

■4群 (モバイル・無線) - 6編 (コグニティブ無線)

3章 標準化・法整備

【本章の構成】

本章では以下について解説する.

3-1 法制度

3-2 コグニティブ無線の法規制：実例

3-3 標準化

■4群-6編-3章

3-1 法制度

(執筆者：高田潤一，飯塚留美) [2019年2月 受領]

3-1-1 コグニティブ無線と干渉

(1) 干渉保護基準電力

ヘテロジニアス型コグニティブ無線技術は既に割当てがなされている周波数帯域を使用するものであり、電波の発射に関する法的な障害はない。一方で、周波数共用型コグニティブ無線技術は、元々割当てのない、もしくは他の無線通信業務に割り当てられた周波数を、時間・場所を限定して使用するものであり、同一周波数あるいは隣接周波数を元々割り当てられている業務との間で互いに干渉を及ぼさずに運用することが必要不可欠である。

そもそも、国際的な周波数割当ては、国連機関の一つである国際電気通信連合の無線通信部門 (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector : ITU-R) で行われ、国際法である無線通信規則 (Radio Regulations : RR) にて規定される。周波数の割当ては、Region 1 (ロシアを含む欧州とアフリカ)、Region 2 (南北アメリカ)、Region 3 (アジア・オセアニア) の地域ごとに行われているため、必ずしも欧米で割当てられている周波数が日本でも使用できるとは限らない。RR にて規定される周波数割当は大括りの業務別であり、IMT などの例外を除き、具体的なシステムを特定している訳ではない。同一周波数が複数の業務に割り当てられる場合、優先権のある一次業務と、それに妨害を与えない範囲で運用する二次業務に分類される。共存が可能な場合に複数の一次業務が割り当てられる場合もある。ITU-R の加盟国は、RR に基づいて国内における周波数割当てを行っている。米国のように越境の問題がなければある程度自国の裁量で周波数割当てを決める国もあれば、日本のように RR に従って厳格に周波数割当てを行う国もあり、その方針は隣国との干渉が問題にならない限り各国の政策に依存する。

無線局の運用形態により、固定業務と移動業務に大別できる。固定業務では、通信路特性は長時間にわたって変化が殆どない、もしくは非常に小さいのに対して、移動業務では、通信路特性は場所・時間により変化する。

複数の無線通信業務が同一または隣接周波数で運用する際には、相互に干渉を生じないように運用する必要がある。はじめに、受信機で許容できる干渉波の受信電力、すなわち許容干渉電力を定義する。許容干渉電力の決定法は、ITU-R 勧告などであらかじめ約束事として希望波信号の電力とは無関係に一定レベルに決める方法 (INR (Interference-to-Noise Ratio) 基準)、受信機における希望波信号との電力比で決める方法 (SIR (Signal-to-Interference Ratio) 基準) に大別できる。

INR 基準として、地上テレビジョン放送の干渉保護基準を定めた ITU-R 勧告 BT.1895¹⁾ の例を紹介する。干渉波電力を I 、受信機雑音電力を N とすると、一次業務間の場合の保護基準は $I/N \leq -10$ dB、二次業務、その他に対する保護基準は $I/N \leq -20$ dB としている。いずれの基準も、干渉源が複数ある場合には、それらの電力の総和に対して適用される。このような基準は従前より固定通信、固定衛星通信などにおいても採用されている。

これに対し、SIR 基準は、受信機における希望波電力 S と干渉電力 I の比で設定する方法である。INR 基準が希望波電力の大きなエリアにおいて過剰な保護基準となっているのに対し

て、SIR 基準は本来的な受信性能で基準を決めているのでより現実的な保護基準であると言える。

不特定多数を対象とする放送や移動通信では、希望波の到達するエリア端が伝送方式固有の所要 SNR で規定されるため、INR 基準・SIR 基準のいずれも実効的には等価になる。それでも INR 基準が保守的と考えられるのは、従来から勧告されている基準値そのものが非常に小さく、周波数を共用するという観点で設定されていないことが原因である。

なお、隣接周波数における干渉信号電力は、与干渉送信機における隣接周波数のスペクトラムマスクを考慮して、同一周波数と同様に INR 基準もしくは SIR 基準を適用して決める。

与干渉システム・非干渉システムが固定業務の場合には干渉波が長時間継続するのに対して、何れかのシステムが移動業務の場合には干渉が確率的に発生し、継続時間も比較的小さいため、干渉保護基準を緩和することができる。一次業務・二次業務のいずれにも属さない超広帯域 (Ultra-Wideband Radio: UWB) 無線に関して、様々な被干渉業務に対する干渉保護基準が ITU-R 勧告 SM.1757²⁾ に取りまとめられており、例えば地上テレビジョン放送の干渉保護基準が前述の通り $I/N \leq -20$ dB とされているのに対し、第3世代携帯電話 IMT-2000 の干渉保護基準は $I/N \leq -6$ dB とされ、より大きな干渉電力を許容している。

(2) 離隔距離

無線回線設計と同様の手法を用いると、干渉保護基準電力 I_p を満足する送受信機間の離隔距離 d_g が次の式で計算できる。

$$I_p = \frac{P_t G_t G_r}{L(d_g)}$$

ただし、 P_t は与干渉システムの送信電力、 G_t は送信アンテナ利得、 $L(d_g)$ は伝搬損失距離特性、 G_r は非干渉システムの受信アンテナ利得である。一見するとこの式により一意に離隔距離が決定するように見えるが、どの伝搬損失モデルを使用するか、サイト固有の損失要因を入れるか否か、指向性アンテナを使用する場合のアンテナ向きの仮定、など、様々な変動要因があり、共用検討においては対立点となり得る。

