

2.6.2 無線・モバイル通信

(1) 本領域の定義

無線通信とは、送受信機間をケーブルで接続することなく、電波を媒体として利用し、通信回線を構築する通信形態である。また移動する端末が無線通信を行う形態をモバイル通信と呼ぶ。無線・モバイル通信システムは、現在、スマートフォン等への情報配信サービスの提供に加えて、われわれの生活空間を支えるあらゆるシステムを接続し、そこに、センシング、AI、ビッグデータ解析などの情報技術を融合することで、実/サイバー空間の連携に基づく社会空間を構築するためのプラットフォームへと進化し始めている。本領域は、プラットフォームとしての無線・モバイル通信を支える技術を扱う。

(2) キーワード

5G、6G、V2X、NTN、mMIMO、実/サイバー空間の連携、ミリ波帯、THz帯

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

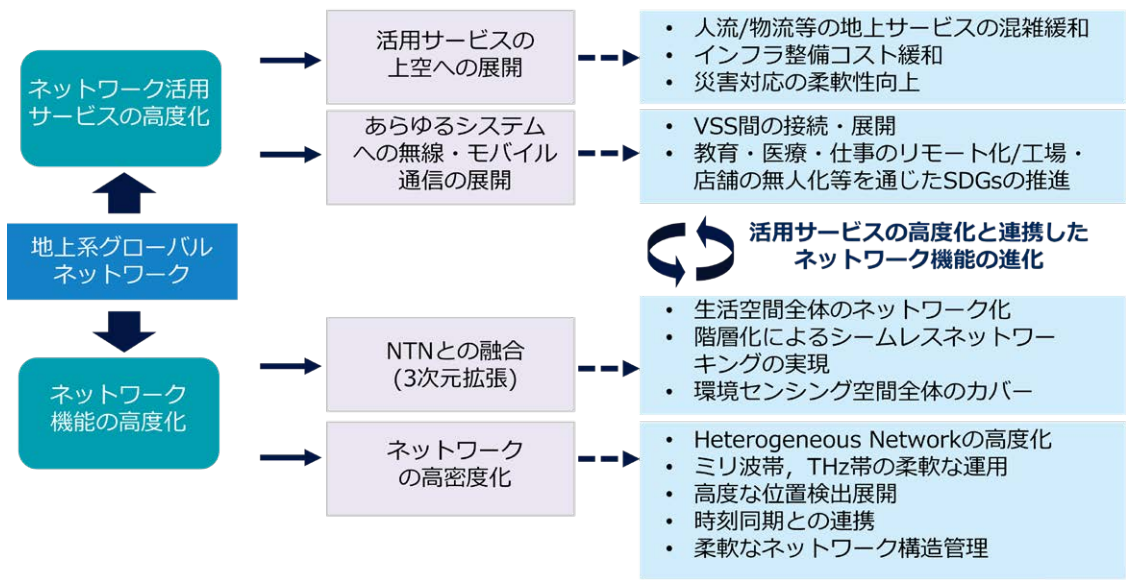


図2-6-3 無線・モバイル通信分野におけるこれからの展開

無線通信技術は、有線によって提供されている通信形態を無線でも実現すべく、有線通信を追いかける形で技術開発が行われてきた。しかしながら第5世代の携帯電話システム（5G）以降は、有線通信に匹敵する通信機能のサポートが可能となり、さらに無線通信でなければ実現できない、コードレス化やモビリティ機能の付与といったメリットがクローズアップされることで、5Gは、それまで携帯電話には接続されていなかった自動車、列車、工場機器などのシステム（これらをVSS（Vertical Sector System）と呼ぶ）を接続し、被接続システム自体を進化させるためのプラットフォームへと進化し始めた。第6世代の携帯電話システム（6G）ではその流れがさらに加速されると共に、VSS間の接続や連携、教育・医療・仕事のリモート化/工場・店舗の無人化等を通じてSDGsが目標としている、経済進展、環境保全、社会課題解決といった3種類の目標群を同時に達成するためのプラットフォームへと進化しようとしている。

図2-6-3に、無線・モバイル通信分野において今後期待されている展開を示す。地上系で展開されている5Gに対して、6Gの展開は、ネットワーク機能の高度化と、ネットワーク活用サービスの高度化という二つの

