

1 2030 年代の未来生活を支える Beyond 5G の概念

1 The Concept of Beyond 5G Realizing our Daily Life in 2030s

石津 健太郎

ISHIZU Kentaro

Beyond 5G が実現される 2030 年以降の未来生活では、サービスを構成するシステムが複雑化し、産業を超えた連携も必要となる。そのためには、もはや従来型のシステム接続では限界があり、オープンにサービスを創出できるプラットフォームとしての Beyond 5G の在り方を検討する必要がある。そのため、オーケストレーションやサイバーフィジカルシステムの考え方に基づく Beyond 5G のアーキテクチャを適切に見定め、その具体化を行うとともに、その有効性を検証するための研究開発が必要である。本稿では、NICT が公開する Beyond 5G / 6G ホワイトペーパーが主張するアーキテクチャと、その背景にある考え方を示す。また、それにより実現される未来生活シナリオや、グローバル連携に向けた最近の取組について紹介する。

Future life in 2030s realized by Beyond 5G requires cross-industry collaboration as the component systems of services are getting complicated. Conventional style of system connection has reached to a limit of integration, and it is time to consider a way of Beyond 5G as an open service platform. Therefore, it is necessary to conduct research and development on Beyond 5G based on the concept of orchestration and cyber-physical system. This paper shows architecture and its background that the Beyond 5G / 6G white paper that NICT published. Then, future life scenarios are introduced in addition to recent activities toward global collaboration.

1-1 Beyond 5G による産業をまたぐ オーケストレーション

1 まえがき

我々の生活にはもはやスマートフォンが欠かせない。スマートフォンの利用を可能にしているのは、移动通信システムと呼ばれる仕組みである。移动通信システムは、1980 年代の自動車電話や肩掛けの移動電話から始まった(第1世代)。その後、1990 年代から 2000 年代には、小型化されたいわゆる携帯電話が登場して簡単なテキストメッセージや解像度の低い画像のやりとりが可能になり(第3世代)、スマートフォンによる高速なデータ通信を活用したアプリケーションも登場した(第4世代)。2020 年からは人間に限らずモノとモノが通信するために必要な特徴を備え、新たなサービスをもたらしてくれることが期待される(第5世代)。この第5世代移动通信システムは、5th Generation Mobile Communication System の略から“5G”と呼ばれ、規格化が着実に進み、サービスとして順次展開されている最中である。このように、おおよそ10年の単位で移動

通信システムの世代は進化してきた(図1)。

5G の次の世代は 6G(第6世代)ということになるが、2030 年代以降に実現される移动通信システムを総称して“Beyond 5G”と呼び、研究開発が進行中である。Beyond 5G は日本初用語であり、研究開発や標準化の現場では 6G をキーワードにすることが多い。Beyond 5G は、5G の後(beyond)に登場するシステムという意味ではあるが、移动通信システムの通信性能を向上させた単なる延長上のシステムではなく、情報通信に新たな特徴をもたらす要素技術を取り入れ、産業にも新たな価値を生み出すための仕組み(アーキテクチャ)を備えることで、社会に新たな価値をもたらす基盤にもなると期待できる。

2 サイバーフィジカルシステムが実現する Society 5.0

2.1 Society 5.0 が示す人間中心の社会

Society 5.0 [1] は、内閣府の第5期科学技術基本計画において提唱された目指すべき未来社会の姿である。Society 5.0 は、サイバーフィジカルシステム(Cyber

