



報告書骨子案

～Beyond 5G研究開発戦略～

令和4年3月25日
事 務 局

第1章 Beyond 5Gを取り巻く状況

P 2

- 1-1 検討の背景
- 1-2 2030年代の社会像
- 1-3 国際的な動向
- 1-4 情報通信ネットワークにおける消費電力の増大
- 1-5 政府全体の政策動向
- 1-6 第6期科学技術・イノベーション基本計画
- 1-7 検討の方向性、基本的考え方

第2章 Beyond 5Gが実現する社会像

P12

- 2-1 Beyond 5Gが実現する社会像
- 2-2 Beyond 5Gユースケース
- 2-3 Beyond 5Gで期待される業界ごとのユースケース
- 2-4 Beyond 5Gにおける宇宙ネットワークのユースケース

第3章 Beyond 5Gに求められる要求条件

P21

- 3-1 Beyond 5Gが備えるべき要求条件

第4章 Beyond 5Gネットワークの全体像

P23

- 4-1 Beyond 5Gのネットワークアーキテクチャ
- 4-2 Beyond 5Gネットワークの基本構成要素
- 4-3 非地上系ネットワーク (NTN)
- 4-4 量子ネットワーク

第5章 重点的に取り組むべき研究開発課題

P28

- 5-1 Beyond 5G研究開発重点10課題
- 5-2 重点化に関する基本的考え方
- 5-3 重点化の方向性
- 5-4 Beyond 5G重点研究開発課題
 - 1 オール光ネットワーク技術
 - 2 オープンネットワーク技術
 - 3 情報通信装置・デバイス技術
 - 4 ネットワークオーケストレーション技術
 - 5 無線ネットワーク技術
 - 6 NTN (HAPS・衛星ネットワーク) 技術
 - 7 量子ネットワーク技術
 - 8 端末・センサー技術
 - 9 エンドツーエンド仮想化技術
 - 10 Beyond 5Gサービス・アプリケーション技術

第6章 研究開発ロードマップ

P39

- 6-1 研究開発ロードマップ
- 6-2 研究開発・社会実装の加速化に向けた取組

第1章 Beyond 5Gを取り巻く状況

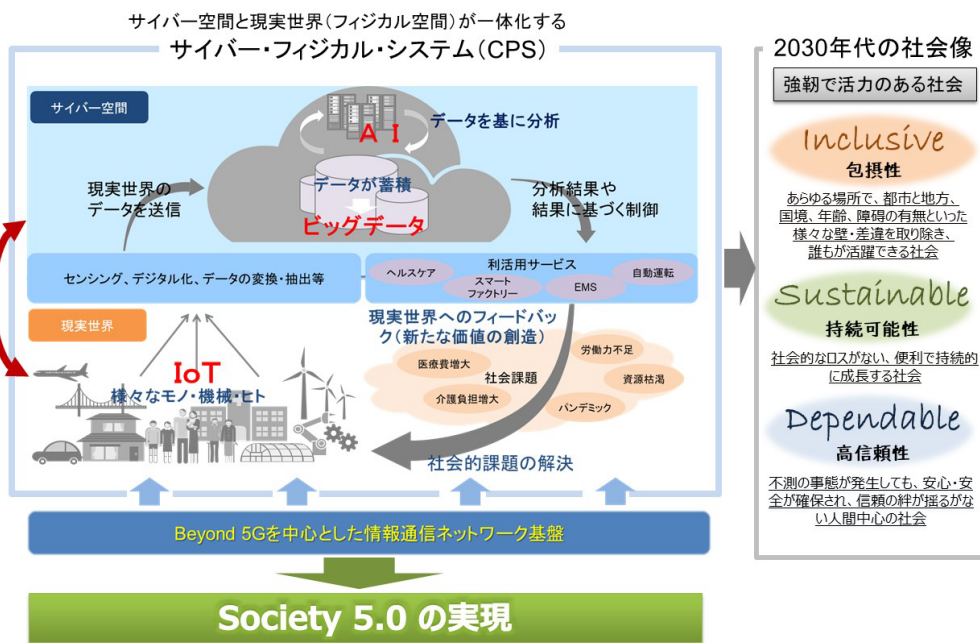
1-1 検討の背景（諮問の内容）

- コロナ禍でのデジタル化の進展等により、国民生活や経済活動における情報通信の果たす役割やその利用に伴うセキュリティの確保が一層重要なものとなっている。
特に、Society 5.0の中核的な機能を担う次世代情報通信インフラ「Beyond 5G」については、激化する国際競争等を背景として、先端技術開発等の取組が重要な局面を迎えている。
- 総務省が2020年6月に策定した「Beyond 5G推進戦略」では、2030年代の社会像として、サイバー空間とフィジカル空間の一体化（Cyber Physical System）を進展させ、国民生活や経済活動が円滑に維持される「強靱で活力のある社会」の実現を目指すべきとされている。
その実現に向けて、同戦略が提言する「研究開発戦略」や「知財・標準化戦略」を一層強力に推進するための具体的な方策の検討が急務となっている。
- また、2021年4月から、「科学技術・イノベーション基本法」が施行されるとともに、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（2021年3月閣議決定。5か年の計画）の計画期間に入った。
同計画に基づき政府全体では、イノベーションの創出に向けた取組や分野別戦略（「量子」、「AI」、「知財・標準化」、「宇宙」、「安全・安心」等）の策定や見直しが進められ、今後、関係府省が連携した政策の具体化等が一層加速する見込みであることから、総務省におけるICT技術政策を再整理した上で、政府戦略への対応を検討する必要がある。
- 以上のとおり、今後の情報通信分野の技術動向や政府全体のイノベーション政策動向等を踏まえつつ、強靱で活力のある2030年代の社会を目指したBeyond 5Gの推進方策等についての検討・整理が必要であることから、2021年9月、「Beyond 5Gに向けた情報通信技術戦略の在り方」について総務省より情報通信審議会に諮問された。

1-2 2030年代の社会像 (2020年Beyond 5G推進戦略)

- 総務省が2020年6月に策定した「Beyond 5G推進戦略」では、Beyond 5Gが実現する2030年代に期待される社会像として、国民生活や経済活動が円滑に維持される「強靱で活力のある社会」の実現を目指すべきとしており、その具体的イメージとして、「誰もが活躍できる社会(Inclusive)」、「持続的に成長する社会(Sustainable)」、「安心して活動できる社会(Dependable)」の3つの社会像を掲げている。
- Beyond 5Gは、Society 5.0を支える「フィジカル空間とサイバー空間の一体化」の実現に必要な次世代の情報通信インフラであり、2030年代のあらゆる産業・社会活動の基盤になっていくことが見込まれている。

2030年代に期待される社会像



産業・社会活動の基盤としてのBeyond 5G

	1G	2G	3G	4G	5G	Beyond 5G (6G)
導入時期	1979年	1993年	2001年	2010年	2020年	2030年~
主な機能	音声のみ	データ通信 (~28.8kbps)	ネット利用 (~14Mbps)	ネット常時接続 (~1Gbps)	多数同時接続 (100万台/km ² の接続機器数) 低遅延 (1ミリ秒程度) 高速・大容量 (~10Gbps)	自律性 •ゼロタッチで機器が自律的に連携 超低消費電力 •現在の1/100の電力消費 超高速・大容量 •5Gの10倍(ワイドエリア)の通信速度 •現在の100倍(ワイドエリア)の通信速度 超低遅延 •5Gの1/10の遅延 超多数同時接続 •5Gの10倍の接続数 持続可能で新たな価値の創造 5Gの更なる高度化 拡張性 •機器の相互連携によるあらゆる場所での通信 超安全・信頼性 •セキュリティの常時確保 •災害や障害からの機体復旧
利用形態	自動車電話	フィーチャーフォン	スマートフォン	スマートフォン	スマートフォン・ウェアブル端末・自動車・家電・センサ...	あらゆる産業・社会活動の基盤 (Society 5.0の世界)
位置付け	電話	メール	カメラ	動画、電子決済、SNS	生活の基盤	
コミュニケーション手段						

1-3 国際的な動向（諸外国におけるBeyond 5G研究開発投資の状況）

- 諸外国では、国際競争力や経済安全保障の確保等の観点から、Beyond 5Gに関する政府研究開発投資の検討や実施が始まっており、今後も各国が積極的に研究開発に投資していくと思われる。



- 米国は、**日米首脳共同声明**において、次世代移動体通信網等へ**25億ドルの投資**(日米合計45億ドル)を表明(2021年4月)。
- 6G推進に向けた民間イニシアティブ**Next G Alliance**が「**グリーンG**」WGを立ち上げ、**6G等の新たなテクノロジーによる持続可能なエコシステムの実現に向けた検討を開始**(2021年4月)。
- **Next G Alliance**が「**6G Roadmap**」を策定。また、政府の支援が必要な要素として、「6Gの成功に向けた一貫性のある政策的枠組み」「6G研究開発に対する支援」「6Gに対する民間投資を促進するための基盤作り」を提言(2022年2月)。
- 米国連邦通信委員会(FCC)、6Gを新たな焦点として技術諮問委員会(TAC)を再編成(2022年2月)。



- 欧州では、次期研究開発プログラム**Horizon Europe(2021-2027年)**で**6G研究開発に9億ユーロ(約1,200億円)の投資を決定**(2021年3月)、既に2.4億ユーロ(約310億円)をワークプログラム(2021-2022年)に拠出(2021年12月)。
- 6G研究開発プロジェクト**Hexa-X**始動(2021年1月-2023年6月)。
- SNS JU、6G開発計画のために**官民共同で20億ユーロ(約2,600億円)の資金**を確保済(2022年3月)。



- ドイツでは、6G技術の研究開発(2021-2025)に総額**7億ユーロ(約910億円)の投資**を決定(2021年4月)。そのうち2.5億ユーロ(約330億円)を6G研究開発のハブ構築に投資(2021年6月)。



- フィンランドでは、**6Genesis Flagship Program**を開始し、2018-2026年で総額**2.5億ユーロ(約330億円)**の6G研究開発予算を計上予定(2018年5月)。
- 第1回 **6G Wireless Summit** を開催(2019年3月)。



- 中国では、6G推進団体**IMT-2030(6G)**を設置し、6Gの研究開発に着手(2019年6月)。
- 第14次五カ年計画の一環として6G研究開発を強化するとのデジタル経済プランを発表(2022年1月)。
- 精華大学、北京オリンピックの会場において1TB/secの伝送実験に成功と発表(2022年2月)。



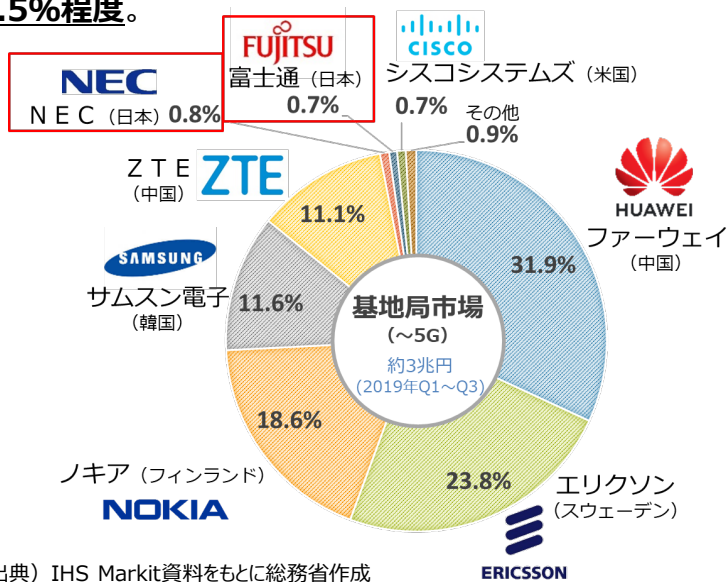
- 韓国では、6G研究開発実行計画を発表し、全体で**2025年までに2,200億ウォン(約210億円)を投資**(2021年6月)。
- 6Gを含む「次世代ネットワーク発展戦略」策定着手(2022年1月)。
- 米国、フィンランド、インドネシア各国と、6Gを含むICTでの協力を協議(2022年3月)。

1-3 国際的な動向（通信インフラ市場における国際競争力）

- 現在、世界の通信インフラ市場(基地局)では、海外の主要企業が高いシェアを占め、関連特許も多数保有しており、今後も海外企業が強い国際競争力を維持・確保することが見込まれるが、日本企業の通信インフラ市場での国際競争力は低い状況にあり、このままの状況が続けば、Beyond 5Gにおいても海外企業の後塵を拝するおそれがあるとされている。
- 他方で、日本企業は、基地局、スマートフォン等では苦戦しているものの、それらに組み込まれている電子部品市場では世界シェアの約4割(製品によっては約7割)を占めており、Beyond 5Gに向けた潜在的な競争力は有していると考えられる。

5G基地局の市場占有率（金額ベース）

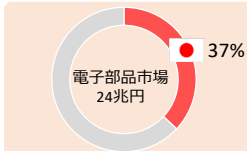
2019年第1～3四半期における携帯基地局の世界市場シェアでは、中国、欧州及び韓国の企業5社が97%を占めており、**日本企業は1.5%程度**。



(出典) IHS Markit資料をもとに総務省作成

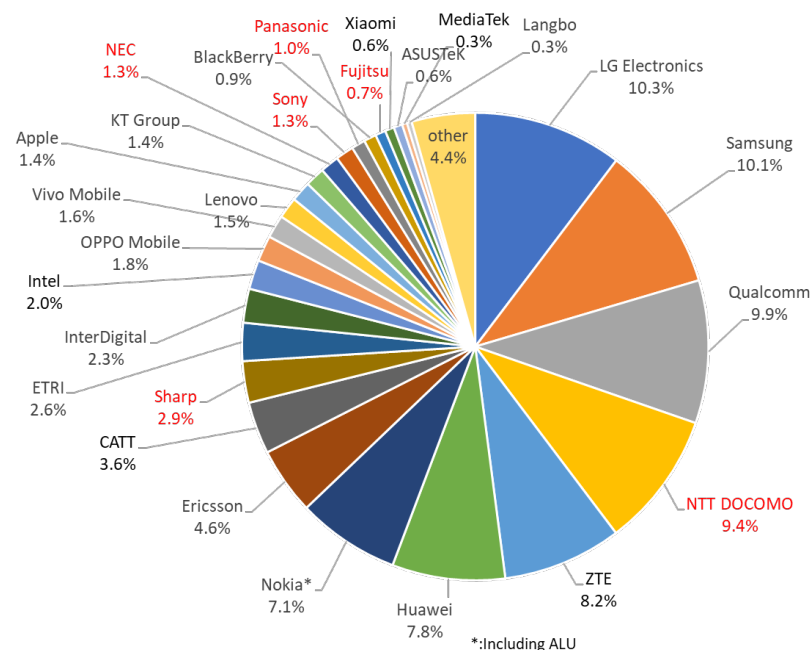
一方で、日本企業は、基地局、スマートフォン等では苦戦しているものの、それらに組み込まれている**電子部品市場では世界シェアの約4割（製品によっては約7割）を占めており、Beyond 5Gに向けた潜在的な競争力は有していると考えられる。**

