

# 5G時代に求められるサイバーフィジカルシステムと 実現される世界観

～エッジコンピューティング技術を活用した  
将来のモバイル通信システムアーキテクチャーとは？～

国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT)  
Beyond 5G研究開発推進ユニット  
Beyond 5Gデザインイニシアティブ

石津 健太郎



**NICT**

Beyond5G研究開発推進ユニット

## 石津 健太郎 (いしづ けんたろう)

- 2005年4月 情報通信研究機構(NICT)入所  
ワイヤレス通信分野の研究部門
  - ▶ 研究キーワード
    - ▷ 異種無線ネットワーク、コグニティブ無線、  
ホワイトスペース通信、5Gアーキテクチャ、ローカル5G
  - ▶ 海外研究機関や事業者様と実証試験
  - ▶ 国際標準化 (IEEE1900, IEEE802, IETF, 3GPP)
- 2019年10月 経営企画部 企画戦略室
- 2021年 4月 Beyond5Gデザインイニシアティブ長

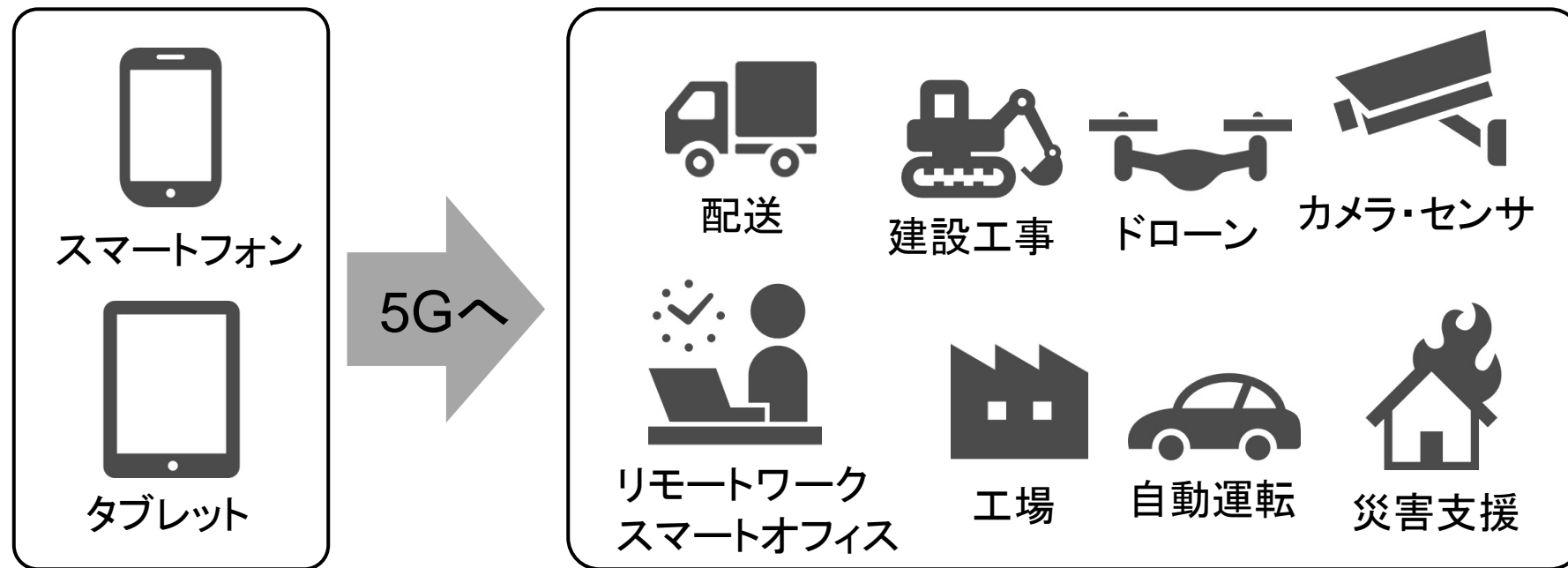


- 5G・Beyond 5G (6G) の意義
- Beyond 5Gのビジョン  
～サイバーフィジカルシステムを基本とした世界観と  
NICTホワイトペーパー～
- 5Gを実現する基本技術  
～エッジコンピューティングとの関係に注目して～
- 自営無線システムの活用  
～ローカル5Gとエッジコンピューティングのかかわり～

# 5G ・ Beyond 5G (6G) の意義

- 第5世代移動通信システム  
(The 5th Generation Mobile Communication System)
  - ▶ 略して「5G」
  - ▶ (日本では)現在、第4世代移動通信システム(4G)が主流
- なぜ5Gがここまで注目されているか？
  - ▶ 身の回りの様々なモノがネットワークに接続される(Internet of Things = IoT)世界を実現できる可能性
  - ▶ モノからの情報取得してデータを連携し、モノへを制御
  - ▶ 4Gまでとは機能が大きく違い、潜在的に実現できるサービス範囲が広く、ビジネスのパラダイムシフトが起きる可能性

- これまでの携帯電話システムは音声通話やIP通信のインフラ
- 5Gは広いアプリケーションを対象とした社会インフラとして利用できる可能性



# 移動通信システムの歴史

- 移動通信システムは10年ごとに進化してきた

世代	主な方式	主なサービス
第1世代 (1980～1990年)	アナログ方式	音声通話(黒電話の移動版) 例:自動車電話、ショルダーフォン
第2世代 (1990～2000年)	デジタル方式	パケット通信、小型化 例:携帯電話、メール
第3世代 (2000～2010年)	世界共通デジタル方式	IP通信 例:ウェブ閲覧
第4世代 (2010～2020年)	LTE / LTE-Advanced	高速なIP通信 例:YouTube視聴、遠隔会議の利用
第5世代 (2020～2030年?)	超高速通信(eMBB) 高信頼低遅延(URLLC) 多数同時接続(mMTC)	IoTへの対応 通信システムの在り方の変化 例:自動運転、ドローン、 ビッグデータのAI処理
第6世代 (2030年?～)		

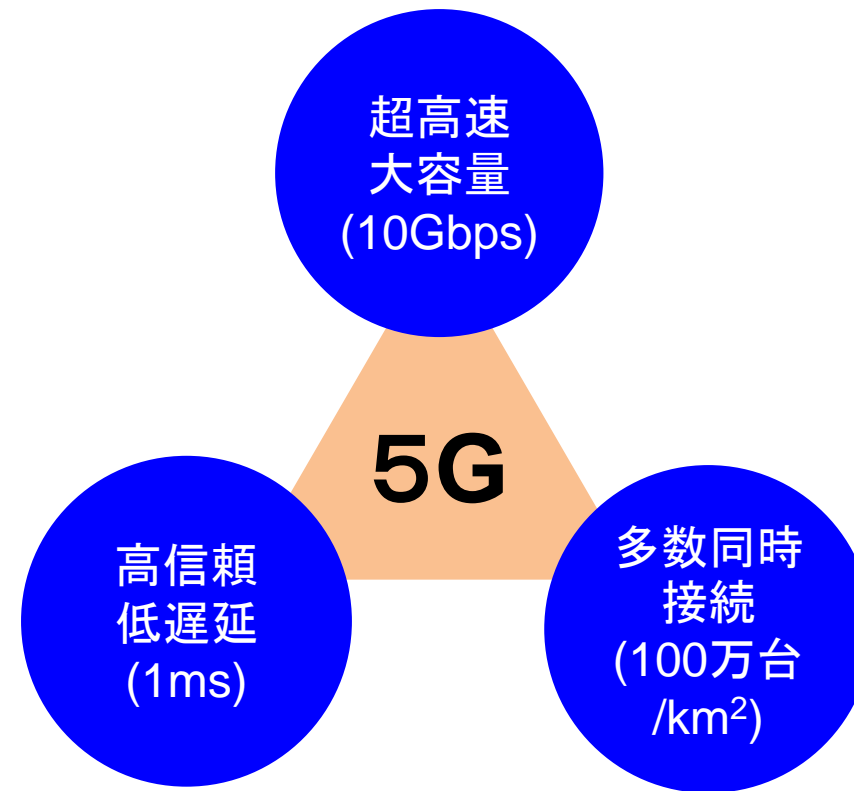
Beyond 5G



# 5Gの3つの特徴

- 超高速大容量
  - ▶ eMBB (enhanced Mobile Broadband)
- 高信頼低遅延
  - ▶ URLLC (Ultra-reliable and Low Latency Communications)
- 多数同時接続
  - ▶ mMTC (massive Machine Type Communications)
- この他にも、ネットワーク共用やスライシングの本格利用など、新たな仕組みが多く導入

全ての特徴を同時に満たすシステムは難しい！



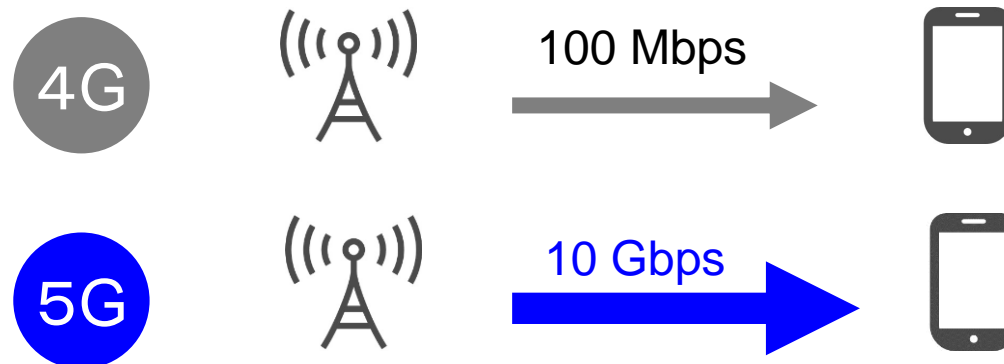


- 超高速大容量

- ▶ eMBB (enhanced Mobile Broadband)
- ▶ 一定時間で送受信できるデータ量

- 利用用途

- ▶ 映画等の高解像度(4K/8Kなど)な映像ファイルのダウンロード
- ▶ ドローンからのリアルタイムな映像の中継
- ▶ バーチャルリアリティ(VR)向けのヘッドマウントディスプレイ表示

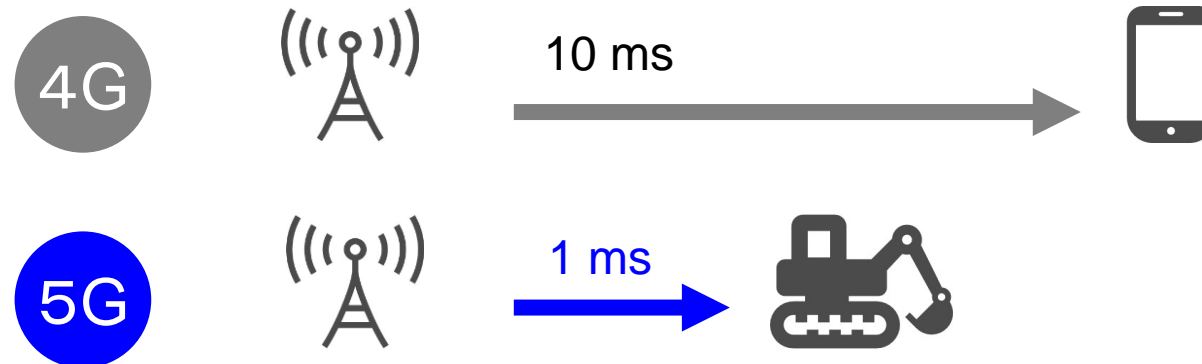


- 高信頼低遅延

- ▶ URLLC (Ultra-reliable and Low Latency Communications)
- ▶ 基地局等とユーザ機器との間の伝達遅延

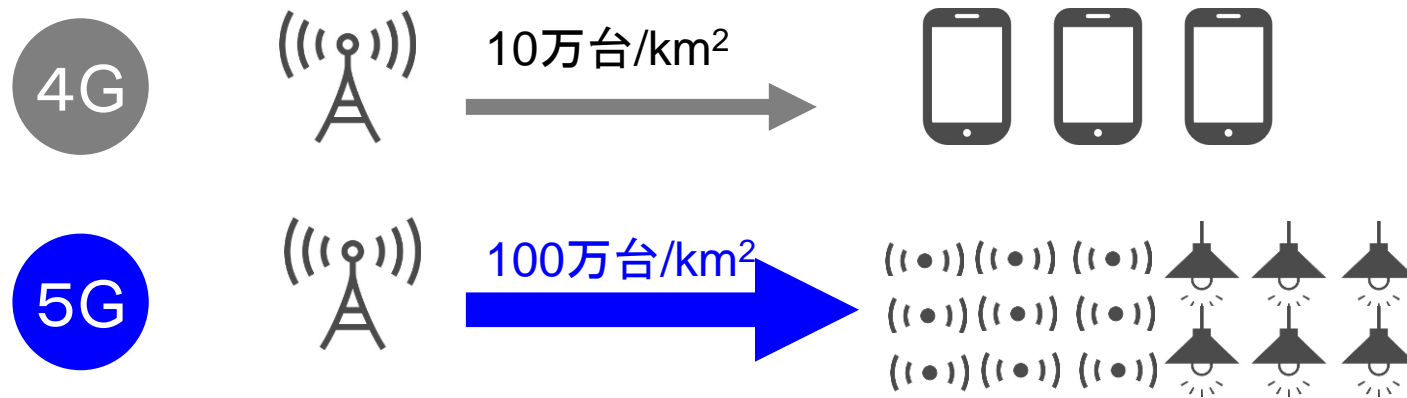
- 利用用途

- ▶ 建設機器の遠隔操作
- ▶ 車の自動運転制御
- ▶ 遠隔医療の機器操作



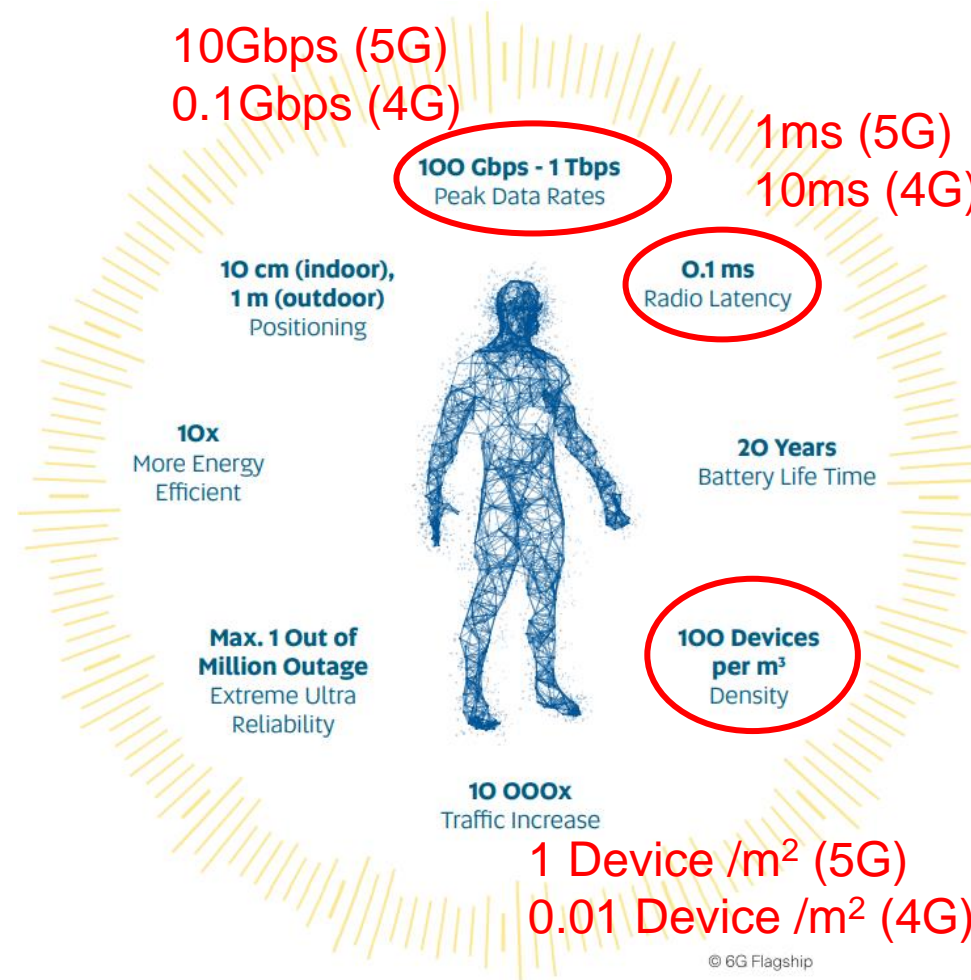
※ネットワーク部分の伝達時間は含まない

- 多数同時接続
  - ▶ mMTC (massive Machine Type Communications)
  - ▶ 一定面積において収容可能なユーザ機器(端末)の数
- 利用用途
  - ▶ スマートシティ/スマートオフィスのセンサや制御機器(道路や橋の状態管理、水道やガスのインフラ制御)



