

「将来のネットワークインフラに関する研究会」 報告書 概要(案)

～ 未来社会を支えるペタビット級ネットワーク ～

平成29年6月30日
事務局

第1章 検討の背景

第2章 将来のネットワークインフラへの期待

- 2.1 ネットワークインフラの社会的な役割
- 2.2 ネットワークインフラの進化の方向性

第3章 2020年から2030年頃までのネットワークインフラに求められる機能

- 3.1 ミッションクリティカルな様々なサービスを支える社会基盤としての機能
- 3.2 多様化・高度化するユーザニーズへの対応
- 3.3 ネットワークインフラの安全・信頼性の確保
- 3.4 効率的なネットワークの実現
- 3.5 2030年までに求められる主な要求条件

第4章 将来にわたり安定的なネットワークインフラを実現・運用するための技術課題・推進方策等

- 4.1 ネットワークの高速化
 - ① 光伝送技術(コア)
 - ② 光伝送技術(アクセス)
- 4.2 ネットワーク制御の高度化
 - ③ ネットワークスライシング技術
 - ④ エッジコンピューティング技術
 - ⑤ データセントリック技術
 - ⑥ 自動オペレーション技術(AIによる保守・運用技術)
- 4.3 制度面の課題
- 4.4 ネットワーク技術の高度化と国際連携

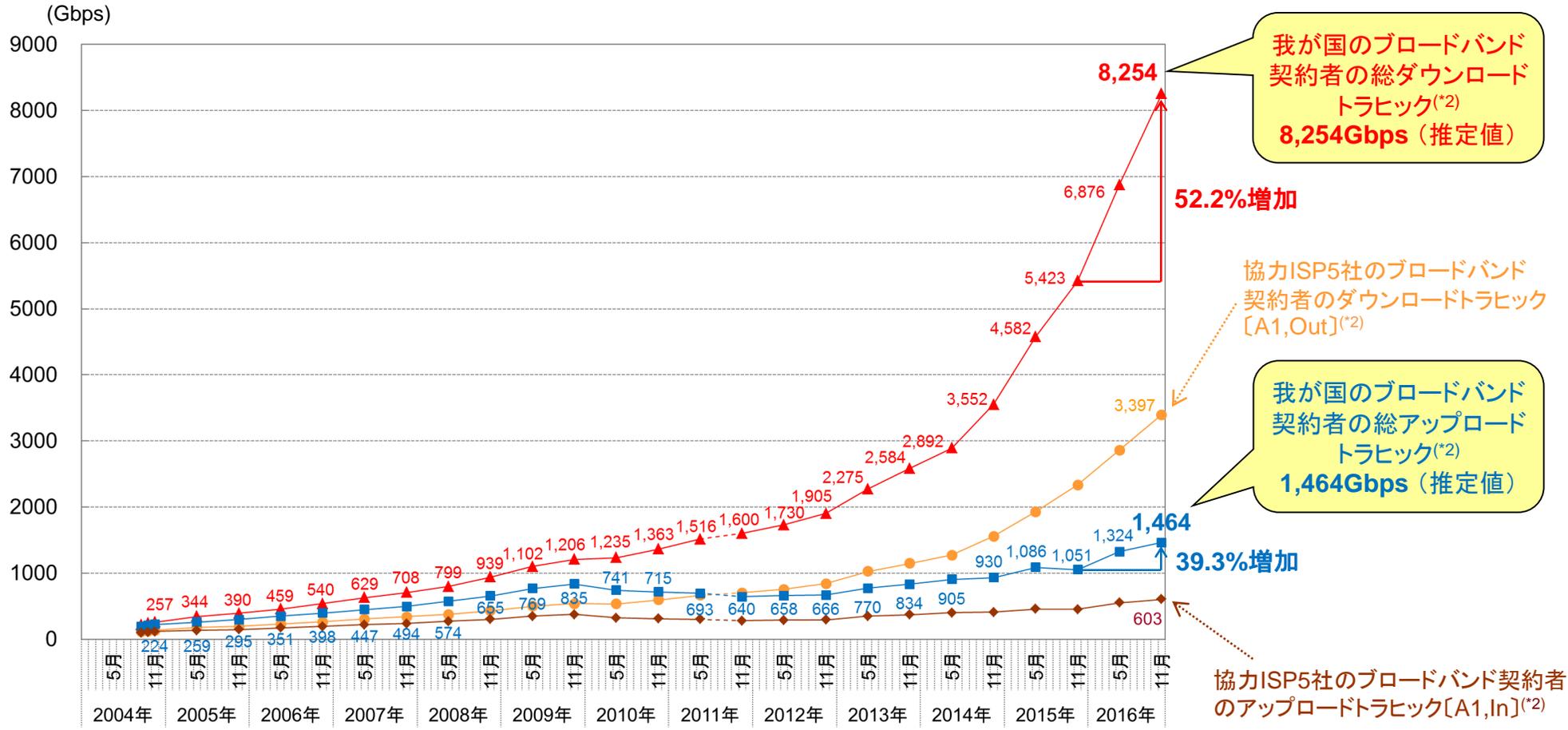
第5章 将来のネットワークインフラの発展イメージ

第6章 将来のネットワークインフラの実現に向けて

第1章 検討の背景

我が国のブロードバンド契約者の総トラフィック

- 我が国のブロードバンドサービス契約者^(*1)の総ダウンロードトラフィックは推定で約8.3Tbps (前年同月比52.2%増)。
- また、総アップロードトラフィックは推定で約1.5Tbps (前年同月比39.3%増)で過去最大の伸び率。

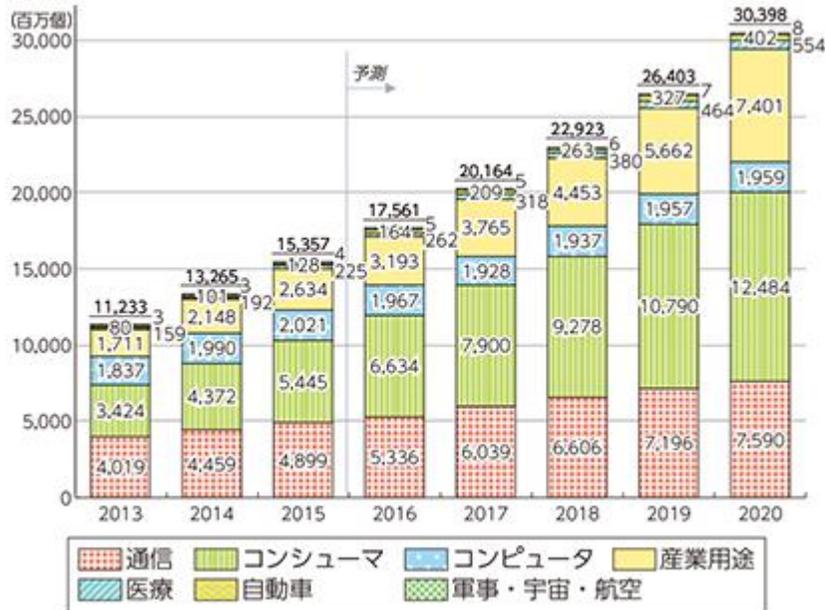


(*1) FTTH、DSL、CATV、FWA

(*2) 2011年5月以前は、一部の協力ISPとブロードバンドサービス契約者との間のトラフィックに携帯電話網との間の移动通信トラフィックの一部が含まれていたが、当該トラフィックを区別することが可能となったため、2011年11月より当該トラフィックを除く形でトラフィックの集計・試算を行うこととした。

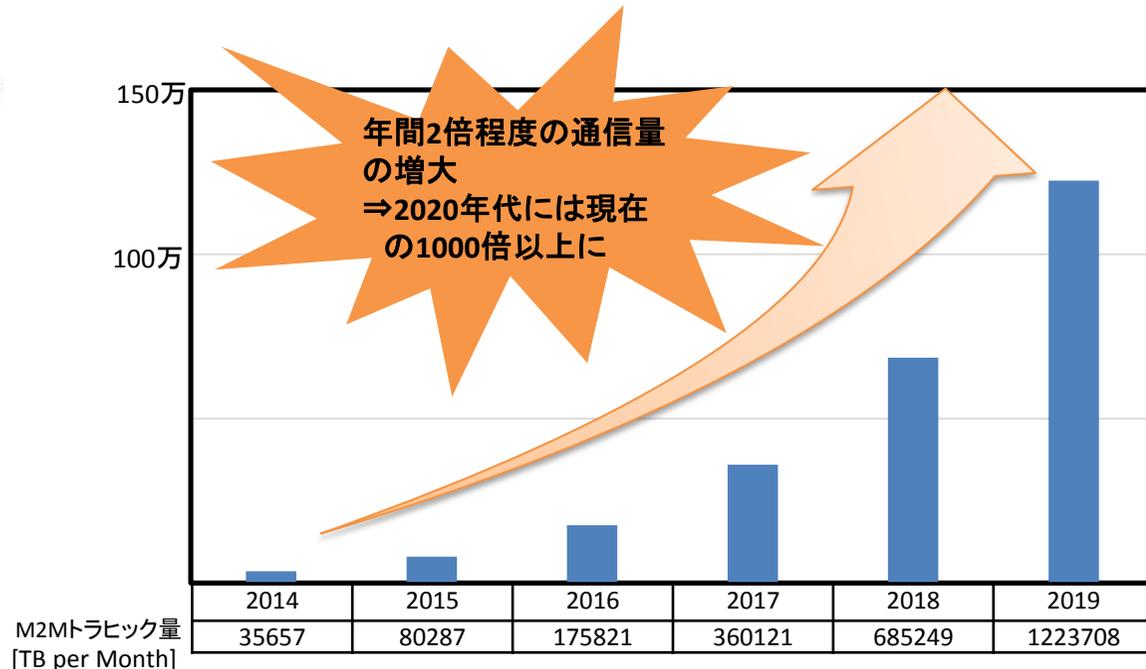
IoTの機器及び通信量の増大

- 本格的なIoT社会の到来により、膨大な機器がネットワークにつながることとなり、2015年に154億個だった世界のIoTデバイス数は、2020年には304億個にまで増大するものと予測されている。
- また、膨大な機器がネットワークに接続されることにより、通信量については年間2倍程度の割合で増大を続け、2020年代には現在の1000倍以上の通信量となることが見込まれている。



世界のIoTデバイス数の推移及び予測

出典：平成28年版情報通信白書

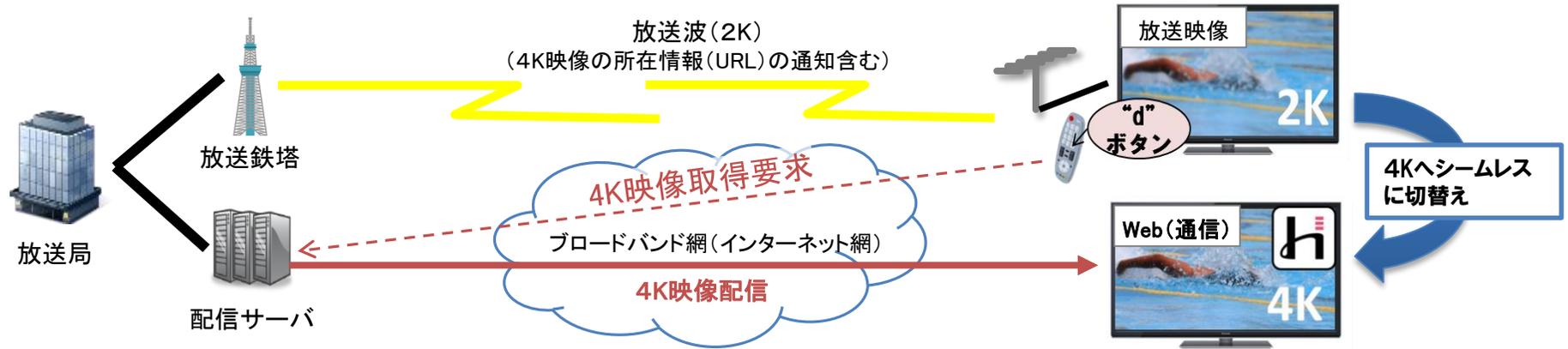


全世界のM2Mトラフィック量の予測※

※ Cisco Visual Networking Index (2015年2月)を元に作成

ブロードバンドを通じた4Kの同時配信

※ 情報通信審議会 情報通信政策部会「放送コンテンツの制作・流通の促進等に関する検討委員会」において検討。



第5世代移动通信システム

※ 情報通信審議会 情報通信技術分科会「新世代モバイル通信システム委員会」において検討。

<5Gの主要性能>	超高速	最高伝送速度 10Gbps (現行LTEの100倍)
	多数同時接続	100万台/km ² の接続機器数 (現行LTEの100倍)
	超低遅延	1ミリ秒程度の遅延 (現行LTEの1/10)