地上波テレビジョン放送の周波数帯域を対象として未使用チャンネル (ホワイトスペース) を一時的に二次利用するテレビホワイトスペースを例にとる。FCC³⁾ では、アンテナ高 30 m 以上の場合には、テレビ放送サービス用の伝搬モデルのうち、 $F(50,10)$ という場所率 50%・時間率 10% の干渉検討用のモデル⁴⁾ を使用し、30 m 以下の場合には技術文書 FCC/OET TM 91-1 に書かれた郊外地近距離伝搬損失モデル⁵⁾ を使用している。これに対して、総務省では、エリア放送の場合⁶⁾ には昭和 35 年郵政省告示第 640 号⁷⁾ を、ラジオマイクの場合⁸⁾ には自由空間伝搬損失 (屋内では壁面透過損失を付加) を利用している。

離隔距離を使用した周波数共用の概念図を図 3・1 に示す。離隔距離を考える場合、実践で表される各システムのサービスエリア内では、他のシステムが影響のある与干渉を引き起こしてはならない。したがって、与干渉を引き起こす恐れのある与干渉エリアと被干渉を引き起こす恐れのあるサービスエリアとが重複しないように離隔距離を決定する必要がある。更に、共用する二次利用者が双方向通信を行う場合の例を図 3・2 に示す。この例では二次利用者の端末の与干渉エリアが一次利用者のサービスエリアと重なっているため、許容できない干渉が発生してしまう。

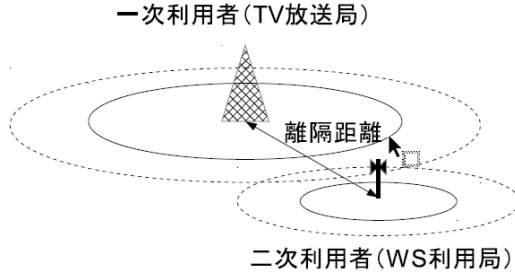


図3・1 周波数共用の概念図

実践はサービスエリア，破線は与干渉エリアを表す。

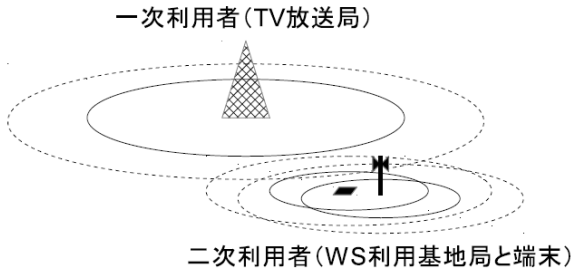


図3・2 周波数の二次利用者が双方向通信を行う場合に発生してはいけない干渉の例
実線はサービスエリア，破線は与干渉エリアを表す。基地局は与干渉条件を満足しているが，
端末は与干渉条件を満足していない。

■参考文献

- 1) “Protection criteria for terrestrial broadcasting systems,” Rec. ITU-R BT.1895, 2011.
- 2) “Impact of devices using ultra-wideband technology on systems operating within radiocommunication services,” Rec. ITU-R SM.1757, 2006.
- 3) “In the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band, Third Memorandum Opinion and Order,” Report ET Docket No.12-36, Apr. 2012.
- 4) “TV engineering charts,” Code of Federal Regulations (C.F.R.) Title 47- Telecommunication, Part 73- Radio Broadcast Services, Subpart E- Television Broadcast Stations, Section 73.699, Oct. 2012.
- 5) W. Daniel and H. Wong : “Propagation in Suburban Areas at Distances less than Ten Miles,” FCC/OET TM 91-1, Federal Communications Commission, Office of Engineering and Technology, Washington DC, Jan. 1991.
- 6) “放送システム委員会報告(案)に対する意見の募集の結果(ホワイトスペースを活用した放送型システムに関する技術的条件について),” Jan. 2012.
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10318037/www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu08_02000035.html
- 7) “放送区域等を計算による電界強度に基づいて定める場合における当該電界強度の算出の方法(免許手続規則第7条),” Aug. 1960. 郵政省告示 640号.
- 8) “特定ラジオマイクの周波数移行等に係る技術的条件,” Apr. 2012.
http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10310471/www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000087.html

■4群-6編-3章

3-2 コグニティブ無線の法規制：実例

(執筆者：飯塚留美) [2019年2月 受領]

3-2-1 米 国

(1) TVホワイトスペース

放送テレビジョン周波数 (TV バンド) が使用されていない場所において、小電力の免許不要機器の運用を可能とする規定は、連邦規則集第 47 編電気通信 (通称、連邦通信委員会規則：FCC 規則) パート 15 のサブパート H によって定められている¹⁾。未使用の TV 周波数は一般に TV ホワイトスペース (TVWS) と称されている。この周波数で運用される固定型またはポータブル型の免許不要機器 (TV バンド機器) によって、ブロードバンドデータなどの通信サービスをコンシューマや企業などが利用することができる。

TV バンド機器が、使用可能な未使用の周波数 (空きチャンネル) を特定する方法には、専用データベースへのアクセスとスペクトルセンシングの 2 つがある。前者の場合、TV バンド機器は、地理位置情報の取得機能と、干渉保護の対象となる既存の免許局の運用状況を識別するデータベースにインターネットを介してアクセスする能力を有することが求められる。TV バンド機器からのアクセスを受けたデータベースは、当該機器が位置する場所で利用可能な空きチャンネルとその最大許容電力のリストを提供する。後者の場合は、ポータブル型の TV バンド機器が、自らスペクトルセンシングをして使用可能なチャンネルを特定するものである。スペクトルセンシングとは、TV バンド機器が、TV チャンネルを監視することにより、そのチャンネルが既存業務の無線信号によって占有されているかを検出するプロセスである。

