

IMT-2000 高度化および IMT-Advanced 標準化状況 — 一次世代システムの所要周波数帯域幅の算出 —

ITU-R において IMT-2000 高度化システムと IMT-Advanced システムの所要周波数帯域幅の算出が行われ合意された。これにより、今後 ITU-R は、算出された所要周波数帯域幅に基づき、2007 年に開催される世界無線通信会議（WRC-07）において、次世代移動通信システムへの周波数分配について議論することとなる。本稿では、ITU-R での技術的検討結果として算出された所要周波数帯域幅についてその議論の背景を含めて報告する。

やまだ たけふみ まとば なおと よしの ひとし
山田 武史 的場 直人 吉野 仁

1. まえがき

世界無線通信会議（WRC: World Radiocommunication Conference）-07 での世界共通の周波数割当てに向けて、国際電気通信連合・無線通信部門（ITU-R: International Telecommunication Union-Radio communication Sector）作業部会（WP: Working Party）8F は、第3世代移動通信（IMT-2000）高度化システムとその後継システム（IMT-Advanced）の所要周波数帯域幅算出のための技術検討を行った。

2010～2020年までの所要周波数帯域幅の算出にあたり、ITU-Rは将来の多様化するアプリケーションのトラフィックを適切に扱うこと、またトラフィックを収容するうえで複数の無線通信手段を考慮することなどの基本方針を策定し、これに基づいて2010年以降のサービス・市場動向、技術動向などについて広範囲な分析を行い、これらの要因を反映した新しい所要周波数帯域幅算出法を作成した[1][2]。ITU-Rでは、さらに、その加盟国およびITU外の標準化機関などに送付したアンケートの結果をまとめて、2010～2020年の世界の移動通信市場の動向を分析し、トラフィック需要予測および当該サービスを実現するうえで必要な無線技術の動向予測を行い[3][4]、それらの予測から得られる数値データ（パラメータ値）を本算出法に使用してより精密な所要周波数帯域幅の算出を行った[5]。

ドコモは、次世代移動通信周波数の世界共通の割当て実現に向けて、日本代表団の一員として、ITU-Rでの所要周波数帯域幅算出のための技術的検討に積極的に貢献してきた。

本稿では、まず所要周波数帯域幅算出の全体の流れを示し、次に所要帯域幅推定に用いられた市場および無線技術に関するパラメータ値の決定の背景や根拠について概説し、最後に算出結果と今後の課題について述べる。

2. 所要周波数帯域幅算出の流れ

ITU-Rでは、所要周波数帯域幅の検討にあたって、その出発点を移動通信アプリケーションとし、まず将来普及が予測されるアプリケーションについて検討を行い、その結果に基づいて、どのような無線アクセス技術がこれらのアプリケーションを効率的にサポートできるかを検討した。これは、無線システムを出発点とし、それがサポートできる移動通信アプリケーションを特定し、そのトラフィック量からそのシステムの所要周波数帯域幅を算出する、という従来の手法とは異なっている。

まず、将来予測される移動通信アプリケーションから発生するトラフィックの総需要を算出し、アプリケーションの性質に合わせて、そのトラフィックを収容できる複数の無線通信手段に分配する。したがって、

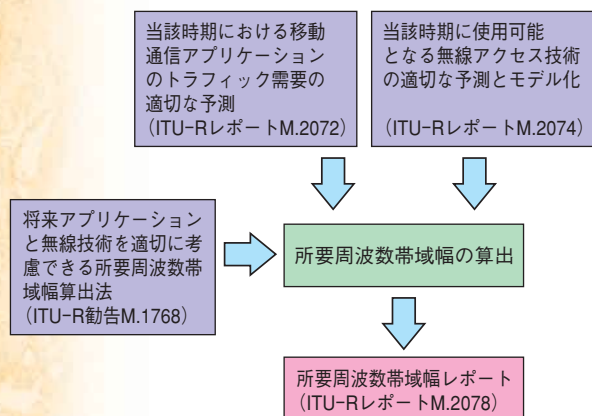


図1 所要周波数帯域幅レポート完成に向けた流れ

IMT-2000高度化システムおよびIMT-Advancedシステム以外の無線通信手段（無線LANやデジタルモバイル放送（マルチキャスト））に流出するトラフィックについても十分な検討を行うことになる。これは、移動通信アプリケーションが状況に応じて複数の無線通信手段で収容されることになるという将来予測に基づいている。例えば、電子メールは、アプリケーションのIP化の流れによって、セルラ移動通信のみならず、無線LANなどにも利用環境に応じて収容されるからである。所要周波数帯域幅の算出法では、このような無線通信手段間のトラフィックの分配も考慮している。