流れで構成される。ネットワーク機能の高度化としては、低軌道周回衛星（LEO SAT：Low Earth Orbit SATellite）やHAPS（High Altitude Platform System）といった非地上ネットワーク（NTN：Non Terrestrial Network）と地上ネットワークとの連携により、ネットワークを3次元化し、さらにその構成を階層化することで、シームレスでロバストなネットワークを実現し、3次元空間での実/仮想空間の連携を実現しようとしている¹⁾。LEO SATにより、地上ネットワークが破損した地域において速やかに情報ネットワークの復旧が可能であることは、既に示されている通りである。また、ミリ波、THz（Terahertz）波は非常に広い帯域が利用できるため、他の周波数帯と系統的に連携させることで提供エリアの拡大や高密度化を図り、さらに高度な位置検出や時刻同期によって、空間の状態や時刻に応じた緻密かつ柔軟なネットワーク制御を行うことが期待されている²⁾。

一方、5G以降、ネットワーク活用サービスの高度化を、ネットワーク機能の高度化と同時に進展させることの必要性も生まれてきた。VSSの接続機能をさらに進化させると共に、ネットワークの上空利用と同期して、上空移動を利用した人流/物流サービスも想定されている¹⁾。上空での人流/物流サービスでは、物理的な移動経路のインフラを構築する必要はないため、地上運輸サービスの混雑緩和、地上より低コストでの運行システムの実現、さらに柔軟な災害対応の実現などが期待される。さらにネットワーク機能とネットワーク活用サービスの連携が、新たなサービスや機能の創出へ進むことも期待される。上空移動等を含むネットワーク活用サービスにおいては、これまでの地上系ネットワークの信頼性・品質に対する要求条件と比較して、特にネットワークの瞬断などの観点で格段に厳しくなる。

このように、無線・モバイル通信技術は、これまでの情報配信サービスの高度化という流れから、われわれの生活空間内のあらゆるものを接続し、そこに実/仮想空間の融合を導入することで、われわれの社会空間に大きな柔軟性と利便性をもたらすためのプラットフォームとして進化し始めている。その意味で、無線・モバイル通信は、革新的かつ大きな変化の時期にあり、社会的な要請も大きい重要な研究分野であると言える。

【研究開発の動向】

ネットワーク機能の高度化とネットワークを活用するサービスの高度化を同時に考えなくてはならないという状況にあっても、まず抜本的に開発しなければならないのは無線伝送/アクセス技術であり、伝送速度の高速化、伝送における低遅延化、同時多数接続数の増大を逐次拡大していくための技術を貪欲に開発することが必要となる。さらにその技術開発にあたっては、周波数利用効率とエネルギー利用効率の向上を満足させるべき前提条件として開発する必要がある。この原則を踏まえた上で、無線通信の活用領域拡大のため、ミリ波やTHz波といった、より高い周波数帯の利用に向けた利用とネットワークの3次元空間への拡張という方向へと進むことが重要であり、これが6Gに向けた技術開発の基本的考え方となっている。

6Gシステムの開発においては、伝送速度100 Gbit/s程度、1 ms以下のE2E（End-to-End）での遅延、1km²あたり107個以上の同時接続が要求条件として設定されようとしている³⁾。またこれら要求条件は、システム全体での品質やE2Eでの品質といった、ネットワークまで含んだ条件となっているため、エッジサーバー/コントロールや、SDN（Software Defined Network）、ネットワークスライシングといったネットワークの動的制御をも含んだ内容となっていることも5G以降の新たな動きである。

周波数利用効率の向上を踏まえた伝送速度の高速化は、変調多値数の増加、CA（Carrier Aggregation）の適用に加えて、mMIMO（massive Multi-Input, Multi-Output）による空間多重技術がその中心となっている。また伝送速度の向上においては、サポートされる伝送速度に比例して受信電力を高める必要があるものの、送信電力の増加はバッテリー駆動の端末では限界があるため、mMIMOで利用されるアレイアンテナのアンテナエレメント数の増大によるアンテナ利得の向上が、伝送速度向上技術の中核を担っている。さらに5Gまでは、伝搬利得の変動や干渉耐性強化に柔軟かつ効率的に対処するため、無線リソースマネジメントを中心として各種適応制御を統合化することで、各世代の無線・モバイル通信を体系化してきた。6Gでは、そこに、IRS（Intelligent Reflecting Surface）⁴⁾や中継機能の動的活用による伝搬経路制御技術を導入す

