

White Paper

6G 時代のネットワーク

はじめに

2020年代は、新型コロナウイルスによる生活の混乱で幕を開けました。そして世界各地で解決の糸口を見いだせない紛争が継続する中で、新たな地政学的リスクが次々と顕在化し、私たちの生活にも暗い影を落としています。一方で、生成 AI などの新たなテクノロジーが私たちの生活や業務に大きな変化をもたらしつつあります。2030年、わたしたちはどのような環境に囲まれ、どのように生活を送っているのでしょうか。現在のわたしたちには予測できない事柄が起き、それらが日々の生活に影響を与えるでしょう。一方で、そこで生まれた課題やニーズから革新的なサービスが創造されているかもしれません。あるいは新しいテクノロジーがきっかけとなり、人々がイノベーションを起こし、より豊かな社会を実現させているかもしれません。

6Gは、5Gの次の世代のネットワークアーキテクチャーとして、現在多くの企業や組織でさまざまな検討が進められています。6Gは、ますます増加するトラフィックへの対応というような従来の延長線上にある価値にとどまらず、5Gにはない新たな価値をネットワークにもたらすことが予想されます。さらに新しいネットワークは、複雑化した社会課題を解決し、豊かな社会の創造に貢献することが期待されます。

本ホワイトペーパーでは、富士通が考える2030年の未来社会とそこでのネットワークの役割、そして未来社会の実現に貢献する富士通の技術開発を紹介していきます。

2024年2月

目次

1. 2030年の社会.....	2
2. デジタル未来社会を支えるネットワーク.....	6
3. 6G時代におけるネットワークアーキテクチャー.....	12
4. ネットワークの要素技術.....	18
5. まとめ.....	27
Appendix. 市場規模について.....	28

1. 2030年の社会

いままで、わたしたちのまわりではさまざまなデジタルテクノロジーが登場し、人々に受け入れられ、社会の仕組みを変えてきました。例えば、Eコマース（Electronic Commerce）により商取引の仕組みが変わり、SNS（Social Networking Service）によってコミュニケーションの仕組みが変わってきました。

しかしながら、テクノロジーによってわたしたちの生活が便利になる反面、そのテクノロジーを使いこなす人々と、それらを使いこなせない人々の間に「垣根」が存在するのも事実です。テクノロジーによって生み出された「垣根」は、テクノロジーによって取り除くべきであると考えています。すなわち、これからは、一部の人々がテクノロジーを使いこなすのではなく、テクノロジーをわたしたちの生活スタイルに適応させていく必要があります。そして、わたしたち誰もがテクノロジーのもたらす恩恵から取り残されず、すべての人が豊かになるような垣根のない社会になることが重要であると考えています。

2030年には、わたしたちは今以上にテクノロジーを自在に活用できるようになるでしょう。それによってイノベーションが創出され、すべての人が豊かになる社会を生み出しているでしょう。そして、そのようにして豊かになった社会の中で、さらにイノベーションが生み出されていきます。新しい社会の物語が始まるのです。

わたしたちは、先端テクノロジーを用いてデザインされた、2030年の豊かな未来社会を「デジタル未来社会」と呼んでいます。テクノロジーによってイノベーションが継続的に起こされ、わたしたちの持つ多様な価値が信頼でつながれ、誰もが夢に向かって前進できる社会がデジタル未来社会です。デジタル未来社会では、テクノロジーがわたしたちをエンパワーするだけではありません。わたしたち誰もが自在にテクノロジーを活用し、その恩恵を受けたわたしたちも、テクノロジーを一層進化させていきます。



Figure 1 デジタル未来社会

それでは、われわれの生活をとりまくシーンとして、「つくる」、「でかける」、「くらす」、「そなえる」、「まもる」という5つの視点を例として取り上げ、2030年のデジタル未来社会を想像してみましょう。

(1) つくる



工場や農場といった「つくる」現場においては、センサーやロボットの普及により、作業や生産の効率化が一層進展します。

工場の現場では、作業ロボットなどの普及により作業の自動化が進みます。特に、センサー技術の性能向上により、例えば従来、熟練工など人手に頼らざるを得なかった工程でも自動化が進むと考えられます。製造ラインについては、リアルな工場の現場をデジタル空間に再現し、作業工程や設備の状態を解析して問題点を抽出することで、適切な設備の交換や製造ラインの変更といった対処があらかじめできるようになります。さらに、工場で製造されている製品と、その構成部品を製造しているサプライヤー、さらにその二次以降のサプライヤーも含めて、最終製品の販売状況に応じてサプライチェーン全体の最適化もできるようになっているでしょう。

一方、農場の分野でも、ロボット農機による農作業の無人化やドローンによる農薬・肥料撒布の自動化が進みます。さらに、衛星やカメラ、センサーの普及により、農作物の生育情報を監視、解析することで、各作業工程のタイミングや収穫量の調整を行うことができるようになります。消費者の需要動向に応じた収穫量の調整もできるようになっているでしょう。農作物の過剰な生産も、農作物の需給不一致による価格の乱高下も過去のものとなっているかもしれません。

(2) でかける



2030年には、「でかける」ことが一層快適になり、誰もが簡単にでかけることができるようになるでしょう。

デジタル未来社会では、移動中の時間が有意義に活用できるようになります。移動しながら料理を味わったり、自宅で観ていた映画の続きも途切れることなく愉しんだりできるようになり、自宅にいるのと変わらない快適さが実現され、住空間と移動空間の境界はあいまいなものとなります。

移動手段である自動車も一層進化し、道路に設置されたさまざまな機器や、道路走行中の自動車同士で周囲の状況を共有しあうことができるようになります。これにより、走行スピードなどをコントロールすることができるようになり、渋滞が解消されるだけでなく、運転者や歩行者の安全性も格段に向上することが期待されます。さらに進化した未来では、高齢者や子供たちでも、どの場所に行っても、その場所での交通手

段に疎くても、ストレスフリーで目的地に行くことができるようになります。また、誰でも自動車に乗って移動することが可能となり、買い物弱者や移動弱者がいなくなるでしょう。

一方、住み慣れた場所にいながらさまざまな品質の高いサービスを楽しむこともできるようになっているでしょう。例えば、遠隔医療や遠隔教育のようなテクノロジーを通じて、大都市から離れた小さな町においても、大都市住民と同じ水準の医療や教育サービスを受けることができるようになります。

(3) くらす



2030年は、わたしたちが暮らす街が便利になるだけでなく、住空間も一層快適なものとなり生活環境が格段に向上します。

わたしたちの街にある様々な建物や設備については、テクノロジーを活用することによって、できるだけ人手を介することなく維持管理ができるようになります。例えば、センサーやドローンによって、建物や設備の状態は常時監視され、保全・交換・メンテナンスの実施時期も自動的に判断されるようになります。また、屋内外に張り巡らされている配管や配線のメンテナンスもロボットの遠隔操作や自律走行によって行われるようになります。

わたしたちの暮らす住空間においても、バーチャル技術を活用した空間の拡張によって、リアルな空間の色、音、におい、風などを忠実に違和感なく再現し、一層快適な空間を作り出せるようになるかもしれません。例えば、リビングにいながらにして小鳥のさえずる森の中にたたずみ、コーヒーを飲みながら読書にふけることもできるようになります。あるいは、サッカースタジアムの音や情景を再現して、観客とともにスタジアムでの躍動感、高揚感を共有できるようになるかもしれません。

(4) そなえる



洪水、噴火、地震、集中豪雨といった自然災害の発生や、事件や事故による社会環境の変化が起こったときに、変化に対応するだけでなく、変化の予兆を素早く把握し、その対策をとることが一層重要な課題になっています。2030年には、テクノロジーによってこのような課題解決に向けた一層の進展がみられるでしょう。

自然災害に対しては、その予兆を捉えるテクノロジーが課題解決への鍵となります。森林や河川、海岸線などあらゆる自然環境に配備されたセンサーからのデータや衛星、ドローンからの映像を分析して、自然災害の予兆等を捉えることが可能となります。こうして得られた予兆等を人々にいち早く、かつ適切なタイミングで伝えることで、災害にそなえることができるようになります。

また、自然災害の発生も社会環境の変化も、企業の事業環境に甚大な影響をもたらすことがあります。そのため、柔軟な設備投資の実施や事業復旧・再編も考慮に入れた、想定される損害を最小化するためのリスクマネジメントが重要です。将来は、設備投資や事業復旧・再編の効果をデジタルツイン上で把握することによって、途切れることなく事業を継続できるようになるでしょう。

このように、起こりうる出来事をデジタル空間で事前にシミュレーションすることによって、社会全体の危機察知能力だけでなく、危険の回避や抑止、影響を受けた後の迅速な復旧を含めたリスクマネジメント能力も高めることができるようになります。

(5) まもる



持続可能な社会を実現するための環境への配慮はあらゆるシーンで必要不可欠となっています。

2030年には、環境に関わる情報をデジタル空間上でリアルタイムに共有・再現し、それらを分析して、必要に応じて処理を行うといった環境負荷低減に向けた仕組みが実現されているでしょう。

例えば、雲の位置や風の動きなどの高い精度の気象情報や、電気自動車や住居用蓄電池の充放電の状態をデジタル空間上に収集して解析を行うことによって、エネルギー供給設備の最適な運用ができるようになります。その結果、エネルギー需給安定化に大きな貢献をしているでしょう。

また、わたしたちが利用しているエアコンなどの設備は、気温などの状況やエネルギーの逼迫の度合いに応じて、人手を介することなく広域で自律的に制御されるようになっていることでしょう。

「でかける」の代表的なソリューションである自動運転においては、自動車と交通インフラ間、自動車と自動車間で、刻々変化する周囲の状況を共有し、自動車の運転方向や走行スピードをコントロールするということが必要となってきます。例えば、見通しの悪い交差点などで、車載カメラやセンサーだけでは得られない情報を他の自動車や交通インフラなどから入手することで、事故を一層防ぐことができるようになるでしょう。このような利便性が高く安全な自動運転の実現のために、ネットワークは信頼性高く、かつリアルタイムにデータを転送する必要があります。

「でかける」のその他のソリューションとしては、移動サービスを利用する人とバス・タクシーなどの移動手段を最適に組み合わせ、移動する人の利便性や移動手段の運行効率を向上させる MaaS (Mobility-as-a-Service) があります。MaaS では刻々と変化する車両や道路などの状態を、デジタル空間にリアルタイムで再現・分析・予測するモビリティ向けのデジタルツインが必要となります。このデジタルツインには、移動サービスの利用者のニーズと移動手段の状態を踏まえてリアルタイムでシミュレーションをおこない、利用者に最適な移動手段の組み合わせを提示することが求められます。そのためには、ネットワークにはさらなる多数接続や低遅延化といった要件が必要になります。

