

(案)

**将来のネットワークインフラに
関する研究会**

報告書

～ 未来社会を支えるペタビット級ネットワーク ～

平成29年●月

目 次

はじめに.....	1
第1章 検討の背景.....	2
1.1 我が国の固定通信トラヒックの現状	2
1.2 ICT サービスの高度化・多様化	4
1.2.1 IoT の進展	4
1.2.2 第5世代移動通信システムの実現.....	6
1.2.3 高精細映像配信の進展	7
1.3 無線アクセス技術の進展.....	8
1.4 ネットワーク機能のソフトウェア化の進展.....	9
1.5 ネットワークインフラを保守・運用する人材の不足.....	11
第2章 将来のネットワークインフラへの期待.....	14
2.1 ネットワークインフラの社会的な役割.....	14
2.2 ネットワークインフラの進化の方向性.....	15
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..	17
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	17
3.2 多様化・高度化するユーザニーズへの対応.....	18
3.3 ネットワークインフラの安全・信頼性の確保.....	19
3.4 効率的なネットワークの実現	19
3.5 2030年までに求められる主な要求条件	20
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.....	25
4.1 ネットワークの高速化	25
① 光伝送技術（コア）.....	25
② 光伝送技術（アクセス）.....	27
4.2 ネットワーク制御の高度化	29

③ ネットワークスライシング技術.....	29
④ エッジコンピューティング技術.....	31
⑤ データセントリック技術.....	33
⑥ 自動オペレーション技術（AI による保守・運用技術）.....	34
4.3 制度面の課題.....	35
4.4 ネットワーク技術の高度化と国際連携.....	36
第5章 将来のネットワークインフラの発展イメージ.....	40
5.1 IoT サービス.....	41
5.1.1 サービスの進展に関する仮説.....	41
5.1.2 ネットワーク側に求められる技術的対応.....	42
5.2 超リアルタイムサービス.....	43
5.2.1 サービスの進展に関する仮説.....	43
5.2.2 ネットワーク側に求められる技術的対応.....	44
5.3 高精細映像配信サービス.....	45
5.3.1 サービスの進展に関する仮説.....	45
5.3.2 ネットワーク側に求められる技術的対応.....	46
5.4 ネットワークインフラの発展によって実現するサービスのイメージ.....	47
第6章 将来のネットワークインフラの実現に向けて.....	49

はじめに

昨今、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 IoT(Internet of Things)や、ネットワークを介した高精細映像配信等に関する新たなサービスが進展しつつあり、さらに、2020 年には第 5 世代移動通信システム(5G)が実現されることが想定されている。

将来的には、これらの高度な ICT(Information and Communications Technology)サービスは社会に広く普及していくことが想定されており、それらを支えるネットワークインフラの重要性や国民生活・社会経済活動への影響力は、ますます大きくなっていくものと考えられる。

こうした状況を踏まえ、平成 29 年 1 月から「将来のネットワークインフラに関する研究会」を開催し、2020 年から 2030 年頃までを想定して、急速に拡大していく ICT に対するニーズに的確に対処することにより、ICT を最大限に活用する社会を支えるネットワークインフラを実現するための技術課題、推進方策等の検討を行ってきた。

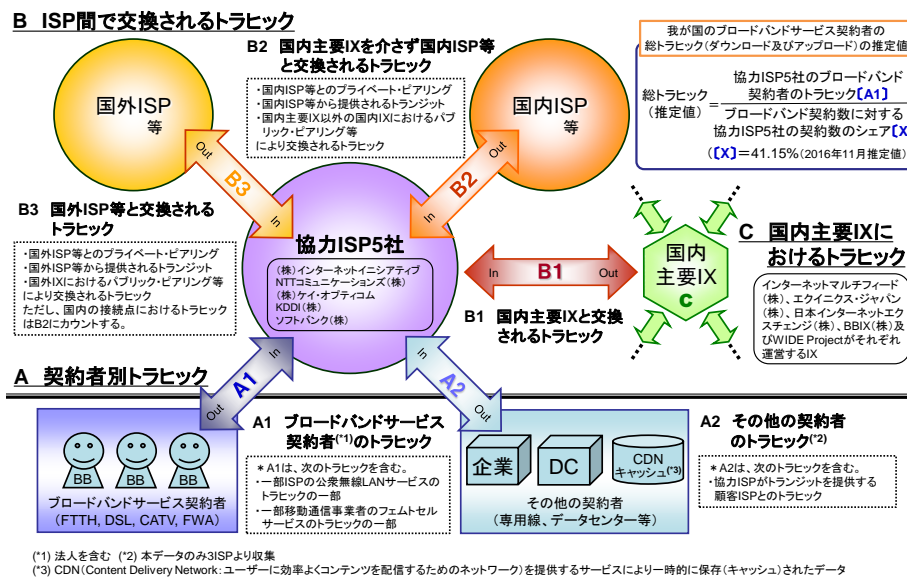
本研究会においては、ネットワークインフラの社会的な役割が、インターネットを介したデータ通信等を中心とする「情報の流通網」から、5G や高精細映像配信サービス等を始めとするミッションクリティカルな様々なサービスをセキュアに提供する「社会システムの神経網」へと進展しつつあることを踏まえ、ネットワークインフラを提供する電気通信事業者側はもちろん、ネットワークを活用してサービスを提供する事業者、通信機器メーカーなど様々な立場の意見を踏まえながら議論を行ってきた。

本研究会における検討を通じて、将来にわたり高度で安定的なネットワークインフラを実現していく上での課題や必要な取組が産学官で広く共有され、ユーザの利便性の向上と安全・信頼性の確保が実現するとともに、新たなビジネスモデルの創出、さらには ICT 分野の国際市場における我が国のプレゼンスの確保等に寄与していくことを期待するものである。

第1章 検討の背景

1.1 我が国の固定通信トラフィックの現状

総務省においては、ISP 5 社（株式会社インターネットイニシアティブ、NTT コミュニケーションズ株式会社、株式会社ケイ・オプティコム、KDDI 株式会社及びソフトバンク株式会社）の協力をに基づき、インターネットにおけるトラフィックを集計しており、これに基づき、我が国のブロードバンドサービス契約者の総トラフィック（ダウンロード及びアップロード）の推計を行っている（図 1-1）。



出典：総務省「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果(2016年11月分)」

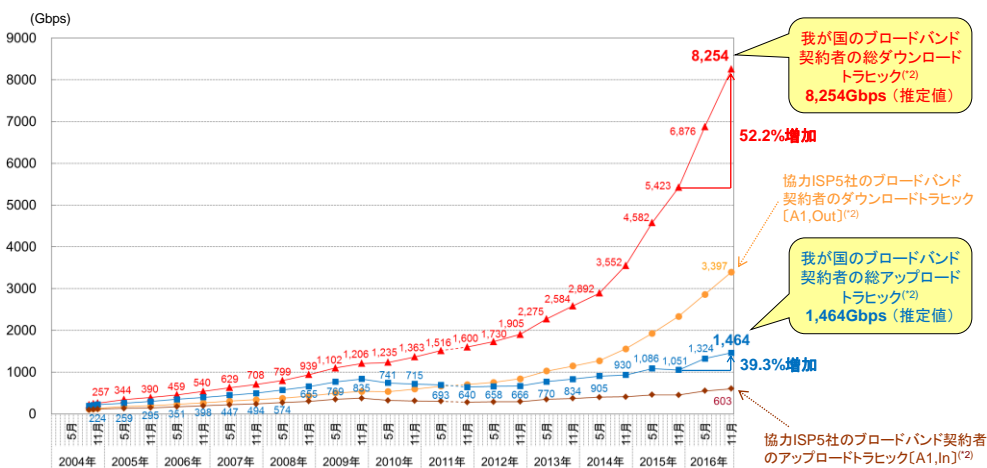
<図 1-1>集計したトラフィック¹の種類

本集計によって、推計された我が国のブロードバンド契約者²の総トラフィック(2017年2月に公表された2016年11月の集計結果)は、図 1-2 に示すとおりであり、我が国のブロードバンドサービス契約者の総ダウンロードトラフィックは推定で約 8.3Tbps (8,254Gbps/前年同月比 52.2%増)、総アップロードトラフィックは推定で約 1.5Tbps (1,464Gbps/前年同月比 39.3%増)である。

特に、ダウンロードトラフィックは増加傾向にあり、2012-2014年(11月時点比較)で 86.5%だったものが、2014-2016年(同月時点比較)には 132.4%増となっている。

¹ 1ヶ月間、2時間単位で計測・集計し、1秒当たりの平均トラフィックを算出。

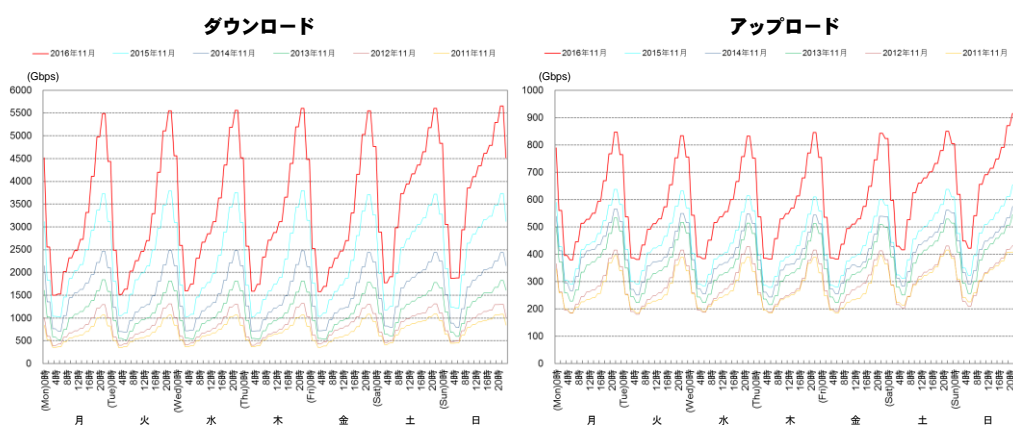
² FTTH、DSL、CATV、FWA の契約者のトラフィック。



(*)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動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。

出典：総務省「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果(2016年11月分)」
 <図 1-2>我が国のブロードバンド契約者の総トラフィックの推移

一方、ブロードバンドサービス契約者の時間帯別トラフィックの変化は図 1-3 に示すとおりであり、ピークの時間帯が 21 時～23 時にあり、トラフィックが最も落ち込む 3 時～5 時と比較した場合の差分も年々増加傾向にある。ダウンロードに関しては、2011 年 11 月にはピークの時間帯と落ち込む時間帯の差が 600Gbps 程度であったものが、2016 年 11 月には 4,000Gbps 程度にまで拡大している。アップロードについても同様であり、2011 年 11 月にはピークの時間帯と落ち込む時間帯の差が 200Gbps 程度であったものが、2016 年 11 月には 450Gbps 程度にまで拡大している。



出典：総務省「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計結果(2016年11月分)」
 <図 1-3>ブロードバンドサービス契約者の時間帯別トラフィックの変化

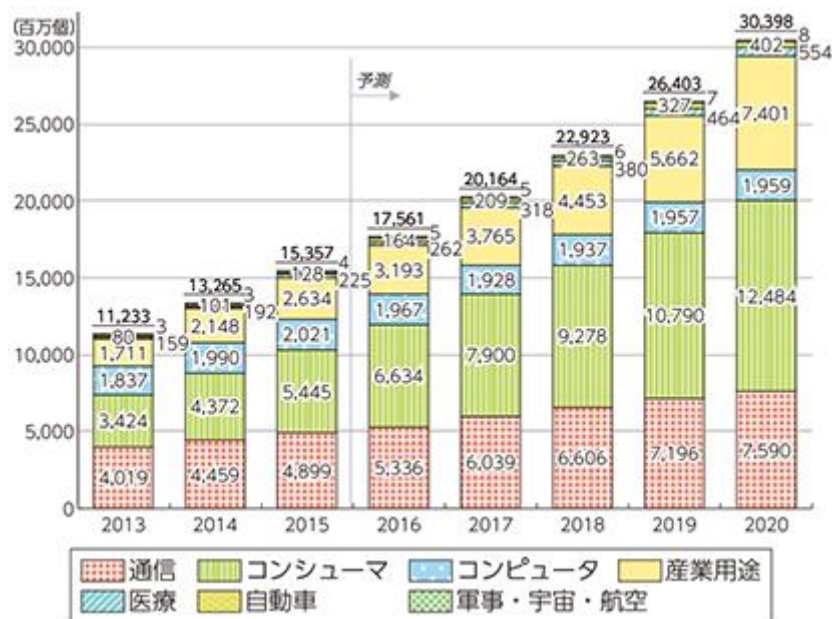
1.2 ICT サービスの高度化・多様化

1.2.1 IoT の進展

我が国においては、これまでの間、超高速ネットワークインフラの整備等を柱とする「e-Japan 戦略」（平成 13 年 1 月 22 日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部決定）等に基づき、超高速アクセスの利用環境の実現等を推進してきている。また、現在は、インターネット上を流通する多種多様かつ大量のデータの利活用に対する期待が高まりつつあることを踏まえ、国が官民のデータ利活用のための環境を総合的かつ効果的に整備することを目的とした「官民データ活用推進基本法」（平成 28 年法律第 103 号）や、「世界最先端 IT 国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画」（平成 29 年 5 月 30 日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部決定）等に基づき、官民データの利活用に向けた環境整備等を推進しているところである。

このように、ICT 政策の方向性においても、多種多様かつ大量のモノがネットワークにつながることで新たな付加価値をもたらす IoT が重要視されてきていると言える。IoT はデータ主導社会 (Data Driven Society) を実現するための重要な要素の一つとして位置付けられており、データの生成・収集・流通・分析・活用によって、あらゆる社会経済活動を再設計し、社会の抱える課題解決を図っていくことが期待されている。