ることで、この体系をより拡大・強化すると共に、利用スペクトルをミリ波帯やTHz帯に拡大し、無線アクセス技術の適用性の拡大と柔軟性の強化を図ろうとしている。

なお以上の技術的課題解決の流れにおいて、特に6Gの段階になると、高速伝送においては端末の最大送信電力の限界、遅延においては電磁波の伝搬速度（光の伝送速度）を超えることのできない制約条件として課せられることに対して注意が必要である。

ミリ波帯やTHz帯の活用は、今後のユーザー伝送速度の継続的高速化において必要不可欠である。通常搬送周波数に対する帯域幅（比帯域）は、デバイスの能力から判断して数%程度が適当とされている。10 Gbit/s以上の高速伝送速度を実現する場合には数100 MHz以上の連続無線帯域が必要であるため、5Gにおいてミリ波の適用が開始された。同様に、6Gにおいて期待されている100 Gbit/s以上の伝送では、さらに周波数の高いTHz帯の活用が不可欠になろうとしている。現時点では、ミリ波利用においても実用上の課題は多数存在する状態ではあるが、ミリ波帯を使いこなさなければ、THz帯の活用は不可能であるので、今後、ミリ波帯を実システムで使いこなすと同時に、THz帯の利用に向けた積極的技術開発を進めるべきであろう。特にミリ波伝送は、高速伝送が必要なサービスに適用するのが適当であるが、ミリ波伝送が利用できるエリアは狭く、スポット的にしか設定できないので、ユーザー端末の移動パターン等に配慮したダウンロードスケジューリングを実施し、効率的なミリ波活用と、それによるシステム全体のトラフィックの平滑化を図る技術が求められる。

第4世代の携帯電話システム（4G）以降、携帯電話以外のシステムへ携帯電話技術を適用する流れも生まれた。4Gは、海外では警察や消防の通信システムに適用され、日本では業務用移動通信に用いられるMCA（Multi-Channel Access）無線等のシステムに適用されている。また5Gは、日本において自営通信に対しての展開（ローカル5G）が始まっている。ローカル5Gはケーブルテレビのアクセスネットワークとしても利用されようとしており、その意味では、固定回線の無線化という流れも始まっている。一方海外では、プライベート5Gが展開されている。プライベート5Gは、携帯電話のオペレーターが、特定のユーザーに専用の5Gネットワークエリアを提供するものであり、公衆通信サービスの一環である点がローカル5Gとの違いである。このように、携帯電話技術は公衆通信以外にも展開され始め、今後いっそう拡大していくであろうと期待される。

6Gで想定されている目標において5Gと最も異なっている点は、シームレスかつ高い信頼性を有する通信回線品質確保が必須になる点にある。シームレスなエリア構築は、論理的には、隙間のない電波空間を構築することが必要となるが、現実的にそれは不可能である。そのため、5G以降、必要な場所に、必要なタイミングで常に通信回線を動的に設定できることを持って、カバーエリアがシームレスに確保されていると判断している。5Gにおけるヘテロジニアスネットワーク、ビームフォーミング/ビームトラッキング、仮想セル化は、いずれも、この考え方に基づいたエリアカバーを実現するために適用される技術である。

特にシームレスかつ高信頼な回線の実現が求められているのはNTNである¹⁾。NTNが地上ネットワークと一体で運用される中で、地上ネットワークとNTNとが相互補完的に連携するという流れにおいては、NTNの回線品質の信頼性は地上ネットワークと同等で問題はない。ただ、NTNは、上空の人流/物流サービスのための通信回線の提供に対する有力な無線リンク提供手段としても期待されており、その場合には、ネットワークの瞬断や通信品質変動に対して地上ネットワークより厳しい条件が課せられる。LEO SAT、HAPS、地上ネットワークによって多層ネットワークを構成し、それぞれ独立に運用しつつ相互連携を実現することで、階層構造を活用したダイバーシチ運用が可能となり、無線リンクの通信品質やロバスト性の向上、瞬断確率が極めて低いシームレス化の実現が期待される。また、NTNを利用することで地上ネットワークにおける中継に伴う攻撃や脆弱性等の脅威が低減され、セキュリティの高いE2Eでの回線設定が可能となることや、一定の遅延時間内の伝送を柔軟に実現できるようになることが期待されている。

