46' 12"	35° 28' 47"	3.9	3.4

注：マージンとは、ITU-R 勧告 RA. 769-2 で規定されている当該周波数帯での電力束密度の閾値 ($-231\text{dB(W/(m}^2\cdot\text{Hz))}$) から Inmarsat F1 (63E) 及び F3 (180E) の地表面での電力束密度を引いた値。

以上より ESIM 宇宙局は 22GHz 帯及び 23GHz 帯の電波天文業務と共用可能である。

2.2.1.3 電波天文業務（22GHz 帯及び 23GHz 帯）との共用条件の検討

電波天文業務の用に供する受信設備との共用検討の結果、周波数共用は可能であると考えられる。

2.2.2 電波天文業務（31GHz 帯）

2.2.2.1 電波天文業務（31GHz 帯）の概要

電波法第五十六条第一項の規定による電波天文業務の用に供する受信設備のうち、31.3-31.8GHz を受信する設備は、平成 25 年総務省告示第 195 号で規定された長野県南佐久郡南牧村野辺に設置された受信設備（国立天文台野辺山）のみである。国立天文台野辺山の概要について、図 2-2 に示す。



図 2-2 国立天文台野辺山の概要

出所) <http://www.nro.nao.ac.jp/public/about.html>

2.2.2.2 電波天文業務（31GHz 帯）への干渉の検討

本ケースは、ESIM 移動局が与干渉、電波天文が被干渉となる関係である。ESIM 移動局については、将来サービス化されるものも含めて様々な衛星通信システムや移動局（端末）が考えられる。衛星システムや端末種別等により諸元が異なることから、電波天文業務（31GHz 帯）との共用検討に関しては、包括的な観点から電波天文側からの共用条件を示すことが適当と考えられる。

ここで、情報通信審議会答申 諮問第 2013 号「Ku 帯を用いた高速・大容量航空移動衛星システムの技術的条件」では、電波天文業務との共用条件として ITU-R 勧告 M.1643 を基に以下の共用条件が示された。

$$-190 + 0.5 \cdot \theta \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150\text{kHz))} \quad \theta \leq 10^\circ$$

$$-185 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150\text{kHz))} \quad 10^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

(θ は電波の到来仰角)

Ka 帯における ESIM と電波天文業務との共用検討に関する ITU-R 勧告は現時点で存在しないものの、電波天文業務の干渉制限値を定めた ITU-R 勧告 RA. 769 に基づく共用検討が必要である。なお、ITU-R 勧告 RA. 769-2 脚注によれば、干渉計算における積分時間としては 2000 秒等が想定されている。

この条件を基に、ESIM 地球局として Inmarsat GX サービスの端末設備を例に取り、共用可能となる離隔距離を検討した。ESIM 移動局は航空機、船舶、陸上移動（車両等）の 3 種類が存在することから、種類ごとに検討・考察した。

なお、以下の共用検討においては ITU-R 等の規格値に基づく検討を行ったが、ESIM 移動局（航空機、船舶）については実端末諸元が入手可能であることから、それら検討も合わせて行った。

この時用いた諸元を表 2-4 に、想定モデルを図 2-3 に示す。なお、共用検討の詳細は参考資料 3 に示した。

表 2-4 共用検討諸元

項目	単位	計算に用いた値
周波数	GHz	31.55
ESIM 地球局（航空機）の高度	m	1,000 及び 10,000
ESIM 地球局（陸上移動）アンテナ高	m	1.5
電波天文業務用受信設備のアンテナ高	m	24.5
スプリアス抑圧フィルター	dB	-60 及び -80