(出典) JEITA調査統計ガイドブック2020-2021



5G標準必須特許の保有率（推計）

現在、**日本企業全体では15%程度の標準必須特許を保有。**

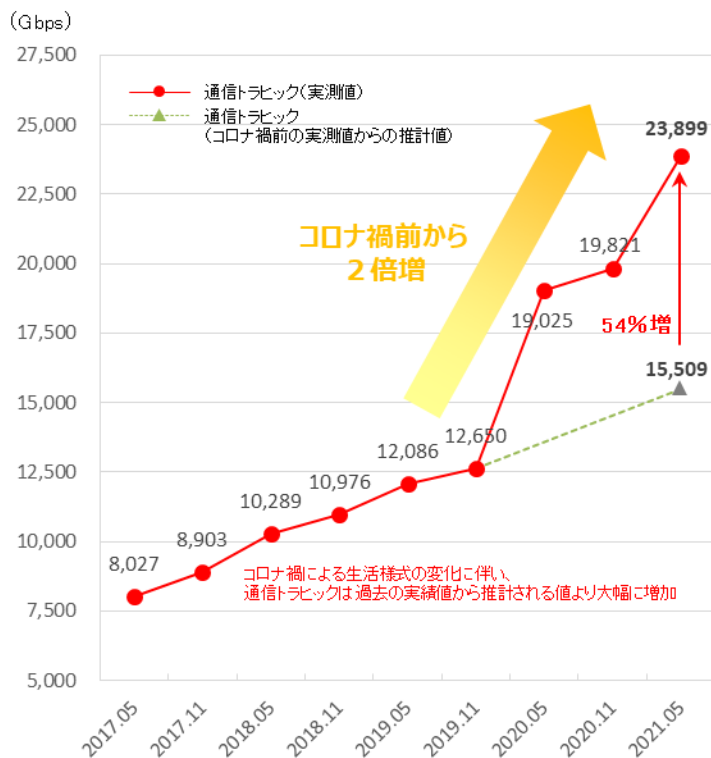


(出典) 「5G-SEP宣言特許の整合性」を評価(第3弾)2021年11月 (サイバー創研)

1-4 情報通信ネットワークにおける消費電力の増大

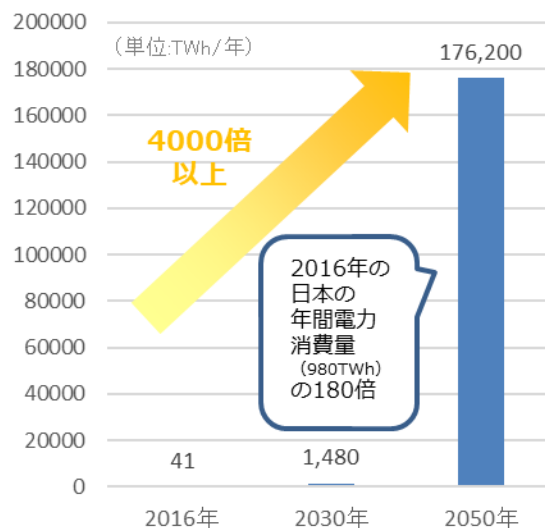
- 我が国の通信トラフィックは増加傾向が続いており、コロナ禍による生活様式の変化のため、通信トラフィックは従前の推計を上回る増加となっている。これに伴い、ICT分野の消費電力も増加傾向にあり、今後の技術やサービスの発展等に伴ってICT分野における消費電力の大幅増加が懸念されている。
- そうした中で、我が国では、国際公約として2050年カーボンニュートラル実現を宣言しており、政府全体の方針においても、グリーン・デジタル社会の実現や2040年の情報通信産業のカーボンニュートラル達成等が位置づけられているなど、ICT分野におけるグリーン化・デジタル化に向けた取組の必要性が高まっている。

通信トラフィックの増加傾向



出典：総務省(2021)
我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果を基に事務局作成

ICT関連消費電力の予測



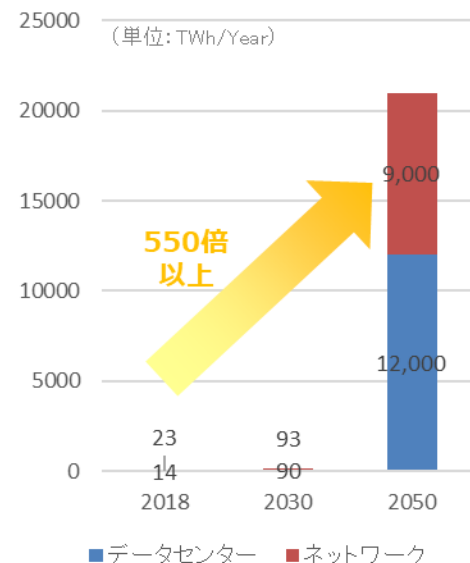
対象としたIT関連機器

- ・ データセンター(サーバ、ストレージ、ネットワーク、空調その他)
- ・ エンドユーザー(PC)
- ・ ネットワーク(ルータ・スイッチ、無線通信・端末)

※ ICT分野において、このまま技術革新が行われず、消費電力がデータトラフィックに比例して増大すると仮定して推計

出典：JST 低炭素社会戦略センター(2019)
低炭素社会実現に向けた政策立案のための提案書
情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.1)

ICTインフラ(データセンター、ネットワーク) 関連消費電力予測



※ ルータ等の消費電力効率等に一定の仮定を置いた上での推計

出典：JST 低炭素社会戦略センター(2021)
低炭素社会実現に向けた政策立案のための提案書
情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.3)

1-5 政府全体の政策動向

- 岸田内閣では、「科学技術立国」、「デジタル田園都市国家構想」、「経済安全保障」の推進を成長戦略の柱として掲げ、デジタル分野をはじめとした成長分野に大胆に投資していく方針のもと、Beyond 5Gの早期実現に向けて光ネットワーク技術や光電融合技術等の研究開発を推進する方向性が政府戦略等において示されている。

●新しい資本主義実現会議 緊急提言（令和3年11月8日 新しい資本主義実現会議）〈抜粋〉

Ⅱ. 成長戦略 3. 地方を活性化し、世界とつながる「デジタル田園都市国家構想」の起動

(3) いわゆる6G（ビヨンド5G）の推進

次世代の通信インフラであるいわゆる6G（ビヨンド5G）について、2030年頃の導入を見据えて、研究開発を推進する。このため、**現在使われている電気通信技術に代えて、ネットワークから端末まで全てに光通信技術を活用することにより、基幹ネットワークにおける現在の100倍の通信速度とネットワーク全体における現在の100分の1の超低消費電力を同時に実現する革新的な技術を今後5年程度で確立することを目指して、ネットワーク技術やコンピューティング技術に関する研究開発を支援する。**

●コロナ克服・新時代開拓のための経済対策（令和3年11月19日 閣議決定）〈抜粋〉

第3章 取り組む施策 Ⅲ. 未来社会を切り拓く「新しい資本主義」の起動 1. 成長戦略 (1) 科学技術立国の実現

① 科学技術・イノベーションへの投資の強化

デジタル、グリーン、人工知能、量子、バイオ、宇宙、海洋等の分野における先端科学技術の研究開発・実証に大胆な投資を行い、民間投資を促進する。デジタル分野においては、光技術を使ったコンピューティングとネットワークをはじめ、次世代の通信インフラであるいわゆる6G（Beyond 5G）などの開発を加速するとともに、デジタル社会を支えるデジタル人材の育成を図る。ライフサイエンス分野の強化を図るため、ワクチンや医薬品の国内での開発や創薬ベンチャーの育成、全ゲノム解析等実行計画の更なる加速・具体化に向けた措置を推進する。また、**先端科学技術をはじめとする多様な分野に係る研究成果の活用や国際標準の戦略的な展開等により、国際競争力の強化に資する取組を進める。**

●デジタル社会の実現に向けた重点計画（令和3年12月24日 閣議決定）〈抜粋〉

第6 デジタル社会の実現に向けた施策 5. デジタル社会を支えるシステム・技術 (4) デジタル社会に必要な技術の研究開発・実証の推進

① 高度情報通信環境の普及促進に向けた研究開発・実証

Beyond 5G に関しては、**Beyond 5G に向けた情報通信技術戦略の在り方について検討し、令和4年度（2022年度）中に取りまとめを行う。**そして、その実現に必要なとなる最先端の要素技術等をいち早く確立するため、国立研究開発法人情報通信研究機構（以下「NICT」という。）に創設した研究開発基金や整備するテストベッドなどの共用施設・設備により **Beyond 5G の研究開発を推進するとともに、前述の技術戦略を踏まえ、それらを活用した取組と密接な連携を図りつつ、民間企業や大学等を対象として公募型研究開発を実施する。**また、諸外国の団体・組織との連携に向けた具体的検討や国際カンファレンスの開催に向けた検討等に取り組む。

●第208回国会 衆議院予算委員会における総理大臣答弁（令和4年2月7日）〈抜粋〉

岸田内閣総理大臣）ご指摘の光電融合技術ですが、低消費電力かつ超高速大容量など、次世代の通信インフラを支える技術であり、2030年代の導入が期待されるビヨンド5G、いわゆる6Gの実現に向け、その技術の実用化が期待されているものと承知をしております。

私自身、昨年11月ですが、NTTの研究施設を視察させていただきました。その際に、車座対話も行わせていただきまして、この最先端の通信インフラ、これは日本が世界をリードする大きなきっかけになるのではないか、さらには、これから未来に向けて様々なビジネス展開をしていく大きなきっかけになるのではないか、そういった可能性を、その関係者の皆さんから直接話を聞く中で強く感じたところであります。

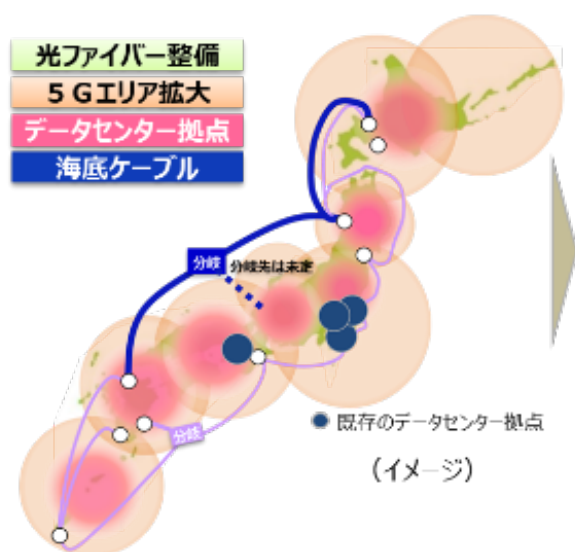
政府としまして、引き続き、**光電融合技術を含め、最先端の研究開発をしっかりと後押しをしていきたいと考えます。**

1-5 政府全体の政策動向（デジタル田園都市国家構想）

- 「デジタル田園都市国家構想」の推進のため、総務省において、デジタル基盤整備の一体的かつ効果的な対策を推進するための「デジタル田園都市国家インフラ整備計画（仮称）」を2022年3月末に策定予定。

「デジタル田園都市国家インフラ整備計画」（仮称）の策定 ※3月末に策定

- 総務省において、光ファイバ、5G、データセンター/海底ケーブル等のデジタル基盤の整備に向けて、一体的かつ効果的な対策を推進するための整備計画を今年度末に策定予定
- これにより、デジタル田園都市国家構想を実現するための基盤を整備



(ユースケース例)

- 働く場所、教育の場所等の**選択肢の充実**



遠隔医療



テレワーク



遠隔授業

- データ流通が地方で完結する**低遅延サービス**



スマート工場



無人自動運転



自動農業管理

- また、2030年代の情報通信インフラ「Beyond 5G」（いわゆる6G）に向けて、情報通信審議会において我が国が注力すべき研究開発課題を含む技術戦略を策定（具体的内容は今夏に取りまとめ）
- 総務省において、同技術戦略を反映したBeyond 5G研究開発を推進し、大阪・関西万博を起点として2025年以降順次、光ネットワーク技術や光電融合技術等の開発成果の民間展開とネットワークへの実装を目指す。



（出典）内閣府資料を基に総務省作成

現状認識

国内外における情勢変化

- 世界秩序の再編の始まりと、科学技術・イノベーションを中核とする国家間の覇権争いの激化
- 気候危機などグローバル・アジェンダの脅威の現実化
- ITプラットフォームによる情報独占と、巨大な富の偏在化



新型コロナウイルス感染症の拡大

- 国際社会の大きな変化
 - 感染拡大防止と経済活動維持のためのスピード感のある社会変革
 - サプライチェーン寸断が迫る各国経済の持続性と強靭性の見直し
- 激変する国内生活
 - テレワークやオンライン教育をはじめ、新しい生活様式への変化

科学技術・イノベーション政策の振り返り

- 目的化したデジタル化と相対的な研究力の低下
 - デジタル化は既存の業務の効率化が中心、その本来の力が未活用
 - 論文に関する国際的地位の低下傾向や厳しい研究環境が継続
- 科学技術基本法の改正

科学技術・イノベーション政策は、自然科学と人文・社会科学を融合した「総合知」により、人間や社会の総合的理解と課題解決に資するものへ

我が国が目指す社会(Society 5.0)

「グローバル課題への対応」と「国内の社会構造の改革」の両立が不可欠

国民の安全と安心を確保する持続可能で強靭な社会

【持続可能性の確保】

- SDGsの達成を見据えた持続可能な地球環境の実現
- 現代のニーズを満たし、将来の世代が豊かに生きていける社会の実現

【強靭性の確保】

- 災害や感染症、サイバーテロ、サプライチェーン寸断等の脅威に対する持続可能で強靭な社会の構築及び総合的な安全保障の実現

一人ひとりの多様な幸せ(well-being)が実現できる社会

経済的な豊かさや質的な豊かさの実現

- 1 誰もが能力を伸ばせる教育と、それを活かした多様な働き方を可能とする労働・雇用環境の実現
- 1 人生100年時代に生涯にわたり生き生きと社会参加し続けられる環境の実現
- 1 人々が夢を持ち続け、コミュニティにおける自らの存在を常に肯定し活躍できる社会の実現

この社会像に「信頼」や「分かち合い」を重んじる我が国の伝統的価値観を重ね、Society 5.0を実現

国際社会に発信し、世界の人材と投資を呼び込む

Society 5.0の実現に必要なもの

サイバー空間とフィジカル空間の融合による持続可能で強靭な社会への変革

新たな社会を設計し、価値創造の源泉となる「知」の創造

新たな社会を支える人材の育成

「総合知による社会変革」と「知・人への投資」の好循環

Society 5.0の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

- 総合知やエビデンスを活用しつつ、未来像からの「バックキャスト」を含めた「フォーサイト」に基づき政策を立案し、評価を通じて機動的に改善
- 5年間で、政府の研究開発投資の総額 **30兆円**、官民合わせた研究開発投資の総額 **120兆円** を目指す

国民の安全と安心を確保する持続可能で強靭な社会への変革

- (1) サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値の創出
 - ・ 政府のデジタル化、デジタル庁の発足、データ戦略の完遂（ベースレジストリ整備等）
 - ・ Beyond 5G、スパコン、宇宙システム、量子技術、半導体等の次世代インフラ・技術の整備・開発
 - (2) 地球規模課題の克服に向けた社会変革と非連続なイノベーションの推進
 - ・ カーボンニュートラルに向けた研究開発（基金活用等）、循環経済への移行
 - (3) レジリエントで安全・安心な社会の構築
 - ・ 脅威に対応するための重要技術の特定と研究開発、社会実装及び流出対策の推進
 - (4) 価値共創型の新たな産業を創出する基盤となるイノベーション・エコシステムの形成
 - ・ SBIR制度やアントレ教育の推進、スタートアップ拠点都市形成、産学官共創システムの強化
 - (5) 次世代に引き継ぐ基盤となる都市と地域づくり(スマートシティの展開)
 - ・ スマートシティ・スーパーシティの創出、官民連携プラットフォームによる全国展開、万博での国際展開
 - (6) 様々な社会課題を解決するための研究開発・社会実装の推進と総合知の活用
 - ・ 総合知の活用による社会実装、エビデンスに基づく国家戦略※の見直し、策定と研究開発等の推進
 - ・ ムーンショットやSIP等の推進、知財・標準の活用等による市場獲得、科学技術外交の推進
- ※AI技術、バイオテクノロジー、量子技術、マテリアル、宇宙、海洋、環境エネルギー、健康・医療、食料・農林水産業等