干渉保護が必要な既存の無線局を識別するためのデータベースには、高出力と低出力の TV 局、P2T の放送補助設備、低出力の放送補助機器 (ワイヤレスマイク)、チャンネル 14~20 (470~512 MHz) で運用される自営陸上移動無線 (Private Land Mobile Radio Services : PLMRS) 及び商用移動無線 (Commercial Mobile Radio Services : CMRS)、オフショア無線電話 (476~493 MHz を使ってメキシコ湾で運用)、認可されたワイヤレスマイクやその他定期的に使用される低出力補助機器、電波天文サイト、無線医療テレメトリーなどの登録情報が含まれている。

また、このデータベースには、連邦通信委員会 (Federal Communications Commission : FCC) の無線局データベースには登録されていないが、特別に保護が必要な無線周波数業務の位置とチャンネルも登録されている。これらの登録情報には、保護されている TV 局の受信エリアの外側にあるケーブルヘッドエンドや低出力 TV 受信サイトの位置情報が含まれる。

FCC 規則では、FCC が TV バンドデータベース機能を管理する 1 つ以上の事業体を指定し、データベース管理者とその機能の監督と管理の権限は、FCC 工学技術局 (Office of Engineering and Technology : OET) が所管する。FCC は、データベースの全体的な機能の調整と TV バンド機器へのサービス提供に責任を有するデータベース管理者として特定の事業体を指定するが、データリポジトリ、登録、照会サービスなどのホワイトスペースデータベースの各機能を分割して複数の事業体に許可することもできる。

FCC は 2011 年に条件付きでデータベース管理者 10 社を指定し、地理位置情報を入力すると利用可能なチャンネルリストが入手できるかなど、各社のデータベースが適切に機能している

かを確認する作業を実施し、テスト運用を行った。その結果、現在、データベース管理者として4社（LStelcom/RadioSoft, Inc., Google Inc., Key Bridge Global LLC, Spectrum Bridge, Inc.）が承認され、1社（Comsearch）が保留となっている。データベース管理者は、OETが各社のデータベースを公表した時点から5年間サービスを提供することができ、サービスの有効期間は5年単位で更新が可能である。

TVバンド機器を利用した世界初の商用網の運用は、ノースカロライナ州ニューハノーバー郡ウィルミントン市で、2012年1月に開始された。ウィルミントン市は、米国で最初に地上デジタルTV放送への移行が実施された地域で、同市を有するニューハノーバー郡が2009年より試験網を運用していた。テスト期間中はHugh MacRae公園を含む複数の公共施設にCCTVカメラやアクセスポイントが設置され、公園内では無料のインターネット接続が提供された。

米国政府は、ルーラル地域のブロードバンド・アクセス拡大に資金投じることを示しており（2018年7月）、ノースダコタ、アーカンソー、カンサスなど10州の知事は、すべての地区で少なくとも3つのTVWSチャンネルをブロードバンド・アクセスに利用できるようにすることを提唱している。また、アイダホ、ウィスコンシン、ハワイ、サウスダコタの州知事も、ルーラル地域にTVWS技術を活用することを支持している。

(2) 連邦周波数アクセスシステム

大統領科学技術諮問委員会（President's Council of Advisors on Science and Technology: PCAST）は、商用周波数の不足を補う方策の一つとして、連邦政府用周波数を官民で共用する方針などが盛り込まれた報告書（「Realizing the Full Potential of Government-held Spectrum to Spur Economic Growth」）（以下、PCAST報告書）を2012年7月にオバマ大統領に提出した²⁾。連邦政府が使用している周波数を民間に明け渡すのは、高コストで実行に移すのに時間を要し、かつ連邦政府の業務を中断させることから、長期的に持続可能な周波数政策とはいえないため、政府が使っている周波数から官民が共用しうる帯域を、1000MHz幅創出することを提案した。

官民の周波数共用の新たな動的共用枠組みを構築するため、周波数帯ごとに利用者を登録し、使用条件を規定する連邦周波数アクセスシステム（Federal Spectrum Access System : SAS）を新設する。SASとは、あらかじめ登録された既存免許人の基地局情報や免許人の端末の利用状況の情報（データベース）をもとに、利用可能な周波数帯や利用可能な場所や時間、また送信電力などを周波数の共用条件の決定を司る周波数アクセス制御システムを用いて、当該帯域を利用できる権利を有する新たな免許人や免許不要の低出力ユーザに対して、リアルタイムでの周波数ないしチャンネルの割当てを行うものである。

連邦政府用周波数の共用化は、3つの階層構造に基づいて管理される。連邦政府の一次業務システム（一次アクセス）は、電波を利用するサービスの保護に関して最も優先度が高く、有害な干渉から保護される。二次業務の免許人（二次アクセス）は、データベースに無線局の置局データと使用状況を登録し、電波利用料（Fee for Spectrum Use）と引き換えに、サービス品質の保護を受けることができる。一般認可アクセス（General Authorized Access : GAA）ユーザは、連邦政府の一次業務や、二次業務のユーザが、特定の地理的エリアや時間帯において所与の周波数帯を使用していない限りにおいて、未使用周波数への機会利用型アクセス（Opportunistic Access）が認められる。GAAは免許不要による運用であるが、SASへの登録義務が課せられる。

