

出カマイクロ波」(HPM)兵器の本格的な研究開発に乗り出すことを明らかにしている³⁰⁴。この兵器は狙った目標に光速で到達し、命中率が高く、低コストであることがメリットとして掲げられており、戦闘機のスクランブルと比べ死傷リスクが減る利点もあるとされている。

3. 次世代ワイヤレスネットワーク (5G・6G)

(1) 技術の概要

移動通信システムは、1980年代以来、約10年ごとに発展を続けてきた(図10-2参照)。1979年に利用が開始された1G(第1世代移動通信システム)に始まり、現在では5G(第5世代移動通信システム)と呼ばれるワイヤレスネットワークが、2019年から段階的に運用されている。5Gでは、従来のネットワークより幅広い帯域の周波数を利用することで、より速く大容量のデータ通信が可能となる³⁰⁵。また、高速かつ大容量の通信を活かして、スマートシティ、VR・AR、自動運転、遠隔技術など、様々な分野における新サービスの躍進が期待されている。さらに、2030年代には6G(第6世代移動通信システム)によるさらなるシステム向上が予想される。6Gでは「超カバレッジ拡張」(自然、遠隔地域、宇宙にまで電波が及ぶ範囲を広げること)や「超多接続」(1平方キロメートルあたりの多接続を約1000万台に広げること³⁰⁶)が可能になるとされており、デジタル世界と現実世界の融合がさらに進むとされている³⁰⁷。他にも、通信による時差がほぼなくなるため、リアルタイムで電話の相手が3D投影や、ネットワークで人間の感覚を拡張する「人間拡張(Human Augmentation)」³⁰⁸。そしてそれによるロボット遠隔医療も可能となってくる。あらゆるものがネットワークにつながっている現在、次世代ワイヤレスネットワークの開発状況が及ぼす影響は多岐に渡るといえるだろう。

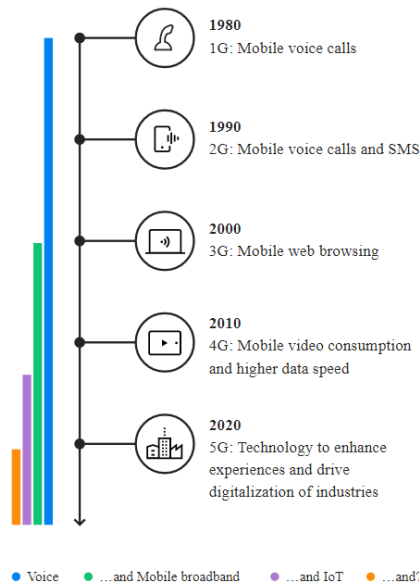
³⁰⁴ 読売新聞 「防衛省、『高出カマイクロ波』兵器を開発へ…軍用ドローンを無力化」

<https://www.yomiuri.co.jp/national/20220205-0YT1T50129/>

³⁰⁵ 周波数によっては、4Gの約100倍の通信速度を達成する。

³⁰⁶ 4Gでは約10万台、5Gでは約100万台とされる。

³⁰⁷ HITACHI 「5Gの次に来る通信規格『6G』とは？」 Retrieved from: <https://www.hitachi-solutions-create.co.jp/column/mobile/6g.html>



(図 10-2 ワイヤレスネットワーク時系列³⁰⁸⁾)

(2) 公的利用・安全保障における利用

5G・6Gなどの次世代ワイヤレスネットワークは、多様な社会インフラの基盤となり、膨大な情報のやり取りの場となるため、自国あるいは同盟国によって提供されるサービスを利用することが安全保障上望ましい。特に米国では、Huaweiを始めとする中国の5G・6Gサービスへの警戒が強く、技術競争のなかでも要となる重要な分野だとされている³⁰⁹。

(3) 民生利用

5Gは多様な分野において応用の可能性が示されており、すでに世界の一部の地域で実用化が始まっているサービスも少なくない。例としては、スマートシティ、自動運転、スポーツ観戦時のネットワークサービス向上及びサービス多様化、スポーツ実況、AR/VRを利用した没入型エンターテインメント、農業のデジタル化、リモート診療を含む遠隔医療、エネルギー資源の効率的な分配、などが挙げられる³¹⁰。5Gの利用者が世界で最も多い中国では、2019年に成都で世界初の医療用5Gネットワークが開始されている³¹¹。

³⁰⁸ U. S. Department of Homeland Security “5G/6G Wireless Networks”

<https://www.dhs.gov/science-and-technology/5g6g>

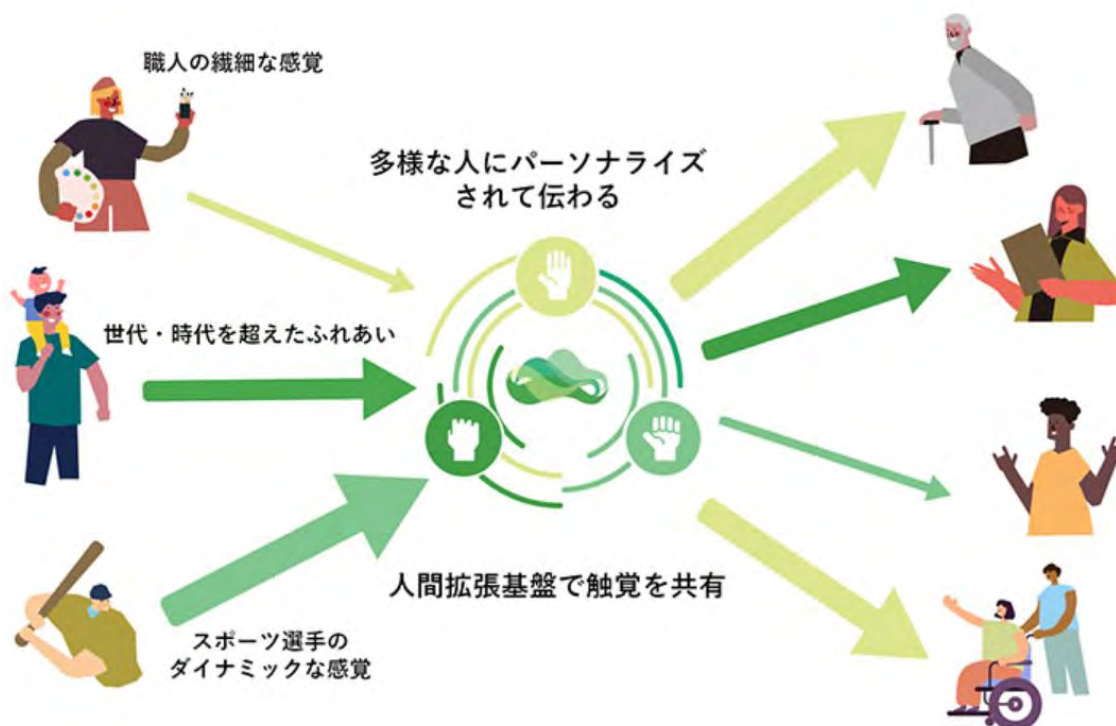
³⁰⁹ CSIS, “How 5G Will Shape Innovation and Security”

