

# White Paper

## 6G に向けたネットワークと要素技術

### はじめに

5G 通信サービスが開始されて 1 年以上経過し、わたしたちは徐々にその恩恵をうけつつあります。一般コンシューマは、5G インフラを介して高速なサービスを楽しむ一方、産業界では Private 5G と呼ばれる個別ネットワークの企業への導入も始まりつつあります。

ここ 10 年の間に進んだ IT の仮想化・オープン化の流れは、徐々にネットワーク分野にも浸透しつつあります。ネットワークの仮想化・オープン化によって、企業や個人は、今までよりも簡単にネットワークに構築できるようになってきております。今後は、さまざまな企業や個人が通信事業者の広域ネットワークを利用するだけでなく、仮想化技術を使って自らネットワークを構築して、そのネットワークをつかってさまざまなサービスを実現できるようになるでしょう。

企業や個人にとって、5G の先の将来ネットワークはどのようなになるのか、どのような性能になり、どのような機能を提供できるのかは、非常に興味深いテーマです。本ホワイトペーパーは、6G 時代にむけてネットワークがどのように進化し、これからの社会課題解決やより豊かな社会に向けてどのように貢献していくのか、そのために富士通はどのような研究開発を行うのかについてまとめています。

# 2030 年に向けた社会

## 社会課題と IT サービス

2015 年の国連サミットで採択された Sustainable Development Goals (SDGs) は、17 のゴール・169 のターゲットから構成される持続可能でよりよい世界を目指す国際的な目標で、それらの目標は、社会インフラ、医療介護、教育、農業など我々をとりまく様々な分野に関係します。その各分野での課題解決には、ICT の技術活用が不可欠であり、現在、様々な ICT ソリューションがサービスとして提供されつつあります。これらの ICT ソリューションの中には、もちろん特定の分野に対する ICT ソリューションのみで実現できるものもありますが、それだけでは必ずしも十分でなく、複数の分野で連携して、より複雑な課題を解決していくものもあります。

デジタルトランスフォーメーションは社会の中核的なプロセスにデジタル技術を取り入れることにより、様々な変革を実現していくことにありますが、企業にとっては、社内の業務プロセスを自動化するという変革だけでなく、より高い付加価値のサービスを提供し、社会課題を解決することが求められています。特に、自企業だけでなく、他企業や他業界と連携することで、より複雑な課題を解決していくことが期待されています。

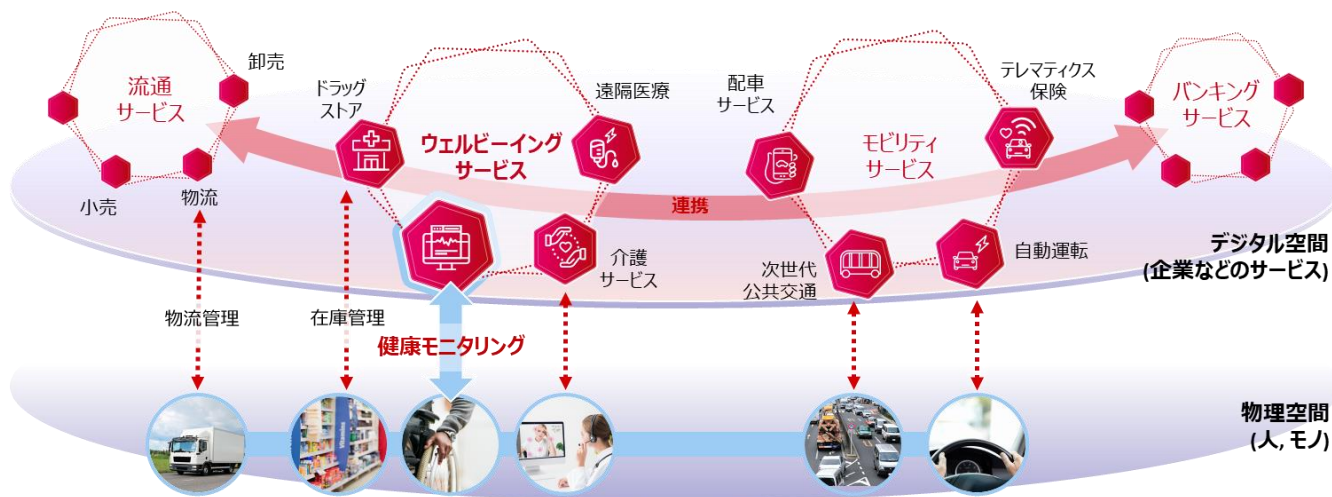


Figure 1 - 業界にまたがったサービス連携

Figure 1 は、デジタル技術を駆使した社会課題を解決する例としてウェルビーイングサービスを示しています。たとえば健康モニタリングサービスでは、健康器具などを介して人の状態や動きをデジタル化します。そのデジタルデータを様々なサービス間で共有することにより、たとえば遠隔診療が自動で予約されたり、診療結果と処方箋が自動的に届けられる世界の実現が可能となります。通院や介護が必要な場合で

も、スタッフの配置や配車等、デジタル空間で業界をまたいで連携してより付加価値の高いサービスを提供できるようになります。

## 将来の社会

2030 年にむけては、人やモノといった現実の物理空間も進化していきます。ホログラフや XR といった人間拡張テクノロジーが身近なものとなると考えられます。たとえば、ホログラフィ技術を用いるとデジタル化された空間をリアルタイム映像として再現することができますが、このような技術は産業界におけるモノの遠隔投影や医療における人間像の空間投影、パーソナル通信や遠隔会議におけるプレゼンスなどへの応用が期待されています。IoT の分野では、さまざまなセンサーやロボット、カメラ、設備・機器など繋がるものがますます増えて、センシングされたデータや動画情報が利用できるようになります。一方、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)や Flying Car といった今までつながらなかった場所にある物体と接続ができるようになり、どこでも快適なコミュニケーションができるようになります。このように進化する物理空間がデジタル空間でのサービスと連動していくことにより、極めてリッチなユーザ体験が可能な社会が広がっていきます。すなわち、物理空間の進化と業界をまたがるサービスの高度化により、社会的な課題は解決されていくこととともに、ユーザ体験が向上し、豊かな社会が実現されるようになっていきます。