所要周波数帯域幅算出について、ITU-Rレポート完成に向けた一連の流れを図1に示す。所要周波数帯域幅の算出にあたっては、「周波数が必要となる時期に登場する移動通信アプリケーションのトラフィック需要の適切な予測」、「当該時期に使用可能となる無線アクセス技術の適切な予測とモデル化（所要周波数帯域幅の算出に必要な最小限の仕様を含む）」、これらの「将来アプリケーションと無線技術を適切に考慮できる所要周波数帯域幅の算出法」が必要となる。これらの3要素を適切に考慮して、最終的な所要周波数帯域幅を推定算出する。所要周波数帯域幅の算出においては、移動通信のグローバル性を考慮して、従来のITU地域ごとに別個に需要予測を行うのではなく、世界共通のマーケット（高ユーザ密度シナリオと低ユーザ密度シ

ナリオ）を想定した検討が行われた。以下ではそれぞれの要素について解説を行う。

2.1 所要周波数帯域幅算出法

所要周波数帯域幅算出法は、勧告ITU-R M.1768に記述されている。具体的なアルゴリズムについては文献[2]を参照されたい。前述の要求条件を満たすため、本算出法では、移動通信で将来提供されるサービス全体とそれを収容可能な無線システムすべてを考慮し、それらを分類体系化し、有限個のサービス種別（SC：Service Category）と無線アクセス技術群（RATG：Radio Access Technique Group）で議論している。同様に、サービス利用パターンとユーザ密度（Teledensity）を用いてサービス環境（SE：Service Environment）を、セル展開の観点から無線環境（RE：Radio Environment）をそれぞれ分類体系化した。SC、SEごとに集計されたトラフィックを各RATG、REに分配し、そのトラフィックを収容するために必要なシステム容量をRATG、REごとに求めている。そして、RATG1およびRATG2については、さらに、周波数利用効率^{*1}などを用いて所要周波数帯域幅を算出している。

なお2007年のWRC-07に向けた議論においては、RATG1（IMT-2000以前のセルラシステム、IMT-2000とその高度化システム）およびRATG2（IMT-Advanced、ただし他のRATGに含まれない移動通信システムも含む）が所要周波数帯域幅算出の対象となっている。したがって、RATG3（既存の無線LANおよびその高度化システム）およびRATG4（デジタルモバイル放送（マルチキャスト）とその高度化システム）については、これらのシステムに分配されるトラフィック量のみを算出し、この流出トラフィックを考慮することによってRATG1およびRATG2のトラフィック需要の推定精度を向上させている。したがって、RATG3およびRATG4に関係する無線システムの所要周波数帯域幅の算出は行っていない。すなわち、これらについては、その無線技術など周波数利用効率に関する検討を行っていない。

システム容量の算出にあたっては、トラフィックの

*1 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送信できる情報ビット数。

性質により予約型（従来の回線交換型トラフィックに適用可能）とパケット交換型の2種類の算出法を使い分けている。いずれの容量算出法も、アプリケーションの多様化に起因するトラフィックの性質の違いを利用した統計多重効果^{*2}が得られるように設計されている[1][2]。

2.2 需要トラフィックの予測

将来のトラフィック需要の算出に際しては、収集可能な範囲で市場データを集め、それに基づいた予測を行うことが要求されている。ITU-R WP8FはITU加盟国およびITU外部機関を対象にアンケート調査を行い、その回答から得られた将来の移動通信サービスの需要予測を基にトラフィック量を算出した[3]。

しかしながら各国における需要予測はその国の市場の成熟度や文化的背景などで千差万別であり、それらを類型化し取りまとめたが、最終結果としてはマーケット関連の各パラメータの値にある程度の幅を持たせることで合意した。一方、所要周波数帯域幅の算出においては世界共通の需要予測として具体的な値に絞り込む必要がある。そこで所要周波数帯域幅の算出においては、幅を持つマーケット分析結果の値に対して、主にユーザ密度の発展度合いの異なる2種類の市場シナリオ（高ユーザ密度シナリオ／低ユーザ密度シナリオ）を想定し、それぞれの市場シナリオに合致するマーケット値をそれぞれ策定することとした。また、ITU-Rでは、これら2つの市場シナリオにおいて、それぞれ最終的に到達する市場規模は同一となるが、経済的背景などの違いにより、国によって市場の立上がり時期に時間的な差異が存在する点を考慮して、Time shift approach