無線・モバイル通信では電波を利用しており、電波は貴重な人類共有の資源であるため、ITU-R（International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector）で策定される無線スペクトル

2.6

俯瞰区分と研究開発領域 通信・ネットワーク

利用に関する国際的合意のもとで、各国の電波主管庁が無線スペクトルを監理している⁷⁾。また携帯電話の標準化では、ITU-Rにおいて利用されるスペクトルと要求条件が規定され、その要求条件を満足する携帯電話の詳細規格の提案がITU-Rにおいて募集される。3GPP（Third Generation Partnership Project）をはじめとする標準化団体は、それに応じて詳細規格を策定し、ITU-Rに提案する。ITU-Rでは提案された詳細規格が要求条件を満たしているかを評価し、満足していると判断されると、ITU-R標準となる。なお、標準規格の実現においてその適用が必須の知財は、詳細規格策定時における知財所有者の申請に基づき、必須特許として公開される。必須特許は、詳細規格を策定する標準化団体が規定する。携帯電話の詳細規格としては、3GPPで策定されたものが利用されるケースがほとんどである。

ただ、5G以降、携帯電話ネットワークはVSSの情報交換機能として利用されることになるため、標準化に先立ってユースケースの想定が必要となる。そのため、標準化に先立つ数年前からグローバルフォーラムが構成され、多数のベンダーやキャリアが集い、ユースケースや技術トレンドを議論し、その結果が白書等で公開されている。グローバルフォーラムの議論は市場展開の約10年前、3GPPなどでの標準規格の策定は市場展開の約5年前からスタートしているが、グローバルフォーラムの議論は、商用化後の市場を構築する流れにつながっていることから、グローバルフォーラムに参加している各社は、そこでのユースケースの想定で協力し、確度の高いユースケースを構築しつつ、それをベースに、自社のビジネス戦略を構築している。そのビジネス戦略において必要となる新規技術があれば、それが必須特許に関係する技術となる。そのためグローバルフォーラムには、あらゆる分野の企業が参加している。さらに、グローバルフォーラムのユースケースの議論は、各国の技術開発プロジェクトや3GPPのユースケースの議論でも参照される。結果として、各世代に関する3GPPの議論の開始タイミングは、各世代の議論の序盤ではなく、すでに中盤となっている。6G以降の世界ではグローバルフォーラムでの活動への積極的参加が不可欠である。

〔論文や特許の動向〕

本領域では、論文数・特許数共に大きく増加しており、活発に研究開発が進められている。論文動向に関しては、日本の論文数は増加しているものの低調である。一方、欧州が堅調に増加している中、中国の台頭は目覚ましく、2015年以降は欧州を抜いてトップとなっている。企業との共著は欧州・日本は割合が高く、米国・中国は比較的低い。特許動向に関しては、中国は特許ファミリー件数シェアでトップを維持しつつ数を伸ばしており、2020年代に入って全体件数の40%を超えている。一方、米国の特許ファミリー件数シェアは横ばい、日本や韓国は欧州各国より特許ファミリー件数シェアは高いものの低下傾向にある。中国は、Patent Asset Indexシェアについてもトップの米国に迫る勢いとなっている。

（4）注目動向

〔新展開・技術トピックス〕

THz帯の活用技術

THz帯の活用に関する技術として、現在、RF帯の発信機、増幅器、アンテナなどのデバイス開発が精力的に行われている。この分野では日本も世界最先端を走っている。ただし6Gでの標準化や商用化でイニシアチブをとるには、ユースケースを想定したデバイスの実現と、一定のエリア内で電波を回り込ませることでTHz帯ゾーンを構成するシステム化技術の確立が必要である。また、ミリ波の場合と同様、THz帯においてもIRSによる伝搬経路制御技術の開発はホットトピックスである。ただしTHz帯の方が伝搬損失は大きいので、面的にサービスエリアを展開するためには、システムレベルでのエリア構築技術が不可欠となっている。

NTNにおける衛星間中継

光、THz帯、ミリ波帯は、地上に近い対流圏では変動しやすく、伝搬損失が大きい。上空の大気の密度が薄い領域では、伝搬損失は安定している¹⁾。このため、NTNでは、衛星間中継やHAPS間中継によってバツ

