

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

Ku帯非静止衛星システムの技術的条件の考え方

2020年2月3日 衛星通信システム委員会作業班(第19回)

 株式会社三菱総合研究所

技術的条件の考え方

技術的条件(1/3)

<一般的条件>

項目		技術的条件(例)	考え方
必要な機能	周波数選択制御	<ul style="list-style-type: none"> 送信する周波数や電力は、基地局が送信する制御信号によって自動的に設定されるものであること。 	<ul style="list-style-type: none"> 欧州規格及び他システムへの許容できない与干渉防止の観点から、当該機能は必要。
	追尾機能	<ul style="list-style-type: none"> 自局の通信の相手方である人工衛星局の方向を自動的に捕捉・追尾する機能を有すること。 また、自動的に捕捉・追尾できなくなった場合に直ちに送信を停止できること。 	
	インターロック機能	<ul style="list-style-type: none"> 基地局が送信する制御信号を受信した場合に限り、送信を開始できる機能を有すること。 	
	自動停波機能	<ul style="list-style-type: none"> 自局の障害を検出する機能を有し、障害を検出したとき及び基地局が送信する信号を正常に受信できないときは、送信を自動的に停止する機能を有すること。 	
	地球局送信制御	<ul style="list-style-type: none"> 基地局の制御により電波の発射を停止する機能を有すること。 	
	地球局位置送信	<ul style="list-style-type: none"> 位置情報を測定して基地局に送信する機能を有する等、他の無線局の運用に妨害を与えないための措置が講じられていること。 	
適用周波数帯	<ul style="list-style-type: none"> 国際分配に基づき、以下の周波数からサービス計画に合わせて割当てることが適当。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 送信: 14.0-14.5 GHz ✓ 受信: 10.7-12.75 GHz 	<ul style="list-style-type: none"> 第三地域の周波数分配及び事業者によるサービス構想に基づく。 	
通信方式	<ul style="list-style-type: none"> 限定しない 	<ul style="list-style-type: none"> 最新の技術動向等を踏まえ、柔軟なシステム設計・運用が行われることが適当。 	
多元接続方式			
変調方式			
電磁環境対策	<ul style="list-style-type: none"> 固定地球局については、発射される電波の強度が基準値を超える場所取扱者のほか容易に出入りすることができないよう施設すること。 移動地球局は、電波防護指針で定められた要求条件を満足すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 固定地球局は、電波法施行規則第21条の3の規定を満足することが必要。 	

技術的条件(2/3)

<送信装置の条件>

項目	技術的条件(例)	考え方
空中線電力の許容偏差	<ul style="list-style-type: none"> 上限50%、下限50% 	<ul style="list-style-type: none"> 設備規則第14条に準拠。 既存のKu帯静止衛星システムと同等の基準。
周波数の許容偏差	<ul style="list-style-type: none"> 100(百万分率) 	<ul style="list-style-type: none"> 設備規則第5条に準拠。 既存のKu帯静止衛星システムと同等の基準。
占有周波数帯幅の許容値	<ul style="list-style-type: none"> 限定しない 	<ul style="list-style-type: none"> 様々な用途における柔軟性を確保するため、一律の値を規定しないことが適当。 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された計算手法を適用し、無線局の免許の際に指定することが適当。
不要発射の強度の許容値	<p>ア スプリアス領域の不要発射</p> <ul style="list-style-type: none"> 50 μW 以下、又は基本周波数の平均電力より60dB低い値 <p>イ 帯域外領域の不要発射</p> <ul style="list-style-type: none"> $40\log(2F/BN+1)$dB/4kHzまたはスプリアス発射の強度の許容値のうち、小さい方の値以下 	<ul style="list-style-type: none"> 平成17年総務省告示第1228号に準拠。 既存のKu帯静止衛星システムと同等の基準。

<受信装置の条件>

項目	技術的条件(例)	考え方
副次的に発する電波等の強度	<ul style="list-style-type: none"> 4ナノワット以下 	<ul style="list-style-type: none"> 設備規則第24条に準拠 既存のKu帯静止衛星システムと同等の基準。

技術的条件(3/3)