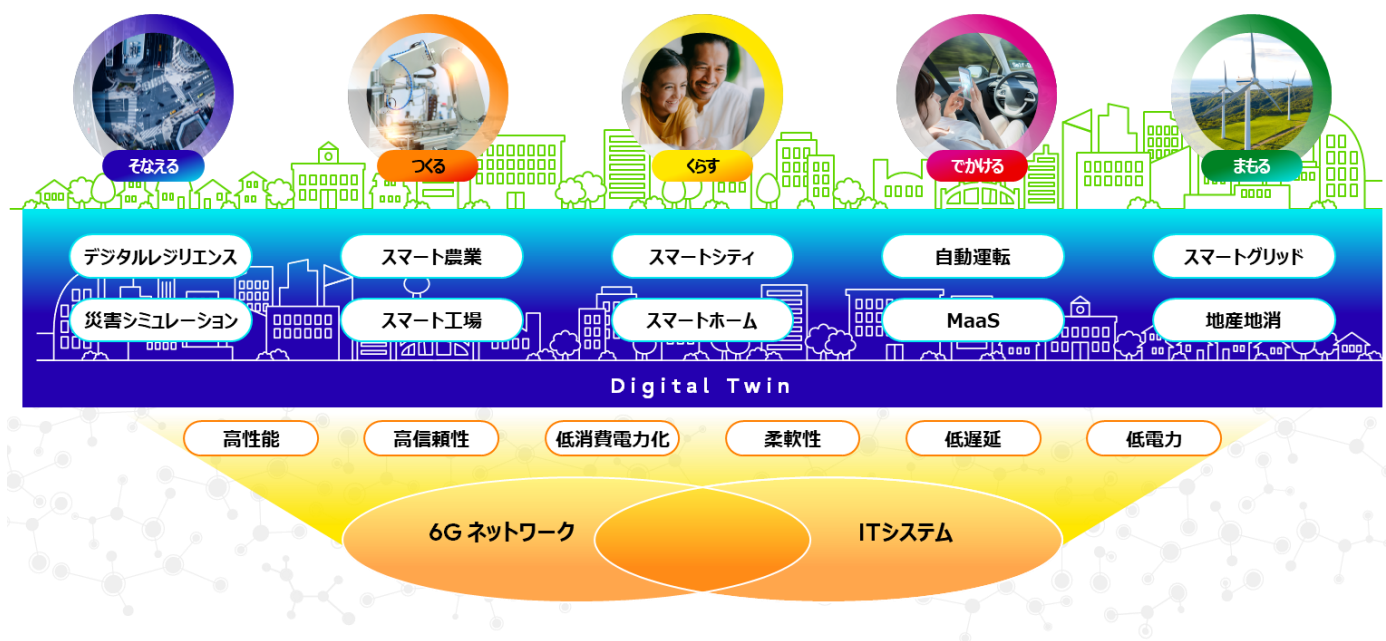


Figure 3 デジタル未来社会のソリューションとネットワーク要件

上記では、「つくる」「でかける」を例としてネットワークに求められる要件を示しましたが、他のシーンにおいてもネットワークの高度化が求められます。Table 1 に 2030 年のデジタル未来社会を構成する各シーンの実現に必要なネットワークへの要件を示します。

Table 1 ネットワークへの要件

項目	ネットワークへの要件例
大容量	<ul style="list-style-type: none"> ● 高度な映像解析など高精細映像、大量データ通信を行うための大容量化
低遅延	<ul style="list-style-type: none"> ● 自動運転を行う自動車間や工場機器のリアルタイム制御などに必要となる低遅延性
多数接続	<ul style="list-style-type: none"> ● 農場など大量・広範囲に設置されたセンサーからの情報を収集するための多数接続
低消費電力	<ul style="list-style-type: none"> ● ネットワークの大容量化や多数接続に伴う消費電力増加の抑制 <ul style="list-style-type: none"> ➢ ネットワークを構成する個々の部品の低消費電力化 ➢ ネットワーク全体での低消費電力化制御
柔軟性	<ul style="list-style-type: none"> ● 変化する環境に最適に対応し、必要なタイミングで ICT リソースを利用できる柔軟性 ● ネットワークの構築や設定をできるだけ人手を介さず実施できる自動化 ● 広範囲で自律的な異常（輻輳、故障など）の検出と復旧
高信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ● NTN（Non-Terrestrial Network）など、地上以外も含み、どこでも通信可能とする拡張性 ● スマートフォンなどのコミュニケーション端末だけでなく、工場での機械、自動車、センサーなどさまざまな端末との接続、端末間の接続を提供する多様性 ● 通信中のネットワーク状態にかかわらず一定以上の品質を保つ可用性 ● ネットワークにつながる人やデータ、システム間でのトラスト（真正性など）保証

5G では、「大容量」「低遅延」「多数接続」といった高性能を特長としています。6G においても、これら性能のさらなる向上は非常に重要であり、富士通でも、5G の延長としてネットワーク機能や装置の性能向上に向けた個々の技術開発を進めています。

一方、「低消費電力」「柔軟性」については、個々のネットワーク機能や装置で考慮すべき要件であると同時にネットワーク全体の課題として捉えるべきと考えています。

5G を活用したスマート工場、スマート農業、街のメンテナンスといったサービスは、既に実現されつつあります。しかし、サービス利用中のユーザ数や端末数が事前の想定を超えて、ICT リソースの需要が大きく変動することがあります。このような想定外の状況変化が生じた場合に、サービスを一定の品質で提供できなくなる可能性があります。それを防ぐためには、刻々と変化し続ける状況に応じて、稼働していない ICT リソースをそのサービスに割り当てるような柔軟性を持つことが重要です。この柔軟性は、データセンターのような一つの場所にある ICT リソースのみならず、地理的に離れた場所に所在する複数の ICT リソースも活用することで、一層発揮されます。この柔軟性に関しては、次章で示す 6G 時代におけるネットワークアーキテクチャーの進化によって実現される要件と考えています。

「高信頼性」は、拡張性やトラストなどが含まれ、ネットワーク全体の課題と言えます。ネットワークは、地上だけでなく、海上、宇宙といったあらゆる場所から、また、スマートフォンに限らず工場の設備やロボット農機、自動車などのさまざまな機器やセンサーから接続可能となり、今以上に多くの人々がどこでもサービスを楽しむできるようになります。また、そのサービスを常に高品質、トラストに提供することが重要になります¹。



Figure 4 ネットワークの要件

¹ https://www.fujitsu.com/global/documents/about/research/article/202212-trust-enhanced-networking/trust_enhanced_networking_whitepaper_en.pdf

ネットワークへの影響

このようなさまざまな要件はネットワークにどのような影響を与えるでしょうか。

Figure 5 及び Table 2 は現状のネットワークに対し、要件が特に影響を与える箇所を示したものです。

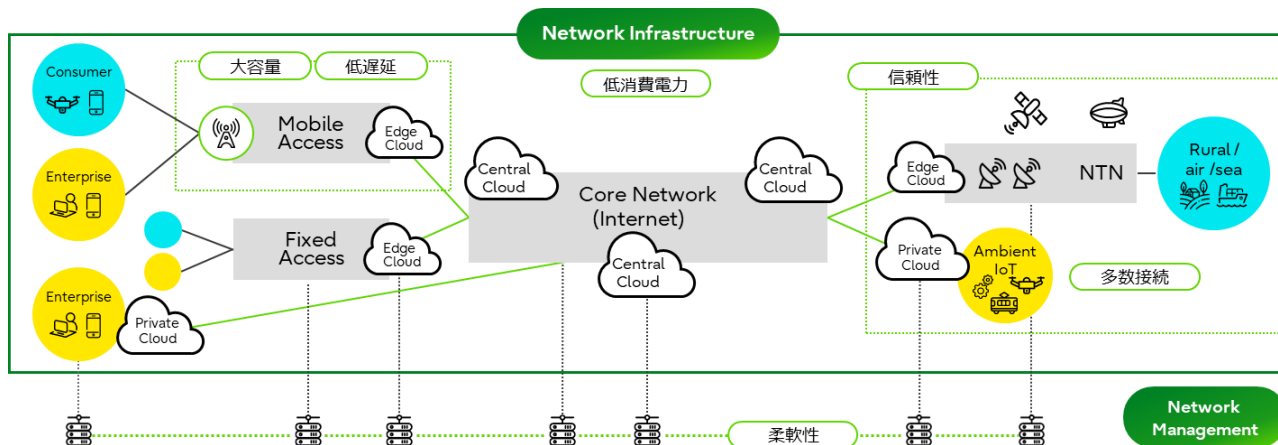


Figure 5 要件がネットワークへ与える影響

「大容量」なネットワークを実現するためには、ネットワークを構成する要素である、無線アクセス、有線アクセス、コアネットワークすべてにおいて大容量化のための拡張が必要になります。特に、大量データ通信を行う無線端末を転送可能とする無線アクセスの大容量化は最も重要になります。「低遅延」については、ネットワークでのデータ転送を高速にすることはもちろん、それに加えてユーザ端末近傍でデータ処理を行う、いわゆるエッジコンピューティングのための ICT インフラを提供することが重要になります。「高信頼性」については、現在の通信エリアに加えて、宇宙・海上など今まで通信できなかった場所でも通信可能とするとともに、センサーなど大量の通信端末がある場所でも通信可能とする「多数接続」を提供するネットワークインフラが必要となります。「柔軟性」については、トラフィック変動や障害などに対しても自律的に対応可能なネットワーク管理が必要となります。「低消費電力化」については、ネットワークを構成する個々のネットワーク装置の低消費電力化に加え、ネットワーク全体として消費電力を最小化するネットワーク運用管理が必要となります。

Table 2 要件がネットワークに与える影響

要件	現状のネットワークへの影響や要件の実現箇所
大容量	<ul style="list-style-type: none"> ● 大量データ通信を行う端末を転送可能とする無線アクセスや有線アクセス ● 大量データを処理可能なネットワーク装置 ● 大量データを転送可能とするコアネットワーク
低遅延	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速処理可能なネットワーク装置 ● ユーザ端末近傍でデータ処理を行うことを目的としたネットワーク・エッジデータ処理
高信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ● NTNなどの地上以外も含み、どこでも通信可能とする通信エリア拡張、及びさまざまな端末やセンサーと接続可能とする無線アクセス ● 通信中のネットワーク状態にかかわらず一定以上の品質を保つ動的なネットワーク品質管理（ネットワークにつながる人やデータのトラスト保証を含む）
多数接続	<ul style="list-style-type: none"> ● 大量・広範囲に設置されたセンサーと接続可能とする無線アクセス
柔軟性	<ul style="list-style-type: none"> ● 短期的なトラフィック変化（急激な負荷変動）や長期的なトラフィック変化が生じてもユーザへの通信品質を劣化させないなど、トラフィック変化に対応可能なネットワーク管理 ● 異なるベンダー間で共通化されたネットワーク管理・制御インタフェース ● ネットワーク構築における装置の設定や運用中の設定変更をできるだけ人手を介さず実施できる自動ネットワーク制御
低消費電力	<ul style="list-style-type: none"> ● 個々のネットワーク装置の低消費電力化。特に、無線アクセスにおける消費電力の大きい基地局の低消費電力化 ● 仮想化ネットワークのプラットフォームとなるコンピュータリソースの低消費電力化 ● ネットワーク運用における、エンド・ツー・エンドのネットワークレベルの省電力化

