

アメリカでのDTV帯域における免許不要な無線機器の技術標準規格

朴 徳圭^{†a)} 佐波 孝彦^{††} ジェフリー H. リード^{†††}

Technical Standard for Unlicensed Radio Device on DTV Band in U.S.A.

Duk-Kyu PARK^{†a)}, Takahiko SABA^{††}, and Jeffrey H. REED^{†††}

あらまし 世界各国では急激に増加する無線局の周波数割当の要求に対して、周波数利用効率を最大化でき、より多くの無線サービスを収容できる周波数割当政策を行っている。最近では、コグニティブ無線技術を用い周波数利用効率を向上させる検討が進められている。現在、アメリカでは、アナログテレビ放送からデジタルテレビ放送への移行に伴い、VHF/UHF帯域における周波数再割当が行われている。この帯域において、コグニティブ無線技術を利用した免許を必要としない新しいタイプの無線機器の開発を認めることは、周波数のより効率的で効果的な使用を可能にし、社会に重要な利益をもたらすと期待されている。本論文ではアメリカにおけるテレビ帯域に関する電波監理政策動向と免許を要しない無線機器の技術標準規格について述べていく。

キーワード 免許不要機器、テレビ帯域、標準規格、コグニティブ無線

1. ま え が き

現在、特定の用途に独占的に使用されている周波数を有効活用することを目的として、新しい概念を用いるシステムに関する研究が行われている。このシステムは、特定用途に割当てられている周波数の中で実際には使用されていない周波数をセンシングし、一時的にそのような空き周波数を利用することで、周波数利用効率を高めようとするものである。このような通信システムは、コグニティブ無線 (Cognitive Radio: CR) と呼ばれており、大きな注目を集めている。特にアメリカは、最も積極的に CR 技術の導入を検討している国の一つである。アメリカの連邦通信委員会 (Federal Communications Commission: FCC) では、現在、テレビ放送用の周波数として割り当てているが、実際には使用されていないテレビ帯域におい

て、CR 技術を利用することで、免許を必要としない無線機器 (以下、免許不要機器と略) を用いたサービスを提供する方法を検討している。

FCC は CR 技術を利用した免許不要機器の導入のために次の三つの導入ステップを提示している。まずはじめは、実際にプロトタイプ機器による測定を行い、CR 技術の実現性を証明することである。2 番目のステップは、既存のテレビ放送と互いに共存可能な機器、すなわちテレビ放送帯域を使用する免許不要機器の技術標準規格を制定することである。最後のステップは制定された標準規格に沿って製作された免許不要機器を認定することである。

このような FCC の導入ステップの目的は、免許不要機器がテレビ受信装置に干渉を与えないことを保障し、これを検証することである [1]。アメリカではこのような導入ステップに従って、多様な測定に基づいた技術標準規格案が提案されており、現在は追加測定を通じて最後の法案 (技術標準規格) を作成しているところである。

本論文では CR 技術を導入した免許不要機器のために行っているアメリカの政策とその背景、規則制定ロードマップ、技術標準規格として検討されている技術及び現在までに提案されている技術標準規格案を説明する。

[†] 牧園大学校工学部, 韓国

Department of Information Communication Engineering, Mokwon University, 800 Doan-dong, Seo-gu, Daejeon, 302-729, Korea

^{††} 千葉工業大学, 習志野市

Department of Computer Science, Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino-shi, 275-0016 Japan

^{†††} バージニア工科大学, 米国

Virginia Polytechnic Institute and State University, Bradley Department of Electrical and Computer Engineering, 432 Durham Hall, Blacksburg, VA, 24061, USA

a) E-mail: parkdk@mokwon.ac.kr

2. FCC の政策背景

アメリカでは 2009 年 2 月に予定されているアナログテレビ放送のデジタル化に伴い、テレビ放送用の周波数の再配置が進められている。デジタル放送への移行後に空いた周波数帯は、一部が公共安全 (Public Safety) 用途へ割り当てられ、それ以外の帯域はオークションによって商用サービスに割り当てられる。それに加えて、デジタルテレビ (DTV) 放送で使用される周波数帯においても、周波数利用効率を上げる手法が検討されている。これは、現状のアメリカのテレビ放送を実地調査した結果、周波数の利用効率が極めて低いことが明らかになったからである。