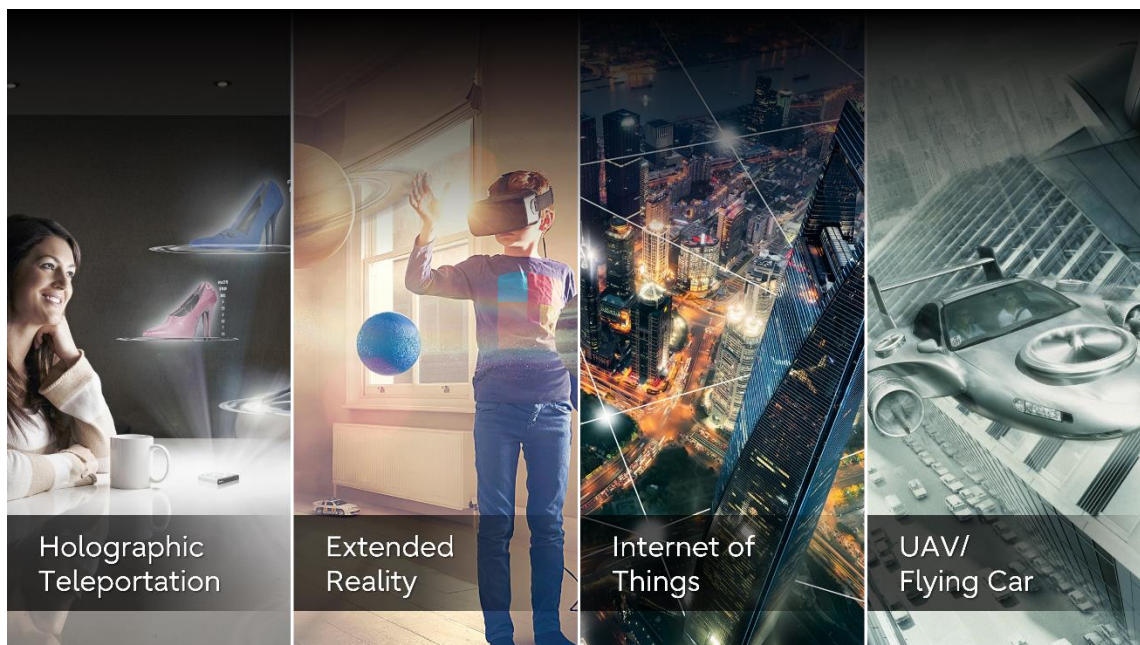


Figure 2 - 物理空間の進化



Figure 3 - 将来の社会



# ネットワークアーキテクチャーの進化

## ネットワークの役割

ネットワーク、特に、無線ネットワークは、もともとは、電話のような人と人との音声によるコミュニケーションに使われていましたが、インターネットの進化とともに無線アクセスがより多くのデータ量を転送できるようになると、スマートフォンやタブレットからの Web アクセスを通じた文字や画像といったデータ・情報の共有が主流になってきました。

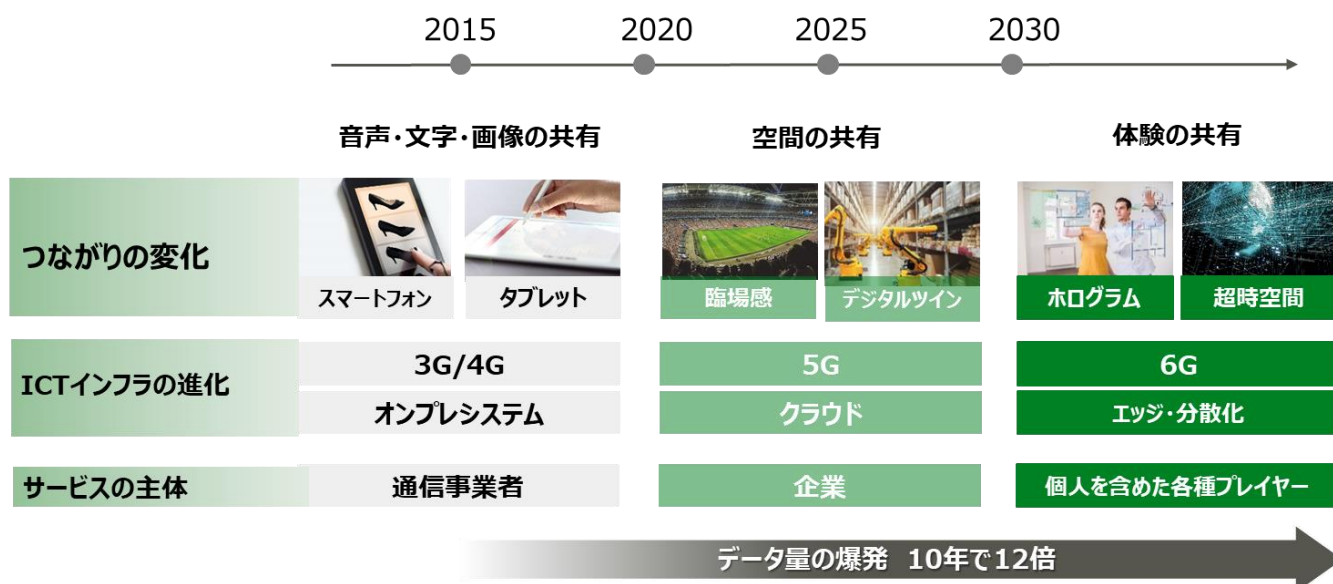


Figure 4 – ネットワークの役割

一方、電話やスマートフォン以外の IoT 端末に対しても無線アクセスは徐々に浸透しつつあります。2020 年前後から世界各国で 5G がサービス開始されましたが、5G の多数接続や低遅延といった特長を活かして、無線ネットワークがさまざまな産業界に有効活用され、新たなサービスが提供できるようになりつつあります。現実の社会をデジタル空間に写像・シミュレートすることによりユーザは現実の空間をデジタル空間で知覚したり、制御できるようになってきました。今後は、前章に述べたように、ホログラムや XR など物理空間がよりリッチになっていき、また、デジタル空間においても、複雑化したサービスに進化していきます。そうすると、空間の共有だけでなく、体験の共有ができるようになります。

各産業におけるネットワークの活用例として Cyber Physical System (CPS) が挙げられます。CPS は、物理空間のさまざまなデータをセンサーを使ってデジタル空間に集め、デジタル空間にて AI などを活

用してそのデータを分析し、その結果にタグ付けしたり、または、価値ある情報に変換します。そして、その得られた情報を使って新たなサービスを提供することで業界の課題を解決します。この CPS において、ネットワークは、丁度、物理空間とデジタル空間の橋渡しの役割を果たします。今後は前述のように物理空間のリッチ化、デジタル空間の複雑化と進化していくため、それらに合わせて、両者の橋渡しを行うネットワークに対しても新たな要件が発生し、その要件にふさわしいネットワークアーキテクチャーが必要となってきます。