3. 6G 時代におけるネットワークアーキテクチャー

ICT インフラの分散

デジタル未来社会のサービスを提供するための ICT インフラは世界中の様々な場所に遍在しています。例えば、企業や自治体などのオンプレミスなクラウド上でサービスが提供される場合もありますし、大規模データセンターにあるクラウド（センタークラウド）や WAN（Wide Area Network）にあるエッジクラウドを利用して提供される場合もあります。デジタル未来社会において、品質の高いサービスを低コスト、低消費電力で提供するためには、このような遍在する ICT リソースを効率的に活用することが重要になります。

例えば、ユーザが低遅延のサービスを求める場合には、ユーザ近傍のエッジクラウド上でシステムを構築することで遅延を減らすことができます。一方、それによってエッジクラウドでの処理負荷が大きくなる場合には、エッジクラウドとセンタークラウドで処理を分担することで負荷低減が可能となります。

また、サービス中にユーザ数が増加し、ネットワークが混雑することによって、ユーザに対して高品質のサービスを実現できないような場合には、ICT システムの構成を変更したり、トラフィックの経路を変更して、品質を維持することが重要になります。

さらに、このような柔軟性を提供するためには、エンド・ツー・エンドの ICT システムの個々の構成要素（ネットワーク機能、コンピュータなど）に対して、環境変化に応じて設定値を変更することが必要です。その際には、ICT システムが人手を介することなく状況の変化を検知して、自動的に構成を変更するという制御の自律性が求められます。

エンド・ツー・エンドの ICT システムにおいて、さまざまな場所にあるインフラを効率的に活用して、環境変化にもうまく追従できるような柔軟性と自律性を提供するために重要となるのが、ディスアグリゲーションとオーケストレーションという考え方になります。

ディスアグリゲーション

従来、基地局、スイッチ、ルータといったネットワーク装置は、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、それらの装置をいくつかの構成要素に分解して、必要な要素を組み合わせるディスアグリゲーションが進んでいます。例えば、光伝送の分野では、光トランスポートシステムを、WDM、トランスポンダー、スイッチなどの構成要素に分解します。そして、その要素間のインタフェースをオープン化することにより、異なるベンダーの構成要素であっても自由に組み合わせ、光トランスポートシステムを再構成できるようになりつつあります。ワイヤレスの分野では、

基地局を RU (Radio Unit) や DU (Distributed Unit)、CU (Central Unit) などの構成要素に分解して、その構成要素間のインタフェースをオープン化する Open RAN が進んでいます。

さらに、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います。例えば、5G のモバイルコアと呼ばれるネットワークでは、モバイルコアをさまざまな機能に分解し、各機能をマイクロサービスとして利用できるため、機能の組み合わせが容易になっています。

この仮想化されたネットワーク機能を動作させるコンピュータについても、CPU、GPU、ストレージなどの構成要素に分解して、負荷などに合わせて最適にシステムを再構成するディスアグリゲータッドコンピューティングが進みつつあります。このディスアグリゲータッドコンピューティングは、6G 時代の新たな ICT インフラとして期待されており、従来までネットワークインフラのコンピューティングリソースとして活用されていた専用機器や汎用コンピュータを代替しつつあります。

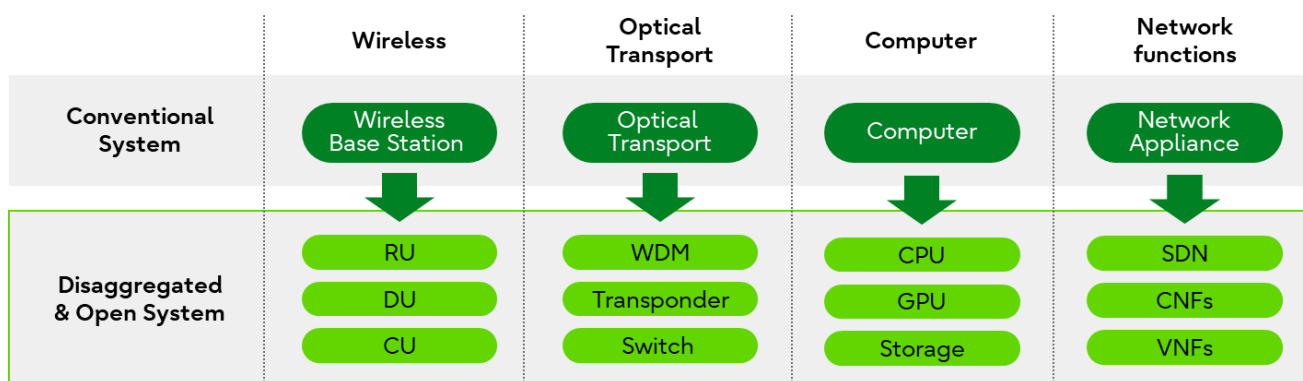


Figure 6 ネットワークにおけるディスアグリゲーション例

このようなディスアグリゲーションは、さまざまな分野で導入されつつありますが、いずれも、装置や機能をいくつかの構成要素に分解して、用途や目的に合わせて必要な要素を組み合わせることにより、高品質性や低消費電力などの要件を満足するための最適な構成を提供するものです。

オーケストレーション

前述のようにコンピュータやネットワークなどの ICT インフラは、企業の現場やオンプレ拠点、通信事業者などのエッジクラウド、インターネットを介したセンタークラウドなどネットワークワイドに分散しています。これらの、地理的に分散している ICT インフラ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。すなわち、実現するサービスのネットワーク要件に合わせ、コンピュータリソース上にネットワーク機能を動的に配備することで、要件を満たしつつ、ハードウェアリソースを効率的に活用することが可能になります (Figure 7)。

このような、エンド・ツー・エンドでネットワーク機能や IT システムの機能を配備し、運用する機能がオーケストレーションになります。

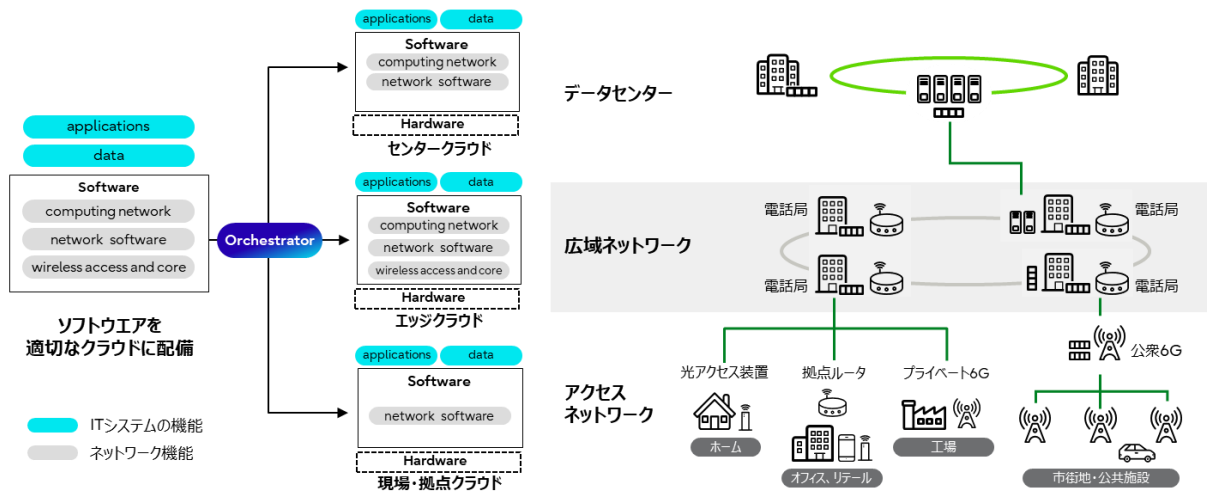


Figure 7 オーケストレーション

ネットワークアーキテクチャーの進化

汎用的なコンピュータ上でネットワーク機能を実現するネットワークの仮想化は、クラウド上で実現されている IT システムの構成と近いものとなっています。これは、コンピュータ上で IT システムの機能とネットワーク機能の両方が実現可能なことを意味します。したがって、ネットワークだけでなく IT システムも含めてアーキテクチャ的に統合し管理するのが効率的です。すなわち、ネットワーク機能と IT システムの機能を含めて、物理的に動かすことのできないハードウェアと、可搬性のあるソフトウェアの 2 つの領域に統合していくと考えています。ハードウェア領域では、コンピュータと、それらをつなぐ光トランスポートシステムや無線アクセスシステムの組み合わせで高い性能を追求し、ソフトウェア領域では、さまざまなネットワーク機能や、端末からのデータの処理のような IT システムを実現するための機能を実現します。このような IT システムとネットワークの統合的なアーキテクチャーによって、ハードウェアの性能を最大限活用しつつネットワーク機能や IT システムの機能を効率的に実現できるようになります。

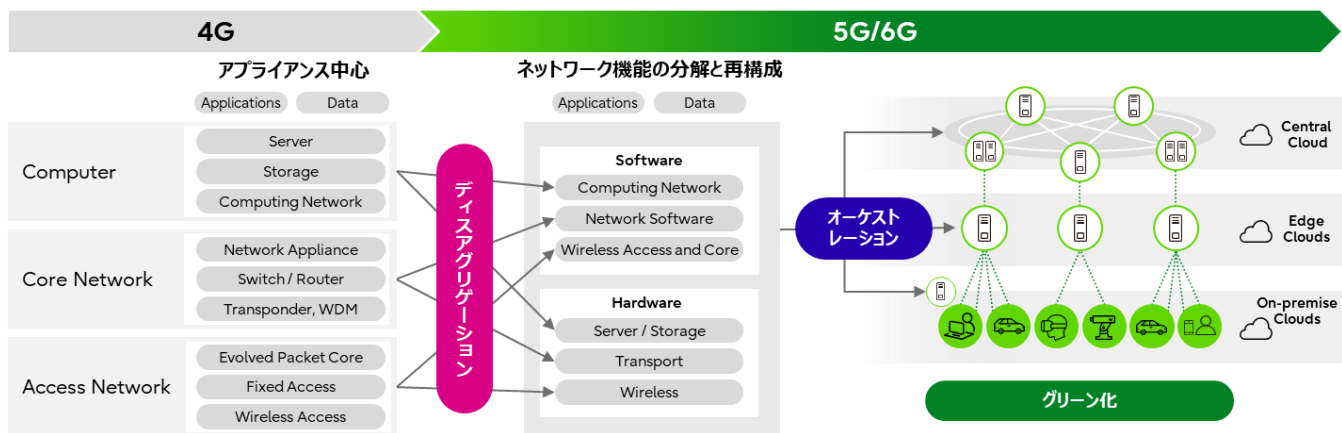


Figure 8 ネットワークアーキテクチャの進化（モバイルネットワークの例）

Figure 9 は、ハードウェアとソフトウェアを組み合わせて構成されるネットワークインフラを示したものです。ハードウェアの領域の構成要素には、CPU、GPU、ストレージなどのコンピュータリソース、光トランスポートにおける WDM やトランスポンダーやスイッチ、ワイヤレスにおける RU やモバイル端末といったものがあります。なお、このハードウェア領域は、今後の技術の進展にしたがって性能を進化させていく領域になります。