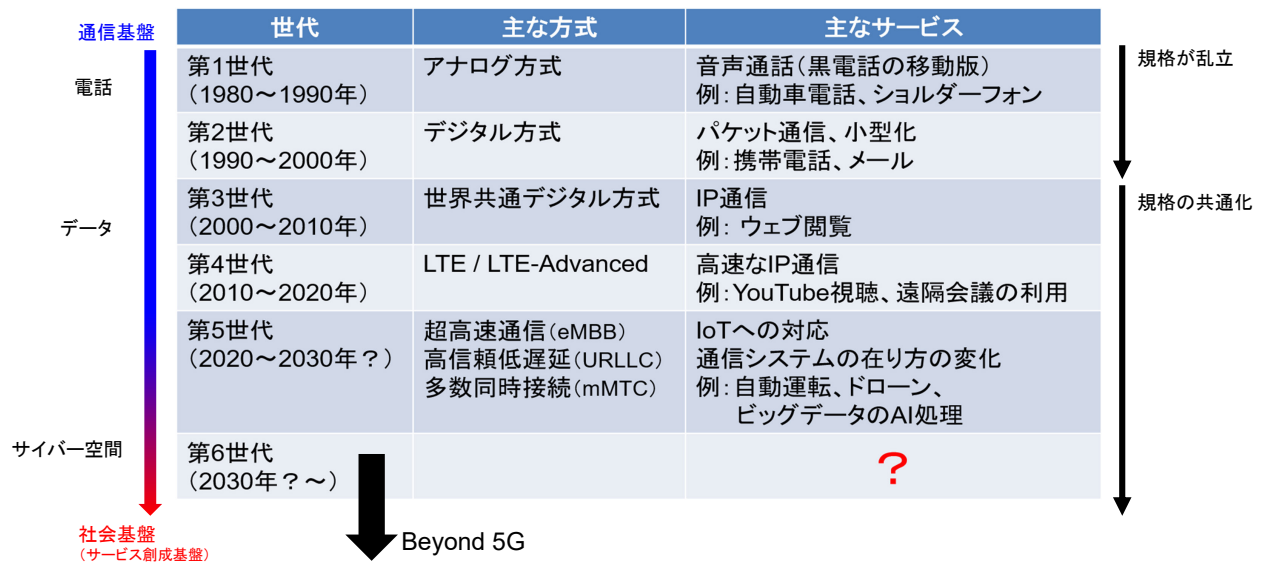


図1 移動通信システムの歴史

Physical System:CPS)に基づき構成され、それにより経済発展と社会的課題の解決が両立した人間中心の社会であるとしている。ここで発せられているメッセージは、これまでの社会は技術先行で発展してきたが、今後の社会では人間が置き去りにされるべきではなく、ますます複雑化する人間社会の課題を解決することに主眼を置くべきだ、ということであろう。総務省が提示する6Gへのロードマップでは、Society 5.0の実現においてはBeyond 5Gが基盤的な技術になるとしている[2]。

Society 5.0は我々が目指す未来社会ビジョンを的確に示したものだ考える。最近では、この概念は名称とともに海外にも浸透しつつあると実感している。日本が発信する人間中心の未来の在り方として、海外の様々なステークホルダーと一緒に議論を深めていきたい。

2.2 サイバーフィジカルシステム

Beyond 5Gの最も明確な特徴を1つ挙げれば、サイバーフィジカルシステム(Cyber Physical System:CPS)を基本概念としているところだ。

CPSは、コンピュータ上に再現された仮想世界(サイバー空間)と人間が生活している現実世界(フィジカル空間)が、センシング情報や制御に関する情報の交換を循環的に繰り返すことにより、様々な社会的課題を解決していく(図2)。

サイバー空間は、現実空間からセンシングされる情報に基づきコンピュータ上に再現された仮想世界であり、データを蓄積し、人工知能や機械学習などにより未来を予測して、フィジカル空間を最適化する方法を導く。最近になって実用的なサービスが展開されてい

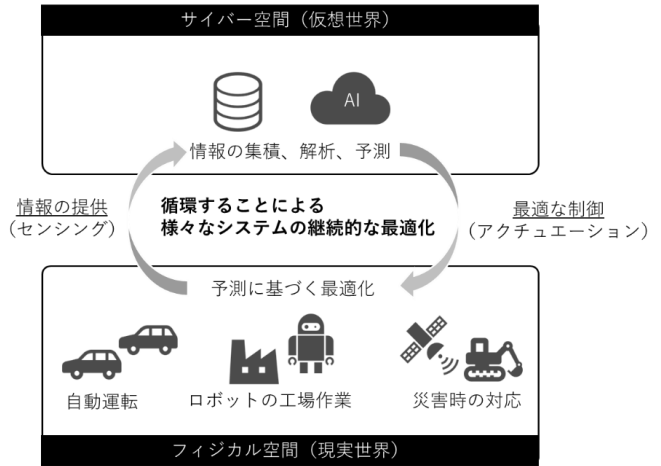


図2 サイバーフィジカルシステム(CPS)

る生成AIも、この予測と最適化の実現する重要な機能となるであろう。一方で、フィジカル空間は我々が実際に生きている世界である。フィジカル空間からサイバー空間には様々な情報を提供し(センシング)、一方でサイバー空間からフィジカル空間には最適な制御を行う(アクチュエーション)。サイバー空間とフィジカル空間との間の情報収集と最適制御は循環的に繰り返され、持続的に動作することが想定されているところが、単なるクラウドサービスとの大きな違いである。

CPSによる現実世界の把握と仮想空間による予測・最適化は、電波、電力、交通などの様々な資源全体を対象としており、最適化はそれら資源をまたいで行われる。Beyond 5Gは、このCPSを基本概念としており、そのための通信、情報処理、デバイスなどの多様な要素技術がBeyond 5Gの研究開発として求められる。

3 複雑化するシステムとアーキテクチャの必要性

3.1 産業を超えたシステム連携の必要性

情報通信システムは非常に複雑化しており、利用者が望むサービスを提供するためには、これまで以上に産業分野を越えてシステムを持ち寄り、適切なシステムの組み合わせを判断し、連携させることが必要になる。図3はBeyond 5Gのフィジカル空間のみに焦点を当てて組み合わせの一例を示したものである。扱うシステムは複雑さを増していることが分かるが、サービスを実現するためにはこれに加えて自動運転車やドローンのような産業システムを更に組み込む必要がある。

