

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 82 号

「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
「L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る技術的条件」

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）

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	提供されるサービス	6
1.2	利用形態	7
2	他の無線システムとの周波数共用について	9
2.1	周波数配置状況	9
2.2	電波天文業務（1.6GHz 帯）との周波数共用	9
2.2.1	電波天文業務（1.6GHz 帯）の概要	9
2.2.2	陸上・船舶用地球局に関する共用検討	10
2.2.3	航空機用地球局に関する共用検討	14
2.2.4	検討結果のまとめ	15
3	無線設備の技術的条件	16
3.1	一般的条件	16
3.1.1	必要な機能	16
3.1.2	適用周波数帯	16
3.1.3	多元接続方式	16
3.1.4	通信方式	16
3.1.5	変調方式	16
3.1.6	その他	16
3.2	携帯移動地球局の条件	17
3.2.1	送信装置	17
3.2.2	受信装置	19
3.2.3	空中線	19
3.3	航空機地球局の条件	19
3.3.1	送信装置	20
3.3.2	受信装置	21
3.3.3	空中線	21
4	測定法	23

4.1	送信装置	23
V	検討結果	24
別表 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 構成員	25
別表 2	情報通信審議会 情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会作業班 構成員	26
別添	27

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 82 号「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」（平成 7 年 9 月 25 日）のうち「L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る技術的条件」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 1 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 2 のとおりである。

III 検討経過

「L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る技術的条件」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 33 回（平成 29 年 6 月 27 日）

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 35 回（平成 30 年 10 月 12 日）

作業班から、「L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る技術的条件」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。〈予定〉

(3) 第 36 回（平成 30 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。〈予定〉

2. 作業班

(1) 第 10 回（平成 29 年 6 月 29 日）

作業班の運営方針、検討体制について説明が行われ、調査の進め方等について検討を行った。また、L 帯非静止衛星高度化システムの世界動向等の紹介が行われた。

(2) 第 11 回（平成 30 年 1 月 18 日）

L 帯非静止衛星高度化システムの最新状況の紹介及び電波天文との調整状況に関する報告が行われた。

(3) 第 13 回（平成 30 年 8 月 27 日）

電波利用料財源技術試験事務による調査結果の報告を受け、周波数共用条件等について検討を行った。

(4) 第 14 回（平成 30 年 10 月 5 日）

「L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る技術的条件」に関する作業班報

告（案）について検討を行った。

また、本件に関しては検討の促進を図るため、電波利用料財源技術試験事務による調査検討を実施し、「L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る周波数共用技術に関する調査検討会」（主査：三次仁 慶應義塾大学環境情報学部 教授）を開催し、技術的条件（素案）を検討した。

IV 検討概要

1 システム概要

移動衛星通信システムは、同報性、広域性、耐災害性等の移動衛星通信システム固有の特徴を有するほか、陸上、海上、上空、離島等での通信手段として、平時に加えて災害時において重要な役割を果たしている。平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災等においても、地震や津波の影響を受けにくい移動衛星通信システムは、被災地における通信確保に必要不可欠な状況となった。

我が国においては、L 帯 (1.5/1.6GHz 帯)、S 帯 (2GHz 帯、2.5/2.6GHz 帯)、Ku 帯 (12/14GHz 帯)、Ka 帯 (20/30GHz 帯) 等を用いた移動衛星通信サービスが複数の事業者により提供されており、サービスの多様化、通信料金の低廉化が進んできている。

L 帯を用いた非静止衛星システムは、平成 7 年よりその技術的な検討が行われ、電気通信技術審議会において「1,600MHz 帯で TDMA 方式/FDMA 方式をサービスリンクに使用するシステムの技術的条件」について一部答申 (平成 9 年 4 月 24 日) を行った。これを受け、平成 10 年より我が国においてイリジウムシステムによるサービス提供が開始されている。

イリジウムシステムは、1987 年にモトローラにより提唱された、低軌道周回衛星を利用したグローバルな移動体衛星通信システムであり、極域を含めた全世界に音声・データ通信サービスを提供する。図 1-1 に、イリジウムシステムのイメージ、図 1-2 にイリジウムシステムの構成を示す。イリジウムシステムは、地球上の 6 つの極軌道 (南北方向の軌道) を高度 780km の低軌道で周回 (周期約 100 分) する。それぞれの軌道に各 11 機ずつ、計 66 機の衛星が配置されている。各衛星は 48 個のスポットビーム (直径約 400km) を照射し、全てのスポットビームはオーバーラップしてカバレッジを確保している。また、ビームからビームの間、衛星から衛星の間は音声通話、データ通信のハンドオーバを可能としている。衛星間通信により宇宙部分でネットワークが構成され、これらの衛星ネットワークを経由して、イリジウム端末と地上の公衆回線との間の通信が行われる。

イリジウムシステムは、従来から運用されているシステムとの互換性を保ちつつ、次世代の高度化システムへの移行が計画され、2017 年以降順次打上げが実施されている。高度化システムは、通信速度の高速化が実現されると共に、ITU、ICAO 及び IMO 等の国際機関において議論が活発化している、船舶、航空機等の遭難・安全通信等への活用が計画されている。

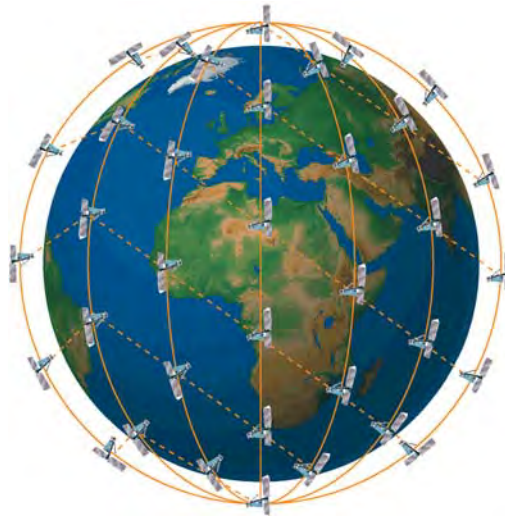


図 1-1 イリジウムシステムのイメージ

出所) Iridium社 Web サイト

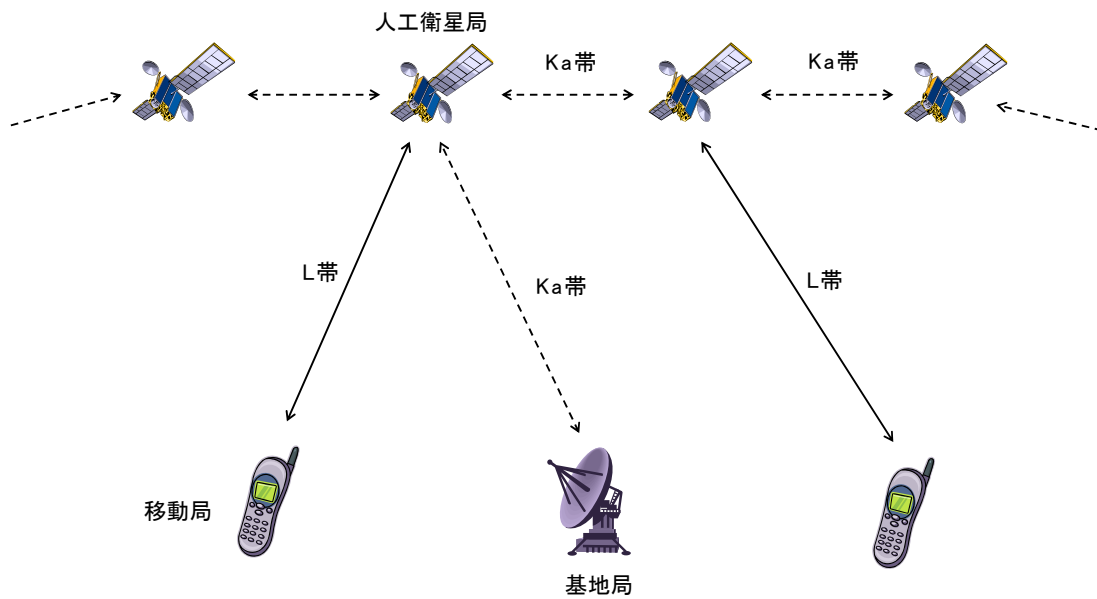


図 1-2 イリジウムシステムの構成

1.1 提供されるサービス

イリジウム高度化システムであるイリジウムネクストでは、以下のようなサービスの提供を計画している。

- 音声系サービス
 - 音声通話：4.8kbps(ハイクオリティ)、2.4kbps(スタンダードクオリティ)
- データ系サービス

- ショートバーストデータ、イリジウムバースト
- イリジウムネクスト LBT データ：2.4kbps（上り/下り）、22-88kbps（上り/下り）
- ブロードバンド：88 kbps（上り/下り）、176kbps（上り/下り）、352kbps（上り/下り）、352kbps（上り）/700kbps（下り）、512kbps（上り）/1.4Mbps（下り）
- ストリーミング IP データ：56kbps、128kbps、256kbps

1.2 利用形態

L 帯高度化システムは、陸上、海上、航空における音声・データ通信に利用される。特に航空分野では、遭難・安全通信への適用が計画されている。主な利用シーンを以下に示す。

- 利用シーン[1]：携帯電話不感地帯での通信
山間部や海上など、携帯電話や Wifi 等の電波が届かないエリアにおいて、衛星電話端末やポータブル端末により音声通話やショットメッセージ・電子メール送受信、Web サイト閲覧等を行う。

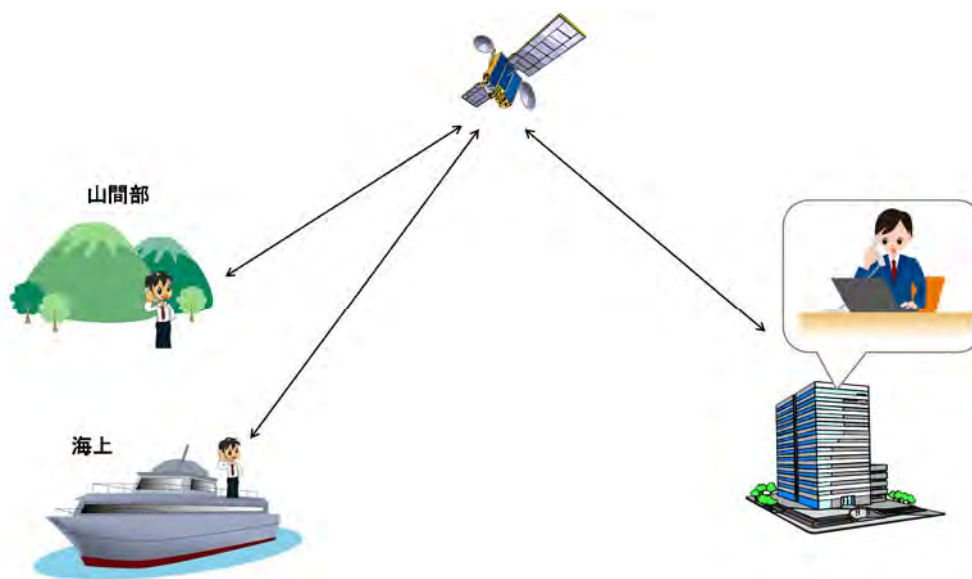


図 1-3 携帯電話不感地帯での通信利用のイメージ

- 利用シーン[2]：IoT 利用
建設機器や車両、船舶等に小型端末を装着し、位置や稼働状態等の情報を送信し管理に利用する。また、海上や森林、農地等に各種センサと共に小型端末を設置し、センサ情報を送信する。

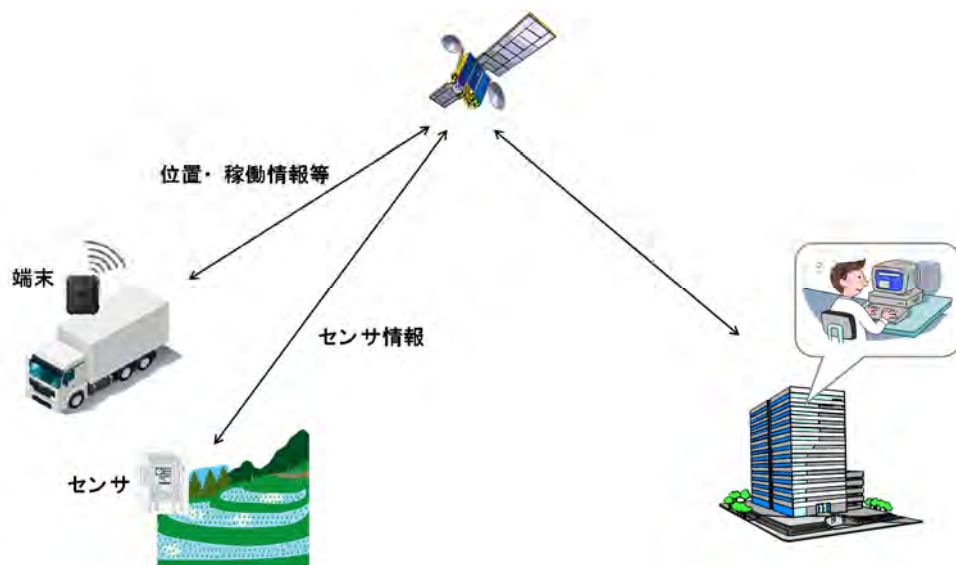


図 1-4 IoT利用のイメージ

- 利用シーン[3]：航空利用
航空機搭載用端末を用いて、航空管制用の音声通話や遭難・安全に関するデータ通信等を行う。



図 1-5 航空利用のイメージ

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

L帯高度化システムは、1618.25MHz から 1626.5MHz を使用し、従来システムより 3.1MHz 拡張して使用する。

我が国におけるL帯の周波数使用状況を図 2-1 に示す。

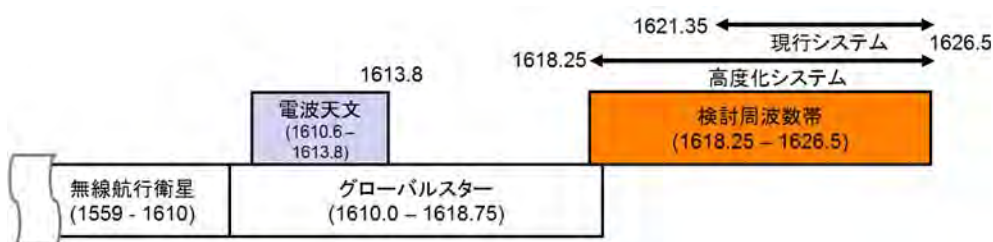


図 2-1 我が国におけるL帯の周波数使用状況

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、電波天文業務を対象に干渉検討を行った。

なお、使用周波数の拡張に伴い、本システムと同周波数帯を利用するシステムとして、衛星へのアップリンクで同周波数帯を使用する移動衛星通信システムであるグローバルスターが存在する。本システム及びグローバルスターは、共に WARC-92 において非静止衛星を利用する移動衛星業務（地球から宇宙）のサービスリンク用周波数として割り当てられた 1610.0MHz から 1626.5MHz を用いて運用するものであるが、実際の運用にあたっては、双方にとって影響がないように当事者間で混信回避の調整が図られることにより共用が可能であることから、本システムの干渉検討の対象外とした。

2.2 電波天文業務（1.6GHz 帯）との周波数共用

2.2.1 電波天文業務（1.6GHz 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。周波数共用検討の対象とした電波天文台を表 2-1 に示す。

表 2-1 共用検討対象の電波天文台

電波天文台	位 置
JAXA 白田宇宙空間観測所	138°21'54", 36°07'44"
NICT 鹿島宇宙技術センター	140°39'36", 35°57'21"
国立天文台野辺山宇宙電波観測所	138°28'21", 35°56'40"

2.2.2 陸上・船舶用地球局に関する共用検討

2.2.2.1 検討に用いた主要諸元

高度化システム端末と電波天文台との干渉はスプリアス領域での干渉となる。高度化システム端末のスプリアス領域での不要発射の強度は、英国にて測定した実測の最悪値を用いた。表 2-2 にスプリアス領域での不要発射の実測値と、参考として同周波数帯でのスプリアス領域の不要発射の強度を規定した ITU-R 勧告 M.1343-1 の値を示す。

表 2-2 高度化システム端末のスプリアス領域での不要発射の強度

実測値	参考値 (ITU-R 勧告 M.1343-1 Annex1, Table2)
-87.9 dBW/100kHz	-56dBW/30kHz (Carrier on) -77dBW/100kHz (Carrier off)

電波天文台が許容する不要波の強度の閾値は、ITU-R 勧告 RA.769-2 に示されている。その値を表 2-3 に示す。

表 2-3 電波天文台が許容する不要波の強度

周波数	周波数帯幅	許容値
1612 MHz	20 kHz	-220 dBW

出所) ITU-R 勧告 RA.769-2, Table2 (観測時間 2000 秒の場合)

表 2-2 及び表 2-3 より高度化システム端末のスプリアス領域での不要発射が電波天文台の閾値を満足するための所要改善量は表 2-4 に示すとおりとなる。

表 2-4 2.2.2 陸上・船舶用地球局の所要改善量

	スプリアス領域での不要発射の強度	所要改善量
実測値	-138dBW/Hz	125 dB
参考値 (ITU-R 勧告 M.1343-1)	-101 dBW/Hz (Carrier on)	162 dB
	-127 dBW/Hz (Carrier off)	136 dB

2.2.2.2 シミュレーション

表 2-4 に示す所要改善量を満足するために必要な離隔距離を電波伝搬シミュレーションにより計算する。

離隔距離の計算には ITU-R 勧告 P.452-16 による電波伝搬モデルを用い、天文台付近の地形を考慮した場合と、考慮しない場合の 2 種類で行った。

(1) 地形を考慮しない場合

標高 0m を想定し、JAXA 臼田宇宙空間観測所及び国立天文台野辺山宇宙電波観測所は陸上、NICT 鹿島宇宙技術センターは海上に面しているとした。周波数は 1,612GHz、アンテナ高は電波天文台が 35m、高度化システム端末は 1.5m とした。シミュレーション結果を図 2-2 に、離隔距離を表 2-5 に示す。

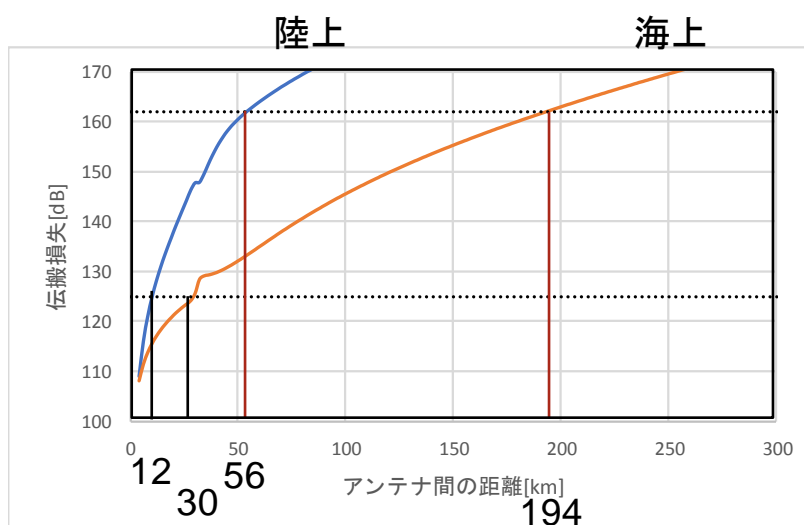


図 2-2 シミュレーション結果

表 2-5 電波天文台との離隔距離

	不要発射の強度	所要改善量	離隔距離
実測値	-138dBW/Hz	125dB	12km (陸上) 30km (海上)
ITU-R 勧告 M.1343-1	-101dBW/Hz	162dB	56km (陸上) 194km (海上)

(2) 地形を考慮した場合

国土地理院数値地図 250m メッシュ (標高) より 500m メッシュの地形データを作成し、電波天文台の周囲 360 度を 1 度間隔、電波天文台から 500km までを 500m 間隔で伝搬損失を ITU-R 勧告 P.452-16 による電波伝搬モデルを用いて計算した。離隔距離は、500km より電波天文台方向に向かって初めて伝搬損失が所要改善量を下回った位置とした。各天文台での計算結果を図 2-3～図 2-5 に示す。