アメリカでは、テレビ放送用に割り当てている周波数の中に、時間・空間を限定した場合、使われていない周波数帯が数多く存在する。このような帯域は、空白帯域 (White Space) と呼ばれている。特にテレビ放送帯では、ある地区で割り当てられているチャンネルを隣の地区では使用できないこともあり、広大な空白帯域が発生している。ある調査によれば、DTV 移行後でも、ボストンやサンフランシスコのような大都市部で 40% 程度、アラスカ州ジュノーのような地方都市では 70% 以上のチャンネルが使用されないと予測されている [2]。アメリカでは、このような空白帯域が存在する周波数帯に対して CR 技術を導入することが検討されている。

アメリカ国防総省 (Department of Defense: DoD) はスペクトルを知的に管理できる CR 技術に高い関心をもっており、CR 技術に関する研究を積極的に支援している。CR 技術を検討することとなった大きな理由は DoD が使用する帯域のトラフィック量が増加したことが挙げられる。産業で利用されるスペクトルを分け合う場合、DoD が使用することができる有効なスペクトルは減少する。また、他国で遠征軍を展開する場合、その国のスペクトル配置に従って利用しなければならず、困難を伴う場合がある。このような場合、CR 技術を基盤としたスペクトル管理を迅速に行うことで、これらの問題を解決できる。

DoD は CR 技術に関する多くの研究を行っている。スペクトルのダイナミックな使用方法を検討する DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) における XG (neXt Generation) プログラムはその代表的な例である [3]。これらの検討の結果として、スペクトルの占有時間は通常我々が考えている

ほど長くないことが明らかになっている。周波数帯域によって差はあるが、例えばニュージーランドのオークランド地域では、806 MHz から 2750 MHz の周波数帯域でのスペクトル平均占有時間は約 6.2% [4]、アメリカで最も周波数利用率が高いニューヨークとシカゴの平均占有時間は 50 MHz から 2900 MHz の周波数帯域で各々 13.1% と 17.4% を示している [5], [6]。更に、そのような場合でも、この周波数帯域をいくつかの帯域に分けて占有時間を測定すると、帯域によっては 5% 以下となる結果も得られている。これらの結果は、既存の周波数帯域の多くの部分において、周波数の使用時間が短く、長時間の空き帯域 (Spectrum Hole) が存在していることを証明しており、周波数有効利用の観点から CR 技術の導入が極めて重要であることを示している。

XG プログラムではある特定な地域で使用するスペクトル利用状況で、新しい処理言語を使用することで空き帯域を検出することができる広帯域センシング技術を実証した [7]。ここでは既存のスペクトル権利者の多様性を考慮し様々な実験を行い、5 秒以内にネットワーク接続し 200 ms 以内でネットワークを再設定する能力を示している。

また、500 ドル程度のプロトタイプ CR ハードウェアプラットフォームの開発を目標とする DARPA WNaN (Wireless Network after Next) における Phase 1、DARPA WNaN Phase 1 のハードウェア処理アルゴリズム、及びネットワーキングソフトウェアを開発する WNaN Phase 2 によっても検証が行われている [8]。DARPA XG と WNaN はともにスペクトルオーパレイ技術を前提として、空き周波数を用いて伝送することを基本としている。

更に、別な方法として W-CDMA と類似した広帯域特性を使って衛星通信を提供する DoD MUOS (Mobile User Objective System) プログラムがある。このプログラムは、ある通信システムの運用環境に対して、そのシステムへの干渉レベルが許容範囲内になるように共存可能なシステム信号を定義するもので、エネルギー拡散を行うことで干渉を許容できるレベルにしたり、また伝送信号を特定の帯域のみフィルタリングして除去することにより信号の共存を図っている [9]。

規則制定者らは、同一帯域で多数の規格を包含することに着目し、大きな関心をもって DoD の開発を見守っている。これは公共安全無線のように互いに共存することが難しい様々な規格を包含しなから、全国

的に広く使用しているテレビ帯域のようなスペクトルを再配置することは極めて重要であるからである。特に、FCC はアメリカの電波政策で重要な課題になっている DTV 移行後、周波数再配置が予定されている VHF/UHF 帯域に CR 技術を積極的に活用し周波数を共同使用することを計画している。

このようなアメリカの電波政策をきっかけに、IEEE では産業標準団体の標準化努力を反映し、IEEE 802.22 WRAN, 802.16 h, 802.11y, 802.16 m 及び 802.21 等、様々な分野で CR 技術を考慮した標準化作業が行われている。特に最近では IEEE SCC41 (Standards Coordinating Committee 41) で IEEE 1900.x シリーズの技術標準を規定している。このような動きに従い世界各国は CR 技術に対する重要性を認識し各国の政策方向を見直している。

