

Beyond5G推進コンソーシアム

白書分科会

2023年8月29日

欧州のB5G活動報告

専門分野・略歴・メールアドレス

■ 飯塚 留美 (Rumi IIZUKA) (シニア・リサーチディレクター)

- 電波制度・政策
- 海外のICT分野における電波制度・政策にかかわる調査研究に従事。2009年1月より総務省情報通信審議会専門委員。
- iizuka@fmmc.or.jp



内容：電波認識デジタルツインへの期待

■ 持続可能で信頼できる6Gに向けて

TOWARDS SUSTAINABLE AND TRUSTWORTHY 6G

CHALLENGES, ENABLERS, AND
ARCHITECTURAL DESIGN

ÖMER BULAKÇI, XI LI, MARCO GRAMAGLIA,
ANASTASIOS GAVRAS, MIKKO UUSITALO,
PATRIK RUGELAND AND MAURO BOLDI
(Editors)

人類社会が直面する課題への対応

- 今日のグローバルな環境・経済・社会・政治課題に影響を与えるあらゆる課題に対処するには、グローバル経済・社会のさらなる持続可能なデジタル化が必要。なかでも、**ワイヤレス・ネットワークは、変革を可能にする要。**

2030年以降の社会動向

- ネットワーク技術は、持続可能な世界を目指す変化を支援し、加速させるもの。
- ネットワーク産業は、社会に対する貢献と責任の分担を増やし、資源の利用効率を大幅に向上させ、今後数十年間の新たな**持続可能な生活様式**を促進するもの。

2030年以降の経済動向

- 次世代の産業は、**物理世界、デジタル世界、人間世界が一体**となったもの。
- 未来のネットワークは、高度な技術力と、人間中心の設計により、変革を実現する重要な存在。

2030年以降の規制動向

- 周波数管理
 - 多様な周波数帯域へのアクセスの提供
 - 多様なニーズへ対応できる**周波数共用モデル**の開発
- 周波数割当ての精緻化
- 新たな問題は、電磁波曝露

2030年以降の技術動向

- 接続と通信の性能と容量の向上
- グローバルなモバイル通信による世界経済の促進
- 産業分野における効率化と、グローバル・ロジスティクス・チェーンの促進
- インタラクティブメディアによる斬新なサービスと、新産業の創出

コスト削減と効率向上に向けた技術の進化

- ネットワーク・アーキテクチャの再構築
- ネットワーク容量の向上
- 新しいデバイスとインターフェース
 - モノのインターネット (IoT) デバイスの、ユビキタス性と寿命は、印刷可能な**環境発電デバイス**をどこにでも配置できるゼロコストかつゼロエネルギー・デバイスを通じて、さらに強化。
- ネットワークのネットワーク
 - **デジタルツイン (DT)** では、ローカルセンサーから収集された大量のデータが、ゲートウェイによって処理される毛細管サブネットワークを構築するが、並行して、広域ネットワークは、モビリティとカバレッジを処理。
- 信頼できるネットワーク
- 持続可能な 6G と持続可能性のための 6G

未来のコネクティビティを形作る破壊的な技術

- 通信、ローカライゼーション、イメージング、センシングの融合
- ネットワーク・インテリジェンス
- **デジタルツイン**
 - デジタルツイン (DT) は、生物又は無生物の実態、物理的な物体、またはプロセスの、デジタルレプリカである。仮想的な表現は、元の物理的な物体のライフサイクルを通じて、全ての関連するダイナミクス、特性、重要なコンポーネント、重要な資産を反映する。
 - DTの作成と更新は、タイムリーで信頼性の高いマルチセンスワイヤレスセンシング (テレメトリー) に依存し、**サイバーフィジカルインタラクション**は、ワイヤレスデバイスが埋め込まれた多くのインタラクションポイント上での、タイムリーで信頼性の高いワイヤレス制御に依存する。

ユースケース：進化的か、革新的か

人類社会の進化の方向性が、ユースケースを特定

- 社会的、経済的な進化のトレンドが、6Gに関連するユースケースの特定を後押し。
- 6Gユースケースは、新しい機能に基づいて構築される、進化的なユースケースと、革新的なユースケースの両方を含む、広範で汎用的なユースケースファミリに分類。

進化的なユースケース

5Gユースケースを新たな機能で拡張・充実

- モバイルブロードバンドアクセスへの**非地上ネットワーク**や**衛星**の組み込み。
- デバイスの性能やフォームファクターの向上、ネットワークの改善による、XRの固定利用から、屋外利用への広がり。
- 5Gユースケースの利用範囲の拡大や、過酷な条件下での利用可能性。