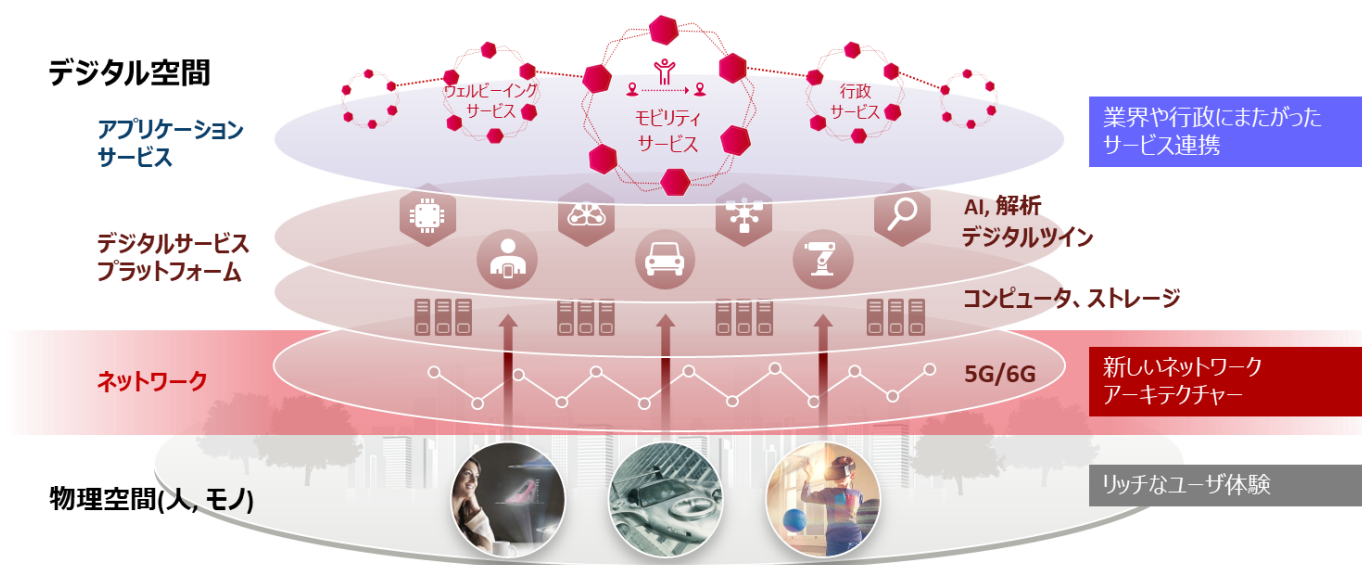


Figure 5 cyber physical systems の進化

## ネットワークへの要件

それでは、ネットワークへの要件はどのようになるのでしょうか。大きくは2つの観点 중요합니다。1つは、リッチな端末を収容できるネットワークインフラの向上です。5G で言われている高速・大容量、低遅延、多数接続のさらなる高性能、さらに、それらの要件を低消費電力で提供することが必要です。また、今後は、スマートフォンやコンピュータだけでなく様々な IoT 機器や AI やプログラムといったソフトウェアなど、つながるものの多様化に対応することが必要になります。

もう1つは、ネットワークの提供機能の拡張です。ネットワークの産業利用では、ネットワークを簡単につなげ、できるだけ人手を介さないで運用できるなど使いやすさが必要となります。さらには、そのような自律的なネットワークを安価で構築、運用できる必要があります。一方、ネットワークが単にビットを運ぶだけでなく、ネットワーク内でビットデータを有意なデータに変換して、アプリケーションやサービスに提供することにより、サービスが大きく広がっていきます。

Table 1 - 今後のネットワークへの要件

項目	内容
大容量・低遅延・多数接続	ホログラムや XR などの物理空間の進展に合わせ大容量かつ低遅延のネットワークが求められる。ネットワークの産業利用(CPS/IoT)に伴い、単位空間あたりの接続端末数も向上が必要となる。
低消費電力	ネットワークの大容量化や多数接続提供においても、ネットワーク装置やシステムにおける消費電力が増加することなく低消費電力であることが必要となる。
多様な接続形態	スマートフォンやタブレット端末だけでなく、各種 IoT 端末との接続や、端末と端末間の接続、AI と AI 間の接続を提供する必要がある。
使いやすいネットワーク	ネットワークの産業利用の場合には、ネットワークの専門家でなくてもネットワークを簡単に構築することが必要である。また、運用中においても、できるだけ人手を介さないで監視、制御が実施できる自律的なネットワークであることが必要である。
ネットワークと IT アプリケーションの連携	ネットワークが保有するデータ（たとえばトラフィックの流量や端末の分布など）をアプリケーションに提供したり、ネットワーク内でユーザのビットデータを有意なデータに変換しアプリケーションに提供するなどサービスの高度化に資する価値を提供するのが望ましい。

6G 時代に期待されるユースケースの一つとして、ホログラフィック通信を例にあげます。ホログラフィック通信において、受信側でリアルタイムに空間を再現するためには、1Tbps という伝送帯域でライトフィールドデータを送信する必要があると言われております<sup>1</sup>。また、視覚、聴覚、場合によっては触覚など人間の感覚に違和感を与えないようにするためにはミリ秒オーダーの遅延時間が必要とされます。一方、ライトフィールドデータでなく点群データを送信することでデータ通信量を 0.5~2Gbi/s レベルまで抑え込むこともできますが、受信側にて現画像に近いホログラムを再現する場合は膨大な計算量が必要となり、この伝送時間と処理時間の合計が同等の遅延時間に抑えることが必要になります。このように、ホログラフィック通信に必要な要件は単なるネットワークだけでなく、端末の能力やアプリケーションが搭載される計算機の能力を含めて考える必要があります。

<sup>1</sup> ITU-T FG NET-2030. “New Services and Capabilities for Network 2030: Description, Technical Gap and Performance Target Analysis” (October 2019)

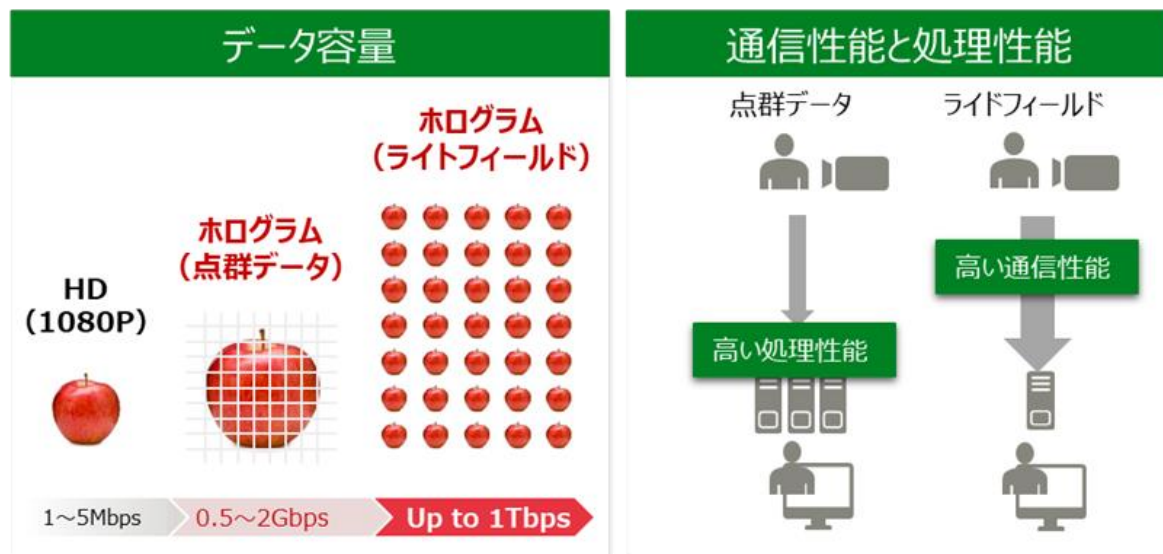


Figure 6 - ホログラフィック通信への要件

## ネットワークアーキテクチャーの変化

このような様々な要件を満たすために、今後のネットワークアーキテクチャーはどのように進化していくのでしょうか。今まで、無線基地局、スイッチ、ルータといったネットワーク製品は、主としてハードウェアアプライアンスとして提供されてきました。しかしながら、現在は、ネットワーク機能をソフトウェアで構成し、汎用コンピュータ上のアプリケーションとして実現するネットワーク仮想化も進んできております。さらに、ネットワークを構成するさまざまな要素を分解して、必要な要素を組み合わせる再構成するディスアグリゲーション化が進んできています。たとえば、5G のモバイルコアと呼ばれるネットワークでは、モバイルコアを様々なネットワーク機能に分解し、各機能をマイクロサービスとして利用できる構成となっています。このような、ネットワークの仮想化アーキテクチャーは、クラウド上で実現されている IT サービスと親和性が高いものとなっています。したがって、今後は、ネットワークだけでなく IT 領域も含めてアーキテクチャーの統合が進むと考えています。すなわち、両者を合わせて、高性能を実現するハードウェアプラットフォームと高機能を実現するソフトウェアプラットフォームといった2つのプラットフォームに集約、進化していくと考えております。ハードウェアプラットフォームでは、コンピュータ（汎用コンピュータ、もしくは、特定の用途に特化したコンピュータ）と、それらをつなぐ無線アクセスや光トランスポートにより高性能を追求し、ソフトウェアプラットフォームでは、各種ネットワーク機能（たとえば、基地局やスイッチ・ルータ、セキュリティなど）だけでなく、端末からのデータ処理といったサービスプラットフォーム機能など様々な機能を実現します。このような IT とネットワークの統合的なアーキテクチャーは、ハードウェアの性能を最大限活用する形でネットワークや IT の機能が実現できることとなります。