<https://www.csis.org/analysis/how-5g-will-shape-innovation-and-security>

³¹⁰ Ericsson, “5G Cases” <https://www.ericsson.com/en/5g/use-cases>

³¹¹ JETRO

6G においては人間と IoT の融合がさらに進化すると予想される。NTT ドコモは 2022 年、H2L 株式会社、FCNT 株式会社、および富士通株式会社の協力を得て、6G を活用したネットワークで人間の感覚を拡張する「人間拡張」を実現するための基盤を開発したと発表した³¹²。またその 1 年後には、慶應義塾大学、国立大学法人名古屋工業大学とともにこの基盤を利用して、モノに触れた時の触覚を「人間拡張基盤」で相手の感じ方に合わせて共有する技術「FEEL TECH」を開発している³¹³。相手の触感に対する感度特性を踏まえて触感を共有する基盤技術の開発は世界初だという。これらの感覚共有を通して、ロボットの遠隔操作やゲーム操作だけでなく、技術の伝承やスキルの共有などへの活用も考えられる。



(図 10-3 「FEEL TECH」イメージ)

4. 光ファイバー

(1) 技術の概要

光ファイバーとは、透過率の高い石英ガラスやプラスチックなどで構成される光の伝送路を指す。この光ファイバーをナイロンやシリコンなどの物質で保護して束ねることで、大容量の光信号を通す

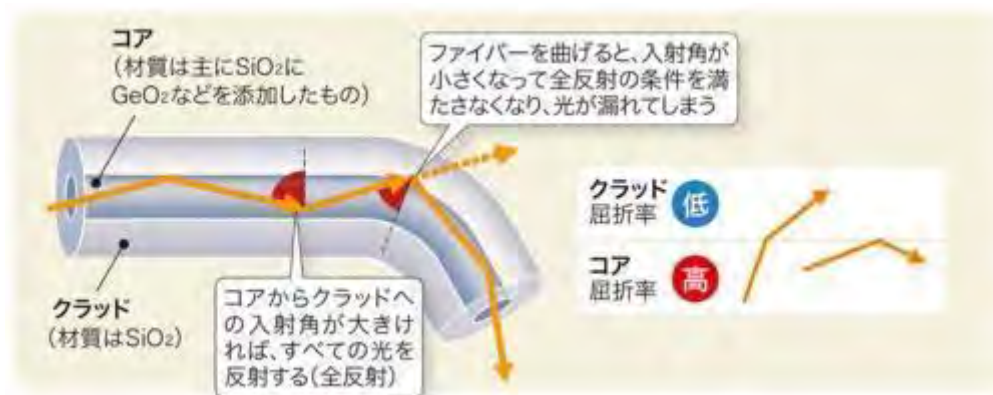
³¹² NTT docomo 「6G 時代の新たな提供価値「人間拡張」を実現する基盤を開発」

https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/01/17_00.html

³¹³ 世界初、6G 時代に新たな価値を提供する『人間拡張基盤』によって相手の感じ方に合わせて触覚共有する技術『FEEL TECH』を開発」

https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2023/01/25_00.html

光ファイバーケーブルとなる³¹⁴。光ファイバーケーブルは、従来の銅を用いた同軸ケーブルと比べて信号損失率が低く、高帯域であるため、現在の海底ケーブルではほとんどの敷設に採用されている。光ファイバーは細くて軽く、素材の希少性が低いことが、敷設のコスト削減にもつながっている。



(図 10-4 光ファイバーの仕組み)

その特徴を活かして、光ファイバーは超伝導スーパーコンピューターや医療用のファイバースコープセンサなど、通信以外の様々な分野にも応用されている。また、5G の整備が進むにつれて、光ファイバーの需要も世界的に高まっていき、研究開発・他分野への応用もさらに活発化されることが予想される。一例としては、量子暗号通信の分野では、量子暗号鍵配送において、光ファイバーの活用が注目されている³¹⁵。

(2) 公的利用・安全保障における利用

日本では光ファイバーによる超高速ブロードバンド基盤が広く普及しており、2021 年時点でその整備率（世帯カバー率）は 99.3%に達している。総務省は今後離島や過疎地などの未整備地域での整備を補助することで、2027 年 3 月末までに 99.9%とすることを目標としている³¹⁶。また、同様に光ファイバーを利用した海底ケーブルでは、政府が日本を周回する海底ケーブル網「デジタル田園都市スーパーハイウェイ」の構築を発表している。海底ケーブルの安全保障上のインプリケーションについては、次項目の「地下・海底ケーブル」で詳述する。

³¹⁴ NTT Communications 「光ファイバーとは？」

https://www.ntt.com/business/services/network/internet-connect/ocn-business/boen/knowledge/archi ve_109.html

³¹⁵ TOSHI BA 「量子暗号通信で世界最長 600 km以上の通信距離を実証」

<https://www.global.toshi ba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topi cs/21/2106-02.html>

³¹⁶ 総務省 「令和 4 年版 情報通信白書」

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whit epaper/ja/r04/html/nd242310.html>

(3) 民生利用

一般的には通信目的の利用が連想されやすい光ファイバーだが、医療分野においても重要な技術となっている。特に侵襲度の低い医療行為（低侵襲性治療）に使用されるレーザーや発光ダイオード（LED）では、手ごろで使いやすく、かつ人体に対して負担が少ないことから重宝されている³¹⁷。また、患部を観察する細径の内視鏡においても、多機能化するために光ファイバーの技術は欠かせない。

他にも、光ファイバーセンサーを利用することで、高速（1秒周期）、高分解能（1m単位）、長距離（1km、最大5km）で、光ファイバー上の温度・歪み分布をリアルタイムで測定することが可能だ³¹⁸。このセンサーは、製造装置の内部温度分布をタイムリーに測定することで、製品の品質管理やトレーサビリティ管理に活用したり、工場など大規模な空間の温度分布をリアルタイムで測定することで空調管理に活用したりすることができる。

