

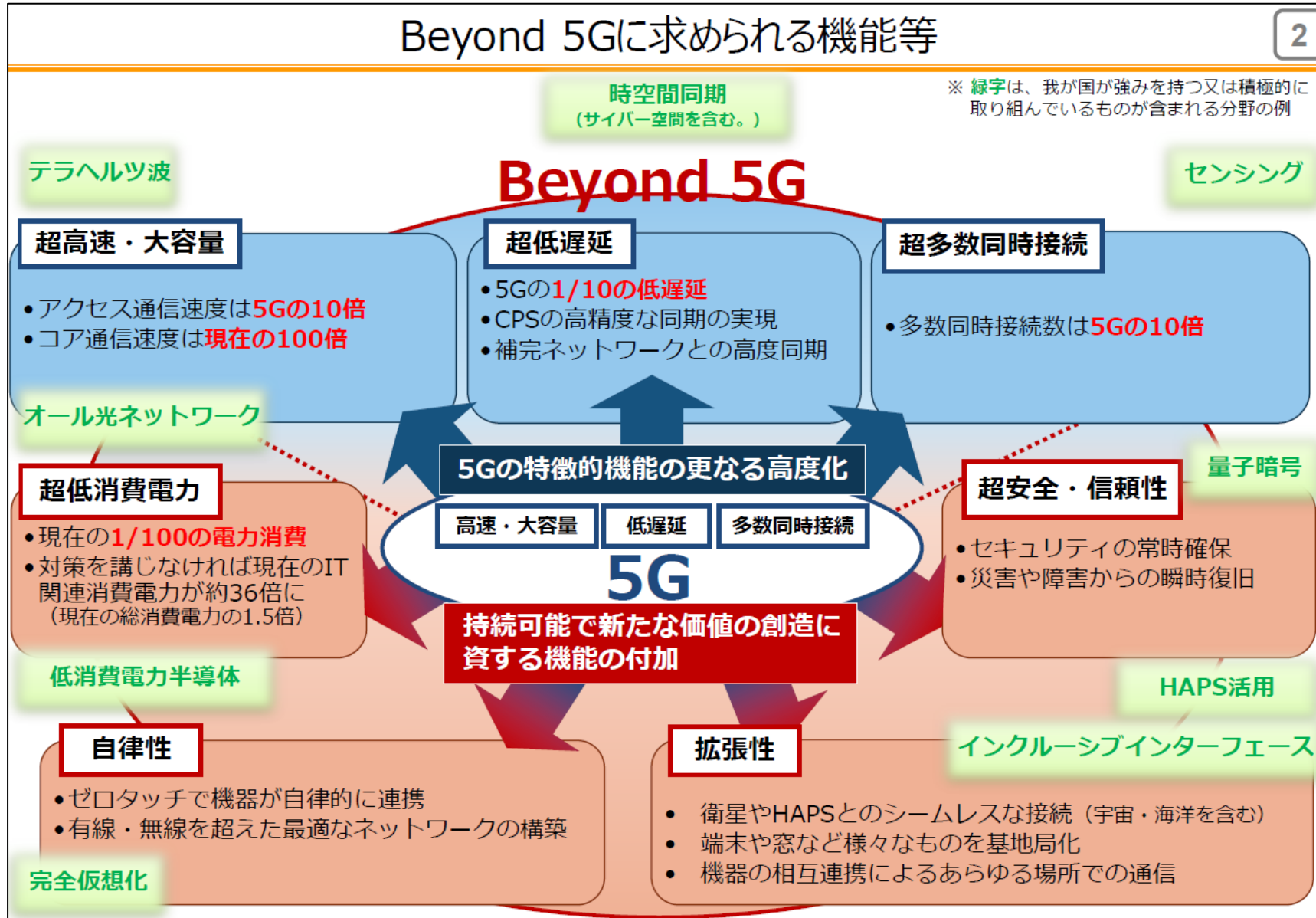


# 白書分科会 技術作業班の活動報告 ～Beyond 5Gの技術～

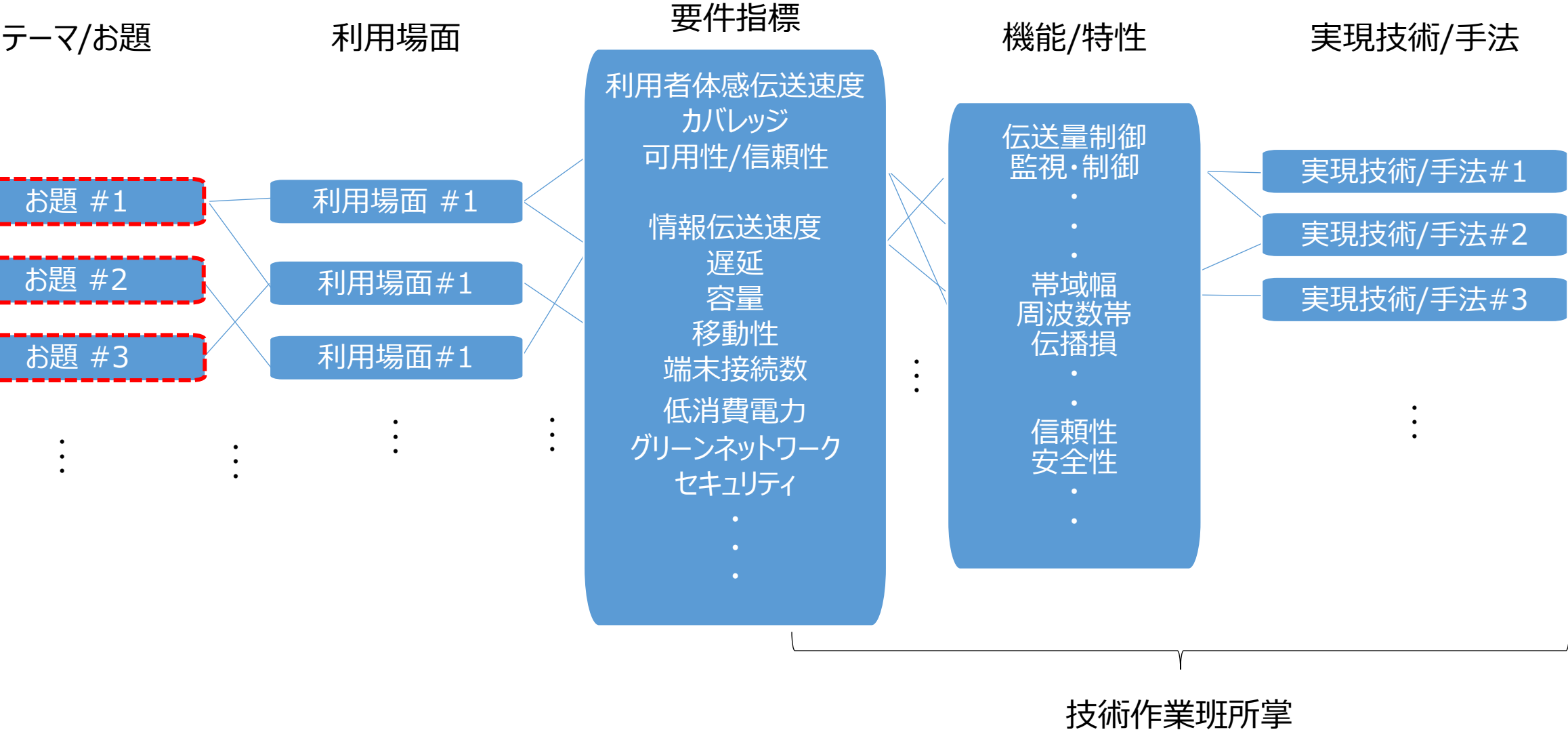
Beyond 5G推進コンソーシアム 企画・戦略委員会  
技術作業班

2022年2月28日

※本項は、2022/2/25時点の白書原稿から要約し作成したため、  
最終稿までに記載更新される可能性のある記述を含みます。



# 利用場面から実現技術/手法への写像



## **5. B5Gで求められるCapabilityとKPI**

### **5.1 B5Gで求められるCapabilityとKPI**

### **5.2 ターゲットKPI**

## **6. 技術の動向**

### **6.1 Beyond 5Gに向けた技術動向**

#### **6.1.1 市場の要請**

#### **6.1.2 携帯電話システムの展開状況**

#### **6.1.3 周波数資源の利活用技術**

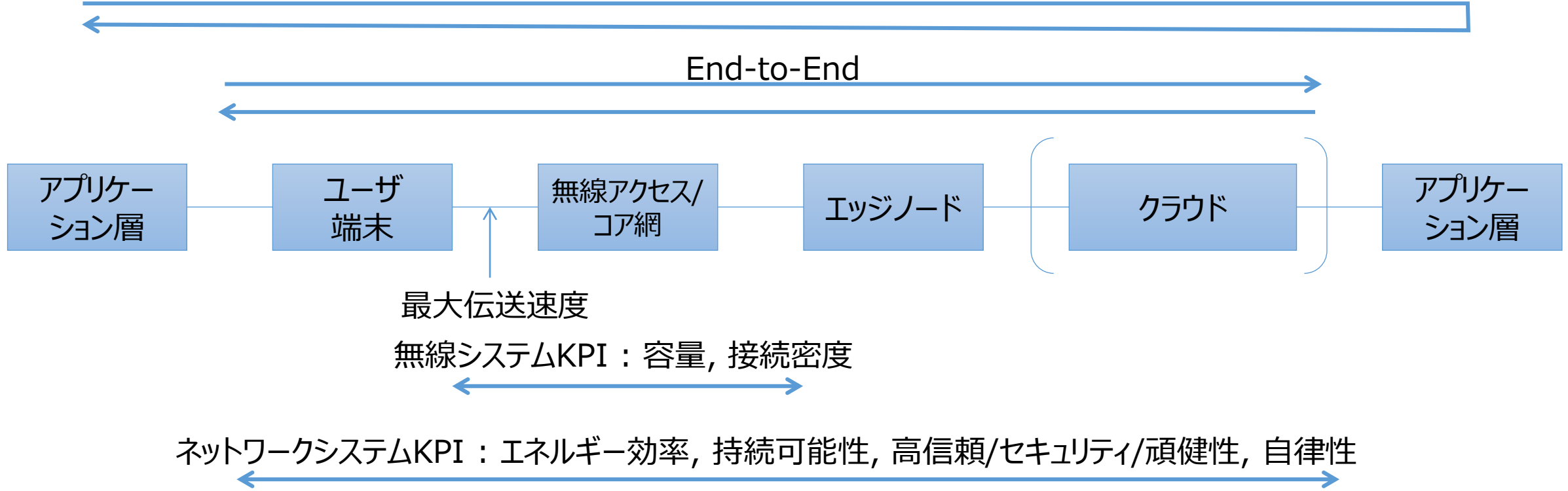
##### **6.1.3.1 周波数資源の利活用動向**

##### **6.1.3.2 電波伝播に関連する研究動向と成果**

定量的要求条件	Beyond 5G推進コンソーシアム (案)
ユーザ帯域 (DL/UL)	10-100Gbps typical and 1Gbps everywhere
ユーザ帯域 (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	1msec (一般)、0.1msec (特定のローカル通信)
ジッタ	1msec以下
応答時間	100msec (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 <sup>-6</sup> -10 <sup>-7</sup> (RAN)
位置測位精度	cmオーダー
端末密度	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup> 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%