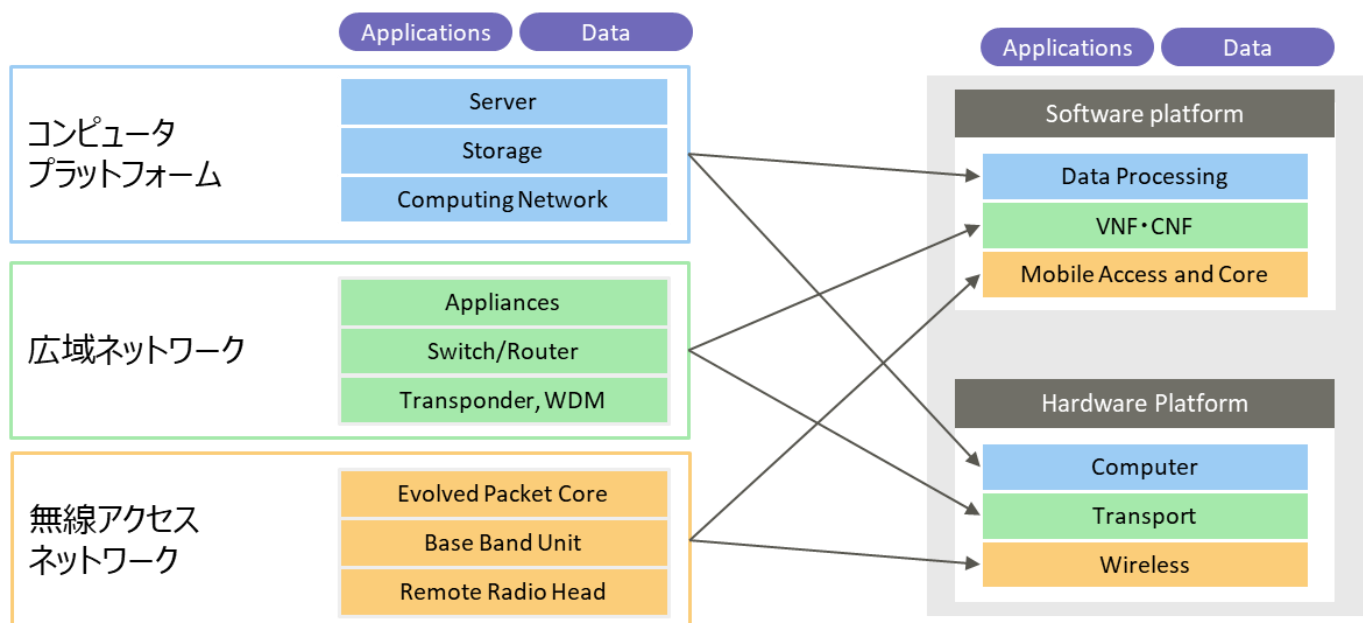


Figure 7 - ネットワークアーキテクチャーの変化

## エンド・エンドのクラウドネイティブネットワーク

ネットワーク機能のディスアグリゲーション、仮想化、マイクロサービス化は、ネットワーク機能がハードウェアの場所の制約から解放されます。コンピュータやネットワークのハードウェアインフラは、企業やコンシューマの現場やオンプレ拠点、通信事業者のエッジクラウド、インターネットを介したパブリッククラウド・データセンターなどネットワークワイドに分散されています。これらの、地理的に分散されているコンピュータやネットワークのリソースをうまく連携させて使用することによって、品質を高めたり、システムコストを削減したりできるようになります。たとえば、実現するサービスの要件(スループット、遅延、接続数など)に合わせ、ネットワーク機能を汎用ハードウェア上に動的配備(オーケストレーション)することで、サービスからのネットワーク要件をみたしつつ、ハードウェアリソースを最適に活用することが可能になります。このような、エンド・ツー・エンドで仮想化されたクラウドネイティブネットワーク上で、ネットワークを柔軟に配備することが可能となります。

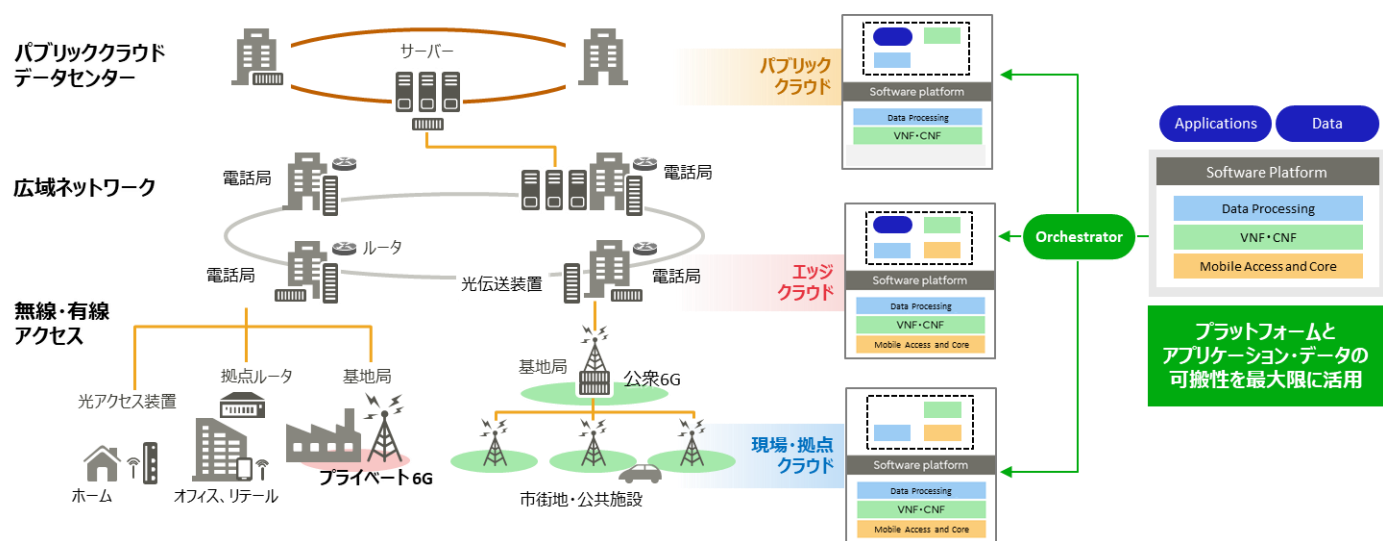


Figure 8 - エンド・エンドのクラウドネイティブネットワーク

# ネットワークの要素技術

ここでは、ネットワークアーキテクチャーで示したハードウェアプラットフォームやソフトウェアプラットフォームの構成とそれらのプラットフォームを構成する機能要素や核となる技術を示します。