5. 地下・海底ケーブル

(1) 技術の概要

地下ケーブル・海底ケーブルは、電柱などの設備を用意できない場所（都市部や海洋など）において、電気や通信をつなげるために利用されている。特に海底ケーブルは、現代において国際通信に欠かせないインフラとなっており、日々大容量の情報がやり取りされることから³¹⁹、安全保障上の観点からも注目が高まっている。

世界で初めての海底ケーブルは1851年、英国～フランス間のドーバー海峡に敷設された³²⁰。以来、海底ケーブル網は増加し、現代では南極大陸を除くすべての大陸を結んだ複雑なケーブル網が構築されている。2022年現在、世界で運用・敷設されている海底ケーブルの数は530に上り、その全長は2021年の時点で1300万キロメートルにも及んでいる³²¹。海底ケーブルの芯線には、1980年代後半から石英ガラスを利用した光ファイバーが使用されており、その周囲を覆うように何層かの膜によって保護されている³²²。海岸の近くでは特に損傷の可能性が高いため、保護膜は分厚い。

海底ケーブルに光ファイバーが利用されるのは、従来の銅を素材とした同軸ケーブルより多い情報を、安定して、より安価に運ぶことができるからだ。光ファイバーは信号損失率が低く、同軸では一

³¹⁷ NAI. Retrieved from: <https://www.nai-group.com/what-is-the-future-of-fiber-optics-in-medicine/>

³¹⁸ OKI「光ファイバーセンサー」. Retrieved from: https://www.oki.com/jp/sensing/optical_fiber/

³¹⁹ インターネットの国際通信の99%は海底ケーブルが担っている。

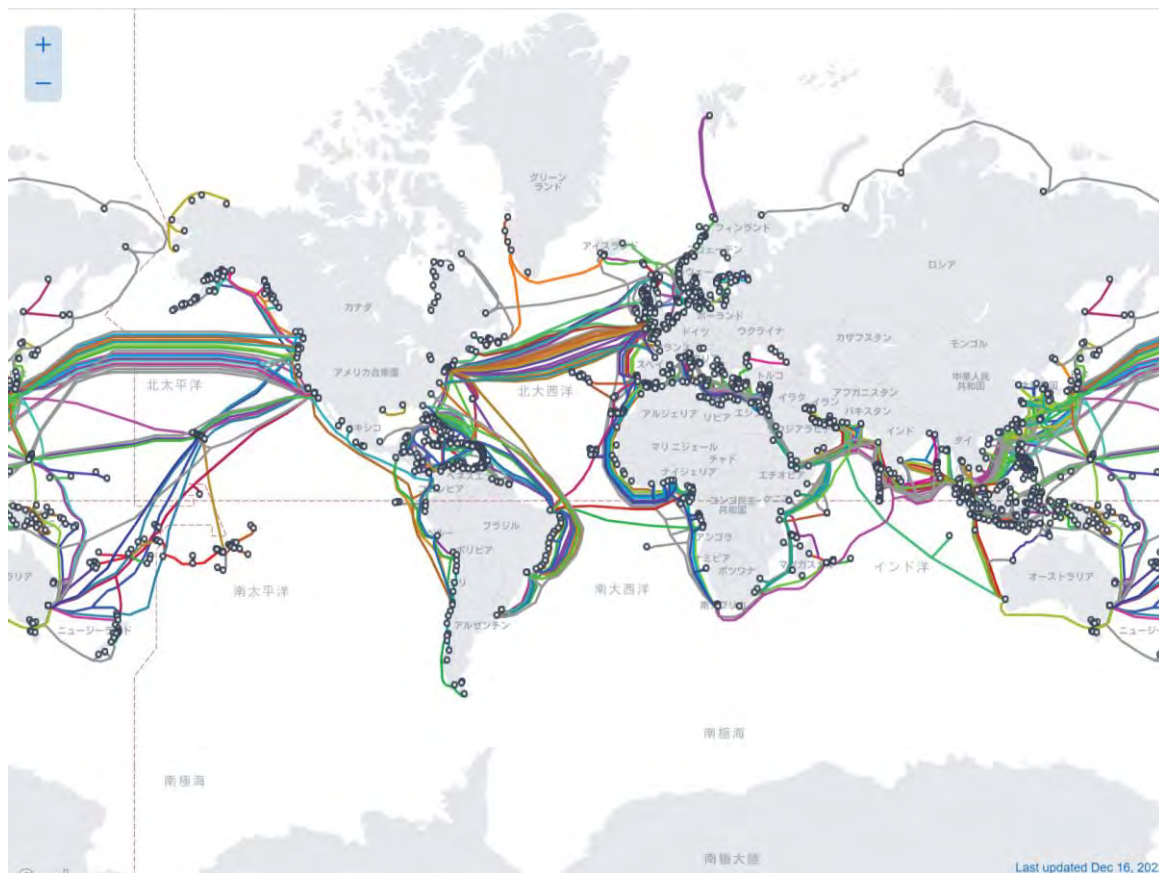
³²⁰ Burns (2017) *Origins of the Submarine Cable Industry in Britain*. Retrieved from: <https://atlantic-cable.com/Article/Origins/index.htm>

³²¹ telegeography, "Submarine Cable 101" Retrieved from: <https://www2.telegeography.com/submarine-cable-faqs-frequently-asked-questions>

³²² CABLExpress "What Are Fiber Optic Cables Made Of?"