超高速
 現在の移动通信システムより100倍速いブロードバンドサービスを提供
 ⇒ 2時間の映画を3秒でダウンロード

超低遅延
 利用者が遅延(タイムラグ)を意識することなく、リアルタイムに遠隔地のロボット等を操作・制御
 ⇒ ロボット等の精緻な操作をリアルタイム通信で実現

多数同時接続
 スマホ、PCをはじめ、身の回りのあらゆる機器がネットに接続
 ⇒ 自宅部屋内の約100個の端末・センサーがネットに接続

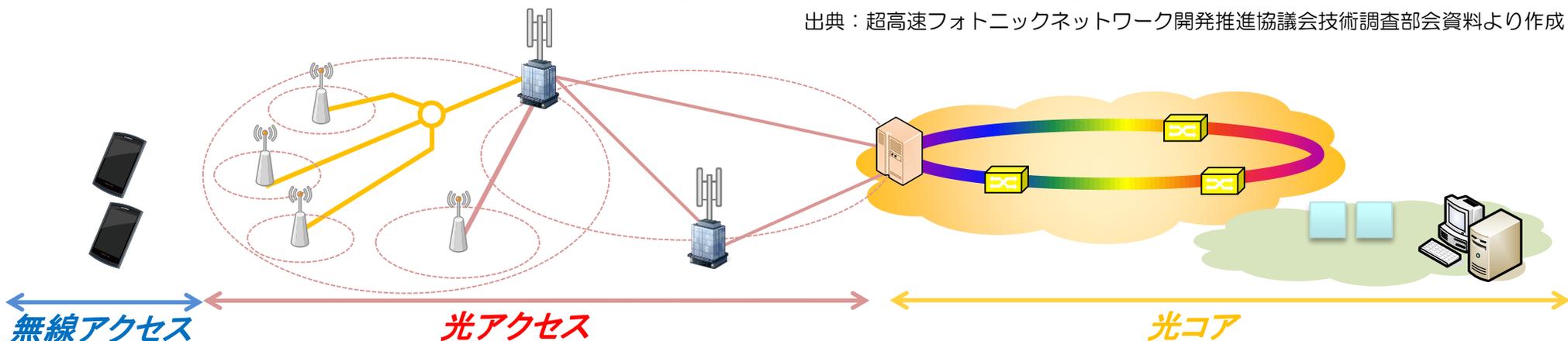
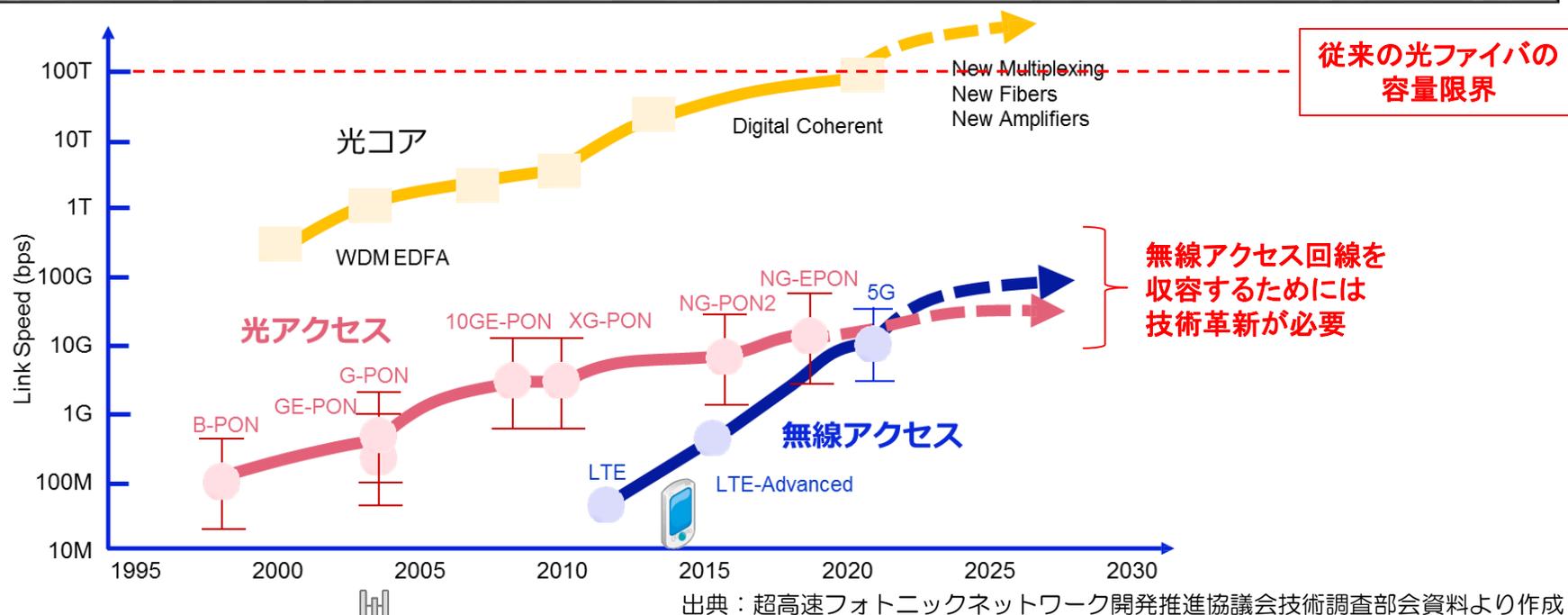
<スケジュール>

	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度
情報通信審議会	新世代モバイル通信システムの技術的条件検討				5G実現
ITU	無線インターフェースの提案募集				
3GPP*	要求条件等のレポート作成	3GPP Rel 14 (5Gの調査検討)	3GPP Rel 15 (5Gの基本仕様)	3GPP Rel 16 (5Gの全体仕様)	

※3GPP(3rd Generation Partnership Project)とは、3G、4G等の仕様を検討・標準化することを目的に、1998年に設立された日米欧中韓の標準化団体からなるプロジェクト

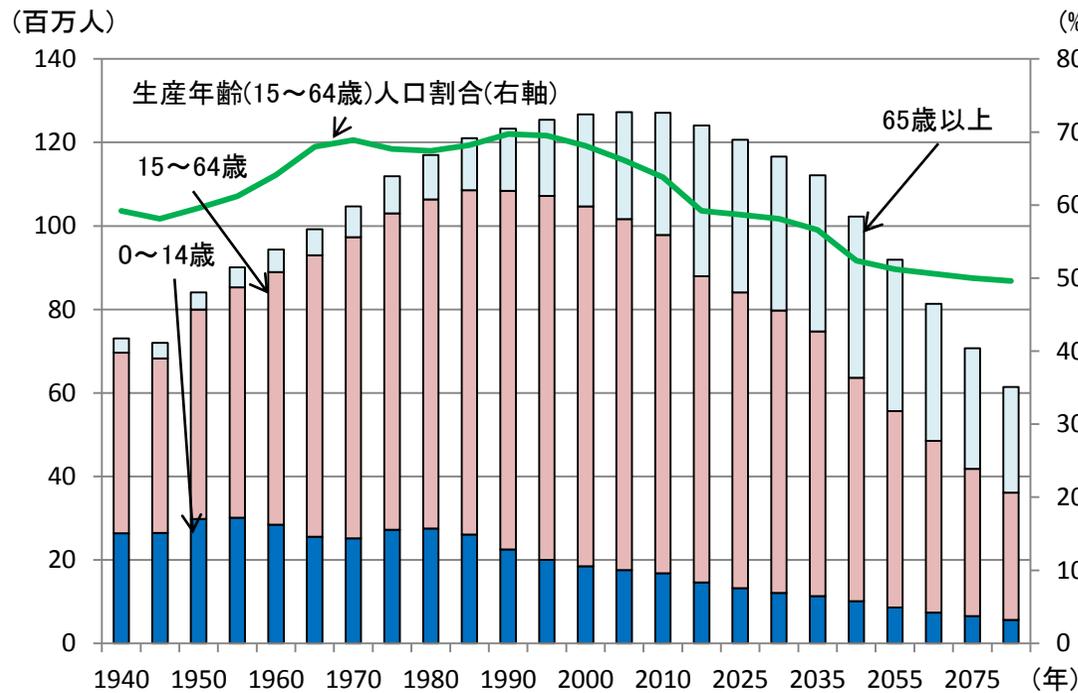
無線アクセス技術の進展

- 近年は、無線アクセス技術の進展が著しいため、2020年以降には無線アクセス回線を低コストで効率良く収容する光アクセス回線の実現が困難になる可能性が指摘されている。
- あわせて、光コア回線についても、所要スペックが従来の光ファイバの容量限界に近づいてきている。



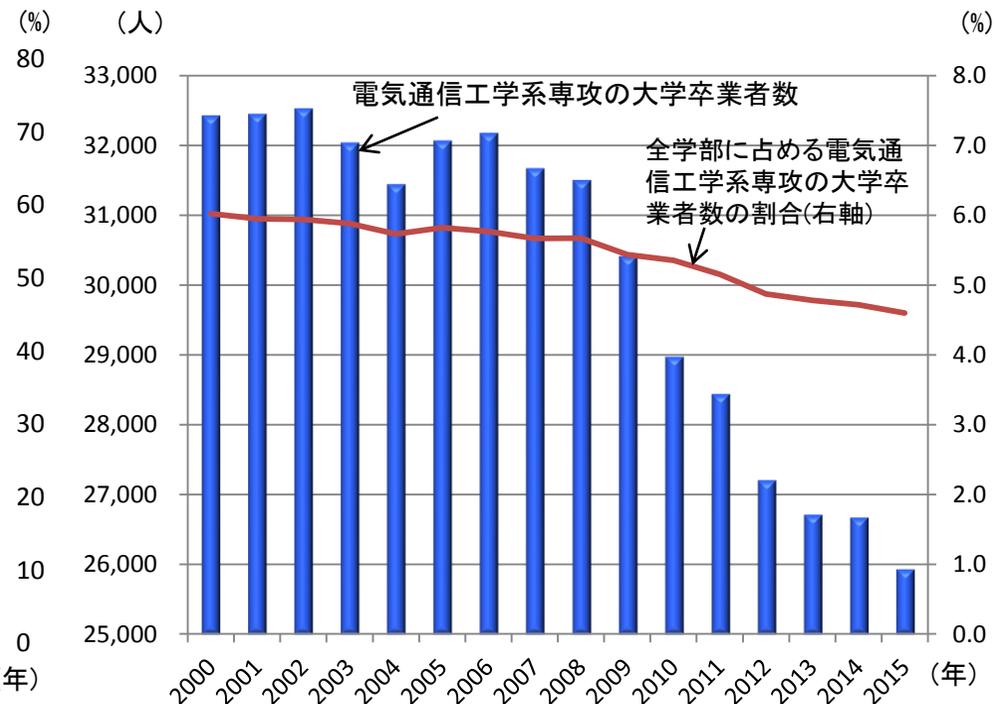
- 我が国においては、生産年齢(15~64歳)人口が減少傾向で推移していくことが見込まれている。
- 中でも、ネットワークインフラの保守・運用に携わる人材を供給する電気通信工学系専攻の大学卒業生数が、近年減少傾向で推移している。
- これらのデータから、将来的には、ネットワークインフラを保守・運用する人材の確保が困難になっていくことが予想される。

＜日本の人口の推移と将来人口＞



出典：総務省統計局「日本の統計2016」

＜電気通信工学系専攻の大学卒業生数の推移＞



出典：文部科学省「学校基本調査」

第2章 将来のネットワークインフラへの期待

2.1 ネットワークインフラの社会的な役割

2.2 ネットワークインフラの進化の方向性

- 業界を越えたコラボレーションによって新たなビジネスモデルやエコシステムを創出していくというトレンドが顕著になり、多様化・高度化が見込まれるユーザーニーズへの対応を効率的に実現。
- ネットワークインフラは、「情報の流通網」から、ベストエフォートサービスも含め、Connected Car、高精細映像配信等のミッションクリティカルな様々なサービスをセキュアに提供する「社会システムの神経網」へと進展。

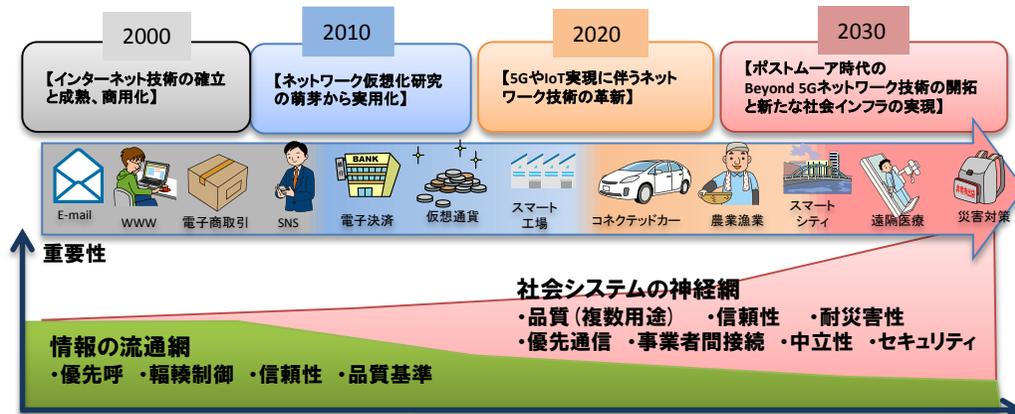
新たなビジネスモデルやエコシステムのイメージ



ミッションクリティカルな様々なサービスを支える社会基盤への進展イメージ

● 少数事業者が維持する「情報の流通網」

● 多様な用途に対応し多様な事業者が維持する「社会システムの神経網」



2.2 ネットワークインフラの進化の方向性

- 将来のネットワークインフラは、ハードウェアの領域で解決を図る「ネットワークの高速化」と、ソフトウェアの領域やネットワーク構造の変化によって解決を図る「ネットワーク制御の高度化」により進展。
- ネットワークインフラは、**従来のレイヤごとに独立して最適化されたアーキテクチャ**から、**ユーザやサービスを中心としてダイナミックに変化するアーキテクチャへと変革**。
- クラウドを始めとするIT (Information Technology) で用いられていた技術が、CT (Communication Technology) でも用いられ、ネットワークリソースの管理の一部を電気通信事業者以外のサービス提供事業者が担うような形態も出現し、プレーヤーの多様化・複雑化が進む。
- ネットワークインフラの機能のうちソフトウェアが担う機能の割合が大きくなっていくが、通信速度の高速化、安全・信頼性の向上等のハードウェアが担う機能の重要性に変化はない。