## ネットワークプラットフォーム

Figure 9 は、ネットワークアーキテクチャーにおけるハードウェアプラットフォームとソフトウェアプラットフォームを示したものです。ハードウェアプラットフォームは、ワイヤレス、光トランスポートといったネットワークハードウェア、サーバーやストレージといったコンピュータハードウェアにより構成されます。また、コンピュータハードウェアではさらに、汎用的なコンピュータと特化型コンピュータにより構成されます。汎用的なコンピュータはさまざまな機能を実現できますが、特化型コンピュータは機能の汎用性よりも性能、例えば、画像処理、デジタル信号処理、最適化処理といった、特定用途の性能にフォーカスしたコンピュータになります。したがって、ハードウェアプラットフォーム上で実現するネットワーク機能を汎用的なコンピュータと特化型コンピュータとにうまく使い分けることが重要になります。なお、こういったハードウェアの領域は、ネットワークの進展とともに、今後常に性能を進化させていく領域になります。

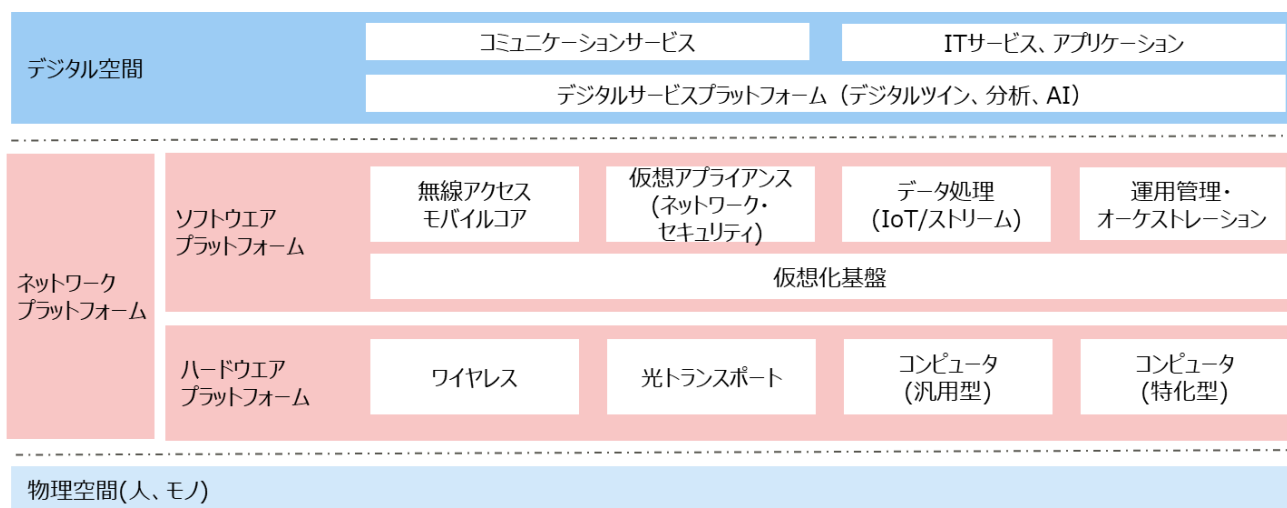


Figure 9 - ネットワークプラットフォーム

ソフトウェアプラットフォームは、仮想化プラットフォーム層と各種ネットワーク機能ソフトウェアにより構成されます。仮想化プラットフォーム層は様々なハードウェアを隠蔽し、ネットワーク機能ソフトウェアを実行するためのOSなどの層になります。ネットワーク機能ソフトウェアは、仮想化プラットフ

フォーム上で無線アクセス、モバイルコアといったモバイルネットワーク機能やセキュリティなどの仮想ネットワークアプライアンス機能が提供されます。

また、今後は、エッジコンピューティングなどの普及により、ネットワーク内でセンサーデータや動画データをハンドリングするケースも発生してきます。IoTからのデータをあつめて加工しアプリケーションに提供するような機能や、各データ間のネットワークングなどが今後重要になってきます。運用管理・オーケストレーションの領域では、ネットワークの保守・運用に加え、アプリケーションと連携した動的なコンフィグレーションなどの最適化機能を提供します。

### ネットワーク技術の方向性

エンド・エンドのクラウドネイティブネットワークを実現するために軸となる技術としては、オープンネットワーク、インテリジェントなネットワークオーケストレーション、そしてグリーン技術の3つになります。ディスアグリケートされたネットワーク機能を、要件に合わせてエンド・エンドで最適に用意できるようにするためには、まず、個々の機能のインターフェースや内部構成がオープンであり誰でも利用できる必要があります。次に、エッジクラウドやパブリッククラウドなどネットワークワイドに分散されたクラウドに対して、要件に合わせて機能を再構築し、かつ、安心安全で簡易に運用できるネットワークとするためには、インテリジェントなオーケストレーションが必要となります。最後に、環境に配慮したネットワーク、小型で低消費電力でありながら、性能や品質を提供していくことが重要です。6Gでは、5Gよりも高速・大容量のデータ通信が行われるため、現状の技術では多くの電力が必要とされます。したがって、技術革新により、インフラ全体の消費電力を大きく抑えることが重要となります。

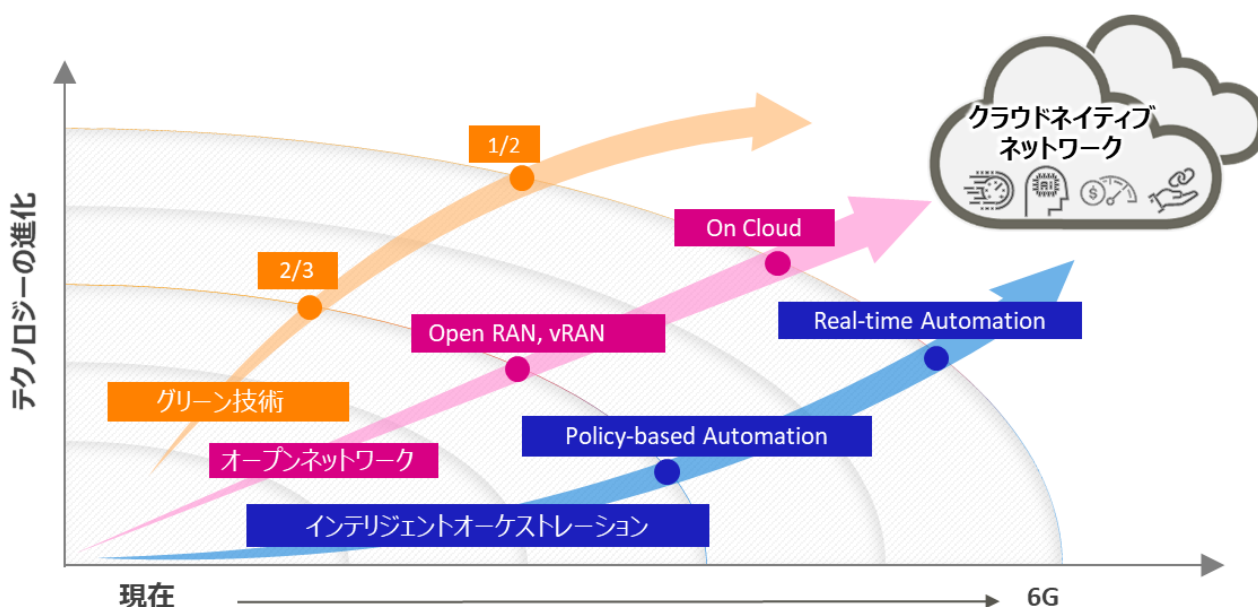


Figure 10 - ネットワーク技術開発の方向性



## オープンネットワーク

ネットワークのオープン化については、2つの観点が必要です。1つ目は、ディスアグリゲートされた機能間のインターフェースがオープン化されていることであり、これにより、異なるベンダーで提供された機能間の相互接続性を保証できるという点です。2つ目は、各機能がソフトウェアにより実現されているということであり、これにより、機能の追加や改版、削除がソフトウェアベースで簡単に実施できるという点です。