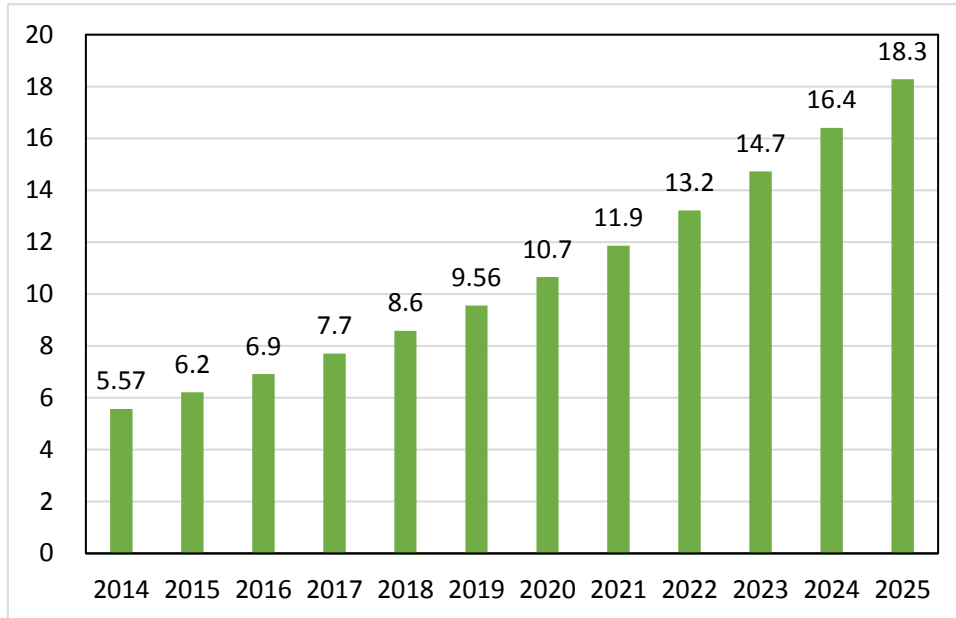
今後、IoT の進展に伴い、インターネットにつながるモノは、爆発的に増加していくことが予想されている。世界の IoT デバイス数は、2015 年時点で 154 億個であり、2020 年には 304 億個にまで増大するものと推計されている（図 1-4）。



出典：平成 28 年版情報通信白書

<図 1-4> 世界の IoT デバイス数の推移及び予測

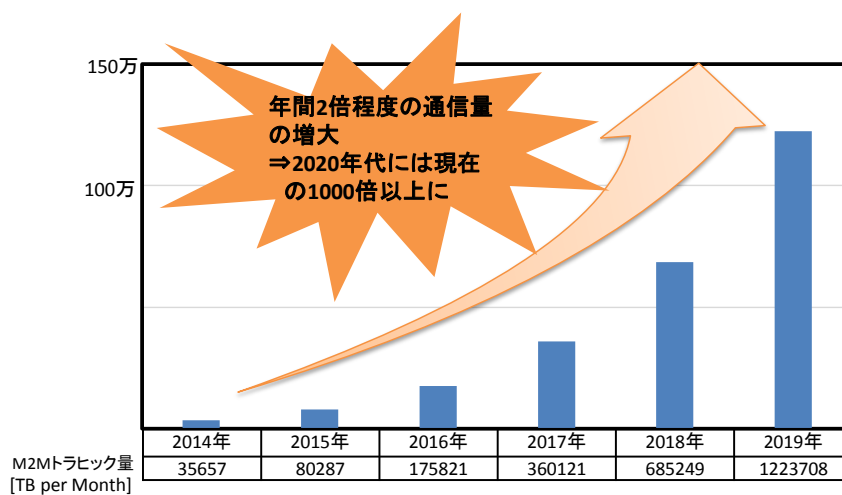
一方、国内の IoT デバイス数は、2015 年時点で 6.2 億個であり、2020 年には 10.7 億個にまで、2025 年には 18.3 億個にまで、それぞれ増大するものと推計されている（図 1-5）。



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

<図 1-5> 国内の IoT デバイス数の推移及び予測

さらに、全世界の IoT デバイスによるトラフィック量については、最近の我が国のトラフィックの伸びを大きく上回り、年間 2 倍程度の割合で増大を続け、2020 年代には 2015 年の 1,000 倍以上に達することが見込まれている（図 1-6）。



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

出典：情報通信審議会 情報通信技術分科会「技術戦略委員会」第2次中間報告書 参考資料

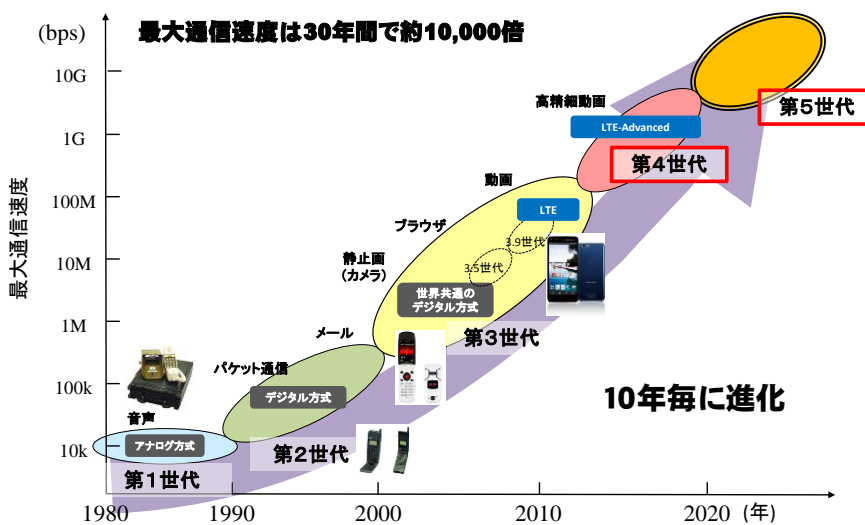
<図 1-6> 全世界の IoT デバイスによるトラフィック量の予測

IoTによるサービスの広がりや2025年以降さらに加速していくことが予想されており、IoTトラフィックも合わせて加速的に増加していくことが見込まれる。

1.2.2 第5世代移動通信システムの実現

移動通信システムは、1980年代に第1世代が登場した後、2000年に第3世代、2010年に第4世代につながるLTE方式が導入されるなど、約10年ごとに進化してきており、最大通信速度は30年間で約10,000倍に高速化されている（図1-7）。

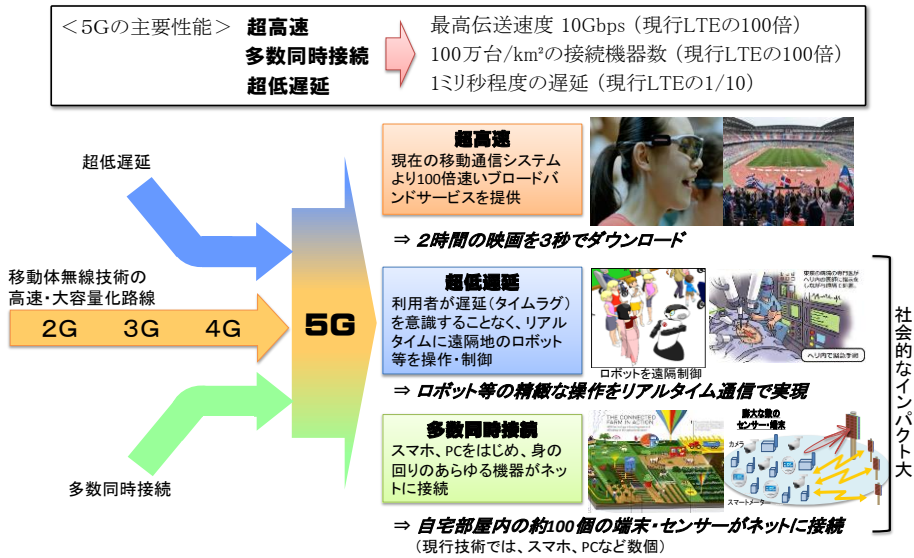
2020年には、5Gが開始されることが想定されており、現在、情報通信審議会情報通信技術分科会「新世代モバイル通信システム委員会」において、5Gの技術的条件の策定に向けた検討が行われているところである。



出典：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」（第1回）

＜図1-7＞移動通信システムの進化

5Gは、図1-8に示すように、4Gを発展させた「超高速」だけでなく、「多数接続」、「超低遅延」等の新たな機能を持つ次世代の移動通信システムとして位置付けられており、例えば、家電、クルマ等の身の回りのあらゆる機器（モノ）がつながる、遠隔地においてもロボット等の操作をスムーズに行うことができるといったように、サービスの要求に応じた様々な機能が実現されることが見込まれている。



出典：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」(第1回)

<図 1-8> 5G の主要性能

1.2.3 高精細映像配信の進展

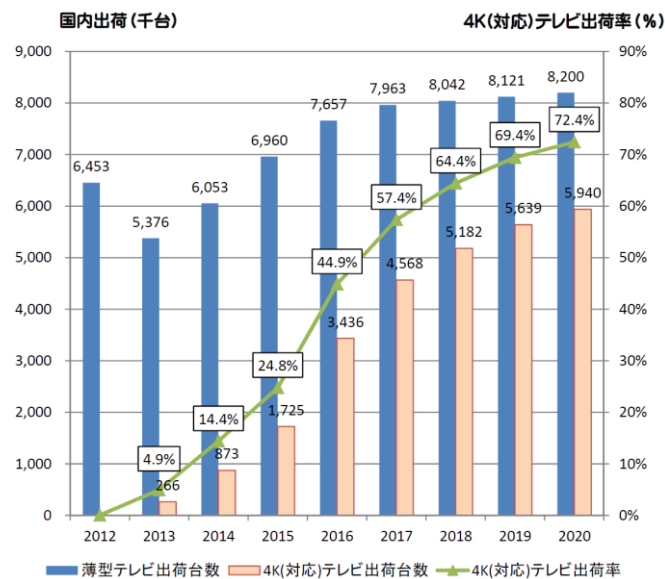
総務省においては、近年の技術発展やブロードバンドの普及など、視聴者を取りまく環境変化等を踏まえ、放送に関する諸課題について、日本の経済成長への貢献や市場・サービスのグローバル化への対応、視聴者利益の確保・拡大等の観点から、中長期的な展望も視野に入れつつ検討を行うため、平成 27 年 11 月から「放送を巡る諸課題に関する検討会」を開催している。平成 28 年 9 月に公表された第一次取りまとめにおいては、新サービスの展開に向けた今後の具体的な方向性として「放送とネットとの連携等新サービス等の普及・展開の促進」が掲げられているところである。また、2018 年には、4K の BS 放送が開始されることが予定されており (図 1-9)、4K コンテンツの素材が増加していくとともに、2020 年には 4K 対応テレビ受信機の世帯普及率が 50%に達すると推計されている (図 1-10)。

こうした状況を踏まえると、今後は、ネットワークを介した映像コンテンツの流通が更に進み、特に、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に対する需要が高まっていくことが考えられる。



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2回）黒田構成員提出資料

<図 1-9> スーパーハイビジョンのロードマップ



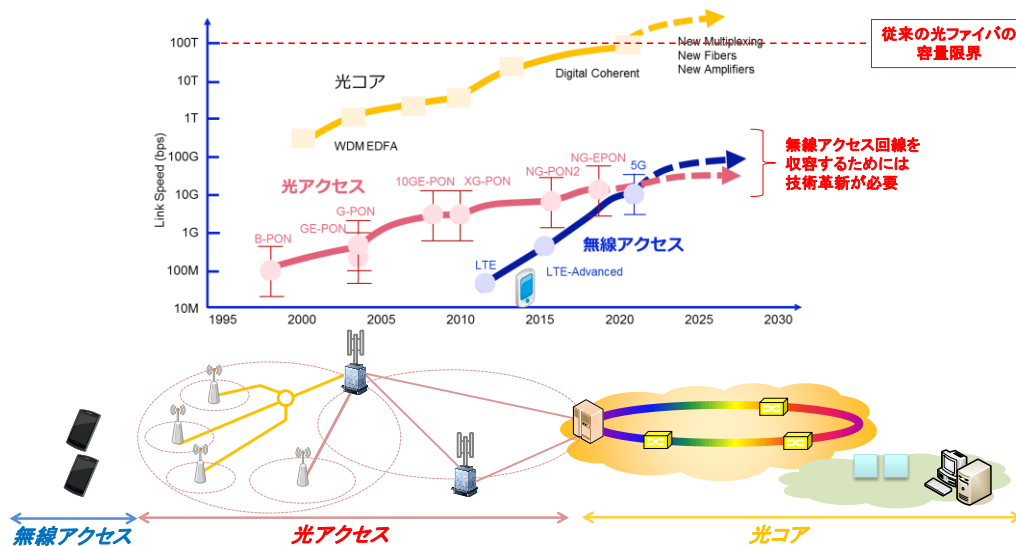
出典：総務省「4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合」中間報告

<図 1-10> 4K 対応テレビ受信機の稼働台数・世帯普及率試算

1.3 無線アクセス技術の進展

無線アクセス技術については、1.2.2 節で記載したように 5G で最大 10Gbps の伝送速度の実現に向けた開発が進められているところである。これに対して、図 1-11 において有線ネットワーク側の光コア及び光アクセスの代表的な技術の伝送速度の進展を示す。光アクセスの代表的な技術として取り上げている PON

(Passive Optical Network)³ は、主に FTTH (Fiber To The Home) の回線を効率的に実現することを目的として用いられているものであり、無線アクセス回線を効率的に收容できる技術としても期待されている。しかしながら、近年の無線アクセス技術の著しい進展スピードを踏まえると、2020 年以降に無線アクセス回線を低コストで効率良く收容するためには、光アクセス技術においても技術革新が必要になると考えられる。



