

## Beyond 5G ホワイトペーパー ～2030 年代へのメッセージ～

Beyond 5Gに向けた  
技術検討の動向

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  
富士通株式会社 ネットワークビジネス戦略本部 グローバル技術渉外統括部

中村 隆治

本稿では、Beyond 5G 推進コンソーシアム 白書分科会において作成した「Beyond 5G ホワイトペーパー（1.0版）」（以下、白書）<sup>[1][2]</sup>の記載に沿って、2030年代に向けた市場の要請や期待に応えるために分科会で導出した Beyond 5G の目標指標と、その実現に資すると考えらえる技術開発動向を中心に説明する。

## Beyond 5G の目標指標 (KPI)

通信トラフィック動向や市場の期待などの主要な要件を勘案して導出した Beyond 5G の目標指標 (KPI) を表1および表2に示す。目標指標は図1に示すシステムの範囲に対応して検討されており、例えば、遅延時間の項はユーザー機器のアプリケーション層とエッジノードで相対するアプリケーション層との間のエンドツーエンドでの片道遅延時間とした上で、アプリケーション層間での最短の転送遅延となるものとして導出している。各目標指標については、市場要件に対して必要かつ十分な機能と性能を提供するために、今後も更なる継続的な検討が必要と考えられる。

表1 Beyond 5G の目標指標 (定量的指標)

ユーザー帯域 (DL/UL)	10-100Gbps (特定地域)、 1Gbps (全域)
ピーク帯域 (DL/UL)	100Gbps 以上
容量	IMT-2020 の 100 倍
遅延	1 ミリ秒 (一般)、 0.1 ミリ秒 (特定のローカル通信)
ジッタ	1 ミリ秒以下
応答時間	100 ミリ秒 (往復のアプリケーション遅延、アプリケーション依存の処理遅延を含む)
信頼性	$10^{-6}$ - $10^{-7}$ (RAN)
位置測位精度	cm オーダー(または、それより高精度)
端末密度	$10^6$ - $10^7$ 端末/km <sup>2</sup>
エネルギー効率	IMT-2020 の 100 倍
移動速度	1000 km/h
カバレッジ	陸上/海上/空/宇宙をカバー 面積カバレッジ: 陸上 100%
カバレッジ(HAPS)	水平カバレッジ: 半径数 10-数 100km、垂直カバレッジ: 上空数 km

表2 Beyond 5G の目標指標 (定性的指標)

持続可能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器の低環境負荷化(環境対応材料の使用、再利用性向上)</li> <li>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)</li> <li>カーボンニュートラル(再生可能電源の利用)</li> </ul>
セキュリティ/信頼性/頑健性	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピーク帯域を超える暗号処理速度(100Gbps 以上)</li> <li>量子コンピュータ時代でも耐えられる 256bit 鍵長への対応</li> <li>災害や障害からの瞬時復旧</li> </ul>
自律性	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゼロタッチで機器が自律的に連携、有線・無線を超えた最適なネットワークの構築</li> <li>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の達成</li> </ul>
拡張性	<ul style="list-style-type: none"> <li>衛星や HAPS とのシームレスな接続</li> <li>端末や窓など様々なものを基地局化</li> <li>機器の相互連携によるあらゆる場所での通信</li> <li>オープンインターフェース(Network API, application API)</li> </ul>

