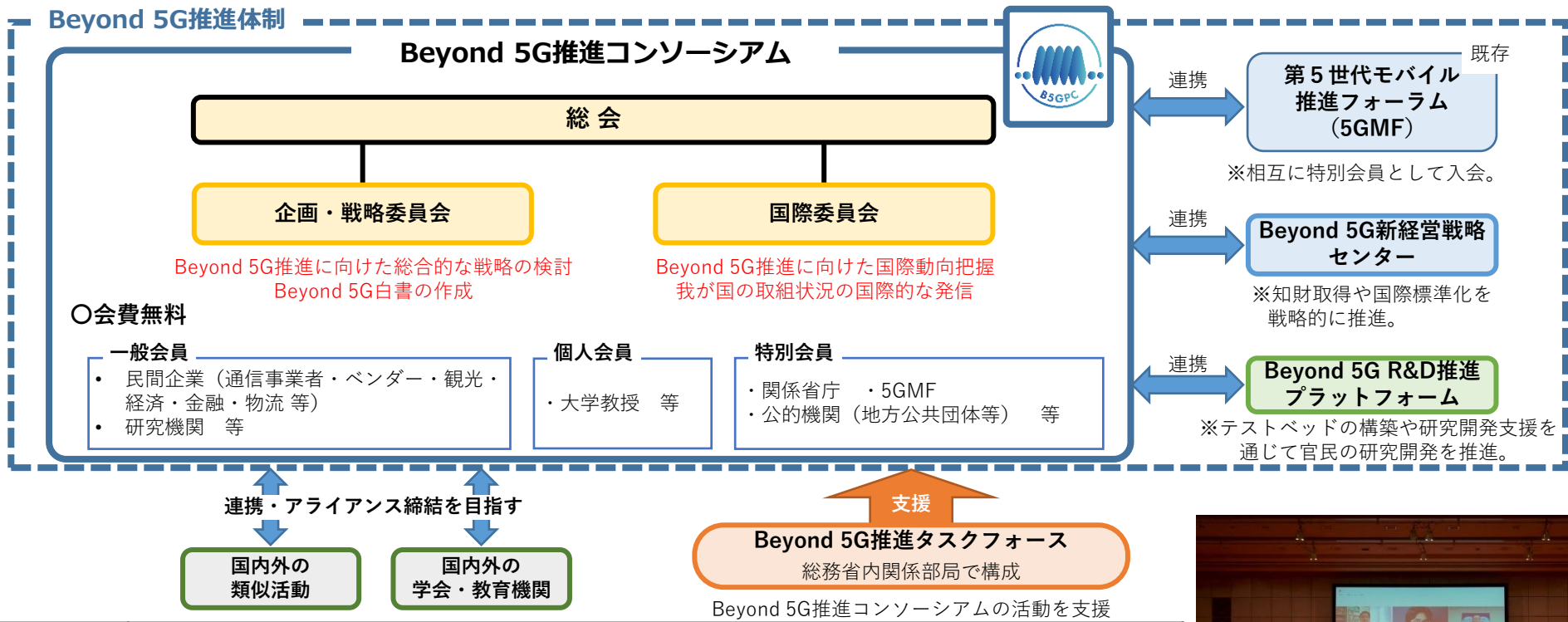


Beyond 5G ホワイトペーパー3.0版 ～2030年代へのメッセージ～ 【概要】

Beyond 5G推進コンソーシアム
白書分科会

2024年3月7日

- **Beyond 5G推進戦略を強力かつ積極的に推進するため、産学官の「Beyond 5G推進コンソーシアム」が設立された。**戦略に基づき実施される具体的な取組の産学官での共有や、取組の加速化と国際連携の促進を目的とする国際カンファレンスの開催などを行う。
- 令和2年12月18日に設立総会が開催され、発起人や会長、関係府省庁などの関係者が出席。



会長	五神 真（東京大学教授・第30代総長）
副会長 (五十音順)	井伊 基之（NTTドコモ社長）、澤田 純（NTT社長）、高橋 誠（KDDI社長）、 徳田 英幸（NICT理事長）、十倉 雅和（経団連会長）、 宮川 潤一（ソフトバンク社長）、矢澤 俊介（楽天モバイル社長）、 吉田 進（第5世代モバイル推進フォーラム会長）



設立総会 於：帝国ホテル

(引用) 総務省資料

企画・戦略委員会

白書分科会

主査：中村（NTTドコモ）

- 2030年代に期待される強靱で活力のある社会を展望し、Beyond 5Gのユースケースや通信の要求条件と技術を明確化する。
- Beyond 5Gコンセプトを早期にとりまとめ世界的に発信し、ITU含む国際的議論に反映するとともに、国際的なイニシアチブを確立する。
- 多様な業界の意見を積極的に取り込みかつ発信し、あらゆる産業界にとって有益なBeyond 5Gコンセプトを作り上げ、国際競争力強化に貢献する。

ビジョン作業班

リーダー：小西（KDDI総合研究所/KDDI）、サブリーダー：永田（NTTドコモ）

- 2030年頃に想定される社会の検討、ならびに、2030年頃に商用化されるBeyond 5Gに求められるユースケースや要求条件に関わる検討を行い、白書にまとめること。

技術作業班

リーダー：作本（富士通）、サブリーダー：下西（NEC）

- Beyond 5Gで利用される技術の動向等について検討を行い、それらが利用者や市場に提供する機能・価値・果たす役割・期待などを明らかにし、白書にまとめること。

周波数作業班

リーダー：本多（エリクソン・ジャパン）

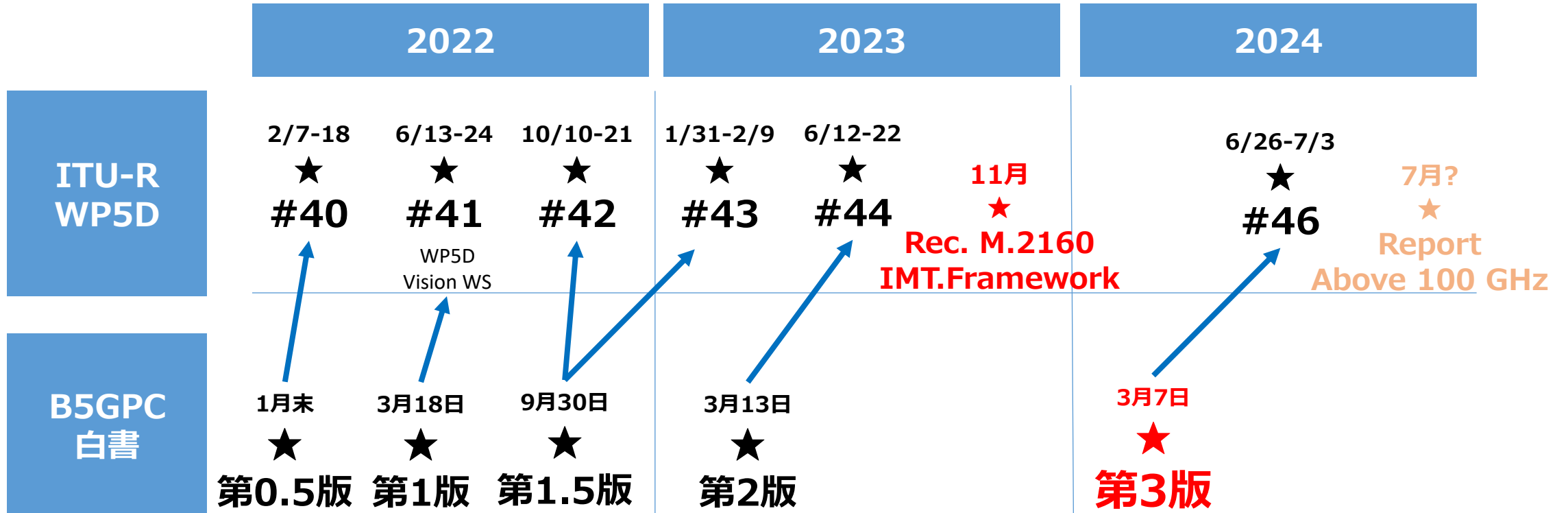
- Beyond 5Gの周波数に関する海外・国内動向の調査を行い、白書にまとめること。

WP5D対応Ad Hoc

主査：縣（KDDI）、副主査：武次（NEC）

- 白書分科会の議論結果を踏まえたITU-R WP5Dへの対応方針策定と寄書のドラフト作業等

2024年3月7日に第3版を発行 ITU-Rの勧告文書やレポート文書の作成に貢献



- **1章 はじめに**
- **2章 トラフィックトレンド**
2030年頃に到来が予想されるBeyond5Gのモバイルアプリケーション、ユースケースからトラフィックの傾向を示したもの。
- **3章 通信業界のマーケットトレンド**
移動通信分野のマーケット動向、特に、スマートフォンや基地局等の通信インフラ設備のシェア構造の変化と、スマートフォン関連の構成部品の技術動向を示したもの。
- **4章 他業界から得られたトレンド**
現時点で世の中に存在するすべての業界における課題を洗い出し、課題解決案、業界としてあるべき姿や夢、さらには、Beyond 5Gに期待する性能や機能をまとめたもの。
- **5章 Beyond 5Gで求められるCapabilityとKPI**
4章の内容から、様々な業界での特徴的なユースケースを洗い出し、それぞれのユースケースで求められるBeyond 5Gの性能をまとめると共に、Beyond 5Gを象徴する図、6つの利用シナリオ、目標KPI（定量的、定性的）を示したもの。
- **6章 技術トレンド**
Beyond 5Gに求められる技術の動向について検討し、それらが利用者や市場に提供する機能・価値・果たす役割・期待などを明らかにしまとめたもの。
- **7章 おわりに**
- **別冊（8篇）**



<https://b5g.jp/output/>

第1.5版

- **5.2節 Beyond 5G を象徴する図と利用シナリオを追加**
- **5.3節 目標 KPI に関する図を追加**
- **記載内容の充実化**
 - ✓ 4.7節（自動車）5G のユースケースと通信要件を追加
 - ✓ 4.8節（機械）本文の更新
 - ✓ 6.1.3.2節 電波伝播に関連する研究動向と成果の追加

第2.0版

- **4章（他業界から得られたトレンド）全面的に読みやすさの向上、記載内容を充実化**
 - ✓ 各業界の節構成の統一、まとめの節を追加
 - ✓ 各業界のBeyond 5Gの活用例とCapabilityの表を追加、Beyond 5Gを活用した姿を示す図の形式統一・追加
- **6章（技術トレンド）主に、下記の項目について記載内容を充実化**
 - ✓ 6.1.3.1節 国内外の周波数利活用検討動向に関する記載を追加・更新
 - ✓ 6.3節 トラスト確保技術（セキュリティ、プライバシー、信頼性、レジリエンス（耐性））に関する記載を追加・更新
 - ✓ 6.6節、6.6.1節、6.6.3節：ネットワーク機能とコンピューティングリソースの最適融合、ネットワーク自律運用に関する記載を追加・更新
 - ✓ 6.6.4節：耐障害性に関する記載を新規追加

第3.0版

- **5章（B5Gで求められるCapabilityとKPI） IMT-2030 Framework勧告との比較を追加**
 - ✓ B5Gを象徴する図と利用シナリオの比較の節を追加
 - ✓ 目標KPIとCapabilityの比較の節を追加
- **6章（技術トレンド） 主に、下記の項目について記載内容を充実化**
 - ✓ 6.2節（旧6.6節）「Beyond 5Gアーキテクチャ」の節を更新し、新しいアーキテクチャについて記載や、同時に発行された別冊の参照箇所を追記
 - ✓ 6.1節「Beyond 5Gに向けた技術トレンド」について整理し、周波数資源の利活用技術を6.3節として分離し、「携帯電話システムの展開状況」は、第2章「トラヒックトレンド」の2.5節に移動
 - ✓ 6.3.1.2節「WRCにおけるIMT地上系コンポーネント用周波数の特定」、6.3.1.3節「周波数範囲7125 MHz – 15.35 GHz の利用状況に関する調査」、および6.3.1.4節「周波数範囲6425 MHz - 7125 MHzの状況」を追加

- 本白書は、通信業界だけでなくあらゆる業界をまたがり、産学官で未来のビジネス創出や社会課題解決の検討を推進する上で有益な情報を多く含んだものとなっている。本白書が日本としてより良い未来社会を創造し、グローバルな活動を推進するための一助となることを期待する。
- 白書分科会では、本検討結果をベースに、ITUや3GPPにおける周波数調整や標準化活動、ならびに他業界や産学官での協調関係の構築に貢献する所存である。
- 今後、外部関係者・団体に対して、本白書の内容を訴求し意見交換する機会を白書分科会に頂けるようお願いしたい。

Beyond 5G ホワイトペーパー3.0版 ～2030年代へのメッセージ～ 【Beyond 5Gのユースケースと要件】

Beyond 5G推進コンソーシアム
白書分科会 ビジョン作業班

2024年3月7日

- ・「2030年社会検討ワークショップ」を随時開催
- ・多様な業界から広く意見を募り、2030年頃の社会像やユースケースの検討を実施

2030年社会検討ワークショップで講演いただいた合計24の企業・団体・個人（敬称略）

2021/ 6/15 : 第1回	テレコムサービス協会	9/14 : 第4回	東芝
	産業技術総合研究所		Quora
7/20 : 第2回	善光会（介護）	10/12 : 第5回	宇宙航空研究開発機構
	東日本旅客鉄道		科学技術振興機構
	日本CFA協会		マツハコーポレーション
	フジテレビ	ヤマト運輸	
	医療未来学者 奥氏（個人）	Shiftall	
8/3 : 第3回	文部科学省科学技術・学術政策研究所	12/14 : 第6回	トヨタ自動車
	PREVENT（医療）		大林組様
	Telexistence（ロボット）	らでいっしゅぼーや 創業者 徳江様	
	アーチ（アニメ）	2022/ 7/12 : 第7回	京都大学 高等教育研究開発推進センター
	アストラテック（ロボット）		ユニアデックス
		11/8 : 第8回	



<https://b5g.jp/output/>

1. はじめに
2. トリヒットトレンド
3. 通信業界のマーケットトレンド
4. 他業界から得られたトレンド
 - 4.1 金融
 - 4.2 建設・不動産
 - 4.3 物流・運輸
 - 4.3.1 倉庫、物流
 - 4.3.2 航空
 - 4.3.3 鉄道
 - 4.4 通信、IT
 - 4.5 メディア
 - 4.6 エネルギー・資源・素材
 - 4.7 自動車
 - 4.8 機械
 - 4.8.1 工作機械
 - 4.8.2 建設機械
 - 4.8.3 農業機械
 - 4.8.4 ロボット
 - 4.8.5 造船（船舶）
 - 4.9 電機・精密・半導体
 - 4.9.1 電気・精密
 - 4.9.2 半導体
 - 4.10 農業・水産業・食料・生活関連
 - 4.10.1 農業・水産業
 - 4.10.2 食品業
 - 4.10.3 生活・文化用品関連
 - 4.11 小売・卸・流通分野
 - 4.12 サービス・公共サービス・法人サービス
 - 4.12.1 医療
 - 4.12.2 行政、教育分野
 - 4.13 飲食業界（外食産業）
 - 4.14 娯楽・レジャー
 - 4.15 学問・その他
 - 4.15.1 宇宙
 - 4.15.2 HAPS
 - 4.15.3 社会
5. Beyond 5Gで求められるCapabilityとKPI
 - 5.1 Beyond 5Gで求められるCapability
 - 5.2 Beyond 5Gを象徴する図と利用シナリオ
 - 5.3 目標KPI

業界ごとの分析例

～白書 4.x節の抜粋～

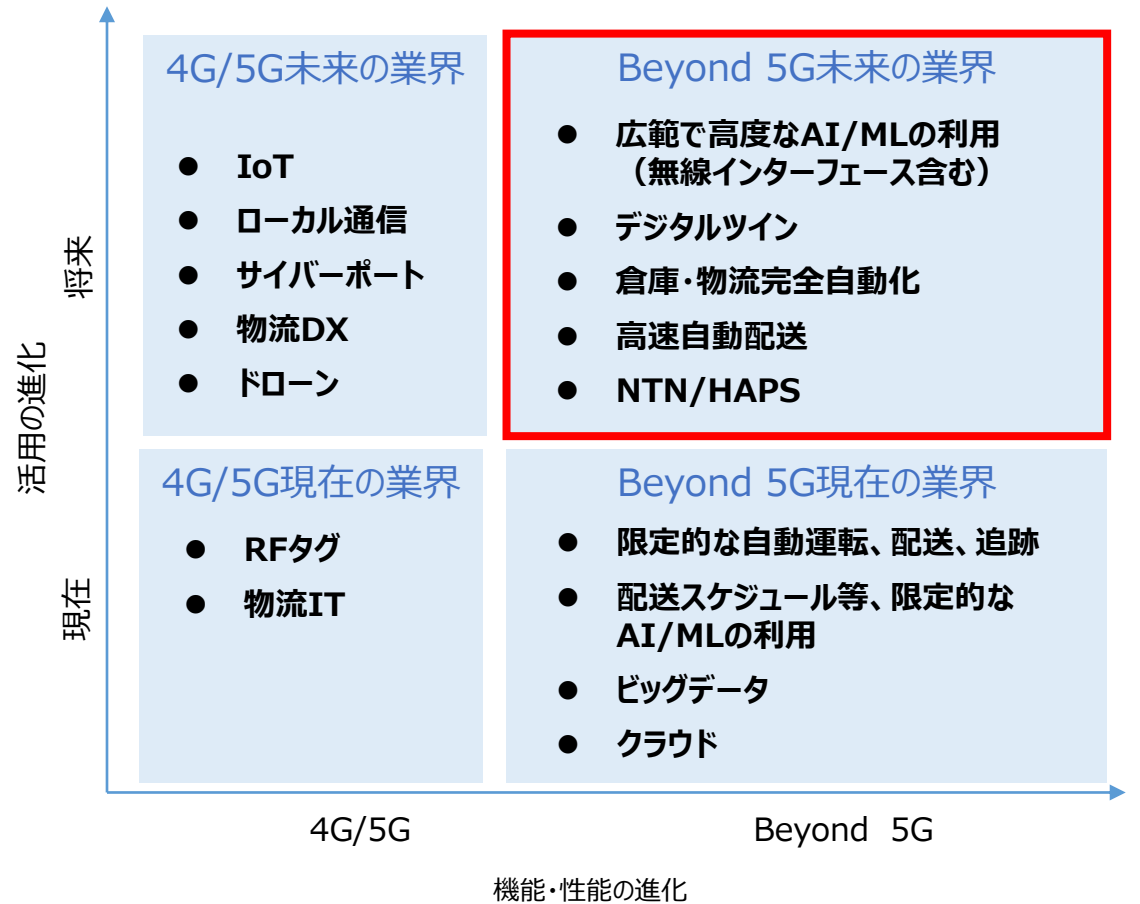
現状分析と課題

- 人口減少の本格化や労働力不足への対応
- 災害の激甚化・頻発化と国民の安全・安心の確保
- Society5.0 の実現によるデジタル化・イノベーションの強化
- 地球環境の持続可能性の確保や SDGs への対応
- 新型コロナウイルス感染症への対応

期待する将来像

- 物流DXや物流標準化の推進によるサプライチェーン全体の徹底した最適化（簡素で滑らかな物流の実現）
- 労働力不足対策と物流構造改革の推進（担い手にやさしい物流の実現）
- 強靱で持続可能な物流ネットワークの構築（強くてしなやかな物流の実現）

Beyond 5Gで求められるもの



遅延はローカルネットワーク内で**ミリ秒のオーダー**、時刻同期は無線区間を含めた内部の時計の精度として**PTPの対応（マイクロ秒）**が求められる。

2030年には、仮想空間やホログラフィック技術を活用した、より没入的なメディア体験 (e.g., メタバース) を享受することが可能となる

現状

- テレビラジオ、出版・広告、SNS など多様なマルチメディアが提供されている
- 新型コロナウイルス流行により、コンテンツのデジタル化が加速 (e.g., オンラインライブイベントなど)

オンラインライブイベント



Source: <https://lineblog.me/livepress/archives/13261786.html>

期待する将来像

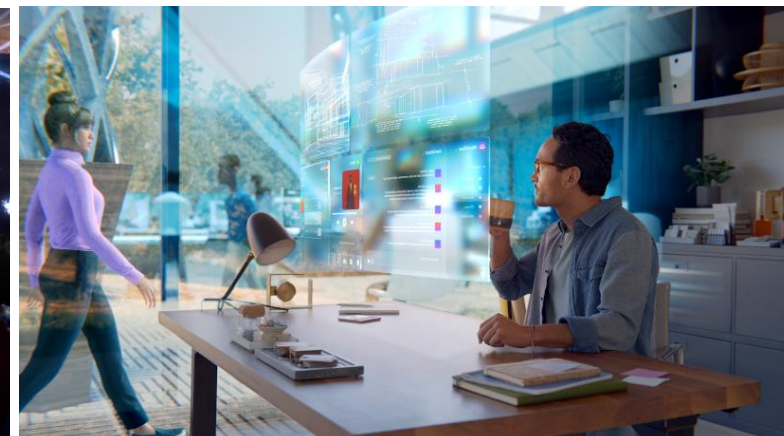
- 全てのコンテンツがインターネット経由でアクセス可能。同様に、個々人のよりリッチなコンテンツを場所・時間・デバイスによらず、より簡易に配信。
- 仮想空間やホログラフィック技術の活用
- 各ユーザに対するカスタマイズによる、より効率的なコンテンツ配信

仮想空間を活用したエンターテインメント



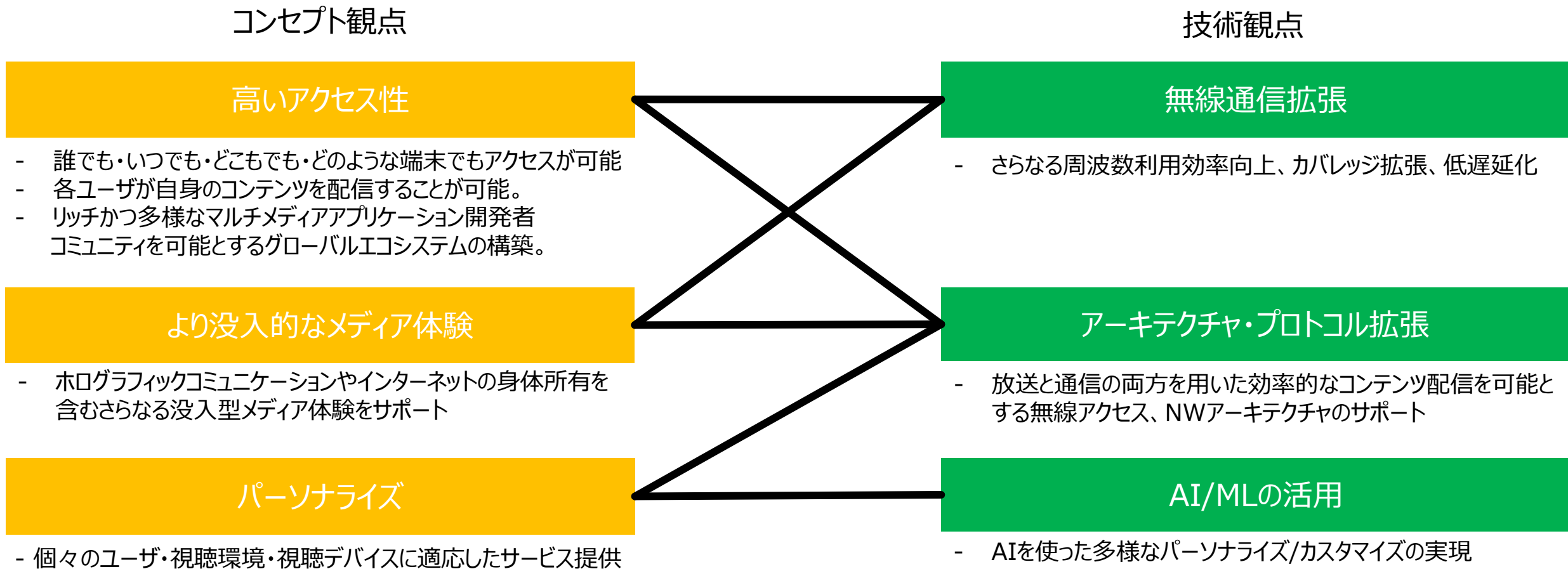
Source: https://about.meta.com/what-is-the-metaverse/?utm_source=about.facebook.com&utm_medium=redirect

ホログラフィック技術



- Beyond 5Gに求められるハイレベルな要件（コンセプト観点・技術観点）を下図に示す。
- 求められる具体的な性能例として、ホログラフィックコミュニケーションに必要と考えられる **数10～数100 Gbps**のピークスループットが想定される。

下図の黒線は、コンセプト観点と技術観点の関連を示す。



高齢化社会は地方での移動に制約を与え、都市部での人口集中は交通渋滞を引き起こす。すべての人々が居住地に依存せずに自由に効率的な移動を確保できる社会が求められる。

現状分析と課題

- 人手不足により地方における公共交通手段の維持が難化し移動の自由が制約。都市部では人口集中により交通渋滞を招き、人々の生活に悪影響を及ぼす。
- エネルギー・環境問題や高齢化に起因する交通事故の問題に対する社会の危機意識の高まり。
- すべての人に移動の自由や効率的な移動を提供するモビリティ・インクルーシブな社会の実現
- 高度な自動運転や安全運転支援をつかさどる強靱なインフラの整備と低炭素化社会の両立

期待する将来像

1. すべての住民が自由・効率的に移動できる社会



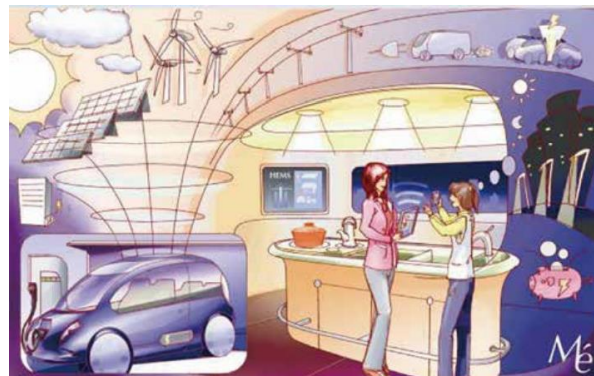
出典：ITS Japan (ITSによる未来創造の提言)

2. マルチモーダルな移動手段を管理するMaaSプラットフォーム



出典：ITS Japan (ITSによる未来創造の提言)

3. クルマとスマートシティの連携により電気の地産地消を促進



出典：ITS Japan (ITSによる未来創造の提言)

4. モビリティ・インクルーシブを実現するデジタル空間



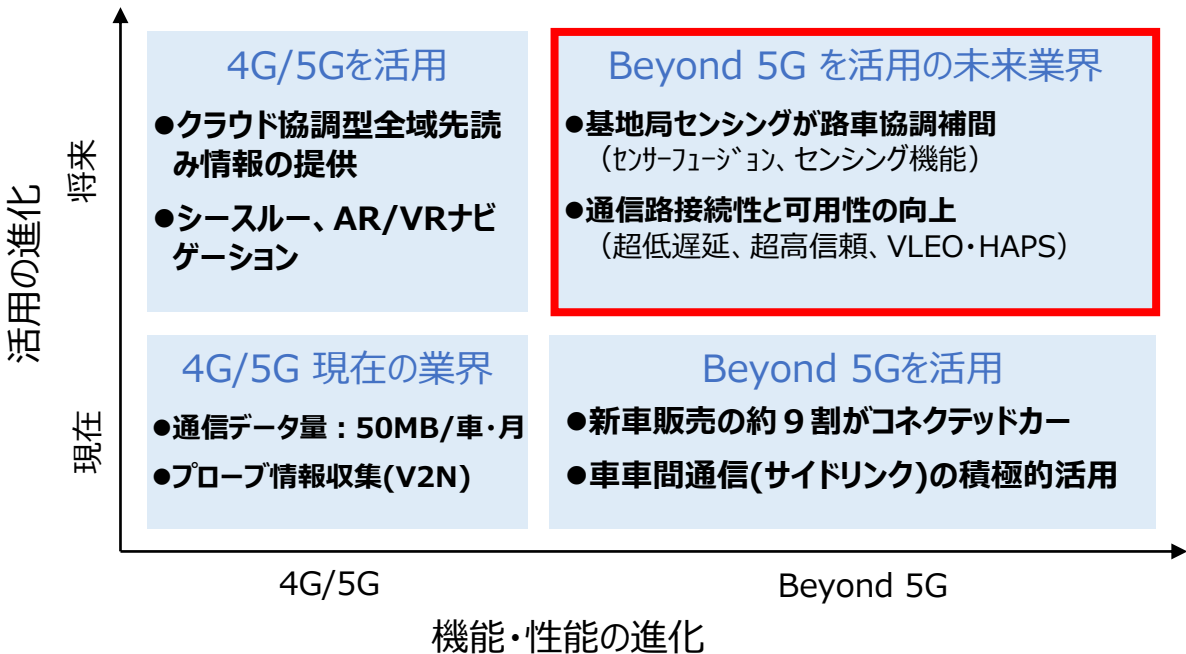
出典：首相官邸 (官民 ITS 構想・ロードマップ)

2030年代の自動車社会の実現に向け、Beyond5Gでは高精度センシングと通信の融合、AI分散学習・推論、超高信頼性が必要となる。

Beyond 5G で求められるもの

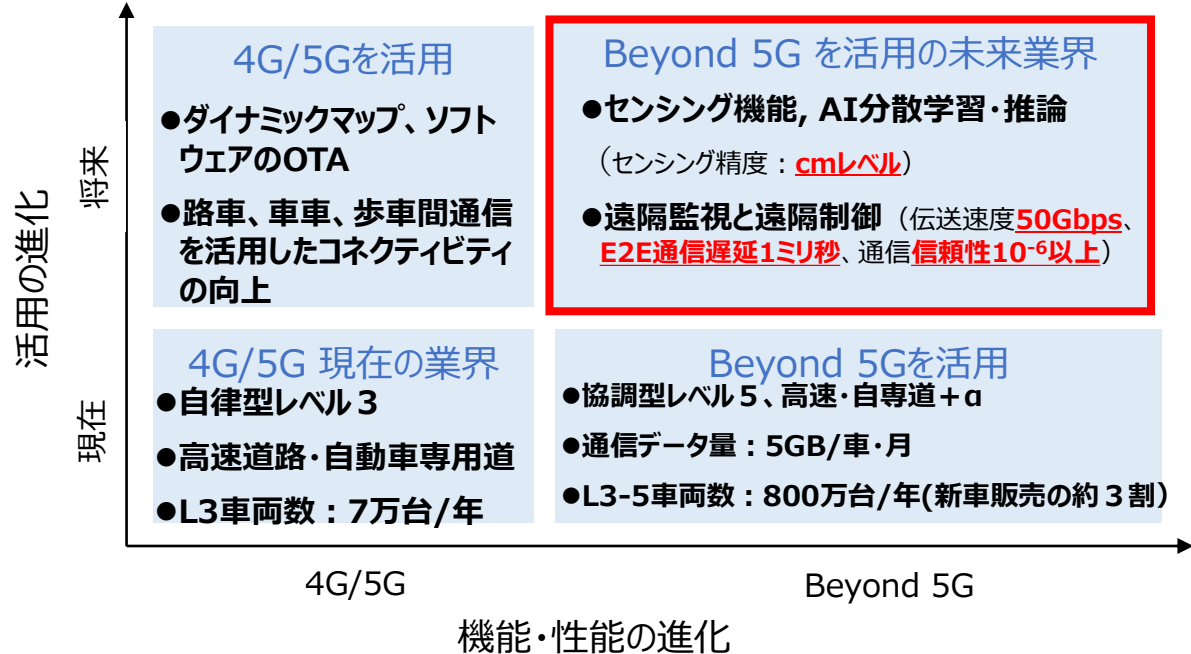
安全運転支援

信号の無い交差点、悪天候下や災害発生時での運転においても、安全性を確保するため、Beyond5Gのセンシングの活用や通信路接続性能の向上が必要となる。



自動運転

自動運転の社会実装を加速するために、通信とセンシングの融合、AI分散学習・推論機能や量子暗号によりセキュリティの向上に特化した通信形態が必要となる。



現状分析と課題

- 超高齢化社会との共生
 - 社会課題解決先進国として日本から世界への課題解決展開に期待
- 未知の疾患への対応
 - 生活・医療・経済への影響の抑止。迅速な対応、ソリューションに期待
- 医薬品・医療機器開発テクノロジーの発展
 - 世界的に研究開発が加速しており、日本として最高水準の医療技術の実現、牽引を期待

期待する将来像

1. 身体機能の補助及び再現



出典：厚生労働省ホームページ

加齢により衰えた身体機能を補助及び再現

2. 未知の感染症への速やかな対応



出典：内閣官房長(感染拡大防止特設サイト)

感染症発生時の速やかな対応と早期解決

3. 医療技術開発



出典：AMED (成果情報)

ビックデータの構築及びAIの精度向上等による最先端の医療技術開発

4. 超高齢化社会対応



出典：厚生労働省ホームページ

医療の地域的偏在の解消や医療のシステム化

5. 健康寿命延伸



出典：厚生労働省ホームページ

病気早期発見や手術などの治療によるリスク低減

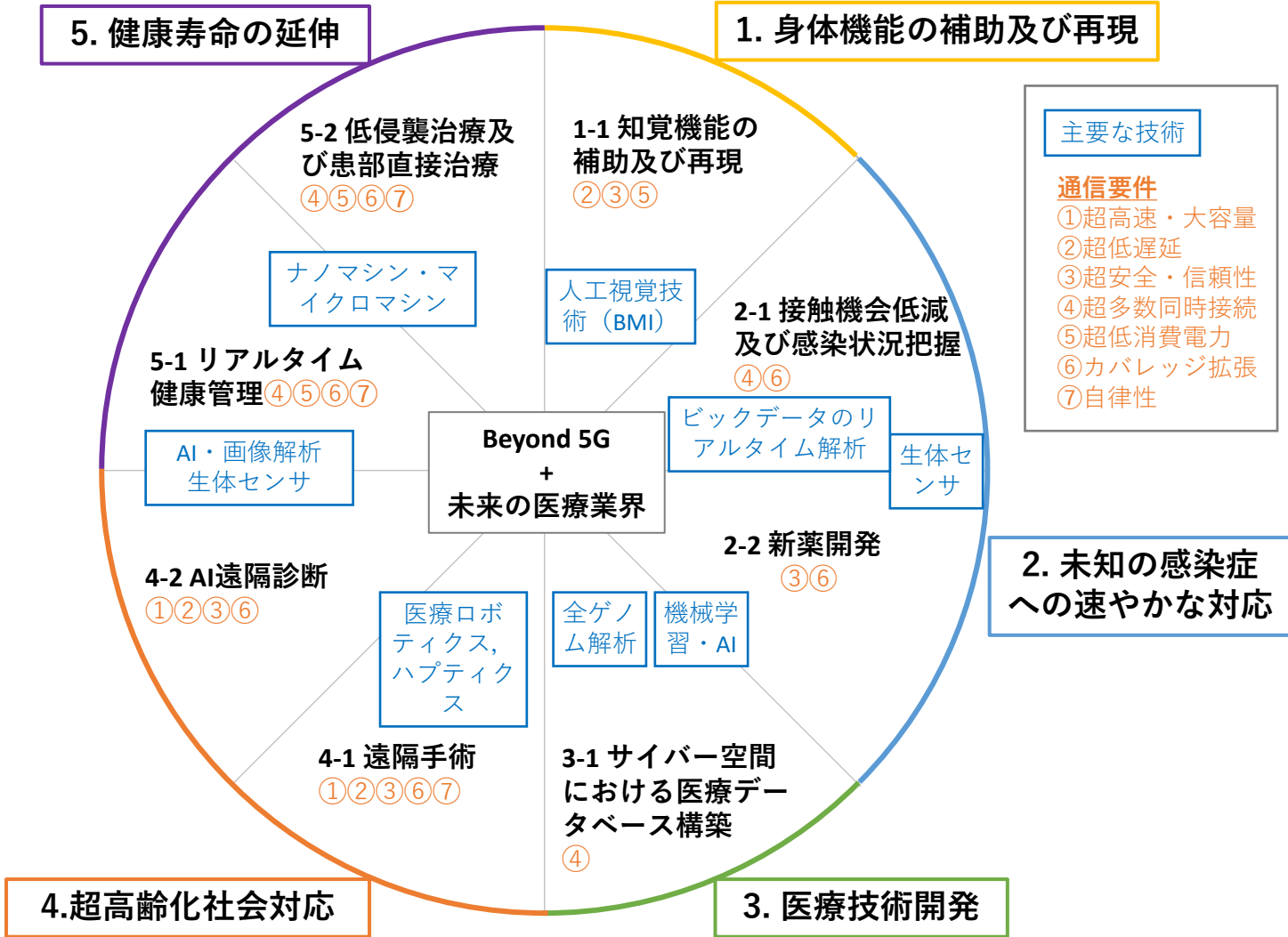
Beyond 5Gで求められるもの

期待されるユースケース

- 1-1 知覚機能の補助及び再現**
人間/能力拡張、ブレインテック
- 2-1 接触機会低減及び感染状況把握**
位置、生体情報のリアルタイム管理、センシング
- 3-1 ゲノム解析のデータベース化**
AI創薬、個別化医療
- 4-1 遠隔手術**
手術支援ロボティクス、AIとの融合
- 5-2 低侵襲治療及び患部直接治療**
ナノマシン・マイクロマシン連携、外部制御/給電

Beyond 5Gに求められる要求条件

- 遠隔施術**
 - ・ **数十Gbps超**の超高速・大容量（高精細映像伝送）
 - ・ **10⁻⁷**の超安全・信頼性（操作情報伝送）
- 低侵襲治療・患部直接治療**
 - ・ **数～数十ミリオン/km²**のデバイスの超多数同時接続（数から数十個のデバイスを注入かつ電車内密度）
 - ・ ゼロタッチで機器が自律的に連携（デバイス連携）



宇宙から地球の生活を守るため、宇宙利用による課題解決への貢献が求められ、更にその技術開発の延長線上にある生活圏・活動領域を宇宙へ拡大する取組みが求められる。

現状分析

- 宇宙利用は、国や特定業界、研究開発利用が先行し、一般向けは衛星放送等特定分野に留まっている。
- 宇宙利用と宇宙開発技術の活用により、社会課題解決に貢献すべく、新規取組みが求められる。