ソフトウェア領域は、コンピュータ上で実現する CU や DU などのモバイルの機能、セキュリティやルーティングなどのネットワークアプリケーションなどにより構成されます。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、ネットワーク内でカメラやセンサーからのデータを処理するケースも多くなってきます。IoT 機器からのデータを集めて加工するような機能や、そのデータを他のシステムに提供する機能などが今後重要になってきます。

エンド・ツー・エンドの ICT インフラは、これらのハードウェアやソフトウェアの構成要素を組み合わせる構成されますが、この ICT インフラはインフラ提供者により組み合わせ方は異なります。たとえば、あるインフラ提供者は、ソフトウェアをエッジクラウドに配備することもあります。別のインフラ提供者は、そのソフトウェアをセンタークラウドに搭載することもあります。このような場合においても、ハードウェアやソフトウェアが disaggregation されていれば、インフラ提供者は自ら望む構成を簡易に構築できるようになります。

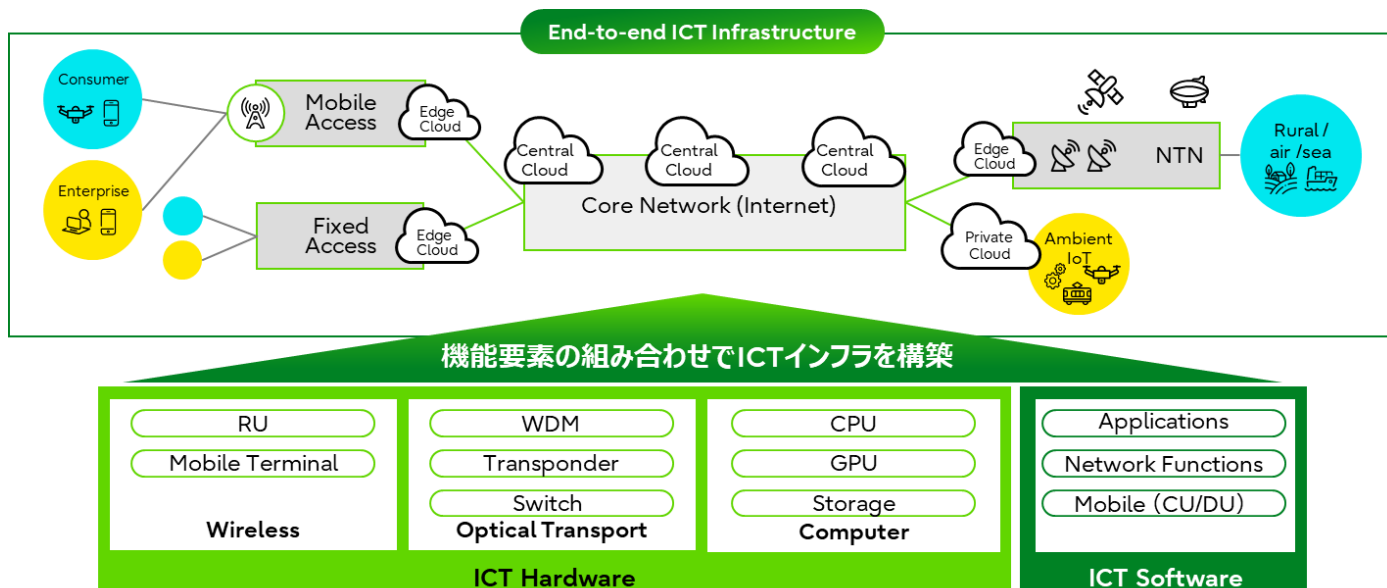


Figure 9 エンド・ツー・エンドの ICT インフラ

6G 時代の ICT アーキテクチャー

前述のように、デジタル未来社会のサービスは、世界中の様々な場所に遍在する ICT インフラを利用して実現されます。この ICT インフラは、さまざまな事業者がさまざまな場所で提供しています。したがって、ICT サービス提供者は、このさまざまなインフラをうまく組み合わせる必要があります。その際に、ICT インフラは事業者や場所をできるだけ意識せず、システム全体として見えることが望ましいでしょう。すなわち、ICT インフラ利用者がシステム全体を一元的に取り扱うことができ、簡単に ICT システムを構築したり変更したりすることができるような、ICT インフラを目指すべきと考えます (Figure 10)。

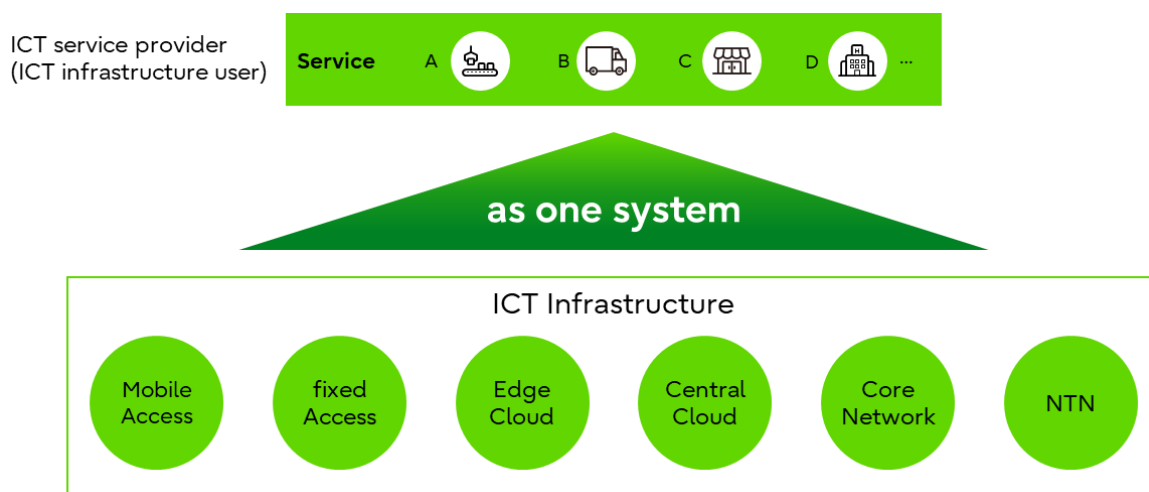


Figure 10 ICT インフラの利用

Figure 11 は、この考え方の実現構成を示したものです。

ICT インフラには、センタークラウドやエッジクラウド、及びそれらをつなぐネットワークなどがありますが、ICT インフラは必ずしも単一の事業者だけではなく、複数の事業者により提供される場合があります。その場合、ICT インフラ利用者は、個々の事業者や装置を意識しなくてもよい抽象的な API を通じてインフラを利用できることが大事です。

また、ICT インフラ上では、同時に複数の ICT サービスが実行されます。これらのサービスは、エンド・ツー・エンドで必要となる機能や性能が異なります。その場合、ICT インフラは、同時に複数のサービス要件を満足するような機能や性能を提供する必要があります。

さらに、実際の ICT インフラの運用においては、サービスや ICT インフラの状態は動的に変化します。たとえば、サービスの種類が増えたり、求められる性能や機能が増えたりします。また、ICT インフラについても増減設や故障などインフラ性能が変化します。

こうした課題に対応するためには、装置や事業者をまたいだ ICT インフラ管理が必要となります。さらに、サービスごとに必要なエンド・ツー・エンドの ICT インフラをソフトウェア上で「仮想的なエンド・ツー・エンドネットワーク」として用意し、AI などを用いてインフラ状態のシミュレーションや設定を行います。これにより、サービス要件やインフラ状態の変化に対して、個々のサービスがどのような影響を受けるか、また、どのように ICT インフラを変更すればよいかを予測し、その結果を元に ICT インフラを最適な状態に保つことが可能となります。

このように、今後の ICT インフラは、さまざまな事業者や場所から構成されるネットワークやコンピューターインフラを統合的に管理して柔軟性を提供するとともに、利用者に対して、インフラを一つに見せることで使いやすい ICT インフラを提供できるようになると考えております。

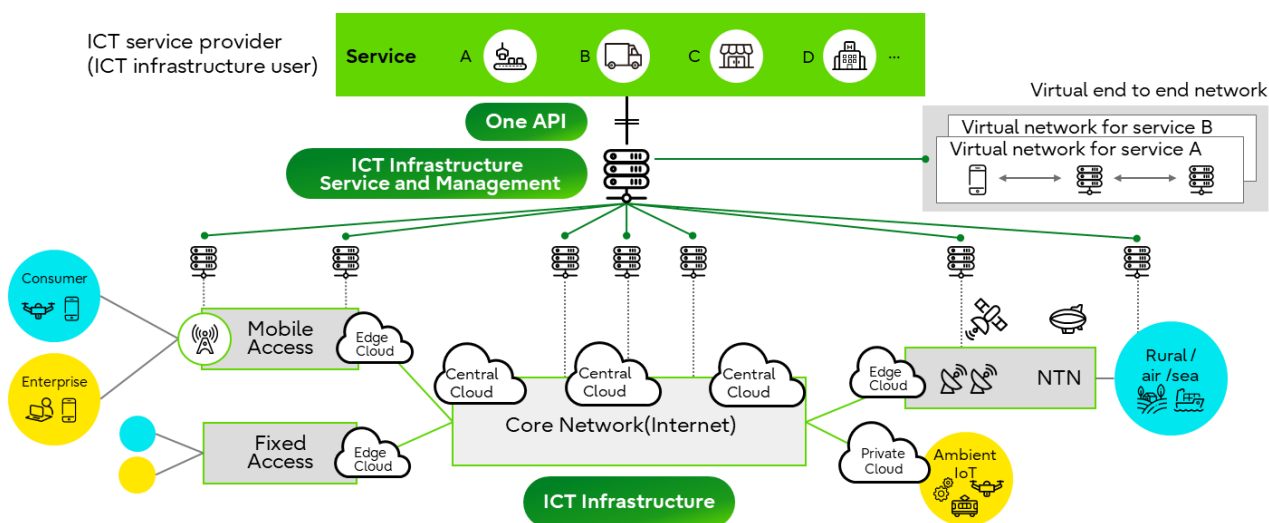


Figure 11 6G 時代の ICT インフラアーキテクチャー

4. 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領域やソフトウェア領域において富士通が開発をすすめている技術を示します。

ネットワーク技術の方向性

エンド・ツー・エンドで高性能・高品質かつ柔軟性のある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&ディスアグリゲーション、インテリジェントネットワーク、そしてグリーン技術の3つがあります。