社会からの要請

知と人材の投入

知のフロンティアを開拓し価値創造の源泉となる研究力の強化

- (1) 多様で卓越した研究を生み出す環境の再構築
 - ・ 博士課程学生の処遇向上とキャリアパスの拡大、若手研究者ポストの確保
 - ・ 女性研究者の活躍促進、基礎研究・学術研究の振興、国際共同研究・国際頭脳循環の推進
 - ・ 人文・社会科学の振興と総合知の創出（ファンディング強化、人文・社会科学研究のDX）
- (2) 新たな研究システムの構築(オープンサイエンスとデータ駆動型研究等の推進)
 - ・ 研究データの管理・利活用、スマートラボ・AI等を活用した研究の加速
 - ・ 研究施設・設備・機器の整備・共用、研究DXが開拓する新しい研究コミュニティ・環境の醸成
- (3) 大学改革の促進と戦略的経営に向けた機能拡張
 - ・ 多様で個性的な大学群の形成（真の経営体への転換、世界と伍する研究大学の更なる成長）
 - ・ 10兆円規模の大学ファンドの創設

一人ひとりの多様な幸せと課題への挑戦を実現する教育・人材育成

探究力と学び続ける姿勢を強化する教育・人材育成システムへの転換

- ・ 初等中等教育段階からのSTEAM教育やGIGAスクール構想の推進、教師の負担軽減
- ・ 大学等における多様なカリキュラムやプログラムの提供、リカレント教育を促進する環境・文化の醸成

1-7 検討の方向性、基本的考え方

- 2030年代の次世代情報通信インフラ「Beyond 5G」の実現に向け、我が国では、「Beyond 5G推進戦略」(2020年6月 総務省)を策定し、「Beyond 5G推進コンソーシアム」及び「Beyond 5G新経営センター」を設立して産学官の活動を活発化し、国として「Beyond 5G研究開発促進事業」(※)による集中的取組に着手してきた。
- 具体的には、5Gの特長から高度化・拡張した7機能(超高速・大容量、超低遅延、超多数同時接続、超低消費電力、超安全・信頼性、拡張性、自律性)を柱として、産学官においてBeyond 5Gのビジョンや技術課題等の具体化を進めるとともに、Beyond 5G研究開発促進事業(令和2年度第3次補正予算による研究開発基金)では主に基盤的な要素技術についての公募型研究開発を開始したところである。
- Beyond 5Gを巡る国際的な研究開発競争は年々激化している。そうした中で、我が国としても、これまでの研究開発戦略や知財・国際標準化戦略をさらに具体化した上で、産学官が一体となってこれを推進することによって、開発成果の社会実装や市場獲得等の実現と、日本の国際競争力強化や経済安全保障の確保につなげていく必要がある。
- その際、あらゆる産業や社会活動の基盤に結びついていくBeyond 5Gの役割に鑑み、ウィズコロナ/ポストコロナ社会、経済成長、地方を含む社会全体のデジタル化やデジタル田園都市国家構想、環境・エネルギー、防災・減災、国土強靱化などの日本全体及び世界的な課題への対応や政府全体の政策を踏まえる必要がある。
- さらに、そうしたBeyond 5Gの役割やBeyond 5Gで求められる機能、これに対応する要素技術の内容・性質、Beyond 5Gに関連して産業界や大学が主体となり進めている取組(例:IOWNグローバルフォーラム、O-RANアライアンス、HAPSアライアンス)等も踏まえ、Beyond 5Gを現行の移動通信システム(無線技術)の延長上だけで捉えるのではなく、有線・無線、光・電波、陸・海・空・宇宙等を包含するとともに、データセンター、ICTデバイス、端末等も含めたネットワーク全体を統合的に捉えて要求条件やネットワークアーキテクチャ等を明確化し、技術戦略を具体化していくことが重要である。
- こうした点を踏まえ、技術戦略委員会においては、Beyond 5G推進コンソーシアムやBeyond 5G新経営戦略センターにおける産学官の活動や検討の状況、民間企業や大学、国研など主要な関係者の取組や知見をインプットしながら論点を整理し、主要な論点についての詳細な調査や深掘りを行い、Beyond 5Gに向けた研究開発戦略の具体化を進めることとした。

(※) 参考:これまでの取組

「Beyond 5G研究開発促進事業」:

- R2補正予算:300億(情報通信研究機構(NICT)に基金(2年間の時限)を造成)、R3補正予算:200億円、R4当初予算:100億円(電波利用料)
- Beyond 5Gの実現に必要な要素技術を確立するため、以下のプログラムに基づき、民間企業や大学等への公募方研究開発を実施。
 - ① Beyond 5G 機能実現型プログラム(Beyond 5Gに求められる機能を実現するための中核的技術の研究開発)
 - ② Beyond 5G 国際共同研究型プログラム(戦略的パートナーとの国際的な連携による先端的技術の研究開発)
 - ③ Beyond 5G シーズ創出プログラム(技術シーズ創出からイノベーションを生み出す革新的技術の研究開発)

第2章 Beyond 5Gが実現する社会像

2-1 Beyond 5Gが実現する社会像

誰もが活躍できる社会
「包摂性・Inclusive」



デジタル田園都市国家構想

地方のデジタル化、一極集中から地方分散
地域の成長産業創出、地域の交通物流確保
エネルギー地産地消 等

グリーン・環境エネルギー

2040年情報通信産業のカーボンニュートラル
実現（グリーンオブICT）
2050年カーボンニュートラルに向けたICTの
貢献（グリーンバイICT） 等

健康医療、社会寿命延伸

データヘルス、遠隔診療、人生100年時代等

国際競争力強化

オープンかつ公正なBeyond 5G市場環境 等

働き方改革

テレワーク環境の高度化 等

2030年代の社会像
強靱で活力のある社会



(Beyond 5G推進戦略)

安心して活動できる社会
「高信頼性・Dependable」



持続的に成長する社会
「持続可能性・Sustainable」



経済安全保障

Beyond 5Gに関連する重要技術育成
を通じた不可欠性、自律性の確保

ポストコロナ社会


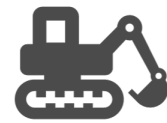




時間、距離の制約の克服
ソーシャルディスタンス 等


防災、減災、国土強靱化

災害観測・予測、災害情報共有
情報通信インフラの強靱化 等

Society 5.0 の実現


2-2 Beyond 5Gユースケース


金融	建設・不動産	物流・運輸	情報通信	メディア	エネルギー・資源
<ul style="list-style-type: none"> ◆ オンライン化・キャッシュレス化が進展し、全顧客との接点のデジタル化 ◆ AIや取引データ等の活用による、高付加価値ビジネスや他業界との連携・融通 等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ VR技術による遠隔協業・ロボット遠隔操作 ◆ IoT、無線センシングによる保守管理・監視等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 倉庫・物流における荷物の追跡・管理や機械・ロボット等の自動運転・ドローン運転 ◆ 衛星やHAPSを利用した海上ルート含む物流支援 ◆ 航空・鉄道のシームレスな乗換えや自動運行等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 誰一人取り残さないデジタル化 ◆ アバター等によるリアルな体感や、AIによる高精度の需要予測と供給の最適化 ◆ AIを活用した自律的で災害に強いネットワーク 等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 身体所有体験を含む没入型メディア体験 ◆ 個々の視聴環境等へのパーソナライズ化 等 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 資源の採掘・加工の現場作業を安全に行う、没入型遠隔操作・自動化 ◆ リサイクルデータ共通利用基盤 等 


自動車
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 高精度な車両の検知・予測による安全運転支援 ◆ 道路・交通状況のリアルタイム画像によるダイナミックマップ作成 等 


2030年代のあらゆる産業・社会活動の基盤としてのBeyond 5G


- 超高速大容量サービス
- 超低遅延性が求められるサービス
- 多数のIoTセンサが同時接続されるサービス
- 時間・場所の制約からの解放
- 利用者が求めるサービス品質を安定的かつセキュアに提供





機械・電機・工場
<ul style="list-style-type: none"> ◆ IoT、ロボット導入による工場無人化 ◆ XR等を用いた高精度の機械遠隔操作 ◆ 農機の自動化・高機能化・遠隔操作による農業のスマート化 等 


食品・農業
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 無人トラクターの自動走行や農業散布用ドローンの制御・遠隔監視 ◆ センサー・カメラ等による作物や家畜の遠隔モニタリング 等 

流通・小売・卸
<ul style="list-style-type: none"> ◆ あらゆる地域で利便性が確保される輸送・配送の高度化 ◆ サプライチェーンにおけるデータの取得・連携・流通基盤の構築 等 

医療
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 高解像度の映像・通信技術による遠隔手術 ◆ センサーによる生体情報のリアルタイム取得とAI診断による健康管理 等 

公共・行政・教育
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 利用者がどこでも手続き可能なUIを備えたワンストップ行政システム ◆ XR等を用いた臨場感のある遠隔教育 等 

防災・地域
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 災害予知システムや、救助・避難訓練支援システム、避難誘導システム ◆ HAPS等による災害時の通信基盤確保 等 

宇宙・HAPS
<ul style="list-style-type: none"> ◆ HAPS等を活用した陸海空を網羅する通信基盤によるスマートシティ実現やデジタルレバイド解消 ◆ 宇宙空間での活動への地上からの遠隔操作 等 

2-3 Beyond 5Gで期待される業界ごとのユースケース①

金融

- ①対面からオンライン化・キャッシュレス化が進展し、小売から取引すべての顧客との接点をデジタル化するデジタル貨幣社会の浸透
- ②デジタル通貨、AI、取引データ等の活用による金融サービスの高度化、高付加価値ビジネスへのシフト
- ③ホログラム等を利用した対面サービスの高度化、店舗レスバンキングサービスの台頭
- ④金融業界がもつ様々なサービスをAPI開示しBaaS(Banking as a Service)提供により他業界との連携・融合したサービスを実現
- ⑤利用者に優しい高セキュリティサービスの実現

建設・不動産

- ①施工・建設におけるVR技術を利用した熟練技術者と現場作業者の遠隔協業やロボット遠隔操作
- ②あらゆる建設部材をIoT化したインフラ・建築物・不動産の保守管理
- ③振動・温度・湿度・ガス等のセンサーを付けた無線センシングによる常時監視や予防保全、サイバー空間上で設計処理、自動建設機械やロボットによる機材運搬・自動施工
- ④不動産取引における安全なデジタル決済、デジタルツインによる不動産管理・取引の効率化、AIによる投資助言、VRによるオンライン不動産内見

物流・運輸・倉庫

- ①倉庫・物流における高度なIoTやRF Tag等による荷物位置の追跡・管理用
- ②倉庫・物流施設内でのローカル通信ネットワークを用いた機械・ロボット等の自動運転
- ③物流におけるドローン、コネクティッドカー、船の利用による効率化、省力化、高速化
- ④人工衛星やHAPS等NTNを利用した海上ルート含む全地球的カバレッジによる物流支援
- ⑤ビッグデータ/AIを使った生産・配送の先読みやルートの最適化・自動化、ARによる作業の効率化・遠隔操作、クラウドやデジタルツインによる冗長性・補完性確保

鉄道

- ①事故ゼロで安全安心な鉄道輸送を実現するための、AIとロボットによるドライバレス運転、自動メンテナンス、駅ホーム見守り
- ②あらゆる生活シーンにおいて最適かつシームレスな移動を実現するための、MaaS連携、他言語翻訳、キャッシュレス決済強化、移動中リモートワーク対応
- ③一人ひとりに最適化され、すべての人が心豊かに生活できるまちを実現するための、リアルとバーチャルの融合、アーバンファームing

航空

- ①旅客の自宅から空港・空港内の移動における最適でストレスフリーなルート、移動手段、保安検査、荷物管理等の提供
- ②航空機内での、持ち込みデバイスと連動し、没入感のあるVR/ARも活用した、パーソナライズされた快適な環境・空間・時間の提供
- ③新素材の活用や航空機内配線のワイヤレス化が進み、機体の軽量化による燃費向上・CO2排出量削減
- ④航空管制・航空機のセンサーの高度化によりパイロット数削減、無人飛行、離着陸時等のきめ細かな管制を実現
- ⑤航空管制における精度・処理能力の向上や包括的管理によるスマート化により混雑空港での高密度運航の実現
- ⑥ドローンによる物流、軽量、監視、災害対応、インフラ点検、空飛ぶクルマによる有人飛行、自動操縦、遠隔操縦の実現
- ⑦ソニックブームの低減や燃費向上に対応した超音速旅客機の実現

情報通信

- ①アバターやロボット等を介して自宅にいながら地球上のどこにでもリアルな体感でアクセス可能な超テレプレゼンス
- ②思考や行動がサイバー空間からリアルタイムに支援を受けることで身体能力や認知能力を拡張する超サイバネティクス
- ③車同士が互いに制御し合うことで信号待ちや渋滞が発生しにくい交通システムを実現する超相互制御型ネットワーク
- ④AI技術による高精度の需要予測とリアルタイムの多地点間マッチングにより食品等の廃棄がゼロになる超リアルタイム最適化
- ⑤AIによる自動検知・自動防御・自動修復等によりユーザーが意識せずともセキュリティ・プライバシーが確保される超自律型セキュリティ
- ⑥ネットワーク構成や電力消費量/供給方法を柔軟かつ自律的に変えて災害時等でも通信が途絶えない超フェイルセーフ・ネットワーク
- ⑦誰一人取り残さないデジタル化や災害時も途絶えない安定したネットワークの整備

メディア

- ①誰でも、いつでも、どこでも、どのような端末でもデジタルコンテンツへのアクセスが可能であり、また、各ユーザーが自身のコンテンツを配信し、リッチかつ多様なマルチメディアアプリケーション開発者コミュニティを可能とするグローバルエコシステム
- ②ホログラフィックコミュニケーションやインターネットの身体所有体験を含むさらなる没入型メディア体験
- ③個々のユーザー・視聴環境・視聴デバイスに適應した一層のパーソナライズ化

環境・エネルギー・資源

- ①資源探掘や資源加工を効率化するための、あるいは奥地化・深部化が進んだ探掘現場の作業を安全に行うための没入型遠隔モニタリングと遠隔操作および自動化
- ②探掘した資源の運搬を効率化する運輸管理システム
- ③紙資源のサステナビリティとしての計画的植林とロボット・ドローンによる作業支援
- ④サプライチェーン全体として効率化されたりサイクルデータ共通利用基盤
- ⑤地球温暖化に起因する災害に備えての災害予知システムや、救助・避難訓練支援システム、避難誘導システム

自動車

機械

電機・精密

半導体・工場

- ①従来のレーダーよりも高解像度・広範囲・高角度測位で正確な車両検知し、デジタルツインでタイムリーに予測をフィードバックする安全運転支援
- ②車両から道路状況・交通情報をリアルタイム画像として送信することで作成されるダイナミックマップ
- ③各種センサーの高度化により車両単体では処理できない膨大な情報からの学習や推論を複数車両や基地局等で行うAI自動運転
- ④災害時の交通インフラ停止にも対応する、車両間及び衛星・HAPSとの通信による避難誘導
- ⑤より少ない人員で広域の車両を監視・運転する遠隔車両制御

- ①XR等を用いたインタラクティブなやりとりによる高精度の機械遠隔操作、海中や宇宙での活動、感覚共有
- ②機械と人または機械同士の、高精細映像を中心としたリアルタイム情報共有
- ③人間の機能・行動を担うロボットやアバター
- ④多種多様なセンサーからのデータを活用した工場の製造工程自動生成と、それによりコンバクト生産やカスタマイズ生産に柔軟に対応できるスマート工場
- ⑤収集したデータに基づく性能向上や工作工程の知能化、大規模センサーネットワーク活用、超高速低遅延なモーションコントロール等を実現した工作機械
- ⑥省人化・無人化の促進、誰でも安全安心なリモート操作、空間的・時間的に柔軟な施工管理等を実現する建設機械
- ⑦農機の自動化・高機能化にとどまらず遠隔農業や出荷計画を含む農業生産のあらゆる面をスマート化する農業機械
- ⑧船舶や港湾設備の自動化・効率化、ロボット活用による積みおろし、船舶自動運転