課題

- 日本の本格的な少子高齢化と人口減少
- 地球温暖化と災害の激甚化
- クリーンエネルギーへのシフト、エネルギー争奪戦
- パンデミックリスク増大と「ニューノーマル」実現
- 多様な生き方を肯定する社会の実現

期待する将来像

1. 生活を守る通信環境の提供

宇宙利用によるスマート通信インフラの活用で地球の生活を守る



出展：スマートシティ官民連携プラットフォームHP

2. データ活用で生活を守る

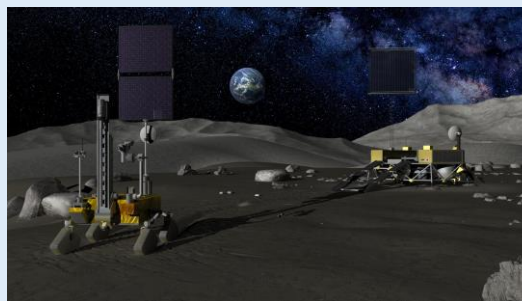
セキュアでレジリエントな環境による宇宙生成データ活用で地球の生活を守る



出展：JAXA観測衛星HP

3. 地上以外の環境活用

地上と異なる「宇宙環境」を活用して人々の活動領域を拡大する



出展：JAXA

4. 宇宙が生活に溶け込む

個々の生活スタイルに宇宙が馴染み、幅広い生き方を実現する



出展：JAXA/Adobe.stock.com

宇宙から地球の生活を守るため、期待する将来像の実現に向けて、Beyond 5Gならではの要求条件として超高速・大容量、カバレッジ拡張、超安全・信頼性、自律性、超低遅延が求められる。

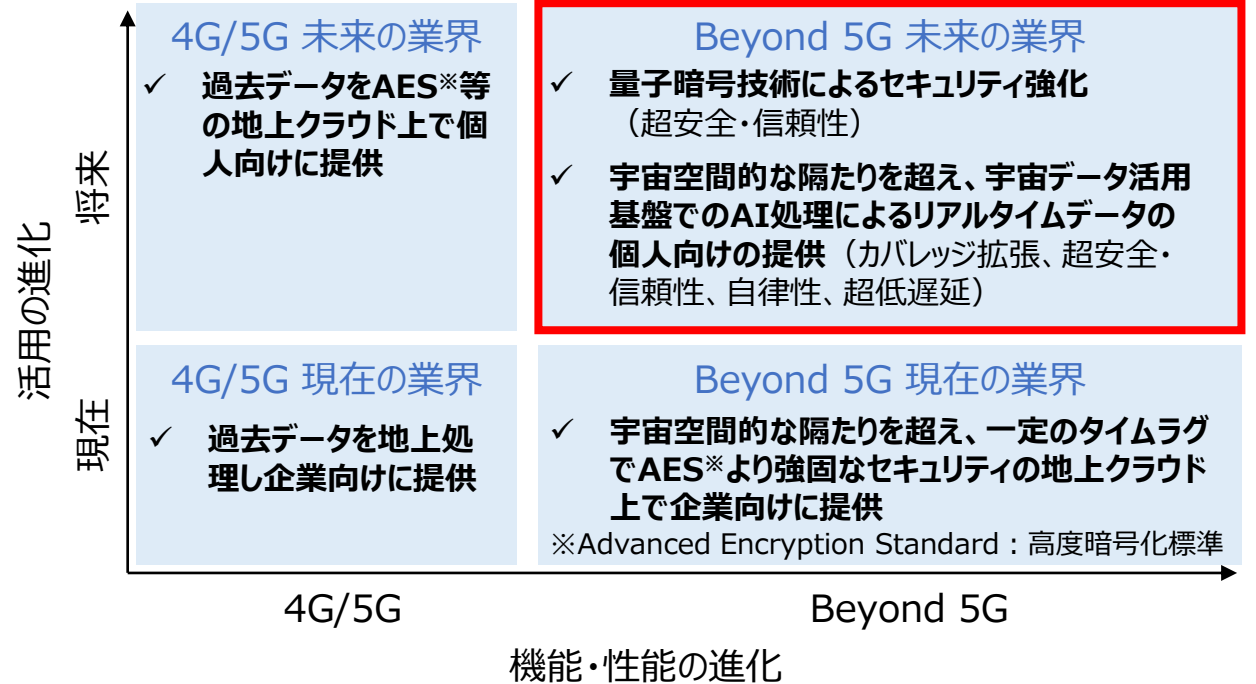
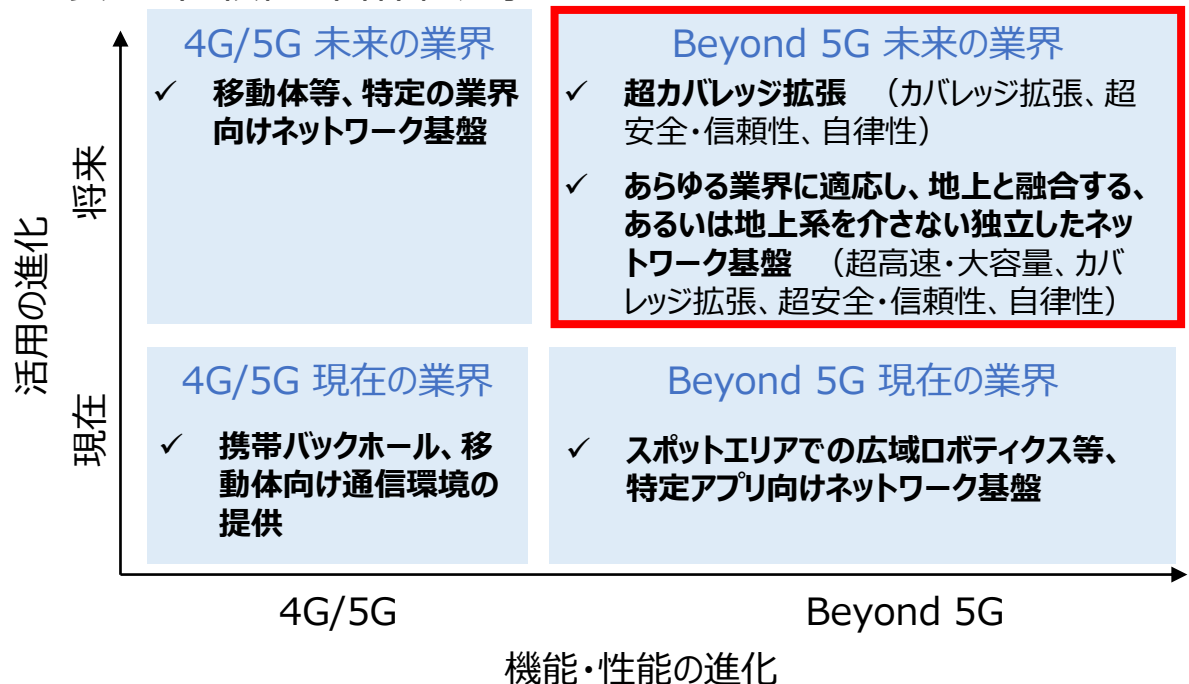
Beyond 5Gで求められるもの

陸海空を網羅する通信基盤

スマートシティや自動運転支援などの通信基盤に宇宙利用によるスマート通信インフラを活用するため、Beyond 5Gの超高速・大容量（低・中軌道衛星で**数10ギガbps**）、カバレッジ拡張、超安全・信頼性、自律性が求められる。

宇宙生成データ等の活用基盤

セキュアでレジリエントな環境による宇宙生成データ※活用のため Beyond 5Gのカバレッジ拡張、超安全・信頼性、自律性、超低遅延が求められる。 ※宇宙で観測し生成されたデータのこと。



人類の活動領域を宇宙へ拡大すると共に、地上での生活に「宇宙」を取り込むため、Beyond 5Gならではの要求条件として超高速・大容量、超安全・信頼性、超低遅延、カバレッジ拡張、超低消費電力が求められる。

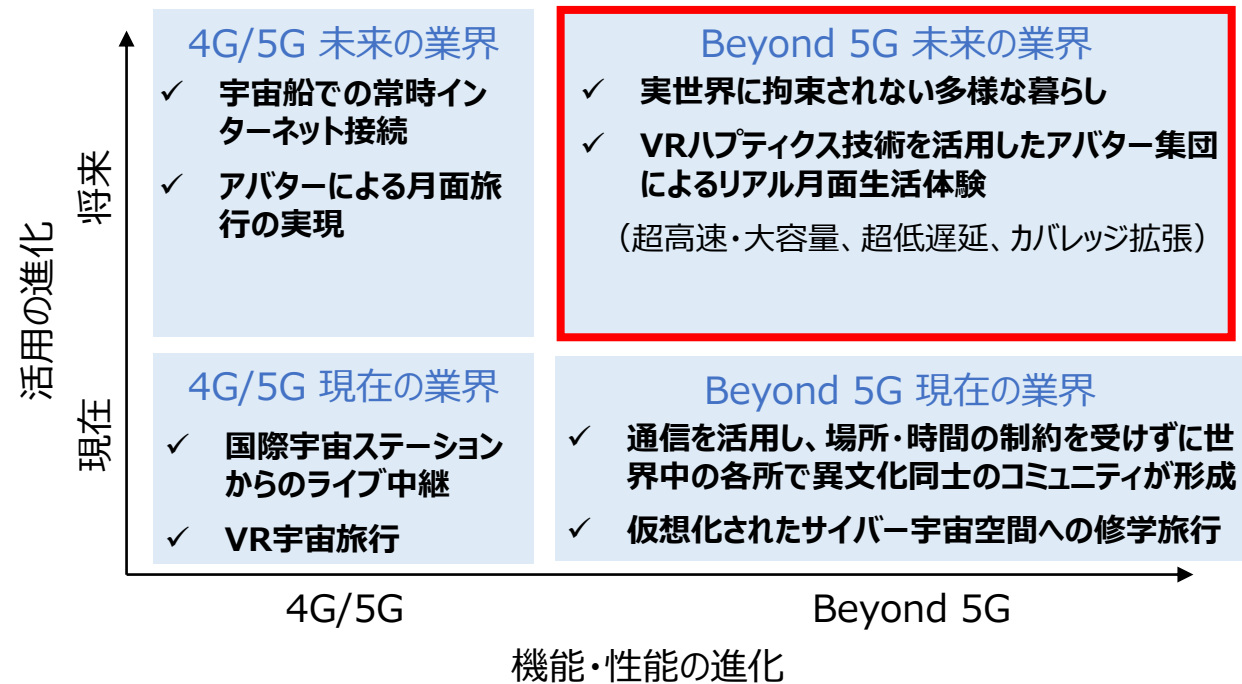
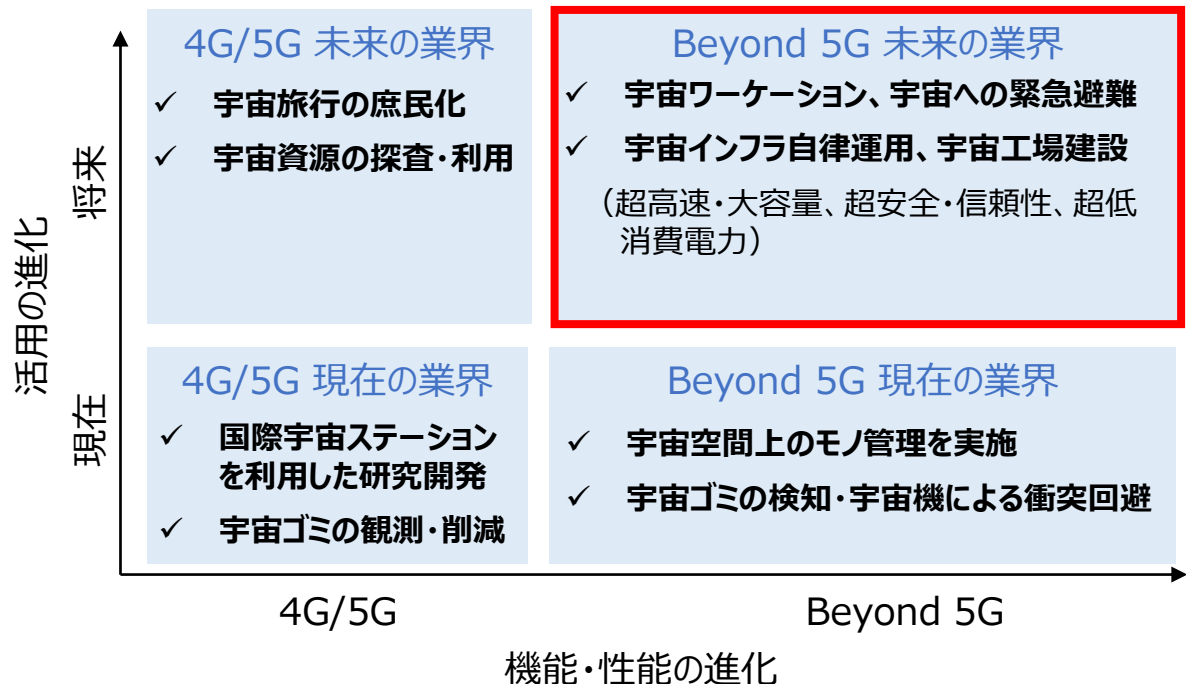
Beyond 5Gで求められるもの

宇宙空間を持続的活動領域とする高速大容量通信

地上と異なる「宇宙環境」を活用し、より暮らしやすい生活を実現すると共に、人類の活動領域を月惑星へと拡大するため、Beyond 5Gの超高速・大容量、超安全・信頼性が求められる。また、搭載リソースが限られるため超低消費電力での運用が期待される。

宇宙・サイバーが生活の一部となる超低遅延通信

国境のない宇宙をサイバー空間同然に扱い、文化的／宗教的価値感の異なる人同士が集える多様なためBeyond 5Gの超高速・大容量、超低遅延、カバレッジ拡張が求められる。



業界ごとの分析結果から Beyond 5Gに求められる Capability

(白書 5.1節)

カテゴリ	要求条件	各業界で求められる性能
定量的 要求条件	超高速・大容量	<ul style="list-style-type: none"> • 数10～数100ギガbps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)) • 50ギガbps (遠隔監視と遠隔制御 (自動車)) • 10～100ギガbps (スマート物流化 (小売卸流通)) • 数10ギガbps超 (遠隔手術 (医療)) • 48～200ギガbps (Volumetric video (エンタメ)) • 数10ギガbps (低・中軌道軌道 (宇宙)) • 10メガbps以上 (自然災害対策 (社会))
	超低遅延	<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※ (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)) <p>※ アプリレイヤーでの処理遅延時間を含む</p>
	時刻同期精度	時刻同期は無線区間を含めた内部の時計の精度としてPTP(Precision Time Protocol)マイクロ秒 (物流施設の完全自動運転 (倉庫・物流))

カテゴリ	要求条件	各業界で求められる性能
定量的 要求条件	超安全・信頼性	<ul style="list-style-type: none"> • 10⁻⁶ (遠隔監視と遠隔制御 (自動車)) • 10⁻⁷ (遠隔手術 (医療)) (単位: Block Error Rate)
	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))
	超多数同時接続	<ul style="list-style-type: none"> • 数100万~数1,000万个/km²のデバイス (体内デバイス (医療))
	超カバレッジ	<ul style="list-style-type: none"> • 10km程度以上の高度を飛行する超音速旅客機、および、宇宙空間の高度100km超でのカバレッジエリア (航空機業界) • 国土カバー率100% (通信・IT業界) • 宇宙空間や月でのカバレッジエリア (宇宙) • HAPS1機で半径数10~数100 kmのエリアと上空数kmのエリアをカバー (HAPS)

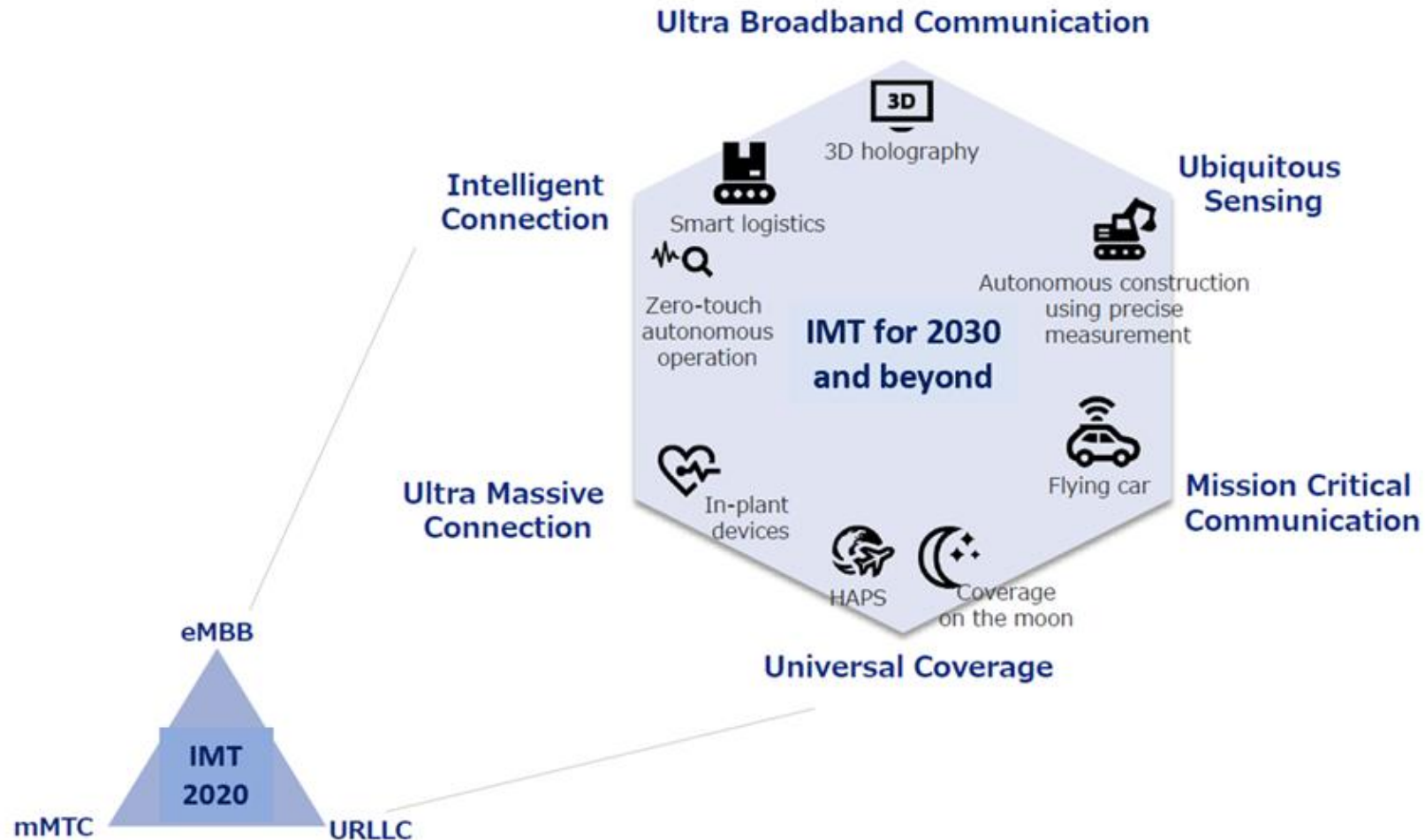
カテゴリ	要求条件	各業界で求められる性能
定性的 要求条件	超安全・ 信頼性	<ul style="list-style-type: none"> 高度なセキュリティサービス、高セキュリティなネットワーク（金融、医療） エアインターフェースにおける量子暗号技術の適用（自動車） 災害やテロ・犯罪に対する堅牢性、冗長性、補完性（倉庫・物流）
	自律性	<ul style="list-style-type: none"> 必要なモノ・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供することができるような自律的な最適化機能や将来予測機能（通信・IT業界） 各機器の自律性の向上や接続/操作時のユニバーサル対応（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））
	超低消費 電力	<ul style="list-style-type: none"> 搭載リソースが極端に限られる月惑星探査機での使用（宇宙）
	その他	<ul style="list-style-type: none"> 分散学習・推論機能（複数の車両やBeyond 5G基地局を用いた処理（自動車）） 機器間インタフェースおよび通信と通信以外のシステム間のオープンAPIやオープンインタフェース、データ分析/処理やコンテンツ取り扱いのための共通プラットフォーム（機器連携（電機・精密）） 1,000 km/hの速度で移動中でも避難指示を受けられること（自然災害対策（社会）） NTNノードが、他のNTNノードやローカルなセンサネットワークとの自動接続が可能（宇宙） NTNノード単独、又は別のNTNノードとの組み合わせによる地上系を介さないメッシュネットワーク構築が可能（宇宙）

Beyond 5Gを象徴する図と利用 シナリオ

(白書 5.2節)

Beyond 5G（もしくはIMT for 2030 and beyond）は5Gの進化系でありながらも、Beyond 5Gならではの6つの利用シナリオが考えられる。

この図と次頁の「6つの利用シナリオ」をITU-R Working Party 5Dに提案した。



Ultra Broadband Communication

- ✓ 5GにおけるeMBBの拡張版としての位置づけ
- ✓ 没入型XR（拡張現実）やホログラフィック通信の利用を想定
- ✓ 非常に高いデータレートと、低遅延性やシステムの大容量化も求められる
- ✓ 都市部のホットスポットだけでなく農村地域まで、あらゆるエリアが対象

Mission Critical Communication

- ✓ 5GにおけるuRLLCをさらに高度化し、通信回線の信頼性と遅延時間の要件が非常に厳しいユースケースに適用
- ✓ Beyond 5G時代に想定される遠隔操作やロボット間の連携動作、自動運転、遠隔医療手術など
- ✓ 通信システムの不具合のみならず、通信性能が不十分な場合に、アプリケーションに対して深刻な結果をもたらす可能性があることが特徴

Ultra Massive Connection

- ✓ 5GにおけるmMTC の利用シナリオを拡張したもの
- ✓ メータの検針や環境モニタリング、ウェアラブルデバイスを含む大量の電子デバイスやセンサーなど、日常生活において散発的にデータが送受信されるようなアプリケーション
- ✓ 大量の同時接続をサポートすることが必要

Ubiquitous Sensing

- ✓ センシングと通信システムを組み合わせた「ユビキタスセンシング」とセンシングデータの受信の実現を目指す
- ✓ 自動建設や倉庫管理、自動運転などのユースケースに必要な、高度な位置測位やポジショニング、姿勢/ジェスチャーの認識、物体追跡、イメージング、マッピングなどに必要
- ✓ 仮想世界と実世界の間をリアルタイムに相互作用が可能

Universal Coverage

- ✓ 世界全体を普遍的にカバーするエリアが提供されることを目指す
- ✓ 人々のすべての居住地では基本的なMBB サービスを提供し、UAVや空飛ぶ車などの有望な航空アプリケーションの接続
- ✓ 地上のセルラーネットワークと、HAPSや衛星などの非地上ネットワークとの間の相互接続が必要
- ✓ 自然災害の発生時においても救助や復旧の支援が容易になる

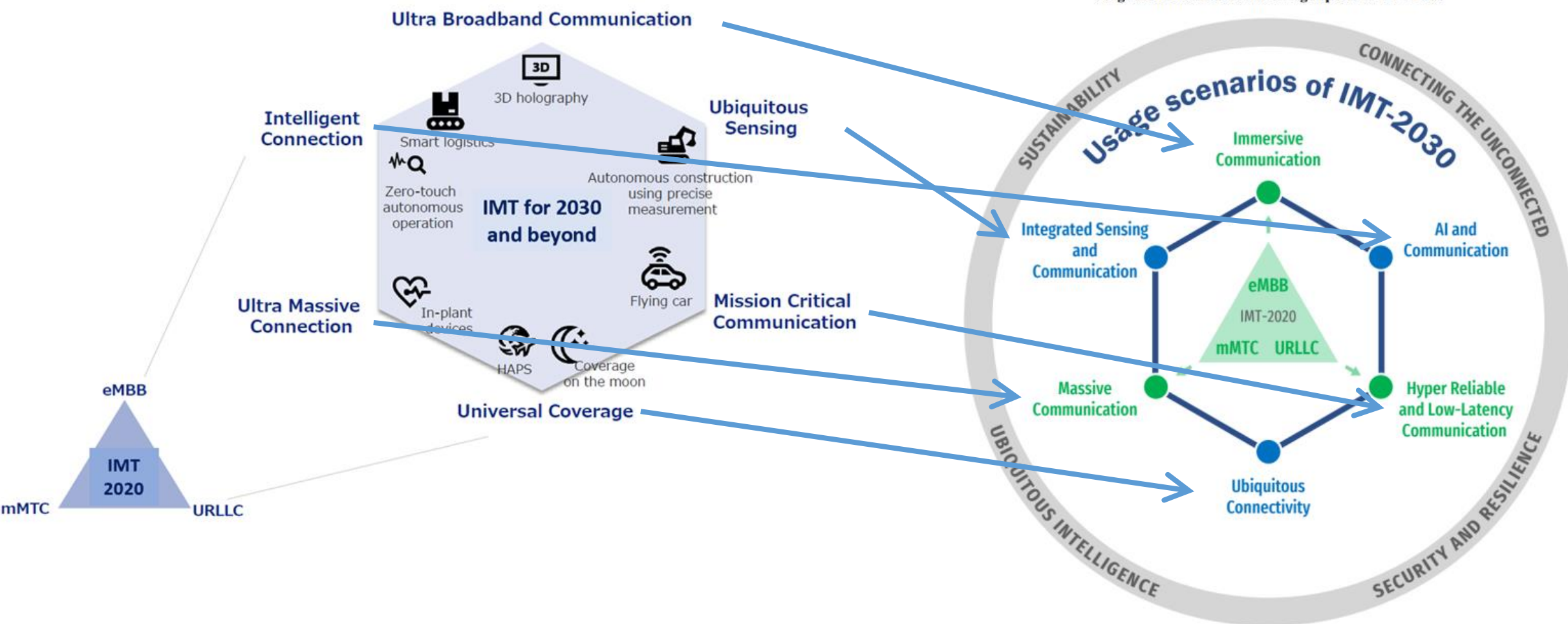
Intelligent Connection

- ✓ 高度なAIをBeyond 5Gのネットワークやデバイスに組み込むことで、さまざまなアプリケーションが高度化されることが特徴
- ✓ 協働ロボット用のトレーニングと推論、自動運転用の分散学習と推論、ゼロタッチ運用ができるデバイス間の自律的な連携など
- ✓ AI/MLを使用して、すべてのネットワークレイヤーでBeyond 5Gシステムが最適化され、無線インターフェースとネットワーク自体の性能と効率が向上

以下の提案内容がITU-R Framework勧告（Rec. M.2160-0）に反映されている

- IMT-2030がIMT-2020からの進化系であること
- 六角形で表すこと
- 六角形の頂点に記載した利用シナリオ（ただし、用語は異なる）

Usage scenarios and overarching aspects of IMT-2030



複数業界にまたがる 共通のテーマ	業界での期待や夢	Beyond 5Gへの期待
(a) 少子高齢化への対応	<ul style="list-style-type: none"> • ロボットの活用 • 遠隔制御 • 自動運転 	高速大容量（～50Gbps）、 低遅延（100マイクロ秒～1ミリ秒）、高信頼（ 10^{-7} ）
(b) 安全安心の実現	災害の予知や人命救助、 早期復旧	100%のカバレッジエリア 、 常に一定以上の通信速度 （10Mbps以上）
(c) より良い暮らしの実現	<ul style="list-style-type: none"> • 空飛ぶ車 • 没入体験 	高速大容量（～数百Gbps）、 低遅延（1ミリ秒）、 空中でのカバレッジエリア
(d) ワクワクする未来の実現	月を含む宇宙での 活動支援	宇宙空間での通信環境

付録

白書 2章～4章の説明スライド

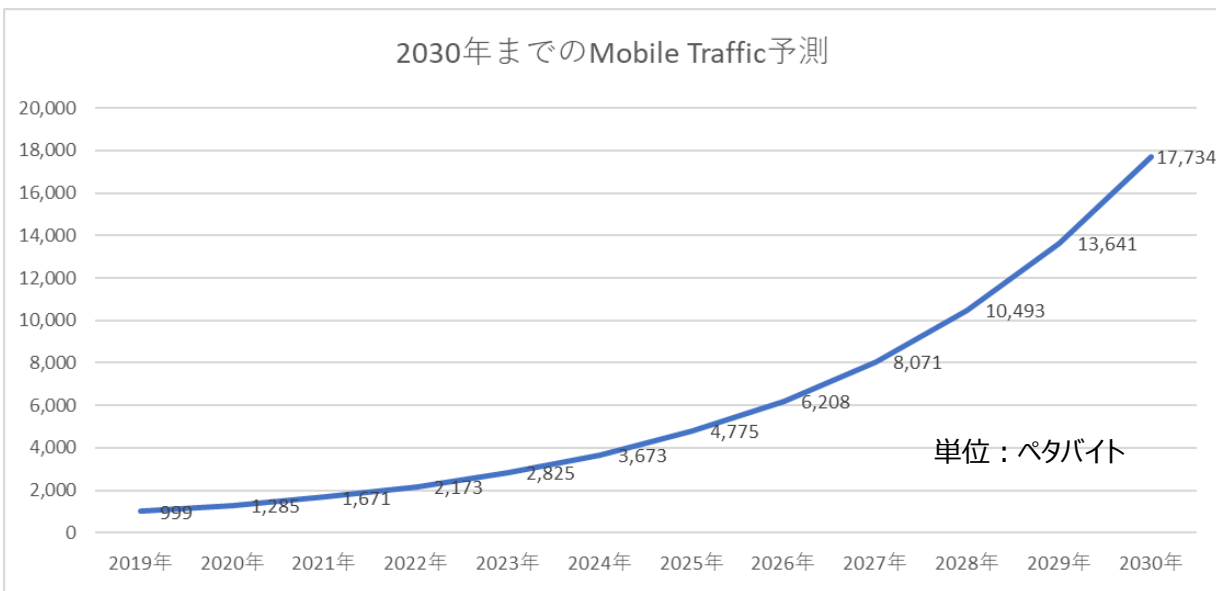
現状分析と課題

1. Covid-19で、巣籠もり需要が拡大
 - Covid-19禍でのモバイルアプリ、動画配信サービス、オンラインゲーム等で、モバイルトラヒックが増加。
2. 5Gの流行のサービスが不明
 - 5Gは既に既に登場しているも、5Gにおける流行のアプリケーションやサービスが不明瞭。

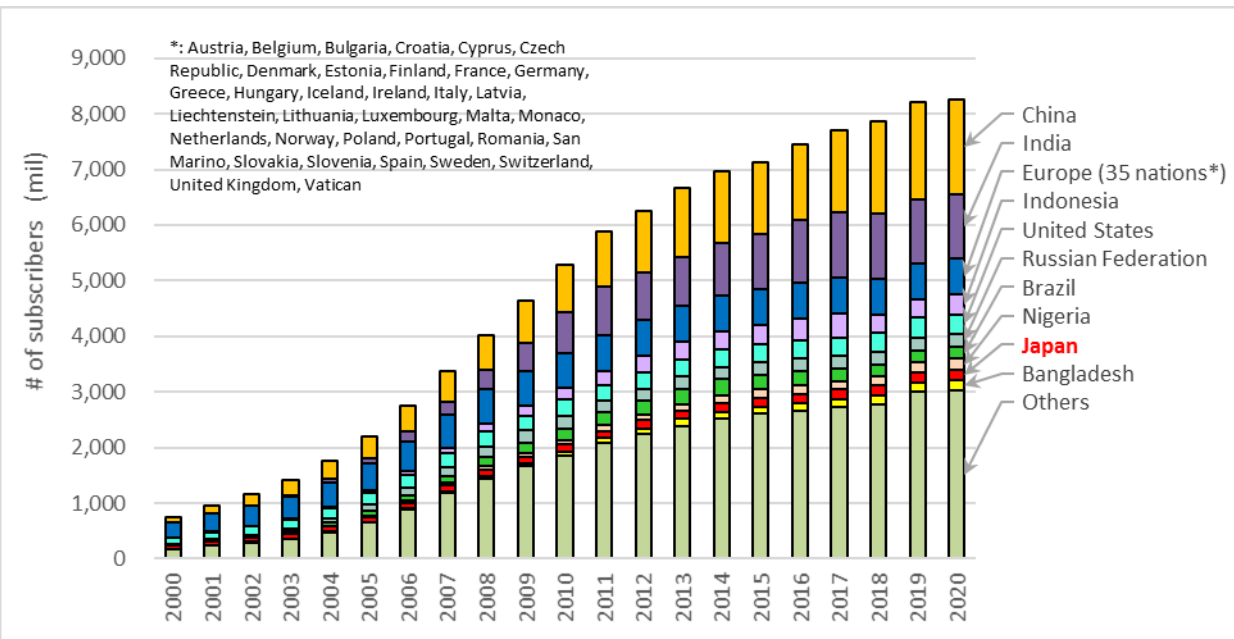


引用：ASCII.jp VR会議・コラボツール

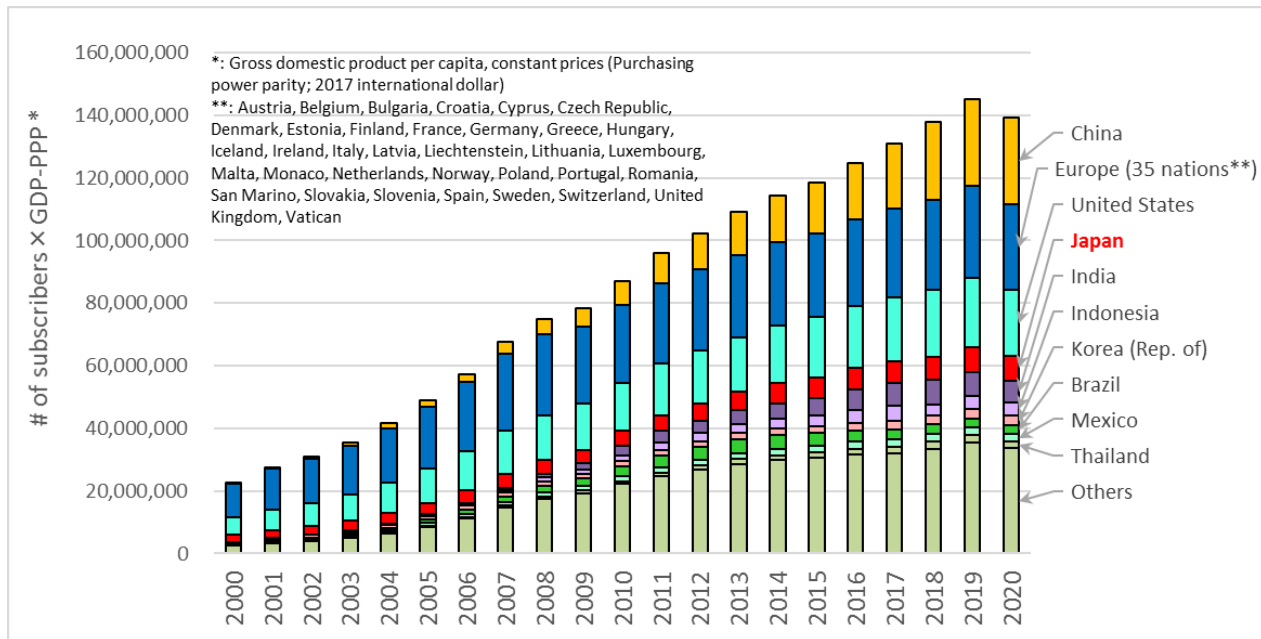
期待する将来像/Beyond 5Gで求められるもの



1. 新しいテレビ電話、オンライン会議に期待
 - 新しいデバイスでのテレビ電話やアバターによるオンライン会議の登場に期待。
2. メタバース市場への期待
 - 自分のアバター等が、フィジカル空間とサイバー空間を行き来するVR/AR/MRサービスの到来によるキラーアプリに期待。
3. 海上、山間、宇宙に携帯電話利用カバレッジが拡大
 - 携帯電話は、どこでも繋がる利便性の向上へ。



全世界の携帯電話の契約者数 [1]



携帯電話契約者数×GDP-PPP* [1][2]

*一人当たり購買力平価GDP(国内総生産)

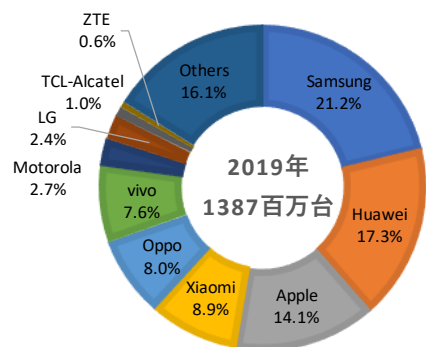
[1] "Mobile-cellular subscriptions (excel)", International Telecommunication Union, Telecommunication Development Sector (ITU-D), (July 2022).
 [2] "World Economic Outlook Database", International Monetary Fund, April 2022.