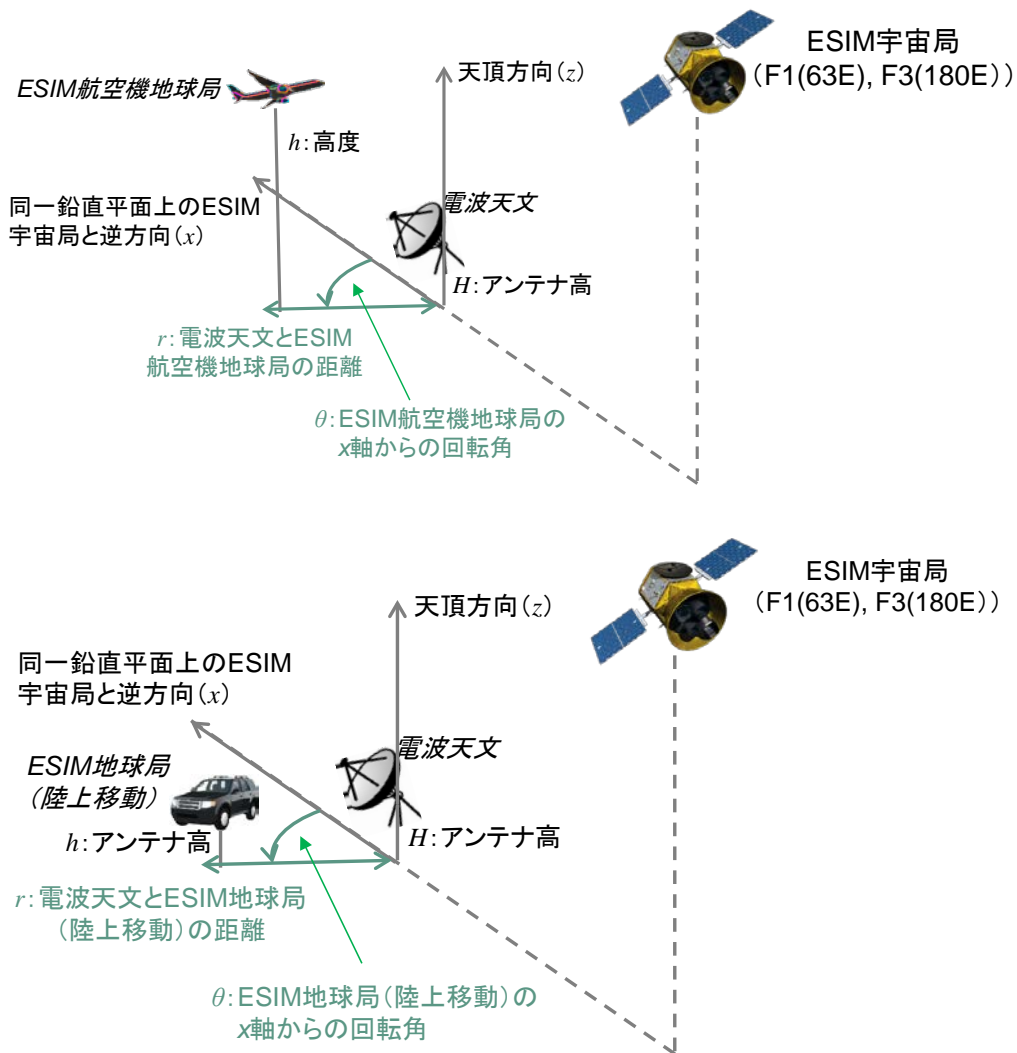


図 2-3 想定モデル

(上：航空機を想定したモデル、下：陸上移動を想定したモデル)

2.2.2.3 電波天文業務 (31GHz 帯) との共用条件の検討

(ア) ESIM 地球局 (航空機) との共用検討

図 3-11 に地形を考慮し、60dBc のスプリアス抑圧フィルターを使用し、航空機高度が 1,000m の場合の検討結果を示す。63E 衛星と通信する ESIM 地球局 (航空機) は、角度 θ_E が $-16^\circ \sim -41^\circ$ 範囲及び $16^\circ \sim 41^\circ$ 範囲を避ければ、約 2.2k m 以遠で共用可能となる。他方、180E 衛星と通信する ESIM 地球局 (航空機) は、角度 θ_E によらず、約 2.2km 以遠で共用可能となる。

ESIM 地球局 (航空機) の高度が 10,000m の場合、63E 衛星と通信する ESIM 地球局 (航

空機) 及び 180E 衛星と通信する ESIM 地球局 (航空機) は、ともに電波天文業務の受信設備の直上でも共用条件を満足する。

次に、80dBc のスプリアス抑圧フィルターを使用した場合は、高度 1,000m において電波天文の受信設備の直上を含め共用条件を満足する。

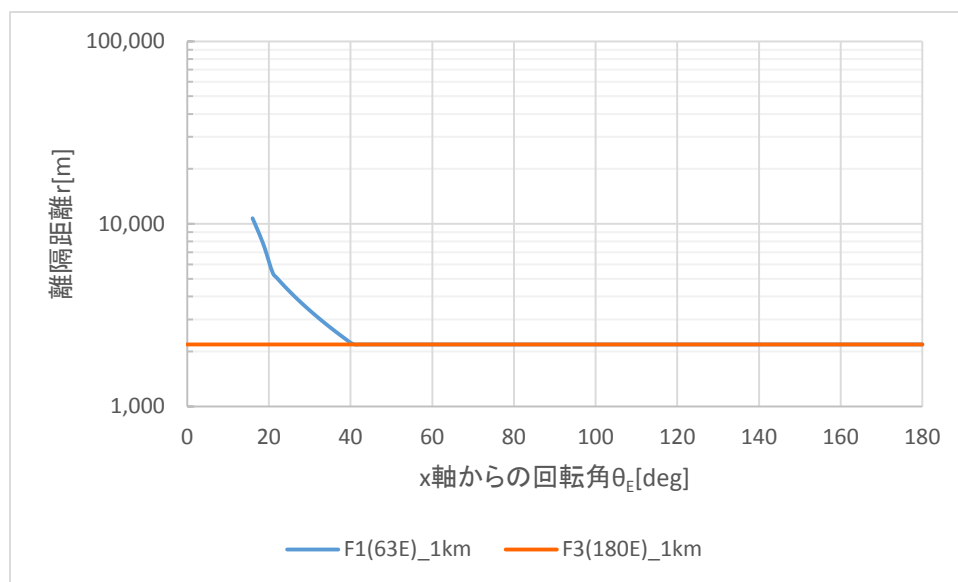


図 3-4 63E 衛星及び 180E 衛星と通信する ESIM 航空機局の離隔距離 (地形を考慮)