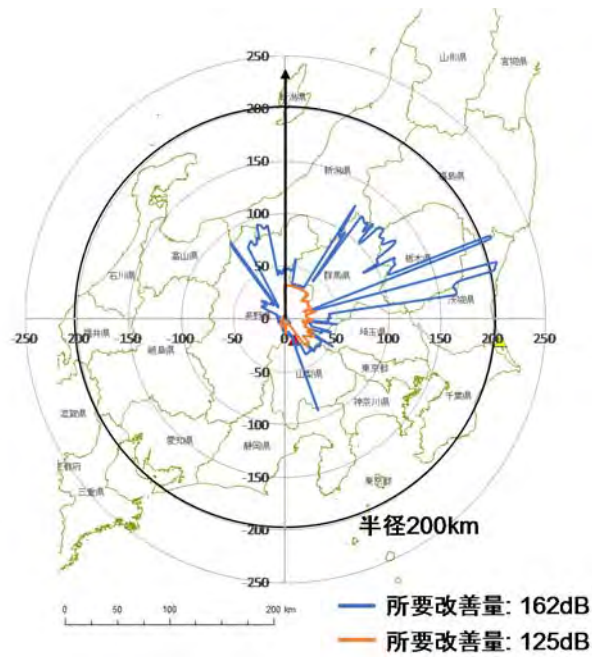


図 2-3 JAXA 白田宇宙空間観測所

出所) 国土地理院発行の数値地図(国土基本情報)、ESRI ジャパンの全国市区町村界データより

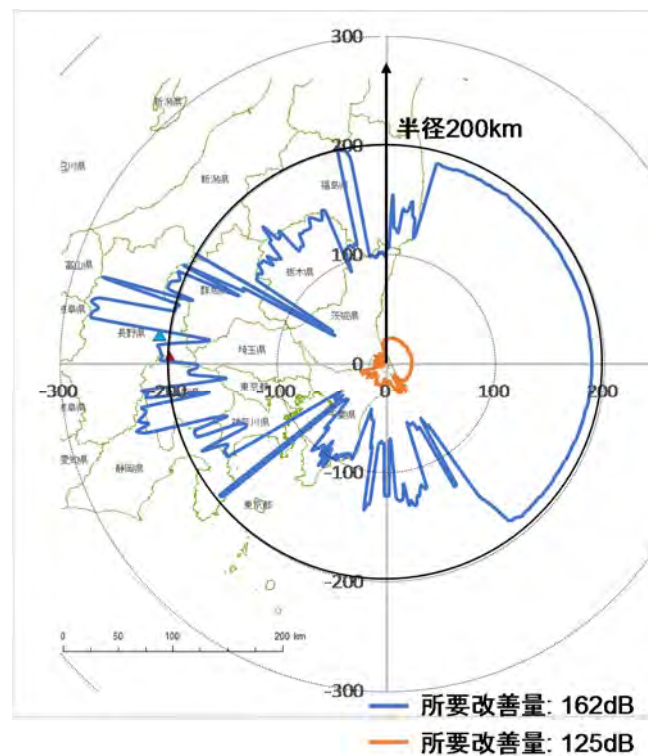


図 2-4 NICT 鹿島宇宙技術センター

出所) 国土地理院発行の数値地図(国土基本情報)、ESRI ジャパンの全国市区町村界データより

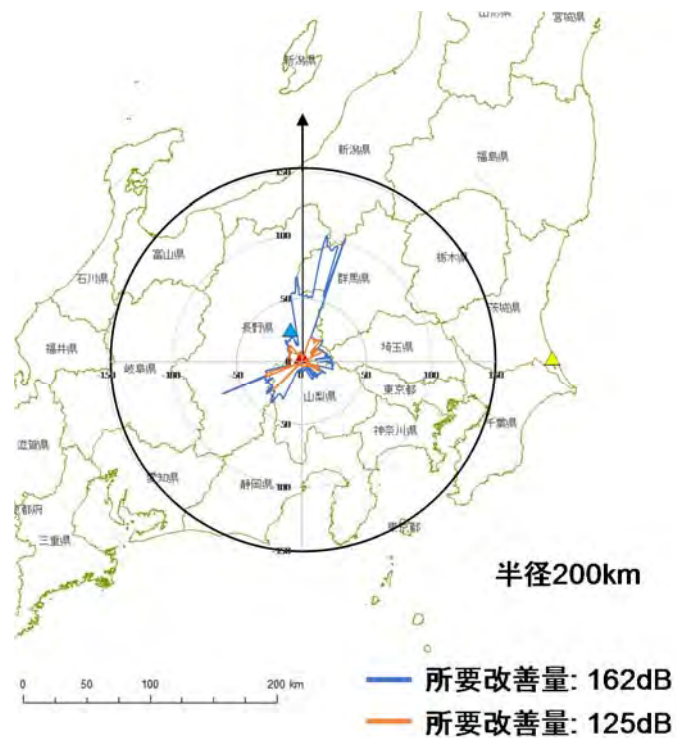


図 2-5 国立天文台野辺山宇宙電波観測所

出所) 国土地理院発行の数値地図(国土基本情報)、ESRI ジャパンの全国市区町村境界データより

以上より離隔距離の計算結果を表 2-6 に示す。

表 2-6 電波天文台との離隔距離

電波天文台	離隔距離[km]			
	実測値		(参考)ITU-R 勧告 M. 1343-1	
	地形無	地形有	地形無	地形有
JAXA 臼田宇宙空間観測所	12	1.5 - 32.0	56	5.5 - 212.0
NICT 鹿島宇宙技術センター	30	2.5 - 31.0	194	44.0 - 277.5
国立天文台野辺山宇宙電波観測所	12	2.0 - 32.0	56	5.0 - 102.5

表 2-6 の検討結果は ITU-R 勧告 RA. 769-2 に示されている閾値を満足するための離隔距離であるが、ITU-R 勧告 RA. 1513-2 では 2%以下のデータ損失を許容している。

現行システムにおいて、臼田及び鹿島周辺での通信時間のピークにおいても 2000 秒内の発信時間の合計は 2%以下であることが示されている。そのため、高度化システム端末数の大幅な増加がなく、2%以下のデータ損失が担保される場合には、離隔距離を設定する必要はないといえる。

2.2.3 航空機用地球局に関する共用検討

2.2.3.1 検討に用いた主要諸元

高度化システム端末を航空機に搭載した場合の電波天文台との共用検討を行う。「2.2.2 陸上・船舶用地球局に関する共用検討」と同様に高度化システム端末のスプリアス領域での不要発射の強度を表 2-2 の実測値、電波天文台が許容する不要波の強度の閾値を表 2-3 とする。

航空機用地球局のアンテナゲインを 0dBi とする。航空機用地球局のアンテナは航空機の機体上部に取り付けられており、飛行中アンテナと電波天文台とを結ぶ直線上に機体の一部が重なるため、この遮蔽効果を、17dB (B747 相当) と 25dB (B787 相当) とする¹。なおこれらの値は、アンテナが航空機内に設置された場合であり、機体素材であるアルミニウム材、カーボン繊維複合材の遮蔽効果は 60dB 程度あるが、最悪の場合としてこれらの値を使用する。

以上より所要改善量を表 2-7 に示す。

表 2-7 航空機用地球局の所要改善量

スプリアス領域での 不要発射の強度①		電波天文台の閾値②	航空機の機体による 遮蔽効果③	所要改善量 (①-②-③)
実測値	-138dBW/Hz	-263dBW/Hz	17dB	108dB
			25dB	100dB
(参考) ITU-R 勧告 M.1343-1	-101dBW/Hz		17dB	145dB
			25dB	137dB

2.2.3.2 シミュレーション結果

表 2-7 に示す所要改善量を満足するために必要な離隔距離を電波伝搬シミュレーションにより計算する。離隔距離の計算には自由空間モデルを用いる。計算結果を表 2-8 に示す。

表 2-8 電波天文台との離隔距離

所要改善量		離隔距離
実測値	108dB	3.7km
	100dB	1.5km
(参考) ITU-R 勧告 M.1343-1	145dB	263km
	137dB	105km

¹ 2014年6月7日「5GHz帯無線アクセスシステム検討委員会作業班」第13回 資料 2014-作 13-11 より

NICT 鹿島宇宙技術センター付近を飛行する航空機は、直線距離で 3.9km 程度離れているため、離隔距離 3.7km を満たしている。

さらに、ITU-R 勧告 RA. 1513-2 による 2%以下のデータ損失を許容すると、2000 秒の観測時間の 2%は 40 秒となり、その間の航空機の飛行距離は 4.72km となる。直線距離で 3.9km、水平距離 2.36km (飛行距離 4.72km の 1/2) より NICT 鹿島宇宙技術センターと航空機との距離は 4.5km 程度以上となり、離隔距離を満たしている。

国立天文台野辺山宇宙電波観測所及び JAXA 臼田宇宙空間観測所付近の航空路では巡航高度 (約 10km) で飛行しているため、離隔距離を満たしている。

2.2.4 検討結果のまとめ

陸上・船舶用地球局と電波天文台では、高度化システム端末のスプリアス領域での不要発射強度の実測値をもとに離隔距離を計算すると、概ね 30km の範囲を避ければ共用可能となる。

ただし、現行システムにおける発信数においても 2%のデータ損失に達していないため、高度化システムにおいても 2%以下のデータ損失が担保される場合には、離隔距離を設定する必要はない。

航空機用地球局と電波天文台では、高度化システム端末のスプリアス領域での不要発射強度の実測値をもとに離隔距離を計算すると、3.7km 以上離れれば共用可能となる。ただし航路が一番近い NICT 鹿島宇宙技術センター付近においてもこの距離を満たしているため、航空機用地球局に離隔距離を設ける必要はない。

3 無線設備の技術的条件

L帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る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。具体的には以下の通りとすることが適当である。

3.1 一般的条件

3.1.1 必要な機能

- (1) 携帯基地地球局の無線設備は、電気通信回線設備と接続ができるものであること。
- (2) 携帯移動地球局が通話のために使用する周波数は、携帯基地地球局の制御信号により自動的に選択されるものであること。

3.1.2 適用周波数帯

適用周波数帯は、1,618.25MHz～1,626.5MHzの周波数を使用することが適当である。なお、運用に当たっては、無線通信規則による国際調整結果を遵守すること。

3.1.3 多元接続方式

L帯高度化システムの仕様としては、周波数分割多元接続方式と時分割多元接続方式を組み合わせた接続方式とし、TDD (Time Division Duplex) 方式により、同一周波数帯の中で上りチャンネルと下りチャンネルを共用することとされているが、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。

3.1.4 通信方式

複信方式とすることが適当である。

3.1.5 変調方式

L帯高度化システムの仕様としては、QPSK方式、16APSK方式とされているが、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。

3.1.6 その他

(1) セキュリティ対策

セキュリティ方式の技術動向及び標準化動向を勘案し、不正使用を防止するための携帯移動地球局装置固有の番号の付与、認証手順の適用並びに通信情報に対する秘匿を必要に応じて講ずることが望ましい。

(2) 人体への影響対策

電波防護指針を満足することが適当である。また、人が手で保持して使用する端末については、無線設備規則第 14 条の 2 に基づき、人体（頭部及び両手を除く。）の比吸収率を 2W/kg（四肢は 4W/kg）以下、人体頭部の比吸収率を 2W/kg とすることが適当である。

3.2 携帯移動地球局の条件

3.2.1 送信装置

(1) 等価等方輻射電力（EIRP）

システム設計の柔軟性の観点から、EIRP については特に規定しないことが適当である。

無線通信規則では、1610～1626.5MHz における EIRP の平均電力密度は-3dBW/4kHz に制限されている。携帯移動地球局のバースト内の最大電力は 7W（空中線出力）であるが、EIRP の平均電力密度は、この制限値内で運用される。また、電力制御により、最大出力から 12dB までの範囲を 1dB ステップで電力制御を行い、必要最小限の EIRP で運用される。

(2) 空中線電力の許容偏差

無線設備規則第 14 条に基づき、上限 50%、下限 50%とすることが適当である。

(3) 周波数の許容偏差

無線設備規則第 5 条別表第一号注 43(1)に基づき、 30×10^{-6} とすることが適当である。

なお、平成 9 年電気通信技術審議会答申「1600MHz 帯で TDMA/FDMA 方式をサービスリンクに使用するシステムの技術的条件」に関する移動衛星通信システム委員会報告によれば、当該システムの周波数の許容偏差について、以下のように記述されている。

ドップラーシフトによる周波数変動を考慮し、 30×10^{-6} とすることが適当である。無線設備規則第 5 条に規定されている 470MHz を超え 2,450MHz 以下の電波を使用する地球局及び宇宙局の周波数の許容偏差は、 20×10^{-6} と規定されているが、この規定値ではドップラーシフトによる変動分を許容することができない。審議対象システムのサービスリンクの最大ドップラーシフトは 37.5kHz であり、これに携帯移動地球局の周波数追従精度 5kHz を加えると、キャリア周波数に対して 42.5kHz の周波数変動することとなる。これは、キャリア周波数に対して 26.3×10^{-6} (=42.5kHz/1.616GHz) に相当する。したがって、周波数の許容偏差は、 26.3×10^{-6} が必要である。

(4) 占有周波数帯幅の許容値

L 帯高度化システムの仕様としては、占有周波数帯幅は 590kHz 以下とされているが、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、特に限定しないことが適当である。

(5) 送信速度

L 帯高度化システムの仕様としては、送信速度は 1920kbps 以下とされているが、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、特に限定しないことが適当である。

(6) 不要発射の強度の許容値

無線設備規則第 7 条及び平成 17 年総務省告示第 1228 号に基づき、以下の通りとすることが適当である。

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 帯域外領域のスプリアス発射の許容値

下図に示す許容値を超えないこと。

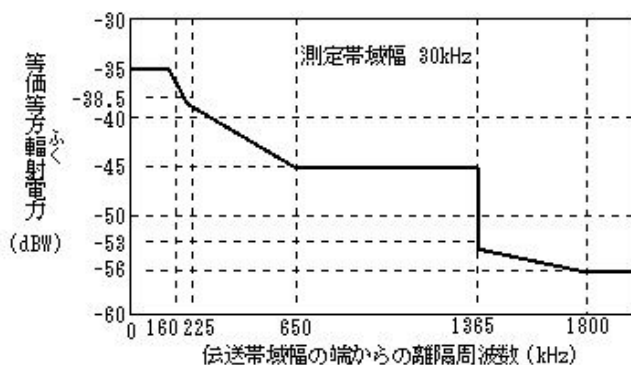


図 3-1 帯域外領域のスプリアス発射の許容値

(7) 搬送波を送信していないときの電力レベル

搬送波を送信していないときの EIRP の許容値は、ITU-R 勧告 M. 1343 を考慮し、下表の通りとすることが適当である。

表 3-1 搬送波を送信していないときの EIRP の許容値

周波数 (MHz)	EIRP (dBW)	測定帯域幅 (kHz)
0.1~30	-87 以下	10
30~1,000	-87 以下	100
1,000~12,750	-77 以下	100

(8) 電波の自動発射停止機能

ITU-R 勧告 M.1343 を考慮し、故障を検出する機能を有し、故障を検出した場合は検出後 1 秒未満の間に自動的に電波の送信を停止する機能を有することが適当である。

3.2.2 受信装置

(1) 副次的に発射する電波等の強度

携帯移動地球局は、送信装置と受信装置が一体（送信／受信空中線も共用）のものが一般的であり、また、空中線接続端子を有しないケースも想定される。このため、受信装置単体から（送信装置の電源を断とした状態で）副次的に発する電波等の強度（空中線出力）を意味する本値を厳密に測定することは實際上困難と考えられる。

一方、このケースにおいては、「搬送波を送信していないときの電力レベル（3.2.1（7）の項）」が、実質的に、受信機から副次的に発する電波等を重畳した値となることから、当該搬送波を送信していないときの電力レベルの規制値を規定しておけば、電波監理上、本値をあえて規定する必要がないものである。

このため、携帯移動地球局については、無線設備規則第 24 条の規定を除外することが適当である。

3.2.3 空中線

(1) 放射特性

ITU-R においても低・中利得用携帯移動地球局空中線の参照放射特性については勧告化がされていないので、特に規定しないことが適当である。

(2) 送信空中線の最小仰角

電波法施行規則第三十二条に基づき、送信空中線の最大輻射の方向の仰角の値は、水平面から三度以上とすることが適当である。

(3) 偏波

偏波は、右旋円偏波とすることが適当である。

3.3 航空機地球局の条件

航空機地球局の無線設備は、国際民間航空機関（ICAO）その他の国際標準に適合する必要がある。具体的な技術的条件としては、航空技術諮問機関（RTCA）DO-262C に基づき、携帯移動地球局の条件に加え、以下の通りとする。

なお、航空機地球局の種類を下表の通り定義する。

表 3-2 航空機地球局の種類

航空機地球局の種類	概要
AES1	Short Burst Data(SBD) トランシーバ 1 つと、Passive Low Gain Antenna (LGA) 1 つで構成
AES2	L 帯トランシーバ 1、2 つと、Passive LGA 1 つで構成
AES3	SBD および／または L 帯トランシーバ 2 つ以上と、Passive LGA 1 つで構成

3.3.1 送信装置

(1) パワーハンドリング性能

シングルキャリアユニットの場合は、最大の個別キャリア出力の規定に基づき、個別キャリアのバースト出力に対し十分なものであることが必要である。マルチキャリアユニットの場合は、最大の個別キャリア出力の規定に基づき、最大数の個別データキャリアもしくは個別音声キャリアの出力に対し十分なものであることが必要である。

具体的には、以下の通りとすることが適当である。

- AES1、AES2 の場合：20W CW のハンドリング性能を有すること。
- AES3 の場合：最大の送信キャリア数に応じ設計すること。

(2) アンテナ電圧定在

アンテナ電圧定在比の上限を 1.8:1 とすることが適当である。

(3) 等価等方輻射電力 (EIRP)

EIRP の上限を 9dBW、下限を-4dBW とすることが適当である。また、送受信機からの送信バースト時間内の平均 EIRP は、アンテナ利得より 15dBW 低い値を超えないことが適当である。

(4) 電力制御

以下のバックオフレンジ内／ステップサイズ以下で、いかなる個別キャリアによる放射電力レベルを制御する能力を有することが適当である。

- バックオフレンジ：8dB
- ステップサイズ：1dB (AES2、AES3 のみに適用)

(5) 送信性能

800 ノット (1480 km/h) 以下の飛行速度において運用可能であることが適当である。

3.3.2 受信装置

(1) 受信感度

許容可能なノイズレベルについては、ノイズの種類に応じ以下の通りとすることが適当である。

- ワイドバンドの場合
 - -124dBm@200kHz
- ナローバンドの場合
 - -121dBm@CW (同一チャネルのノイズ)
 - -106dBm@CW (隣接チャネルのノイズ)
 - -66dBm@CW (10 チャネル離れたチャネルのノイズ)

(2) パケット誤り率

パケット誤り率は、 1×10^{-6} 以下とすることが適当。

(3) 干渉排除

0.95×1616MHz～1.05×1626.5MHz の帯域を除く、470～18,000MHz の帯域において、-10dBm の干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できることが適当である。

また、同じ機内に他の AMS (R) S 装置が無い場合は、1626.5～1660.5MHz の帯域において、-96dBm の CW 干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できることが適当である。同じ機内に他の AMS (R) S 装置がある場合は、1626.5～1660.5MHz の帯域において、-2dBm の CW 干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できることが適当である。

(4) 受信性能

800 ノット (1480 km/h) 以下の飛行速度において運用可能であることが適当である。

3.3.3 空中線

(1) アンテナ利得

アンテナ利得は、以下の通りとすることが適当である。

- 最小値：-2 (Weighted dBic)
- 最大値：3 (Weighted dBic)

(2) 軸比

軸比は、2.5dB 以下とすることが適当である。

(3) 送信空中線の最小仰角

最小仰角 8°から仰角 90°の範囲において、アンテナの偏波、アンテナ利得、軸比の条件を満たすことが適当である。

(4) キャリア電力とマルチパス電力の差分

規定の最小仰角における最小アンテナ利得と地平線から同仰角分下がったところにおける最大アンテナ利得間のデシベル差は、最小キャリア-マルチパス差よりも大きいことが適当である。

また、最小キャリア-マルチパス差は、3dB よりも大きいことが適当である。

4 測定法

本システム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通りとすることが望ましい。

4.1 送信装置

送信装置の測定法として、標準符号化試験信号(符号長 511 ビット 2 値疑似雑音系列等)を変調信号として、以下のとおりとすることが適当である。

(1) 空中線電力

バースト波にあっては、バースト繰り返し周期よりも十分、時定数が大きい電力計で測定した値に送信時間率の逆数を乗じる、又はピークパワーメータ若しくはスペクトラムアナライザを用いてバースト内の平均電力を測定する。連続波にあっては、その平均値を同様にして測定する。

(2) 周波数

バースト波にあっては、バースト内の平均値を、連続波にあっては、その平均値を周波数系又はスペクトラムアナライザで測定し、許容偏差から実際の運用において想定される最大のドップラーシフト分を差し引いた範囲内に入っていることを確認する。

(3) スプリアス発射又は不要発射の強度

バースト波にあっては、バースト内の平均電力をスペクトラムアナライザを用い、規定の測定帯域幅に設定して測定する。連続波にあっては、その平均値を同様にして測定する。

(4) 占有周波数帯幅

スペクトルアナライザを用いて電力分布を測定し、全電力の 0.5%となる上下の限界周波数点を求め、その差を占有周波数帯幅とする。

(5) 搬送波を送信していないときの電力レベル

規定の設定条件としたスペクトラムアナライザで測定する。この場合、携帯移動地球局の設備にあっては、送信装置と一体となった受信装置を受信状態とし、かつ、非通信中の状態で測定する。

