

移動衛星通信と衛星測位に関する標準化活動と将来動向 —ITU-R SG8の活動状況報告—



(株)KDDI研究所 取締役
ITU-R SG8副議長 WP8D議長
みずいけ たかし
水池 健

1. まえがき

ITU-R SG8のWP8Dは、移動衛星通信と衛星測位を扱う作業会合として、活発な活動を続けてきた。ITUにおける標準化活動は、技術の進歩や事業分野の消長を率直に反映する鏡と言えるが、WARC-92以降のWP8Dの動向は、非静止衛星の導入を契機として、その典型と言えよう。新サービスや新システムの実現を狙った周波数の割り当てと、これに伴う周波数共用条件や技術課題の検討に精力的な審議が行われてきた。WRC-2000以降、衛星測位の分野でも、その傾向が顕著である。本稿では、最近の移動衛星通信と衛星測位の分野における標準化活動について、その概要を報告するとともに、そこから垣間見られる今後の動向について簡単に紹介する。

2. ITU-R SG8における活動状況

ITU-RのSG8は、移動通信業務の全般を扱っている。移動通信は、言うまでもなく有線の代替手段がないことから無線通信の独壇場であり、昨今の移動通信の急速な普及に伴って、SG8は活発な活動を続けている。SG8は、陸上・海上・航空のすべてを対象とする移動通信業務と測位・無線航行業務を担当しており、これを扱う衛星とアマチュア業務を含んでいる。いよいよ実用化が始まったIMT-2000と、その後継システムもSG8の重要課題である。現在のSG8の構成と担務は、図1に示すとおりである。WP8DはSG8において、移動衛星業務(MSS)および無線航行衛星業務(RNSS)を担当しており、IMT-2000衛星コンポーネントも対象業務の一つである。

現在、WP8Dの担当とされている研究課題は23件あり、表1に示す分野の課題を扱っている。また、最近のWRCにおいては、移動通信が主要な議題として多く取り上げられている。移動衛星業務および衛星測位の分野でも、WRC-03に向けて、表2に示す5件の議題に関する検討が、WP8Dの主担当とされている。CPMに向け

て種々の検討が行われ、CPM報告書案と関連する新勧告案の作成が精力的に進められた。

- SG8 (移動業務) [議長 C. van Diepenbeek (蘭)]
 - WP8A (陸上移動・アマチュア業務 (IMT-2000を除く)) [議長 S. Towaij (加)]
 - WP8B (海上移動・航空移動・無線測位・無線航行業務) [議長 R. Swanson (米)]
 - WP8D (移動衛星・無線航行衛星業務) [議長 T. Mizuike (日)]
 - WP8F (IMT-2000と後継システム) [議長 S. Blust (米)]
 - JRG8A-9B (無線アクセス) [ラポータ J. Costa (加), H.Mazar (イスラエル)]

図1. SG8の構成と各WPの所掌

表1. WP8Dに割り当てられた研究課題

課 題	Question番号
移動衛星通信と他業務との周波数共用および干渉規格と評価方法	Q.201, Q.211
性能目標と稼働率	Q.85, Q.112
移動地球局端末の技術特性	Q.210, Q.218, Q.222
スプリアス特性	Q.220
救難安全とAMS (R) S	Q.90, Q.109, Q.110, Q.209, Q.227
無線航行衛星業務と衛星測位	Q.91, Q.217, Q.219
IMT-2000衛星コンポーネント	Q.228
軌道と周波数の有効利用およびアンテナ伝搬と伝送特性	Q.83, Q.84, Q.87, Q.88
システムコンセプトおよびIPパケット伝送	Q.104, Q.233

表2. WP8Dが検討の主担当となったWRC-03の議題

議題番号	議題	関連決議
1.11	14GHz帯の航空移動衛星業務の二次割当	216
1.15	無線航行衛星業務の運用条件	604、605、606
1.16	1.4GHz帯の移動衛星用フィーダーリンク	127
1.20	1GHz以下のNGSO-MSSの周波数追加割当	214
1.31	1.5/1.6GHz帯MSSの周波数追加割当	226、227

