

東京大学 公共政策学教育部
2020年度 リサーチペーパー

携帯電話の発展と ITU における周波数分配の変遷

東京大学 公共政策学教育部
国際公共政策コース 2年
51-198028 桐山真美

目次

はじめに	1
1 無線通信分野における国際標準化	1
1.1 国際標準化の意義	1
1.2 国際標準化の必要性.....	2
1.3 無線通信分野の国際標準化の二面性	3
1.3.1 技術標準策定の側面	3
1.3.2 電波規制ルール確立の側面	4
1.4 小括	5
2 携帯電話の発展の歴史.....	6
2.1 第1世代携帯電話	6
2.2 第2世代携帯電話	7
2.3 第3世代携帯電話	8
2.4 第4世代携帯電話	9
2.5 第5世代携帯電話	9
2.6 小括	10
3 国際的な携帯電話用周波数の拡大	11
3.1 国際的な電波の利用ルールとその形成プロセス	11
3.1.1 無線通信規則における国際的な周波数分配.....	11
3.1.2 世界無線通信会議（WRC）に向けた作業プロセス	12
3.2 WRCにおける携帯電話用周波数の変遷	13
3.2.1 1992年世界無線通信主管庁会議（WARC-92）	13
3.2.2 2000年世界無線通信会議（WRC-2000）	14
3.2.3 2007年世界無線通信会議（WRC-07）	15
3.2.4 2012年世界無線通信会議（WRC-12）	16
3.2.5 2015年世界無線通信会議（WRC-15）	17
3.2.6 2019年世界無線通信会議（WRC-19）	18
3.3 国際的に調和のとれた周波数を利用する意義.....	20

4 ITUにおける周波数分配の変遷と携帯電話の将来発展	21
4.1 利用周波数帯の高周波化	21
4.2 特定周波数帯の拡大.....	21
4.3 既利用周波数帯との両立	22
4.4 電波の有効利用の観点からの携帯電話の将来発展	22
おわりに	23
付録.....	24
付表1 無線通信規則で定められる無線業務	24
参考文献	25

はじめに

電波を使ってやりとりを行う無線通信の分野は、その性質上国際的取扱いが不可避な領域であり、国際連合の専門機関である国際電気通信連合（ITU: International Telecommunication Union）を中心に国際標準化や電波の利用ルールの策定が行われてきたが、近年の電波ビジネスの拡大やグローバル化の進展により、その重要性は一層高まってきている。

そこで本稿では、無線通信分野の国際標準化をテーマに、標準化の意義やその必要性について整理した上で標準化の必要性の高い機器である携帯電話に着目し、携帯電話はどのような発展を遂げ、携帯電話に用いられる電波は国際的にどのように共通化しながら拡大されてきたのか、すなわち国際的な電波の利用ルールがどのように策定されてきたのか、その変遷について述べる。最後に、その変遷が今後の携帯電話の発展に与える影響について考察する。

1 無線通信分野における国際標準化

1.1 国際標準化の意義

「標準」そして「標準化」とは何か、様々な説明の仕方があるが、日本規格協会の「標準化教本」（江藤、2016）によれば、標準とは「何かと何かをつなぐインターフェース」であり、「そのインターフェースについてルールを決めていく活動」が標準化であると定義されている。また、「デジタル大辞泉」（小学館）によれば、標準とは「判断のよりどころや行動の目安となるもの」であり、標準化とは「何もしなければ多様化・複雑化し、無秩序になってしまう事柄について、秩序が保たれる状態を実現するために、誰もが共通して使用できる一定の基準を定めること」と定義されている。これらの定義を踏まえると、標準化の意義は「相互接続性・互換性を実現し秩序ある状態を維持すること」であると理解することができる。

標準化されていれば相互接続性や互換性が担保されるため、例えば異なる提供会社の製品であっても相互に通信できるというメリットがあり、また、多くの部品や機器が共通基盤から製造できれば経済的・効率的な製造が可能になるといったメリットがある。そのため、「標準化」はユーザーの観点からも製造者の観点からも望ましいものであると言える。

また、国際標準化活動の目的について、日本 ITU 協会の「無線通信の国際標準化」（橋本、2014）では、技術開発部門を持つ企業としては、製造コスト上からも自社技術の製造が最も望ましいため、出来る限り自社技術に基づく標準となるよう国際合意を得ることが標準化会合における目的になるとされており、自社技術を持たない企業としては「最も適していると考えられる技術」を選定し、その技術が標準として採用されるように意見を主張することになるとされている。国（政府）としては、国際競争力の観点から自国の企業の技術が国際標準となることを目指すとともに自国の政策に鑑みて対応することとなる。

1.2 国際標準化の必要性

標準化は上述のようなメリットを持つが、世の中のありとあらゆる物やサービスに標準化が必須とされるわけではない。例えば、製品がそれ自体で機能するものについては、標準化されていなくても特段不都合はない。しかし、情報通信産業のようにネットワークを構成する分野では、ネットワークに製品やサービスを接続する必要があるため、他の製品やサービスとの相互接続性や互換性を確保するための標準化が不可欠となる。なお、情報通信産業では多くのユーザーがネットワークに接続すればするほどネットワーク効果によって利便性が高くなるため、標準化によって他の製品やサービスとの接続を担保することは、ユーザーの利便性を高めることとなり、ひいては製品やサービス価値を向上させることになる。

このように情報通信産業において標準化は極めて重要な役割を担うが、グローバリゼーションが飛躍的に進展した現代では、国際レベルでの標準化を意識していく必要がある。では、国際標準化はどのような機器に特に必要とされるのか。ITU などの国際標準化会合で長年議長を務めた橋本は、次の三つを判断基準として挙げている。

- (1) 多くの国が関心を有するか (Global market)
- (2) 多くの人が使うか、市場性が大きい (Mass user market)
- (3) 国境を越えて頻繁に移動するか (Cross border mobility)

例として情報通信分野の機器である①鉄道無線システム、②テレビ受信機、③携帯電話について考えてみる。まず、(1)「多くの国が関心を有するか」という観点については、三つの機器ともに多くの国で存在しており、多くの国が関心を有するものであると言える。(2)「多くの人が使うか、市場性が大きいか」という観点については、②テレビ受信機や③携帯電話は各家庭や個人ごとに所有し広く普及しているものであるが、①鉄道無線システムは一般の家庭や個人で使うものではない。(3)「国境を越えて頻繁に移動するか」という観点については、①鉄道無線システムや②テレビ受信機は人の移動に伴って携行される類のものではないため、頻繁に国境を越えて移動することはあまり想定されないが¹、③携帯電話は出張や旅行などで外国に行く際にも多くの人が携行するものである。これらを踏まえると表 1-1 のように整理され、携帯電話は特に国際標準化の必要性が高い性質を持つものだということが分かる。

表 1-1 国際標準化の必要性

	(1) 多くの国が 関心を有するか	(2) 多くの人が使うか、 市場性が大きい	(3) 国境を越えて 頻繁に移動するか
①鉄道無線システム	○	×	△
②テレビ受信機	○	○	△
③携帯電話	○	○	○

出典：NPO 国際人材創出支援センター 第 91 回講演会 配布資料（橋本、2020）を参考に作成

¹ 鉄道が国境をまたいで運行されている場合や鉄道無線システムやテレビ受信機を海外展開しようとする場合は国境を越えることになる。

国際標準が成立するまでの所要期間は、標準制定会議の性質や対象となる機器の性質によって異なるが、一般的に、国際標準を制定するための作業は短期間で完了するものではない。例えば、公的標準化機関である ITU や民間標準化機関である米国電気電子学会 (IEEE: The Institute of Electrical and Electronics Engineers) における標準成立までの所要期間は通常 2-4 年程度であり、技術検証に長い時間を要する場合は 5-6 年程度である。そのため、企業が自社技術を国際標準として確立することを目的に国際標準化活動を行う場合は、長期にわたる継続的な寄与が必要となる。企業として人材、時間、予算などのリソースをどれだけ国際標準化活動に振り向けるべきなのかは、対象となる機器が持つ国際標準化の必要性の程度によって異なってくる。携帯電話のように国際標準化の必要性が高いものは、国際標準の影響を強く受けるため国際標準化活動への寄与は必要不可欠となる。

1.3 無線通信分野の国際標準化の二面性

上述の特徴を踏まえ、本稿では携帯電話を対象に国際標準化について検討する。携帯電話のように電波によって通信を行う無線通信分野の国際標準化には二つの側面があり、一方では技術標準の策定という側面、他方では電波規制ルールの確立という側面を持つ。

1.3.1 技術標準策定の側面

携帯電話の技術標準は、ITU の無線通信部門 (ITU-R) の研究委員会 (SG: Study Group) やその傘下の作業部会 (WP: Working party) において検討が行われるが、技術仕様の詳細については民間標準化組織の一つである第 3 世代パートナーシッププロジェクト (3GPP: 3rd Generation Partnership Project) ²などから提案された仕様をベースに ITU で評価を行い、標準 (勧告) としてまとめあげられていく流れとなる。携帯電話のように市場性の高い分野では、ITU などの公的機関が策定するデ・ジュレ標準だけでなく、3GPP などのように民間標準化機関が定めるデ・ファクト標準も存在する。デ・ジュレ標準では複数の標準化団体からの提案を取りまとめるとともに、機器の基本仕様に加えて使用周波数帯や電波の共用技術についても勧告を定めるのに対して、デ・ファクト標準では無線機器の詳細仕様を定めるなど各々で役割を分担している。3GPP では ITU-R の SG 会合や WP 会合よりも頻繁に会合を開催し、携帯電話の詳細技術仕様の特化して検討を行っているため、その成果物をそのまま引用して ITU-R が勧告化するといったやり方をとることで効率的に標準を策定できるようになった。

ITU で策定される技術標準は「勧告 (Recommendation)」や「報告 (Report)」といった形でとりまとめられ強制力は持たない³。ただし、ITU に加盟する 193 カ国⁴のうち大多数の国の賛同を得ることで策定された標準であるため、多くの国や企業にとって国際標準として受け入れやすいものとなる。勧告案や報告案は、半年に一度のペースで開催される WP で実質的な審議が行われ、内容がまとまり