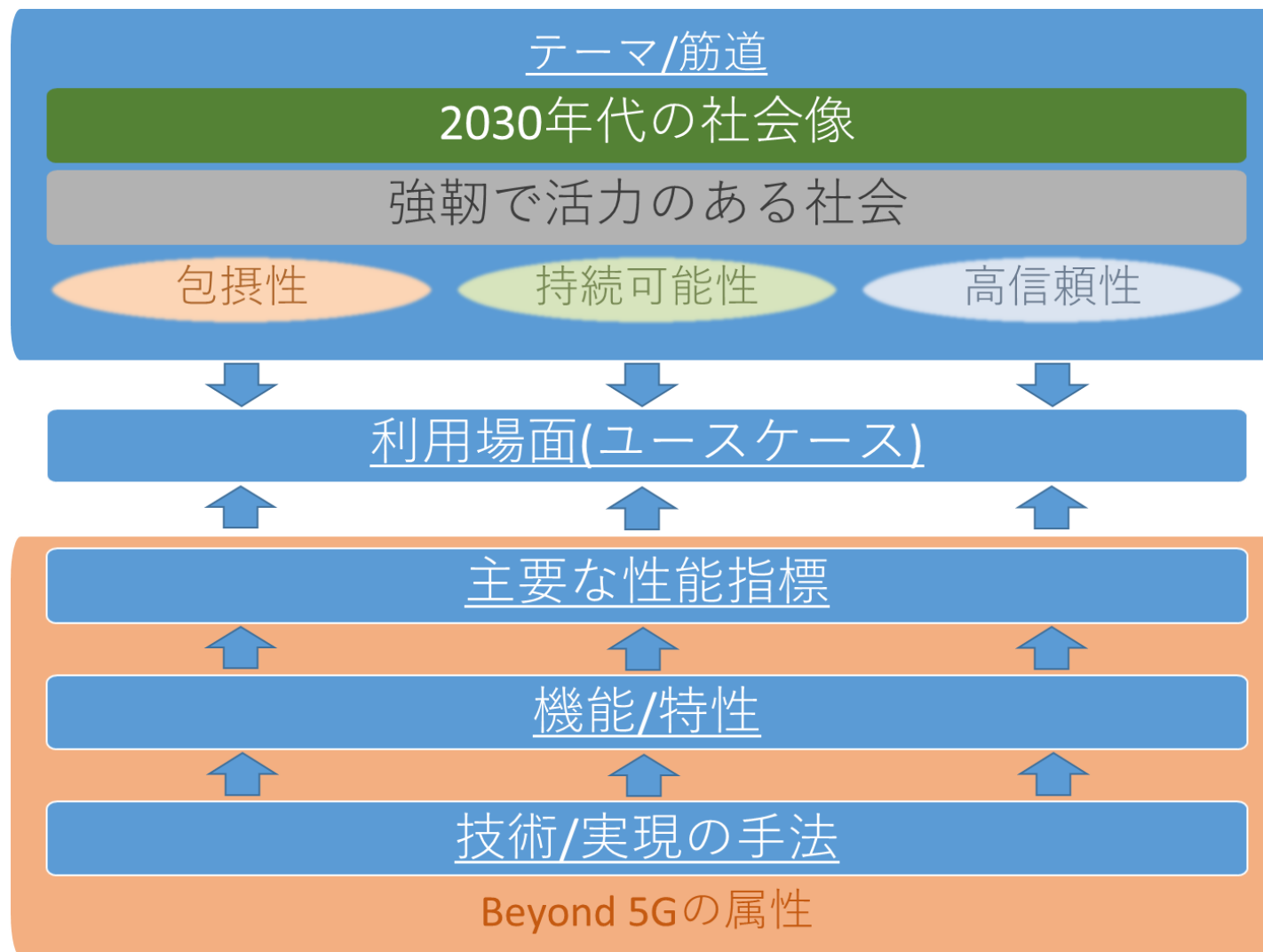
定量的要求条件	Beyond 5G推進コンソーシアム（案）
持続可能性	<ul style="list-style-type: none"><li>機器の低環境負荷化(環境対応材料の使用、再利用性向上)</li><li>機器の長寿命化(ソフトウェア拡張性やHWのモジュール構造化)</li><li>カーボンニュートラル(再生可能電源の利用)</li></ul>
セキュリティ/信頼性/頑健性	<ul style="list-style-type: none"><li>ピーク帯域を超える暗号処理速度(100Gbps以上)</li><li>量子コンピュータ時代でも耐えられる256bit鍵長への対応</li><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イス(Network API, application API)</li></ul>