Beyond 5Gでの活用が期待されるミリ波帯、テラヘルツ帯の活用に伴い、 スモールセル基地局や電子部品のマーケットの拡大が予想される

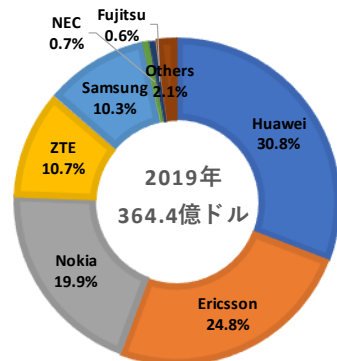
世界マーケットにおけるシェア構造

スマートフォン、マクロセル基地局

スマートフォンは過去10年でシェアを構成する企業が大きく入れ替わっている一方、マクロ基地局についてはシェアには変化があるものの企業の顔触れは大きくは変わっていない。



スマートフォン (台数ベース)



マクロセル基地局 (出荷金額ベース)

Beyond 5Gではより高い周波数帯の活用に伴い、スモールセル基地局のマーケット拡大が見込まれる。

電子部品

高周波帯の活用により、重要電子部品数が増加することが予想される。高いシェアを獲得できれば、大量生産によるコストダウンを図ることができる可能性がある。

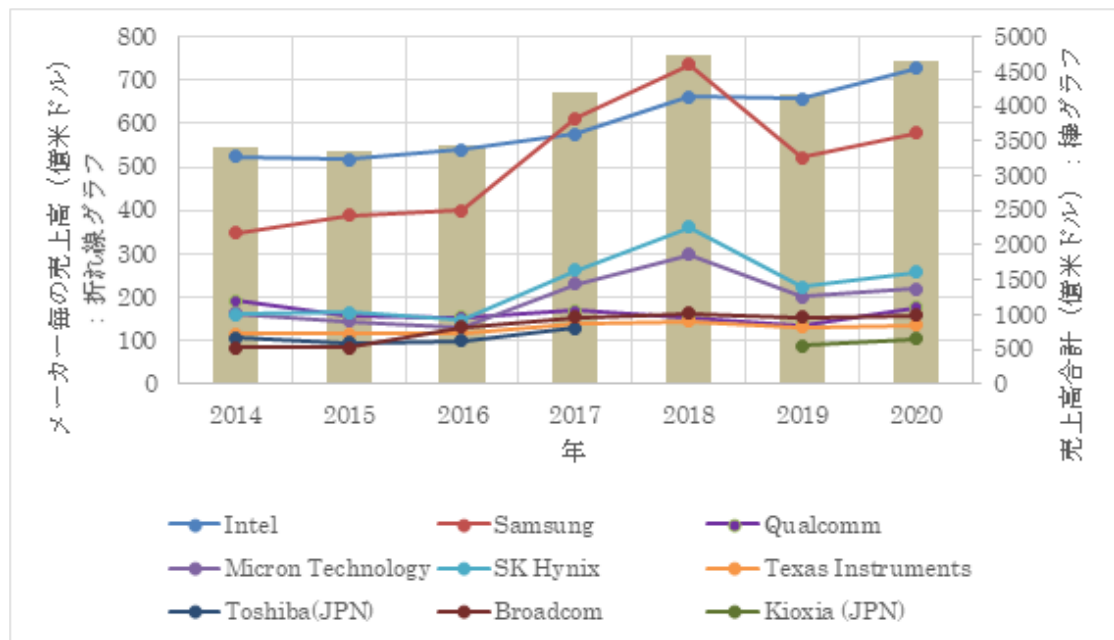
スマートフォン関連部品	概要	世界シェア (出荷数量ベース)		
		1	2	3
チップ積層セラミックコンデンサ (MLCC)	電子回路の中で電圧を制御する部品	村田製作所 約40%	Samsung EM (韓) 約20%	太陽誘電 10~15%
表面波 (SAW) フィルタ	無線信号の中から必要な周波数だけを取り出すフィルタ	村田製作所 50%以上	Qualcomm (米) 30~35%	
セラミック発振子	デジタル回路のクロック信号源等に使用	村田製作所 75%		
無線LANモジュール	携帯端末等につける無線LANモジュール	村田製作所 50~60%	USI (中)	TDK
Bluetoothモジュール	携帯端末等に付けるモジュール	村田製作所 50%	アルプスアルパイン	
インダクタ	高周波回路全般で使用	TDK 25~30%	村田製作所	太陽誘電
カメラ・アクチュエーター	カメラのオートフォーカスや手振れ補正用に使用	アルプスアルパイン 70~80%	ミネベアミツミ	TDK
CMOSイメージセンサ	スマートフォンのカメラ等で使用	ソニー 50%	Samsung (韓) 24%	OmniVision (米) 14%
リチウムイオンポリマー電池	薄型電池	TDK 40~50%	Samsung SDI (韓) 30%	LG Chem (韓) 10~20%

今後も半導体市場の拡大が予想され、それに伴って電力消費も増加してしまう傾向にある。
Beyond 5Gに向けて、消費電力を低減する技術の開発が重要となる。

通信業界に関連するトレンド

半導体

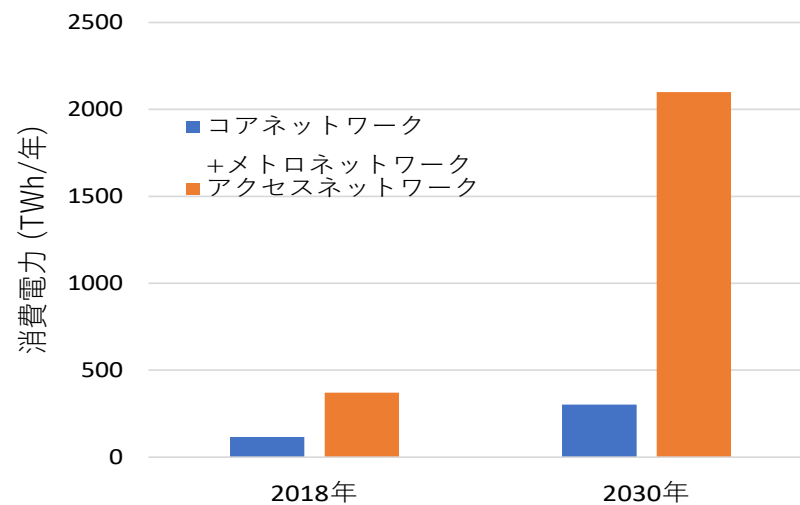
半導体市場は好不況はあるものの、概ね伸長傾向にあり、米国企業と韓国企業が高いシェアを獲得している。



半導体のメーカーシェア

電力消費

ネットワーク関連消費電力は2030年は約4~5倍に増加するとみられる。基地局1台あたりの消費電力が増えた場合、さらに消費電力が増加してしまう可能性がある。



世界のネットワーク関連消費電力

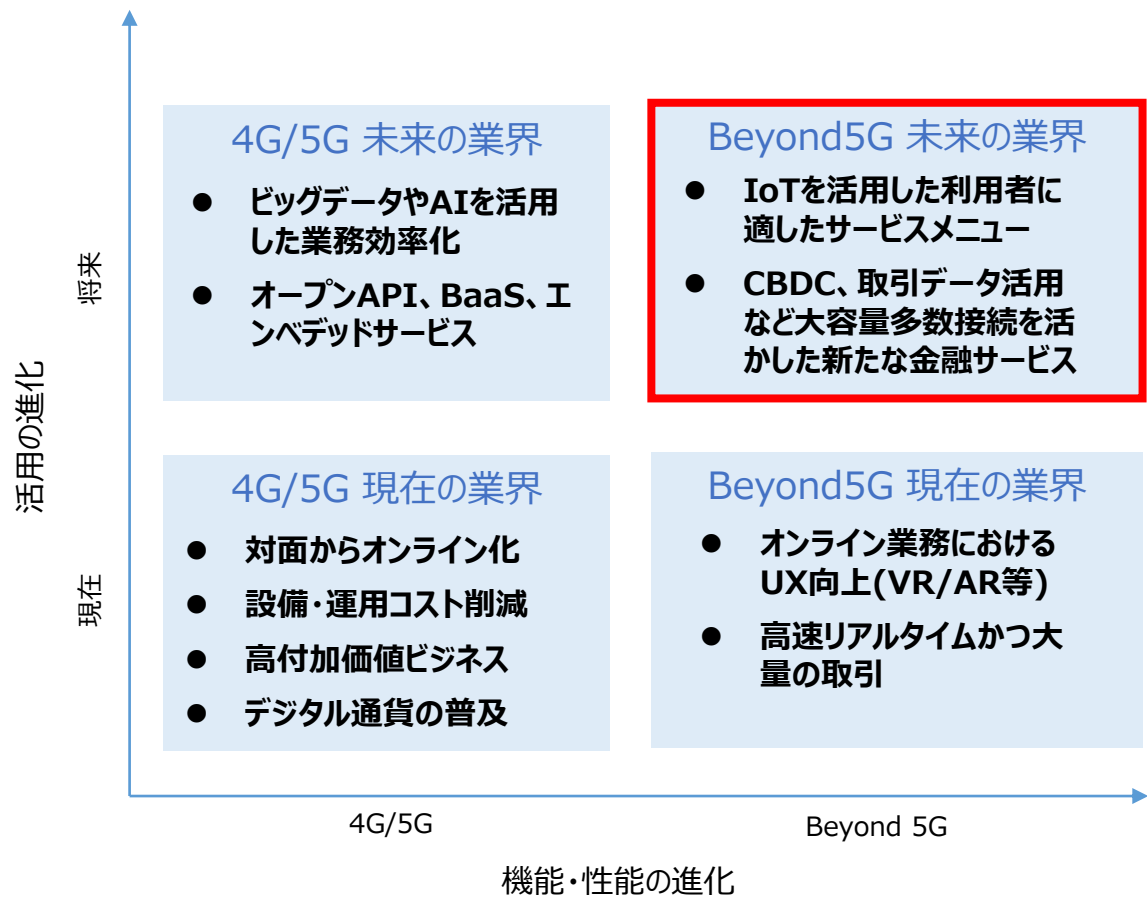
現状分析と課題

- 対面ビジネスからオンラインビジネスへのシフト
- 設備・運用コスト削減(店舗統廃合・規模縮小、ATM削減)
- 高付加価値ビジネスへのシフト(オールタナティブ投資、アドバイザーサービスなど)
- デジタル通貨の普及

期待する将来像

- 既存サービスの高度化
 - ✓ ビッグデータ、AIを活用した業務効率化
 - ✓ 利用者に適したサービスメニュー
- 他業界との融合サービス
 - ✓ オープンAPI、BaaS
 - ✓ エンベデッドファイナンス
- 新たな金融サービス
 - ✓ 中央銀行デジタル通貨(CBDC)
 - ✓ 取引データ等の二次活用

Beyond 5Gで求められるもの



現状分析と課題

建設業

- 持続可能な産業構造の構築、就業者数の減少、および高齢化の進展
- 賃金水準の向上や休日の拡大等による働き方改革、ICT活用などによる生産性向上
- 抜本的な生産性向上を目指す「i-Construction」の推進

不動産業

- 就業者の高齢化、後継者不足
- 遊休不動産の増加、不動産の老朽化
- 多様なライフスタイルへの対応
- 安心・安全な不動産取引、ストック型社会の実現

期待する将来像

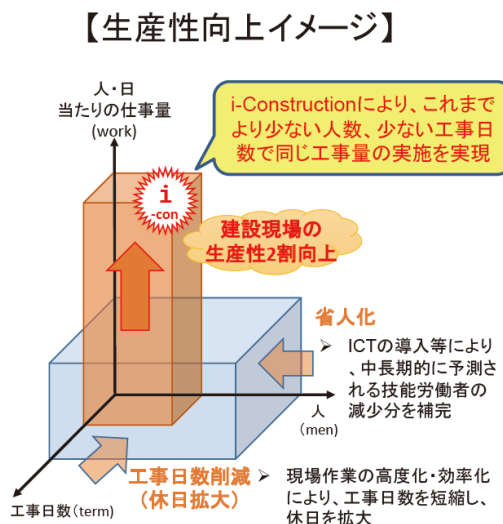
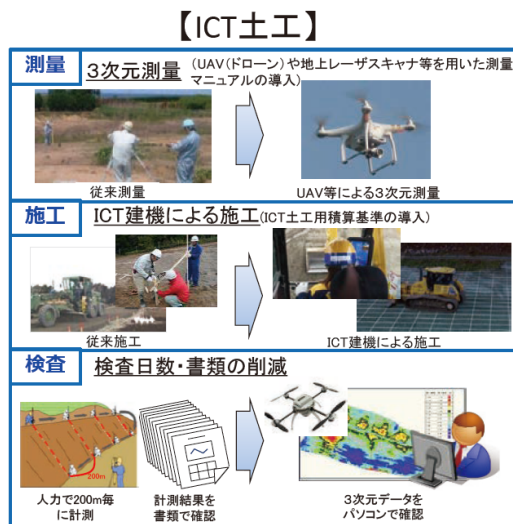
建設業

- 革新テクノロジーの建設、インフラ分野への導入
- CIM/BIMの普及により業務の効率化・高度化

BIM/CIM: Building/ Construction Information Modeling, Management



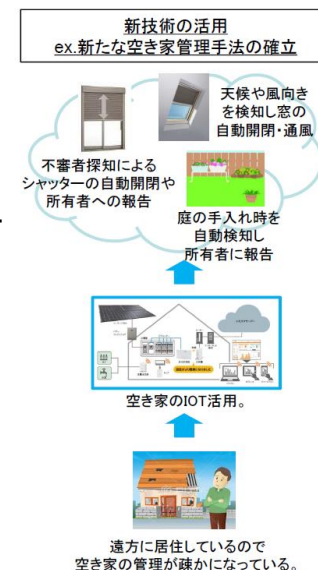
出典：国土交通省白書令和3年度版



不動産業

- AI、IoT、ロボット等の新技術の活用、効率性、利便性向上

出典：国土交通省 働き方改革を支える今後の不動産のあり方検討会資料



Beyond 5Gで求められるもの

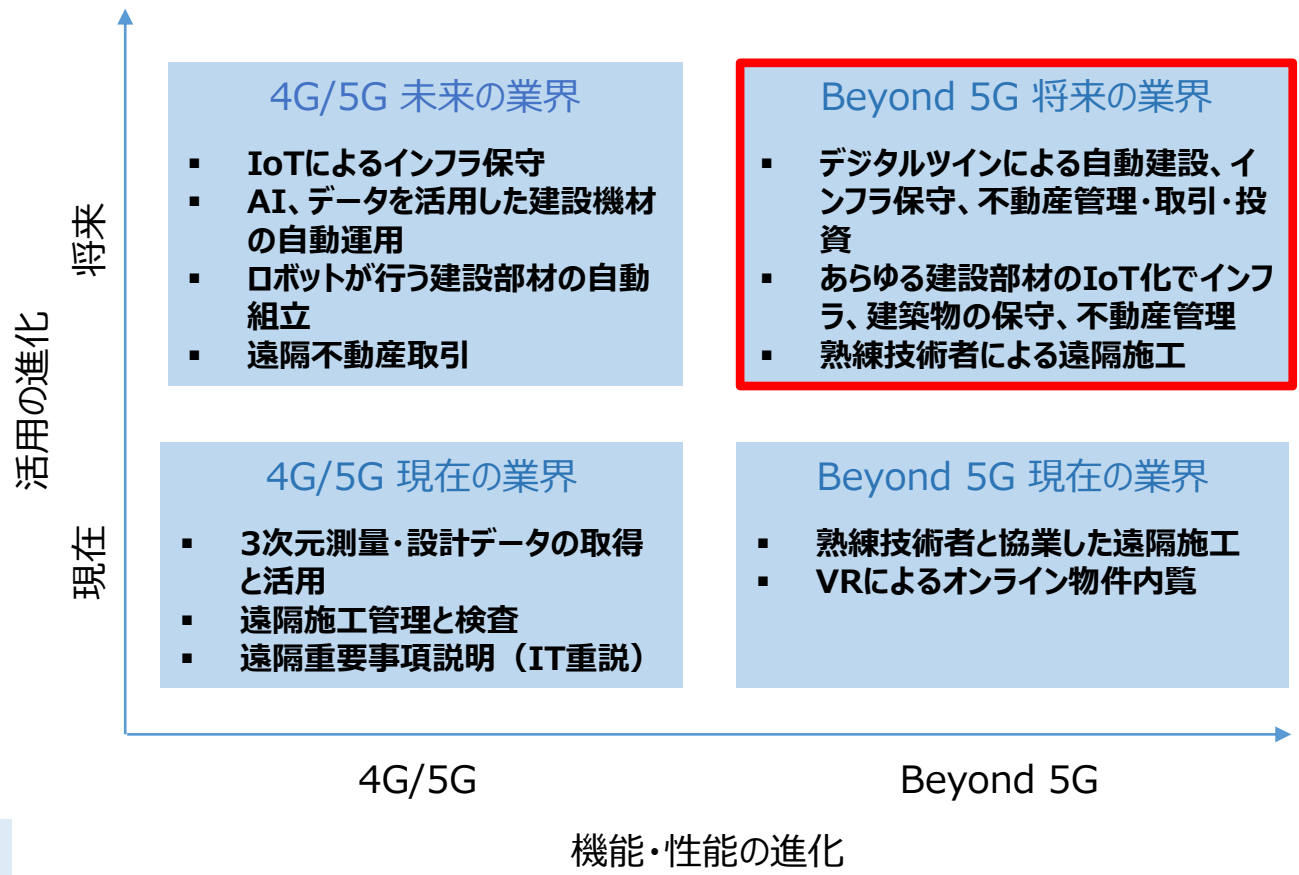
期待される活用例

建設業

- 熟練技術者による遠隔施工
 - VR技術で熟練技術者と協力
 - ハプティクス・VR技術で建設機械またはロボットを遠隔操作
- IoT化によるインフラ、建築物の保守・管理
- 物理空間とサイバー空間による設計・建設
- 自動建設機械やロボットが工事・建設を行う完全自動化

不動産業

- IoT化による不動産の保守・管理
- デジタルツインによる不動産の管理・取引および不動産投資
- VRによるオンライン物件内覧



Beyond 5Gに求められるCapability

- デジタルツインによる自動建設、およびIoT化による保守管理では、**1~2cm程度の測位・センシングの精度**が求められる。
- 熟練技術者による遠隔施工では、**100ミリ秒以下の超低遅延**が求められる。

現状分析と課題

- 人口減少の本格化や労働力不足への対応
- 災害の激甚化・頻発化と国民の安全・安心の確保
- Society5.0 の実現によるデジタル化・イノベーションの強化
- 地球環境の持続可能性の確保や SDGs への対応
- 新型コロナウイルス感染症への対応

期待する将来像

- 物流DXや物流標準化の推進によるサプライチェーン全体の徹底した最適化（簡素で滑らかな物流の実現）
- 労働力不足対策と物流構造改革の推進（担い手にやさしい物流の実現）
- 強靱で持続可能な物流ネットワークの構築（強くてしなやかな物流の実現）

Beyond 5Gで求められるもの



遅延はローカルネットワーク内で**ミリ秒のオーダー**、時刻同期は無線区間を含めた内部の時計の精度として**PTPの対応 (マイクロ秒)** が求められる。

グローバルな経済成長の影響により、航空旅客数は拡大傾向 安全安心かつ高効率な運航、多様なニーズへの対応、環境への配慮が課題

現状分析と課題


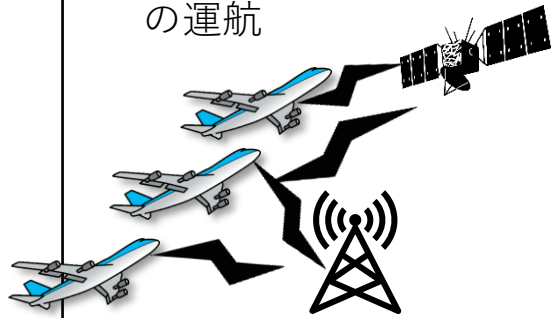

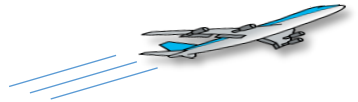
- グローバルな経済成長の影響により、航空旅客数は拡大傾向
- 航空業界へ求めるサービスは多様化しており、それぞれに適した空港・航空機内でのサービス向上が求められている
- 脱炭素社会の実現にむけ、航空機の省燃費機材の導入、軽量化の推進が求められている
- 高効率な運行に向け、日本では国土交通省のCARATSにて、航空交通管理システムの高度化を検討中
- 厳格な保安検査と利便性を両立した安全・安心な運航

期待される将来像

安全・安心かつ便利・快適な空の旅	<ul style="list-style-type: none"> • 空港を含め安全でストレスフリーな移動 • 快適な航空機内サービス • 地上業務の支援
持続可能な航空輸送	<ul style="list-style-type: none"> • 燃費向上・脱炭素化 • 操縦アシスト・運行管理
高密度な運航	<ul style="list-style-type: none"> • 管制高度化による高密度運航の実現
新しい航空サービスの導入	<ul style="list-style-type: none"> • ドローン・空飛ぶクルマの安全・快適運航 • 超音速旅客機による高速移動

Beyond 5Gによる空へのカバレッジ拡張、超高速・大容量通信、超安全・信頼性、超低遅延通信、高精度な位置測位が航空業界へ貢献

Beyond 5Gで求められること

	快適な航空機内サービス	燃費向上・脱炭素化	管制高度化による高密度運航	ドローン・空飛ぶクルマ	超音速旅客機
ユースケース	<ul style="list-style-type: none"> VR/AR活用エンターテインメント 個人の趣向に合わせた機内環境 	<ul style="list-style-type: none"> 航空機内配線のワイヤレス化 	<ul style="list-style-type: none"> 離陸・着陸待ち時間ゼロ 燃費効率のよい経路での運航 	<ul style="list-style-type: none"> 物流、計量、監視、災害対応、インフラ点検にドローンを活用 空飛ぶタクシー・緊急車両の運行 	<ul style="list-style-type: none"> 超音速旅客機の再登場 サブオービタル軌道による2地点間高速移動 
Beyond 5Gの貢献	<ul style="list-style-type: none"> 航空機内向けの超高速・大容量通信 機内通信への不正アクセスに対する超安全・信頼性 	<ul style="list-style-type: none"> IFEモニタへの超高速・大容量通信 有線並みの超安全・信頼性および超低遅延通信 超低消費電力センサデバイス 	<ul style="list-style-type: none"> 高精度な位置測位・環境センシング 上空に対する超安全・信頼性および超低遅延通信 シームレスな地上・非地上通信 	<ul style="list-style-type: none"> 低空での超安全・信頼性および超低遅延通信 高速移動体への超高速・大容量通信 	<ul style="list-style-type: none"> 高度10km以上および、宇宙空間の高度100km超のカバレッジエリア

人口減少や働き方の変化により移動ニーズは減少。安心安全やサービスの魅力向上などの既存事業の深化に加えて、自動化やまちづくりなどの新規事業の探索の両利きが求められる。

現状分析

- 人口減少や働き方の変化等により、鉄道による移動ニーズは縮小。既存の鉄道事業は利益縮小の傾向。
- 既存の鉄道事業の深化とDX推進による新たな収益事業の探索の両利きで、収益力の維持・向上を図る方向。

課題

- 事故ゼロと障害発生時の早期復旧
- 本格的な少子高齢化と人口減少
- インフラ・システムの老朽化
- 都市一極集中に対する分散型まちづくり

期待する将来像

1. 安心安全の取組

IoTやロボット活用による事故ゼロおよび早期障害復旧



出典：東京メトロ（駅構内ロボットの実証実験）

2. 自動化

ドライバレス運転の実現や障害時のダイヤ早期回復



出典：JR東日本（自動列車運転装置の走行試験）

3. 運輸サービスの魅力向上

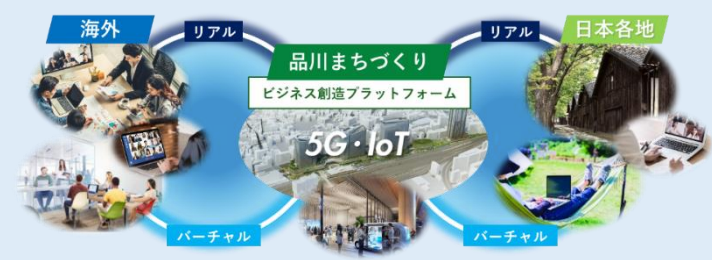
MaaS連携やオールインワン決済、車内リモートワーク等



出典：国土交通省（日本版MaaSの推進）

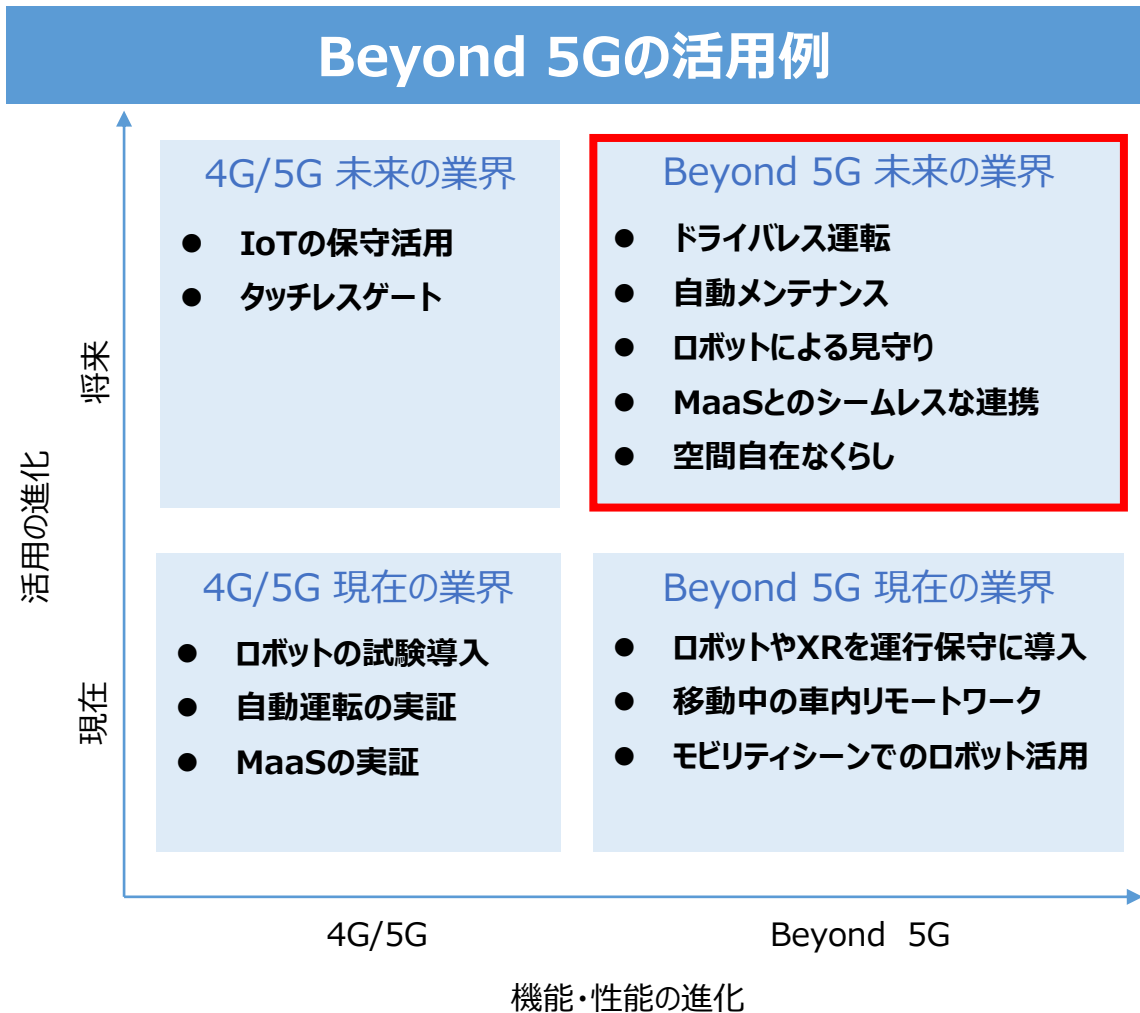
4. まちづくり

交通×通信で実現する空間を超えた新しい街と暮らし



出典：第4回ビジョン作業班（JR東日本講演資料）

Beyond 5Gの活用例として、ドライバレス運転や自動メンテナンスなどが考えられる。そのためBeyond 5Gに求められるCapabilityに、超低遅延や超安全性・信頼性がある。



Beyond 5Gに求められるCapability

超高速・大容量、超低遅延、超多数同時接続、超安全・信頼性、超低消費電力、測位・センシング、カバレッジ拡張が考えられる。

<Capabilityの一例>

超低遅延	超高速鉄道の緊急停止では、 数ミリ秒程度のエンドツーエンドの遅延時間 が求められる。
超安全・信頼性	無線式列車制御システムにおいては列車衝突や速度超過を防ぐため、 信頼性の高いリアルタイムな無線通信 が求められる。

DXによるスマート化や信頼性のある自由なデータ流通の推進等により、フィジカル空間で起きている事象をサイバー空間に投影し、解決策を見いだす仕組みを実現することが求められる

現状分析と課題※

- 高度な通信インフラの整備：フィジカル空間とサイバー空間を跨ぐ高度なデータ同期をあらゆる場所において安全・確実に実現
- 自律的に動くプラットフォームの構築：あらゆる機械がセンサーにより自律的に動くための技術やルールの確立
- セキュリティ・耐災害性の強化：サイバーセキュリティの確保や、災害時も途絶えない安定したネットワーク

※5Gの振り返りのまとめを4.4.5節に記載

期待する将来像

① 誰もが活躍できる社会

ロボット等を介したどこでもリアルな体感、ウェアラブル端末等を通じた身体能力や認知能力の拡張により、地理的な障壁、年齢、障害の有無などの差異も取り除かれることで、誰もが活躍できる社会



出典：NICT (Beyond 5G/6G White Paper：テレプレゼンス)

② 持続的に成長する社会

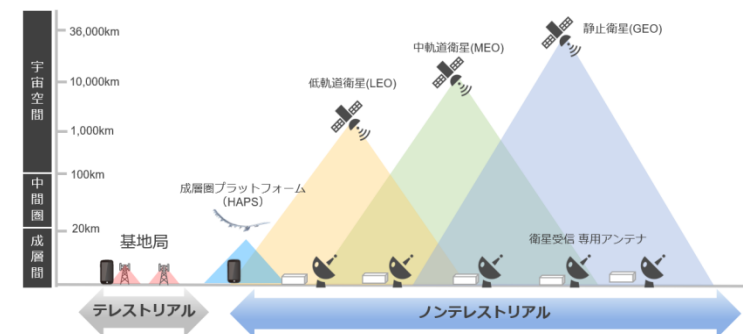
現実世界を再現したサイバー空間で最適化を行い、現実世界へフィードバックすることで、社会的にロスのない、便利で持続的に成長できる社会



出典：NICT (Beyond 5G/6G White Paper：サイバーフィジカルシステム)

③ 安心して活動できる社会

ネットワーク構成を柔軟かつ自律的に変えることで災害時等でも通信が途絶えず、誰もが安心して活動できる社会



出典：ソフトバンク株式会社 (ギジュツノチカラ Beyond 5G/6G編)

期待する将来像の実現に向けて、5G機能の更なる高度化に加え Beyond 5Gならではの機能が求められる

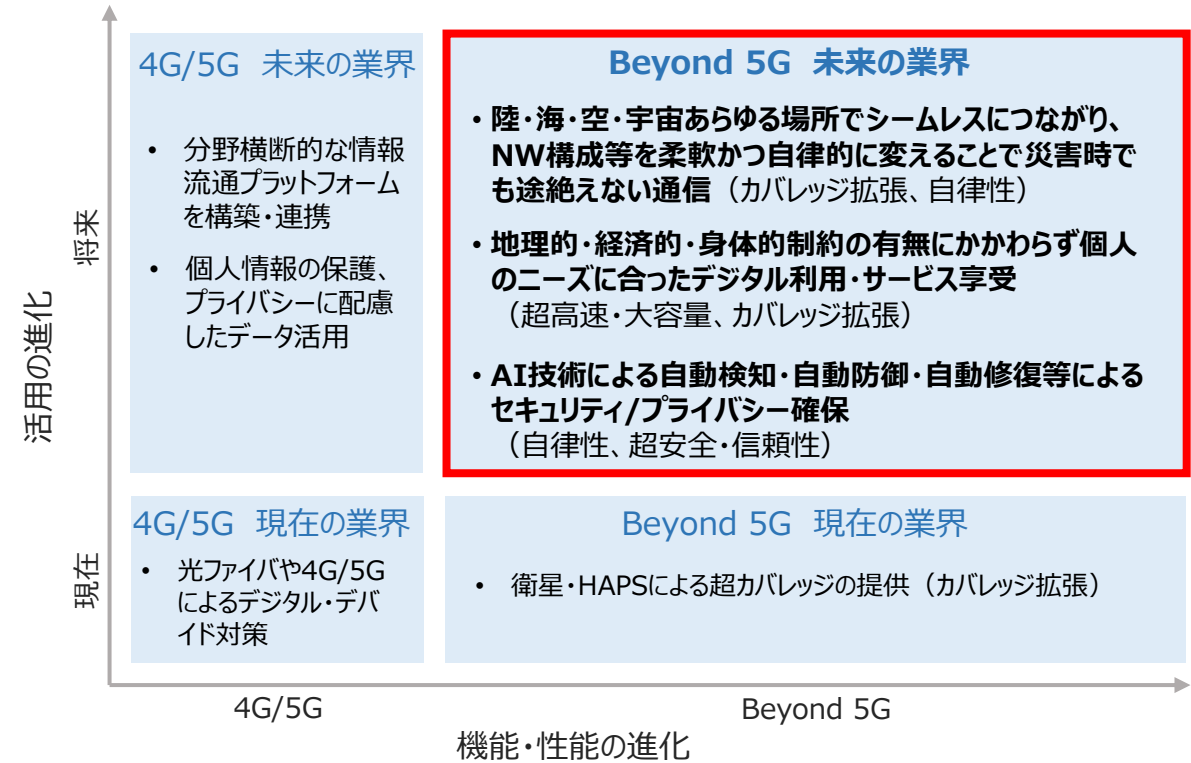
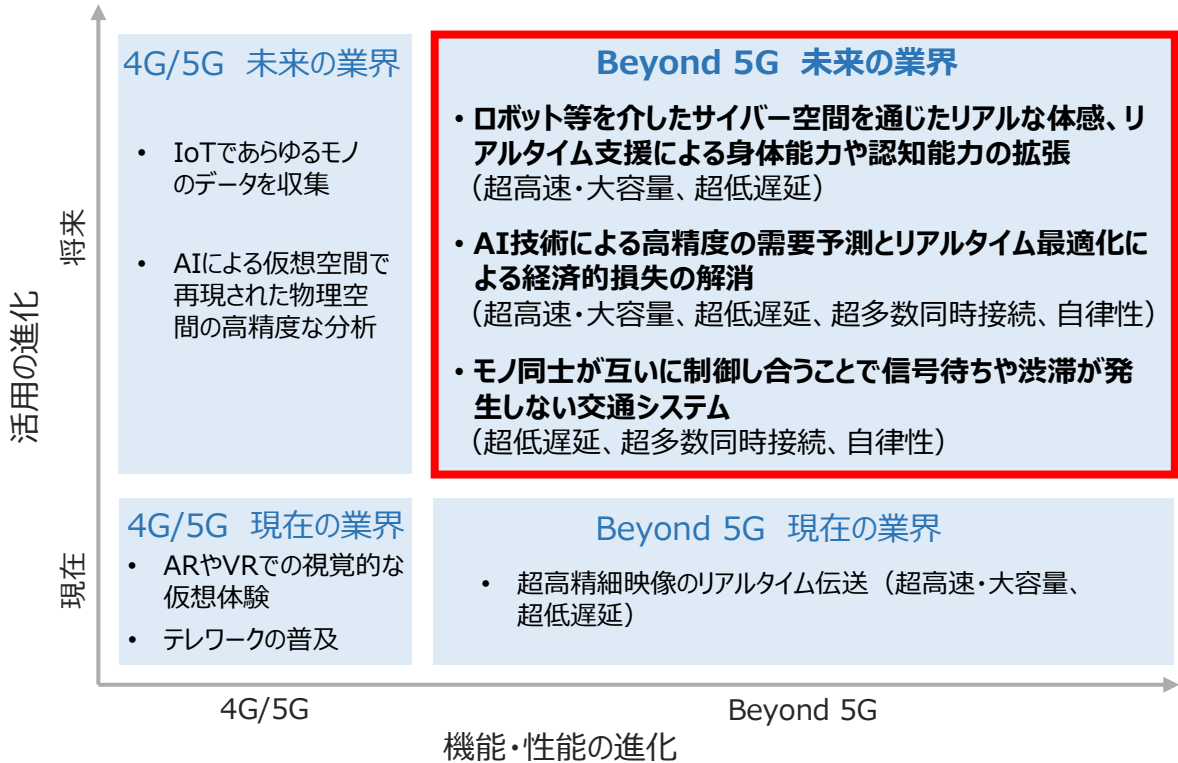
Beyond 5Gで求められるもの

CPSの進展による強靱で活力のある社会

「誰一人取り残さない」デジタル化、安心安全で情報格差のない社会

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が求められる

全ての人にデジタルの恩恵を受けられ、誰もが安心して活動できるよう、地上系/非地上系ネットワークによる国土カバー率100%が求められる



2030年には、仮想空間やホログラフィック技術を活用した、より没入的なメディア体験 (e.g., メタバーズ) を享受することが可能となる

現状

- テレビラジオ、出版・広告、SNS など多様なマルチメディアが提供されている
- 新型コロナウイルス流行により、コンテンツのデジタル化が加速 (e.g., オンラインライブイベントなど)

オンラインライブイベント



Source: <https://lineblog.me/livepress/archives/13261786.html>

期待される将来像

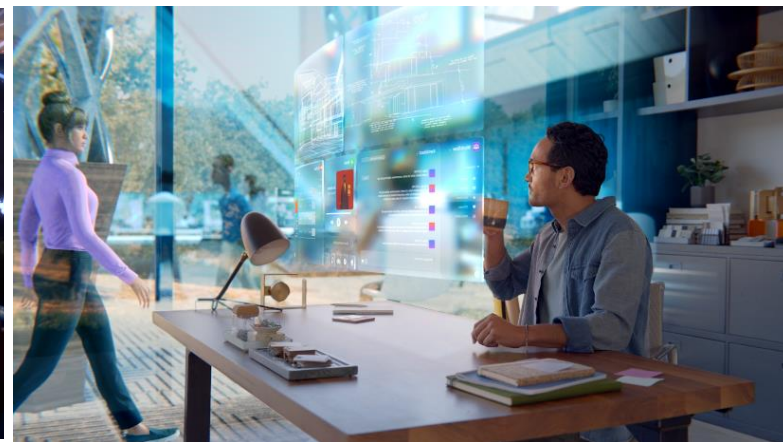
- 全てのコンテンツがインターネット経由でアクセス可能。同様に、個々人のよりリッチなコンテンツを場所・時間・デバイスによらず、より簡易に配信。
- 仮想空間やホログラフィック技術の活用
- 各ユーザに対するカスタマイズによる、より効率的なコンテンツ配信