ディスアグリゲートされたネットワーク機能を、要件に合わせてエンド・ツー・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がオープンであり容易にシステム構築ができる必要があります。次に、エッジクラウドやセンタークラウドなどさまざまな場所に遍在する ICT インフラ上で、要件に合わせてネットワーク機能を再構築し、かつ、安心安全で簡易に運用できるようにするためには、運用管理におけるインテリジェンスが必要となります。最後に、環境に配慮したネットワークでは、小型・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 よりも大容量のデータ通信が行われるため、より多くの電力が必要とされます。そのため、グリーン技術の革新により、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。

このように、グリーンでかつオープン&ディスアグリゲーションで構成されるネットワーク機能をインテリジェントに構築・運用することによりエンド・ツー・エンドで最適化されたネットワークを提供することが可能となります。

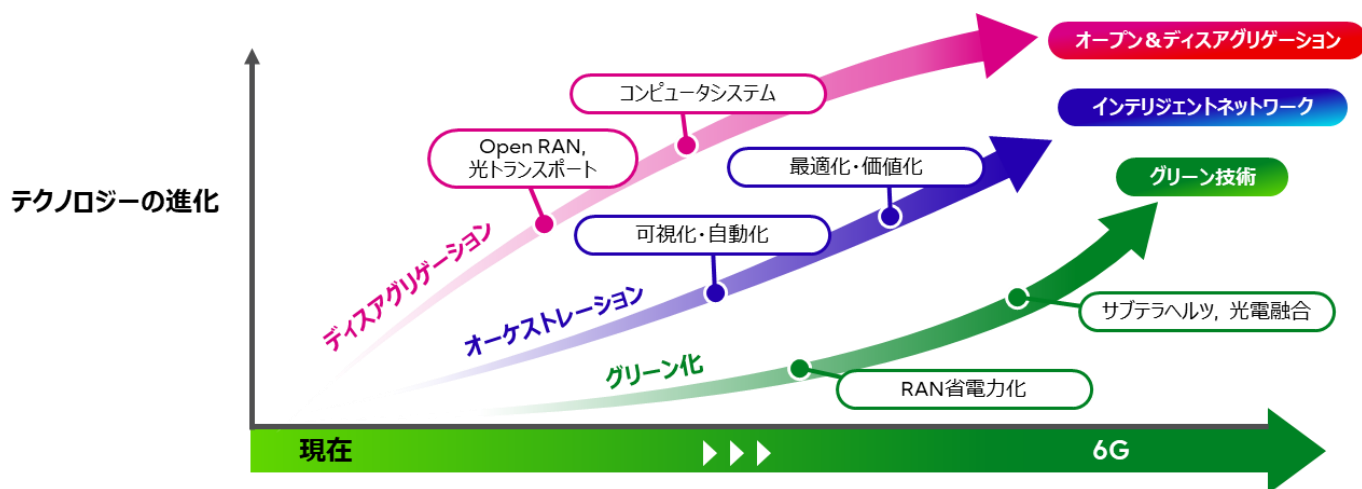


Figure 12 ネットワーク技術開発の方向性

オープン&ディスアグリゲーション

ネットワークのディスアグリゲーションについては、2つの観点重要です。1つ目は、ディスアグリゲートされた機能はハードウェアもしくはソフトウェアで実現されていますが、いずれにおいても、機能間のインタフェースがオープン化されているという点です。このインタフェースのオープン化によって、異なるベンダーから提供された機能間の相互接続性を保証できます。2つ目は、ディスアグリゲートされた個々のネットワーク機能がソフトウェアベースで構成され、それらの機能が仮想化プラットフォーム上で実現できるという点です。このネットワーク機能の仮想化により、新たな機能の追加、改版、削除が柔軟にできるようになります。

Figure 13 は、富士通における光トランスポート分野でのオープン&ディスアグリゲーションの取り組みになります。従来、光トランスポート装置は、WDM（図における 'Lambda' ブロック）、トランスポンダー（図における 'Transport' ブロック）、スイッチ（図における 'Switch' ブロック）を一体化した All-in-one Box タイプで構成されていました。そこで、それぞれの機能部分を個別に分解し、機能間のインタフェースや機能に対する監視制御インタフェースをオープン化することにより、さまざまなベンダーの装置や機能を、システムが求める要件に合わせて柔軟に構築したり、監視・制御することが可能となります²。

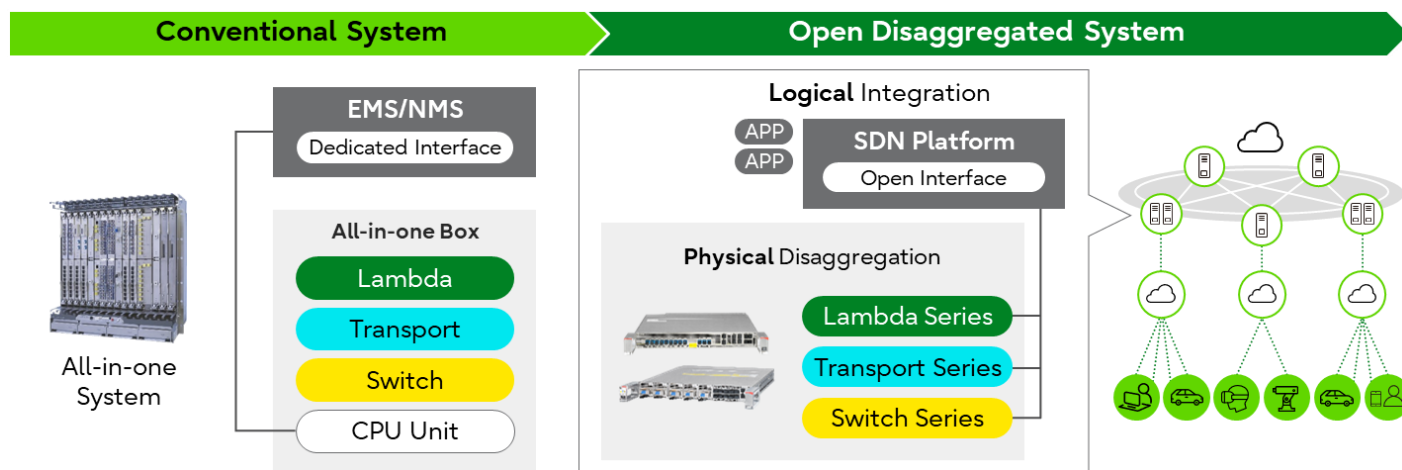


Figure 13 光トランスポートのオープン&ディスアグリゲーション

Figure 14 は、現在、富士通が取り組んでいるソフトウェアベース基地局の構成です。従来の基地局に対して、無線部分をつかさどる RU とデジタル信号処理を行う CU/DU 間及び基地局やネットワークの制御・管理を行う RIC/SMO (Radio Access Network Intelligent Controller / Service Management and Orchestration) の構成要素に分解して、構成要素間のインタフェースをオープン化することでベンダー間

² 1FINITY Optical Networking for Digital Transformation
https://marketing.us.fujitsu.com/rs/407-MTR-501/images/1FINITY%20Brochure_08062020.pdf

の相互接続性を実現します。さらに、従来アプライアンスとして提供されていた CU/DU についてはソフトウェアベースで構成し、仮想化プラットフォーム上で実現することにより、柔軟性のあるネットワークを構成することが可能となります。6G に向けて、このようなオープンかつディスアグリゲートされたネットワーク機能と後述するグリーン技術を組み合わせることにより、小型・低消費電力で高性能かつ柔軟性の高いネットワークを実現していきます。

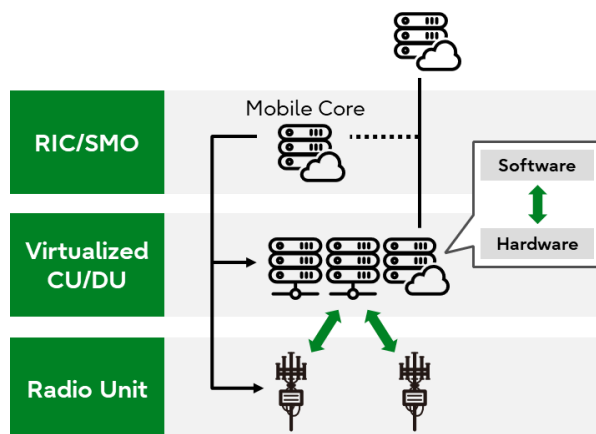


Figure 14 ソフトウェアベースの基地局

Figure 15 及び Figure 16 は、富士通で進めているディスアグリゲートドコンピューティングを示したものです。従来のコンピュータ、例えばサーバでは、CPU、GPU、ストレージなどといった実装できるリソースの数量と処理性能は、サーバごとに決まっています。したがって、あるアプリケーションを実行する際に、サーバの処理性能が不足する場合には、サーバを増設することで対応します。例えば、GPU の能力が不足する場合には、ストレージの容量は十分満足しているにも関わらず、従来ではサーバ単位での増設が必須でした。ディスアグリゲートドコンピューティングでは、この増設単位をリソースごととし、リソース利用率に応じて増設することで利用効率の高いコンピューティングシステムを提供します。すなわち、アプリケーションの負荷にあわせて、必要となるリソースをまとめ、あたかも 1 つの仮想的なサーバとして機能させます。このリソース共有に関しては、データセンター内の近隣のサーバ同士だけではなく、地理的に離れたサーバでのリソース共有により効率的なインフラの運用も可能となります。このようなサーバ間のリソース共有のためには、異なるサーバ間でデータを高速に転送することが必要になりますが、この課題については、CPU 非介在で GPU などのデバイス³間でダイレクトに通信を行うデバイス間ダイレクト転送技術や後述の光電融合技術により実現します。