3. 免許不要機器の導入のロードマップ

2002 年 6 月、FCC の議長 Powell は新しい電波監理体制を立てるため「Spectrum Policy Task Force」を編成し、10 月には「Broadband Migration III: New Directions in Wireless Policy」を発表するなど、周波数利用効率を高める新しい周波数管理の必要性を提示し、今までのような一方的な国主導の政策から公共の需用に応じたスペクトル管理政策への見直しを勧告した。また、2003 年 6 月、ホワイトハウスは既存の体制では限定されている国の資源である周波数の価値を極大化して国全体の次元で周波数を効率に使用できるような報告書の提出を要求することとなった [10]。

FCC は 2003 年 12 月の規則制定提案告示 (Notice of Proposed Rule Making: NPRM) で「弾力的、効率的及び高信頼性のコグニティブ無線利用の機会の増強」(ET-03-108) を出し、CR 技術を電波政策の中へ積極的に取り入れる意欲を示した。2004 年 5 月 13 日に採択された NPRM では「テレビ放送用帯域における無免許運用」として、スペクトルが利用されていない地域での免許不要な無線機器の使用許可を提案している [11]。

この NPRM では、FCC はテレビチャンネルで使用するスペクトル 5, 6 番 (76~88 MHz), 7 番から 13 番 (174~216 MHz), 14 番から 36 番 (470~608 MHz), 38 番から 51 番 (614~698 MHz) で免許不要機器を利用することを提案している。免許不要機器とのチャンネル共有の条件は、認可を受けてテレビ放送を行っている事業者に対してそのサービス領域内で干渉を与え

表 1 免許不要機器の導入日程計画
Table 1 Projected schedule for proceeding on unlicensed operation.

日程	実施内容
2006 年 10 月	「第 1 次報告と命令および更なる NPRM (First Report and Order and Further NPRM)」採択
2007 年 3 月	DTV 受信機の干渉排除能力に関する実験結果の報告
2007 年 7 月	免許不要機器がテレビや他の無線サービスに与える潜在的な干渉の測定結果を報告
2007 年 10 月	テレビ帯域で動作する免許不要機器に関する最終的な技術要求を規定する「第 2 次報告と命令 (Second Report and Order)」を採択
2007 年 12 月	テレビ帯域で動作する免許不要機器に対する認証受付の開始
2009 年 2 月	免許不要機器の製品販売

ないことである。ここで、免許不要機器は広帯域伝送が可能な無線装置であり、固定/接続及びパーソナル/ポータブルの二つに分類している。また、2006 年 9 月の公示 (Public Notice) ではテレビ帯域で動作する免許不要機器の導入のためのスケジュールを表 1 のように発表した [12]。

2006 年 10 月に FCC が採択した「第 1 次報告と命令および更なる NPRM (First Report and Order and Further NPRM)」[13] では、空いているテレビチャンネルにおける固定/接続の広帯域機器 (家庭やオフィスへの固定無線接続のような商業サービス用) の使用を承認している。一方、パーソナル/ポータブル低電力機器 (ラップトップや PDA 等) に関しては、放送波によるテレビ視聴者 (ケーブルテレビの普及により、今や割合は減少しつつあるが) に悪い干渉を与えることなく空き帯域を利用できるかどうかについての研究を更に推進するよう求めた。しかし、表 1 の日程で実行する予定であった免許不要機器がテレビ受信機に与える干渉に対する実験と測定は、まだ総合的な結果が得られておらず、最終の技術標準規格が規定される予定である「第 2 次報告と命令 (Second Report and Order)」はまだ採択されていない。

干渉に関する実験と測定は 2 段階に分けて行っている。第 1 段階の実験と測定は 2007 年 7 月に終了しており、第 2 段階では実験と測定のためプロトタイプ機器を公募し多様な実験機器が提出された。更にこの実験では Dell, Google, HP, Intel, Microsoft 及び Philips が連合体を構成して実験に参加している。第 2 段階実験は 2008 年 1 月 24 日から始め、実験室内と屋外での測定を行い、移動を含めた実際の環境で様々