# 6Gの性能要件

- 6G Flagship(フィンランド)が公表したホワイトペーパーから



出典: 6G Flagship,  
“KEY DRIVERS AND RESEARCH CHALLENGES FOR 6G UBIQUITOUS WIRELESS INTELLIGENCE”  
<https://www oulu.fi/6gflagship/6g-white-papers> ※講演者が一部加筆

# *Beyond 5Gのビジョン*

～サイバーフィジカルシステムを基本とした世界観と  
NICTホワイトペーパー～

- Focus Group (FG) on Technologies for Network 2030

- ▶ 2018年7月 ITU-T SG13において設立

- ▶ 2019年5月 ホワイトペーパーを発表

- ▷ A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond

- ▷ [https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White\\_Paper.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White_Paper.pdf) ※図の出典

- ホワイトペーパーの概要

- ▶ 新たなアプリケーション

- ▷ ホログラム通信、感覚通信、高精度時刻、重要通信インフラ、デジタル社会

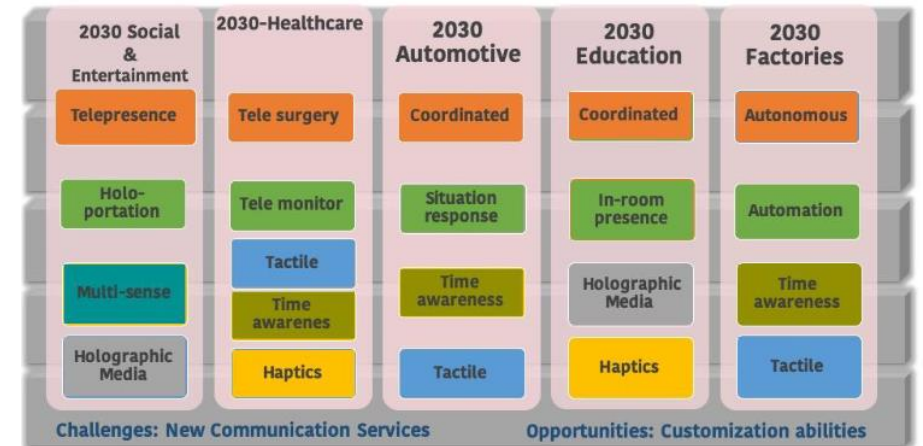
- ▶ Network 2030の主要分野

- ▷ 高度な時刻処理(time engineered communication services)

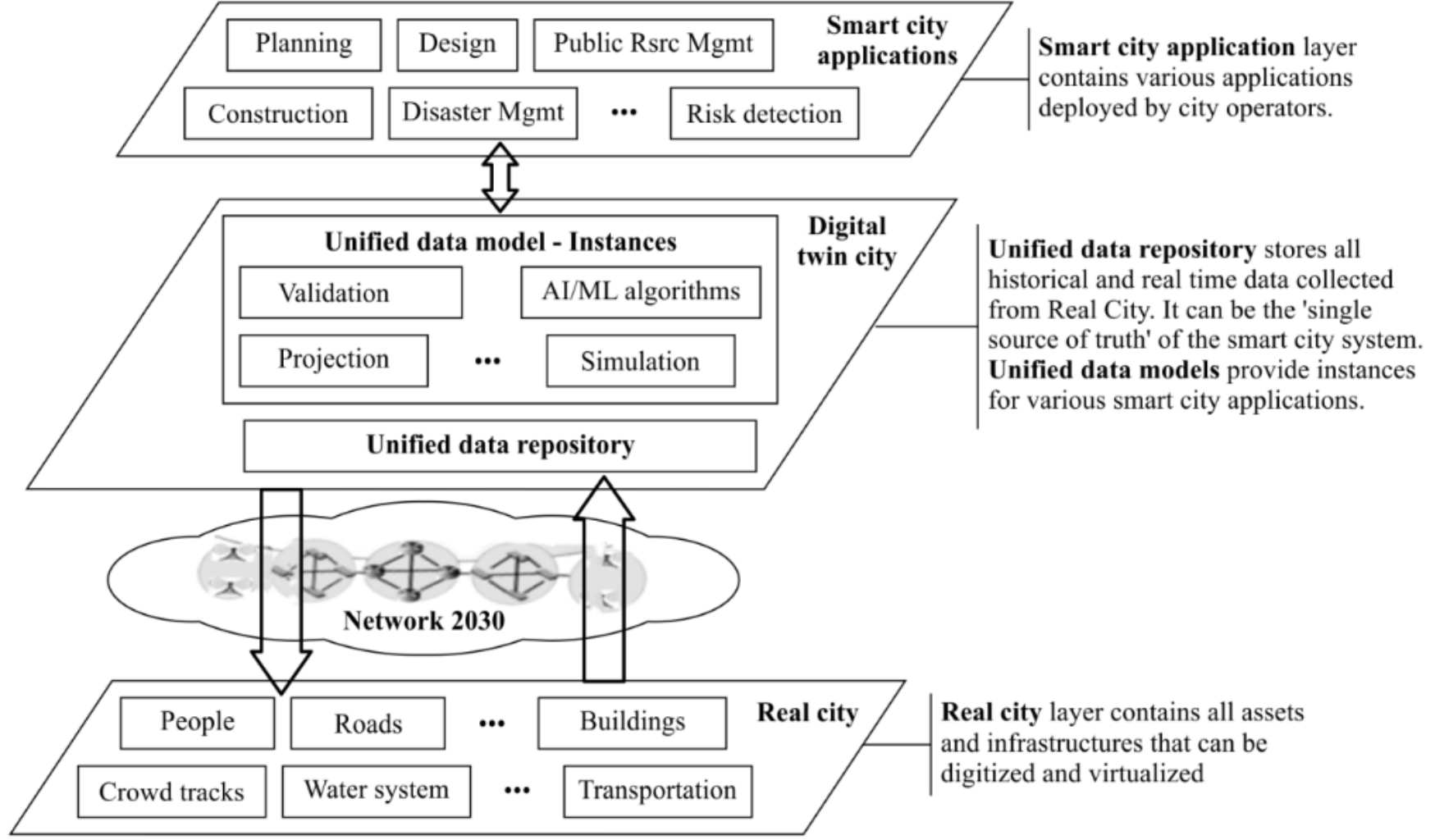
- ▷ 多様な性能要件処理(qualitative, holographic, digital teleportation, tactical)

- ▷ 異種無線ネットワーク(private transits, space, distributed edges)

- ▷ 新たなバーティカル ※図参照



# ITU FG NET-2030 デジタルツインシティ



FG-NET2030.3(20) F06

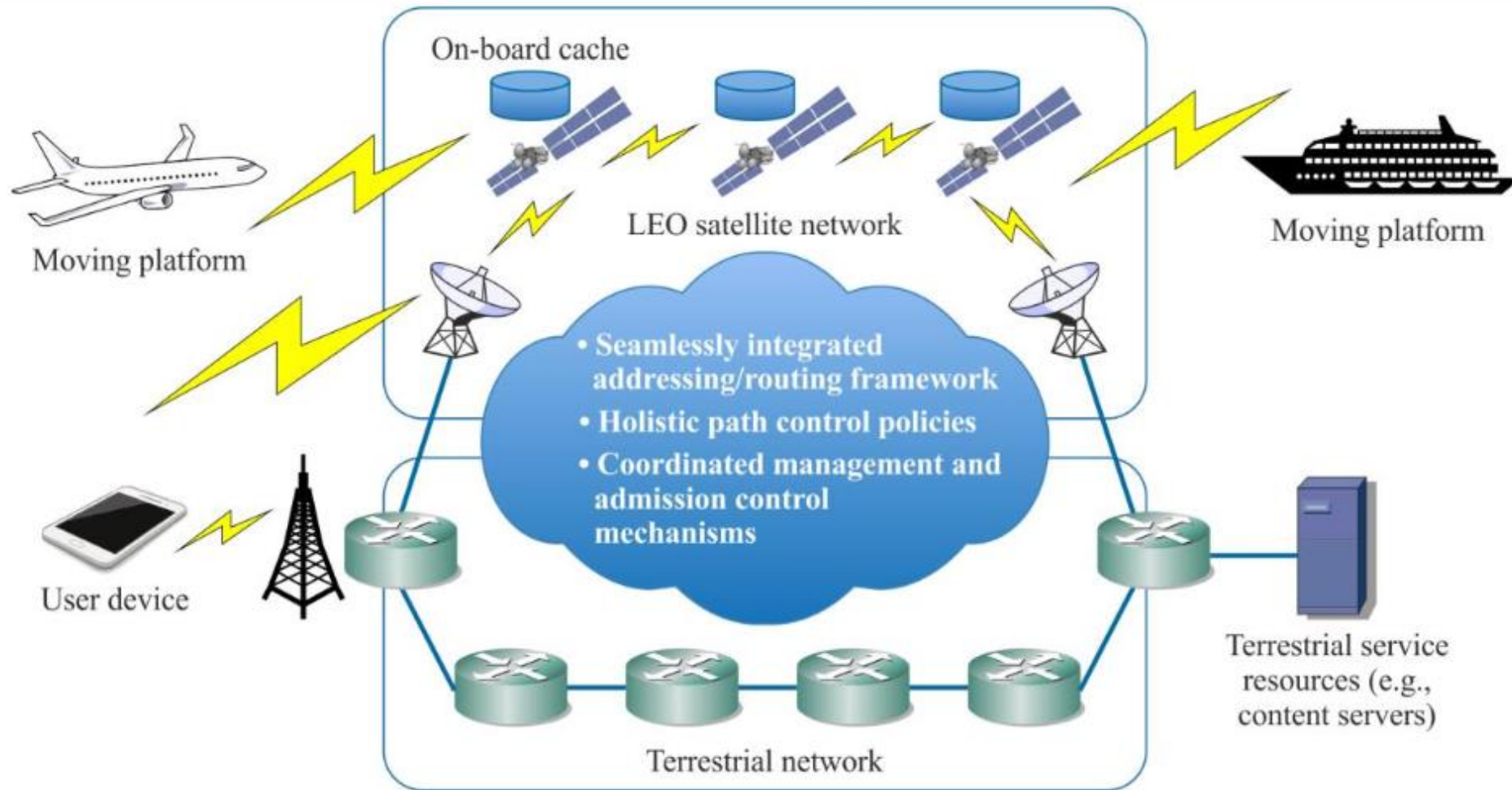
出典:

ITU-T Technical Report FG-NET2030-Sub-G1

“Representative use cases and key network requirements for Network 2030” (16 January 2020)

<https://www.itu.int/pub/T-FG-NET2030-2020-SUB.G1>

# ITU FG NET-2030 宇宙と地上が統合されたネットワーク

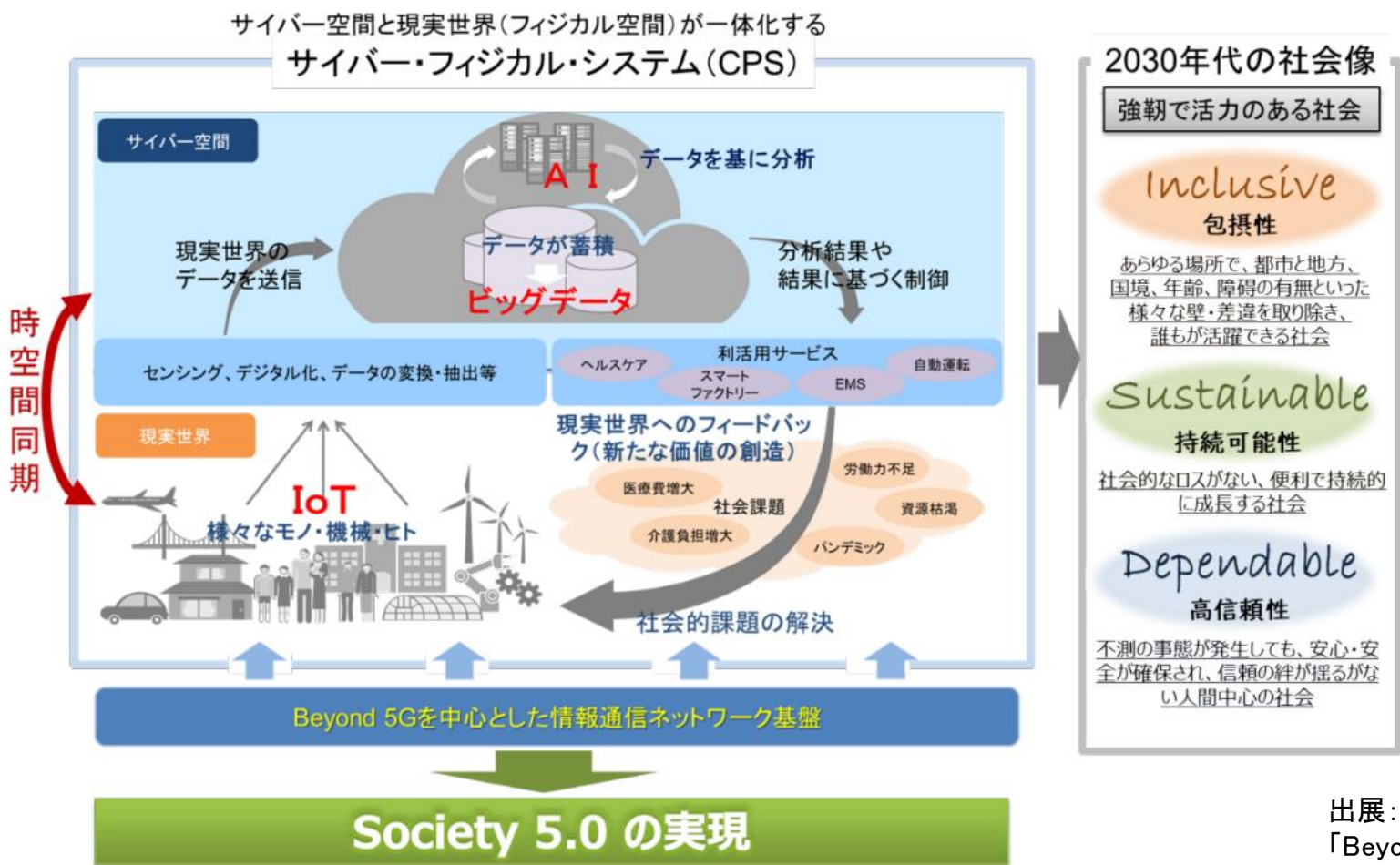


出典：  
ITU-T Technical Report FG-NET2030-Sub-G1  
“Representative use cases and key network requirements for Network 2030” (16 January 2020)  
<https://www.itu.int/pub/T-FG-NET2030-2020-SUB.G1>