仮想空間を活用したエンターテインメント



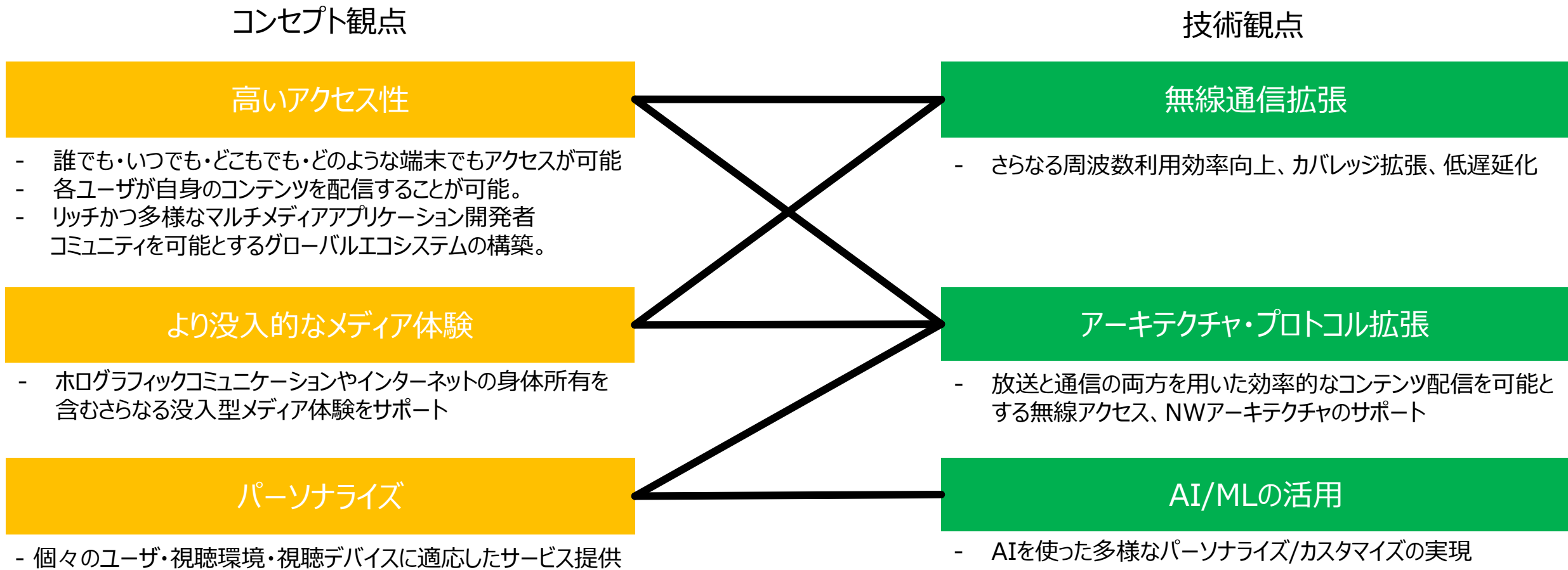
Source: https://about.meta.com/what-is-the-metaverse/?utm_source=about.facebook.com&utm_medium=redirect

ホログラフィック技術



- Beyond 5Gに求められるハイレベルな要件（コンセプト観点・技術観点）を下図に示す。
- 求められる具体的な性能例として、ホログラフィックコミュニケーションに必要と考えられる **数10～数100 Gbps**のピークスループットが想定される。

下図の黒線は、コンセプト観点と技術観点の関連を示す。



持続可能な社会に向けた安定的な資源確保・脱炭素化に向けて、IoT、自動化等の新技術の導入によって鉱山・植林地の労働環境改善、設備の効率化、「静脈産業」への対応が進む

現状分析

- 持続可能な社会に向けて、鉱物資源業界ではリサイクル・海洋資源開発、製紙業界では脱炭素関連の新規事業に注目
- 鉱山、植林地での効率化・労働環境改善のために新技術の検討・導入を推進
- 大規模装置産業である両業界企業は省エネ・脱炭素への取り組みを推進

課題

- 場所によらず、自動化機械導入や遠隔操作/遠隔モニタリング等の推進
- IoT/ビッグデータを活用した設備効率化や省エネ・脱炭素技術導入の推進
- 広範囲なインフラ基盤としてのIoTによる「静脈産業」の推進

期待する将来像

1. 効率的・安心安全な労働環境

場所によらずにロボット活用や遠隔操作/監視が可能

出典：「新たな海洋基本計画の策定に向けた提言～Society5.0時代の海洋政策～」一般社団法人 日本経済団体連合会
 ※経団連にて内閣府総合科学技術・イノベーション会議HPから図を作成
 「海のジバング計画」SIP 次世代海洋資源調査技術

自動伐倒作業車 自動集材機 自動走行フォークリフト

出典：「林業イノベーション現場実装推進プログラム」林野庁から抜粋

2. 共通インフラとしてのリサイクル

場所に制限されない超多数接続による「静脈産業」

出典：廃棄物処理・リサイクルIoT導入促進協議会 HP
 廃棄物処理・リサイクル分野におけるIoTの活用

3. 省エネ・低炭素設備の最適運用

IoT、ビッグデータ活用による製造DX・バリューチェーン

期待する将来像の実現に向けて、Beyond 5Gならではの要求条件としてカバレッジ拡張、超低遅延、超多数同時接続、低消費電力、非接触給電が求められる。

Beyond 5Gで求められるもの

要求条件

- **カバレッジ拡張**
山岳、海面での高速通信
- **超低遅延**
労働環境改善を目指した没入型機器遠隔操作システムでは**45ミリ秒以下**（一例）
- **超多数同時接続**
あらゆるもの・場所の環境データ、移動データ収集によるCPS実現
- **低消費電力/非接触給電**
あらゆる場所で設置・運用が容易なIoT端末（電源不要等）

活用の進化

未来

現在

4G/5G 未来の業界 ■ 5G未提供エリア（採掘場、海洋、森林）でローカル5Gシステム（外部とは限定的な通信） ■ 5G提供エリアでは、製造DXが高度化しIoTデータ収集（設置場所に制限有）によるリサイクル産業実現	Beyond 5G 未来の業界 ■ 場所に制限されない柔軟な機器設置/システム ・エッジとクラウド連携、仮想化等 ・バリューチェーン全体でDX実現 ・あらゆる場所から収集されるIoTデータが共有された業界横断の静脈産業が実現
4G/5G 現在の業界 ■ 5G未提供エリア（採掘場、海洋、森林等）では個別の閉域システム（限定的な機械の自律運転等） ■ 5G提供エリア内では製造業DXが進行し、IoTデータ収集によるリサイクル産業の効率化を検討	Beyond 5G 現在の業界 ■ 採掘場、海洋、森林でも遠隔機器操作、クラウド連携などDX進展（運用効率と労働環境改善）でバリューチェーン全体の最適化実現。 ■ 設置の制限がなくなりデータ収集対象が増加しリサイクル業界拡大

4G/5G
地上基地局中心の通信エリア
多数同時接続

Beyond 5G
超カバレッジ（衛星通信/HAPS/水中通信）
超多数同時接続・低消費電力端末/非接触給電

機能・性能の進化

高齢化社会は地方での移動に制約を与え、都市部での人口集中は交通渋滞を引き起こす。すべての人々が居住地に依存せずに自由に効率的な移動を確保できる社会が求められる。

現状分析と課題

- 人手不足により地方における公共交通手段の維持が難化し移動の自由が制約。都市部では人口集中により交通渋滞を招き、人々の生活に悪影響を及ぼす。
- エネルギー・環境問題や高齢化に起因する交通事故の問題に対する社会の危機意識の高まり。
- すべての人に移動の自由や効率的な移動を提供するモビリティ・インクルーシブな社会の実現
- 高度な自動運転や安全運転支援をつかさどる強靱なインフラの整備と低炭素化社会の両立

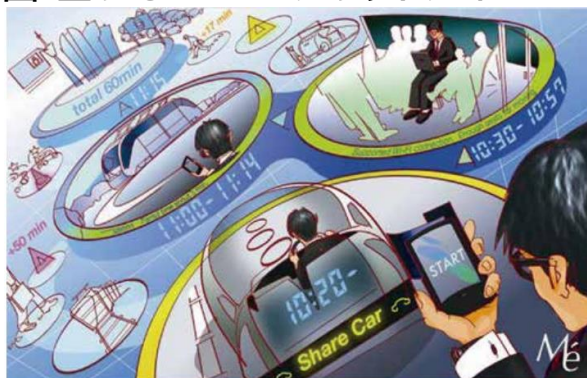
期待する将来像

1. すべての住民が自由・効率的に移動できる社会



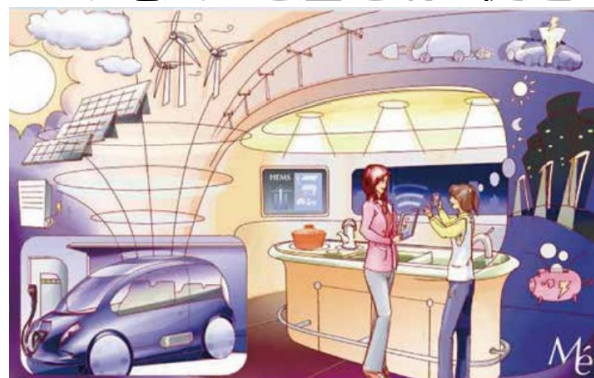
出典：ITS Japan (ITSによる未来創造の提言)

2. マルチモーダルな移動手段を管理するMaaSプラットフォーム



出典：ITS Japan (ITSによる未来創造の提言)

3. クルマとスマートシティの連携により電気の地産地消を促進



出典：ITS Japan (ITSによる未来創造の提言)

4. モビリティ・インクルーシブを実現するデジタル空間



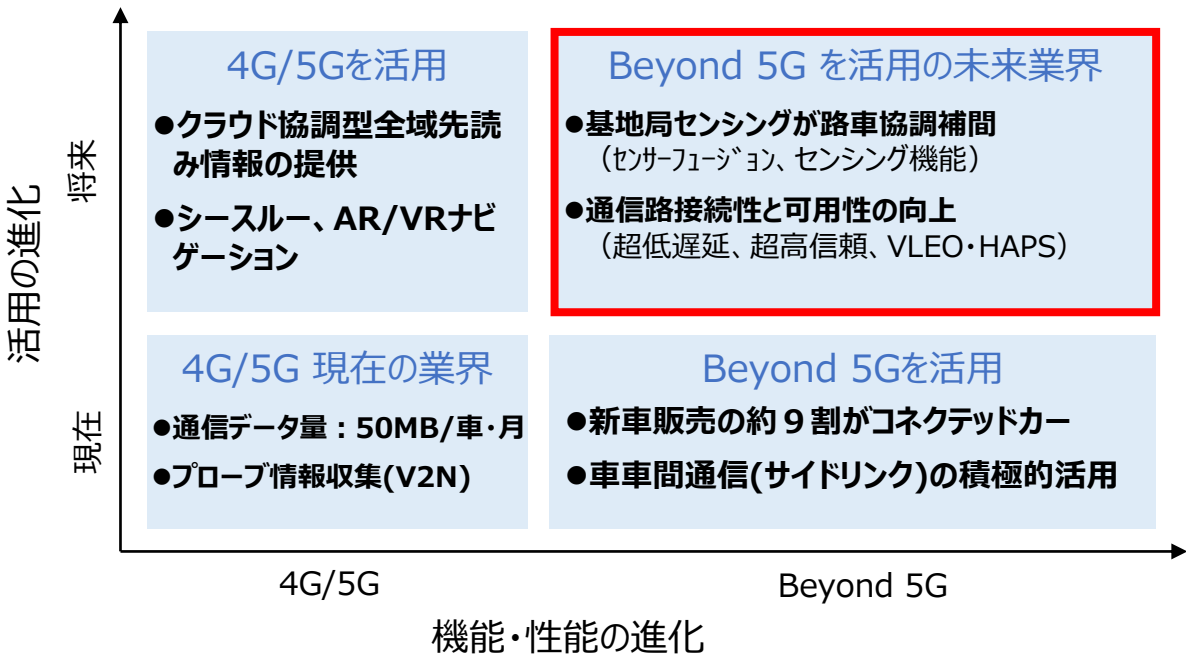
出典：首相官邸 (官民 ITS 構想・ロードマップ)

2030年代の自動車社会の実現に向け、Beyond5Gでは高精度センシングと通信の融合、AI分散学習・推論、超高信頼性が必要となる。

Beyond 5G で求められるもの

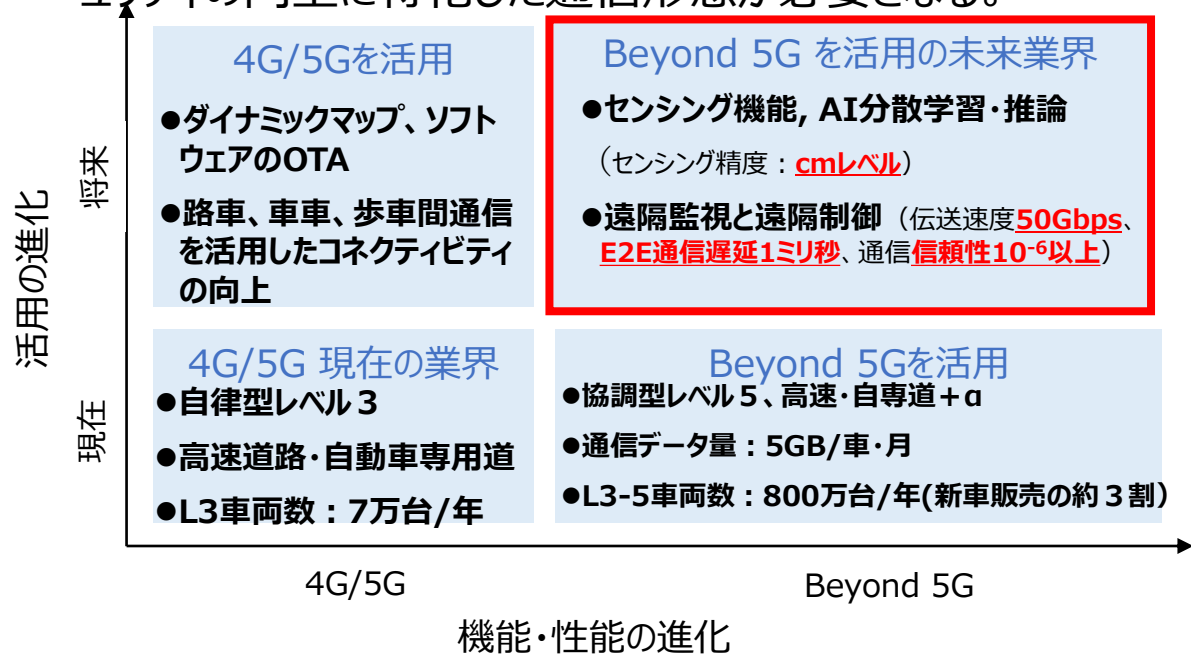
安全運転支援

信号の無い交差点、悪天候下や災害発生時での運転においても、安全性を確保するため、Beyond5Gのセンシングの活用や通信路接続性能の向上が必要となる。



自動運転

自動運転の社会実装を加速するために、通信とセンシングの融合、AI分散学習・推論機能や量子暗号によりセキュリティの向上に特化した通信形態が必要となる。



生活、生産・流通、社会インフラ、エネルギー利用などすべての基盤であり、様々な改善による性能、効率、信頼性の向上に加え、センサの進化、ICTの活用によるシステム最適化が進行。

現状分析と課題

- 労働人口の減少への対応 (SDG8、9)
 - 自動化・省人化、人間との協調
- 地球環境保護への対応 (SDG13)
 - あらゆる段階での環境負荷の低減
- 生産・エネルギー効率化 (SDG7、12)
 - 設計・製造・物流・運用の最適化
 - ICTの活用
- 不平等解消への対応 (SDG10)
 - ジェンダー・障害・年齢
 - 国・地域・人種

期待する将来像

項目	期待する進歩
機械の設計	<ul style="list-style-type: none"> ● 遠隔共同作業とデジタルツインによる設計効率の向上 ● 非接触給電、有線ネットワークの無線化を取り入れた設計 ● AI/HPCで燃料効率、機械効率、制御効率の最適設計
機械の製造	<ul style="list-style-type: none"> ● デジタルツイン、つながるサイバー工場で最適生産 ● 物流網の効率化と製造場所の分散、地産地消 ● ロボット、AGV、レイアウトフリー工場、3Dプリンタ
機械の自律制御	<ul style="list-style-type: none"> ● AIによる操縦・機械操作の省人化・無人化・自律化 ● 自動運転 (センシング精度・密度、測位、最適制御) ● 高精度測位・通信による最適運行制御
機械の活動範囲拡大	<ul style="list-style-type: none"> ● 空、成層圏、宇宙、遠洋、海中、地下のカバレッジ
機械の知能化・人間協調	<ul style="list-style-type: none"> ● 自律ロボット (AIによる制御、作業精度と速度の向上) ● 人間拡張 (器官・感覚拡張、多感覚、1対多遠隔操作) ● サービスロボット (コミュニケーション、家電代替)
機械の監視・保全	<ul style="list-style-type: none"> ● 運転データの取得 (データ種別、サンプリング、対象点数) ● 分析・フィードバック (デバイス/エッジ/クラウドの最適分担)



Beyond 5Gで求められるもの

期待される活用例

1 工作・製造過程の知能化・自動化

工程自動生成・改善、超低遅延モーション制御*、ダイレクトティーチング、リアルタイムCPS

2 遠隔操作・制御・診断

建機・農機へのロボット技術適用、航空機・船舶への自動運転技術適用、直観的HMI、生産物・飼育物管理

3 柔軟な施工・加工・生産・運用管理

AI・ロボットによるスマートメンテナンス、機器のシェアリング、生産・作業環境条件の反映

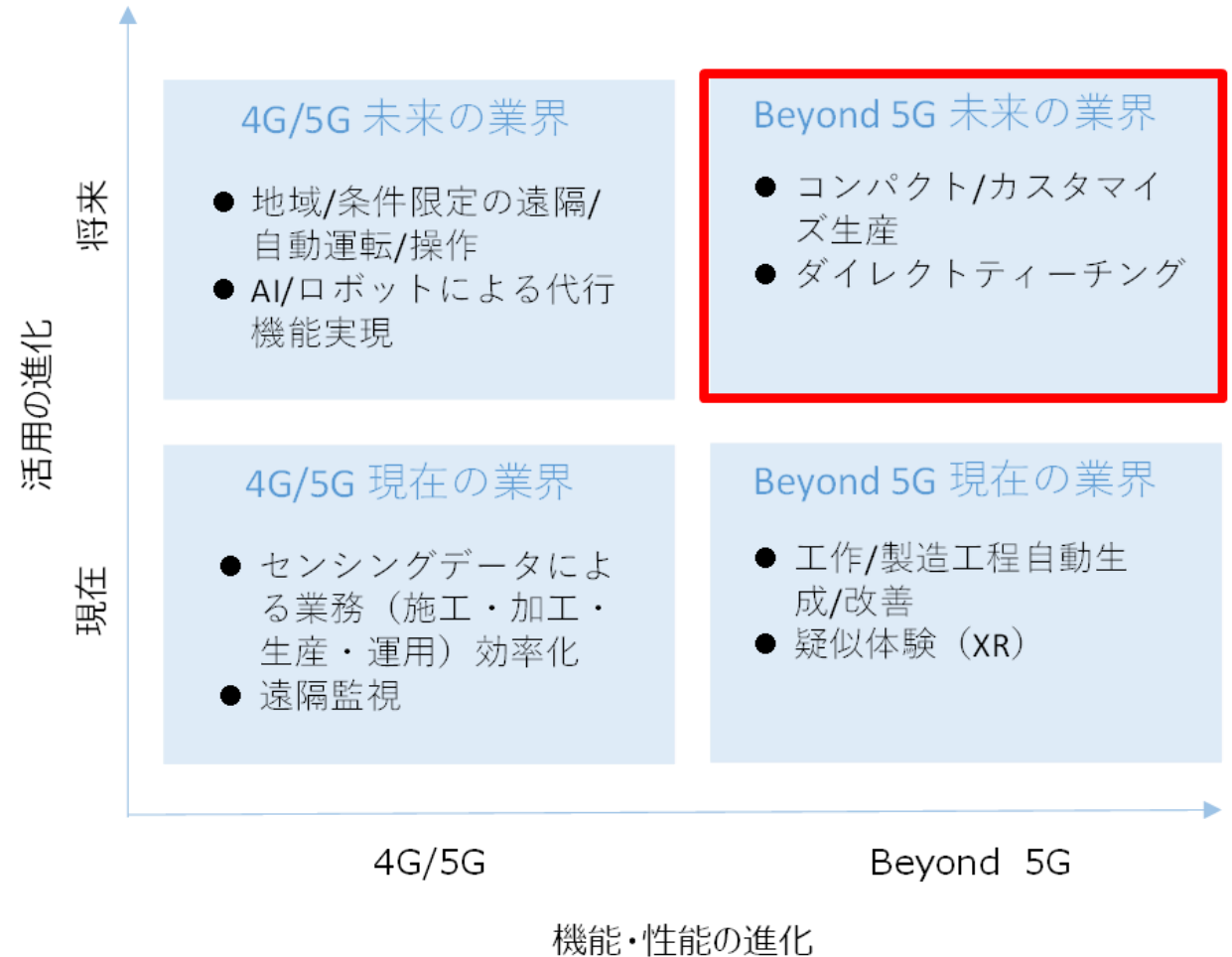
4 移動の高速化・省エネ化・快適化

広域・高速移動体の高精度測位・制御、データ活用による航行計画管理、保安検査自動化・高度化、荷物トランス、シームレス移動

5 新しい移動サービス

空飛ぶタクシー、疑似体験

*:ローカル通信でE2E 100マイクロ秒



例：Beyond 5Gにおける農業機械産業

Beyond 5Gで繋がる電機・精密機器が社会・生活のあらゆるシーンに普及していく。 社会のエッセンシャルインフラを支えるプラットフォーム業界への変貌が求められる。

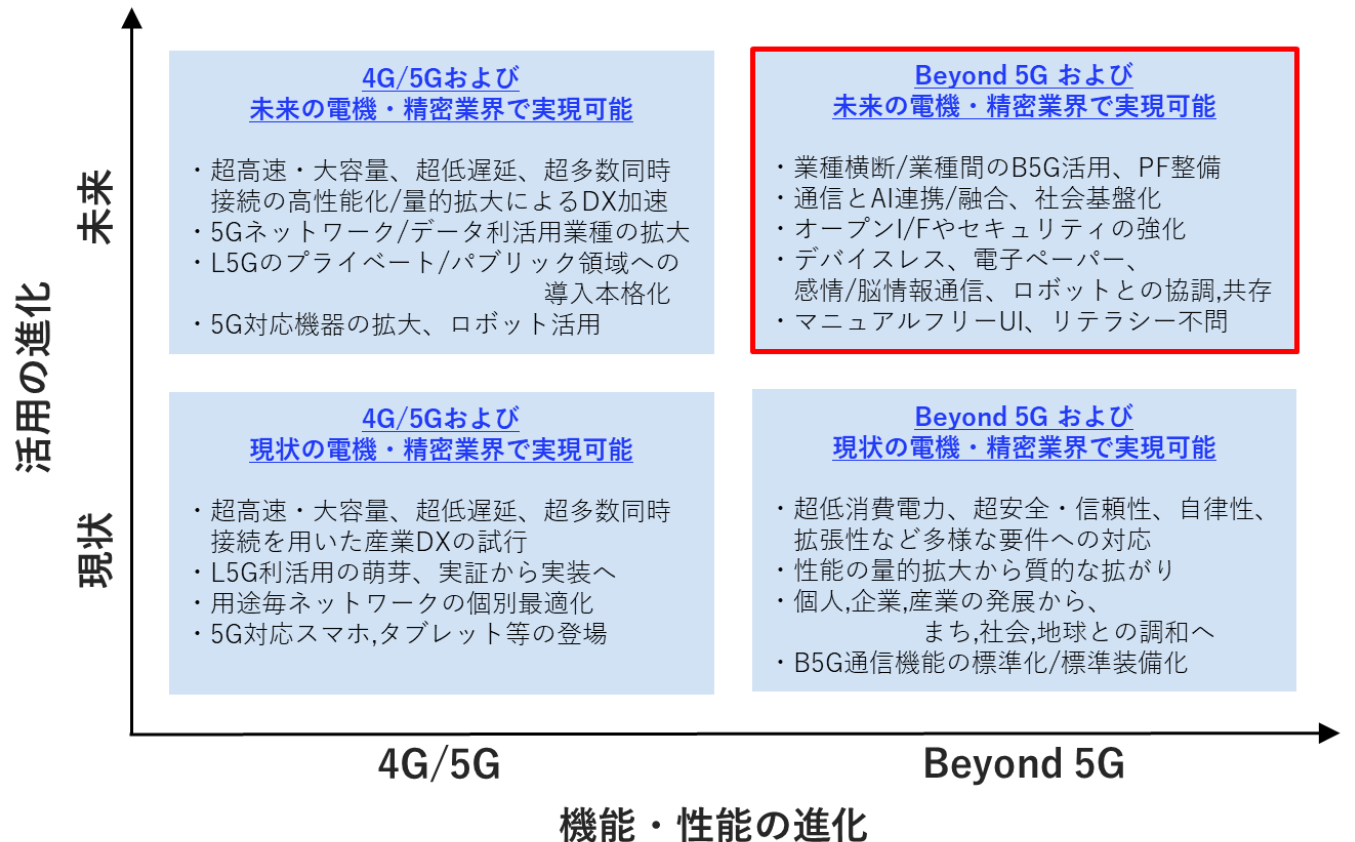
現状分析

- 5Gによる産業の拡大、幅広い業種によるDXが進展・加速し、電機・精密機器が社会を支える重要な基盤になっていく
- AIの本格的な活用が進展し、ネットワークとAIが互いに補い合う共進化の関係へ

課題

- 機器・システム個別ではない社会全体の最適化、シェアリング・省電力化の対応
- 業界横断の共創活動、業界間の連携
- 未来志向のユーザー中心デザインへのシフト

Beyond 5G で求められるもの



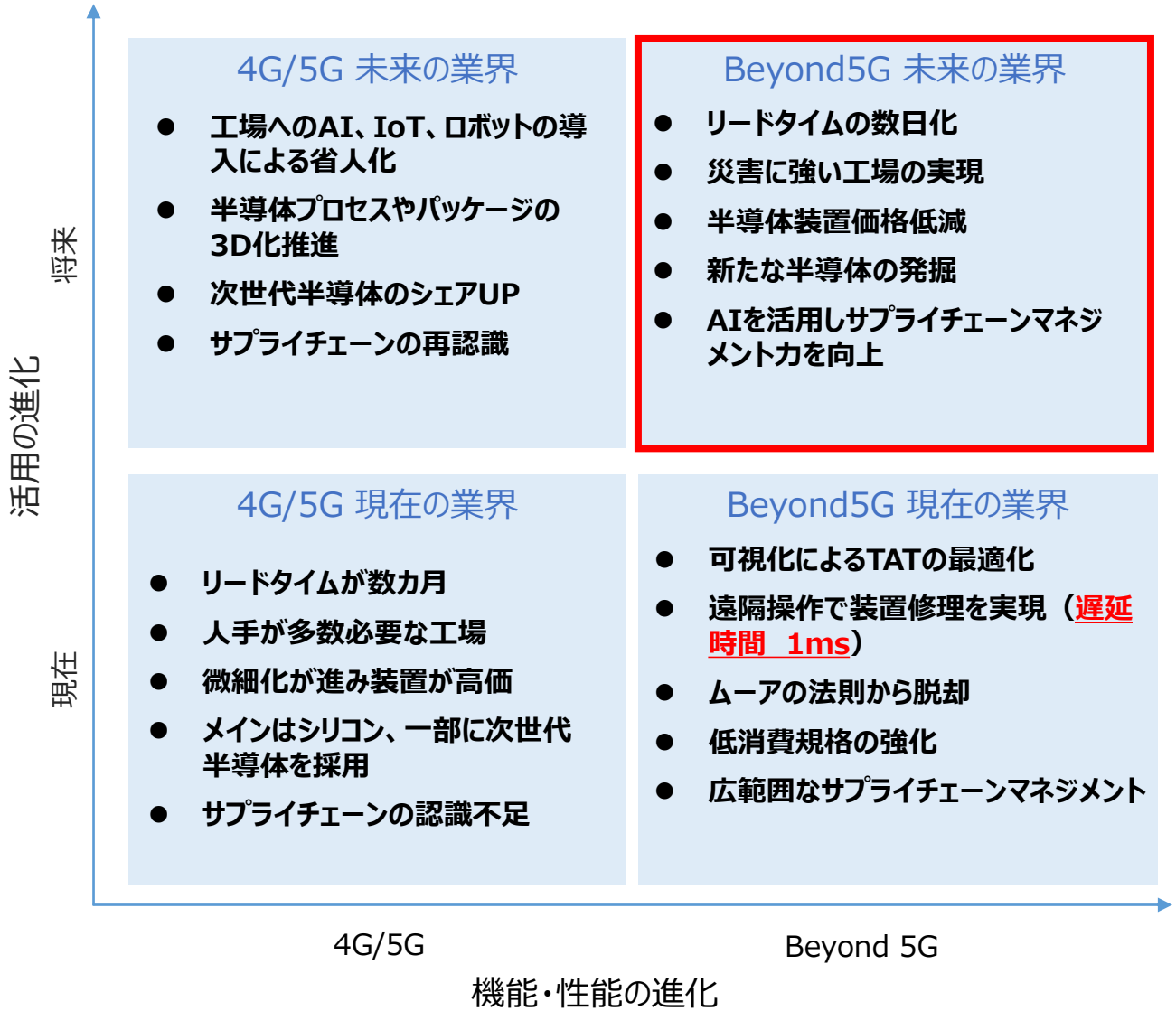
現状分析と課題

- 半導体供給不足への対応
- 災害への対応力強化
- 半導体装置の高騰化
- 消費電力の低減
- サプライチェーンの認識不足

期待する将来像

- リードタイムの短縮
- 工場の省人化、無人化
- 装置価格の低減
- 次世代半導体を活用した損失の低減
- サプライチェーン・マネジメント力の向上

Beyond 5Gで求められるもの



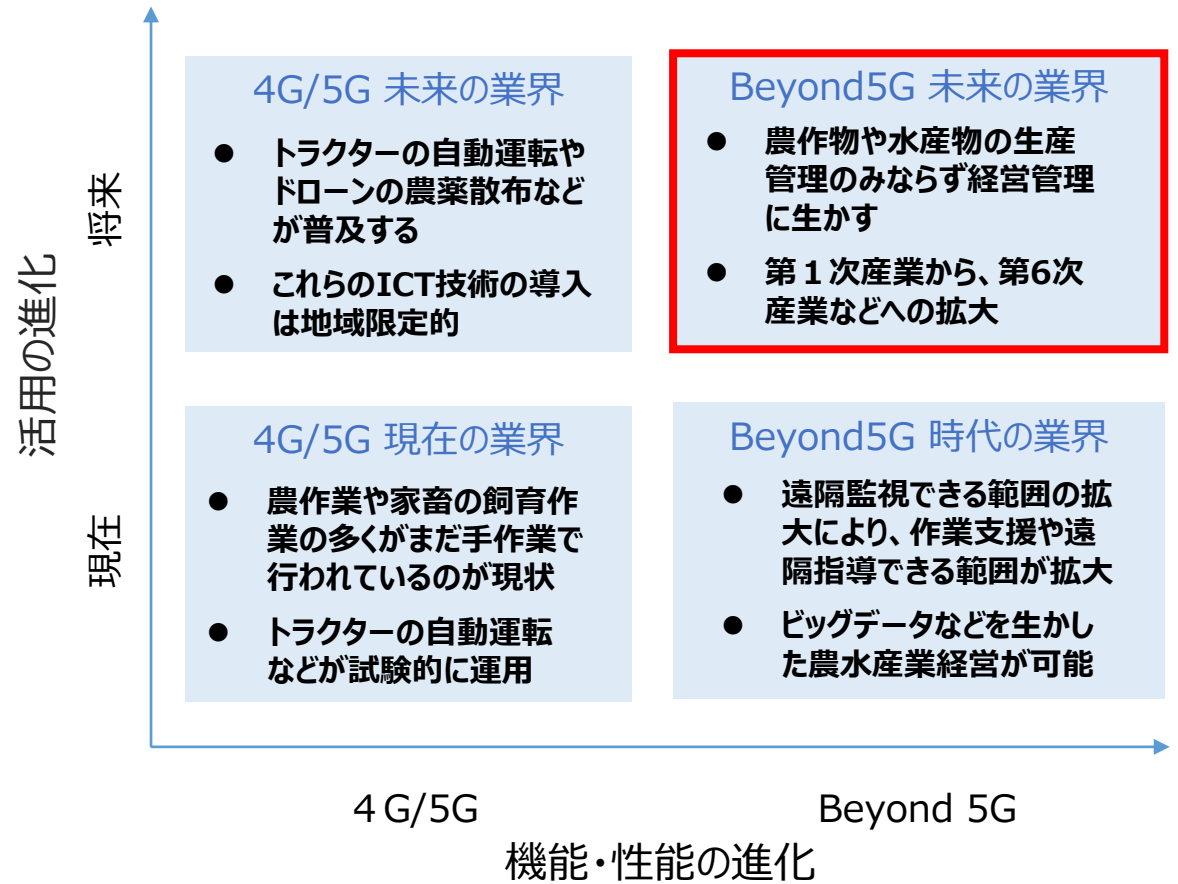
現状分析と課題

- 少子高齢化や人口減少にともなう労働力不足が深刻な課題となる
- 農作業や漁による負担の軽減や農作業や漁自体の省力化も課題となっている
- 経営規模の大小や農村・漁村地域などの条件にかかわらず、生産基盤を強化すること

期待される将来像

- ロボットやAI、IoTなどの最先端技術をBeyond 5Gと組み合わせることによって、遠隔モニタリング、農作業・漁業の自動化、農作物の生産性向上など、「スマート農業／水産業」の高度化が進む
- トラクター、耕機、田植え機などの、サイバー空間からの遠隔操作や自動運転
- ドローンによる農薬散布、IoT技術による獣害監視、XR技術による農業支援・遠隔指導
- 農作物・水産物の生産・漁獲管理や経営管理

Beyond 5Gで求められるもの



Beyond5Gにおけるスマート農業／水産業の未来像

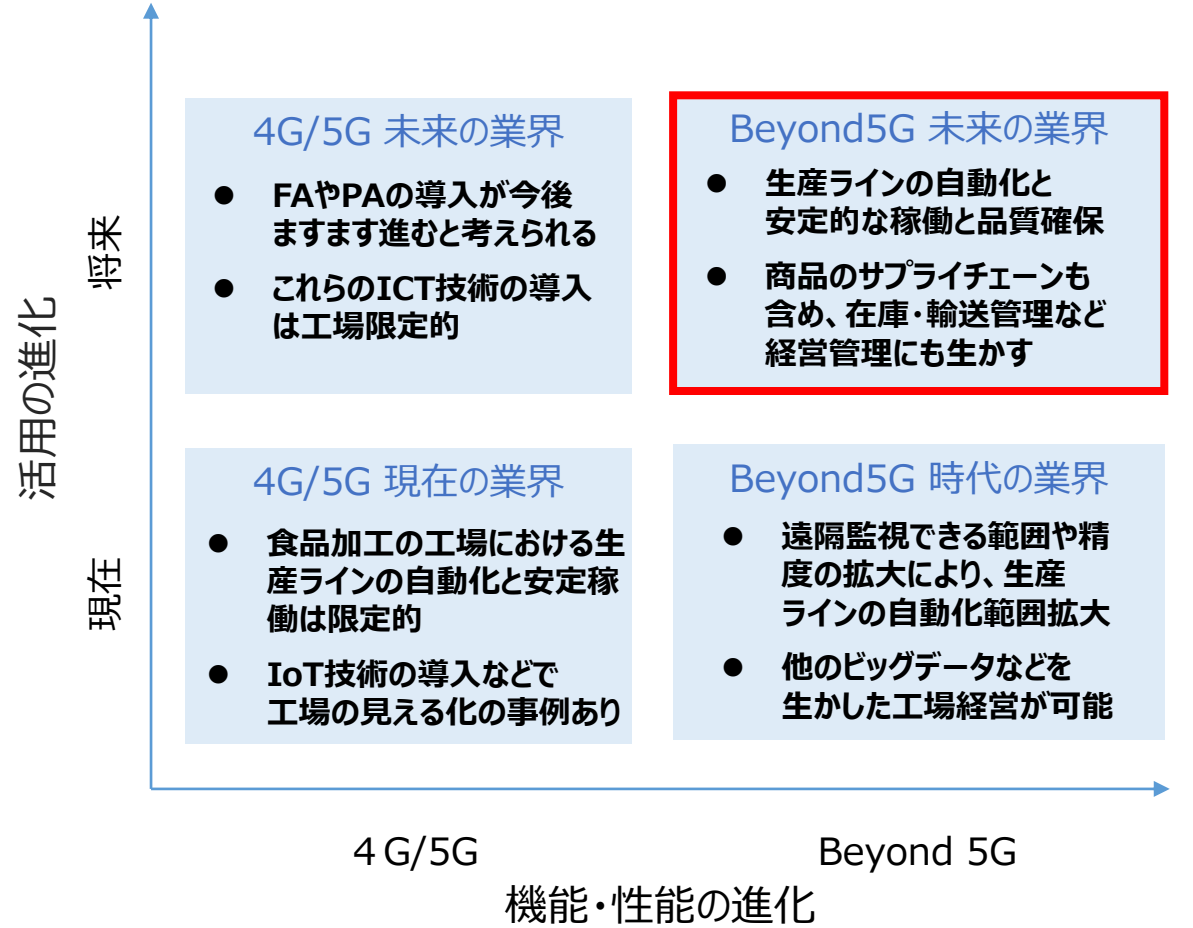
現状分析と課題

- 少子高齢化や人口減少にともなう就業者人口の不足が深刻な課題
- 食品生産の現場では、生産ラインの自動化と安定的な稼働、生産物の品質の確保等が課題
- 食品加工場への材料の安定供給や、生産物の在庫管理、物流管理なども課題