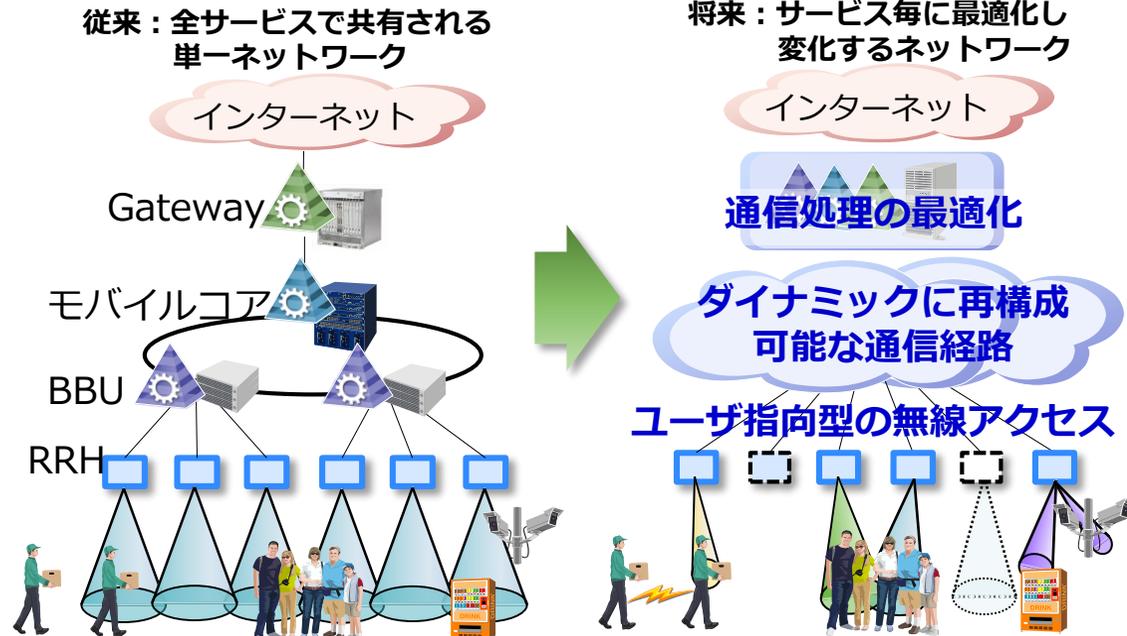
ハードとソフトの二分化



→「ネットワーク制御の高度化」を実現



ユーザ・サービス中心のアーキテクチャのイメージ



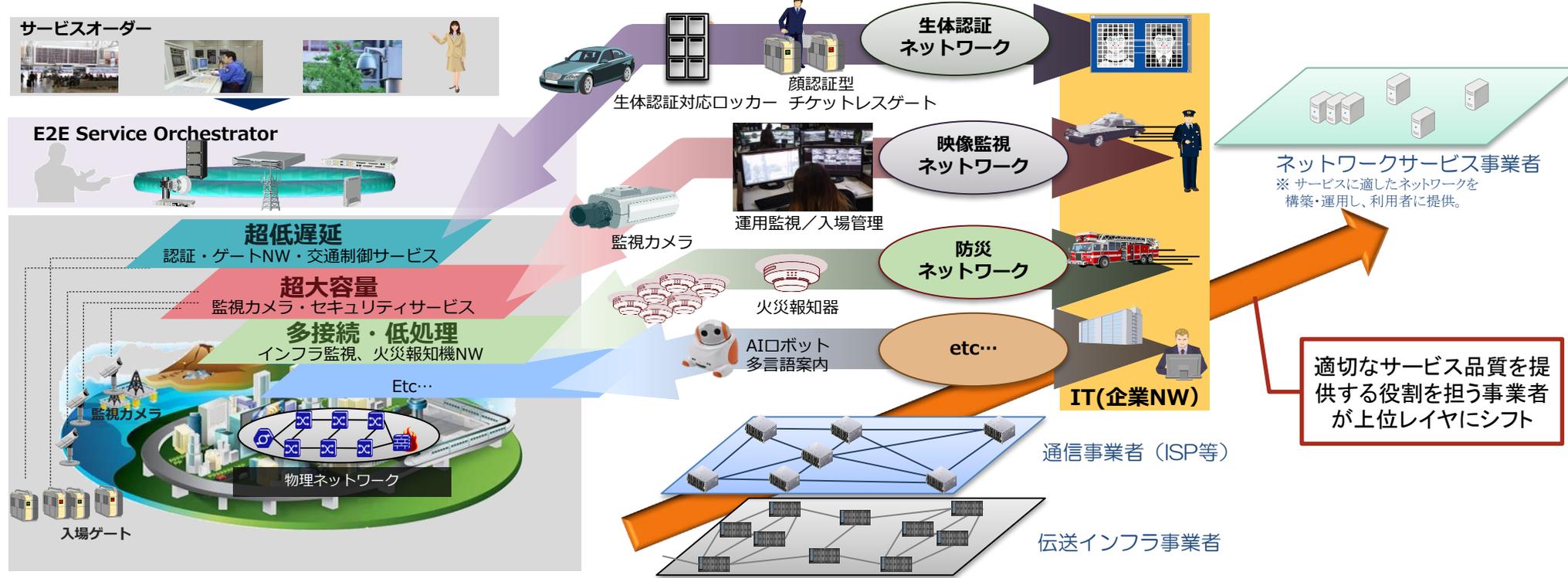
第3章 2020年から2030年頃までのネットワークインフラに求められる機能

- 3.1 ミッションクリティカルな様々なサービスを支える社会基盤としての機能
- 3.2 多様化・高度化するユーザニーズへの対応
- 3.3 ネットワークインフラの安全・信頼性の確保
- 3.4 効率的なネットワークの実現

3.1 ミッションクリティカルな様々なサービスを支える社会基盤としての機能

- ネットワークインフラは、ミッションクリティカルな様々なサービスを支える社会基盤として、品質の多様化、耐災害性、中立性、セキュリティ等に対応するための機能を具備する必要がある。特にIoT時代に向けて、ネットワークインフラに膨大かつ多様な端末が接続されるようになること等を見据え、ネットワークインフラ及び端末のセキュリティ確保が重要。
- ネットワークインフラの提供に関わる事業者がレイヤごとに異なり、各事業者がネットワークリソースを相互に共有しながらサービスを実現することが可能となる。
- ネットワークリソースの共有が進み、様々なサービス提供事業者が多種多様なサービスを提供することができる共通プラットフォームの果たす役割が大きくなる。

各事業者によるネットワークリソースの相互共有イメージ



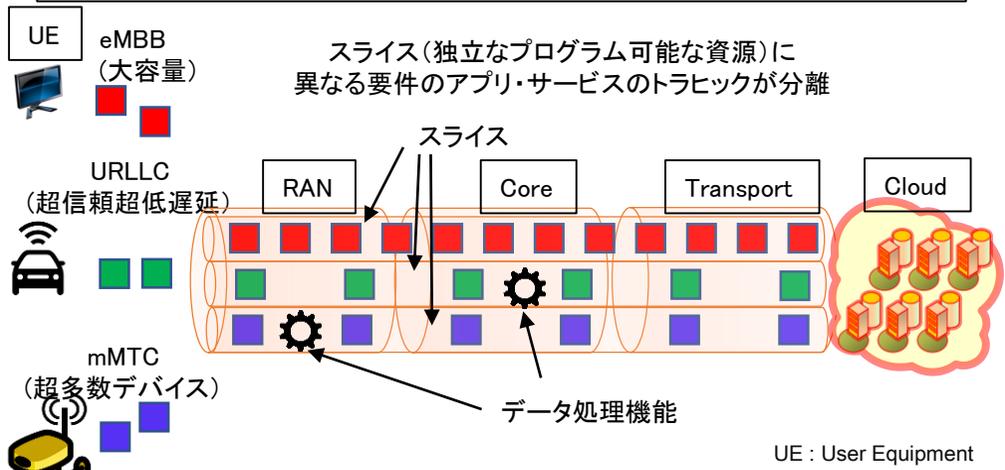
適切なサービス品質を提供する役割を担う事業者が上位レイヤにシフト

3.2 多様化・高度化するユーザニーズへの対応

- 多様化・高度化が進むユーザニーズへ対応するため、仮想化されたネットワークリソースを切り出して提供する「ネットワークスライシング技術」や、端末の近くに設置したサーバを活用しリアルタイム処理・処理量削減等を実現する「エッジコンピューティング技術」等により、「ネットワーク制御の高度化」を推進することが必要。
- 従来のオーダメイド指向のクローズモデルと、ニーズが高まっている導入容易性を重視するオープンモデルのそれぞれの特長を併せ持つプラットフォームの実現が期待。この際、サービス提供事業者等にとって使いやすい環境と同時にプラットフォームの安全・信頼性が確保されることが求められる。
- 超高速・低遅延・多数接続等を始めとする要求条件の高度化にとどまらず、例えば、ビッグデータ収集の際に非リアルタイム系の大容量データを低廉なコストで送ったり、必要なデータのみを収集したりするような新しいユースケースにも対応し、ネットワークインフラ全体を社会基盤として効率的に活用。

ネットワークスライシング技術

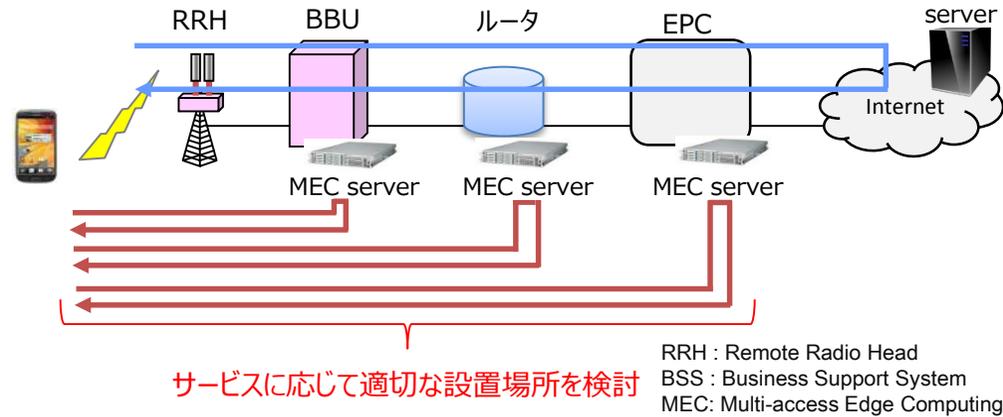
【ネットワークスライシング】
ネットワーク機能やサービスを実現するための、プログラム可能なコンピュータ・ストレージ・ネットワーク資源の独立な集合体。



出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」(第3回)中尾構成員提出資料より作成

エッジコンピューティング技術

端末の近く(エッジ)に設置したサーバを活用しリアルタイム処理・処理量削減等の高度な機能を実現。

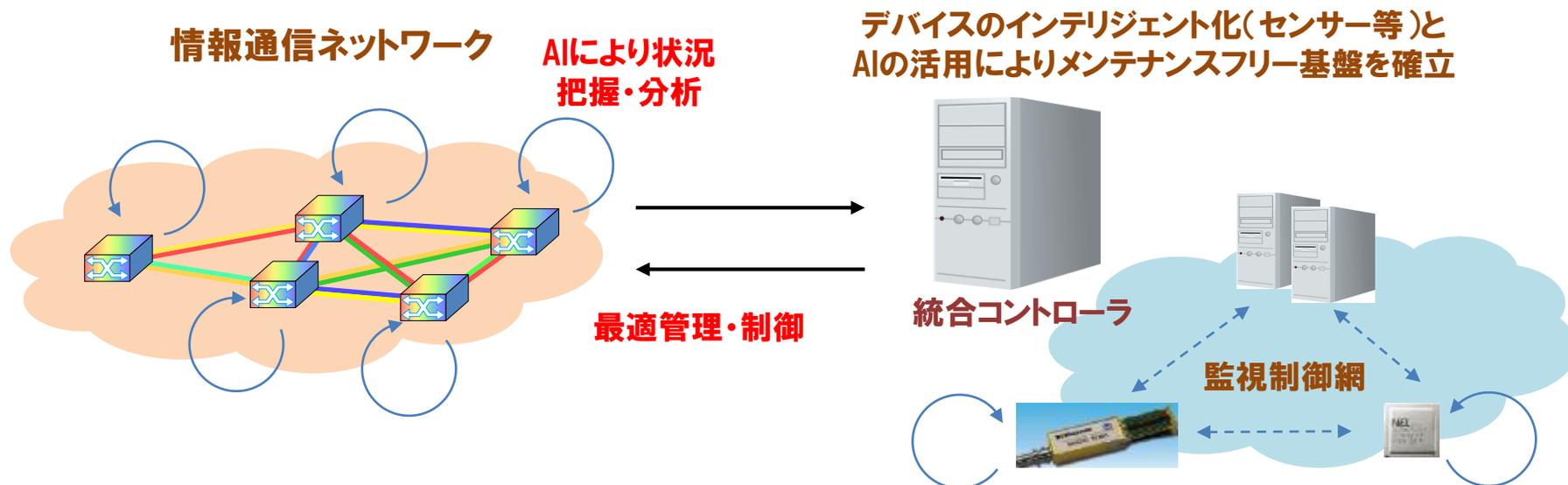


RRH : Remote Radio Head
BSS : Business Support System
MEC : Multi-access Edge Computing

QoE改善効果 コアラトリック低減効果 処理負荷の分散効果	キャッシュ効率 モビリティ制御簡易度 コスト効率
-------------------------------------	--------------------------------

- ネットワーク機能のソフトウェア化が進展するとともに、ネットワークインフラやサービスの提供に関わる事業者が多様化・複雑化していく中で、端末も含めてネットワークインフラ全体として安全・信頼性を確保していくことが必要。
- 今後、サービス提供事業者等により、多種多様なサービスが柔軟かつ効率的に提供されることが可能となった場合においても、ネットワークインフラの安全・信頼性には影響を与えないことが前提。
- 将来的なネットワークインフラの保守・運用人材の不足に対応するため、「自動オペレーション技術(AIによる保守・運用技術)」による**状況把握・分析、自動制御**など、少人数で**高度に安定的な**ネットワーク運用を実現。
- また、IoT時代に向けて多種多様なIoT機器がネットワークインフラに接続されるようになるが、これらの機器の中にはセキュリティ面の脆弱性を有するものが存在すると考えられるため、ネットワークインフラと端末において**セキュリティを確保するための対策を講じる**ことが必要。

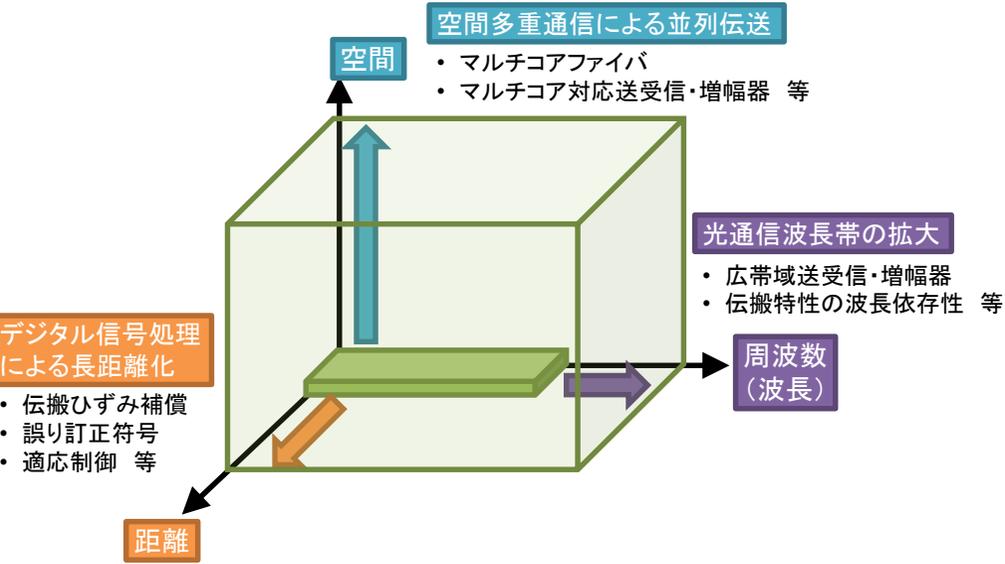
自動オペレーション技術(AIによる保守・運用技術)