- ①家電製品から産業用機械まであらゆる機器・システムが通信を介して連携
- ②業界内の領域・分野間だけでなくその他幅広い業界も含めた共創活動や連携が促進
- ③未来志向のユーザ中心デザインの実装など、専門家だけでなくあらゆるユーザが自分で容易に扱えるようになるためのニーズ対応

- ①工場の稼働継続・稼働率を低減させないIoT・ロボット等の導入による半導体工場内の省人化／無人化
- ②AI技術を活用したサプライチェーンコントロールや開発現場の省人化／無人化
- ③半導体の生産量を低減させない半導体製造における前工程等のリードタイムの短縮化・半導体製造装置の低価格化
- ④微細化以外の半導体技術の進化、微細化に係る技術を保有するメーカーによる寡占からの脱却
- ⑤消費電力やCO2削減のため、電気自動車のモーター駆動等で使用されるパワー半導体の小型化・電力の低損失化
- ⑥地震・洪水・火災・停電などのあらゆる災害から回避する手法の確立も含めた半導体工場の耐災害性の強化

生活・食品・農業

流通・小売・卸

医療

公共・行政・教育

- ①農業・畜産における無人トラクターなど車両の自動走行や農薬散布用ドローン等の飛行制御及びそれらの遠隔監視
- ②農場・牛舎等におけるセンサー・カメラ等の機器による作物及び家畜等の周辺状況のリアルタイムでの遠隔モニタリング
- ③食品や生活・文化用品等の生産ラインや作業員の動きなどのサイバー空間を通じた監視・制御による稼働率・メンテナンス性・生産性の向上
- ④食品や生活・文化用品の在庫管理とAI・ビッグデータを組み合わせることによる小売店舗への最適な流通管理の実現

- ①あらゆる地域においても首都圏レベルの利便性と生活環境が確保される輸送・配送の高度化
- ②サイバーフィジカル空間上でサプライチェーンの全てのデータが取得され、ハイパージャイアント等または業界間連携により商品やサービスが持続的に展開される、データ連携・流通基盤の構築
- ③輸送・配送における温室効果ガス排出量の把握・削減など環境規制の対応

- ①生体センサーを用いて心拍数や血中酸素濃度などの生体情報をリアルタイムに取得しAIで診断する健康管理システム
- ②身体機能を補助するためXR技術に触覚を加えて人体にフィードバックするハプティクス技術、脳と直接信号をやりとりするブレインマシンインターフェイス(BMI)
- ③ゲノム情報を含む個人の医療・健康情報を一元管理するパーソナルヘルスレコード(PHR)
- ④ナノマシン等を用いて手術での患者の身体負担を低減させる低侵襲治療
- ⑤高解像度の映像と通信技術及びロボティクスを融合させた遠隔手術を行う移動手術室
- ⑥パンデミックピーク時にも対応できる多患者AI遠隔診断

- ①縦割りのシステムではなく、利用者がどこにいても容易に行政手続きをすることができるUIを備え、教育を含む準公共サービスとも連携した、誰一人取り残さない、人に優しいデジタル化を実現するワンストップ行政システム
- ②XRとウェアラブルディスプレイ等による臨場感のある遠隔教育
- ③災害時など、端末から非常に多く通信が発生した際にも利用者が享受できる行政サービス
- ④行政・関連機関が持つ様々なオープンデータを収集するための多数端末が収容可能なネットワーク

飲食	娯楽・レジャー	宇宙	HAPS
<ul style="list-style-type: none"> ① 人件費の削減や諸費用を抑えるため、ロボットやIoT、AI等の先端技術の活用による調理工程等の効率化 ② 人件費の削減のため、ローカルBeyond 5Gを使い飲食店内の配膳ロボットが客席まで自動運転 ③ IoT技術による客席の空き状況の把握や注文管理 ④ ロボットの稼働状況や食材の在庫状況、注文状況や宅配食サービスの配達状況等を一括監視するため、各飲食店の状況データをサイバー空間上にCPSによりマッピング ⑤ テイクアウト商品のドローンによる宅配食サービス 	<ul style="list-style-type: none"> ① 触覚・嗅覚・味覚も含めた空間再現による究極の没入感体験 ② 超高音質・超高画質なエンターテインメントコンテンツの提供による究極の没入感体験 ③ リアルタイムなエンターテインメントコンテンツの提供によるバーチャルとリアルを融合させて楽しむエンターテインメント 	<ul style="list-style-type: none"> ① 宇宙飛行士への地球上からの遠隔医療行為 ② シームレスな通信環境の下、宇宙ホテルでのワーケーションの実施 ③ ISSのメンテナンスを地上からの遠隔操作またはロボットの自律化機能により実施 ④ 地上特有の災害が発生しない宇宙空間を利用した、地上インフラ設備の宇宙空間へのバックアップ・緊急待避場所の運用 ⑤ 宇宙空間を安全に保つためのスペースデブリとの衝突の回避 ⑥ 地上のインフラに依存しない宇宙空間でのレジリエントなインフラ・通信ネットワークの構築 ⑦ 月・火星・深宇宙と地球上のシームレスな通信 ⑧ 月面上での現地資源利用（ISRU：In-Situ Resource Utilization）等の持続的な将来活動 	<ul style="list-style-type: none"> ① 過疎地や離島・山間部では安全安心に暮らすために宇宙と地上の統合ネットワークを利用したスマートシティ実現 ② 災害や障害発生時に備えた信頼性の強化やデジタルデバイドの解消のための上空や宇宙利用による通信環境 ③ 陸海空を網羅する通信基盤 ④ 従来の地上基地局では展開が困難であったルーラルエリアや上空・海上を含むあらゆる場所であらゆる人々にインターネットを届けられる世界を実現 ⑤ 世界中をリアルタイム・高頻度・高分解能で観測することにより、異常気象や津波等の災害予測を行い、避難勧告等を行う

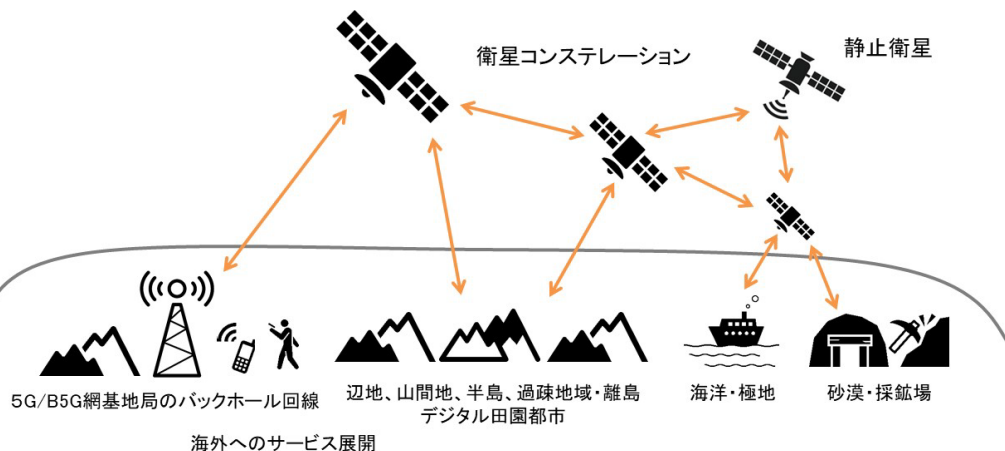
2-4 Beyond 5Gにおける宇宙ネットワークのユースケース①

	ユースケース	概要	ユースケース実現に必要な技術例
1	地上系ネットワークの拡張	<ul style="list-style-type: none"> ● 山間辺地、離島、半島、海洋、砂漠、鉱山等、通信インフラ未整備地域への通信サービスの拡張 ● 携帯基地局向けバックホール回線の提供 ※バックホール回線：電波を送受信する基地局と基幹通信網をむすぶネットワーク ● デジタル田園都市国家構想の実現（地方からデジタルの実装、地方の成長産業創出、交通物流の確保） ● 電気通信事業者のサービスの海外展開 ※衛星コンステレーションは必然的に海外へのサービス展開となる。 ● 日本企業の海外展開支援（通信インフラ未整備地域で活躍する鉱山機械、建設機械、自動車、船舶、各種プラント等） ● 安全保障分野に対する高速大容量・超低遅延の通信サービス 	光通信技術、地上網とのシームレス連携技術、ネットワーク制御・運用技術 等
2	移動するプラットフォームへの通信サービス	<ul style="list-style-type: none"> ● 移動するあらゆるプラットフォームに対する切れ目のない通信サービスの提供 ● 地上系ネットワークと連携しながら、地球上のどこに存在してもネットワークに接続 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 従来の自動車、航空機、鉄道に加え、自動運転車、空飛ぶクルマ、ドローン、有人宇宙船、船舶・クルーズ船、ロボット、コンテナ、サイクリング、建設機械、農業機械、家畜、他のリモートセンシング衛星 等 ● 上空を飛行するプラットフォームに対しては、宇宙ネットワーク経由で確実に通信 	ハンドオーバー技術、ネットワーク制御・運用技術、タスク管理技術 等
3	宇宙クラウドサービス	<ul style="list-style-type: none"> ● 地球上のあらゆる場所や移動するプラットフォーム、宇宙空間、月面基地がダイレクトにクラウド基盤とつながる。 ● 宇宙空間にもクラウド基盤が展開され、利用者が必要とする最適なクラウドサービスが提供 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 衛星リモセンのビッグデータにはエッジAI処理、ロードバランス、ルーティング等のサービスを宇宙空間で提供 ➢ 衛星と地上データセンターを直結することで、地上ネットワークを介さない超高速・低遅延のデータサービスが実現 ➢ 業種別のインダストリ・クラウドが発展し、宇宙空間も活用した最適化されたクラウドサービスが実現 ➢ 宇宙空間における盗聴・改ざん防止のためのサイバーセキュリティの提供 	衛星光通信技術、ネットワーク制御・運用技術、エッジAI技術、セキュリティ技術 等
4	宇宙・極地・海洋の経済活動支援	<ul style="list-style-type: none"> ● 極地開発（南極、北極海航路開発、氷河・冰山・流氷・オーロラ観光）、海洋開発、有人宇宙旅行、サブオービタル有人飛行、月面資源開発（アルテミス計画）、深宇宙探査に対する通信サービスやソリューション提供 ● 自然災害対策、火山噴火・海洋状況監視、事故防止、気候変動対策のための宇宙経由のIoTサービスの展開 	ネットワーク制御・運用技術、光地上局技術、クラウド連携技術 等
5	通信ネットワークの強靱化対策	<ul style="list-style-type: none"> ● 地上系の通信ネットワークの冗長性確保、災害発生時の迂回ルート確保、重要回線のバックアップ ● 企業BCP対策の支援（衛星携帯電話や衛星データ通信。将来はビル屋上に衛星光通信装置が設置） ● データセンターに接続するネットワークの強靱化対策 ● 安全保障分野における宇宙ネットワークの活用 	ネットワーク・シミュレーション技術、サイトダイバーシティ技術、タスク管理技術 等

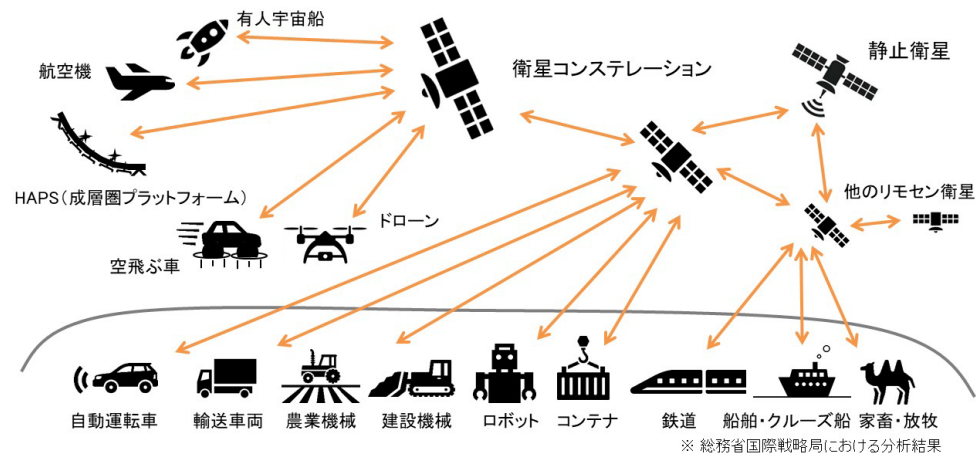
2-4 Beyond 5Gにおける宇宙ネットワークのユースケース②

	ユースケース	概要	ユースケース実現に必要な技術例
6	量子暗号による安全な通信（宇宙経由の暗号鍵配送）	<ul style="list-style-type: none"> ● 盗聴・改ざんが困難な量子暗号通信の提供 ● 国際間・大陸間の量子鍵配送サービス <ul style="list-style-type: none"> ➢ 近年、量子コンピュータの研究が国際的に加速。計算量的安全性に依拠した現在の暗号通信は、量子コンピュータの実用化により解読されるおそれ。量子コンピュータでも解読できない量子暗号通信が不可欠 ➢ また、光ファイバ（地上基幹網、海底ケーブル）では、光子を用いた100km以上の量子鍵の伝送は減衰により困難。さらに、中継増幅器自身の雑音が盗聴検知を邪魔する。このため、国際間・大陸間の量子鍵配送は、地上インフラのみでは実現できないおそれ。 ➢ 一方、宇宙空間では光通信によって何万kmでも光子を伝送できるため、国際間の量子鍵配送が実現可能 ● サイバーセキュリティにおけるゲームチェンジャーとして、宇宙ネットワークによる量子鍵配送が世界的に不可欠に。 	量子暗号通信技術、セキュリティ技術、光通信システム技術 等
7	宇宙経由の超低遅延ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> ● レイテンシ（通信に要する遅延時間）にセンシティブなユーザー向けに低遅延通信サービスの提供 ● 金融高速取引、遠隔の建設機械操作、オンラインのゲーム対戦、遠隔医療診断、防衛分野 等 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 海底ケーブルで用いられる光ファイバよりも、真空（宇宙空間）の方が光の伝播速度が速いため、この特性を活かした長距離通信・国際間通信が衛星コンステレーションによって提供できる可能性 	ネットワーク制御・運用技術、ネットワーク・シミュレーション技術 等
8	マルチキャスト型データ配信サービス	<ul style="list-style-type: none"> ● 衛星放送に代表されるように宇宙ネットワークの利点はマルチキャスト型サービス（多数への効率的な一斉同時配信） ● 宇宙経由のコンテンツ配信、対戦型ゲームにおけるデータ配信、各種ファームウェア更新、エッジAIのアルゴリズム更新、緊急地震速報、災害時の避難所情報共有、遠隔教育、遠隔の社内放送、イベント中継 等 	ネットワーク制御・運用技術、地上局の小型軽量化技術、タスク管理技術 等
9	次世代型メタバースの実現（アバターロボットの極地活動支援）	<ul style="list-style-type: none"> ● メタバースとは、コンピュータネットワークに構築される三次元の仮想空間（バーチャル空間） ● 将来、人間が容易には到達できない空間（極地、宇宙、月面、海洋・海底、山岳地帯等）において、宇宙ネットワーク経由でアバターロボットを操作することで、次世代型メタバースが実現 ● 「現実世界」と「仮想空間」のメタバースに新たに「超限界空間」を加えることで、高度なマルチエクスペリエンス、働き方改革（テレワーク環境の高次元化）、エンターテインメント、極地観光が実現 	ネットワーク制御・運用技術、地上局の小型軽量化技術、クラウド連携技術 等
10	究極の“カーボンニュートラル通信”の提供	<ul style="list-style-type: none"> ● 衛星は太陽電池パネルが使用され、化石燃料を使用しないカーボンニュートラル（脱炭素）によるサービスの代表例 <ul style="list-style-type: none"> ➢ さらに、一部のロケットは再生可能な水素エネルギーを使用。繰り返しの再使用可能なロケット本体もある。 ● 再生可能エネルギーの利用を選択したい企業に対しては、選択に宇宙ネットワーク経由の通信サービスを提供 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 持続可能な社会に貢献する企業イメージの向上 ➢ 特別な記念日のメッセージ送信は、「カーボンニュートラルな宇宙経由」のサービスを選択できるように。 	ネットワーク制御・運用技術