V 検討結果

「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「L帯を用いた非静止衛星システム高度化の技術的条件」について、別添の通り答申（案）を取りまとめた。

別表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 構成員

氏 名	所 属
主査委員 安藤 真 <small>あんどう まこと</small>	独立行政法人 国立高等専門学校機構 理事
主査代理 専門委員 井家上 哲史 <small>いけがみ てつし</small>	明治大学 理工学部 教授
委員 森川 博之 <small>もりかわ ひろゆき</small>	東京大学大学院 工学系研究科 教授
専門委員 有木 節二 <small>ありき せつじ</small>	一般社団法人 電気通信事業者協会 専務理事
〃 碓井 照子 <small>うすい てるこ</small>	奈良大学 名誉教授
〃 梅比良 正弘 <small>うめひら まさひろ</small>	茨城大学 教授・副工学部長
〃 片山 泰祥 <small>かたやま やすよし</small>	一般社団法人 情報通信ネットワーク産業協会 専務理事
〃 加藤 寧 <small>かとう ねい</small>	東北大学 電気通信研究機構 機構長
〃 門脇 直人 <small>かどわき なおと</small>	国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事
〃 庄司 るり <small>しょうじ るり</small>	東京海洋大学 海洋工学系 教授
〃 舘 和夫 <small>たち かずお</small>	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 理事補佐
〃 松井 房樹 <small>まつい ふさき</small>	一般社団法人 電波産業会 専務理事・事務局長
〃 三浦 佳子 <small>みうら よしこ</small>	消費生活コンサルタント
〃 三神 泉 <small>みかみ いずみ</small>	一般財団法人 衛星測位利用推進センター 専務理事

別表2 情報通信審議会 情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会作業班 構成員

氏名	主要現職
主任 藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授
主任代理 松井 房樹	一般社団法人 電波産業会 専務理事・事務局長
構成員 姉齒 章	双葉電子工業株式会社 企画開発部 主幹技師
〃 有木 節二	一般社団法人 電気通信事業者協会 専務理事
〃 市川 麻里	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長
〃 伊藤 信幸	日本無線株式会社 マリンシステム技術部 衛星通信グループ
〃 大島 浩	日本電気株式会社 宇宙システム事業部 シニアエキスパート
〃 小竹 信幸	一般財団法人 テレコムエンジニアリングセンター 技術部 部長
〃 加島 勝	一般社団法人 日本船主協会 海務部 副部長
〃 菊池 弘明	全日本空輸株式会社 整備センター技術部 マネージャー
〃 城戸 克也	日本航空株式会社 IT企画本部 IT運営企画部 海外IT・ネットワーク戦略グループ
〃 行田 弘一	芝浦工業大学 工学部 情報通信工学科 教授
〃 正源 和義	株式会社放送衛星システム 総合企画室 専任部長
〃 上馬 弘敬	三菱電機株式会社 通信情報システム部 衛通移動体プロジェクト部長
〃 城田 雅一	クアルコムジャパン株式会社 標準化部長
〃 関口 和浩	イリジウムコミュニケーションズ リージョナルディレクター
〃 中山 稔啓	株式会社フジテレビジョン 技術局 局次長
〃 拮石 康博	UQ コミュニケーションズ 渉外部 渉外グループマネージャー
〃 菱倉 仁	株式会社IPモーション ICT事業部 モバイルソリューショングループ チーフエンジニア
〃 福井 裕介	KDDI株式会社 技術統括本部 グローバルネットワーク・ オペレーションセンター 衛星通信グループ 課長補佐
〃 福本 史郎	ソフトバンク株式会社 渉外本部 標準化推進部 国際規格課 課長
〃 本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
〃 本間 希樹	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台 水沢VLBI観測所 所長・教授
〃 三浦 周	国立研究開発法人 情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク 総合研究センター 宇宙通信研究室 主任研究員
〃 三浦 俊二	株式会社NTTドコモCS 営業法人本部 衛星サービス事業部 衛星技術部 技術サポート担当部長
〃 村瀬 和也	スカパーJSAT株式会社 衛星技術本部 通信システム技術部 部長代行
〃 森 正幸	古野電気株式会社 船用機器事業部 営業企画部 担当部長
〃 横畑 和典	NHK放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員

電気通信技術審議会諮問第 82 号「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「L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る技術的条件」についての一部答申（案）

1 一般的条件

1.1 必要な機能

- (1) 携帯基地地球局の無線設備は、電気通信回線設備と接続ができるものであること。
- (2) 携帯移動地球局が通話のために使用する周波数は、携帯基地地球局の制御信号により自動的に選択されるものであること。

1.2 適用周波数帯

適用周波数帯は、1,618.25MHz～1,626.5MHz の周波数を使用することが適当である。なお、運用に当たっては、無線通信規則による国際調整結果を遵守すること。

1.3 多元接続方式

L 帯高度化システムの仕様としては、周波数分割多元接続方式と時分割多元接続方式を組み合わせた接続方式とし、TDD（Time Division Duplex）方式により、同一周波数帯の中で上りチャンネルと下りチャンネルを共用することとされているが、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。

1.4 通信方式

複信方式とすることが適当である。

1.5 変調方式

L 帯高度化システムの仕様としては、QPSK 方式、16APSK 方式とされているが、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。

1.6 その他

(1) セキュリティ対策

セキュリティ方式の技術動向及び標準化動向を勘案し、不正使用を防止するための携帯移動地球局装置固有の番号の付与、認証手順の適用並びに通信情報に対する秘匿を必要に応じて講ずることが望ましい。

(2) 人体への影響対策

電波防護指針を満足することが適当である。また、人が手で保持して使用する端末については、無線設備規則第 14 条の 2 に基づき、人体（頭部及び両手を除く。）の比吸収率を 2W/kg（四肢は 4W/kg）以下、人体頭部の比吸収率を 2W/kg とすることが適当である。

2 携帯移動地球局の条件

2.1 送信装置

(1) 等価等方輻射電力（EIRP）

システム設計の柔軟性の観点から、EIRP については特に規定しないことが適当である。

無線通信規則では、1610～1626.5MHz における EIRP の平均電力密度は-3dBW/4kHz に制限されている。携帯移動地球局のバースト内の最大電力は 7W（空中線出力）であるが、EIRP の平均電力密度は、この制限値内で運用される。また、電力制御により、最大出力から 12dB までの範囲を 1dB ステップで電力制御を行い、必要最小限の EIRP で運用される。

(2) 空中線電力の許容偏差

無線設備規則第 14 条に基づき、上限 50%、下限 50%とすることが適当である。

(3) 周波数の許容偏差

無線設備規則第 5 条別表第一号注 43(1)に基づき、 30×10^{-6} とすることが適当である。

なお、平成 9 年電気通信技術審議会答申「1600MHz 帯で TDMA/FDMA 方式をサービスリンクに使用するシステムの技術的条件」に関する移動衛星通信システム委員会報告によれば、当該システムの周波数の許容偏差について、以下のように記述されている。

ドップラーシフトによる周波数変動を考慮し、 30×10^{-6} とすることが適当である。無線設備規則第 5 条に規定されている 470MHz を超え 2,450MHz 以下の電波を使用する地球局及び宇宙局の周波数の許容偏差は、 20×10^{-6} と規定されているが、この規定値ではドップラーシフトによる変動分を許容することができない。審議対象システムのサービスリンクの最大ドップラーシフトは 37.5kHz であり、これに携帯移動地球局の周波数追従精度 5kHz を加えると、キャリア周波数に対して 42.5kHz の周波数変動することとなる。これは、キャリア周波数に対して 26.3×10^{-6} (=42.5kHz/1.616GHz) に相当する。したがって、周波数の許容偏差は、 26.3×10^{-6} が必要である。

(4) 占有周波数帯幅の許容値

L 帯高度化システムの仕様としては、占有周波数帯幅は 590kHz 以下とされているが、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、特に限定しないことが適当である。

(5) 送信速度

L 帯高度化システムの仕様としては、送信速度は 1920kbps 以下とされているが、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、特に限定しないことが適当である。

(6) 不要発射の強度の許容値

無線設備規則第 7 条及び平成 17 年総務省告示第 1228 号に基づき、以下の通りとすることが適当である。

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 帯域外領域のスプリアス発射の許容値

下図に示す許容値を超えないこと。

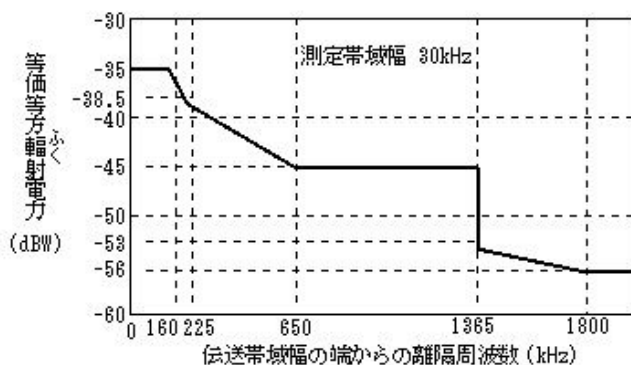


図 2-1 帯域外領域のスプリアス発射の許容値

(7) 搬送波を送信していないときの電力レベル

搬送波を送信していないときの EIRP の許容値は、ITU-R 勧告 M. 1343 を考慮し、下表の通りとすることが適当である。

表 2-1 搬送波を送信していないときの EIRP の許容値

周波数 (MHz)	EIRP (dBW)	測定帯域幅 (kHz)
0.1~30	-87 以下	10
30~1,000	-87 以下	100
1,000~12,750	-77 以下	100

(8) 電波の自動発射停止機能

ITU-R 勧告 M.1343 を考慮し、故障を検出する機能を有し、故障を検出した場合は検出後 1 秒未満の間に自動的に電波の送信を停止する機能を有することが適当である。

2.2 受信装置

(1) 副次的に発射する電波等の強度

携帯移動地球局は、送信装置と受信装置が一体（送信／受信空中線も共用）のものが一般的であり、また、空中線接続端子を有しないケースも想定される。このため、受信装置単体から（送信装置の電源を断とした状態で）副次的に発する電波等の強度（空中線出力）を意味する本値を厳密に測定することは實際上困難と考えられる。

一方、このケースにおいては、「搬送波を送信していないときの電力レベル（3.2.1（7）の項）」が、実質的に、受信機から副次的に発する電波等を重畳した値となることから、当該搬送波を送信していないときの電力レベルの規制値を規定しておけば、電波監理上、本値をあえて規定する必要がないものである。

このため、携帯移動地球局については、無線設備規則第 24 条の規定を除外することが適当である。

2.3 空中線

(1) 放射特性

ITU-R においても低・中利得用携帯移動地球局空中線の参照放射特性については勧告化がされていないので、特に規定しないことが適当である。

(2) 送信空中線の最小仰角

電波法施行規則第三十二条に基づき、送信空中線の最大輻射の方向の仰角の値は、水平面から三度以上とすることが適当である。

(3) 偏波

偏波は、右旋円偏波とすることが適当である。

3 航空機地球局の条件

航空機地球局の無線設備は、国際民間航空機関（ICAO）その他の国際標準に適合する必要がある。具体的な技術的条件としては、航空技術諮問機関（RTCA）DO-262C に基づき、携帯移動地球局の条件に加え、以下の通りとする。

なお、航空機地球局の種類を下表の通り定義する。

表 3-1 航空機地球局の種類

航空機地球局の種類	概要
AES1	Short Burst Data(SBD) トランシーバ 1 つと、Passive Low Gain Antenna (LGA) 1 つで構成
AES2	L 帯トランシーバ 1、2 つと、Passive LGA 1 つで構成
AES3	SBD および／または L 帯トランシーバ 2 つ以上と、Passive LGA 1 つで構成

3.1 送信装置

(1) パワーハンドリング性能

シングルキャリアユニットの場合は、最大の個別キャリア出力の規定に基づき、個別キャリアのバースト出力に対し十分なものであることが必要である。マルチキャリアユニットの場合は、最大の個別キャリア出力の規定に基づき、最大数の個別データキャリアもしくは個別音声キャリアの出力に対し十分なものであることが必要である。

具体的には、以下の通りとすることが適当である。

- AES1、AES2 の場合：20W CW のハンドリング性能を有すること。
- AES3 の場合：最大の送信キャリア数に応じ設計すること。

(2) アンテナ電圧定在

アンテナ電圧定在比の上限を 1.8:1 とすることが適当である。

(3) 等価等方輻射電力 (EIRP)

EIRP の上限を 9dBW、下限を-4dBW とすることが適当である。また、送受信機からの送信バースト時間内の平均 EIRP は、アンテナ利得より 15dBW 低い値を超えないことが適当である。

(4) 電力制御

以下のバックオフレンジ内／ステップサイズ以下で、いかなる個別キャリアによる放射電力レベルを制御する能力を有することが適当である。

- バックオフレンジ：8dB
- ステップサイズ：1dB (AES2、AES3 のみに適用)

(5) 送信性能

800 ノット (1480 km/h) 以下の飛行速度において運用可能であることが適当である。

3.2 受信装置

(1) 受信感度

許容可能なノイズレベルについては、ノイズの種類に応じ以下の通りとすることが適当である。

- ワイドバンドの場合
 - -124dBm@200kHz
- ナローバンドの場合
 - -121dBm@CW (同一チャネルのノイズ)
 - -106dBm@CW (隣接チャネルのノイズ)
 - -66dBm@CW (10 チャネル離れたチャネルのノイズ)

(2) パケット誤り率

パケット誤り率は、 1×10^{-6} 以下とすることが適当。

(3) 干渉排除

0.95×1616MHz～1.05×1626.5MHz の帯域を除く、470～18,000MHz の帯域において、-10dBm の干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できることが適当である。

また、同じ機内に他の AMS (R) S 装置が無い場合は、1626.5～1660.5MHz の帯域において、-96dBm の CW 干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できることが適当である。同じ機内に他の AMS (R) S 装置がある場合は、1626.5～1660.5MHz の帯域において、-2dBm の CW 干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できることが適当である。

(4) 受信性能

800 ノット (1480 km/h) 以下の飛行速度において運用可能であることが適当である。

3.3 空中線

(1) アンテナ利得

アンテナ利得は、以下の通りとすることが適当である。

- 最小値：-2 (Weighted dBic)
- 最大値：3 (Weighted dBic)

(2) 軸比

軸比は、2.5dB 以下とすることが適当である。

(3) 送信空中線の最小仰角

最小仰角 8°から仰角 90°の範囲において、アンテナの偏波、アンテナ利得、軸比の条件を満たすことが適当である。

(4) キャリア電力とマルチパス電力の差分

規定の最小仰角における最小アンテナ利得と地平線から同仰角分下がったところにおける最大アンテナ利得間のデシベル差は、最小キャリア-マルチパス差よりも大きいことが適当である。

また、最小キャリア-マルチパス差は、3dB よりも大きいことが適当である。

4 測定法

本システム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通りとすることが望ましい。

4.1 送信装置

送信装置の測定法として、標準符号化試験信号（符号長 511 ビット 2 値疑似雑音系列）を変調信号として、以下のとおりとすることが適当である。

(1) 空中線電力

バースト波にあっては、バースト繰り返し周期よりも十分、時定数が大きい電力計で測定した値に送信時間率の逆数を乗じる、又はピークパワーメータ若しくはスペクトラムアナライザを用いてバースト内の平均電力を測定する。連続波にあっては、その平均値を同様にして測定する。

(2) 周波数

バースト波にあっては、バースト内の平均値を、連続波にあっては、その平均値を周波数系又はスペクトラムアナライザで測定し、許容偏差から実際の運用において想定される最大のドップラーシフト分を差し引いた範囲内に入っていることを確認する。

(3) スプリアス発射の強度

バースト波にあっては、バースト内の平均電力をスペクトラムアナライザを用い、規定の測定帯域幅に設定して測定する。連続波にあっては、その平均値を同様にして測定する。

(4) 占有周波数帯幅

規定の設定条件としたスペクトラムアナライザで測定する。

(5) 搬送波を送信していないときの電力レベル

規定の設定条件としたスペクトラムアナライザで測定する。この場合、携帯移動地球局の設備にあつては、送信装置と一体となった受信装置を受信状態とし、かつ、非通信中の状態で測定する。

参考資料

参考資料 1	衛星コンステレーションの動向	1
参考資料 2	イリジウムネクストの概要	3
参考資料 3	L 帯を用いた非静止衛星システムの高度化に係る周波数共用技術に関する調査 検討結果.....	8

参考資料1 衛星コンステレーションの動向

昨今の宇宙関連技術の発達と打ち上げコストの大幅な低廉化等を背景に、革新的な衛星システムの登場と同時に既存衛星システムの高度化が進んでいる。

非静止衛星については、低軌道（LEO：高度約 2000km 以下）及び中軌道（MEO：高度約 2000km 超約 36000km 未満）において数十機から数千機の衛星で構成される大規模なコンステレーションによる通信サービスが新たに複数計画されている。軌道面については赤道上加え、極軌道や傾斜軌道も計画されており、極域も含めた完全なグローバルカバレッジも可能である。高速サービスに加え、最小 20 ミリ秒程度の低遅延のサービス提供が期待される。これら新規衛星オペレータの参入に対抗して、既存の衛星オペレータも衛星を更新して高速大容量化・高品質化を進めている。

通信衛星コンステレーションが近年次々と開発・計画されている背景には、衛星に関する技術革新及び衛星を取り巻く事業環境の変化が挙げられる。すなわち従来の衛星通信サービスは音声通話サービスが大半で、また顧客の多くが緊急時・災害時の利用を想定しており、洋上を航行する遠洋漁船等にはコスト面から普及が十分には進んでいなかった。衛星本体の製造や打上げに多額のコストを要したことから、静止軌道に大型衛星を打ち上げて陸域及び近海を 1～数個のビームでカバーしてサービス提供するビジネスモデルが一般的であり、衛星を単体で運用していても特段問題は生じなかった。

昨今、国際化の進展で通信の相手方は全世界へと拡大し、また洋上船舶については衛星 AIS、航空機についてはグローバルフライトトラッキングといった衛星を用いた航行位置等追跡システムの実用化が WRC-15 で合意された。搭載機器の小型軽量化による超小型衛星の開発や衛星打上げコストの低廉化、さらに中・低軌道周回衛星による通信遅延の短縮（最小 20 ミリ秒程度）により、音声に加え映像その他のデータを、緊急時に加え平時にもビジネス用途の高信頼・ミッションクリティカルな通信サービスとして提供することが可能となった。こうした状況を受けて多数の衛星を一体的に運用して全世界に多様なサービスを包括的に提供する衛星システムが新たなビジネス分野として注目されたものと考えられる。

静止衛星でコンステレーションを構成する場合、赤道上空の静止軌道に同じ緯度間隔で複数の衛星を配置・連携させ、従来の先進国だけでなくアフリカや南米も含む、極域以外のほぼ全世界を対象としたサービスを提供することが一般的である。

現在計画されている主な衛星コンステレーションを表参 1-1 及び表参 1-2 に示す。非静止衛星（周回衛星）については、中軌道（MEO）又は低軌道（LEO）に投入される多数の衛星でコンステレーションを構成する計画が複数検討されている。中軌道では、既存の衛星オペレータや航空宇宙メーカーによる衛星コンステレーションが、楕円軌道のものも含めて計画されている。低軌道では、既存の衛星事業者に加えて新興オペレータによる計画が進んでおり、高度 1000 km 前後を数十機から最大数千機の衛星コンステレーションによってサービス提供することを予定している。極域も含む完全なグローバルカバレッジを実現するため、複数の極軌道や傾斜軌道にそれぞれ数機から数百機の周回衛星を配置したコンステレーションや、中軌道の周回衛星と静止衛星とのコンステレーションが検討されている。利用周波数については従来の L 帯、S 帯、C 帯に加え、Ku 帯や Ka 帯の使用が検討されており、将来的に V 帯を用いる計画もある。端末通信速度としては最大で数十 Mbps から 1Gbps 程度で、静止軌道より低い高度を周回する特徴を活用した低遅延（低

軌道で 20～30msec、中軌道で 150msec) の高速・高信頼サービスを提供する予定である。

表参 1-1 低軌道衛星コンステレーションの例

事業者名	OneWeb	SpaceX	LeoSat	Iridium (Iridium-Next)	Boeing (V帯)
衛星機数	882機	4425機以上	120-140機	66機	1396-2956機
軌道高度	約1200km	約1110km～約1325km	約1400km	約780km	軌道により異なるが、約1200kmまたは約1000km
製造者	Airbus Defence & Space	SpaceX	Thales Alenia Space	Thales Alenia Space	Boeing
利用周波数帯	Ku帯 Ka帯	Ku帯 Ka帯 ※この他に、V帯を利用する計画あり	Ka帯	L帯 Ka帯	V帯
レイテンシ	30ms以下	25-35ms	20ms以下	N/A	N/A
スループット	7.5 Gbps per satellite	17-23 Gbps per satellite	1.6 Gbps per link	N/A	N/A
通信速度	D/L: 50Mbps U/L: 25Mbps	1 Gbps per user	1.2 Gbps	D/L: 最大1.4Mbps U/L: 最大512kbps	D/L: 最低25Mbps U/L: 最低3Mbps
日本でのサービス展開予定	未定	未定 ※衛星の本格打上げ開始は2019年を予定	未定 ※当該衛星システムのサービス開始は2020年頃を計画	2019年度頃	未定