3.4 効率的なネットワークの実現

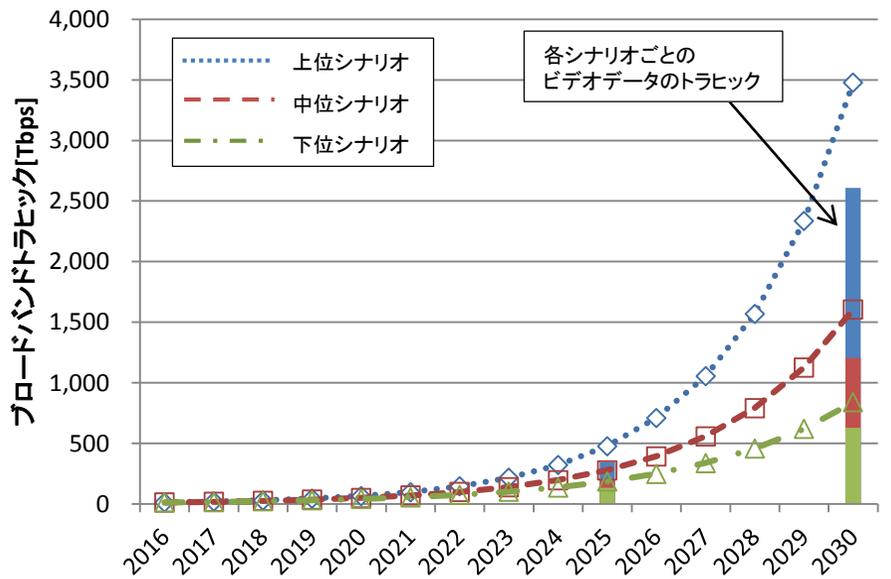
- 光伝送技術の高度化によって、消費電力を抑制しつつネットワーク資源の更なる拡大を図ることが必要。
- NFV (Network Functions Virtualization) の適用によって、ハードウェアの共用や汎用ハードウェアの活用を実現。
- 映像系サービスに対するトラフィック占有率が高まってくることに対応するため、ICN (Information-Centric Networking) / CCN (Content-Centric Networking) 等のコンテンツ流通に適した技術の導入やエッジコンピューティング技術との連携によって、データセントリックネットワークを実現。

ネットワーク資源の拡大



出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」(第4回)和田構成員提出資料より作成

ブロードバンドトラフィックの推計



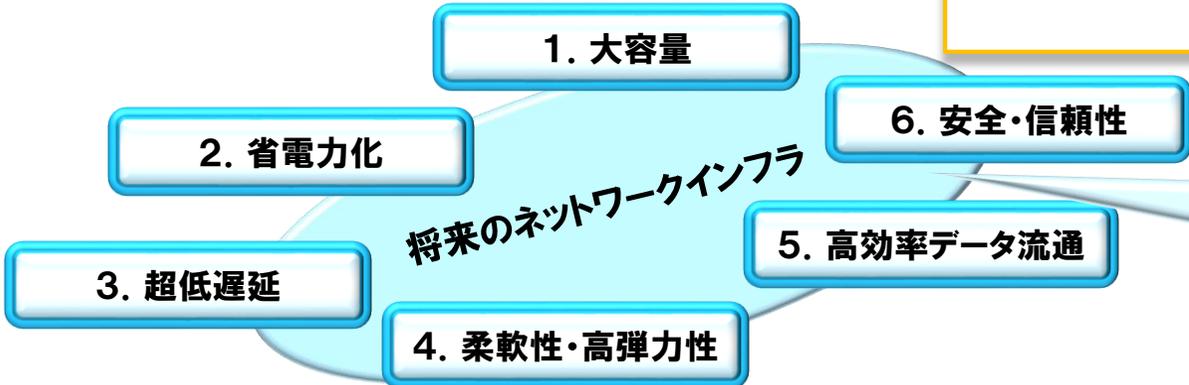
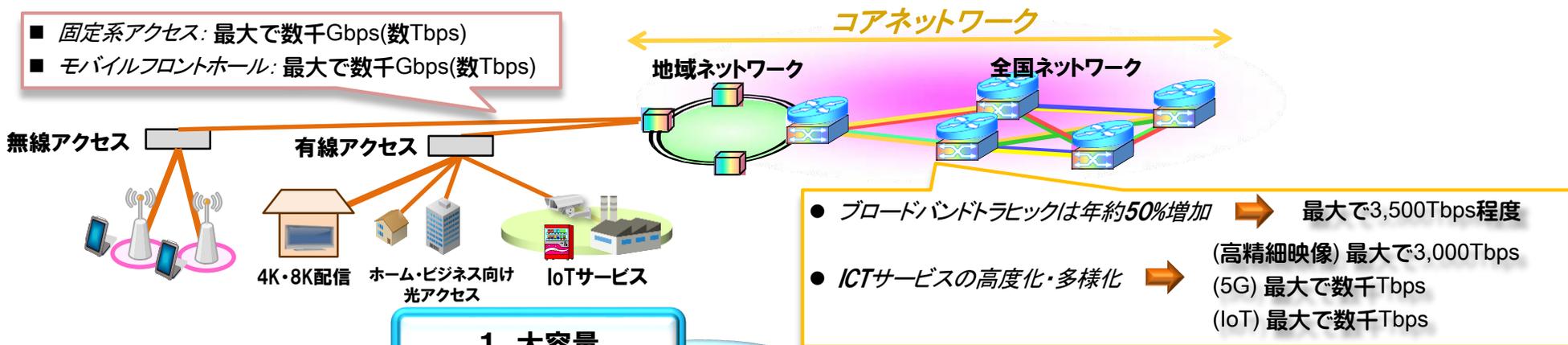
(出典)「将来のネットワークインフラに関する研究会」(第2回)中村構成員(株)三菱総合研究所提出資料

<2030年までに有線ネットワークに求められる主要要求条件>

1. 大容量
2. 省電力化
3. 超低遅延
4. 柔軟性・高弾力性
5. 高効率データ流通
6. 安全・信頼性

光ファイバ1本当当たりの伝送速度 100Tbps超(光ファイバの容量限界を突破)
 現在の10分の1以下(1ビット伝送当たり)
 数ミリ秒程度(サービスに応じた適切なネットワークリソース配置等が前提)
 サービスに合ったネットワークを迅速に提供
 ネットワークを全体で効率的に活用
 利用者にとって安心・安全な通信環境を実現

- 固定系アクセス: 最大で数千Gbps(数Tbps)
- モバイルフロントホール: 最大で数千Gbps(数Tbps)



- 最大で数十Pbps(数万Tbps)と想定されるトラフィックを安定的に収容。
- あらゆるサービスに対し、柔軟にネットワーク機能を提供。

第4章 将来にわたり安定的なネットワークインフラを実現・運用するための技術課題・推進方策等

4.1 ネットワークの高速化

- ① 光伝送技術(コア)
- ② 光伝送技術(アクセス)

4.2 ネットワーク制御の高度化

- ③ ネットワークスライシング技術
- ④ エッジコンピューティング技術
- ⑤ データセントリック技術
- ⑥ 自動オペレーション技術(AIによる保守・運用技術)

4.3 制度面の課題

4.4 ネットワーク技術の高度化と国際連携

1. 大容量

光ファイバ1本当たりの伝送速度
100Tbps超

①光伝送技術(コア)

- 光ファイバのマルチコア化等によって、光ファイバの容量限界である「100Tbps」を超える大容量伝送を実現。



2. 省電力化

現在の10分の1以下 (1ビット伝送当たり)

②光伝送技術(アクセス)

- 超高速・超低遅延等の機能を実現する無線アクセス技術を実現。また、将来に向けて光と無線のシームレスな連携を実現。

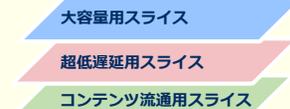


3. 超低遅延

数ミリ秒程度 (サービスに応じた適切なネットワークリソース配置等が前提)

③ネットワークスライシング技術

- ソフトウェア化されたネットワークリソースを「スライス」として切り出して提供することにより、様々なサービスの要求に迅速かつ柔軟に対応。



4. 柔軟性・高弾力性

サービスに合ったネットワークを
迅速に提供

④エッジコンピューティング技術

- 端末の近く(エッジ)に設置したサーバを活用し、リアルタイム処理・トラヒック低減等を実現。



5. 高効率データ流通

ネットワークを全体で効率的に活用

⑤データセントリック技術

- コンテンツ流通に最適化したルーティング技術等によってネットワークの負荷を低減し、大容量コンテンツを効率的に配信。



6. 安全・信頼性

利用者にとって安心・安全な通信環境を
実現

⑥自動オペレーション技術 (AIによる保守・運用技術)

- AIによる状況把握・分析等により、セキュリティを確保しつつ、少人数で高度に安定的なネットワーク保守・運用を実現。



ネットワークの高速化

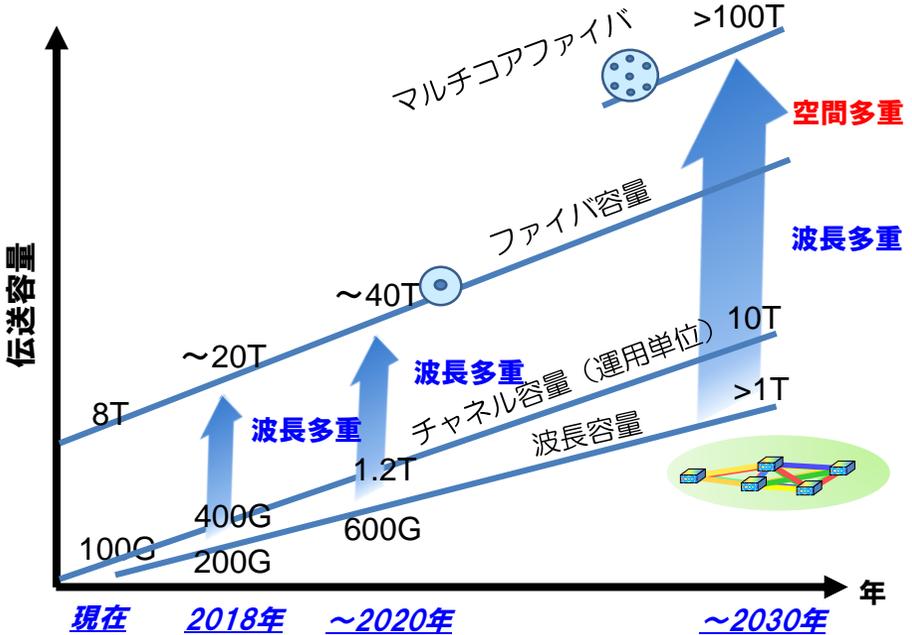
ネットワーク制御の高度化

4.1 ネットワークの高速化 ① 光伝送技術(コア)

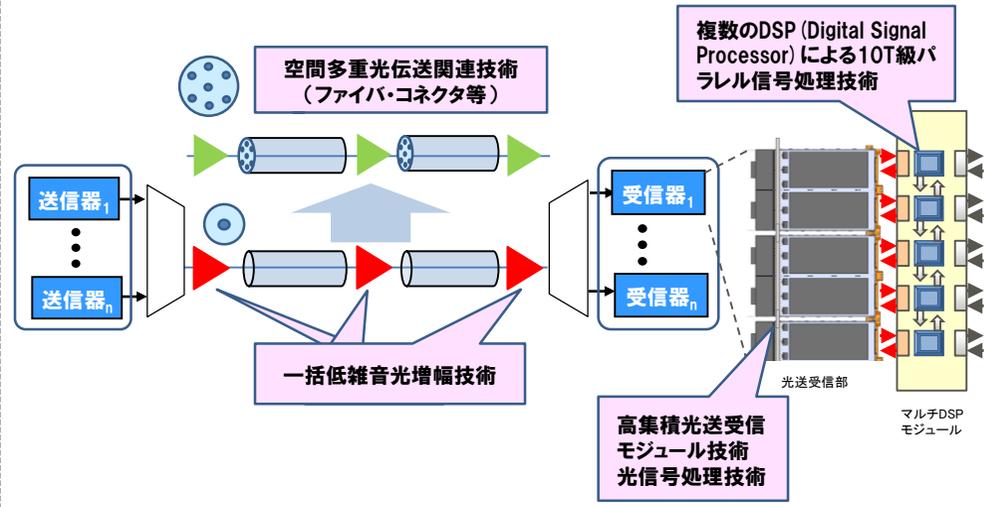
● 2030年頃までには、コアネットワークに求められる伝送容量が100Tbpsを超え、従来の光ファイバの容量限界に到達。

- 空間多重を活用した超並列多重化の実現に必要な技術(空間多重光伝送関連技術、高集積光送受信モジュール技術、光信号処理技術等)を産学官連携の取組によって確立し、テストベッド検証等を含む実用化開発を経て、コアネットワークへ適用。
- 情報量が爆発的に増大する中で、ネットワーク設備の増強や設置場所の確保を実現する観点から、消費電力の抜本的な抑制や装置の小型化を実現。
- 同時に、光伝送関連装置のオープン化、マルチベンダ化が進展することが想定される中、接続性を確保するとともに、性能劣化、運用の複雑化等を回避するための技術的な対応が必要。

コアネットワークに求められる伝送容量



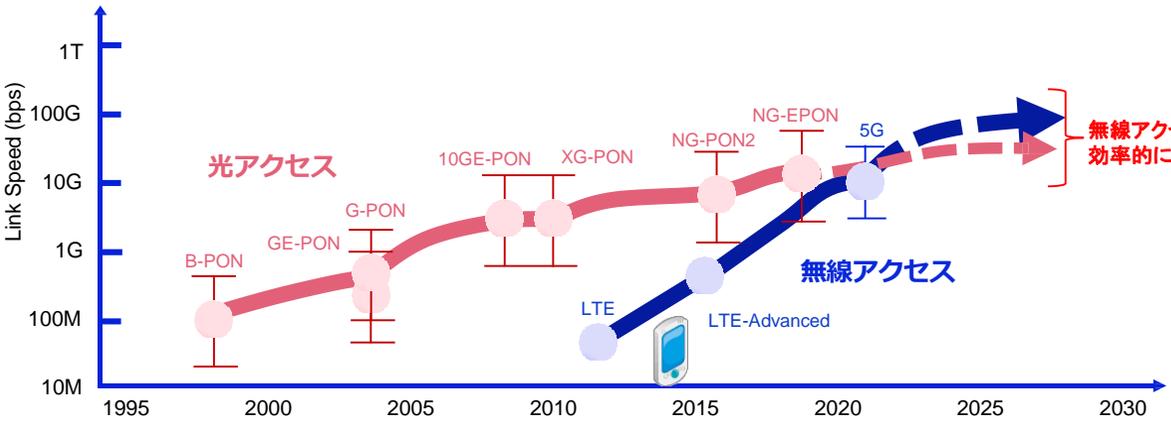
超並列多重化の実現に必要な技術の例



4.1 ネットワークの高速化 ② 光伝送技術(アクセス)