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

<図 1-11>無線アクセス技術の進展

1.4 ネットワーク機能のソフトウェア化の進展

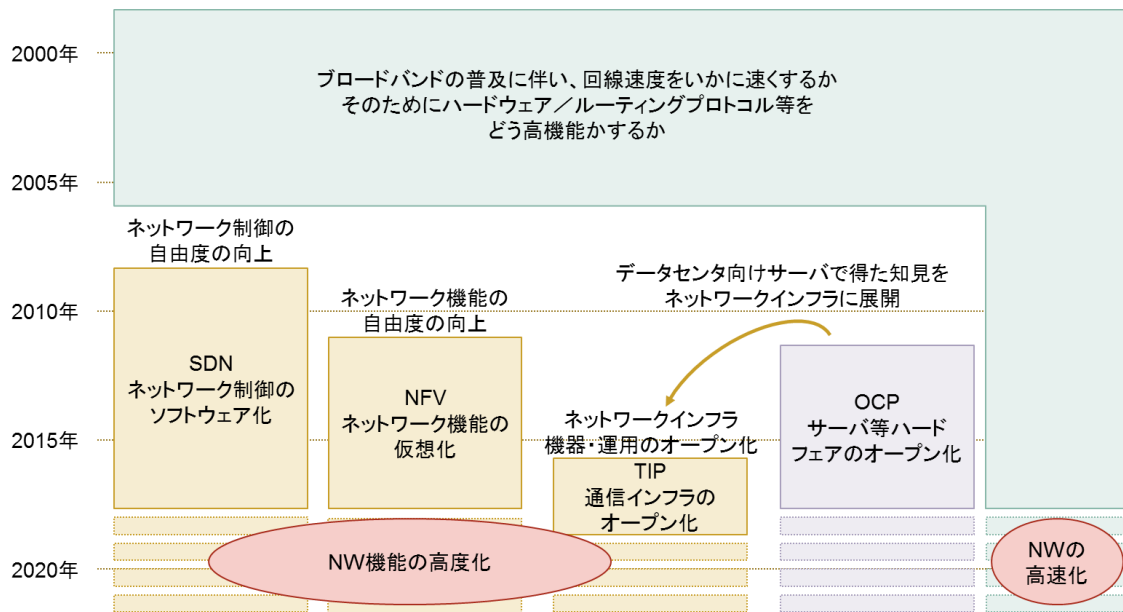
1990 年代後半から 2000 年代前半にかけて、一般個人向けブロードバンドサービスが開始されて以降、インターネットを流通するトラフィックは加速的に増加している（1.1 節参照）。このような中、インターネットを支えるインフラへの投資も積極的に行われ、我が国では世界に誇る高速かつ大容量トラフィックを支えるネットワークインフラが構築・運用されてきたところである。

一方で、ブロードバンドサービスが実質的に定額で提供されている中、増え続けるインターネットトラフィックを安定的に收容するためには、効率的なインフラ投資が求められるようになってきている。

また、ICT サービスの多様化に伴い、オンデマンド映像配信やソフトウェア更新など、バースト的なトラフィックが頻発するようになり、それらの急激なリソース要求変化に柔軟に対応することも求められるようになってきている。

³ 光信号を複数に分岐し、複数のユーザによる光ファイバの共有を可能とする技術。最大 32 分岐のものが実ネットワークに適用されている。

こうした問題に対処するために、利用状況に応じてネットワークリソース⁴を柔軟に組み替えることが可能なネットワーク仮想化技術である SDN (Software Defined Network) や、NFV (Network Function Virtualization) 等の研究開発が 2000 年代後半から取り込まれるようになり、2010 年代からはデータセンター等から導入が進み、徐々に電気通信事業者のインフラへの導入が始まりつつある (図 1-12)。



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2回)中村構成員提出資料

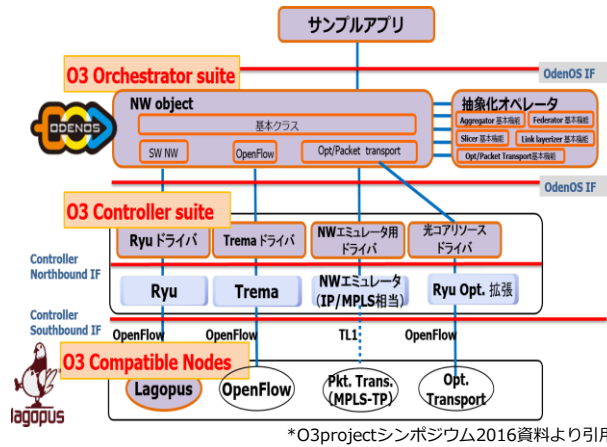
<図 1-12> SDN/NFV の進展

総務省においても、2013 年から 2015 年までの間、SDN 技術の広域ネットワークインフラ適用に向けた研究開発として「Open Innovation over Network Platform」(O₃(Open Organic Optimum)プロジェクト)を実施し、ソフトウェア SDN スイッチの OSS (Open-source software) 公開等を推進してきたところである (図 1-13)。

⁴ 主に電気通信事業者が保有するネットワーク資源。広義には、サーバやストレージ上の仮想化された資源だけでなく、伝送路等の物理的な資源も含む。

O3(オースリー)プロジェクト
SDN技術の広域ネットワークインフラ適用に向けた研究開発プロジェクト

Odenos(SDN共通制御フレームワーク/オーケストレータ)、Lagopus(ソフトウェアSDNスイッチ)のOSS公開



*O3projectシンポジウム2016資料より引用

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）河村構成員提出資料より作成

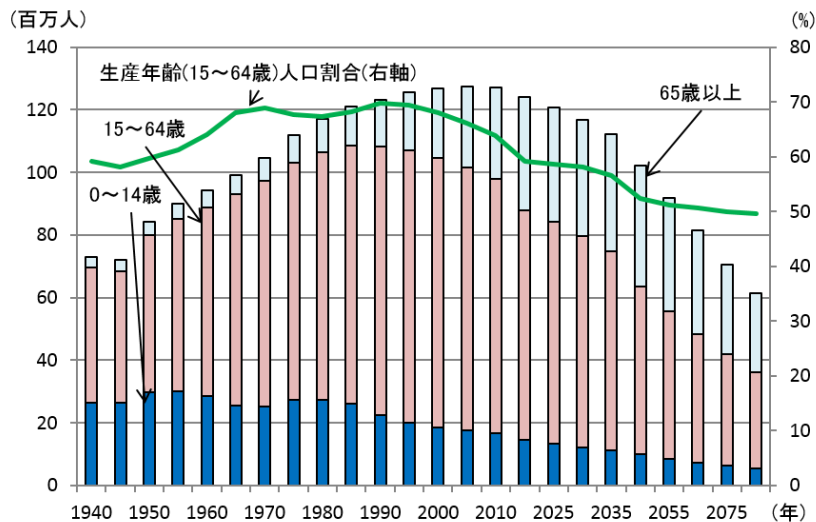
<図 1-13> O₃ プロジェクトの概要

従来、SDN/NFV が導入される前には、電気通信事業者等が新たなサービスを提供するためのネットワークを構築しようとした場合、一般的に数日程度の期間が必要であり、一旦構築してしまえば構成変更が容易ではなかった。これに対して、SDN/NFV を導入することにより、ソフトウェアでネットワークリソースを制御できるようになり、極めて短時間⁵でネットワークを構築することが可能となる上、ネットワークの利用状況の変化に応じて柔軟にリソース配分を変更することが可能となる。

1.5 ネットワークインフラを保守・運用する人材の不足

我が国においては、長期に渡り人口減少が続いていくものと予想されており、平成 28 年版高齢社会白書によれば、2026 年に人口 1 億 2,000 万人を下回った後も減少を続け、2048 年には 1 億人を割って 9,913 万人となり、2060 年には 8,674 万人になると推計されている（図 1-14）。

⁵ 総務省の O₃ プロジェクト（ネットワーク仮想化技術の研究開発）では、1000 台規模のノードで構成される光伝送装置及びパケット転送装置の通信環境における複数レイヤを連携した設定や、1000 台規模のノードで構成される仮想ネットワークの環境における連携したネットワーク構成の変更等を 10 分以内に完了することを実現。

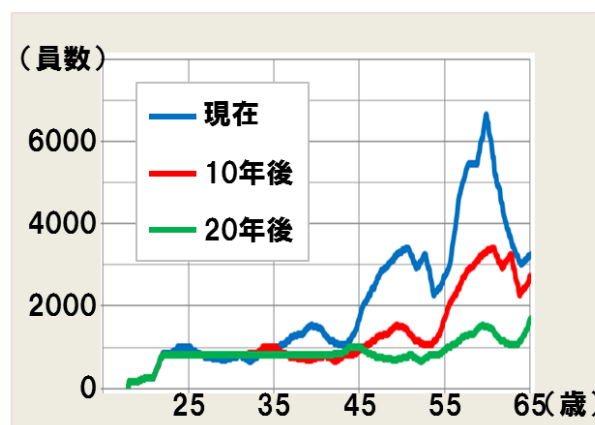


出典：総務省「日本の統計 2016」

＜図 1-14＞日本の人口の推移と将来人口

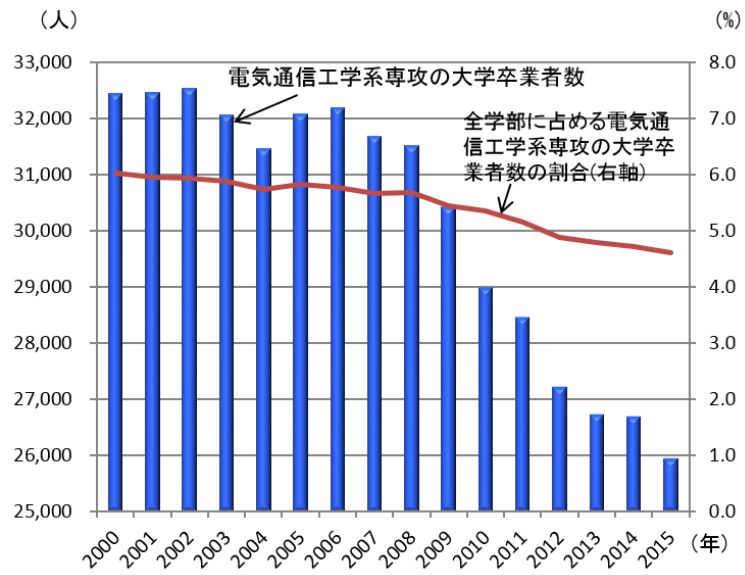
生産年齢（15～64 歳）人口についても、減少傾向で推移していくことが見込まれているところである。このような中、我が国のネットワークインフラを担う電気通信事業者においては、今後社員数の減少や年齢構成の変動に伴い、ネットワークインフラの保守・運用に関する技術者の減少が予想されている（図 1-15）。さらに、近年は保守・運用に携わる人材を供給する電気通信工学系専攻の大学卒業生数についても減少傾向で推移している（図 1-16）。

このように、ICT サービスに対するニーズが高度化・多様化する一方で、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ており、早期の対応の必要性が指摘されている。



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 1 回）篠原構成員提出資料

＜図 1-15＞日本電信電話株式会社の社員年齢構成の変化



出典：文部科学省「学校基本調査」より作成

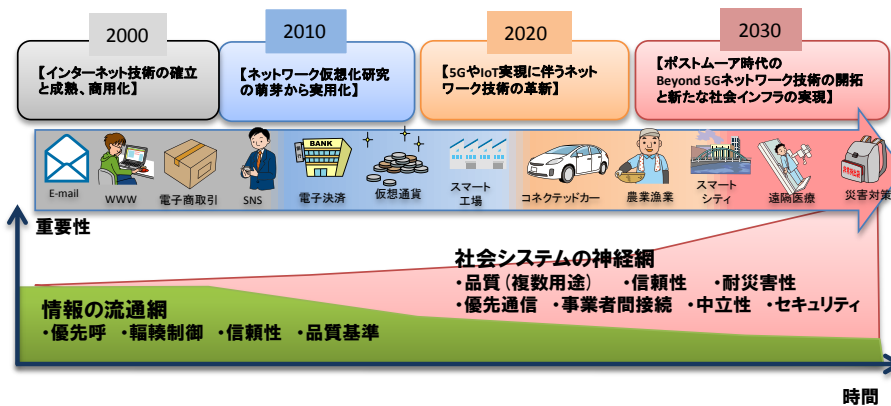
<図 1-16> 電気通信工学系専攻の大学卒業者数の推移

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

かつてのネットワークインフラは、電話による音声通話を提供することを主な目的としており、音声通話用途に特化した少数の電気通信事業者が維持する社会インフラとして存在してきた。その後、インターネットの発展によって、世界中のどこからでも安価にデータを転送することが可能となり、コンテンツのデジタル化やコンピュータ処理能力の向上と重なり、社会経済活動を支える「情報の流通網」としての役割を果たしてきたところである。

2020年オリンピック・パラリンピック東京大会を一つの目標として、5GやConnected Car、4K・8K高精細映像配信等の新しいサービスの実用化に向けた準備等が産学官連携のもとで進められている。そして、さらに10年後となる2030年頃には、これらの新しいICTサービスも普及・成熟期を迎え、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セキュアに提供するというますます重要な役割を担っていくものと考えられ、電気通信事業者だけでなくサービス提供事業者を含む多様な事業者が連携して実現・維持する「社会システムの神経網」へと進化していくものと想定される（図2-1）。



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1回）篠原構成員提出資料より作成
＜図2-1＞情報の流通網から社会システムの神経網への進展イメージ

また、ネットワークインフラを利活用する観点からは、様々なデータ、サービス、アプリケーションの利用など多種多様なサービスが、有線/無線等のネットワークの種別にとらわれずに利用できるようになってきている。ネットワークインフラに対しては、センサやデバイスからクラウドまでを物理的につなぐという従来の役割に加えて、現場の人やコトとクラウド上のデータやサービスをつなぐことによって、サイバー空間と実世界の融合を実現するという新しい役割を担うことに期待が高まりつつある。