米国で初めてSASの導入が規定されたのが、海軍レーダや固定衛星サービス（Fixed Satellite

Service : FSS) 地球局などが使用している 3.5 GHz 帯である。従来、3550～3650 MHz は海軍レーダの既存業務に使用されていたが、海軍レーダは使用されるエリアが沿岸地域に限定されることから、これらのエリアをダイナミック保護エリア (Dynamic Protection Areas : DPAs) として保護することで、商用 LTE などの利用を促進することを目的に、3550 MHz から 3700 MHz までの 150 MHz 幅を市民ブロードバンド無線サービス (Citizens Broadband Radio Service : CBRS) として、周波数共有ベースで利用することが可能となっている (FCC 規則パート 96³⁾)。

SAS 管理者は、連邦政府免許人の信号を検出する電波環境検知機能 (Environmental Sensing Capability : ESC) からの信号検出データに基づいて、固定局である市民ブロードバンド無線サービスデバイス (Citizens Broadband Radio Service Device : CBSD) が利用可能なチャンネルを特定し、その最大許容出力レベルを設定して、二次アクセスである優先アクセス免許 (Priority Access License : PAL)^{†1}、または GAA が使用する CBSD の運用を管理する。ESC オペレータは、既存の海軍レーダの信号を検知し、その情報を SAS 管理者に伝えるために、約 200 のセンサノードから成るセンサシステムを管理する。SAS 管理者は、ESC がレーダ信号を検知してから 300 秒以内に、CBSD の運用を停止または未使用中のチャンネルへの移行を行わなければならない。

SAS への登録や報告が必要な情報には、運用パラメータに関する情報と、干渉報告に関する情報がある。前者には、地理位置、アンテナ高、FCC ID 番号、利用者連絡先情報、空中インタフェース技術、固有のシリアル番号、屋内外利用などが含まれ、後者には信号強度、ローカル干渉水準測定値などが含まれる。

FCC は条件付きで、2016 年末に SAS 管理者として Federated Wireless, Google, Amdocs, Comsearch, Key Bridge, Sony などを承認し、2018 年初頭には ESC プロバイダとして CommScope, Federated Wireless, Google, Key Bridge を承認した。また、Rivada Networks, Nokia, Fairspectrum, RED Technologies も承認申請を行っている。最終の FCC 承認については、既存システムの保護試験やフィールド試験などの結果を、全社が提出した後に、FCC が定める技術基準に基づいた試験期間を経て、2018 年までに付与される見通しである。

3-2-2 欧州

(1) TV ホワイトスペース

英国では、2015 年 12 月 31 日に「2015 年無線電 (ホワイトスペースデバイス) (免許不要) 規則⁴⁾」が発効し、ホワイトスペースデバイス (White Space Devices : WSD) が、地上デジタル TV 放送やワイヤレスマイクなどの免許を受けた無線局に干渉を与えないことを条件に、ホワイトスペースの利用を認める規定が策定された。既存の免許局への混信を回避するため、WSD は利用可能な周波数や電力レベルなどの情報を取得するためにデータベースへのアクセスが求められる。

WSD とは、①470～790 MHz の周波数帯で送信すること、②マスターデバイスまたはスレーブデバイスであること、③タイプ A 機器またはタイプ B 機器であること、と定義されている。マスターデバイスとは、送信目的でデータベースと通信して、マスター運用パラメータを取得

^{†1} PAL は、人口調査標準地域 (Census Tract) に基づき、全米を約 7 万 4000 区域に区分された地域免許で、オークションによって割り当てられる予定である。

できるデバイスで、スレーブデバイスとは、マスターデバイスからスレーブ運用パラメータを受信した後に送信可能なデバイスである。また、タイプ A 機器は、一体型アンテナ、専用アンテナまたは外部アンテナを備え、固定された場所のみでの使用を目的としたもので、タイプ B 機器は、一体型アンテナまたは専用アンテナを備え、固定された場所での使用を意図しないものである。

デバイスの運用者はマスターとスレーブの2つのデバイスを運用し、マスターデバイスはデータベースへのアクセスを通じて利用可能な周波数や電力などのマスター運用パラメータ情報を取得する。一方、スレーブデバイスは、データベースへアクセスする機能はなく、マスターデバイスからスレーブ運用パラメータを取得して、マスターデバイスの周辺で運用される。

WSD がマスター運用パラメータとスレーブ運用パラメータを取得できるデータベースを運用できる組織は、「無線電信（ホワイトスペースデバイス）（免許不要）規則」によって、2015年に4社、2016年に3社の合計7社が認可されている⁵⁾。

- Fairspectrum Oy（フィンランドで登記された企業）
- Nominet UK（英国で登記された企業）
- Sony Europe Limited（英国で登記された企業）
- Spectrum Bridge Incorporated（米国デラウェア州拠点の会社組織）
- 化学産業研究協議会（Council for Scientific and Industrial Research : CSIR）（南アフリカの法律によって設立された非法人組織）
- Google UK Limited（英国で登記された企業）
- Microsoft Ireland Operations Limited（アイルランド共和国で登記された企業）