³ ここでいうデバイスは、GPU、FPGA、メモリなどを指す。

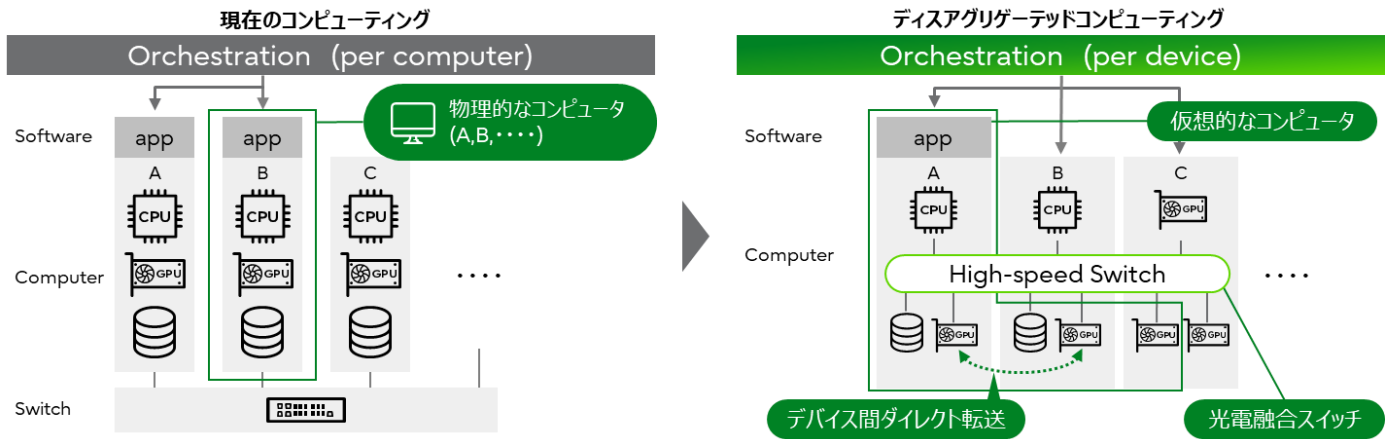


Figure 15 ディスアグリゲータッドコンピューティング

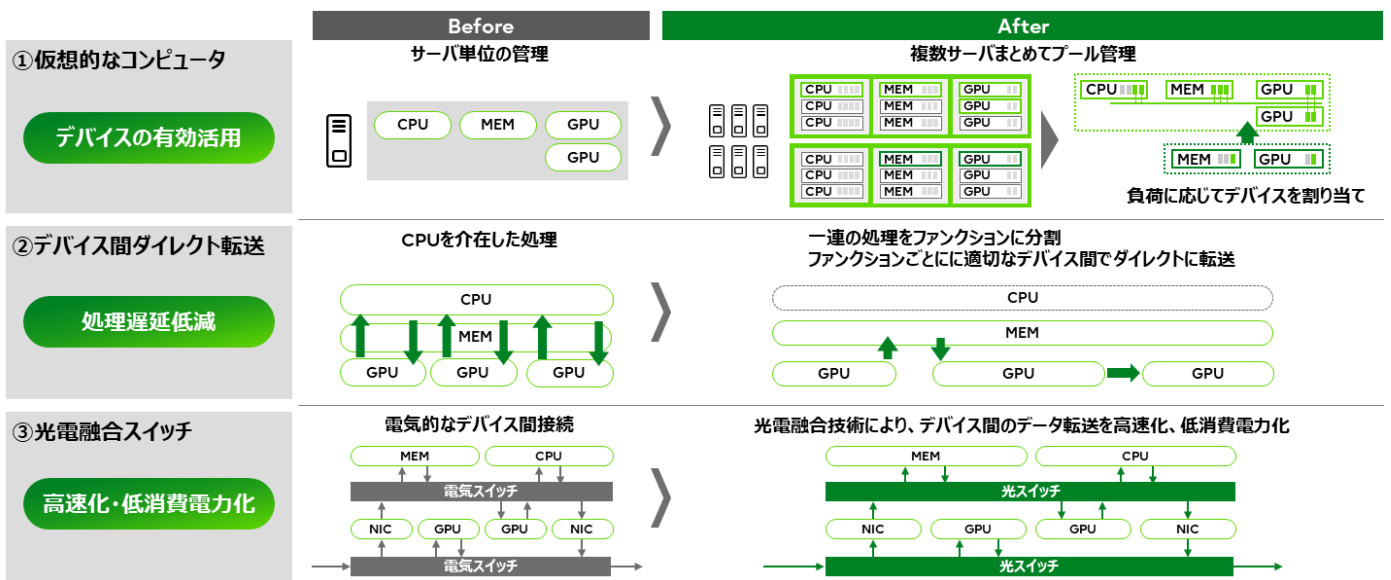


Figure 16 ディスアグリゲータッドコンピューティングの特長

インテリジェントネットワーク

ユーザが利用するネットワークの品質は、各々の装置・機能の性能やネットワーク経路の使用状況に依存します。そのため、端末からクラウドまでにユーザが利用するネットワークやITシステムを一体化して監視、制御を行うことが重要となります。ベンダーの固有装置を組み合わせたネットワークでは、その管理が個々の装置に依存するため、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。したがって、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、標準化されると、異なるベンダー間や、光トランスポート、ワイヤレス、コンピュータといった異なる領域をまたがったエンド・ツー・エンドのネットワーク運用管理が容易になります。さらには、個々の装置の使用状況やサービス品質に関する

るネットワークの状態を収集し、AIなどを活用した分析を行い、その分析に基づいて、装置の設定値変更などを行うといった動的な運用管理が可能となります。

Figure 17は、エンド・ツー・エンドのネットワーク運用管理に関する技術の発展過程を示したものです。Phase 1では、ネットワークを構成する個々の装置リソース状態の可視化や、アラーム表示など構築・保守の自動化が可能となっています。

個々の装置や機能に対する監視制御インタフェースがオープン化、標準化されエンド・ツー・エンドの監視が一元化されると、エンド・ツー・エンドでまとめて状態を可視化できるようになります。そして、各装置や機能の状態が適切か否か分析し、適切なリソース配備や装置・機能への望ましい設定値などの最適化ができるようになります（Phase 2）。例えば、ネットワーク全体の消費電力を減らすような最適化や、ユーザの体感品質を向上させるような最適化が可能となります。なお、このネットワークの消費電力を削減する例については、次節のグリーン技術の項目で言及します。

さらには、このエンド・ツー・エンドのネットワークの状態をITシステムに開放することで、ITシステムはネットワークの状態に関する情報を利用できるようになります。例えば、ネットワークのどこが混んでいるか、どこに利用者が集中しているかなどの情報をITシステムに反映することが可能となります。また、運用管理の観点からも、ITシステムのリソースとネットワークのリソースを合わせて統合的に管理することが可能となります（Phase 3）。

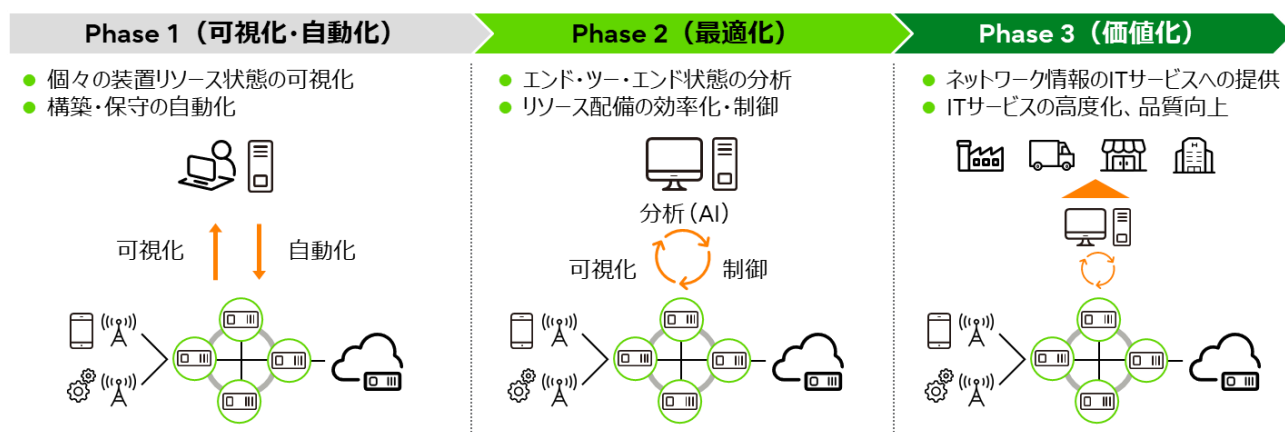


Figure 17 ネットワークの自動化、最適化、価値化

グリーン技術

環境負荷の低減を目指すグリーン技術については、まずは、ワイヤレス、光トランスポート、コンピュータといった個々のハードウェアの分野での小型化、低消費電力化が重要になります。さらに、前述のインテリジェントな運用管理を通じてネットワーク全体で消費電力を削減することが重要になります。

ワイヤレス領域では、5Gの周波数よりも高周波のミリ波領域やサブテラヘルツ領域の周波数を活用するワイヤレス技術の開発を進めています。現在、モバイル通信で中心的に利用されているマイクロ波に比べ、より高周波であるミリ波、サブテラヘルツ波領域を利用すると、より高速なデータ転送が可能となります。しかし、高周波領域では通常のシリコン系半導体を使うと増幅器の出力を大きくできないといった課題があります（Figure 18）。富士通では、窒化ガリウム（GaN）やリン化インジウム（InP）といった化合物半導体を用いた高電子移動度トランジスタ（High Electron Mobility Transistor; HEMT）を送受信機に適用することで、高速でありながら、省電力なRUを実現することを目指しています。

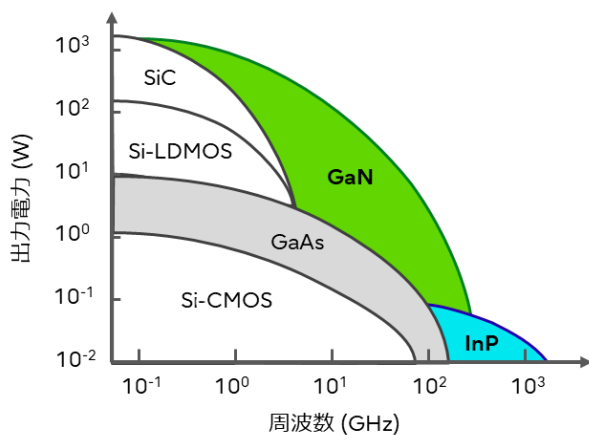


Figure 18 動作周波数と増幅器の出力

また、現在の通信エリアにとどまらず、屋内や地下、空中など、さまざまな場所において効率的にネットワークを配備して通信できるようにするために、IAB（Integrated Access Backhaul）、メッシュ網、移動基地局、ネットワークシェアリングといった技術を用いて低消費電力のネットワークを構築するためのネットワークトポロジーの技術開発をおこなっています。

