



テラヘルツ波帯の無線通信規則の改定と今後の展望

国立研究開発法人情報通信研究機構
NICTテラヘルツ研究センター 客員研究員

おがわ ひろよ
小川 博世



1. はじめに

2019年世界無線通信会議 (WRC-19) では、275-450GHzの周波数範囲内で陸上移動業務 (LMS) 応用及び固定業務 (FS) 応用に周波数帯を特定するWRC-19議題1.15^[1]において、4つの周波数帯 (275-296GHz、306-313GHz、318-333GHz、356-450GHz) が脚注5.564Aによって特定された。特定された総帯域幅は137GHzであり、将来の移動通信システム等への応用が期待される。

本稿では、WRC-19議題1.15の責任グループのITU-R WP1Aと寄与グループのWP5A及びWP5Cが2016~2019年の研究会期で実施してきた決議767 (WRC-15) に従った研究概要及びWRC-19の結果を紹介するとともに、将来の移動通信システム用スペクトラムへの275GHz以上の周波数帯の展開の考察、さらに最近のITU-R関連WPにおける研究動向について述べる。

2. 2016-2019年研究会期におけるWRC-19議題1.15の取組み

WRC-19議題1.15の成立経緯及びITU-R内での研究体制については、参考文献 (1) に詳細に記述されているので、ここでは2016年以降の各関連作業部会における研究活動を述べる。

2.1 WP5Aにおける取組み

WP5Aでは、275-450GHzの周波数範囲内で運用するLMS応用の技術運用特性とスペクトラム要求値の検討を行った。その結果はITU-RレポートM.2417として発行された^[2]。このレポートでは、275-325GHz帯と275-450GHz帯の2周波数帯と50GHzのスペクトラム要求値が提案されている。さらにこのレポートでは、LMS応用システムの展開シナリオとしてコンビニエンスストアで使用することを前提とした近接移動通信システム (CPMS) の例を提供し、デバイス使用率を算出するためのCPMS運用パラメータを表1のように導出している。なお、被干渉側の地球探査衛星業務 (EESS) センサーへの干渉量評価のためには、これらデバイス密度を算出する必要がある。そのため、関東の各県におけるコンビニエンスストア数のデータと関東の面積か

らコンビニエンスストアの分布平均密度が算出され、これらパラメータはEESS (受動) との共用両立性検討で使用された。

■表1. デバイス使用率の算出根拠

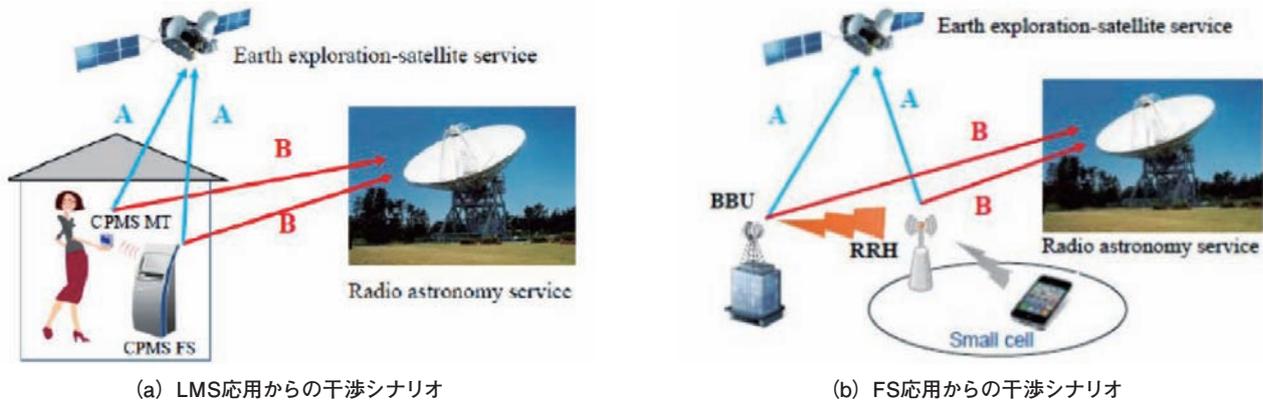
1日当たりのコンビニ利用人数	1000
CPMSデバイスがインストールされている端末の割合	20%
2時間映画をダウンロードする1CPMSデバイスの回数	2
CPMSデバイスのスループット	6.9Gb/s
CPMSデバイスのダウンロード時間	2.2秒
全CPMSデバイスのダウンロード時間	440秒
コンビニ営業時間	57600秒
1コンビニ当たりのデバイスの使用率	0.76%