# Beyond 5G推進戦略懇談会(2020年1月27日～)

- 誰もが活躍でき(Inclusive)、持続的に成長し(Sustainable)、安心して活動できる(Dependable)社会の実現



- ▶ Beyond 5Gネットワークでのゲームチェンジ
- ▶ 「技術で勝っても市場では必ずしも勝てなかった」過去の事例に学ぶ

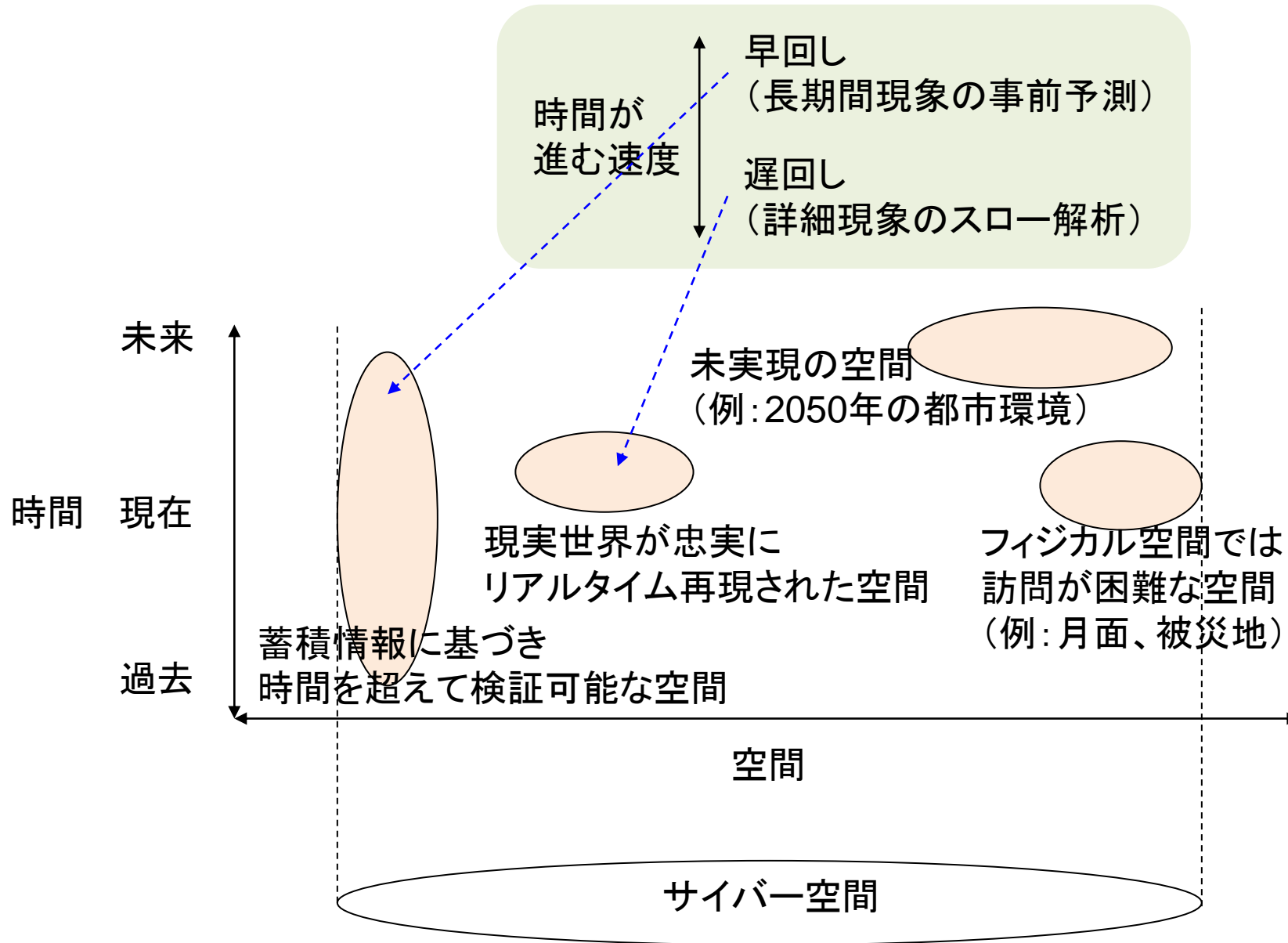


今後10年間使われていく5Gでは日本が技術投入によるメインプレーヤーになれなかったため、次の10年間では、なんとか巻き返したいという思い

- CPSを中心とした通信が様々な社会的課題を解決
- サイバー空間では現実世界を模擬して予測をフィードバック(循環することが重要)

出展:2020年6月30日 総務省  
「Beyond 5G推進戦略 -6Gへのロードマップ-」の公表  
[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban09\\_02000364.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000364.html)

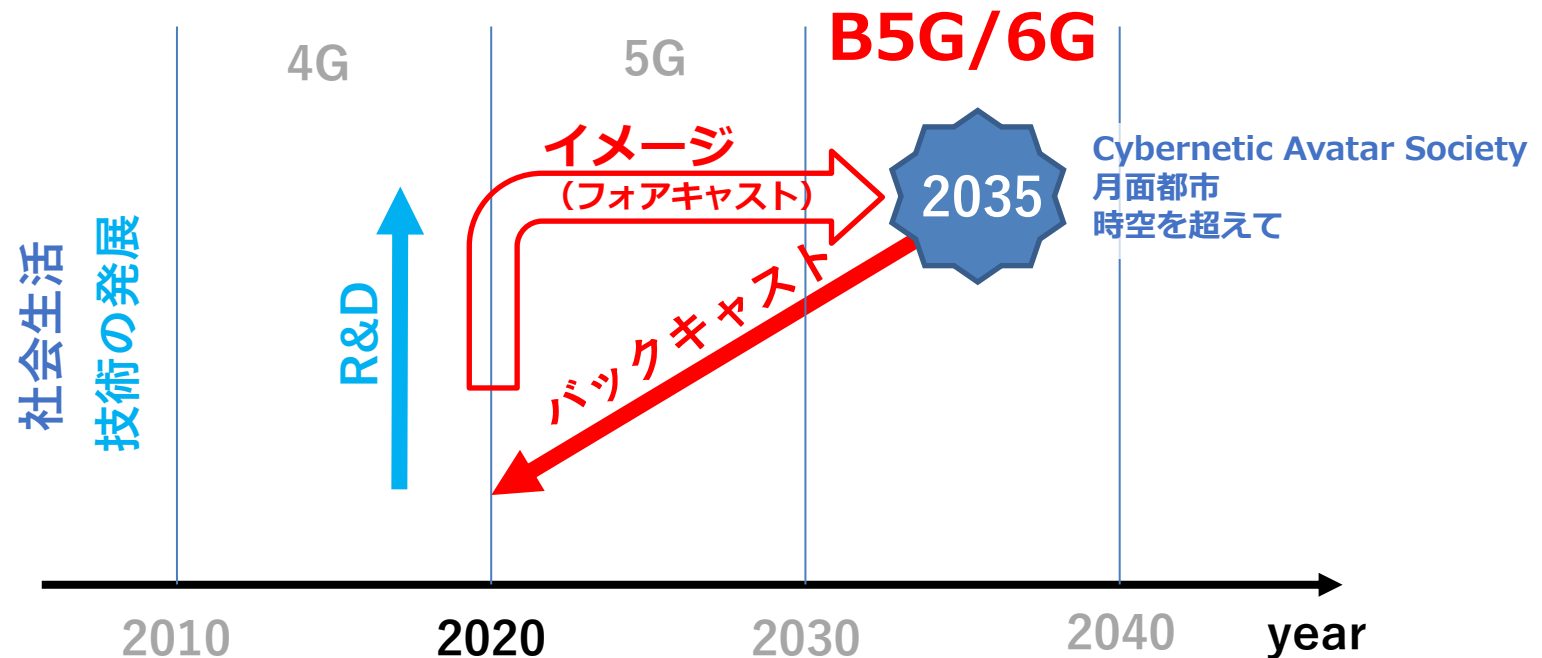
# サイバー空間で実現されるもの



# B5G/6Gホワイトペーパー(NICT)



- 2035年頃の社会生活をイメージした「Cybernetic Avatar Society」、「月面都市」、「時空を超えて」の3つのシナリオを作り、これらのシナリオに書かれた未来社会からバックキャストすることで必要な要素技術を洗い出した。
- シナリオとそこに登場するユースケース、それらを実現するための要素技術と要求条件、研究開発ロードマップや展開戦略等がまとめられている。



## 3章 シナリオ

・ Cybernetic Avatar Society  
(2035年〇月〇日:と  
或る企業の技術開発課  
長の日記から)

・ 月面都市  
(月を耕す人)

・ 時空を超えて  
(クリエイティブでア  
クティブな平穩、Dive  
to the point、空を行  
き交うのは)

- ① 2035年頃の日常生活の中に  
どのようなUCがあるか

## 3章 ユースケース

UC1-1 : 相互理解促進システム  
(文化・価値観の壁を超える)  
UC1-2 : 心と身体の支援アバター  
(年齢・身体能力の壁を超える)  
UC1-3 : テレプレゼンスによる働き方革命  
(距離・時間の壁を超える)

UC2-1 : 6Gで繋がる月面基地  
UC2-2 : 月までつながる6G  
UC2-3 : 月面でのアバター活動  
/宇宙版ストリートビュー  
UC2-4 : 月旅行

UC3-1 : バーティカル ヒト・モノ・コト流  
UC3-2 : レジリエント里山  
UC3-3 : オムニクラウド・ゲートウェイ

- ① どのようなシステム?、なぜ必要?
- ② 使用条件
- ③ 必要な要素技術

## 4章 要素技術 (大項目)

T1. 超高速・大容量通信  
T2. 超低遅延・超多数接続  
T3. 有無線通信・ネットワーク制御技術  
T4. 無線システムの多層化-NTN  
T5. 時空間同期  
T6. 超安全・信頼性  
T7. 超臨場感・革新的アプリケーション

- ① **どんな技術か**
- ② **何に/何故必要か**
- ③ **国内外現状**
- ④ **Beyond 5G/6G世界で必要  
となる要求条件**
- ⑤ **ロードマップ**

シナリオに書かれた未来社会から  
バックキャスト

# B5G/6G時代はどんな世界に？（シナリオとユースケース）

- シナリオ1 - Cybernetic Avatar Society  
「2035年〇月〇日:と或る企業の技術開発課長の日記から」
  - ▶ UC1-1：相互理解促進システム（～文化・価値観の壁を超える～）
  - ▶ UC1-2：心と身体の支援アバター（～年齢・身体能力の壁を超える～）
  - ▶ UC1-3：テレプレゼンスによる働き方革命（～距離・時間の壁を超える～）
- シナリオ2 - 月面都市  
「月を耕す人」
  - ▶ UC2-1：6Gで繋がる月面基地
  - ▶ UC2-2：月までつながる6G
  - ▶ UC2-3：月面でのアバター活動/宇宙版ストリートビュー
  - ▶ UC2-4：月旅行
- シナリオ3 - 時空を超えて  
「クリエイティブでアクティブな平穏」「Dive to the point」「空を行き交うのは」
  - ▶ UC3-1：バーティカル ヒト・モノ・コト流
  - ▶ UC3-2：レジリエント里山
  - ▶ UC3-3：オムニクラウド・ゲートウェイ

本日は一部抜粋してご説明

## ■ 9:30-10:30 京都に在宅のまま東京本社の幹部と新製品企画のテレプレゼンス会議

3Dアバター同士でXRの遠隔会議(UC1-3:テレプレゼンス)。社長のアバターが目の前に現れた時は少々緊張したが、3D空間で社長の隣に移動し、製品VRプロトタイプを手渡して感触グローブを使って遠隔から体験してもらった。社長のGOサインもすぐにもらえた。



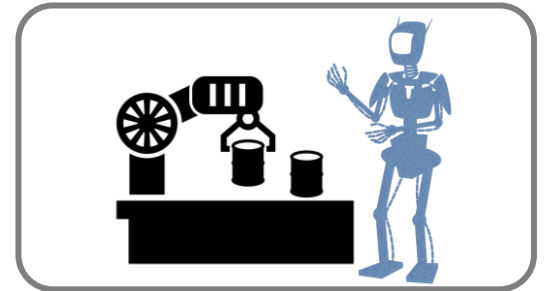
## ■ 10:30-11:30 地球規模での災害対応イベントに参加

核融合炉事故を想定した大規模訓練イベントに遠隔から参加(UC1-3:テレプレゼンス)。地球規模の基幹網技術により各国の有識者がXR空間に参集して議論を深め(UC1-1:相互理解促進)、時間同調技術を用いて我が社の製品を各国で同時に作動させた。我が社の製品が災害発生時にも有効であることを検証できたことは大変喜ばしい。



## ■ 11:30-12:00 タイにある製造工場の緊急トラブルに瞬間身体移動で対応 (現地は9:30-10:00)

タイの製造工場から製造ラインが停止したとの突然の連絡。現地のアバターロボットに乗り移って製造機器の遠隔操作を試みたところ(UC1-3:テレプレゼンス)部品の破損を発見。担当者が遠隔修理をしてくれたが、遅延の違和感もなく楽に遠隔作業ができたとのこと。



# ユースケース事例とその実現に必要な要素技術(UC1-3: テレプレゼンス)

## ● 【どんなシステム?なぜ必要?】

- 在宅のまま国内のみならず世界各地に3Dアバターで瞬間移動。海外との打合せもXRと多言語同時通訳を活用。海外の製造工場や農場へも瞬間移動し、遠隔作業も五感情報で直感的に行える。仕事の合間には遠くにいる親の介護もできて安心。自分のアバターが偽物でないことも保証されていてセキュリティも万全。個々の作業に特化したアバターを複数の操作者が切り替えて利用することも可能になる。

## ● 【利用形態】

- 環境のセンシング情報も集約して伝達
- 複数のアバターを複数の操作者が切り替えて利用

## ● 【必要となる要素技術】

- (T7) 直感性の計測・伝達・保証技術
- (T7) リアル3Dアバター・五感伝達・XR技術
- (T7) 言語・非言語情報に基づくAI分析・対話技術
- (T7) 多言語の同時通訳・言い換え・要約技術
- (T2) 環境と要件を協調させる統合型通信システム構成技術
- (T6) ヒューマンセントリックなセキュリティ技術
- (\*) (NICTでは扱っていない技術)

遠隔操作ロボット・HMD等のハードウェア技術



# シナリオ2: 月を耕す人

## ■ 地球から月面へ

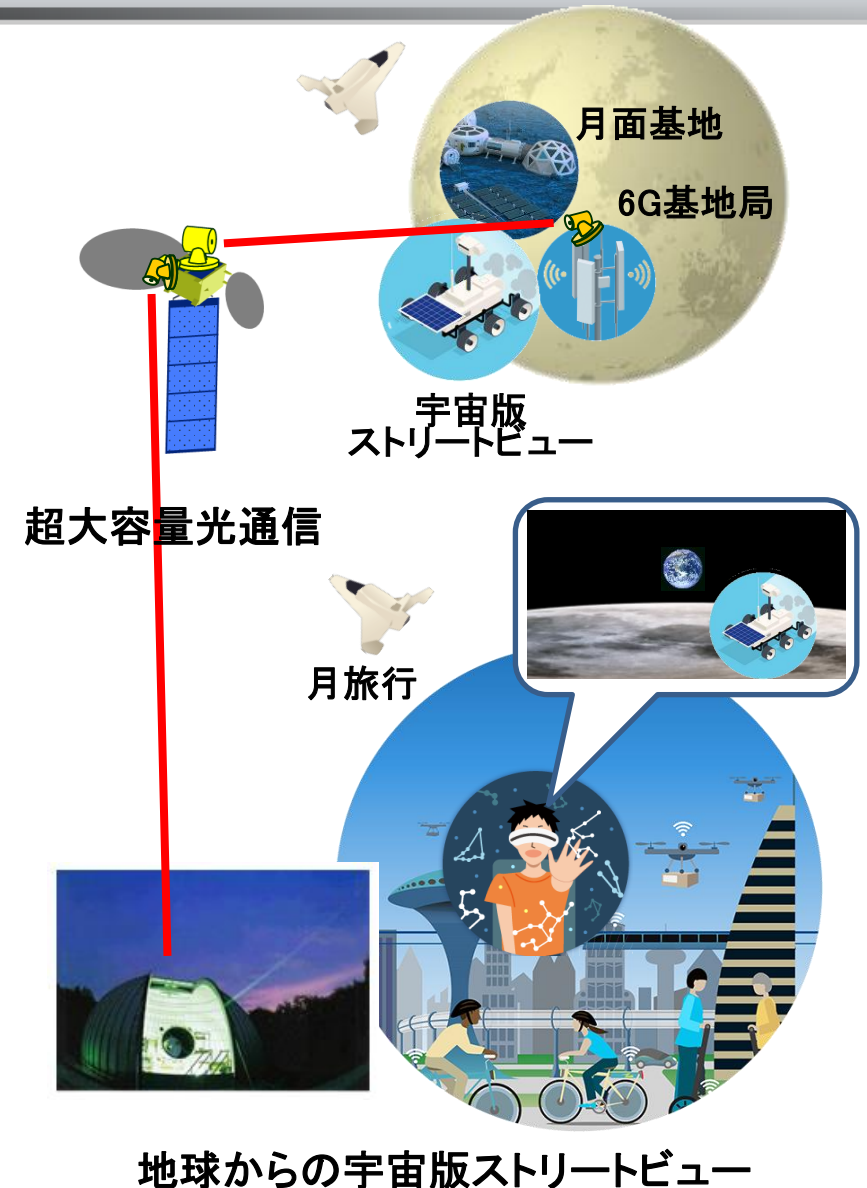
今日の作業時間が終了したので、アバターマシンのメンテナンスボックスに戻り、身を横たえる。最初に見たハイコントラストな地平線を見ながら、ゆっくりとアバターマシンへの接続を解く。地球上のビジョンに切り替わる数瞬間前、3Dカメラを冠したローバーが横切るのが見えた(UC2-3: 月面でのアバター活動)。誰かが地球で月面旅行を楽しんでいるのだろう。