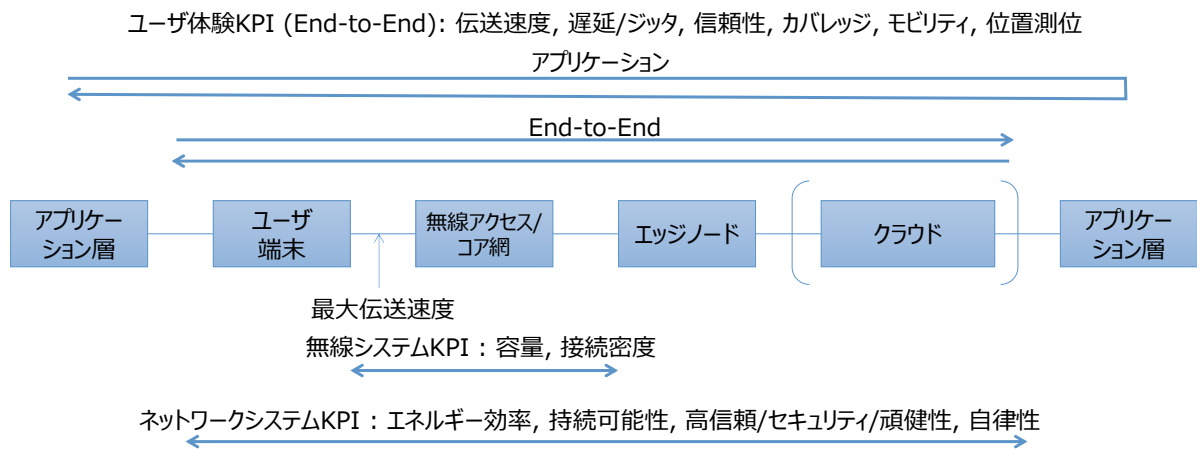


図1 目標指標の適用範囲

### 周波数資源の利活用検討

第5世代システム(3GPP 5G NR)においては、第4世代システム(4G)の利用している無線周波数を拡張する形で6GHz以下と24.25GHzより高い周波数帯の利活用を進めてきている<sup>[3]~[5]</sup>。

Beyond 5Gにおいては、これらの周波数資源の更なる有効利用に加えて、より広帯域・高速通信が可能な100GHz帯に至るテラヘルツ領域(図2の青色領域)を含めたEHF帯の利活用が有用になると考えられる。

一方でEHF帯までの電波資源は、各国で様々な電波利用システムが既に極めて稠密に利用しており、今後は既に利用されている帯域の共用利用なども含めた更なる周波数の有効活用を模索しながら、新しい帯域を効率的に公共の福祉に資するように利活用していく取り組みが重要になると考えられる。

より高い周波数帯を利活用していくための電波伝搬特性に関する研究も精力的に進められており、東京駅周辺の市街地マイクロセル環境で行った2GHz、26GHz及び300GHz帯での伝播損失測定結果(図3)<sup>[6]~[8]</sup>をはじめとする先行的な取り組みが進められている<sup>[9]~[14]</sup>。

### Beyond 5G 技術開発の取り組み

図4は、前述した目標指標を実現するためのBeyond 5Gの技術、機能の要素を無線伝送・光伝送の技術をベースとする4つのステム(莖)として示している。

これらの技術要素は相互に関連しながら、Beyond 5Gが利用される様々なユースケースや利用シーンで高度なサービスを提供していくことになる。

以下では、Beyond 5Gの実現に向けた技術開発の取り組み動向について概説する。

Beyond 5Gの通信インフラに関する技術については、利用者の多様なニーズに対応するためのサービスを実現し

ていくために有用な Robotics-as-a-Service (RaaS)、Mobility-as-a-Service (MaaS)、XR (VR、AR、MR ほか) などのサービスを提供してプラットフォームとアプリケーション技術の検討を行った (図5)

また、信頼性 (セキュリティ、プライバシー、レジリエンス (耐性)) に関する要件の検討 (表3) [15]、ネットワークエネルギー効率の向上、非地上系ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Network) によるネットワークカバレッジ拡張 (成層圏通信プラットフォーム [HAPS: High Altitude Platform Station]、衛星通信など)、Beyond 5G に向けたネットワークアーキテクチャ (図6) に関する技術動向の検討結果などを行っている。