2.2 WP5Cにおける取組み

WP5Cでは、275-450GHzの周波数範囲内で運用するFS応用のための技術運用特性とスペクトラム要求値の検討を行った。その結果はITU-Rレポート F.2416として発行された^[3]。このレポートでは、275-325GHz帯と380-445GHz帯の2周波数帯と50GHzのスペクトラム要求値が提案されている。さらにこのレポートでは、FS応用システムの展開シナリオとして移動通信基地局へのバックホールリンク/フロントホールリンク例を提供し、関東エリアの総面積とFS局導入想定数からFSリンク密度を1km²当たり8.4として算出している。これらの数値はIMT-2020に関する勧告等に記載されている高密度市街地に配置される基地局数を参照して推定された値である。

2.3 WP1Aにおける取組み

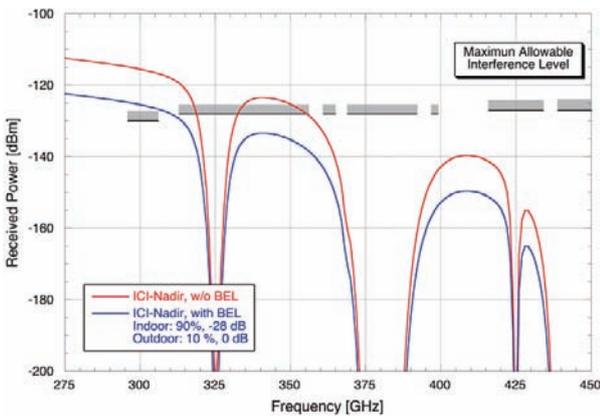
上記WP5AからのLMS応用システムの技術運用特性とスペクトラム要求値に関するレポートM.2417とWP5CからのFS応用システムの技術運用特性とスペクトラム要求値に関するレポートF.2416の結果とWP7C及びWP7Dから提供されたEESS (受動) センサーと電波天文業務 (RAS) 受信機の干渉閾値を用いてLMS/FS応用に特定できる帯域の検討が進められた。図1 (a) はLMS応用システム (近接無線通信) から、図1 (b) はFS応用システム (フロントホール/バックホール) からそれぞれEESS (受動) センサーとRAS受信機へ



■ 図1. レポートSM.2450で用いられたLMS/FS応用システムからの干渉シナリオ

の干渉シナリオを示す。

図2に干渉レベル検討結果の1例を示す。集合されたLMSデバイスからの各地球探査衛星用センサーにおける受信レベルの評価を行い、ITU-R勧告RS.2017^[4]で規定されている最大許容干渉レベルとの比較を行った、図2の例では3周波数帯が許容干渉レベルよりも受信レベルが高くなることを示している。これらの結果はITU-RレポートSM.2450に詳細に述べられている^[5]。

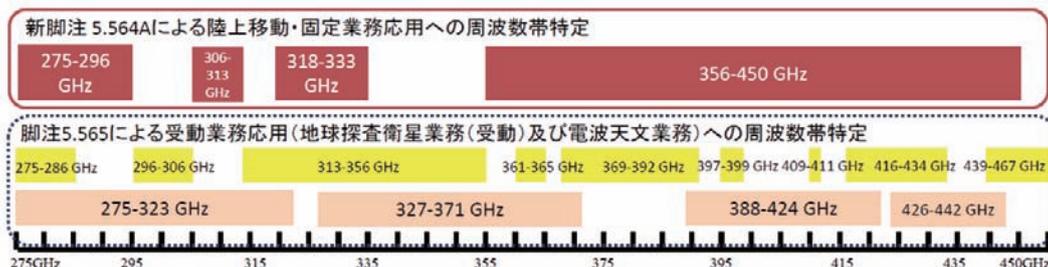


■ 図2. 地球探査衛星用センサーで受信したLMSデバイスからの集合電力値

3. WRC-19議題1.15の結果

WRC-19では脚注5.565を変更せずに、4つの周波数帯、275-296GHz、306-313GHz、318-333GHz、356-450GHzをEESS（受動）保護のための特別な条件無しでLMS/FS応用に特定する脚注5.564Aが追加された。さらにこの脚注5.564Aでは、296-306GHz、313-318GHz、333-356GHzの3周波数帯は決議731（WRC-19改）に従ってEESS（受動）を保護できる特別な条件が明らかになるまで使用できない内容も追加された。また、RASの保護に対してはケースバイケースの特定条件で対処する内容も追加された。なお、上記4周波数帯のLMS/FS応用による使用は他の無線通信業務に対して優先順位を定めないことも追加された。

表2に改定された無線通信規則周波数分配表の275-3000GHzの周波数帯表を示す。脚注5.565は変更されておらず、275-1000GHzの周波数範囲内でRASのために8周波数帯が、EESS（受動）及び宇宙研究業務（SRS）（受動）のために27周波数帯が特定されている。図3は275-450GHzの周波数範囲内で脚注5.564Aで特定されたLMS/FS応用周波数帯及び脚注5.565で特定されている受動業務の周波数帯を示す。また、275-1000GHzの周波数範囲内では能動業務の使用を受動業務が妨げることができず、さらに1000-