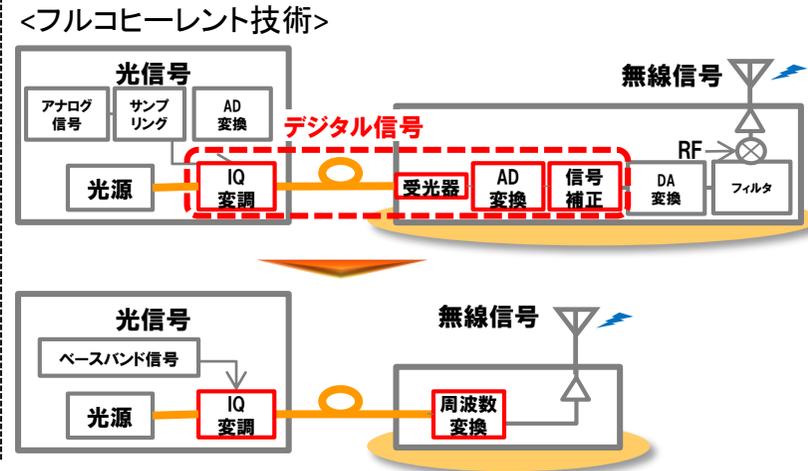
- 2025年頃までには、無線アクセス技術の急速な進展に伴い、無線アクセス回線を低コストで効率良く収容する光アクセス回線を実現していくことが必要。
 - ☞ 低シンボルレートの低廉なデバイスで光アクセス回線の高速化を実現することを目的に、多値変調等の光コアネットワークで活用されている技術を光アクセスの環境に応じてフレキシブルに適用するための技術開発を推進。
- 2030年頃までには、無線アクセス技術の更なる進展によって、デジタル信号処理に要する光信号帯域が不足。
 - ☞ デジタル信号処理を介さないフルコヒーレント技術等のシームレスな光・無線変換技術を確認し、ソフトウェア化されたネットワークとの連携によって、ネットワーク資源を弾力的に活用可能な環境を整備。

無線アクセス技術の進展



出典：超高速フォトニックネットワーク開発推進協議会技術調査部会資料より作成

シームレスな光・無線変換技術の例



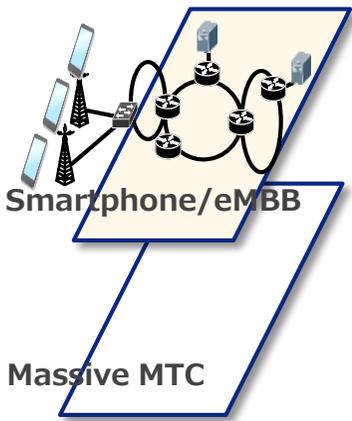
4.2 ネットワーク制御の高度化 ③ ネットワークスライシング技術

● 多様化・高度化が進むユーザーニーズに対応するため、電気通信事業者以外のサービス提供事業者によるネットワークリソースの活用への自由度の拡大に対する要求が増大。

- ☞ 2025年頃には、電気通信事業者が予め定めた種類のネットワークスライスをサービス提供事業者が選択可能な形態を実現。サービスの進展を踏まえて、社会的ニーズの高いネットワークスライスを優先的に実現。
- ☞ 2030年頃には、サービスの要求に応じてダイナミックに変化するEnd to Endでのスライスネットワークを実現。
- ☞ ネットワークがマルチベンダ構成となり、各種設備の膨大かつ多種多様な性能情報からEnd to Endでネットワーク品質を瞬時に把握することが困難化。特定の情報から品質状態や劣化箇所を把握する技術開発が必要。
- ☞ さらに、ネットワークインフラ全体を安定的に運用するという観点が重要であり、ネットワークリソース全体の管理・運用の手法を確立するとともに、責任主体を明確にしていくことが必要。
- ☞ 特に、複数の事業者がネットワークリソース制御の自由度を持つ場合には、全体管理を行う機能が不可欠。
(例) サービス提供事業者間の公平なリソース配分、災害など緊急時のリソース配分、リソース制御の競合時におけるリソース配分 等

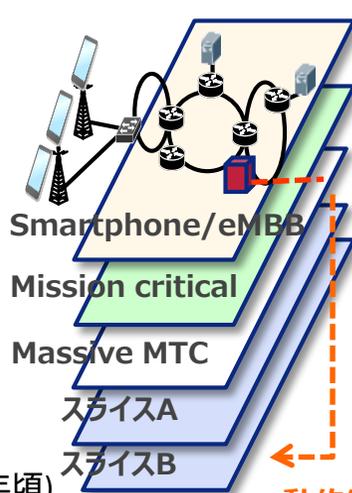
ネットワークスライシング技術の進展イメージ

コアネットワーク・バックボーンネットワークのスライス



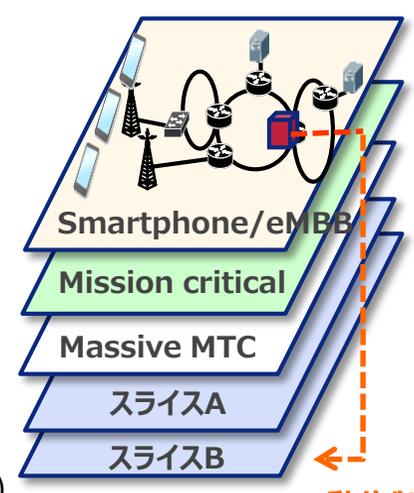
(2020年頃まで)

サービスの要求に応じたスライス



(2025年頃)

ダイナミックなEnd to Endのスライス



(2030年頃)

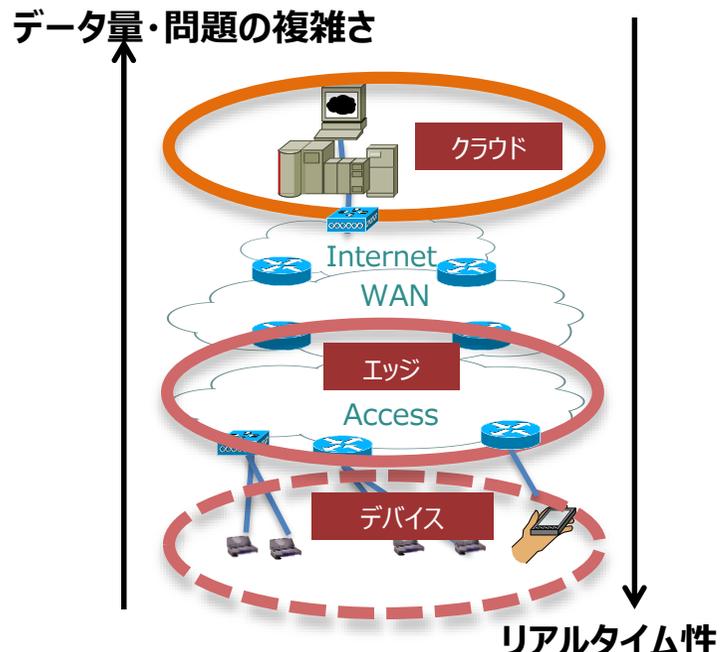
動的制御

動的制御

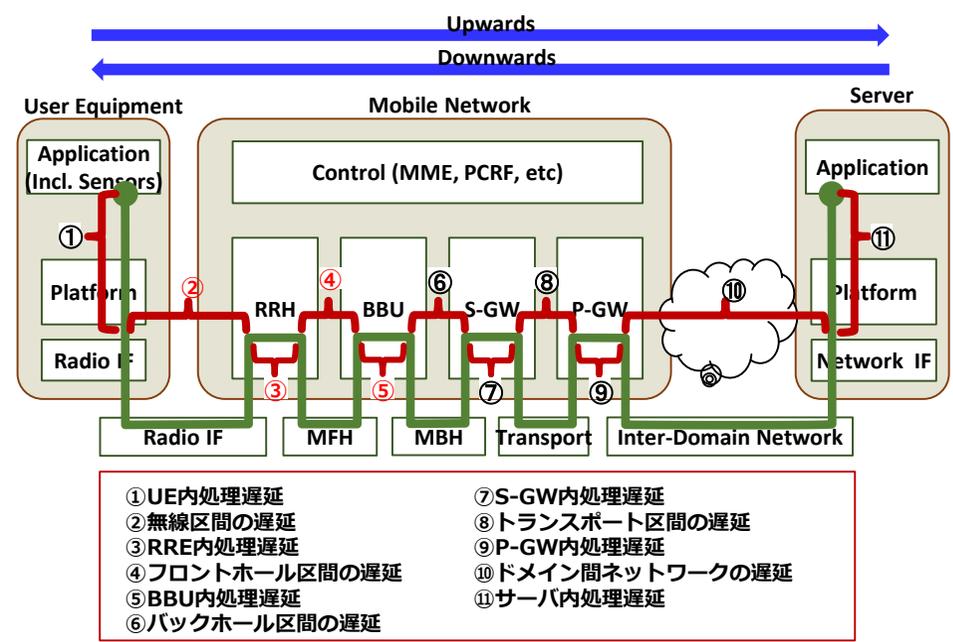
4.2 ネットワーク制御の高度化 ④ エッジコンピューティング技術

- **自動走行、遠隔制御等の超リアルタイムサービスの実現に向けて、ネットワークのEnd to Endで数msec程度の低遅延化に対する要求が拡大。**
 - ☞ 超リアルタイムサービスや大量のデータを扱うIoTサービス等の実現のためには、ネットワークインフラの超低遅延化や、**プライバシー情報の除去、上りトラヒックの一次管理等**の効率的なデータ処理を可能とするエッジコンピューティング技術の導入が鍵。
 - ☞ 2020年頃には、分散データ処理、低遅延応答等の基本的なエッジコンピューティング機能を限定地域において実現。
 - ☞ 2025年頃には、クラウド・エッジ・デバイスにおける機能分担の最適化や、ネットワークの物理的な区間ごとの遅延配分モデル等について整理し、**エッジコンピューティング技術を導入したネットワーク**を効率的に実現。
 - ☞ ネットワーク上におけるエッジ機能の適切な配置場所はサービスの要求条件によって異なるため、**類型プロファイルの整理や標準化等の検討を進め、関係事業者間の連携・協調に資することが必要。**

クラウド・エッジ・デバイスでの機能分担の最適化



ネットワークの遅延区間の分解概念図の例



4.2 ネットワーク制御の高度化 ⑤ データセントリック技術

● 2030年以降には、高精細映像の配信を始め、映像系サービスに対するトラフィック占有率の大幅な増加が見込まれており、コアネットワークへの負荷が過大にならないよう効率的に収容していくことが必要。

- ☞ コンテンツ流通に最適化された「データセントリックネットワーク」の実現に向けて、ICN/CCN等のデータセントリック技術の開発を推進。なお、IPに基づかないデータセントリック技術の導入に当たっては、IP技術とのハイブリッド方式やネットワークスライシング技術との併用等が有効。
- ☞ エッジサーバの柔軟な運用など、エッジコンピューティング技術との連携によってトラフィックの地域分散処理と通信の高品質化を実現。

データセントリックネットワークのイメージ

【IP技術】

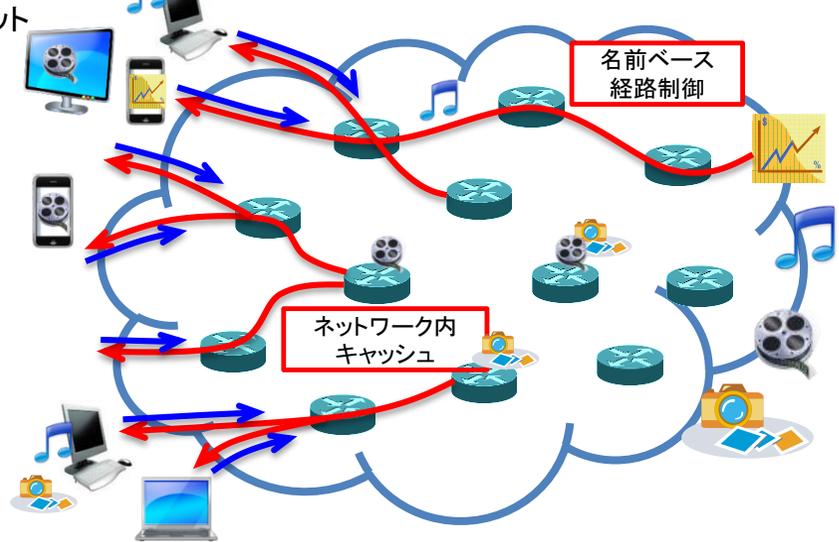
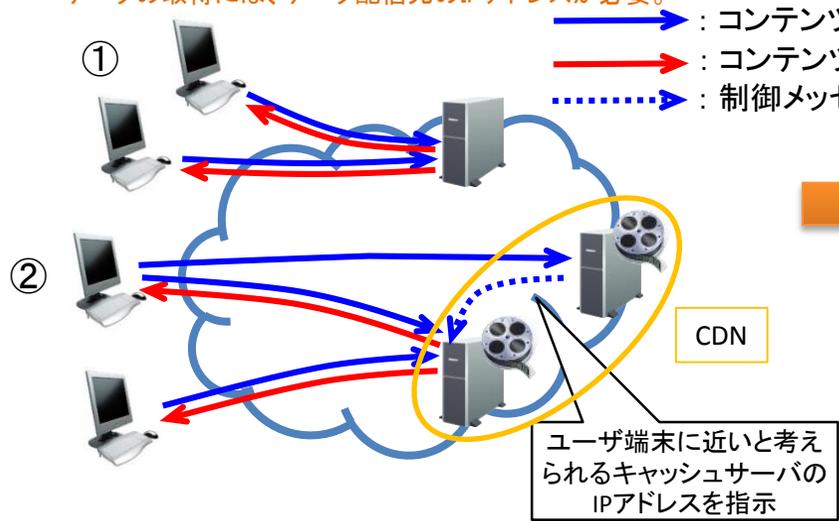
- ① IPアドレスに基づいてサーバにアクセス。
- ② CDNの場合は、ユーザ端末に近いと考えられるキャッシュサーバのIPアドレスに基づいてアクセス。

【ICN/CCN】

- IPアドレスではなくコンテンツ名を使用して通信を行う新しいネットワーク技術。
- ネットワークが適切なサーバやキャッシュを見つけて、データをユーザ端末に配信。