期待される将来像

- ロボットやAI、IoTなどにより工場の自動化と安定的な稼働および生産物の品質確保など、「スマート工場」の高度化が進む
- 工場のBeyond 5Gによるワイヤレス化がステージアップすることにより、映像モニタリングなど生産ラインの安定稼働や生産性向上に寄与
- 生産物である食品の販売店での在庫状況をビッグデータとして把握することにより食品ロスの削減

Beyond 5Gで求められるもの



Beyond5Gにおける食品加工産業の未来像

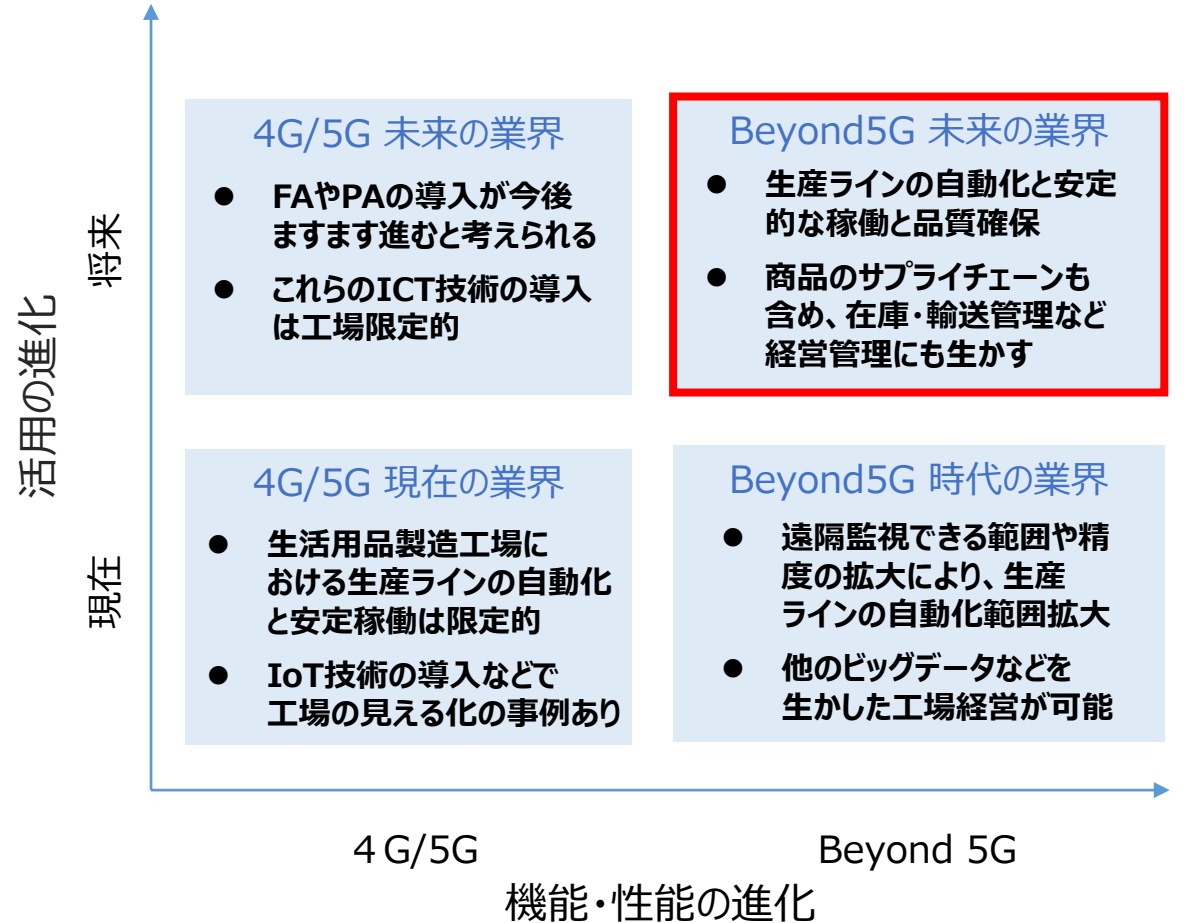
現状分析と課題

- 少子高齢化や人口減少にともなう就業者人口の不足が深刻な課題
- 製品の生産現場では、生産ラインの自動化と安定的な稼働、生産物の品質の確保等が課題
- 製品工場への原材料の安定供給や、生産物の在庫管理、物流管理なども課題

期待される将来像

- ロボットやAI、IoTなどにより工場の自動化と安定的な稼働および生産物の品質確保など、「スマート工場」の高度化が進む
- 工場のBeyond 5Gによるワイヤレス化がステージアップすることにより、映像モニタリングなど生産ラインの安定稼働や生産性向上に寄与
- 生産物である製品の原材料や小売店での在庫状況をビッグデータとして把握し経営管理に活用

Beyond 5Gで求められるもの



生活・文化用品製造業の未来像

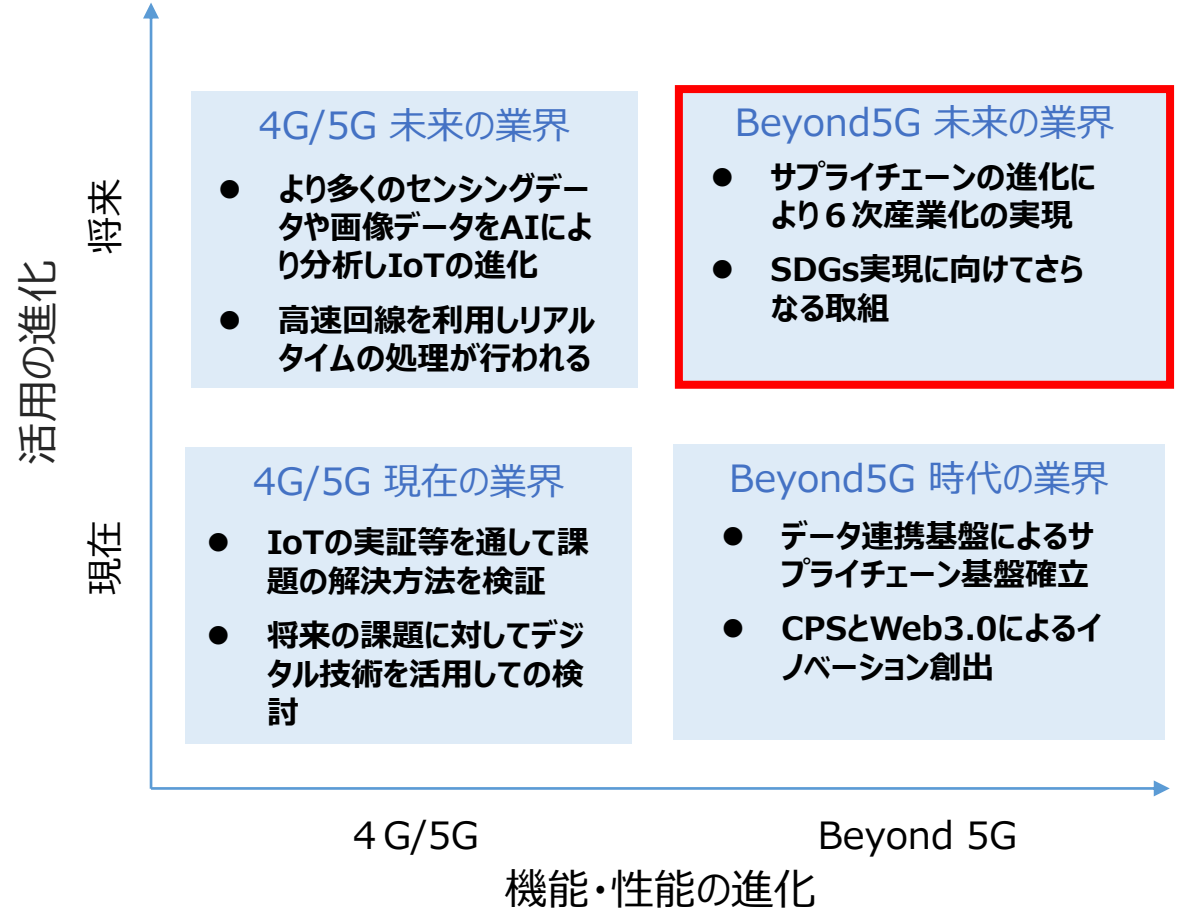
現状分析と課題

- 人口減少に伴う国内市場の縮小、生産者等の人材確保難やESGの取り組み、災害時等の持続的供給等多くの課題が混在している。
- 物流業の労働力不足とドライバーの高齢化。
- 新型コロナウイルス感染症による購買行動の変化による好影響・悪影響の両面が存在。

期待される将来像

- ロボット、AI人工知能、IoT等の先端技術を活用した産業のイノベーションの創出。
- 農林漁業（1次）、製造業（2次）、小売業（3次）等の総合的かつ一体的な推進を図り新たな付加価値を生み出す6次産業化。
- 物流DX「総合物流施策大綱」の推進。

Beyond 5Gで求められるもの



現状分析と課題

- 超高齢化社会との共生
 - 社会課題解決先進国として日本から世界への課題解決展開に期待
- 未知の疾患への対応
 - 生活・医療・経済への影響の抑止。迅速な対応、ソリューションに期待
- 医薬品・医療機器開発テクノロジーの発展
 - 世界的に研究開発が加速しており、日本として最高水準の医療技術の実現、牽引を期待

期待する将来像

1. 身体機能の補助及び再現



出典：厚生労働省ホームページ

加齢により衰えた身体機能を補助及び再現

2. 未知の感染症への速やかな対応



出典：内閣官房長(感染拡大防止特設サイト)

感染症発生時の速やかな対応と早期解決

3. 医療技術開発



出典：AMED (成果情報)

ビックデータの構築及びAIの精度向上等による最先端の医療技術開発

4. 超高齢化社会対応



出典：厚生労働省ホームページ

医療の地域的偏在の解消や医療のシステム化

5. 健康寿命延伸



出典：厚生労働省ホームページ

病気早期発見や手術などの治療によるリスク低減

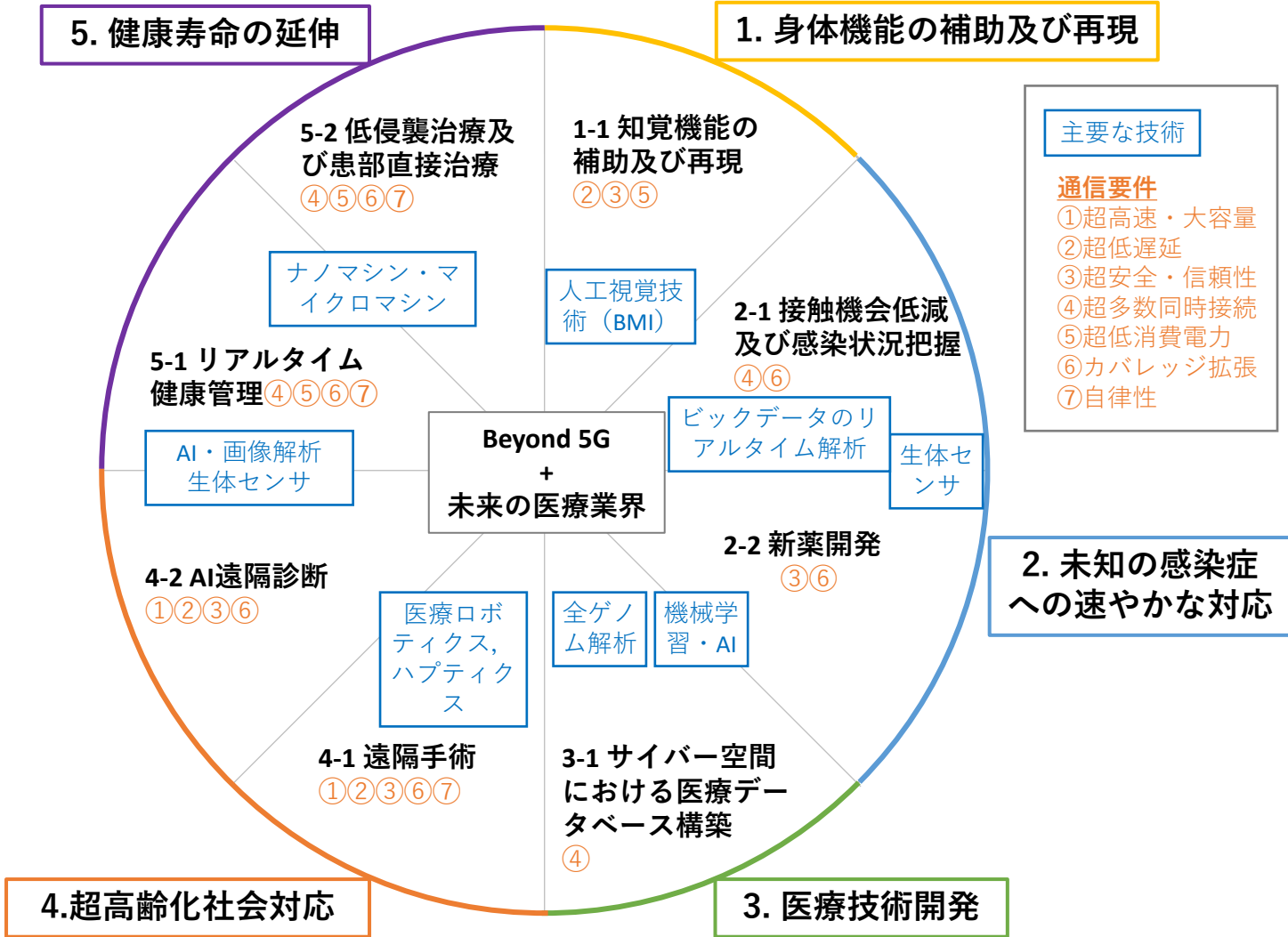
Beyond 5Gで求められるもの

期待されるユースケース

- 1-1 知覚機能の補助及び再現**
人間/能力拡張、ブレインテック
- 2-1 接触機会低減及び感染状況把握**
位置、生体情報のリアルタイム管理、センシング
- 3-1 ゲノム解析のデータベース化**
AI創薬、個別化医療
- 4-1 遠隔手術**
手術支援ロボティクス、AIとの融合
- 5-2 低侵襲治療及び患部直接治療**
ナノマシン・マイクロマシン連携、外部制御/給電

Beyond 5Gに求められる要求条件

- 遠隔施術**
 - ・ **数十Gbps超**の超高速・大容量（高精細映像伝送）
 - ・ **10⁻⁷**の超安全・信頼性（操作情報伝送）
- 低侵襲治療・患部直接治療**
 - ・ **数～数十ミリオン/km²**のデバイスの超多数同時接続（数から数十個のデバイスを注入かつ電車内密度）
 - ・ ゼロタッチで機器が自律的に連携（デバイス連携）



期待する将来像と実現を支える医療技術、通信技術要件

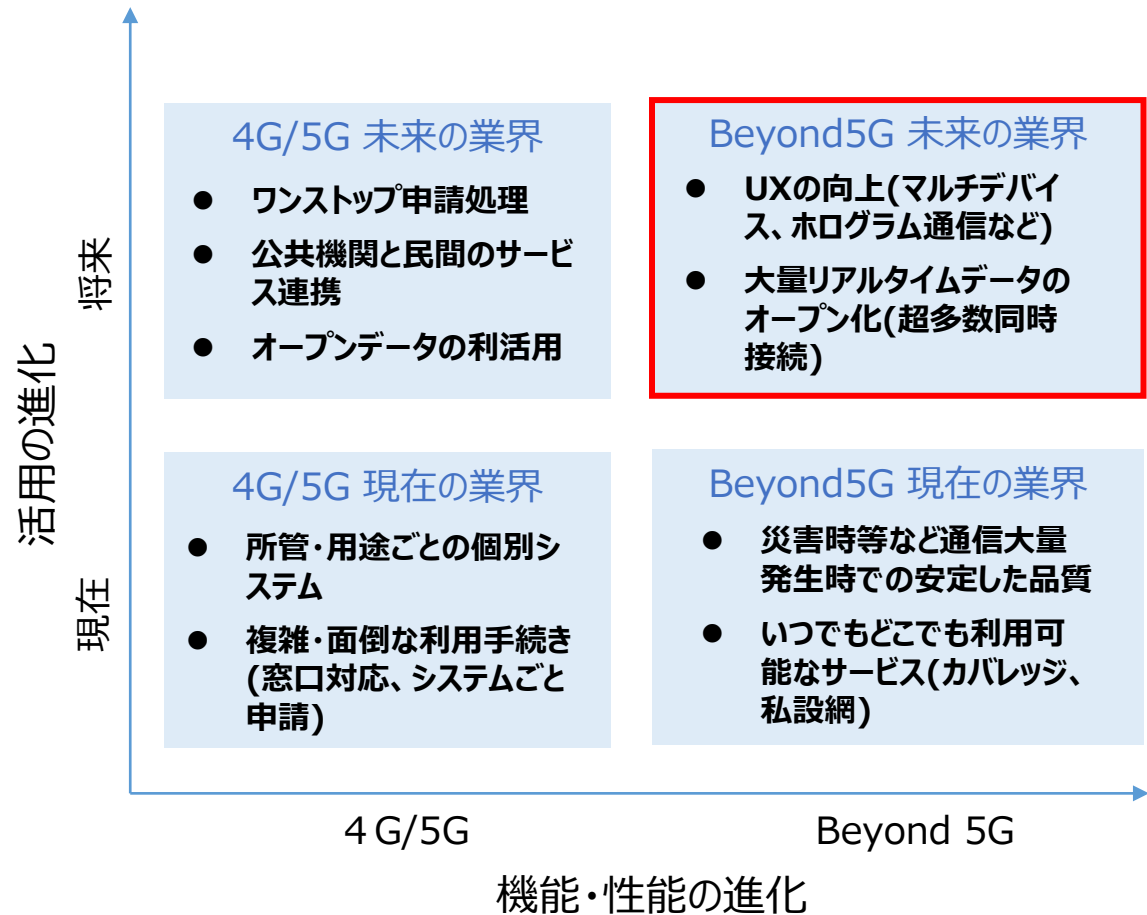
現状分析と課題

- 所管や用途毎に個別に構築されている行政システム(システム連携が困難)
- デジタル化を阻害する規制・慣行(印鑑等)
- 複雑・面倒な利用手続き(システムごとの申請や行政窓口での処理)

期待する将来像

- 統合された行政システム
 - ✓ イベント(出生、婚姻、引越など)に応じた、所管に跨る業務のワンストップ処理
- 利用者にやさしいUX
 - ✓ いつでもどこでもだれでも手続き可能な行政サービス(デジタルデバイドの解消)
- 公共機関と民間とのサービス連携
- 行政がもつオープンデータの利活用

Beyond 5Gで求められるもの



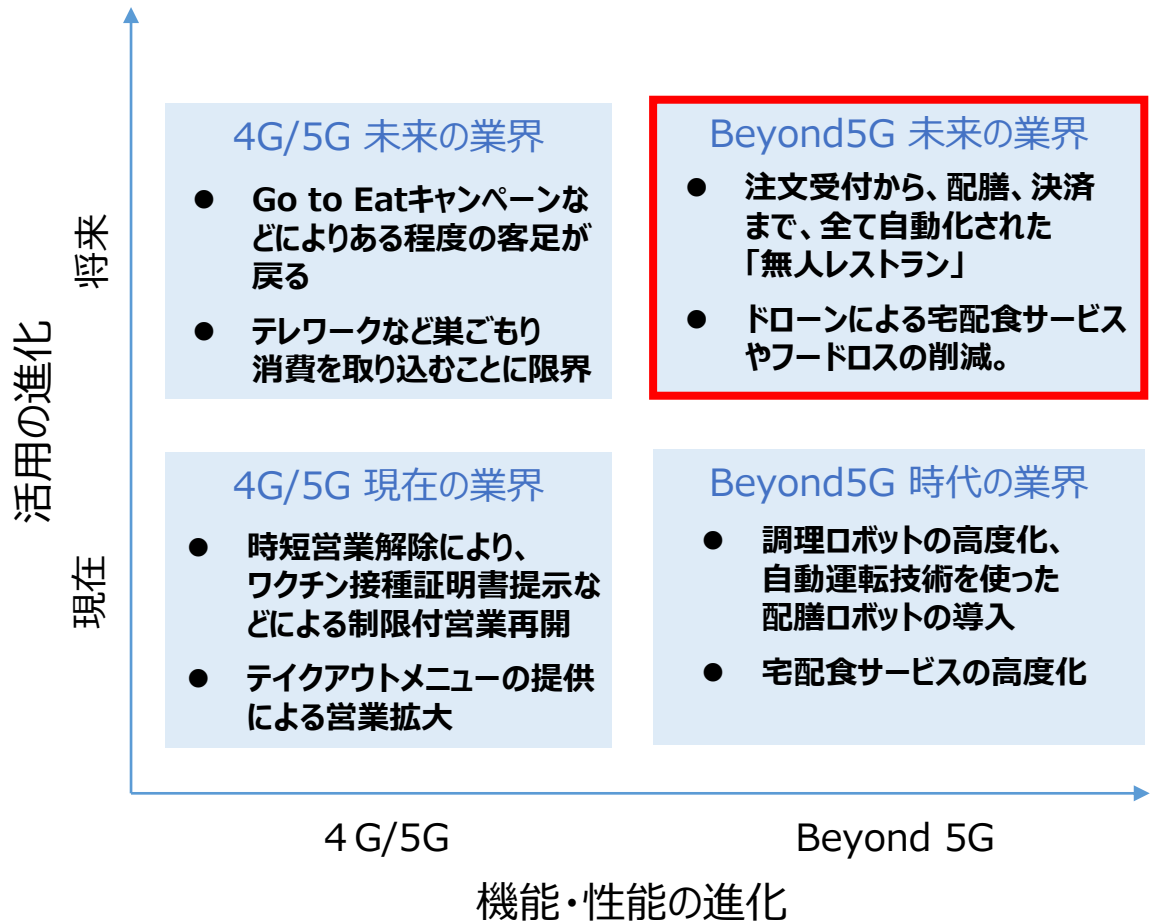
現状分析と課題

- 度重なる緊急事態宣言の発令などにより、時短営業や営業自粛が余儀なくされた
- 昨今の時短営業解除により、ワクチン接種証明書の提示などにより営業再開する店舗が増加
- コロナ禍のために失った客足を取り戻すことが目下のところ最大の課題

期待される将来像

- ワクチン接種証明書や陰性証明書の提示なく、多人数での会食が楽しめる飲食店の復活
- これらの証明書提示の必要性が継続する場合、電子的にスムーズに提示できる仕組の提供
- 調理／配膳ロボット、注文端末の導入やキャッシュレス決済などによる、サービス時間の短縮と人件費コストの削減
- 宅配食サービスと連携した、多様なテイクアウトニーズへの対応や、フードロスの削減

Beyond 5Gで求められるもの



Beyond5Gによる飲食店業界の未来像

現状分析と課題

- Covid-19の影響により、バーチャル空間上でエンターテインメントを楽しむ機会が増加
- 若年層を中心にソーシャルとの融合により、エンターテインメントの多様化が加速
- 通信トラフィック量増大や、双方向インタラクティブのための低遅延化への対応が課題

期待される将来像

- 視覚・聴覚中心の視聴体験から、五感をフルに刺激する究極の没入体験の提供
- エンターテインメントのためのバーチャルとリアルとの融合
- エンターテインメントとソーシャルの融合によるエンターテインメントの無限の進化
- 高品位なコンテンツのクリエイター支援とコンテンツの超個人化
- エンターテインメントサービスのボーダレス化

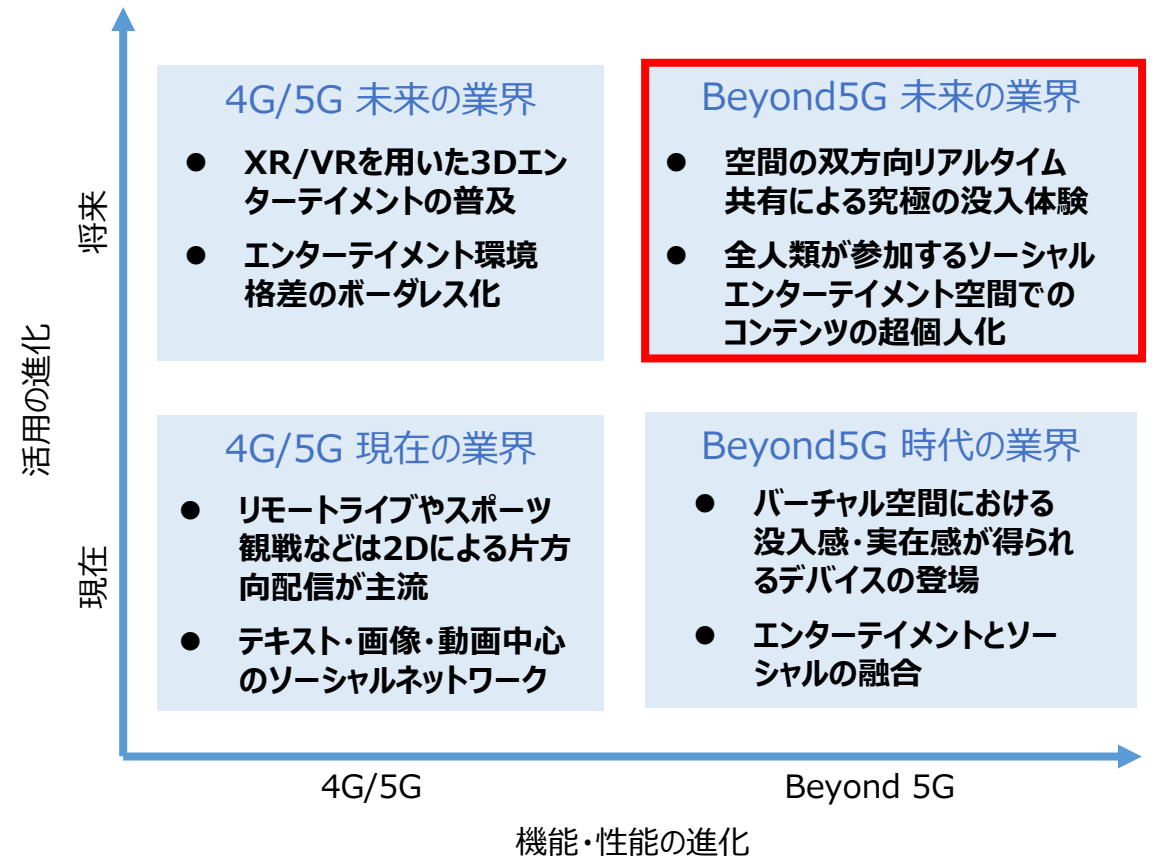
Beyond 5Gで求められるもの

例：Interactive Live Musicユースケース

- 超高速・大容量：**約48-200Gbps** (Raw data)
- 低遅延：MTP*1 **10ms**, TTP*2 **70ms**

*1MTP: Motion To Photon

*2TTP: Time To Present



サービス提供のボーダレス化

全人類がいつでもどこでも

低コスト通信
衛星通信

究極の没入感

五感をフルに刺激

Haptic touch
Volumetric

エンタメ環境
の格差
視覚・聴覚

実世界をバーチャル空間上に
にシームレスに反映

誰でも気軽に
クリエイター

AI
ハードルの高い
コンテンツ制作

現状

非シームレス
リアルタイム
インタラクション

コンテンツクリエイター支援

バーチャル
プロダクション

ゲーム内
コミュニティ

空間キャプチャ

バーチャルとリアルの融合

実世界上に
バーチャル空間を重畳

超低遅延通信

Volumetric

ソーシャルエンターテイメント空間

エンターテイメントとソーシャルの融合

宇宙から地球の生活を守るため、宇宙利用による課題解決への貢献が求められ、更にその技術開発の延長線上にある生活圏・活動領域を宇宙へ拡大する取組みが求められる。

現状分析

- 宇宙利用は、国や特定業界、研究開発利用が先行し、一般向けは衛星放送等特定分野に留まっている。
- 宇宙利用と宇宙開発技術の活用により、社会課題解決に貢献すべく、新規取組みが求められる。

課題

- 日本の本格的な少子高齢化と人口減少
- 地球温暖化と災害の激甚化
- クリーンエネルギーへのシフト、エネルギー争奪戦
- パンデミックリスク増大と「ニューノーマル」実現
- 多様な生き方を肯定する社会の実現

期待する将来像

1. 生活を守る通信環境の提供

宇宙利用によるスマート通信インフラの活用で地球の生活を守る



出展：スマートシティ官民連携プラットフォームHP

2. データ活用で生活を守る

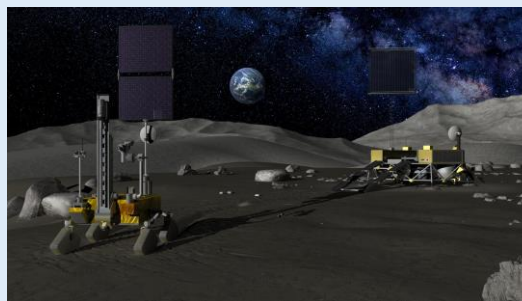
セキュアでレジリエントな環境による宇宙生成データ活用で地球の生活を守る



出展：JAXA観測衛星HP

3. 地上以外の環境活用

地上と異なる「宇宙環境」を活用して人々の活動領域を拡大する



出展：JAXA

4. 宇宙が生活に溶け込む

個々の生活スタイルに宇宙が馴染み、幅広い生き方を実現する



出展：JAXA/Adobe.stock.com

宇宙から地球の生活を守るため、期待する将来像の実現に向けて、Beyond 5Gならではの要求条件として超高速・大容量、カバレッジ拡張、超安全・信頼性、自律性、超低遅延が求められる。

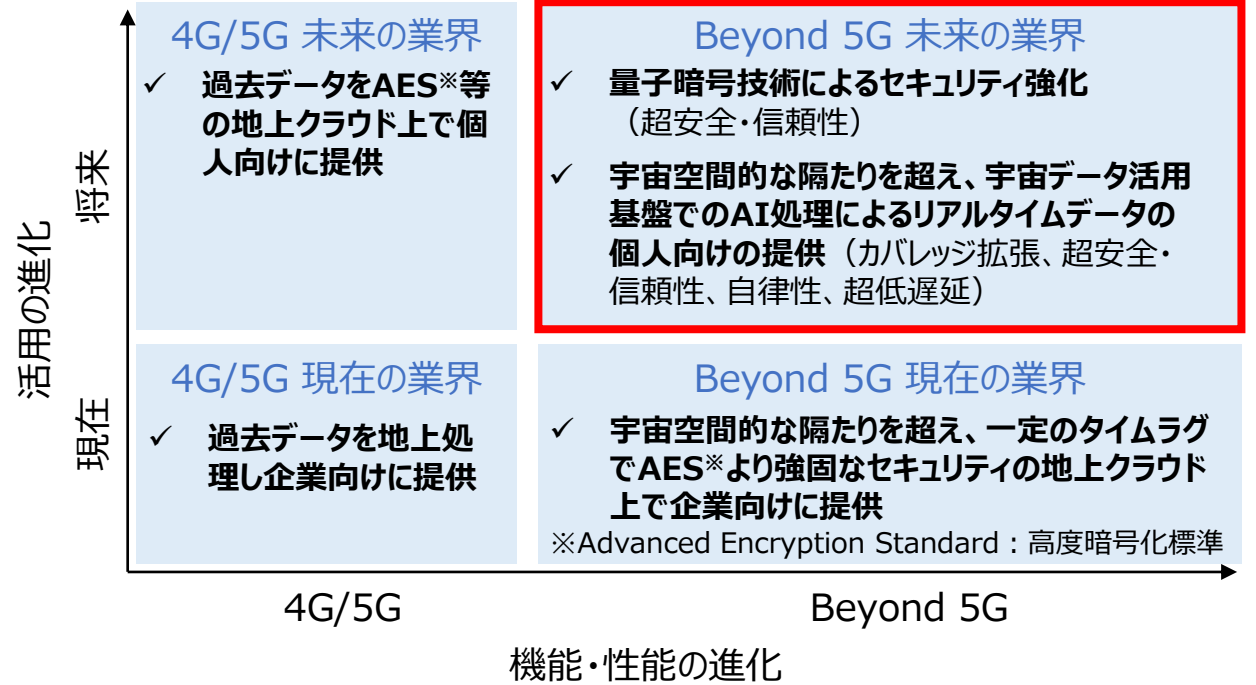
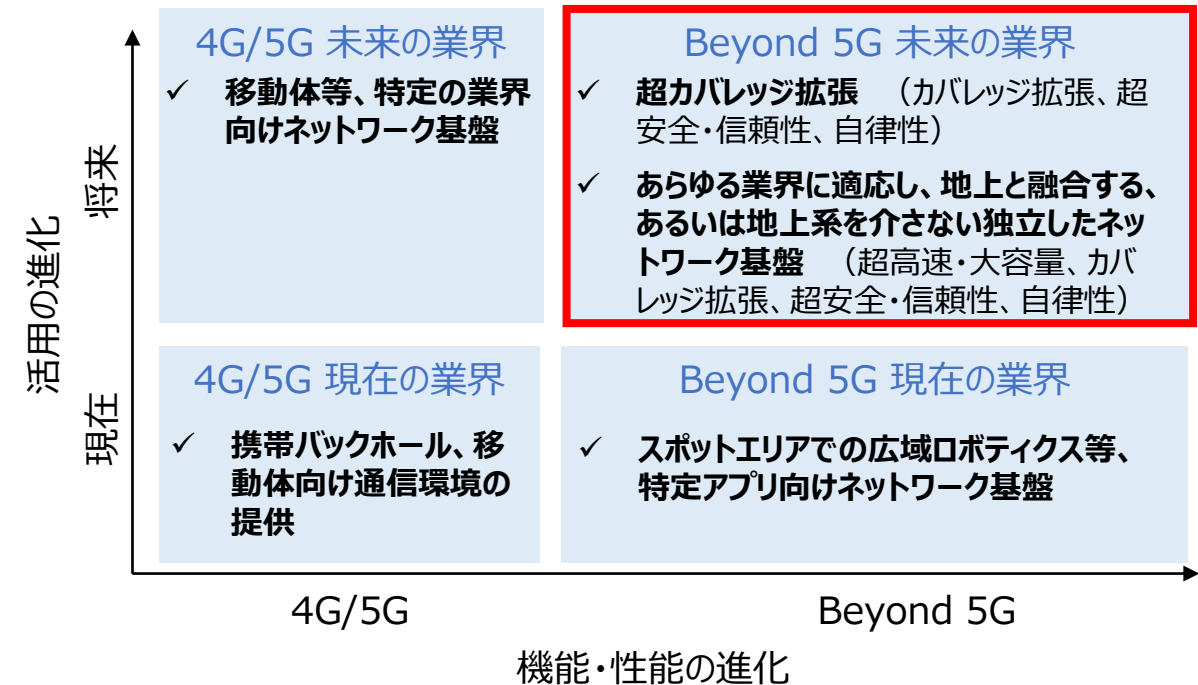
Beyond 5Gで求められるもの

陸海空を網羅する通信基盤

スマートシティや自動運転支援などの通信基盤に宇宙利用によるスマート通信インフラを活用するため、Beyond 5Gの超高速・大容量（低・中軌道衛星で**数10ギガbps**）、カバレッジ拡張、超安全・信頼性、自律性が求められる。

宇宙生成データ等の活用基盤

セキュアでレジリエントな環境による宇宙生成データ※活用のためBeyond 5Gのカバレッジ拡張、超安全・信頼性、自律性、超低遅延が求められる。 ※宇宙で観測し生成されたデータのこと。



人類の活動領域を宇宙へ拡大すると共に、地上での生活に「宇宙」を取り込むため、Beyond 5Gならではの要求条件として超高速・大容量、超安全・信頼性、超低遅延、カバレッジ拡張、超低消費電力が求められる。