<https://www.cablexpress.com/education/blog/what-are-fiber-optic-cables-made-of/>

般に中継器（劣化した信号を増幅する回路）を数 km ごと³²³に設置するのに対して、50～100km 間隔で済む。



(図 10-5 世界の海底ケーブル網³²⁴)

(2) 公的利用・安全保障における利用

米国では中国と覇権を争う世界の海底ケーブルにおいて、諜報や妨害の対象となることへの危機感が高まっており、安全保障上の観点からグーグル社やフェイスブック社（現在のメタ社）などが進めていた、ロサンゼルスと香港を結ぶ太平洋横断海底ケーブル敷設に米政府が変更を求めるなど、その懸念はすでに現場の敷設に影響を与えている³²⁵。2013 年にはエジプトで意図的に海底ケーブルが切断

³²³ 太平洋横断では 35km 程度。

³²⁴ Submarine Cable Map. Retrieved from: <https://www.submarinecablemap.com/>

³²⁵ INSIDER “The Trump administration’s mission to wall off the Chinese internet has officially killed a US-Hong Kong undersea cable project from Facebook and Google” Retrieved from:

<https://www.businessinsider.com/facebook-and-google-kill-off-hong-kong-undersea-cable-2020-9>

されるなど、物理的に破壊することも可能であり、海底ケーブルが安全保障上大きな存在となるにつれ、海底ケーブルが破壊のターゲットになる可能性について広く認識されるようになってきている³²⁶。

日本でも、安全保障面での懸念を踏まえ、他国のインフラに頼らないケーブル網の構想が進められている。2021年12月には、岸田首相が臨時国会の所信表明演説にて、日本を周回する海底ケーブル「デジタル田園都市スーパーハイウェイ」を向こう3年程度で完成させると表明した³²⁷。

(3) 民生利用

米調査会社のテレジオグラフィーの調査によると、海底ケーブルの主なユーザーは大手通信業者から巨大IT企業へと移行しており、2010年では7割近くを通信事業者が占めていたのに対して、その後インターネット上でコンテンツやサービスを提供するコンテンツ事業者の利用が急伸し、ついにはその割合が逆転した³²⁸。その中でも特にGoogleとMetaは、それぞれYouTube、Facebookとリアルタイム性が高いネットサービスを提供しており、海底ケーブルへの需要が高い。上記2社に加え、AmazonやMicrosoftも、世界各地に自社サービスを利用するためのデータセンターを建設し、その拠点を繋ぐために海底ケーブルを丸ごと借りるケースもある³²⁹。それにとどまらず、上記の企業はこぞって自ら海底ケーブル建設のコンソーシアムに参加し始めており、2022年時点で確認されている建設計画中の20本のプロジェクトのうち、2割前後に巨大IT企業の名前が確認される³³⁰。巨大IT企業は特に長距離プロジェクトに出資することが多く、総延長に占める割合は5割近くを占めている。このように、今後も海底ケーブルにおいては各国政府だけでなく、GoogleやAmazonを始めとする巨大IT企業がプレイヤーとして存在感を増していくと考えられる。

³²⁶ 土屋大洋 「海底ケーブルをめぐる国際関係」, Retrieved from: <https://www.jiia.or.jp/research-report/post-10.html>

³²⁷ 首相官邸 「①成長戦略」 Retrieved from: https://www.kantei.go.jp/jp/headline/seisaku_kishida/seichousenryaku.html

³²⁸ 大矢博之「大手通信会社が没落しグーグル・フェイスブックが主役に、海底ケーブル敷設の牽引役交代」 Retrieved from: <https://dimond.jp/articles/-/310530>

³²⁹ 堀越功「GoogleやMetaがのみ込む海底ケーブル、超巨大ITのイントラ網に」 <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/01943/00001/>

³³⁰ Ibid.



(図 10-6 海底ケーブルのデータ流通量の利用割合の推移³³¹⁾)

6. 衛星通信

(1) 技術の概要

衛星通信とは、静止軌道上の衛星に向けて送信局から情報を送信（アップリンク）した後、地球にある受信局に向けて一斉配信（ダウンリンク）する、衛星を介した通信システムのことである³³²。衛星通信には「広域・同報性」、「大容量」、「柔軟性」といった特徴があるほか、災害時や有事の際、地上の通信が途絶してもバックアップ回線として利用できることも大きな強みとして挙げられる。また、世界では現在でもインターネット接続のない地域が多くあり、そのようなインターネット回線を繋げにくい地域にもサービスを提供することが可能だ。

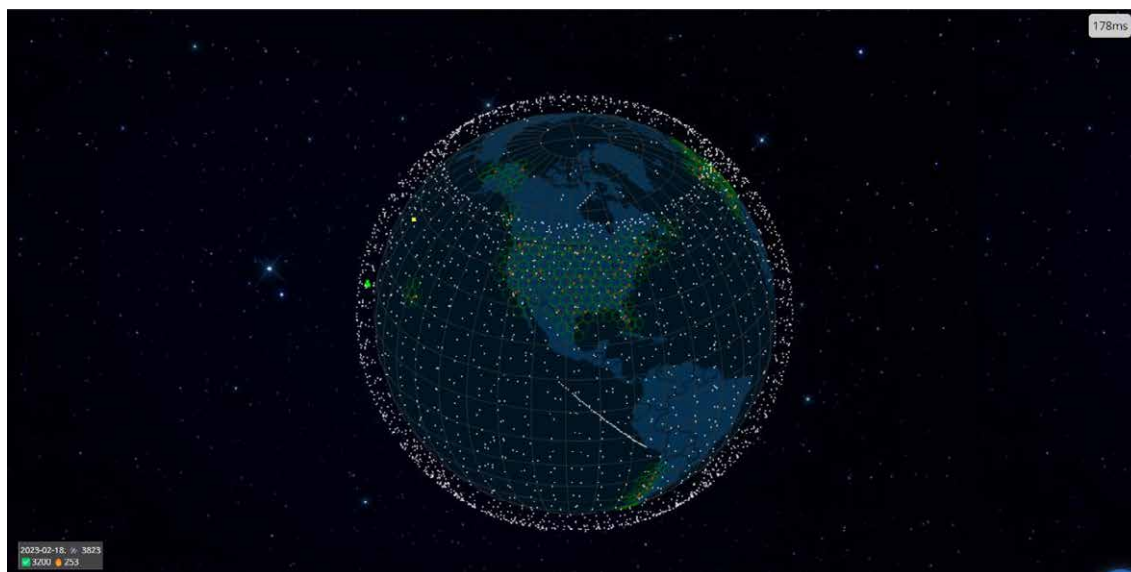
近年、衛星通信を通して大容量の通信接続を行う衛星ブロードバンドが開発されており、なかでも衛星コンステレーションと呼ばれる技術に各国の企業が次々と参入している。衛星コンステレーショ

³³¹ 大矢博之「大手通信会社が没落しGoogle・フェイスブックが主役に、海底ケーブル敷設の牽引役交代」 Retrieved from: <https://diamond.jp/articles/-/310530>

³³² JSAT「衛星通信とは」. Retrieved from:

https://www.skyperfectjsat.space/jsat/satellite_communications/#:~:text=%E8%A1%9B%E6%98%9F%E9%80%9A%E4%BF%A1%E3%81%AF%E3%80%81%E8%B5%A4%E9%81%93%E4%B8%8A%E7%A9%BA,%E7%90%86%E6%83%B3%E7%9A%84%E3%81%AA%E6%89%8B%E6%AE%B5%E3%81%A7%E3%81%99%E3%80%82