² 移動体通信システムの仕様を検討し、標準化することを目的とした各国・各地域の標準化団体によるプロジェクト。第 3 世代移動通信システム (3G) の標準仕様策定を主な目的として 1998 年に設立。設立当初は日本・米国・欧州・韓国の標準化団体によって構成されていたが、後に中国・インドの標準化団体も参加。

³ ITU が策定する無線通信規則 (Radio Regulations) に参照引用された勧告は強制力を有する。

⁴ 2019 年 12 月現在。

WP レベルで合意されれば、1年に一度のペースで開催される SG に提出される。SG で勧告案等が採択されると ITU 加盟国の郵便投票手続を経て正式に発行されることとなる⁵。

1.3.2 電波規制ルール確立の側面

無線通信分野の国際標準化のもう一つの側面は電波規制ルールの確立である。電波は国境を越えて広範囲に伝搬される性質があり、国際調整を行わずに使用すると他国との間で混信が発生する可能性がある。特に携帯電話などの通信機器は、世界を繋ぎ、また国境を越えて移動するため、国際的な共通ルールの下で運用する必要があり、このような国際的な電波の利用は ITU が制定する無線通信規則 (RR: Radio Regulations) によって規制されている。電波の1秒あたりの振動回数を周波数というが、電波は、直進性が強いもの、障害物に対して回り込むもの、扱える情報量が多いものなど周波数によって異なる性質を持つ。RR では周波数ごとにその周波数を利用できる無線業務⁶を規定しており、これを周波数分配という。

上述のとおり、ITU で策定される技術標準は強制力を持つものではないが、RR は国際電気通信条約の一部を構成する外交文書として条約批准国に対して強制力を有するものである。RR を改訂できる唯一の会議は ITU-R の世界無線通信会議 (WRC) であり、およそ 4 年に一度開催される。WRC の議題は、前回の WRC で「次回の WRC の議題」として各国・各地域の提案に基づき設定され、その議題の担当を割り振られた WP を中心に技術的検討を進めていく。WRC の議題の大半は、ある無線通信業務に対する新たな周波数の分配の可否、つまり、当該無線通信業務に対して新たな周波数の利用権利を付与することの可否に関する議題となっている。利用できる周波数は有限であり、現状、何の制約もなく使用できる未使用の周波数帯はほとんど存在しない状況である。そのため、新たに周波数を分配する場合は既存業務と周波数を共用せざるを得ず、有害な混信を起こさず既存業務と新規分配業務が共用することは可能なのか、そのための技術的条件は何なのかを明らかにするための共用条件の検討が必要となる。この共用条件の検討は、新旧無線通信業務の利害が対立するため十分な検討期間が必要とされ、合意形成が困難を極める議題である。近年では無線通信技術の著しい発展とそれに伴う電波需要の増大により WRC への関心は年々高まっており、WRC の参加国数や参加人数は回を重ねるごとに増加している (表 1-2)。

表 1-2 WRC の参加国数、参加人数の変遷

会議名称	WRC-95	WRC-97	WRC-2000	WRC-03	WRC-07	WRC-12	WRC-15	WRC-19
開催年	1995	1997	2000	2003	2007	2012	2015	2019
参加国数	140	142	150	145	155	165	162	163
参加人数 (概数)	1,300	1,700	2,000	2,500	2,800	3,000	3,300	3,400

出典：ITU ホームページをもとに作成

⁵ 郵便投票で必要な支持が得られなかったものや日程の関係で郵便投票ではなく無線通信総会 (RA: Radiocommunication Assembly) での承認手続が適しているものは、4年に一度開催される RA で勧告承認のための審議が行われる。

⁶ 無線通信規則で定められる無線業務の一覧については付録を参照。

1.4 小括

このように無線通信分野の国際標準化は二つの側面を持つ。一般的には「技術標準の策定」が国際標準化としてイメージされるが、上述のように電波の利用ルールの規定によって「周波数を統一する」ことは技術統一の一部にもなるため、「電波規制ルールの確立」も広い意味での国際標準化の中に含まれると言える。特に携帯電話の場合、国境を越えての使用を前提として設計されるため、自国と異なる周波数にも対応できるように作られるが、世界中の国々の周波数に対応するように設計することは困難であり多大なコストが必要となる。そのため、できるだけ世界的に周波数を統一することが望まれ、それによって相互接続性を実現するとともに製造コストの削減や販売価格の引き下げが可能になるなど、製造者やユーザーは標準化のメリットを享受することができる。このように、各無線業務の利用周波数をできるだけ世界共通化することを目指してルールが規定されるという意味で、特にその用途を具体的なシステムに特定する形での周波数分配は国際標準化としての性格を持つ。

一方で、周波数分配は本来規制としての性格も有するものである。単にその周波数での利用が推奨される無線業務を取り決めているわけではなく、当該周波数の利用は分配された無線業務に制限される。周波数は有限な希少資源であるため誰もが自由に利用できる無秩序な状態としてしまうと社会全体として効率的な資源配分が達成されないおそれがある。そのため、競争性が高くかつ国境を越えて伝搬する電波資源は、国際的ルールの下での配分が必要とされる。また、周波数は船舶や航空機の安全な運行確保や緊急時の通信などにも使用されており、限られた周波数の中でそのような重要通信のための周波数を確保しておくためにも周波数の利用には一定の規制が必要と言える。

このように、周波数分配は「国際標準化」としての性格に加え、「希少資源の規制的配分」としての性格を持つ。そのため、技術的な観点だけでなく各国の周波数使用の現状を踏まえた議論が行われ、その決定は一般的な技術標準の策定と比べてより各国の政策判断を含む政治的な性格を持つ。また、技術標準の策定では、どの技術が標準にふさわしいか同一の業務、同一のシステム（そのシステムを製造・運用する業界内）でその優位性を争うことになるが、周波数分配では他の業務（他の業界）と周波数使用の権限を争うこととなる。特に近年周波数需要が世界的規模で著しく増えている携帯電話に関しては、新規の分配（使用周波数の拡大）に大部分の国が前向きであっても具体的にどの周波数を選定するのか各論段階で合意に至ることが困難になってきている。電波は周波数によって伝搬する性質が異なるので、技術的な使いやすさから候補周波数帯を選ぶという従来の観点から、まずは合意を得やすい周波数帯を選定しそれに伴う技術的課題を克服して行く方向も考慮されている⁷。このようなアプローチの変化は「希少資源の規制的配分」が「技術の標準化」に影響している一面と言える。

なお、第3章で詳述するが、周波数の「特定」は分配された業務の用途を更に特定のシステムに指定するものであり、例えば移動業務に分配された周波数を携帯電話用に特定した事例では他システムでの利用を妨げない旨が付記されており、周波数の利用権利を与える「分配」に比べて国際標準化としての性格が強いものと言える。本稿では「特定」を広い意味での「分配」の中に含まれるものとして扱う。

上述のように周波数分配は、一般的な技術標準の策定と比べて各国の周波数政策の影響を大きく受けるため官民が連携して対処していく必要がある。また、同業務の中だけでなく他分野の業務との利

⁷ NTT ドコモ標準化カウンセラー 橋本明氏へのインタビュー（2021年3月14日実施）より。

害調整も必要となるなど国際標準化の中でも特徴的な性質を持つ。そこで、本稿では、無線通信分野の国際標準化の中でも特に周波数分配に着目し、携帯電話の発展に伴い国際的な周波数分配はどのように行われてきたのかについて調査・検討を行いたい。まずは次章において携帯電話の今日までの発展の歴史について整理し、その後、携帯電話用周波数に関する国際的な動向について整理する。

2 携帯電話の発展の歴史

今や我々の日常生活に欠かせない存在となっている携帯電話は、この 30 年ほどの間に急激な進化と普及を遂げ、我々の生活を大きく変えてきた。携帯電話はその通信方式などの技術的特徴によって「世代」という言葉を使って分類されている。

まずは、携帯電話が今日に至るまでどのような発展を遂げてきたのか、各世代に着目して概観する。

2.1 第 1 世代携帯電話

現在の携帯電話の原形となる電話機の登場は 1979 年に遡る。当時は体積 6,600cc、重量約 7kg というきょう体の大きさや、必要とする大きな電力の確保のため、自動車に搭載される電話としての登場であった。セルラー方式⁸による自動車電話として世界で初めて日本電信電話公社がサービスを開始し、周波数は 800MHz 帯を利用した。その後、消費電力の削減などによって小型化が進み、1985 年には自動車から離れても利用できるショルダー型の車載・携帯兼用型自動車電話のサービスが開始された。車外で使うことのできるサイズにはなったが、依然体積 1,500cc、重量約 3kg と手軽なものではなく、また、電話機は公社の所有で契約には 20 万円の保証金と新規加入料 8 万円が必要と高額であったため、その使用は一般の個人が気軽に利用できるものではなかった。その後、基地局の数が増え、電話機側で出力を下げるのが可能となるなどして携帯電話の小型化・軽量化が次第に進み、1991 年には体積 150cc、重量約 230g とポケットに入れて持ち運べる携帯電話となった。このように 1979 年の自動車電話の登場から約 10 年間で携帯電話の小型化・軽量化は急激に進んだ。

この世代のものが第 1 世代携帯電話 (1G) と呼ばれている。1G にはアナログ方式の技術が用いられたため「アナログの世代」とも呼ばれる。携帯電話の通信は、携帯電話基地局を介して他の携帯電話・固定電話に接続するため、基地局は多くの携帯電話と同時に通信するための技術 (多元接続方式) が必要となる。1G では通話ごとに異なる周波数を用いて接続を行う方式 (FDMA: Frequency Division Multiple Access) が使用された。その理由として、1G では音声データをそのまま使って電波を変調する⁹が、アナログ変調は複数の電波が重なる「干渉」に弱く、それぞれの携帯電話に十分離れた別々の周波数の電波を通話ごとに割り当てる必要があるためであり、それに伴い周波数利用効率は低くなった。1G では各国ごとに技術開発が進められ、国ごとの技術仕様で商用化された。