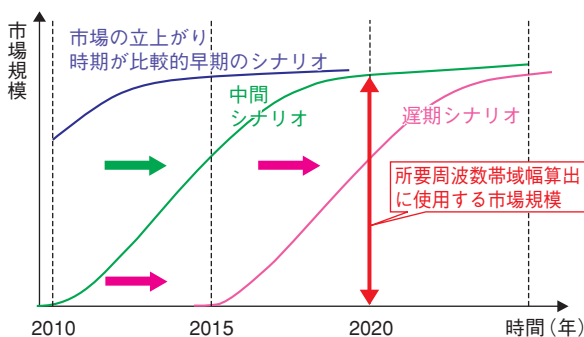


図2 Time shift approach の概念

の概念を採用することとした。具体的には、2つの市場シナリオに対応した市場成長曲線に対して、それぞれ市場の立上がり時期が5年ごとに異なる3つの市場成長曲線（成長率は同一）をさらに設定した。Time shift approach の概念図を図2に示す。3つの曲線は市場の成熟度合いを示しており、曲線の形状および最終的に到達する市場の成熟度は同一とすることで合意した。

このように市場展開のシナリオを2つの市場シナリオ（2種類の市場成長曲線）および同一の成長率だが時間軸に差を与えた3つの市場成長曲線を用いて整理することで、各国から提案されたさまざまな需要予測シナリオを効率的に集約しモデル化することに成功している。また、具体的な所要周波数帯域幅算出においては、各市場シナリオにおける中間の市場立上がり時期を示す市場成長曲線（図2における中間シナリオ）を用いて算出することで合意した。これにより、最終的に市場成長率の異なる2種類の市場成長曲線（高ユーザ密度と低ユーザ密度シナリオ）の2020年における需要をベースとして、所要周波数帯域幅を算出することとなった。

2.3 無線関連パラメータ値の決定

次世代移動通信システムであるIMT-2000高度化(RATG1)とIMT-Advanced(RATG2)に対して、所要周波数帯域幅を算出するためには、トラフィック需要予測とともに、所要周波数帯域幅算出に必要な無線システムの仕様を設定する必要がある。ITU-Rでは、IMT-2000のようにすでに詳細な無線インターフェースの仕様を持つ無線システムと、IMT-Advancedのように詳細な仕様を今後作成する無線システムの両方を考慮する必要があるため、RATGごとにモデル化を行い、所要周波数帯域幅算出に必要な最小限度の無線仕様（無線パラメータ）を策定することとした。これらのパラメータとして、ITU-Rは、無線システム(RATG)が達成可能なデータレート、キャリア幅、周波数利用効率などを選定した。さらに、市場の立上がりと連動するパラメータとして、人口カバー率、セルサイズ、RATG間のトラフィックの分配比率などを採用することとした。

各無線関連パラメータ値の決定に際しては、先に合意されている無線関連(Radio Aspects)レポート[4]を基に議論

*2 統計多重効果：複数のトラフィックが1つのチャネルを共用する場合、ユーザ数が増加するほどその情報量のピーク時間が重なる確率が小さくなるため、情報量が平滑化され、各ユーザに個別に帯域を与える場合よりも帯域を有効に利用できること。

表1 無線パラメータ
(a) RATG1

	RE			
	マクロセル	マイクロセル	ピコセル	ホットスポット
サポート可能なデータ速度 (Mbit/s)	20	40	40	—
サポート可能なモビリティクラス	Stationary/ pedestrian, low, high	Stationary/ pedestrian, low	Stationary/ pedestrian	—
キャリア幅 (MHz)	40	40	40	—
周波数利用効率 (bit/s/Hz/Cell)	2	4	4	—

(b) RATG2

	RE				
	マクロセル	マイクロセル	ピコセル	ホットスポット	
サポート可能なデータ速度 (Mbit/s)	50	100	1,000	1,000	
サポート可能なモビリティクラス	Stationary/ pedestrian, low, high	Stationary/ pedestrian, low	Stationary/ pedestrian	Stationary/ pedestrian	
キャリア幅 (MHz)	20	20	120	120	
周波数利用効率 (bit/s/Hz/Cell)	セット#1	4.5	6	7.5	9
	セット#2	6	8	10	10