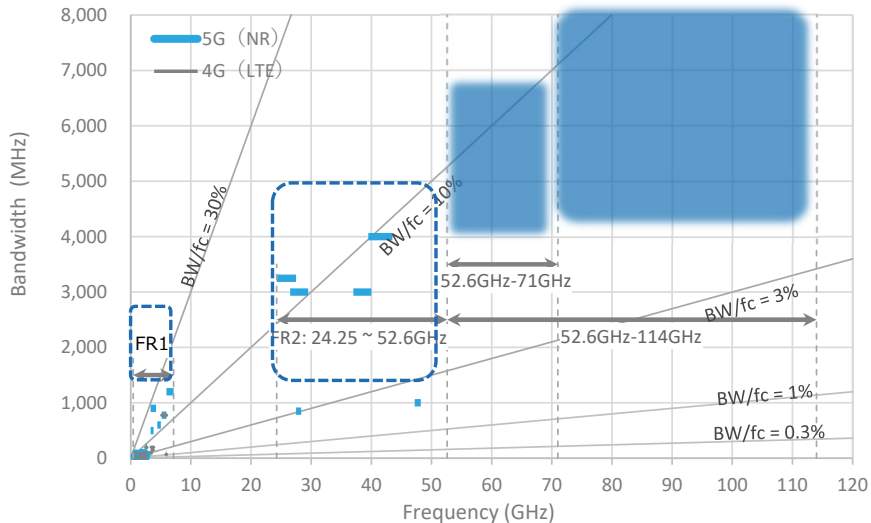


図2 4G と 5G-NR 用の周波数帯

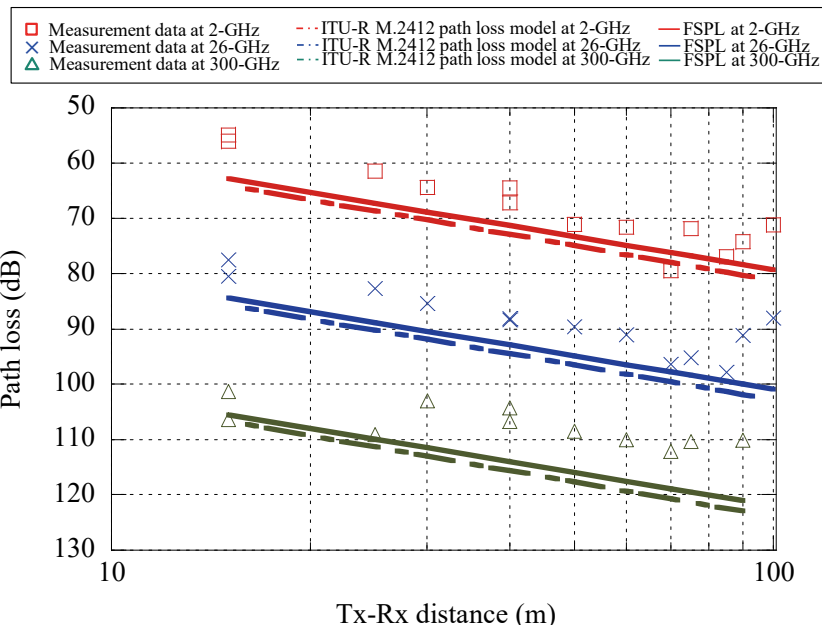


図3 伝播損失特性 (2GHz、26GHz、および、300GHz 帯)