WSD は一定の基準を満たす場合は免許不要となるが、基準を満たさない WSD については期間限定で免許制が適用されている。通信庁（Office of Communications : Ofcom）は2016年6月16日、2016年の無線電信免許料の一部を改正するための規則決定「Decision to make the Wireless Telegraphy (Licence Charges) (Amendment) Regulations 2016」に関する声明文書において⁶⁾、手動設定型ホワイトスペースデバイス（Manually Configurable White Space Devices : MCWSD）に対して、年間£1,500の無線電信免許料を導入することを決定した。現在運用されている WSD は、ユーザによる手動設定が必要な MCWSD であって、自らの地理位置情報をベースに動的に無線リンクパラメータを確立させて自動設定でホワイトスペースを利用できるデバイスではない。そのため、MCWSD に対する干渉管理の行政コストを回収するために無線電信免許料が導入された。Ofcom は、自動設定で運用可能な免許不要局としての WSD の開発状況を踏まえて、2018年末までに免許制度の維持の必要性について見直す方針である。

ホワイトスペースのデータベース運用事業者の一つである Nominet は、農村地域でのブロードバンドインフラ整備を手掛ける Broadway Partners と提携し、スコットランドとウェールズにおいて、ホワイトスペースを活用したブロードバンドサービスを、2016年より提供している。Nominet によれば、TV ホワイトスペースを用いた商用ブロードバンドサービスの展開は、欧州で初めての取組みとなっている⁷⁾。

(2) 免許制の共用アクセス (LSA)

欧州委員会の電波政策に関する諮問機関である無線周波数政策グループ（Radio Spectrum Policy Group : RSPG）は2011年11月、免許制による周波数の共同利用（Licensed Shared Access : LSA）に関する新たな概念を提案した⁸⁾。それによると、LSA とは、コグニティブ無線関連技

術を用いることにより、動的な方法で周波数、場所、時間を共用することが可能となるものとされる。その後、RSPGが2013年11月12日に発表した意見書⁹⁾ではLSAが再定義された。LSAとは、一人または複数の既存のユーザに既に割り当てられた、あるいは、割り当てが予定されている周波数帯で、個別免許制度 (Individual Licensing Regime) のもつで、限られた数の免許人によって運用される無線通信システムの導入促進を目的とする規制アプローチであると定義されている。LSAアプローチでは、追加のユーザは、周波数使用権に含まれる共用ルールに従って周波数 (またはその一部) を使用することが認可されることによって、既存免許人を含むすべての認可ユーザが、一定のサービス品質 (QoS) を提供することが可能となる。

このような周波数共用を実現するための手段が、周波数の利用を制御・管理するダイナミック周波数アクセスシステムである。LSA免許人は、規制当局と当事者間との間で協議した共用ルールに基づき、既存ユーザと協定を結ぶ。協定では、利用可能な地理的エリアや技術的な保護基準、また必要に応じて周波数の明け渡し方法について取り決める。LSA規制枠組みで重要なのが、周波数地理位置及びポリシーデータベース (Spectrum Geo-Location and Policy Database) で、既存ユーザの周波数の使用状況、技術的な共用条件、適用可能な追加の規制ポリシーなどの情報が蓄積される。LSA免許人はデータベースへアクセスすることでLSA協定に基づいた周波数利用が可能となる。

LSAの制度的及び技術的な検討は、欧州郵便電気通信主管庁会議 (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations : CEPT) 配下にある電子通信委員会 (Electronic Communications Committee : ECC) において実施されている。ECCのプロジェクトチームのFM 53がLSAの規制条件について、FM 52が2.3~2.4 GHz帯での共用のためのLSA実装について検討を行っている。また、ETSI (European Telecommunications Standards Institute) のリコンフィギュラブル無線システム (Reconfigurable Radio Systems : RRS) 技術委員会がLSA技術条件や地理位置データベースの標準化活動を実施している。ETSIは、QoSを担保したローカルエリアサービスの提供を可能とする周波数共用を実現するため、サイト単位での周波数割当てを自動化するソリューションとして、進化版LSA (Evolved Version of Licensed Shared Access : eLSA) の技術標準の検討を進めており、2018年2月にテクニカルレポート初版を発表している¹⁰⁾。これによって、IMT (International Mobile Telecommunications) バンドだけでなくすべての周波数帯での周波数共用と、地域単位での短期または長期の免許付与が可能となり、ローカルエリアにおける産業界の5Gニーズへの対応策として期待されている。

ECCでは、各国の規制当局によるLSAの実装及び試験に関する経験を共有するため、LSA実施に関する情報交換のための新たな作業アイテムを作成することが、2015年5月に決定された。これまでに、スペイン、イタリア、フランス、フィンランド、オランダで実施されたLSA試験の情報が公開されており¹¹⁾、政府機関やPMSE (Programme Making and Special Events) などの既存免許人と、新たな利用である商用LTEとの間の共用試験の結果が提供されている。これらのLSA試験では、規制当局の認可を得たRED Technologies (フランス) や Fairspectrum (フィンランド) などが、ダイナミック周波数管理プラットフォームを提供するプロバイダとして協力している。

LSAアプローチの考え方は、英国では階層型認可 (Tiered Authorisation) アプローチと称され、Cバンド (3.8~4.2 GHz) で初めて導入することが、2016年より検討されている¹²⁾。本検討では、Cバンドを使用している既存業務 (固定リンク、固定衛星) 及び既存免許人 (UK

Broadband) を Tier 1 カテゴリーとして干渉から完全に保護したうえで、地域免許として新設される Tier 2 カテゴリー¹² や、機会利用型の新たなユーザである Tier 3 カテゴリー¹³ への利用を認めることが提案されている。英国では、複数の既存法を改正する「2017年デジタル経済法 (Digital Economy Act 2017)」¹³ が 2017年4月に成立し、「2006年無線電信法」においてはダイナミック周波数アクセスサービス規則を定めるパート 2A が新設された¹⁴。ダイナミック周波数アクセスサービスとは、Ofcom が規定した特定の周波数帯に属する無線局の使用可能性と、当該無線局が周波数を使用できる場所、出力、時間その他あらゆる条件に関する情報を提供することと定義されている。