→ ユーザ端末は、データ配信元となるキャッシュやサーバの場所を知らなくて良い。

→ データの取得には、データ配信元のIPアドレスが必要。



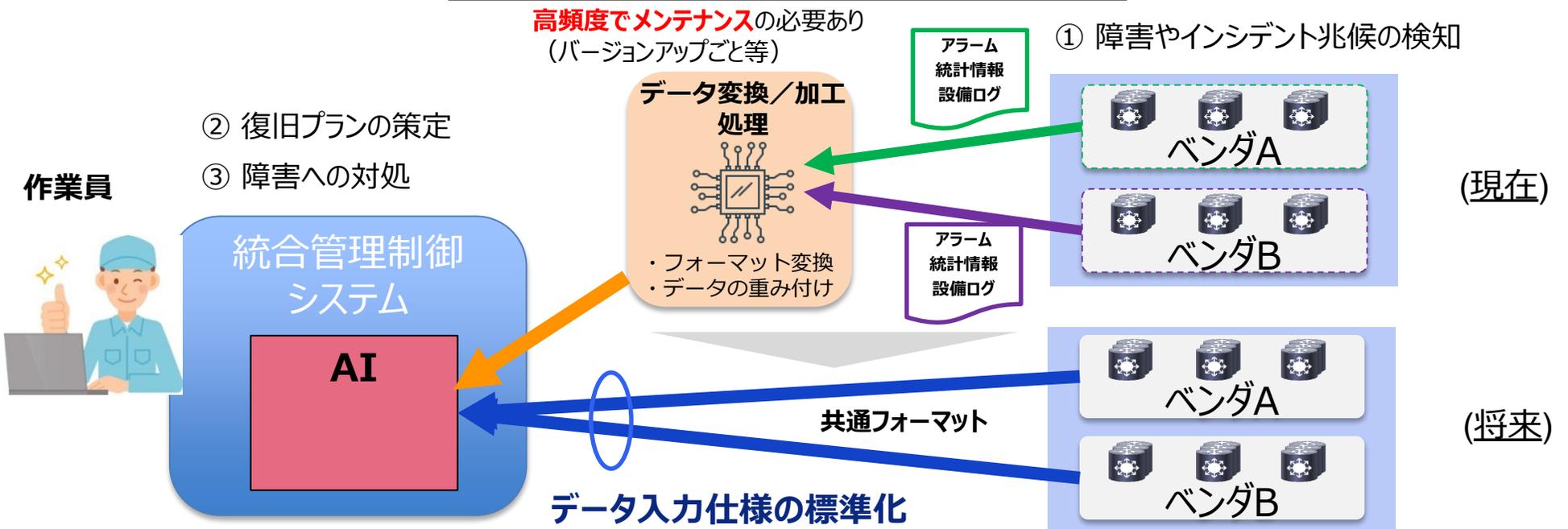
4.2 ネットワーク制御の高度化 ⑥ 自動オペレーション技術(AIによる保守・運用技術)

● 2030年以降には、マルチプレーヤー化、機器・機能の分散配置・動的再配置等により保守・障害対応が複雑化する中で、確実に高度なネットワークインフラの保守・運用を少人数で実現することが必要。

⇒ 運用管理データの増加や複雑化が進む中、現状のネットワーク設備はベンダごとにデータ仕様が異なる状況。AIを活用することによりネットワークインフラの保守・運用やサイバーセキュリティ対策を飛躍的に効率化し、将来的に自動オペレーションを実現していくためには、AIによる学習・判断の適切化・効率化が不可欠。そのためには、AIに対するデータ入力仕様の標準化や適用ルール等の規定の整備が必要。

⇒ また、AIに適切な判断をさせるためには、ネットワークインフラの保守・運用が正常に行われているときの事例に係るデータだけでなく、異常が発生したときの事例や対処に失敗したときの事例に係るデータを収集することが必要。そのためには、スモールデータで効果的にAIを学習させる手法を取り入れるとともに、電気通信事業者間で協調できる仕組みを構築することが重要。

AIに対するデータ入力仕様の標準化イメージ



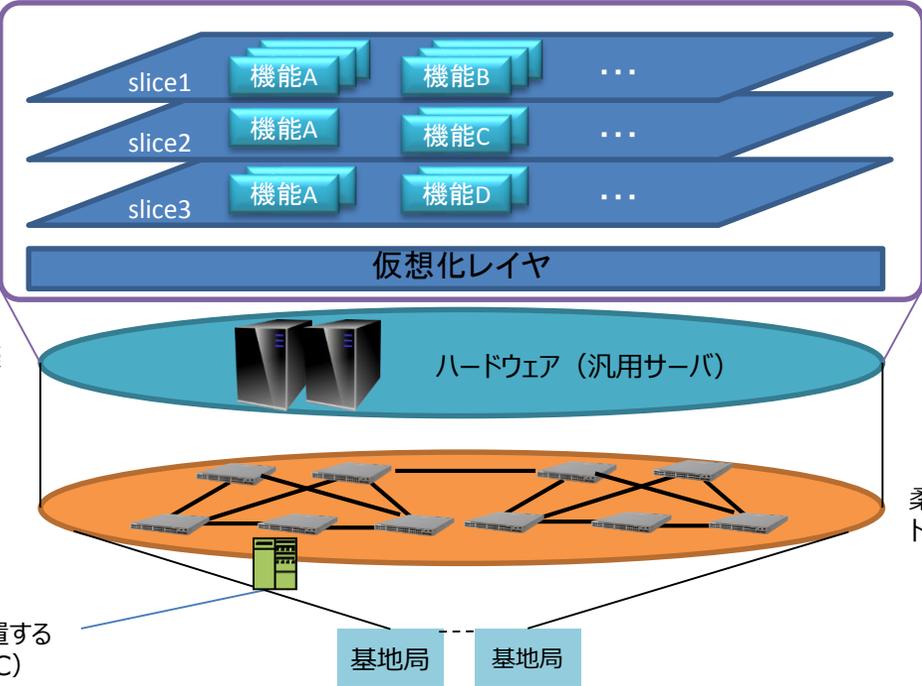
4.3 制度面の課題

● 2020年頃までには、ネットワーク機能のソフトウェア化が進展し、設備ベースで管理・提供される従来の形態から、論理的に切り分けられる機能ベースで管理・提供される形態に変化。

- ☞ 電気通信設備の構成、プレイヤー、機能分担の変化を踏まえ、安定した電気通信サービスを維持するためのネットワーク設備や端末に係る技術基準等のルールが将来的にも有効に機能するかどうかという観点から、検証を行うことが必要。その際、**既存の制度の枠組にとらわれず、技術革新を起点とした新たなサービスの創出を促進させる**という観点に留意することが重要。
- ☞ ネットワークインフラの保守・運用に携わる人材に求められるスキルが変化してきていることを踏まえ、「電気通信主任技術者」や「工事担任者」等の制度についても検証を行うことが必要。

機能ベースで管理・提供されるネットワークの構成例

■ NFV、SDN、ネットワークスライシング、MECを活用し、個々のサービスに適した、異なる論理ネットワークの構築により、高性能かつ経済的なネットワークを実現。



サービスに最適化された論議ネットワークの選択 (ネットワークスライシング)

効率的なネットワークの構築 (NFV)

柔軟に情報伝達可能なトランスポート (SDN)

サーバをNWエッジに設置することで遅延を低減 (MEC)

基地局 基地局

4.4 ネットワーク技術の高度化と国際連携

- ICT機器に関するOTT (Over the Top) の設備投資額の増大や、ソフトウェアによる通信機能・サービスの提供割合の増加など、ICT製品の市場構造に変化が起こりつつある中で、ネットワーク技術に関し、国際競争力の確保と国際協調の両面からバランス良く取り組むことが必要。

- ☞ 光伝送技術(コア・アクセス)やネットワークスライシング技術等は、我が国が強みを有する技術分野であり、産学官連携による技術開発やテストベッド検証・フィールド実証等を経て、国際競争力を一層強化していくことが必要。
- ☞ 一方、ソフトウェアの領域については、ネットワーク機器の調達仕様の共通化やオープンソースの活用等がグローバルで進んでいくことが想定されるため、海外で生まれたイノベーションをいち早く国内に取り入れ、その成果をオープンに発信していくことにより、オープンソースの進化に追従していく姿勢が必要。
- ☞ オープンソースを有効に活用するためには、ソフトウェアの信頼性を確保するとともに、国際的なコンソーシアム活動等に対応できる人材の育成を強化することが必要。

100Gbps光伝送技術の市場展開事例



オールジャパンによる先端的な研究開発

世界に先駆けた製品化と市場展開



国外他社



熾烈な技術競争・標準化競争



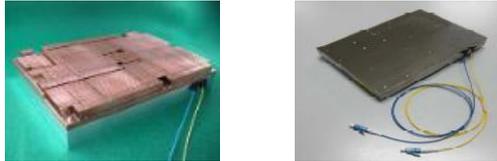
高いシェア獲得

100G光伝送用信号処理チップ

↑ 技術研究・製品開発で他国より先行



国際標準獲得



100G光トランシーバの製品化



陸上基幹ネットワークや海底ケーブルへの導入

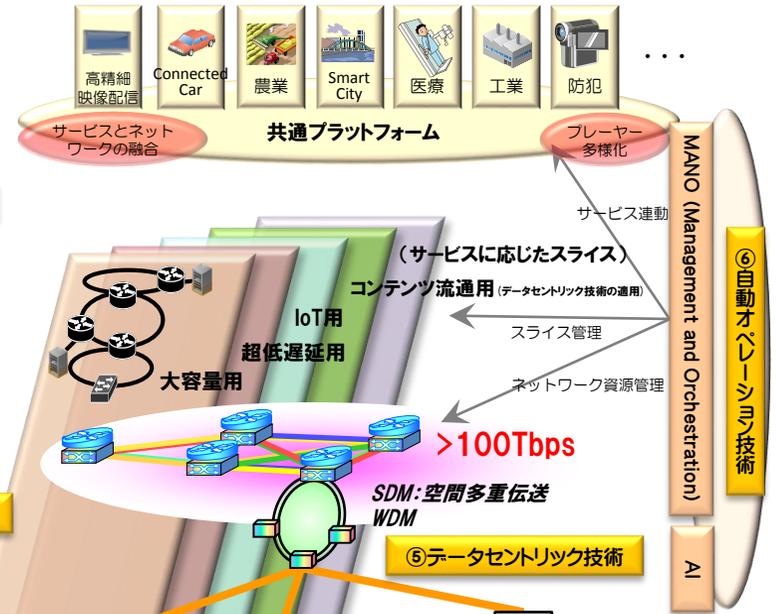
(参考) ネットワークインフラ技術の進展イメージ

- ネットワークインフラは、ミッションクリティカルな様々なサービスの要求に応えることができる社会基盤へと進展。
- この進展を支える主要技術として、①光伝送技術(コア)、②光伝送技術(アクセス)、③ネットワークスライシング技術、④エッジコンピューティング技術、⑤データセントリック技術、⑥自動オペレーション技術(AIによる保守・運用技術)が考えられ、これらの技術によって実現可能な機能や今後の推進方策等を整理。

グランドデザイン

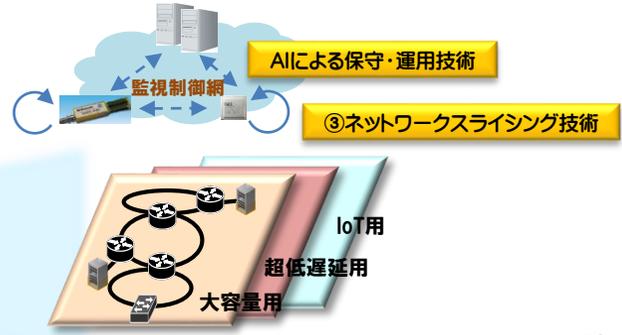
- ▶ 全てのサービスに対し画一的な機能を提供
- ▶ ネットワーク制御によってネットワークリソースを効率的に活用
- ▶ 高速化する無線アクセスを効率良く収容
- ▶ ネットワーク資源も含めた全体のネットワークリソースを効率的に活用
- ▶ 光・無線のシームレスな連携

サービス



ネットワーク機能

ソフトウェア化
(SDN: Software Defined Networking)
(NFV: Network Functions Virtualization)

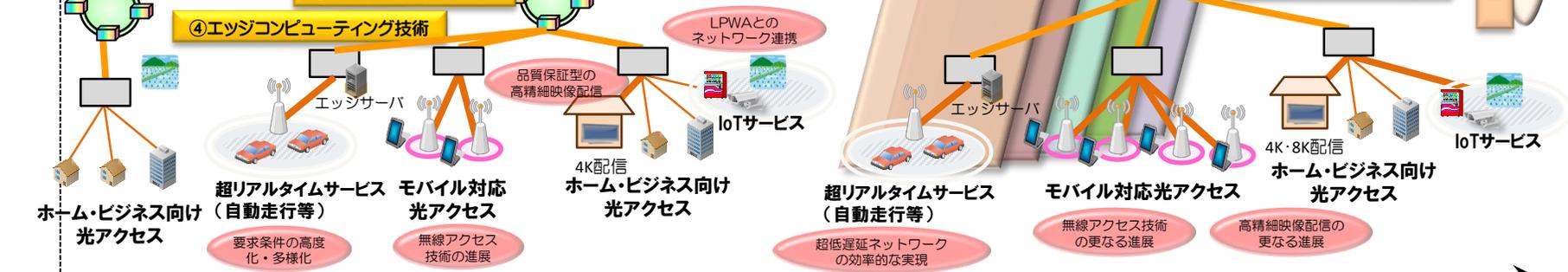


ネットワーク資源

<コア・メトロ>



<アクセス>



現在

- 課題: ネットワークのソフトウェア化の進展に伴い、事故・障害の原因究明が困難に
- 課題: クラウド・エッジデバイスでの機能分担が変化
- 課題: 無線アクセス回線を光アクセス回線に効率的に収容することが困難に
- 課題: マルチプレーヤー化、物理・論理的分離等による保守・障害対応の複雑化
- 課題: ネットワークリソースの活用自由度の拡大とEnd to Endでのサービス品質確保の両立が困難に
- 課題: コアネットワークのトラフィックが従来の光ファイバの容量限界(100Tbps)に到達
- 課題: デジタル信号処理に要する光信号帯域が不足
- 課題: 保守・運用人材の不足