ネットワークインフラが、このように「社会システムの神経網」へと進展していく中で、ネットワークを利用する側のユーザは専門的な知見等を必要とすることなく、世の中のあらゆるものを結びつけることが可能となっていく。

これにより、業界を越えたエコシステムや新たなビジネスが創出され、新たな様々な社会問題の解決にも寄与していくことが期待されている（図 2-2）。



＜図 2-2＞新たなビジネスモデルやエコシステムのイメージ

2.2 ネットワークインフラの進化の方向性

これまで、ブロードバンドサービスは、固定通信のダイヤルアップから ADSL、FTTH へと、また、移動通信分野においては 2G⁶から 3G⁷、4G⁸へと通信速度の高速化とともにサービスが進化してきた。このように、これまでのネットワークインフラについては、通信速度をいかに速くするか、そのためにハードウェアやルーティングプロトコル等をどう高機能化するかという点に主眼が置かれてきた。

まもなく本格的な IoT 時代を迎えることとなるが、今後は、ネットワークは通信の高速化、大容量化に対応することに加え、多種多様かつ膨大な IoT 端末を収容することが必要となってくる。

一方、2010 年頃から、SDN/NFV 等の仮想化技術の実用化が始まりつつあるように、ネットワーク機能のソフトウェア化が進展している。これにより、ネットワークをソフトウェアで制御することができるようになり、ネットワークの物理的な設備を変更することなく論理的にネットワークの設定を変更するといったこ

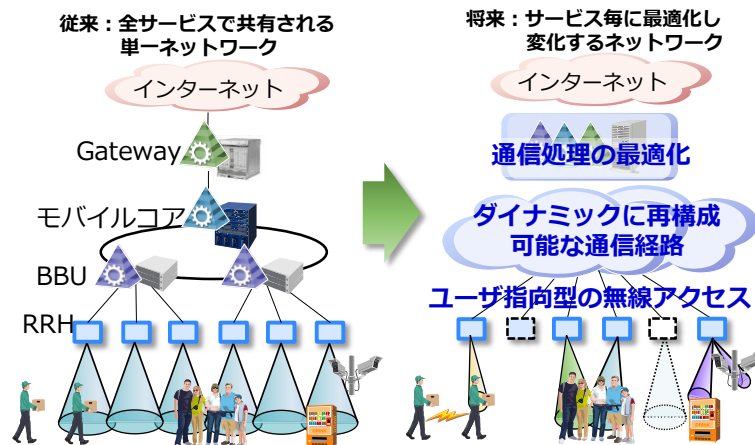
⁶ 第 2 世代移動通信システム

⁷ 第 3 世代移動通信システム

⁸ 第 4 世代移動通信システム

とが可能になってきている。

このように、ネットワークインフラは、ソフトウェア化の進展とともに、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していくと考えられる（図 2-3）。



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）河村構成員提出資料

<図 2-3>ユーザ・サービス中心のアーキテクチャのイメージ

また、ネットワーク機能のソフトウェア化に伴い、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) でも用いられるようになってきている。具体的には、クラウド上にソフトウェアで実装したネットワーク機能と電気通信事業者が提供するネットワーク設備を組み合わせることで一体的にサービスを提供するなど、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てきている。

このように、ネットワークインフラは、電気通信事業者が自社設備だけで運用するという時代から、クラウドサービス等の他社のインフラや API 等の機能を組み合わせるという時代にシフトしつつある。

そのような流れの中で、ネットワークインフラ全体として見れば、ネットワーク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ことが想定されるが、そのような場合であっても通信速度の高速化、安全・信頼性の向上等のハードウェアが担う役割の重要性に変化はない。

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」という方向でそれぞれ進化していくことが想定される。

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

将来のネットワークインフラは、Connected Car、高精細映像配信、遠隔医療等の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が求められることになる。

今後は、IoTの進展等によって、ネットワークに接続される端末数が爆発的に増大することが見込まれており、それらの膨大な量のデータをいかにセキュアに収集、流通、分析できるかという点が重要となる。特に、インターネットに接続されている端末の中にはセキュリティ面の脆弱性を持つものも存在しており、それらの脆弱性を利用した各種攻撃によるインシデントが数多く発生していることから、ネットワークと端末におけるセキュリティ対策の重要性が高まってくると考えられる。

また、今後、ネットワーク機能のソフトウェア化や、ネットワーク機器に対するオープンソースの活用が進展し、キャリアネットワークとエンタープライズネットワークの差が小さくなっていくことが想定される。電気通信事業者がネットワークインフラを提供するという形態だけでなく、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も可能となる（図3-1）。



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）河村構成員提出資料等を基に作成
 <図3-1>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

このように、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の自由度の拡大に対する期待が高まり、マルチプレーヤー化が進む一方、ユーザ側には、ネットワークインフラ全体として安心・安全な通信環境を提供することが求めら

れる。サービスを提供する側の視点では、特定のアプリケーションに応じた専用の端末とネットワークによってサービス提供される形態だけでなく、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し、それぞれのアプリケーションが水平連携することが可能となるような共通プラットフォームへの期待が高まっていくものと考えられる。

3.2 多様化・高度化するユーザーニーズへの対応

将来のネットワークインフラは、ソフトウェア化の進展とともに、レイヤごとに独立に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していくことが想定される。

多様化・高度化が進むユーザーニーズへ対応するためには、ネットワークインフラにはサービスに合ったネットワーク機能を迅速に提供する「柔軟性」や「低遅延性」が求められる。このため、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⁹技術」や、端末の近くに設置したサーバを活用してリアルタイム処理等を実現する「エッジコンピューティング技術」等によって「ネットワーク制御の高度化」を実現する必要がある。

新しいIoTサービスの創出を促進していく観点からは、将来のネットワークインフラには、従来のオーダメイド指向のネットワーク機能の提供と、新しい独創的なサービスの導入容易性を重視するオープンなネットワーク機能の提供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されている。このような場合においても、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・信頼性を確保していくことが不可欠である。

また、将来のネットワークインフラを実現するに当たっては、超高速、超低遅延、多数接続などの要求条件の高度化の方向性だけでなく、ネットワークインフラ全体を利活用する立場からも社会基盤として効率的に活用することが求められる。例えば、IoTサービスの中には、非リアルタイム系の大容量データを収集・活用するものが多いが、そのようなサービスにおいては、例えば、必要なデータのみを収集したり、通信負荷が低い時間帯に通信を行ったりというような仕組みが考えられる。

⁹ 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)

3.3 ネットワークインフラの安全・信頼性の確保

3.1 節でも触れたが、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し、その関わり方が複雑化していくことが想定される。この場合においても、端末も含めてネットワークインフラ全体として End to End で「安全・信頼性」を確保していくことが必要である。

今後ネットワーク機能のソフトウェア化が進展した場合、電気通信事故の発生要因として、ソフトウェアに起因するものや、複数の事業者がネットワークリソースを共有することに起因するものの割合が増加傾向で推移していくことが予想される。このようなソフトウェアが要因となる電気通信事故・障害については、原因究明が困難なことが多く、ネットワークインフラの安全・信頼性に大きな影響を与えるものと考えられる。

サービス提供事業者等のネットワーク利用の自由度が増し、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でも、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を第一に考える必要がある。

しかしながら、一方では、1.5 節でも述べたように、今後、ネットワークインフラの保守・運用人材が不足していくことが指摘されている。このような状況下で、原因究明が困難になりつつある電気通信事故・障害に対応していくためには、AI を活用した状況把握・分析、自動制御等（自動オペレーション技術（AI による保守・運用技術））を行うことにより少人数で高度に安定的なネットワーク運用を実現することが求められる。

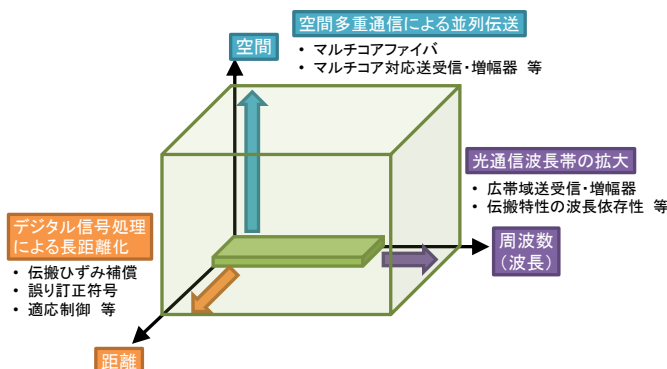
また、IoT 時代に向けて多種多様な IoT 機器がネットワークインフラに接続されるようになるが、これらの機器の中にはセキュリティ面の脆弱性を有するものが存在すると考えられるため、ネットワークインフラと端末においてセキュリティを確保するための対策を講じることが必要であると考えられる。

3.4 効率的なネットワークの実現

将来のブロードバンドトラヒックの増大に対応していくため、ハードウェアの領域では、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¹⁰の更なる拡大を図り、「ネットワークの高速化」を実現していくことが必要である。なお、ネットワーク資源の拡大は、主として、デジタル信号処理による長距離化、光通信波長帯の拡大、及び空間多重通信による並列伝送によって実現していくことが想定される（図 3-2）。

¹⁰ 光ネットワークの伝送容量を構成する要素。

- 指数関数的に急増するトラフィックに対応するためには、ネットワーク資源の拡大が必要不可欠。



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

<図 3-2> ネットワーク資源の拡大

一方、ソフトウェアの領域では、NFV 等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を活用することで、効率的にネットワークを実現することが可能となる。同時に、ハードウェア領域のネットワークリソースと組み合わせてサービスに合ったネットワーク機能を迅速に提供することに対する期待が高まってくるものと考えられ、特に、アクセスネットワークにおいては、光伝送容量を様々なサービスの要求に応じて適応的に割り当てるような機能が求められる。

また、将来のブロードバンドトラフィックの大部を占めるものと予想される映像系サービスのトラフィックについては、当面の間は「ネットワークの高速化」によって安定的な収容を図っていくことが考えられるが、一定以上のトラフィック量に達すると、従来のネットワーク技術では安定的に収容していくことが困難になる可能性が指摘されており、ICN (Information-Centric Networking) / CCN (Content-Centric Networking)¹¹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していくことが必要となる。

3.5 2030 年までに求められる主な要求条件

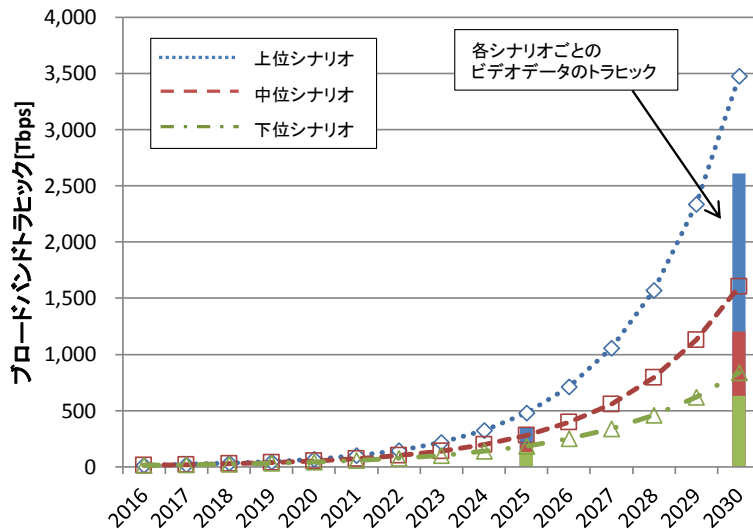
3.1 節から 3.4 節までに述べた将来のネットワークインフラに求められる機能を踏まえ、現在実用化に向けて具体的な検討が進む新しい ICT サービスの技術的要件から、2030 年までにネットワークインフラに求められる主な要求条件をまとめると、図 3-3 のとおりである。

¹¹ 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。（参考文献：V. Jacobson, et.al, "Networking Named Content," ACM CoNEXT 2009、朝枝，“情報指向ネットワークがもたらす可能性と研究課題,” 情報通信研究機構研究報告, Vol.61 No.2、等）

＜2030年までに有線ネットワークに求められる主な要求条件＞	
1. 大容量	光ファイバ1本当たりの伝送速度 100Tbps超(光ファイバの容量限界を突破)
2. 省電力化	現在の10分の1以下(1ビット伝送当たり)
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)
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
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
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

＜図 3-3＞ 将来のネットワークインフラ（有線ネットワーク）に対する主な要求条件

1.1 節でも述べたとおり、ブロードバンドトラフィックは増大の一途をたどっている。直近3年間の平均伸び率を2030年まで延伸したものを上位シナリオ、直近5年間の平均伸び率を2030年まで延伸したものを中位シナリオ、直近10年間の平均伸び率を2030年まで延伸したものを下位シナリオとした場合、我が国のブロードバンドトラフィックは、2020年には40Tbps～65Tbps程度、2030年には840Tbps～3,500Tbps程度になると推計されている（図3-4）。



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2回）中村構成員提出資料より作成

＜図 3-4＞我が国におけるトラフィック推計（一試算）

本推計によれば、全体のトラフィックのうち、最も大きな比率を占めるのが動画の流通に関するトラフィックであり、2030年時点で全体の約75%を占めると予想される。IoTによるトラフィックは、2020年時点で全体の10%以下、2030年時点で12%程度になることが予想されており、残りが他のアプリケーションに起因するものとなる。

さらに、将来のブロードバンドトラフィックを押し上げる要因として、高精細映

像の配信や、5G、IoT 等の新たな ICT サービスが進展していくことが考えられる。

高精細映像の配信については、例えば、1,000 万人程度のユーザのニーズに応じて 200Mbps 程度の伝送レートで高精細な映像を配信する場合、新たに発生するトラヒックは 2,000Tbps 程度になることが想定される。さらに、このうちの 0.1% のユーザに対しては非圧縮の 100Gbps 程度の伝送レートでより高精細な映像を配信する場合、さらに 1,000Tbps 程度のトラヒックを増大させることとなり、新たに発生するトラヒックは 3,000Tbps 程度になることが想定される。