次に、ESIM 地球局 (航空機) の実端末諸元を用いた計算を行った。また、ITU-R 勧告 RA769-2 脚注で示される積分時間として 2000 秒を用いて評価した。干渉量が最も大きくなるケース (最悪ケース) として、航空機が受信設備の真上を通過すると仮定し、巡航高度 8500m、巡航速度 720km/h とした。なお、本検討では外付けスプリアス抑制フィルターは使用しない前提で計算した。最大送信電力密度は、現在製造されている端末の実諸元を用いた。

図 3-12 に、横軸に電波天文受信設備からの水平離隔距離 (x 軸正方向がプラス、x 軸負方向はマイナスの距離)、縦軸にスプリアス干渉量とした計算結果のプロファイルを示す。干渉閾値を超えているのは、受信設備から水平距離で 18.4km 以内の領域となる。ただし、これは瞬時値であり、水平離隔距離が -200km から +200km までの瞬時の干渉量を平均した値で評価する必要がある。

以上のように、実端末諸元を用い、ITU-R 勧告 RA769-2 で示されている干渉許容基準の積分時間 (2000 秒) で評価することにより、外付けスプリアス抑制フィルターを使用しない状態であっても共用可能である。

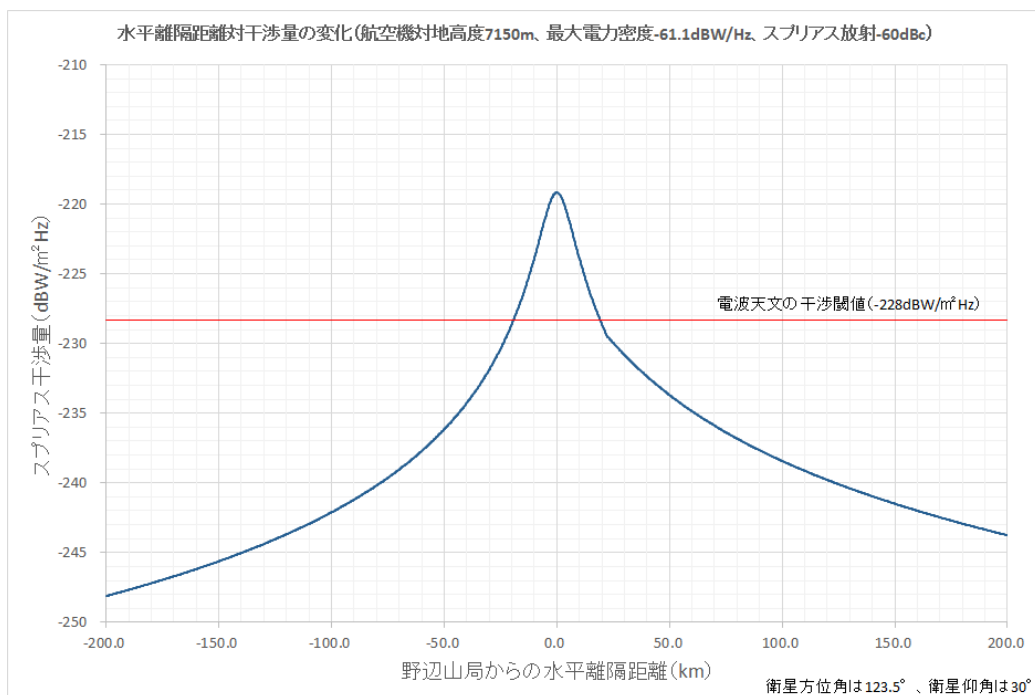


図 3-5 ESIM 地球局（航空機）による干渉量プロファイル

なお、上記は Inmarsat-5 の 衛星諸元、2 種類の ESIM 地球局（航空機）の端末諸元、2000 秒の積分時間を用いた場合の検討結果例であり、対象とする衛星システムや端末諸元や積分時間が異なる場合には、結果が異なる場合がある。

いずれの場合においても、実機でのスプリアス輻射強度を元に、ITU-R 勧告 RA.769 に規定された干渉制限値を満足する離隔距離を保ち、関係者間で運用協定を締結して、それを適切に実施することで、共用は可能である。

(イ) ESIM 地球局（船舶）との共用検討

次に、ESIM 地球局（船舶）に関しては、検討対象の電波天文受信設備は海上からは 100km 以上離れており、また山岳遮蔽による見通し外の位置関係であるため、ESIM 地球局（船舶）とは共用可能である。

(ウ) ESIM 地球局（陸上移動）との共用検討

60dBc のスプリアス抑圧フィルターを用いた場合の検討結果を図 3-13 に示す。なお、電波天文受信設備（野辺山）周辺において、ESIM 地球局（陸上移動）から 63E 衛星は見通し不可のため、検討から除外した。

ESIM 地球局（陸上移動）と電波天文受信設備との共用検討においては、ESIM 地球局（陸上移動）が同じ位置に留まって通信する場合もありうるため、スプリアス抑圧フィルターが無い場合には閾値を満足できない。

60dBc のスプリアス抑圧フィルターを挿入すると、180E 衛星と通信する ESIM 地球局（陸上移動）は、約 7.8km 以遠で角度 θ_E によらず共用可能となる。また、80dBc のスプリアス抑圧フィルターの場合には、約 900m 以遠で角度 θ_E によらず共用可能となる。

