

ITU-RにおけるIMT-2020 無線インタフェースの標準化動向

先進技術研究所 5G推進室 **ベンジャブール アナス** きたお こうしろう **北尾 光司郎**
無線アクセス開発部 あたらし ひろゆき **新 博行**

ITU-Rでは、第5世代移動通信システム（5G）の国際標準化を念頭に置き、IMT-2020と呼ばれる名称を新たに定義し、IMT-2020無線インタフェースの標準化に向けた作業を開始している。本稿では、本作業にかかわるこれまでの検討状況や、今後の予定について解説を行う。

1. まえがき

国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R：International Telecommunication Union-Radiocommunication sector）^{*1}では、表1に示す通り、第3世代移

動通信システム（IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000）およびIMT-2000の後継・発展システムであるIMT-Advancedについて、3GPP（3rd Generation Partnership Project）などの外部団体と連携して、無線インタフェースの国際

表1 ITU-Rにおける移動通信システムの標準化

名称	位置づけ	勧告番号、代表的な無線インタフェース
IMT-2000	第3世代移動通信システム	勧告ITU-R M.1457 W-CDMA, HSPA, LTE, cdma2000, WiMAXなど
IMT-Advanced	IMT-2000の後継・発展システム	勧告ITU-R M.2012 LTE-Advanced, Wireless MAN-Advanced
IMT-2020	IMT-Advancedの後継・発展システム	（第5世代移動通信システム（5G）の標準化を念頭に、2020年に勧告を策定）

©2017 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} 国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R）：電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合（ITU）の無線通信部門で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則の改正に必要な検討、無線通信の技術・運用などの問題の研究、勧告の作成および周波数の割当て・登録などを行う機関。

標準化（ITU-R勧告策定）を実現してきた。現在ITU-Rでは、第5世代移動通信システム（5G）に対する世界的な関心の高まり、技術開発の進展状況を踏まえ、IMT-Advancedの後継・発展システムとしてIMT-2020という名称^{※1}を定義し [1]、その無線インタフェースの国際標準化に向けた作業を開始している。本稿では、本作業の詳細検討を所掌しているITU-R WP 5D（Working Party 5D）におけるこれまでの検討状況や、今後の予定について解説を行う。

2. ビジョン勧告の策定

5Gに対する研究開発が活発化するのに合わせて、ITU-Rでは、2020年およびそれ以降の移動通信システムに対するビジョンの検討が行われた。その検討結果は、2015年9月に発行された勧告ITU-R M.2083にまとめられている [2]。本勧告において、IMT-2020システムの代表的な利用シナリオとして図1に示す通り、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、②多

数同時接続を実現するマシンタイプ通信（mMTC：massive Machine Type Communications）、③高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）の3つがまとめられた。また、これらの利用シナリオを実現するための、IMT-2020がもつべき主要な能力（Capability）が、IMT-Advancedに比較してどの程度向上するかが分かる形で、図2に示す通りにまとめられた。本図に示されるように最大伝送速度（20Gbps）、多数同時接続（1,000,000device/km²）、低遅延（1ms）などの能力を実現することが、IMT-2020のビジョンとして示されている。

3. IMT-2020無線インタフェース標準化に向けたスケジュール

勧告ITU-R M.2083の完成を受け、ITU-Rでは本勧告におけるビジョンを具現化するIMT-2020無線インタフェースのITU-R勧告策定に向けたスケジュールを、図3に示す通りに策定した。ITU-R勧