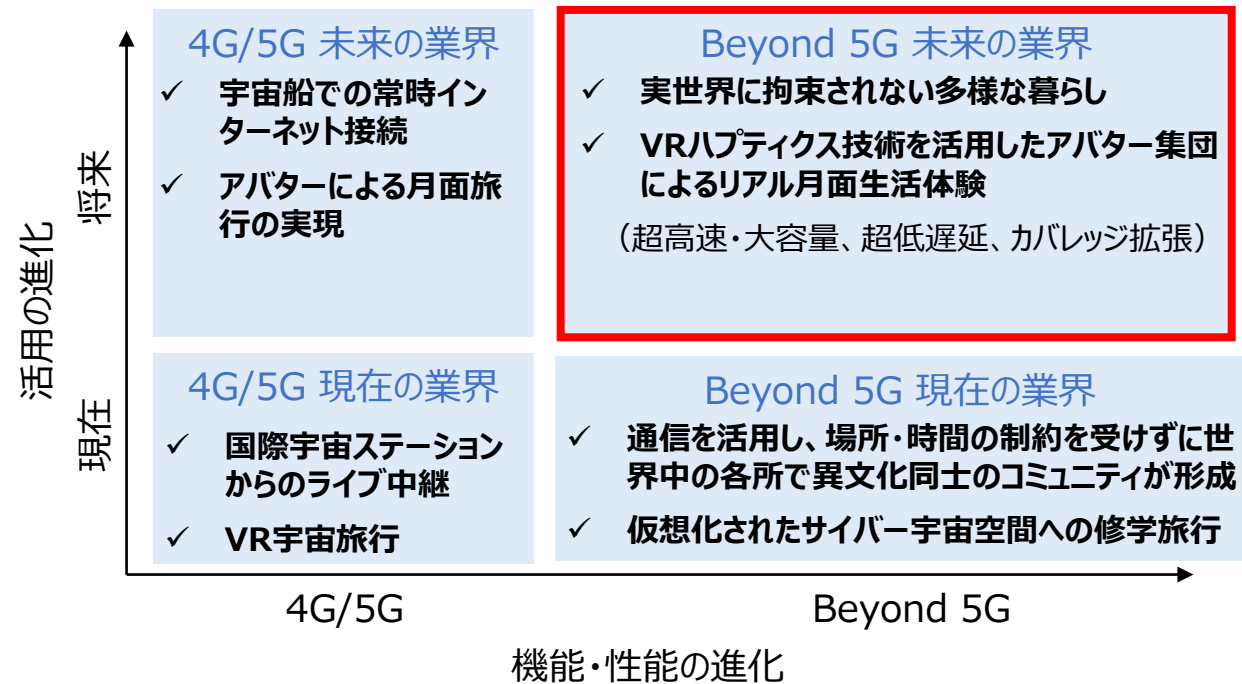
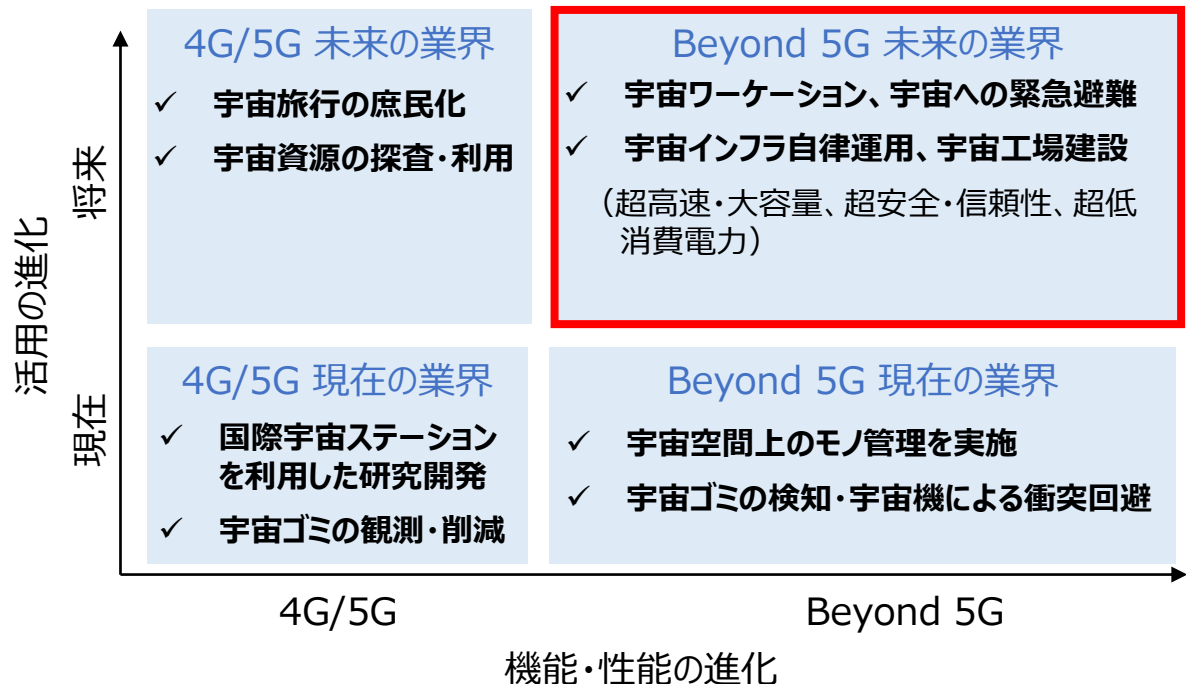
Beyond 5Gで求められるもの

宇宙空間を持続的活動領域とする高速大容量通信

地上と異なる「宇宙環境」を活用し、より暮らしやすい生活を実現すると共に、人類の活動領域を月惑星へと拡大するため、Beyond 5Gの超高速・大容量、超安全・信頼性が求められる。また、搭載リソースが限られるため超低消費電力での運用が期待される。

宇宙・サイバーが生活の一部となる超低遅延通信

国境のない宇宙をサイバー空間同然に扱い、文化的／宗教的価値感の異なる人同士が集える多様なためBeyond 5Gの超高速・大容量、超低遅延、カバレッジ拡張が求められる。



SDGsに掲げられた社会課題の解決に向け、持続可能な超広域カバレッジの提供が求められる

現状分析と課題

- 国内外の企業が成層圏での通信試験を実施中で、HAPSを将来普及させるためには制度的な課題を解決していく必要あり
 - ✓ 航空関連：成層圏での飛行に関する国際ルール策定、HAPS機体向け共通の審査基準策定
 - ✓ 周波数関連：WRC-23で追加の周波数帯(※1)でのHAPS特定、隣国との電波干渉調整の制度整備

※1 候補帯域：694-960MHz,1710-1885MHz,2500-2690MHz

期待する将来像

① 過疎地域にも効率的なNW

HAPSは高度約20kmから超広域カバレッジを提供し、ユーザの既存端末にダイレクトに接続可能



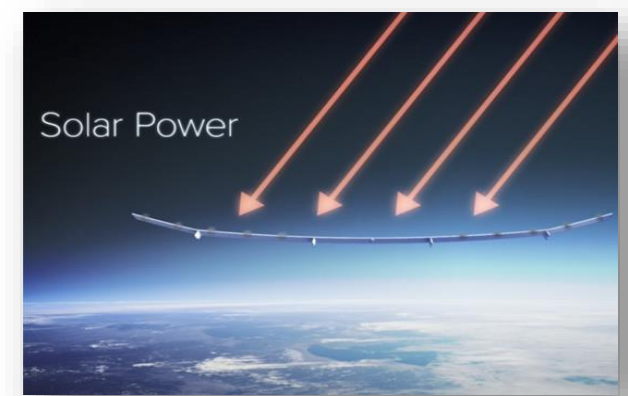
② 自然災害に強いNW

HAPSは天候に左右されず、自由に移動でき、台風や津波などの自然災害時にも強靱なNWの提供が可能



③ カーボンニュートラルなNW

HAPSは運用時に太陽光や水素などをエネルギーとしたCO2排出をゼロに抑えたNWの提供が可能



出展：ソフトバンク株式会社

持続可能な超広域カバレッジの提供に向けて、Beyond 5Gならではの能力が求められる

Beyond 5Gで求められるもの

活用例	Capability
<ul style="list-style-type: none"> • 未接続エリアへのカバレッジ拡張 未接続・接続困難エリア（ルーラルエリア等）への効率的なカバレッジ拡張 	<ul style="list-style-type: none"> • 最大水平カバレッジ 基地局 1 つでカバーできる最大のエリア半径（単位：km/基地局） （基地局 1 つで半径数十キロから数百キロ程度）
<ul style="list-style-type: none"> • 災害対策・復旧 自然災害時でも継続して運用（又はすぐに復旧）できる強靱な通信インフラ 	<ul style="list-style-type: none"> • 最大垂直カバレッジ 基地局 1 つでカバーできる最大の高さ（単位：km/基地局） （地上基地局ではカバーできない上空数キロ程度）
<ul style="list-style-type: none"> • 都市型エアモビリティ 空飛ぶクルマ、ドローンなどのエアモビリティ向け3Dカバレッジ 	<ul style="list-style-type: none"> • カーボンニュートラル 運用時に二酸化炭素排出ゼロで提供する能力
<ul style="list-style-type: none"> • IoT センサー、家電、機械、車などIoT向け超広域カバレッジ 	<p>※上記3つの能力に対する要求条件に加え、地上IMTと同じ端末が使えること、およびIMT-2020のeMBBと同等の遅延量におさまることも重要</p>

人口減少や少子高齢化による人口ピラミッド構成の変化に合わせた社会システムの見直し、環境問題に端を発した自然災害による人命や財産を守るための社会基盤が求められる

現状分析

- 人口減少の一途をたどっている
- 総人口に占める65歳以上人口の割合が世界で最も高い
- 気候変動に伴う台風や洪水、地形上の特徴による地震や火山による自然災害が多く発生している

課題

- 労働力不足をいかに補うか
- 長い人生を、いかに有意義に過ごすか
- 自然災害から人命や財産をいかに守るか

期待する将来像

労働力の増強

能力補完技術やリモートワークの進化により労働人口が増え生産性が向上する

交通弱者対策

拡張パーソナルモビリティ&インフラシステムで、一人ひとりが行きたい場所へ行きたい時に行ける

災害回避

個性・場所・状況に応じたパーソナライズされた緊急速報一斉配信

被災時の円滑な情報収集

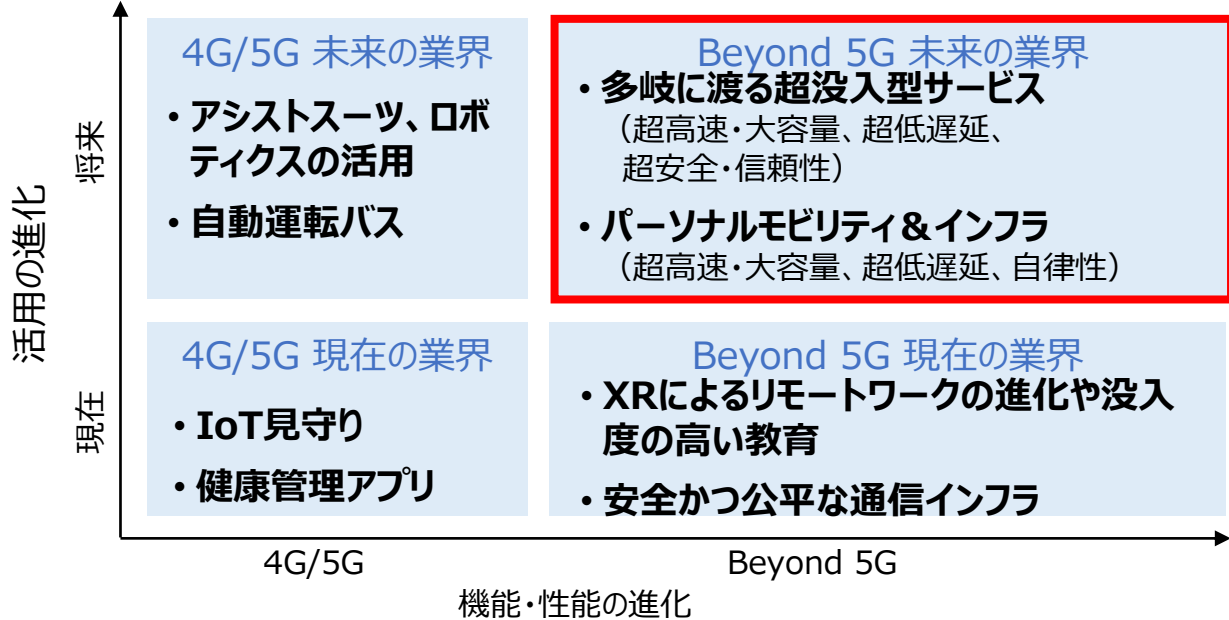
被災時でも電源確保や圏外の心配なく情報のやり取りができる通信システム

期待する将来像の実現に向けて、Beyond 5G ならではの要求条件として超高速・大容量、超低遅延、超安全・信頼性、自律性、カバレッジ拡張が社会課題の解決に求められる

Beyond 5G で求められるもの

労働力増強や交通弱者対策が社会課題解決だけでなく生きがいを創生する

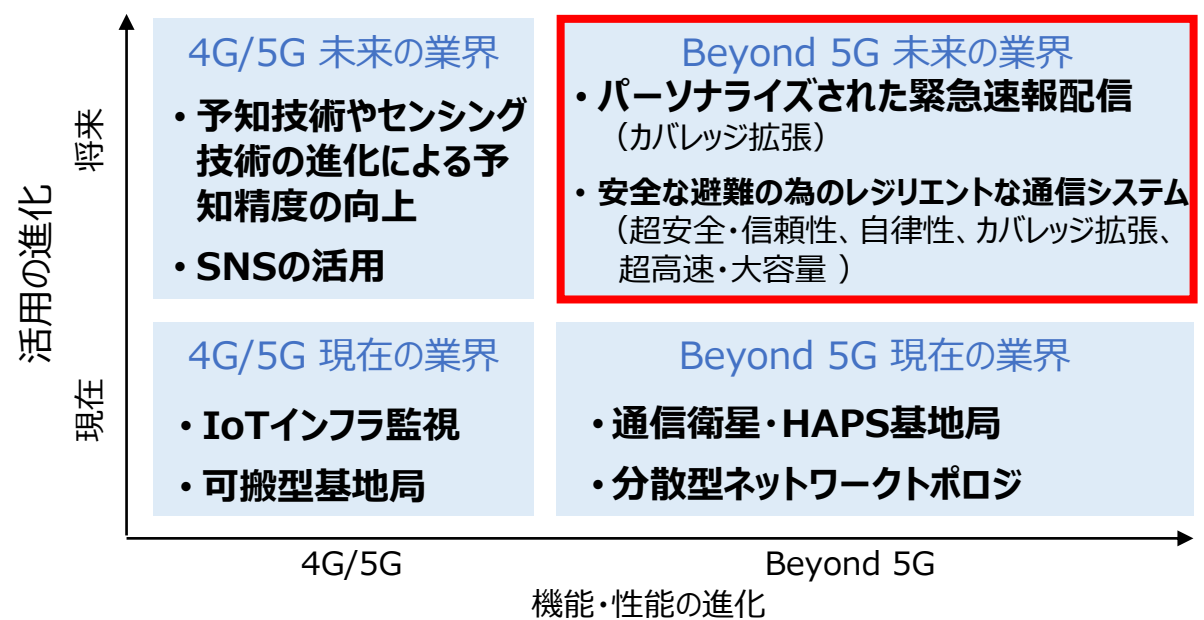
拡張現実技術やロボティクスの組み合わせ、パーソナルモビリティの安全性を担保するための超高速・大容量、超低遅延、超安全・信頼性、自律性が求められる



Beyond 5Gにおける社会課題解決 (人口問題解決)

災害回避や被災時の円滑な情報収集により、被害を軽減し人命や財産を守る

完全にパーソナライズされた緊急速報一斉配信や被災時でも情報をやり取りできるための自律性、カバレッジ拡張、超高速・大容量、超安全・信頼性が必要で、いつでもどこでも10メガbps以上の通信速度が確保できることが求められる



Beyond 5Gにおける社会課題解決 (自然災害対策)

Beyond 5G ホワイトペーパー3.0版 ～2030年代へのメッセージ～ 【Beyond 5Gの技術】

Beyond 5G推進コンソーシアム
白書分科会技術作業班／周波数作業班

2024年3月7日



<https://b5g.jp/output/>

1. はじめに
2. トラヒックトレンド
3. 通信業界のマーケットトレンド
4. 他業界から得られたトレンド
5. Beyond 5Gで求められるCapabilityとKPI
 - 5.1 Beyond 5Gで求められるCapability
 - 5.2 Beyond 5Gを象徴する図と利用シナリオ
 - 5.3 目標KPI
- 6. 技術トレンド**
 - 6.1 Beyond 5G に向けた技術トレンド
 - 6.2 Beyond 5Gアーキテクチャ
 - 6.3 周波数資源の利活用技術
 - 6.4 システムプラットフォームとアプリケーション
 - 6.5 トラスト確保技術 (セキュリティ, プライバシ, レジリエンス(耐性))
 - 6.6 ネットワークエネルギー効率の向上
 - 6.7 非地上系ネットワーク (NTN) によるネットワークカバレッジ拡張
 - 6.8 無線通信技術と光通信技術

7. おわりに

略語集

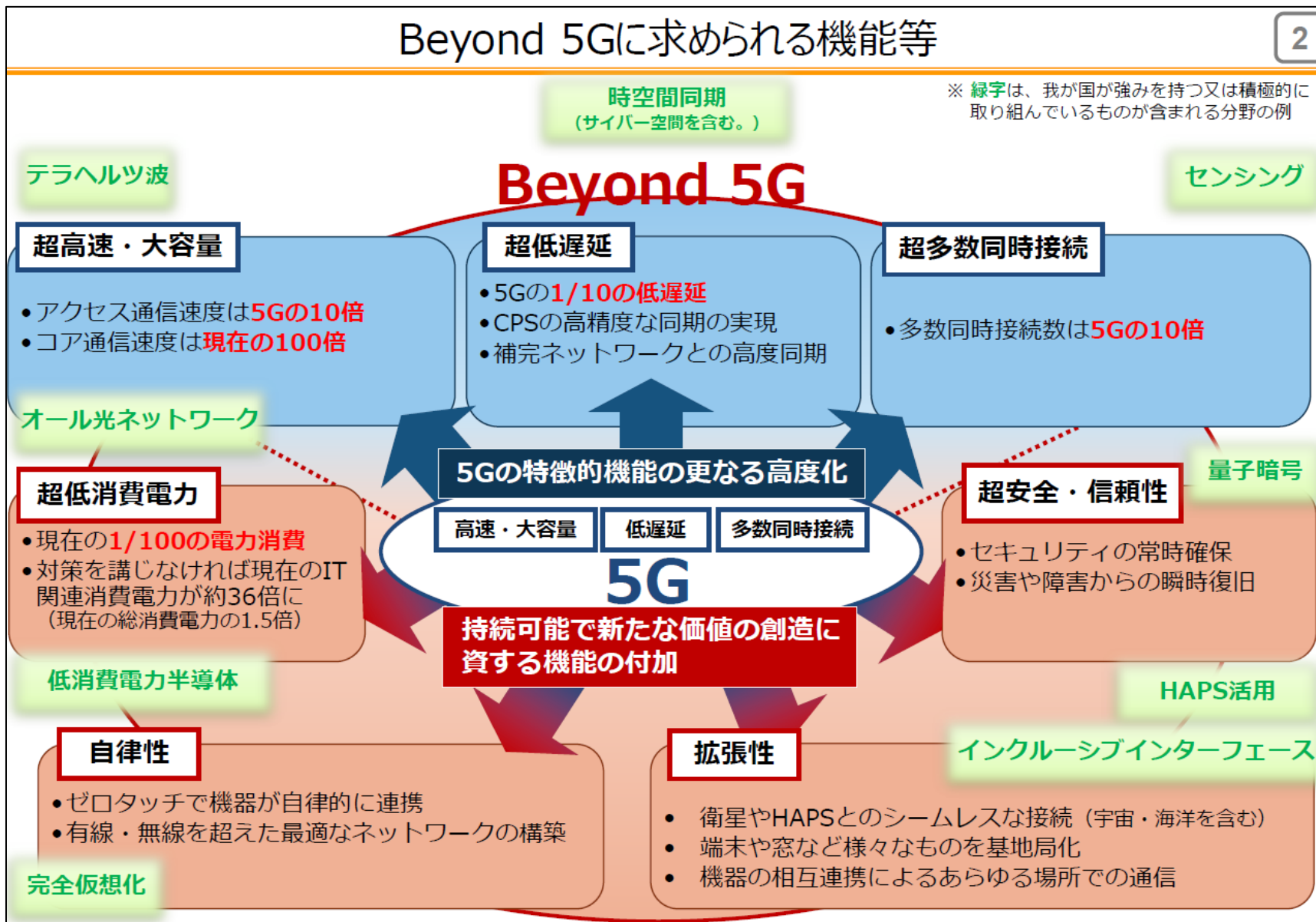
5. Beyond 5Gで求められる CapabilityとKPI

5. Beyond 5Gで求められるCapabilityとKPI

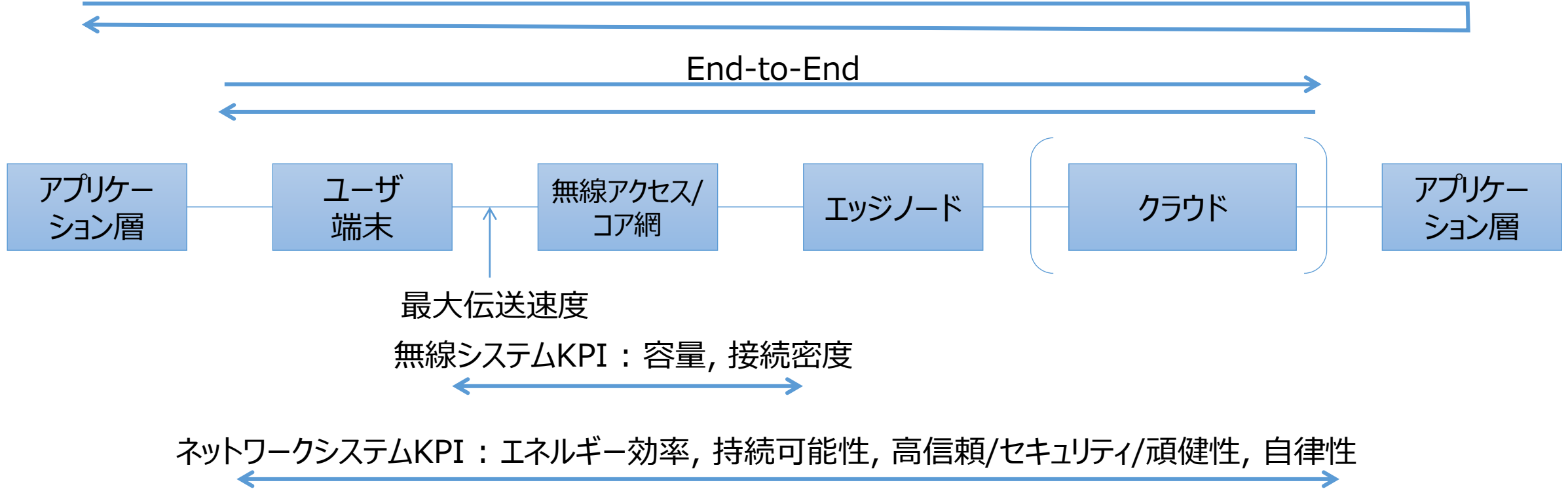
5.1 Beyond 5Gで求められるCapability

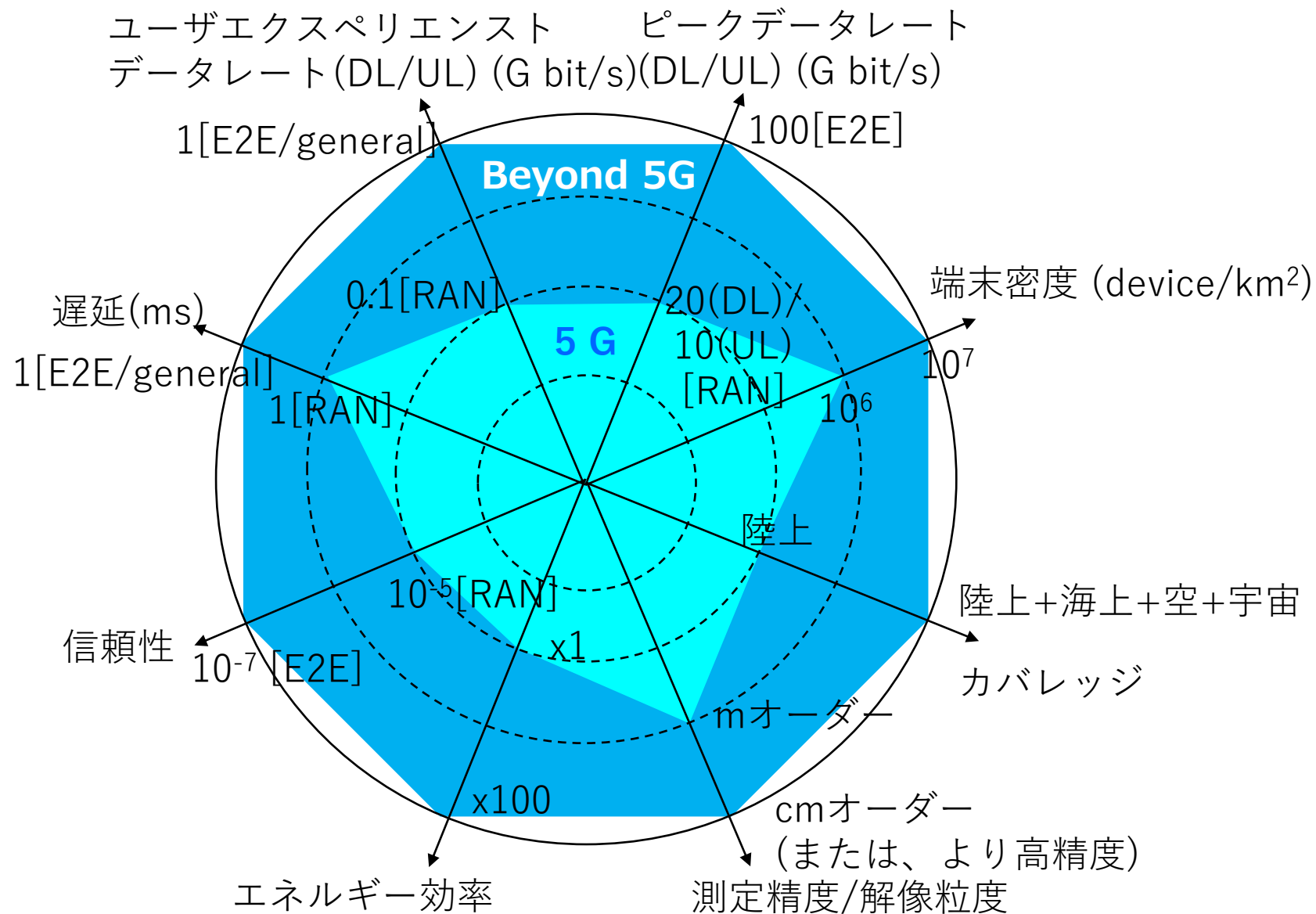
5.2 Beyond 5Gを象徴する図と利用シナリオ

5.3 目標KPI



ユーザ体験KPI (End-to-End): 伝送速度, 遅延/ジッタ, 信頼性, カバレッジ, モビリティ, 位置測位
アプリケーション





持続可能性

- 機器の低環境負荷化(環境対応材料の使用、再利用性向上)
- 機器の長寿命化(ソフトウェア拡張性やハードウェアのモジュール構造化)
- カーボンニュートラル(再生可能電源の利用)

セキュリティ/信頼性 /頑健性

- ピーク帯域を超える暗号処理速度
- 量子暗号・コンピュータを考慮したセキュリティの対応
- 災害や障害からの瞬時復旧・ローミングによる対応

自律性

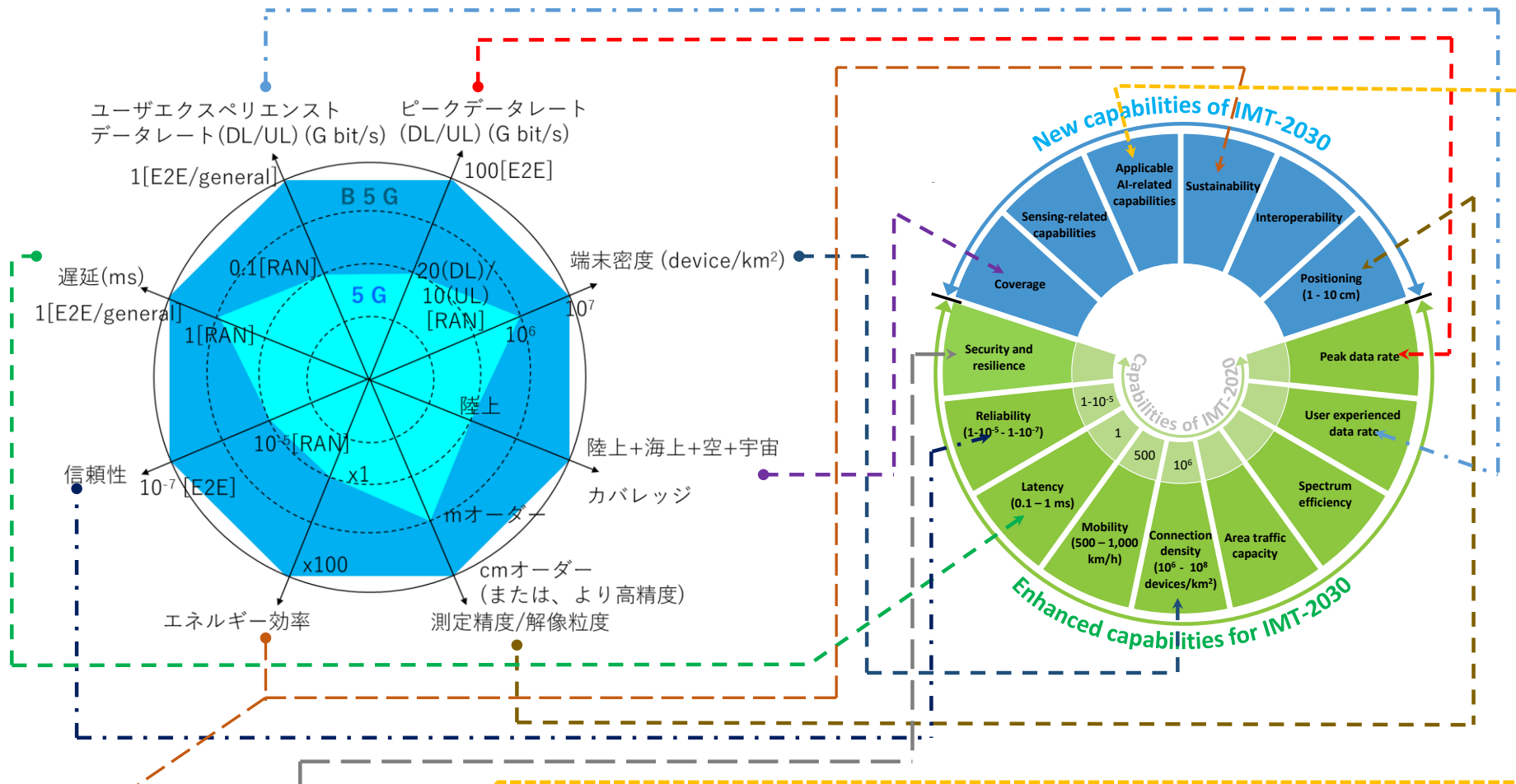
- ゼロタッチで通信機器、計算資源、AI、センサーが自律的に連携し、最適なインフラを構築
- 構築から運用まで全てのワークフローにあたって、AIにより省力性・柔軟性・迅速性を同時に満たす完全自動化の達成

拡張性

- 衛星や HAPS とのシームレスな接続
- ビル内での通信(端末や窓など様々なものを基地局化)
- オープンインターフェース(Network API, application API)
- ネットワークセンシング/無線センシング

KPIについても採用された内容が多いものの、以下の差分あり

- 本白書：End-to-Endでの要件 vs. Framework勧告：無線部分のみ
- 本白書：目標値が一つ vs. Framework勧告：幅を持たせた表現（例：50~200 Gbps）



左図：本ホワイトペーパーの提案、右図：Framework勧告の内容

5G推進コンソーシアム白書2.0版 (5.3.2)		IMT-2030 Framework	
ピークデータレート (DL/UL, E2E)	100Gbps (E2E)	Peak data rate (under ideal condition per device)	Greater than IMT-2020. e.g. 50, 100, 200 Gbps
ユーザエクスペリエンスデータレート (E2E/general)	1Gbps (E2E/general)	User experienced data rate (across the coverage area per device)	Greater than IMT-2020. 300Mbps, 500Mbps possible example
遅延 (msec, E2E/general)	1ms (E2E/general)	Latency (air interface)	0.1 – 1 ms
信頼性 (E2E)	10^{-7} (E2E)	Reliability (air interface)	from $1 \cdot 10^{-5}$ to $1 \cdot 10^{-7}$
測定精度/解像粒度	cmオーダー (または、より高精度)	Positioning	1 – 10 cm
端末密度 (device/km ²)	10^7 devices/km ²	Connection Density	10^6 – 10^8 devices/km ²
カバレッジ	陸上 + 海上 + 空 + 宇宙	Coverage	(具体的な値の記載なし)
エネルギー効率	x100	Energy efficiency (quantifiable metric of sustainability) (bit/Joule)	(具体的な値の記載なし)
(記載なし)	-	Spectrum efficiency	Greater than IMT-2020. e.g. x1.5 and x3
(記載なし)	-	Area traffic capacity	Greater than IMT-2020. e.g. 30 Mbit/s/m ² and 50 Mbit/s/m ²
(記載なし)	-	Mobility	500 – 1 000 km/h
(記載なし)	-	Sensing-related capabilities	(具体的な値の記載なし)

B5G推進コンソーシアム白書2.0版 (5.3.2)		IMT-2030 Framework	
持続可能性	<ul style="list-style-type: none"> 機器の低環境負荷化 機器の長寿命化 カーボンニュートラル 	Sustainability (environmental sustainability)	the ability of both the network and devices to minimize greenhouse gas emissions and other environmental impacts throughout their life cycle
セキュリティ/信頼性/頑健性	<ul style="list-style-type: none"> ピーク帯域を超える暗号処理速度 量子暗号・コンピュータを考慮したセキュリティの対応 災害や障害からの瞬時復旧・ローミングによる対応 	Security and resilience	Security: - preservation of confidentiality, integrity, availability of information - protection of networks, devices and systems against cyberattacks. Resilience: - continue operating correctly during and after a natural or man-made disturbance.
自律性	<ul style="list-style-type: none"> ゼロタッチで通信機器、計算資源、AI、センサーが自律的に連携し、最適なインフラを構築 構築から運用まで全てのワークフローにあたって、AIにより省力性・柔軟性・迅速性を同時に満たす完全自動化の達成 	Applicable AI-related capabilities (the ability to provide certain functionalities throughout IMT-2030 to support AI enabled applications.)	include distributed data processing, distributed learning, AI computing, AI model execution and AI model inference, etc.
拡張性	<ul style="list-style-type: none"> 衛星や HAPS とのシームレスな接続 ビル内での通信 オープンインターフェース ネットワークセンシング/無線センシング 	(記載なし)	-
(記載なし)	-	Interoperability	the radio interface being based on member-inclusivity and transparency, so as to enable functionality(ies) between different entities of the system

End to endで 10^{-7} の高信頼伝送を行う際に必要となる有線伝送路と無線アクセス区間の所要伝送品質の試算例

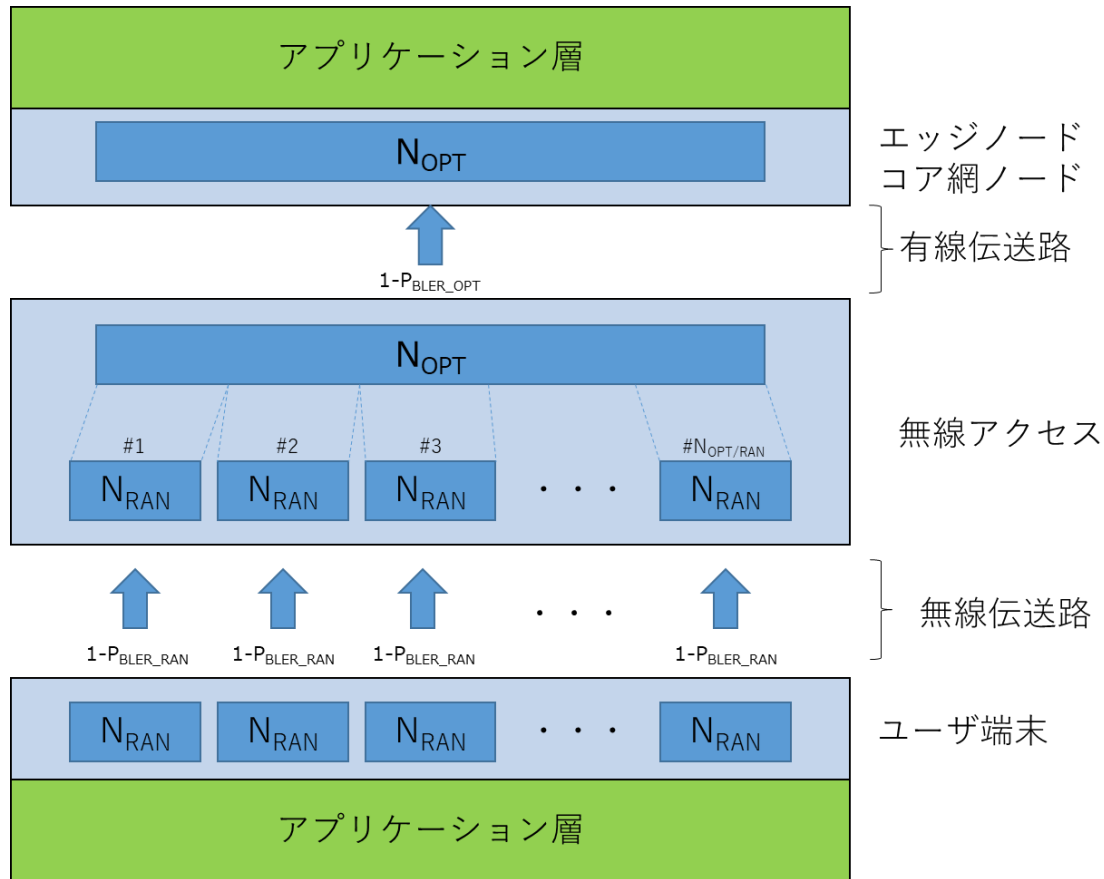


表5.3-1有線・無線区間の伝送品質とエンドツーエンドのケット伝送品質の検討例

N_{RAN}	P_{BLER_RAN}	$1-P_{BLER_RAN}$	$N_{OPT/RAN}$	P_{BLER_OPT}	P_{BLER_OPT}	$1-P_{BLER}$
32	N/A	N/A	46	1×10^{-9}	99.9988%	99.99999%
32	N/A	N/A	46	1×10^{-10}	99.99988%	99.99999%
32	N/A	N/A	46	1×10^{-11}	99.99988%	99.99999%
32	1.9×10^{-9}	99.9999981%	46	1×10^{-12}	99.999988%	99.99999%
32	2.1×10^{-9}	99.9999979%	46	1×10^{-13}	99.999988%	99.99999%
400	N/A	N/A	3	1×10^{-9}	99.9988%	99.99999%
400	N/A	N/A	3	1×10^{-10}	99.9988%	99.99999%
400	N/A	N/A	3	1×10^{-11}	99.99988%	99.99999%
400	2.9×10^{-8}	99.9999971%	3	1×10^{-12}	99.999988%	99.99999%
400	3.3×10^{-8}	99.9999967%	3	1×10^{-13}	99.999988%	99.99999%

6. 技術トレンド

6. 技術トレンド

6.1 Beyond 5Gに向けた技術トレンド

ここまでに取り上げた2030年代に向けた市場の要請や期待に応えるため、また、前章に掲げたターゲットKPI達成に資するためにBeyond 5Gに向けた技術開発のさまざまな取り組みが進められている。6.2節～6.7節でこれらの技術の果たすべき役割やその概要を述べるのに先立って、以下では市場からの要求や市場への展開動向についてGlobal commonsの観点などにも触れながら概観する。