Beyond 5Gの役割は、各種サービスに通信を提供するという役割から大きく拡張され、このように産業分野を超えたサービス創成の場となることが期待される。つまり、システムが様々な事業者等から持ち寄られ、利用者が必要とするサービスの機能や性能に合わせて、持ち寄られたシステムの中から適切な組み合わせを決定してサービスを構成するというものである。これにより、思いがけないシステムの組み合わせによる新たな価値を持つサービスの創成、先端的な機能を持つシステムの活用、接続障壁が高かったシステムの接続、などが可能になり、産業の在り方に変革が期待できる。

3.2 Beyond 5G アーキテクチャ

産業を超えてシステムが持ち寄られてBeyond 5Gシステムが構成されるのであれば、そのシステムの種類と数は爆発的に増加する。また、情報通信分野の専門家ではないサービスの利用者は、持ち込まれるシステムを全て理解することは困難であり、そのため候補となるシステム全体をブラックボックスとして受け止めてくれる機能も必要である。例えば、要求する通信品質を保証する通信システムの選択、アバターロボット作業に適したアプリケーションシステムの設定など、専門性が高い作業を一般のサービス利用者から切り離す必要があるということである。

これらの課題を解決するためにはBeyond 5Gのためのアーキテクチャを適切に設計していく必要がある。NICT ホワイトペーパー [3]-[5]では、図4に示すようなアーキテクチャを示し[6]、様々なステークホルダーとの議論を行うとともに、実証システムを構築してその実現可能性を検証しているところである。

Beyond 5G サービスは、CPSの概念に基づきフィジカル空間とサイバー空間を構成するシステムの組み合わせにより実現される。これらのシステムはオーケストレータと呼ぶ機能により一貫したポリシーで扱われ、サービスを実現するに当たり必要なシステムの選定や接続、設定を適切に行う。サービスイネーブラは、共通インターフェイスを介してサービスに対する要求を