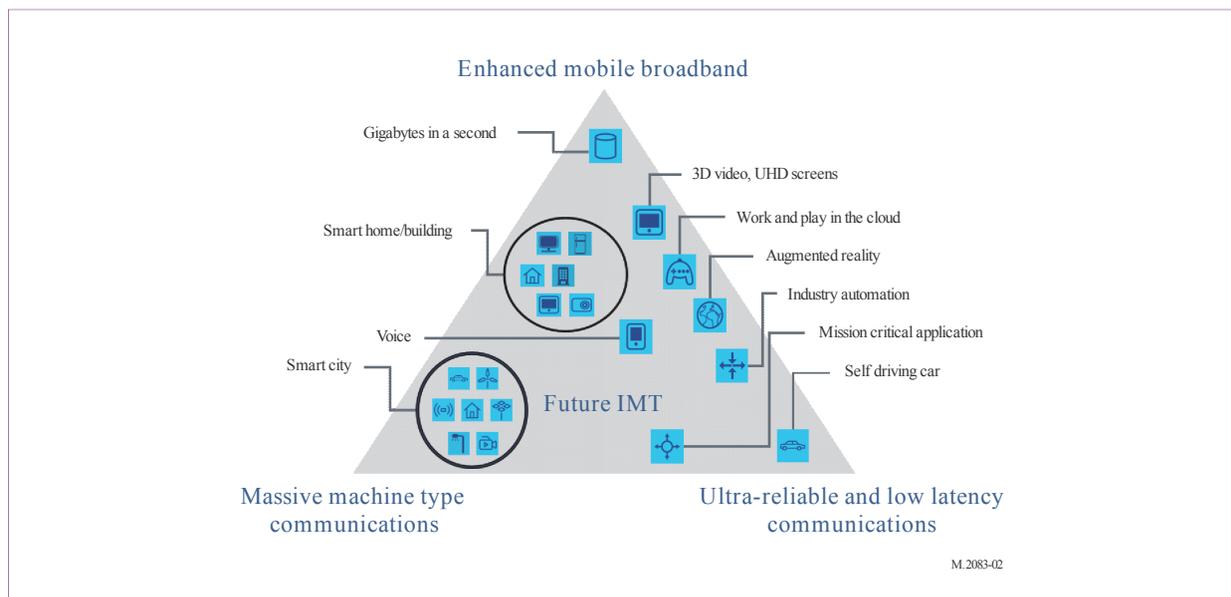


図1 IMT-2020の代表的な利用シナリオ（勧告ITU-R M.2083の図2より）

※1 ITU-Rでは、IMT-Advancedの検討以降、「第～世代移動通信システム」という名称の利用を避けている。ただし、IMT-2020無線インタフェースの標準化は、5Gの国際標準化を念頭に置いた作業である。