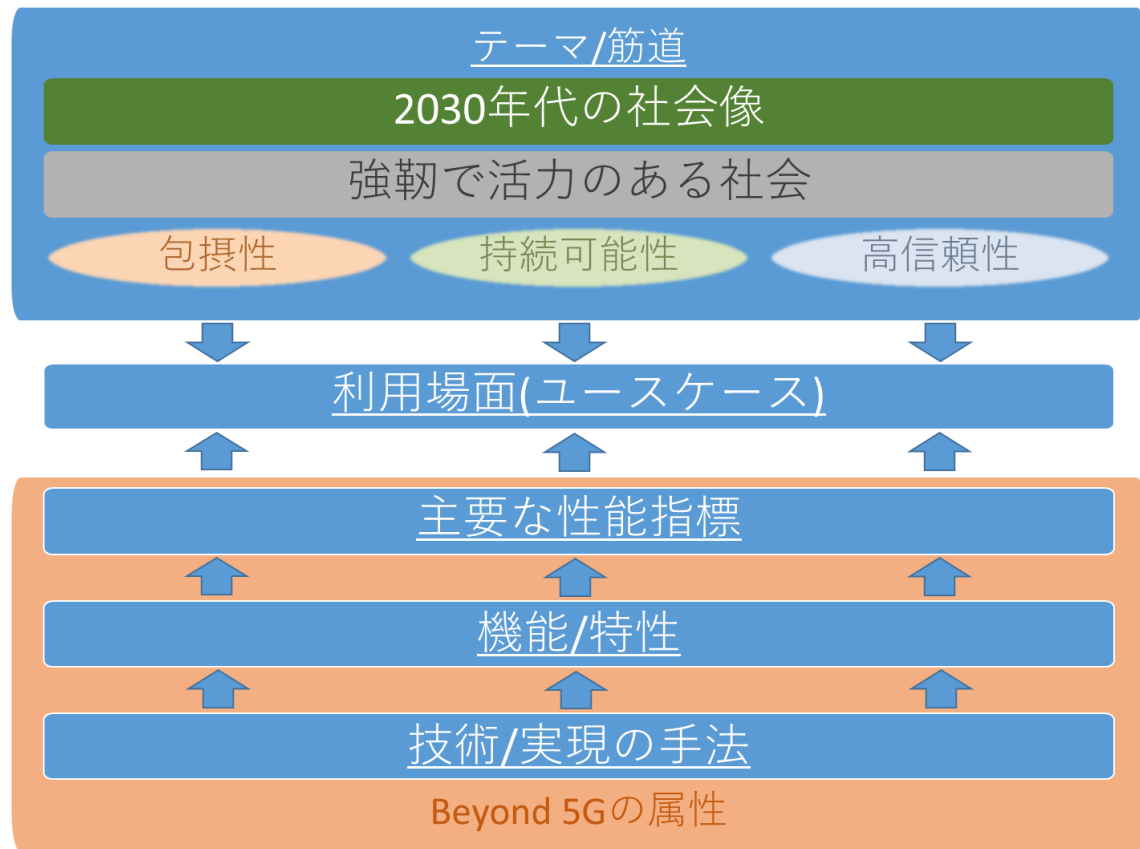
6. 技術トレンド

6.1. Beyond 5G に向けた技術トレンド

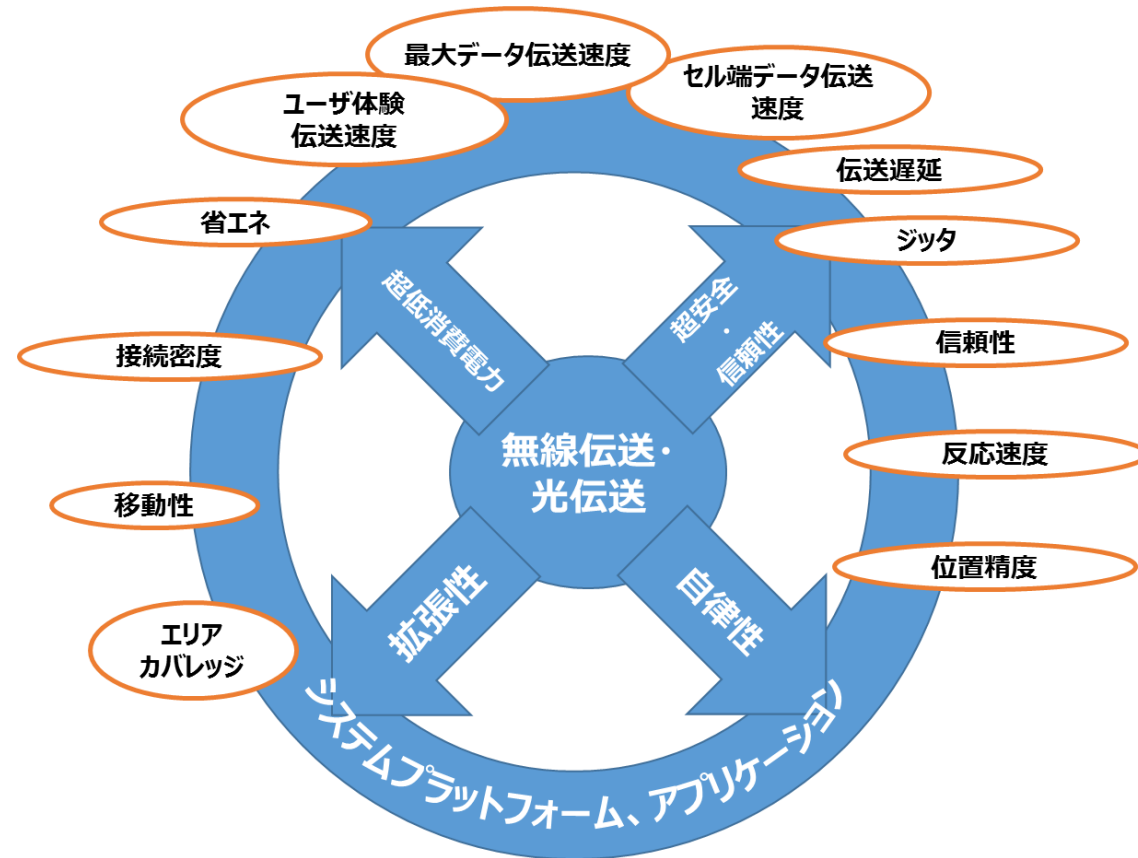
6.1.1. 市場の要請

6.1.2. 主要な技術トレンドの概要

- (1) Beyond 5Gアーキテクチャ
- (2) 周波数資源の利活用技術
- (3) Beyond 5G とAI/ML 技術
- (4) Beyond 5G とセンシング技術
- (5) トラスト確保技術



2030年代社会を支える技術、あるいは実現の手法



Beyond 5Gのユースケースと技術のビジョンの関係(検討例)

6. 技術トレンド

6. 技術トレンド

6.1 Beyond 5Gに向けた技術トレンド

6.2 Beyond 5Gアーキテクチャ

6.3 周波数資源の利活用技術

6.4 システムプラットフォームとアプリケーション

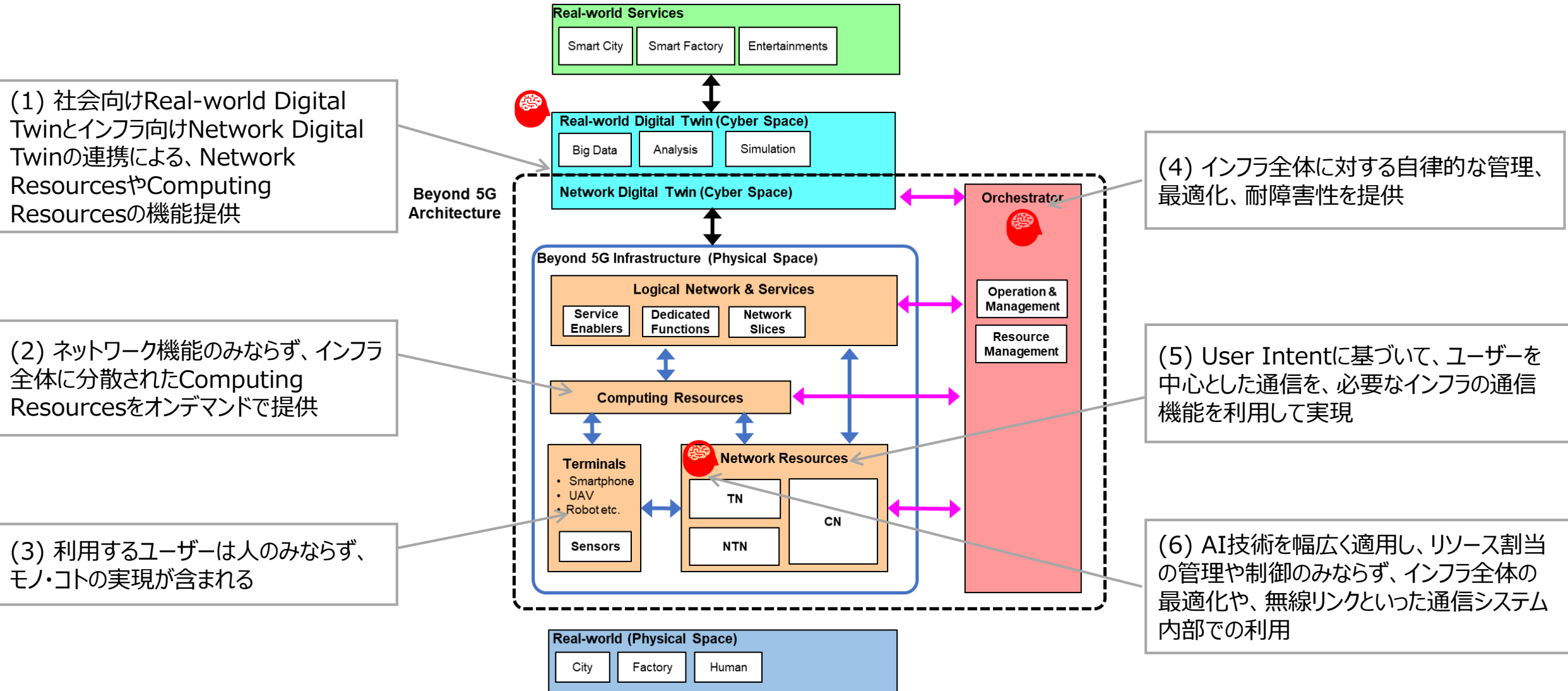
6.5 トラスト確保技術 (セキュリティ, プライバシ, レジリエンス(耐性))

6.6 ネットワークエネルギー効率の向上

6.7 非地上系ネットワーク (NTN) によるネットワークカバレッジ拡張

6.8 無線通信技術と光通信技術

Beyond 5Gアーキテクチャは、Beyond 5G Infrastructure(以降、インフラ)を利用して、効率的な通信やサービスを提供可能



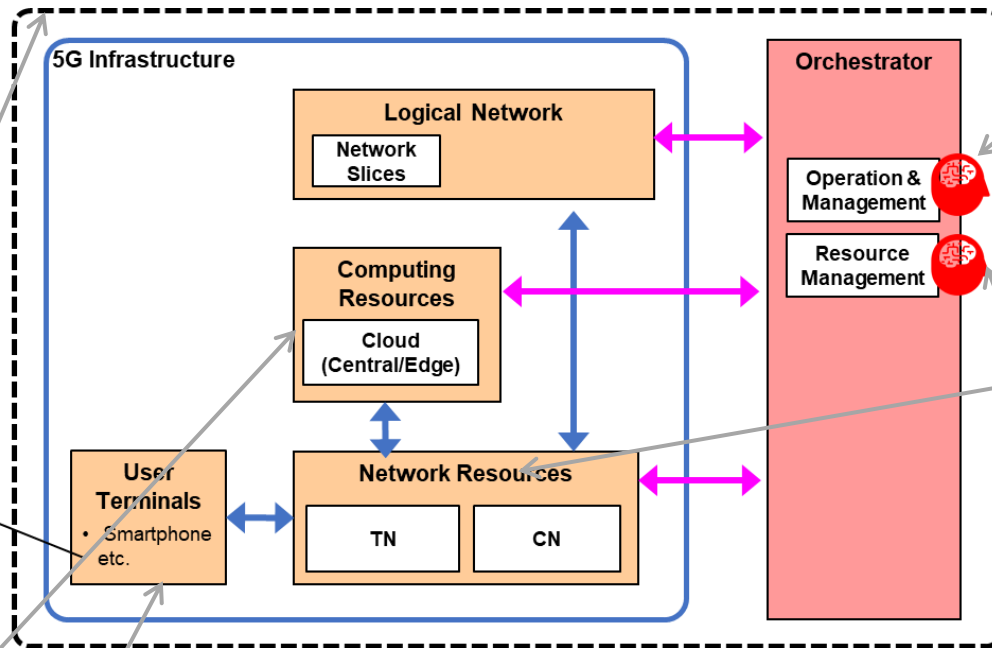
5GとBeyond 5Gの 主な相違点

	5G	Beyond 5G	関連項目
Digital Twin	通信の提供のみ	Digital Twinとの強固な連携	(1)
インフラ制御	個別	インフラ全体で最適化	(2)(4)(6)
ユーザー	人が中心	人・モノ・コトなど様々	(3)
制御の中心	ネットワーク中心	ユーザー中心	(5)

(1) Digital Twinは、Real-world / Network Digital Twinの強固な連携では提供されない
⇒ 5Gは通信のパイプとして利用されているのみで、Beyond 5Gのような密な連携は行われない



(2) Computing ResourcesはCloud (Central / Edge)のみで提供され、ネットワーク機能の提供のみに利用される
⇒ Beyond 5Gのような通信とコンピューティングの融合は行われない



(3) 5Gでのサービスの中心はスマートフォンのように人に対するものであり、IoT端末はユーザー端末の一種として扱われている
⇒ Beyond 5Gでは様々なユーザー(=人・モノ・コト)に端末が溶け込んでいる形になる

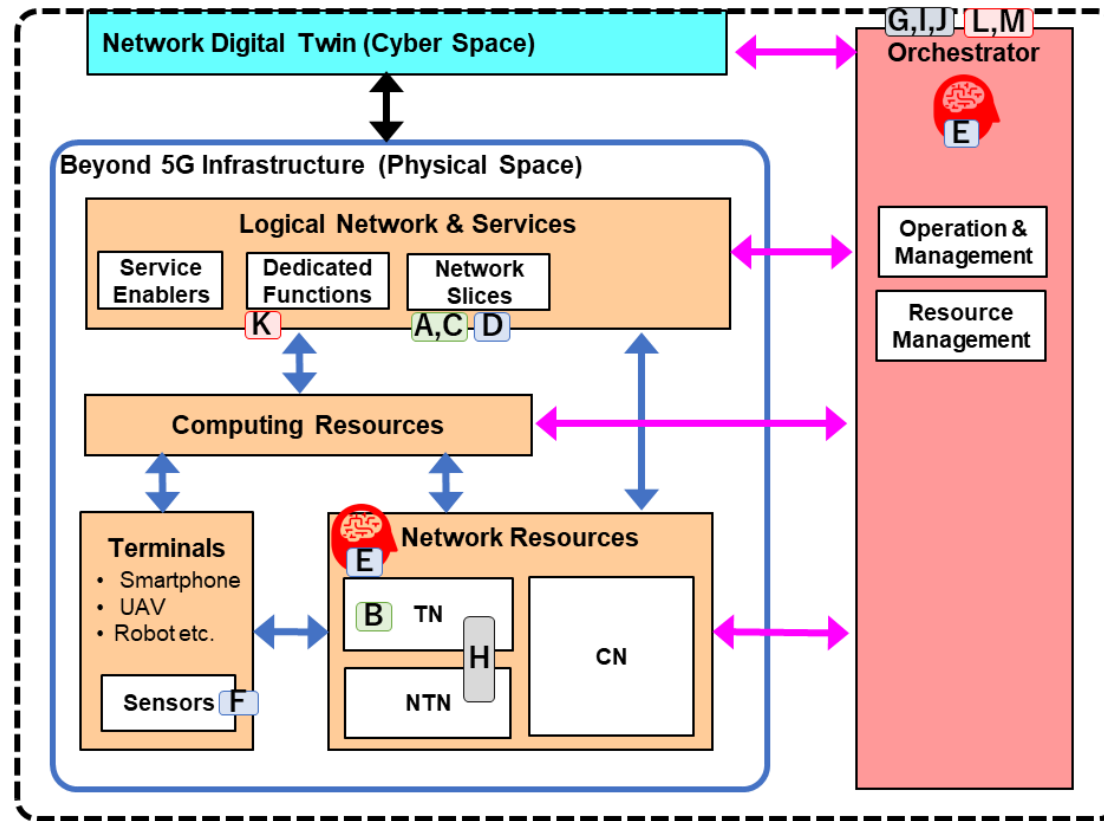
(4) OrchestratorはOperation & ManagementとResource Managementを個別に制御する。インフラ全体の最適化は行われていない。
⇒ Beyond 5GではDigital Twinとも連携して、インフラ全体での最適化を図る

(5) ネットワークは主にTNとCNで提供される。制御はネットワーク側の都合で行われ、ユーザー中心ではない
⇒ Beyond 5Gでは、ユーザーを中心として、アプリケーションにも最適になるように通信を実現する

(6) AIは個別の制御に用いられ、通信システム全体の最適化は行わない。また、通信インフラ内での活用範囲は限られている
⇒ Beyond 5Gでは、通信システム全体の制御や、通信システム内部など、様々な箇所でAIが活用される

- ITU-R Framework勧告 (Rec.M2160-0) におけるIMT-2030のユースケースシナリオとして、本白書のユースケース提案が反映されており (参照：5.2.2)、Beyond 5Gアーキテクチャとのマッピングを行うことで、実現性を把握することが可能となる
- IMT-2030のUsage scenariosとOverarching aspectsについて(下図のAからJで示す)、Beyond 5Gアーキテクチャの主な機能にマッピングでき、全ての内容を実現することが可能となる
- Beyond 5G アーキテクチャのオリジナルの特徴は次のとおりである

- User/Network functions (K)
Dedicated Functionsにより、高リアルタイム性/広帯域性のアプリケーションやAI推論などを多様な性能の端末にオンデマンドに提供
- User Intent (L)
ユーザーの具体的な意図に基づく、ユーザセントリックなネットワークにより、人、モノ、コトに対する通信機能を提供
- Autonomy (M)
高度なインフラを少ない手順で実現するため、AI活用を含めた自動化を実現



Implementation of IMT-2030

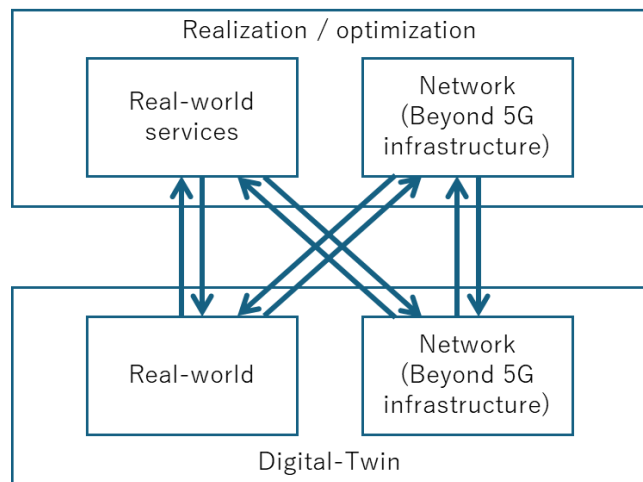
- [6 Usage scenarios]**
Extension for IMT-2020
 A) Immersive Communication
 B) Massive Communication
 C) HRLLC (Hyper Reliable & Low-latency Communication)
New
 D) Ubiquitous Connectivity
 E) AI and Communication
 F) Integrated Sensing and Communication

- [4 Overarching Aspects]**
 G) Sustainability
 H) Connecting the unconnected
 I) Ubiquitous Intelligence
 J) Security/Resilience

- Additional of IMT-2030**
 (Original of this architecture)
 K) User/Network function
 L) User Intent
 M) Autonomy

(1) デジタルツインの管理

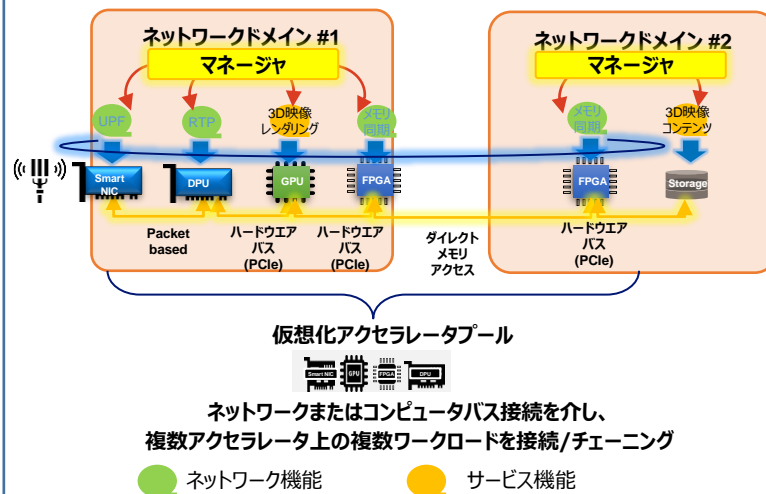
- ネットワークと実世界のデジタルツインを統合的に活用することで、ネットワーク技術の進化と実世界のサービスの進化が融合的に進む
- クロスドメインオーケストレーションにより、大規模広域かつ業界をまたいだサービスが進化



現実空間と Beyond 5G 基盤のデジタルツイン

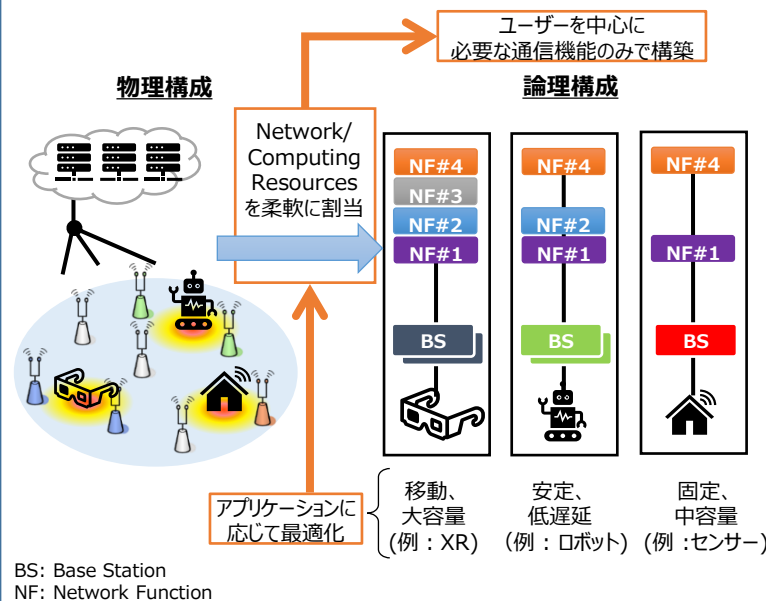
(2) ネットワークコンピューティング融合

- このネットワークアーキテクチャでは**仮想コンピューティングリソース**を提供。
- ネットワークトランスポート技術にはAPN(All Photonic Network)を採用。
- コンピューティングリソースは、プレゼンスを介して**仮想化された1つのコンピューティングリソース**として異なるネットワークドメインに展開。



(3) ユーザー中心かつアプリ毎に最適化するためのネットワーク技術

- 人に加え、モノ・コトに関わるユーザーが、端末上のアプリケーションまでを含めて、必要とする通信を提供
- ユーザー中心のネットワークと、アプリケーションを考慮したネットワーク最適化により実現



※白書本編及び別冊「E2Eアーキテクチャ」で実現技術の詳細を述べているので、合わせて参照されたい

<https://b5g.jp/w/wp-content/uploads/2024/03/Beyond-5G-White-Paper-Supplementary-Volume-E2E-Architecture.pdf>

(4) オーケストレータ

- Beyond 5Gのオーケストレータは、Beyond 5Gアーキテクチャ全体の制御を司る。
- Beyond 5G、各サービスに最適な**インフラ機能の提供を迅速に行う**とともに、Beyond 5G全体を最適化する。
- さらに、障害発生時に社会システムを停止させることのない**システム全体、エンドツーエンドの耐障害性を確保可能**とする。

(5) ネットワークAIアーキテクチャ

- Network for AI (NET4AI) と呼ばれるアーキテクチャコンセプトは、通信、コンピューティング、およびセンシング機能を有機的に統合したネットワークの基盤構造。
- AI as a Service (AIaaS) の提供を容易とする、通信技術、情報技術、データ技術、および産業インテリジェンスを統合させるAIネイティブな統合アーキテクチャ。

これらを実現するため3つの主要要件を提示

- Network AI Architectureの要件
 - クラウドAIからNetwork AI
 - 厳密に連携するICDTインフラ
 - 整理及び管理された安全なネットワーク
 - 柔軟なAIの展開
- タスク志向型アーキテクチャ
- AI サービスの運用と管理

(6) システムアーキテクチャとBeyond 5Gに向けたマイグレーション

- Beyond 5Gシステムアーキテクチャの設計思想とシステムマイグレーションを検討
 - 5G標準化、運用からの知見
 - システムアーキテクチャ、ネットワークマイグレーションを実現する要素技術
 - レガシーシステムとの連携
 - RAN-CN分離、及びRAN-CN間インターフェース
 - RAN論理アーキテクチャ

※白書本編及び別冊「**E2Eアーキテクチャ**」で実現技術の詳細を述べているので、合わせて参照されたい

<https://b5g.jp/w/wp-content/uploads/2024/03/Beyond-5G-White-Paper-Supplementary-Volume-E2E-Architecture.pdf>

6.2.3 ユーザー中心かつアプリ毎に最適化するためのネットワーク技術

- さまざまな通信環境における、「ユーザー」(人、モノ、コトを含む)や「アプリケーション」が求める要求を確実に提供するため、それぞれに応じて柔軟にネットワークを提供可能な技術が必要
- ユーザー中心のネットワーク (User-centric network) と、アプリケーションを考慮したネットワーク最適化 (Application-aware network optimization) により実現

6.2.4 ネットワーク自律運用

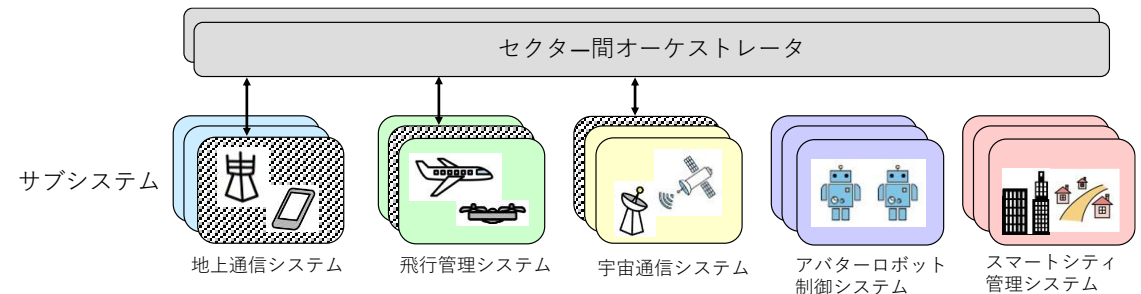
Beyond 5Gのネットワーク運用では、AIを活用し、構築から運用まで全てのワークフローにあたって、省力性・柔軟性・迅速性を同時に満たす完全自動化（自動化レベル5）を達成する

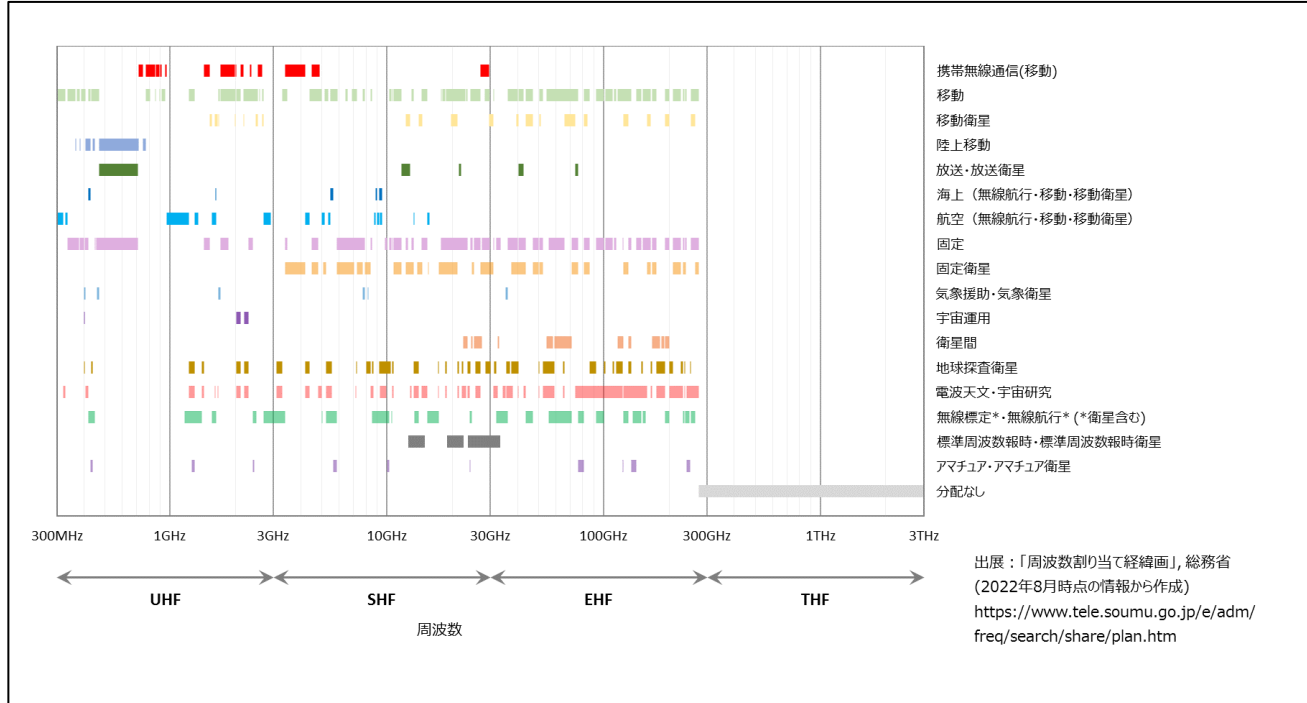
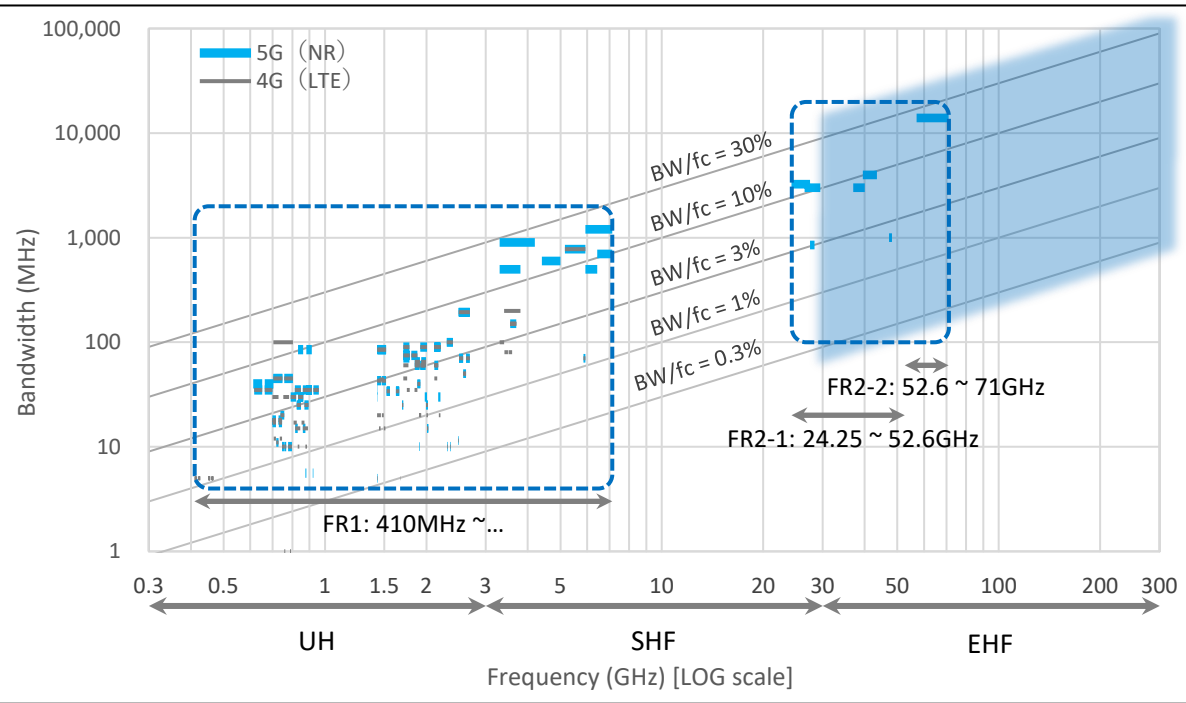
ネットワーク自律運用が提供する価値

- ① 業務の要求に基づく迅速なネットワーク機能の提供
- ② アプリケーション/IT/ネットワークを横断したエンドツーエンドネットワークのワンストップな提供
- ③ 人間による細かな指示を必要としない自律的な判断

6.2.5 耐障害性

ネットワークの耐障害性だけでなく、様々なシステムの耐障害性を確保するための、セクターの垣根を越えた、サブシステムのオーケストレーション



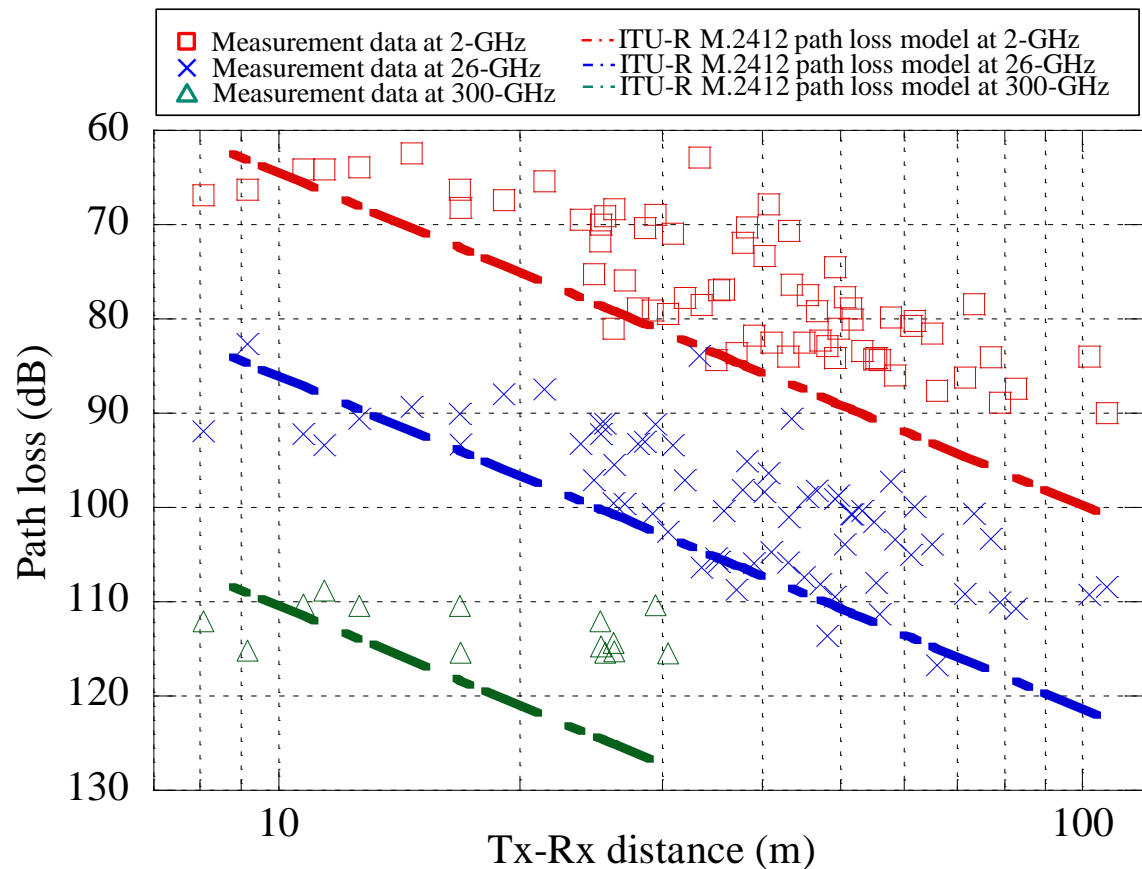


3GPP規格で規定されている4Gと5G用の周波数帯 [1][2][3]

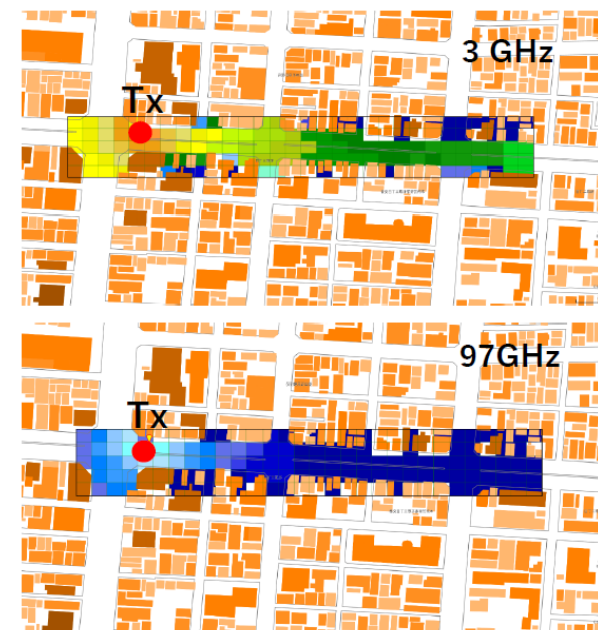
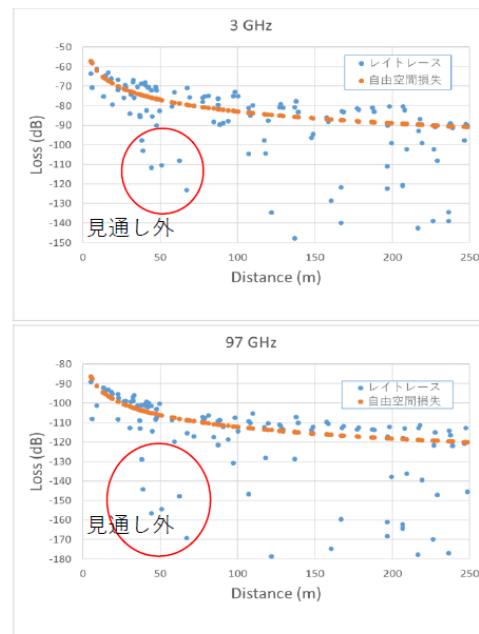
我が国における周波数割り当て [4]

[1] "E-UTRA; User Equipment (UE) radio transmission and reception", 3GPP TS 36.101, (V18.0.0) 2022-12.
 [2] "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone", 3GPP TS 38.101-1, (V18.0.0) 2022-12.
 [3] "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone", 3GPP TS 38.101-2, (V18.0.0) 2022-12.
 [4] 「周波数割当計画」総務省 (2022年8月時点の情報により作成).