課題

第5章 将来のネットワークインフラの発展イメージ

- 今後のネットワークの技術革新によるメリットをできるだけ多くのユーザに還元するという観点を重視した上で、有線ネットワーク側に求められる技術的な対応を検討。
- 検討に当たっては、今後の実現が期待される代表的なユースケースとして、「IoTサービス」、「超リアルタイムサービス」、「高精細映像配信サービス」の3つを想定。
- この3つのユースケースで、有線ネットワークに求められる主な要求条件を概ね包含しており、他のユースケースにも対応することが可能。

<IoTサービス>

あらゆるモノがインターネットにつながることで、新たな付加価値をもたらすサービス。

スマートシティ



スマート農業



<有線ネットワークに求められる主な要求条件>

1. 大容量(アクセス)
2. 省電力化
3. 超低遅延
4. 柔軟化・高弾力化
5. 高効率データ流通
6. 安全・信頼性

<超リアルタイムサービス>

自動走行、遠隔制御等の高いリアルタイム性を必要とするサービス。

自動走行



遠隔医療



<有線ネットワークに求められる主な要求条件>

1. 大容量(アクセス)
2. 省電力化
3. 超低遅延
4. 柔軟化・高弾力化
5. 高効率データ流通
6. 安全・信頼性

<高精細映像配信サービス>

4K・8K等の高精細な映像をネットワークを介して高品質で配信するサービス。

4K・8K映像配信



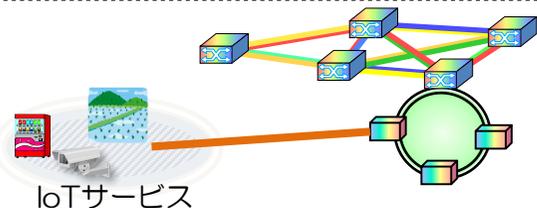
<有線ネットワークに求められる主な要求条件>

1. 大容量(コア・アクセス)
2. 省電力化
3. 超低遅延
4. 柔軟化・高弾力化
5. 高効率データ流通
6. 安全・信頼性

※ 黒字 : 各サービスに関する要求条件
赤下線: 特に重要度が高いと考えられる要求条件

<IoTサービス>

あらゆるモノがインターネットにつながることで、新たな付加価値をもたらすサービス。



ユースケースの例

- 農業、インフラ管理(現在のモバイル網の通信エリア外での通信も含む。) 等

[仮定] サービスの発展シナリオ

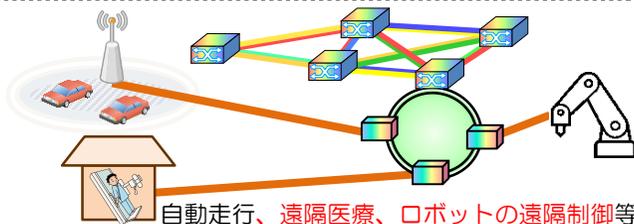
- 2025年(情通審「IoT/ビッグデータ時代に向けた新たな情報通信政策の在り方」第二次中間答申(H28.7))頃に普及。
- モバイル網については人口カバー率では現在99.9%を超えるが、今後は農地のような人口密度が低い場所における通信需要が拡大。

ネットワークインフラの発展シナリオ

- エッジにおけるプライバシー管理、セキュリティ制御、上りトラフィックの一次処理等により、ネットワーク全体の効率化を実現。
- 既存のモバイル網だけでなく、LPWA(Low Power Wide Area)と組み合わせることにより、IoTサービス向けの通信エリアを拡大。
- 通信負荷が低い時間帯にデータを伝送したりするなど、MNO、MVNO及びサービス提供事業者の協調によって、トラフィックを効率的に収容。

<超リアルタイムサービス>

自動走行、遠隔制御等の高いリアルタイム性を必要とするサービス。



ユースケースの例

- 自動走行のための地図データ配信
- ロボットアーム制御による遠隔手術 等

[仮定] サービスの発展シナリオ

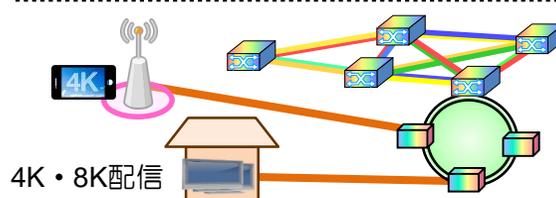
- 2020年(IT総合戦略本部「官民ITS構想・ロードマップ2017」(H29.5))頃に、限定区域における自動走行サービスが実現。
- 2025年を目途として、自動走行サービスの市場化・普及が進展。

ネットワークインフラの発展シナリオ

- 電気通信事業者とサービス提供事業者が共働でネットワークの機能を設計し、エッジサーバを随時導入。
- クラウド/エッジ/デバイスにおける機能分担の最適化を図る。
- 初期の段階では、電気通信事業者が予め定めた複数のタイプのネットワークリソースをサービス提供事業者が選択して活用可能な環境を整備。

<高精細映像配信サービス>

4K・8K等の高精細な映像をネットワークを介して高品質で配信するサービス。



ユースケースの例

- 一般宅内でのコンテンツ同時視聴・VoD配信
- 屋外・移動中の視聴者へのコンテンツ配信 等

[仮定] サービスの発展シナリオ

- 2025年頃には、ネットワークを介した高精細映像配信サービスの形態として、現在のベストエフォート型中心の配信に加え、高品質な配信も普及。
- 2030年頃には、100万人超のユーザが同時に4K・8Kの高精細な映像を視聴。

ネットワークインフラの発展シナリオ

- サービス提供事業者による新たな配信プラットフォームと、電気通信事業者が提供するエッジサーバやコンテンツ流通のネットワークリソースを組み合わせることにより、効率的なネットワークを実現。

技術	IoTサービス	超リアルタイムサービス	高精細映像配信サービス
① 光伝送技術(コア)			◎ (大容量化、低消費電力化)
② 光伝送技術(アクセス)		○ (低遅延化、大容量化、弾力化)	○ (大容量化)
③ ネットワークスライシング技術	◎ (IoTサービス用スライス)	○ (超低遅延用スライス)	○ (データ流通用スライス)
④ エッジコンピューティング技術	◎ (地域内処理による効率化)	◎ (低遅延化、負荷分散)	○ (負荷分散)
⑤ データセントリック技術			○ (効率化、信頼性制御)
⑥ 自動オペレーション技術 (AIによる保守・運用技術)	○ (安全・信頼性確保、制御の高度化・効率化)	○ (安全・信頼性確保、制御の高度化・効率化)	○ (安全・信頼性確保、制御の高度化・効率化)

※ いずれのサービスの類型においてもサイバーセキュリティの脅威への対策を講じる必要がある。

サービスの進展に関する仮説

- ネットワークに接続されるIoT端末数は、2020年頃には約10億台、2025年頃には約18億台にまで増加。2025年には、IoT端末による通信需要は2015年比で6.5Tbps程度増加するものと推計^{※1}される。
- サービスの進展に伴うネットワーク投資の増大が大きくは見込めない一方で、農地のような人口密度が低い場所における通信需要が拡大。既存のモバイル網の通信エリア外からは、新たに約700万台^{※2}のIoT端末がLPWA等を介してネットワークに接続され、全国総計で40Gbps^{※1}程度の通信需要が生じる。

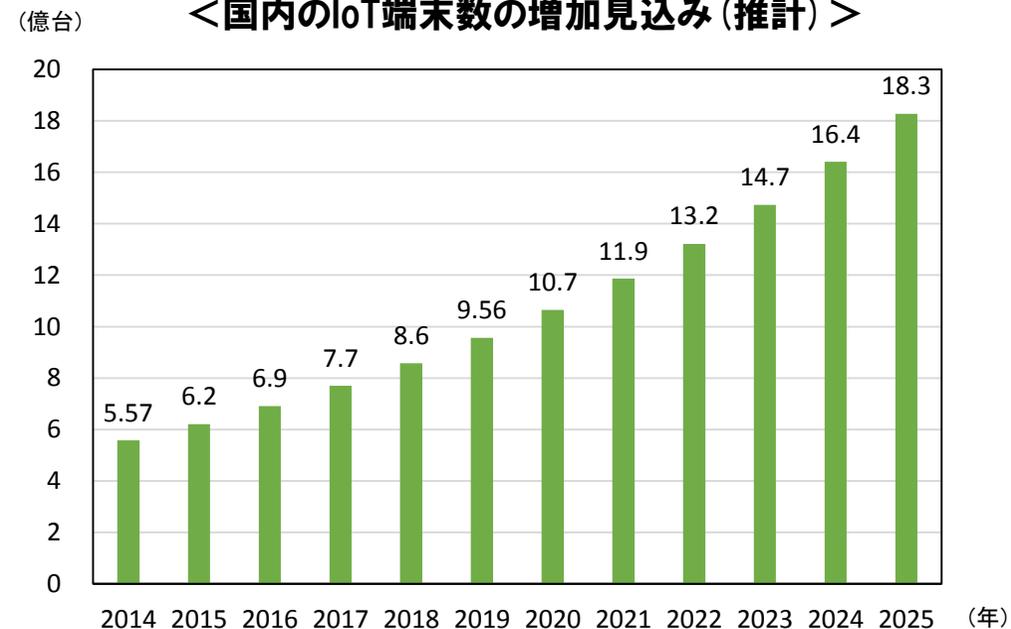
※1 IoT端末のトラフィックは、例えば、カメラ等の場合は128kbps、センサ等の場合は1kbps以下など、端末によって大きく異なるため、1台あたり平均5.4kbpsと仮定して算出。(Cisco VNI Mobile 2017年よりMRI推計)

※2 モバイル網の通信エリア外面積は国内で約113.4km²程度と推計され、そのうち20%のエリアで0.25kmメッシュ当たり20台のIoT端末から新たな通信需要が生じるものと仮定。(MRI推計)

ネットワーク側に求められる技術的対応

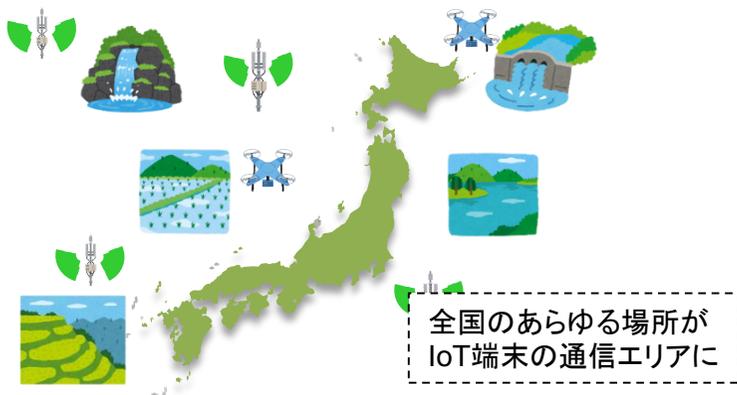
- モバイル網とサービス提供事業者が設置したLPWAとの連携や、トラフィックの時間的な分散等を目的として、MNO、MVNO及びサービス提供事業者の協調・連携を促進するIoTサービス用スライスを実現。
- エッジコンピューティング技術を活用したプライバシー管理、セキュリティ制御、上りトラフィックの一次処理等により、地域内に閉じた通信処理の効率化を実現。

＜国内のIoT端末数の増加見込み（推計）＞



(出典) IDC Japan「国内IoT市場2014年の推定と2015年～2019年の予測」を基にMRI推計

検討の前提とするサービスの進展イメージ



- 2020年 ネットワークに接続されるIoT端末数が約10億台に。
- 2025年 ネットワークに接続されるIoT端末数が約18億台に。そのうち、約700万台のIoT端末が農地のような人口密度が低い場所(既存のモバイル網の通信エリア外)からネットワークに接続。
- 2030年 全国のあらゆる場所がIoT端末の通信エリアに。

ネットワーク発展のロードマップ

ネットワークに求められる機能		MNO、MVNO及びサービス提供事業者の協調・連携を促進する スライスネットワークの実現、地域内に閉じた通信環境の実現	
主要技術	③ ネットワークスライシング技術	ソフトウェア化の進展	IoTサービス用スライスを選択可能なプラットフォームを実現
	④ エッジコンピューティング技術		サービス提供事業者が利用可能なNFV/エッジコンピューティング機能
	⑥ 自動オペレーション技術 (AIによる保守・運用技術)	保守・運用におけるAI・機械学習による自動化の進展	データ選定(プライバシー情報除去、上りトラフィックの一次管理等)
実現に向けた課題・対策等		MNO、MVNO及びサービス提供事業者の協調によるトラフィック分散	マルチプレーヤー化、物理・論理の分離等による保守・障害対応の複雑化 →AI技術の高度利用のためのデータ仕様の標準化、データの共有化の仕組みの検討
		LPWAを設置するサービス提供事業者と電気通信事業者のNW連携 →スライシング制御の体制構築	ネットワークリソースの活用自由度が拡大する一方、サービス品質の確保が困難に →ネットワークリソース全体の管理・運用の責任主体の明確化、品質基準の標準化・整理
		現在	2020年頃
			2025年頃
			2030年頃

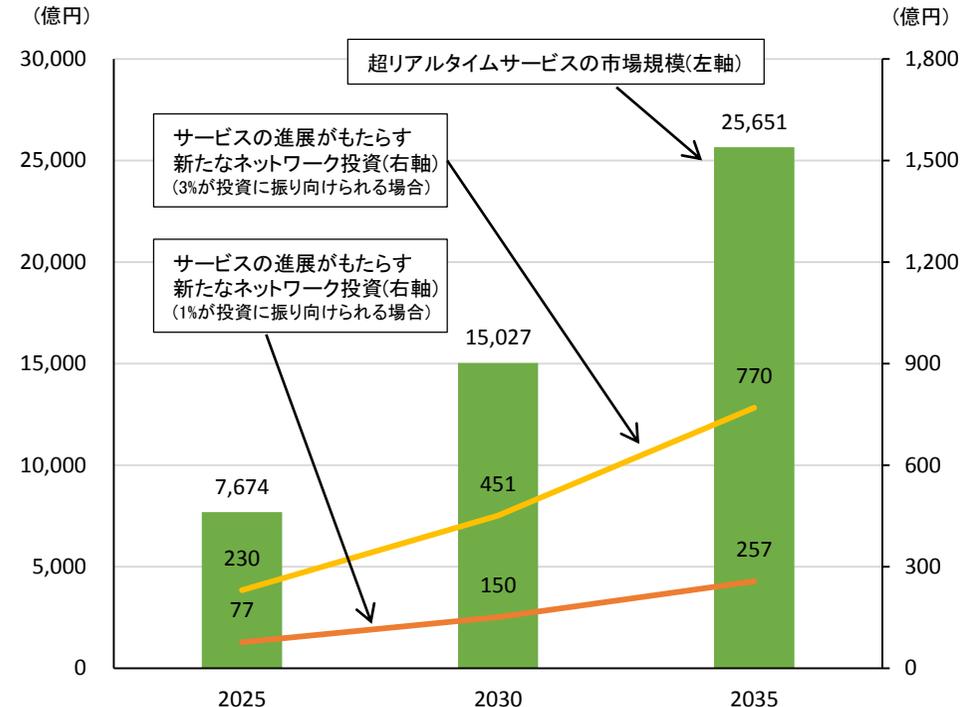
サービスの進展に関する仮説

- 2020年頃に、ITS及び第5世代移動通信システム等を組み合わせた路車間通信、車車間通信等により、限定区域において、安全・信頼性の高い自動走行サービスを実現。
- 2025年を目途として、自動走行サービスの市場化・普及が進展。
- 自動走行を始めとする超リアルタイムサービスの市場規模の拡大がもたらす「サービス提供事業者」による新たなネットワーク投資は、2025年時点で最大230億円程度、2030年時点で最大450億円程度と推計。超リアルタイムサービスの市場の拡大が新たなネットワーク投資を生み出すという循環が形成される。