⁸ 地域を一定の広さの小さな区画に分割し、それぞれの中心に基地局を設けて範囲内の端末と通信させるもの。

⁹ 変調とは伝えたい情報を電波に乗せること。音声は工学的にアナログ量に分類されるため、この方式はアナログ変調と呼ばれる。

2.2 第2世代携帯電話

1993年には800MHz帯を利用したデジタル方式のサービスが開始され、この世代の携帯電話システムは第2世代携帯電話(2G)と呼ばれている。2Gでは音声をデジタルデータに変換し、そのデータを使って電波を変調するデジタル変調方式を採用したことにより、音声信号を容易に圧縮・伸張して周波数帯域を節約することが可能となっただけでなく、多元接続方式として一つの周波数を時間ごとに分割し、その分割した時間を各携帯電話に割り当てて接続を行う方式(TDMA: Time Division Multiple Access)を使用することで、周波数の利用効率が1Gよりも向上した。周波数利用効率を高めることで増加する利用者を収容できるだけの容量が確保されるようになった。また、デジタル方式となったことで2Gは1Gに比べてノイズが少なく音質が向上し、さらに、メールやインターネットを携帯電話でも使用可能になるなど品質面でもより優れたものとなった。

当時、電気通信事業は1985年に施行された電気通信事業法により既に自由化され、携帯電話事業への新規参入が相次いでおり、1993年にはNTTドコモ¹⁰が携帯電話の保証金(当時10万円)を廃止するなど、事業者間の競争の中で利用料金が著しく下がった。また、1994年には郵政省が端末売切制度を導入し、通信事業者からのレンタルのみというそれまでの仕組みを改め利用者による端末の所有を可能とした。このような背景から携帯電話はパーソナル機器として職種・年代・性別を問わず幅広く普及した。2Gは1Gと同じ800MHz帯を中心¹¹に導入されたため電波伝搬特性に差異はなく、アナログ方式の無線基地局にデジタルシステムを併設することにより効率的にエリア拡大を図ることが可能であった。そのため、1990年代後半は1Gと2Gの共存時代だったが、2Gの加入者数は1995年度末に1,000万人、1996年度末に2,000万人、1997年度末に3,000万人と急激に増加した。

国際的には、1Gに引き続き各国ごとの技術仕様で商用化されたが、域内での国境を越えた往来が盛んな欧州においては、欧州各国で共通に使用できるよう規格を統一することが目指され、1982年頃から標準作業が進められた。欧州規格として策定されたGSM規格は欧州に限らず多くの国々で普及することとなった。

¹⁰ 1990年の郵政省「日本電信電話株式会社法附則第2条に基づき講ずる措置」において、公正有効競争を促進するため、移動体通信業務をNTTから分離することとされており、これに基づき1992年にNTT移動通信網株式会社(現NTTドコモ)が営業を開始した。

¹¹ 800MHz帯の他、900MHz帯、1.5GHz帯も使用された。

2.3 第3世代携帯電話

第3世代携帯電話（3G）では、世界的にシームレスなサービスを提供することを目指し、1G、2Gのようにそれぞれの国や地域ごとに規格を検討するのではなく、ITU-Rが中心となって標準化が進められた。ITU-Rの前身である国際無線通信諮問委員会（CCIR）では1985年頃から携帯電話の世界標準規格の策定を目指して議論が開始されていた。当時、世界各国で携帯電話の重要性が認識され、国境を越えても妥当なコストで利用できる携帯電話システムが必要であるとの認識が醸成され始めていたことが背景にある。当初、この標準規格はFPLMTS（Future Public Land Mobile Telecommunication Systems）と呼ばれたが、1997年にIMT-2000（International Mobile Telecommunications-2000）と改称された。この名称には①世界中で2GHz帯を用いること、②2000年頃の商用化を目指すこと、③静止時2,000kbit/sの通信速度を実現すること、の3点が込められているとされる。このIMT-2000がいわゆる3Gであり、初めて国際標準として広くコンセンサスを得た携帯電話規格となった。IMT-2000技術の詳細仕様に関する勧告は、議論開始から15年をかけて2000年にITUで承認された。

3Gの一番の特徴は高速なデータ通信速度である。2Gではデータ通信サービスが提供されるようになり、メールやインターネットなどの利用が可能となったが、1Gと同様通話を主たる目的として開発されたものであった。3Gは当初から音声以外のデータ通信の利用が想定された初の世代である。3Gのデータ通信速度は静止時2Mbit/s、低速移動時384kbit/s、高速移動時144kbit/sを実現し、オンラインゲームや音楽配信サービスの登場などインターネットの利用が活発化した。多元接続方式としては周波数利用効率の高いCDMA（Code Division Multiple Access）方式を採用し、2001年にはNTTドコモが2GHz帯を用いて、2002年にはKDDIが800MHz帯を用いてサービスを開始した。

3G後期にはHSPA（High Speed Packet Access）と呼ばれる更なる高速化技術が導入されたことで10Mbit/sを超える速度を実現し、その速度向上が顕著なことから世代内進化型として第3.5世代携帯電話（3.5G）と呼ばれることもある。2006年にはNTTドコモが3.5Gのサービスを開始した。更に、その後登場した新たな通信方式であるLTE（Long Term Evolution）は、3Gに割当て済みの周波数帯を利用しつつもCDMAではなく新たな無線方式としてOFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiple Access）を採用し、100Mbit/sを超える速度を実現するとともに周波数利用効率も大幅に向上した。LTEは第3世代内の更なる進化型であり、次の世代への移行をスムーズに行えるようにその間を補完する位置付けとのことで第3.9世代携帯電話（3.9G）と呼ばれることもある。

2.4 第4世代携帯電話

IMT-2000 (3G) の技術仕様に関する勧告が承認された 2000 年頃から既にその後継システムに関する研究が ITU で開始された。ITU-R では、まず移動通信システムの将来構想について検討が進められ、2002 年にはビジョン勧告としてとりまとめられた。本勧告では、2010 年頃には IMT-2000 (3G) の後継システムのための新規無線技術が必要であり、その後継システムは高速移動時 100Mbit/s、低速移動時 1Gbit/s のデータ通信速度を実現すること、そのためには追加の周波数が必要であることなどが示された。本勧告に基づき将来のサービス規模の予測やそれを踏まえて必要となる周波数帯域幅の検討が進められる中、2005 年には IMT-2000 の後継システムの名称を IMT-Advanced とすることが決定した。この IMT-Advanced が第4世代携帯電話 (4G) と呼ばれている。IMT-Advanced 技術の詳細仕様に関する勧告は 2012 年に ITU で承認され、2015 年には国内で 4G のサービス提供が開始された。

4G では光ファイバー回線と同水準の超高速通信を実現するとともに、異なる周波数の通信波を複数束ねて高速通信を実現するキャリアアグリゲーション技術などを用いることによりよって、3G までの携帯電話より周波数利用効率の高い電波利用を実現することができた。

2.5 第5世代携帯電話

スマートフォンの普及による世界的なデータ通信量の増大や IoT (Internet of Things) 時代の多様なニーズに対応するため、第5世代携帯電話 (5G) の研究開発が活発化するのに合わせて、ITU では 2012 年から 5G の検討が開始された。2015 年には 5G の技術要求条件や利用シナリオなど 5G が目指すべき姿を示すビジョン勧告がとりまとめられた。本勧告では、IMT-Advanced の後継システムの名称を IMT-2020 とすることや 5G の利用シナリオとして①超高速大容量通信、②多数同時接続、③超低遅延通信が示され、また、これらを実現するための IMT-2020 の能力として最大通信速度 20Gbit/s、多数同時接続 (100 万台/km²)、低遅延 (1 ミリ秒程度) などが IMT-2020 のビジョンとして示された。本ビジョンを具現化するための作業として、IMT-2020 の技術要求条件の作成、3GPP などの標準化団体から提案された提案の評価、評価結果を踏まえた技術詳細仕様に関する勧告の作成が行われ、2021 年 2 月に当該勧告が承認された。

5G では従来の携帯電話で使用されてきた周波数帯のみならず非常に高い周波数帯が対象となっている。現状、高周波数帯は低周波数帯ほど利用されていないため連続した広帯域の周波数を確保しやすいが、周波数が高くなるほど電波の伝搬損失が大きくなることや直進性が高いなどの特徴があるため 4G までの技術を継続的に発展させるとともに高周波数帯をサポート可能な新たな技術や周波数利用効率を向上可能な技術が 5G 実現のために導入されている。

日本では 2020 年の東京オリンピック・パラリンピックをターゲットに 5G の早期実現に向けた準備を進め、2020 年 3 月から国内で 5G のサービス提供が開始された。5G サービスの初期段階では既存周波数帯における 4G 技術と 5G 用の周波数における新たな無線技術を組み合わせることで安定性を保ちつつ高速大容量の通信を実現している。2020 年 11 月時点では 5G のサービスエリアは都市部を中心に限定的であるが、今後数年かけてサービスエリアを拡大するとともに新たな技術が導入されていくことが見込まれている。

2.6 小括

1979年に自動車電話のサービスが国内で開始されてから約40年が経過したが、携帯電話の発展は我々の生活を大きく変化させてきた。携帯電話の小型化・低廉化・多機能化により、当初は一部の限られた人のみが利用するものだった携帯電話は平成の30年間で一気に普及し、我が国の人口普及率は平成元年度末に0.4%だったが平成23年度末には100%を越えた。1Gは音声通話のみを目的としたサービスだったが、この30年間で無線技術やインターネットなどの関連技術の目覚ましい発展¹²に伴い多様なサービスが生まれ、文字だけでなく写真や動画を使ったコミュニケーションの実現、電子決済や位置情報の活用によるサービスの普及など、我々の生活を豊かにするとともに利便性を向上させ、日常生活に欠かせないものとなった。4Gまでは従来の携帯電話を対象に通信速度の高速化によるサービスの高度化・多様化が目指されてきたが、2020年以降順次普及が見込まれる5Gは①超高速大容量通信、②多数同時接続、③超低遅延通信といった特徴を活かして自動車分野や医療分野などで新たな市場の創出が期待されている。