ンとは、地上 2000km 以内に配置された数十基～最大数千基という数の人工衛星を連携させ、地球全土をカバーした通信網を構築する衛星ブロードバンドだ。例え一基が不具合を起こしたり、妨害されたりしても、全体のネットワークを維持することができるため、各国は次々と衛星コンステレーションの構築を進めようとしている。米国の SpaceX は地球低軌道に 3000 基以上の通信衛星を打ち上げ、starlink という衛星コンステレーションを形成している³³³。starlink は低コストの衛星バスや、再利用可能なローンチヴィークルによってコストを抑えて軌道に打ち上げられ、すでに地球上のほとんどの地点からもアクセス可能な衛星通信の提供を始めている。



(図 10-7 starlink 衛星分布・サービス対象地域)

(2) 公的利用・安全保障における利用

地震や津波災害などが発生した際、電話等の通信がつながりにくい状況になりやすい。日本では、衛星通信と GPS トラッキングシステム機能を持つ LPWA 端末 (Low Power Wide Area) を組み合わせた災害救助活動支援ネットワークを構築するなど、災害時の実証訓練が行われている³³⁴。また、米国ではガソリン、ディーゼル、液化天然ガスなどの燃料を輸送するパイプラインにおいて、異常を感知するための衛星通信を活用したモニタリングシステムが一部導入されている³³⁵。

³³³ starlink Retrieved from: <https://www.starlink.com/technology>

³³⁴ 「インターネット白書 2020」

<https://wparchives.jp/files/pdf/wp2020/wp2020-ch03-05-p173.pdf>

³³⁵ HUGHES “Satellite Communications Help Ensure Pipeline and Public Safety”

<https://www.hughes.com/resources/insights/satellite-broadband/satellite-communications-help-ensure-pipeline-and-public>

(3) 民生利用

衛星通信は通信が届きにくい地域におけるインターネット接続の可能性をもたらすとともに、航空機や船舶などの移動体における高速インターネットの提供のように、インターネット体験の質を向上させるうえでも重要な手段となる³³⁶。具体的には、航行・飛行中のストリーミングサービス、ライブ配信、音楽や映画のダウンロード、VNP 接続などが可能となる³³⁷。また、飛行機において航空会社側においてもソフトウェアやアプリを使用することによって効率化・コストカットを行い、地上との交信において代替案を提供することができるなど、導入のメリットが存在する³³⁸。

7. ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア

(1) 技術の概要

ハードウェアはパソコン本体などの物理的な機器を、ファームウェアはパソコン本体などに最初から組み込まれているソフトウェアを、ソフトウェアはパソコンなどに命令を出すプログラムのことを指す。サイバー攻撃が増加している昨今、これらはいずれも電子機器を作動させるために重要な要素であり、それぞれが信頼できる作り手・サプライチェーンを経て利用されるかどうかは、消費者の安全、ひいては国家の安全に大きく関わってくる。

国家にとっては、インフラの管理、国防上の機密情報の保持、有事の情報戦などにおいて、重要な関心ごとになりつつある。米国バイデン大統領は 2021 年 5 月、同月に発生した大手石油パイプライン企業コロニアル・パイプラインに対するランサムウェア攻撃を受けて、サイバーセキュリティの強化を命じる大統領令に署名した³³⁹。その中で、サイバーセキュリティを強化するためには、サイバー空間を構築する個々の要素を透明化し、信頼のおけるものにする必要があるとの方針が示された。日本においても、「サイバーセキュリティ 2022（2021 年度年次報告・2022 年度年次計画）」にてマルウェア「Emotet（エモテット）」などによるランサムウェア被害の拡大が報告されており、関係省庁の連携・企業への注意喚起が必要とされている³⁴⁰。

³³⁶ JSAT

https://www.skyperfectjsat.space/jsat/satellite_communications/

³³⁷ Aerospace HONEYWELL “5 Ways Satellite Communications Can Benefit Your Aviation Business”

<https://aerospace.honeywell.com/us/en/about-us/blogs/5-ways-satellite-communications-can-benefit-your-business>

³³⁸ Ibid.

³³⁹ The White House *Executive Order on Improving the Nation's Cybersecurity*.

<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2021/05/12/executive-order-on-improving-the-nations-cybersecurity/>

³⁴⁰ 内閣サイバーセキュリティセンター 「サイバーセキュリティ 2022（2021 年度年次報告・2022 年度年次計画）」。

Retrieved from: <https://www.nisc.go.jp/pdf/policy/kihon-s/cs2022.pdf>

(2) 公的利用・安全保障における利用

2022年10月31日、大阪急性期・総合医療センターでランサムウェアによるシステム障害が発生し、長期的な影響を及ぼした³⁴¹。患者の給食を納入している事業者からウイルスが侵入したことが原因だった。他にも、同年12月3日には金沢市にある金沢西病院がサイバー攻撃を受けて電子カルテの一部が閲覧できなくなるなど、医療機関での被害は急増している。大阪急性期・総合医療センターで起きた攻撃では、サーバーのセキュリティーシステムをアップデートしていなかった取引先の事業者から感染する「サプライチェーン攻撃」によるものだったことが判明しており、公的な機関におけるセキュリティーの確保のためにも、民間の企業へのセキュリティー・リテラシーの徹底した周知が課題として浮き彫りになった。

(3) 民生利用

上記のようなランサムウェアの被害は、民間企業にも広まっている。被害を事前に防ぐためには、最新のセキュリティーシステムにアップデートする他、近年ではハードウェア側面から、「ルートオブトラスト（信頼の起点）」でデバイスそのものの信頼性を高めようとする動きもある。これは、IoT機器のシステムに改ざんがされているかどうかなどをチェックする仕組みを、ICチップなどのハードウェアで保護することで、その認証情報を保護するというものである³⁴²。その他にはAIを活用した監視・早期検知がMicrosoftなどによって模索されているものの、同時にAIを活用した新しい形態のサイバー攻撃も増加しており、今後も地道な対策が必要とされる³⁴³。