な結果が得られた [14]。この結果に従って「第 2 次報告と命令」が採択される予定である。

今後、このような免許不要機器は次のような分野で応用されると予想されている [1]: (1) 郊外地における広帯域システムの展開, (2) 補助公共安全通信, (3) 教育目的あるいは企業でのテレビ会議, (4) パーソナルコンシューマアプリケーション, (5) メッシュ及びアドホックネットワーク, (6) セキュリティアプリケーション, (7) 地方自治体の広帯域接続, (8) 地方でのサービス区域の拡大及び通信手段の向上, (9) 企業ネットワーク

4. テレビ帯域の免許不要機器の要求事項

FCC 規則 Part 73 で規定されているアメリカのテレビ放送サービスは、VHF/UHF 帯域においてそれぞれが 6 MHz の帯域幅をもつ 2 番から 69 番のチャンネルで構成されている (表 2)。現在、この規則ではテレビ帯域において遠隔制御 (Remote Control) と医療用テレメトリー装置以外の免許不要機器の利用を許可していない。しかし、前述したように FCC はアナログからデジタル放送への移行とともに免許不要機器とのスペクトル共有を提案している。またこのスペクトルの中で 52 番から 69 番 (698~806 MHz) の周波数帯域は、DTV 移行後には他のサービス用に解放される予定であり、帯域を四つのブロック (A, B, C, D) に分類してオークションによる割当を行った。2008 年 3 月、計 191 億ドルでこのスペクトルに関する最終オークションが終了した [15]。

NPRM では免許不要機器が空きチャンネルで動作することができる三つの方法 (制御信号を用いる方法、位置決定による方法、CR 技術による方法) に対して検討を行った。前述のように FCC では免許不要機器を固定とモバイル機器の 2 種類に分類しており、これらに三つの方法を適用することができる。必要に応じて、三つの方法は同一チャンネルの干渉だけではなく隣接チャンネルとの干渉を防ぐための追加措置を講じなければならない [16]。以下、これらの三つの方法について述べていく。

4.1 制御信号 (Control Signal) を用いる方法

制御信号を用いる方法では、免許不要機器がサービス地域内で空きチャンネルに関する制御信号を受信できるときに信号伝送が行える。この制御信号はテレビ放送局や FM 放送局の放送信号の一部に含まれたり、通信中の免許不要機器が送信することができる。免許不

表 2 アメリカのテレビ周波数チャンネル (Ch.)
Table 2 TV channels in united states.

Ch. 番号	帯域 [MHz]	Ch. 番号	帯域 [MHz]
2	54~60	36	602~608
3	60~66	37	608~614
4	66~72	38	614~620
5	76~82	39	620~626
6	82~88	40	626~632
7	174~180	41	632~638
8	180~186	42	638~644
9	186~192	43	644~650
10	192~198	44	650~656
11	198~204	45	656~662
12	204~210	46	662~668
13	210~216	47	668~674
14	470~476	48	674~680
15	476~482	49	680~686
16	482~488	50	686~692
17	488~494	51	692~698
18	494~500	52	698~704
19	500~506	53	704~710
20	506~512	54	710~716
21	512~518	55	716~722
22	518~524	56	722~728
23	524~530	57	728~734
24	530~536	58	734~740
25	536~542	59	740~746
26	542~548	60	746~752
27	548~554	61	752~758
28	554~560	62	758~764
29	560~566	63	764~770
30	566~572	64	770~776
31	572~578	65	776~782
32	578~584	66	782~788
33	584~590	67	788~794
34	590~596	68	794~800
35	596~602	69	800~806

要機器は、このような制御信号を受信できない場合には送信できない。この方法により、免許不要機器が空きテレビチャンネルで動作できるようになる。既存のテレビ送信機のチャンネル運用に関する情報や、新しい送信機の設置に関する情報 (例えば、車両を用いた移動放送局などの設置場所や送信時間等) が既知であれば、日ごとに制御信号の情報を修正することで干渉を十分に防止することができる。

ポータブル端末に制御信号を提供するための最も効果的で効率的な方法はネットワーク構成に依存する。もしこれらのポータブル端末がホットスポット WISP (Wireless Internet Service Provider) ネットワークのように、point-to-multipoint ネットワークの領域にあれば制御信号を送出する基地局を設置することが良い方法である。一方、P2P (peer-to-peer) 無線ネットワークの場合、既存のテレビまた FM 放送局が制御