クボーンネットワークを構成することが有効であり、NTNが地上ネットワークを補完する有力な技術になると期待されるゆえんとなっている。これまでにNTNにおける衛星間の通信に関するさまざまな研究開発や実用展開が進められており、StarlinkではLEO SAT 間中継に光空間伝送を用いることが検討されている。光空間伝送は、超高速伝送を小型かつ省電力の装置によって実現可能であり、軽量の通信設備が求められる衛星間やHAPS間の通信回線への適用に大きな期待が集まっている。

自動運転とV2X

モバイル通信分野で近年特に着目されているのは、車の自動運転である。特に、過疎地における公共交通手段に自動運転を適用することに大きな期待が集まっている。自動運転によって、ドライバーの確保を前提としてシステムを構築するというこれまでの運輸システム構築の制約条件が緩和される。結果として、サービスエリア設定やスケジューリングに対する自由度が大幅に増し、運輸システムを経済的に高い効率で運用できる可能性がある。さらに、自動運転は上空人流/物流サービスでも展開される可能性が高いが、上空を利用する際には道路は不要であり、法的整備が整えば、地上輸送路より低コストでの輸送実現も期待される。

自動運転において、自動車が周辺環境を自ら認識することは必要であるが、自らの視界の範囲外で起きている、例えば交差点での、進行方向に対して直角方向から近づく他の自動車の存在などは、ネットワーク経由でなければ情報は取得できない。そのため、自動運転においては、V2V (Vehicular to Vehicular)、V2I (Vehicular to Infrastructure)、V2P (Vehicular to Pedestrian)、V2N (Vehicular to Network) という4種類のインターフェースが規定され、これらは総称してV2X (Vehicular to Everything) と呼ばれている⁵⁾。V2Vは、ごく近傍で視界の届かない範囲の状況把握に有効であるのに対して、V2Iは、信号などの、周辺に存在する交通関係のインフラとの情報交換に利用される。V2Pは車と人との通信であり、人が有する携帯電話との通信を介して接近する歩行者の検知が可能である。携帯電話ではGPSによって位置情報の把握が可能であるため、これにより物陰から飛び出す人を検知できる可能性がある。V2Nは、自動車と携帯電話ネットワークとの通信であり、特に、自動運転のための情報通信プラットフォームとして開発されているダイナミックマップ⁶⁾との連携に有効である。自動車の安全走行のためには、できるだけ多くの情報を効率的に取得し、より高い安全性の下で自動車の速度や移動方向の制御を行う必要があり、こうした要求を満たすべくV2Xを活用するさまざまな研究開発が進められている。

[注目すべき国外のプロジェクト]

グローバルフォーラムは、各地で開催され、市場形成の青写真がグローバルフォーラムにおける参加者の協力によって策定される一方、各国や地域の国家プロジェクトでは、その国や地域に含まれる企業の技術力を高めるために、国や地域がスポンサーとなって推進している。ただしグローバルベンダーは、多数の国の国家プロジェクトに参加している場合も多い。

大規模にグローバルフォーラムが展開されているのは欧州であり、その中でも2018年にフィンランドのオウル大学が中心となって設立された6G Flagship⁸⁾は、最も大規模で多くの文書を出力している。そこには世界各地から多数の技術者が参加し、多数の白書を出力したほか、それをベースに、オウル大学で展開されている6Genesisプロジェクトや、EU (European Union) におけるHexa-Xプロジェクトが展開されている。

米国では、Next G Allianceが立ち上げられ、2022年時点で北米が6G研究開発における世界的主導権を発揮するためのRoadmap to 6Gが策定された。中国は、6G技術研究開発推進作業部会が6Gに関する白書を発表すると共に、6G技術研究開発プロジェクトを開始している。

各国の国家プロジェクトに対する6Gへの投資額は、5Gの場合よりかなり巨大になっている。これは、6Gが5G以上に高機能なグローバルプラットフォームであること、国家プロジェクトは、本質的に6Gに関係する国内企業の競争力を強化するのが目的であること、さらに技術開発競争が、国力の源泉になっていることが関係している。いずれにしても、5G以降の携帯電話ネットワークがVSSへの接続へと拡大されたことで、組