3. 移動衛星通信の技術の特徴と周波数割り当て

移動衛星通信は全地球規模の広域の移動通信手段として順調な発展を遂げてきた [文献1]。他に例の少ない優れた面積カバー率を有し、陸上・海上・航空とあまねく高品質の移動通信を提供できることから、移動衛星通信は欠くことのできない地位を確立している。一方、移動環境で使用可能なアンテナや限られた端末送信電力などの制約が、元々多大な伝搬損失に加わることにより、回線設計に余裕が乏しい。このため、室内の利用が困難であることや建築物や樹木による遮蔽の影響を受けやすいことが難点となっている。

移動衛星通信は、広域性を代表とする特長により、救難安全通信の必須の手段となっている。全地球規模の海難救助を目的とするGMDSSにおいて重要な役割を果たしており、インマルサット衛星システムがその役割を担っている。また、遭難時に位置を通知するためのビーコン：衛星 EPIRBとしても活用されており、Cospas-Sarsatシステムがその代表格である。このほか、移動衛星通信は航空機の安全運行管理に供せられるAMS(R)Sとしても重要な役割を果たしている。

移動衛星通信には、静止衛星 (GSO) と非静止衛星 (NGSO) の双方が用いられる。国際移動衛星通信用のインマルサットシステムや、わが国のN-STARは静止衛星を用いており、衛星携帯電話として注目を集めたIridiumやGlobalStarなどは非静止衛星を用いたシステムである。

このように発展の著しい移動衛星通信に対しては、WARC-92以降に新しいサービスのために周波数帯が新たに割り当てられた。これに伴って他業務との周波数共用条件が重要課題となり、WP8Dの活動の多くの部分が

表3. 周波数割り当ての経緯

WARC92	衛星コンポーネントを含むIMT-2000の周波数割当 Little LEO用の周波数割当 (137-138MHz / 148-150.05MHz帯など) 1610-1626.5 MHz / 2483.5-2500 MHz帯の周波数割当 2655-2690 MHz / 2500-2535MHz帯の周波数割当 非静止衛星用の調整手続き (決議46)
WRC95	非静止衛星用フィーダーリンクの割当 (5/7GHz帯と19/29GHz帯) IMT-2000衛星コンポーネント帯域の使用開始期日前倒し
WRC97	1.5/1.6GHz帯MSSのジェネリック化 MSSの追加割当見送り (1GHz帯以下、1.5/1.6GHz帯)
WRC2000	RNSSの周波数追加割当 IMT-2000の追加周波数帯の特定 MSSの追加割当見送り (1GHz帯以下、1.5/1.6GHz帯)

その検討に費やされてきた。WARC-92以降の周波数割り当ての主たる経緯は、表3に示すとおりである。

移動衛星通信は、インマルサットによる海事衛星通信に始まり、航空や陸上移動の分野に適用領域が広がってきた。当初の電話、テレックス、ファクシミリをはじめとして、データ通信や画像の蓄積伝送など多様な新サービスが次々と実現されてきた。衛星携帯電話は、最も注目を集めたものの一つであり、近年では、インターネットアクセスのためのIPパケット伝送やそのブロードバンド化など新サービスの導入が絶え間なく続いている。

4. 移動衛星通信の標準化活動における最近のトピックス

(1) WRC-03に向けての検討

WRC-03の議題1.11は、14-14.5GHz帯において航空移動衛星業務 (地球→宇宙) の二次割当を追加することの是非を扱うものである。航空機からのインターネットアクセスを主たる目的とするこの案件は、移動衛星通信のブロードバンド化を象徴するものとして、議論の中心の一つとなった。同じ周波数帯の一次業務である固定衛星業務や固定業務との共用が論点となり、航空機地球局の軸外放射や電力束密度 (PFD) などが綿密に検討された。その結果、新勧告案 ITU-R M. [AMSS] に共用条件がまとめられ、CPM報告書案も二次割当は可能との方向で記述された。