■ 図3. 275-450GHzの周波数範囲内での脚注5.564Aと5.565による特定周波数帯



3000GHzの周波数範囲内では能動業務及び受動業務双方が使用できる規定は変わっていない。そのため、LMS/FS応用以外の能動業務は依然として脚注5.565で規制されることになっている。なお、450GHz以上で運用されるLMS/FS応用も脚注5.565で規制されることになる。

■表2. 周波数分配表 (275-3000GHzの範囲のみを記載)

第一地域	第二地域	第三地域
275-3000 (分配無し) 5.564A 5.565		

4. 6Gへの周波数特定に向けて

4.1 IMT特定周波数帯の拡大

世界的な移動通信システム (IMT) の急速な発展・拡大と更なる高速通信サービスの需要の増大に伴い、世界共通で移動通信用に使用できる周波数特定に対する要望がますます高まってきている。この世界的な周波数需要に応えるために、WRCにおいてIMT周波数を特定する議題を設立して無線通信規則改定を行ってきた。各WRCにおいて特定された周波数帯の動向は文献 (6) に詳細に記述されている。特にWRC-19ではIMT周波数の特定幅が大幅に増大し、総帯域幅は17.25GHzであった^[7]。一方無線通信規則によると、92GHz以上で移動業務に分配されている周波数帯は、

92-94GHz、94.1-100GHz、102-109.5GHz、111.8-114.25GHz、122.25-123GHz、130-134GHz、141-148.5GHz、151.5-164GHz、167-174.8GHz、191.8-200GHz、209-226GHz、231.5-235GHz、238-241GHz、252-275GHz

となっており、連続的に10GHz以上の帯域幅が得られる周波数帯は、

151.5-164GHz ($\Delta B=13.5\text{GHz}$)、209-226GHz ($\Delta B=17\text{GHz}$)、252-275GHz ($\Delta B=23\text{GHz}$)

の3周波数帯であり、今後の6Gの技術運用特性及びスペクトラム要求値の動向による特定のための議論が待たれる。

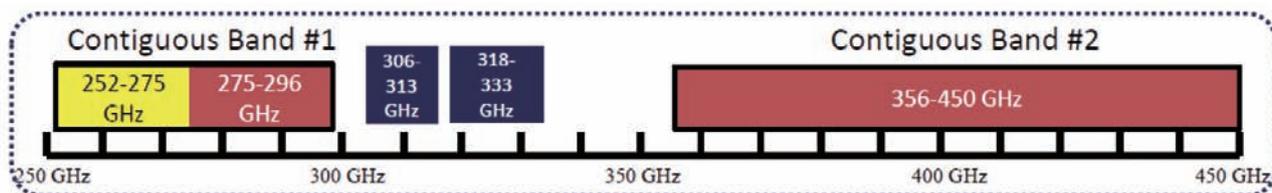
4.2 脚注5.564Aによる連続的に広帯域幅が得られる周波数帯例

WRC-19議題1.15の結果を反映させた場合には図4に示すように連続的に広帯域幅が得られる2つの周波数帯が考えられる。Contiguous Band #1は既分配周波数帯域252-275GHzと脚注5.564Aで特定されている275-296GHzから成り、総帯域幅は44GHzとなる。Contiguous Band #2は脚注5.564Aで特定されている周波数帯であり、総帯域幅は96GHzである。なお、306-313GHz帯と318-333GHz帯も脚注5.564Aで特定されているが、連続帯域幅が既存分配周波数帯よりも狭いため、ここでは考察に含めない。このように周波数分配表ではまだ無線通信業務に分配されていないが、LMS応用システムに特定されている周波数帯までを含めると、格段に周波数帯域幅の拡大が可能となる。

4.3 テラヘルツセンシング技術への期待

6Gでは、電波を用いて高精度な測位や物体検知、さらには移動端末を操作するモーションセンサー、高精度な心拍数等を計測する生体情報センサーなどが組み合わせられ、人体の微小な動きの見分けも含めて、実世界をセンシングする機能を備えていくような進化も考えられている^[8]。テラヘルツ空間高分解能センサーについては、これまで多くの検討がなされている。アクティブ型では、340GHz帯でチャープ帯域幅が30GHzのFMCWレーダーの検討例があり^[9]、さらに250GHz帯、420GHz帯、720GHz帯の各受動センサーの検討例も報告されている^[10]。