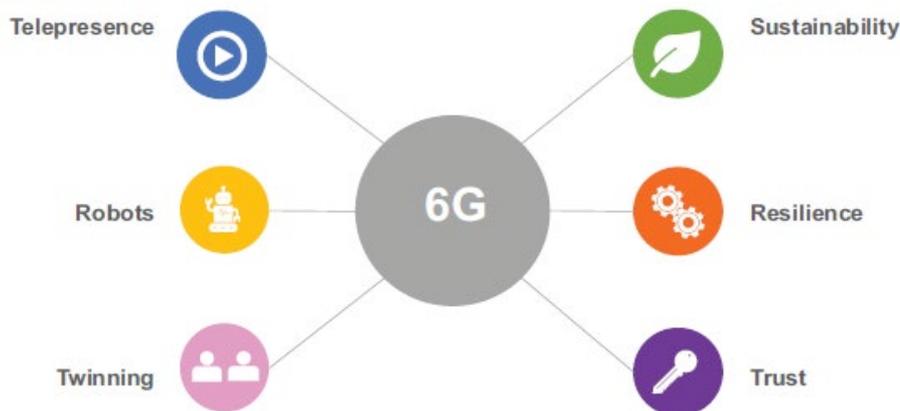
革新的なユースケース

社会を変革し恩恵をもたらす新たな地平を開拓

- 共同通信・センシング、統合AI機能、**環境エネルギー発電**に依存するエネルギーニュートラルデバイスなど、斬新な機能を導入。
- さまざまな分野や業種と協力して「**持続可能性のための6G**」ユースケースを開発。
- 他分野における、**環境負荷の削減に貢献**するツールとしての、新たな役割。

大規模展開をサポートするために、機能向上が求められるユースケース

【6Gの一般的なユースケース群】



ツィニング

- デジタルツイン（DT）のコンセプトは6Gで拡張され、環境の完全なデジタル表現の利用を一般化し、様々な活動分野への、様々なフローやオブジェクトの制御、管理、保守を強化する。
- 環境のデジタル表現を取り込み、保存し、分析し、配信するには、センシング、計算オフロード、多数のデバイスへの低遅延での接続性を同時に組み込んだ、これまでにない規模のシームレスなネットワークが必要になる。

テレプレゼンス

- 没入型体験は、5Gで経験したXRの進化から、モビリティ、信頼性、スケールが向上し、物理世界とデジタル世界を完全に融合させた完全没入型体験まで、様々なユースケースの中心的テーマであり、その没入の度合いは様々である。
- 既存技術の拡張と進化の両方を活用し、接続性を提供するだけでなく、ローカライゼーション、センシング、計算オフロードなどの新機能を組み込む。

ロボット

- 6Gの発展と並行して、ロボットと自律システムの進化は続き、ロボットは仕事でも個人でも日常生活の一部になる。
- ロボットは互いに協調し相互作用するが、人間とも相互作用する。ロボットの一般化は、生産性を向上させるだけでなく、人間の日常生活を支援するソリューションを提供し、障害者のケアなどの社会的需要に応える。
- ユースケースの多くは既存の技術で対応できるが、同時信頼性、高ビットレート、低遅延に対する要求の高まりから、新しいアプローチが必要となる。

取り組む研究課題と価値に応じて、特定されるユースケース

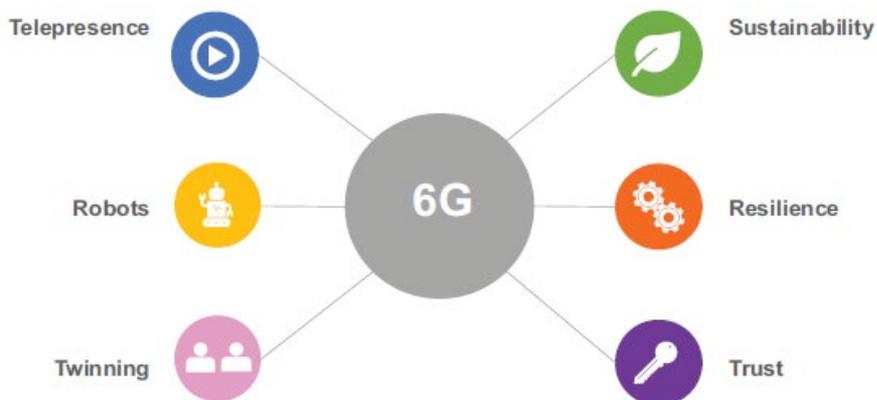
持続可能性

- 6Gは、様々な業種において、環境負荷の低減に貢献する新たなユースケース（農業、工業、物流、スマートシティなど）を可能にするソリューションとなる。
- 6Gは、主要機関へのアクセスを容易にし、医療や教育へのアクセス、不平等の是正といった人権を強化することで、社会的要請に応えることにも貢献できる。