WRC-03の議題1.31は、1.5GHz/1.6GHz帯の周波数追加割当を扱うもので、これまでのWRCでは追加割当を見送られてきた経緯がある。Lバンドと称されるこの帯域は、インマルサットをはじめとする静止衛星を用いたシステムに多く使用されている。昨今、衛星に大型展開アンテナを装備して衛星携帯電話を実現した静止衛星システムが出現しており、IPパケットの高速伝送サービスなどの導入も見込んで、周波数帯の不足が主張されてきた。1525MHz以下の帯域の追加割当 (宇宙→地球) では、航空テレメトリ業務との共用条件が問題となり、わが国の陸上移動業務を保護するために厳しいPFD規定値も設けられていることから、厳しい制約が避けられない状況となっている。一方、1.6GHz帯の追加割当 (地球→宇宙) では、気象衛星業務などとの共用が問題となり、これらを保護するために十分大きな調整距離が求められている。代替候補となった帯域でも隣接帯域の電波天文業務の保護が必要であり、追加割当の難しさが浮き彫りになっている。

一方、議題1.20と議題1.16では、1GHz以下の移動衛星業務およびこれに適用する1.4GHz帯のフィーダーリンクの周波数割り当てをそれぞれ扱うものである。既存の他業務との共用条件が厳しい上に、需要が不透明であ