21世紀には国境を越える人の移動が日常的となり市場のグローバル化が一層進展するとの認識から国際標準化が重要課題となり、3GからはITUで国際標準規格が策定されるようになった。次世代の携帯電話規格の作成にあたっては、まずITUで次世代規格の主要能力や利用シナリオなどのビジョンを策定した後、次世代規格に求められる要求条件を提示する。3GPPなどの標準化団体はITUの要求条件を満たすような技術仕様を提案し、ITUはそれらの評価を行う。条件に合致する提案は勧告に採用され、ITUで技術仕様に関する勧告が策定されることとなる。

このように携帯電話の分野では国際的に協調して検討が行われるようになり、国際標準化が重要な位置づけを占めてきた。そのため、携帯電話技術は国際標準化の議論を軸に発展していくようになり、ある意味、ITUでの国際標準化活動が携帯電話の技術進化と世代交代を促す役割を担ってきたとも言える。

年々増え続ける携帯電話の加入者数やデータ通信量、そして、携帯電話の世代が進むにつれて実現してきた通信速度の高速化に対応するためには、周波数利用効率の改善などの技術開発や携帯電話で利用する周波数の拡大といった対応がとられてきた。次章では、携帯電話用の周波数は国際的にどのように取り扱われ、どのように周波数を拡大してきたのか、その変遷について述べる。

¹² 1Gでは最大通信速度が約10kbpsであったのに対し4Gでは最大通信速度が1Gbpsになるなど、30年間で約10万倍にまで向上した。

3 国際的な携帯電話用周波数の拡大

上述のとおり、携帯電話はこの 30 年ほどの間に目覚ましい発展を遂げるとともに加入者数は一気に増加した。携帯電話の更なる高度化を進めるとともに増加する加入者に対応していくためには、携帯電話用周波数の確保が課題となった。また、グローバル化の進展に伴い国境を越えた移動が前提とされる携帯電話は、世界的に携帯電話で共通の周波数を利用することが望まれた。

本章では、国際的な電波利用ルールを定める無線通信規則（RR）における国際周波数分配に関する規定や、RR を改訂するための会議である世界無線通信会議（WRC）に向けた作業プロセスを整理するとともに、過去の WRC を経て携帯電話用周波数がどのように拡大されてきたのか、その変遷について述べる。

3.1 国際的な電波の利用ルールとその形成プロセス

3.1.1 無線通信規則における国際的な周波数分配

無線通信規則（RR: Radio Regulations）は各周波数帯の利用、衛星軌道の利用、無線局の運用などに関する国際的な電波秩序を規定しているが、その中でも最も重要とされているのが RR 第 5 条の国際的な周波数の利用に関する規定である。RR 第 5 条は周波数分配（frequency allocation）を扱っており、具体的には周波数分配表と脚注から構成される。

周波数分配表では、各周波数帯の欄が縦に並び、周波数帯ごとにその分配対象となっている無線業務、つまり使用権利が与えられている無線業務が記載されている。また、RR は世界を三つの地域（第 1 地域、第 2 地域、第 3 地域）に分けて周波数分配を規定しており、周波数分配表は地域ごとの三列構成となっている。各地域の構成国は以下のとおりである。

表 3-1 RR における地域割

地域割	構成国
第 1 地域	欧州、アフリカ、アラブ（イラン以西）、ロシア系諸国
第 2 地域	南北アメリカ諸国
第 3 地域	アジア（イラン以東）、オセアニア諸国

出典：ITU「Radio Regulations, edition of 2020」をもとに作成

歴史上はこの三つの地域分けを基本に周波数が分配されていたと言われているが、現在ではグローバル化が進み世界共通の周波数分配が行われることが多い。

周波数分配表を構成するもう一つの要素である脚注は、周波数分配表に対して補足や特例を定める場合に付記される。例えば、特定国に対して周波数分配表には記載されていない無線業務の追加分配を認めるものや、周波数分配表に記載されている無線業務であっても、その使用を特定のシステムに限定するものなどがある。携帯電話の場合は、携帯電話用の周波数を確保すること、また、世界的に

共通の周波数を使用することを目指し、移動業務用に分配されている周波数帯に対して¹³携帯電話用の周波数として特定する旨の脚注を付記するという方法が採られてきた¹⁴。

3.1.2 世界無線通信会議（WRC）に向けた作業プロセス

国際周波数分配を変更することができるのは、およそ4年に一度ITU-Rで開催されるWRCである。WRCの議題は前回のWRCで決定され、その内容に応じて適切な作業部会（WP: Working Party）が責任グループとして指定される。責任グループを中心に所要の検討が進められ、その結果はWRCでの審議用にCPM（Conference Preparatory Meeting）レポートとしてWRCに提出される。CPMレポートには、その議題の解決法としてRRの改正方法やRRを改正しない旨など複数の選択肢が提示され、WRCではこのレポートを基に最終合意を目指して審議が行われる。周波数分配を目指す場合、まずは周波数分配を希望するWRCの4年前のWRCにおいて、次回WRCの議題として合意される必要がある。そのため、周波数分配を希望するWRCの4年以上前から検討に着手する必要がある。

表3-1のRRにおける地域割とは別に、域内における電気通信サービスの発展促進を目的として、標準化に関する政策調整などを行っている地域機関があり（表3-2）、ITUの検討と並行して地域グループ単位でもWRCへの準備活動を行っている。各地域グループではWRCの準備活動として5回程度WRC準備会合を開催し、WRCの各議題に対する各地域グループの考え方を取りまとめていく。各国は自国の見解が反映された形で地域としての共同提案が策定されることを目指し、継続的に準備会合への提案を行い他国との調整に努めることになる。域内で一定数以上の国の支持を得た多数意見については、地域共同提案としてWRCに提出されることになるが、自国の見解が地域共同提案と異なる場合は、各国が個別に自国の提案をWRCに提出することになる。

表3-2 地域的電気通信機関一覧

対象地域	地域機関
欧州	CEPT: European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
ロシア系諸国	RCC: Regional Commonwealth in the Field of Communications
アラブ	ASMG: Arab Spectrum Management Group
アフリカ	ATU: African Telecommunications Union
南北アメリカ	CITEL: Inter-American Telecommunication Commission
アジア・オセアニア	APT: Asia-Pacific Telecommunity

出典：ITU ホームページをもとに作成

近年のWRCでは、各国から提出される単独提案よりも地域共同提案が重視される傾向にあり、ITU会合への寄与とともに地域準備会合への寄与も積極的に行っていく必要がある。

¹³ 移動業務の分配がない周波数帯について携帯電話用の周波数特定が行われている例もあるが、外国からの干渉への保護は主張できない。

¹⁴ 無線通信規則では移動通信システムの総称としてIMT（International Mobile Telecommunications）の名称で周波数の特定が行われている。

3.2 WRCにおける携帯電話用周波数の変遷

ITU では 1985 年頃から携帯電話の世界標準規格策定を目指して議論が開始されており、初めて世界共通の携帯電話用周波数が確保されることとなったのは 1992 年の世界無線通信主管庁会議（WARC）¹⁵である。そこで、1992 年の WARC（WARC-92）から、直近の会合である 2019 年の世界無線通信会議（WRC-19）まで、携帯電話用周波数はどのように追加されてきたのかその変遷について述べる。

3.2.1 1992 年世界無線通信主管庁会議（WARC-92）

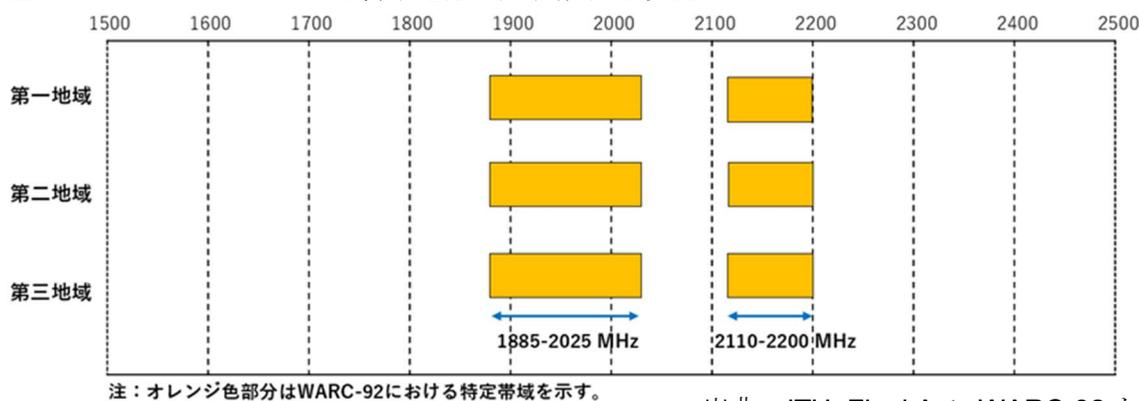
1979 年、800MHz 帯を使用した自動車電話サービスが日本で開始され、他の先進国でもまずは 800MHz 帯が使われるようになっていたが、1980 年代後半には小型化が急速に進み、世界的にその普及が進むに伴い 800MHz 帯がひっ迫しつつあった。そこで、今後の需要拡大に 대응するため、同時期に検討が開始された第 3 世代携帯電話用の周波数の確保について WARC-92 で審議されることとなった。当時、ITU では次世代の携帯電話規格のことを「将来の公衆陸上移動通信規格（FPLMTS : Future Public Land Mobile Telecommunications System）」と呼んでおり、WARC-92 では 1-3GHz 帯を対象に、FPLMTS 用の周波数について検討されることとなった。