次に、5G については、現在の移動通信トラヒックがダウンロードとアップロードの合計で 2Tbps 程度であり、年 30%~40%程度の伸び率で推移していることを踏まえると、2030 年時点では数百 Tbps 程度のトラヒックに達することが想定される。加えて、5G では、端末当たりでも現行 LTE の約 100 倍の最高伝送速度が実現されることが想定されていることから、この想定よりも更にトラヒックを増大させていく要因となることも十分考えられ、最大で数千 Tbps 程度のトラヒックに達することを想定しておく必要がある。

また、IoT によるトラヒックについては、2030 年時点でも最大で数百 Tbps 程度と予想されているが、今後、現在では想定できていない様々なサービスも考慮すると、最大で数千 Tbps 程度を想定しておく必要がある。このため、2030 年頃のネットワークインフラには、最低でも数百 Tbps、最大で数十 Pbps (数万 Tbps) 程度のトラヒックを安定的に収容することが求められると考えられる¹²。

一方、固定系のアクセスネットワークについては、例えば、高精細映像の配信には一般的に最大 200Mbps 程度の伝送レートが必要となってくることが想定されるが、より高品質なサービスや高いリアルタイム性を要するサービスへの対応として非圧縮の映像配信が少しずつ進展していくことも十分考えられ、最大で 100Gbps 程度の伝送レートが必要となってくることが想定される。このため、複数のユーザによるシェアードアクセス方式で配信する場合を考慮すると、固定系のアクセスネットワークにおいて新たに発生するトラヒックは数百 Gbps になることが想定される。さらに、IoT 等を始めとする現在では想定できていない様々なサービスも考慮すると、固定系のアクセスネットワークにおいて新たに発生するトラヒックは最大で数千 Gbps 程度 (数 Tbps) に達することを想定しておく必要がある。また、モバイルフロントホール・バックホールについては、5G の普及が進んだ場合で 160Gbps 以上の伝送容量が必要となると推計¹³されており、無線アクセス技術の更なる進展を踏まえると、最大で数千 Gbps (数 Tbps) 程度のトラヒックに達することを想定しておく必要がある。

このように増大を続けるトラヒックを安定的に収容していくため、ネットワークインフラには、光ファイバ 1 本当たりで 100Tbps 超の伝送速度を実現する「大

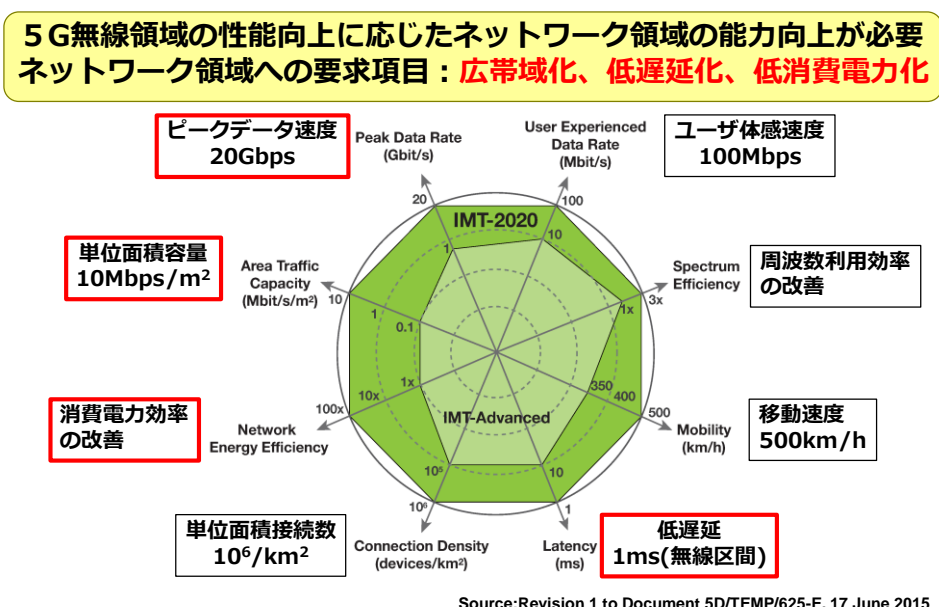
¹² 「最大で数十 Pbps (数万 Tbps) 程度のトラヒック」は、技術的な供給限界を検討することを目的に想定したものである。

¹³ 出典：5GMF White Paper “5G Mobile Communications Systems for 2020 and beyond”，第 1.01 版 (2016 年 7 月 4 日)

容量」化が求められる。その際、ネットワークインフラ全体の消費電力を現在と同等程度の消費電力で実現することが理想的であると考えられることから、1ビット伝送当たりで現行の10分の1以下の「省電力化」も求められることになる。

また、1.2.2節でも述べたが、5Gには、「超高速」だけでなく、「超低遅延」等の要求条件が挙げられている。5Gの無線の性能向上に応じて、有線ネットワークの能力向上も求められる。

特に、図3-5に示すように、無線通信の領域においては「1msec」の低遅延を実現することが求められているため、有線ネットワークにおいてもサービスに応じた適切なネットワークリソース配置等を可能とした上で数msec程度の「超低遅延」が求められるものと想定される。



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）前田構成員提出資料
 <図3-5>ネットワークへの要求/検討項目

さらに、多様化・高度化が進むユーザーニーズへ対応するという観点から、ネットワークインフラには、ソフトウェア化されたネットワーク機能を提供する「柔軟性¹⁴」と、光ネットワークの伝送容量を適応的に割り当てる「高弾力性¹⁵」によって、サービスに合ったネットワーク機能を迅速に提供することが求められる。

一方、増大を続けるトラフィックを安定的に収容していくためには、ネットワークインフラには「大容量」という方向性だけでなく、ネットワークできる限り効率的に活用するという観点も重要になってくる。エッジコンピューティング技術等の活用によるトラフィックの地域分散処理や、データセントリック技術を導入すること等によって、「高効率データ流通」を実現していくことが必要である。

¹⁴ ソフトウェア領域でのネットワークリソースの活用を向上させることをいう。

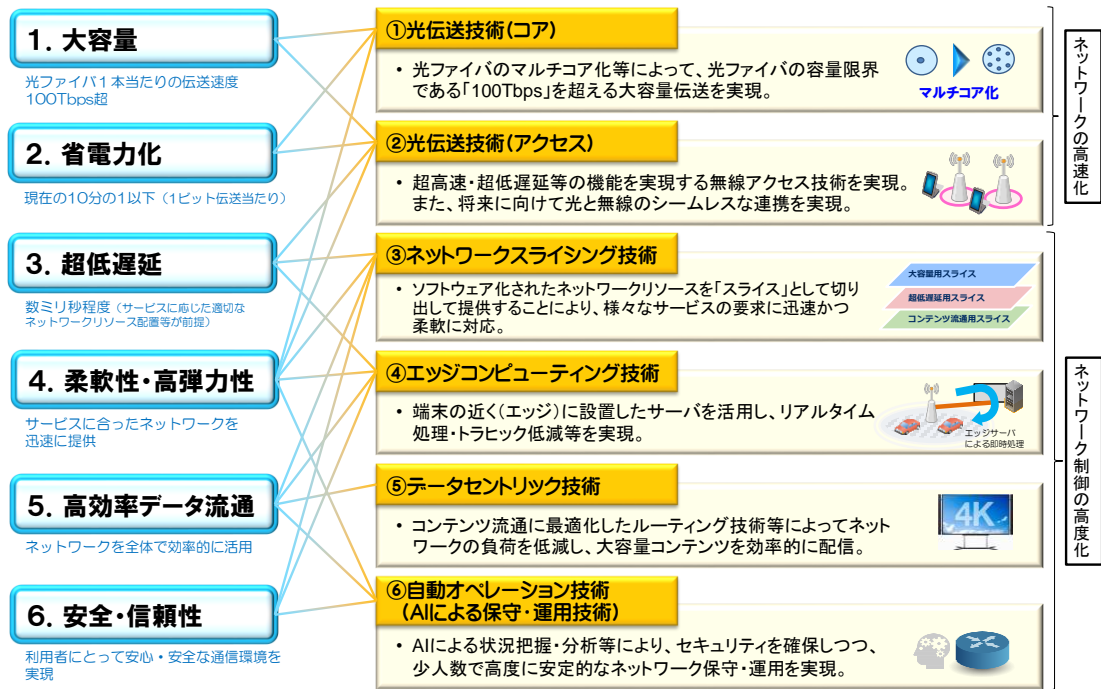
¹⁵ 光ネットワークの伝送容量の伸縮性を向上させることを言う。

以上述べてきたように、ネットワークインフラはハードウェア領域で高速化等を実現していくと同時に、ネットワーク機能のソフトウェア化の進展に伴い、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し、さらにその関わり方が複雑化していくことが想定される。このような場合においても、端末も含めてネットワークインフラ全体として End to End で「安全・信頼性」を確保していくことが重要であることは言うまでもない。

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

3.5 節で述べた 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要求条件を実現するためには、「ネットワークの高速化」を実現する「①光伝送技術(コア)」及び「②光伝送技術(アクセス)」、「ネットワーク制御の高度化」を実現する「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」及び「⑥自動オペレーション技術 (AI による保守・運用技術)」が鍵となる(図 4-1)。

本章では、これらの主要技術によって実現されるネットワークの機能や、導入に当たっての課題、今後の推進方策等について述べる。さらに、これらの新しい技術を実現する上であわせて検討すべき課題として、「制度面の課題」や「ネットワーク技術の高度化と国際連携」についても述べる。



＜図 4-1＞将来のネットワークインフラに対する主な要求条件と主要技術

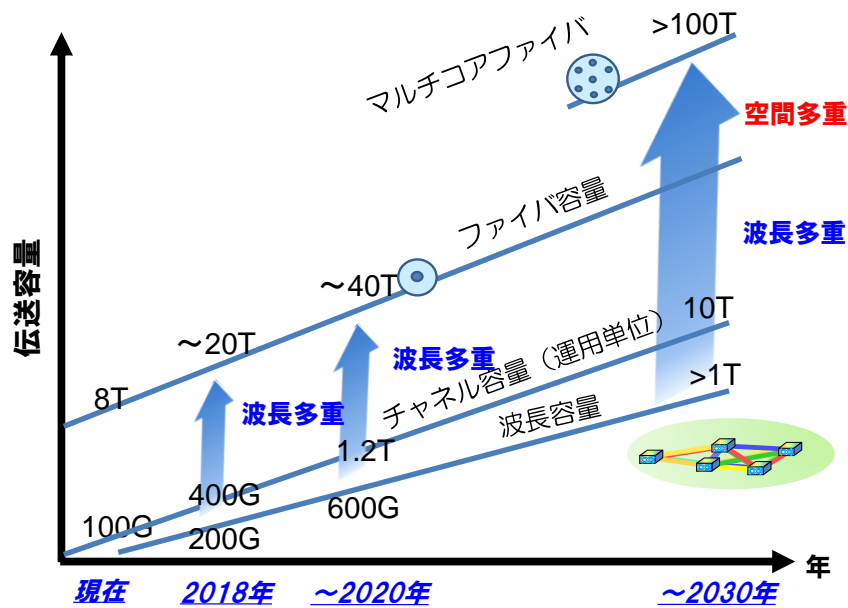
4.1 ネットワークの高速化

① 光伝送技術 (コア)

2030 年頃には、コアネットワークを流通するトラヒックが数百 Tbps から最大数十 Pbps にまで増大し、100Tbps という従来の光ファイバの容量限界を克服する必要性が指摘されている。そのため、コアネットワークに適用する光伝送技術については、図 4-2 に示すように、波長多重だけでなく、空間多重を活用することによって、光ファイバ当たりの伝送容量の向上を図ることが必要である。

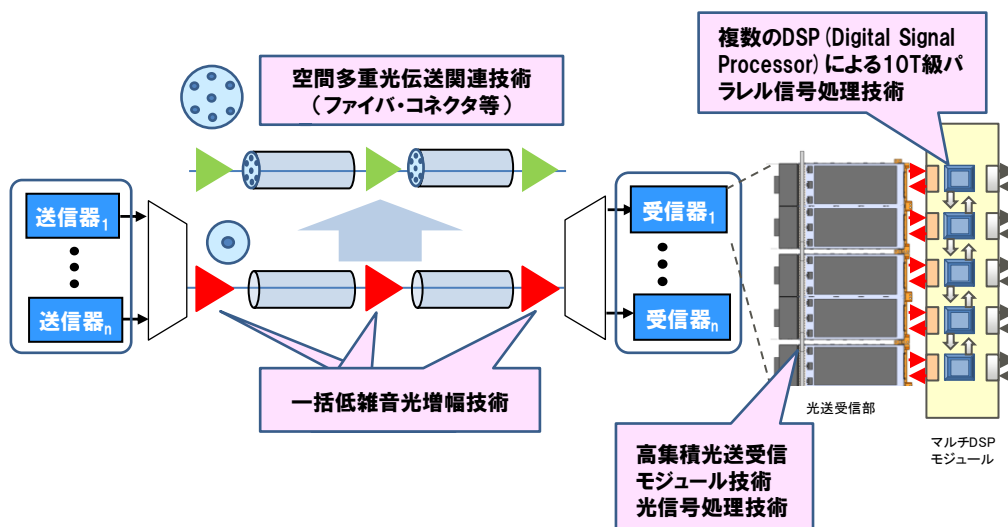
具体的には、空間多重を活用した超並列多重化の実現に必要な技術（空間多重光伝送関連技術、高集積光送受信モジュール技術、光信号処理技術等）を産学官連携の取組によって確立し、テストベッド検証等を含む実用化開発を経て、コアネットワークへ適用していくことが考えられる（図4-3）。