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



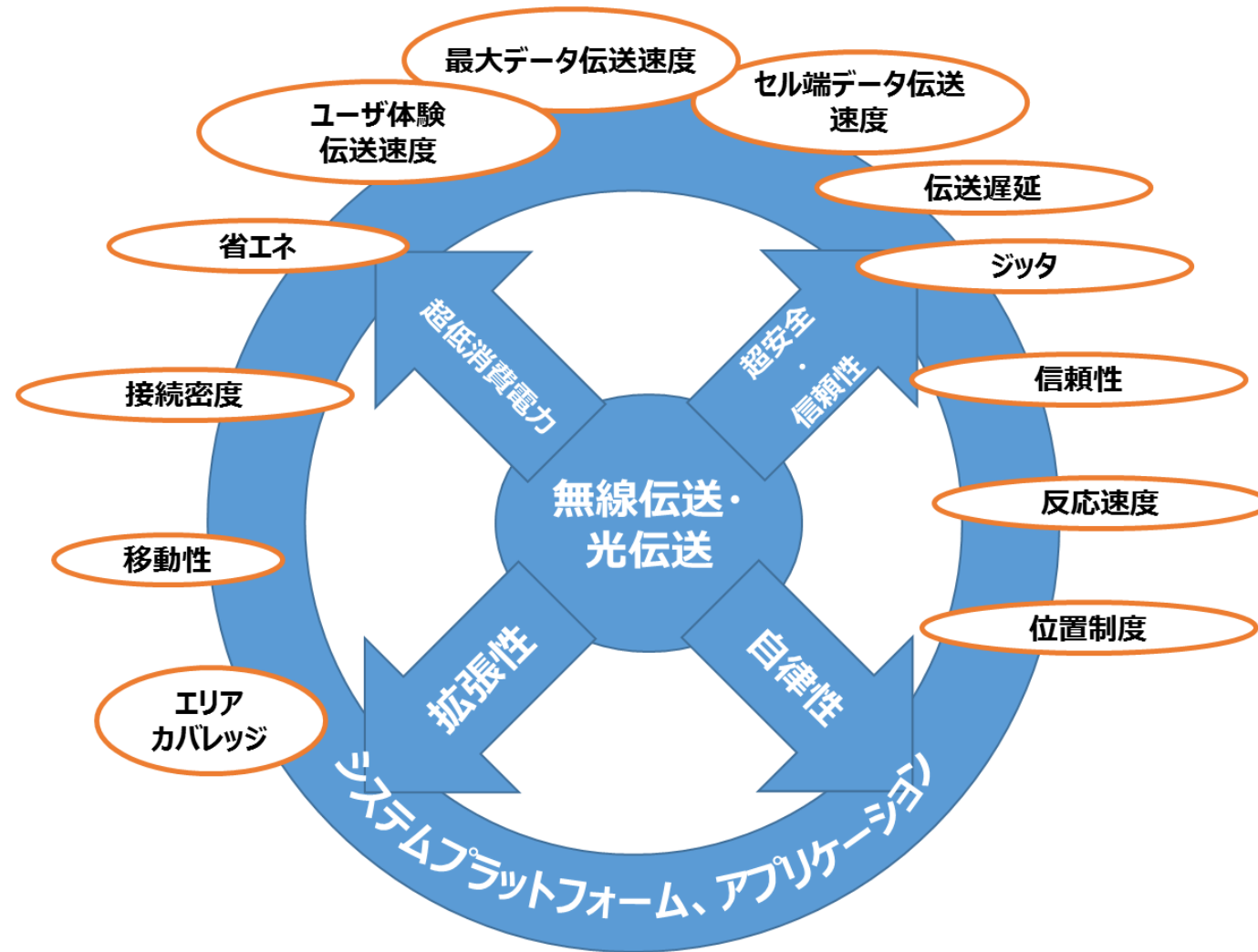
最大伝送速度  
無線システムKPI : 容量, 接続密度

ネットワークシステムKPI : エネルギー効率, 持続可能性, 高信頼/セキュリティ/頑健性, 自律性

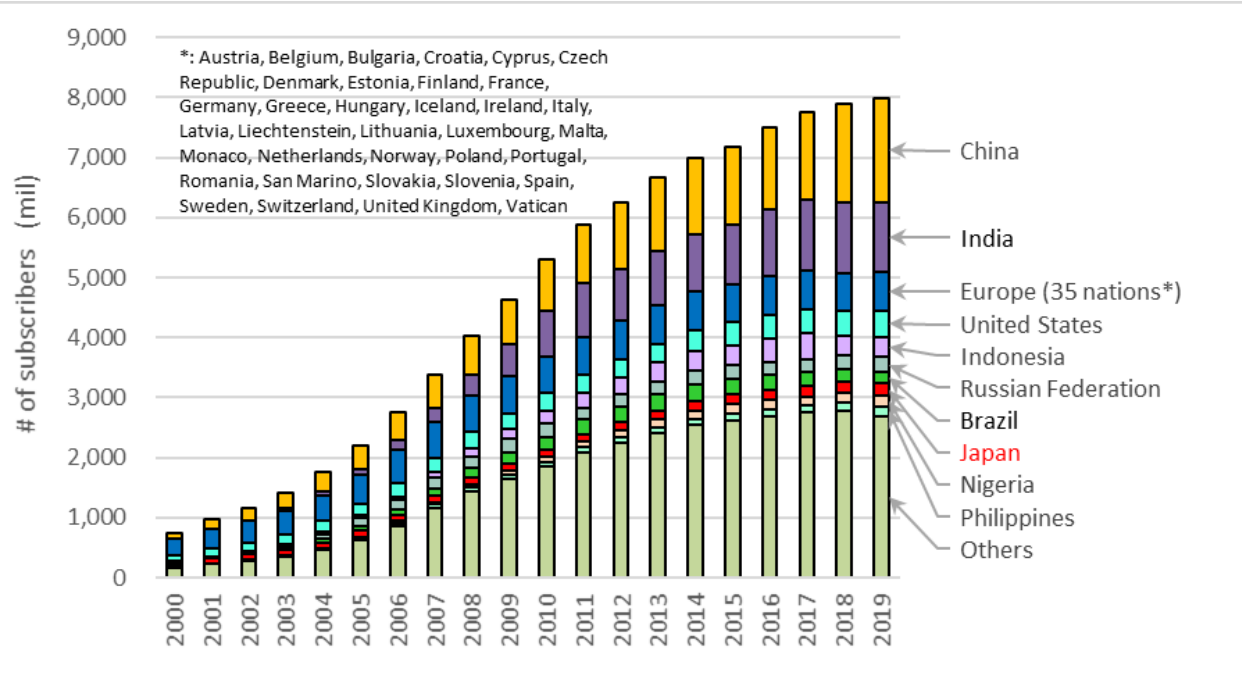


2030年代社会を支える技術、あるいは実現の手法

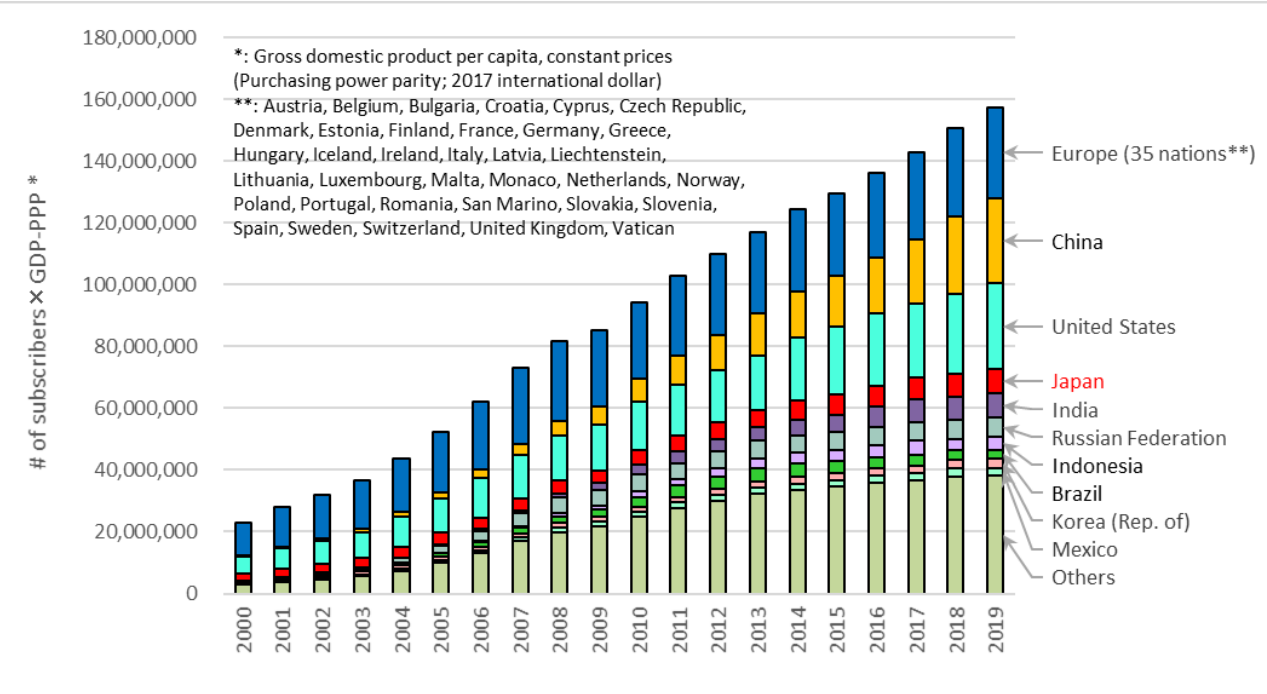




# 6.1.2 携帯電話システムの展開状況



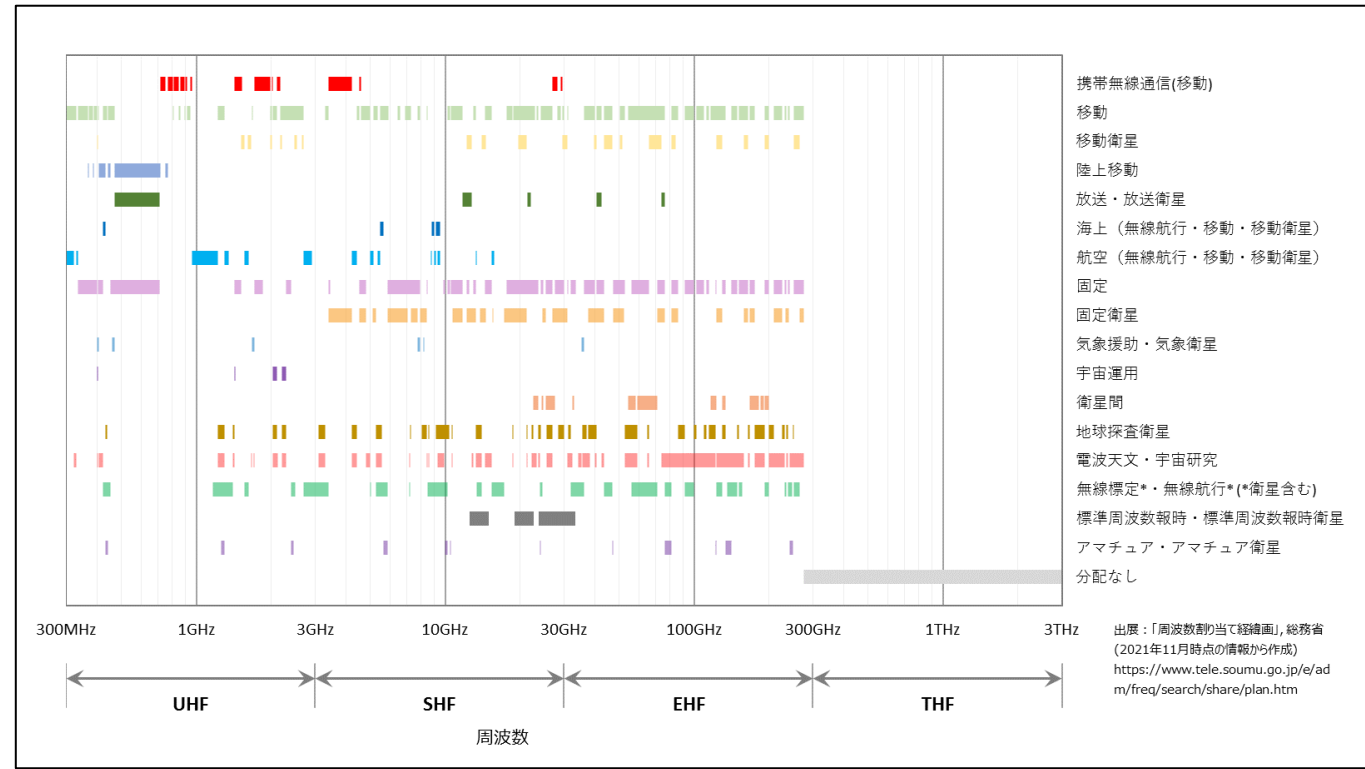