信号を送ることが妥当である。

FCC は NPRM において制御信号の具体的な特性は提案してない。また、制御信号の有効エリア外に存在する免許不要機器によって制御信号が受信された場合も課題として残されている。このような課題は、制御信号を受信した場合、その情報が有効なエリア内であることを確実に保証できる適切な信号設計がされていれば解決できるであろう。以上を踏まえ、FCC では制御信号に対する重要な検討課題を次のように考えている。

- ある地域内での免許不要機器が使用可能な空きチャンネルに関するデータベースの維持管理と正確性
- 制御信号の信頼性
- データベースに含まれてない場所、ワイヤレスマイクなどのように、他に許可されているサービスを保護することができる信頼性
- 免許不要機器（自局のサービスを低下させる可能性がある）のために、免許無線局が制御信号を送送することは、免許無線局にとって本意ではないという根本的な問題
- 制御信号を送送するために、だれが全国的なインフラストラクチャを構築するのか

4.2 位置決定 (Position Determination) による方法

位置決定による方法では、免許不要機器は GPS 受信機を用いて位置を測定し、その位置で利用可能な空きテレビチャンネルを検索できるデータベースに接続する。この方法では二つの重要な問題点がある。これらは (1) データベースの維持管理とリアルタイム性及び正確性、(2) GPS を用いて免許不要機器が自身の位置を決定する能力である。DTV への移行までの間、FCC のデータベースはこのような変化に対応していない。しかし、DTV 移行のため法的な手続きが完了する 2009 年 2 月までには、スペクトルをより安定利用すること、そして正確なデータベースを維持することも、できるようになるであろう。空きチャンネルに関して正確に整理されたデータベースを管理することは技術的に難しくなく、また費用もあまりかからない。

FCC の E911 の要求項目^(注1)では GPS は通話の 95% に対して 300 m または 67% に関しては 100 m の精度を達成するようネットワーク技術項目を規定している。実際には、ある場所で空きチャンネルを検出するためには数 km 程度の精度があれば十分である。

テレビ帯域の免許不要機器は他の免許不要機器と互

いに信号を伝送しながらデータベースにアクセスし、ネットワーク内のすべての機器の位置情報及び使用しているチャンネル情報を把握しなければならない。免許不要機器は現在の位置状況と適切なデータベースを知っているときにだけ信号伝送することを条件に、この方法を利用できる。以上を踏まえ、FCC で位置決定に対して検討する重要な課題は次のように考えている。

- データベースの維持管理とリアルタイム性及び正確性の確保
- 免許不要機器が自身の位置を決定する能力の信頼性
- 許可されている無線局までの距離を決める方法
- データベースに含まれてない場所、ワイヤレスマイクなどのように、他に許可されているサービスを保護することができる信頼性

4.3 CR 技術による方法

この方法は免許不要機器がテレビ信号を自律的に検出し、テレビ放送装置が使っていない空白帯域を利用する。LBT (Listen-Before-Talk) として知られているこの方法は、今までに研究されている方法と異なり放送装置から送出される制御信号あるいは FCC で管理する外部データベースに依存しないので、多くの注目を集めている。

テレビ信号の検出は隠れ端末問題 (hidden node problem) の影響を受ける。隠れ端末問題は免許不要機器とテレビ放送局の間に障害物があるときに生じる。この場合、センシングを行っている受信機はテレビ信号がブロックされているので、テレビ信号の存在の有無を検出できない。したがって、免許不要機器はテレビ受信機に悪い干渉を与えるチャンネルを使用することになる。

しかし、一般に免許不要機器ではテレビ信号の存在の有無を検出する能力があればよく、テレビ信号を復調する必要はない。アナログまたはデジタルテレビ信号の存在の有無だけを検出することは、復調することに比べてはるかに簡単であり、テレビ受像機で必要となる信号レベルより低いレベルに対しても極めて高い確率で検出することができることは注目すべきことである。

テレビ帯域の空白帯域を免許不要機器が使用する場合、CR 技術が現実的な意味で認可を受けたテレビ放送サービスを保護する方法といえる。テレビ放送サー

(注1): 47 CFR 20.18(h) 911 service.