表参 1-2 中期道衛星コンステレーションの例

事業者名	O3b	ViaSat	Boeing (Ka帯)
衛星機数	O3bN ¹ : 24機、O3bI ² : 12機	24機	3コンステレーション、計60機
軌道高度	O3bN: 約8,400km O3bI: 約8062km	約8200km	27,355 - 4,422km ※楕円軌道
製造者	Thales Alenia Space	N/A	Boeing
利用周波数帯	Ka帯	Ka帯 V帯	Ka帯
レイテンシ	150ms以下	150ms	N/A
スループット	1.6Gbps per beam/ 84Gbps per 8 satellite	N/A	N/A
通信速度	バックホール向け: 1Gbps 船舶向け: 350Mbps	N/A	D/L: 最低25Mbps U/L: 最低3Mbps
日本でのサービス展開予定	未定 ※O3bNによるサービスは日本国外において提供中	未定	未定

1. 赤道上の周回軌道を利用したMEO衛星コンステレーション
2. 軌道傾斜角76度の2つの軌道を利用したMEO衛星コンステレーション

引用資料一覧

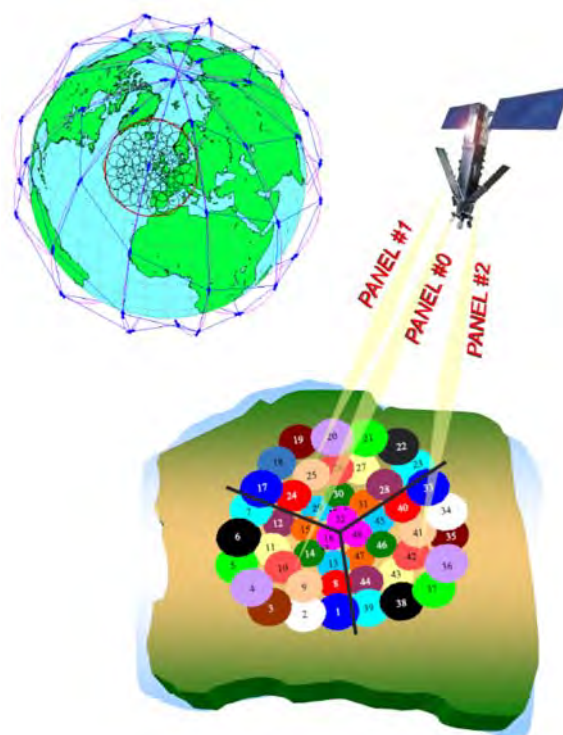
- 情報通信審議会 衛星通信システム委員会
「衛星を巡る諸問題に関する調査検討作業班 報告書」(平成 29 年 6 月 15 日)

参考資料2 イリジウムネクストの概要

1 イリジウムシステムの概要

イリジウム社は本社を米国に置き、現在は6つの低軌道（上空485マイル（780km））に66機の衛星を配置し、L帯での音声・データサービスを極域を含む全世界で提供している。2017年6月時点の契約端末台数は世界90万5千台となっている。

現行のイリジウムシステムは、図参2-1に示すとおり、1衛星には48個のスポットビームが含まれ、各スポットビームあたり直径250マイル（400km）をカバーしている。また各々の衛星が衛星間通信を行うことにより、極域も含めたグローバルなカバレッジを有するシステムとなっている。国内の利用周波数はL帯域の1621.35MHz～1626.5MHzとなっているが、海外では利用周波数帯が拡張され、1618.25MHz～1626.5MHzで運用されている。



図参2-1 イリジウムシステムにおける衛星カバレッジ

2 高度化システム（イリジウムネクスト）の概要

イリジウム社は2017年1月からプロジェクト名「イリジウムネクスト」として3000億円をかけて既存システムの高度化に取り組んでおり、2018年前半に全ての衛星を更新する予定である（75機打ち上げ、うち9機が軌道上予備、その他6機が地上予備）。高度化にあたり、現行サービスに加えて高品質の音声通話のほか低遅延のデータ収集サービス、及び通信速度最大1.4Mbpsのブロードバンドサービス等を提供するとしている。また、衛星には通信目的以外のペイロードも搭載可能であり、ADS-B（航空機の位置情報発信システム）を用いた衛星による航空機のグローバルな航路追跡サービスも提供予定である。現行イリジウムとイリジウムネクストを比較したものを表

参 2-1 に示す。

表参 2-1 現行イリジウム（現行システム）とイリジウムネクスト（高度化システム）の比較

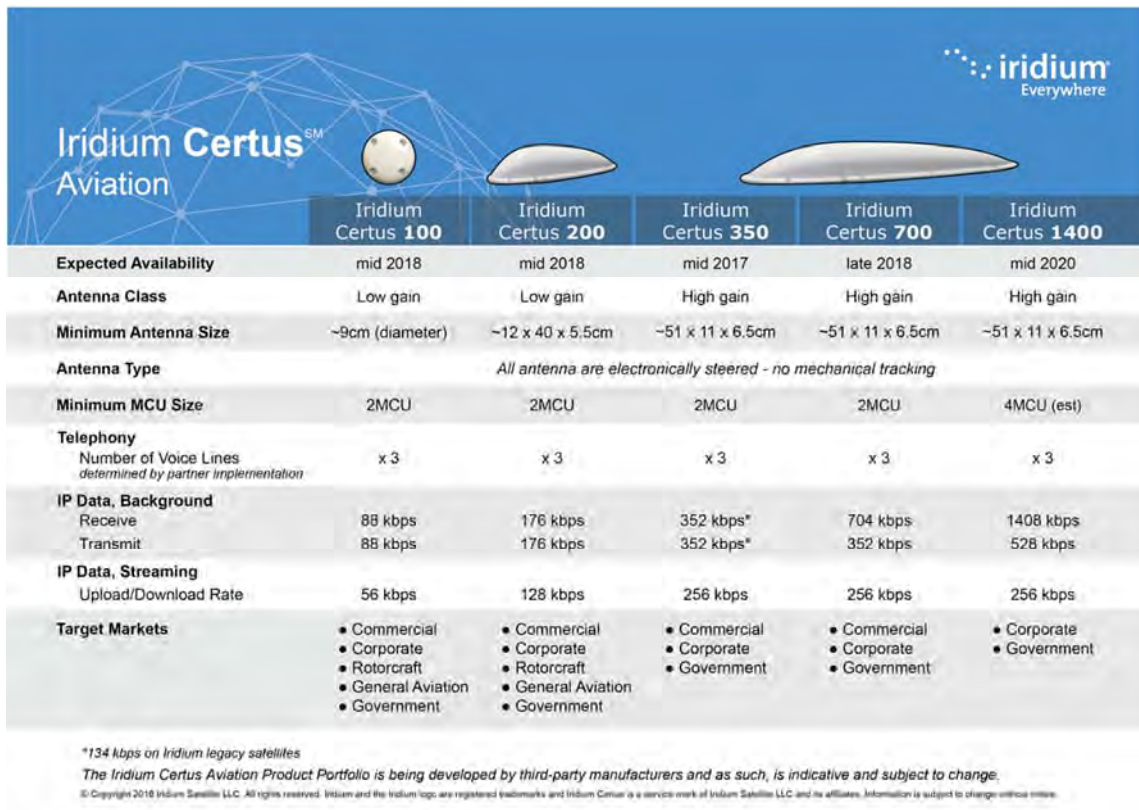
	現行システム	高度化システム
音声通話	2.4kb/s	最大4.8kb/s
パケット通信 (イリジウムLBT)	2.4kb/s	最大88kb/s
ブロードバンド通信	最大134kbps	最大512kbps(Up) 最大1.4Mbps(Down)
端末設備	従来端末	従来端末及び 高度化システム用端末の双方をサポート

イリジウムネクストによる通信サービス「イリジウム CERTUS」においては、図参 2-2 から図参 2-4 までのとおり、航空、海上、陸上分野向けの端末提供を予定しており、2020 年までの間に順次提供開始する予定としている。

	Iridium Certus 100	Iridium Certus 200	Iridium Certus 350	Iridium Certus 700	Iridium Certus 1400
Expected Availability	late 2018	early 2018	mid 2017	late 2018	early 2020
Above-Deck Equipment (ADE) Height & Diameter	~150mm ~50mm	~150mm ~180mm	~270mm ~300mm	~270mm ~300mm	~450mm ~550mm
Form Factor	Electronically switched and phase steered, horizon to horizon - no moving parts				
Below-Deck Equipment (BDE) Form Factor	Standalone	Standalone	Standalone or Rack Mount	Standalone or Rack Mount	Rack Mount
IP Data, Background <i>all best-effort, maximum speeds</i>					
Vessel Receive	88 kbps	176 kbps	352 kbps*	704 kbps	1408 kbps
Vessel Transmit	88 kbps	176 kbps	352 kbps*	352 kbps	528 kbps
IP Data, Streaming					
Upload / Download Rate	56 kbps	128 kbps	256 kbps	256 kbps	256 kbps
Telephony					
Number of Voice Lines <i>determined by partner implementation</i>	x 2	x 3	x 3	x 3	x 3
Target Markets	<ul style="list-style-type: none"> Commercial fishing Sport fishing Leisure sailing GMDSS** 	<ul style="list-style-type: none"> Commercial fishing Tugs, tows & river craft Leisure motor & sail Sport fishing 	<ul style="list-style-type: none"> Merchant shipping Commercial fishing Work boat 	<ul style="list-style-type: none"> Merchant shipping Commercial fishing Large leisure Work boat 	<ul style="list-style-type: none"> Offshore platforms Scientific research Cruise & ferry Yacht

*134 kbps on Iridium legacy satellites **Pending IMO recognition
 The Iridium Certus Maritime Product Portfolio is being developed by third-party manufacturers and as such, is indicative and subject to change without notice.
 © Copyright 2016 Iridium Satellite LLC. All rights reserved. Iridium and the Iridium logo are registered trademarks and Iridium Certus is a service mark of Iridium Satellite LLC and its affiliates. Information is subject to change without notice.

図参 2-2 イリジウム CERTUS における海上向け端末

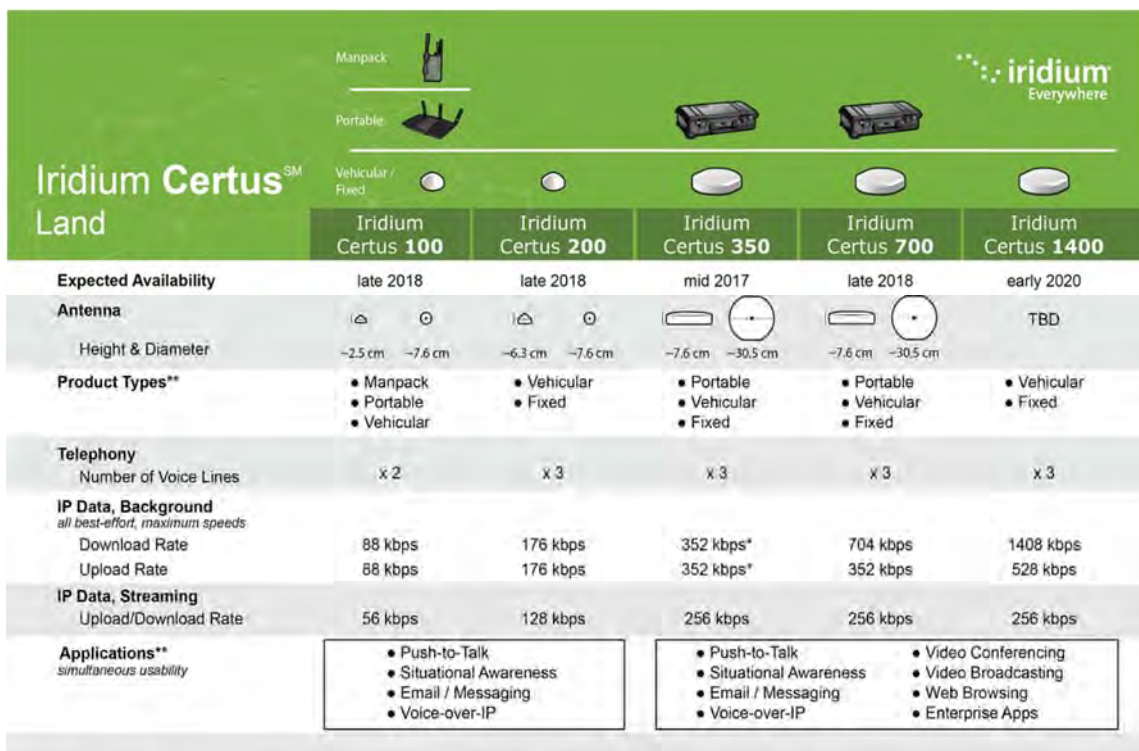


Iridium CertusSM Aviation


	Iridium Certus 100	Iridium Certus 200	Iridium Certus 350	Iridium Certus 700	Iridium Certus 1400
Expected Availability	mid 2018	mid 2018	mid 2017	late 2018	mid 2020
Antenna Class	Low gain	Low gain	High gain	High gain	High gain
Minimum Antenna Size	~9cm (diameter)	~12 x 40 x 5.5cm	~51 x 11 x 6.5cm	~51 x 11 x 6.5cm	~51 x 11 x 6.5cm
Antenna Type	All antenna are electronically steered - no mechanical tracking				
Minimum MCU Size	2MCU	2MCU	2MCU	2MCU	4MCU (est)
Telephony	Number of Voice Lines determined by partner implementation				
	x 3	x 3	x 3	x 3	x 3
IP Data, Background	all best-effort, maximum speeds				
Receive	88 kbps	176 kbps	352 kbps*	704 kbps	1408 kbps
Transmit	88 kbps	176 kbps	352 kbps*	352 kbps	528 kbps
IP Data, Streaming	all best-effort, maximum speeds				
Upload/Download Rate	56 kbps	128 kbps	256 kbps	256 kbps	256 kbps
Target Markets	<ul style="list-style-type: none"> Commercial Corporate Rotorcraft General Aviation Government 	<ul style="list-style-type: none"> Commercial Corporate Rotorcraft General Aviation Government 	<ul style="list-style-type: none"> Commercial Corporate Government 	<ul style="list-style-type: none"> Commercial Corporate Government 	<ul style="list-style-type: none"> Corporate Government

*134 kbps on Iridium legacy satellites
The Iridium Certus Aviation Product Portfolio is being developed by third-party manufacturers and as such, is indicative and subject to change.
© Copyright 2016 Iridium Satellite LLC. All rights reserved. Iridium and the Iridium logo are registered trademarks and Iridium Certus is a service mark of Iridium Satellite LLC and its affiliates. Information is subject to change without notice.

図参 2-3 イリジウム CERTUS における航空向け端末



Iridium CertusSM Land

	Iridium Certus 100	Iridium Certus 200	Iridium Certus 350	Iridium Certus 700	Iridium Certus 1400
Expected Availability	late 2018	late 2018	mid 2017	late 2018	early 2020
Antenna					
Height & Diameter	~2.5 cm ~7.6 cm	~6.3 cm ~7.6 cm	~7.6 cm ~30.5 cm	~7.6 cm ~30.5 cm	TBD
Product Types**	<ul style="list-style-type: none"> Manpack Portable Vehicular 	<ul style="list-style-type: none"> Vehicular Fixed 	<ul style="list-style-type: none"> Portable Vehicular Fixed 	<ul style="list-style-type: none"> Portable Vehicular Fixed 	<ul style="list-style-type: none"> Vehicular Fixed
Telephony	Number of Voice Lines				
	x 2	x 3	x 3	x 3	x 3
IP Data, Background	all best-effort, maximum speeds				
Download Rate	88 kbps	176 kbps	352 kbps*	704 kbps	1408 kbps
Upload Rate	88 kbps	176 kbps	352 kbps*	352 kbps	528 kbps
IP Data, Streaming	all best-effort, maximum speeds				
Upload/Download Rate	56 kbps	128 kbps	256 kbps	256 kbps	256 kbps
Applications**	<ul style="list-style-type: none"> Push-to-Talk Situational Awareness Email / Messaging Voice-over-IP 		<ul style="list-style-type: none"> Push-to-Talk Situational Awareness Email / Messaging Voice-over-IP 		<ul style="list-style-type: none"> Video Conferencing Video Broadcasting Web Browsing Enterprise Apps

*134 kbps on Iridium legacy satellites
**Depending on manufacturer implementation
The Iridium Certus Land Product Portfolio is being developed by third-party manufacturers and as such, is indicative and subject to change.
© Copyright 2016 Iridium Satellite LLC. All rights reserved. Iridium and the Iridium logo are registered trademarks and Iridium Certus is a service mark of Iridium Satellite LLC and its affiliates. Information is subject to change without notice.

図参 2-4 イリジウム CERTUS における陸上向け端末

2.1 携帯移動地球局の送信装置の技術的仕様

現行イリジウムシステムと高度化システム（イリジウムネクスト）における端末（携帯移動地球局における送信装置）の技術的仕様の比較を表参 2-2 に示す。

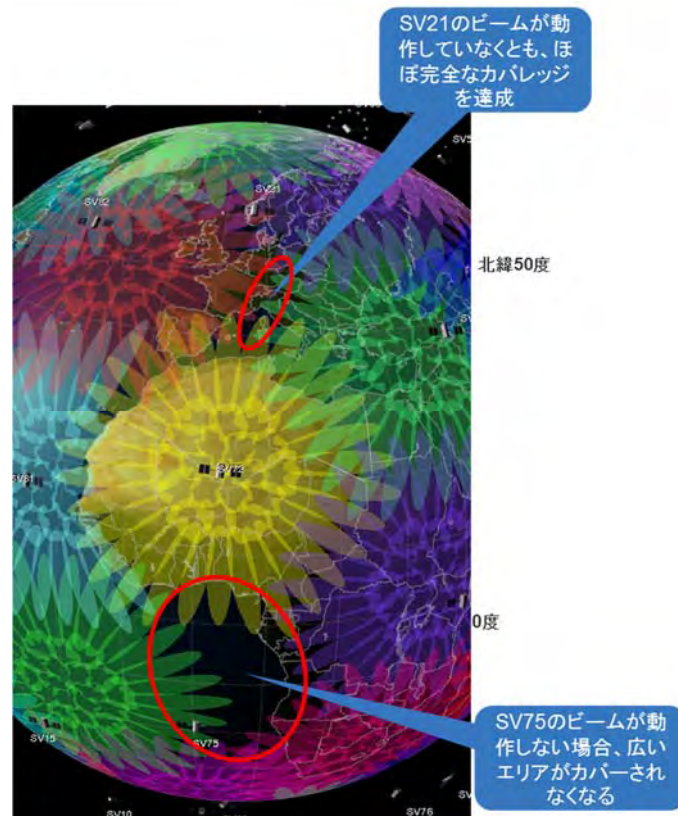
表参 2-2 現行システムと高度化システムの端末の技術的仕様の比較

	現行システム	高度化システム
変調方式	QPSK	QPSK、16APSK
変調信号の送信速度	50kbps	1920kbps
占有周波数帯幅	31.5kHz	590kHz

2.2 ダウンリンクにおける電波天文業務への干渉低減策

現行イリジウムシステムの隣接周波数帯として、1610MHz-1613.8MHz 帯を使用する電波天文業務がある。ヨーロッパ等のトラフィック量の多い場所においては、電波天文業務に対し、イリジウム衛星からの帯域外発射による一定の影響があることが確認されている。現行イリジウム衛星については設計の制約上、これらの発射を大幅に減らす運用上の方策は存在しなかった。

次期高度化システムであるイリジウムネクストにおいては、電波天文業務の周波数帯における帯域外干渉を低減するための手法として、図参 2-5 に示す RASP 緯度ベースビームレイダウン（RLBBL）アプローチを採用している。これは、高緯度地域においては衛星の対象範囲が他の衛星の対象範囲と重なることから、可能な限り最小の数のビームによりカバレッジを提供することで、帯域外発射による影響を小さくする技術である。



図参 2-5 RASP 緯度ベースビームレイダウン (RLBBL) アプローチ

この他、イリジウムネクスト衛星においては、RLBBL アプローチに加え、上方のチャンネルに対して最大限の出力の供給を強制し、可能な限り電波天文業務で使用する帯域から離れたチャンネルを利用するサービスクラウディング、運用する帯域を最小限にすることで周波数の再利用を増やす周波数クラウディング、緯度経度に応じた衛星の帯域の制限という4つの電波天文業務を保護するための干渉低減機能を適用する「RASP モード」を搭載している。RASP モードが適用されるのは、通常であれば、緯度が南北 30 度までの地域となっているが、必要であれば日本を含む他の地域への適用も可能となっており、イリジウムネクストへ移行後においては、RASP モードの適用により、衛星からのダウンリンクにおける電波天文業務への帯域外発射の影響が現行イリジウムシステムに比べ低減されることが期待されている。なお、イリジウム社によれば、RASP モードの4つの干渉低減機能は全て日本向けにも適用される予定である。