8. 通信・ネットワークセキュリティ

(1) 技術の概要

通信・ネットワークが日々の生活や仕事に必要な不可欠なものになっている現在、あらゆる情報はデジタル空間を介してやりとりされており、そのセキュリティーの向上は公的・民生利用を問わず喫緊の課題となっている。冷戦期に米ソ間で行われていたとされる海底ケーブルの通信傍受や、ロシアのウクライナ進攻におけるサイバー攻撃・通信障害に見られるように、通信・ネットワークのセキュリ

³⁴¹ 読売新聞オンライン 「大阪の病院で電子カルテシステムに障害、「ランサムウェア」によるサイバー攻撃か」。

Retrieved from: <https://www.yomiuri.co.jp/national/20221031-0YT1T50162/>

³⁴² EWON *Hardware root of trust: what and why?*. Retrieved from:

<https://www.ewon.biz/ja/all-resources/ewon-iiot-blog/hardware-root-of-trust-what-and-why>

³⁴³ Microsoft. *Improving AI-based defenses to disrupt human-operated ransomware*. Retrieved from:

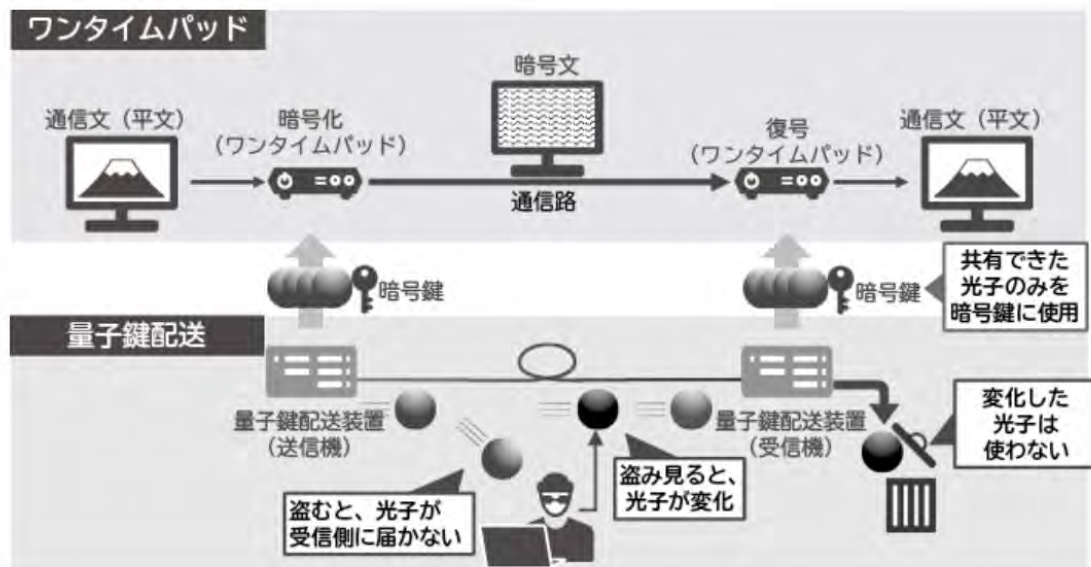
<https://www.microsoft.com/en-us/security/blog/2022/06/21/improving-ai-based-defenses-to-disrupt-human-operated-ransomware/>

ティは安全保障上とても重要な分野であるといえる³⁴⁴。また、量子コンピューターなどの新技術の台頭は、これまでの通信・ネットワークセキュリティの常識を覆しかねない。

(2) 公的利用・安全保障における利用

公的機関の通信・ネットワークセキュリティを強化するためには、常に新技術に利用・及び新技術への対応が必要となってくる。米国 DARPA は 2022 年 10 月、サイバー攻撃を防ぐために AI を活用するプログラム CASTLE (Cyber Agents for Security Testing and Learning Environments) を発表した³⁴⁵。このプログラムでは、現実的なネットワーク環境を想定し、標的に対する持続的な攻撃 (APT 攻撃) をシミュレーションすることで、AI にネットワークの弱点を自動学習させることを目指している。

また、現在の通信で利用されている RSA 暗号は、量子コンピューターの出現によって早晩、限界を迎えると言われており、米国と中国を筆頭に新たな暗号の手法—量子暗号の開発が急がれている。量子暗号は「ワンタイムパッド」と「量子鍵配送」と呼ばれる 2 つの部分からなり、量子力学の性質を利用して、盗聴の検知と防止を行う³⁴⁶。



(図 10-8 量子暗号の仕組み³⁴⁷)

³⁴⁴ 土屋大洋 「海底ケーブルをめぐる国際関係」. Retrieved from: <https://www.jiia.or.jp/research-report/post-10.html>

³⁴⁵ DARPA *DARPA's CASTLE to Fortify Computer Networks*. Retrieved from: <https://www.darpa.mil/news-events/2022-10-24>

³⁴⁶ NEC 「光が導く次世代の暗号技術『量子暗号』」. Retrieved from: <https://jpn.nec.com/techrep/journal/g21/n01/210124.html>

³⁴⁷ I b i d.

民生利用

在宅ワーク環境の整備が進んだことや、サプライチェーン攻撃によるランサムウェア被害が増加したことにより、日本では今後通信・ネットワークセキュリティの市場は大きくなっていくと予想されている。2022年の富士キメラ総研の国内市場調査によると、2027年度のネットワークセキュリティビジネスは2021年度と比べて50%増加するとされている³⁴⁸。一方、米国ベルファーセンターが発表した「国家サイバーパワー・インデックス(NCPI)」では、日本は世界のなかで16位に位置づけられた一方で、「商業性」の項目では6位と比較的高い評価を受けている³⁴⁹。今後、世界的に拡大する通信・ネットワークセキュリティの市場において、商業性及び競争力をいかにつけていくかという戦略が求められている。

9. メッシュネットワーク

(1) 技術の概要

メッシュネットワークとは、複数の中継器が発した電波を交差させて、網目状に電波を張り巡らせることで、データをバケツリレー式に転送するシステムである³⁵⁰。個々のノードをクラウドに繋げていた従来の手法に対して、個々のノード間で対等にデータをやり取りすることで、抗たん性・効率性の改善が可能になる。また、センサー内蔵型の無線機を利用した省電力無線メッシュネットワークの開発などにより、公共インフラの監視サービスやIoTサービスの消費電力削減が期待される³⁵¹。第5節で触れた衛星コンステレーションは、メッシュネットワークの概念を宇宙に拡張し、衛星同士をメッシュ状に接続したものだということができる。これらのシステムはいずれも、個々の機器への依存を減らしているがゆえに、抗たん性が強みとなっている。