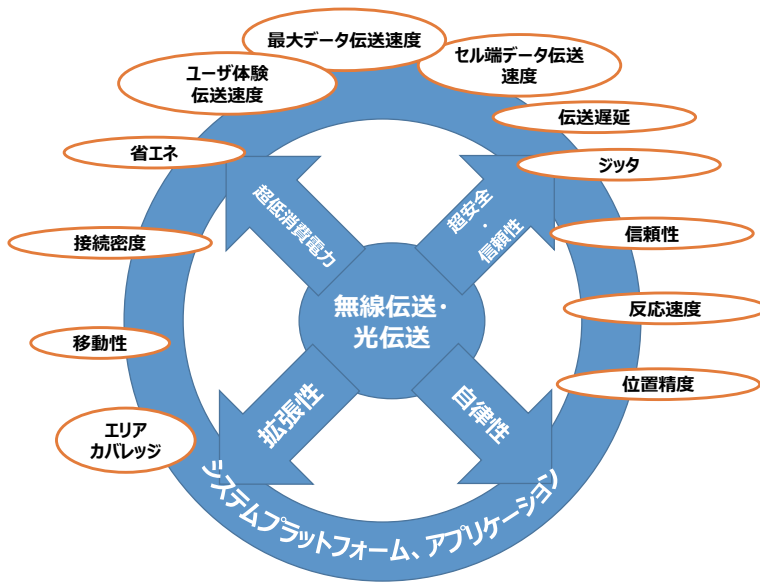


図4 目標指標を支える技術

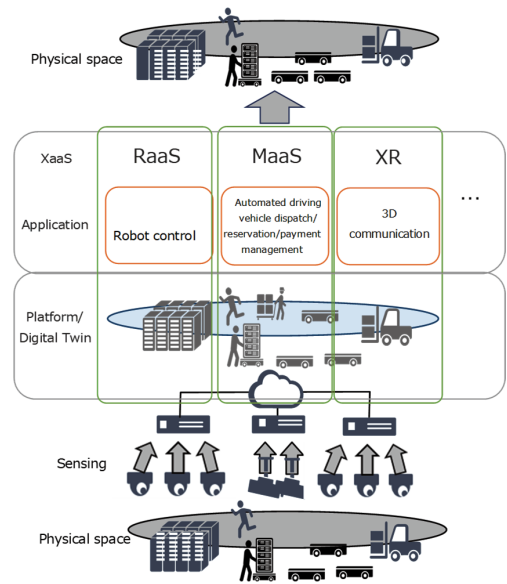
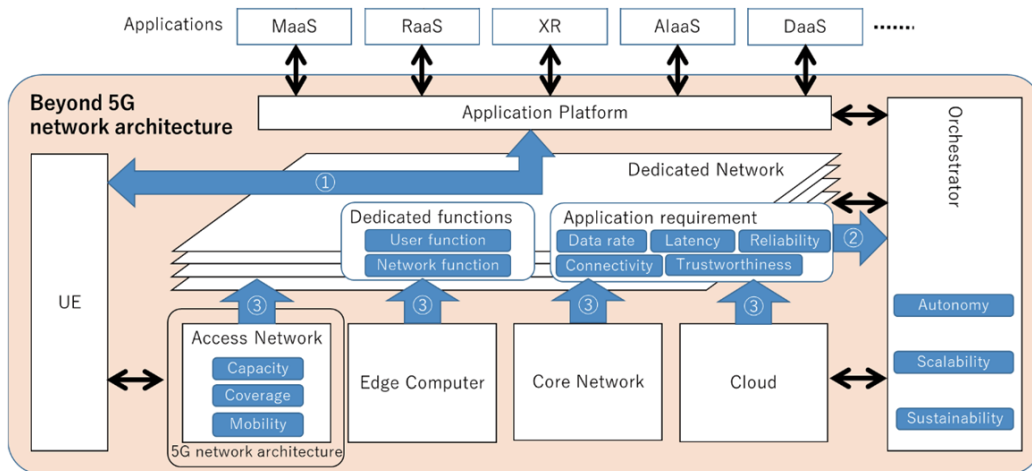


図5 Service (XaaS) and Platform/ Application technologies in CPS \* (\*図の一部は日本電気株式会社提供)



**Beyond 5G network architecture features:**

- ① Control for end-to-end communication.
- ② Application QoE aware
- ③ Integration of both network and computing resource.