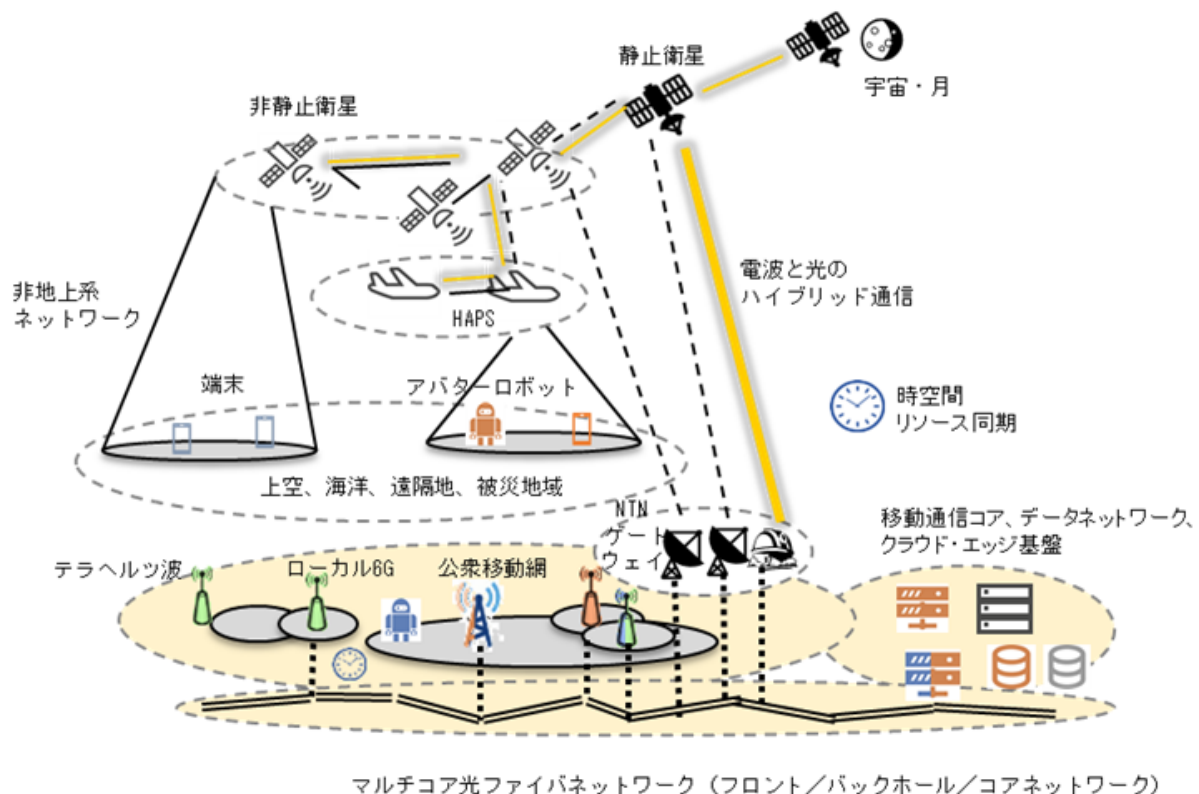


図3 Beyond 5Gが想定するフィジカル空間のシステム構成の一例

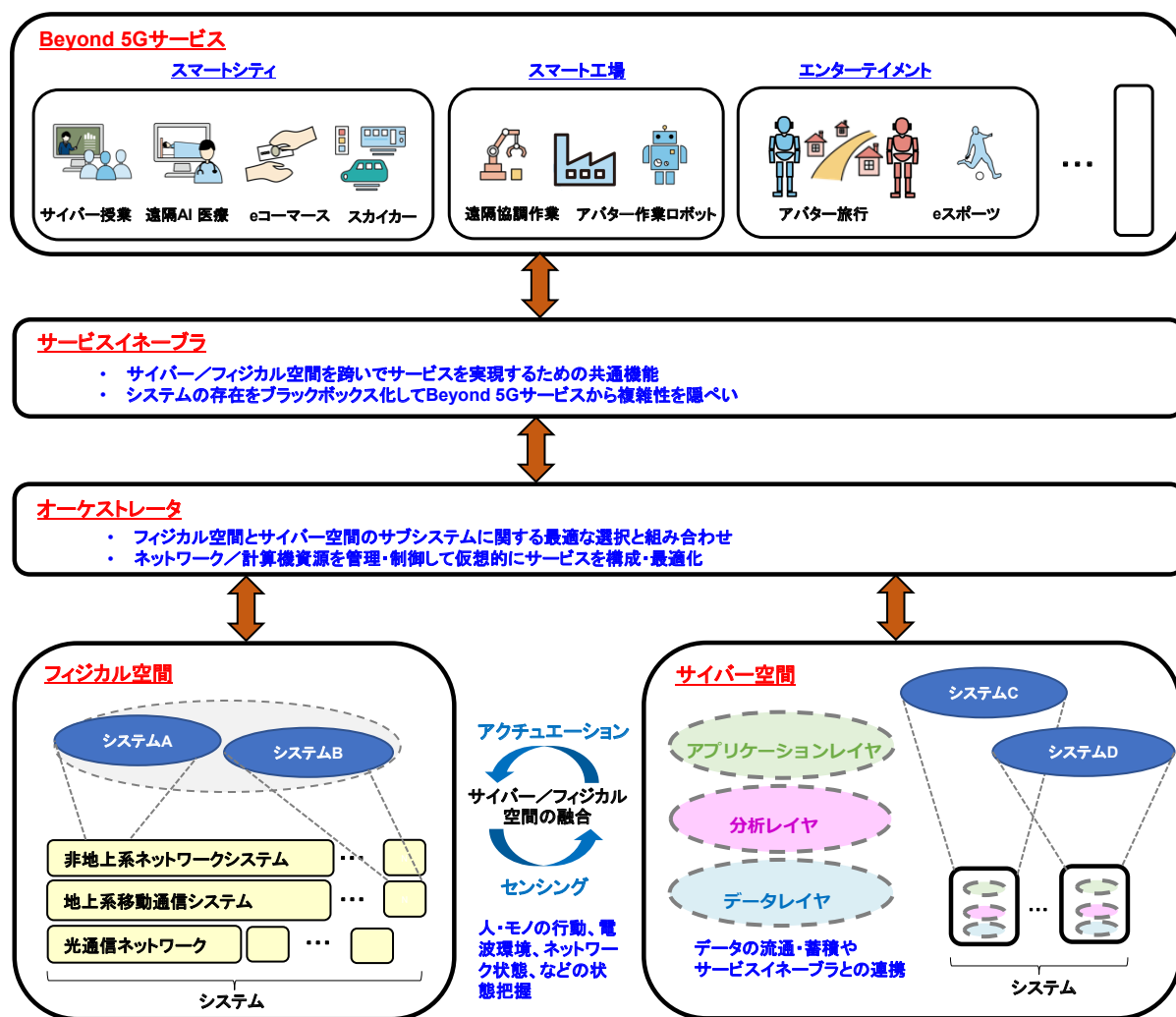


図 4 Beyond 5G アーキテクチャ

受け取り、それに基づきオーケストレータが多くのシステムを統合的に扱う。

各システムとオーケストレータの間にも共通インターフェイスが定義される。したがって、各システムは、このインターフェイスに従って接続すれば Beyond 5G サービスを構成する要素として扱われ、オーケストレータにより Beyond 5G サービスに参画する機会を得られる。