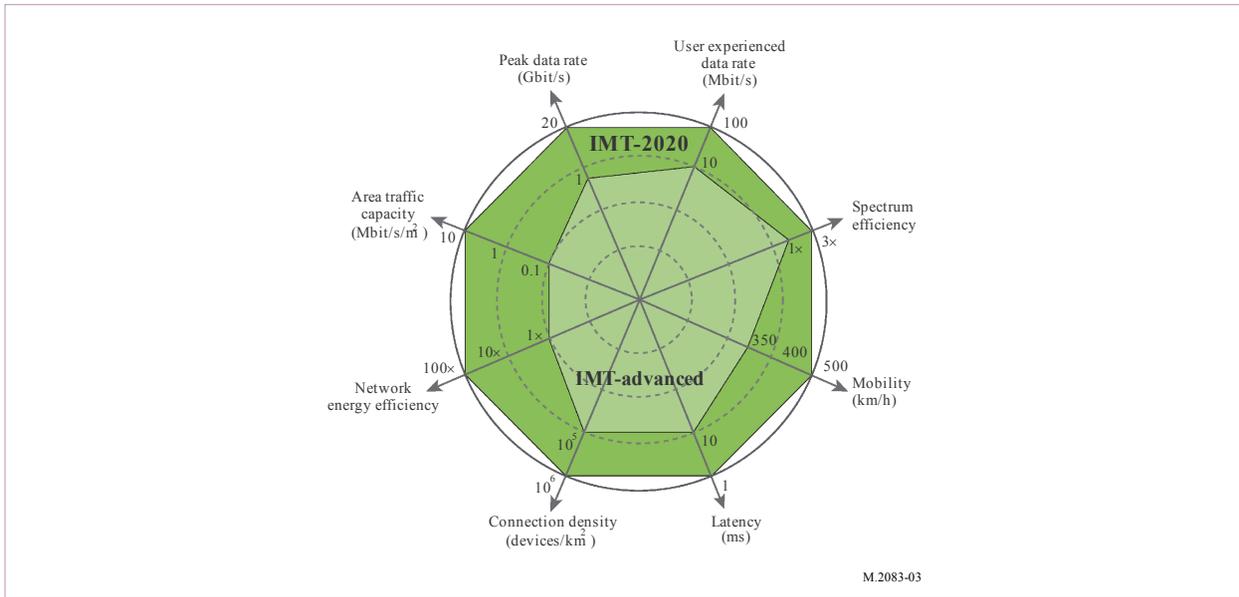


図2 IMT-2020がもつべき能力（勧告ITU-R M.2083の図3より）

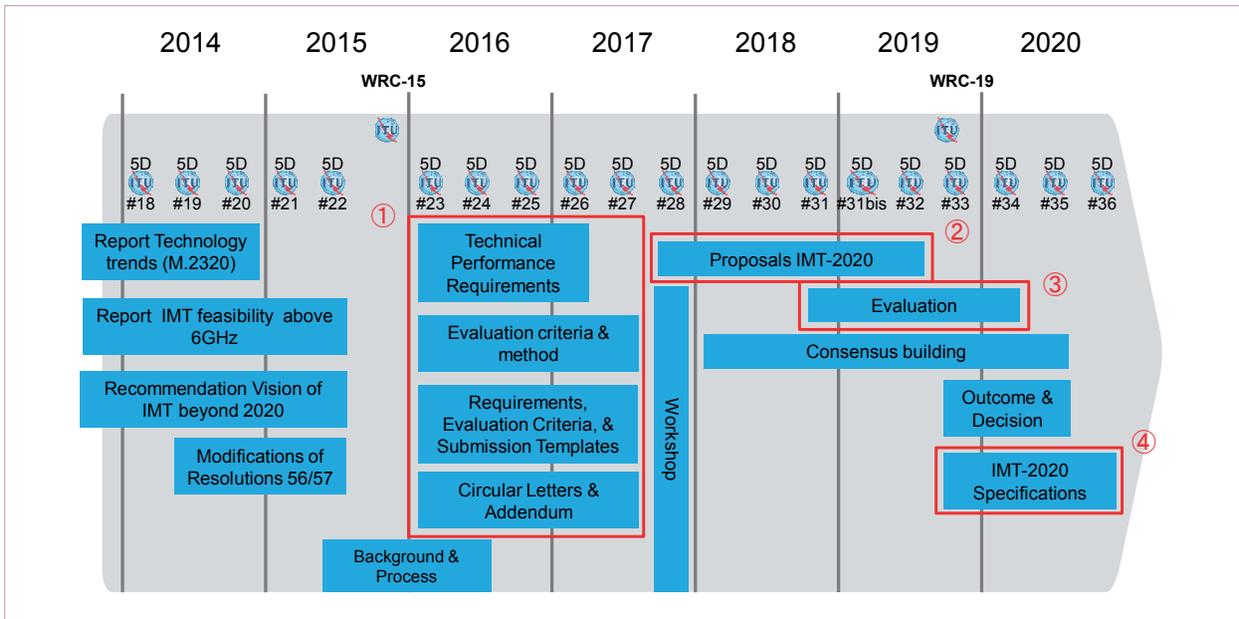


図3 IMT-2020無線インタフェース勧告化に向けた作業スケジュール（ITU-R WP 5Dのホームページより）

告策定に向けては、これまでと同様に、以下のステップで検討を進めることが合意されている。

①ITU-RがIMT-2020無線インタフェースに求める要求条件を設定し、外部団体などに提案を募

る（2016年～2017年前半）。

②外部団体などが、ITU-Rに対して無線インタフェースの提案を行う。提案者は、その提案内容がITU-Rの要求条件を満たしていることを示

す自己評価結果を提出する（2017年後半～2019年前半）。

- ③提案内容および自己評価結果の情報に基づき、ITU-Rに登録された評価団体が、当該提案がITU-Rの要求条件を満たしているかの外部評価を行う（2018年後半～2020年前半）。
- ④外部団体での評価結果なども踏まえて、ITU-Rで勧告する無線インタフェースの合意形成、具体的な勧告文書の作成を行う（2019年後半～2020年後半）。

これにより、ITU-Rが外部団体などからの提案を受け付ける期間は2017年10月～2019年6月の期間となり、ITU-R勧告の完成は2020年後半が予定されている。