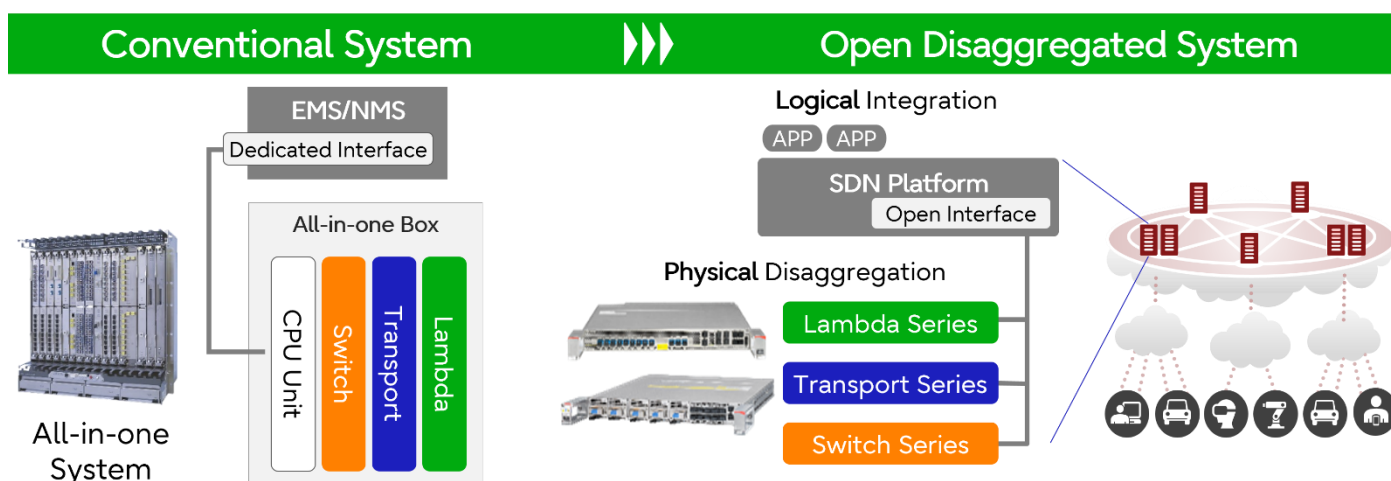


Figure 11 – ネットワークのオープン化 (光トランスポート)

Figure 11 は、富士通における光トランスポート分野でのオープン化の取り組みになります。従来、光トランスポート装置は、スイッチ部分、伝送部分、光部分を一体化した All-in-one Box タイプで構成されていましたが、それぞれの機能部分をディスアグリゲートし、機能間のインターフェースや機能に対する監視・制御インターフェースをオープン化することにより、様々なベンダーの機能を、システムが求める要件に合わせて柔軟に構築することが可能となります。

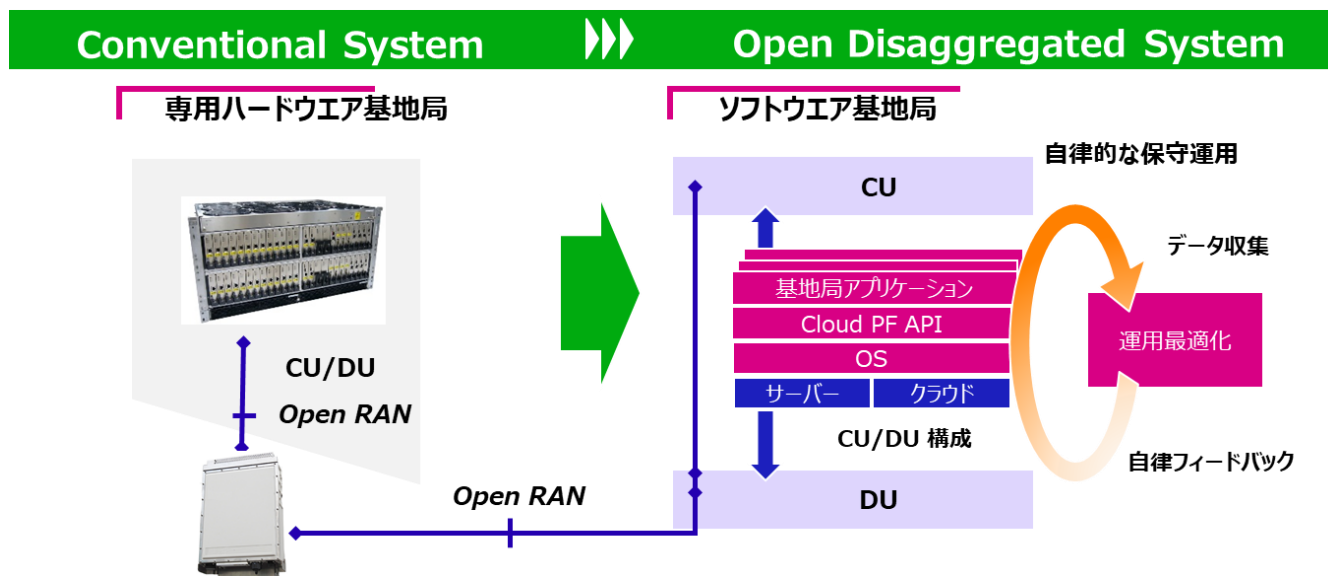


Figure 12 -ネットワークのオープン化 (基地局)

Figure 12 は、現在、富士通が取り組んでいるソフトウェアベースの基地局構成です。無線アナログ部分を処理する RU(Radio Unit)とデジタル処理を行う CU/DU(Central Unit/Distributed Unit)間のインターフェースをオープン化することでベンダー間の相互接続性を実現します。さらに、デジタル処理部分をソフトウェアで構成することにより、柔軟性のあるネットワークを構築することが可能となります。

6G にむけては、このようなオープンネットワーク構成に対して、後述しますグリーン技術と組み合わせることにより、小型で高性能かつ柔軟性の高いネットワークを実現します。

## インテリジェントオーケストレーション

ユーザが利用するネットワークの品質は、ネットワークを構成する各々の機器性能や伝送路の使用状況に依存します。したがって、端末からクラウドまでに利用するネットワークや IT 機器を一体化して監視、制御を行うことが大事になってきます。ベンダー毎のプロプライエタリな装置の組み合わせによるネットワークでは、ネットワーク全体での統合的な運用管理が非常に複雑化しています。各ベンダーの装置や機能に対する監視制御インターフェースがオープン化、標準化されることにより、異なるベンダーや異なるレイヤをまたがった運用管理が容易になります。さらに、個々の機器のリソースの使用状況やサービス品質に影響を与えるようなネットワークの状態を収集し、AI を活用した分析を行うことにより機器の設定変更などをリアルタイムで行うといった運用自動化が実現できます。さらには、ネットワークの状態などを API にて公開することにより、それを使った新たなサービスが実現可能となります。