なお、オーケストレータという名称の定義には注意が必要であり、特に事業用の複雑な通信システムにおいては複数の資源を最適に利用するためにいわゆる(内部の)オーケストレータという機能がある。しかし、本稿で述べるオーケストレータは各システムの外にある機能であり、事業者や産業分野を越えたいわば外部のオーケストレータと言って良い。これらのオーケストレータは当然連携して動作することを想定している。

3.3 Beyond 5G による産業間連携

爆発的に増加するシステムから生じる無数の組み合

わせから、人間が自らサービスを設計しては限界が生じる。そこで、図5に示すようにオーケストレータが産業をまたいでシステムを扱う必要性が生まれるのである。Beyond 5G システムでは、各業種において電波やエネルギーなどの限られた資源を効率的に利用するとともに(同業種)、産業をまたいでシステムを連携させることで社会全体として新たな価値を持つサービスを生み出していく(異業種)。この際、システムの連携を担うオーケストレータが最適な組み合わせや、機能設定、課金方法などを最適に提案することになり、当然、ここに AI などの技術も使われるであろう。

産業をまたいで価値を生むユースケースの例を1つ挙げてみる。プレーヤーとして、ドローン配送事業者、自治体、自動運転バス事業者を想定したサービスを考える。従来型のサービスでは、それぞれの組織が持つデータは閉じて管理されているが、適切な組織とデータを共有してサービスを生み出すことを考えると、(1)ドローン配送事業者が配送中に副次的に撮影した道路

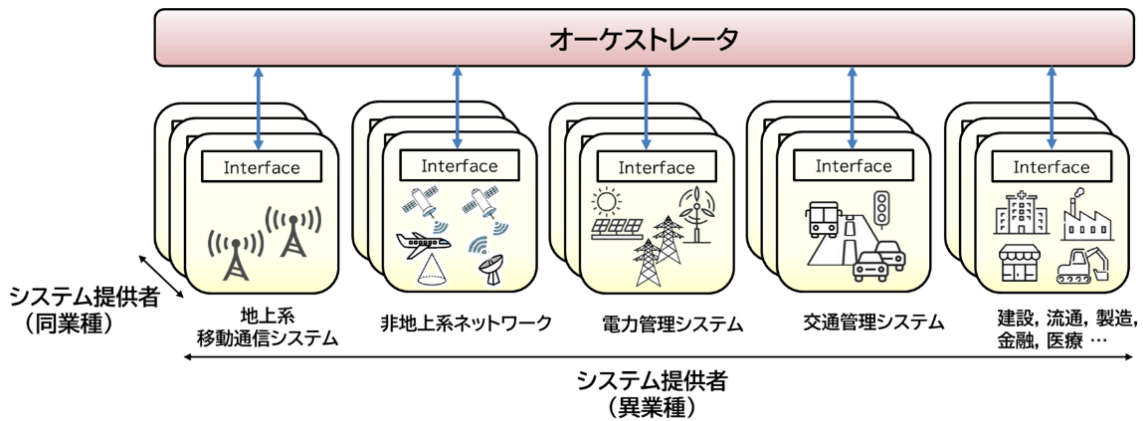


図5 業種を越える連携とオーケストレーションの概念

の画像を自治体に共有、(2)自治体はその画像を分析して運転に必要な要注意道路を特定、(3)自動運転バス事業者は自治体からその情報を共有されて安全で快適な運送サービスを実施、ということが可能になるだろう。多様なシステムがBeyond 5G技術によりCPSとしてつながり、1つのサービスが実現する。パーツとしてのシステムが増えれば、このようなサービスは無数に生まれ、新たな価値を生む組み合わせの決定や設定をオーケストレータが担うことになる。

一方で、このような方法でサービスを実現していけば、倫理、法律、社会制度の観点から課題は増大する。産業分野、地域、年代を越えて異なる視点の課題を突き合わせて解決していくための議論が展開される必要がある。

1-2 未来生活シナリオから始まる Beyond 5G 研究開発

1 根拠に基づく妄想

NICTでは、有志の研究者100人以上が編集にかかわったBeyond 5G / 6Gホワイトペーパーを公開している。初版の公開は2021年3月であり、最新版は2023年3月に公開した第3版[3]である。このホワイトペーパーでは2030年以降の未来生活を思い描き、そこからバックキャストすることで現在取り組むべき研究課題を明確にしている。

現在の我々の生活には、身体・時間・空間など様々な制約がある。それらの制約を超えた際に実現される未来シナリオを想像し、それを物語形式で示した。このようにして、情報通信分野を超えて広いステークホルダーと議論のきっかけを作っている。

以下にシナリオの一部を紹介するが、これらは妄想ではない。現在の技術動向を根拠にして、専門家集団としてのNICTの研究者が未来を想像したものであ

る。初版から既に3年以上が経過しているが、外出困難者が操縦する分身ロボットによるレストランでの接客[7]、月面に人が継続的に滞在して経済活動を行うことを目指すアルテミス計画[8]、大阪・関西万博における空飛ぶクルマの活用計画[9]の例のように、着実に実現に向かいつつあるものもある。

