



どについてSG4関連WPがresponsible/contributing groupのいずれかになっており、全議題の半数近くについてresponsible groupになっている。

2.3 IMT-2020衛星コンポーネント (WP4B)

基本的にSG5における地上コンポーネントに係る勧告策定と同じステップで検討を進めている。これまで、3GPPから無線インタフェース技術 (RIT, SRIT) の提案があり、外部評価機関による評価が完了し、報告ITU-R M.2543を2024年11月のSG4にて承認した。次回WP4B (2025年5月@上海) にて勧告ITU-R M. [IMT 2020-SAT.SPECS] を最終化する予定である。

2.4 宇宙局とIMTユーザ端末の直接接続 (WRC-27 議題 1.13 ; WP4C)

第416回ITU-R研究会にて詳説されているので、収録しているITUジャーナル4月号「スポットライト」等を参照されたい。

2.5 Space Sustainability (全権委員会議 決議219、決議ITU-R 74)

全権委員会議 (PP-22) へのサモア等からの提案に基づきPP決議219が策定され、それを受けてRA-23に複数国から入力があり、決議ITU-R 74が策定された。WP4Aにおいては、決議ITU-R 74に従い、現在best practiceに係るハンドブックを作成中であり、これまで章構成について検討した。また、“space sustainability”に関する課題全般を解決すべきとの意見があったが、決議ITU-R 74に従うべきと整理され、また、“long-term sustainability”が一般及びITU-Rの所掌の観点での意味等について検討すべきとされた。これらの議論を踏まえ、他の宇宙関係WPにliaison文書を発出した。

そのほかに、ITUとしてはweb site (<https://www.itu.int/space-sustainability/>) を開設したり、フォーラム (<https://www.itu.int/ssf/>) を開催したりしている。

なお、本件については、サモア等からNGSOによる干渉その他の被害について検討してWRCに報告するという趣旨の決議がPP-22に提案され、表現を改めた形でPP決議219として策定された。その後、RA-23で中国、アラブ諸国、ブラジル、米国から、PP決議219に基づくITU-R決議が提案され、議論の結果、WRCへの報告という記述は削除され、検討対象についてはやや曖昧な表現にされた。WP4Aでは、それらの思惑の違いがある一方で、ITU-R決議により検討期限が規定されているため急ぎ検討を進めている。

3. WP4Aにおける非静止衛星システムに係る検討

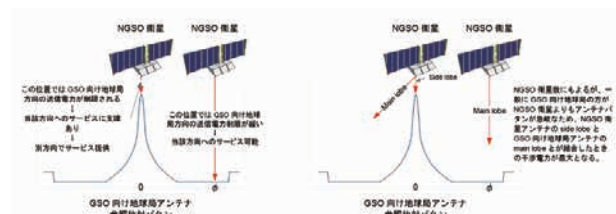
3.1 RR第22条の見直し (GSOとの周波数共用) 等

3.1.1 epfdとは

GSO衛星網で使用される地球局のアンテナは特定の静止衛星を指向するが、その地球局から見たNGSO衛星の位置は絶えず変わり、干渉を受信する地球局のアンテナ利得も時間とともに変化する。そこで、NGSO衛星からの地表面pfdを、その受信干渉電力が変わらないように、GSO地球局アンテナの主軸方向からのpfdに換算した電力がepfdであり、数式では以下のとおり表示される。

$$epfd = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_d} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} \right]$$

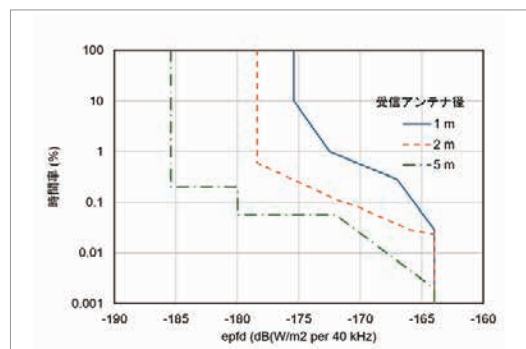
このepfdの概念を導入することにより、GSO衛星網から見ると、pfdと同等に扱うことができ、NGSOシステムの軌道や衛星送信電力などが分からなくても干渉電力を計算できるようになる。一方、NGSO衛星システムから見ると、epfd許容値を守る限りにおいてシステム設計の自由度が担保されることになる。



■図1. epfdの概念

なお、RRに規定される許容値としては、周波数帯、位置関係、運用方法により以下のものがある。

- C (6/4GHz)、Ku (14/12GHz)、Ka (30/20GHz) 帯
- uplink、downlink (アンテナ径ごと)、衛星間 (NGSO衛星からのdownlinkをGSO衛星が受信)