WARC-92 で FPLMTS 用の周波数の確保に最も熱心に取り組んだのは欧州であり、ITU-R の前身である国際無線通信諮問委員会（CCIR）の研究に基づき 215MHz 幅を FPLMTS 用の周波数として特定する提案を行った。多くの国と国境を接し自由な往来が盛んである欧州においても、第一世代携帯電話では国ごとにそれぞれの技術と周波数を使用してサービスが提供されていたため、北欧の一部を除けば国境を越えると携帯電話としての使用ができなかった。1985 年のシェンゲン協定の署名によって国境を越えた往来がますます盛んになる中で、その不便さが顕在化していたことが背景にあると言われている。米国では対象帯域が電力や鉄道の利用で混み合っていたために具体的な周波数を WARC-92 で特定することには消極的であり、日本は移動通信業務へ分配されている周波数を必ずしも FPLMTS に限定せずその他の利用可能性も残しておくために 60MHz 幅の特定を提案した。

審議の結果、欧州の考え方をベースに①1885-2025MHz 帯及び②2110-2200MHz 帯の計 230MHz 幅を FPLMTS 用の周波数としてグローバルで特定することとなった。なお、FPLMTS は 1997 年に IMT-2000（International Mobile Telecommunications 2000）に改称された。

図 3-1 は WARC-92 における周波数の特定状況であり、オレンジ色部分が当該会合における特定帯域である（以下同じ）。

図 3-1 WARC-92 における携帯電話用周波数特定状況



出典：ITU, Final Acts WARC-92 をもとに作成

¹⁵ 世界無線通信会議（WRC）の前身である。

3.2.2 2000年世界無線通信会議（WRC-2000）

1993年に開催されたITUの全権委員会会議で世界無線通信主管庁会議（WARC）の業務を引き継ぐものとして世界無線通信会議（WRC）が設置された。

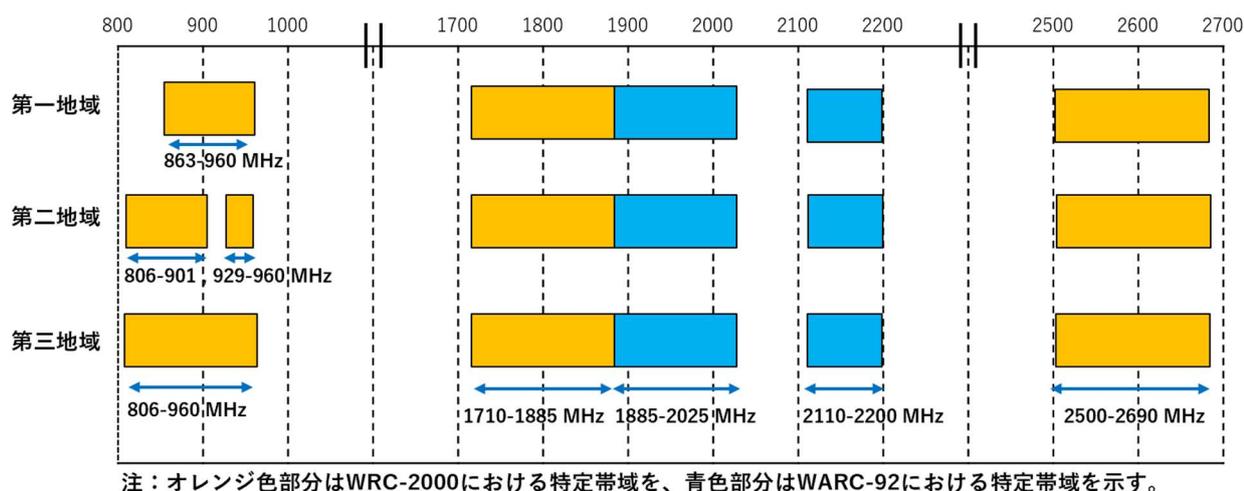
WARC-92ではFPLMTS（後にIMT-2000に改称）用に230MHz幅の周波数が特定されたが、当時は音声利用が主な用途として想定されていた。その後のインターネットの発展に伴う携帯電話サービスの高度化や2010年までにIMT-2000の加入者数が世界で2億人に達するという需要予測を踏まえると、ITU-Rの検討では2010年には携帯電話用の周波数が不足することが予測されていた。そのため、1997年のWRCで議題化が提案され、WRC-2000で携帯電話用周波数の追加特定について検討されることとなった。

審議において、携帯電話用に世界共通の周波数を確保することに対しては総論として多くの国が支持をしたが、具体的にどの周波数を特定するのかという話になると自国の既存業務の保護などを理由に各国が異なる周波数を主張した。議論が収束しないおそれがあったため、提案の多かった800MHz帯、1.7GHz帯、2.5GHz帯の3つの周波数帯に候補を絞ってこれらをパッケージとして扱い、各主管庁が柔軟に周波数を選定できるという方針をとることが合意された。審議の結果、①806-960MHz帯、②1710-1885MHz帯、③2500-2690MHz帯の3つを携帯電話用の周波数帯として特定し、各主管庁が国内需要や他の業務による利用状況などを考慮して適切な周波数を割り当てることとなった。

WARC-92では各国が単独で提案文書を入力していたが、本会合ではアジア太平洋電気通信共同体（APT）、欧州郵便電気通信主管庁会議（CEPT）、米州電気通信委員会（CITEL）といった地域単位での提案文書が見られるようになったことが一つの特徴である。

図3-2はWRC-2000における周波数の特定状況であり、青色部分は前回会合までの特定帯域である（以下同じ）。

図3-2 WRC-2000における携帯電話用周波数特定状況



出典：ITU, Final Acts WRC-2000 をもとに作成

3.2.3 2007年世界無線通信会議（WRC-07）

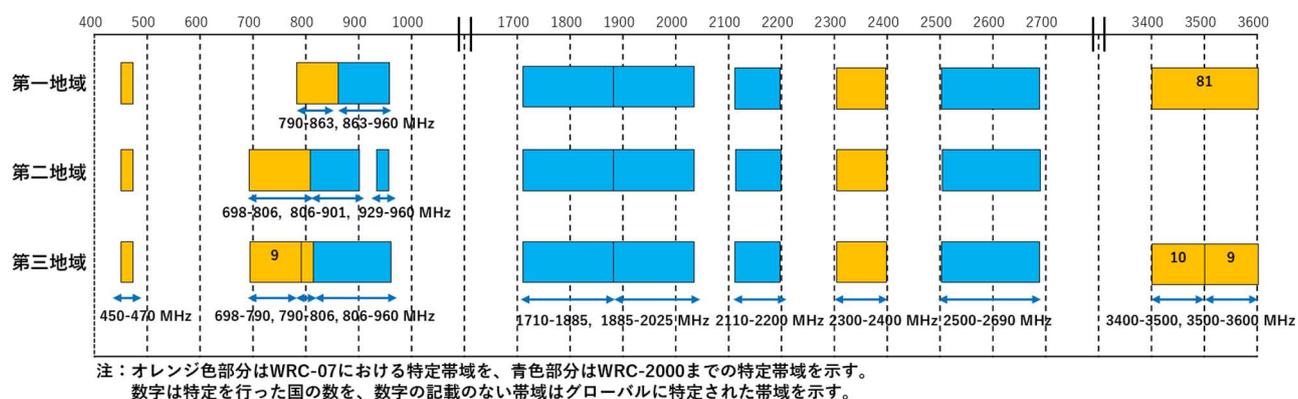
IMT-2000（3G）が世界で急速に普及し始める中、高速なデータ通信、世界中で利用できる携帯電話、多様なアプリケーションに対する需要の高まりを背景に、ITU-R では 2010 年以降の移動通信システムのビジョンとして、高速移動時 100Mbit/s、低速移動時 1Gbit/s のデータ通信速度を目標とする IMT-2000 の後継システム（IMT-Advanced）の必要性を示した。その実現のため世界共通で利用できる新たな携帯電話用周波数を求める声が高まり、2003 年の WRC では、IMT-2000 の高度化及びその後継システム（IMT-Advanced）用の周波数の確保について、次回 WRC（WRC-07）の議題とすることが決定された。

WRC-07 に向けた ITU-R の研究では、2020 年までに携帯電話用に必要となる周波数帯域幅は、需要の低い国で 1280MHz 幅、需要の高い国で 1720MHz 幅との結論を出した。なお、WRC-2000 までに携帯電話用として特定された周波数は第一地域で 692MHz 幅、第二地域で 721MHz 幅、第三地域で 749MHz 幅である。

WRC-07 の審議においても世界共通の携帯電話用周波数を確保することについては多くの国が支持を表明した。しかし、具体的な候補周波数の検討に入ると、各国がそれぞれ既存システムの保護を主張し審議は難航した。また、WRC で結論を出すときに重視される地域機関単位の意見について、本会合では地域内での意見の調整がつかず、周波数帯によっては統一見解を出せない状況となった。各国が特定したい周波数が異なり議論は平行線をたどったため、WRC-07 議長から妥協案が提示され、WRC-2000 の時と同様、各国が希望する周波数帯を一つのパッケージとして合意し、合意したパッケージの中から各国の判断で使用可能な周波数帯を選択し使用することとなった。どの周波数帯をパッケージに入れることを許容するかで大きな議論となったが、最終的には①450-470MHz 帯、②698-806MHz 帯、③2300-2400MHz 帯、④3400-3600MHz 帯が携帯電話用の周波数として特定されることとなった。

図 3-3 は WRC-07 における周波数の特定状況であり、数字は特定を行った国の数である。数字の記載のない帯域はグローバルに特定された帯域である（以下同じ）。