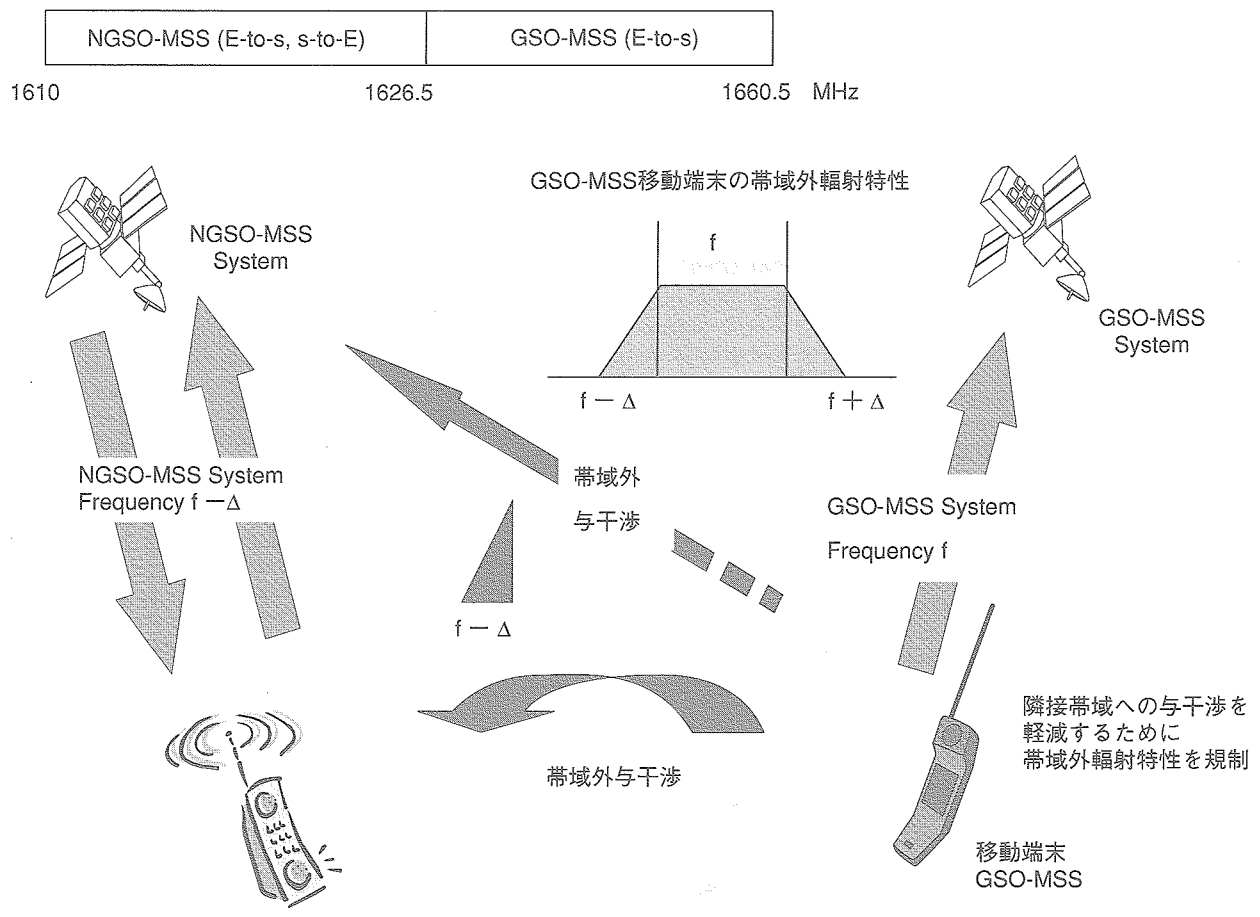


図2. 移動端末の帯域外輻射特性

り、周波数追加割当に対する強い主張もなかったことから、CPM報告書案は否定的な基調で取りまとめられた。

(2) IMT-2000衛星コンポーネント

IMT-2000とその後継システムを扱うWP8Fの発足とともに、衛星コンポーネントはWP8Dの担当とされ、WP8Fとの密接な連携のもとで検討が始められた。勧告ITU-R M.1455とM.1457の無線インタフェースについては、既存方式の改訂案が出されたが、今のところ新規の衛星コンポーネント用無線インタフェースは提案されていない。WP8Fでは後継システムのビジョンづくりが精力的に行われたが、衛星コンポーネントについては、既存勧告に対して、新しいサービス形態の追加が提案された程度である。最近になって、寄与文書が増加の兆しを見せており、活動が活発化する傾向にある。WRC-2000でIMT-2000の追加帯域が特定されたことから、2500-2520MHzと2670-2690MHz帯について、衛星系と地上系で共用可能か検討することとなった。WP8Fとジョイント・レスポンス・グループを設立して検討が始まっている。

(3) 端末の技術特性

衛星携帯電話が実現されるに及び、携帯地球局を越境利用することにより、その利便性を発揮させることが期

待され、いわゆるGMPCS-MoUが策定された。これに伴い、端末の相互認証に資するため、携帯端末の技術特性を規定するための検討が進められた。このため、3件の研究課題が設けられている。まず、非静止衛星システム用の携帯端末を対象として、技術特性を扱う勧告ITU-R M.1343が作成された。わが国はラポータを務めて、この勧告作成に多大な寄与を行った。端末の位置検出や障害時の停波など種々の課題があるが、帯域外輻射特性が主要な論点となった。次いで、静止衛星システム用の携帯端末を扱う勧告ITU-R M.1480が成立したが、図2に示すように隣接帯域の非静止衛星システムへの干渉を軽減するために厳しい帯域外輻射特性が定められた。この帯域外輻射特性を緩和すべく、静止衛星システム側が勧告改訂を求めているが、非静止衛星システム側と合意には至っていない。

(4) IPパケット伝送とブロードバンド化

インターネットの急速な普及は移動衛星通信の分野にも及び、IPパケット伝送サービスが開始されている。これに伴い、今会期に新たな研究課題が設けられ、移動衛星通信におけるIPパケット伝送について検討が始まった。わが国はラポータを務めるなど主導的に貢献し、IPパケット伝送の性能パラメータなどを規定する新勧告案

ITU-R M. [PACKET] が作成された。

さらに、ブロードバンド化の動きが出てきており、432kbit/s程度の伝送速度を有する次世代システムが計画されている。WRC-03の議題となっている14GHz帯の移動航空衛星通信も、典型的な事例の一つと言える。

5. 無線航行衛星業務の技術の特徴と標準化活動の推移

カーナビや携帯電話の位置情報サービスで身近な存在となったGPSは、非静止衛星を用いた測位システムであり、その普及とともに無線航行衛星業務の分野における活動が活発化している。米国のGPSとロシアのGLONASSの両システムがその代表格であり、これまでは1559-1610MHzと1215-1260MHzの両周波数帯で運用されてきた。これらのシステムでは、衛星上に高精度のクロックを備え、スペクトル拡散信号でデータを送信する。受信機でこれらの信号を受信して、複数の可視衛星からの伝搬遅延時間差が求められる。4つの可視衛星があれば、各衛星の軌道位置データと伝搬遅延時間差を用いることにより、受信地点の測位が行える。米国は1996年にGPSの無償提供を明言し、種々の利用が急速に進んでいる。