■図2. Ka帯下側の周波数におけるダウンリンクの規定



■ ITU BRで審査するもの（1システム当たりの許容値）、Aggregate（WRC決議76）、operational、additional operational（RR表22-4A/4A1/4B）

また、epfd許容値は、元々RR No. 22.2のGSO衛星網への“容認しえない干渉”を定量化したものだが、epfdの本質はpfdであり、大口径アンテナへの干渉電力を抑えるには不十分なので、特定の条件を満たす地球局とは周波数調整が必要とされている（RR No. 9.7A/B）。

3.1.2 現行epfd許容値（Ku、Ka帯）の導出根拠

GSO/FSSへの時間的に変動する干渉に対する規格（全NGSOシステムによる干渉の総和）は、勧告ITU-R S.1323に以下のとおり規定されている。

- Long-term：電力は回線熱雑音電力の6%増加、時間率は10%
- Short-term：電力は回線が断になるレベル、時間率は回線不稼働率の10%
- ACM（Adaptive Coding&Modulation）回線に対する規格

また、epfd許容値を導出するには、前述の規格を、GSO衛星網の回線パラメータに適用し、得られた点（epfd値とそれに対応する時間率）を結んでマスクにするという作業を行った。その回線パラメータについては、ITUから回章にて各主管庁に提案を募集し（CR/92、115、116）、日本からもKu、Ka帯の回線パラメータを提示している。点を結ぶ方法については具体的な規定がないこともあり、電力と時間率のマスクにした上で降雨減衰によるC/N劣化と畳み込みを行い、short-term規格への適合を確認したり、当時検討されていたNGSOシステムのepfdについてシミュレーションを行った結果等に基づきマスクを作成したりしたものを各国が提案として持ち寄り、それに基づいて協議を行い、策定した。

その後、全NGSOシステム全体への許容値から単一システムへの換算を行ったが、その際、いくつかのNGSOシステムが同一周波数帯を共用できるか議論になった。技術的には条件により多くのシステムが共存可能との結果が提示されたが、現実的ではないとされ、商業的な共存可能性についても考慮し、3.5システムに等分することとともに、全NGSOシステム全体への許容値はWRC決議76に規定されたが、それを超過したときの対応については規定されなかった。

3.1.3 評価用ソフトウェア

ITU BRで審査する際に用いる評価用ソフトウェアのアルゴリズムは勧告ITU-R S.1503に規定されている。RRでは

地表面全体でepfd許容値を満足するとされているが、ソフトウェアで対応することは非現実的なので、epfdが最大になる位置関係（WCG）で評価することになっている。これは、epfdについて検討されていたところは数百程度の人工衛星が、静止衛星軌道周辺を避けて（“Arc Avoidance”技術を採用して）運用することを想定していたためその前提でも問題は生じなかったが、実際には時間率とのマスクで規定されているため、WCGで条件を満足していたとしても他の場所で条件を満足するとは限らないことが明らかになってきており、WCG以外での遵守の確認法が課題とされている。

その一方で、計算モデルを一般化するため正確性が犠牲になり、干渉を過大評価するとの懸念があるが、こちらについては、正確化するためのモデルの一般性、計算の複雑化（計算機リソースや計算時間への影響）、必要パラメータの提示方法（RR Appendix 4）、パラメータ変更時の調整ステータス（調整資料受領日）等が課題になっている。

なお、勧告ITU-R S.1503はNGSO衛星システムに係る審査で使用される極めて重要なものではあるが、検討に関わっていた各国の主要メンバがRRから参照による引用（IBR）をすることを失念していてWRC-2000の場でそのことに気づき、急きょ協議して全体会議の議事録にて規定することとなった。その後も勧告ITU-R S.1503はIBRされていないが、BRで使用するソフトウェアの更新に当たりアルゴリズムとして参照する勧告のバージョンを更新する場合はWRCで審議し、全体会合の議事録に記載することが行われている。

3.1.4 Q/V帯（40/50GHz帯）における周波数共用条件

2015-2019研究会期で条件の検討を行ったが、一部未完了部分が残ったため、WRC-19会期中に以下のオプションに加え、保護対象となる参照回線の諸元や干渉の計算方法などの技術的詳細について調整し、確定した。

- 周波数共用スキーム（RR No. 22.2のまま、周波数調整、決議に基づく干渉評価）
- 遡及適用の有無
- MSSの扱い（RR No. 22.2ではMSSは対象外なので）
- ACM回線への影響の評価法（年間平均帯域利用効率、reserve capacityの減少）
- aggregate基準の遵守方法
- 参照回線