引用資料一覧

- 情報通信審議会 衛星通信システム委員会
「衛星を巡る諸問題に関する調査検討作業班 報告書」(平成 29 年 6 月 15 日)

平成30年度技術試験事務

非静止衛星システムの高度化に係る周波数共用技術に関する調査検討

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

MRI 株式会社三菱総合研究所

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

MRI

株式会社三菱総合研究所

背景と目的

<背景>

- L帯を用いた非静止衛星通信システムは、従来から運用されているシステムとの互換性を保ちつつ、次世代の高度化システムへの移行が計画され、2017年以降順次打上げが実施
- 同システムは、通信速度の高速化が実現され、高次の変調方式の採用や占有周波数帯域幅の拡大等が実施
- 我が国における現在の使用周波数は1621.35-1626.5MHzであるが、世界的には1618.25-1626.5MHzが使用されており、国内の使用周波数の見直しが議論
- L帯システムは、ITU、ICAO及びIMO等の国際機関において、船舶、航空機等の遭難・安全通信等に活用しようとする議論が活発化してきており、我が国においても、船舶、航空機等の世界共通プラットフォームとして、早期に導入することが期待

<目的>

- こうした背景を踏まえ、L帯を用いた非静止衛星通信システムの高度化システム(以下、L帯システム)について、技術基準等に反映するため、既存の電波天文業務との周波数共用技術等に関する調査検討等、技術的条件(案)を策定するための検討を実施

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

■ 構成員

主査	三次 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
委員	市川 麻里	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長
委員	伊藤 信幸	日本無線株式会社 マリンシステム技術部 衛星通信グループ 課長
委員	小竹 信幸	一般財団法人テレコムエンジニアリングセンター 技術部 部長
委員	加屋野 博幸	株式会社東芝 研究開発センター ワイヤレスシステム ラボラトリー 研究主幹
委員	上馬 弘敬	三菱電機株式会社 通信情報システム部 衛通移動体プロジェクト部長
委員	関口 和浩	イリジウムコミュニケーションズ グローバルセールス リージョナルディレクター
委員	玉中 宏明	ナビコムアビエーション株式会社 代表取締役社長
委員	辻 宏之	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレス ネットワーク総合研究センター 宇宙通信研究室 研究マネージャー
委員	福井 裕介	KDDI株式会社 グローバルネットワーク・オペレー ションセンター 衛星通信グループ マネージャ
委員	本間 希樹	国立天文台 水沢VLBI観測所 所長・教授

■ 開催状況

回次	開催日	主な議題
第1回 会合	2018年 6月22日	<ul style="list-style-type: none"> ■ 実施計画について ■ イリジウムネクストの検討状況 ■ 超伝導フィルタ技術 ■ 海外の制度化・標準化動向調査 ■ 電波天文台との周波数共用検討 ■ 技術的条件(案)の検討方針
第2回 会合	2018年 8月1日	<ul style="list-style-type: none"> ■ 欧米の周波数共用条件の検討状況 ■ 電波天文台との周波数共用検討 ■ イリジウムと電波天文台の調整状況 ■ 航空機地球局関連の国際標準化動向 ■ 技術的条件(案)の検討
メール 審議	2018年 9月	<ul style="list-style-type: none"> ■ 電波天文台との周波数共用検討(航空機搭載地球局に関する追加検討)

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

1. 海外の制度化・標準化動向調査

ITU-Rの関連基準

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

1 613.8-1 626.5MHz帯におけるRRの脚注(1/2)

- 前項の国際分配表内に規定されている脚注は以下の通り。

番号	内容	備考
5.351A	1518-1544MHz、1545-1559MHz、1610-1645.5MHz、1645.5-1600.5MHz、1668-1675MHz、1980-2010MHz、2170-2200MHz、2483.5-2520MHz及び2670-2690MHzの周波数帯の移動衛星業務による使用については、決議第212(WRC-07、改)及び決議第225(WRC-07、改)を参照。	—
5.208B	137-138MHz、387-390MHz、400.15-401MHz、1452-1492MHz、1525-1610MHz、1613.8-1626.5MHz、2655-2670MHz、2670-2690MHz及び21.4-22GHzの周波数帯は、決議第739(WRC-15、改)の規定を適用する。(WRC-15)	—
5.341	1400-1727MHz、101-120GHz及び197-220GHzの周波数帯においては、地球外からの意図的な発射の探究計画に基づく受動的研究が一部の国によって遂行されている。(WRC-15)	—
5.355	※付加分配規定のため省略(日本は該当なし)	—
5.359	※付加分配規定のため省略(日本は該当なし)	—
5.364	移動衛星業務(地球から宇宙)及び無線測位衛星業務(地球から宇宙)による1610-1626.5MHzの周波数帯の使用は、無線通信規則第9.11A号による調整を行うことを条件とする。この周波数帯においていずれかの業務により運用する移動地球局は、影響を受ける主管庁の同意を得ない限り、無線通信規則第5.366号の規定に従って運用しているシステム(無線通信規則第4.10号が適用されるシステム)に使用される周波数帯の一部で、 -15dBW/4kHzを超える最大EIRP密度を生じることができない 。そのようなシステムが運用されていない周波数帯においては、 移動地球局の平均EIRP密度は-3dBW/4kHzの値を超えてはならない 。移動衛星業務の局は航空無線航行業務の局、無線通信規則第5.366号の規定に従って運用している局及び無線通信規則第5.359号の規定に従って運用している固定業務の局に対して、 これらの局からの保護を要求してはならない 。移動衛星網の調整に責任を持つ主管庁は、 無線通信規則第5.366号の規定に従って運用している局の保護を確保するため、全ての実行可能な努力を行わなければならない 。	具体的な技術基準を規定
5.365	移動衛星業務(宇宙から地球)による1613.8-1626.5MHzの周波数帯の使用は、無線通信規則第9.11A号に従って調整を行うことを条件とする。	—
5.366	1610-1626.5MHzの周波数帯は、航空機上の航行援助電子装置及び直接これに関係する地上又は衛星上の設備の使用及び発達のために世界的基礎で保留する。この衛星の使用は、無線通信規則第9.21号の規定に従って同意を得ることを条件とする。	—

1 613.8-1 626.5MHz帯におけるRRの脚注(2/2)

番号	内容	備考
5.367	付加分配:1610-1626.5及び5000-5150MHzの周波数帯は、一次的基礎で航空移動衛星(R)業務にも無線通信規則第9.21号の規定に従って同意を得ることを条件に分配する。(WRC-12)	航空移動衛星業務の関連事項
5.368	1610-1626.5MHzの周波数帯では、無線測位衛星及び移動衛星業務の局は、航空無線航行衛星業務を除いて無線通信規則第4.10号の規定は適用しない。	—
5.369	※業務の種類地域差に関する規定のため省略(日本は該当なし)	—
5.370	※業務の種類地域差に関する規定のため省略(日本は該当なし)	—
5.371	※付加分配規定のため省略(日本は該当なし)	—
5.372	無線測位衛星業務及び移動衛星業務の局は、 <u>1610-1613.8MHzの周波数帯を使用する電波天文業務に有害な混信を生じさせてはならない(無線通信規則第29.13号参照)</u> 。	—

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

1 613.8-1 626.5MHz帯に関連する決議

番号	概要	備考
決議212	1885-2025MHz帯及び2110-2200MHz帯におけるIMTの導入に関する決議。	規定周波数帯が本検討の対象外
決議225	IMTの衛星コンポーネントに対する周波数の追加割当に関する決議。Resolves 1)において、1518-1544 MHz, 1545-1559 MHz, 1610-1626.5 MHz, 1626.5-1645.5 MHz, 1646.5-1660.5 MHz, 1668-1675 MHz及び2483.5-2500 MHzの周波数帯において、当該周波数帯の移動衛星業務に関連する規定を満たすことを条件に、IMTの衛星コンポーネントの運用を許可している。	具体的な技術基準に関する規定はない
決議739	隣接周波数帯域における電波天文業務とアクティブ宇宙業務との共用検討に関する決議。	後述

【決議739の内容】

- Annex 1において、電波天文業務を保護するための周波数帯ごとの宇宙局からのepfd値の制限値を規定
- 本文のresolvesにおいて、各国主管庁に対し、Annex 1の基準値を満たすよう無線局の設計・運用を行うことを求めるとともに、上記基準を満たせない場合には、関係主管庁間で交渉を行うよう規定
- 本文のconsidering 及びnoting Iにおいて、電波天文業務とアクティブ宇宙業務(固定衛星業務、移動衛星業務、無線航行衛星業務、放送衛星業務)の共用検討の際に考慮すべき文書として、以下のITU-R報告・報告に言及
 - ITU-R報告 SM.2091
 - ITU-R勧告 M.1583
 - ITU-R勧告 M.1586
 - ITU-R勧告 RA.1631
 - ITU-R勧告 RA.1513 ※上記報告・勧告については後述

関連ITU-R勧告

番号	タイトル	概要
ITU-R勧告 M.1583	非静止衛星移動衛星業務または無線航行衛星業務システムと電波天文望遠鏡サイト間の干渉計算	epdf計算に基づいた、移動衛星業務もしくは無線航行衛星業務の非静止衛星システムから電波天文局への不要発射の、干渉計算方法を規定している。
ITU-R勧告 S.1586	電波天文サイトにおける非静止衛星固定衛星業務システムによって生成される不要発射レベルの計算	epdf計算に基づいた、固定衛星業務の非静止衛星システムから電波天文局への不要発射の、干渉計算方法を規定している。 ※固定衛星業務を対象とした勧告
ITU-R勧告 RA.1631	epfdコンセプトに基づく非静止衛星システムと電波天文業務(RAS)局との共用検討に使用される電波天文アンテナパターン	epfd計算に基づく、非静止衛星システムと電波天文業務局との共用検討に使用される、電波天文局のアンテナパターンを規定
ITU-R勧告 RA.1513	一次業務ベースで電波天文業務に分配された周波数帯における、干渉による電波天文観測のデータ損失および時間率の基準	電波天文観測におけるデータ損失の許容レベルを規定しており、具体的には、他システムによる データ損失が2%以下となるよう、基準を設定している。
ITU-R勧告 M.1091	1~3GHzの周波数範囲における陸上移動衛星業務で運用する移動地球局のアンテナの軸外発射パターン	1~3GHzの周波数範囲における陸上移動衛星業務で運用する移動地球局のアンテナの軸外発射パターンを規定している。
ITU-R勧告 M.1343	1~3GHz帯におけるグローバル非静止衛星移動衛星業務のための移動地球局の必須技術要件	各国における移動地球局(MES)端末の型式認証要件の検討のベースとなる共通技術基準として、 不要発射基準および障害発生時の停止機能を規定している。 また、非静止衛星の移動衛星通信業務システムは MESの位置情報を把握しなければならないとしている。 ※不要発射基準の詳細は次項
ITU-R勧告 M.1316	移動衛星業務(地球-宇宙)と電波天文業務間の1610.6-1613.8MHz及び1660-1660.5MHzの周波数帯における周波数共用のための原則と方法論	この勧告は1610.6-1613.8MHz帯の陸上および海上移動地球局の発射から電波天文観測の保護に適用される原則と方法論(検討ステップ、モンテカルロ方を用いた離隔距離計算、制限区域の検討方法等)を規定している。
ITU-R勧告 RA.769	電波天文観測に用いられる保護基準	電波天文業務を保護するための保護基準が規定されており、1610.6-1613.8 MHz帯については、 pdf値制限を-194 dB(W/m²)と規定している。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ITU-R勧告 M.1343の不要発射基準

- ITU-R勧告 M.1343に規定されている、移動地球局(MES)の不要発射基準は以下の通り。

Table 1) 1610-1626.5MHzおよび1626.5-1628.5MHzの範囲外におけるTDMAアクセス方式を利用するMESの不要発射

周波数 (MHz)	キャリアオン時	
	等価等方輻射電力(dBW)	測定帯域幅
0.1-30	-66	10kHz
30-1000	-66	100kHz
1000-1559	-60	1MHz
1559-1580.42	-70	1MHz
1580.42-1605	-70	1MHz
1605-1610	-70 ~ -10	1MHz
1610-1626.5	適用しない	適用しない
1626.5-1628.5	適用しない	適用しない
1628.5-1631.5	-60	30kHz
1631.5-1636.5	-60	100kHz
1636.5-1646.5	-60	300kHz
1646.5-1666.5	-60	1MHz
1666.5-2200	-60	3MHz
2200-12750	-60	3MHz

Table 2) 1618.25-1626.5MHz帯の全体もしくは部分的な帯域で運用されているMESによる1610-1626.5MHzおよび1626.5-1628.5MHzにおける最大不要発射

周波数オフセット (kHz)	キャリアオン時	
	eirp (dBW)	測定帯域幅 (kHz)
0-160	-35	30
160-225	-35~-38.5	30
225-650	-38.5~-45	30
650-1365	-45	30
1365-1800	-53~-56	30
1800-16500	-56	30

Table 3) キャリアオフ時の不要発射

周波数(MHz)	eirp (dBW)	測定帯域幅
0.1-30	-87	10 kHz
30-1000	-87	100 kHz
1000-12750	-77	100 kHz

ITU-R報告 SM.2091

- 電波天文業務に隣接または近接する帯域に割当てられたアクティブ宇宙業務の影響に関する研究を行っている。
- 11章において、1610.6-1613.8Hz帯で動作するRASシステムと1613.8-1626.5MHz帯で動作するMSS(宇宙-地球)システム間の共用検討方法を規定している。主な章構成は以下の通り

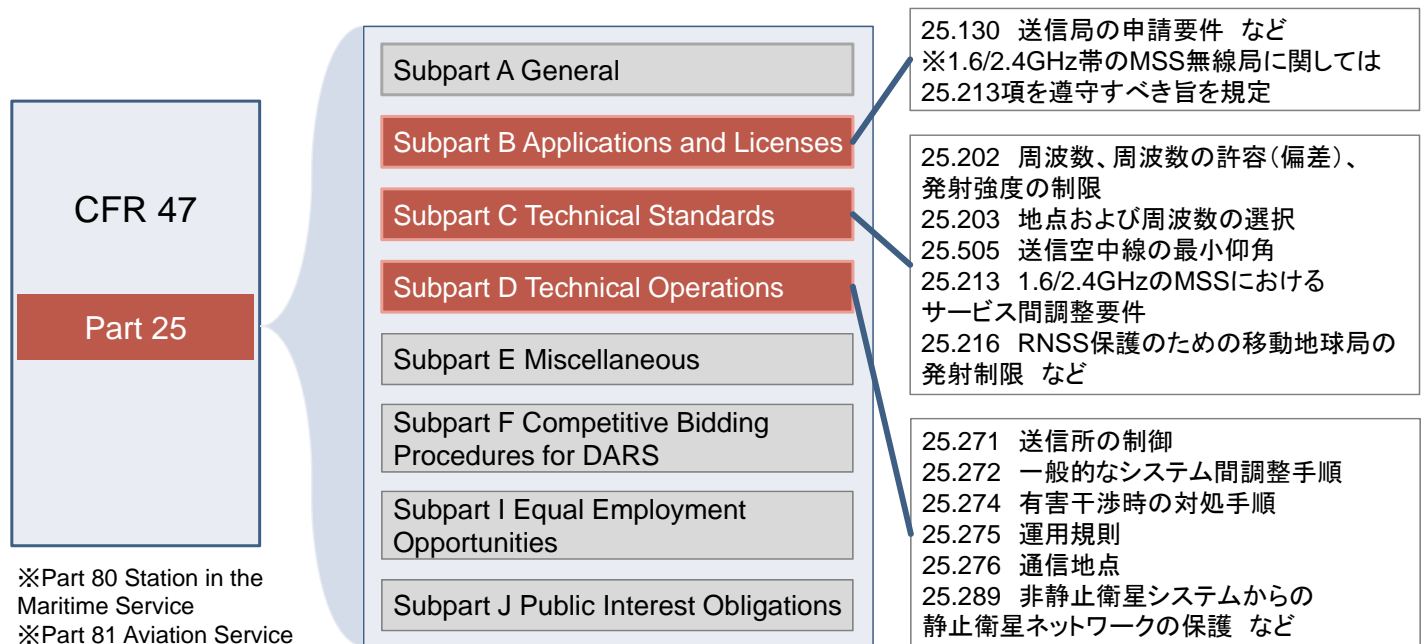
- 11.1 RAS
 - 11.1.1 分配周波数
 - 11.2.2 電波天文観測の種類
 - 11.1.3 保護基準
 - ITU-R RA.769を参照
 - 11.1.4 運用基準
 - ITU-R RA.769を参照、VLBI観測の場合は、感度が比較的低いことを踏まえ、pfd値制限を-166 dB(W/m²)と規定
 - 11.2 MSS
 - 11.2.1 分配周波数
 - 11.2.2 アプリケーション
 - 既に2次業務として割当てられている衛星ネットワークとして「HIBLEOシステム(イリジウム衛星のファイリング名)」を記載
 - 11.2.3 RRに基づく基準
 - 2次業務は1次業務に干渉を与えてはならない等の基本ルールを規定
 - 11.3 共用基準
 - 11.1.3を参照
 - 11.4 干渉評価
 - 干渉計算の前提や方法を規定
- (以降省略)

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

欧米の関連基準

FCC規則の概要

- 米国では、MSSシステムの地球局に関する基準は、連邦規則集内のFCC規則のPart 25 Satellite Communicationに規定されている。
- Part 25は一般条項、申請・免許規定、技術基準等のSubpartで構成されており、技術基準に関するSubpartでは、全システム共通の基準とともに、システム別の基準が整理されている。



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ETSI EN規格の概要

- 欧州では、MSSシステムの地球局に関する基準は以下の2つのETSI ENに規定されている。
 - ETSI EN 301 441: MES (Mobile Earth Stations)に関する規定
 - ETSI EN 301 473: AES (Aircraft Earth Stations)に関する規定

MESについて規定 (handheld earth stationsを含む)

EN 301 441
1 Scope
2 References
3 Definitions and abbreviations
4 Technical requirement specifications
5 Testing for compliance with technical requirements

AES*について規定

* AMSS (Aeronautical Mobile Satellite Service)/MSS (Mobile Satellite Service) および/または AMS(R)S (Aeronautical Mobile Satellite on Route Service)/MSS)を提供するAES

EN 301 473
1 Scope
2 References
3 Definitions and abbreviations
4 General
5 Requirements for AES transmitting in the band 1610 MHz to 1626.5MHz
6-10 (周波数/サービス別規定)
11 Receiver Performance Requirements

航空機地球局の関連基準

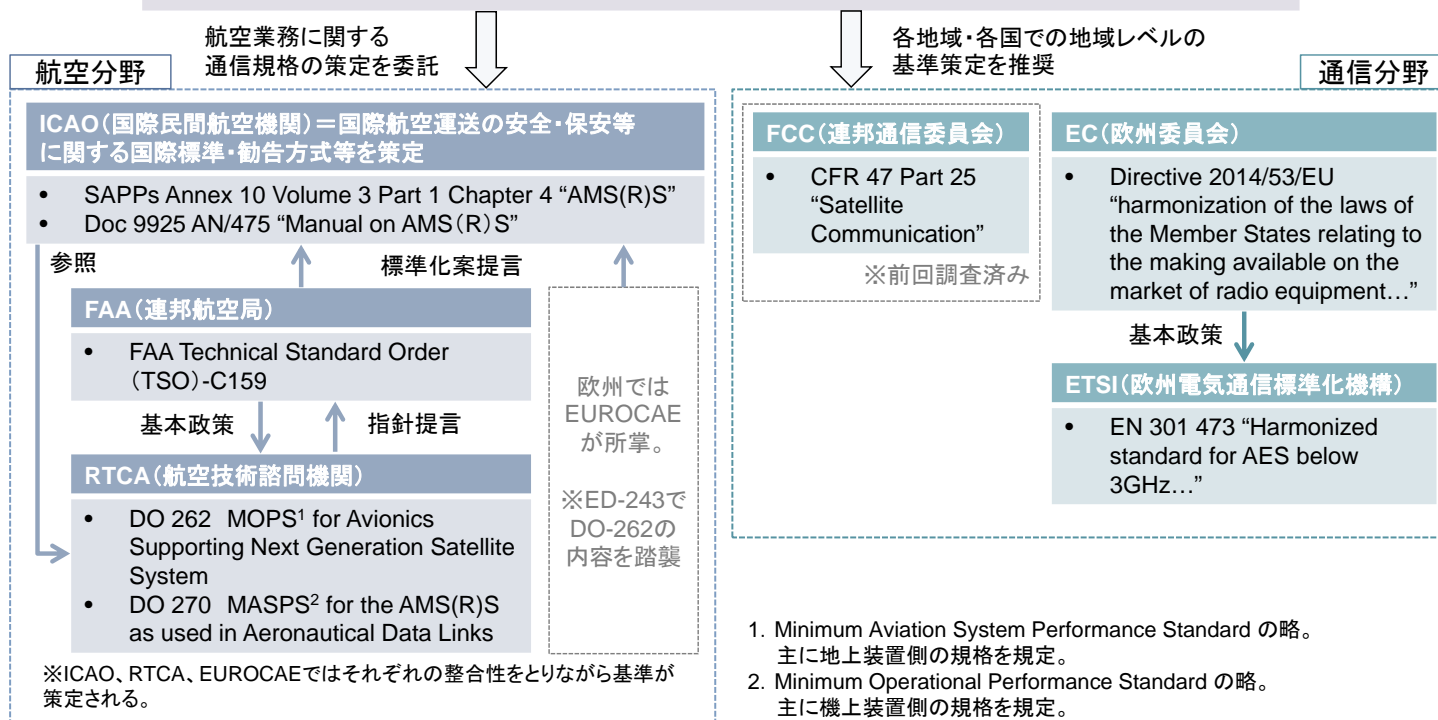
Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