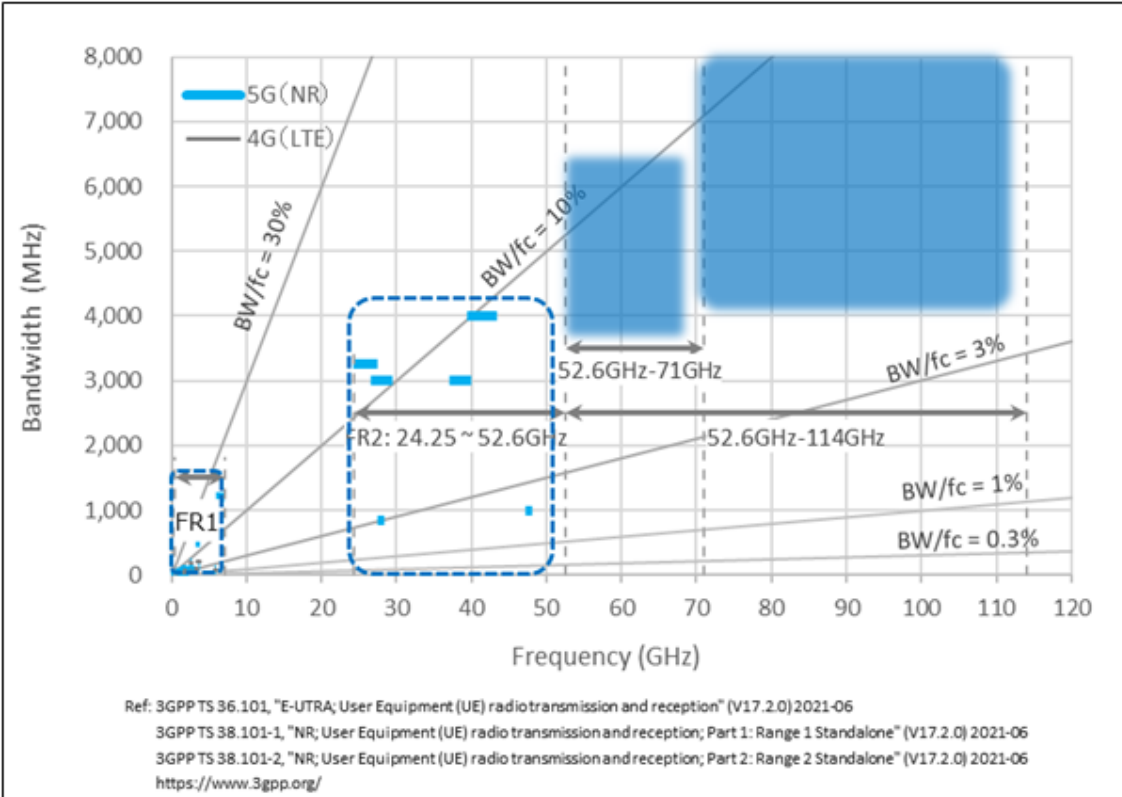
全世界の携帯電話の契約者数 [1]



携帯電話契約者数×GDP-PPP [1][2]

[1] "Mobile-cellular subscriptions (excel)", International Telecommunication Union, Telecommunication Development Sector (ITU-D), (November 2021).  
 [2] "World Economic Outlook Database", International Monetary Fund, October 2021.