<空中線の条件>

項目	技術的条件(例)	考え方
空中線の最小仰角	<ul style="list-style-type: none"> 3度以上 上記基準に加え、システム毎の共用条件等に応じ、適切な運用上の仰角範囲を規定することが適当。 	<ul style="list-style-type: none"> 施行規則第32条に準拠。本規定は既存のKu帯静止衛星システムと同等の基準。 システムにより、他の地上システムに許容できない干渉を与えない運用仰角の範囲が異なる。他方、運用仰角の範囲を設備の技術基準とすると、設備の設計において過剰な制約となる可能性が懸念される。 以上の観点から、個別システム毎に、必要に応じ運用仰角の範囲を運用基準として無線局運用規則等に規定することが適当。
地表線方向の等価 等方輻射電力	<ul style="list-style-type: none"> 0度以下:40 dBW 0度を越え5度以下:40+3θ dBW ※帯域幅4kHzの値	<ul style="list-style-type: none"> 施行規則第32条の2(別表第二号の四)に準拠。 既存のKu帯静止衛星システムと同等の基準。
軸外輻射電力	<ul style="list-style-type: none"> RR Article 22に定められたEPFD\uparrow制限に適合可能なEIRPマスクをシステム毎に指定することが適当。 	<ul style="list-style-type: none"> 他システム保護の観点から、軸外輻射電力に一定の制約を設けることが適切。また、静止衛星保護の観点から、RR Article 22に定められたEPFD\uparrow制限に適合するため、軸外輻射電力に一定の制約を設けることが適切。 以上の観点から、ETSI EN303 980の規定を参考に、RR Article 22に定められたEPFD\uparrow制限に適合する地球局のEIRPマスクを無線局の免許の際に申請することが適当。 EPFD\uparrow制限への適合性について、ITU-Rが公表する、ITU-R勧告S.1503(最新版)等に基づく計算結果を確認することを、電波法関係審査基準等に規定することが必要。
指向精度	<ul style="list-style-type: none"> 規定しない 	<ul style="list-style-type: none"> 静止衛星保護の観点では、EPFD\uparrow制限値を満足すれば良く、指向精度について一律の基準を設ける必要は無い。また、他システム保護の観点では、前述の追尾機能の規定で十分と考えられる。 以上の観点から、指向精度を必ずしも定める必要はない。

不要としたその他の技術的条件項目の考え方

項目	規定例(静止衛星システム、海外基準等)	考え方
電気通信回線設備との接続	電気通信回線設備と接続できるものであること。	<ul style="list-style-type: none"> 本システムの用途として、電気通信業務に限定されるものではないことから、規定不要。
ハンドオーバー機能	通信相手方衛星を切り替える機能を有すること。	<ul style="list-style-type: none"> 他システムへの与干渉に直接影響する機能ではないことから、規定不要(追尾機能、インターロック機能等により許容できない与干渉防止は実現可能)。
輻射電力の総和制御	同一の通信の相手方である人工衛星局の同一のトランスポンダを使用して、同一の周波数を使用する一又は二以上の移動局の輻射する等価等方輻射電力の総和を管理する機能を有すること。	<ul style="list-style-type: none"> 静止衛星保護の観点では、EPFD\uparrow制限値を満足すれば良いことから、左記機能については規定不要。
筐体構造	送受信機の筐体は、容易に開けることができないこと。	<ul style="list-style-type: none"> Ku帯VSATなど一部の静止衛星システムに当該規定例があるが、他システム保護の観点から必須要件ではないことから規定不要。
キャリアオフ時漏洩電力	欧州では、Ku帯非静止衛星システムについて、0dBW/1MHz(ETSI EN303 980)が規定。	<ul style="list-style-type: none"> 主として自システムの通信確立に必要な規定であること、同一周波数帯を使用する静止衛星システム保護は別途規定するEPFD\uparrow制限値への適合で実現されることから、規定不要。 我が国の既存のKu帯を用いる静止衛星システムの技術基準における規定例はない。
送信電力	欧州では、固定地球局は60dBW(ECC Decision(17)04)、移動地球局は54.5dBW(ECC Decision(18)05)が規定。	<ul style="list-style-type: none"> 左記規定は、航空機の高強度放射電界(HIRF(High Intensity Radiated Fields))の防護基準を満足するためのEIRP制限値であり、ECC Report 272をもとにした規定。 現状想定される出力よりも著しく大きいこと、国内の地球局の技術基準において、航空機の高強度放射電界の防護に関する同様の規定例は無いことから、当該ECC決定を踏まえた送信電力制限は規定不要。
水平線方向の電力(EIRP)	1MHzの帯域幅当たりのEIRP密度12.5dBW以下、最大EIRP16.3dBW以下(ESV)	<ul style="list-style-type: none"> 決議902(WRC-03)に基づくKu帯ESV特有の規定であり、規定不要。
交差偏波電力	ESV、移動体SNGは、主輻射方向からの離角毎に上限を規定。Ku帯航空機地球局は、交差偏波側の運用を阻害するような混信を生じさせない十分小さな値になるよう制御されること、を規定。	<ul style="list-style-type: none"> システム設計の柔軟性の観点から、一律の値を定めないことが適当。 なお、現在計画中のKu帯非静止衛星システムでは、サービスリンクの偏波繰り返しは行われない予定。
交差偏波識別度	10dB以上(Ku帯航空機地球局)、27dB以上(Ku帯VSAT)	<ul style="list-style-type: none"> 衛星システム間で偏波による共用を想定していないことから規定不要。
空中線の大きさ	直径0.6m以上(ESV)	<ul style="list-style-type: none"> 決議902(WRC-03)に基づくKu帯ESV特有の規定であり、規定不要。
空中線利得	空中線の絶対利得が50dB以下(Ku帯VSAT)	<ul style="list-style-type: none"> 左記の規定は標準的なVSATのアンテナサイズをもとにしたもの。システム設計の柔軟性の観点から、一律の値を定めないことが適当。 我が国の既存のKu帯を用いる静止衛星システムの技術基準における規定例は、Ku帯VSATのみ。