航空機地球局関連の国際基準・規格の関係性

- 各規則・基準の関係性を以下に示す。

ITU-R (国際電気通信連合 無線通信部門) = 無線通信に関する国際的規則である無線通信規則等を策定

- ITU-R RR CHAPTER VIII "Aeronautical Service"



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ITU-R RRにおける規定

- ITU-RのRRにおいては、航空業務に関する規定が主に第8章において規定されているが、詳細の通信性能要件は規定されておらず、運用面の規定が主となっている。
- 35.1号において、同章の規定は、他国の無線業務に有害な干渉を与えないことを条件に、国際電気通信連合憲章 第42条(特別取極めに関する条項)に基づく特別措置や政府間の合意により統治されうるとしており、政府間の合意の一例として、国際民間航空機関(International Civil Aviation Organization)のSARPS(Standards and Recommended Practices)を参照している。
- Chapter VIIIの規定項目は以下の通り。

CHAPTER VIII – Aeronautical services

ARTICLE 35 イントロダクション

ARTICLE 36 無線局の利用責任のある者の権限

ARTICLE 37 運用者免許

ARTICLE 38 (保留)

ARTICLE 39 無線局の検査

ARTICLE 40 無線局の利用時間

ARTICLE 41 海上業務としての無線局との通信

ARTICLE 42 無線局の条件

ARTICLE 43 周波数利用における特別規則

ARTICLE 44 通信における優先事項(※優先的に受送信すべき情報等)

ARTICLE 45 一般的な通信手順

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ICAO SARPsにおける規定

- 国際航空運送業務における条約の作成、国際航空運送に関する国際標準、勧告、ガイドライン等を規定する SARPs は、国際民間航空条約の「附属書(Annex)」として採択される。現在第1附属書から第19附属書より構成され、航空無線業務の基準は第10附属書「航空通信」のVolume 3「通信システム」に規定されている。
- Volume 3において、航空衛星業務に関する規定はPart 1のChapter 4 Aeronautical Mobile-Satellite (Route) Service (AMS(R)S)に規定されており、冒頭のNote2において、さらなる詳細基準はManual on AMS(R)Sを参照するよう、記載されている。
- Chapter 4の規定項目は以下の通り。

4.1 提示

4.2 一般規則

4.3 RF特性

4.3.1 周波数帯

4.3.2 放射

4.3.3 感度

4.4 優先的・先制的アクセス

4.5 信号の受信および追尾 ※AESが対応すべき機体の対地速度等について規定

4.6 性能要件

4.6.1 設定済み運用カバレッジ

4.6.2 不具合発生時の通知

4.6.3 AES 要件

※AESは衛星カバレッジ内での飛行中、4.6.41および 4.6.5の性能要件を満たさなければならない旨、規定

4.6.4 パケットデータおよびサービス要件

4.6.5 音声サービス要件

4.6.6 セキュリティ

4.7 システムインターフェース

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ICAO Manual on AMS(R)Sにおける規定

- Manual on AMS(R)SはSARPs Annex 10, Volume VIII, Part 1, Chapter 4と合わせて、特定の衛星システムの運用ガイドラインとして策定されており、大きく以下の3つのパートで構成されている。

■ Part 1 AMS(R)Sの一般情報

…アプリケーション、ユーザ要件、運用の利点、ICAOや航空産業組織における標準化活動等に関する情報を含むAMS(R)Sの概要を記載

■ Part 2 イリジウム衛星ネットワーク

…イリジウム衛星ネットワークを利用したAMS(R)Sについて、SARPs、および同衛星ネットワークに特化したRTCA DO-262の運用要件基準(MOPS: Minimum Operation Performance Standards)への遵守状況を記載

※章構成

- Chapter 1 イントロダクション
- Chapter 2 イリジウム衛星ネットワーク (2.5項「Lバンド(1616-1626.5MHz)の送信特性」含む)
- Chapter 3 イリジウムAMS(R)Sシステム
- Chapter 4 イリジウムAMS(R)S標準化活動
- Chapter 5 イリジウム性能とAMS(R)SのSARPs基準との比較

■ Part 3 INMARSAT・MTSATによるクラシックAeroサービス

…インマルサットの運用する「クラシックAero」航空衛星システムについて、技術概要とガイダンス材料を記載

- なお、Part 1 Chapter 4 ICAO Activitiesでは、本ManualがRTCAやEUROCAEといった機関が既に策定されている技術基準を引用しながら策定されている旨が記載されている。

RTCA DO-262Cにおける規定(1/7)

- DO-262Cは次世代衛星システムの航空機器に関する規定文書であり、機器の性能要件とその試験方法を定めている。
- 上記文書の本文は全機器に共通した規定が記載されており、Appendix Dにおいて、イリジウム衛星システムの技術基準が定められている。なお、本文とAppendixの規定項目は同じである。
- AESに関する技術要件は本文およびAppendix Dの2.2.3.1.1に規定されている。主な規定は以下の通り。また、AESの管理要件として、2.2.3.8に停電復旧に係る規定が、2.2.3.9に不具合発生時の表示に係る規定が規定されている。

項目	見出し	内容	イリジウムの規定
2.2.3.1	AES適用要件		
2.2.3.1.1	アンテナ	特に記載のない限り、以下の仕様は無指向性パターンを使用した非ステアリングアンテナに適用される。本書に記載されている受信感度はベンチテスト要件であることを規定	左に同じ
2.2.3.1.1.1	カバレッジボリューム、偏波およびアンテナ利得		
2.2.3.1.1.1.1	カバレッジボリューム	代表的な地板においてアンテナ範囲を測定した場合、規定の最小仰角から仰角90°の範囲において、アンテナの偏波、アンテナ利得、軸比の要件を満たさなければならないことを規定	最小仰角:8°
2.2.3.1.1.1.2	偏波	円偏波とすることを規定	右円偏波
2.2.3.1.1.1.3	アンテナ利得	等方性アンテナに対する最小利得と最大利得を提供するよう規定	最小利得:-2 Weighted dBic 最大利得:3 Weighted dBic
2.2.3.1.1.2	軸比	偏波損失を補うのに十分な利得を持たない限り、AESアンテナ電圧軸比は円偏波アンテナに対して規定値を超えてはならないことを規定するとともに、最大軸比が6dBを超えないよう勧告	最大軸比:2.5db

RTCA DO-262Cにおける規定(2/7)

項目	見出し	内容	イリジウムの規定
2.2.3.1.1.3	パワーハンドリング性能		
2.2.3.1.1.3.1	シングルキャリアユニット	シングルキャリアのみに対応したAESアンテナの最大電力ハンドリング性能は、1つの個別データキャリアもしくは1つの個別音声キャリアのうち、最大個別キャリア出力の規定(2.2.3.1.2.1.2)に基づき、より高いバースト出力が求められる方をサポートするのに十分なものでなければならないことを規定	左に同じ
2.2.3.1.1.3.2	マルチキャリアユニット	マルチキャリア周波数に対応したAESアンテナの最大電源ハンドリング性能は、最大個別キャリア出力の規定(2.2.3.1.2.1.2)に基づき、規定最大数の個別データキャリアもしくは個別音声キャリアをサポートするのに十分なものでなければならないことを規定	<ul style="list-style-type: none"> ● 最大電源ハンドリング性能 20W(例外あり) ● データキャリア/音声キャリアの最大数 AES1の場合 1/0 AES2の場合 2/2 AES3の場合 16/16
2.2.3.1.1.4	通過帯域	AESの運用周波数帯は衛星局およびAESそれぞれの最大利用周波数・最小利用周波数を提示し、それぞれの範囲内において、性能基準が満たされていないことを規定	<ul style="list-style-type: none"> ● 衛星局の利用周波数: 1610~1626.5 MHz ● AESの利用周波数: 1610~1626 MHz
2.2.3.1.1.5	アンテナ電圧定在波比	アンテナの送受信RFポートで測定した場合、電圧定在波比は規定値を超えてはならないことを規定	最大アンテナ電圧定在波比: 1.8:1
2.2.3.1.1.6	放射アンテナ相互変調積		
2.2.3.1.1.6.1	GNSS帯における放射アンテナ相互変調積	(対象外のため省略)	—
2.2.3.1.1.6.2	AMS(R)S帯における放射アンテナ相互変調積	アンテナサブシステムは、2つの無変調の信号の送信試験を行う際に、内部で生成された相互変調積により、有害な干渉を放射してはならないことを規定(この時の有害な干渉とは、被干渉側の雑音が6%以上増加した場合を指す)	左に同じ

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

RTCA DO-262Cにおける規定(3/7)

項目	見出し	内容	イリジウムの規定
2.2.3.1.1.7	キャリア-マルチパス差分	規定の最小仰角における最小アンテナ利得と地平線から同仰角分下がったところにおける最大アンテナ利得間のデシベル差は、最小キャリア-マルチパス差よりも大きくなければならないことを規定	最小キャリア-マルチパス差分: 3dB
2.2.3.1.1.8	パターン識別	(低軌道衛星には適用されないため、省略)	—
2.2.3.1.1.9	ステアブルアンテナ要件	(非ステアブルアンテナのため、省略)	—
2.2.3.1.2	送受信器サブシステム		
2.2.3.1.2.1	送信機能		
2.2.3.1.2.1.1	最小出力	送信機能はマルチキャリアシステム、シングルキャリアシステムそれぞれの高出力増幅器のオンチャンネル平均EIRP出力(W)分を提供できなければならないことを規定	AESの最小EIRP出力: -4.0/26.0 dBW/dBm
2.2.3.1.2.1.2	最大個別キャリア出力	シングルキャリア送受信機のオンチャンネル出力はアップリンク周波数において、特定値以下でなければならないこと、マルチキャリア対応AESのオンチャンネル電力出力は、一音声・データキャリアの最大出力をアンテナの最小利得で割った値よりも2dB以上大きくてはならないことを規定	最大オンチャンネル出力: 総出力が最大EIRP 9.0/39.0 dBW/dBmを超えないこと
2.2.3.1.2.1.3	最大総送信出力	総平均の送受信機出力は規定値(対象周波数帯は、 $4.64 \times (f-1614) - 40$ dBW)を超えてはならないことを規定	送受信機からの送信バースト時間内の平均EIRP出力はアンテナ利得より15dBW低い値を超えてはならない

RTCA DO-262Cにおける規定(4/7)

項目	見出し	内容	イリジウムの規定
2.2.3.1.2.1.4	送信機能相互変調性能		
2.2.3.1.2.1.4.1	狭帯域相互変調性能	(適用外のため省略)	—
2.2.3.1.2.1.4.2	変調された相互変調性能	2.2.3.1.2.1.2によって許容される最大シングルキャリア出力または送受信機の最大出力の半分のいずれか小さいほうの2つの変調キャリアを送信する場合、送受信機の調和スプリアス・ノイズは表2-5および表2-6の値(対象周波数帯は-55dBW)満たさなければならないことを規定	2.2.3.1.2.1.9の不要発射規定により規定
2.2.3.1.2.1.5	送信機能の高調波、離散スプリアスおよびノイズ密度	(1610-1626.5MHz帯は適用外のため省略)	—
2.2.3.1.2.1.6	電波天文業務の保護		
2.2.3.1.2.1.6.1	1610-1626.5MHz帯以外で運用するAES	(1610-1626.5MHz帯は適用外のため省略)	—
2.2.3.1.2.1.6.2	1610-1626.5MHz帯で運用するAES	FCC規則 47CFR 25.213(a)を遵守するよう規定 上記規則により交渉された放射レベルは通告され、最小要件として本MOPSに記述されるよう規定	表1のとおり規定(ETSI EN 301 473の表を引用)
2.2.3.1.2.1.7	キャリアオフ水準	キャリアが送信状態にない時に有効なキャリア周波数で測定されるバースト出力は、キャリアオフ時のインターバル中に許容される規定最大出力以下とすることを規定	送信機が2秒以上送信しなかった後の不要な放射による最大EIRPは表2の数値以下とすることを規定
2.2.3.1.2.1.8	電力制御	送受信機は、規定のバックオフレンジ内で、規定のステップサイズ以下で、いかなる個別キャリアによる放射電力レベルも制御する能力を有していなければならないことを規定	バックオフレンジ: 8dB ステップサイズ: 1.0dB (AES2と3にのみ適用)

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

RTCA DO-262Cにおける規定(5/7)

項目	見出し	内容	イリジウムの規定
2.2.3.1.2.1.9	オンチャンネル出力スペクトラム	シングルキャリア変調の出力スペクトラムは、特定の衛星サブネットワークのインバンド要件を満たさなければならないことを規定	表1のとおり規定(ETSI EN 301 473の表を引用)
2.2.3.1.2.1.10	移動中の航空機における送信運用	音声またはデータ通信が可能なAESはいずれも、800ノット(1480 km/h)以下の飛行速度において、衛星ネットワークのインターフェース要件を遵守するよう義務付け (※勧告)1500ノット(2800 km/h)以下の飛行速度において、衛星ネットワークのインターフェース要件を遵守するよう規定	左に同じ ※イリジウムの航空通信GEN-0020のドップラー要件・性能を参照
2.2.3.1.2.2	受信機能	このセクションにおける、全信号レベルの測定に係る基準点は、AESへの入力ポートの点であることを規定するとともに、コントラクターは許容ケーブルロスを提示しなければならないことを規定	左の前半部分と同じ
2.2.3.1.2.2.1	受信感度		
2.2.3.1.2.2.1.1	データ	シングルのチャネルで運用する際、入力信号レベルが規定値以上の場合、パケットデータサービスが可能なAESはデータを、規定の最小のbps平均速度以上のスピードで出力するよう規定 また、剰余パケットエラー率は 1×10^{-6} 以下となるよう規定 ※本規定はベンチテスト要件として規定。	最小bps平均速度: 300bps ※エンドツーエンドの通信を24時間計測 最小入力信号レベル: -106dBm
2.2.3.1.2.2.1.2	ボイス	適切に設定された衛星システムのテストセットから、規定最小値以上の入力信号を受け取った場合、ボコーダーは性能要件を満たさなければならないことを規定 ※本規定はベンチテスト要件として規定。	最小入力信号レベル: AES1の場合 n/a AES2の場合 -106dBm AES3の場合 -106dBm
2.2.3.1.2.2.2	受信帯域	受信機は、衛星が発信する運用周波数の最大値と最小値の範囲で、入力キャリア周波数に対し要件を満たさなければならないことを規定	
2.2.3.1.2.2.3	NGSS受信帯域外信号の排除	$0.95f_{RMN}$ (運用周波数帯の最小値)~ $1.05f_{RMX}$ (運用周波数帯の最大値)周波数帯を除く、470-18,000MHz帯域における+3 dBmの干渉信号下にある場合においても、受信機は、最小の信号レベルで、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡しなければならないことを規定	左と同じ周波数帯において、-10dBmの干渉信号下においても受信・追尾できなければならないことを規定

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

RTCA DO-262Cにおける規定(6/7)

項目	見出し	内容	イリジウムの規定
2.2.3.1.2.2.4	他のAMS(R)S装置によって生成されるキャリア信号の排除	上記に加え、受信機は、下記のレベル及びキャリア周波数のCW干渉信号下において、最小信号レベル以上で、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡しなければならないことを規定 周波数帯: 1610-1631.5 MHz / 1631.5-1660.5 MHz CW干渉レベル: +3 dBm、/+7 dBm	CW干渉信号の基準を以下に再設定 周波数帯: 1626.5-1660.5 MHz CW干渉レベル: ※同じ機内に他のAMS(R)S装置がない場合 -96dBm (※勧告値-9dBm) ※同じ機内に他のAMS(R)S装置がある場合 -2dBm (※勧告値+5dBm)
2.2.3.1.2.2.5	移動中の航空機における受信運用	音声またはデータ通信が可能なAESはいずれも、800ノット(1480 km/h)以下の飛行速度において、衛星ネットワークのインターフェース要件を遵守するよう義務付け(※勧告)1500ノット(2780 km/h)以下の飛行速度において、衛星ネットワークのインターフェース要件を遵守するよう規定	左に同じ ※イリジウムの航空通信GEN-0020 のドップラー要件・性能を参照
2.2.3.1.2.2.6	受信感度	受信機は、指定された受信帯において、規定レベルのワイドバンド干渉ノイズ・ナローバンドノイズ下においても、必要な信号を適切に受信・追跡し、規定速度でデータを出力するよう規定	ノイズの最大許容レベル: ※ワイドバンドの場合 -124dBm@200kHz ※ナローバンドの場合 -121dBm@CW (同一チャンネル) -106dBm@CW (隣接チャンネル) -66dBm@CW (10チャンネル離れた場合)
2.2.3.1.3	必須航空機インターフェース		
2.2.3.1.3.1	外部位置	正確な位置情報を提供するにあたり、AESがGPS等、外部のジオロケーション手法を活用することが推奨される。	規定なし
2.2.3.1.3.2	外部時間基準	正確な時間情報を提供するにあたり、AESがGPS等、外部の時間基準を適用できる能力を有していることが推奨される。	規定なし

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

RTCA DO-262Cにおける規定(7/7)

表1) 不要発射の最大EIRP密度

周波数オフセット (kHz)	キャリアオン時		
	等価等方輻射電力 (dBW)	測定帯域幅 (kHz)	測定方法
0-160	-35	30	平均
160-225	-35 ~ -38.5	30	平均
225-650	-38.5 ~ -45	30	平均
650-1365	-45	30	平均
1365-1800	-53 ~ -56	30	平均
1800-16500	-56	30	平均

表2) キャリアオフ時の不要発射の最大EIRP

周波数 (MHz)	キャリアオフ時		
	等価等方輻射電力 (dBW)	測定帯域幅 (kHz)	測定方法
0.01-30	-87	10	ピークホールド
30-1,000	-87	100	ピークホールド
1,000-1559	-77	100	ピークホールド
1559-1605	-103	500	20msの平均
1605-1610	-88	500	20msの平均
1610-1613.8	-77	20	2,000s以上の平均
1613.8-1660	-77	100	ピークホールド
1660-1670	-77	20	2,000s以上の平均
1670-18,000	-77	100	ピークホールド

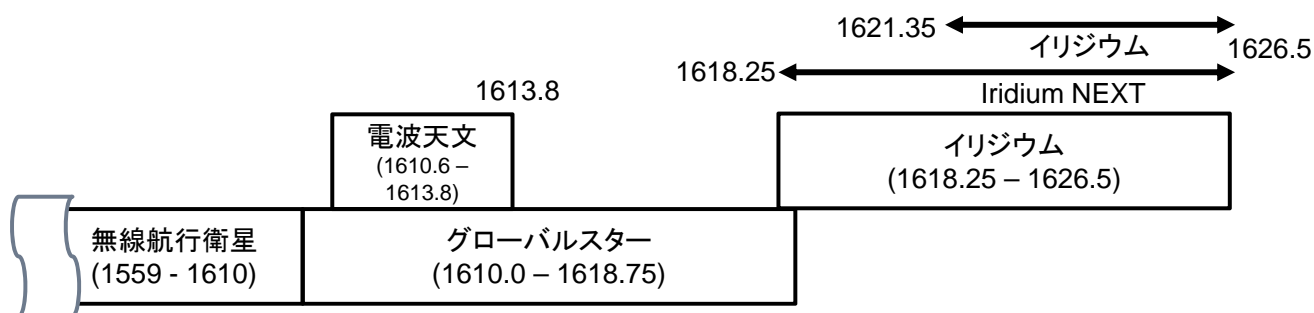
表3) AESの分類の説明

分類	説明
AES1	Short Burst Dataトランシーバ (96XX)1つと、Passive Low Gain Antenna (LGA)1つで構成
AES2	L帯トランシーバ(95XX)1、2つと、Passive LGA1つで構成
AES3	95XXおよび/または96XX2つ以上と、Passive LGA1つで構成