回復力

- 様々な6Gユースケースは、レジリエントなインフラ上に構築され、ネットワークの複雑さや、起こりうる状況や事象にもかかわらず、サービスの提供と品質を保証する。
- レジリエントな6Gネットワークは、主要な用途（自動車分野など）を改善・発展させたり、新たな用途（公衆保護の促進など）を開発するための資産となり得る。

【6Gの一般的なユースケース群】



トラスト

- 6Gネットワークにおける高水準の信頼は、機密情報や業務に関わる様々なユースケースの前提条件となる。

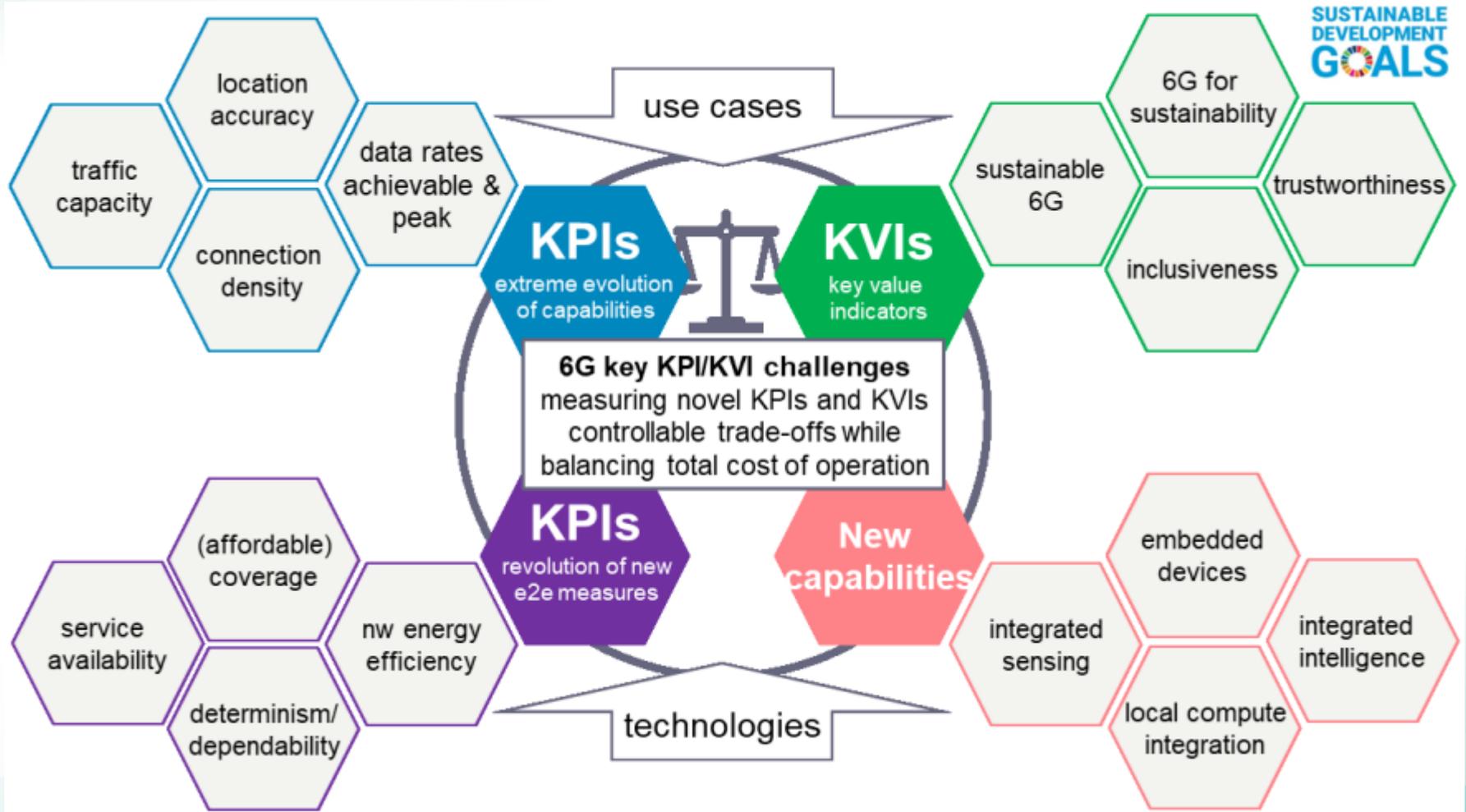
出所 : Publication Date: 06 Jun 2023, Towards Sustainable and Trustworthy 6G: Challenges, Enablers, and Architectural Design
<https://5g-ppp.eu/new-6g-book-led-by-the-5g-ppp-architecture-wg-and-the-hexa-x-project/>