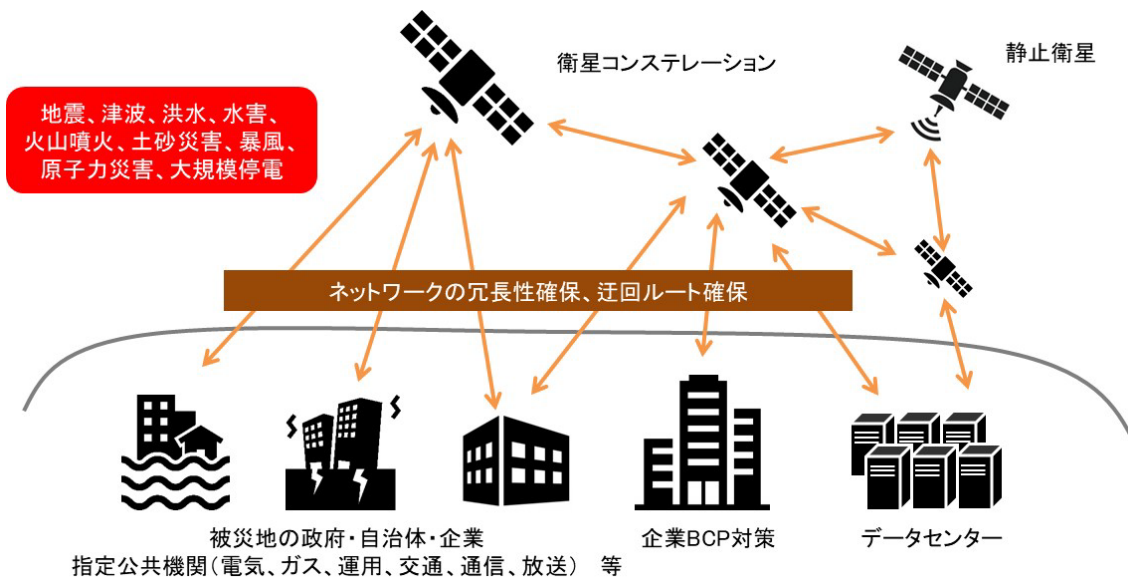
ユースケース1 (地上系ネットワークの拡張)



ユースケース2 (移動するプラットフォームへの通信サービス)



ユースケース5 (通信ネットワークの強靱化対策)



第3章 Beyond 5Gに求められる要求条件

3-1 Beyond 5Gが備えるべき要求条件

性能面の要求条件

(参考) 5Gの要求条件

高速・大容量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 数10～数100Gbpsのスループット (ホログラフィックコミュニケーションでの非圧縮伝送の場合 (メディア)) ・ 50Gbps (遠隔監視と遠隔制御 (自動車)) ・ 10～100Gbps (スマート物流化 (小売卸流通)) ・ 数10Gbps超 (遠隔手術 (医療)) ・ 48～200Gbps (Volumetric video (エンタメ)) ・ 数10Gbps (低・中軌道軌道 (宇宙)) ・ 10Mbps以上 (自然災害対策 (社会)) 	下りで最大20Gbps程度、上りで最大10Gbps程度
低遅延	<ul style="list-style-type: none"> ・ ローカルネットワーク内でミリ秒オーダー (物流施設の完全自動運転 (倉庫・物流)) ・ 数ミリ秒 (リアモーターカー等の超高速鉄道の緊急停止 (鉄道)) ・ 100ミリ秒 (没入型機器遠隔操作システム (エネルギー資源)) ・ 1ミリ秒 (遠隔監視と遠隔制御 (自動車)) ・ ローカル通信で100マイクロ秒 (モーション制御 (機械)) ・ 1ミリ秒 (ロボットリモートコントロール (半導体業界)) ・ MTP (Motion To Photon) 10ミリ秒*、TTP (Time To Present) 70ミリ秒 (Volumetric video (エンタメ)) 	1ミリ秒程度
多数同時接続	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無線端末の増加・高密度化や相互通信 (車や人の動き等あらゆるデータ抽出、インフラのアップデート) を行うセンシングデータ社会 ・ 数100万～数1,000万個/km2のデバイス (体内デバイス (医療)) 	100万台/km2 程度
測位・センシング	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1～2cmの測位精度 (土木工事 (建設・不動産業界)) ・ cmレベルのセンシング精度 (夜間, 地方の車両単独走行 (自動車)) 	

社会的な要求条件

低消費電力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2040年の情報通信産業のカーボンニュートラル実現 ・ 通信やコンピューティング・デバイスの処理を電気から光に変える省電力化、電力消費の多い無線基地局の省電力化等 (グリーンオブICT) ・ Beyond 5Gの社会実装による経済、社会活動の効率化と環境負荷低減 (グリーンバイICT)
拡張性 カバレッジ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 陸海空をシームレスにつなぎ国土カバー率100% (通信・IT業界) ・ 旅客機、船舶へのサービス提供、ドローンとの通信 (航空、物流) ・ 宇宙空間や月でのカバレッジエリア (宇宙)
自律性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 必要なモノ・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供することができるような自律的な最適化機能や将来予測機能 (通信・IT業界) ・ 各機器の自律性の向上や接続/操作時のユニバーサル対応 (電機・精密) ・ ゼロタッチで機器が自動連係 (体内デバイス, カメラ連携 (医療))
オープン性・ グローバル性	<ul style="list-style-type: none"> ・ ネットワークのオープン化により、ネットワーク機器市場における公正な国際競争環境を確保できること ・ 高性能なハードウェアとソフトウェアで構成するソフトハード分離により、新しい経済合理性を見いだせること ・ ゲームチェンジ、グレートリセットが可能な革新的な研究開発成果を実装すること
安全・信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ・ ミッションクリティカルな分野・用途で安定的かつセキュアに利用可能、欠損が許されない社会基盤としての品質保証 (金融取引、公共・行政 (データベース等)、水道、交通・運輸 (道路、鉄道等)、医療 等)、高信頼を強みとしたビジネス・仕組みづくり (通信サービスのパッケージ化等) ・ 10⁻⁶ (遠隔監視と遠隔制御 (自動車))、10⁻⁷ (遠隔手術 (医療)) ※単位は、Block Error Rate
強靭化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高確率で発生が予想される巨大地震、激甚化する風水害等への耐性を有するシステムの冗長性、強靭性

第4章 Beyond 5Gネットワークの全体像

4-1 Beyond 5Gのネットワークアーキテクチャ

(川添構成員プレゼン資料を元に事務局作成)

サービス

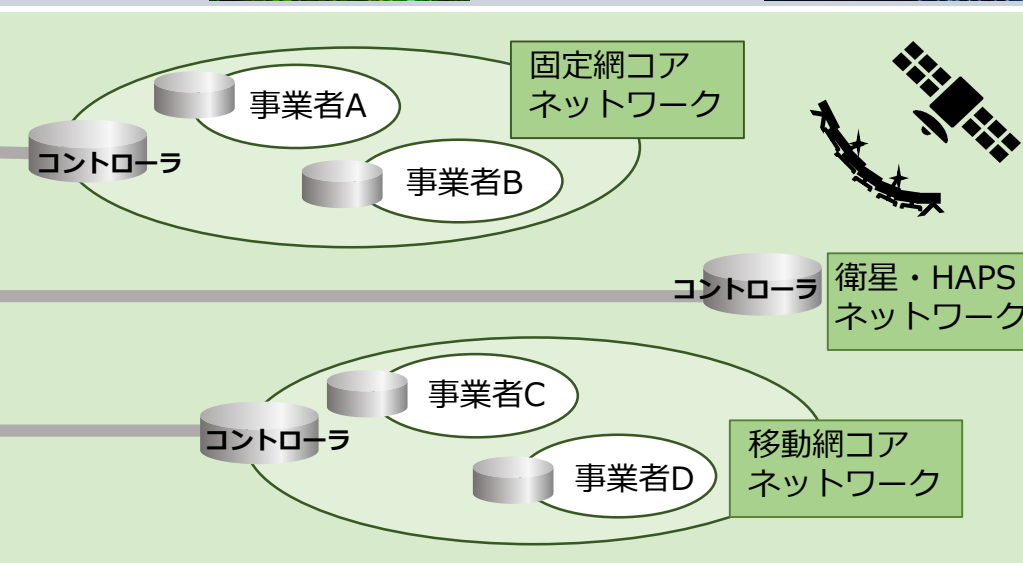


デジタルツインコンピューティング

- ◆ 様々な分野のデジタルツインを組み合わせ、サイバー空間上に再現することで、革新的サービスを実現

ネットワークプラットフォーム

マルチネットワークリソースの最適化制御機能
(マルチネットワークオーケストレータ)



移動固定網融合

- ◆ ネットワークオーケストレータの制御の下、固定網、移動網、衛星・HAPSネットワークのコアネットワーク部分の共用、融合を実現

データセントリックコンピューティング

- ◆ ネットワークモジュール間をP2Pで大容量光接続

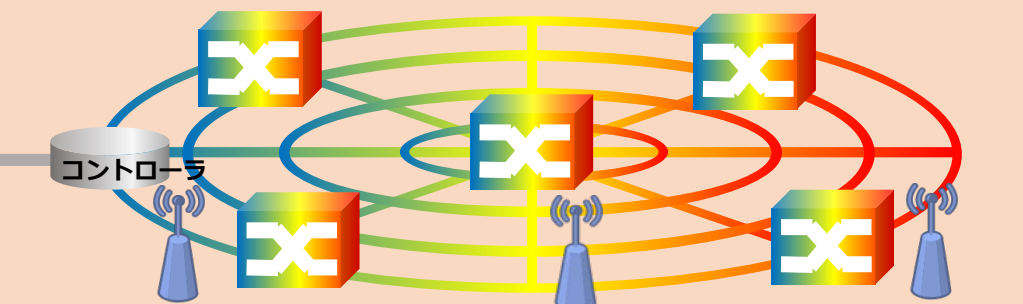
光ダイレクト対応多地点接続

- ◆ 必要な時、品質で任意の地点間を光通信パス接続

エクストリームNaas

- ◆ 有無線網含め究極のサービス品質をE2Eで提供

ネットワークインフラ



大容量ネットワーク

- ◆ ユーザ施設、データセンタ間等をE2Eで大容量光ネットワーク、無線アクセスにより接続
- ◆ 光電融合等により、電力効率、伝送容量、遅延等の面で既存ネットワークを大幅に凌駕

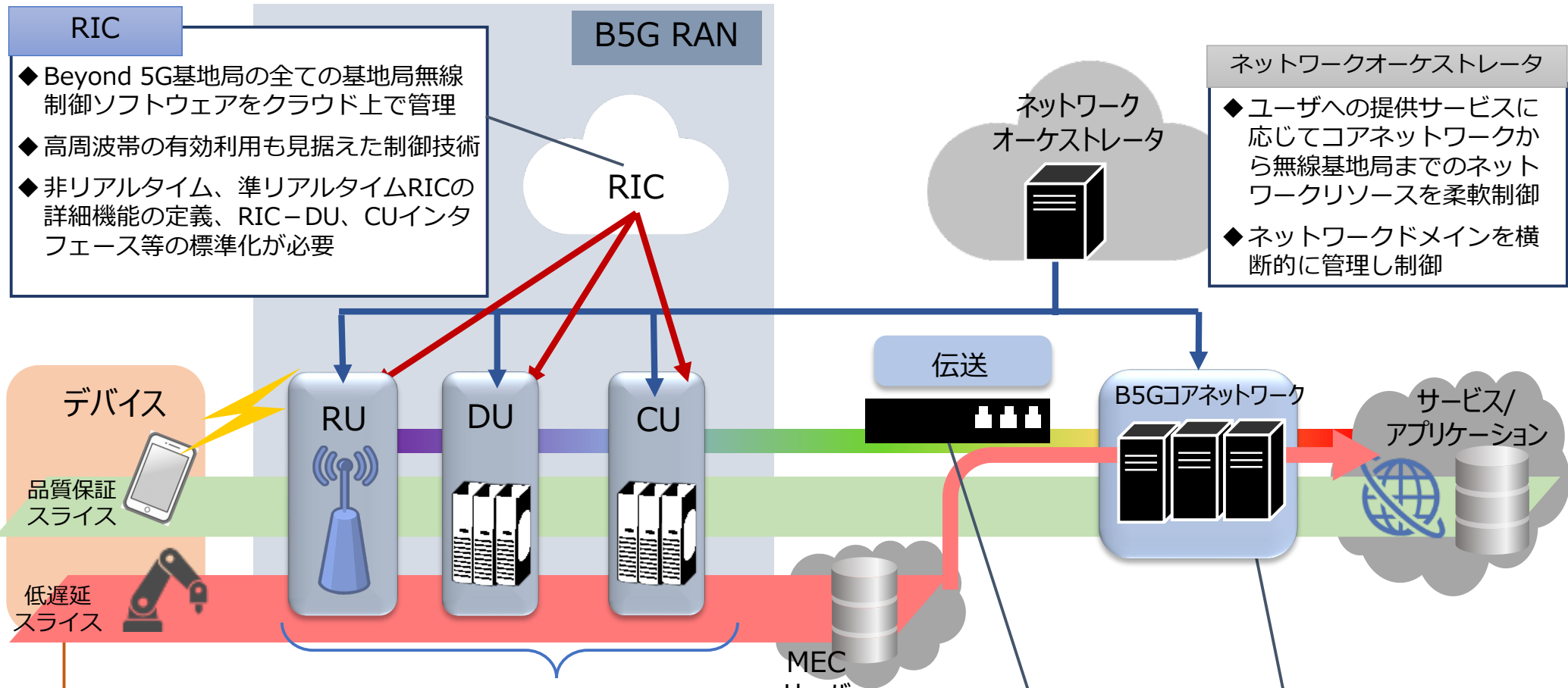
デバイス・装置・端末



ミッションクリティカルなサービス端末

- ◆ 様々な分野におけるミッションクリティカルなサービスの実現

4-2 Beyond 5Gネットワークの基本構成要素



RIC

- ◆ Beyond 5G基地局の全ての基地局無線制御ソフトウェアをクラウド上で管理
- ◆ 高周波帯の有効利用も見据えた制御技術
- ◆ 非リアルタイム、準リアルタイムRICの詳細機能の定義、RIC-DU、CUインタフェース等の標準化が必要

ネットワークオーケストレータ

- ◆ ユーザへの提供サービスに応じてコアネットワークから無線基地局までのネットワークリソースを柔軟制御
- ◆ ネットワークドメインを横断的に管理し制御

デバイス

品質保証スライス

低遅延スライス

デバイス

- ◆ IoT端末の超低消費電力化
- ◆ RFチップのミリ波対応
- ◆ 端末を含めたE2E仮想化・ソフトウェア化
- ◆ 端末と周辺デバイスとの協調による上り情報伝送性能の改善

RU/ DU/ CU

- ◆ 基地局制御機能 (RIC) のソフトウェア化とクラウド上からの管理
- ◆ CU、DUを超強力汎用ハードウェアにより構成
- ◆ ミリ波、テラヘルツ波対応RUハードウェアの開発

伝送

- ◆ 既存ネットワークにおける高速光伝送装置のBeyond 5Gへの適用
- ◆ マルチコア光ケーブルのBeyond 5Gへの導入
- ◆ 継続進化アーキテクチャ

B5Gコアネットワーク

- ◆ 超強力汎用ハードウェアとソフトウェアによるハード・ソフト分離
- ◆ 5Gコアネットワークからのシームレスな移行
- ◆ 固定網、移動網コアネットワークの融合