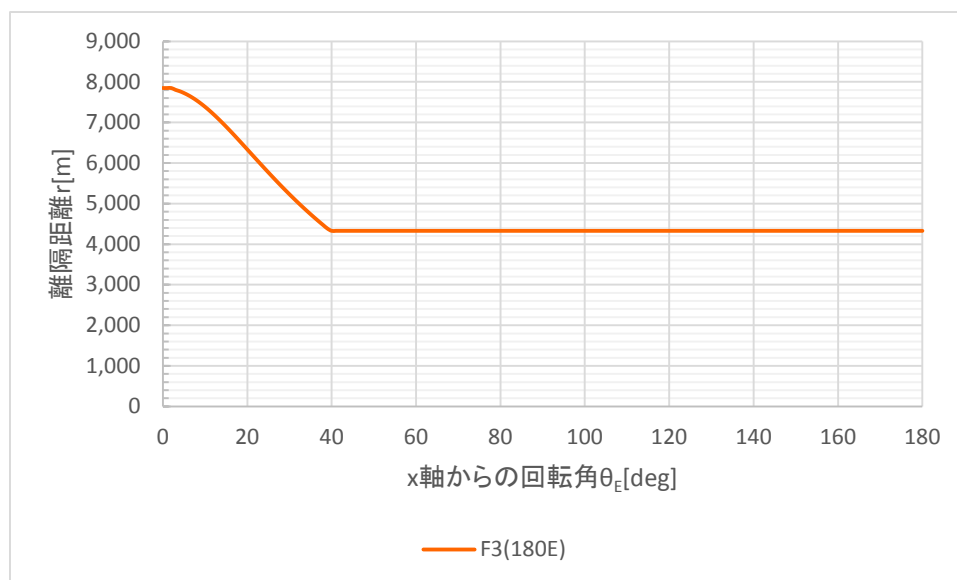


図 3-6 ESIM 地球局（陸上移動）の離隔距離（スプリアス抑圧フィルター：60dBc）

なお、上記は Inmarsat-5 の衛星諸元、2 種類のスプリアス抑圧フィルター（60dBc 及び 80dBc）を用いた場合の離隔距離および退避角度の例である。実端末の最大電力密度やスプリアス発射量が規格値よりも小さい場合には、離隔距離は小さくなりうる。また、対象となる衛星システムやフィルター特性等が異なる場合には、離隔距離と退避角度の組み合わせは異なる場合がある。

いずれの場合においても、実機でのスプリアス輻射強度を元に、ITU-R 勧告 RA.769 に規定された干渉制限値を満足する離隔距離を保ち、関係者間で運用協定を締結して、それを適切に実施することで、共用は可能である。

2.2.3 無線アクセスシステム—電気通信業務（固定）

2.2.3.1 無線アクセスシステム—電気通信業務（固定）の概要

無線アクセスシステム—電気通信業務（固定）は、従来の固定無線通信システムで必須であった大規模な鉄塔を不要とし、小規模な建物にも設置可能な大容量通信システムであり、比較的短期間に低コストで地域内のネットワークの構築等が可能となる。

無線アクセスシステム—電気通信業務（固定）の概要を図 2-4 に示す。

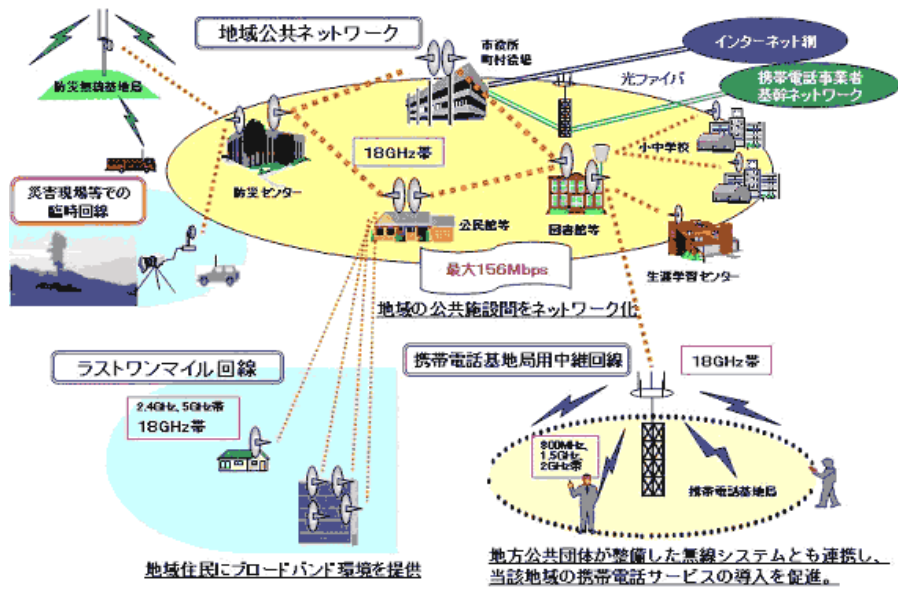


図 2-7 無線アクセスシステムー電気通信業務（固定）の概要

出所) 総務省 電波利用ホームページより

2.2.3.2 無線アクセスシステムー電気通信業務（固定）との干渉の検討

表 2-5 に示した諸元及び図 2-5 に示した想定モデルを基に、本システムと無線アクセスシステムー電気通信業務（固定）との干渉の検討を行った。

表 2-5 共用検討諸元

項目	単位	計算に用いた値
周波数	GHz	20
ESIM 地球局（陸上移動）アンテナ高	m	1.5
無線アクセスシステムのアンテナ高	m	40
長時間干渉許容値 (I/N 値)	dB	-7
短時間干渉許容値 (I/N 値)	dB	-1.3