参考 : Hexa-X architecture for B5G/6G networks – final release (Deliverable D1.4, Date of delivery: 01/07/2023)
<https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2023/07/Hexa-X-D1.4-Final.pdf>

6Gの要件 : KPIと、KVI

KPI（主要性能指標）とKVI（主要価値指標）のクラスタリング

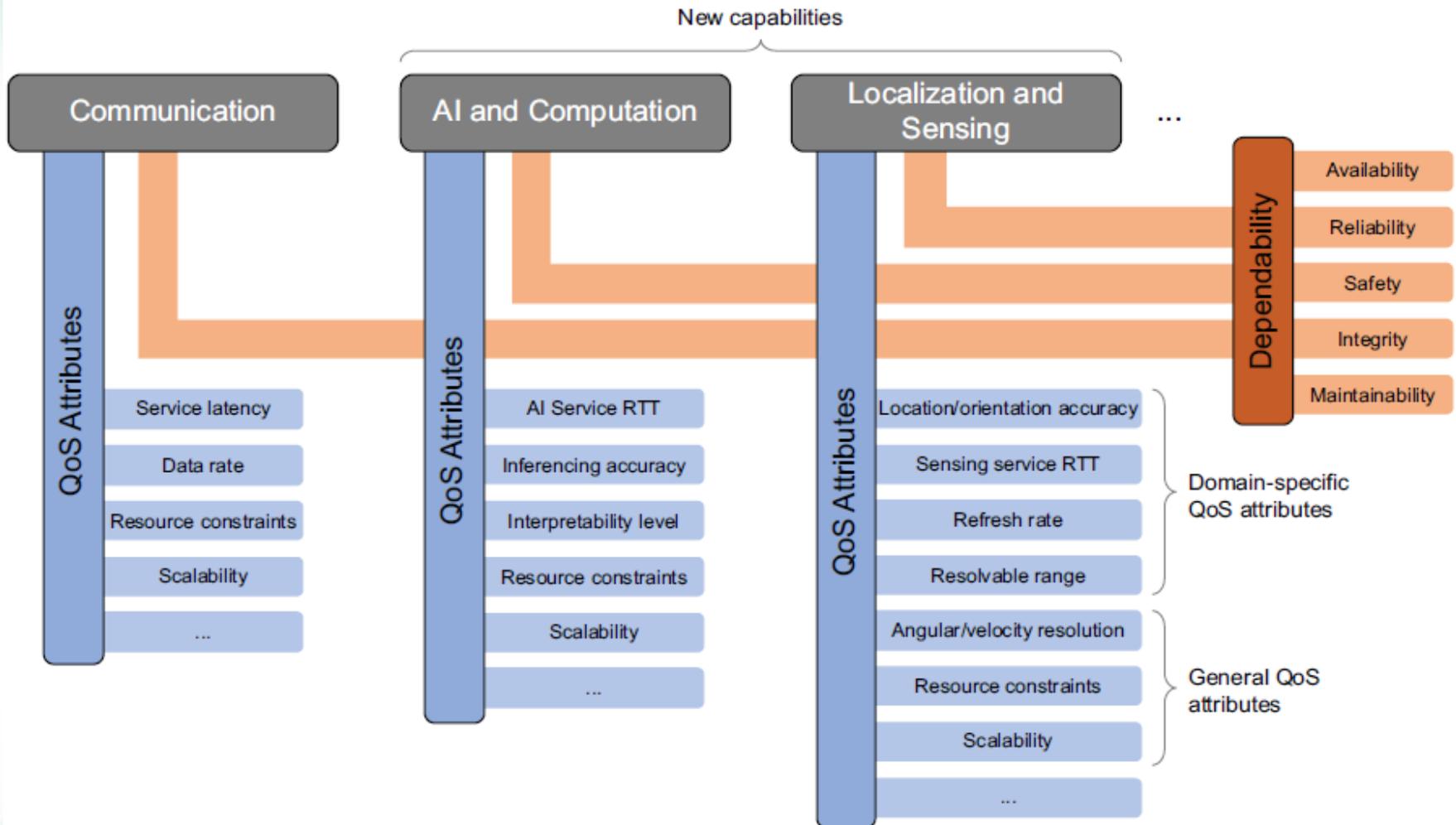
- ユースケースがキーバリューに貢献できることを説明するためにKVIを使用。



出所 : Hexa-X, "D1.1 – 6G Vision, use cases and key societal values," 28 February 2021.