ネットワーク側に求められる技術的対応

- エッジコンピューティング技術、ネットワークスライシング技術の導入によるアクセスネットワークの低遅延化(End to Endでmsec程度)、モバイルフロントホール・バックホールの**高速化**。
- サービス提供事業者の要求に応える大容量アクセス技術の導入、光・無線のシームレスな連携。

＜サービスの進展による新たなネットワーク投資(推計)＞



(出典)ポストンコンサルティンググループ「自動運転車市場の将来予測」等を基にMRI推計

検討の前提とするサービスの進展イメージ



2020年 限定地域において自動走行サービスが実現。

2025年 自動走行サービスの市場化・普及が進展。

2030年 遠隔制御等の自動走行サービス以外の超リアルタイムサービスが普及し、同一地域に複数のサービスが混在。

ネットワーク発展のロードマップ

ネットワークに求められる機能		End to Endでmsec程度の低遅延化 (モバイル中心のMobile Edge Computingから、多様なアクセスと対象とするMulti-access Edge Computingへ)		
		低遅延ネットワークの効率的な実現	ネットワーク資源の管理・制御	
主要技術	② 光伝送技術(アクセス)	低遅延化 モバイルフロントホール・バックホール向け高速化	光・無線のシームレスな連携(高弾力性) 無線信号のアナログ伝送による信号処理の軽減	
	③ ネットワークスライシング技術	超低遅延用スライスを実現	フレキシブルなスライス構築	
	④ エッジコンピューティング技術	分散データ処理 低遅延応答	サービス提供事業者が利用可能なNFV/エッジコンピューティング機能 データ選定(プライバシー情報除去等)	
	⑥ 自動オペレーション技術 (AIによる保守・運用技術)	保守・運用におけるAI・機械学習による自動化の進展	分散データ処理の高度化 (データ流通の変動の予測・追従等)	
	実現に向けた課題・対策等	クラウド・エッジ・デバイスにおける機能分担の最適化 NW区間ごとの遅延の割付け →配分モデル、エッジ設置場所の検討 エッジサーバの配置場所に合わせた 類型プロファイルの整理	地方におけるモバイル網の高速化 →ネットワーク設備の一部共用などインフラ整備の効率化 AIに対するデータ入力仕様の標準化や 適用ルール等の整理	
	現在	2020年頃	2025年頃	2030年頃

サービスの進展に関する仮説

- 4KのBS放送開始(2018年)を皮切りに4Kコンテンツの素材が増加し、2020年には全国の約半数の世帯に4Kテレビが普及。
- 2025年頃には、ネットワークを介した高精細映像配信サービスの形態として、現在のベストエフォート型中心の配信に加え、高品質な配信も普及。
- 2030年頃には、**1,000万人**のユーザがネットワークを介して同時に4K・8Kのような高精細映像を視聴。この場合、コアネットワークを流通するトラフィックは**3,000Tbps**程度にまで、**固定系のアクセスネットワーク**を流通するトラフィックは数Gbps程度にまで、**モバイルフロントホール・バックホール**を流通するトラフィックは**100Gbps**程度にまで、それぞれ増大。

ネットワーク側に求められる技術的対応

- **1ファイバ当たりのコアネットワークの伝送容量**について、2020年頃までに40Tbps、2030年頃までに100Tbps超を実現。
- **固定系アクセスネットワークの伝送容量**について、**10Gbps**を実現。
- **モバイルフロントホール・バックホールの伝送容量**について、**100Gbps**を実現。
- **2030年頃に最大3,000Tbps**程度になると想定されるトラフィックを効率的に収容するため、ICN/CCN等のデータセントリック技術の導入やエッジコンピューティングとの連携を可能にするコンテンツ流通用スライスを実現。

<高精細映像配信サービスによるトラフィックの推計>

コアネットワーク

- 伝送レート：200Mbps × ユーザ数：1,000万人 → 2,000Tbps
- 伝送レート：100Gbps × ユーザ数：1万人 → 1,000Tbps

固定系のアクセスネットワーク

- 伝送レート：200Mbps × ユーザ数：～32人 → ～6.4Gbps

モバイルフロントホール・バックホール

- モバイルフロントホールの伝送容量：160Gbps^{※1} ×
 動画像の流通に関するトラフィックの割合：75%^{※2} → 約100Gbps

※1 出典:5GMF White Paper “5G Mobile Communications Systems for 2020 and beyond”, 第1.01版(2016年7月4日)

※2 出典:ITU-R “Report ITU-R M.2370”

検討の前提とするサービスの進展イメージ



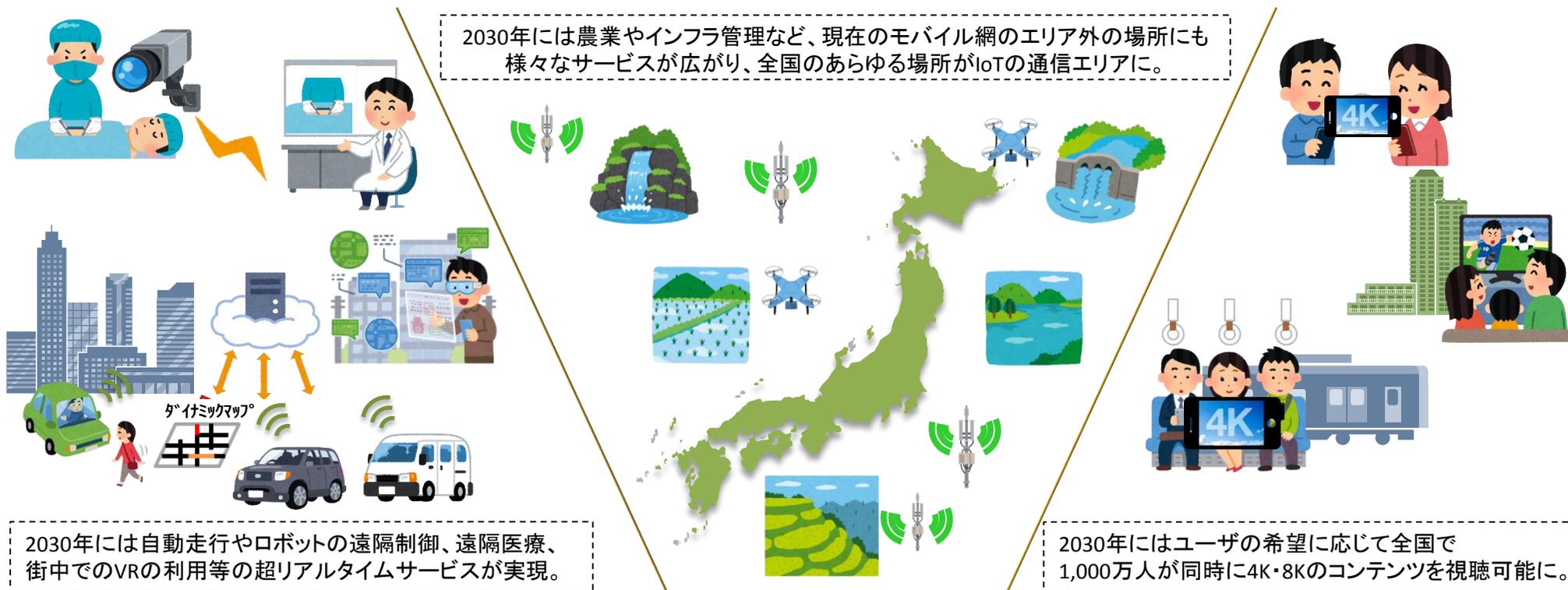
1,000万人が同時に4K・8Kのコンテンツを視聴可能に

- 2020年 全国の約半数の世帯に4Kテレビが普及。4KのBS放送開始(2018年)を皮切りに4Kコンテンツの素材が増加。
- 2025年 ネットワークを介した高精細映像配信サービスの形態として、現在のベストエフォート型中心の配信に加え、高品質な配信も普及。
- 2030年 全国どこでも、ユーザが希望すれば高品質な4K・8K映像配信サービスを受信可能。1,000万人が同時に4K・8Kのコンテンツを視聴。

ネットワーク発展のロードマップ

ネットワークに求められる機能		40Tbps(コア)	10Gbps化(固定系アクセス)	100Tbps超(コア)
主要技術	① 光伝送技術(コア)	パラレル信号処理	光送受信モジュールの高集積化 通信路の即時提供と容量弾力化	空間多重
	② 光伝送技術(アクセス)	100Gbps級PON標準化	モバイルフロントホール・バックホール向け高速化	
	③ ネットワークスライシング技術			
	④ エッジコンピューティング技術			ICN/CCN等のデータセントリック技術の導入やエッジコンピューティングとの連携を可能にするコンテンツ流通用スライスの実現
	⑤ データセントリック技術		品質制御・高信頼制御 IP技術とのハイブリッド方式	
	⑥ 自動オペレーション技術(AIによる保守・運用技術)		保守・運用におけるAI・機械学習による自動化の進展	分散データ処理の高度化(データ流通の変動の予測・追従等)
実現に向けた課題・対策等			コンテンツ配信事業者と電気通信事業者のNW連携 →スライシング制御の体制構築 エッジサーバの柔軟な運用	AIに対するデータ入力仕様の標準化や適用ルール等の整理 地方におけるネットワークインフラの高速化 →ネットワーク設備の一部共用などインフラ整備の効率化
		現在	2020年頃	2025年頃
				2030年頃

- 将来のネットワークインフラの発展によって、全国のあらゆる場所から接続される数十億台のIoT端末を収容するための通信エリアの拡大、超リアルタイムサービス実現のためのEnd to Endでの低遅延化（msec程度）、**1,000万人**のユーザに対する4K・8K映像の高品質な同時配信の実現が想定できる。
- 限られたネットワーク投資の中で、ネットワークの技術革新によるメリットをできるだけ多くのユーザが享受できるようにすることが必要。
- そのためには、新しいサービスをもたらす市場から新たなネットワーク投資を生み出すという循環を形成していくとともに、需要が少ない地域において、例えばネットワーク設備の共通化を進めるなど、効率的にネットワークインフラを構築する方策を取り入れることが有効。



第6章 将来のネットワークインフラの実現に向けて

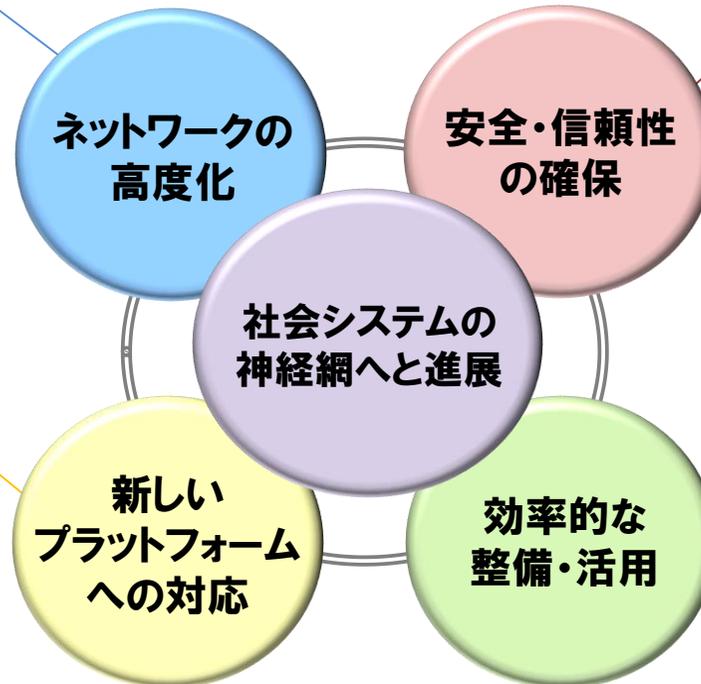
- 光伝送技術など我が国が強みを有するネットワーク技術の研究開発・標準化を更に推進することが必要。また、オープンソースの活用については、開発コミュニティでのプレゼンスを確保できるよう取り組むことが重要。
- ネットワークのソフトウェア化の進展により、ネットワークの管理や保守・運用が複雑化。サービス提供や設備運用の責任主体を明確化し、「サービス品質」や「安全・信頼性」を確保していくことが必要。

■ オープンソースを活用するとともに、我が国が強みを有するネットワーク技術の研究開発・標準化を推進。

- 光伝送技術（コア・アクセス）の研究開発（マルチコアファイバ技術、アナログRoF伝送技術等）
- 主にソフトウェアの領域におけるオープンソースの活用と開発コミュニティで活動する人材の育成
- 将来を見据えたネットワーク技術の研究開発

■ ネットワーク利用の自由度が高まる中、インフラ事業者とOTTやサービス提供事業者等がWin-Winの関係を構築できるプラットフォームを実現。

- 事業者の連携・協調に資する標準化等
- ネットワークリソースのマネージメント機能



■ 少子高齢化が進み、保守・運用人材の不足が見込まれる一方、ネットワーク管理が複雑化する状況においても、ネットワークインフラ全体として安全・信頼性を確保。

- ネットワーク制御・管理の責任主体の明確化
- 技術の進展に対応した技術基準等の制度整備
- AIの活用のためのネットワーク運用に係るデータ仕様の標準化等の検討
- ネットワークインフラ及び端末におけるサイバーセキュリティ対策（技術開発、制度面の対応）

■ 様々なサービスごとに進化するネットワークインフラを、全体として効率的に構築/活用。

- インフラの効率的整備（先端技術の開発・導入を加速するための実証環境の整備、事業者間連携など）
- データ流通の効率化によるネットワーク負荷の削減