ビスに及ばず干渉確率は、割合からすれば免許不要機器が与えるものより、停電や自然災害による中断の方が大きい。

CR 技術のスペクトルセンシング手法は、インターネットの普及と同様に、その及ぼす効果が大きいものと推測される。社会的に重要な免許不要機器の導入が制御信号ビーコン、また位置決定データベースのような前提条件に依存すると、その導入までに時間がかかる可能性がある。

5. 技術標準規格

2004年5月に提案された NPRM (ET No. 04-186) と 2006年10月の「第1次報告と命令および更なる NPRM」(ET No.06-156) では、テレビ帯域で使用する免許不要機器の技術標準規格が提案された。現在、ポータブル端末を含めた第2段階の実験と測定を行い、実際の環境で得られた結果に対する検討を行っている。実験と検討結果に基づいて修正と補完を行い、まもなく「第2次報告と命令 (Second Report and Order)」を採択する予定である。ここでは、現在まで提案されているテレビ帯域の免許不要機器に関する技術標準規格を述べる。

5.1 免許不要機器の周波数帯

免許不要機器がテレビ帯域で使う周波数帯域及びチャンネルは 76~88 MHz (5, 6 番), 174~216 MHz (7~13 番), 470~608 MHz (14~36 番), 614~698 MHz (38~51 番) である。ただし、470~518 MHz 帯域の 14 番~21 番のチャンネルは私営陸上移動通信サービス (Private Land Mobile Radio Service: PLMRS) と商用移動通信サービス (Commercial Mobile Radio Service: CMRS) と共有して使用しているため、このサービスを行っている一部の地域は制限している。この周波数を使用する場合は共有使用が許可された都心の中心地域から同一チャンネルを運用する場合は 134 km, また隣接チャンネルの場合は 131 km 離れて使用しなければならない。更に、2 番チャンネルはテレビ隣接帯域のシステムとの干渉, 3, 4 番チャンネルは VCR, DVD やケーブルテレビ受信機との干渉, そして 37 番チャンネルは宇宙天文, 医療用機器との干渉を考慮し免許不要機器の使用帯域から除外している (図 1)。

5.2 免許不要機器の分類

(1) 高出力「固定/接続」免許不要機器

未使用チャンネルを定義するデータベースと連動して使用しなければならない。また、GPS のような地形位

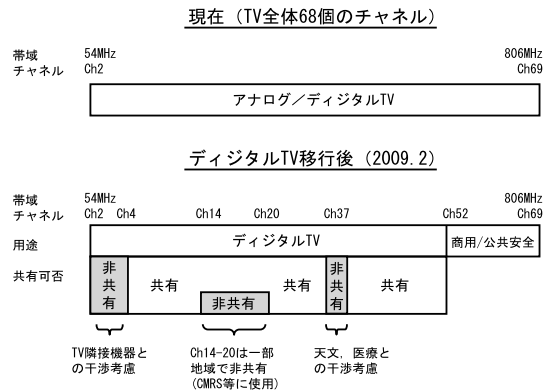


図 1 DTV と免許不要機器とのスペクトル共有計画
Fig. 1 Spectrum sharing plan between DTV and unlicensed devices.

置情報と連動して位置を決定する機能が必須となる。
(2) 低出力「パーソナル/ポータブル」免許不要機器

FM またテレビ放送局から制御信号を受信できる場合に限り利用することが可能である。

5.3 免許不要機器の技術標準規格

(1) 固定/接続の免許不要機器

- 1 W の最大出力, 4 W EIRP (6 dBi アンテナ)
- 送信電力制御 (Transmit Power Control: TPC) 使用: 最大出力 1 W の場合, 最大許容電力の 6 dB 以下となるように動作, 500 mW より小さい出力をもつ機器は TPC 機能不要
- 位置決定のために次の二つの機能の中のどちらかを実装: 位置推定ソフトウェア, データベース実装
 - ±10 m の精度の GPS 受信機使用
 - 位置と未使用テレビチャンネルを決定できる信頼できる機関によって設置された設備
- メキシコとカナダの国境からの VHF/UHF 使用に関する隔離距離を提示

(2) パーソナル/ポータブルの免許不要機器

- 最大出力 100 mW で, 最大利得 6 dBi の内蔵アンテナをもつ機器に限定
- 免許不要機器同士の通信及び FM, テレビ放送局からの制御信号を受信する場合だけに利用

(3) 共通項目

- 不要放射に関する規定
 - 動作チャンネルの外部帯域で発生する不要放射に関しては, 表 3 に示す CFR (Code of Federal Regulations) Part 15.209 の一般要求事項の電界強度制限

表 3 電界強度制限値

Table 3 Limits of the field strength level.

周波数 [MHz]	電界強度 [$\mu\text{V}/\text{m}$]	測定距離 [m]
0.009~0.490	2400/F [kHz]	300
0.490~1.705	24000/F [kHz]	30
1.705~30.0	30	30
30~88	100	3
88~216	150	3
216~960	200	3
960 以上	500	3

表 4 テレビ帯域における運用に関する制限帯域

Table 4 Restricted band of operation in TV band.