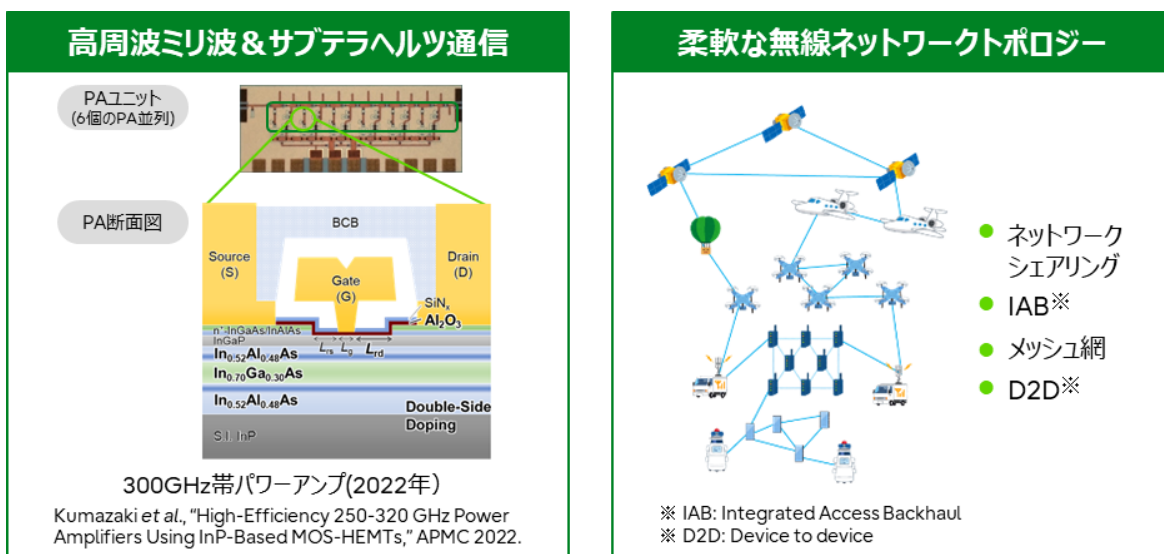
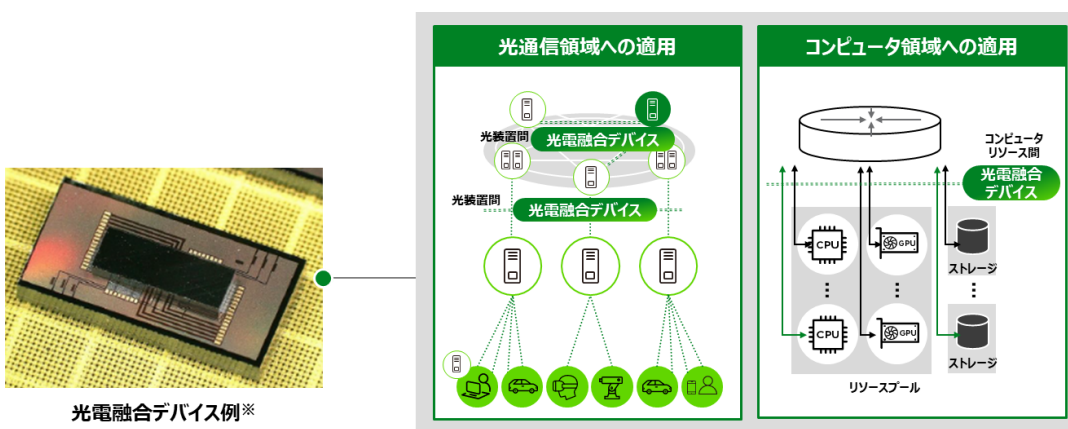


Figure 19 グリーン技術（ワイヤレス）

光トランスポートネットワークの小型・低消費電力化について、富士通は、従来電氣的に実現されるネットワーク処理をできるだけ光レイヤにて実現するオールフォトニクスネットワークの技術開発に取り組んでいます。現在の光トランスポートネットワークを構成する装置については、電気部分はシリコン系の半導体を用い、また光部分は化合物半導体を用いて実現されているため、それぞれ個別の半導体パッケージとなっています。光電融合技術は、光レベルの処理と電気レベルの処理を同一の半導体パッケージで実現することによって、小型化かつ低消費電力化を目指したものです。このような光電融合デバイスを、光トランスポートシステムのみならず、コンピュータシステムにも適用することでシステム全体の小型化、低消費電力化を実現します。



※ This technology is based on results obtained from a project, JPNP13004,14004,16007 commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

Figure 20 光電融合技術

Figure 21 は、この光電融合技術を用いた光デバイスを、光アンプやトランスポンダーといったサブシステム、さらにはそれらを組み合わせた光トランスポートシステムに適用することで、小型でかつ低消費電力でありながら、大容量転送が可能なネットワークを示しています。さらに将来的には、現在電氣的に処理されている部分を徐々に光処理に置き換えることで、エンド・ツー・エンドで光処理が可能なオールフォトニクスネットワークを目指していきます。

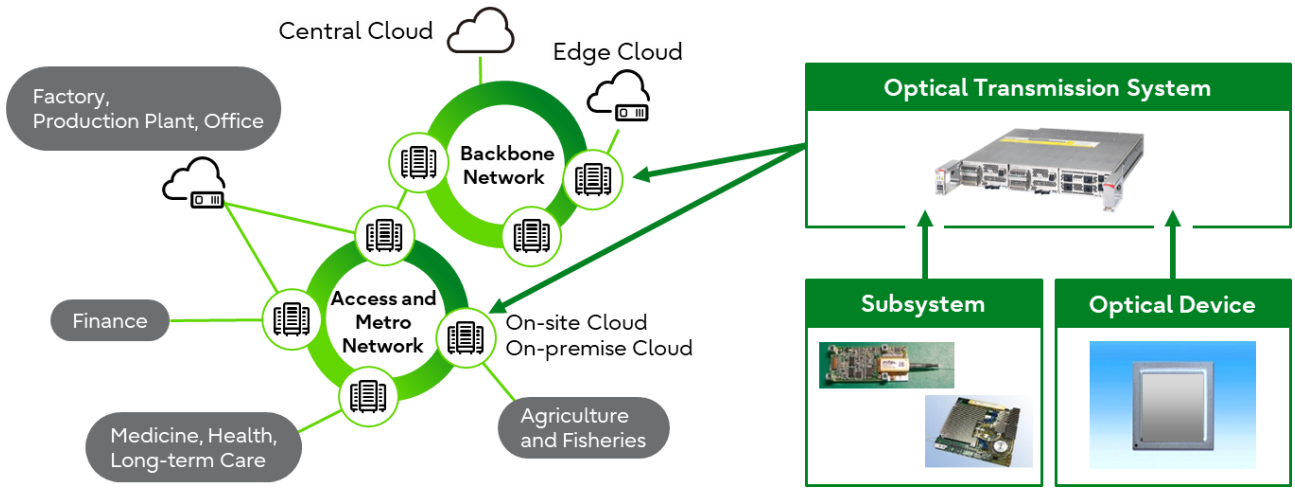


Figure 21 光電融合技術の光トランスポートへの適用

一方、上記で示した個々の装置や機能を組み合わせてネットワークを構築、運用した際に、ネットワーク全体としてグリーン化を図ることも重要になります。Figure 22 は、ネットワークのグリーン化の例として RAN の省電力化を示しています。前述のように、RAN については屋内外フィールドに設置される RU と主としてクラウド上のソフトウェアにて実現する CU/DU により構成されます。モバイルユーザのネットワーク利用状況は、場所や時間によって刻々と変化していきます。例えば、夜間のオフィス街など特定の時間帯にユーザ数が極端に少なくなる場合やイベントなど特定時間に特定箇所にユーザが集中する場合があります。そこで、極端にユーザが少なくなった場合は RU の稼働を制限することにより消費電力を削減できます。また、クラウド上で構成される CU/DU についてはコンピューティングリソースなどのハードウェアを共有することで、負荷に合わせて適切な台数のリソースを稼働させることにより、消費電力を必要最小限に抑えることが可能となります。さらに将来的には、ネットワークを利用しているユーザの動きや、ネットワーク上で実現している IT サービスの使用状況をネットワークが把握し予測することによって、余剰なコンピューティングリソースを削減することを目指しています。

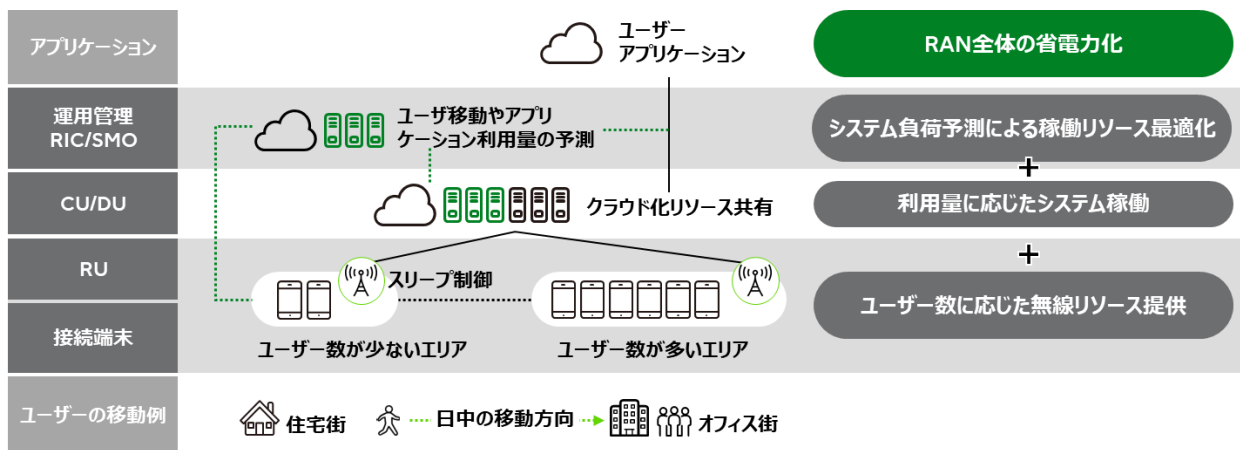


Figure 22 RAN の省電力化

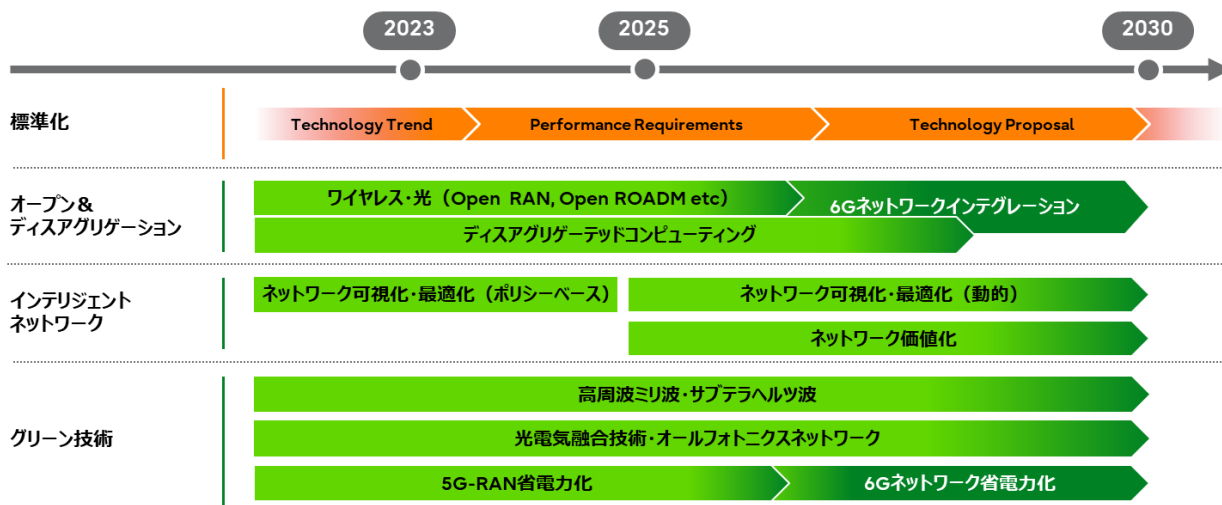
技術開発ロードマップ

現時点で富士通が考えている技術開発ロードマップを Figure 23 に示します。

オープン&ディスアグリゲーションの分野については、現在は、現行 5G をベースにネットワークのディスアグリゲーションや標準化、及びソフトウェアによる機能実現を進めています。6G についても基本的にはこの考え方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。