## ■ 地球にて

ゆっくりと月面アバターマシンから地上の自分へ意識が戻る。鎮静音楽の流れる地球上のポッドのなかで、自分の掌を見つめる。華奢で指の長い手だ。さっきまで砂塵に煤けた大きなロボットアームだったのに。

最近、B工区で中継用のシアターが完成したらしい。甥が今度、そのシアターに行くという。

いつか、いまの地下探査が完了しきれいな月面都市が完成したなら、自分も旅行者として娘と一緒に月を訪れたいと思った(UC2-4: 月旅行)。





# ユースケース事例とその実現に必要な要素技術(UC2-4: 月旅行)

## ● 【どんなシステム?なぜ必要?】

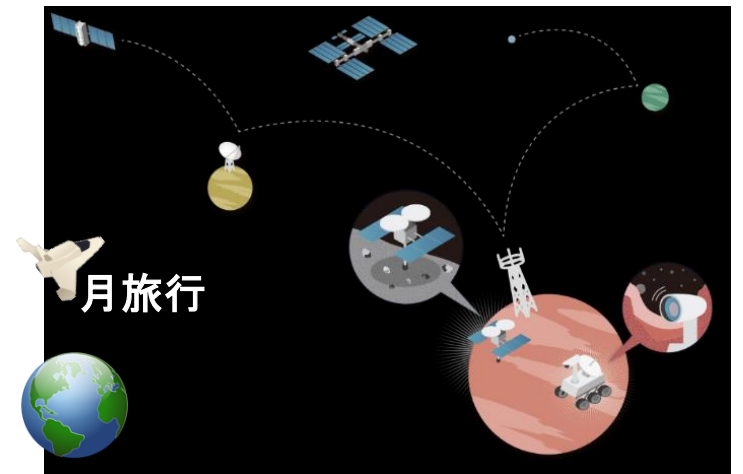
- 将来人が実際に行く月旅行において、地球や月面基地と大容量通信をするためのシステム。長期旅行中も地球のおじいちゃん、おばあちゃんと連絡が問題なく取れる安心・安全な旅行を提供。滞在中に撮影した写真等をSNSで地球に送信、レジャーでも宇宙旅行を楽しむ時代に。

## ● 【利用形態】

- 特別なスキルがなくても通信回線を使用可能
- 船外活動においては旅客用通信が切断されても安全に宇宙船に戻れるような対策が必要
- 地球帰還時に用いる旅客用通信にはブラックアウトへの対策が必要

## ● 【必要となる要素技術】

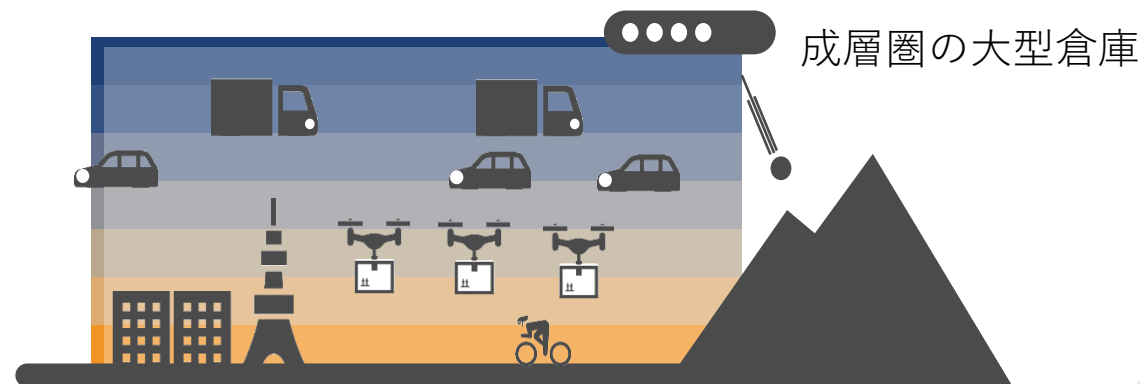
- (T4) 宇宙天気の重要性  
(人体や機器に対する影響大)
- (T1) 超大容量通信
- (T2, T7) 長距離テレビ会議
- (T2) 低遅延が必要
- (T6) セキュリティ考慮必要



# シナリオ3: 時空を超えて

## ■ Dive to the point

地上20kmを周回する成層圏倉庫のなか。「私」は依頼を受けた荷物をバックパックに収納し、地上へとダイブする(UC3-1:バーティカル ヒト・モノ・コト流)。踏み出す瞬間はいつも緊張するが、踏み出すと解放感に満たされる。倉庫を出て、空が濃紺から次第に淡い青に変化し、白い雲を高速に突き抜けると、無数の川が分岐して流れる街が霞みのなかから姿を現す。よく見ると、川は小型の水門と水力発電機とを備えたより細かい用水路に分岐している。水門と発電機とはネットワーク化され、町を流れる水量はスマートに管理されている。山のむこうに黒い雨雲が見えている。今頃、広域なセンサネットワークが降雨量と河川の水位を観察・予想し、町からの適切な排水プログラムを計算していることだろう(UC3-2:レジリエント里山)。



- 【どんなシステム?なぜ必要?】

- ドローン宅配が始まりつつあり、将来的には成層圏の活用の可能性も。3次元的に移動しようとするとは地図に頼れず、3次元的なナビゲーションが必須。人や重量物を運ぶなら、極めて高い信頼性が必要。従来のGNSSに加え、エッジコンピューティングが可能な多数の基地局のアシストやスカイカー自身のクロック・慣性センサの高安定・高精度化などで測位・巡航システムを多重化していくことが重要。

- 【使用条件】

- 空間に見えないけれど堅固な道路の構築
- 高精度な時空間同期の技術と測位用基地局の空間的・周波数的な多重化
- 空を行く車自身の安全性のため、各種センサの高精度化やサイバーセキュリティの高度化

- 【必要となる要素技術】 \*4章参照

- (T5) 時空間同期技術

- (T6) 暗号化・セキュリティ技術、レジリエンス

- (T1) 超高速・大容量通信

- (T2) 超低遅延なネットワーク

- (T2.1) エッジコンピューティング

- (T7.6) 乗用スカイカー

- (T7.7) ドローン

# ユースケースから抽出された要素技術群

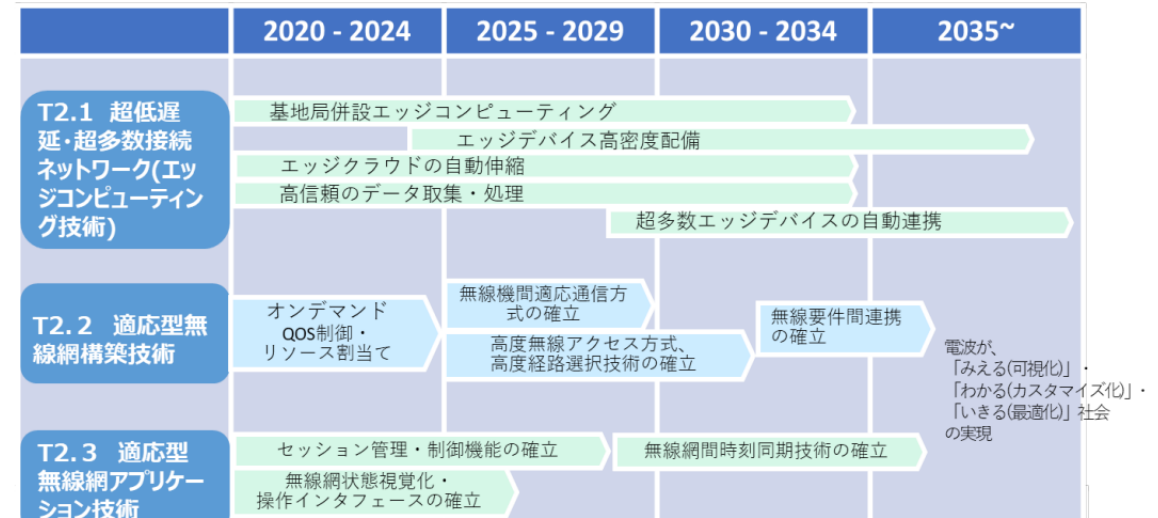
<b>T1. 超高速・大容量通信</b>		<b>T5. 時空間同期</b>	
T1.1	テラヘルツ波	T5.1	無線時空間同期
T1.2	オール光ネットワーク（大容量光ファイバ通信）	T5.2	原子時計チップ
T1.3	オール光ネットワーク（光電波融合技術）	T5.3	技術基準時刻の生成共有技術
<b>T2. 超低遅延・超多数接続</b>		<b>T6. 超安全・信頼性</b>	
T2.1	エッジコンピューティング技術	T6.1	エマージング・セキュリティ技術
T2.2	適応型無線網構築技術	T6.2	実攻撃データに基づくサイバーセキュリティ技術
T2.3	適応型無線網アプリケーション技術	T6.3	量子暗号
T2.4	電波放射空間の自律的な局所化・追尾・予約技術	T6.4	電磁環境技術
T2.5	遍在社会資源を活用した超多段接続自律M2Mネットワーク構築技術	T6.5	レジリエントICT
T2.6	高度電波エミュレーション	<b>T7. 超臨場感・革新的アプリケーション</b>	
<b>T3. 有無線通信・ネットワーク制御技術</b>		T7.1	脳情報の読み取り・可視化・BMI技術
T3.1	ネットワーク制御技術（ネットワーク運用自動化、ネットワーク内コンピューティング）	T7.2	直感性の計測・伝達・保証技術
T3.2	周波数の割当・共用管理	T7.3	リアル3Dアバター・五感伝達・XR技術
T3.3	自営無線システム管理（ローカルBeyond5G）	T7.4	言語・非言語情報に基づくAI分析・対話技術
<b>T4. 無線システムの多層化-NTN</b>		T7.5	多言語の同時通訳・言い換え・要約技術
T4.1	衛星・非地上系通信プラットフォーム	T7.6	自動運転
T4.2	光衛星通信	T7.7	ドローン
T4.3	海上通信		
T4.4	海中・水中通信		
T4.5	統合ネットワーク制御		

# 要素技術の記載例 (T2.1 エッジコンピューティング技術)

## T2.1 エッジコンピューティング技術

- ①どんな技術か: 街中に埋め込まれたデバイスやネットワーク内のコンピュータを活用して、超低遅延で信頼性高くICTサービスを実行する技術です。
- ②何に/何故必要か: 例えば出会い頭の事故を回避する処理をネットワークを介して遠くのクラウド上のコンピュータで実行させている間は間に合わない、また経路ネットワークの輻そうで通信が滞る問題もあります。また便利にはなっても、機密や身体情報を外部ネットワークやクラウドに漏洩させたくない。そのため高い安全性も併せて必要となります。
- ③国内外現状: 欧州電気通信標準化機構(ETSI: European Telecommunications Standards Institute)がMEC(Multi-Access Edge Computing)にてエッジコンピューティングの標準化・5Gにおける提供形態等を規定。総務省での「Beyond 5G時代の有線ネットワーク検討会」にて「ネットワークビジョン2030」が示され、エッジコンピューティングによる超低遅延、大容量通信の必要性を提言しています。5G Americasでは、ホワイトペーパー「5G At The Edge」にて将来の方向性として情報指向ネットワーク技術の連携を含めたエッジコンピューティングアーキテクチャの将来の方向性を提唱しています。
- ④Beyond 5G/6G世界で必要となる要求条件: ②の実用化においては、超低遅延の応答と情報の完全性・信頼性・安全性の高さのトレードオフ解決、超多数デバイスがネットワーク接続・連携動作するネットワーク・コンピューティングを実現するスケーラビリティが求められます。

表4.3: 「超低遅延・超多数接続」のロードマップ



# 要素技術の記載例 (T4.5 統合ネットワーク制御)

## T4.5 統合ネットワーク制御

①どんな技術か： 深宇宙探査機、静止衛星、低軌道衛星、HAPS、航空機、ドローン、船舶、地上局、Beyond 5G/6Gなどを多層的・有機的につなぎ、使用するプラットフォームやネットワーク接続をサービスに応じて柔軟に制御する技術です。

②何に/何故必要か： インターネット利用、遠隔情報収集、遠隔制御、緊急災害対策、感染症対策(リモートワーク等)など、ユーザの要求に対し、航空機、船舶、離島、砂漠、山岳地、惑星など、どこにいても通信が途切れないシステムを構築することが可能になります。

③国内外現状： 衛星5G連携については、海外では欧州宇宙機関(ESA: European Space Agency)のSATIS5プロジェクト[1]やEUのSAT5Gプロジェクト[2]が先行して実施されています。国内では、スペースICT推進フォーラム[3]内の分科会で衛星とBeyond 5G/6Gの連携における新しいユースケースの検討が進んでいます。

④Beyond 5G/6G世界で必要となる要求条件： ②の実現のためには、各プラットフォームの標準化、統合ネットワークシステムの基盤開発(衛星地上間リソースマネジメント機能等)が求められます。

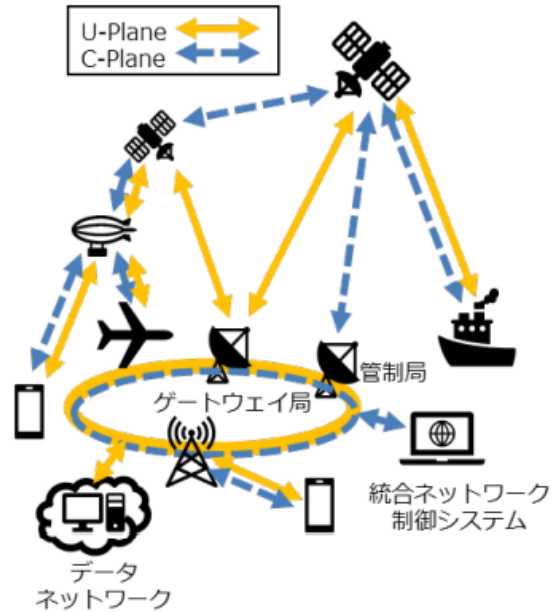


図4.11: 統合ネットワークのアーキテクチャのイメージ。

表4.5: 「無線システムの多層化-非地上系ネットワーク(NTN)」のロードマップ

	2020 - 2024	2025 - 2029	20230 - 2034	2035~
T4.1 衛星・非地上系通信プラットフォーム		▲ 自動運航船 ▲ 月ゲートウェイ	▲ 空飛ぶクルマ	▲ 月面開発調査開始 ▲ 2040- 入植期 ▲ 2045- 開拓期 ▲ 2050- 月面都市
T4.2 光衛星通信	電波と光のハイブリッド化技術 フレキシブル化・デジタル化技術	小型化・普及化技術 (フラットアンテナ等)	低軌道星座・光通信網技術・小型/大容量化 (光集積化、WDM化) 大型光アンテナ技術 (宇宙用補償光学技術)	適応光衛星通信技術 (自己修復・ロバスト光リンク技術)
T4.3 海上通信	小型化・普及化技術 (フラットアンテナ等)	船舶IoT技術		
T4.4 海中・水中通信	多値化・MIMO化による高速化海底下を利用した長距離化 海中・水中アンテナの小型・軽量化	淡水中での応用技術への適用 (橋梁、ダムなどのメンテナンス)	海水中(浅海)での応用技術への適用 (港湾や空港などのメンテナンス、漁業IoT)	海水中(深海)での応用技術への適用 (海底資源探査)
T4.5 統合ネットワーク制御		多層ネットワーク相互接続技術 時空間同期技術		分散情報管理技術