■参考文献

- 1) Title 47: Telecommunication, PART 15-RADIO FREQUENCY DEVICES, Subpart H-White Space Devices
<https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=3437b1ccb4bfc915385716218f45f73c&mc=true&node=sp47.1.15.h&rgn=div6>
- 2) <https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ostp/pcast/docsreports>
https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_spectrum_report_final_july_20_2012.pdf
- 3) PART 96-CITIZENS BROADBAND RADIO SERVICE
<http://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=2dd346ae3b51f2866ab6fb907e755526&mc=true&r=PART&n=pt47.5.96>
- 4) The Wireless Telegraphy (White Space Devices) (Exemption) Regulations 2015.
http://www.legislation.gov.uk/uksi/2015/2066/pdfs/uksi_20152066_en.pdf
- 5) <http://www.legislation.gov.uk/uksi/2016/615/made/data.pdf>
- 6) Notice of proposals to make the Wireless Telegraphy (Licence Charges) (Amendment) Regulations 2016.
https://www.Ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0020/80723/fees_statement_2016.pdf
https://www.Ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0031/83695/2016-wireless-telegraphy-fees-notice.pdf
- 7) <https://www.nominet.uk/tv-white-space-brings-connectivity-local-communities-around-loch-ness/>
- 8) Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and other spectrum sharing approaches, RSPG11-392 Final, November 2011.
http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/rspg11_392_report_CUS_other_approaches_final.pdf
- 9) RSPG Opinion on Licensed Shared Access, RSPG13-538, 12 November 2013
https://circabc.europa.eu/d/d/workspace/SpacesStore/3958ecef-c25e-4e4f-8e3b-469d1db6bc07/RSPG13-538_RSPG-Opinion-on-LSA%20.pdf
- 10) https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103588/01.01.01_60/tr_103588v010101p.pdf
- 11) <https://www.cept.org/ecc/topics/lsa-implementation>
- 12) https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0031/79564/3.8-GHz-to-4.2-GHz-band-Opportunities-for-Innovation.pdf
- 13) <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2017/30/contents/enacted>
- 14) <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2006/36/contents>

¹² Tier 2 地域免許が付与されると、Tier 1 免許人は Tier 2 地域免許人との調整が必要となる。

¹³ Tier 1 及び Tier 2 へ干渉を引き起こさないことを条件に、地理的データベースやその他可能な技術を用いて、ダイナミックアクセススペースで周波数を利用する。

■4群-6編-3章

3-3 標準化

(執筆者：石津健太郎) [2019年2月 受領]

本節では、コグニティブ無線に関わる標準規格について紹介する。この際、アーキテクチャに関するものとして IEEE 1900.4 と IEEE 802.19.1 を、物理層や MAC 層に関するものとして IEEE 802.11 af, IEEE 802.15.4 m, IEEE 802.22, IEEE 1900.7 をそれぞれ取り扱うことにする。

3-3-1 IEEE 1900.4

IEEE 1900.4 は、2009年に発行されたコグニティブ無線ネットワークの基本アーキテクチャに関する世界初の規格である。IEEE 1900.4 は Dynamic Spectrum Assignment, Dynamic Spectrum Access, Distributed Radio Resource Usage Optimization という3つのユースケースから抽出された要求機能に基づき、アーキテクチャが設計されている。

Dynamic Spectrum Assignment では、Regulator または Network Management Authority (これらを合わせて、Network Management Entity と呼ぶ) が決定する制限規則に従い、Radio Access Network (RAN) に対して、一定の地域や時間に運用される周波数帯域を動的に割り当てる。Dynamic Spectrum Access では、異なる RAN と端末が、重複する周波数帯域を相互干渉が許容されるレベルに収まるように制御しながら、複数の Radio Access Technology (RAT) により動的に使用する。Distributed Radio Resource Usage Optimization は、ネットワークと端末が一定のポリシーに従い、ネットワーク全体の目的を満たすように無線資源を最適な利用する。

IEEE 1900.4 のシステムアーキテクチャを図 3・1 に示す。1900.4 は、ネットワーク再構成マネージャ (Network Reconfiguration Manager : NRM)、端末再構成マネージャ (Terminal Reconfiguration Manager : TRM)、そして、それらの間で通信される情報を定義する。この結果、異種無線アクセスネットワークにおいて、ネットワークと端末に意思決定の機能を分散させ、周波数の利用制御を含む無線資源利用の最適化を支援する。なお、NRM と TRM の間のインタフェースは Radio Enabler と呼ぶ。

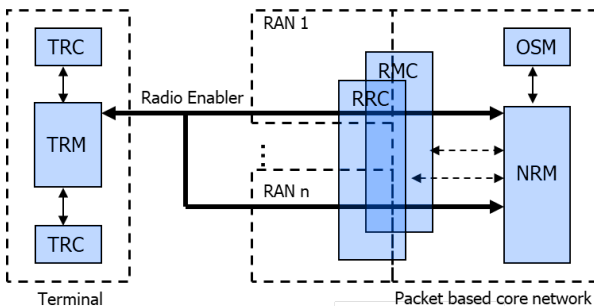


図 3・1 IEEE 1900.4 のシステムアーキテクチャ

3-3-2 IEEE 802.19.1

IEEE 802.19.1 は 2014 年に発行された規格であり、無線技術に依存せず、ネットワーク通信

により異種無線システムが同一周波数帯に共存するための方式に関する規格である。対象とするシステムは、自らの位置情報を取得可能な無線端末であり、テレビホワイトスペースや 5 GHz 免許不要帯で独立に運用されるものである。