インテリジェントネットワークの分野では、まずは、異なるベンダーや異なる領域の装置に対する運用自動化をルールやポリシーベースで行い、それを、AI を使った動的な可視化・最適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価値ある情報に変え、アプリケーションに提供するネットワークの価値化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、高周波ミリ波、サブテラヘルツ波、光電融合といった小型・低消費電力でありながら大容量転送が可能な技術開発を進め、さらにはエンド・ツー・エンドで光処理を可能とするオールフォトニクスネットワークに向けた技術開発を進めていきます。また AI を使った動的な最適化、特にネットワーク全体の省電力化に取り組んでいきます。



※注:本ロードマップは現時点での弊社想定であり今後予告なく変更する場合があります

Figure 23 技術開発ロードマップ

5. まとめ

デジタル未来社会は、テクノロジーによってイノベーションが継続的に起こされ、わたしたちの持つ多様な価値が信頼でつながれ、誰もが夢に向かって前進している社会です。デジタル未来社会を支えるネットワークは、オープン&ディスアグリゲーション、インテリジェントネットワーク、グリーン技術といった最新の技術を用いて低消費電力・柔軟性・高信頼性を実現する必要があります。

富士通は、これらの技術開発に引き続き取り組み、世界中のお客様に提供することで、デジタル未来社会の実現に貢献して参ります。

Appendix. 市場規模について⁴

6G時代のICTインフラにおけるディスアグリゲータッドコンピューティング

6G時代のICTインフラを支えるコンピューティングリソースには、専用機器や汎用コンピュータに加えて、ディスアグリゲータッドコンピュータも利用されるようになります。そして、そのディスアグリゲータッドコンピュータの市場規模、そしてコンピューティングリソースの中でディスアグリゲータッドコンピュータが占める割合は年々増加し2035年には40%を超え、その市場規模は200億ドルに達すると見られています。

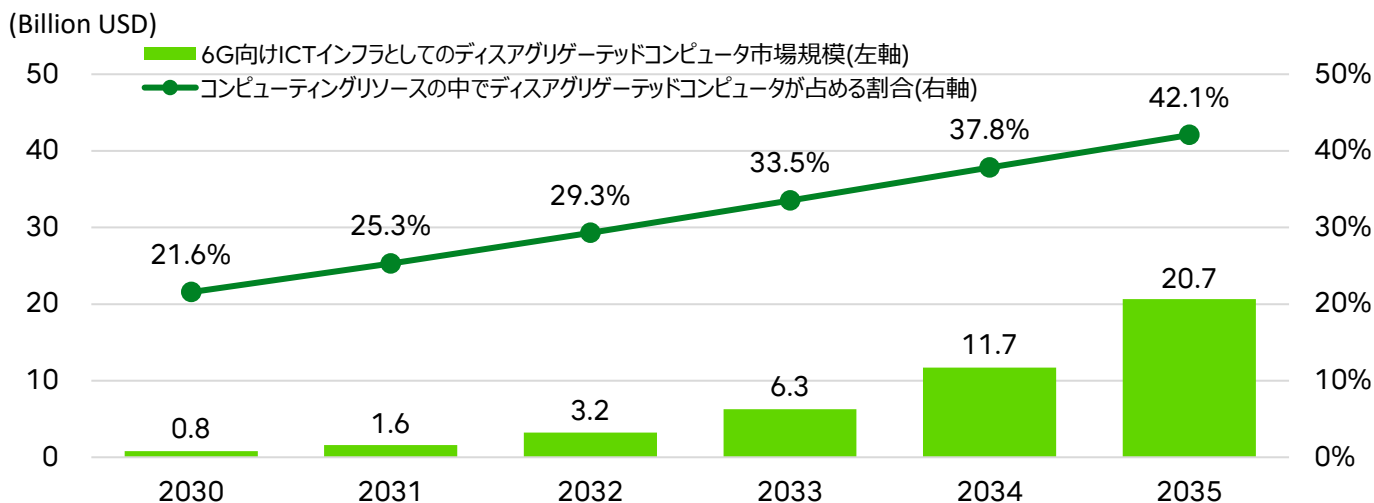


Figure A-1 2030年以降の6G向けディスアグリゲータッドコンピュータの市場規模

ディスアグリゲータッドコンピューティング関連市場規模

ディスアグリゲータッドコンピューティングは6G時代のICTインフラにおける基地局でのトラフィック処理等のネットワーク用途に限らず、クラウドコンピュータ上での大量データ保存や高度なデータ処理を行うためのICTインフラとしても活用が期待されています。また、ディスアグリゲータッドコンピューティングは5Gインフラを支えるコンピューティングリソースとしても利用されると見られています。

2030年前後にはバーチャル技術などを駆使したデジタル未来社会がわたしたちの生活に浸透すると、その実現に不可欠なエッジクラウドの活用が一層進むと見られます。これがドライバーとなり、ディスアグリゲ

⁴ 本章で引用される数値は、当社が2023年9月～11月の期間で実施した米国 Harbor Research Institute 社への委託調査“6G Market Sizing & Forecast”から抜粋したものである。

ーテッドコンピュータの市場は年率 27%で拡大し、2035 年には 1,000 億ドルを超える規模に成長すると見込まれます。中でも、端末側に近い場所に設置されるファアエッジクラウドの活用が期待され、その市場規模は全体の 3 割弱を占めると見られます。

(Billion USD)

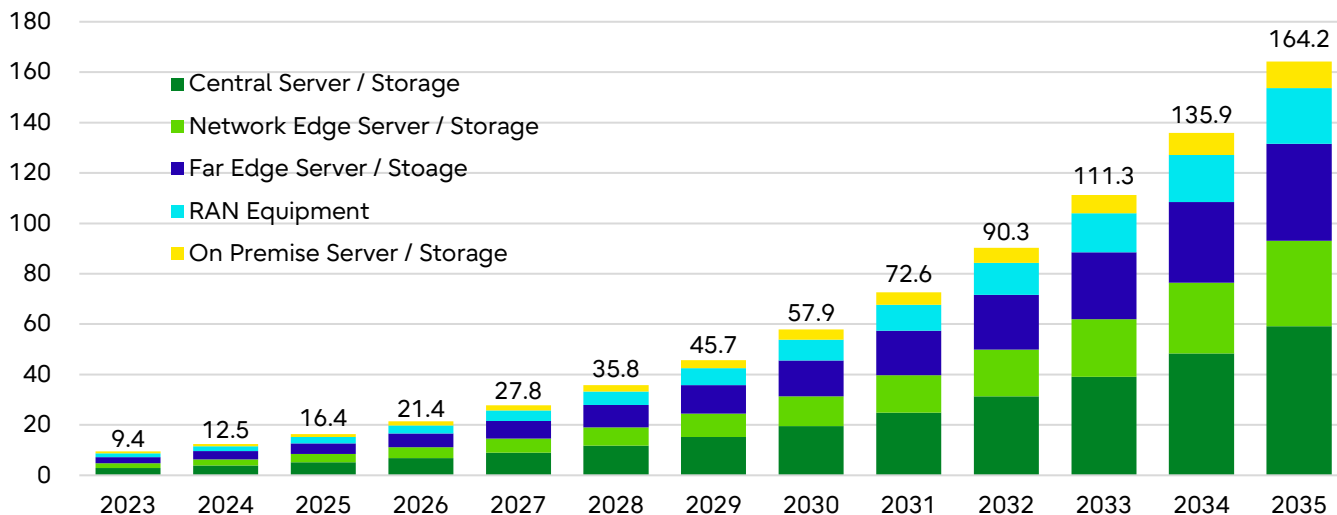


Figure A-2 デイスアグリゲートドコンピュータの市場規模

Table A-1 デイスアグリゲートドコンピュータの市場規模 (10 億米ドル) ⁵

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
センタークラウド用途	2.9	3.9	5.2	6.8	9.0	11.8	15.2	19.6	24.9	31.4	39.1	48.4	59.2
ニアエッジクラウド用途	1.9	2.5	3.3	4.3	5.6	7.2	9.3	11.8	14.8	18.5	22.9	28.0	34.0
ファアエッジクラウド用途	2.5	3.2	4.2	5.5	7.0	8.9	11.3	14.2	17.6	21.7	26.5	32.1	38.4
RAN用途	1.5	2.0	2.5	3.3	4.2	5.3	6.7	8.4	10.4	12.7	15.4	18.6	22.2
オンプレミス用途	0.7	0.9	1.2	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	4.9	6.0	7.3	8.8	10.5
総計	9.4	12.5	16.4	21.4	27.8	35.8	45.7	57.9	72.6	90.3	111.3	135.9	164.2

⁵ 各項目の説明は以下の通り

- センタークラウド用途：大規模データ処理及びストレージ、エンタープライズ及びコンシューマー向けアプリケーションサービス提供のために用いられるディスアグリゲートドコンピュータ
- ニアエッジクラウド用途：コンピューティング、ストレージ及びネットワークトラフィック機能を提供し、RAN とコア間の伝送、帯域幅及びレイテンシーを最適化するために用いられるディスアグリゲートドコンピュータ
- ファアエッジクラウド用途：小型かつ用途に合わせて構成されたエッジ ICT 機器及び初期的なデータ分析、変換、管理を行う IoT センシングプラットフォームとして用いられるディスアグリゲートドコンピュータ
- RAN 用途：端末とコアネットワーク間の橋渡しを行い、ポリシー及びトラフィック管理を行うディスアグリゲートドコンピュータ
- オンプレミス用途：エッジデバイス、ユーザ機器、その他のオンプレミス/エッジシステムに直接接続される初期的なデータ処理及びストレージとして用いられるディスアグリゲートドコンピュータ

Acronyms

AI	Artificial Intelligence
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CNF	Containerized Network Function
CPU	Central Processing Unit
CU	Central Unit
D2D	Device to Device
DU	Distributed Unit
EMS	Element Management System
FPGA	Field Programmable Gate Array
GaAs	Gallium Arsenide
GaN	Gallium Nitride
GPU	Graphical Processing Unit
HEMT	High Electron Mobility Transistor
IAB	Integrated Access Backhaul
ICT	Information and Communication Technology
InP	Indium Phosphide
IoT	Internet of Things
IT	Information Technology
LDMOS	Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor
MaaS	Mobility as a Service
NMS	Network Management System
NTN	Non-Terrestrial Network
PA	Power Amplifier
RAN	Radio Access Network
RIC	Radio Access Network Intelligent Controller
ROADM	Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer
RU	Radio Unit
SDN	Software Defined Networking
SiC	Silicon Carbide
SMO	Service Management and Orchestration
SNS	Social Networking Service
VNF	Virtual Network Function
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing

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を負いません。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...

<https://www.fujitsu.com/jp/about/research/technology/6g/>

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 © 2024 FUJITSU LIMITED. 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.