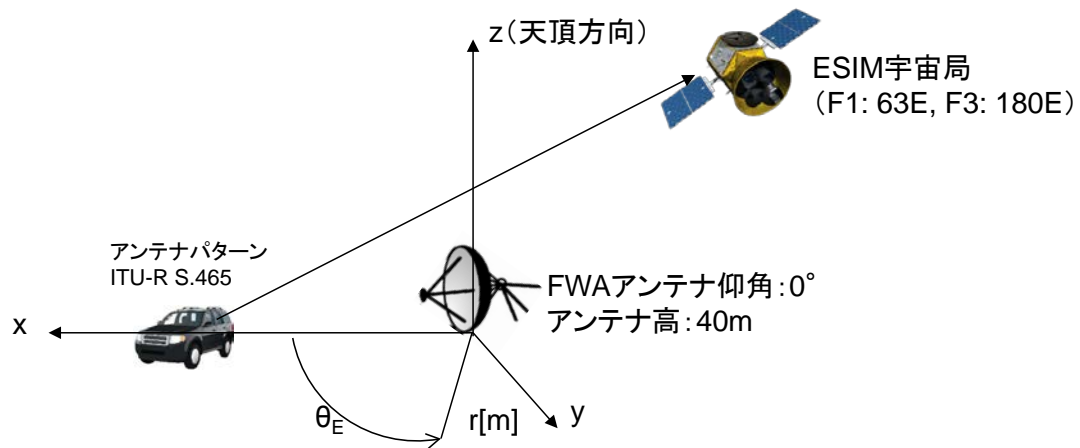


図 2-8 想定モデル

2.2.3.3 無線アクセスシステムー電気通信業務（固定）との共用条件の検討

本ケースは、無線アクセスシステム（以下、FWA: Fixed Wireless Access）が与干渉、ESIM（移動局）が被干渉となる関係である。WRC-15 における決議 156 の規定により、ESIM 地球局は保護を求めることができないが、無線アクセスシステムの周辺にて ESIM 地球局を運用する際の離隔距離について検討を行った。

無線アクセスシステムは陸上で用いられるシステムであり、ESIM（陸上移動）との共用が一番厳しい条件と考えられることから、以下では ESIM 地球局（陸上移動）を対象に検討を行った。ただし、検討手法は航空機、船舶、陸上移動（車両等）の各地球局に適用できるものである。検討結果の節において、種類ごとに考察した。

離隔距離の検討結果を図 4-5 に示す。なお、共用検討の詳細は参考資料 3 に示した。

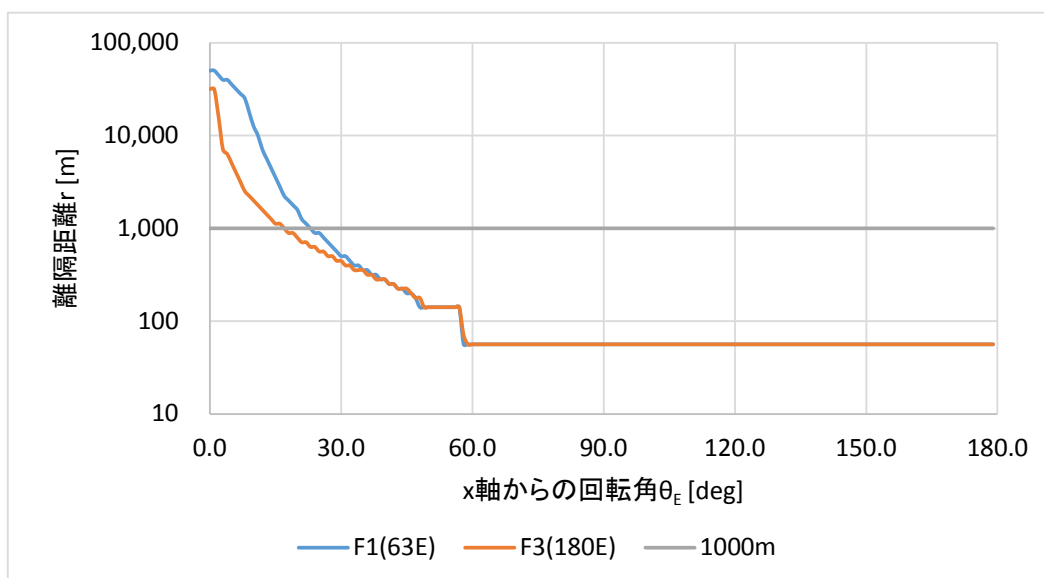


図 4-9 FWA 局主輻射方向からの角度と離隔距離

(ア) ESIM 地球局（陸上移動）との共用検討

180 E 衛星と通信する場合は、無線アクセスシステムの主軸放射方向から 17° 以内を避ければ 1km 以遠で運用可能である。また、63 E 衛星と通信する場合は、無線アクセスシステムの主軸放射方向から 23° 以内を避ければ 1km 以遠で運用可能である。無線アクセスシステムは仰角が 0 度または低い Point-to-Point システムであること、ESIM 地球局（陸上移動）は一定のアンテナ仰角を有するシステムであること等を考慮すると、仮に ESIM 地球局（陸上移動）が干渉を受けたとしても無線アクセスシステムのリンク外や建物等の遮蔽が得られる場所に移動すれば、当該干渉を避けることが可能と考えられる。このため、ESIM 地球局は保護を求めることができないものの、実用上の運用は問題ないと考えられる。