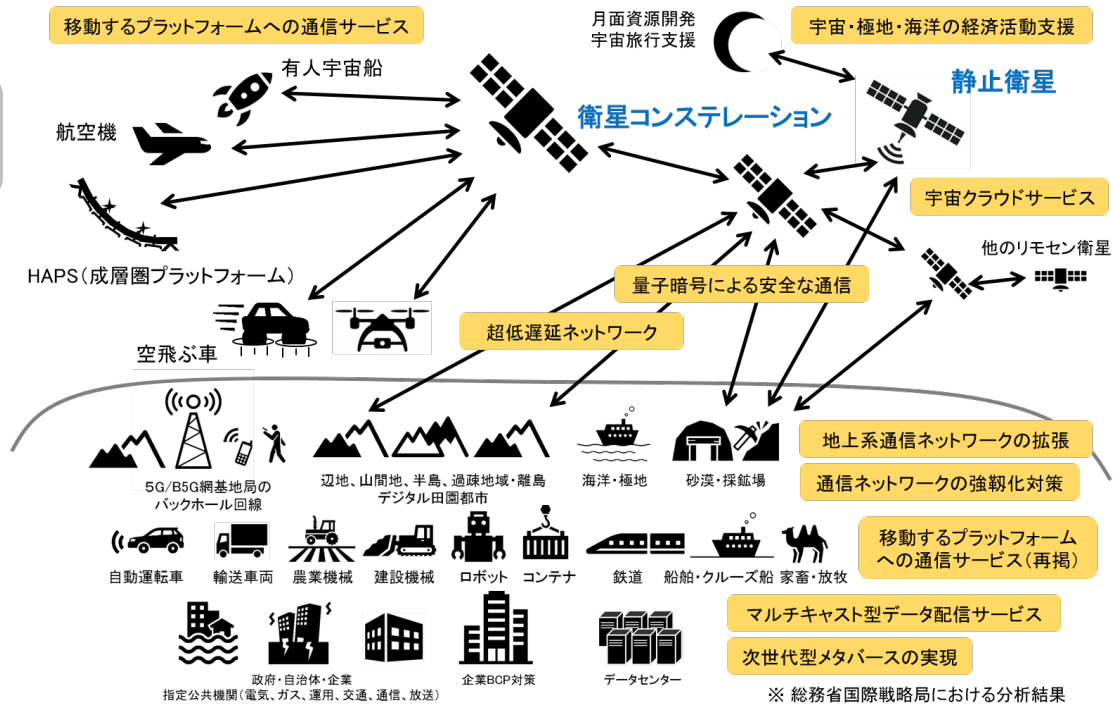
4-3 非地上系ネットワーク (NTN)

- Beyond 5Gでは、地上系ネットワークと衛星ネットワークや高高度プラットフォーム(HAPS)等の非地上ネットワーク(NTN)を統合的に運用し、陸上(100%カバー)のみならず、海上、上空、宇宙でもシームレスに利用可能なサービスの提供が期待。
- 宇宙政策、航空政策、科学技術イノベーション政策、経済安全保障政策との連携が必要。
- これまで総務省、NICTにおいて取り組んできた衛星光通信、量子暗号通信技術の研究開発成果の展開について、技術ユーザとなり得る産業界及び関係府省との連携を推進することが必要。

高高度プラットフォーム (HAPS) のイメージ



2030年代の宇宙通信ネットワークのイメージ



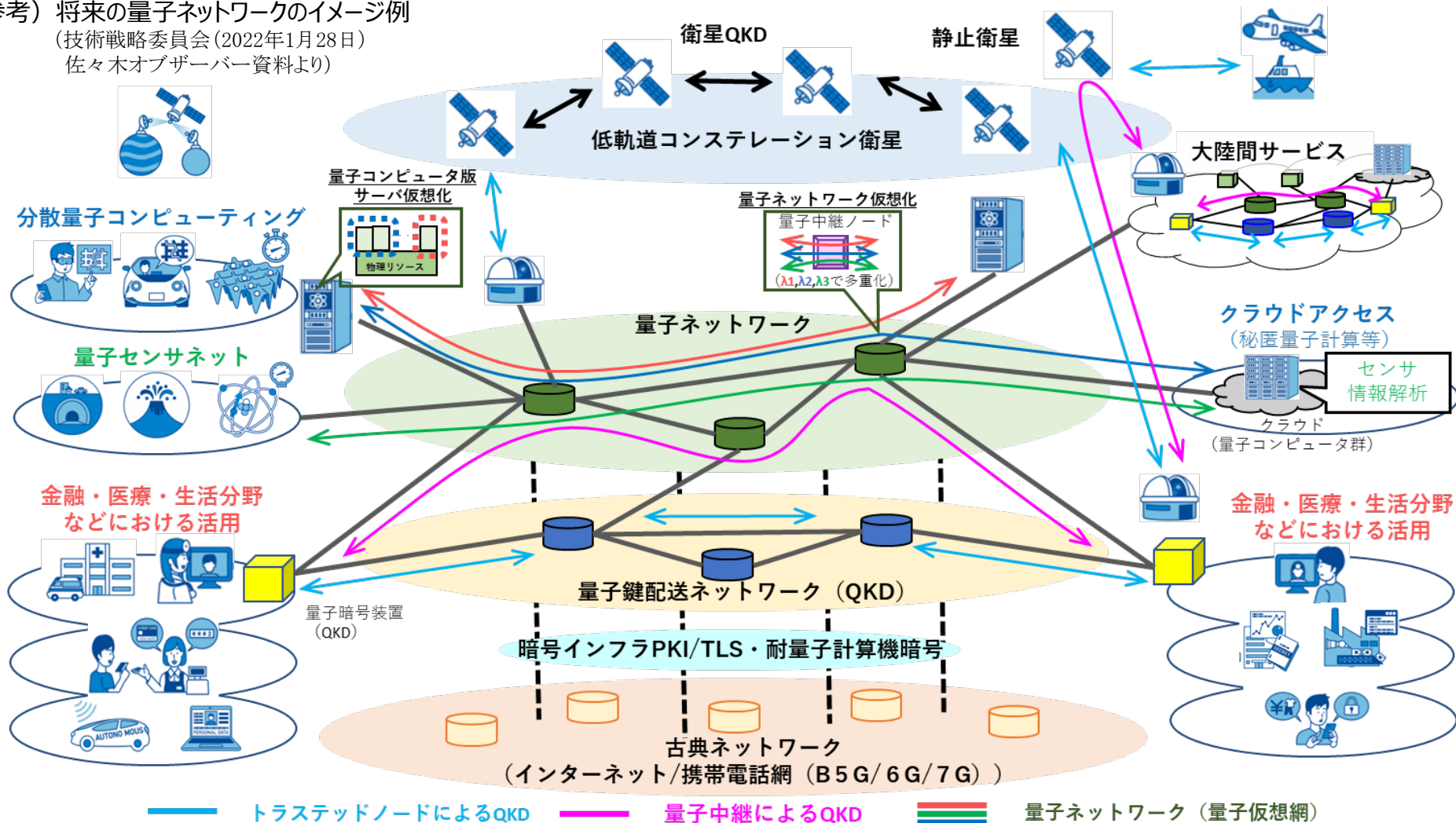
※ 総務省国際戦略局における分析結果

4-4 量子ネットワーク

- Beyond 5Gの実現に関連する先進技術分野として、量子コンピューティング、量子センシングや、光時計等といった量子情報機器・デバイスが相互に接続され、量子情報(量子ビット)が流通する「量子インターネット」の実現が期待されている。
- 2040年頃には、衛星・地上のグローバルな量子ネットワークが構成され、これらのネットワークを活用した量子アプリケーション・サービスの提供が想定される。

(参考) 将来の量子ネットワークのイメージ例

(技術戦略委員会(2022年1月28日)
佐々木オブザーバー資料より)



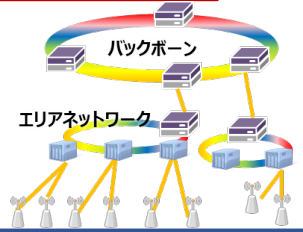
第5章 重点的に取り組むべき研究開発課題

オール光ネットワーク技術

- 有線ネットワークをオール光化し、超高速大容量、超低遅延なサービスを超低消費電力で提供

超高速・大容量・超低遅延

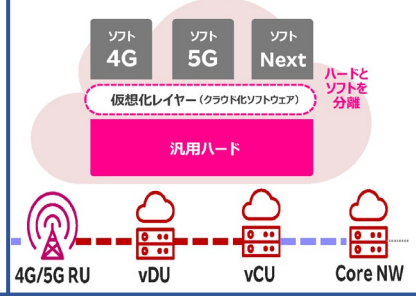
超低消費電力



オープンネットワーク技術

- ベンダーロックインリスクから脱却し、公正なBeyond 5G市場の競争環境を実現

自律性 超安全・信頼性

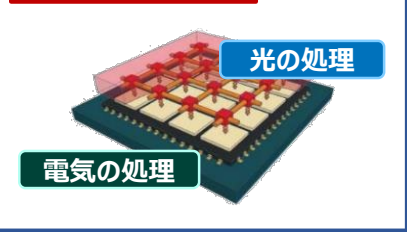


情報通信装置・デバイス技術

- 情報通信装置・デバイスレベルで光技術を導入し、超低遅延かつ超低消費電力な通信インフラを実装

超高速・大容量・超低遅延

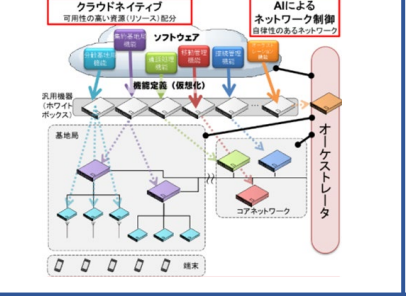
超低消費電力



ネットワークオーケストレーション技術

- ユーザニーズに応じて柔軟にネットワークリソースを割当て、サービスを提供

自律性 超低消費電力



無線ネットワーク技術

- 基地局から端末への超高速大容量な高周波無線通信を効率的かつ確実に接続

超高速・大容量・超低遅延

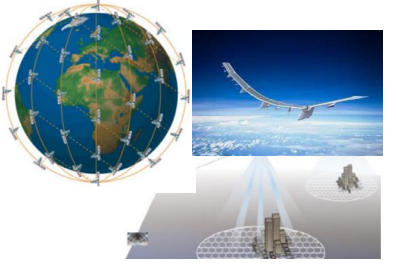
超多数接続



NTN (HAPS・衛星ネットワーク) 技術

- 日本国土のカバー率100%、陸海空・宇宙のエリア化を実現
- 災害時のインフラ冗長化

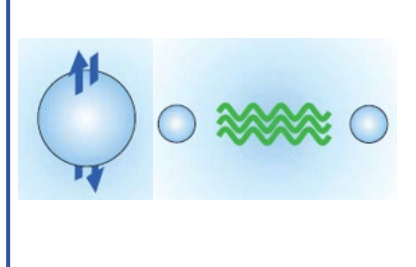
拡張性 超安全・信頼性



量子ネットワーク技術

- 量子の性質を利用した暗号通信、ネットワークにより絶対安全な通信を実現

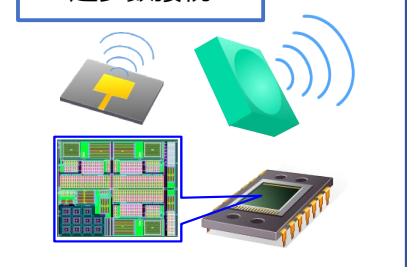
超安全・信頼性



端末・センサー技術

- ミリ波、テラヘルツ波を超高速大容量なモバイル通信用途に活用

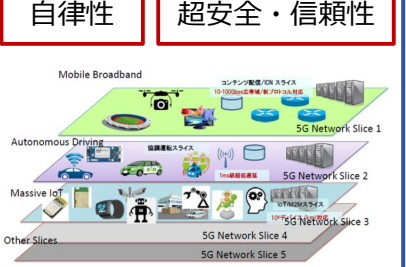
超高速・大容量・超低遅延



E2E仮想化技術

- 端末を含むネットワークの仮想化により、エンドツーエンドでサービス品質を保証
- 継続進化可能なソフトウェア化

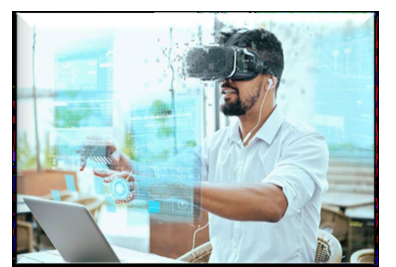
自律性 超安全・信頼性



Beyond 5Gサービス・アプリケーション技術

- Beyond 5Gの能力を最大限に発揮し、様々な社会課題の解決や人々の豊かな生活を実現

拡張性



日本の強み

- 日本が強みを有する又はそのポテンシャルを有することから、研究開発投資を集中することによって、他国との間で優位性を確保することが見込める

技術的難易度

- 技術的難易度が高く実用化に向けて研究開発上のブレイクスルーを必要とすることから、民間単独での研究開発投資にリスクを伴う

自律性確保

- 他国の研究開発に過度に依存すると、我が国における自律的、安定的な情報通信サービスの提供に支障を来すおそれがある

国家戦略上の位置付け

- 当該技術の研究開発と社会実装を推進することにより、政府の各種国家戦略への貢献につながる

5-3 重点化の方向性

研究課題	「基本的考え方」との関係	方向性
オール光ネットワーク技術 情報通信装置・デバイス技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【日本の強み】日本は特に光電融合技術、デバイス開発で先行 ◆【難易度】チップ内含め光と電気信号の緊密な連携には高い技術的ハードル ◆【国家戦略】科学技術立国、デジタル田園都市国家構想、グリーン戦略 	<p>➤ 他国に対する日本の優位性を早期に確立するため、できるだけ速やかな研究開発着手が必要。</p>
ネットワーク オーケストレーション技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【日本の強み】オール光ネットワークに連動する技術として先行 ◆【難易度】多様なネットワークの相互接続と相互運用を実現した上で自律的、動的にNWリソースの最適配置を提供することは、技術的に高いハードル ◆【国家戦略】科学技術立国、デジタル田園都市国家構想、グリーン戦略 	
オープンネットワーク技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【日本の強み】O-RAN標準化での主導、ネットワークのハードソフト分離に不可欠な超強力汎用ハードウェアの開発でリード ◆【国家戦略】経協インフラ戦略 	
エンドツーエンド仮想化技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【難易度】ユーザ端末まで含めた仮想化、リソース制御に技術的ハードル 	
NTN (HAPS・ 衛星ネットワーク) 技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【日本の強み】HAPSについては、HAPSアライアンスで先行 ◆【自律性】災害時に陸上、海底光ファイバが途絶した場合の宇宙、HAPSを経由した通信手段を我が国技術、事業者で確保することが不可欠 ◆【国家戦略】デジタル田園都市国家構想（国土カバー率100%達成に不可欠）、経協インフラ戦略 	
量子ネットワーク技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【自律性】中国、米国、欧州と熾烈な開発競争が行われる研究領域ではあるが、社会やビジネスを根底から変革する領域として、関係府省と連携し他の量子研究分野のシナジーも活かした研究開発が必要 ◆【国家戦略】新しい資本主義実現会議、量子イノベーション新戦略 	<p>➤ 現在実施中の研究開発について着実な継続を図るとともに必要に応じた拡充を実施。</p>
無線ネットワーク技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【日本の強み】光ファイバー無線技術、O-RANベースでの高品質・高効率RU技術、テラヘルツ帯デバイスで先行 ◆【国家戦略】デジタル田園都市国家構想、グリーン戦略 	
端末・センサー技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【難易度】革新的なBeyond 5G対応IoTデバイスの開発など ◆【国家戦略】デジタル田園都市国家構想、グリーン戦略 	
Beyond 5Gサービス アプリケーション技術	<ul style="list-style-type: none"> ◆【難易度】社会実装の実証を通じた社会課題解決の検証 	