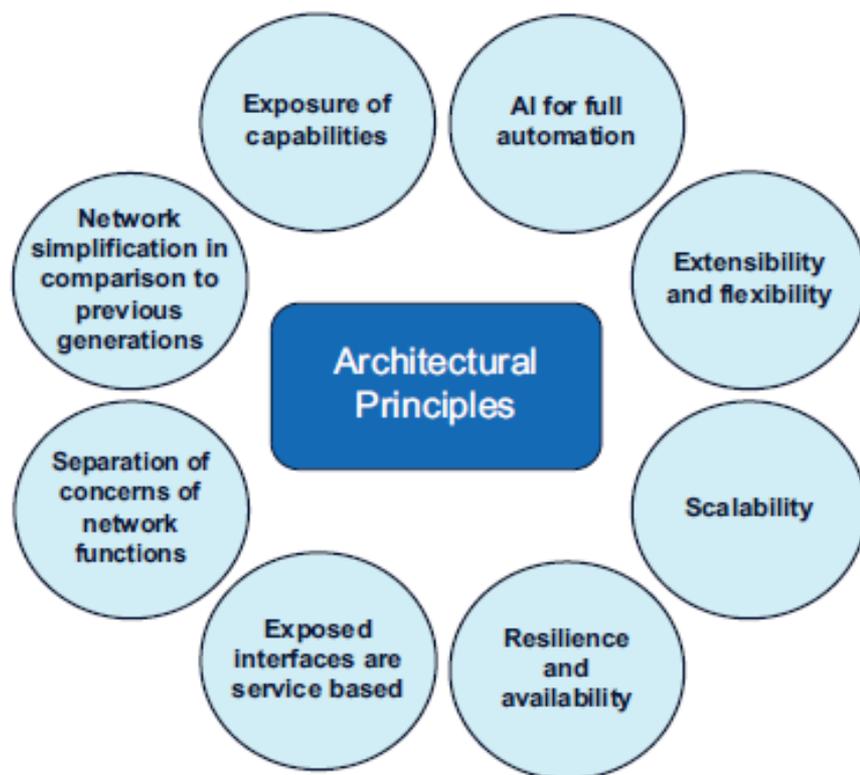
https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/02/Hexa-X_D1.1.pdf

E2E (End-to-End) ユースケースに着目した、新たなKPIが追加



出所 : Publication Date: 06 Jun 2023, Towards Sustainable and Trustworthy 6G: Challenges, Enablers, and Architectural Design
[https://5g-ppp.eu/new-6g-book-led-by-the-5g-ppp-architecture-wg-and-the-hexa-x-project/Hexa-X, "D1.3 - Targets and requirements for 6G - initial E2E architecture," 28 February 2022](https://5g-ppp.eu/new-6g-book-led-by-the-5g-ppp-architecture-wg-and-the-hexa-x-project/Hexa-X,)
https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2022/03/Hexa-X_D1.3.pdf