図 3-3 WRC-07 における携帯電話用周波数特定状況



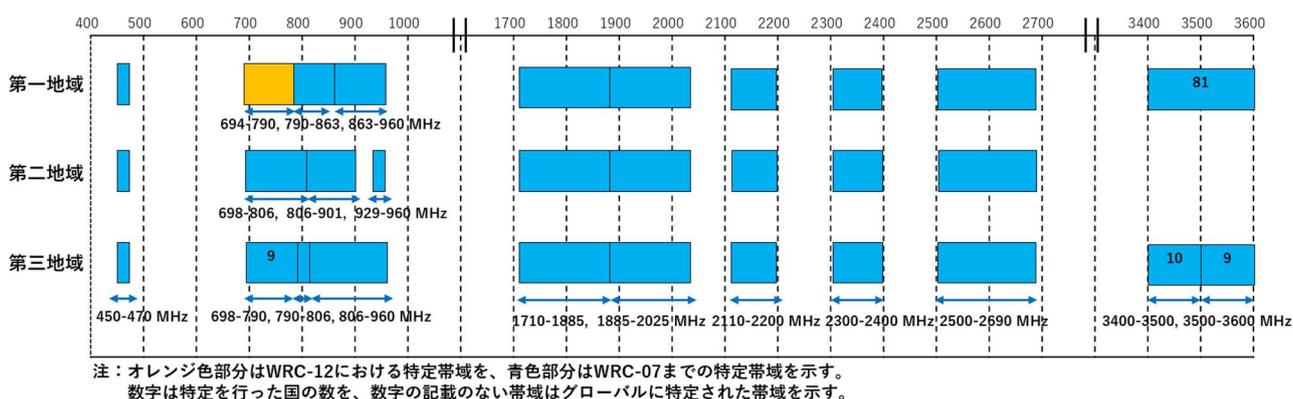
出典：ITU, Final Acts WRC-07 をもとに作成

3.2.4 2012年世界無線通信会議（WRC-12）

携帯電話のデータトラフィックは予想を大きく上回るスピードで増加し、2010年には2005年時点で予測していたトラフィックの5倍以上に達した。スマートフォンやタブレットなど新たな端末の普及によってトラフィックの増加が更に加速することが見込まれる中、現在の周波数では不十分であるため、携帯電話用周波数の拡大についてWRC-15の議題とすることが合意された。検討対象となる周波数帯は既に多くの業務で利用されており、携帯電話用の周波数を拡大するためには他の既存業務との周波数共用が前提となる。そこで、共用検討を効率的に遂行するためのグループとして、新たにジョイントタスクグループ（JTG）が設置され、地上業務、衛星業務、放送業務、科学業務の4つの分野の研究グループの合同作業でWRC-15に向けて検討を行っていくこととなった。

WRC-12では携帯電話用の周波数について直接議論するための議題は設定されていなかったが、アフリカ及びアラブの強い要請により例外的に議論が行われ、第一地域において694-790MHz帯が携帯電話用周波数に特定されることとなった¹⁶（図3-4）。

図3-4 WRC-12における携帯電話用周波数特定状況



出典：ITU, Final Acts WRC-12 をもとに作成

¹⁶ この周波数特定はWRC-15から有効となり、それまでの間、他業務との共用条件などの検討が行われる。

3.2.5 2015年世界無線通信会議（WRC-15）

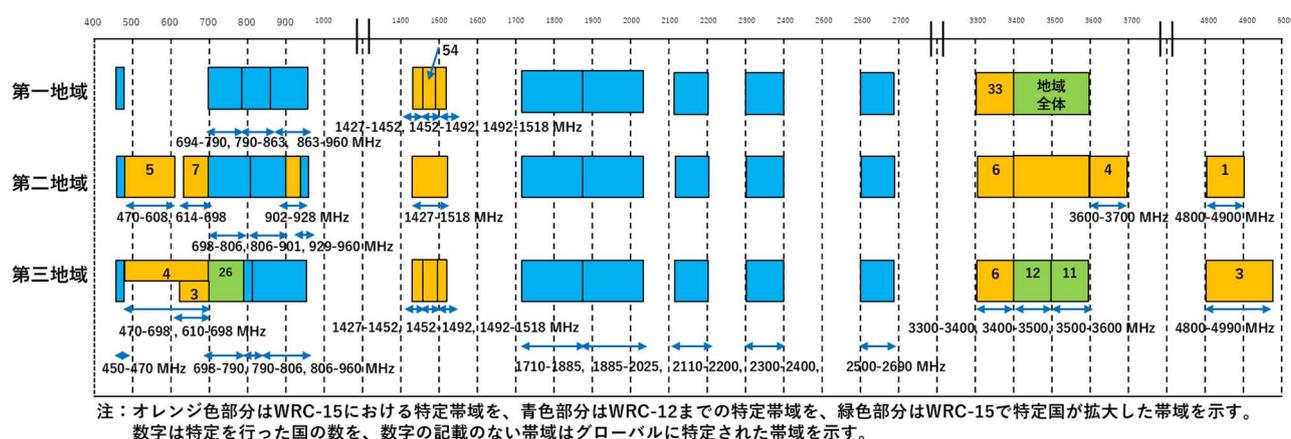
直近でグローバルな携帯電話用周波数の特定が行われたのは2007年のWRCであるが、2007年時点ではまだ3Gは本格的に展開されておらず、4Gはまだ導入前の段階であり、データトラフィックは2015年と比べて少ない状況であった。その後、2014年10月には世界中のトラフィックの50%を移動通信端末が利用していることをYoutubeが発表し、また、スマートフォンはフィーチャーフォンと比べて37倍のデータトラフィックを生み出し、4Gスマートフォンは3Gスマートフォンの約3倍のデータトラフィックを利用するとの見込みをシスコシステムズが発表するなど、WRC-07後の8年間で移動通信分野の状況は劇的に変化し、ユーザーの利用もビデオストリーミングなどの利用データ量の多いアプリケーションの利用に変化してきた。

WRCに向けては各地域機関で準備会合を開催し、各地域としての見解や提案を取りまとめることになっているが、WRC-15に向けたインタビューでは、多くの地域機関の議長が、33ある議題の中でも特に関心を寄せる議題の一つとして携帯電話用周波数の拡大に関する議題を挙げた。

審議においては、ITU-Rの研究結果で候補とされた周波数について議論が行われたが、国によって携帯電話用として特定を希望する周波数と特定を望まない周波数が複雑に絡み合い、公式会合のみでは意見集約が困難となった。そこで、非公式会合が開催されることとなり、地域ごとに意見調整を行い、合意へ向けた解決案を提示することが要請された。最終的に、地域ごとにまとめた解決案に基づき無線通信規則の改正が合意されることとなり、①694/698-790MHz帯、②1427-1452MHz帯、③1452-1492MHz帯、④1492-1518MHz帯、⑤3400-3600MHz帯がグローバル又はほぼグローバルに特定され、⑥470-694/698MHz帯、⑦3300-3400MHz帯、⑧3600-3700MHz帯、⑨4800-4990MHz帯が一部の国に特定されることとなった。

図3-5はWRC-15における周波数の特定状況であり、緑色部分は前回会合から特定国が拡大した帯域である。

図3-5 WRC-15における携帯電話用周波数特定状況



出典：ITU, Final Acts WRC-15 をもとに作成

3.2.6 2019年世界無線通信会議（WRC-19）

5G は大容量のデータを高速で通信し、多くのデバイスと接続し、低遅延で処理することができるものと定義されている。そのため、3G や 4G では実現が困難であったスマートシティや遠隔医療などの実現を可能にする技術として期待されている。5G の研究開発が世界各国で進展する中、5G のような超高速大容量通信かつ超低遅延通信を実現するには、これまで携帯電話用に特定してきた周波数よりも広帯域で連続した周波数が必要となる。しかし、これまで携帯電話用に特定されてきた比較的低い周波数帯域は既にひっ迫しており、広帯域の周波数を確保するためには、低い周波数と比べると比較的余裕がある高い周波数の利用も検討する必要がある。5G の研究開発では、4G まで携帯電話で利用してきた周波数だけでなくより高い周波数にもシステム導入を可能とするための技術検討が盛んに行われている。そこで、WRC-19 では、5G での利用を念頭にそれまで携帯電話用に特定されてきた周波数より高い周波数帯域を対象として携帯電話用周波数の特定に関する審議が行われることとなった。

審議においては、ITU-R の研究結果で候補とされた周波数について議論を行い、①24.25-27.5GHz 帯、②37-43.5GHz 帯、③66-71GHz 帯がグローバルに特定され、④45.5-47GHz 帯と⑤47.2-48.2GHz 帯が、一部の地域または国を対象として特定されることとなった（図 3-6）。周波数を絞り込んだ後も、同一周波数や隣接周波数で運用される既存システムとの周波数共用条件が大きな論点となり議論が紛糾したため、各地域を代表するメンバーや具体的な提案を行っている各国代表のメンバーを中心とする非公式会合を開催し妥協案の検討が進められた。

WRC-19 では、合計 17.25GHz 幅の周波数が携帯電話用に特定されることとなり、これまでの WRC で特定された合計 1.9GHz の帯域幅を大きく上回る周波数が携帯電話用の周波数として特定された。また、次回の WRC においても携帯電話用周波数の追加特定に向けた検討を行うことが複数国から提案され、WRC-23 の議題とすることが合意された。

図 3-6 WRC-19 における携帯電話用周波数特定状況



出典：ITU, Final Acts WRC-19 をもとに作成

3.3 国際的に調和のとれた周波数を利用する意義

携帯電話のデータトラフィックの増大やグローバル化の進展などから、携帯電話用の周波数を確保すること、そして、世界共通の周波数を携帯電話で使用していくことの必要性が認識され、その共通認識の下、各国協調して ITU を中心に検討が進められてきた。WRC-19 では高い周波数を対象に特定が行われたこともあり、WRC-15 までに携帯電話に特定された周波数の合計を上回る周波数が特定され、また、WRC-19 まで、携帯電話用周波数に関する議題は 7-8 年に一度（概ね隔回）の WRC で取り扱われてきたが、WRC-19 に続き 2023 年の WRC でも携帯電話用周波数の追加が議題となるなど、国際的に調和のとれた周波数に対する需要は一層高まっていると言える。