なお、ホワイトペーパーのシナリオはアニメ化してYouTubeにも公開しているので、興味がある方はご覧いただきたい[10]。

2 未来生活シナリオ

2.1 Cybernetic Avatar Society (身体の制約を越える)

とある開発会社の課長さんの一日。海外の工場でシステム障害が発生したが、現地のロボットに乗り移ってあたかも現場にいるように修理ができた。感触は問題無く伝わるし、人間の50倍の力を出せる。午後には息子の授業参観があるが、以前から会社の重要会議が入っていた。そこで、AI分身ロボットを使って両方に参加して対応しよう。会議では重要なタイミングで発言ができたし、息子も喜んでくれた！(図6)

2.2 月面都市 (時間の制約を越える)

月面で生活するための拠点を建設している。地球からコントロールされたロボットが協調して作業している。地球と月の間の通信は往復で2.5秒の遅れが発生する。また、月にはGPSもない。しかし、最新技術がこれを可能にしたのだ。毎朝、地球の自宅からアバターロボットに乗り移り、月にいる精鋭の宇宙飛行士と一緒に活動する。月の現場に行かなくても、家族と生活しながら安全で快適に仕事ができるのだ(図7)。

2.3 時空を超えて (空間の制約を越える)

物流や人の移動は、もはや地上だけではなく、上空



図6 身体の制約を越える



図7 時間の制約を越える

を活用する時代。ドローンや空飛ぶクルマが縦横無尽に飛び交い、しかも衝突することは無い。物流倉庫は上空に設置され、ドローンが一直線に運搬する。荷物は数十分で到着し、移動や待ち時間に費やしていた時間をクリエイティブな活動に使える。交通渋滞は、今となっては解決された過去の社会課題だ(図8)。

1-3 Beyond 5G 研究開発のグローバルな連携に向けて

1 MWC Barcelona 2024 における展示

前述した Beyond 5G が実現する未来社会やそのためのオーケストレーションについて、非専門家を含めてその意義を分かりやすく伝えるため、NICT では仮



図8 空間の制約を越える

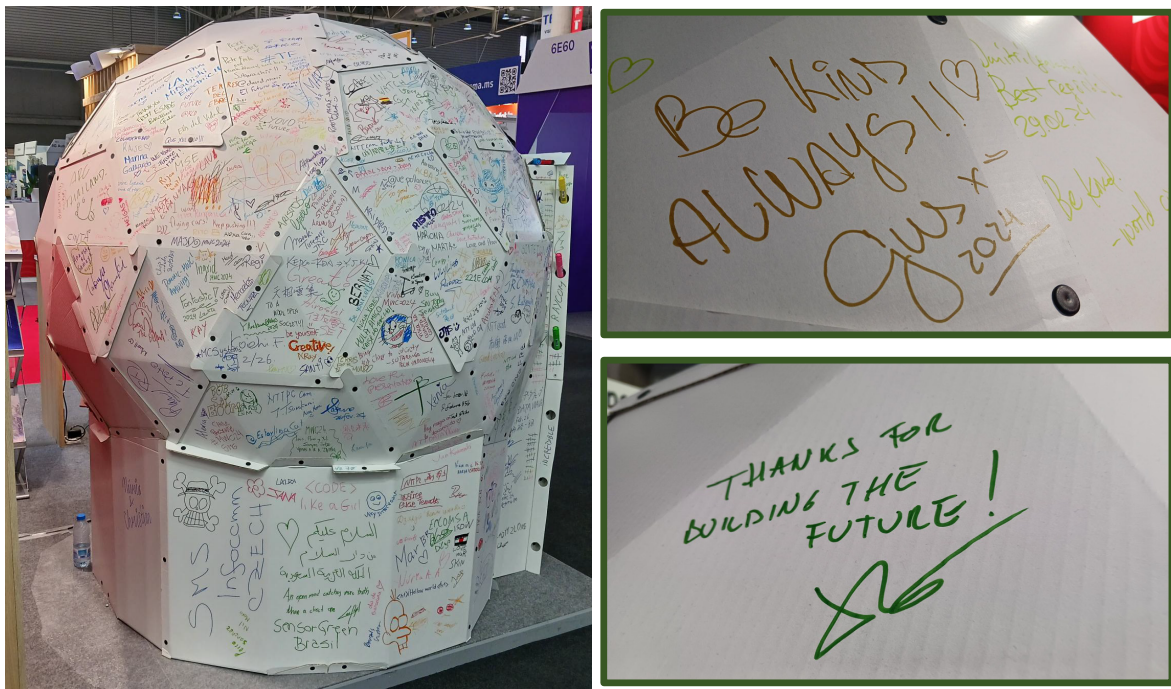


図9 MWC2024に展示したドーム投影型シアターと書き残されたメッセージ

想現実技術やドームへの映像投影を活用した体験ツールを開発した [11]。展示会や講演会において多くの機会をいただき、各業種の新規事業担当の方から小中学生に至る方々に見ていただいた。その展示の一つとして、2024年2月にバルセロナで開催された Mobile World Congress (MWC) Barcelona 2024 における展示の様子を紹介する。