6Gアーキテクチャ開発ガイドラインとして、8つのアーキテクチャ原則が定義



原則1：能力の公開

原則2：完全自動化のためのAI

原則3：拡張性と柔軟性

原則4：スケーラビリティ

原則5：回復力と可用性

原則6：サービスベースの公開インターフェース

原則7：ネットワーク機能の懸念事項の分離

原則8：旧世代との比較におけるネットワークの簡素化

持続可能な6Gネットワークに向けて

気候変動の最重要性を考慮した、持続可能性のあるKPIの特定

- 他部門への実現効果
- 経済目標
- エネルギー効率の向上



6Gの持続可能性目標の補完

ハードウェア、計画、展開、運用、機器全体のライフサイクルなど、ネットワーキングの持続可能性のすべての側面を一緒に考慮。

ネットワークの持続可能性を可能にする技術

- エンドツーエンド（E2E）のクロスレイヤー設計と最適化の深化に加え、**エネルギー効率を統合**したネットワーク設計基準を採用。

1. 展開レベルにおける持続可能性の実現手段（Enablers）

- 持続可能な仮想エラスティック・エッジコンピューティング・アーキテクチャ
- エネルギーニュートラルなデバイス

3. サービス/アプリケーションレイヤーにおける持続可能性の実現手段

- 持続可能なアプリケーション対応（application-aware）ネットワーク

2. ネットワーク/管理レベルでの持続可能性の実現手段

- 仮想エラスティック・インフラストラクチャにおける、コスト効率の高い計算リソース割当て
- 仮想エラスティック・インフラストラクチャにおける、コスト効率の高い共同ネットワーク、コンピューティング、およびストレージリソースの割当て
- エネルギー効率の高い、共同ネットワーク、コンピューティング、およびストレージのリソース割当て
- エネルギーとEMFを考慮した共同ネットワークと計算リソースの割当て

ネットワークの持続可能性を可能にする技術（続き）

4. クロスレイヤーにおける持続可能性の実現手段

- 持続可能な電波認識デジタルツイン (radio-aware digital twin)

■ デジタル・ツイニングは6Gの主要技術

- 再生可能エネルギー資源と組み合わせることで、環境に優しいネットワーク・ソリューションを目指し、さらなる持続可能性の向上を達成。

デジタルツイン

- 物理的な資産やプロセスを、最新のデジタル/バーチャルで表現したもので、プロセスの状況をシミュレートまたは予測。
- デジタルツインは、オペレーションを最適化し、より高いレベルの生産性と効率を可能にし、オペレーションをより持続可能なものにするを期待。

電波認識デジタルツイン (Radio-aware digital twin)

- アクセスポイントの位置と端末の位置／軌道が与えられれば、レイ・トレーシングや機械学習モデルによって、リンク状態を予測し、ネットワークの容量と信頼性を向上させるために、プロアクティブ、先読み、意図ベースのリソース割当て、ビーム管理を行うことができる。
- 軌道計画やネットワーク計画を通じて、ネットワークのエネルギー効率を最適化する。

ケース・スタディ： 制約条件下での無線を考慮した軌道最適化

【ケース】

- 無人航空機 (UAV) のビデオ監視における軌道の最適化。
 - ① UAVが、目的地に到達しなければならない**時間的制約**。
 - ② 軌道上の各ポイントで、高い信頼性をもって満たさなければならない**データレート制約** (例：制御トラフィック)。

【目標】

- UAVの**総消費エネルギーの最小化**が、持続可能性を向上させるための目標。

【最適解とは？】

- 出発地点と目的地点を結ぶ、UAVの最短経路を選択した場合：
 - ✓ 飛行時間を最小限に抑え、全体のエネルギー消費量は飛行時間に依存するため、エネルギー消費も最小限に抑えられる。
 - ✓ ただし、指令・制御に必要な最小データレートに反する可能性があり、実用には適さない可能性がある。

電波認識デジタルツインを採用し、電波環境図を生成

- 最適化問題を解決するため、電波認識デジタルツインを採用し、干渉だけでなく、**パスロスの推定値**も含む電波環境図 (Radio-environment map : REM) を生成。
- 図1のREMは、2平方kmのエリアを、50mの高さで飛行するUAVが見たパスロス。
- REMは、レイ・トレーシングや、過去に収集したデータを用いた機械学習モデルのトレーニングによって取得。
- エネルギー消費は、UAVのサイズと、搭載されるペイロードに基づいて、正確にモデル化。
- 一定の速度で飛行するだけでなく、ホバリング、旋回、離陸、着陸に必要なエネルギーを含めることも容易。
- UAVの方向に対する風も考慮。