組織の垣根を越えたビジネス展開が期待されるなど、単純に自由なグローバル経済の原則に基づいた競争のみがビジネスの潮流ではなくなっている。また、これまでの自由なグローバル経済は、災害やCOVID-19による工場閉鎖の影響などで部品供給が止まるといった事象に対しては脆弱であったという反省もあり、今後は、経済原則に基づいて展開されていたグローバル戦略に対して、経済原則以外のさまざまな制約条件が課され、それがグローバル経済の新たな形を構成していくことになる予想される。

（5）科学技術的課題

無線・モバイル通信分野を支える技術分野としては、1）周波数利用効率を向上させる伝送速度・伝送効率の向上技術、2）伝送品質を安定化させるための、スペクトル利用や伝搬路構成の動的制御を含む、システム全体における適応処理技術、3）デバイスの進化を含む新たな無線周波数帯の利用技術、に大別される。これら技術における課題を解決することは、これからも重要であり、順次解決されていくであろう。ただしその際、経済性が重視されると共に、周波数利用効率とエネルギーの利用効率を共に向上できる技術でることが必須条項として課せられる。

一方、無線・モバイル通信ネットワークがあらゆるシステムに接続されることに伴い、検討すべき事項がある。通常、通信品質は、安定的にユーザーリンクが確立している際の通信品質を意味することが多いが、モバイル通信、特に上空利用も含めたモバイル通信では、それに加えて、瞬断が発生しないこと（瞬断発生確率として 10^{-7} ～ 10^{-9} 等の規定あり）が求められる¹⁾。一方、地上系の有線ネットワークにおける通信リンクの遮断は、電源が落ちる、あるいは通信システムが破損するなどで発生し、めったに発生するものではないものの、いったん発生すると復旧までには時間がかかる場合が多い。そのため、無線・有線を含めたEnd-to-Endの通信における通信の遮断期間を短くするには、別のシステムによってシームレスにユーザーリンクの確立が図られることが必要である。特に上空での運輸サービスではその要求は厳しい。こうした厳しい要求に応えるには、同種システムで、異なるオペレーターによる通信リンクのオーバレイの実現や、地上ネットワークとNTNとの異種システム間で多層ネットワークを構成するといった技術により、無線リンクを多層化することが必要になる。さらに地上ネットワークにおける一部の地域で不具合が発生した場合、その影響を拡散させない仕組みの強化や、その地域の地上ネットワークを、例えば衛星回線などの他のネットワークで補完する相互補完体制の確立なども必要である。加えて、上空の運輸サービスでは、移動体において、自律的に運航できる機能も付加し、通信回線が切れても、規定の場所まで移動する機能を有することも必要である。

今後あらゆるシステムが無線・モバイルネットワークに接続されるシステムが増えるにつれて、ネットワークが利用できなくなるもののリスクは格段に高くなる。被接続システムの性能がネットワーキングによって向上することは好ましいものの、ある被接続システムの故障が、ネットワーク経由で他のシステム動作に影響を及ぼす、あるいはネットワークで発生した異常事態の影響が被接続システムの動作に大きな影響を与えるといったことは避けなければならない。通信ネットワークによる性能相互補完に加えて、被接続システムの自律動作による運用ロバスト性の強化等、ネットワーク故障時の動作をも含めたシステム・技術開発が必要である。

（6）その他の課題

無線・モバイル通信があらゆるシステムに接続され、6Gの時代には被接続システム同士が連携することでSDGsの達成に貢献するという流れは、6Gの技術開発において最上位に掲げられている目標であり、それを達成することに対する責任は大きい。このことは、情報通信ネットワークが担っている役割が、単に情報交換を支えるだけではなく、社会全体を支えるという重大な任務を担っていると自覚する必要があることを意味している。そのためには、情報通信技術者が、被接続システムが果たそうとしている役割を認識し、被接続システムの動作が情報通信ネットワークとどのように関わるのか、あるいは関係しないようにするのも含めて検討すべきであろう。また、被接続システムとネットワークのインターフェースにおいてどのように責任分担をするのかなどの検討も必要である。