4. IMT-2020無線インタフェース標準化にかかわる文書

ITU-R WP 5Dにより、IMT-2020無線インタフェースに求める要求条件などを規定する3つのITU-Rレポートが新たに策定された^{※2}。ITU-Rへの提案を行う外部団体などは、本ITU-Rレポートの内容に従って、提案を行う必要がある。さらに、IMT-2020無線インタフェースの提案・評価プロセスの詳細を規定した文書も作成されている。

4.1 レポートITU-R M. [IMT-2020. SUBMISSION]

本ITU-Rレポートは、IMT-2020無線インタフェースの提案にかかわる要求条件や、提案を提出する際の所定の様式を規定したものである [3]。

まず、サービスに関する要求条件として、勧告ITU-R M.2083で示された利用シナリオ（eMBB, mMTCおよびURLLC）を複数サポートすることが求められている。

また、周波数に関する要求条件として、①ITUの無線通信規則でIMTへの利用に特定されている周波数での利用を1つ以上サポートしていること、②24.25GHz以上の周波数の利用をサポートしていること、が求められている。後者の要求条件については、5Gの新たな特徴を踏まえて策定されたものである。

さらに、技術性能要求条件についても規定が行われているが、その詳細は、次節で示すレポートITU-R M. [IMT-2020. TECH PERF REQ] を参照する形を取っている。

4.2 レポートITU-R M. [IMT-2020. TECH PERF REQ]

本ITU-RレポートはIMT-2020無線インタフェースに求める13項目の技術的性能要求条件の定義および要求値を規定したものである [4]。その詳細を表2に示す。例えば、eMBBでは、IMT-2020の周波数利用効率^{*2}の要求条件として、IMT-Advancedの約3倍の要求値が設定されている。さらに、mMTCやURLLCでは、同時接続数や遅延・信頼度に関する要求条件がそれぞれ設定されている。また、本表に示される通り、いくつかの技術的性能要求条件については、後述する試験環境（Test environment）に応じて、要求条件・要求値の設定が行われている。

なお3GPPにおいても、5G無線インタフェースの仕様検討にあたり、目標とする要求条件および要求値を定義している。ITU-Rで設定された技術的性能要求条件は、対応する3GPPの要求条件とほぼ同等なものとなっている [5]。ただし、ITU-Rの技術的性能要求条件には、3GPPにはない項目（例：サポートすべき帯域幅）も含まれている。

4.3 レポートITU-R M. [IMT-2020. EVAL]

本ITU-RレポートはIMT-2020無線インタフェー

※2 現段階では、新レポート案のステータスにある。2017年11月に開催されるStudy Group 5での承認手続き後、正式なITU-Rレポートとして発行される予定である。

*2 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。

表2 IMT-2020無線インタフェースの技術的性能要求条件, 要求値および評価方法

	Test environment		Indoor Hotspot-eMBB	Dense Urban-eMBB	Rural-eMBB	Urban Macro-mMTC	Urban Macro-URLLC	Evaluation methodology
	Requirement							
1	Peak data rate		Downlink: 20Gbit/s, Uplink: 10Gbit/s			–	–	Analytical
2	Peak spectral efficiency		Downlink: 30bit/s/Hz, Uplink: 15bit/s/Hz			–	–	Analytical
3	User experienced data rate		–	Downlink: 100Mbit/s Uplink: 50Mbit/s	–	–	–	Analytical for single band and single layer cell layout Simulation for multi-layer cell layout
4	5 th percentile user spectral efficiency		Downlink: 0.3bit/s/Hz Uplink: 0.21bit/s/Hz	Downlink: 0.225bit/s/Hz Uplink: 0.15bit/s/Hz	Downlink: 0.12bit/s/Hz Uplink: 0.445bit/s/Hz	–	–	Simulation
5	Average spectral efficiency		Downlink: 9bit/s/Hz Uplink: 6.75bit/s/Hz	Downlink: 7.8bit/s/Hz Uplink: 5.4bit/s/Hz	Downlink: 3.3bit/s/Hz Uplink: 1.6bit/s/Hz	–	–	Simulation
6	Area traffic capacity		10Mbit/s/m ²	–	–	–	–	Analytical
7	Latency	User plane	4ms			–	1ms	Analytical
		Control plane	20ms			–	20ms	Analytical
8	Connection density		–	–	–	1 000 000 device/km ²	–	Simulation
9	Energy efficiency		Shall have the capability to support a high sleep ratio and long sleep duration.			–	–	Inspection
10	Reliability		–	–	–	–	1-10 ⁹ success probability of transmitting a layer 2 PDU (protocol data unit) of 32 bytes within 1ms	Simulation
11	Mobility		Normalized traffic channel link data rates of 1.5 bit/s/Hz at 10 km/h in the uplink	Normalized traffic channel link data rates of 1.12 bit/s/Hz at 30 km/h in the uplink	Normalized traffic channel link data rates of 0.8 and 0.45 bit/s/Hz at 120 and 500 km/h, respectively, in the uplink	–	–	Simulation
12	Mobility interruption time		0ms			–	0ms	Analytical
13	Bandwidth		At least 100MHz Shall support bandwidths up to 1GHz for operation in higher frequency bands (e.g. above 6GHz).				–	Inspection