同時に、情報量が爆発的に増大する中で、ネットワーク設備を単純に増強していくと、消費電力が増大するほか、装置の設置スペースを確保することが困難になる。このため、光伝送技術を高度化することにより、消費電力を抜本的に抑制すると同時に装置の小型化を実現していくことが必要となる。



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1回）篠原構成員提出資料

<図4-2> コアネットワークに求められる伝送容量



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1回）篠原構成員提出資料

<図4-3> 超並列多重化の実現に必要な技術の例

なお、表 4-1 に示す Open ROADM MSA 等に見られるように、昨今、光伝送関連装置のオープン化や、マルチベンダ化が進展しつつある。このようなコミュニティの動向は必ずしも明らかではないが、マルチベンダ化が進展すれば、場合によっては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になってくると考えられることから、動向に留意すべきである。

＜表 4-1＞光ネットワークのオープン化動向

名 称	推進機関	発足日	参画機関	備考
Open ROADM MSA	AT&T	2015 年 4 月	Ciena、Fujitsu、Nokia、SK Telecom、Orange S.A.、Rostelecom、Cisco 計 7 機関	マルチソース化、相互接続性を考慮し、トランシーバとして CFP-DCO、CFP2-ACO/DCO (100G wEFEC) を適用。ネットワークモデル、光伝送仕様様が詳細に検討され公開されている。
Telecom Infra Project (TIP)	Facebook	2016 年 2 月	Intel、Nokia、Acacia、AVDA などの伝送装置、部品ベンダ、DT、SK Telecom などの通信事業者、合計 77 機関	モバイルアクセスのバックホールも視野に入れたオープンパケットトランスポートの仕様を策定
Open Line System	Microsoft	2016 年 2 月	メンバ明示なし	Microsoft が所有する伝送路を模擬したテストベッドで CFP2-ACO を用いた伝送評価を実施
OpenConfig	Google		Google、Microsoft、AT&T、BT が中心に策定。Facebook、Verizon、Comcast、Apple、DT などオペレータ計 17 機関	BGP (Border Gateway Protocol) の Yang モデルを事業者主導で規定。optical transport devices も Yang モデル規定中

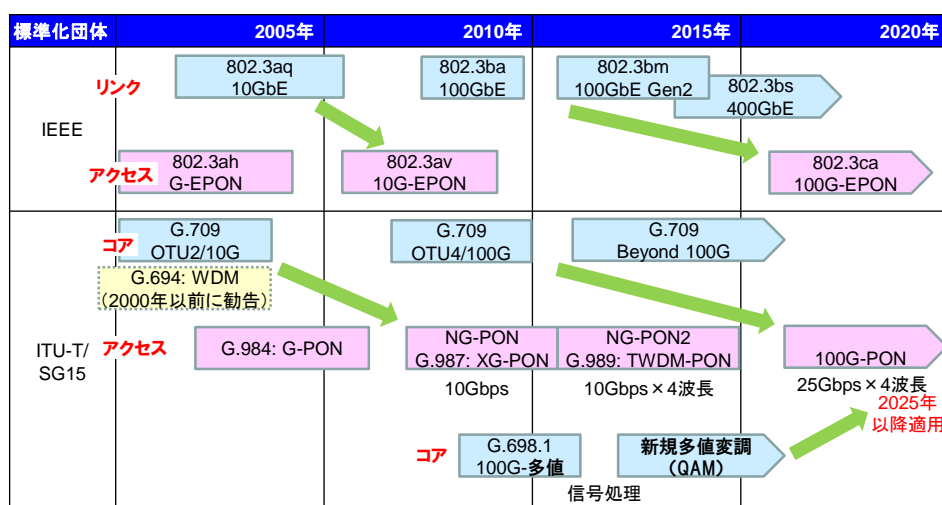
出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」（第 4 回）加藤構成員提出資料

② 光伝送技術（アクセス）

1.3 節でも述べたが、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になってくるものと考えられる。

光伝送技術に関する国際標準化の経緯を図 4-4 に示すが、光アクセス回線は、

コアネットワークの光伝送技術の適用を図ることによって高速化を実現してきている。また、光アクセス回線には、ネットワーク構成が場所によって異なる上、光コアネットワークに比べてより効率的なネットワーク構築が要求されるという特徴がある。このため、例えば、多値変調¹⁶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回線の利用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し、低シンボルレートの低廉なデバイスによる高速化を図るなど、光伝送技術（アクセス）の「大容量化」を効率的に実現していく必要がある。



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）横田構成員提出資料

<図 4-4> 光伝送に関する国際標準化の経緯

光アクセス回線は、無線アクセス回線と比較して十分高速であるという前提で設計されている場合が多いが、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この前提に変化が生じ、デジタル信号処理に要する光信号帯域が不足する可能性が指摘されている。このため、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・無線変換技術を確立することによって、「省電力化」と同時に、デジタル信号処理に要する光信号帯域を大幅に低減させていくことが考えられる（図 4-5）。また、今後、サービスの要求に応じて、End to Endでネットワークを効率的に活用するためには、ネットワーク機能のソフトウェア化だけでなく、光アクセス回線の高弾力性も必要になってくると考えられるため、その観点からもシームレスな光・無線変換技術は必要である。

¹⁶ 光信号の振幅と位相の両方に情報を乗せる変調方式。（出典：中沢正隆「超多値コヒーレント QAM 光伝送技術」，レーザー研究 2009年3月，Japan Science and Technology Agency）

- キャリア周波数の変換技術を確立することで、光信号からマイクロ波・ミリ波・テラヘルツ波までの無線信号を自在に発生できる(装置の簡略化)
 - セルサイズやキャリア周波数に依存しない無線アクセス方式を実現
 - 光ネットワークと無線ネットワークを区別せずに構築可能

方式	ブロックダイア	概要
アナログ Radio over Fiber (RoF)		RF信号をそのまま光に変調し、受信側では受光器で電気RF信号に戻す
デジタル Radio over Fiber (DRoF)		RF信号をサンプリングし、デジタル信号を光に変調し、受信側では受光後にアナログ(RF信号)に戻す
フルコヒーレント 通信		ベースバンド信号を光でIQ変調を行い、受信側では光から電気への周波数変換器(光→電気)でダウンコンバートする

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)横田構成員提出資料

<図 4-5>フルコヒーレント通信

米国ケーブルラボ¹⁷においても、光コヒーレント通信が今後に向けた研究テーマとして取り上げられており、ケーブルアクセスネットワークでの数 Tbps～数十 Tbps の伝送速度が目標に掲げられ、2016年6月には最大 256Gbps の伝送容量を確保する実験に成功¹⁸している。

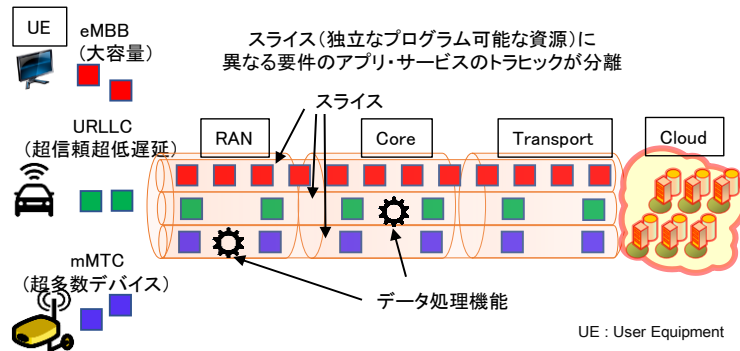
4.2 ネットワーク制御の高度化

③ ネットワークスライシング技術

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する技術であり、イメージは図 4-6 のとおりである。

¹⁷ ケーブルサービスにかかわる技術研究・認定を行うことを目的として 1998 年に米国にて設立された非営利団体。

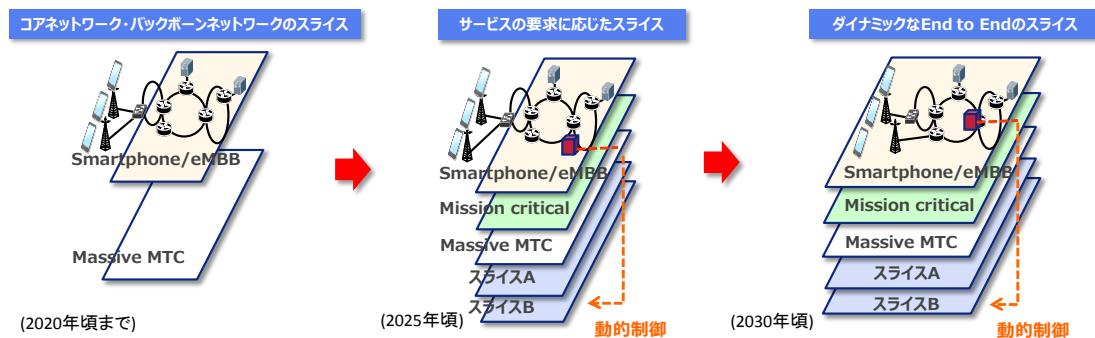
¹⁸ 出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」(第3回)田口構成員提出資料



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

<図 4-6> ネットワークスライシング技術

今後、多様化・高度化が進むユーザ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自由度の拡大に対する要求が増大していくことが想定される。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可能となり、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していくことが想定される(図 4-7)。その際、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していくことが必要である。



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1回)内田(義)構成員提出資料より作成

<図 4-7> ネットワークスライシング技術の進展イメージ

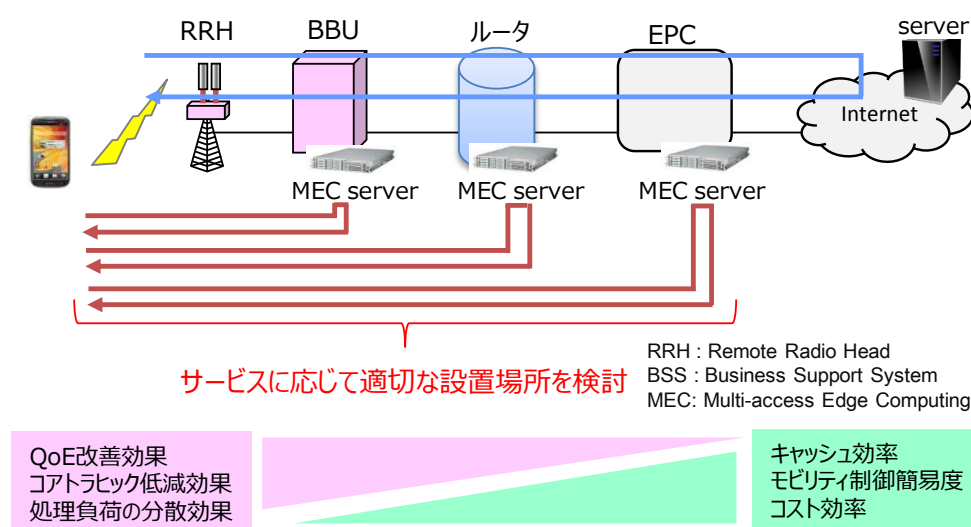
また、ネットワークのソフトウェア化に伴い、ネットワークがマルチベンダ構成となり、各種設備の膨大かつ多種多様な性能情報から End to End でネットワーク品質を瞬時に把握することが困難になることが想定される。このため、特定の情報から品質状態や劣化箇所を把握する技術開発が必要である。

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も重要であり、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、その責任主体を明確にしていくことが必要になってくる。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、例えば、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の全体マネージメントを行う機能が不可欠となる。

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、ローカルに閉じた形で通信処理やデータ処理を行うことにより、超低遅延のリアルタイムサービスや通信トラヒックの分散によるネットワーク負荷の軽減等を実現する技術であり、イメージは図 4-8 のとおりである。

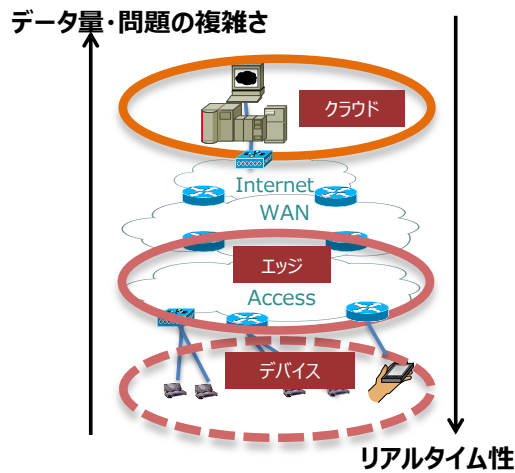


出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」（第1回）尾上構成員提出資料より作成

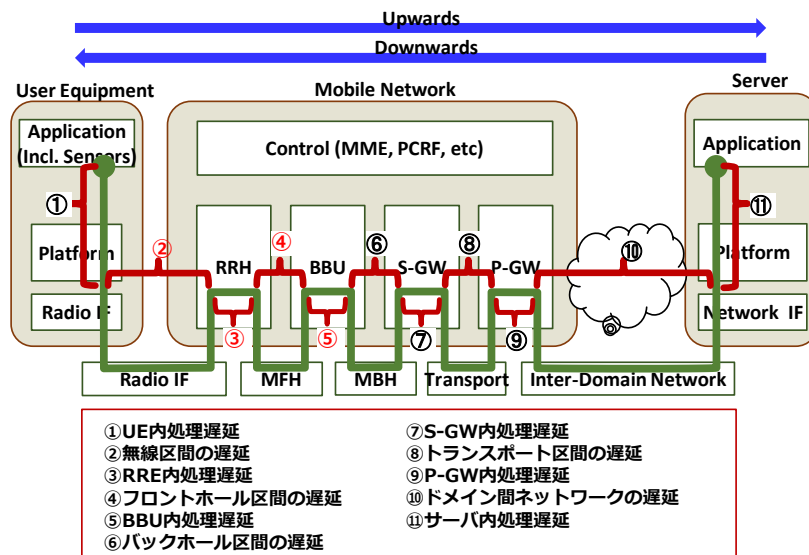
<図 4-8> エッジコンピューティング技術

今後、自動走行、遠隔制御等の超低遅延のリアルタイムサービスの実現に向けて、ネットワークに対して End to End で数 msec 程度の低遅延化の要求が増加していくことが想定される。また、大量のデータを扱う IoT サービス等の実現のためには、ネットワークによる通信処理やデータ処理の効率化が求められることになる。ネットワークインフラがこれらの要求に対応していくためには、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となる。