2.6

俯瞰区分と研究開発領域 通信・ネットワーク

本領域は、特定重要技術20分野の一つ「高度情報通信・ネットワーク技術」に位置付けられており、経済安全保障の視点が重要になってきている。光通信技術と同様に、超大容量・超低遅延・超低消費電力のデータ伝送が可能となることで、全く新しいサービスが生み出される可能性があり、経済成長や陣取りの糧として期待値が大きい。これらはさまざまな用途システムの共通技術であり、ICTインフラとして利用されるという点で汎用性が高く、またインターネットをはじめとするネットワークは社会基盤として浸透しており、公共性が高いことから利便性・持続性・安全性への影響も非常に大きい。さらに、直接的な攻撃力および治安維持能力を有するわけではないものの、軍事応用を含むネットワークサービスの基盤となり得ることから、取り扱いには注意を要する。サプライチェーンという観点では、現状、要素技術のオープン化は進んでいるものの、モバイルデバイスの製造を同志国以外にもある程度依存せざるを得ない状況であり、日本国内あるいは同志国での製造比率を高めるといった自律性の向上が望まれる。

（7）国際比較

表1に、6Gの時代に向けた各国の技術トレンドを示す。先に述べたように、無線・モバイル通信分野の中核に位置する携帯電話においては、10年で世代交代を行うという流れが定着し、世代交代と共に携帯電話の役割が革新的に変化することを前提に、世代交代の約10年前からグローバルフォーラムにおける議論が開始され、その中、市場の青写真が形成され、その後、標準化を含む技術開発を経て実際の市場が形成されている。一方、各社は、グローバルフォーラムの中で描かれた市場の青写真を念頭に、独自戦略に基づいてビジネスを進展させている。その間、各国は、自国内の産業の競争力を強化するための国家プロジェクトを展開している。このことは、情報通信ネットワークの市場形成が、これまで日本が得意としてきた、「技術を開発し、それがグローバルな展開も含めて市場展開される」という形ではなく、「市場をグローバルフォーラムで議論し、その流れを業界全体が共有しながら、各社は独自のビジネス戦略を推進し、その中で必要な技術を適宜開発する」、という形に変化したことを意味している。そのため、ここではどの国がどの技術開発において進展しているかという視点ではなく、どの国や地域が、グローバルフォーラムを構成することでの、情報通信ネットワーク構築の議論でリーダーシップをとっているかを中心に議論することとする。

各国の企業が、いろいろなグローバルフォーラムに参加していることもあって、国別で見るとどの国も活発な技術開発がなされていると言える。一方、LEO SATの開発では米国が、衛星開発から衛星打ち上げまでを短周期で実現できる仕組みを有しており、現時点で、その流れをLEO SATの開発から打ち上げまでの流れにすでに適用していることもあり、かなり先行していると言える。6GにおけるNTNの必要性が指摘される中で、衛星分野については米国の優位性は当分続くと考えられる。

基礎技術開発では、どの国にも、THz帯のデバイスや伝送方式の検討に積極的である。また、国家プロジェクトの位置付けは、特に世界各国で見ると、国が技術を支援するというより、国が、国内の企業がこの分野でリーダーシップをとるための技術開発を刺激するためのものと考えるのが適当である。その意味で、国家プロジェクトに参画した企業等のグループによる知財獲得が、今後より活性化していくようにも思える。

日本においては、総務省がB5G推進コンソーシアムを組織し、6G FlagshipとBeyond 5G（6G）に関する協力覚書に署名するなど、6G技術開発の推進に対して積極的に動いている。さらにNICT経由での委託研究も大規模に展開している。これらによって6Gに関する日本の技術開発はかなり進展していると判断される。ただ、3GPPでの必須特許獲得では、3GPPの標準化に際して標準規格策定におけるリーダーシップをとることが必須であり、その流れはグローバルフォーラムでの寄与に関係する点に注意が必要である。