(2) 公的利用・安全保障における利用

メッシュネットワークの活用事例として期待されているものの一つがスマートシティである。公園などの公共施設において、灌漑システムをメッシュ状に繋げることで、水資源を60%以上減らすこと

³⁴⁸ 富士キメラ総研 「2022 ネットワークセキュリティビジネス調査総覧 市場編」

<https://www.fcr.co.jp/report/223q03a.htm>

³⁴⁹ Belfer Center “National Cyber Power Index 2022”

https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/CyberProject_National%20Cyber%20Power%20Index%202022_v3_220922.pdf

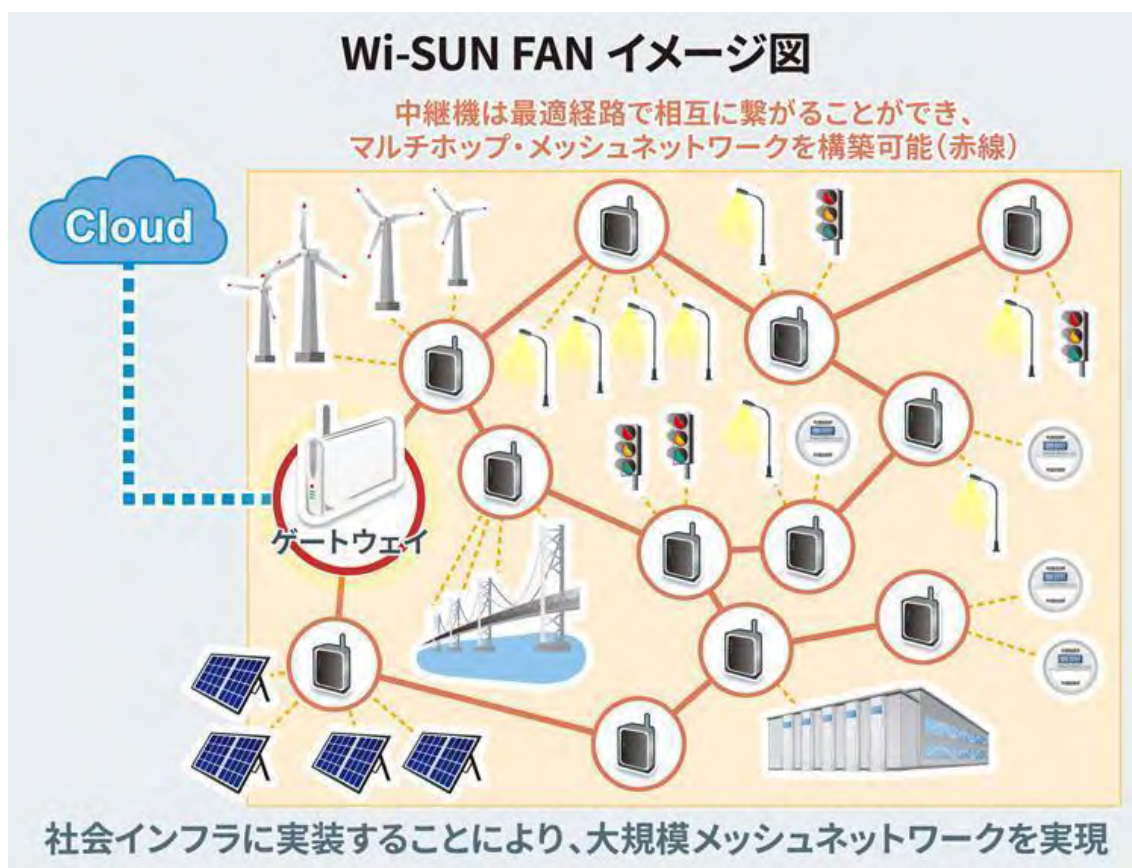
³⁵⁰ Ruijie 「メッシュネットワークについて」. Retrieved from: https://www.ruijie.co.jp/blog/mesh-network_436930466073018368.html

³⁵¹ TOSHIBA 省電力無線メッシュネットワーク + IoT クラウドサービス. Retrieved from:

https://www.tjsys.co.jp/embedded/iot-infrastructure/index_j.htm

ができる³⁵²。街灯にはネットワーク接続型街路灯を使用することで、消費エネルギーや周囲の光量・交通量を瞬時に共有し、効率的な稼働を可能にする。実際にこのようなネットワーク接続型街路灯を世界で最も多く導入しているマイアミでは、日本発の無線規格「Wi-SUN」の技術を活用した街路灯が50万個弱活用されている³⁵³。IoT Analyticsによると、ネットワーク型街路灯の市場は2023年に36億ドルを超え、年平均成長率21%で成長すると予測されている。日本でも、Wi-SUNを利用した1000台規模の大規模メッシュネットワーク構築が可能なサービス提供が、社会インフラへの実装を通して始められている³⁵⁴。

また、メッシュネットワークの抗たん性という側面からは、米国DARPAを筆頭に衛星通信やワイヤレスネットワークのメッシュ化の研究開発が各国で進められている。



(図 10-9 メッシュネットワークの社会インフラ活用イメージ³⁵⁵)

³⁵² ACi iST *Mesh Networking in Smart City Technology*. Retrieved from: <https://www.aciist.com/mesh-networking-in-smart-city-technology/>

³⁵³ Wi-SUN Alliance 「スマートシティ」. Retrieved from: <https://wi-sun.org/ja/smart-cities/>

³⁵⁴ ROHM 「業界初、1000台のメッシュネットワークを構築可能な『Wi-SUN FAN』対応モジュールソリューションを提供開始」

https://www.rohm.co.jp/news-detail?news-title=2021-01-26_news_wi-sun-fan&defaultGroupId=false

³⁵⁵ 同上

(3) 民生利用

上記に挙げた社会インフラへの活用以外にも、メッシュネットワークの応用事例は多岐に渡る。例えば医療の現場において、各病室の患者のモニタリングへの活用、工業用機械のモニタリング、セキュリティシステムへの活用、インターネット接続がない場所におけるチャットサービス、メッシュ Wi-fi の構築などである³⁵⁶。

メッシュ Wi-fi は壁の多い建築物や RC 造の住宅において、よりスムーズな同時多接続を可能にする。家庭内での同時接続や無線 LAN の電波は、無線 LAN ルーターから離れたり、間に障害物が存在したりすると、弱くなる。中間に無線 LAN 中継器を設置すればある程度改善できるものの、接続台数が多い場合の全体の通信速度低下や、中継器が 1 機でも故障した場合ネットワークが途切れてしまうという弱点を有している³⁵⁷。これに対して、メッシュネットワークを活用したメッシュ Wi-fi は快適な通信速度の提供を可能にし、通信網を構築する機器が一部機能しなくなっても、ネットワーク全体としては機能し続けることができる。