図6 Beyond 5G ネットワークアーキテクチャ

また、通信網としての Beyond 5G で基本的な通信機能と性能を提供するキーとなる無線通信技術と光通信技術については、それぞれの技術の特長と概要、提供価値、役割の観点から動向検討と考察を行っている。提供する価値についてまとめた結果を表4に抜粋して示す。

## まとめ

Beyond 5G の目標指標と、その実現に資する技術開発動向について、白書の記載に沿って概説した。

2030 年に向けて Beyond 5G コンソーシアムが提唱する、包括的で持続可能かつ信頼できる社会の概念<sup>[16]</sup>を具現化するためには、想定されるユースケースを支える目標指標を満たす機能・特性と、実際に実装される技術が必要となる。

目標指標の達成に向けては、更なる検討と技術的なブレークスルーが必要と考えられ、引き続き継続的な検討が重要となる。

表3 Beyond 5G のセキュリティ要件

機能	セキュリティ要件
超高速・大容量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高速な暗号化・復号化</li> <li>・新セキュリティ監視・処理手法</li> </ul>
超低遅延	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シームレスなセキュリティアーキテクチャ</li> <li>・軽量なセキュリティ</li> </ul>
超同時多接続	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率的認証・認可</li> <li>・効率的セキュリティ監視・処理手法</li> </ul>
超低消費電力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セキュリティ機能のハードウェア実装</li> <li>・軽量なセキュリティアーキテクチャ</li> </ul>
超安全・信頼性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新セキュリティ監視・防御メカニズム</li> <li>・機密性・完全性・可用性のためのセキュリティメカニズム</li> <li>・攻撃・故障に対する耐性メカニズム</li> <li>・プライバシー保護メカニズム</li> <li>・異ノード・ドメインを含むネットワークの信頼性</li> <li>・提供サービスの利用料不正対応、アカウントビリティ、検証</li> </ul>

表4 無線通信技術と光通信技術の提供する価値

通信技術	提供する価値
新しい無線ネットワークボロジ	高安定、エコなサービス、柔軟な設置・運用
広帯域化・周波数利用高度化技術	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
RAT/エアインターフェースの高度化	超大容量・高速伝送
超高信頼性と低レイテンシの通信	ミッションクリティカルな業界をサポートほか
エネルギー効率改善と低消費電力化	持続可能・炭素中立な通信、情報処理サービスを提供
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	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
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	柔軟なサービスの提供、有限な電波資源の有効活用
ネイティブ AI ベースの通信	消費電力と周波数利用の面の効率化
光通信・伝送技術	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
光無線融合(Radio over Fiber(RoF))	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
光無線・音響通信	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

## 参考文献

- [1] Beyond 5G 推進コンソーシアム 白書分科会 “Beyond 5G ホワイトペーパー (1.0版) ～2030年代へのメッセージ～”, (2022年3月) <https://b5g.jp/output.html>
- [2] Beyond 5G Promotion Consortium White Paper Subcommittee, “Beyond 5G White Paper ～ Message to the 2030s ～”, (Mar. 2022) <https://b5g.jp/output.html>
- [3] 3GPP TS 36.101, (V17.2.0), “E-UTRA; User Equipment (UE) radio transmission and reception”, 2021-06.
- [4] 3GPP TS 38.101-1, (V17.2.0), “NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone”, 2021-06.
- [5] 3GPP TS 38.101-2, (V17.2.0), “NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone”, 2021-06.
- [6] 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) .
- [7] 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).
- [8] 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) .
- [9] 中村他, “屋内環境での100GHz帯までの遅延および角度スプレッド”, 信学技報 AP2020-105, (Jan. 2021) .
- [10] 中村他, “屋内環境シミュレーションによる300 GHz帯反射波の効果”, 信学総大 B-1-23, (2022年3月).
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 川西他, “THz帯NTN通信システムの設計”, 信学総大 CI-7-2, (2022年3月) .
- [15] Yutaka Miyake, “International Coordination in the R&D (4) Security,” Beyond 5G International Conference. Nov. 10, 2021.
- [16] 「Beyond 5G 推進戦略懇談会 提言」, Beyond 5G 推進戦略懇談会, (2020年6月) .