(イ) ESIM 地球局（航空機）との共用検討

無線アクセスシステムは仰角が 0 度または低い Point-to-Point システムであること、ESIM 地球局（航空機）は一定のアンテナ仰角を有するほか、航空機の高度は順次変化する。これらを考慮すると、仮に ESIM 地球局（航空機）が干渉を受けたとしても短時間であり、航空機の高度変化や位置変化に伴い、当該干渉を避けることが可能と考えられる。このため、実用上の運用は問題ないと考えられる。

(ウ) ESIM 地球局（船舶）との共用検討

無線アクセスシステムは陸上用途の仰角が 0 度または低い Point-to-Point システムであること、ESIM 地球局（船舶）は一定のアンテナ仰角を有するほか、船舶位置は順次変化する。これらを考慮すると、仮に無線アクセスシステムのアンテナが海上方向を向い

ており、ESIM 地球局（船舶）が干渉を受けたとしても、船舶の移動に伴って当該干渉を避けることが可能と考えられる。このため、実用上の運用は問題ないと考えられる。

2.2.4 検討結果まとめ

本報告における干渉検討の結果を以下に示す。

2.2.4.1 電波天文業務（22GHz 帯及び 23GHz 帯）への干渉

電波天文業務の用に供する受信設備との共用検討の結果、周波数共用は可能であると考えられる。

2.2.4.2 電波天文業務（31GHz 帯）への干渉

ESIM 地球局（航空機）に関し、60dBc のスプリアス抑圧フィルターを使用した場合において、航空機高度が 10,000m の場合は電波天文の受信設備との共用は可能である。航空機高度が 1,000m の場合、電波天文の受信設備と一定の角度範囲（ $-16^{\circ} \sim -41^{\circ}$ 範囲及び $16^{\circ} \sim 41^{\circ}$ ）を避け、約 2.2km 以遠で共用可能である。また、80dBc のスプリアス抑圧フィルターを使用した場合は、高度 1,000m において電波天文の受信設備の直上を含め共用可能である。

また、ESIM 地球局（航空機）の実端末諸元を用い、ITU-R 勧告 RA769-2 脚注で示される積分時間として 2000 秒を用いて評価すると、外付けスプリアス抑制フィルターを使用しない状態であっても共用可能である。

ESIM 地球局（船舶）に関しては、国立天文台野辺山から海上は 100km 以上離れており、また山岳遮蔽による見通し外のため共用可能である。

ESIM 地球局（陸上移動）に関しては、180E 衛星と通信する場合は、60dBc のスプリアス抑圧フィルターを使用すると約 7.8km 以遠で角度 θ_E によらず共用可能となる。また、80dBc のスプリアス抑圧フィルターを使用すると約 900m 以遠で角度 θ_E によらず共用可能である。

2.2.4.3 無線アクセスシステムー電気通信業務（固定）との干渉

ESIM 地球局（陸上移動）については、無線アクセスシステムの主軸放射方向から 23° 以内を避ければ 1km 以遠で運用可能である。仮に干渉を受けたとしても建物等の遮蔽が得られる場所に移動すれば、当該干渉を避けることが可能と考えられる。ESIM 地球局は保護を求めることができないものの、実用上の運用は問題ないと考えられる。

ESIM 地球局（航空機、船舶）については、常に移動することを考慮すると仮に干渉を受けたとしても短時間であり、実用上の運用は問題ないと考えられる。

なお、上記の各検討結果は一定の条件、すなわち Inmarsat 衛星諸元、端末諸元等を用いた場合の離隔距離および退避角度の例であり、対象とする衛星システムや端末諸元が異なる場合には、具体的な諸元での調整が必要となる。

3 無線設備の技術的条件

3.1 Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システム

Ka 帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信の無線設備の技術的条件については、国際的な電波に関する条約等及び国内の電波法令に適合することが必要である。具体的には以下のとおりとすることが適当である。