これに対して欧州では、Galileoと呼ばれる独自の衛星測位システムを構築する構想を打ち出し、GPSの次世代システム計画とも相まって、WRC-2000において、RNSS用に新たな周波数が下記のように追加割当された。

- ・ 1164-1215MHz (宇宙→地球) : 決議605
- ・ 1260-1300MHz (宇宙→地球) : 決議606
- ・ 5010-5030MHz (宇宙→地球) : 決議604
- ・ 1300-1350MHz (地球→宇宙) : 決議607
- ・ 5000-5010MHz (地球→宇宙) : 決議603

これらの周波数追加割当では、既存業務を保護するための共用条件が今後の検討課題として残され、新たにつくられた決議に課題が明記された。WRC-03の議題1.15は、これらの決議に基づいて共用条件を策定することを目的とするものである。例えば決議605では、1164-1215MHz帯の航空無線航行業務 (DMEやTACANなど) を保護するためのPFD制限値が課題となり、複数のRNSSシステムによる複数の衛星で総合PFD制限値を超えないように保証するための方策が検討された。新勧告案ITU-R M. [RNSS1] とITU-R M. [RNSS2] が作成され、EPFD制限値とその評価方法がそれぞれ定められている。これに基づいてCPM報告書案も取りまとめられた。また、決議606では、1215-1300MHz帯のレーダーを保護するためのPFD規制の是非が検討された。既存勧告ITU-R M.1461とM.1463にレーダーの保護基準が定められているが、現行のRNSSシステムはこの基準を満たし

ていないとされ、一方、レーダーに対する干渉発生の報告も見当たらないことから、議論は平行線をたどった。CPM報告書案でもPFD規制の是非をめぐって両論並記となっており、WRC-03における争点の一つとなることが予想される。

6. 移動衛星通信における周波数共用

これまで述べてきたように、移動衛星通信の分野では周波数の割り当てと、これに伴う他業務との共用条件が主要な検討課題とされてきた。移動衛星通信は、カバレッジの広域性が特長であるが、その故に周波数共用が容易でない側面を有する。非静止衛星の導入とともに、その複雑さが一層増している。さらに移動地球局の数や使用される位置が不確定であり、無指向性アンテナが移動地球局で用いられることも、他業務の保護や周波数共用条件の策定を難しくしている。

宇宙→地球方向の移動衛星業務から地上固定業務を保護するためには、一般的に地表面上のPFDに規定が設けられる。地上デジタルシステムの保護のためには、次式のように発生時間率 (f) で重み平均をとった干渉電力対総雑音電力比 (I/N) に相当するFDPが定義され、非静止衛星の場合にも適応可能な規定が設けられている。

$$FDP = \sum_{I_i = \min}^{\max} \frac{I_i \cdot f_i}{N_T}$$

複数の非静止衛星に対して被干渉局の受信アンテナ特性を考慮したPFDを表す指標として、新たにEPFDの概念がITU-RのSG4で策定され、MSSやRNSSの分野でも利用されるようになった。EPFDの定義は、次式で与えられ、受信アンテナのサイドローブと非静止衛星の動きを考慮した実効的なPFD総量が求められる。

$$e.p.f.d = 10 \cdot \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\phi_i)}{G_{r,max}} \right]$$

一方、地球→宇宙方向については、多数の移動地球局が他業務に及ぼす干渉を回避するために、被干渉局からの調整距離を算出し、その範囲内では移動地球局の送信を行わない方法があるが、移動地球局の位置管理が容易でない問題点がある。1GHz以下のMSSシステムでは、データやメッセージがバースト信号により伝送されるが、同一周波数帯を用いる陸上移動システムへの与干渉確率を評価する方法が勧告ITU-R M.1039に規定されている。さらにDCAASと呼ばれる方式では、陸上移動システムで使用中の周波数チャンネルを衛星上で常時モニターし、陸上移動システムで使用されていない周波数チャンネルを移動地球局の送信に割り当てて干渉を回避する方