が行われた。このレポートに加え、RATG1に関する無線パラメータ値に関しては、3GPP (3rd Generation Partnership Project) など関連標準化団体での最新の検討状況 (IMT-2000の長期発展型であるLTE (Long Term Evolution) の技術パラメータ) も考慮して議論し、各無線関連パラメータ値が決定された。最終的に合意され所要周波数帯域幅算出に用いられた主な各無線関連パラメータを表1に、セルサイズを表2、およびRATG間のトラフィックの分配比率を表3に示す。

RATG2の周波数利用効率に関しては、MIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送技術^{*3}などの伝送容量増大化技術の適用を想定している。このため、採用された周波数利用効率は、将来の技術が大きく進展することを期待し、ともに理論限界に近い値となっている。主としてマクロセルにおける性能の差に起因する2種類のパラメータセットが採用されている (表1 (b))。ベンダを中心に実際の装置化を十分考慮すべきとの意見も出されたが、最終的には、より一層の周波数有効利用を求めるITU-Rの意向が大きく反映される

*3 MIMO伝送技術：複数の送受信アンテナを用いて信号の空間多重を行い、通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号伝送技術。

表2 セルサイズの設定 (単位: km²)

RE	Teledensity		
	都市密集部	準都市部	郊外地
マクロセル	0.10	0.15	0.22
マイクロセル	0.07	0.10	0.15
ピコセル	0.0016	0.0016	0.0016
ホットスポット	0.00065	0.00065	0.00065

建物進入損を考慮：18 dB (都市密集部), 15 dB (準都市部), 12 dB (郊外地)

表3 RATG間のトラフィック分配比率

	RATG間分配比率	
	RATG1	RATG2
2010年	100%	0%
2015年	50%	50%
2020年	10%	90%

結果となった。

セルサイズについては、算出される所要周波数帯域幅が過剰な値とならないよう、小セル化が十分に進んだ状況を想定し決定している (表2)。

RATG間のトラフィック分配比率については、2010年以降にRATG2が段階的に拡大するシナリオを想定し、年次が進むにつれてより多くのトラフィックがRATG2に配分されるように設定されている (表3)。

3. 所要周波数帯域幅

前章により決定されたパラメータセットを用いて、所要周波数帯域幅の算出が行われた。事業者数をパラメータとした場合の2020年における所要周波数帯域幅の算出結果を表4に示す。これらは、高ユーザ密度と低ユーザ密度の2つの市場シナリオにそれぞれ対応している。

低ユーザ密度シナリオは、IMT-2000がまだ普及途上の国々を考慮し、高ユーザ密度シナリオと比較してマルチメディアトラフィックの進展が十分見込めない市場を想定している。そのため、低ユーザ密度のシナリオではRATG2に対する所要周波数帯域幅が比較的小さい値となっている。

最終的には、事業者数が1の基本需要の場合において、RATG1とRATG2を合わせて、それぞれのシナリ

表4 所要周波数帯域幅
(a) 低ユーザ密度設定の場合 (単位: MHz)

	事業者数				
	1	2	3	4	5
RATG1	800	880	840	1,120	1,000
RATG2	480	560	720	800	1,000
合計	1,280	1,440	1,560	1,920	2,000

(b) 高ユーザ密度設定の場合 (単位: MHz)

	事業者数				
	1	2	3	4	5
RATG1	880	880	960	1,120	1,200
RATG2	840	880	1,020	1,120	1,300
合計	1,720	1,760	1,980	2,240	2,500

オに対して1,280 MHzと1,720MHzの所要周波数帯域幅が必要であると結論づけられた。さらに複数の事業者の市場参入を想定した場合は、より大きな周波数帯域幅が必要となることも示されている。例えば、事業者数が3の場合は、低ユーザ密度設定の場合で1,560MHz、高ユーザ密度設定の場合で1,980MHzがそれぞれ必要となる。これらの技術的検討結果は、ITU-R レポート M.2078として2006年9月のITU-R SG8 (Study Group 8) で承認され発効されている[5]。