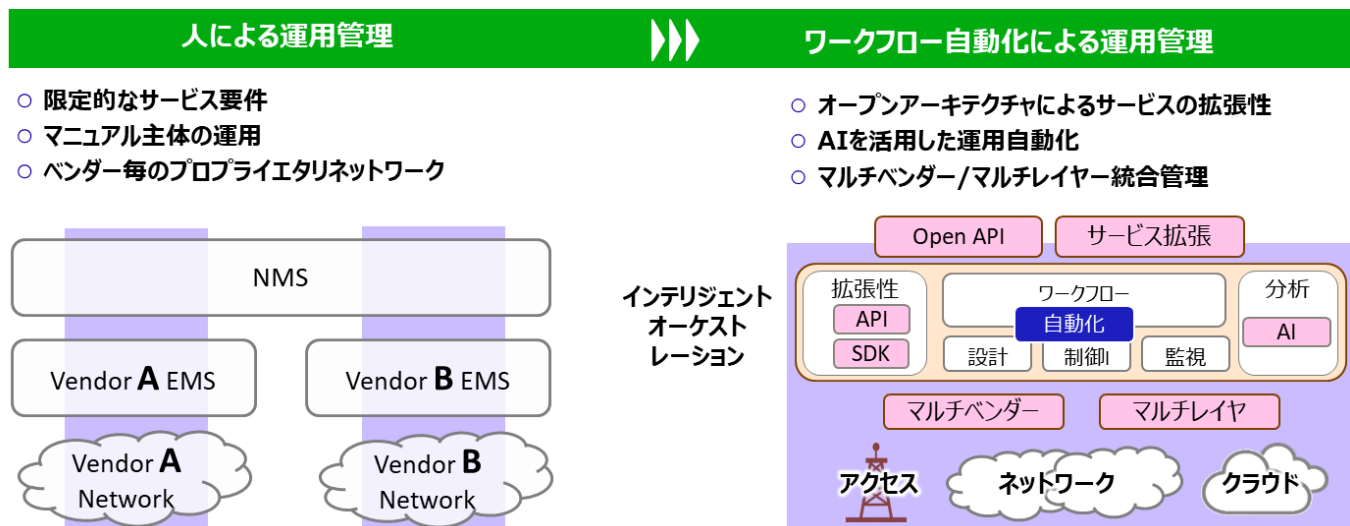


Figure 13 -インテリジェントネットワークオーケストレーション

## グリーン技術

グリーン技術については、ワイヤレス、光トランスポートといったハードウェアの分野での小型、低消費電力化が重要になります。富士通では、5Gの周波数よりもより高周波ミリ波の領域やテラヘルツ領域の周波数活用により高速・大容量転送を小型・低消費電力化を実現するために、窒化ガリウムやインジウムリンなどの化合物半導体を活用した高周波無線ユニット(RU)の実現を目指しています。また、陸上だけでなく、水中や空中などでも通信可能とするためにはどのようにネットワークを組めば経済的か、低消費電力といった観点でメッシュ網などネットワークトポロジーの研究開発を行っています。一方、今後、IoTやスマートな端末が増えていくこととともない、コミュニケーションの中心が機械同士、あるいはAI同士に進化していきます。そういった端末に適用可能とする低消費電力のデバイスに取り組んでいます。

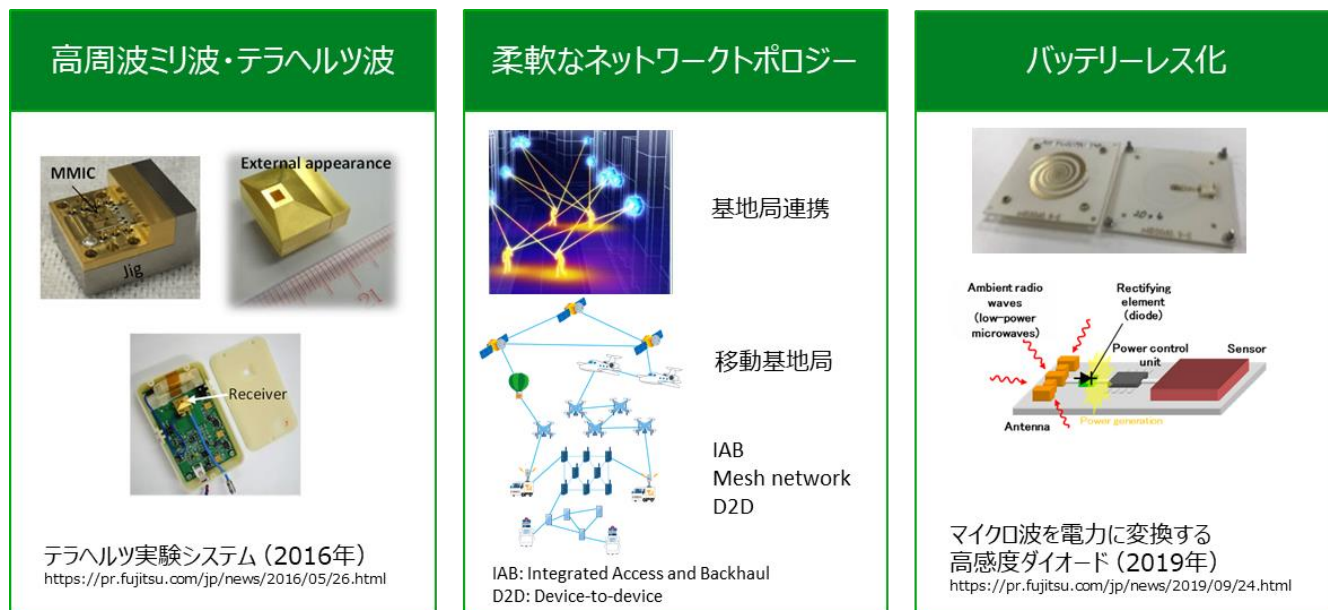


Figure 14 - グリーン技術 (ワイヤレス)

光トランスポートの分野における小型・低消費電力化については、個別の半導体によって構成される電気部品(シリコン)と光部品(化合物半導体)を融合して同じデバイスで実現する、光・電気融合技術に取り組んでいます。この技術を用いた光デバイスや光サブシステムを光伝送システムに適用することで、小型・低消費電力でありながら、大容量を転送可能な光ネットワークをめざしています。