法がとられている。

7. おまけ

移動衛星通信は、救難安全業務を含めて欠くことのできないグローバルな通信インフラとして、今後とも堅実な発展を続けるものと考えられる。地上移動通信システムの急速な普及により、その市場規模はニッチな位置付けとも言われているものの、航空機やグローバル規模の広域移動など他の手段では提供不可能な領域を中心に有効活用が進むものと予想される。移動衛星通信の分野でもIPパケット伝送やそのブロードバンド化などの新サービスが次々と計画されており、衛星携帯電話とともに新しいサービスの多様化が引き続き進むと思われる。鳴り物入りで登場した非静止衛星を用いた移動衛星通信システムについては、現在のところは財務的な苦境を脱し切れていないと伝えられるが、今後の動向を注視する必要がある。このように移動衛星通信は、今後とも目の離せない分野の一つとなろう。

近年注目を集めている衛星測位システムについては、GPSやGLONASSに続いて欧州がGalileoシステムの構築を進めており、米国、ロシア、欧州による開発競争が続くものと予想される。その結果、測位性能がますます改善され、新たな利用形態も開発されて、利活用が一層進むものと期待される。

ITU-R SG8のWP8Dは、このように動きの激しい衛星移動通信と衛星測位を担当する責務を負ってきた。これまで当該分野の技術の発展や新サービスの導入に当たって、技術の標準化や周波数割当の検討に主導的な役割を果たしてきており、今後とも先導的な活動を期待されている。一方、近年の活動では、CPM関連の案件に大半の活動が費やされる傾向が強まっており、今後は研究課題に基づく基本的な検討や新勧告の作成も強化する必要が感じられる。

●参考文献

[1] ITU: MSS Handbook, 2002.

●略語集

AMS(R)S: Aeronautical Mobile Satellite (R) Service
(航空移動衛星 (R) 業務)

CPM: Conference Preparatory Meeting
世界無線通信会議: WRCの準備会合。各議題について、検討結果や対処案などを記載したCPM報告書を作成する。

DCAAS: Dynamic Channel Activity Assignment System
衛星上で地上系システムが使用中の周波数をモニタ

ーし、使用中のチャンネル以外の送信周波数を移動地球局に割り当てることにより、与干渉を回避する方式。データやメッセージをバースト信号により伝送する1GHz以下の非静止衛星システムに適用されており、周波数使用状況のモニター結果により、割り当てる送信周波数を動的に制御する。

EPFD: Equivalent Power Flux Density
被干渉局の受信アンテナ特性を考慮して評価した、等価的な電力束密度の総量。定義が、無線規則22.5C.1に示されている。

EPIRB: Emergency Position Indicating Radio Beacon
緊急遭難時に位置を通知するための無線ビーコン。衛星EPIRBには、406.0-406.1MHzを用いたCospas-Sarsatシステムと1.6GHz帯を用いたインマルサットによるシステムがある。

FDP: Fractional Degradation of Performance
干渉電力と総雑音電力の比を干渉発生確率で重み平均して求めた実効的な干渉対総雑音電力比。非静止衛星からの干渉の影響を実効的に評価するために適用される。

GLONASS: Global Navigation Satellite System
非静止衛星を用いたロシアの衛星測位システム

GMDSS: Global Maritime Distress and Safety Service
全地球規模の海難救助を目的として、国際海事機構: IMOの条約により規定された海上遭難通信。地上系と衛星系があり、衛星系はインマルサットシステムが使用される。

GMPCS: Global Mobile Personal Communications by Satellite
衛星を用いてエンドユーザーに直接サービスを提供する通信の総称。1996年の世界通信政策フォーラムで議論され、5件のオピニオンが作成されている。その実現に向けた枠組みを定めたMoUがつけられた。

GPS: Global Positioning System
非静止衛星を用いた米国の衛星測位システム

GSO: Geostationary Orbit (静止衛星軌道)

MSS: Mobile Satellite Service (移動衛星業務)

NGSO: Nongeostationary Orbit (非静止衛星軌道)

PF: Power Flux Density (電力束密度)

RNSS: Radio Navigation Satellite Service
(無線航行衛星業務)

WARC: World Administrative Radio Conference
(世界無線主管庁会議)

WRC: World Radio Conference (世界無線通信会議)

(2002年10月25日 第222回ITU-R(無線通信)研究会より)