IEEE 802.19.1 のアーキテクチャとインタフェースの範囲を図 3・2 に示す。このアーキテクチャでは、Coexistence Manager (CM)、Coexistence Enabler (CE)、Coexistence Discovery and Information Server (CDIS) という 3 つのエンティティが定義されている。対象とするインタフェースはこのエンティティ間の通信に限っており、それ以外のエンティティ (例えば無線機 (ホワイトスペース無線機: WS Radio) 自体やテレビホワイトスペースのデータベース (TVWS DB) とのインタフェースについては対象外である。

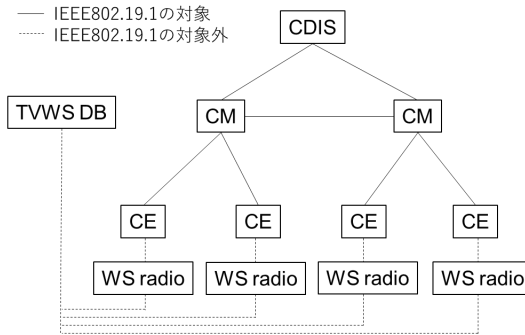


図 3・2 IEEE 802.19.1 が規定するアーキテクチャとインタフェースの範囲

CDIS は、各 CM が管轄している無線機のうち他の CM が管轄する無線機と近隣しているものについて、その情報を提供する (Neighbor Discovery Service)。CM は、CE を介して WS Radio に情報を提供、あるいは、制御をする。この制御の例としては、周波数や送信電力の変更が考えられる。CE は、異なる種類の WS Radio をこのシステムに接続するためのインタフェースの違いを吸収する機能を持つ。

テレビホワイトスペースを例とすると、IEEE 802.11 af や IEEE 802.22 のように異なる種類のシステムが同一のテレビチャンネルに共存する場合、それらのシステム間で情報をやり取りするインタフェースを持たないため、一定のポリシーに基づき通信性能を最大化したり電波干渉を最小にするための制御が不可能である。そこで、IEEE 802.19.1 の CE や CM を各システムの無線機や管理装置に内蔵させ、種類の異なるシステム間の協調を可能にする。

3-3-3 IEEE 802.11 af

IEEE 802.11 af は 2014 年に発行された規格であり、テレビホワイトスペースにおいて無線 LAN を運用するための物理層と MAC 層に関するものである。IEEE 802.11 af では、図 3・3 に示すように White Space Database (WSDB)、Access Point (AP)、Station (STA)、Registered Location Secure Server (RLSS) が定義されている。AP と STA はそれぞれマスターとスレーブとして動作する。なお、RLSS は Optional として定義されているので、IEEE 802.11 af を構成する必須機能ではないが、WSDB から利用可能なチャンネル情報を受け取り、各 AP に電波干渉が発生し

ないようにチャンネルを割り当てる機能を持つ。

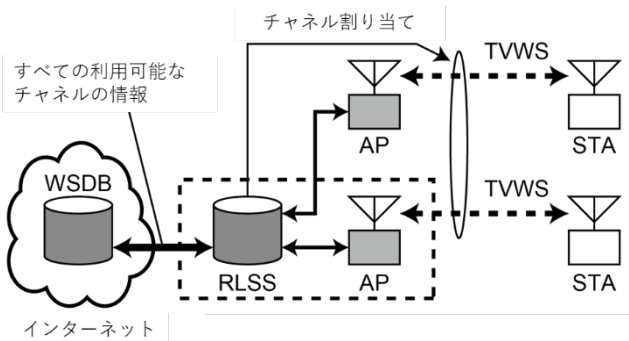


図 3・3 IEEE 802.11 af の規格の定義範囲

IEEE 802.11 af の物理層は、基本的には IEEE 802.11 ac の 40 MHz モード (Very High Throughput: VHT) をダウンクロックしたものである。複数のチャンネルを同時に利用することができ、図 3・4 に示すようにそのパターンに応じて複数のチャンネルアグリゲーションモードが定義されている。なお、各チャンネルの帯域幅は、各国の無線規則などに適合させる必要があり、6 MHz、7 MHz、8 MHz のいずれかとなる。