[1] <https://artes.esa.int/projects/satis5-0>

[2] <https://www.sat5g-project.eu/>

[3] <https://spif.nict.go.jp/>

# 要素技術の記載例 (T7.2 直観性の計測・伝達・保証技術、T7.3 リアル3Dアバター・五感伝達・XR技術)

## T7.2 直観性の計測・伝達・保証技術

- ①どんな技術か： 遠隔会議や遠隔操作等、サイバー空間の作業において感じる違和感等を脳波を含む生体信号から計測しユーザの直観性を保証するブレインセントリックなネットワーク制御技術です。
- ②何に/何故必要か： コロナ渦で急速に広まっている遠隔会議や遠隔操作等のサイバー空間の作業では、物理空間とは異なり脳への負荷が高いため、サイバー空間でも直感的な作業を可能にする技術が必要です。
- ③国内外現状： 5G/6Gではヒューマンセントリックな価値創出が提案されていますが、さらに脳の認知レベルで直観性を動的に制御ができれば脳に対する負荷が小さい遠隔会議・遠隔作業が可能になります[1]。
- ④Beyond 5G/6G世界で必要となる要求条件： 無意識レベルも含めた直

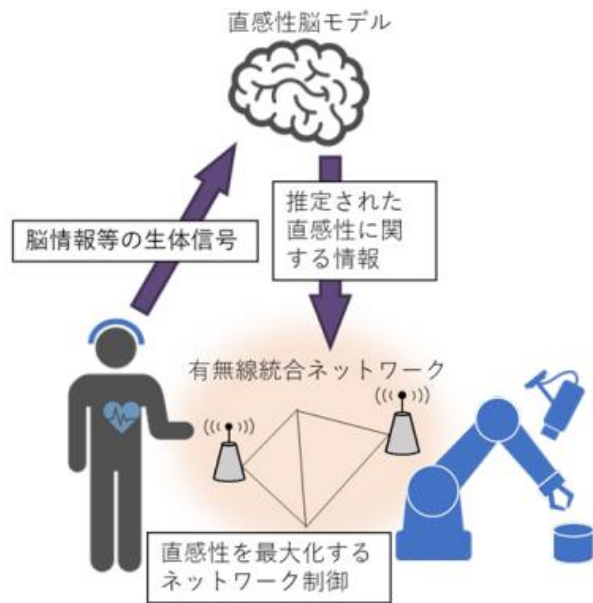


図4.13: 直観性の計測・伝達・保障技術。

感性を保証するためには、脳情報等の生体信号から直観性を推定する脳モデルを構築するとともに、有線無線統合型ネットワークにおいて生体信号フィードバックに基づく動的遅延・ジッタ制御が必要となります。

[1] 6G Flagship: Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence, Univ. Oulu (2019)。

## T7.3 リアル3Dアバター・五感伝達・XR技術

- ①どんな技術か： 自分の身体・環境を瞬時に3Dモデル化し五感情報(視覚/聴覚/触覚/嗅覚等)とともに遠隔地に伝達・再現することで、リアルかつ自然な遠隔のXRインタラクションを可能にする超臨場感コミュニケーション技術です。
- ②何に/何故必要か： 超臨場感伝達技術により、空間・時間・身体の壁を超える遠隔コミュニケーションを可能にし、労働生産性の飛躍的な向上と心の豊かさを実感できる超高齢社会の実現に貢献します。
- ③国内外現状： アフターコロナ社会では、遠隔の医療・介護・教育・協調作業等、多様な目的のために、高度なバーチャル・リアル融合を実現するためのアバター・五感伝達・XR技術の開発・実現が求められています[1]。
- ④Beyond 5G/6G世界で必要となる要求条件： ②の実現のためには、遠隔で人が行う各種タスクにおいて、実世界と同等のユーザー体感品質(QoE: Quality of Experience)を保証する3Dアバター/五感/XR等の超臨場感伝達技術が求められます。

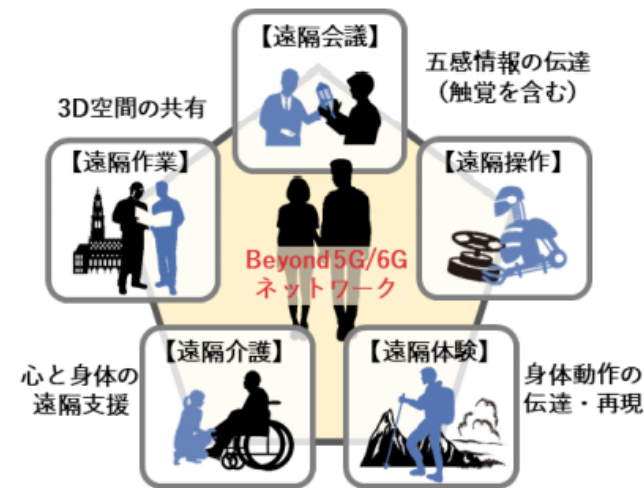


図4.14: 空間・時間・身体の壁を超えた超臨場コミュニケーション。

[1] VR/ARを活用するサービス・コンテンツの活性化に関する調査研究(2018年三菱総研: 総務省委託)

# Beyond 5Gアーキテクチャ

社会課題

アプリケーション

イネーブラー

サイバーフィジカル  
制御プレーン

フィジカル  
空間

サイバー  
空間

アクチュエーション

センシング

SDGs・Society5.0  
の実現

空間と時間の限界からの解放

身体の限界からの解放

脳の限界からの解放

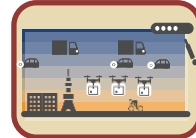
Cybernetic Avatar Society  
アプリケーション



月面都市



時空を超えて



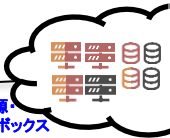
イネーブラー

フィジカル空間とサイバ  
ー空間をまたいでアプリ  
ケーションを実現する基  
盤サービス / 基盤機能



サイバーフィジカル  
制御プレーン

共有可能な計算資源・  
ストレージ・ホワイトボックス



システム状態

アプリケーションに応じて  
カスタマイズされた仮想空間

アプリケーションの要件・意図通知

フィジカル空間のデータ

サイバーフィジカル  
システム(CPS)

サイバー空間のデータ

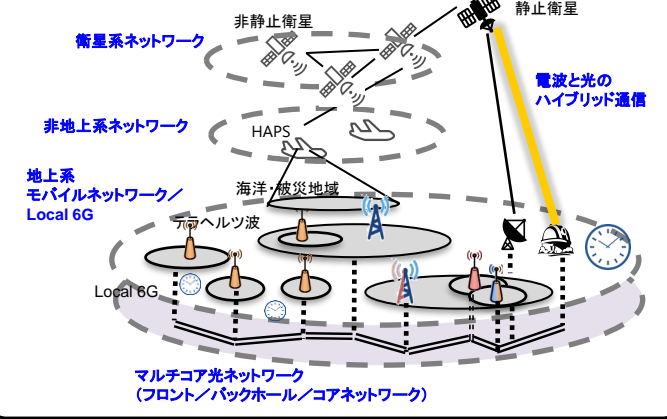
データ収集分析

フィジカル空間と  
サイバー空間の双  
方における時間と  
空間のリソース利  
活用  
アクチュエーション



人・モノの行動、  
電波環境、ネット  
ワーク状態、など  
の状態把握

フィジカル空間



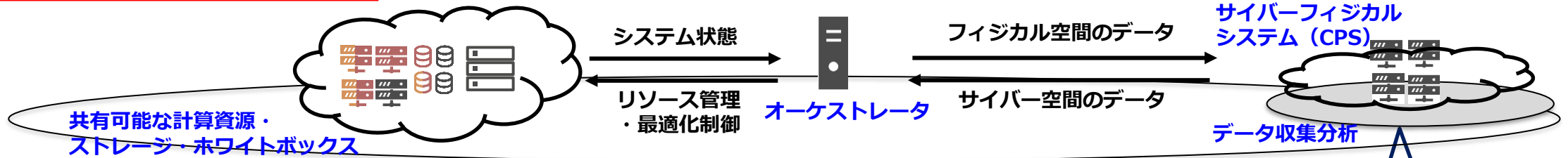
サイバー空間



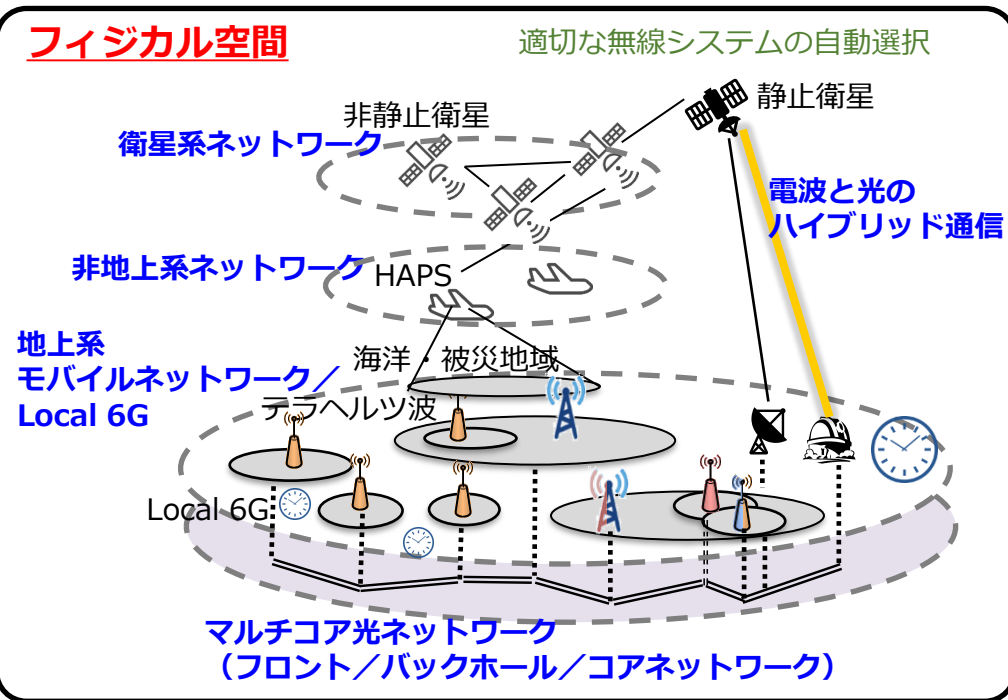


# ホワイトペーパー(NICT) ~サイバーフィジカルシステム~

## サイバーフィジカル制御プレーン



## フィジカル空間



フィジカル空間とサイバー空間の双方における時間と空間のリソース利活用

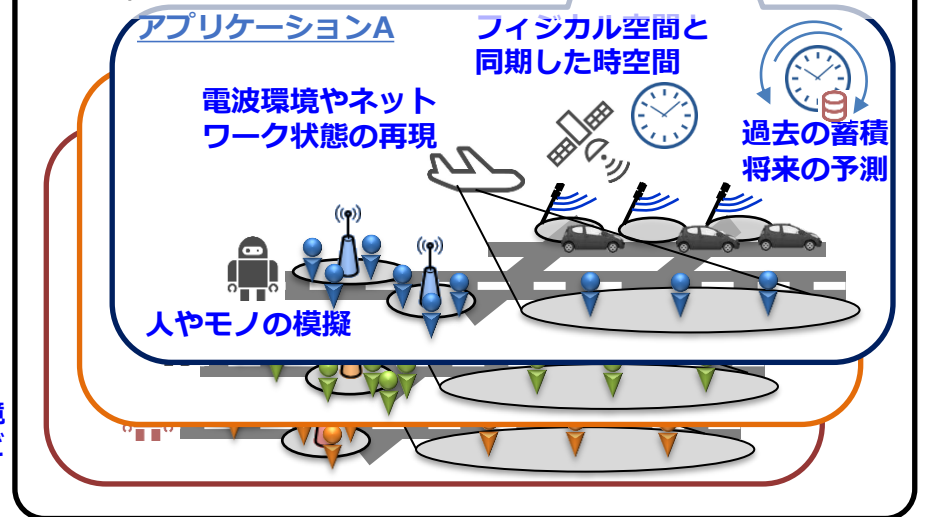
## アクチュエーション



人・モノの行動、電波環境、ネットワーク状態、などの状態把握

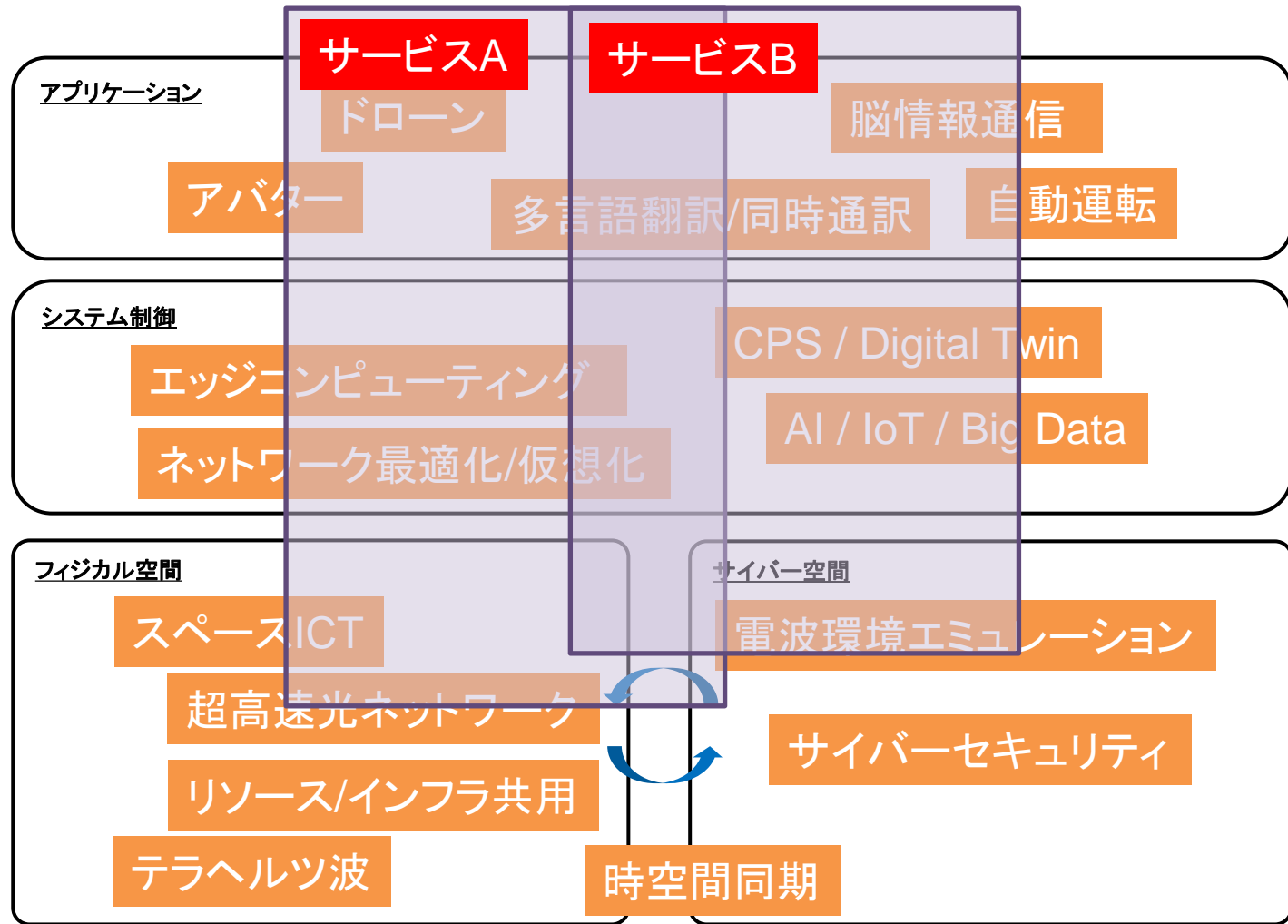
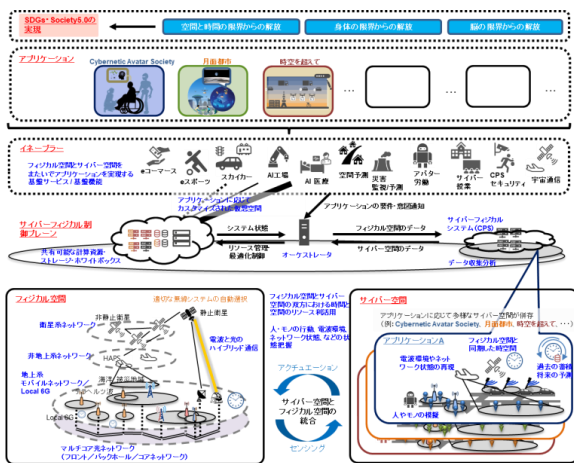
## サイバー空間

アプリケーションに応じて多様なサイバー空間が併存  
(例: Cybernetic Avatar Society、月面都市、時空を超えて、...)