10. まとめ

これまで、通信・ネットワークにおける各技術の開発動向と、それぞれの公的・民的インプリケーションを概観してきた。最後に日本の近年の政策動向を整理し、まとめとしたい。

2020 年 3 月に商用化が始まった 5G に関しては、必要な基地局の数の多さから環境整備に時間がかかると予測されていたものの、政府の後押しもあり 2022 年 3 月時点で 5G 人口カバー率が 93.2%、都道府県別では東京都、埼玉県、神奈川県、大阪府は 99%を超えている³⁵⁸。一方、2022 年 9 月時点で、5G 契約者数は 5736 万と携帯電話契約者数に占める割合が 28%と、徐々に増加しているものの、人口カバー率に比して一般ユーザーへの普及が進んでいないのが実態だ³⁵⁹。その要因としては、5G 対応の端末が十分に普及していないことと、5G を利用した商業サービスがまだまだ開発途上であることが考えられる。5G、そしてその先の 6G いずれにおいても、環境整備後の実用化の側面を強化していく必要があるだろう。

³⁵⁶ Spi ceworks *What Is a Mesh Network? Meaning, Types Working, and Applications in 2022*. Retrieved from: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-mesh-network/>

³⁵⁷ 日経 XTECH 「無線 LAN の新潮流、メッシュネットワークの威力」. Retrieved from: <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00421/090400006/>

³⁵⁸ 総務省 「5G の整備状況（令和 3 年度末）の公表」. Retrieved from: https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ki ban14_02000561.html

³⁵⁹ 総務省 「電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表（令和 4 年度第 2 四半期（9 月末））」. Retrieved from: https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ki ban04_02000212.html

通信・ネットワークについては、2014年にサイバーセキュリティ基本法が成立し、2015年に閣議決定された「サイバーセキュリティ戦略」が3年ごとに累次決定されている³⁶⁰。対策が進む一方、脅威も増加しており、2022年にはランサムウェアによる被害が病院という社会的に重要なインフラで多発した。政府は省庁を始めとする公的機関のランサムウェア対策を強化することはもちろん、社会インフラを担うサプライチェーン全体の強度を固めるべく、民間企業とも積極的に連携をとる必要がある。また、2022年5月に開催された日米豪印首脳会談（QUAD）の共同声明には、サイバーセキュリティに関して脅威情報の共有とインド太平洋地域における能力構築（キャパシティ・ビルディング）プログラムによって協力していく方針が示された³⁶¹。米国、オーストラリア、そしてインドなどの友好国と、このような情報共有や技術協力を深めていくことが、国際的なルール作りを主導するためにも重要になってくるであろう。

³⁶⁰ 内閣サイバーセキュリティ戦略 「サイバーセキュリティ戦略本部」 . Retrieved from:

<https://www.nisc.go.jp/council/cs/index.html>

³⁶¹ 外務省 Quad Joint Leaders' Statement. Retrieved from:

https://www.mofa.go.jp/fp/nsp/page1e_000401.html

第 11 節 指向性エネルギー技術 (Directed Energy)

指向性エネルギー技術は米国における兵器開発の中で発展してきた。「指向性エネルギー兵器」は電磁気エネルギーによって標的を破壊もしくは無力化する兵器として構想され、半世紀以上もの年月をかけて研究開発が進められてきた³⁶²。標的の破壊を目的とした従来の兵器がミサイルや銃弾のように動的かつタンジブルな物質であるのとは対照的に指向性エネルギー兵器は、静的でかつ物質的に触れられるものではない点が特徴である。指向性エネルギー兵器は一見 SF 映画に出てくるような非現実的な兵器のようにも思われるが、実はその開発は 1950 年代にさかのぼり、冷戦期の米国ではロシアの大陸間弾道ミサイルを迎撃するための新興軍事技術として指向性エネルギー兵器の開発がレーガン政権で議論に上がる等³⁶³、半世紀以上の年月をかけて技術革新と挫折を繰り返しながら着実に実用化に向けての研究が進められている³⁶⁴。一方で、指向性エネルギーは、民生用途でも広く活躍している技術でもある。例えば、医療現場では、指向性エネルギーの一種である粒子線(Particle beam)によるがんの治療が進められたり、近年では 3D プリンティング技術との組み合わせにより、製造業でもその応用の場を広げつつある³⁶⁵。

本章では、指向性エネルギーの軍事用途と多様な民生用途の両面に焦点を当てて、近年の技術動向について分析する。軍事用途に関しては、研究開発が盛んに行われてきた高出力エネルギーレーザー(high-energy Laser: HEL)、高出力マイクロ波(High-power Microwave: HPM)兵器そして粒子線エネルギー兵器(Particle Beam Weapon: PBW)について解説する。民生用途に関しては、特に他の新興科学技術との関係性を意識して、3D プリンティング技術に代表される、アディティブ・マニュファクチャリング技術(Additive Manufacturing)における粒子線技術の応用について解説する。

1. 指向性エネルギー兵器

ここでは、高出力エネルギーレーザー(high-energy Laser: HEL)と高出力マイクロ波(High-power Microwave: HPM)兵器に焦点を当てて、その技術の特性、用途そして研究開発動向について解説する。両者は共に指向性エネルギー兵器に位置付けられるが、その飛距離と範囲で大きく異なるため、各々異なる標的やオペレーションで使用されることを想定している(図 11-1 及び 11-2)。一部の専門家に

³⁶² Joint Chiefs of Staff, *Joint Electromagnetic Spectrum Operations*, Joint Publication 3-85, May 22, 2020, p. GL-6.

³⁶³ Richard M. Roberds, Introducing the Particle-beam Weapon. *Air University Review* 35(5) (1984).

³⁶⁴ GlobalData Thematic Research, Directed Energy Weapons: Timeline. *Army Technology* (11st August 2020). Retrieved from <https://www.army-technology.com/comment/directed-energy-weapons-laser/>

³⁶⁵ *Design, products and applications*, Harvesting particle beams for use in 3D printing. March 18, 2019. <https://www.dpaonthenet.net/article/168928/Harvesting-particle-beams-for-use-in-3d-printing.aspx>