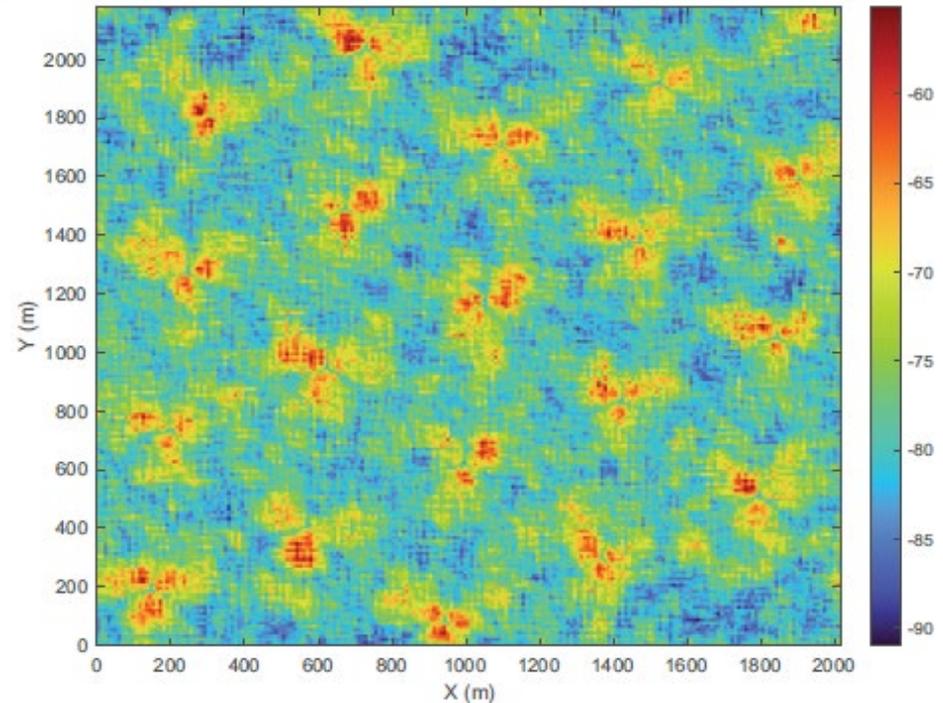


図1 5m×5mの解像度でパスロスを示す電波環境図

飛行時間とデータレートの関係

最短経路 (Shortest)

- 最短経路は飛行時間が最も短く、エネルギー消費量も最も少ない。
- しかし、最短経路はデータレートも最低となり、指令・制御トラフィックに必要な最小スループットを満たさない可能性があるため、実行不可能な場合がある。



貪欲アルゴリズム (Greedy)

- 単純な代替案は貪欲なアルゴリズムで、次の瞬間のUAVの軌道と速度は、現在観測されているパスロス（データレートの代用として）とエネルギー消費の重み付けされた組み合わせのみに基づく。
- 貪欲なアルゴリズムは最短経路よりもはるかに高いデータレートを提供する一方、飛行時間はかなり長くなることが示され、より高いエネルギー消費を意味する。