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し、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（図 4-9）や、ネットワークの物理的な区間ごとの遅延配分モデル（図 4-10）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していくことが想定される。



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1回）内田（義）構成員提出資料
 <図 4-9>クラウド・エッジ・デバイスでの機能分担の最適化

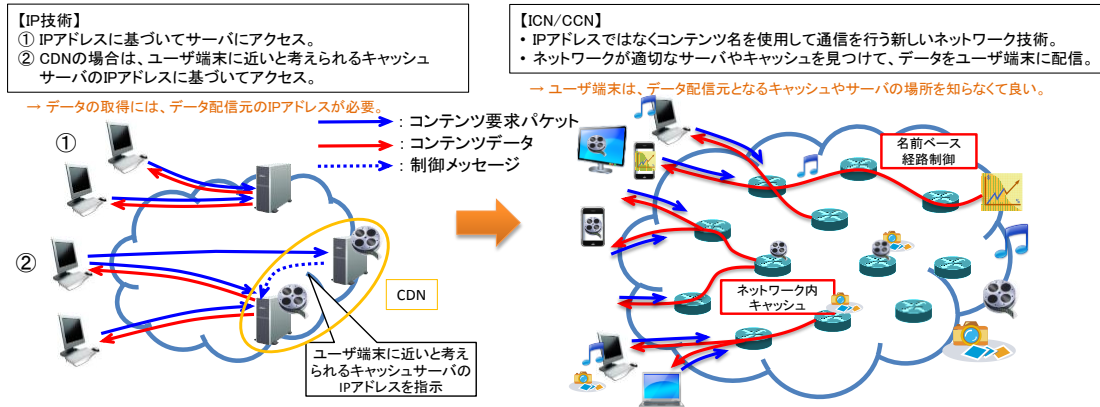


出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」（第3回）前田構成員提出資料
 <図 4-10>ネットワークの遅延区間の分解概念図の例

さらに、エッジコンピューティング技術が進展していく際には、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ってくると考えられる。このような配置場所の調整は、基本的にはインフラ事業者とサービス提供事業者等の当事者間で行うものと考えられるが、関係事業者間の連携・協調に資するため、類型プロファイルの整理や標準化等の検討が必要になってくると考えられる。

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するための技術であり、イメージは図 4-11 のとおりである。

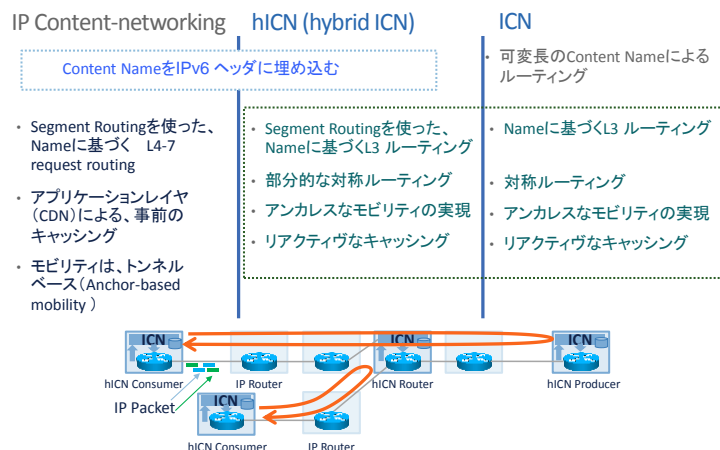


＜図 4-11＞データセントリックネットワークのイメージ

2030 年以降には、高精細映像の配信等を始め、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にするためには、膨大なトラフィックを効率的に収容するための新しい技術が必要である。

そのため、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していくことが必要である。

なお、IP 技術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だと考えられ、IP 技術のハイブリッド方式の一つとして「hybrid ICN」が検討されている（図 4-12）。



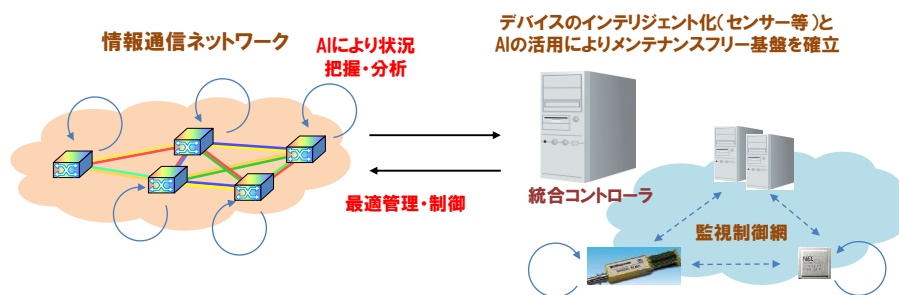
出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」（第 4 回）シスコシステムズ提出資料

＜図 4-12＞IP Content-networking から ICN への段階的移行の例

また、データセントリック技術の進展に合わせて、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連携することによって、トラヒックの地域分散処理と通信の高品質化を同時に実現していくことが可能となる。

⑥ 自動オペレーション技術（AI による保守・運用技術）

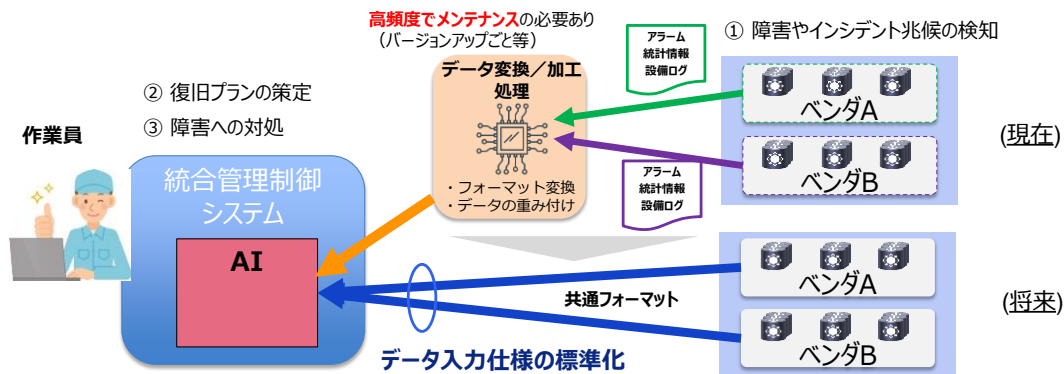
AI による状況把握・分析等により、ネットワークインフラが高度化・複雑化する中においても、少人数で高度に安定的なネットワーク保守・運用を実現するための技術であり、イメージは図 4-13 のとおりである。



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1回）篠原構成員提出資料より作成
＜図 4-13＞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、ネットワークインフラの運用のマルチプレーヤー化、ネットワークの物理的機能と論理的機能の分離、通信機器・機能の分散配置・動的再配置等により保守・障害対応が複雑化していく。一方、少子高齢化によりネットワークの保守・運用を担う人材が急速に減少していくことが予想されていることから、確実に高度なネットワークインフラ運用を少人数で実現することが必要となる。

ネットワークインフラの運用管理に関するデータの増加や複雑化が進む中、現状ではベンダごとにデータ仕様が異なる状況である。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・効率化が不可欠である。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であると考えられる(図 4-14)。



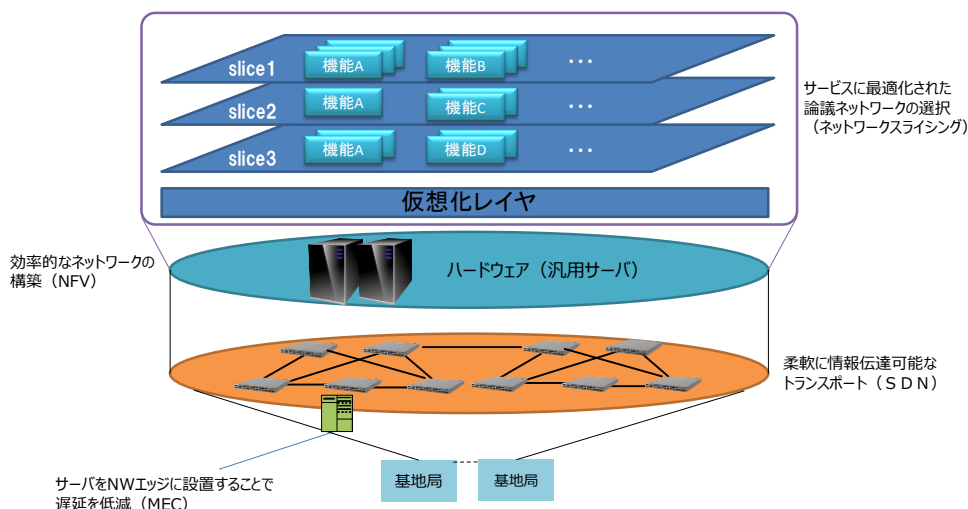
出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」（第5回）内田（義）構成員提出資料より作成
 <図 4-14> AI に対するデータ入力仕様の標準化イメージ

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合わせて収集することが必要である。もとより、通信事故等は発生させるべきではなく、そのようなデータは大量には存在しないと考えられることから、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となる。

4.3 制度面の課題

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・提供される従来のネットワーク形態から、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していくことが想定される（機能ベースで管理・提供されるネットワークの構成例を図 4-15 に示す。）。

コアネットワークには、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



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1回)尾上構成員提出資料

＜図 4-15＞機能ベースで管理・提供されるネットワークの構成例

例えば、IoTの本格展開によって「ヒト」向けのネットワークから「ヒト」と「モノ」が共存するネットワークへと変化していくことが想定されているように、電気通信設備の構成、プレイヤー、機能分担等が変化していくと考えられる。このため、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であると考えられる。その際には、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である。

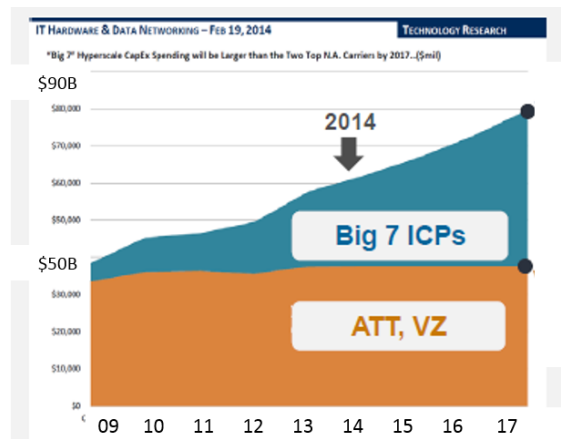
あわせて、ネットワークインフラの保守・運用に携わる人材に求められるスキルが変化してきていることを踏まえ、「電気通信主任技術者」や「工事担任者」等の技術基準に関連する制度についても検証を行うことが必要であると考えられる。

4.4 ネットワーク技術の高度化と国際連携

ネットワークインフラを構成するネットワーク機器については、その市場構造に変化が見られつつある。従来は、ネットワーク機器の設備投資は、電気通信事業者によるものが大部分を占めていたが、近年では、OTT (Over The Top)¹⁹と呼

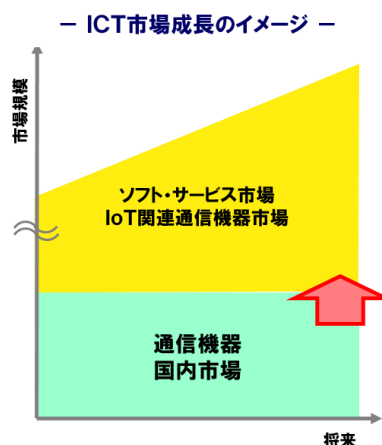
¹⁹ 動画・音声などのコンテンツ・サービスを提供する事業者、もしくはそれらコンテンツ・サービスそのものこと。インターネットサービスプロバイダ (ISP) や通信事業者とは関係のない企業が運営し、特に大量のデータ通信が発生するサービスについて OTT と呼ばれることが

ばれるサービス提供事業者²⁰によるものの割合が増大してきている。図 4-16 は、北米におけるインフラ事業者（我が国における電気通信事業者に相当）である AT&T や Verizon による設備投資額と、OTT を代表する Big 7 ICPs²¹による設備投資額を比較したものであるが、インフラ事業者による設備投資額がほぼ横ばい傾向で推移しているのに対し、OTT による設備投資額が急速に増大してきていることが分かる。



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1回）篠原構成員提出資料
 <図 4-16> 北米における通信キャリアと OTT の設備投資額の推移

こうしたネットワーク機器を取り巻く市場環境の変化に伴い、ネットワーク機器開発に対する OTT の影響力が増大し、ソフトウェアによる通信機能やサービスの提供割合が増加しつつある（図 4-17）ほか、オープンソースの活用による業界団体でのネットワーク機器の調達仕様の共通化が進みつつある（図 4-18）。