MWC は世界最大級のモバイル技術見本市であり、

モバイル関係者のみならず、異業種による情報収集や議論の場にもなっている。今回は、総務省が主催する日本パビリオンの中で、ペーパードームを準備し、内側には前述した未来生活シナリオを投影して、没入して体験できるものとした。人間の実物アバターであるロボットが人間と協調する労働、空飛ぶ車が縦横無尽に駆け巡る様子、オーケストレーションによる産業連携による社会課題の解決、のようなストーリーを描い

1 2030年代の未来生活を支える Beyond 5G の概念

ている。

来場者には、図9に示すようにドームの外側にメッセージを残していただいた。Beyond 5G コンセプトの着実な実現に努力する日本への応援や共感を多くいただき、研究開発の重要性について再認識するとともに、世界との連携の可能性を感じたところだ。

2 IGF 2023 におけるパネルディスカッション

Internet Governance Forum (IGF) は、インターネットに関する諸課題について、国連主催の下、政府、民間、技術・学術コミュニティ、市民社会等の多様な関係者が対等な立場で対話を行う、インターネット政策の分野では最も重要な国際会議である。2006年に第1回目の会合が開催されて以降、毎年開催されている。第18回目となる IGF2023 は初めて日本がホスト国となり、2023年10月8～12日に国立京都国際会館で開催された [12]。

IGF2023 のセッションの一つとして、Beyond 5G に

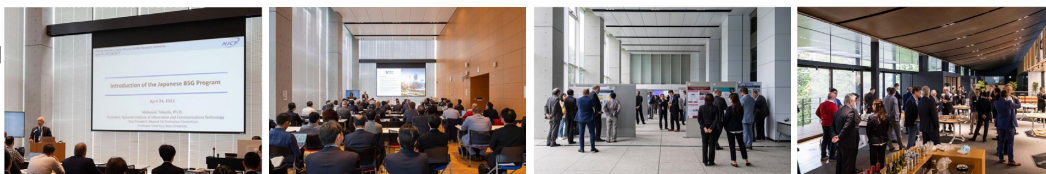
関わるパネルセッションを NICT が企画した。テーマは“Future Network System as Open Service Platform in Beyond 5G / 6G Era”として、前述したように Beyond 5G / 6G 時代における情報通信サービスは産業を超えたシステム連携によるイノベーションが引き起こすのではないかという視点から、Beyond 5G / 6G によるオープンなサービスプラットフォームの可能性や課題を議論するものであった。パネリストには、世界各国において当該テーマの研究開発や社会実装に影響力があると思われる有識者を招へいし、筆者がモデレータを務めた(図10)。

議論の結果として、Beyond 5G / 6G において、途上国・中小企業等も参画できるオープンなサービスプラットフォームやエコシステムを構築することの重要性について共通認識があることが確認できた。一方で、Beyond 5G / 6G の実現に当たっては、必ずしも輝かしい側面だけを考えれば良い訳ではないという指摘があり、周波数利用やエネルギー消費の問題などの課題を解決する必要性や、業界が連携して持続可能なエコ



図 10 IGF2023 における Beyond 5G / 6G 関連パネルセッションの様子

第1回 2023年4月 @ NICT



第2回 2023年6月 @ ドイツ



第3回 2024年2月 @ NICT

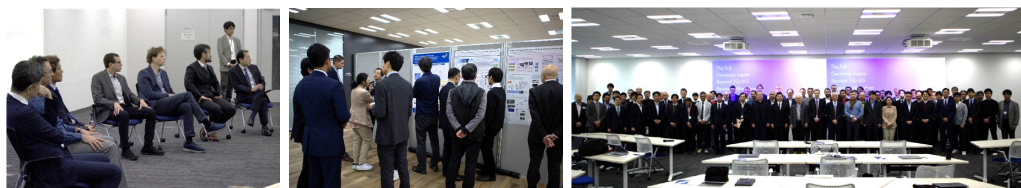


図 11 日独 Beyond 5G / 6G 研究ワークショップ

システムの実現をする必要性が指摘された。さらには、5G 導入においては、業界が社会の期待値を上げすぎたという反省点も挙げられ、Beyond 5G の実現に向けては失敗を繰り返さないことに留意すべきという指摘もあった [13]。