5-3 (参考) 日本の強み分析

《凡例》



注目の要素技術		米国	欧州	中国	韓国・ その他アジア	日本	各国の進捗状況 及び 今後の日本としての5Gの取り組みへの期待
超高速・大容量	オール光NW						<ul style="list-style-type: none"> 引き続き、特に光と電気のインテグレーション技術について日本は先行している 光伝送システムや装置開発は、米国が中国がシェアを獲得し、リード
	中高周波数帯 (テラヘルツ波/ミリ波/Sub 6等)						<ul style="list-style-type: none"> 日本が注力しているが、デバイスを持つ米国、次いで欧州の取り組みも進んでいる ミリ波の需要が高い屋外・混雑地等、広範囲でのテラヘルツ波の活用に期待
	光無線融合						<ul style="list-style-type: none"> 米国は大学中心で光ファイバー無線 (RoF) や自由空間光通信 (FSO) の開発を進める。中国はFSO、日本もFSOやRoFの研究実施。国を挙げた支援に期待
超低遅延	時空間同期						<ul style="list-style-type: none"> 米国や欧州で研究がみられる程度 今後は電波法の規制緩和による研究開発の促進を期待
超多数同時接続	センシング						<ul style="list-style-type: none"> 医療分野では米国・欧州、技術開発領域では中国がリード。まずは特定業界でセンシングデータを収集・蓄積するプラットフォームの構築、サービス化に期待
超低消費電力	低消費電力半導体						<ul style="list-style-type: none"> 欧州では国を超えた共同研究体制が整っており、研究が進んでいる 日本は半導体が一時凋落。開発に取り組む研究者・企業の増加を期待
	インテリジェント化						<ul style="list-style-type: none"> インテリジェントなリソース配分による超低消費電力化は、半導体によらない差別化要素として期待
超安全性・信頼性	量子暗号						<ul style="list-style-type: none"> 技術開発は中国がリード。超高速・大容量の観点から重要性が高まる 標準化への取り組みは日本が最も先行しており、国を挙げた支援・投資に期待
	次世代暗号						<ul style="list-style-type: none"> 米国・欧州は特に耐量子暗号の標準化を進めている 日本も100Gbps超の高速な暗号研究でリード。耐量子暗号の研究成果も多い
自律性	完全仮想化						<ul style="list-style-type: none"> 仮想化コア提供企業の買収を進めるGAFAを中心とした米国がリード。日本も完全仮想化NW構築や国際展開で先端を行く状況。今後は標準化に向けて国を挙げた支援・投資を期待
	オープン化						<ul style="list-style-type: none"> 世界的に取組が進んでいる中、日本としてOpen RANに注力し、国際展開において先行している 米国に限らず、欧州のNokiaや韓国のSamsungも取組を強化
	運用自動化						<ul style="list-style-type: none"> 中国は積極的にAIを活用。米国はネットワーク制御の自動化にシフトする傾向 ネットワークの自律性やスライス制御の取組は地域差が大きい
拡張性	HAPS活用						<ul style="list-style-type: none"> 日本は積極的に取組み、通信装置を中心にリードを広げている 米国は従来の勢いが弱まったが、機体開発は欧米、中国が日本よりも進んでいる
	低軌道衛星						<ul style="list-style-type: none"> HAPSの延長として、欧米や日本で取組が活発化。センシングへの活用も期待 数年でグローバルに、より広域で低軌道衛星、ブロードバンドの活用が進むと期待
	インクルーシブI/F						<ul style="list-style-type: none"> 神経科学は米国が先行、脳情報通信では日本も引けをとらない 脳情報通信分野のサービス実現やGAFAも未達の正確な生体情報の蓄積に期待
	行動変容						<ul style="list-style-type: none"> 行動変容のためのAI、大規模データの活用への注目が高まる 米国、欧州、日本で研究が活発化。国を挙げた支援に期待

(出典) Beyond 5G推進コンソーシアム企画戦略委員会資料 (有識者ヒアリングに基づく) を元に野村総合研究所において更新

1 オール光ネットワーク技術

目的・概要

- ◆ 有線ネットワークをオール光化し、超低費消費電力な超高速大容量、超低遅延の通信サービスを実現
- ◆ 無線と有線のシームレスな融合を想定したオール光ネットワークの実現

現状・技術課題

- ◆ コアネットワークの大容量需要に対応するため、マルチコアファイバ等を活用した光ネットワーク技術の開発を推進する必要あり
- ◆ 既存ファイバ網では、ネットワークリソースの動的負荷分散に対応できておらず、かつオール光環境下の制御技術が確立されていない。

2030年までの実現目標

- ◆ マルチコアファイバ等大容量ファイバのコアネットワーク等への導入
- ◆ 光通信端末間(EtoE)、無線ネットワークにおけるRUからコアネットワーク間のオール光技術の導入(電力効率5Gの100倍)

主な要素技術

- ◆ マルチコアファイバ活用技術、オール光ネットワーク技術(光伝送技術、光スイッチング技術、帯域拡張ノード技術、波長変換・フォーマット変換技術、光ネットワークコントローラ技術、ネットワークサービス基盤技術、光電融合チップモジュール技術)

2 オープンネットワーク技術

目的・概要

- ◆ オープンで標準的なインタフェースの導入によるベンダーロックインリスクからの脱却、基地局設備のマルチベンダー化の推進
- ◆ 公正なBeyond 5G市場の競争環境、ネットワークの低コスト化を実現
- ◆ ネットワーク仮想化、ハードソフト分離によるオープン化

現状・技術課題

- ◆ O-RAN仕様の普及により基地局設備のマルチベンダー環境は進展しつつあるが、O-RAN仕様によっても各種個別装置間の相互接続性確認の必要性は残存
- ◆ 基地局を自律的、インテリジェントに制御するためのRICについては、詳細な機能定義や相互接続のためのセキュリティも含めた標準化が不十分
- ◆ Beyond 5G時代に見込まれる、データ量の莫大な増加に伴う消費電力上昇

2030年までの実現目標

- ◆ 基地局のインテリジェント制御機能(RIC)を含めた、エンドツーエンドでの相互接続性が可能なO-RAN標準の策定
- ◆ 基地局のみならず、データセンタ等も含めた包括的なエネルギー使用量の効率化

主な要素技術

- ◆ O-RAN Alliance準拠の試験環境(OTIC)の国内整備
- ◆ ハードソフト分離を強かに推進する汎用機器、設備の開発

3 情報通信装置・デバイス技術

目的・概要

- ◆ 情報通信装置・デバイスレベルで光技術を導入し、超低遅延かつ超低消費電力な通信インフラを実装
- ◆ 精緻な時空間同期技術により、装置・デバイスレベルでの正確な時刻・位置を把握可能

現状・技術課題

- ◆ 情報通信装置・デバイスレベルで光技術を導入することで、省電力化を促進し、増加するデバイスのフィージビリティを確保する必要あり
- ◆ 小型デバイス・モジュールレベルでの精緻な時刻・位置の管理技術が確立されていない。

2030年までの実現目標

- ◆ 情報通信装置やデバイスレベルで光技術を導入（光技術により電力効率100倍）
- ◆ GPSに頼らない小型デバイス・モジュールにおける精緻な時刻・位置把握・管理技術を導入。

主な要素技術

- ◆ 光電融合チップモジュール技術（再掲）、光・無線通信対応チップモジュール技術、汎用ホワイトボックス、光コンピューティング技術、エッジクラウドコンピューティング技術、時空間同期技術（原子時計小型化等）

4 ネットワーク オーケストレーション技術

目的・概要

- ◆ ユーザニーズに応じて、柔軟にネットワーク・リソースを割当て、サービスを提供
- ◆ 固定網・移動網を融合し、ネットワークドメイン横断的に制御可能な技術を確立

現状・技術課題

- ◆ ユーザニーズに応え最適なネットワークリソース割当てできるよう、ネットワークインフラにおいてハードとソフトを分離する必要あり。
- ◆ 現在は分離されている移動網、固定網、さらにはNTN(非地上ネットワーク)も含め、最適なネットワークリソース割当てができる統合的な制御技術の必要あり。

2030年までの実現目標

- ◆ サービスレイヤーまで含めたネットワーク全体におけるオーケストレーション技術の確立
- ◆ 移動・固定網（NTN含む）を統合したオーケストレーション技術の確立

主な要素技術

- ◆ オーケストレーション技術（移動・固定融合技術、複数ドメイン管理・制御技術、End to Endでの最適リソース割当て技術）

5 無線ネットワーク技術

目的・概要

- ◆ 基地局から端末への超高速大容量な高周波無線通信を効率的かつ確実に接続
- ◆ 地球規模のカバレッジ拡大、詳細位置測位
- ◆ パワーアンプの超低消費電力化等による基地局の省電力化を実現

現状・技術課題

- ◆ ミリ波帯・テラヘルツ帯の有効利用が必要
- ◆ Beyond 5Gに向けた超消費電力の実現が必要

2030年までの実現目標

- ◆ テラヘルツ帯超高速大容量通信技術の確立
- ◆ セキュアなソフトウェアRAN管理・仮想化技術の確立

主要要素技術

- ◆ ミリ波等の稠密な基地局展開を想定したセキュアなソフトウェアRAN管理・仮想化技術
- ◆ m-MIMO高度化技術
- ◆ 光無線融合・最適化技術
- ◆ 光空間伝送技術
- ◆ テラヘルツ帯超高速大容量通信技術

6 NTN (HAPS・衛星ネットワーク) 技術

目的・概要

- ◆ 効率よくエリア化
- ◆ 緊急通信が必要な場所にシームレスなサービスを提供可能
- ◆ 大規模災害時においても迅速な通信復旧・バックアップが可能
- ◆ 現在ネットワークが整備されていない遠隔地や、ドローンや空飛ぶタクシー等の飛行体にも通信サービスを提供可能

現状・技術課題

- ◆ 小型衛星コンステレーション向けの電波・光ハイブリッド通信技術や光地上局テストベッド環境が必要

2030年までの実現目標

- ◆ NTNにより日本全域へ超低遅延ネットワークを提供

主要要素技術

- ◆ デジタルコヒーレント光通信技術
- ◆ 安定した通信エリアとネットワーク構築に向けた「シリンドーアンテナ」や、「回転コネクター」等の技術開発
- ◆ 脱炭素を実現するHAPS基地局
- ◆ 衛星コンステレーション、HAPSによる基地局バックホール回線
- ◆ 衛星、HAPSネットワークも含め統合制御するネットワーク管理、オーケストレーション技術
- ◆ 電波伝搬モデル
- ◆ 次世代電池

7 量子ネットワーク技術

目的・概要

- ◆ 量子の性質を利用した暗号通信ネットワークにより絶対安全な通信を実現

現状・技術課題

- ◆ 将来実用化が見込まれる量子コンピュータによっても盗聴やハッキングが不可能な暗号通信技術が必要
- ◆ 量子暗号だけでは実現不可能な広域・多地点の通信を可能にするため、様々な暗号技術を組み合わせた量子セキュア通信が必要

2030年までの実現目標

- ◆ 暗号鍵を光子に載せて伝送することにより理論上傍受不可能な量子暗号通信の普及
- ◆ 地上系・衛星系を組み合わせた量子暗号通信の長距離化
- ◆ 研究開発の国際ハブとなる量子イノベーション研究拠点の形成
- ◆ クラウド内で量子暗号を用いる量子セキュアクラウドの実用化

主要要素技術

- ◆ 量子を用いても不特定多数に公開鍵を配信できる量子鍵配送(QKD)技術
- ◆ 衛星を用いて公開鍵を長距離に配信する衛星QKD技術
- ◆ 量子もつれを利用した量子中継技術

8 端末・センサー技術

目的・概要

- ◆ ミリ波・テラヘルツなどの高周波対応の端末やセキュアなIoTデバイスを導入しBeyond 5G普及を促進

現状・技術課題

- ◆ ミリ波・テラヘルツ波等高周波数に対応したユーザ端末やデバイスの小型化、セキュア化に向けた研究開発が必要

2030年までの実現目標

- ◆ ミリ波・テラヘルツ等高周波利用端末の導入
- ◆ セキュアなIoT端末（モジュール）の導入

主要要素技術

- ◆ 光電融合チップモジュール技術（再掲）、光・無線通信対応チップモジュール技術（再掲）、高周波数等対応IoT技術（超低消費電力対応、RFチップミリ波対応）、ミリ波・テラヘルツ帯端末拡張技術

9 エンドツーエンド仮想化技術

目的・概要

- ◆ 端末を含むネットワークの仮想化により、エンドツーエンドでサービス品質を保証すると共に、安全性・信頼性・柔軟性等を大幅に高めつつ、ネットワークの高機能化・大容量化を図る

現状・技術課題

- ◆ サービスごとにカスタマイズされた複数の仮想的なネットワークを一つの物理ネットワークで提供するスライシング技術が必要
- ◆ QoS/QoEを保証しながらセキュアなネットワークリソースを動的に割り当てる制御技術が必要

2030年までの実現目標

- ◆ 柔軟なスライシングによりネットワークのリソースアイソレーションを実現
- ◆ 顧客の要請に応じた品質のサービスを柔軟に提供するためのインテリジェントネットワークオーケストレーションを実現
- ◆ クラウドネイティブ化によりユーザーが自由にネットワークを構築できる環境を実現

主な要素技術

- ◆ CU・DU・RU機能のソフトウェア化、ホワイトボックスによるネットワーク構築技術、端末仮想化技術、進化型O-RAN
- ◆ AIを用いたネットワーク制御技術、自律的オーケストレーター
- ◆ TCP/IPに限らないデータセントリックな通信プロトコル
- ◆ 継続進化可能性を実現するソフトウェア化・カスタムハードウェア技術

10 Beyond 5Gサービス・アプリケーション技術

目的・概要

- ◆ 2030年代の社会課題の解決や人々の豊かな生活の実現のため、強靱で活力ある社会（包摂性・持続可能性・高信頼性を有する社会）を支えるBeyond 5Gサービスやアプリケーションを導入

現状・技術課題

- ◆ Beyond 5Gインフラを支える要素技術の研究開発に着手しているものの、Beyond 5Gにおけるサイバーフィジカル空間融合（デジタルツイン）型のサービス・アプリケーション、データ利活用に関する政府の研究開発プロジェクト（ワンチーム）の強化が必要
- ◆ ユーザオリエンテッドかつバーティカルなユースケースを想定した社会実証やPoCが必要