以上の技術的検討結果は、2010～2020年の移动通信市場に必要な周波数帯域幅を算出したものであり、すでに割当て済みの周波数帯域幅については考慮されていない。そこで、ITU-R WP8Fでは、WRC-07での新規周波数割当ての議論に向けて、すでに割当て済みの周波数帯域幅についての検討を行った。すでに移动通信に割当て済みの周波数帯域としては、IMT-2000に割当てられている周波数のほか、PDCやGSM (Global System for Mobile communications) などの第2世代セルラ移动通信システムで使用されている周

波数や、各国が独自に割り当てている周波数がある。これらの既存割当て周波数帯をすべて考慮すると、国ごとに新規割当ての周波数帯域幅を算出する必要が生じる。そこでITU-R WP8Fでは、「今後IMT-2000の普及が進むこと」、「IMT-2000などの移动通信においては国際ローミングなどの点で世界共通に使用できる周波数帯の意義が大きくなること」を考慮して、グローバルにIMT-2000に割当て済みの周波数帯域幅のみを既存周波数として扱うこととした。そして、各国が国内事情に合わせて独自に割り当てている周波数帯については既存割当て済みの周波数として扱わないこととした。IMT-2000に割当てられているグローバルな周波数帯は、ITUの各地域 (第1～第3地域までである) で一部異なっている。そのため、WRC-07において新規割当てを議論する所要周波数帯域幅については、各ITU地域における既存割当て周波数帯域幅値を差し引いて、それぞれのITU地域に対応する3つの所要周波数帯域幅値を算出し、これらをCPM (Conference Preparatory Meeting)^{*4} レポートに記述することとした。これを表5に示す。CPMレポートのページ数の制限により、実際のCPMレポートには、事業者数1とした場合の基本需要についてのみ記述することとし、複数の事業者を想定した場合についてはITU-Rレポート M.2078を参照する旨の記述をすることで合意した。

その結果、WRC-07の事前検討に使用されるCPMレポートには、1事業者のみを想定した場合でも、高ユーザ密度のシナリオにおいて、1,027 MHz (第1地域)、997MHz (第2地域)、971MHz (第3地域) の新規周波数割当てが必要であることが明記された。そして、高ユーザ密度および低ユーザ密度のいずれのシナリオにおいても、今後の移动通信サービスの発展に応じた新たな割当て周波数が必須であることが世界共通の認識として示された。

表5 新規追加周波数帯域幅 (単位: MHz)

ユーザ 需要設定	総所要周波数帯 域幅	第1地域 (欧州、アラブ、アフリカ)		第2地域 (南北アメリカ)		第3地域 (アジア太平洋)	
		IMT-2000に 割当て済み帯域幅	新規追加周波数 帯域幅	IMT-2000に 割当て済み帯域幅	新規追加周波数 帯域幅	IMT-2000に 割当て済み帯域幅	新規追加周波数 帯域幅
低ユーザ密度	1,280	693	587	723	557	749	531
高ユーザ密度	1,720	693	1,027	723	997	749	971

*4 CPM: WRC準備会合。WRCの準備のために、ITU-R SGの検討結果やその他WRCでの議論の材料となる事項をとりまとめたWRC準備会合レポートの作成を行う会合。

4. あとがき

ITU-R WP8Fで合意された所要周波数帯域幅の算出結果に関して、関連する勧告およびレポートの概要、ITU-Rでの所要周波数帯域幅の算出方法、さらに具体的なパラメータ値の決定に向けた審議経過および検討結果を概説した。今後はこの結果に加えて、現在の周波数帯域使用状況および他の無線業務との共用の可能性を考慮して、周波数の実際の割当て可能性の検討や、導出された所要周波数帯域幅の収容に適した周波数帯の選定作業など、周波数の新規割当てに向けてより現実的な議論が行われる予定である。

文 献

- [1] ITU-R: "Methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," Recommendation ITU-R M.1768, Jun. 2006.
- [2] 的場, ほか: "IMT-2000高度化およびIMT-Advanced標準化状況一次世代システムの所要周波数帯域幅算出法ー," 本誌, Vol. 14, No.2, pp. 69-77, 2006.
- [3] ITU-R: "World mobile telecommunication market forecast," Report ITU-R M.2072, Dec. 2005.
- [4] ITU-R: "Radio aspects for the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," Report ITU-R M.2074, Dec. 2005.
- [5] ITU-R: "Spectrum requirements for the future development of IMT-2000 and IMT-Advanced," Report ITU-R M.2078, Sep. 2006.