干渉評価は干渉によるC/N劣化（勧告ITU-R S.1503に基づき計算）と降雨減衰の統計を求めて畳み込み、非ACMのGSO参照回線については不稼働率の3%を1つのNGSO



回線に配分、ACMのGSO参照回線には時間的加重付けを行った帯域利用効率の3%を1つのNGSO回線に配分することとなっている。

なお、Aggregateについては、2000年の時点ではITUでの審査時にシステムを分割して計算上電力や時間率が小さくなるようにすることに対する懸念はあったものの、実際に4以上のシステムが導入されるとは考えられなかったこともあり、前述のとおり超過時の対応について規定されなかったが、小型衛星の普及などによりWRC-19ではQ/V-bandについて超過時の対応も規定され、この議論のうちにKu、Ka帯に波及することになった。

Q/V-bandにおいては、複数のNGSOシステムからの干渉の総和に対し、GSO参照回線及びsupplemental回線（主管庁が諸元を提出しかつ運用開始されたもの）の不稼働率の10%（非ACM）、時間的加重付けを行った帯域利用効率の8%（ACM）を配分するとともに、この条件を守るための手順（NGSOの運用を予定している主管庁間の協議）を規定した。

ACM回線の帯域利用効率として勧告ITU-R S.2131に記載されている非線形衛星回線におけるEb/N0-BER特性の多項式近似式を使うことになっているが、実際のACM回線では離散的な変調方式・符号化率（MODCOD）で運用されることや、MODCODの変更が頻発することを回避するためマージンを設けている点が現実と異なる。

3.1.5 epfdに関する検討状況

WRC-23において、いわゆるmega-constellationが現行RRの規定を満足することが困難であること等を理由に、mega-constellationを推進する主管庁がepfd許容値の見直しを強く要求したが、議論の結果、WRC-27の議題ではなく、かつregulatory consequenceはない前提で現行epfd許容値について検討を行うこととなり、WRC全体会合の議事録に記載された。WP4Aにおいては、その議事録の記述に従い検討を開始している。各国が様々な検討を入力しているのに対し、時間的制約などから十分検討できていないが、現行規定の導出根拠などについては理解がそろってきている。また、現行規定の導出根拠となったGSOの回線特性をITU BRに要請し、入手した。

3.1.6 勧告ITU-R S.1503に関する検討状況

ITU BRが使用しているソフトウェアの更改には、コーディングや検証など多大な労力と費用を要することから、勧告改定が頻繁にならないよう注意深く対応している。

最近の会合での主な論点は以下のとおりである。

- NGSO衛星の選択アルゴリズム
- 計算対象とする位置関係（WCG以外の扱い）
- 地球局・人工衛星局それぞれのアンテナサイドローブによる干渉（mega-constellationでは特に影響が出るため）
- NGSOシステムとの干渉検討に用いるアンテナ放射パターン（既存勧告の多くのようにenvelopeを使うと干渉の統計を過大評価する可能性があるが、現行規定では既にenvelopeではなくなっている）

3.1.7 複数NGSOシステムからの干渉電力の総和に関する検討状況

Ku、Ka帯に関し、WRC決議76に基づきNGSOからの干渉の総和の算出法や許容値を超過したときの手順について検討している。本件についても様々な意見があったことから論点を整理している。そのうち、算出法については以下のような意見がある。

- 個々のNGSOシステムからのepfdについて、計算モデルなど詳細を開示して再現できるようにすべき
- 各国がより精緻なモデルに基づいて計算した結果を提示するのみにすべき

手順については、aggregationの計算を行った後に協議を行い、その計算については簡易な計算で超過したら精緻な計算を行う方向で検討しているが、具体的な枠組みについては合意されていない。

3.2 その他（WRC-27議題関連）

WRC-27議題1.5の無認可NGSO地球局の扱いをどうするかが他の議題の検討にも影響している。また、Q/V帯に関しては共通して以下の課題がある。

- 決議770の計算手法の海上/航空移動地球局（ESIM）も含めた干渉評価への適用可否
- 議題1.6のequitable accessとのつじつま

4. おわりに

SG4はアマチュアと科学関係以外の人工衛星を用いた電気通信を扱う研究委員会であり、最近の人工衛星の活用の高まりなどを受け、WRC-27の多くの議題について検討を行うことになっている。また、従来人工衛星は、通信・放送分野では静止衛星を放送に使うことが一般的であったが、近年非静止衛星コンステレーションを利用した通信サービスが世界的に開始されるなどの動きがあり、SG4でもそれに対応するための検討等が行われてきており、今後も続くものと予想される。

（2025年1月31日 ITU-R研究会より）