# 要素技術とサービス構成

- Beyond 5Gのサービスは要素技術が高度化／多様化し、サービスを構成するバーティカルセクタの組み合わせが、フィジカル空間とサイバー空間をまたいで複雑化
- 利用者がインターフェースを意識せずサービスを利用できる仕組みが必要

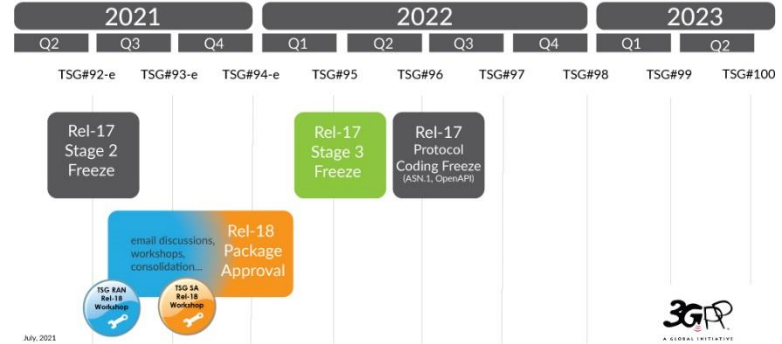


# 5Gを実現する基本技術

～エッジコンピューティングとの関係に注目して～

# 3GPP Release 17の状況

- リリース17の仕様策定作業が本格化
- 2年程度のスパンで新たな仕様化を想定



ダイナミック周波数共用

非地上系ネットワーク

衛星通信

ドローン等

## Release 17

- NR MIMO
- NR Sidelink enh.
- 52.6 - 71 GHz with existing waveform
- Dynamic Spectrum Sharing (DSS) enh.
- Industrial IoT / URLLC enh.
- Study - IoT over Non Terrestrial Networks (NTN)
- NR over Non Terrestrial Networks (NTN)
- NR Positioning enh.
- Low complexity NR devices
- Power saving
- NR Coverage enh.
- Study - NR eXtended Reality (XR)
- NB-IoT and LTE-MTC enh.
- 5G Multicast broadcast
- Multi-Radio DCCA enh.
- Multi SIM
- Integrated Access and Backhaul (IAB) enh.
- NR Sidelink relay
- RAN Slicing
- Enh. for small data
- SON / Minimization of drive tests (MDT) enh.
- NR Quality of Experience
- eNB architecture evolution, LTE C-plane / U-plane split
- Satellite components in the 5G architecture
- Non-Public Networks enh.
- Network Automation for 5G - phase 2
- Edge Computing in 5GC
- Proximity based Services in 5GS
- Network Slicing Phase 2
- Enh. V2x Services
- Advanced Interactive Services
- Access Traffic Steering, Switch and Splitting support in the 5G system architecture
- Unmanned Aerial Systems
- 5GC LoCation Services
- Multimedia Priority Service (MPS)
- 5G Wireless and Wireline Convergence
- 5G LAN-type services
- User Plane Function (UPF) enh. for control and 5G Service Based Architecture (SBA)

These are some of the Rel-17 headline features, prioritized during the December 2019 Plenaries (TSG#86)

Start of work: January 2020

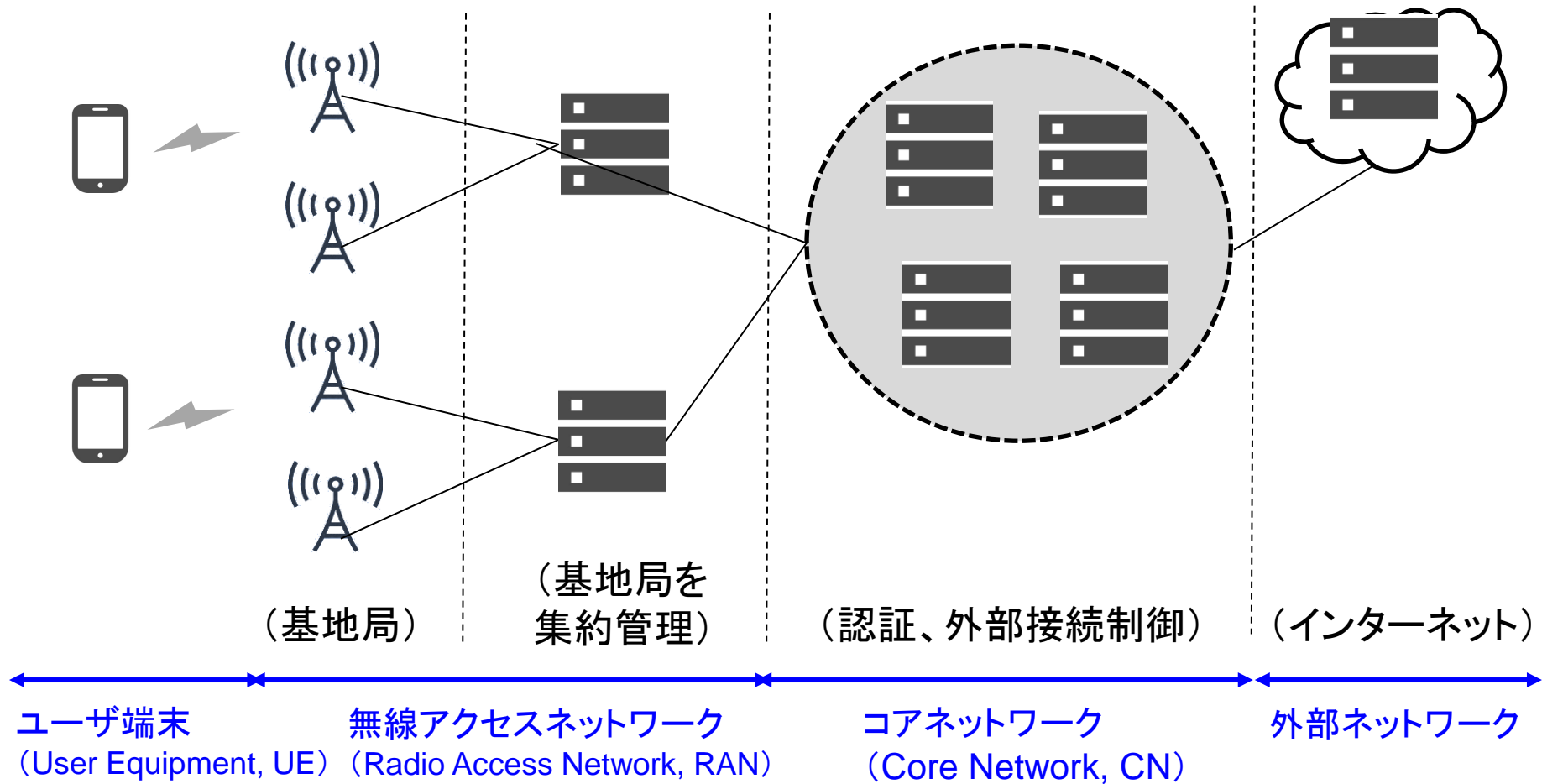
エッジコンピューティング

Full details of the content of Rel-17 are in the Work Plan: [www.3gpp.org/specifications/work-plan](http://www.3gpp.org/specifications/work-plan)

© 3GPP - February 2020

出典: <https://www.3gpp.org/release-17>  
(講演者により追記)

# 移動通信システムの構成

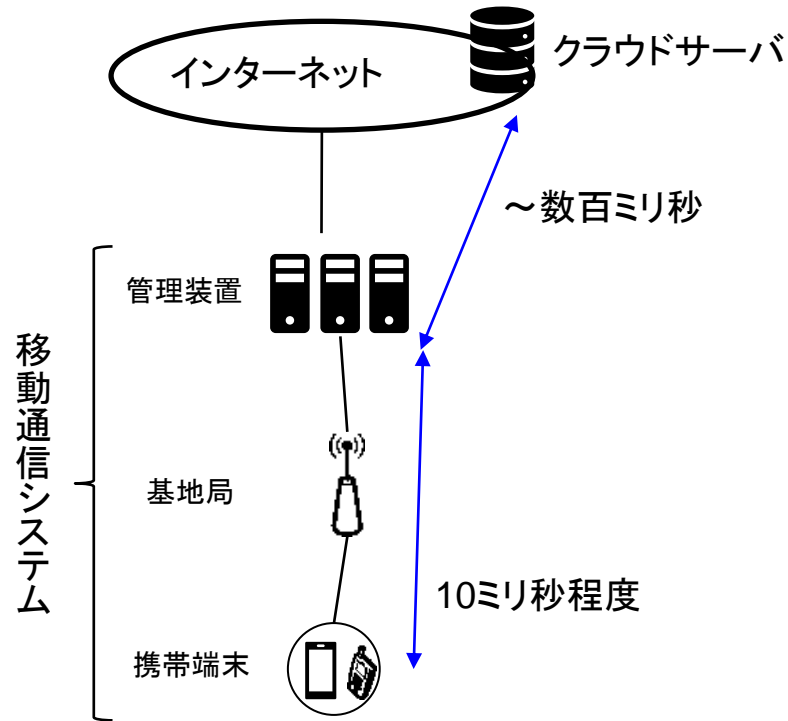


# 低遅延通信におけるエッジコンピューティング

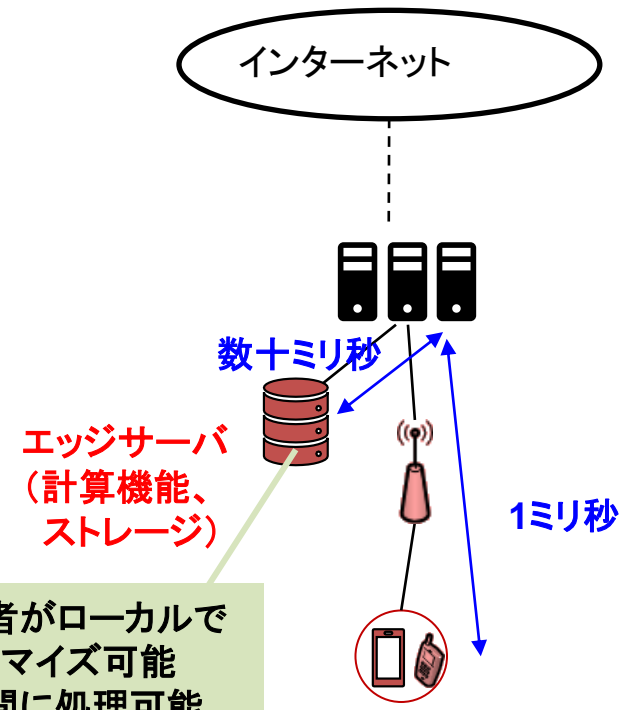
## ● Multi-access Edge Computing (MEC)

- ▶ ユーザに近い部分にコンピューティングリソースを配置可能
- ▶ 4Gでも利用可能だが、ネットワークスライシング技術などを組み合わせて低遅延通信にも有効活用

### ■ 従来の無線システム(LTE)



### ■ 5Gシステム

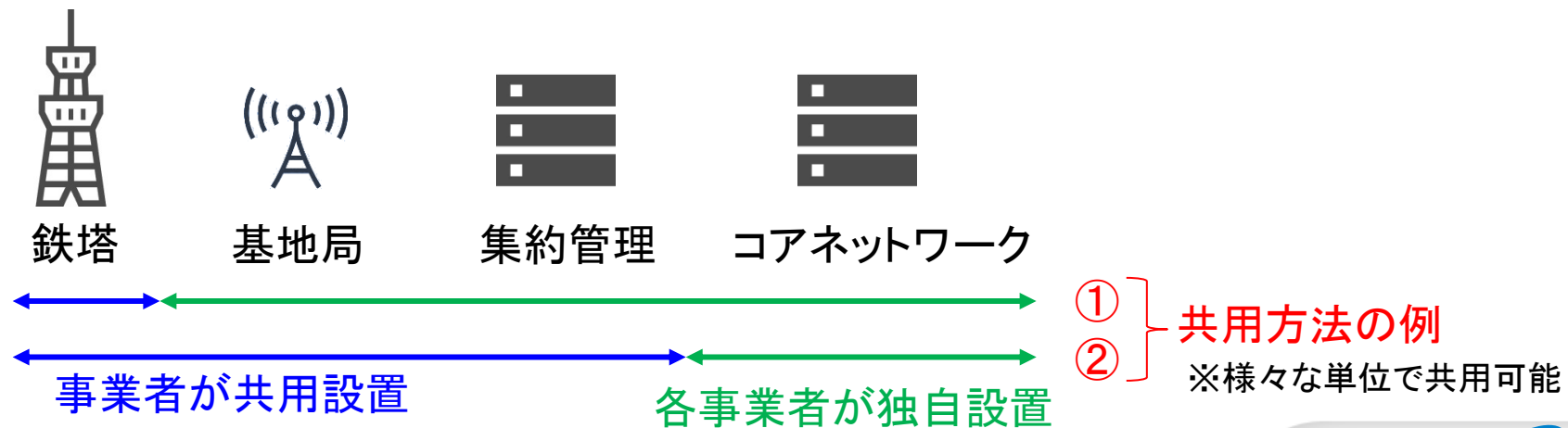


- 運用者がローカルでカスタマイズ可能
- 短時間に処理可能
- データが漏れないのでセキュリティ性向上

※時間はシステム構成や設定により様々に変動

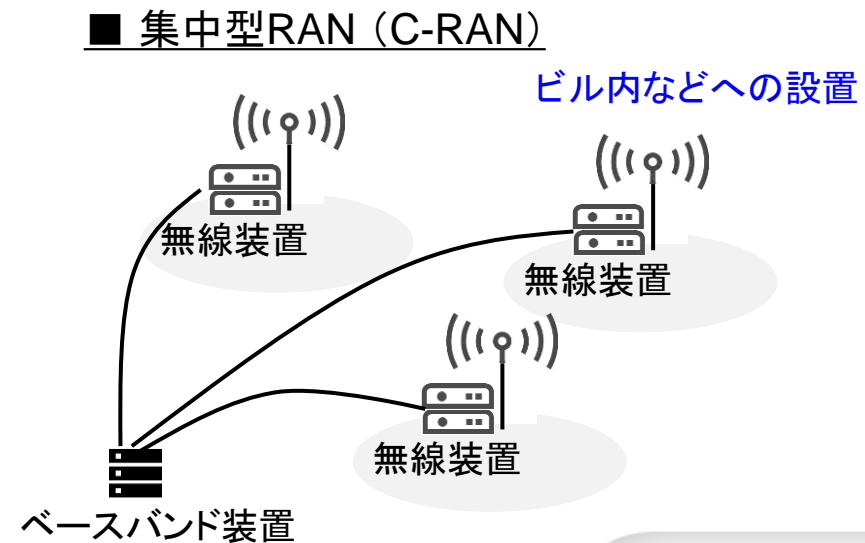
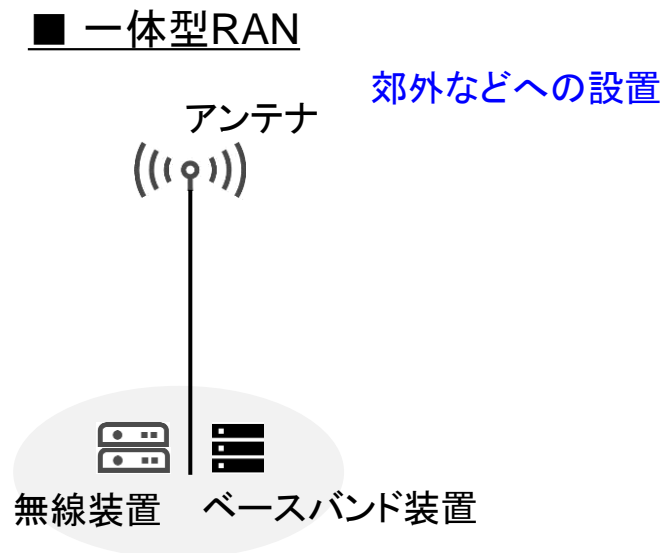
# インフラシェアリング(概要)