2.6

俯瞰区分と研究開発領域 通信・ネットワーク

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↗	テラヘルツ波では、テラヘルツシステム応用推進協議会で産官学での技術情報の交換が進んでいる。NICTの委託研究でも多数の研究がなされているなど、技術開発の基礎分野では実績がある。
	応用研究・開発	○	↗	Beyond 5G 推進コンソーシアムを設立した。さらにフィンランドの6G FlagshipとMoUを締結し、技術開発を推進している。 6Gに向けて、NICTからの委託研究によるプロジェクトを実施している。 O-RAN Alliance におけるネットワークのオープン化では中核メンバーとしてネットワークのオープン化を推進している。 IOWN Global Forumを設立し、国際連携に基づいた新たなネットワークキング実現を推進している。 ローカル5Gを用いた自営通信としての5Gの展開を推進している。
欧州	基礎研究	◎	↗	オウル大学等が中心となって、6G で必要になる各種技術を積極的に開発している。
	応用研究・開発	◎	↗	フィンランドのオウル大学は世界に先駆けてグローバルフォーラムを（6G Flagship）を設立し、6Gに関する多数の白書を出している。 EUは6G 関係プロジェクトとしてHexa-X プロジェクトを組織している。 6Gシステム全体としての技術開発の流れは最も充実している。
米国	基礎研究	○	→	FCCがTHz帯を実験向けに開放し、THz帯の開発が進展している。 政府は先端研究プロジェクトに3,000億ドル（4年間）投資すると表明した。
	応用研究・開発	◎	↗	Qualcomm社は、携帯電話の通信モジュールのシェアを握っており、次世代につながるデバイス開発も積極的に実施している。 LEO SAT分野で世界の先端を走っている。衛星開発から打ち上げまでを短い周期で実現させる仕組みが確立している。LEO SATでは、広帯域アクセスの実用化が開始されると共に、衛星間光リンクによる衛星コンステレーションによるバックボーンネットワーク化を推進している。
中国	基礎研究	○	↗	東南大学などが、THz帯を利用した100 Gbit/s 超の伝送実験を2022年3月に実施した。
	応用研究・開発	◎	↗	国主導の5Gネットワークの実装速度は非常に速い。3GPPにおける必須特許獲得では上位である。3GPPにおける標準化と対応付けて国内体制を整備し、3GPPにおいて主体的立場が維持できることを目指している。 6Gも含めてインフラ構築は国家主導で、速い速度で進められると思われる。
韓国	基礎研究	○	↗	LGエレクトロニクスなどがTHz帯で100mの伝送に成功した。100mの伝送は、伝搬制御を加えたエリア構築の基礎を支えるものである。
	応用研究・開発	○	↗	2020年に6G R&D推進戦略を公表した。科学技術情報通信部が特許庁と協力して、特許確保の可能性が高い技術を「標準特許戦略マップ」として発行した。 サムソンはグローバル企業として、グローバルな企業連携での技術開発など積極的に実施している。

（註1）フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

（註2）現状

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

×：活動・成果がほとんど見えていない

○：顕著な活動・成果が見えている

－：評価できない（公表する際には、表示しない）

△：顕著な活動・成果が見えていない

（註3）近年（ここ1～2年）の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

参考文献

- 1) Aygün Baltacı, et al., “A Survey of Wireless Networks for Future Aerial COMMunications (FACOM),” *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 23, no. 4 (2021) : 2833-2884., <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3103044>.
- 2) 国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) 「Beyond 5G/6G White paper : 日本語2.0版 (2022年3月)」 https://beyond5g.nict.go.jp/images/download/NICT_B5G6G_WhitePaperJP_v2_0.pdf, (2023年2月26日アクセス) .
- 3) Beyond 5G推進戦略懇談会「Beyond 5G推進戦略懇談会：提言（案）（令和2年6月）」総務省, https://www.soumu.go.jp/main_content/000694004.pdf, (2023年2月26日アクセス) .
- 4) 6G Flagship, “Publications,” University of Oulu, <https://www.6gflagship.com/publications/>, (2023年2月26日アクセス) .
- 5) 菅沼英明「ITS・自動運転の動向と今後：V2Xを中心として」『電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン』15 巻2号 (2021) : 102-108., <https://doi.org/10.1587/bplus.15.102>.
- 6) 佐藤健哉, 高田広章「ダイナミックマップ2.0 (DM2.0) の構成と設計」『電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン』15 巻2号 (2021) : 133-139., <https://doi.org/10.1587/bplus.15.133>.
- 7) 橋本明『無線通信の国際標準化』(日本ITU協会, 2014).
- 8) University of Oulu, “6G Flagship,” <https://www.6gflagship.com>, (2023年2月26日アクセス) .

2.6

俯瞰区分と研究開発領域
通信・ネットワーク