このようなテラヘルツの利用動向を踏まえて、WRC-19議題10 (WRCの将来議題) において、231.5-275GHz帯における無線標定業務への分配の検討及び275-700GHzの周波数範囲内における無線標定業務への周波数特定の検討に関するWRC-27議題2.1 (決議663 (WRC-19)) がWRC-19で承認された。この議題はWRC-23においてWRC-27議題として成立するかどうかは現時点では不明であるが、WRC-



■図4. 連続的に広帯域幅が得られる周波数帯例



23で議題が成立すると275GHz以上の周波数帯で無線通信システムとセンサーとが同時に使用できる可能性が高いと思われる。

5. ITU-R関連WPにおける最近の研究動向

5.1 WP1Aにおける動向

2015年に成立したITU-RレポートSM.2352にWRC-19議題1.15の結果を反映させること、及び新たな応用分野として275GHz以上の周波数帯を使用するウォークスルー型ポディスキャナー等の技術を追加するための改定作業が開始された。さらに、4.3節で紹介したWRC-27議題2.1の予備検討を行う体制も整備された。

5.2 WP5A/5Cにおける動向

WRC-19議題1.15でLMS/FS応用に特定できなかった296-306GHz、313-318GHz、333-356GHzの3周波数帯をEESS（受動）保護の条件下で特定するための緩和技術と具体的な条件に関する新レポート作成に向けた作業が開始された。また、ITU-RレポートM.2417-0及びF.2416-0についても内容の見直しのための改定が開始された。さらに、252-296GHz帯で運用するLMS応用とFS応用の共存条件を検討するためのITU-Rレポートの作成も開始された。図5にLMS/FS応用間干渉シナリオの概略図を示す。

6. おわりに

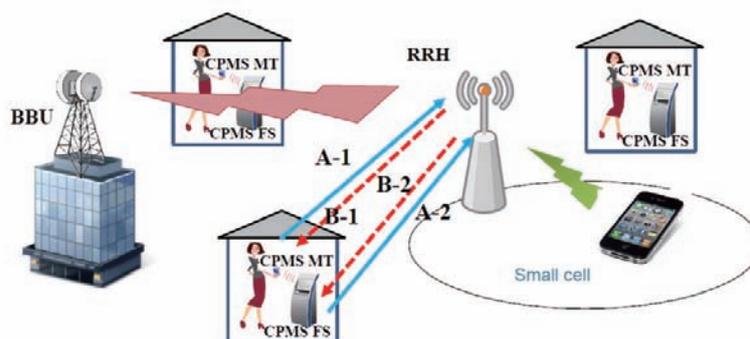
275GHz以上のITU-Rにおけるスペクトラム研究では、これまでの受動業務に関する技術運用特性及び干渉基準の検討を中心とした活動から能動業務に関する検討へと広がってきている。特に、能動業務ではLMS/FS応用の検討が先行されて行われてきたが、今後他の能動業務応用に関する検討も行われる可能性が高まっている。さらに、6Gのミリ

波・テラヘルツ波利用も期待されており、ますます275GHz以上のITU-Rにおけるスペクトラム研究の重要性が高まるものと思われる。

(2021年2月4日 ITU-R研究会より)

参考文献

- [1] 小川博世、“275GHz以上のスペクトラム研究と無線通信規則改定に向けた展望、ITUジャーナル”、Vol. 46, No. 6, pp.26-30, (2016.06).
- [2] Report ITU-R M.2417, Technical and operational characteristics of the land mobile service applications operating in the frequency range 275-450GHz, (2017.11).
- [3] Report ITU-R F.2416, Technical and operational characteristics and applications of the point-to-point fixed service applications operating in the frequency band 275-450GHz, (2017.11).
- [4] Recommendation ITU-R RS.2017, Performance and interference criteria for satellite passive remote sensing, (2012.05).
- [5] Report ITU-R SM.2450, Sharing and compatibility studies between land-mobile, fixed and passive services in the frequency range 275-450GHz, (2019.06).
- [6] 新 博行、“WRC-19における高周波数帯 (24.25-86GHz)での携帯電話周波数の確保に向けて”、ITUジャーナル Vol. 46, No. 6, pp.21-25, (2016.06).
- [7] 伊藤、他、“2019年ITU無線通信総会 (RA)、世界無線通信会議 (WRC-19) 報告”、NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル Vol.28, No.1, pp.42-47, (2020.04).
- [8] NTTドコモホワイトペーパー、“5Gの高度化と6G” (2021.02).
- [9] D. A. Robertson, et al., “The CONSORTIS 16-channel 340-GHz security imaging radar,” Proc. of SPIE Vol. 10634, 2018.
- [10] R. Appleby, et al., “Concealed object stand-off real-time imaging for security : CONSORTIS,” Proc. of SPIE Vol. 9462, 2015.



■ 図5. 252-296GHzで運用するLMS/FS応用間の干渉シナリオ