2. 電波天文台との周波数共用検討

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

L帯システムと電波天文台との関係



対象とする電波天文台

- JAXA臼田宇宙空間観測所
- NICT鹿島宇宙技術センター
- 国立天文台野辺山宇宙電波観測所

(以上は、諮問第82号「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「1.6GHz帯/2.4GHz帯を用いた移動衛星通信システムの技術的条件」のグローバルスターとの干渉対象。ただし現在運用調整は臼田宇宙空間観測所及び鹿島宇宙技術センターを対象としている。)

電波天文台	アンテナΦ[m]	アンテナ高*[m]	位置
JAXA臼田宇宙空間観測所	64	35	138° 21'54", 36° 07'44"
NICT鹿島宇宙技術センター	34	20	140° 39'36", 35° 57'21"
国立天文台野辺山宇宙電波観測所	45	25	138° 28'21", 35° 56'40"

*: シミュレーションでの想定

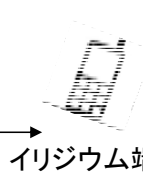
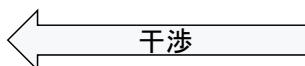
陸上・船舶用地球局に関する共用検討

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

離隔距離算定の前提条件

許容レベル

- ITU-R RA.769-2



離隔距離

スプリアス領域での不要発射

- 技術的条件 (ITU-R勧告M.1343-1)
- 実測値

電波伝搬モデル(次ページ参照)

- 自由空間モデル
- ITU-R勧告P.452-16(地形無)
- ITU-R勧告P.452-16(地形有)

周波数 (MHz)	周波数帯幅 (kHz)	許容値
1612	20	-220 dBW (-263 dBW/Hz)

ITU-R勧告RA.769-2, Table 2より
観測時間として2000秒を想定

基準	スプリアス領域での不要発射	備考
技術的条件*	-56dBW/30kHz(-101dBW/Hz) -77dBW/100kHz(-127dBW/Hz) (Carrier off)	ITU-R勧告 M.1343-1 Annex 1, Table 2
実測値	-87.9 dBW/100kHz(-138dBW/Hz)	TRACにて測定

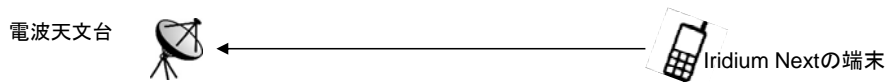
*: 平成9年度電気通信技術審議会答申より

基準	所要改善量 [dB]	離隔距離	
		自由空間モデル	ITU-R勧告P.452-16(地形無)**
技術的条件	162	1,864 km	56 km (海上194km)
技術的条件(Carrier off)	136	93 km	20 km (海上 64km)
実測値	125	26 km	12 km (海上30 km)

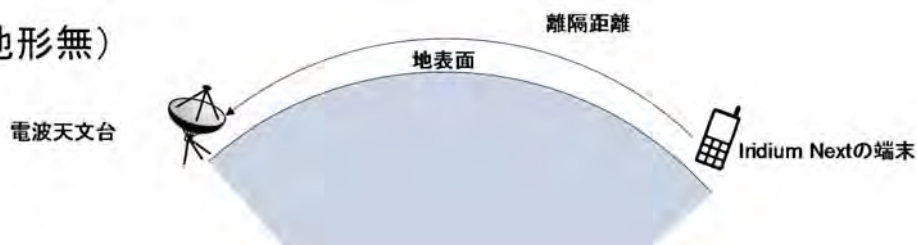
**: 電波天文台アンテナ高35m、イリジウム端末のアンテナ高1.5mを想定

電波伝搬モデル

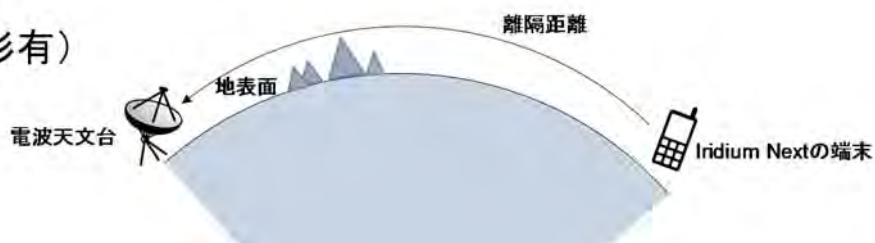
■ 自由空間モデル



■ ITU-R勧告P.452-16(地形無)



■ ITU-R勧告P.452-16(地形有)



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

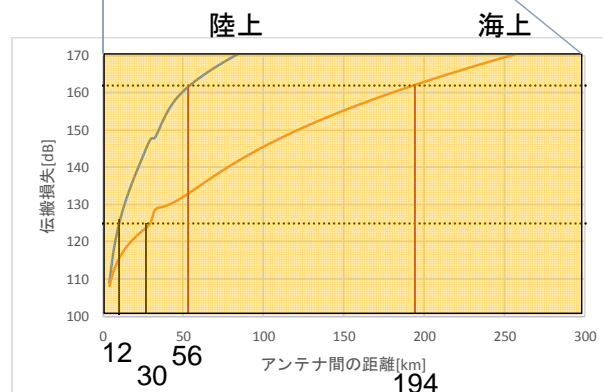
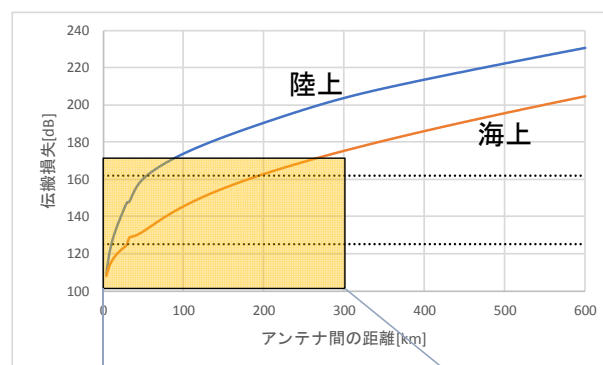
L帯システムと電波天文台との離隔距離 P.452-16地形無(1/2)

■ シミュレーション条件

- 電波伝搬モデル: ITU-R勧告P.452-16
- 地形: 標高0mの球を想定
 - 陸上: 野辺山、臼田、鹿島(一部)
 - 海上: 鹿島(一部)
- 周波数: 1.612GHz
- アンテナ高の想定
 - 電波天文台 35m
 - イリジウム端末 1.5m

■ シミュレーション結果

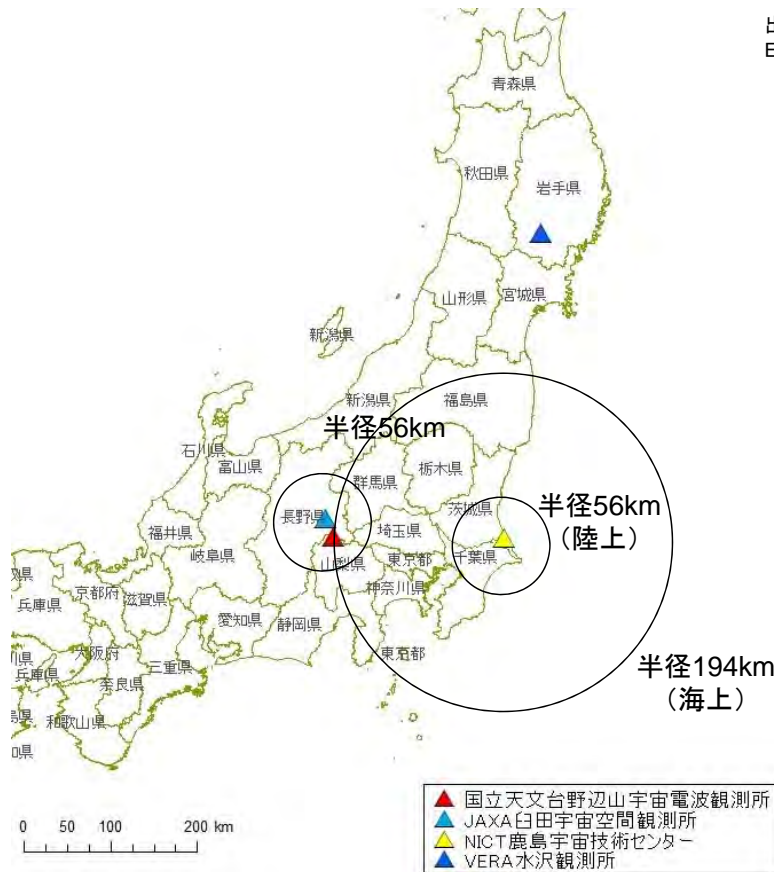
- 技術的条件での所要改善量162dB
 - 陸上 56km
 - 海上 194km
- 実測値での所要改善量125dB
 - 陸上 12km
 - 海上 30km



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

L帯システムと電波天文台との離隔距離 P.452-16地形無(2/2)

出典: 国土地理院発行の数値地図(国土基本情報)、
ESRIジャパンの全国市区町村界データより



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

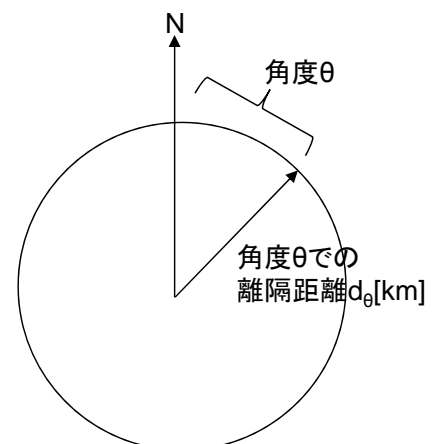
L帯システムと電波天文台との離隔距離 P.452-16地形有(1/4)

■ 検討対象

- JAXA 臼田宇宙空間観測所
- NICT 鹿島宇宙技術センター
- 国立天文台野辺山宇宙電波観測所

■ シミュレーション方法

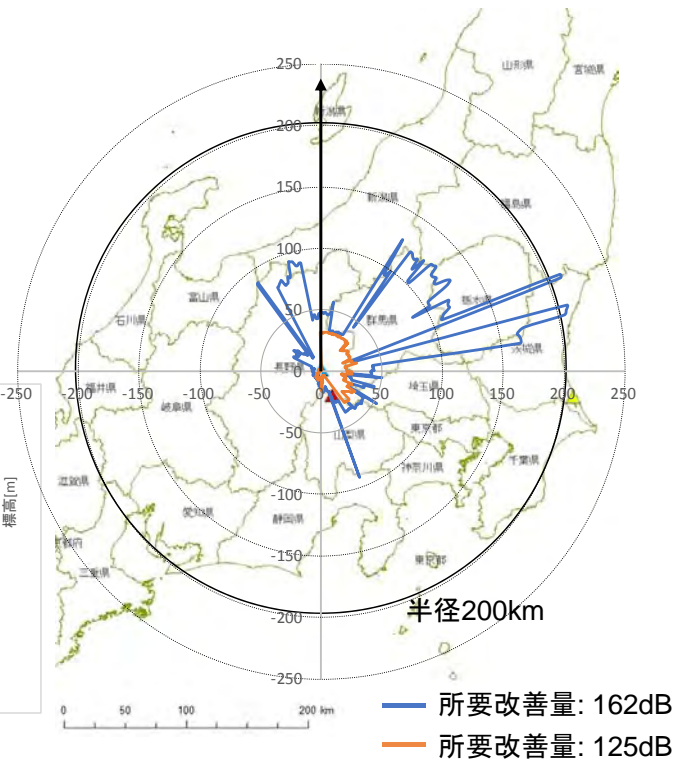
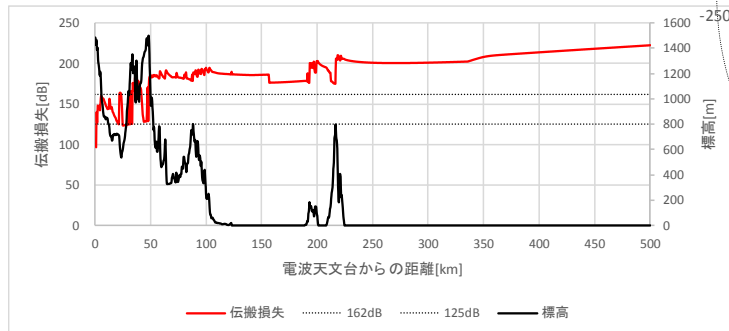
- 500mメッシュの地形データを利用(国土地理院数値地図250mメッシュ(標高)より作成)
- 電波天文台の周囲360度を1度間隔、0~500kmを500m間隔で伝搬損失を計算
- 500kmより電波天文台方向に伝搬損失が所要改善量を下回った位置を離隔距離 d_0 [km]として0~359度でプロット



L帯システムと電波天文台との離隔距離 P.452-16地形有(2/4)

■ JAXA臼田宇宙空間観測所

真北方向のプロファイル



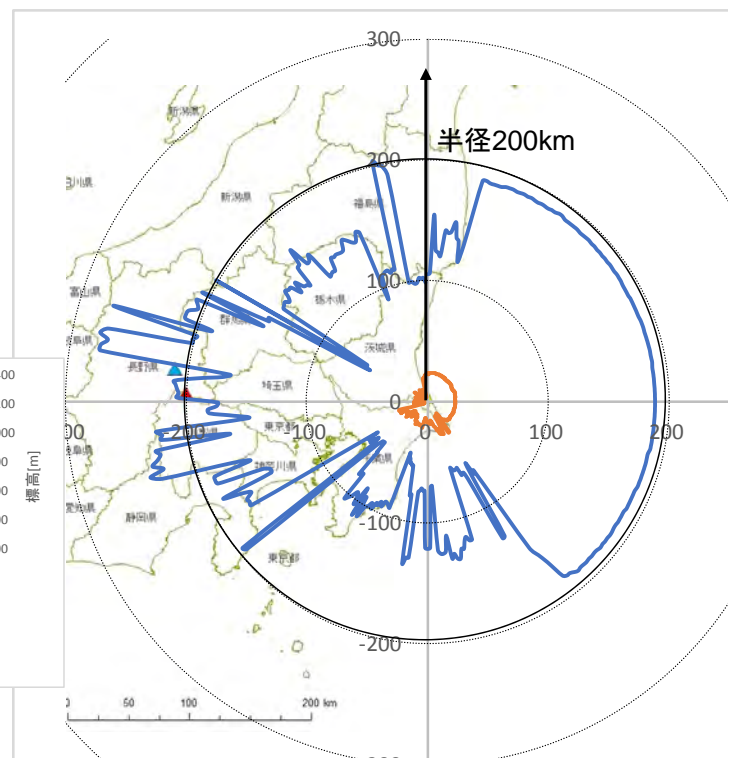
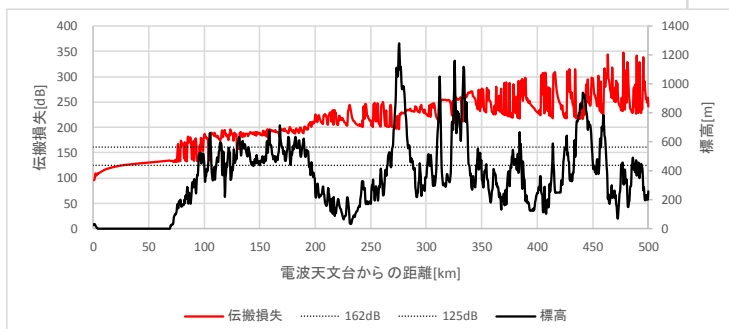
出典: 国土地理院発行の数値地図(国土基本情報)、ESRIジャパンの全国市区町村界データより

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

L帯システムと電波天文台との離隔距離 P.452-16地形有(3/4)

■ NICT鹿島宇宙技術センター

真北方向のプロファイル

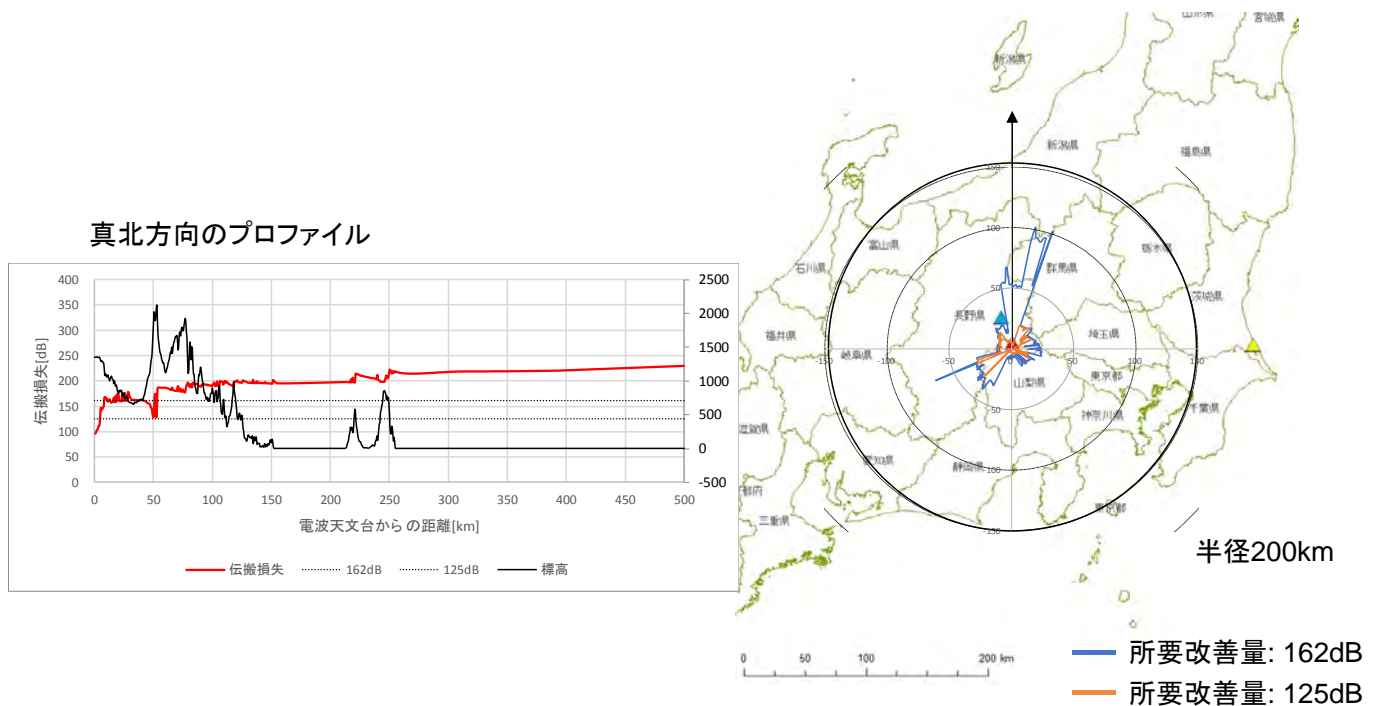


出典: 国土地理院発行の数値地図(国土基本情報)、ESRIジャパンの全国市区町村界データより

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

L帯システムと電波天文台との離隔距離 P.452-16地形有(4/4)

■ 国立天文台野辺山宇宙電波観測所



出典: 国土地理院発行の数値地図(国土基本情報)、ESRIジャパンの全国市区町村界データより

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

L帯システムと電波天文台との離隔距離

■ 時間率を考慮しない場合

観測時間: 2000秒

電波天文台	離隔距離(技術的条件)[km]		離隔距離(実測値)[km]	
	地形無	地形有	地形無	地形有
JAXA臼田宇宙空間観測所	56	5.5 – 212.0	12	1.5 – 32.0
NICT鹿島宇宙技術センター	194	44.0 – 277.5	30	2.5 – 31.0
国立天文台野辺山宇宙電波観測所	56	5.0 – 102.5	12	2.0 – 32.0

■ 時間率を考慮した場合

- ITU-R勧告RA.1513-2では2%以下のデータ損失を許容している。
- イリジウムによると臼田及び鹿島周辺での通信時間のピークにおいても2%以下であることが示されている。
- よって大幅な機器の増加がなく、2%以下のデータ損失である条件にて離隔距離を設定する必要はない。

航空機用地球局に関する共用検討

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

航空機用地球局と電波天文台との離隔距離(1/2)

- 航空機用地球局のアンテナゲインを0dBi、電波伝搬モデルとして自由空間モデルとする。
- 航空機用地球局のアンテナは航空機の機体上部に取り付けられており、飛行中アンテナと電波天文台とを結ぶ直線上に機体の一部が重なる。この遮蔽効果は、17dB (B747相当)と25dB (B787相当)とする(注1)。
 - これらの値は、アンテナが航空機内に設置された場合である。機体素材であるアルミニウム材、カーボン繊維複合材の遮蔽効果は60dB程度あるが、最悪の場合としてこれらの値を想定する。
- 航空機地球局からのスプリアス領域での不要発射は、技術的条件の値である-101dBW/Hzと実測値である-138dBW/Hzで検討を行う。