# 6.1.3.1 周波数資源の利活用動向

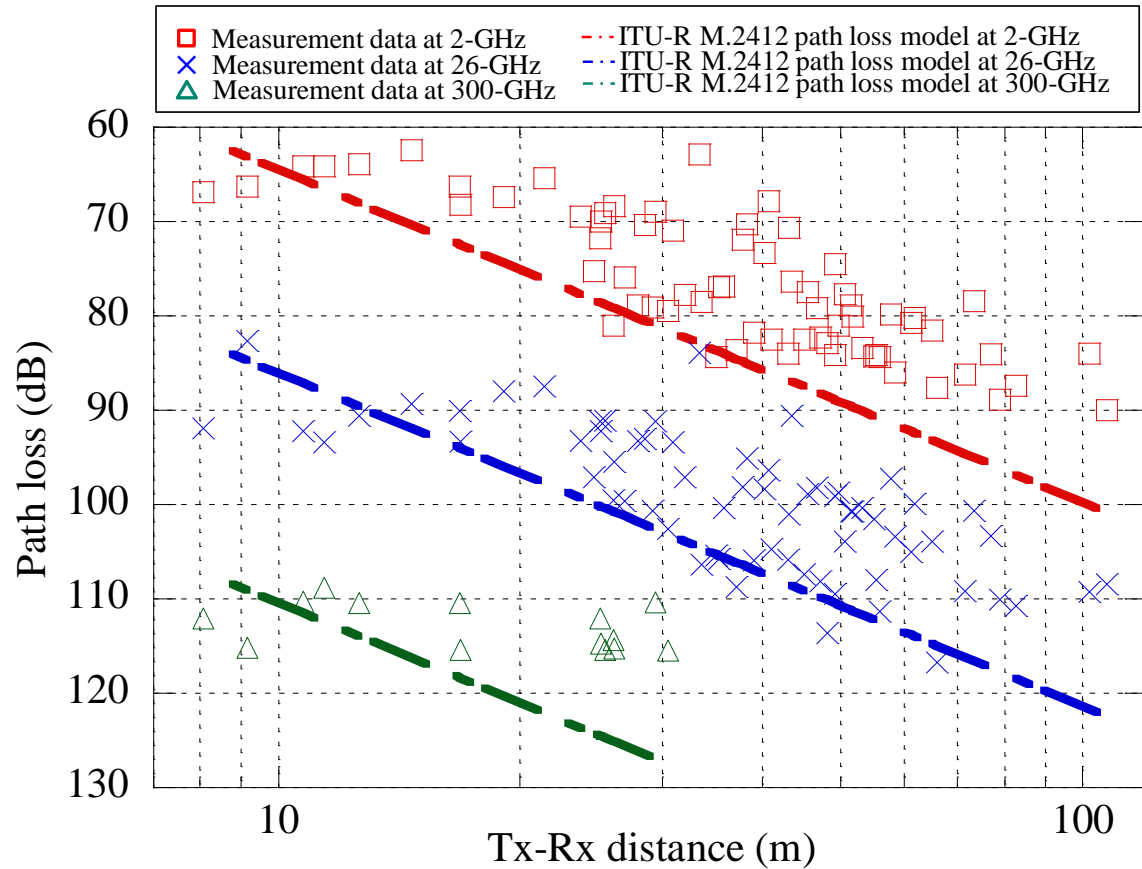


3GPP規格で規定されている4Gと5G用の周波数帯  
 [1][2][3]

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, (V17.2.0) 2021-06.  
 [2] "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone", 3GPP TS 38.101-1, (V17.2.0) 2021-06.  
 [3] "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone", 3GPP TS 38.101-2, (V17.2.0) 2021-06.  
 [4] 「周波数割り当て計画」総務省 (2021年11月時点の情報により作成).

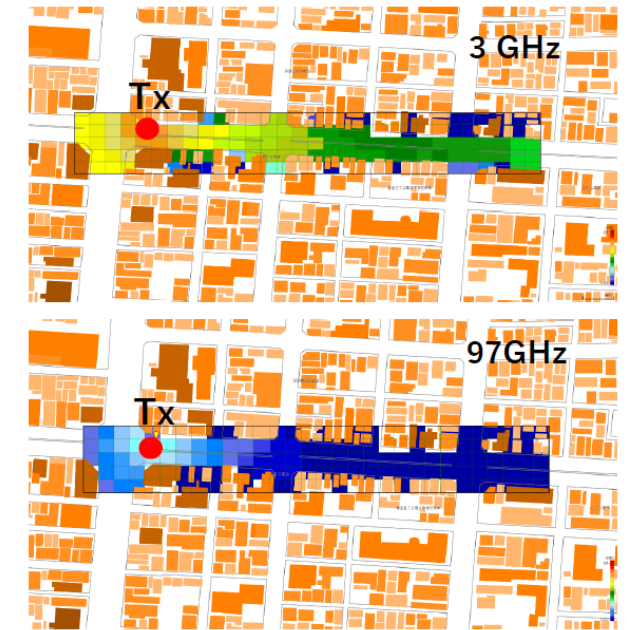
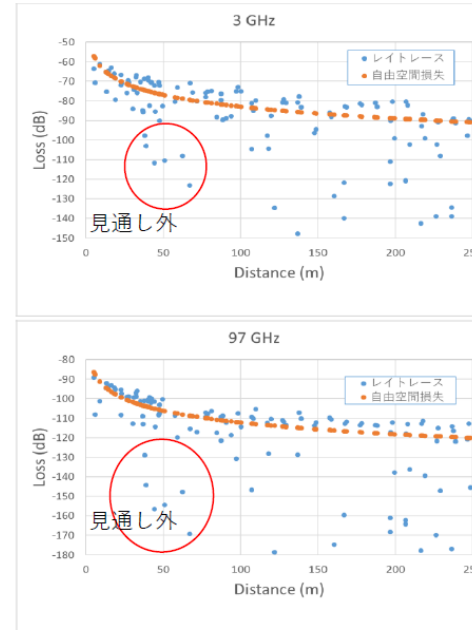
# 6.1.3.2 電波伝播に関連する研究動向と成果[1/2]



伝播損失特性の測定結果

[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)

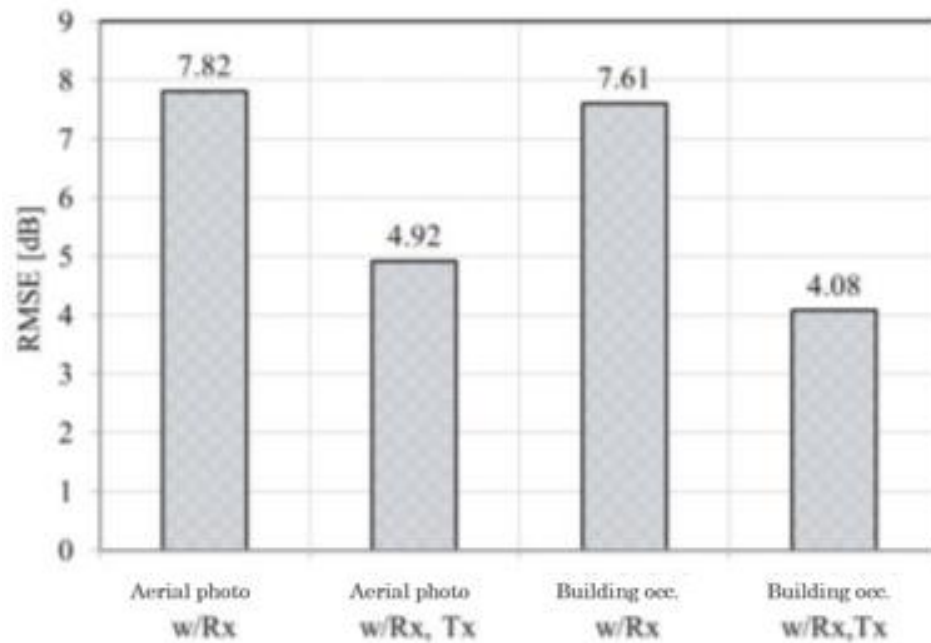
[2] 猪又他、「6Gに向けた市街地マイクロセル環境おる2-100GHz帯」, 信学技報A・P2021-51 (2021-08)