- 通信設備(鉄塔、アンテナ、基地局、制御装置、など)を事業者が共用してサービスを提供する仕組み
  - ▶ 5Gは、高周波数帯の特性上、基地局の小セル化や多セル化が必要
    - ▷ 鉄塔やビルの設置スペースは限られている(景観上の問題も)
  - ▶ 通信設備を共用すれば、
    - ▷ 通信設備の導入、運用、維持管理のコストを案分可能
    - ▷ 設置に当たって土地やビルの所有者との交渉が有利
    - ▷ 設置スペースを節約(設置場所がそもそも限定されている)
- 5G周波数の割り当て認定申請の条件を満たすためには迅速な展開が必要であり、インフラシェアリングが欠かせない



# 基地局の構成(一体型と集中型)

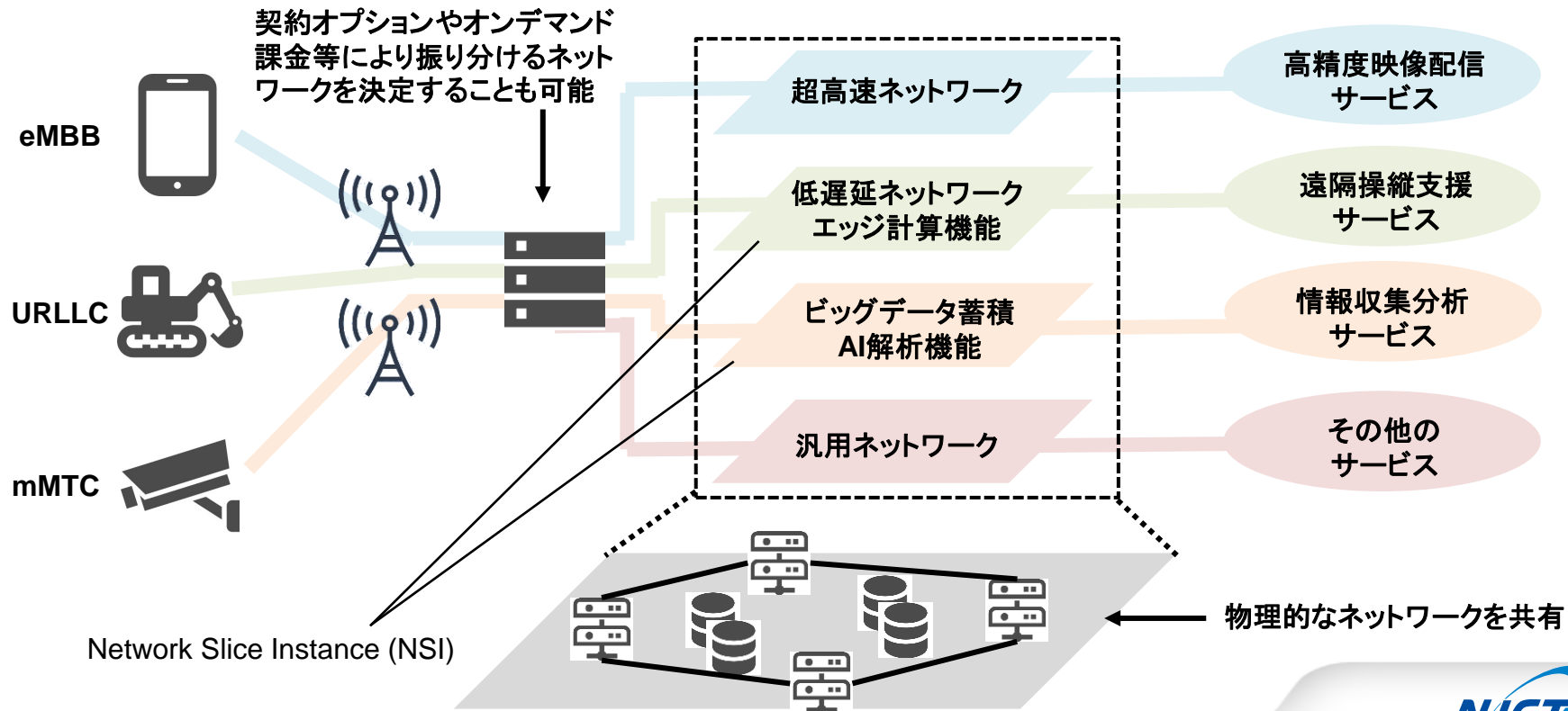
- 基地局は**ベースバンド装置** (Base Band Unit) と**無線装置** (Remote Radio Head) から構成
  - ▶ 周波数が高いとアンテナが小さくなり基地局本体からの分離が難しい。そこで、無線装置とアンテナを一体化させ、ベースバンド装置と切り離して、個別に増強しやすくしている。
  - ▶ ベースバンド装置と無線装置の間は、CPRI(Common Public Radio Interface)という標準化された光インターフェース
- 集中型RAN (Centralized RAN, **C-RAN**) の導入
  - ▶ 1台のベースバンド装置で複数の無線装置を制御することも可能





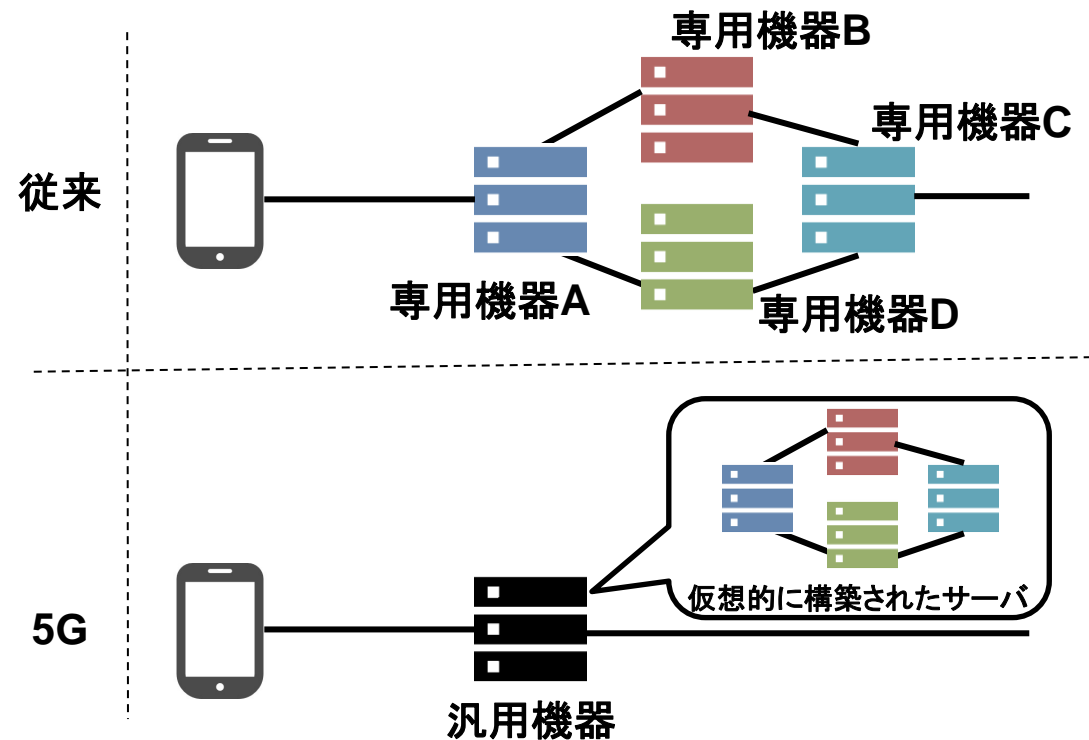
# ネットワークスライシング

- 物理的なネットワークを**仮想的**に分割(スライス)
  - ▶ 分割して資源を制限することで、他の通信の影響を押さえることが可能
  - ▶ 物理的なネットワークを複数の用途に利用すると、ネットワークの輻輳やサーバの計算能力不足により問題が発生
  - ▶ 低遅延通信や超高速通信を一体として扱いやすい



# ネットワーク仮想化

- ネットワーク上の機能(サーバ等)を専用設備ではなく汎用設備とソフトウェアで実現
  - ▶ 汎用設備の保守運用が容易
  - ▶ ソフトウェアにより柔軟に機能を追加拡張
  - ▶ 導入コストの低減



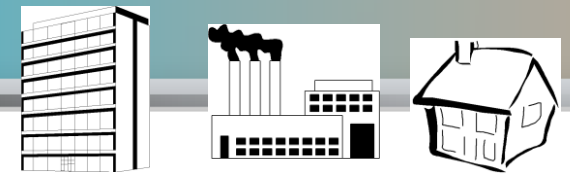
出典: 楽天モバイル ウェブサイト  
<https://network.mobile.rakuten.co.jp/area/cloud-network/>

# 自営無線システムの活用

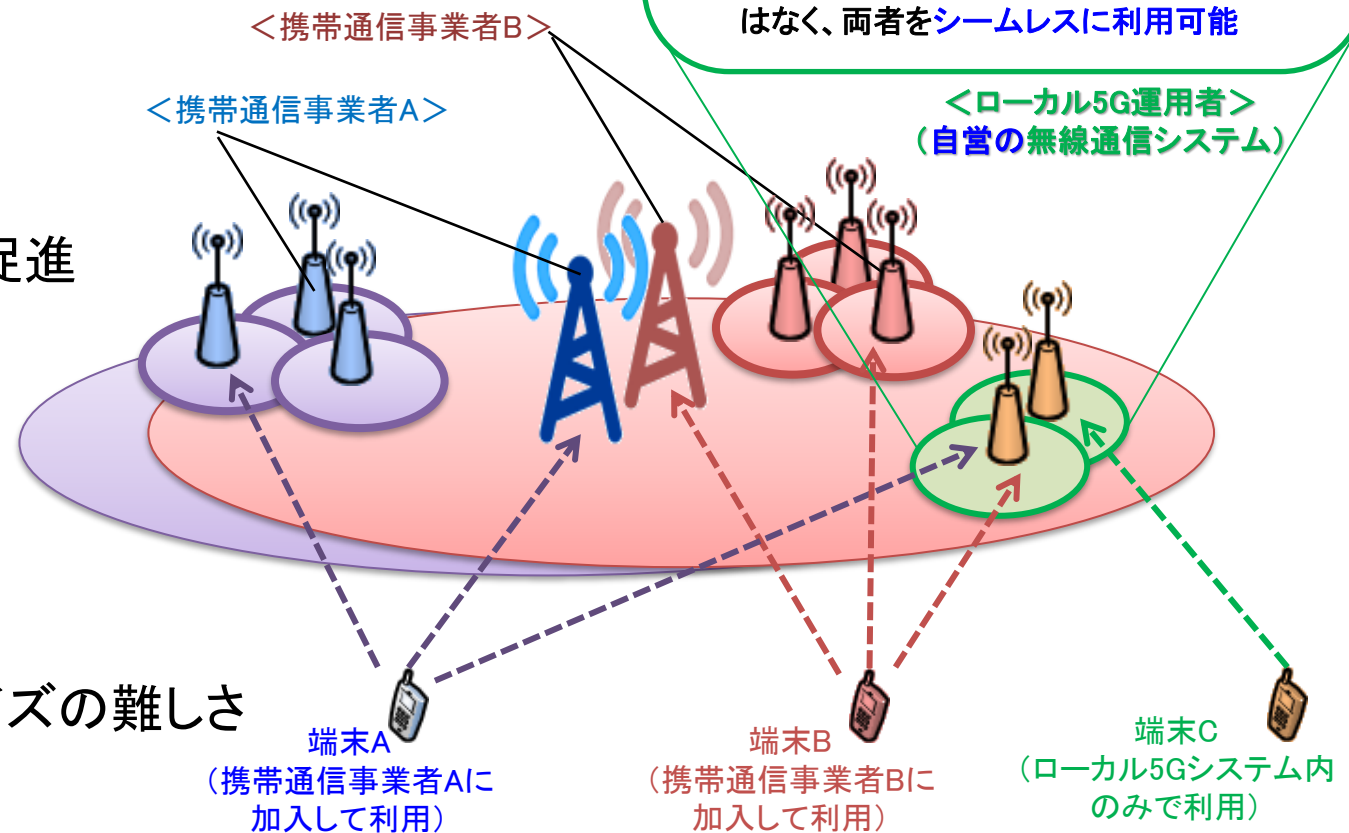
～ローカル5Gとエッジコンピューティングのかかわり～

# 5G時代における自営システムの必要性

- 第5世代移動通信システム(5G)には様々な性能要求
  - ▶ 超高速通信(最大10Gbps)
  - ▶ 超低遅延通信(1ミリ秒)
  - ▶ 多数同時接続(100万台/km<sup>2</sup>)
- これらの特徴を生かした新サービスが創出
  - ▶ バーチャルセクタの多様化と協調化が促進
  - ▶ 5G性能のニーズは局所的に発生
  - ▶ 通信エリアの柔軟な展開が必要
- 携帯電話事業者(全国キャリア)が局所的なサービスまで担うことは困難
  - ▶ 時間的・物理的な対応や個別カスタマイズの難しさ
  - ▶ 展開コストと収益のバランスの難しさ
  - ▶ 5Gにも自営システムの導入が必要



- オフィス、地下街、ショッピングモール、工場、家庭など、各場所の通信要求は異なる
- その通信のニーズは各施設の管理者が最も把握しており、自ら設備投資をしてでも専用のエリアを構築したい場合がある
- 無線LANのように切り離されたネットワークではなく、両者をシームレスに利用可能



システムは無線通信を必要とする者が適材適所に展開  
→「自営の」無線システム(マイクロセル)の積極的な活用

## ● 制度

- ▶ 携帯電話事業者による全国系のサービス提供に加え、きめ細かな潜在的なニーズに応えるため、地域ニーズや個別ニーズに応じて5Gを導入できる制度
- ▶ 自営目的のための比較的小規模な通信環境を想定
- ▶ 電気通信役務として提供する可能性もあり

## ● 意義

- ▶ 5Gでは自営無線が移動通信システムに新たな概念をもたらす
  - ▷ その1つの形態がローカル5G
  - ▷ 移動通信ビジネスのパラダイムシフト
  - ▷ プライベートLTEも移行期には有効な技術
- ▶ ローカル5Gは単なる場所限定の5G利用になるべきではない
  - ▷ カスタマイズ性を生かしたきめ細かなサービスの実現の場