3.1.1 一般的条件

3.1.1.1 必要な機能

Ka 帯を用いた移動衛星通信システムには、WRC-15 における決議 156 の規定及び他システムへの与干渉防止の観点から、以下の機能が必要である。

- (1) 移動局は、自局の通信の相手方である人工衛星局のみを自動的に捕捉・追尾する機能を、隣接衛星等の他の人工衛星局の捕捉・追尾を阻止するような手順を含めて備え、通信の相手方である人工衛星局を自動的に捕捉・追尾ができなくなった場合には、直ちに送信を停止するものであること。
- (2) 移動局は、基地局が人工衛星局を経由して送信する制御信号を受信した場合のみ、人工衛星局への送信が可能であること。
- (3) 移動局は、自局の障害を検出する機能を持ち、障害を検出した場合及び人工衛星局を経由した基地局からの信号を正常に受信できなくなった場合には、送信を自動的に停止するものであること。
- (4) 移動局が送信する周波数及び輻射する電力は、基地局が送信する制御信号による指令値に自動的に設定されたものであること。
- (5) 基地局の制御により、移動局の電波の発射を停止する機能を有すること。
- (6) 移動局は、権利を有する領域内でのみ電波を発射し、領域を超えたときに直ちに電波を停止する機能を有すること。

3.1.1.2 適用周波数

WRC-15 における決議 156 の規定に基づき、移動局から人工衛星方向（アップリンク）には 29.5-30.0GHz 帯（Ka 帯）、人工衛星から移動局方向（ダウンリンク）には、19.7-20.2GHz 帯（Ka 帯）を使用することが適当である。

3.1.1.3 変調方式

変調方式としては、PSK（位相偏位変調）方式や QAM（直交振幅変調）方式等が考えられるが、最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、特定の方式に限定しないことが適当である。

3.1.1.4 通信方式

通信方式としては、単向通信方式、同報通信方式、単信方式、複信方式や半複信方式及びそれらの併用が考えられるが、柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、特定の方式に限定しないことが適当である。

3.1.1.5 多元接続方式

多元接続方式としては、変調方式や通信方式により、さまざまな方式が可能であることを考慮すると、最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、特定の方式に限定しないことが適当である。

3.1.1.6 電磁環境対策

移動局は、移動する無線局であることから、電波強度に対する安全施設を設けることを定めた電波法施行規則第21条の3の規定は適用されないものの、過度な強度の電波から人体を保護するための必要条件を満たすよう、電波防護指針で定められた要求条件を満たすことが必要である。

また、移動局は航空機や船舶、車両等に搭載して使用することが想定され、それぞれ準拠すべき指針及び規定に従うことが適切である。

3.1.2 無線設備の条件

3.1.2.1 送信装置

(1) 空中線電力

空中線電力は、柔軟性を確保するため一律の値を規定せず、電波法関係審査準の規定に準拠し、無線局の免許の際に指定することが適当である（電波法関係審査基準 別紙2第3の1(1)エ(カ)）。

(2) 空中線電力の許容偏差

平均電力の±50%以内が適当である（無線設備規則第14条）。これは定格電力の許容偏差として規定される。

(3) 周波数の許容偏差

周波数の許容偏差は、Ka帯における一般の地球局の規定値である±100ppmとすることが適当である（無線設備規則第5条）。

(4) 占有周波数帯幅

占有周波数帯幅は、様々な用途における柔軟性を確保するため、一律の値を規定せずに、一般的に地球局で適用されているように、電波法関係審査基準に規定されている各種の伝

送方式に応じて確立している計算手法を適用し、無線局の免許の際に指定することが適当である。

(5) 不要発射の強度

不要発射の強度は、以下のとおりであることが適当である（無線設備規則第 7 条及び平成 17 年総務省告示第 1228 号）。

ア スプリアス領域の不要発射の強度の許容値

50 μ W 以下、又は基本周波数の平均電力より 60dB 低い値であること。

ここで、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値は、4kHz の周波数帯域幅における電力とする。

イ 帯域外領域の不要発射の強度の許容値

必要周波数帯域内における 4kHz の周波数帯域幅当りの最大電力密度から、4kHz の周波数帯域幅当りの次式により求められる値と、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値のうち小さい方の値以下であること。なお、15GHz 以上の周波数の電波を使用する送信設備にあっては、4kHz の代わりに 1MHz の周波数帯域幅を用いることができる。

$$40\log\left(\frac{2F}{BN} + 1\right)\text{dB}/4\text{kHz}$$

ここで F は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であり、BN は必要周波数帯域幅（F と同じ単位とする）である。

3.1.2.2 受信装置

(1) 副次的に発射する電波等の強度

無線設備規則第 24 条第一項に従うことが適当である。すなわち、受信空中線と電氣的常数の等しい疑似空中線回路を使用して測定した場合に、その回路の電力が 4nW 以下となる必要がある。

3.1.2.3 空中線

(1) 等価等方輻射電力（EIRP）

等価等方輻射電力の許容値は、無線通信規則 Article 21.8 に準拠し、以下の値を満足することが適当である。

$$0^\circ < \theta \leq 5^\circ : 64+3\theta \text{ dB (W/1MHz)}$$

$$\theta \leq 0^\circ : 64\text{dB (W/1MHz)}$$

ここで、 θ は地球局の送信空中線の輻射の中心からみた地表線の仰角をいい、度で

表す。

(2) 軸外輻射電力

軸外輻射電力は、他システムへの与干渉防止の観点から、WRC-15 における決議 156 の規定に基づき、以下の値を満足することが適当である。

ア 軸外輻射電力

当該衛星方向からの離角 [θ]	最大 EIRP[dBW/40kHz]
$2^\circ \leq \theta \leq 7^\circ$	$19-25\log_{10} \theta$ 以下
$7^\circ < \theta \leq 9.2^\circ$	-2 以下
$9.2^\circ < \theta \leq 48^\circ$	$22-25\log_{10} \theta$ 以下
$48^\circ < \theta$	-10 以下