対象天文台	スプリアス領域での不要発射①	電波天文台の閾値②	航空機の機体による遮蔽効果③	所要改善量(①-②-③)
臼田、鹿島、野辺山 (輝線観測)	-101dBW/Hz	-263dBW/Hz	17dB	145dB
			25dB	137dB
水沢、石垣島 (VLBI)		-235 dBW/Hz	17dB	117dB
			25dB	109dB
対象天文台	スプリアス領域での不要発射①	電波天文台の閾値②	航空機の機体による遮蔽効果③	所要改善量(①-②-③)
臼田、鹿島、野辺山 (輝線観測)	-138dBW/Hz	-263dBW/Hz	17dB	108dB
			25dB	100dB
水沢、石垣島 (VLBI)		-235 dBW/Hz	17dB	80dB
			25dB	72dB

注1:2014年6月7日「5GHz帯無線アクセスシステム検討委員会作業班」第13回 資料2014-作13-11

航空機用地球局と電波天文台との離隔距離(2/2)

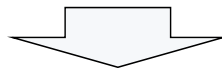
- 離隔距離を d_0 [km]とする。
 - 所要改善量 $=20\log\frac{4\pi d_0 f}{c}$
 - f:周波数(1.612GHz)
 - C:光速

技術的 条件の値	対象天文台	所要改善量	離隔距離
	臼田、鹿島、野辺山 (輝線観測)		145dB
		137dB	105km
水沢、石垣島 (VLBI)		117dB	19km
		109dB	4km
実測値	対象天文台	所要改善量	離隔距離
	臼田、鹿島、野辺山 (輝線観測)		108dB
		100dB	1.5km
水沢、石垣島 (VLBI)		80dB	148m
		72dB	59m

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

航空機用地球局と電波天文台との共用条件

- イリジウム端末のスプリアスの実測値を用いると、NICT鹿島宇宙技術センター付近を飛行する航空機は直線距離で3.9km程度離れているため、離隔距離3.7kmを満たしている。
 - さらに、ITU-R勧告RA.1513による2%以下のデータ損失を許容すると、NICT鹿島宇宙技術センターと航空機との距離は4.5km程度以上となるため、離隔距離を満たしている。
- 国立天文台野辺山宇宙電波観測所及びJAXA臼田宇宙空間観測所付近の航空路では巡航高度(約10km)で飛行しているため、離隔距離を満たしている。

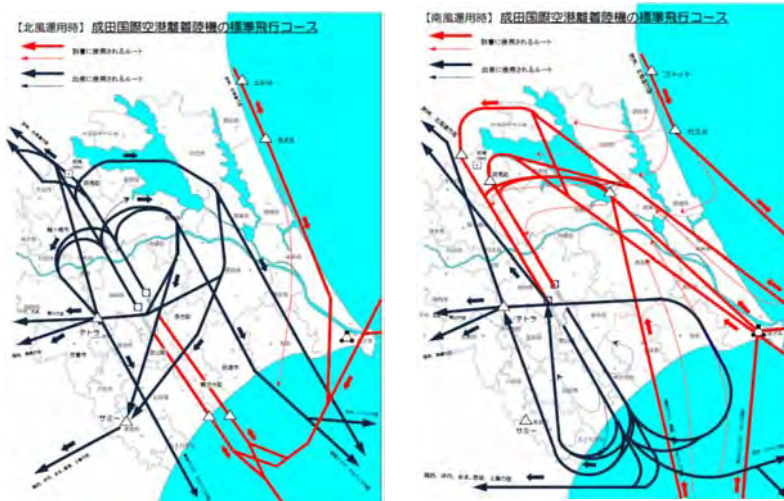


【航空機用地球局】

- イリジウム端末のスプリアス領域での不要発射強度の実測値では、機体による遮蔽効果を加味すれば電波天文台と共用可能。

(参考)NICT鹿島宇宙技術センター付近の航空路

- 成田国際空港離発着機の標準飛行コースによると、NICT鹿島宇宙技術センターの付近を飛行する航空機は水平距離として3.5km程度離れている。



出所: 成田国際空港株式会社ホームページより

- NICT鹿島宇宙技術センターの付近を飛行する航空機の高度は、国土交通省発行のAIP(Aeronautical Information Publication)によると6000ft(1.8km)、230kt(118m/s)であることより、NICT鹿島宇宙技術センターと航空機の距離は3.9km程度となる。
- さらに2000秒のうち2%のデータ損失を許容すると、NICT鹿島宇宙技術センターと航空機の距離は4.5km以上離れる。
 - 2000秒の2%は40秒となり、その間に航空機が飛行する距離は4720m(40秒×118m/s)。
 - 航空機の高度は1.8kmであり、NICT鹿島宇宙技術センターから最短の位置から20秒(40秒の半分)飛行した地点での航空機-NICT鹿島宇宙技術センター間の距離は4.5km($\sqrt{3.5^2 + 1.8^2 + (4.72/2)^2}$)。

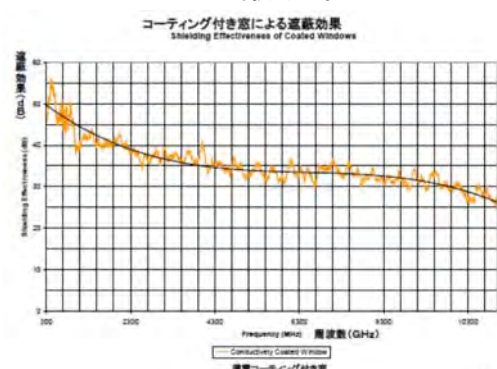
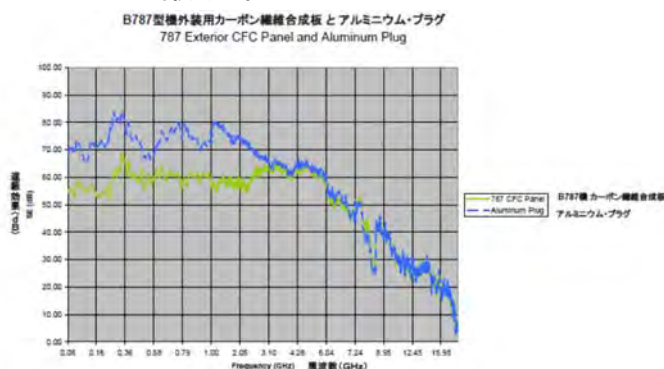
Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

(参考)航空機の機体による遮蔽効果

- アルミニウム材の胴体減衰効果 → 17dBと想定する
 - B747型機の胴体減衰効果の平均値は17.3dB
 - 主な電波漏洩の原因は窓



- カーボン繊維複合材による遮蔽効果 → 25dBと想定する
 - 6GHzまでは60dB程度の遮蔽効果
 - 窓の遮蔽効果は380MHz～10.6GHzで25dB～50dBの遮蔽効果



出所: 2014年6月7日「5GHz帯無線アクセスシステム検討委員会作業班」第13回 資料2014-作13-11

共用条件(案)

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

共用条件(案)

【陸上・船舶用地球局】

- イリジウム端末のスプリアス領域での不要発射強度の実測値では、電波天文台との離隔距離は以下の通り。
 - 野辺山天文台、臼田宇宙空間観測所、鹿島宇宙技術センターの周辺について、概ね30kmの範囲を避ければ共用可能。
 - ただし、現在の発信数では2%のデータ損失に達していないため、2%以下のデータ損失が担保される場合には、離隔距離を設定する必要はない。

【航空機用地球局】

- 同様にイリジウム端末のスプリアス領域での不要発射強度の実測値では、電波天文台から3.7km離れれば共用可能。
- 航空路との距離が一番近い鹿島宇宙技術センターにおいてもこの離隔距離を満足しているため、離隔距離を設ける必要はない。

3. 技術的条件(案)の検討

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

携帯移動地球局の技術的条件(案)の検討(1/4)

< 一般的条件 >

技術的条件項目		現行基準等		条件(案)
必要な機能	移動局選択制御	設49条の23ニイ(2)	通話に使用する周波数は、携帯基地地球局の制御信号により自動的に選択されるものであること	• 現行基準を踏襲
	電気通信回線設備との接続	設49条の23ニイ(3)	電気通信回線設備と接続ができるものであること	• 現行基準を踏襲
適用周波数帯		設49条の23ニ 前文	1,621.35~1,626.5MHz	• 高度化システムの仕様に基づき1,618.25~1,626.5MHz
アクセス方式		H9電技審答申	TDMA/FDMA方式	• 現行基準を踏襲 ※設備規則の規定なし
通信方式		設49条の23ニイ(1)	複信方式	• 現行基準を踏襲
変調方式		設49条の23ニロ(1)	QPSK	• 高度化システムの仕様:QPSK、16APSK • 将来の高度化等における柔軟性を考慮し、特に限定しない
人体への影響対策		—	—	• 電波防護指針を満足すること
		設14条の2	人体(頭部・両手を除く)の比吸収率を2W/kg(四肢は4W/kg)以下	• ハンディタイプ端末は現行基準を踏襲
		設14条の2 2	人体頭部の比吸収率を2W/kg以下	• ハンディタイプ端末は現行基準を踏襲
セキュリティ対策		H9電技審答申	不正使用を防止するため、装置固有の番号の付与、認証手順の適用、通信情報に対する秘匿を必要に応じ講ずること	• 現行基準を踏襲

携帯移動地球局の技術的条件(案)の検討(2/4)

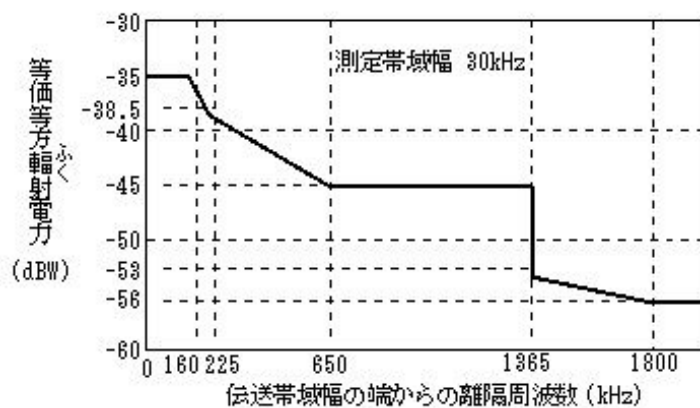
<送信装置の条件>

技術的条件項目	現行基準等	条件(案)
キャリアオフ時の漏洩電力	設49条の23 二ニ 平成9年告示659号1(一)	搬送波を送信していないときの電力レベルは、別表の通り
送信速度	設49条の23 二ロ(2)	50kbps以下(変調信号はパルスにより構成)
空中線電力の許容偏差	設14条	上限50%、下限50%
周波数の許容偏差	設5条 別表第一号 注43(1)	30×10^{-6}
不要発射の強度の許容値	設7条 別表第三号 42 平成17年告示第1228号	スプリアス領域: 50 μ W/4kHz以下 または -60dBc/4kHz以下 帯域外領域: 別図の通り
電波の自動発射停止	設49条の23 二ニ 平成9年告示659号 1(二)	故障検出機能を有し、検出後一秒未満の間に自動的に電波の送信を停止する機能を有すること
占有周波数帯幅の許容値	設6条 別表第二号 第40	31.5kHz
空中線電力	(無線局免許申請)	7W
等価等方輻射電力	H9電技審答申	特に限定しない ※EIRPの平均電力密度は、-3dB/4kHzの制限値内(RR脚注5.364)で運用される。 ※電力制御により、最大出力から12dBまでの範囲を1dBステップで電力制御を行い必要最小限のEIRPで運用される。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

携帯移動地球局の技術的条件(案)の検討(3/4)

帯域外領域のスプリアス発射



キャリアオフ時の漏洩電力

周波数 (MHz)	EIRP (dBW)	測定帯域幅 (kHz)
0.1~30	-87以下	10
30~1,000	-87以下	100
1,000~12,750	-77以下	100

携帯移動地球局の技術的条件(案)の検討(4/4)

<受信装置の条件>

技術的条件項目	現行基準等		条件(案)
副次的に発射する電波等の強度	設49条の23 二二 平成9年告示659号 2	搬送波を送信していないときの電力レベルに同じ	現行基準の適用

<空中線の条件>

技術的条件項目	現行基準等		条件(案)
偏波	設49条の23 二ハ	右旋円偏波	現行基準の適用
送信空中線の最小仰角	施32条三	三度以上	現行基準の適用

航空機地球局の技術的条件(案)の検討(1/3)

- 航空機局、航空機地球局が共通して遵守すべき条件として、設備規則第45条の5に以下の事項が規定。

第四十五条の五 航空機局及び航空機地球局の無線設備は、次の各号の条件に適合するものでなければならない。

- 一. 構造は、小型かつ軽量であつて、取扱いが容易なものであること。
- 二. 航空機の電氣的設備であつて重要なものの機能に障害を与え、又は他の設備によつてその運用が妨げられるおそれのないものであること。
- 三. 航空機の通常の航行状態における温度、高度等の環境の条件によつて機能が低下することなく良好に動作すること。
- 四. 空中線系は、風圧及び氷結に耐えること。
- 五. 空中線、受話器及びマイクロホンの各回路を備える場合は、それぞれ直流通路で機体のボンディング系に接続されていること。
- 六. 火災を生ずる危険が最も少ないものであること。

2 航空機に搭載して使用する携帯局の無線設備は、できる限り前項各号の条件に適合するものでなければならない。

- 航空機地球局は、携帯移動地球局の条件に加え、RTCA DO-262Cに基づく次項以降の条件を満足すること。

AES種類の説明

航空機地球局の分類	説明
AES1	Short Burst Data(SBD)トランシーバ1つと、Passive Low Gain Antenna (LGA) 1つで構成
AES2	L帯トランシーバ1、2つと、Passive LGA 1つで構成
AES3	SBDおよび／またはL帯トランシーバ2つ以上と、Passive LGA 1つで構成

航空機地球局の技術的条件(案)の検討(2/3)

<送信装置の条件>

技術的条件項目	条件(案)
パワーハンドリング性能	<ul style="list-style-type: none"> シングルキャリアユニットの場合は、最大の個別キャリア出力の規定に基づき、個別キャリアのバースト出力に対し十分なものであること。 マルチキャリアユニットの場合は、最大の個別キャリア出力の規定に基づき、最大数の個別データキャリアもしくは個別音声キャリアの出力に対し十分なものであること。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ AES1、AES2の場合、20W CWのハンドリング性能を有すること。 ✓ AES3の場合、最大の送信キャリア数に応じ設計すること。
アンテナ電圧定在波比	<ul style="list-style-type: none"> 上限を1.8:1とすること。
等価等方輻射電力	<ul style="list-style-type: none"> EIRPの上限を9dBWとすること。 最小EIRPは-4dBWとすること。 送受信機からの送信バースト時間内の平均EIRPは、アンテナ利得より15dBW低い値を超えてはならない
電力制御	<ul style="list-style-type: none"> 以下のバックオフレンジ内/ステップサイズ以下で、いかなる個別キャリアによる放射電力レベルを制御する能力を有すること。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ バックオフレンジ: 8dB ✓ ステップサイズ: 1.0dB (AES2、AES3のみに適用)
送信性能	<ul style="list-style-type: none"> 800ノット(1480 km/h)以下の飛行速度において、運用可能であること。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

航空機地球局の技術的条件(案)の検討(3/3)

<受信装置の条件>

技術的条件項目	条件(案)
受信感度	<ul style="list-style-type: none"> 許容可能なノイズレベルを以下とすること。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ワイドバンド: -124dBm@200kHz (所望信号レベル: -106dBm@35kHz) ✓ ナローバンド: -121dBm@CW (同一チャネル)、-106dBm@CW (隣接チャネル)、-66dBm@CW (10チャンネル離隔)
パケット誤り率	<ul style="list-style-type: none"> パケット誤り率 1×10^{-6}以下とすること。
干渉排除	<p><受信帯域外信号の排除></p> <ul style="list-style-type: none"> 0.95 × 1616MHz ~ 1.05 × 1626.5MHzを除く470 ~ 18,000MHz帯域において、-10dBmの干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できること。 <p><他のAMS(R)S装置によって生成されるキャリア信号の排除></p> <ul style="list-style-type: none"> (同じ機内に他のAMS(R)S装置が無い場合) 1626.5 ~ 1660.5MHzの帯域において、-96dBmのCW干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できること。(※推奨値: -9dBm) (同じ機内に他のAMS(R)S装置がある場合) 1626.5 ~ 1660.5MHzの帯域において、-2dBmのCW干渉信号下においても、衛星のダウンリンク信号を受信・追跡できること。(※推奨値: +5dBm)
受信性能	<ul style="list-style-type: none"> 800ノット(1480 km/h)以下の飛行速度において、運用可能であること。

<空中線の条件>

技術的条件項目	条件(案)
送信空中線の最小仰角	<ul style="list-style-type: none"> 最小仰角8° から仰角90° の範囲において、アンテナの偏波、アンテナ利得、軸比の要件を満たすこと。
アンテナ利得	<ul style="list-style-type: none"> 最小利得: -2 Weighted dBic 最大利得: 3 Weighted dBic
軸比	<ul style="list-style-type: none"> 軸比2.5dB以下とすること。
キャリアーマルチパス差分	<ul style="list-style-type: none"> 規定の最小仰角における最小アンテナ利得と地平線から同仰角分下がったところにおける最大アンテナ利得間のデシベル差は、最小キャリアーマルチパス差よりも大きいこと。 最小キャリアーマルチパス差は、3dBよりも大きいこと。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

参考資料一覧

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

	文書名	URL
Rec. ITU-R P.452-16	Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.452-16-201507-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R SM.2091-0	Studies related to the impact of active space services allocated in adjacent or nearby bands on radio astronomy service	https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2091-2007-PDF-E.pdf
Rec. ITU-R M.1583-1	Interference calculations between non-geostationary mobile-satellite service or radionavigation-satellite service systems and radio astronomy telescope sites	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1583-1-200710-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R S.1586-1	Calculation of unwanted emission levels produced by a non-geostationary fixed-satellite service system at radio astronomy sites	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1586-1-200701-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R RA.1631-0	Reference radio astronomy antenna pattern to be used for compatibility analyses between non-GSO systems and radio astronomy service stations based on the epfd concept	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/ra/R-REC-RA.1631-0-200305-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R RA.1513-2	Levels of data loss to radio astronomy observations and percentage-of-time criteria resulting from degradation by interference for frequency bands allocated to the radio astronomy service on a primary basis	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/ra/R-REC-RA.1513-2-201503-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R M.1091-0	Reference off-axis radiation patterns for mobile earth station antennas operating in the land mobile-satellite service in the frequency range 1 to 3 GHz	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1091-0-199409-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R M.1343-1	Essential technical requirements of mobile earth stations for global non-geostationary mobile-satellite service systems in the band 1-3 GHz	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1343-1-200506-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R M.1316-1	Principles and a methodology for frequency sharing in the 1 610.6-1 613.8 MHz and 1 660-1 660.5 MHz bands between the mobile-satellite service (Earth-to-space) and the radio astronomy service	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1316-1-200506-!PDF-E.pdf
Rec. ITU-R RA.769-2	Protection criteria used for radio astronomical measurements	https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/ra/R-REC-RA.769-2-200305-!PDF-E.pdf
ICAO Doc 9925 AN/475	Manual on the Aeronautical Mobile Satellite (Route) Service	http://www.aviationchief.com/uploads/9/2/0/9/92098238/icao_doc_9925_-_manual_on_amss-route_-_1st_edition_-_2011.pdf
FAA TSO-C159	Proposed Technical Standard Order (TSO)—C159, Avionics Supporting Next Generation Satellite Systems (NGSS)	https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2004-06-23/pdf/04-14207.pdf
RTCA DO-262	Minimum Operational Performance Standards for Avionics Supporting Next Generation Satellite Systems (NGSS)	—
RTCA DO-270	Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for the Aeronautical Mobile-Satellite (R) Service (AMS(R)S) as Used in Aeronautical Data Links	—
EUROCAE ED-243	Minimum Operational Performance Standards for Avionics Supporting Next Generation Satellite Systems (NGSS)	—
ETSI EN 301 473	Satellite Earth Stations and Systems (SES); Aircraft Earth Stations (AES) operating below 3 GHz under the Aeronautical Mobile Satellite Service (AMSS)/ Mobile Satellite Service (MSS) and/or the Aeronautical Mobile Satellite on Route Service (AMS(R)S)/ Mobile Satellite Service (MSS)	https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/301473/01.04.01_60/en_301473v010401p.pdf
ETSI EN 301 441	Satellite Earth Stations and Systems (SES); Harmonized EN for Mobile Earth Stations (MESs), including handheld earth stations, for Satellite Personal Communications Networks (S-PCN) in the 1,6/2,4 GHz bands under the Mobile Satellite Service (MSS) covering essential requirements under Article 3.2 of the R&TTE directive	https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/301441/01.01.01_60/en_301441v010101p.pdf

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.