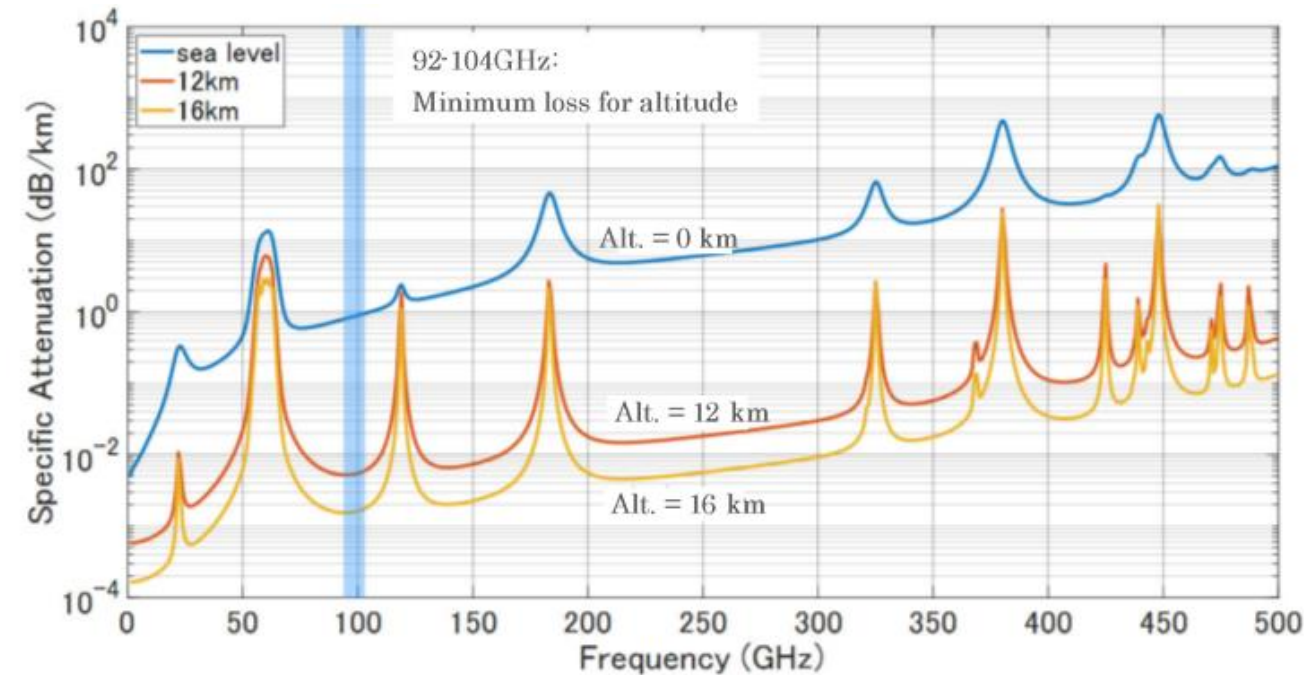
レイトレーシングと自由空間伝搬モデルの比較(市街地ストリートキャニオン環境) [3]

[3] [1] 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)

## 6.1.3.2 Radio Propagation related studies [2/2]



画像の種類の違いによる推定結果 [1][2][3]



大気ガス減衰モデルを用いた損失の対周波数特 [4][5]

- [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.

- [4] T. Kawanishi et.al, "THz communications for non-terrestrial-networks", [Manuscript submitted for publication] (in Japanese, Mar. 2022)
- [5] Recommendation ITU-R P.676-12(2019), Attenuation by atmospheric gases and related effects.

## 6.2 技術の進展要因・実現の手法

### 6.2.1 システムプラットフォームとアプリケーション

### 6.2.2 信頼性 (セキュリティ, プライバシ, レジリエンス(耐性))

### 6.2.3 ネットワークエネルギー効率の向上

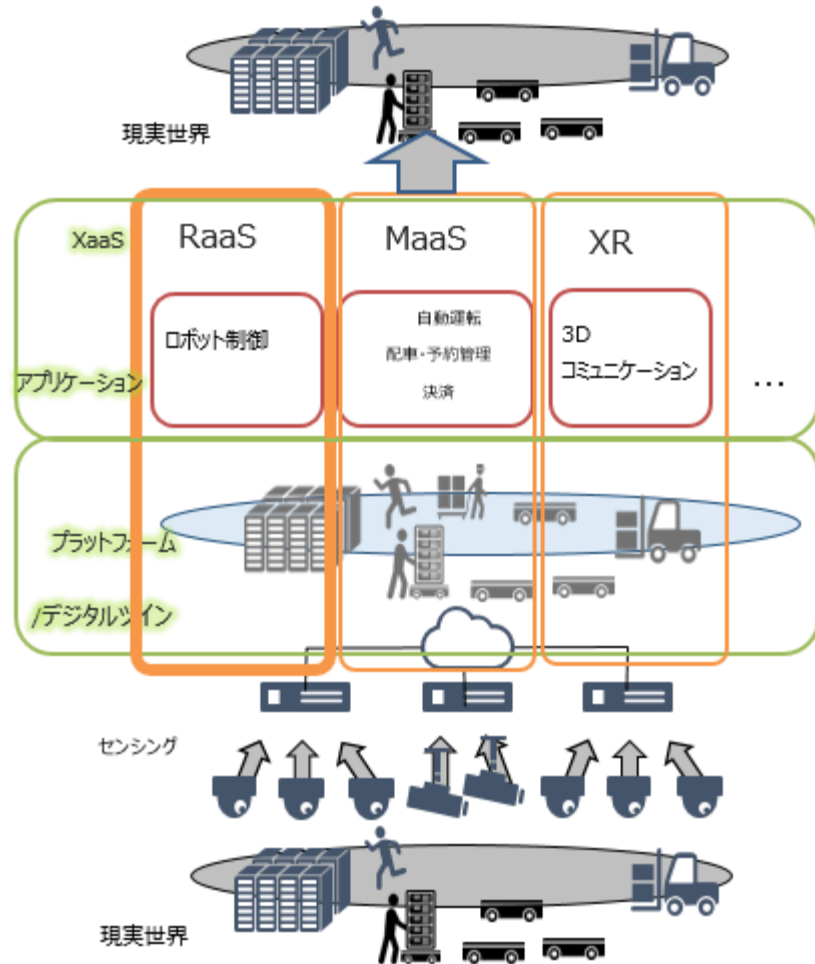
### 6.2.4 非地上系通信網(NTN)によるカバレッジ拡張

### 6.2.5 ネットワークアーキテクチャ

### 6.2.6 無線通信技術と光通信技術 (6.2.6.1~6.2.6.11)

新しい無線ネットワークトポロジ / 広帯域化・周波数利用高度化技術 / さらなる RAT/エアインターフェースの高度化 / 超高信頼性と低レイテンシの通信をサポートする技術 / エネルギー効率改善と低消費電力化技術 / 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 / 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 / ネイティブAIベースの通信のための技術 / 光通信・伝送技術 / 光無線融合 (Radio over Fiber (RoF)) / 光無線・音響通信





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

\*図の一部は日本電気株式会社提供.