(注)

- ・上記値は晴天時での最大値である。送信電力制御機能がある場合は、降雨減衰を補完するだけの出力増加を行ってもよい。送信電力制御機能が無く、上記 EIRP を満足できない場合は、FSS 衛星ネットワークとの二国間調整を経て合意した数値を使用してよい。
- ・ θ が 2° 以下の場合、EIRP は他の静止衛星軌道 FSS と調整・合意の上で決定された値とする。
- ・CDMA 方式を利用し、複数 ESIM 地球局から同じ 40kHz 帯域内で同時送信が行われる場合、 $10\log_{10} N$ [dB] (N は ESIM 地球局数) を差し引くこと。関係する主管庁間で合意が得られる場合は、他の方法を用いてもよい。
- ・他の FSS 衛星ネットワークとの調整において、周波数再利用技術を用いる ESIM 地球局からの干渉が発生する可能性があること考慮しなければならない。

ESIM 地球局が低仰角で運用する場合は、以下に示す量だけ EIRP を増加させることができる。

イ 低仰角時の条件

静止衛星軌道に対する仰角 [ϵ]	EIRP 密度の増加量[dB]
$\epsilon \leq 5^\circ$	2.5
$5^\circ < \epsilon \leq 30^\circ$	$3-0.1 \epsilon$

(3) 送信空中線の最小仰角

送信空中線の最小仰角は、電波法施行規則 32 条に準拠し、 3° 以上とすることが適当である。

(4) 指向精度

WRC-15 決議 156 において指向精度の規定はないが、隣接衛星等の他システムの保護に係る条件である。隣接衛星等の保護においては、軸外輻射電力規定（マスク値）を満足するように、送信機の送信電力を設定し、アンテナを衛星方向に指向させる機能が必要で

ある。一般的にアンテナ径が小さくなれば指向精度は緩くなる傾向があるが、指向精度の実力に応じて回線設計（特に送信電力）を適切に選定することにより、軸外輻射電力規定との余裕度を確保することができる。

今後開発されるアンテナ技術の導入を妨げないこと、また、各衛星事業者が適切な回線設計により軸外輻射電力規定を満足することが可能であることを考慮すると、指向精度を必ずしも定める必要はない。

なお、指向精度の実力は無線設備の測定時、または機器性能資料等により確認することができ、それに基づき各衛星事業者は回線設計を行うことができる。

(5) 偏波

偏波は WRC-15 決議 156 に特段の定めはなく、将来の柔軟なシステム設計・運用が行われるべきであるため、限定しないことが適当である。

(6) 交差偏波識別度

交差偏波識別度は WRC-15 決議の規定でないことから、電波法および関連諸規則による規定を行わないことが適当である。

柔軟性を確保するため一律の値を規定せずに、通信相手方の人工衛星局の交差偏波側の中継器を利用するシステムに干渉を生じさせないよう衛星通信事業者が個別に指定することが適当である。

4 測定法

移動局の無線設備の測定法については、国内で定められた測定法に準拠して以下のとおりとすることが望ましい。

4.1 送信装置

4.1.1 周波数の偏差

受検機器を無変調の状態で作動させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求める。受検機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。

4.1.2 占有周波数帯幅

受検機器を変調の状態で作動させ、スペクトラムアナライザを用いて測定する。

測定点はアンテナ端子又は測定用モニター端子とする。

使用するパターン発生器は規定伝送速度に対応した標準符号化試験信号を発生する信号源とする。

誤り訂正を使用している場合は、そのための信号を付加した状態で測定する。(内蔵パターン発生器がある場合はこれを使用してもよい)。

標準符号化試験信号はランダム性が確保できる信号とする。

4.1.3 スプリアス領域及び帯域外領域における不要発射の強度

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。ただし、拡散変調において変調波による測定が困難な場合は無変調の状態で測定し、変調による拡散係数を計算により求めて換算する。

拡散係数とは、搬送波の無変調状態における当該不要波の平均電力に対する搬送波変調時の当該不要波の 4 kHz 当たりの電力密度に対する比とする。

4.1.4 空中線電力の偏差

変調の状態で作動させ、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る。

ただし、アクティブフェーズドアレーアンテナのように、空中線電力を直接測定することが困難な場合は、あらかじめ測定された較正值により確認しても良い。試験用ホーンアンテナを用いて送信輻射電力を測定し、既知であるホーンアンテナ利得、スパンロス及び空中線利得から空中線電力を求める方法もある。

4.1.5 軸外輻射電力

4.1.4の項目にて測定した送信設備の電力に、送信損失及び空中線の指向特性の利得を加えて求める。

4.2 受信装置

4.2.1 副次的に発生する電波などの限度

副次的に発生する電波の限度は、受検機器を連続受信状態にし、副次的に発生する電波の電力を、スペクトラムアナライザを用いて求める。

V 検討結果

電気通信審議会諮問第2037号「Ka帯を用いた移動体向けブロードバンド衛星通信システムの技術的条件」について、別添の通り答申（案）を取りまとめた。