携帯電話は、無線通信規則上「移動業務」に分類されるが、移動業務に分配されている周波数帯について、「携帯電話用の周波数として特定する」旨の脚注を付さなければ当該周波数を利用できないわけではない。つまり、あえて周波数の特定をしなくても、当該周波数を携帯電話で利用する権利はある。それにもかかわらず多くの国が携帯電話用周波数の特定作業に熱心に取り組み、多くの国の支持を得て携帯電話用に周波数が特定されている。携帯電話のようにシステムレベルで周波数が特定される事例はあまり多くないが、携帯電話については周波数のハーモナイゼーションがその発展と普及に大きな役割を果たし、さらには周波数を早い時期に特定することが重要となる。そうすることで無線通信事業者がグローバル利用に備えた準備を十分に行うことができ、その結果、機能の高度化や携帯電話価格の低廉化などユーザーの利益につながるとともに、国家間での不要な周波数の相違を避けることにもなる。携帯電話用周波数に関する議題は、WRC の議題の中でも最も多くの参加者が関心を持ち作業量が多くなる議題の一つであるが、結論を先送りにしてしまうと、当該周波数の特定は次回 WRC まで先延ばしとなり更に 4 年の月日を要することになるため、1 ヶ月の会合期間内で結論をまとめることが重要視される。しかし、回を重ねるごとに世界共通の周波数の特定は合意形成が困難となっており、上述の図にあるように、一部の国のみで特定を行う場合が増えてきている。ただし、その後の WRC で特定国が拡大される場合もあるため、一度の WRC でグローバル特定が難しい場合は、まずは主要国と連携して周波数の一部特定を行い、次の WRC で特定国の拡大を目指す方法もある。

さらに、WRC での周波数特定に先立って、いくつかの携帯電話先進国とまずは民間ベースで「自国で携帯電話に使える周波数」に関する情報交換を行い、各国でそれらの周波数の使用実績を積んだ後、次回 WRC における特定の候補周波数帯として ITU に提案していくことも考えられる。すなわち主要国での「実績」によりデ・ファクト標準とした後に WRC での特定につなげていくアプローチであり、過去にこのような方法で特定された事例もある¹⁷。

¹⁷ NTT ドコモ標準化カウンセラー 橋本明氏へのインタビュー（2020年11月21日実施）より。

4 ITUにおける周波数分配の変遷と携帯電話の将来発展

第3章で述べた携帯電話用周波数の特定の結果、特に WRC-19 では 30GHz 以上の高周波数帯（ミリ波帯）が広く利用に開放された。この変遷が今後の携帯電話の発展に与える影響について考察する。

4.1 利用周波数帯の高周波化

30 GHz 以上の帯域では電波の直進性が強くなり、逆に障害物の裏に回り込む性質（回折性）は弱まるため、建物が密集する地域での通信エリアの構築には多くの基地局の設置が必要となる。そのため、全国をカバーする通信網の整備には 4G 以前と比べてより多くの時間や費用が必要となる。このように携帯電話の利用周波数が高周波数帯に拡大していくに伴い、通信網の整備はより多くのリソースを必要とし、より困難となることが予測されるため、例えば、一部地域を対象とするローカルサービスではそれに特化した周波数帯を効率的に使用して全国向けの通信網を補完するなどの政策が必要となると考える。

4.2 特定周波数幅の拡大

WRC-15 までに携帯電話用に特定された周波数の連続帯域幅は 100-300MHz 程度であったが、5G を念頭に広帯域での特定を目指した WRC-19 では、例えば 37-43.5GHz のように 6500MHz 幅が特定されている。この帯域を国ごとにミクロな視点で検証すると、携帯電話に①ほぼ無条件で使用可能な帯域、②他の無線業務との両立性確保のため条件付きで使用する帯域、③当面使用できない帯域に分けられ、その状況は各国でそれぞれ異なっている。そのため、広帯域の周波数が世界共通の携帯電話用周波数として特定されたとしても、実際問題として、各国は特定された帯域をそれぞれの実情に合わせて使用せざるを得ない。

このことが携帯電話の国際ローミングに与える影響は小さいものではない。国際ローミングを実現しようとする特定周波数の帯域からローミング先の当該国で使える帯域を取捨選択して接続できるようにしなければならない。これまでこのような問題は携帯電話の製造会社の努力によって技術的に克服されてきた¹⁸。しかし、特定される周波数帯の数が増大し、かつ帯域幅が広くなれば、それらに対応するアンテナ技術、使用周波数の選定技術も一層複雑性を要求されるようになると考える。

¹⁸ NTT ドコモ標準化カウンセラー 橋本明氏へのインタビュー（2020年11月21日実施）より。

4.3 既利用周波数帯との両立

日本では、2020年3月から5Gのサービスを開始しており、周波数としては5G用に新たに割り当てられた周波数¹⁹を使用しているが、今後、5Gのサービスエリアを拡大していくにあたっては、既に4Gで利用されている周波数帯も使用されることになる見込みである。

5Gで使用される高い周波数帯と比べて4Gが使用している3.6GHz以下の電波は伝送できる情報量は少なくなるが、回折効果により障害物を回り込みやすく建物内部へも伝搬しやすいために広い範囲をカバーすることができるようになる。さらに、既に4Gで利用されている基地局インフラを利用することで、効率的に5Gのサービスエリアを拡大することができる。このように、4G周波数の併用によって5Gのサービスエリアが拡大すると5G対応の携帯電話の普及につながり、ひいては本格的な5G時代が早期に実現するようになると思われる。

4.4 電波の有効利用の観点からの携帯電話の将来発展

5Gの三大特徴は①超高速大容量通信、②多数同時接続、③超低遅延通信であるが、これら三つの性能全てを必要とする通信サービスはむしろ少なく、ユースケースに応じて一つまたは二つの性能を主に利用することとなる。また、通信サービスはその性質によって全国的に求められる一般的なサービスと、一部の限られた地域で特に必要とされるローカルサービスとに分けられる。

5Gで使われる電波は、今回5G用に割り当てられた高い周波数帯の他、これまで4Gで使用されてきた低い周波数帯がありそれぞれ性質が異なる。例えば超高速大容量通信を必要とするサービスについては広帯域の高い周波数帯を使う必要があるが、主に超低遅延通信を利用するサービスについては低い周波数帯でもその性能を享受することが可能であるため、サービスの性質や対象エリアに応じた周波数の使い分けが電波の有効利用を実現する効果的な手段となる。実際、限られた範囲内での利用を条件に地域の企業や自治体などで5Gのプライベートネットワークを構築して利用することのできる「ローカル5G」制度の整備、普及に向けた取組が行われている。「ローカル5G」制度により地域や産業の個別のニーズに応じて柔軟に5Gシステムを構築することで、通信事業者がカバーしづらいエリアでも5Gを活用することができるため、5Gが地域の課題解決やビジネスの発展などに活用されることが期待されている。

5Gの普及に伴い社会全体のデジタル化が一層進展していくことが見込まれ、5Gの次の世代であるBeyond 5G（いわゆる6G）に望まれるユースケースには、これまでには想定し得なかったような新しい需要が出てくると考えられる。

¹⁹ 総務省は2019年4月に5G向け周波数として3.7GHz帯、4.5GHz帯、28GHz帯を国内の携帯電話事業者に割り当てた。

おわりに

本稿では、無線通信分野における国際標準化の重要性を述べるとともに携帯電話は特に国際標準化の必要性が高い機器であることを述べた。携帯電話の最も大きな特徴はユーザーの移動を可能にすることであると言えるが、1G 及び 2G では国際標準化の実効性が十分ではなくそれぞれの国や地域ごとに異なる技術仕様や周波数が採用されたため、ユーザーの移動は当該国や地域の範囲内に限られた。そのような制約を解消し、世界のどこでも利用できる携帯電話を開発するため 3G からは世界各国が国際標準規格策定に多くの努力を費やし、その結果移動範囲は大きく広がることとなった。このように、3G 以降、国際的に協調して携帯電話の発展に向けた検討が行われるようになったことで携帯電話が目覚ましい技術進化を遂げるようになるなど、ITU での国際標準化活動は携帯電話の発展と普及において大きな役割を担った。

今後も携帯電話の発展に伴い追加の周波数特定が必要となると見込まれるが、無線通信サービスの拡大によって周波数は更にひっ迫し、WRC で世界共通の周波数を特定することはますます困難になっていくことが予想される。近年の WRC は 4 年に一度開催されるが、毎回のように議論が複雑化し、公式会合だけで議論をとりまとめることは困難になっている。このため、WRC 準備期間中にオフラインでの各地域機関ごとの意見調整やキーパーソンによる合意に向けた個別調整が行われており、このオフライン会合の結果が大変重要となる。そのため、日本にとって望ましい結果を得るためには、ITU に継続的に寄与しキーパーソンとして認識されることや、地域機関である APT においても継続的な寄与による存在感の発揮や各国との連携に努めることが重要となる。

5G ではこれまで携帯電話で利用されてこなかった高い周波数帯が利用されるようになり、国内でのエリア展開や国際ローミングにおいて新たな工夫が必要とされるが、その性能を活かして様々な社会課題の解決を実現するとともに我々の生活をより豊かにするものとなることが期待される。

最後に、本リサーチペーパーの執筆にあたっては、指導教授の城山英明先生、口述試験委員の鈴木一人先生から多くのご助言をいただいた。また、長年 ITU 等で日本代表として活躍された NTT ドコモの橋本明様にはリサーチペーパーの構想段階から完成まで多大なご支援とご指導をいただいた。ここに改めて深く感謝申し上げたい。

付録

付表 1 無線通信規則で定められる無線業務

Fixed service	固定業務
Fixed-satellite service	固定衛星業務
Broadcasting service	放送業務
Broadcasting-satellite service	放送衛星業務
Mobile service	移動業務
Land mobile service	陸上移動業務
Maritime mobile service	海上移動業務
Aeronautical mobile service	航空移動業務
Mobile-satellite service	移動衛星業務
Maritime mobile-satellite service	海上移動衛星業務
Aeronautical mobile service	航空移動衛星業務
Radiodetermination service	無線測位業務
Radionavigation service	無線航行業務
Maritime radionavigation service	海上無線航行業務
Aeronautical radionavigation service	航空無線航行業務
Radiolocation-satellite service	無線標定業務
Radiodetermination-satellite service	無線測位衛星業務
Radionavigation-satellite service	無線航行衛星業務
Maritime radionavigation-satellite service	海上無線航行衛星業務
Aeronautical radionavigation-satellite service	航空無線航行衛星業務
Radiolocation-satellite service	無線標定衛星業務
Amateur service	アマチュア業務
Amateur-satellite service	アマチュア衛星業務
Inter-satellite service	衛星間業務
Earth explanation-satellite service	地球探査衛星業務
Space research service	宇宙研究業務
Space operation service	宇宙運用業務
Meteorological aid service	気象援助業務
Meteorological-satellite service	気象衛星業務
Standard frequency and time signal service	標準周波数及び時間信号業務
Radio astronomy service	電波天文業務