スの要求条件に対する評価方法, 試験環境および評価構成の詳細, 評価に用いるチャンネルモデルの構成を規定したものである [6].

(1)評価方法 (Evaluation methodology), 試験環境 (Test environment) および評価構成 (Evaluation configuration)
表2の右欄に示される通り, 各要求条件の評価方

法として、検査 (Inspection)、解析 (Analytical)、シミュレーション (Simulation) の3つの方法が定義されている。また、所定の要求条件を評価するため、勧告ITU-R M.2083で示された3つの代表的な利用シナリオ (eMBB, mMTC, URLLC) を考慮した上で、次の5つの試験環境が定義されている。

- ・ Indoor Hotspot-eMBB：eMBB利用を想定した屋内環境
- ・ Dense Urban-eMBB：eMBB利用を想定した密集都市部環境
- ・ Rural-eMBB：eMBB利用を想定したルーラル

環境

- ・ Urban Macro-mMTC：mMTC利用を想定した都市部環境
- ・ Urban Macro-URLLC：URLLC利用を想定した都市部環境

さらにこれらの各試験環境に対して、表3および表4に示す通り、1つ以上の評価構成、すなわち評価パラメータのセットが規定されている。提案された無線インタフェースが、試験環境に対応した要求条件を満たしていると判断されるためには、少なく

表3 eMBB向けの試験環境の評価構成

Parameters	Indoor Hotspot-eMBB			Dense Urban-eMBB			Rural-eMBB		
	Spectral efficiency, mobility and area traffic capacity evaluations			Spectral efficiency and mobility evaluations		User experienced data rate evaluation	Spectral efficiency and mobility evaluations		Average spectral efficiency evaluation
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Carrier frequency for evaluation	4GHz	30GHz	70GHz	4GHz (Macro layer only)	30GHz (Macro layer only)	4GHz & 30GHz (Macro + Micro layers)	700MHz	4GHz	700MHz
Base station (BS) antenna height	3m	3m	3m	25m	25m	25m for Macro BSs and 10m for Micro BSs	35m	35m	35m
Inter-BS distance	20m	20m	20m	200m	200m	200m (Macro layer)	1,732m	1,732m	6,000m
Number of antenna elements at BS	Up to 256 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 1024 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx
Number of antenna elements at user terminal	Up to 8 Tx/Rx	Up to 32 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 8 Tx/Rx	Up to 32 Tx/Rx	4GHz: Up to 8 Tx/Rx 30GHz: Up to 32 Tx/Rx	Up to 4 Tx/Rx	Up to 8 Tx/Rx	Up to 4 Tx/Rx
User deployment	100% indoor 3km/h	100% indoor 3km/h	100% indoor 3km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h	50% indoor 3km/h, 50% outdoor (in-car) 120km/h, 500km/h for mobility evaluation	50% indoor 3km/h, 50% outdoor (in-car) 120km/h, 500km/h for mobility evaluation	40% indoor 3km/h, 40% outdoor 3km/h, 20% outdoor (in-car) 30km/h

とも1つの評価構成において要求条件を満たす必要がある。試験環境の配下に複数の評価構成を定義することにより、IMT-2020がサポートする多様な周波数帯、展開シナリオ、利用シーンを取りまとめた形となっているが、これはITU-R WP 5Dに提出さ