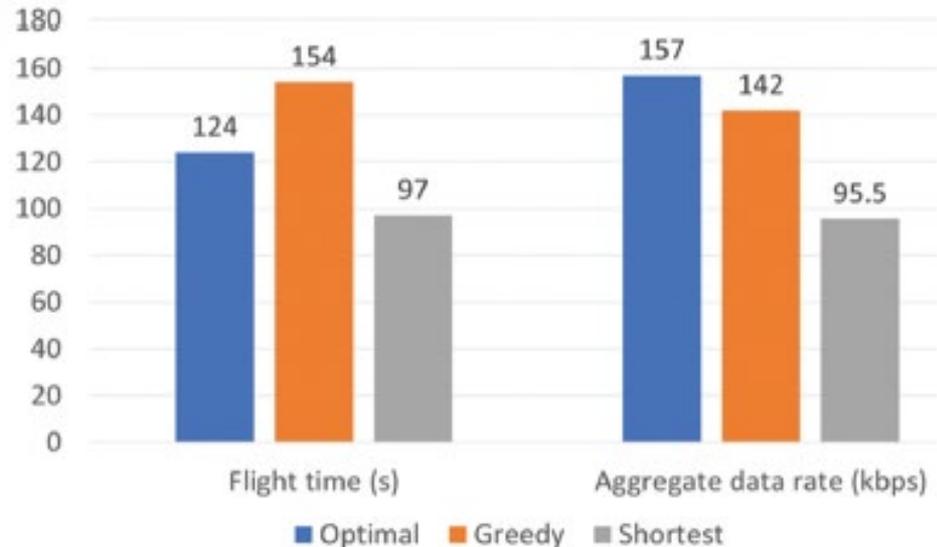


図2 最適／貪欲／最短別のUAV軌道の飛行時間と総データレート

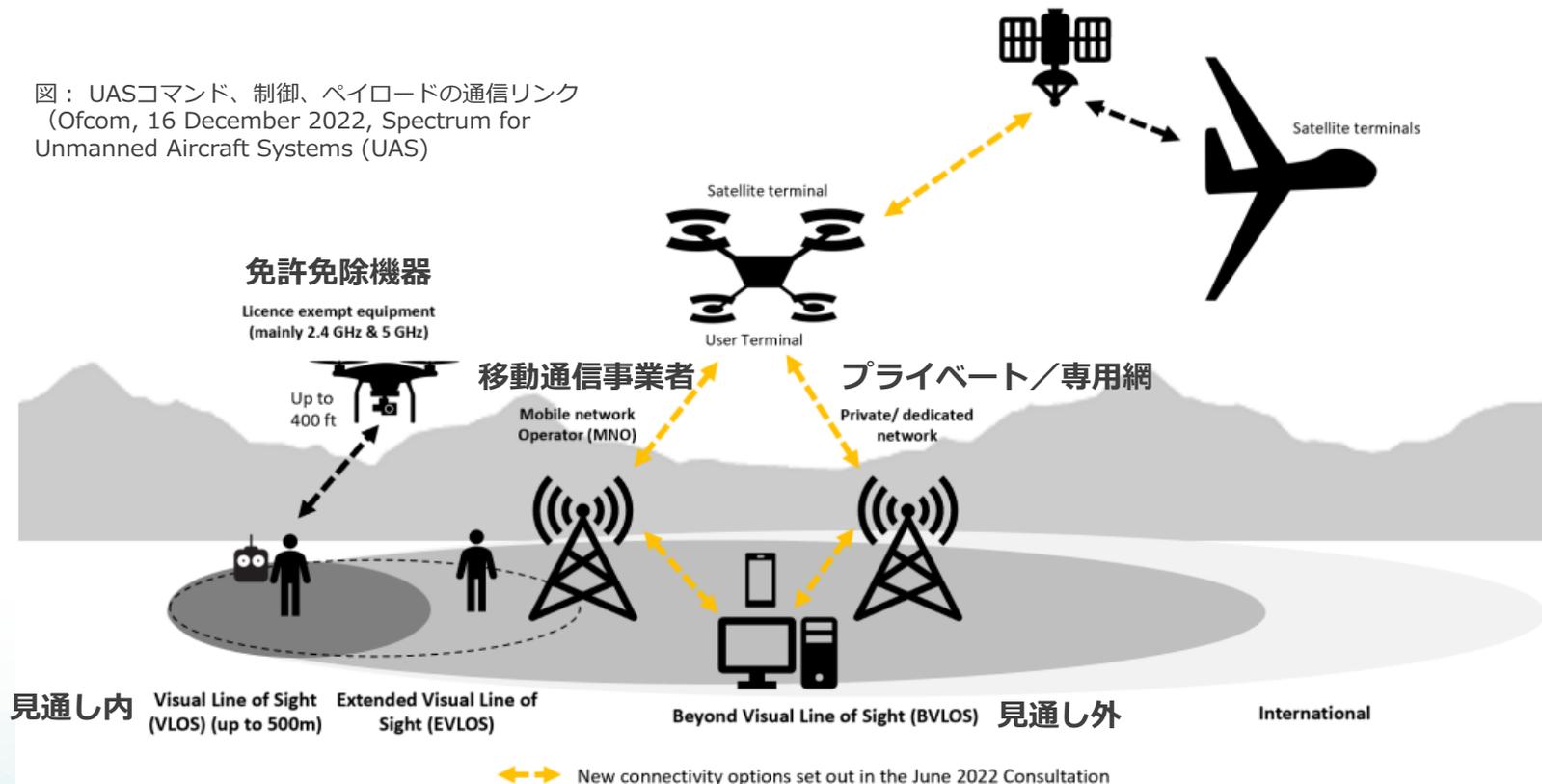
最適アルゴリズム (Optimal)

- 動的計画法を使用するパスロスとエネルギー消費の加重和を最適化する最適アルゴリズムは、貪欲な経路と比較した場合、総データレートは最も高いが、飛行時間ははるかに短く、貪欲なアルゴリズムに対して、約25%のエネルギーを節約できる。

6G時代における、電波認識デジタルツインの役割

- 持続可能性の目標を達成するために、全体的なエネルギー消費を最小化する必要がある実用的な配備では、データレートよりも、エネルギー消費に高い重み付けをすることで、スループットが低下する代償として、より高い省エネ効果が得られる。
- 飛行時間を最適化し、**消費電力を最小化**するように提案されるアルゴリズムは、**電波認識デジタルツインによって生成されるREM**でのみ可能である。

図： UASコマンド、制御、ペイロードの通信リンク
(Ofcom, 16 December 2022, Spectrum for Unmanned Aircraft Systems (UAS))



出所： Publication Date: 06 Jun 2023, Towards Sustainable and Trustworthy 6G: Challenges, Enablers, and Architectural Design

<https://5g-ppp.eu/new-6g-book-led-by-the-5g-ppp-architecture-wg-and-the-hexa-x-project/>



一般財団法人

マルチメディア振興センター

Foundation for MultiMedia Communications