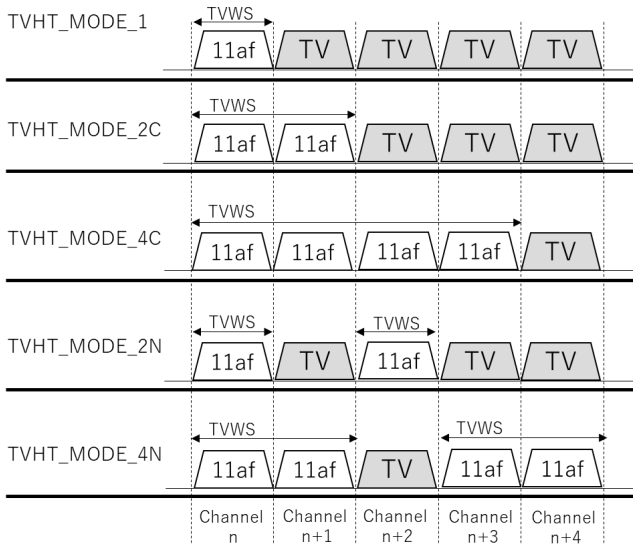


図 3・4 IEEE 802.11 af のチャンネルアグリゲーションモード

3-3-4 IEEE 802.15.4 m

IEEE 802.15.4 は 2014 年に発行された規格であり、TVWS において IEEE 802.15.4 系で規定す

る Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) の規格をホワイトスペースにおいて運用可能とするための物理層/MAC 層に関するものである。帯域幅は 2 MHz, 1 MHz, 400 kHz, 200 kHz から選択でき、利用可能な 1 つのテレビチャンネルの中に複数の IEEE 802.15.4 m システムを収容することができる。ネットワーク構成として、ツリー構成の各ノードが更に複数ノードのクラスタになっている Cluster-Tree トポロジーのほか、メッシュトポロジーが想定されている。また、White Space Database (WSDB) と通信できるマスターと通信できないスレーブにノードを区別し、各国の TVWS 制度の観点から必要な機能をそれぞれのノードに定義している。更に、TVWS が利用できない場合に IEEE 802.15.4 g で規定する免許不要帯に切り替えて運用を継続する機能も定義している。

3-3-5 IEEE 802.22

IEEE 802.22 は 2011 年に発行された規格であり、TVWS において Point-to-Multipoint 型の無線地域ネットワーク (Wireless Regional Area Networks : WRAN) を実現するための物理層と MAC 層を規定したものである。このシステムは基地局 (Base Station : BS) と加入者構内装置 (Customer-Premises Equipment : CPE) から構成され、BS と CPE の一対多の接続形態となる。この際、CPE の送信タイミングは BS 側で決定して制御する。IEEE 802.11af が Local Area Network (LAN) を対象としている一方、IEEE 802.22 は Regional Area Network (RAN) を対象としており、通信距離は最大 100 km を目標に定めている。

IEEE 802.22 のコグニティブ無線技術に関連する特徴は、(1) センシングを行うために必要な聴取時間を動的にスケジューリングができること、(2) 加入者が基地局に対して Incumbent の存在を警告できること、(3) 基地局が加入者に対して他のチャンネルに移動することを指示できること、である。これらを実現するために、新たな MAC メッセージを定義するなどしている。

3-3-6 IEEE 1900.7

IEEE 1900.7 は 2016 年に発行された規格であり、TVWS を主な対象とし、Dynamic Spectrum Access を可能にする物理層及び MAC 層を規定したものである。想定しているユースケースは、Wireless Backbone Networks, Land Fixed/Mobile Networks, Marintime Networks, Home/Office Networks, IoT であり、一対多 (Point-to-Multipoint) やメッシュ状の無線ネットワークのほか、中継局を含む無線ネットワークなど、ネットワークの形態が多岐にわたる。

物理層は Filter Bank Multicarrier (FBMC) に基づき設計をしており、TVWS において特に要求が厳しい隣接チャンネル漏洩電力 (Adjacent Channel Leakage Ratio : ACLR) に対する性能は OFDM と比較してよい。FBMC を採用することにより、実装上の複雑さと隣接チャンネルからの干渉低減性能のうち必要な方を柔軟に選択することが可能である。MAC 層は IEEE 802.11 系の無線 LAN と似ており、CSMA-CA 及び RTS/CTS ハンドシェイクによるものを採用している。TVWS に関する多くの電波制度では、WSDB の指示に従って運用することが求められることが多いが、IEEE 1900.7 ではマスターとスレーブの区分を設け、スレーブはマスターを発見するまで電波を放射しない仕様としている。したがって、WSDB と有線接続を確保している無線機 (通常はアクセスポイント) がマスターとなれば、電波制度を満たして運用することが容易になる。

■参考文献

- 1) K. Ishizu, K. Mizutani, T. Matsumura, H.-N. Tran, S. Filin, H. Sawada, and H. Harada : “Chapter 27: Developments and practical field trials of TVWS technologies,” in Wiley Book “Opportunistic Spectrum Sharing and White Space Access: The Practical Reality,” Wiley book, Apr. 2015.
- 2) K. Ishizu, K. Mizutani, T. Matsumura, Z. Lan, and H. Harada : “IEEE 802.11af Wi-Fi in TV White Space,” Handbook of Cognitive Radio, Springer, Jun. 2017.
- 3) 石津健太郎, 村上 誉, フィリン・スタニスラブ, 原田博司, 宮本 剛, チャン・ハグエン, 加藤修三 : “【招待講演】 IEEE P1900.4 の動向と NICT の取り組み,” 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, vol.107, no.352, SR 2007-58, pp.83-90, Nov. 2007.
- 4) S. Filin, H. Harada, H. Murakami, and K. Ishizu : “Technical overview of the IEEE 1900.4 standard— Architectural building blocks enabling distributed decision making for optimized radio resource usage in heterogeneous wireless access networks,” CrownCom 2009 Tutorial, Jun. 2009.
- 5) S. Filin, F. Kojima, D. Nogue, J.-B. Dore, B. Mawlawi, O. Holland, M.Z. Shakir, and H. Harada : “IEEE 1900.7 standard for white space dynamic spectrum access radio systems,” IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), Oct. 2015.
- 6) C.-S. Sum, L. Lu, M.-T. Zhou, F. Kojima, and H. Harada : “Design considerations of IEEE 802.15.4m low-rate WPAN in TV white space,” IEEE Communications Magazine, vol.51, Issue 4, pp.74-82, Apr. 2013.