れたさまざまな意見を吸い上げた結果でもある。

(2)チャンネルモデル*3の概要

シミュレーションの評価方法に用いるチャンネルモデルの構成を図4に示す。システムシミュレーションの基本モデルは、プライマリモジュールと呼ばれ、

表4 mMTCおよびURLLC向けの試験環境の評価構成

Parameters	Urban Macro-mMTC		Urban Macro-URLLC	
	Connection density evaluation		Reliability evaluation	
	A	B	A	B
Carrier frequency for evaluation	700MHz	700MHz	700MHz	4GHz
Base station (BS) antenna height	25m	25m	25m	25m
Inter-BS distance	500m	1,732m	500m	500m
Number of antenna elements at BS	Up to 64 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 64 Tx/Rx	Up to 256 Tx/Rx
Number of antenna elements at user terminal	Up to 2 Tx/Rx	Up to 2 Tx/Rx	Up to 4 Tx/Rx	Up to 8 Tx/Rx
User deployment	80% indoor 3km/h, 20% outdoor 3km/h	80% indoor 3km/h, 20% outdoor 3km/h	20% indoor 3km/h, 80% outdoor 30km/h	20% indoor 3km/h, 80% outdoor 30km/h

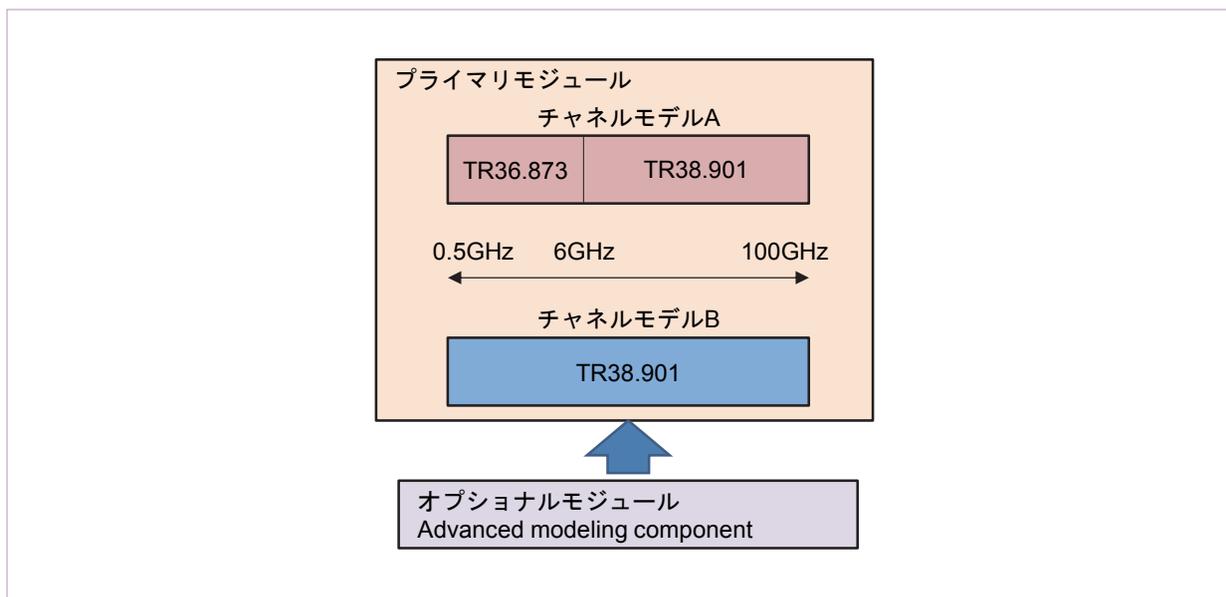


図4 チャンネルモデルの構成

*3 チャンネルモデル：無線通信システムの性能評価を行うために用いられる電波の振舞いを模擬したモデル。

パスロスモデル、見通し率モデルおよびファーストフェージングモデルより構成されている。ITU-R WP 5Dの議論では、プライマリモジュールを1つのモデルに統一すべく精力的に議論が行われたが、最終的にはチャンネルモデルAおよびBの2つのモデルが規定された。チャンネルモデルAは、0.5～6GHzに対して3GPPのTR36.873 [7]に記載のモデルを、6～100GHzに対して3GPPにおいて5G向けの評価に新たに規定されたTR38.901 [8]に記載のモデルを採用している。一方、チャンネルモデルBは、0.5～100GHzの周波数範囲全体に対して、TR38.901に記載のモデルを採用している。チャンネルモデルAおよびBとも、室内ホットスポット*4 (InH_x)、都市部マクロセル*5 (UMa_x)、都市部マイクロセル*6 (UMi_x)、ルーラルマクロセル (RMa_x) 向けのモデルが定義されており、前述の各試験環境での評価が可能となっている。無線インタフェースの提案者は、シミュレーションによる自己評価実施の際に、各試験環境間で同じチャンネルモデルAまたはBを選択し、評価する必要がある。

さらにIMT-2020における新たな技術として、Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)*7、マルチユーザMIMO*8などの技術の適用が期待されており、これらの技術評価を行うため、Advanced modeling componentと呼ばれるオプションモジュールも規定されている。これはTR38.901で規定されているAdditional modeling componentをベースに作成されたものである。

4.4 文書IMT-2020/2 (Rev.1)

本文書では、IMT-2020無線インタフェースの提案・評価プロセスの詳細の規定が行われている [9]。

提案の受付および最終的に勧告に含まれる形態として、単独の無線インタフェース技術 (RIT: Radio Interface Technology) による場合、あるいは複数の無線インタフェース技術 (SRIT (Set of RITs))