周波数共用に関する条件

■ 静止衛星システムの保護に関する条件

- ETSI EN303 980の規定を参考に、RR Article 22に定められたEPFD \uparrow 制限に適合する地球局のEIRPマスクを無線局の免許の際に申請することが適当。
- EPFD \uparrow 制限への適合性について、ITU-Rが公表する、ITU-R勧告S.1503(最新版)等に基づく計算結果を確認することを、電波法関係審査基準等に規定することが必要。
- なお、RR Article 22に定められた人工衛星局によるEPFD \downarrow 制限への適合については、静止衛星事業者にとって重要であり、制度設計時に、適切に個別の事業者と運用調整を行うことが必要。

■ 固定地球局、移動地球局(陸上、船舶搭載)に関する条件

- 地球局と電気通信業務との共用について、非静止衛星システム毎の共用検討結果に基づく離隔距離の設定等が想定される。
- 事業者間調整による運用が想定される。

■ 移動地球局(航空機搭載)に関する条件

- 事業者間調整による運用が想定される。また、ECC Decision(18)05に基づき、地表面における以下の電力束密度(PFD)制限値を満たすことで地上システムとの共用が可能である。

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

- なお、Ku帯を使用する航空機搭載を想定した携帯移動地球局(ヘリサット)は、無線局運用規則第262条の3 第2項において、14.4GHzを超える周波数に対しては、ITU-R勧告M.1643に基づき、地表面における次の電力束密度(PFD)制限値が規定されている。

水平方向を基準とした電波の到来角(θ)	PFD (dB (W/(m ² ·MHz)))
$\theta \leq 40^\circ$	-132 + 0.5 θ
$40^\circ < \theta \leq 90^\circ$	-112

測定法の検討

AESAに対応した測定法の検討(1/2)

- 非静止衛星システム向けAESA(Active Electrical Steerable Array Antenna)の電波の質の評価試験方法の検討方針として、同じAESA端末を利用した無線設備である第5世代移動通信システム(5G)[※]を参考とすることとする。

※ 5Gの技術的条件の情報通信審議会一部答申の測定法(H30.7.31)及び登録証明機関が総務大臣へ届出た臨時の試験方法

- 5G向けAESA(28GHz帯)と、非静止衛星システム向けAESAとの差異の抽出結果を下記にまとめる。以下の差異を考慮して、非静止衛星システム向けAESAの測定法を検討する。

項目	5G向けAESA(28GHz帯)	非静止衛星システム向けAESA
用途	無線通信基地局、陸上移動局	固定地球局、移動地球局等
送受共用	送受共用アンテナ	<u>送受別アンテナ</u> 等
大きさ (素子数)	送信/受信共用:256素子程度	送信: <u>数千素子程度</u> 受信: <u>数千素子程度</u>
偏波	直線偏波切り替え	<u>円偏波</u> 切り替え
通信方式	TDD	<u>FDD</u> 等

AESAに対応した測定法の検討(2/2)