参照：無線通信の国際標準化（橋本、日本 ITU 協会、2014）

参考文献

- 新博行（2016）「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、日本 ITU 協会、21-25、（https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2016/05/2016_06-03-spotWRC19.pdf）2020年10月22日閲覧。
- 新博行・碓氷己・立木将義・橋本明（2015）「2015年ITU世界無線通信会議（WRC-15）報告－携帯電話周波数の標準化－」『NTT DOCOMO テクニカルジャーナル』Vol.24No.1、NTT ドコモ、63-71（https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol24_1/vol24_1_011jp.pdf）2020年10月21日閲覧。
- 五十嵐大和（2014）「第3世代携帯電話の普及で社会はどう変わったか」『電子情報通信学会 通信サイエティマガジン』8巻2号、電子情報通信学会、86-90、（https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/8/2/8_86/_pdf/-char/ja）2020年10月26日閲覧。
- 石田義博（1992）「移動通信の今後－WARC'92の結果を踏まえて」『電子情報通信学会誌』75巻10号、電子情報通信学会、1033-1037。
- 伊藤裕紀・坂本信樹・新博行（2020）「2019年ITU無線通信総会（RA-19）、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、NTT ドコモ、42-47、（https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol28_1/vol28_1_007jp.pdf）2020年10月22日閲覧。
- 植田由美・橋本明・谷田尚子・丹野元博（2012）「RA-12およびWRC-12報告」『NTT DOCOMO テクニカルジャーナル』Vol.20 No.3、NTT ドコモ、73-78、（https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol20_3/vol20_3_073jp.pdf）2020年10月21日閲覧。
- 歌野孝法（2007）「携帯電話の進化とインパクト」『電子情報通信学会誌』90巻5号、電子情報通信学会、350-356。
- ト部周二・長谷川祥典・宮崎正夫（2001）「次世代携帯電話方式（2.5G/3G/4G）の動向」『シャープ技報』第81号、シャープ研究開発本部、5-10、（<https://corporate.jp.sharp/rd/journal-81/pdf/81-02.pdf>）2020年10月27日閲覧。
- 江藤学、他（2016）『標準化教本－世界をつなげる標準化の知識』日本規格協会。
- 川濱昇・大橋弘・玉田康成（2010）『モバイル産業論 その発展と競争政策』東京大学出版会。
- 北尾光司郎・新博行（2017）「ITU-RにおけるIMT-2020無線インターフェースの標準化動向」『NTT DOCOMO テクニカルジャーナル』Vol.25 No.3、NTT ドコモ、50-58、（https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol25_3/vol25_3_008jp.pdf）2020年11月5日閲覧。
- 篠永英之（2020）「第5世代移動通信システム（5G）の世界」『工業技術』42号、東洋大学工業技術研究所、26-30。
- 総務省「携帯電話・PHSの加入契約者数の推移」『情報通信統計データベース』、（<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/new/index.html>）、2020年11月2日閲覧。
- 総務省「国際電気通信連合（ITU）」『世界情報通信事情』、（https://www.soumu.go.jp/g-ict/international_organization/itu/）2020年11月9日閲覧。

総務省「第1部第1節 デジタル経済史としての平成時代を振り返る」『令和元年版 情報通信白書』、
(<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd111110.html>) 2020年10月26日閲覧。

総務省「第1部第1節 新たな価値を創出する移動通信システム」『令和2年版 情報通信白書』、
(<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd111210.html>)、2020年11月14日閲覧。

総務省「第1部第4節 5Gが促す産業のワイヤレス化」『令和2年版 情報通信白書』、
(<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd124420.html>) 2020年11月24日閲覧。

総務省(2021)「国際電気通信連合 (ITU) における IMT-2020 無線インタフェース勧告案の承認」
『報道資料 令和3年2月5日』、(https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000494.html) 2021年3月1日閲覧。

田中征治・橋本明(2007)『我が国の移動体通信サービスの発展に関する歴史的考察』NTTドコモ。
田中正躬(2017)『国際標準の考え方 グローバル時代への新しい指針』東京大学出版会。
新田隆夫(2016)「2015年世界無線通信会議 (WRC-15) の結果概要」『ITU ジャーナル』Vol.46 No.5、日本 ITU 協会、7-12、(https://www.ituaj.jp/wp-content/uploads/2016/04/2016_05-02-topicsWRC15.pdf) 2020年10月21日閲覧。

橋本明(2014)『無線通信の国際標準化』日本 ITU 協会。
橋本明(2020)『「電波」の世界でグローバル社会と向き合うー無線通信の国際標準化への取り組みー』(NPO 国際人材創出支援センター第91回講演会配布資料)。
橋本明・吉野仁、他(2004)「ITU無線通信総会 (RA-03) ,ITU世界無線通信会議 (WRC-03) 報告」
『NTT DoCoMo テクニカルジャーナル』Vol.11 No.4、NTTドコモ、42-47、
(https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol11_4/vol11_4_042jp.pdf) 2020年10月20日閲覧。

秦正治・渡辺文夫・佐藤考平、他(2014)「移動通信の国際標準化よもやま話」『電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン』8巻2号、電子情報通信学会、95-105、
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/8/2/8_95/_pdf) 2020年10月23日閲覧。

日比慶一(2007)「次世代携帯電話の国際標準化動向」『シャープ技報』第95号、シャープ研究開発本部、9-15、(https://corporate.jp.sharp/rd/30/pdf/95_03.pdf) 2020年10月28日閲覧。

本多美雄(2015)「5G 移動通信システムの標準化プロセスと周波数」『赤門マネジメント・レビュー』14巻3号、159-168、(https://www.jstage.jst.go.jp/article/amr/14/3/14_140303/_pdf/-char/ja) 2020年11月5日閲覧。

松村明「標準」『デジタル大辞泉』小学館、2020年10月16日閲覧。
松村明「標準化」『デジタル大辞泉』小学館、2020年10月16日閲覧。

丸山弘之・古川憲志(1998)「ITU世界無線通信会議 (WRC-97) に出席して」『NTT DoCoMo テクニカルジャーナル』Vol.6 No.1、NTTドコモ、48-50、
(https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol6_1/vol6_1_048jp.pdf) 2020年10月19日閲覧。

- 吉田進・佐藤孝平・中村武宏（2018）「移動通信最新動向－情報通信に何が起きているか－」『電子情報通信学会誌』101 巻 11 号、電子情報通信学会、1046-1051、
(https://www.journal.ieice.org/bin/pdf_link.php?fname=k101_11_1046&lang=J&year=2018) 2020 年 11 月 5 日閲覧。
- 吉野仁・村上伸一郎（2000）「ITU 世界無線通信会議（WRC-2000）報告」『NTT DoCoMo テクニカルジャーナル』Vol.8 No.3、NTT ドコモ、76-85、
(https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol8_3/vol8_3_076jp.pdf) 2020 年 10 月 19 日閲覧。
- 吉野仁・新博行・碓琢己・橋本明（2008）「IMT-2000 高度化とその後継システム（IMT-Advanced）標準化状況－2007 年 ITU-R 世界無線通信会議（WRC-07）報告－」『NTT DoCoMo テクニカルジャーナル』Vol.16 No.1、NTT ドコモ、61-66、
(https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol16_1/vol16_1_061jp.pdf) 2020 年 10 月 20 日閲覧。
- ITU, Final Acts WARC-92 (Malaga-Torremolinos, 1992),
(<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.122.43.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 28 日閲覧。
- ITU, Final Acts WRC-2000 (Istanbul, 2000),
(<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.126.43.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 28 日閲覧。
- ITU, World Radiocommunication Conference 2007, ITU News, No.8, 2007,
(<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.132.57.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 29 日閲覧。
- ITU, Final Acts WRC-07 (Geneva, 2007),
(<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.132.43.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 29 日閲覧。
- ITU, World Radiocommunication Conference 2012, ITU News, No.1, 2012,
(<https://www.itu.int/bibar/ITUJournal/DocLibrary/ITU011-2012-01-en.pdf>) 2020 年 10 月 29 日閲覧。
- ITU, Final Acts WRC-12 (Geneva, 2012),
(<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.133.43.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 29 日閲覧。
- ITU, World Radiocommunication Conference 2015, ITU News, No.5, 2015,
(<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.297.57.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 29 日閲覧。
- ITU, Final Acts WRC-15 (Geneva, 2015),
(<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.297.43.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 29 日閲覧。
- ITU, Forging paths to 5G, ITU News Magazine, No.2, 2017,
(https://www.itu.int/en/itu/news/Documents/2017/2017-02/2017_ITUNews02-en.pdf) 2020 年 10 月 30 日閲覧。

ITU, Regional preparation for WRC-19, (<https://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/2019/Pages/reg-prep.aspx#apt>) 2020 年 11 月 15 日閱覽.

ITU, Key outcomes of the World Radiocommunication Conference 2019, ITU News Magazine, No.6, 2019, (<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.442.57.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 30 日閱覽.

ITU, Final Acts WRC-19 (Sharm El-Sheikh, 2019), (<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.442.43.en.100.pdf>) 2020 年 10 月 30 日閱覽.

ITU, Radio Regulations, edition of 2020, (<https://www.itu.int/en/history/Pages/RadioRegulationsA.aspx?reg=1.44>) 2020 年 11 月 15 日閱覽.

3GPP, About 3GPP Home, (<https://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>) 2020 年 10 月 23 日閱覽.