## 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

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	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>• 軽量のセキュリティ</li> </ul>
超同時多接続	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 効率的認証・承認</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>• ハードウェアにおけるセキュリティメカニズム</li> <li>• 軽量の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>• 提供サービスのアカウントビリティ、検証</li> </ul>
自律性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 信頼できる機関なしでのトラストメカニズム</li> </ul>
拡張性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 異ネットワーク/ドメイン間の相互運用可能なセキュリティメカニズム</li> </ul>

### Beyond 5Gネットワークへの統合が期待される信頼性技術

- **ネットワーク信頼性技術**
  - 分散型台帳技術を用いた多角的トラストモデル
  - コンフィデンシャル・コンピューティング
  - セキュリティ機能, 分析技術および支援
  
- **その他の信頼性技術**
  - AIセキュリティ
  - 量子計算に関する技術

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



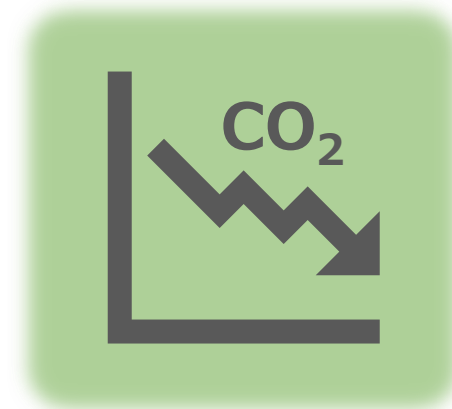
## Beyond 5Gのエネルギー効率の目標

- 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



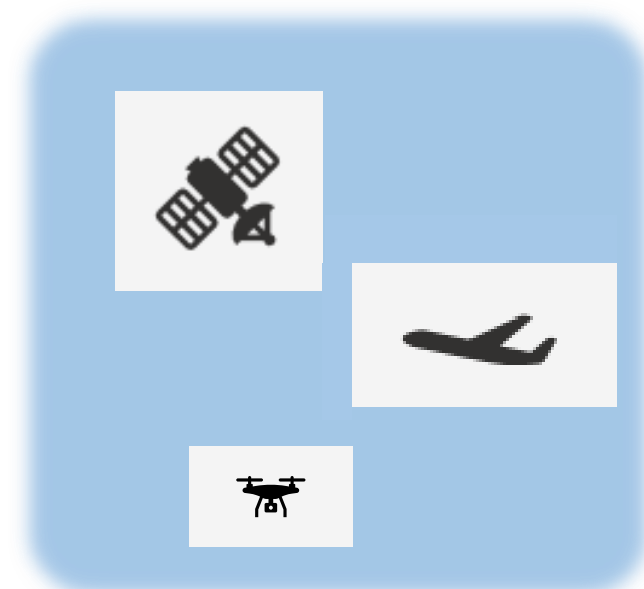
非地上ネットワーク (NTN) は、将来のIMTのカバレッジを地上から上空、宇宙まで拡大させ、通信のユビキタス化を実現するとともに、無人システム、モニタリング (映像・データ)、モバイルeMBB、IoT、物流システムとの接続、緊急時のバックホール、スマートフォン連携などの新しいユースケースが期待される

■ 2030年代に向けた研究開発課題:

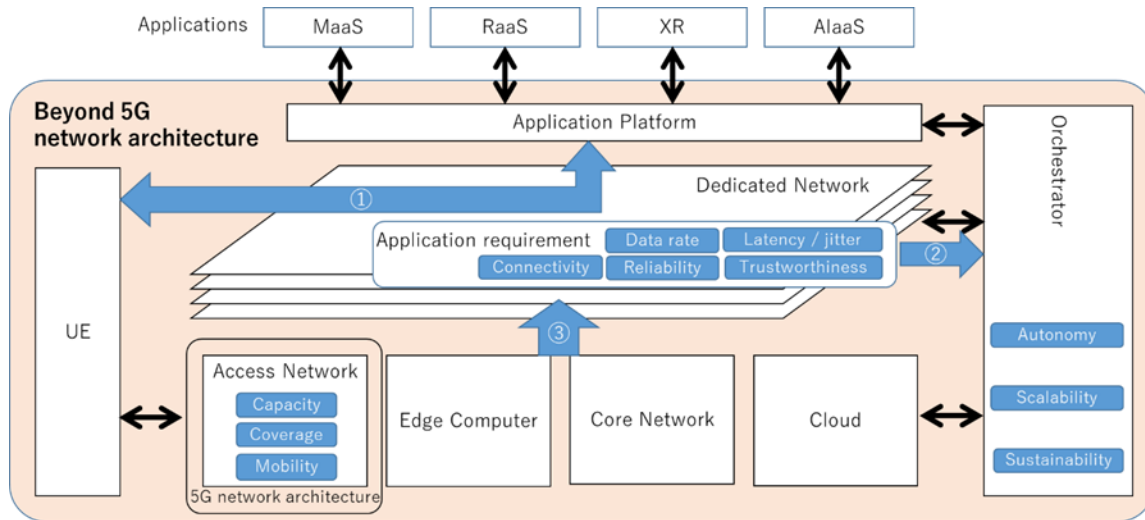
超高速・大容量化, 低遅延化, IoT向けの多数接続, 光通信技術, 最適経路接続技術及びマルチコネクティビティ技術, 量子暗号化通信, 自律的な運用, エッジコンピューティング技術

■ NTNの提供形態:

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



1. 高度に進展する通信インフラを抽象化し、RAN（Radio Access Network）、コアネットワークに加えてEnd-to-End通信に必要なインフラ機能を提供
2. アプリケーションが要求するEnd-to-Endの性能、ユーザ体感品質(Quality of Experience, QoE)を指標化
3. ネットワーク機能最適化、通信リソース+コンピューティングリソースの提供



**Beyond 5G network architecture features:**

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

- ネットワークアーキテクチャ
  - RANおよびコアネットワークの仮想化
  - vRANによる分散コンピューティング
  - サービスエンティティ間のIP接続性
  - ネットワークAIアーキテクチャ
- ユーザ/アプリケーション中心の通信アーキテクチャ
  - ユーザ中心のアーキテクチャ
  - アプリケーションを考慮したネットワーク最適化
- ネットワーク自律運用

節	タイトル	特長・強み	提供価値	役割	技術概要
6.2.6.1	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
6.2.6.2	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
6.2.6.3	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
6.2.6.4	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
6.2.6.5	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
6.2.6.6	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
6.2.6.7	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
6.2.6.8	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
6.2.6.9	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
6.2.6.10	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
6.2.6.11	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