- Beyond 5Gでの無線周波数の利用に関しては、ITU-R、APT、および各国のフォーラムで検討が行われている。
 - 広帯域が可能となる6GHz帯以上、ミリ波およびテラヘルツ帯の検討。
 - 6GHz帯未満の既存周波数と新たな周波数の一体的利用も重要。
- WRC-23（世界無線通信会議-23）の結果
 - 6425 – 7125 MHz（WRC-23議題1.2）
 - 7125 – 8400 MHz、14.8 - 15.35 GHz（WRC-27議題1.7）
- 7125 – 8400 MHz、14.8 - 15.35 GHz の国内利用状況調査
 - 既存無線システム、その無線局数など
 - 既存無線システムとの両立性の調査が重要



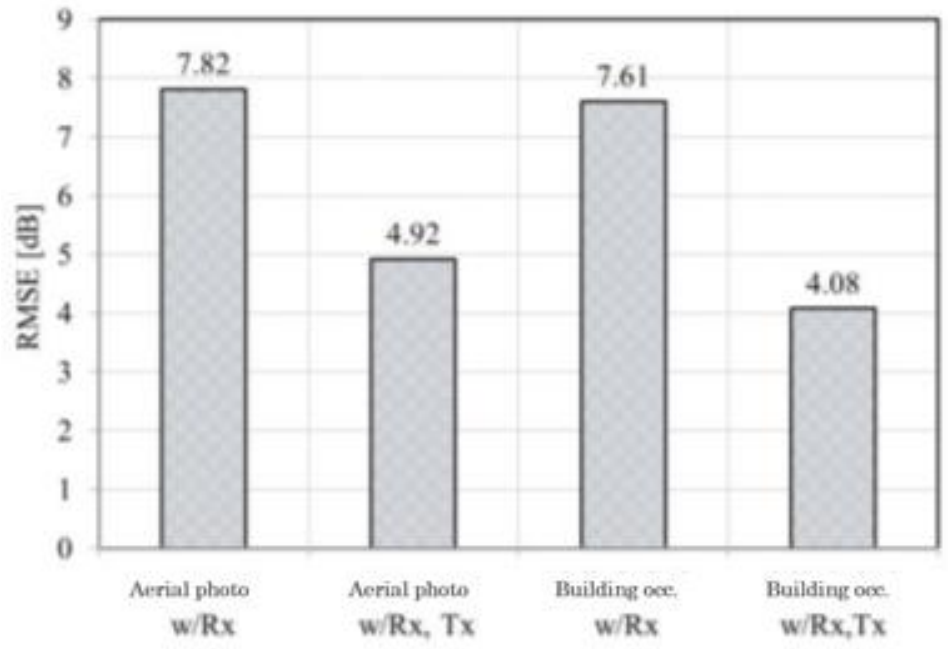
伝播損失特性の測定結果[1][2]



レイトラッキングと自由空間伝搬モデルの比較(市街地ストリートキャニオン環境) [4]

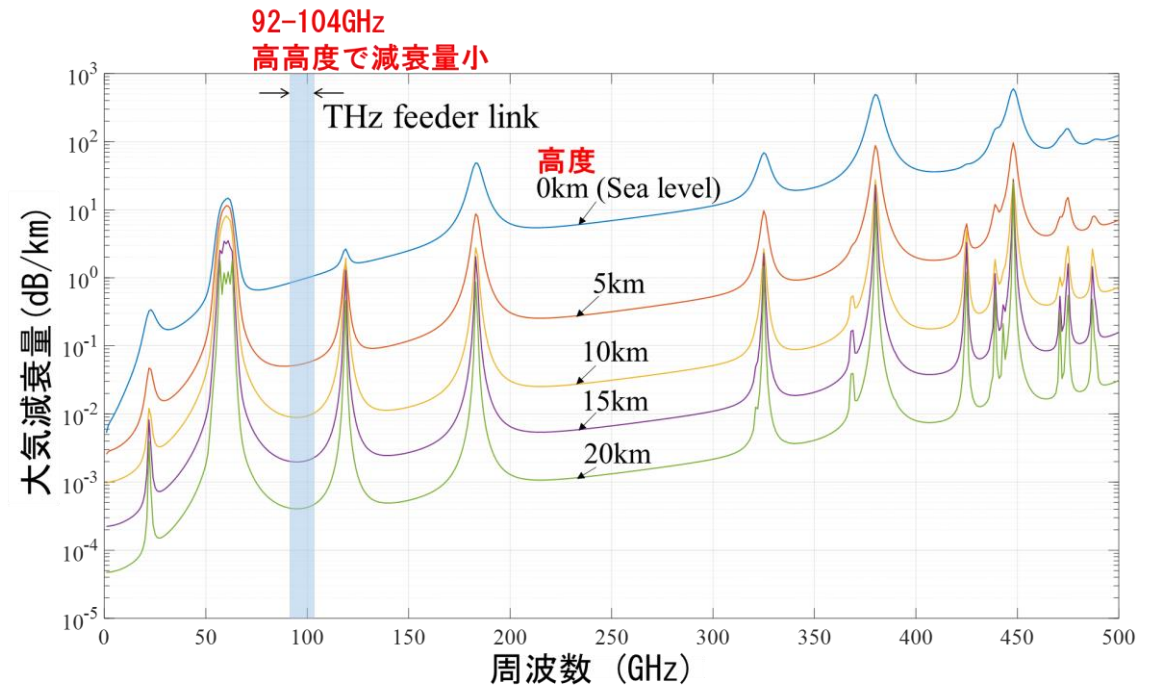
[1] 猪又他、「第6世代移動通信システムにおけるテラヘルツ波帯利用に向けた電波伝搬特性」, 信学技報 RCS2020-98(2020-10)
 [2] 猪又他、「6Gに向けた市街地マイクロセル環境おる2-100GHz帯」, 信学技報A・P2021-51 (2021-08)
 [3] ITU-R M.2412, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020," Sep. 2017.

[4] 小田、「テラヘルツ波の電波伝搬特性に関する技術検討」, Beyond 5G推進コンソーシアム 企画・戦略委員会, (2021年3月)



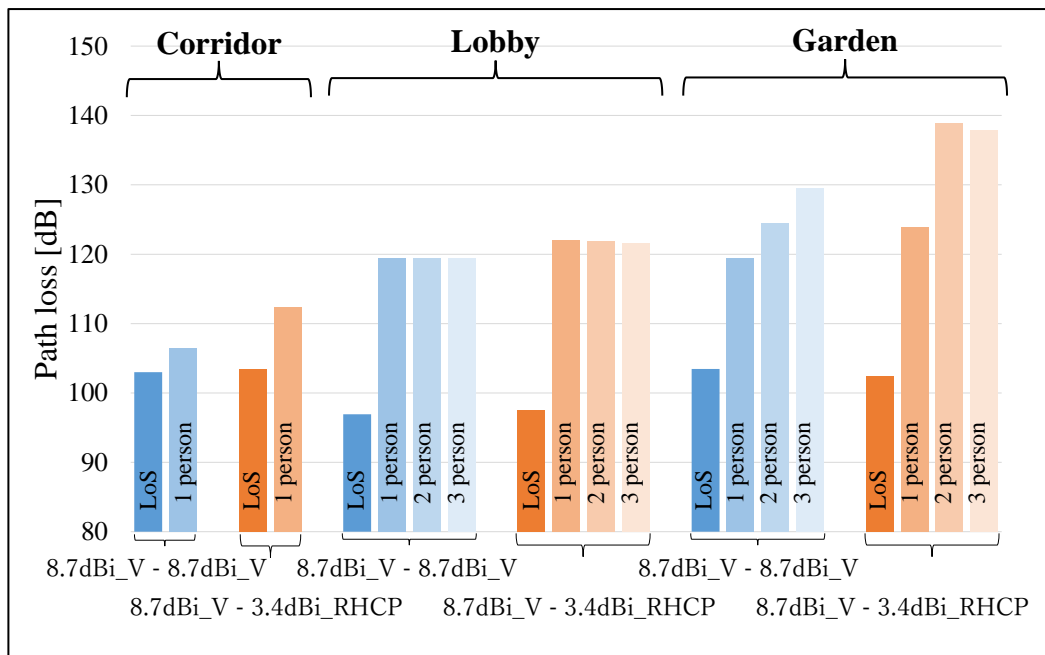
画像の種類の違いによる推定結果 [1][2][3]

- [1] T. Hayashi, T. Nagao and S. Ito, "A study on the variety and size of input data for radio propagation prediction using a deep neural network," 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2020.
- [2] T. Nagao and T. Hayashi, "Study on radio propagation prediction by machine learning using urban structure maps," 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2020.
- [3] T. Nagao and T. Hayashi, "Geographical Clustering of Path Loss Modeling for Wireless Emulation in Various Environments," [Manuscript submitted for publication] 2022 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2022.



大気ガス減衰モデルを用いた損失の対周波数特性 [4][5]

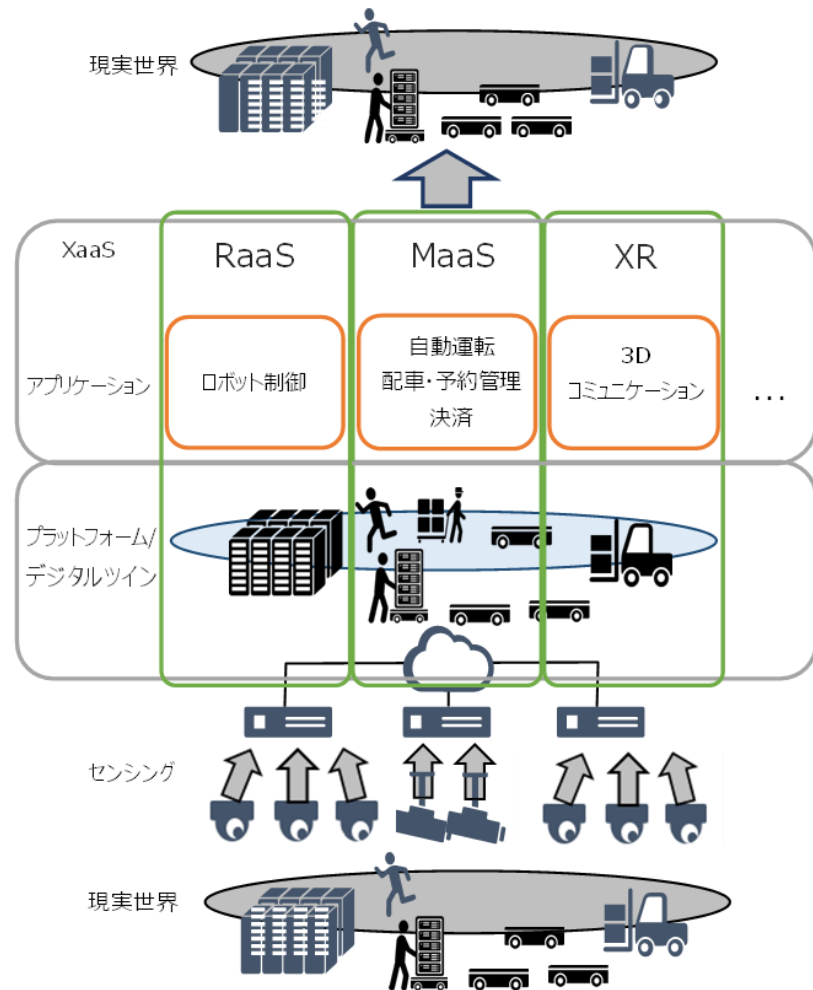
- [4] 川西他, "THz 帯 NTN 通信システム的设计," 2022信学全大, CI-7-2, Mar.2022.
- [5] Recommendation ITU-R P.676-12(2019), Attenuation by atmospheric gases and related effects.



300GHz帯における室内伝搬特性 [1][2]
(伝搬損失の場所および人体遮蔽による影響)

[1] S. Nishi, et. al., "A 280 GHz Circular Polarized 4x4 Elements Antenna Array," 2022 the 9th International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (IEEE MAPE 2022), Aug. 2022.

[2] K. Tamesue, et. al., "300GHz Indoor Propagation Measurement, Simulation and Characterization," 2022 the 9th International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (IEEE MAPE 2022), Aug. 2022.



CPSにおけるサービス (XaaS) と
プラットフォーム/アプリケーション技術

Society 5.0推進

サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステム(CPS)により経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会（Society）を実現

- 通信インフラ技術とそれに付随するプラットフォーム・アプリケーション技術に対する考察を展開。

CPSにおけるサービス(XaaS)に必要な技術例

- デジタルツインにおける物体の位置・姿勢の推定技術
- デジタルツインにおける物体の認識・識別技術
- デジタルツインを用いた現実世界の予測技術
- 安全で受容性・効率性のあるロボット制御
- 現実世界（フィジカル空間）再現・拡張
- マルチモーダル連携

- ネットワークトラスト確保技術 (ネットワークの超安全・信頼性技術) (6.3.1)
 - ネットワークの設計に関わる技術
 - ネットワークの運用に関わる技術
 - ネットワークのセキュリティマネジメントに関わる技術

- それ以外のトラスト確保技術 (その他のBeyond 5Gの特性) (6.3.2)
 - 超高速・大容量
 - 超低遅延
 - 超多数同時接続
 - 超低消費電力
 - 自律性
 - 拡張性

Beyond 5Gに対する7つの機能に対するセキュリティ要件 ([1]を基に作成)

機能	トラスト確保に関わる要件
超高速・大容量	<ul style="list-style-type: none"> • 耐量子共通鍵暗号 (超高速な暗号化/復号) • トラフィック監視、侵入検知などの処理ロジックの超高速化 • 格納データの高度圧縮技術、分散格納技術などの格納・管理手法
超低遅延	<ul style="list-style-type: none"> • 軽量なセキュリティ • Beyond 5Gでのブロックチェーンの活用
超多数同時接続	<ul style="list-style-type: none"> • 効率的認証・認可 (アグリゲート認証、放送型認証等) • 効率的セキュリティ監視・処理手法
超低消費電力	<ul style="list-style-type: none"> • セキュリティ機能のハードウェア実装 • 軽量なセキュリティアーキテクチャ
超安全・信頼性	<ul style="list-style-type: none"> • 秘匿性・完全性の確保 (耐量子公開鍵/共通鍵暗号技術、コンフィデンシャル・コンピューティング等) • 認証・認可技術とトラストモデル • トレーサビリティの確保 (ログ/イベント/フロー情報の収集・管理) • 攻撃・故障への耐性 • セキュリティコーディネーションの確保 • 高度なログ/イベント/トラフィック分析 • インシデントに起因する情報の一元管理 • 統合的な対応及び復旧のための運用自動化 • プライバシー保護 • Beyond 5Gの利用者/利用機器の信頼性診断 • 脅威分析、リスク分析の高度化 • 動的ポリシーエンフォースメント • 健全性自動監査
自律性	<ul style="list-style-type: none"> • 運用や監査の自動化/自律化 • 攻撃・故障への耐性確保のための自律性 • AIの視点からのトラスト確保メカニズム
拡張性	<ul style="list-style-type: none"> • トラスト確保の機器やシステムの統合管理 • 拡張構成モジュールの随時把握と構成統合管理システム

[1] Yutaka Miyake, "International Coordination in the R&D (4) Security," Beyond 5G International Conference. Nov. 10, 2021.

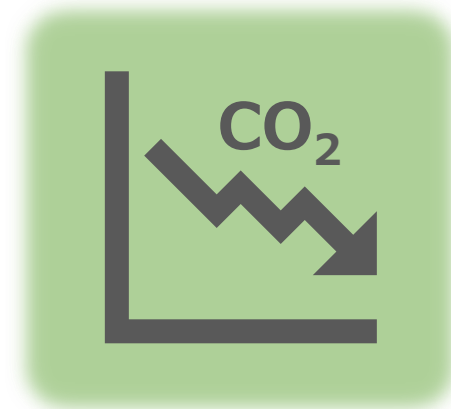
Beyond 5Gのエネルギー効率の目標

- 環境に優しい設計コンセプトとネイティブAI機能を導入し、ネットワーク全体のエネルギー効率（ジュール当たりのビット数で定義）を100倍に向上
- 全体のエネルギー消費量（ジュール単位）を5Gよりも低く抑えながらも、最適なサービスパフォーマンスと体験を実現



技術と研究の方向性に関する考察

- ネットワークのエネルギー効率を設計および評価するためのフレームワーク
- ハードウェア面（特にPA効率）
- ネットワーク面（トラフィックダイナミクスマネジメント）
- 再生可能エネルギー、受動伝送
- 集中型のAIトレーニングと推論能力の問題を解決する分散型ネットワーク



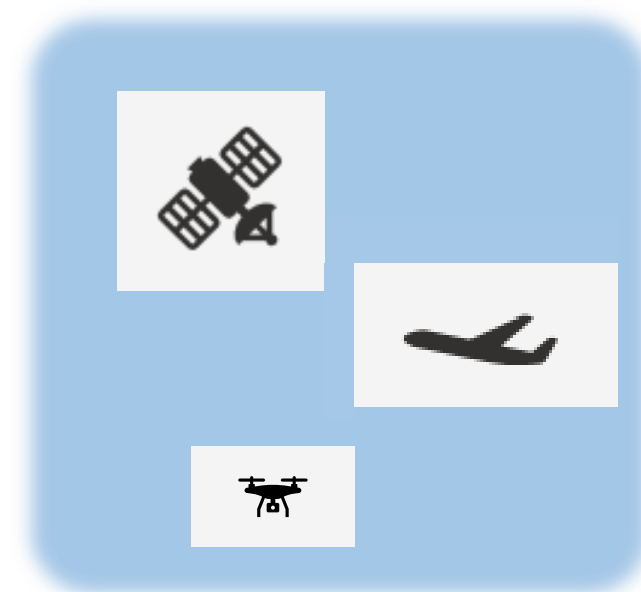
非地上ネットワーク（NTN）は、将来のIMTのカバレッジを地上から上空、宇宙まで拡大させ、通信のユビキタス化を実現するとともに、無人システム、モニタリング（映像・データ）、モバイルeMBB、IoT、物流システムとの接続、緊急時のバックホール、スマートフォン連携などの新しいユースケースが期待される

■ 2030年代に向けた研究開発課題:

超高速・大容量化, 低遅延化, IoT向けの多数接続, 光通信技術, 最適経路接続技術及びマルチコネクティビティ技術, 量子暗号化通信, 自律的な運用, エッジコンピューティング技術

■ NTNの提供形態:

- High Altitude Platform Station (HAPS)
- Satellite communications
- UAV(Unmanned Aerial Vehicle)-assisted Wireless Communications



節	タイトル	特長・強み	提供価値	役割	技術概要
6.7.1	新しい無線ネットワークポロジ	多様なNWノードでトポロジを生成	高安定、エコなサービス、柔軟な設置・運用	大容量通信を、ユーザの場所を問わず提供	分散配置したアンテナ、中継器、反射板連携
6.7.2	広帯域化・周波数利用高度化技術	THz帯の広帯利用、多素子アンテナ技術	既存帯域の周波数利用効率の向上、適用範囲拡大、利用者体験の向上	ミリ波、テラヘルツ波利用により、膨大なデータを瞬時かつ正確に処理	電波伝搬特性解明、伝搬モデル・伝搬シミュレーション技術確立、デバイス技術進展、周波数共用など
6.7.3	RAT/エアインターフェースの高度化	Beyond 5Gに特化した無線アクセス技術などで、高い機能・性能を確保	超大容量・高速伝送	デジタルデバイドの橋渡し、環境認識の向上など	新波形、変調、コーディング、多元接続、全二重、高度/大規模MIMO
6.7.4	超高信頼性と低レイテンシの通信	高精度時刻同期によるE2Eの超低遅延伝送など	ミッションクリティカルな業界をサポートほか	同期協調動作によって電力や周波数資源の低減・効率化に貢献ほか	高精度時空間同期による約1ms以下の低遅延伝送など
6.7.5	エネルギー効率改善と低消費電力化	周波数利用効率改善・低消費電力化技術の蓄積	持続可能・炭素中立な通信、情報処理サービスを提供	社会・経済活動における不要エネルギー消費を排除し、カーボンニュートラルに貢献	エネルギーハーベスティングや通信資源管理効率化など
6.7.6	統合されたセンシングと通信および高正確度なローカリゼーション	広帯域、短波長帯域の特性を利用した高細精度センシング, GNSSを利用した高精度時間同期など	高解像度・高精度のセンシング・位置決めなどにより、インテリジェントなデジタルワールドを構築	センシング機能と通信機能が連携。物理世界をリアルに再現。高精度な位置情報サービス提供	センシング機能と通信機能の多様なレベルでの統合技術

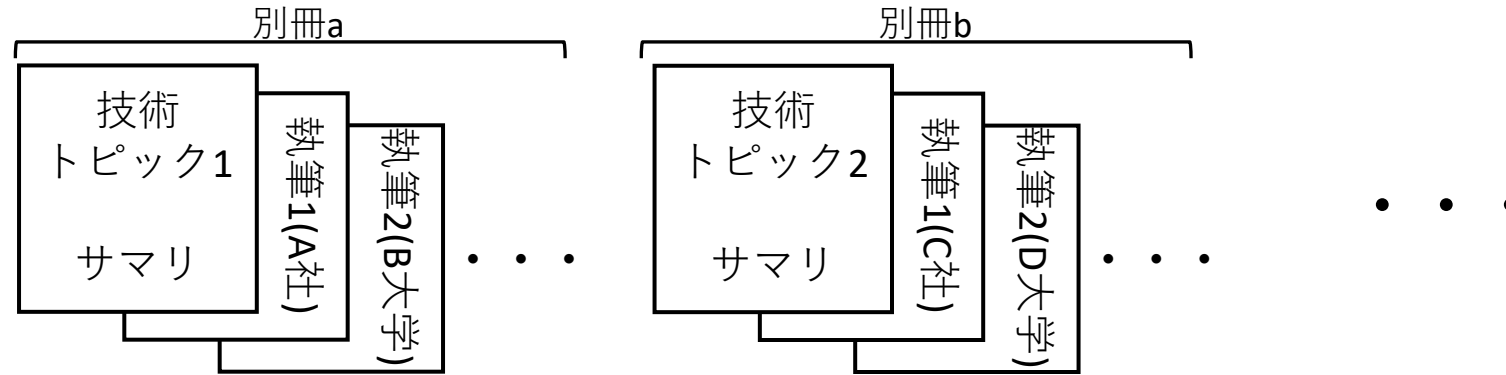
節	タイトル	特長・強み	提供価値	役割	技術概要
6.7.7	無線アクセス/コアネットワークおよびその他の無線システムの管理	電波資源管理技術、各種無線の統合技術、モバイルコアネットワークで制御技術により、大容量化、低遅延化などの価値を提供	柔軟なサービスの提供、有限な電波資源の有効活用	有限な通信資源を効率的・最適な手法で提供	各種無線技術の統合技術、コアネットワーク管理技術
6.7.8	ネイティブAIベースの通信	AIを密接に統合し、システム全体のパフォーマンスを向上	消費電力と周波数利用の面の効率化	無線通信網アーキテクチャと無線回線設計を変革	インテリジェントPHY・MACコントローラ、AI活用プロトコル・シグナリングなど
6.7.9	光通信・伝送技術	黎明期からの技術開発史と全国張り巡らされた充実の光通信インフラを活用	効率的・大容量通信を安定提供。快適でストレスのない通信サービスを提供	通信網全般で、最新技術を活用した高速・大容量で安定した通信リンクを提供	マルチコアファイバ、光電融合の技術など
6.7.10	光無線融合(Radio over Fiber(RoF))	大容量のモバイルフロントホール伝送、基地局の省電力・省スペースを実現	大容量データ伝送を提供し、基地局の省電力・省スペースを実現。	大容量データ伝送の提供 基地局の省電力・省スペース化	光無線融合技術の集約局での適用、Intermediate Frequency over Fiber (IFoF) 技術など
6.7.11	光無線・音響通信	無線周波数資源の代替、測位・センシング応用も可	免許不要、低コスト、低消費電力通信、セキュリティ、水中での通信	無線周波数資源の代替、測位・センシング応用	Integrated Sensing and Communication with Optical Wireless (ISAC-OW) 技術

Beyond 5G ホワイトペーパー3.0版 ～2030年代へのメッセージ～ 【技術編 別冊】

Beyond 5G推進コンソーシアム
白書分科会技術作業班

2024年3月7日

Beyond 5G/6Gの実現に必要な「8つの技術」を新たに作成 …… 白書3.0版と併せて、国内外への発信に活用



別冊の技術トピック

- E2Eアーキテクチャ :
- Cell-Free/Distributed MIMO :
- 高周波数帯無線技術 :
- 無線中継・反射板技術 :
- AI/ML :
- センシング技術 :
- Sustainability/Energy efficiency :
- NTN技術 :

執筆機関

NICT、大阪大学、NTT、KDDI、NEC、Huawei Technologies Japan、NOKIA
 KDDI、NTT、NTTドコモ、NEC、富士通、東北大学、東京理科大学、電気通信大学
 NTTドコモ、NTT、千葉工業大学、早稲田大学、富士通、KDDI、名古屋工業大学、
 Huawei Technologies Japan
 NTTドコモ、NTT、KDDI、山口大学、北海道大学、東北大学、PSNRD、富士通
 NEC、KDDI、NOKIA、東京電機大学、NTTドコモ、Huawei Technologies Japan
 NTTドコモ、NTT、九州大学、大阪大学、上智大学、Huawei Technologies Japan、
 NICT
 NOKIA、富士通、NICT、楽天モバイル
 ソフトバンク、NTTドコモ、Huawei Technologies Japan、NTT

2030年ビジョンを実現し、Beyond 5Gインフラストラクチャ機能を通じてユーザー*の多様なニーズに対応するための全体アーキテクチャ実現技術について、日本における広範な研究開発とその成果を詳述

- ユーザー中心、かつアプリケーションの性能要求に応える最良の通信機能の提供
- 複雑化するBeyond 5Gインフラストラクチャ機能のフル活用を実現
 - ネットワーク機能とAI利用のためのコンピューティングリソースの最適な融合
 - ユーザーの具体的な意図に応じた、オーケストレーターによるシームレスな統合
- 現実世界と仮想空間の相互の密連携によるデジタルツイン環境での通信/サービスの実現
- Beyond 5Gへのマイグレーションの実現

* Beyond 5Gにおいて、「ユーザー」はスマートフォンを利用するような人だけではなく、ロボット、ドローン、センサーといった広義なIoT端末といったモノ、コトを実現する端末が含まれると想定

(Editor: NICT 石津, 東)

Contributor (代表)	Contents Title
大阪大学 下西先生	Digital-Twin for and by Beyond 5G
NTT 松本	Optimum collaboration of network functions and computing resources
KDDI 新保	User-centric Network
NEC 里田	Intent-based operational plan generation for business utilization of autonomous networks
Huawei Technologies Japan 輿水	Task-Oriented 6G Native-AI Network Architecture
NOKIA 高橋	Envisioning Architectural Transformation towards 6G

システム容量の増強、通信品質の向上を目指し、Cell-Free/Distributed MIMO技術について、日本における幅広い研究開発とその成果を詳述。

- Cell-Free/Distributed MIMOは、分散アンテナを通じてセル干渉を減少させ、厳しい無線環境下で安定した接続を維持することにより、モバイルシステムを強化する主要技術として注目
- 技術的な課題への取り組み
 - スケーラビリティのための信号処理の簡素化
 - コストと電力消費量のバランスを考慮した、フロントホール容量の増加または負荷の削減
 - 高周波数帯において高カバレッジ・大容量を実現する効果的な連携ビームフォーミング方式の確立
 - 多様なユーザーのニーズを満足しつつ全体性能を保つための柔軟性を確保

(Editor: KDDI 菅野)

Contributor (代表)	Contents Title
KDDI 菅野	Research activities towards wide area deployment of Cell-Free massive MIMO
NTT 内田	High-frequency Band Distributed Antenna System
NTTドコモ 立石/須山	Real-Time Simulator for 6th Generation Mobile Communication System Using Distributed MIMO
NEC 村岡	Distributed MIMO Technologies for High Frequency Bands
富士通 伊達木	Distributed Antenna Technology (High-density Distributed Antenna System, and Transmission Point Sharing Control)
東北大学 安達先生	User Cluster-centric Approach for Cell-free Massive MIMO Systems
東京理科大学 樋口先生	Low-Complexity User-Centric TRP Clustering Method in Downlink Cell-Free MIMO with Regularized ZF-Based Beamforming
電気通信大学 石橋先生	Toward Practical Cell-Free MIMO Network

ミリメートル波からテラヘルツ波に至るまで、より高い周波数を扱うための技術について、日本における幅広い研究開発とその成果を詳述。

- テラヘルツ波では伝搬距離が限られてしまうため、その伝搬特性、新しい伝搬モデルの開発、正確な伝搬シミュレーション技術の確立、デバイス、アンテナ技術等、様々な技術の進歩が必要。
- より高い周波数を扱うための様々な技術、超大規模MIMOシステムや反射板技術、そして高周波数による新たなユースケースとなる高精度なセンシング技術については他の別冊を参照。

(Editor: 富士通 作本)

Contributor (代表)	Contents Title
NTTドコモ 久野/須山	Spatial Characteristics of Sub-THz Band Radio Propagation in Indoor Environments for Beyond 5G
NTT 猪又/山田	Path Loss Characteristics from Microwave to Sub-THz Bands in Urban Environment for Beyond 5G
千葉工業大学 枚田先生	Evaluation Technique for Propagation Characteristics of 300-GHz-band Radio wave near the Human Body
NTT 栗山	AI Calibration Technique for RF Impairments with Sub-THz transmission
NTTドコモ 須山	Sub-THz-Band Massive MIMO Technology for Beyond 5G/6G
NTT 李	High Capacity Wireless Transmission Technology using Orbital Angular Momentum Multiplexing in the Sub-THz Frequency Bands
早稲田大学 前原先生/齋藤先生 NTT 李	Performance Analysis of OAM Multiplexing Using Parabolic Antenna
富士通 尾崎	Antenna Array Module for Sub-THz Communications
KDDI 伊藤	Virtualized terminal technologies for high-capacity communications in Beyond 5G era
名古屋工業大学 榊原先生/杉本先生	Sub-THz multi-beam antennas for virtualized terminal technologies
NTTドコモ 鈴木	Sub-THz band device technologies
NTTドコモ 北尾/須山	6G Simulator using Real Environment Model based on Point Cloud Data
Huawei Technologies Japan 輿水	THz Sensing and Communication Towards Future Intelligence Connected Networks
早稲田大学 川西先生	300GHz point-to-point fixed wireless transmission systems

新しい無線ネットワークトポロジー (New Radio Network Topology: NRNT) を実現するための無線中継および反射板技術について、日本における広範な研究開発とその成果を詳述。

- 無線伝搬損失を減少させ、冗長性と信頼性を高めるために、通信経路の数を増加させ、空間的に分散したネットワークトポロジーを実現する技術
- それにより、カバレッジの改善やシステムの大容量化・低消費電力化を実現
- NRNTを実現するアプローチには、次のようなものがある
 - 既存の都市に設置されているもの（例えば街灯）や、および無線中継・反射板技術 (Relay and Reflector Technologies) を利用した基地局・端末アンテナの仮想的な増加
 - 分散ネットワークトポロジーを実現するための無線エントランスの活用

(Editor: NTTドコモ 須山)

Contributor (代表)	Contents Title
NTTドコモ 後藤/須山	Analysis of Using Transmissive Metasurfaces toward Beyond 5G
NTTドコモ 富永/須山	High-Performance Radio Propagation Simulation Method for Path Loss Estimation
NTT 村山/村上	Relay-Related Technologies in New Radio Network Topology (NRNT)
KDDI 大戸	Development of Meta-surface Reflectors for Millimeter-wave Mobile Communication Systems
山口大学 村田先生	Terminal-Collaborated MIMO Reception
北海道大学 西村先生	Beamforming-Based IRS Control for Sub-Terahertz-Band Communications in Indoor Office Environments
東北大学 川本先生	Beam Squint-aware Frequency Resource Allocation for IRS-aided Communication
PSNRD 宇野	Prototype and Evaluation of Intelligent Reflecting Surface for 60 GHz Band
PSNRD 浅野	Wireless transport technology for xhaul
富士通 尾崎	A Study on High-Capacity UL communication in Relay systems with UAV

本技術別冊では、将来の通信とサービスを発展させる研究開発の加速を目的として、Beyond 5G向けのAI/MLに関する日本の先進的な研究開発の取り組みとその成果を紹介する。

- Beyond 5GにおけるAI/MLの役割：
 - 自動化：ネットワーク運用管理の合理化
 - 分析：各レイヤにおける通信の特性の理解
 - 最適化：コンピューティングとネットワークリソースの最適化
 - 適応：多様なサービス/アプリケーションの個々のニーズへの対応
- AI/MLの研究開発に求められること
 - 従来のテクノロジーから学習ベースのテクノロジーへのシフト
 - AI/MLモデルと従来の物理/数理モデルの適切な組み合わせによる高度化

(Editor: NEC 高橋)

Contributor (代表)	Contents Title
KDDI 宮坂	AIOps for Autonomous Networks
NEC 黒田	Logic-Oriented Generative AI Technology for Autonomous Networks
NOKIA 高橋	Scalable AI/ML for Radio Cellular Access
東京電機大学 今井 (ドコモ共著)	AI/ML-based Radio Propagation Prediction Technology
Huawei Technologies Japan 輿水	6G Network AI Architecture for Everyone-Centric Customized Services
NEC 高橋	AI-based Application-aware RAN Optimization

3GPPのIntegrated Sensing and Communication (ISAC)でも議論が行われているセンシング技術について、日本における広範囲な研究開発とその成果について詳述。

- 従来は通信のみに用いていた電波をセンシングにも活用することで、屋内や屋外環境において人や動物の侵入の検出などの新たなユースケースに対応。また、高精度な位置情報によるローカリゼーションサービスにも寄与
- 通信用の基地局や端末を活用するので、センシングのための追加のデバイスが不要であり、AI/MLの急速な進歩により電波を利用したセンシング技術の応用範囲はさらに拡大
- センシング技術の課題：
 - チャンネル情報（CSI）や受信レベルを活用したセンシングの性能の明確化
 - CSI測定におけるセンシングする物理的な空間とCSIの関係性の解明
 - 通信とセンシングの両方のKPIを満足させるためのシステム設計やその最適化
 - 高精度なセンシングを実現するためのピコ秒レベルの時空間同期

(Editor: NTTドコモ 須山)

Contributor (代表)	Contents Title
NTT 村上/大槻	CSI-based device-free sensing using deep learning with 5G NR 28 GHz band
九州大学 牟田先生	Indoor Experimental Evaluation of Device-free Localization Schemes Using Channel State Information in Distributed Antenna Systems
大阪大学 猿渡先生	CSI2Image: CSI-to-Image Conversion using a Generative Model
上智大学 小川先生	Use Cases for CSI Sensing with an Example of Pedestrian Movement Direction Identification
Huawei Technologies Japan 輿水	Integrated Sensing and Communication (ISAC)
NICT 井戸	Space-Time Synchronization

地球と社会を持続可能にするための、日本における広範囲な研究開発とその成果、特に持続可能性とエネルギー効率技術について詳述。

- 持続可能性のための移動通信システムを評価するためのキーバリュー（KV）およびキーバリューインジケータ（KVI）コンセプトの探索。
- エネルギー効率化のための技術的な成功要因
 - システム全体（CN、RAN、Air-IF、NTN連携）にわたる幅広い技術ソリューションをカバー。
 - 最適なvRANリソース配置を通じて、RANの電力消費を37%削減するといった定量化されたエネルギー節約を実証。
 - 歩行者の流動分析およびNTN利用を通じて最大40%の電力節約を実現。

(Editor: NOKIA 高橋)

Contributor (代表)	Contents Title
NOKIA 高橋	Sustainability, design goals and technical enablers for Energy Efficiency
富士通 井沢	Optimal deployment planning technology for vRAN resources, exemplified by energy saving
NICT 宮澤	Coordination with Non-Terrestrial Network (Power Management for Base Stations Utilizing Pedestrian Flow Analytics and Non-Terrestrial Networks)
楽天モバイル 青柳	Global Standards for Mobile Communication Networks

陸上、空中、および宇宙全体での接続性を強化するためのNTN（非地上ネットワーク）技術について、日本における広範囲な研究開発とその成果について詳述。

- ミリ波やテラヘルツ派といった天候に影響を受けやすい高周波における、超高速・大容量の実現
- LEO衛星とHAPSによる、遅延の低減。
- さまざまな衛星タイプを使用した効率的なネットワーク構成によるIoT接続性の向上と、マルチルーティングおよびマルチコネクティビティ技術による信頼性とカバレッジの向上。
- NTN通信における大容量IoTデータの管理と低遅延通信の実現のため、エッジコンピューティングは一つの重要な技術課題。

(Editor:富士通 作本)

Contributor (代表)	Contents Title
ソフトバンク 瀬川/西村	HAPS Technology: HAPS Flight and Communication Test Results Show Path to Unlock Stratospheric Communications
NTTドコモ 外園	Extreme Coverage Extension in Beyond 5G and 6G: Cooperative HAPS Architecture Integrating Terrestrial Networks
Huawei Technologies Japan 輿水	Very Low Earth Orbit Satellite Networks 6G
NTT 松井	Multi-layer non-terrestrial network and its routing management for Beyond 5G /6G

ご清聴ありがとうございました