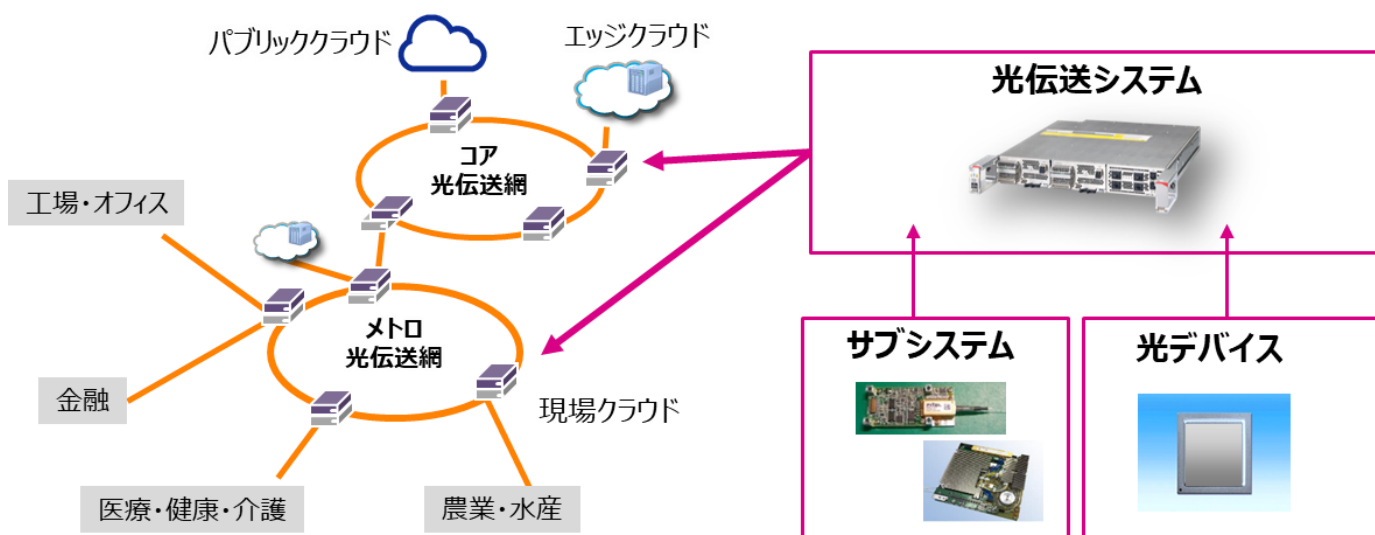


Figure 15 - グリーン技術 (光トランスポート)



## 研究開発ロードマップ

現時点で富士通が考えている研究開発ロードマップを Figure 16 に示します。オープンネットワークについては、現在は、現行 5G をベースにディスアグリゲーション、ソフトウェア化を進めています。6G についても、基本的にはこのアーキテクチャーをベースとしますが、非連続な進化の可能性もあわせて検討を進めています。

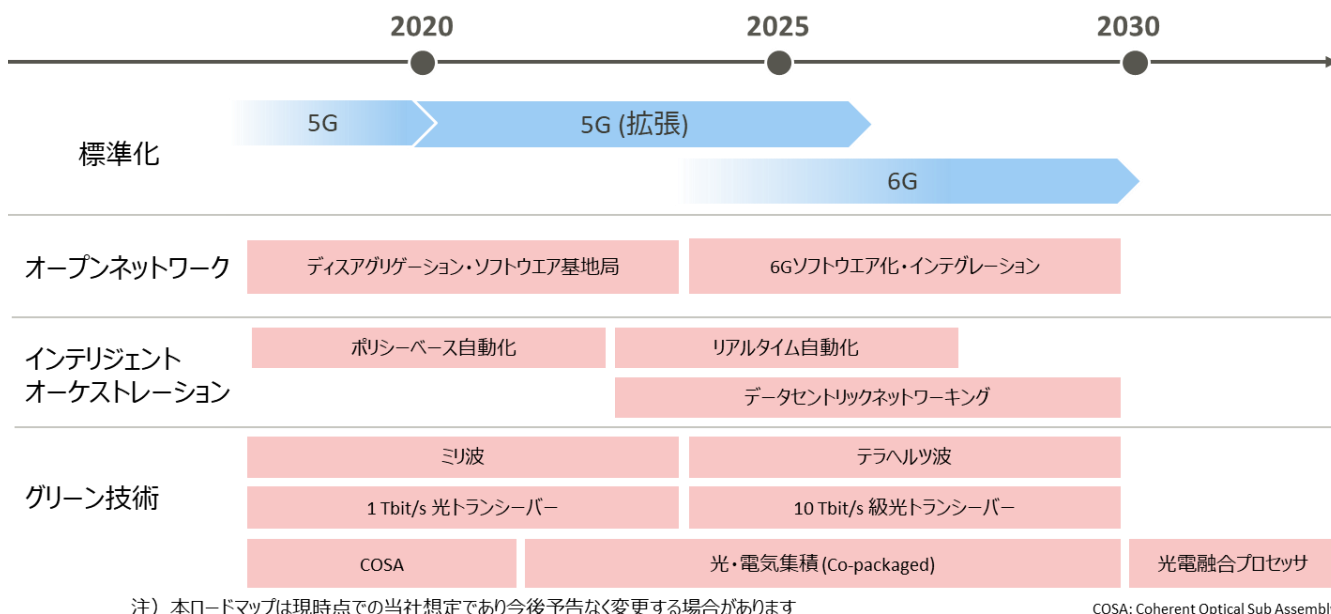


Figure 16 - 研究開発ロードマップ

インテリジェントオーケストレーションの分野では、まずは、マルチベンダやマルチレイヤの運用自動化をルールやポリシーベースで行い、それを、AI を使ったリアルタイムな自動化に拡張していきます。また、ネットワークが保有するデータをアプリケーションに提供したり、ネットワーク内でユーザのビットデータを有意なデータに変換しアプリケーションに提供したりするデータセントリックネットワークに関する技術開発を進めていく予定です。

グリーン技術については、現行 5G のエンハンスとしてのミリ波アクセスや伝送装置のデバイス、および、6G に向けたより高速・大容量デバイスや光・電気集積デバイスといったハードウェアプラットフォーム開発を進め、さらにはデータ処理などのプロセッサ処理も含めたネットワークプラットフォームの開発を進めていきます。

## おわりに

本ホワイトペーパーでは富士通で考えている 2030 年の社会やネットワークの姿とそのための要素技術を示しました。産業や社会にデジタル技術が取り入れられることにより、未来の社会の姿が見えつつあります。未来の社会の実現にはネットワークの進化が必須であり、そのためのソフトウェアだけでなくハードウェアの技術革新が不可欠となります。富士通はネットワークの最先端技術を世界中のお客様に届けることで、社会の発展に貢献して参ります。

## Acronyms

AI	Artificial Intelligence
API	Application Programming Interface
CNF	Cloud Native Network Function
CPS	Cyber Physical System
CU	Central Unit
D2D	Device-to-Device
DU	Distributed Unit
EMS	Element Management System
HD	High Definition
IAB	Integrated Access and Backhaul
ICT	Information & Communication Technology
IoT	Internet of Things
IT	Information Technology
NMS	Network Management System
OS	Operating System
PF	Platform
RAN	Radio Access Network
RU	Radio Unit
SDGs	Sustainable Development Goals
SDK	Software Development Kit
SDN	Software Defined Network
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VNF	Virtual Network Function
vRAN	virtual Radio Access Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing
XR	eXtended Reality

#### 商標について

記載されている製品名などの固有名詞は、各社の商標または登録商標です。

#### 将来に関する予測・予想・計画について

本資料には、富士通グループの現在の事業だけでなく、将来に関する記述が含まれていますが、これらは記述した時点で入手できた情報に基づいたものであり、不確実性が含まれています。したがって、将来の事業活動の結果や将来に惹起する事象が本資料に記載した内容とは異なったものとなる恐れがありますが、富士通グループは、このような事態への責任は負いません。読者の皆様には、以上をご承知いただきますようお願い申し上げます。

For more information...

[www.fujitsu.com/global/products/network/ >](https://www.fujitsu.com/global/products/network/)

富士通株式会社

〒105-7123 東京都港区東新橋 1-5-2

汐留シティセンター

<https://www.fujitsu.com/jp/>

FUJITSU-PUBLIC © 2022 FUJITSU. All rights reserved.

Fujitsu Limited registered in many jurisdictions worldwide. Other product, service and company names mentioned herein may be trademarks of Fujitsu or other companies. This document is current as of the initial date of publication and subject to be changed by Fujitsu without notice. This material is provided for information purposes only and Fujitsu assumes no liability related to its use.