周波数帯 [MHz]	周波数帯 [MHz]
73~74.6	162.0125~167.17
74.8~75.2	167.72~173.2
108~121.94	249~285
123~138	322~335.4
149.9~150.05	399.9~410
156.52475~156.52525	608~614
157.7~156.9	

値を守らなければならない。

– CFR Part 15.205 で規定する周波数運用の制限帯域ではスプリアス以外の放射は許可されていない。(テレビ帯域における制限帯域は表 4)。

– AC 電力線を使っている機器は CFR Part 15.207 で規定する伝導制限値を満たす必要がある

- スペクトルセンシングのため項目

– 未使用のテレビチャンネルを測定できるスペクトルセンシング機能の実装

– 表 5 のようなパラメータを満たす DFS (Dynamic Frequency Selection) 技術を採用

表 5 における, 運用前モニタリング時間 (Channel Availability Check Time) は, 免許不要機器が動作前に使えるチャンネルを確認する時間, 運用中モニタリング間隔 (In-serving Monitoring Interval) は, チャンネル使用中に周期的に放送信号の存在を確認する時間間隔, チャンネル立退き時間 (Channel Move Time) は, 放送信号が検出されたときの当該チャンネルの明け渡しにかかる時間, チャンネル立退き時間内の伝送時間 (Channel Closing Transmission Time) は, 放送信号が検出された場合, チャンネル立退き時間の間に行う信号伝送 (干渉のない別の周波数を選択し, その周波数で通信を再開するために間欠的に制御信号が送られる) の総時間を示している。

- 他の項目

– 無線装置の固有信号を周期的, 自動的に伝送しなければならない。

表 5 DFS のためのパラメータ

Table 5 Parameters for DFS.

パラメータ	数値
運用前モニタリング時間	30 s
運用中モニタリング間隔	≤ 10 s
チャンネル立退き時間	≤ 10 s
チャンネル立退き時間内の伝送時間	200 ms
既存の無線局の検出しきい値	-116 dBm (6 MHz 帯域)

– 特定の機関とのみ接続する特定機能は追加できない

– ソフトウェアの動作機能: 動作周波数選択, 地理的な位置決定, 空きテレビチャンネル決定機能 (ソフトウェア可変は不可)

– FCC CFR Part 15.203 で規定するアンテナ要求を満たす

– 伝送情報がない場合と運用中の故障発生するとき, 自動的に中止

– 周波数安定度維持

6. む す び

本論文では DTV 帯域の空白帯域を, CR 技術を利用した免許不要機器と周波数を共有するためにアメリカの FCC が遂行している政策の背景, 要求項目及び技術標準規格などを述べた。免許をもっている無線局を免許不要機器から十分に保護可能かどうかについての検討が実測により行われており, 現在, 最終の技術標準規格を策定中である。CR 技術を利用する無線機器がもたらす公共の利益は明確であり, 今後このような無線局は周波数の効率的利用の新しいパラダイムとして電波政策上ますます重要になるものと思われる。

謝辞 本論文の執筆にあたり, 御助言を頂いた名古屋大学准教授山里敬也氏に感謝する。また本研究は韓国の知識経済部及び情報通信研究振興院の大学 IT 研究センタ育成・支援事業 (IITA-2008-C1090-0801-0041) の研究結果として行った。

文 献

- [1] S.D. Meinrath and M. Calabrese, Unlicensed Broadband Device Technologies: “White Space Device” Operations on the TV Band and the Myth of Harmful Interference, New America Foundation, Dec. 2007.
- [2] 佐川 永一, “コグニティブ無線と米国電波政策”, <http://www.rite-i.or.jp/kenkyuin/hoka/repo0608182.htm>
- [3] M. McHenry, E. Livsics, T. Nguyen, and N. Majumdar, “XG dynamic spectrum access field test results,” IEEE Commun. Mag., vol.45, no.6, pp.51–57, June 2007.