3 日独 Beyond 5G / 6G 研究ワークショップ

ドイツと日本の Beyond 5G や 6G に関連する研究者が集い、連携の可能性を探るため、NICT と独 6G Platform の主催により日独 Beyond 5G / 6G 研究ワークショップを開催している。2023 年 4 月に第 1 回 (日本)、2023 年 6 月に第 2 回 (ドイツ)、2024 年 2 月に第 3 回 (日本) を開催した [14] (図 11)。2024 年 5 月時点で、2024 年 7 月の第 4 回 (ドイツ) と 2025 年 1 月の第 5 回 (日本) が計画されている。参加者の数だけでなく分野も広がっており、第 3 回では 80 名以上の参加があった。ワークショップでは、パネル議論、ポスター展示、デモ展示などによりインタラクティブに意見交換することとし、プレゼン大会にならないよう意識することで、研究者の共通認識の醸成や人脈形成への時間確保を重視した。

このワークショップの中では、オープンな協創を支える仕組みとしての Beyond 5G も話題に挙がった。話題に上がった Open RAN は、様々なベンダの機器の相互接続インターフェイスを標準化することにより、モバイルシステムの構築において機能・性能・コストが異なるソフトウェアやハードウェアを高い自由度で組み合わせることを可能にする。これに加えて、Open RAN は外部のアプリケーションにより無線アクセスネットワークの制御を可能にする RAN Intelligent Controller (RIC) という機能を持ち、他の産業が持つデータや高度なアルゴリズムを持つオープンソースソフトウェアを活用できることから、独自のシステムでは実現できない新たな価値を生む可能性についても議論があった [15]。

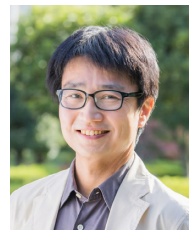
NICT では、日独に限らず、様々な国や地域とのグローバルな連携による研究開発を推進するための活動を加速させている。

【参考文献】

- 1 “Society 5.0,” 内閣府ウェブサイト, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/society5_0.pdf
- 2 “Beyond 5G 推進戦略 - 6G へのロードマップ-,” 総務省, 2020 年 6 月 30 日.
- 3 “Beyond 5G / 6G White Paper 日本語 3.0 版,” 情報通信研究機構, 2023 年 3 月 31 日.
- 4 石津 健太郎, “NICT の Beyond 5G 研究開発が目指すこと - NICT ホワイトペーパーに込めた思いとは? -, ” 信学技報, vol.122, no.12, SR2022-1, 2022 年 5 月.
- 5 “Beyond 5G / 6G ホワイトペーパー作成の裏話,” NICT NEWS, 2021

no.6 通巻 490, 2021 年 11 月.

- 6 Kentaro ISHIZU, Mitsuhiro AZUMA, Hiroaki YAMAGUCHI, Akihito KATO, and Iwao HOSAKO, “Architecture for beyond 5G Services Enabling Cross-Industry Orchestration,” IEICE Special Section on Emerging Communication Technologies in Conjunction with Main Topics of ICETC2022, pp.1303–1312, vol.E106-B, no.12, Dec. 1, 2023.
- 7 オリィ研究所, “分身ロボットカフェ DAWN,” <https://dawn2021.orylab.com/>
- 8 “NASA アルテミス計画,” <https://www.nasa.gov/specials/artemis/>
- 9 “2025 年日本国際博覧会『未来社会ショーケース事業出展』「スマートモビリティ万博」空飛ぶクルマの会場内ポート運営及び運航事業について,” 2025 年日本国際博覧会協会, 2023 年 2 月 21 日.
- 10 YouTube “NICTchannel”, 「Beyond 5G 時代の未来生活とは? 3 シナリオ統合版 (「Cybernetic Avatar Society」 「月面都市」 「時空を超えて」)」.
- 11 山口 明哲, 石津 健太郎, 城山 直美, 東 充宏, 加藤 明人, 鈴木 臣, 荻原 洋一, 竇迫 蔵, “[技術展示] Beyond 5G により実現される未来生活とオーケストラによる産業連携及び最適化に関する VR 体験システム - 情報通信技術の非専門家巻き込んだ議論加速に向けた取り組み -, ” 信学技報, vol.123, no.249, SR2023-52, pp.28–35, 2023 年 11 月.
- 12 Internet Governance Forum 2023 公式ウェブサイト, <https://www.intgovforum.org/en>
- 13 総務省情報通信審議会 情報通信技術分科会 技術戦略委員会 第 42 回 (2023 年 12 月 20 日) 資料 42-1 “IGF2023 における Beyond 5G 関連/パネルセッションの報告” (石津オブザーバ資料).
- 14 “NICT ニュースレター Xross B5G,” 通巻 1 号, 2024 年 3 月.
- 15 石津 健太郎, “Beyond 5G 時代の研究開発が進むべき方向 ~産業・地域・年代を越えるオープンな協創を実現するために~, ” 電子情報通信学会会誌, 2024 年 8 月.



石津 健太郎 (いしづ けんたろう)

Beyond5G 研究開発推進ユニット
Beyond5G デザインイニシアティブ
イニシアティブ長
博士 (情報科学)
無線通信システム、情報処理ネットワーク