の組合せによる場合の、2つのケースが想定されている。

さらに本文書において、無線インタフェース技術がIMT-2020として勧告化される要件として、前述した5つの試験環境のすべてにおいて所定の要求条件を満たす必要があることが規定されている。

5. あとがき

本稿では5Gに対する世界的な関心の高まり、また関連する技術開発が進展している状況を踏まえ、ITU-Rが進めているIMT-2020無線インタフェースの標準化動向について解説した。これまでにIMT-2020に求める要求条件などは合意され、今後は外部団体などからの具体的提案を受け付ける段階に入っている。

ドコモはITU-R WP 5Dの活動に対して、日本代表団の一員として積極的な貢献を行ってきている。今後も3GPPでの検討と連携しながら、ITU-Rにおける対応を引続き実施していく所存である。

文献

- [1] 決議ITU-R 56-2: "Naming for International Mobile Telecommunications," Nov. 2015.
- [2] 勧告ITU-R M.2083-0: "IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," Sep. 2015.
- [3] 新レポート案ITU-R M. [IMT-2020.SUBMISSION]: "Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-2020," Jun. 2017.
- [4] 新レポート案ITU-R M. [IMT-2020.TECH PERF REQ]: "Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)," Feb. 2017.
- [5] ベンジャブール, ほか: "3GPPにおける5Gの要求条件及び評価条件," 本誌, Vol.25, No.3, pp.13-22, Oct. 2017.
- [6] 新レポート案ITU-R M. [IMT-2020.EVAL]: "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020," Jun. 2017.
- [7] 3GPP TR36.873 V12.4.0: "Study on 3D channel model

*4 ホットスポット: 屋内オフィスや駅前広場など、トラフィックが集中して発生する場所。

*5 マクロセル: セルとは移動通信システムにおいて、1つの基地局アンテナがカバーするエリアであり、マクロセルはカバーされるエリアが比較的広いセル (半径数百メートル程度以上) のこと。

*6 マイクロセル: 1つの基地局アンテナがカバーするエリアの半径が数十メートルから百メートル程度のセルのこと。

- for LTE (Release 12),” Mar. 2017.
- [8] 3GPP TR38.901 V14.0.0: “Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 14),” Mar. 2017.
- [9] 文書ITU-R IMT-2020/2 (Rev.1) : “Submission, evaluation process and consensus building for IMT-2020,” Feb. 2017.

.....

*7 Massive MIMO：送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送方式において、より多くのアンテナ素子で構成される超多素子アンテナの採用により、高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償を可能とする技術。鋭い電波ビームを形成したり、より多くのストリームを同時伝送したりすることで、所望のサービスエリ

アを確保しつつ、高速なデータ通信を実現する。

*8 マルチユーザMIMO：複数ユーザの信号をMIMO多重伝送することにより、周波数利用効率を向上させる技術。