前頁の検討結果を踏まえ、5G向けAESAと非静止衛星システム向けAESAの評価試験項目の変更点について、以下の観点が考えられる。

- 5G向けAESAの電波の質評価試験では、送受共用アンテナであることを前提に、受信機能は利用せずに周波数の偏差、占有周波数帯域幅、スプリアス、空中線電力の偏差に関する試験を行うよう記載がある。一方、非静止衛星システム向けAESAは送受別アンテナのものもあり、送信アンテナのみでの測定を行うことが可能であるため、周波数の偏差、占有周波数帯域幅、スプリアス、空中線電力の偏差に関する試験を行うときには送信アンテナのみを測定すればよいと考えられる。
- 5G向けAESAの電波の質評価試験では、通信方式がTDDであることを前提に継続的バースト送信による周波数の偏差、占有周波数帯域幅、スプリアス、空中線電力の偏差に関する試験を行うよう記載がある。一方、非静止衛星システム向けAESAは通信方式としてFDDも想定され、継続的バースト送信を行えない機材があることから、バースト送信に限定する記述を割愛するべきと考えられる。
- 5G向けAESAの電波の質評価試験では、送受共用アンテナであることを前提に、送信機能を停止した状態で受信機能のみと動作させることにより、副次的に発する電波等の限度に関する試験を行うよう記載がある。一方、非静止衛星システム向けAESAは送受別アンテナのものもあり、送信機能を停止した送信アンテナだけでなく動作させた受信アンテナを用いて副次的に発する電波等の限度に関する試験を行う必要があるため、試験系の構成について追加の検討が必要であると考えられる。

測定法(1/3)

- 地球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。
- アクティブフェーズドアレーアンテナを用いる地球局については、OTA(Over The Air)による測定法を適用することが適当である。送信装置には、測定項目に応じて実効輻射電力(EIRP)または総合輻射電力(TRP)のいずれかの方法を、受信装置には総合輻射電力(TRP)を適用する。
- その他、監視・制御機能等の確認のための総合試験が必要であり、他の静止衛星システムの試験方法に準拠することが望ましい。

<送信装置>

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。
- アクティブフェーズドアレーアンテナの場合、被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、送信状態とする。試験用空中線は被試験器の空中線電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し、被試験器の周波数を測定する。試験器を無変調状態とすることができる場合には周波数計としてカウンタを用いて測定してもよい。

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。
- アクティブフェーズドアレーアンテナの場合、被試験器を試験周波数に合わせ、出力及び占有周波数帯幅が最大となるように設定し、送信状態とする。試験用空中線は被試験器の空中線電力の総和が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを搬送波周波数に設定し、EIRPスペクトル分布を測定するとともに、帯域内の全電力を求める。導出した全電力の0.5%となる上下の限界周波数点を求め、その差を測定値とする。

測定法(2/3)

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の測定し、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4kHz当たりの電力密度に対する比とする。
- アクティブフェーズドアレーアンテナの場合、被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、送信状態とした後、不要発射の強度が最大となる状態に設定する。試験用空中線は被試験器の不要発射が最大となる方向に配置する。不要発射のEIRPの最大値が許容値以下の場合、この最大値を測定値とする。最大値が許容値以上の場合、スペクトルアナライザを用いて不要発射の中心周波数を求め、全放射面におけるTRPを求める。連続送信の場合は、導出したTRPを測定値とする。バースト送信の場合は、導出したTRPにバースト時間率の逆数を乗じた値を測定値とする。

④ 空中線電力の偏差

- 変調の状態での連続送信させ、送信設備の電力出力を電力計又はスペクトラムアナライザを用いて測定し、規定された空中線電力との比を求める。
- アクティブフェーズドアレーアンテナの場合、被試験器を試験周波数及び最大出力に設定し、送信状態とする。試験用空中線は被試験器の空中線電力が最大となる方向に配置する。スペクトルアナライザを使用し、全放射面におけるTRPを求める。連続送信の場合は、導出したTRPを測定値とする。バースト送信の場合は、導出したTRPにバースト時間率の逆数を乗じた値を測定値とする。

⑤ 軸外輻射電力

- 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。
- アクティブフェーズドアレーアンテナの場合、空中線の指向特性の利得、軸外輻射パターンについては、想定されている地球局の運用仰角の範囲にわたって考慮する必要がある。

測定法(3/3)

<受信装置>

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。
- アクティブフェーズドアレーアンテナの場合、被試験器の送信を停止し、試験周波数を連続受信する状態とする。連続受信状態とできない場合は、外部試験装置等より試験信号を加え、試験周波数を一定の周期で間欠受信する状態とする。試験用空中線はスペクトルアナライザを用いて被試験器の副次発射が最大となる方向を定め、配置する。不要発射のEIRPの最大値が許容値以下の場合、この最大値を測定値とする。最大値が許容値以上の場合、スペクトルアナライザを用いて不要発射の中心周波数を求め、全放射面におけるTRPを求めて測定値とする。