参考:

[1] 総務省ローカル5G検討作業班

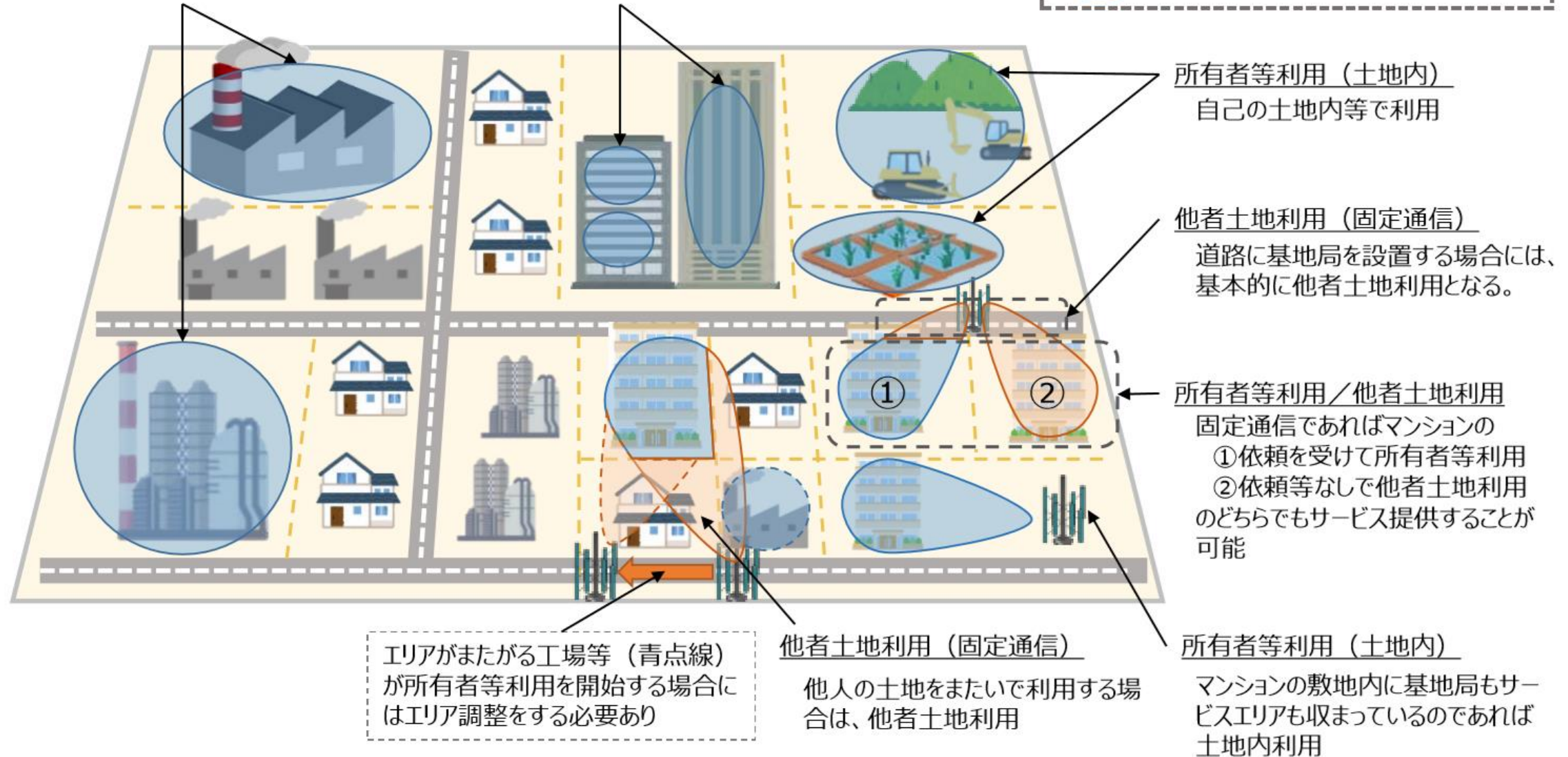
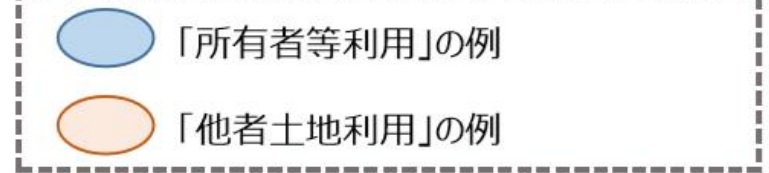
[https://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/policyreports/joho\\_tsusin/5th\\_generation/local\\_5g/index.html](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/5th_generation/local_5g/index.html)

## 所有者等利用（土地内）

土地の所有者による土地内利用

## 所有者等利用（建物内）

建物の所有者による屋内利用



出典：  
「地域ニーズや個別ニーズに応じて様々な主体が利用可能な第5世代移動通信システム（ローカル5G）の技術的条件等」  
—情報通信審議会からの一部答申—  
[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban14\\_02000385.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000385.html)  
(令和元年6月18日)

# 5G、ローカル5G、無線LANの比較

	5G	ローカル5G	無線LAN
周波数	3.7GHz、4.5GHz、28GHz	28GHz、4.7GHz	2.4GHz、5GHz
免許(日本)	通信事業者のみ	必要	不要
認証方法	SIM	SIM、(パスワード)	パスワード
通信距離	広(ハンドオーバ)	狭	狭
必要な手続き	加入契約	免許申請	不要
設置費用	不要	高	低
運用費用	必要	不要	不要
通信の安定性	高	高	低(電波干渉)
セキュリティ	高	高	低
カスタマイズ性	低	高	高

※周波数、免許については、日本の場合

※説明の都合上、上記には主要なものを列挙しており、必ずしも網羅していない

# 総務省による5G総合実証試験（R3年度）

実証件名	代表機関	主たる実施地域
中山間地域でのEVロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル5Gの技術的条件及び利活用に関する調査検討 ※1	東日本電信電話株式会社	北海道浦臼町
フリーストール牛舎での個体管理作業の効率化に向けた実証事業 ※1	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所	北海道常呂郡訓子府町
ローカル5Gを活用した遠隔型自動運転バス社会実装事業	一般社団法人 ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構	群馬県前橋市
新型コロナからの経済復興に向けたローカル5Gを活用したイチゴ栽培の知能化・自動化の実現 ※1	東日本電信電話株式会社	埼玉県深谷市
道路における災害時の被災状況確認の迅速化および平常時の管理・運営の高度化に向けた実証	中央復建コンサルタンツ株式会社	埼玉県越谷市
空港における遠隔監視型自動運転に向けた通信冗長化設計による映像監視技術の実現	東日本電信電話株式会社	千葉県成田市
スタジアムにおけるローカル5G技術を活用した自由視点映像サービス等新たなビジネスの社会実装	三菱電機株式会社	東京都文京区
ローカル5Gを活用した鉄道駅における線路巡視業務・運転支援業務の高度化	住友商事株式会社	東京都目黒区
ローカル5GとAI技術を用いた鉄道駅における車両監視の高度化	京浜急行電鉄株式会社	東京都大田区
ローカル5Gネットワーク網を活用したコンサート空間内におけるワイヤレス映像撮影システムの構築	株式会社stu	東京都渋谷区
大型複合国際会議施設におけるポストコロナを見据えた遠隔監視等による安心・安全なイベントの開催	株式会社野村総合研究所	神奈川県横浜市
5G及びデータフュージョンによる熟練溶接士の技能の見える化及び遠隔指導の実証	PwCコンサルティング合同会社	神奈川県横浜市
大都市病院における視覚情報共有・AI解析等を活用したオペレーション向上による医療提供体制の充実・強化の実現	トランスコスモス株式会社	神奈川県川崎市
ローカル5Gを活用した山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用化モデル検証	とнами衛星通信テレビ株式会社	富山県南砺市

富士山地域DX「安全・安心観光情報システム」の実現	NPO法人中央コリドー情報通信研究所	山梨県富士吉田市
ローカル5Gを活用した高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上に関する開発実証	株式会社協和エクシオ	岐阜県美濃市
ローカル5Gを活用した操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理の取組み	株式会社ZTV	三重県鳥羽市
港湾・コンテナターミナル業務の遠隔操作等による業務効率化・生産性向上の実現	西日本電信電話株式会社	大阪府大阪市
高速道路上空の土木建設現場における、安全管理のDX化に求められる超高精細映像転送システムの実現	清水建設株式会社	大阪府高槻市
スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI画像認識による見守りの高度化	株式会社長大	奈良県三郷町
プラントの遠隔監視によるガス漏れ等設備異常の効率的検知の実現	広島ガス株式会社	広島県廿日市市
中小企業における地域共有型ローカル5GシステムによるAI異常検知等の実証(ユタカ社工場) ※2	株式会社愛媛CATV	愛媛県松山市
中小企業における地域共有型ローカル5GシステムによるAI異常検知等の実証(ツウテック社工場) ※2	株式会社愛媛CATV	愛媛県東温市
共生社会を見据えた障がい者スポーツにおけるリモートコーチングの実現	株式会社電通九州	福岡県田川市
ローカル5Gを活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現	株式会社正興電機製作所	長崎県壱岐市
ローカル5Gを活用した災害時におけるテレビ放送の応急復旧	株式会社地域ワイヤレスジャパン	沖縄県浦添市

出典:総務省報道発表(令和3年8月31日)

令和3年度「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」に係る実証提案の公募の結果

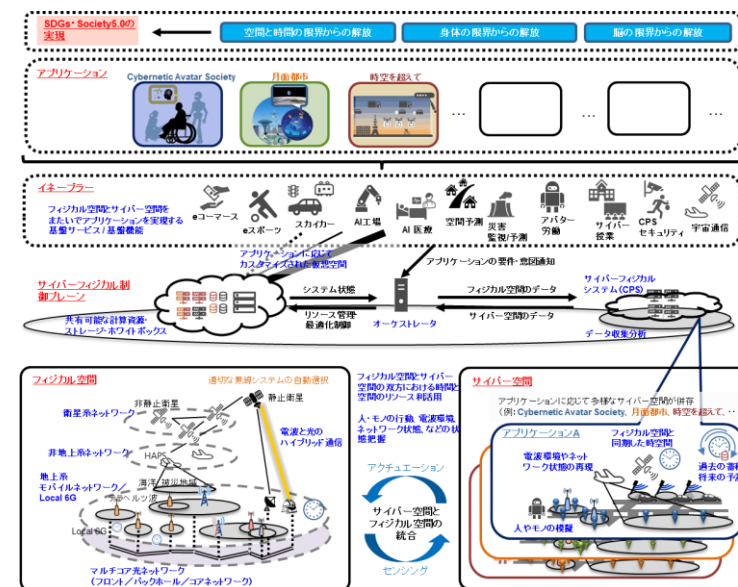
[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01ryutsu06\\_02000304.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu06_02000304.html)



# ローカル5Gが使用されるサービス対象

- ローカル5G利用に期待される要件
  - ▶ 必要なサービスに合わせた迅速なカスタマイズ性
  - ▶ 既存システムを補完することによる通信性能の確保
  - ▶ 閉じた通信システムによる安全性
  - ▶ 有線ネットワーク等の敷設コストの削減
  - ▶ 人間の感覚やモノの制御を扱うための5G性能(超高速、低遅延、高信頼、等)
- 計算資源は、インターネット上のクラウドサーバではなく、ローカルに設置されたエッジサーバが基本

- 5G / 6G 時代にはこれまで実現が不可能と考えられていた物理的な限界を超えるアプリケーションの実現が期待
  - ▶ サイバー空間とフィジカル空間が統合された世界観を自在に操ることができる仕組みの定義
  - ▶ フィジカル空間自体の高度な拡張 (やっと出番が来た有無線NWの統合技術、本格的なインフラ/リソースシェアリング、...)
  - ▶ サイバー空間でのデータ蓄積・学習の技術 (計算機資源の柔軟な利用技術)
- ますます多くのステークホルダーが連携してビジネス構築 (未来社会を創造するインフラになる)
  - ▶ そのためには新しいコンセプトのアーキテクチャが必要
  - ▶ エッジコンピューティングはサイバー空間とフィジカル空間の両方にまたがる重要技術



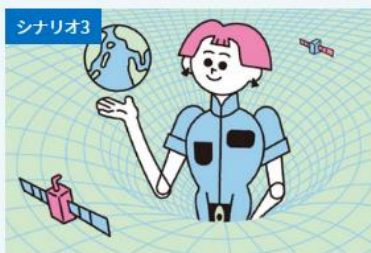
## > NICTが描く未来像



Cybernetic Avatar Society



月面都市



時空を超えて



B5G  
ホワイト  
ペーパー

## News

2021年11月29日	🌸【Sakuraのいいね! #2】 NICT NEWS No.6「B5G/6Gホワイトペーパー特集」	>
2021年11月26日	🌟【ひらめき時間#2】 忘れられる権利	>
2021年11月1日	🌸【Sakuraのいいね! #1】 CEATEC2021に参加してきました。	>
2021年10月29日	【ひらめき時間#1】 月面都市のその後...	>
2021年10月25日	NICT NEWS No.6「Beyond 5G / 6Gホワイトペーパー特集」が発刊されました。	>
2021年9月30日	Beyond 5G研究開発推進ユニットのWebサイトを立ち上げました。	
2021年8月31日	Beyond 5G/6Gホワイトペーパー (英語1.0版) を公開しました。	>
2021年4月30日	Beyond 5G/6Gホワイトペーパー (英語0.9版) を公開しました	>
2021年4月1日	Beyond 5G/6Gホワイトペーパー (日本語1.0版) を公開しました。	🔗
2021年4月1日	NICTにBeyond5G研究開発推進ユニットが新設されました。	🔗

> 一覧を見る

# <https://beyond5g.nict.go.jp/>

## 【ひらめき時間 #2】 忘れられる権利

NICTでは、こんな突拍子もないことを題材に、Beyond 5G/6Gの実現に向けたアイデアソンを行っています…。

www上などサイバー空間でいつまでも過去の情報が残り、消し去ることができないことが問題となったことから、「忘れられる権利」について実装が進められ、コンテンツ作成者が指定したタイミングでCPSプラットフォーム上の全ての記憶領域から指定したデータを消去する機能も備えており、嘗てのインターネットでは実現できなかった、プラットフォーム上でデータ(主にプライバシーに関わる情報)の生成から消去までのライフタイムが明確に指定できるようになった。

一方で、人類がサイバー空間上で活動するようになってからまだ半世紀ほどであり、サイバー空間にうまくなじめる人となじめない人との間で深刻な分断が生じているとして社会問題化している。例えば、同調を求める社会的圧力によって少数派が沈黙を余儀なくされる「沈黙の螺旋」がサイバー空間でのコミュニティや職場環境などに致命的な悪影響を与えているケース、サイバー空間での人の人とのつながりにうまく適用できずサイバー空間から孤立してしまうケース、サイバー空間でのトラブルからリアルな人間関係もうまく築けなくなってしまうケース、さらには自らの利益への誘導のため特定の主張等を行うことにより科学的なエビデンスとはかけ離れた世論形成を図ろうとするケース、などがあるとの指摘があり、引き続き社会的観点・技術的観点の両面から解決策が模索されている。

人の人生はゲームのようにリセットできないのと同じように、サイバー空間でも生身のアバターは簡単にリセットできないことを人類が理解し、サイバー空間が真に人類の新天地になるまで、まだまだ時間がかかりそうだ。

#みなさんも一緒にひらめきませんか? この続きは、下記まで。

B5G-inquiry@ml.nict.go.jp



# NICT

## Beyond5G 研究開発推進ユニット

皆様とのコラボを楽しみにしています！

国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT)  
Beyond5G 研究開発推進ユニット  
Beyond5G デザインイニシアティブ長  
石津 健太郎 ( [ishidu@nict.go.jp](mailto:ishidu@nict.go.jp) )