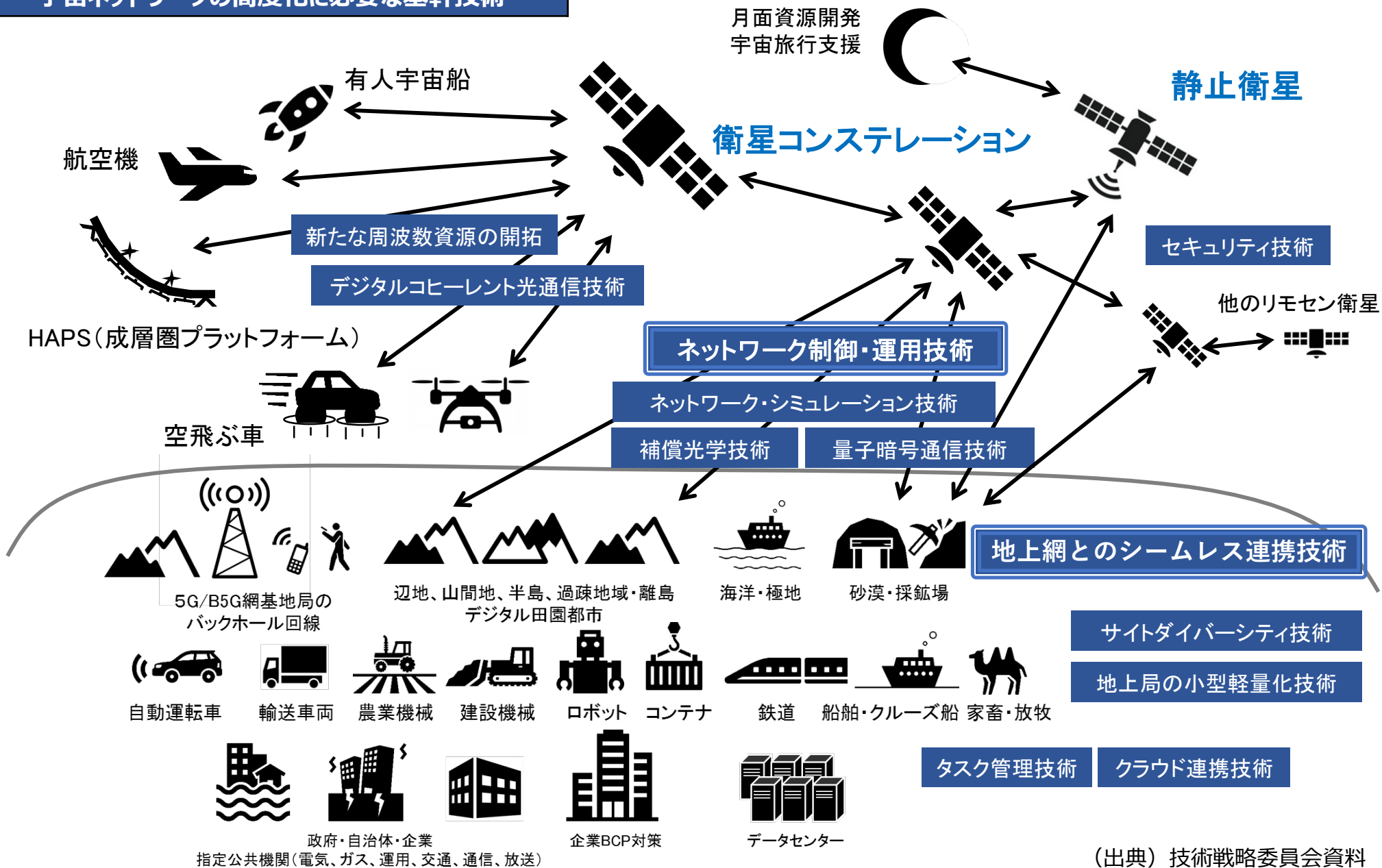
2030年までの実現目標

- ◆ SDGs達成に寄与し、Beyond 5Gを支える社会課題解決型サービス・アプリケーションの実現（高労働生産性、耐災害、医療・福祉、モビリティ、安全・安心など）
- ◆ ユーザオリエンテッド、セキュア（プライバシー保護含む）、満足度の高いサービス実現・QoE保証

主な要素技術

- ◆ デジタルツイン技術、インクルージブ・インターフェース技術、AIによる行動変容技術、超臨場感（XR）技術、アバター・ロボティクス技術、高度センシング技術

宇宙ネットワークの高度化に必要な基幹技術



第6章 研究開発ロードマップ°

6-1 Beyond 5G研究開発ロードマップ

5G

Beyond 5G

2021

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

2029

2030

2031

milestone

★ WRC-23

★ 大阪・関西万博

★ WRC-27

☆ 可能な限り前倒し

★ Beyond 5G 導入開始

超高速・大容量
超低遅延
超多数同時接続

超高速・大容量コアネットワーク

- 次世代エッジクラウドコンピューティング基盤技術
- 空間多重光ネットワーク・ノード技術

超高速・大容量アクセスネットワーク

- テラヘルツ帯無線通信技術
- テラヘルツ帯端末拡張型無線通信システム技術
- m-MIMOアンテナ技術
- 超高精度測位・センシング技術

超高速・大容量コア・アクセス融合ネットワーク

- 電波・光融合無線通信システム技術

目標KPI

通信速度：
コア ベタbps級 [5Gの100倍]
アクセス ~数百ギガbps [5Gの10倍]

遅延：
1ミリ秒~0.1ミリ秒単位 [5Gの1/10]

同時接続数：
数千万台/km² [5Gの10倍以上]

通信品質：
無線区間のブロック誤り率10⁻⁶~10⁻⁷

万博における技術実証

統合技術実証

実用化

超低消費電力

オールフォトニクス・ネットワーク

- 帯域拡張光ノード技術
- 小型低電力波長変換・フォーマット変換技術
- 光ネットワークコントローラ基盤技術
- ネットワークサービス基盤技術
- 光・電気融合チップモジュール技術

目標KPI

- 通信速度：
ベタbps級
- 消費電力：
電力効率が現在の100倍

拡張性

ノンレスタリアル・ネットワーク

- 次世代小型衛星コンステレーション向け電波・光ハイブリッド通信技術
- 宇宙・NTNネットワーク基盤技術
- 通信空中プラットフォーム (HAPS, 航空機, 船舶, 自動車等) 技術

目標KPI

- 陸海空の地球上のあらゆる場所での通信の実現
- 国土・海域・空域の通信カバー率100%

自律性

オープン・ネットワーク

- O-RAN技術
- ネットワークオーケストレーション技術
- E2E仮想化 (ネットワークスライシング) 技術
- ディスアグリゲータッドコンピューティングネットワーク技術

目標KPI

- ゼロタッチで機器が連携
- 最適なネットワークを自動で構築

オープン・コンピューティング

超安全・信頼性

セキュア・ネットワーク

- 量子暗号通信技術 (量子鍵配送技術)
- 耐量子計算機暗号技術/高速共通鍵暗号技術
- 超大規模データセキュリティ技術

目標KPI

- セキュリティの常時確保
- 量子時代の暗号方式の実現

安全性・信頼性は各機能を構成する要素の一部でもある。

量子通信ネットワーク

量子インターネット基盤技術

1 人材育成・人材循環

- Beyond 5G、ICTを活用し、様々な領域、分野（農業、医療、公共等）における新たな技術、ビジネス、サービスや課題解決のためのソリューション等を創出できる人材を育成するための実践の場の提供
- 企業、研究所、大学、公的機関、国際機関、ユーザ等が参画し、ICTを活用した実践的研究開発やプロジェクトマネジメント経験が得られる共創の場、プラットフォーム、リビングラボ、テストベッドの設置

2 関係府省との連携

- 本戦略をデジタル田園都市国家構想や経済安全保障、グリーン等、政府全体の国家戦略の重要な構成要素と位置付けた上で、総務省が単独で取り組むのではなく、必要な施策については、関係府省と連携して推進
（例）
 - ネットワークの超低消費電力化を実現する情報通信機器、デバイスの研究開発
 - HAPSを成層圏において運用する際に必要な航空制度上の対応
 - 衛星通信ネットワーク技術を含めた衛星システム全般の研究開発
 - 量子ネットワーク技術の研究開発について、量子イノベーション戦略の関係府省と連携 等

3 研究開発取組フェーズの拡充

- 本戦略において、今後、5年程度をかけて取り組むべき重点研究開発課題（通信インフラの超高速化・超省電力化技術、通信カバレッジの拡張技術、安全かつ高信頼な通信環境確保技術等）を抽出
- Beyond 5G推進戦略では、2025年までを研究開発の先行的取組フェーズとして特定しているが、この研究開発の集中取組期間を2027年頃まで拡充し、重点研究課題については大型の基幹プロジェクトとして本研究開発戦略を強力に推進
- さらに、さらなる先のフェーズの研究開発課題、情報通信インフラの世代交代サイクルやマイグレーション等を見据え、中長期的な視点からの継続的な取組も必要

4 研究開発成果の着実な発信と社会実装

- 2025年大阪関西万博において、産学官一体となって本戦略の開発成果をグローバルに発信
- 大阪関西万博を起点として、2025年以降、開発成果を順次社会実装を推進することによって、世界市場をリード

5 国際連携・協調

- 研究開発の初期段階から、戦略的パートナーとの国際連携や標準化に向けた国際協調を行いながら、Beyond 5G研究開発を強力に推進し、その成果をITUや3GPP等の国際標準に反映

(参考) 検討の体制・経緯

<情報通信技術分科会 構成員>

分科会長	尾家 祐二	九州工業大学 学長
分科会長代理	安藤 真	東京工業大学 名誉教授
	石井 夏生利	中央大学国際情報学部 教授
	伊丹 誠	東京理科大学先進工学部電子システム工学科 教授
	江崎 浩	東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
	江村 克己	日本電気(株) NECフェロー
	大島 まり	東京大学大学院情報学環/生産技術研究所 教授
	上條 由紀子	長崎大学研究開発推進機構 FFGアントレプレナーシップセンター 教授
	國領 二郎	慶応義塾大学総合政策学部 教授
	三瓶 政一	大阪大学大学院工学研究科電気電子情報通信工学専攻 教授
	高橋 利枝	早稲田大学 教授/ケンブリッジ大学「知の未来」研究所 アソシエイトフェロー
	長谷山 美紀	北海道大学 副学長/大学院 情報科学研究院長
	平野 愛弓	東北大学材料科学高等研究所 主任研究者/電気通信 研究所 教授
	増田 悦子	(公社) 全国消費生活相談員協会 理事長
	森川 博之	東京大学大学院工学系研究科 教授

<技術戦略委員会 構成員>

主査	相田 仁	東京大学大学院工学系研究科 教授
主査代理	森川 博之	東京大学大学院工学系研究科 教授
	秋山 美紀	慶応義塾大学環境情報学部 教授
	浅見 徹	(株) 国際電気通信基礎技術研究所 代表取締役社長
	飯塚 留美	(一財) マルチメディア振興センター シニア・リサーチ・イルクター
	石井 義則	(一社) 情報通信ネットワーク産業協会 常務理事
	伊藤 伸器	パナソニック株式会社 コーポレート戦略・技術部門 テクノロジー本部 本部長
	今井 哲朗	東京電機大学工学部情報通信工学科 教授
	江村 克己	日本電気(株) NECフェロー
	大島 まり	東京大学大学院情報学環/生産技術研究所 教授
	大柴 小枝子	京都工芸繊維大学工芸科学研究科 教授
	沖 理子	(国研) 宇宙航空研究開発機構 研究領域上席
	上條 由紀子	長崎大学研究開発推進機構 FFGアントレプレナーシップセンター 教授
	川添 雄彦	日本電信電話(株) 常務執行役員 研究企画部門長
	児玉 圭司	日本放送協会 理事・技師長
	児玉 俊介	(一社) 電波産業会 専務理事
	小西 聡	(株) KDDI総合研究所 取締役執行役員副所長、先端技術 研究所長 兼 KDDI(株) 技術統括本部 技術戦略本部 副 本部長
	中沢 淳一	(国研) 情報通信研究機構 理事
	増田 悦子	(公社) 全国消費生活相談員協会 理事長
	宮崎 早苗	(株) NTTデータ 公共・社会基盤事業推進部 シニア・スペシャリス ト
	森田 俊彦	富士通(株) エグゼクティブフェロー

- 技術戦略委員会では、B5G推進コンソーシアムにおけるビジョン・技術課題の検討状況や国際的な活動状況、B5G新経営戦略センターにおける知財・標準化戦略の検討状況等を定期的に聴取するなど、産学官の活動や民間企業・大学・国研が主体となった取組をインプットしながら審議を実施。
- さらに、「中間論点整理」を踏まえて、主要な関係者の取組や知見等をインプットしながら、より詳細な調査や論点の深掘り等を行い、技術戦略の具体化に向けた審議を実施。

技術戦略委員会①：2021年11月4日(木)

- Beyond 5Gに向けた情報通信技術戦略の在り方に関する検討について(事務局)
- Beyond 5G推進コンソーシアムの活動状況等について
 - ・中村 武宏 オブザーバ(NTTドコモ執行役員、Beyond 5G推進コンソーシアム企画・戦略委員会白書分科会主査)
- Beyond 5G新経営戦略センターの活動状況等について
 - ・森川 博之 構成員(Beyond 5G新経営戦略センター共同センター長、Beyond 5G推進コンソーシアム企画・戦略委員長)

技術戦略委員会②：2021年11月18日(木)

- Beyond 5Gの推進等に関する関係者からのプレゼンテーション
 - ・中尾 彰宏 オブザーバ(東京大学大学院工学系研究科教授、Beyond 5G推進コンソーシアム国際委員長)
 - ・徳田 英幸 オブザーバ(情報通信研究機構(NICT)理事長)
 - ・小西 聡 構成員(KDDI 技術統括本部技術戦略本部副部長)

技術戦略委員会③：2021年12月1日(水)

- Beyond 5Gの推進等に関する関係者からのプレゼンテーション
 - ・川添 雄彦 構成員(NTT 常務執行役員、IOWN Global Forum会長)
 - ・森田 俊彦 構成員(富士通 エグゼクティブフェロー)
 - ・種谷 元隆 オブザーバ(シャープ 常務執行役員、研究開発事業本部長)
 - ・浅井 光太郎 オブザーバ(三菱電機 開発本部開発業務部技術顧問)
 - ・山田 昭雄 オブザーバ(日本電気 執行役員常務 兼 CTO)

技術戦略委員会④：2022年1月13日(木)

- 中間論点整理(事務局)
- Beyond 5G新経営戦略センター戦略検討タスクフォースの中間報告
 - ・森川 博之 構成員(Beyond 5G新経営戦略センター戦略検討タスクフォース主査)

技術戦略委員会⑤：2022年1月28日(金)

○Beyond 5Gに向けた技術戦略の具体化について(宇宙ネットワーク、量子技術)

- ・宇宙ネットワークの技術戦略(総務省宇宙通信政策課)
- ・佐々木 雅英 オブザーバ(NICT量子ICT協創センター長)
- ・島田 太郎 オブザーバ(量子技術による新産業創出協議会実行委員長、東芝デジタルソリューションズ社長)

技術戦略委員会⑥：2022年2月10日（木）

○Beyond 5Gに向けた技術戦略の具体化について(ネットワークアーキテクチャ、グリーンICT、国際競争力 等)

- ・中尾 彰宏 オブザーバ(東京大学大学院工学系研究科教授)
- ・鈴木 淳一 オブザーバ(NTTデータ グリーンイノベーション推進室)
- ・桑津 浩太郎 オブザーバ(野村総合研究所 未来創発センター 研究理事)
- ・杉浦 孝明 オブザーバ(株式会社三菱総合研究所営業本部)

技術戦略委員会⑦：2022年2月28日（月）

○Beyond 5Gに向けた技術戦略の具体化について(Beyond 5G推進コンソーシアム白書のとりまとめ状況、通信事業者の取組 等)

- ・中村 武宏 オブザーバー(NTTドコモ執行役員、Beyond 5G推進コンソーシアム企画・戦略委員会白書分科会主査)
- ・小西 聡 構成員(KDDI技術戦略本部副本部長、Beyond 5G推進コンソーシアム企画・戦略委員会白書分科会ビジョン作業班リーダー)
- ・中村 隆治 オブザーバー(富士通事業戦略室、Beyond 5G推進コンソーシアム企画・戦略委員会白書分科会技術作業班リーダー)
- ・上村 治 オブザーバー(ソフトバンク 渉外本部 本部長代理 電波政策統括室長)
- ・朽津 光広 オブザーバー(楽天モバイル 品質保証プラットフォーム本部 QAマルチアクセス部)

技術戦略委員会⑧：2022年3月25日（金）

○関係者からのプレゼンテーション(人材育成環境の整備)

- ・原田 博司 オブザーバー(京都大学)

○報告書骨子案について(研究開発戦略)(事務局)

○知財・国際標準化戦略について(Beyond 5G新経営戦略センター戦略検討タスクフォースの最終報告)

- ・森川 博之 構成員(Beyond 5G新経営戦略センター戦略検討タスクフォース主査)

技術戦略委員会⑨：2022年4月12日(火) <予定>