- [4] M.A. McHenry, P.A. Tenhula, D. McCloskey, D.A. Roberson, and C.S. Hood, "Chicago spectrum occupancy measurements & analysis and a long-term studies proposal," Proc. First International Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum TAPAS '06, no.1, Aug. 2006.
- [5] R.I.C. Chiang, G.B. Rowe, and K.W. Sowerby, "A quantitative analysis of spectral occupancy measurements for cognitive radio," IEEE Vehicular Technology Conference 2007 (VTC2007-Spring), pp.3016-3020, April 2007.
- [6] D.A. Roberson, C.S. Hood, J.L. LoCicero, and J.T. MacDonald, "Spectral occupancy and interference studies in support of cognitive radio technology deployment," IEEE Workshop on Networking Technologies for Software Defined Radio Networks (SDR'06), pp.26-35, Sept. 2006.
- [7] D. Wilkins, G. Denker, M.-O. Stehr, D. Elenius, R. Senanayake, and C. Talcott, "Policy-based cognitive radios," IEEE Wireless Commun. Mag., vol.14, no.4, pp.41-46, Aug. 2007.
- [8] DARPA, "Wireless network after next program," <http://www.darpa.mil/STO/solicitations/WNaN/index.htm>
- [9] S. Srinivasa and S.A. Jafar, "The throughput potential of cognitive radio: A theoretical perspective," IEEE Commun. Mag., vol.45, no.5, pp.73-79, May 2007.
- [10] "Presidential memo on spectrum policy," <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2003/06/20030605-4.html>
- [11] FCC "Unlicensed operation in the TV broadcast bands," NPRM, ET-04-186, May 2004.
- [12] FCC, "Projected schedule for proceeding on unlicensed operation in the TV broadcast bands," Public Notice, DA-06-1813, Sept. 2006.
- [13] FCC, "Unlicensed operation in the TV broadcast bands," First Report and Order and Further NPRM, ET-06-156, Oct. 2006.
- [14] "FCC announces plans for conducting measurements of additional prototype TV white space devices," Digital TV News, Jan. 2008.
- [15] FCC, "Auction of 700 MHz band licenses closes," Public Notice, DA 08-595, March 2006.
- [16] M.A. Sturza and F. Ghazvinian, White Space Engineering Study: Can Cognitive Radio Technology Operating in the TV White Space Completely Project Licensed TV Broadcasting?, New America Foundation, Jan. 2007.

(平成 20 年 4 月 23 日受付, 7 月 1 日再受付)



朴 徳圭 (正員)

昭 59 韓国・仁川市立大・工・電子卒 . 昭 61 韓国・延世大大学院修士電子工学専攻了 . 平 4 年 6 月慶大大学院博士課程了 . 平 7 郵政省通信総合研究所科学技術特別研究員 . 平 12 年 8 月~13 年 8 月ワイ・アール・ビー移動通信基盤技術研究所客員主任研究員 . 平 19 年 1 月~20 年 2 月アメリカ・Virginia Tech・電気コンピュータ工学科訪問教授 . 現在, 韓国牧園大学校情報通信工学科教授 . 平 14 本会論文賞 . 平 16 韓国・国務総理表彰, IEEE, 大韓電子学会, 電磁波会各会員 .



佐波 孝彦 (正員)

平 4 慶大・理工・電気卒 . 平 6 同大大学院修士課程了 . 平 9 同大学院博士課程了 . 同年名工大・電気情報・助手 . 平 10 千葉工大・情報・講師, 平 14 同大准教授 . 平 20 プリティッシュコロロンビア大・訪問准教授 . 現在に至る . 工博 . 主としてデジタル通信, 信号処理, 符号理論に関する研究に従事 . IEEE, 情報理論とその応用学会各会員 .



Jeffrey H. Reed

received the B.S., M.S and Ph.D. degree in Electrical and Computer Engineering from University of California, Davis, USA, in 1979, 1980 and 1987, respectively. From 1984 to 1992, he was a teaching assistant, associate instructor, part-time lecturer and research engineer in Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of California, Davis, USA. In 1992, he joined Virginia Tech., Blacksburg USA as a faculty in the Bradley Department of Electrical and Computer Engineering. He served as the Director of Mobile and Portable Radio Research Group (MPRG) in Virginia Tech., USA., from 2000 to 2002, as the Deputy Director of MPRG from 2002 to 2006, and as the Director of Wireless@Virginia Tech. he received the College of Engineering Award for Excellence in Research in 2001. He has served on several company advisory boards, including Samsung Electronics. In 2004, he received the Outstanding Industry Contributor Award from the SDR Forum. During 2004 he also received an award from the SDR Forum for his pioneering 2001 publication that provides a mathematical foundation to cognitive radio based on game theory. He is a Fellow of IEEE.