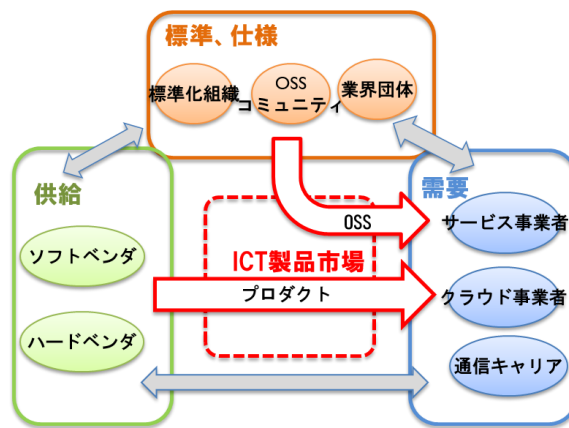


出典：総務省「将来のネットワークインフラに関する研究会」（第3回）片山構成員提出資料
 <図 4-17> ICT 市場成長のイメージ

多い（出典：KDDI 株式会社用語集）。

²⁰ 電気通信事業者が有するネットワークを活用してユーザにサービスを提供する事業を行う者。

²¹ Google、Apple、Microsoft、Amazon、Facebook、IBM 及び HP(Hewlett-Packard)の 7 社。



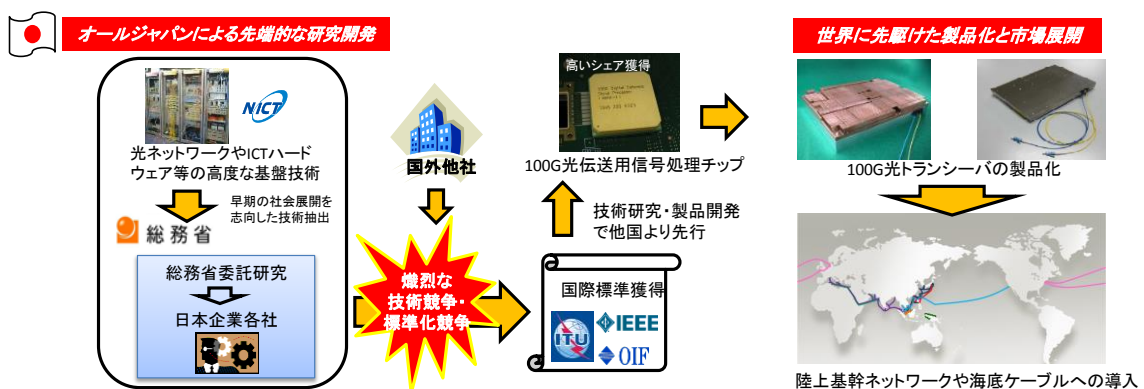
OSS: Open Source Software/System

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1回）篠原構成員提出資料

<図 4-18> ネットワーク機器に関する調達仕様の共通化イメージ

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りつつある中で、ネットワーク技術に関し、ものづくりの観点からは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であると考えられる。

特に、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であると考えられる（図 4-19）。



<図 4-19> 100Gbps 光伝送技術の市場展開事例

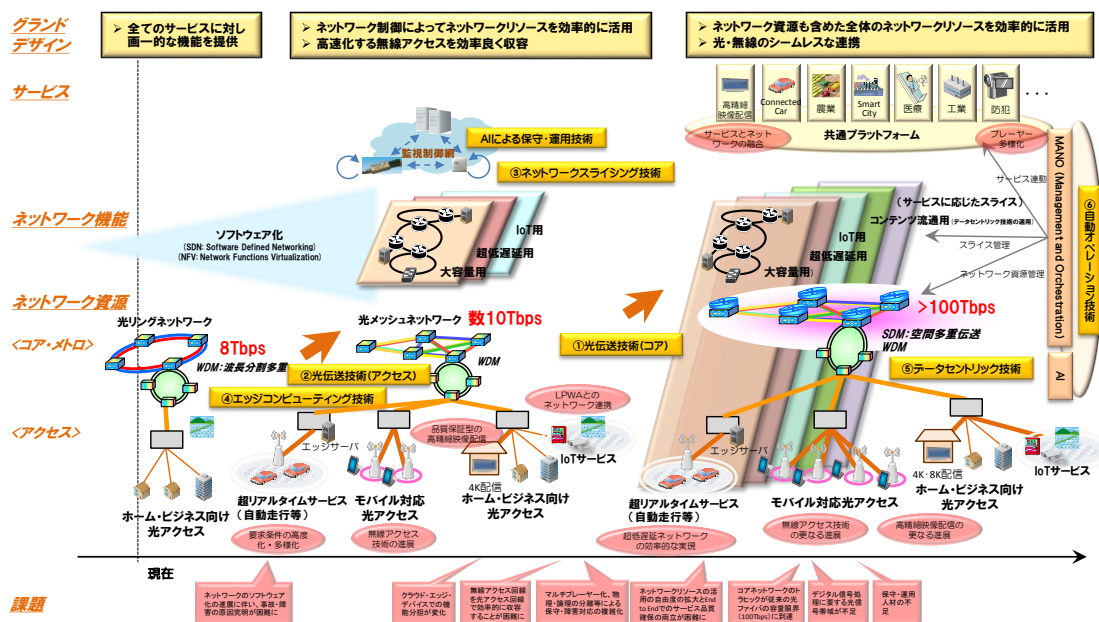
一方、ソフトウェアの領域については、ネットワーク機器の調達仕様の共通化やオープンソースの活用等がグローバルに進んでいくことが想定されるため、海外で生まれたイノベーションをいち早く国内に取り入れるという観点も重要で

ある。その際には、例えば、自ら実施したコード改修をオープンソースのコミュニティにフィードバックするなど、その成果についても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という観点も重要である。

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であると考えられる。

[参考] ネットワークインフラの進展と課題

4.1 節から 4.4 節までに記載したネットワークインフラ技術の進展イメージをまとめると、図 4-20 のとおりである。



<図 4-20> ネットワークインフラ技術の進展イメージ

第5章 将来のネットワークインフラの発展イメージ

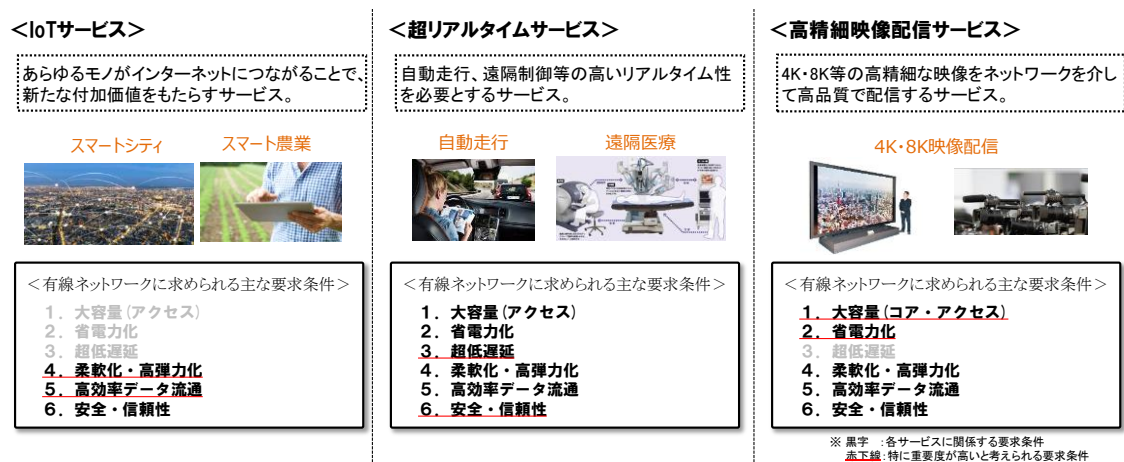
本章では、2020年から2030年頃までのネットワークインフラの発展イメージをいくつかの仮定の上でシミュレーションした結果をまとめた。具体的なユースケースを想定し、今後のネットワークの技術革新によるメリットをできるだけ多くのユーザに還元するという観点を重視した上で、有線ネットワーク側に求められる技術的な対応について検討を行った。

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、

- 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「IoT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「超リアルタイムサービス」
- 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「高精細映像配信サービス」

の3つのサービスを設定した。

図5-1に示すように、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であると考えられる。



＜図 5-1＞検討の対象とした具体的なユースケース

表 5-1 に3つのユースケースごとに、第4章で将来のネットワークインフラを実現するために必要な主要技術として挙げられた6つの技術との対応関係を整理した。

＜表 5-1＞ユースケースと技術課題の対応

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。

5.1 IoT サービス

5.1.1 サービスの進展に関する仮説

情報通信審議会「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について」第二次中間答申(平成 28 年 7 月 7 日)においては、生活に身近な分野にも IoT の利便性が浸透すると考えられる時期として 2025 年頃が想定されており、その時期には農業やインフラ管理など、現在のモバイル網のエリア外にも様々なサービスが広がっていくことが想定される。

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²²が、今後は、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中で、農地のような人口密度が低い場所における通信需要の拡大に応じていくことが必要になってくる。

1.2.1 節でも述べたとおり、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 億台にまで増加することが予想されている。2025 年頃には、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²³される。

²² 出典：総務省「携帯電話の基地局整備の在り方に関する研究会」報告書(平成 26 年 3 月 31 日)

²³ 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 台当たり平均 5.4kbps と仮定して算出。(Cisco VNI Mobile 2017 年より MRI 推計)

また、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²⁴の IoT 端末が LPWA (Low Power Wide Area) 等を介してネットワークに接続され、全国総計で 40Gbps²⁵程度の通信需要が生じるものと推計される。

そして、2030 年頃には、農業やインフラ管理など、現在のモバイル網のエリア外の場所にも様々なサービスが広がり、全国のあらゆる場所が IoT の通信エリアになっていくものとした。

5.1.2 ネットワーク側に求められる技術的対応

5.1.1 節で設定したようにサービスが進展していくためには、既存のモバイル網だけでなく、LPWA 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するといった対応や、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 (Mobile Network Operator)、MVNO (Mobile Virtual Network Operator) 及びサービス提供事業者の協調によってトラヒックを効率的に収容するといった対応が求められていくものと考えられる。

また、サービスの進展に対し、ネットワーク側には、エッジにおけるプライバシー管理、セキュリティ制御、上りトラヒックの一次処理など、地域内に閉じた通信処理を効率化していくといった対応が求められていくものと考えられる。

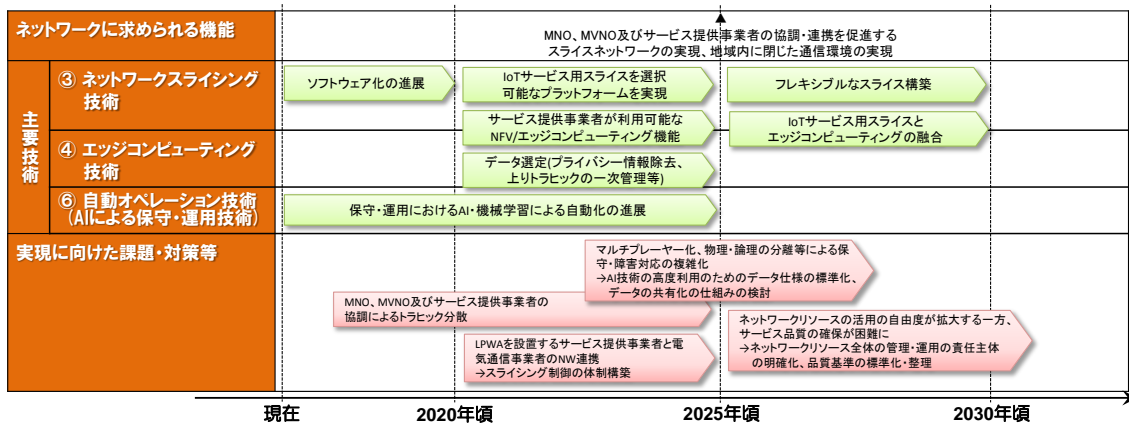
以上を踏まえ、ネットワーク側に求められる技術的対応としては、以下のようなものが考えられる。また、主要技術に関するネットワーク発展のロードマップは、図 5-2 のとおりである。

【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、トラヒ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、上りトラヒ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。

²⁴ モバイル網の通信エリア外面積は国内で約 113,400km²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)

²⁵ IoT 端末のトラヒックは、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 台当たり平均 5.4kbps と仮定して算出。(Cisco VNI Mobile 2017 年より MRI 推計)

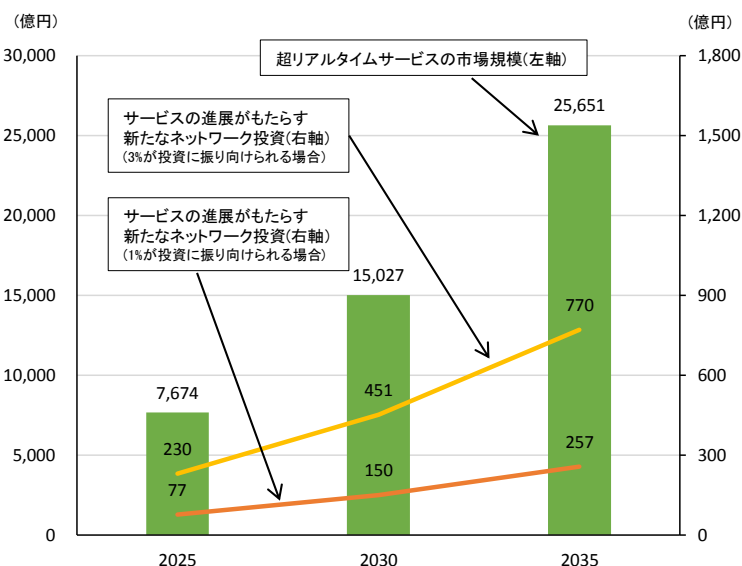


<図 5-2> ネットワーク発展のロードマップ (IoT サービス)

5.2 超リアルタイムサービス

5.2.1 サービスの進展に関する仮説

自動走行、遠隔制御等を始めとする高度なリアルタイム性を必要とするサービスは、今後、急速に進展していくことが見込まれており、その市場規模は、2025年には7,600億円程度、2030年には1兆5,000億円程度にまで拡大するものと推計されている(図5-3)。そして、これらの超リアルタイムサービスの市場の拡大がネットワークインフラへの新たな投資を生み出すという循環が形成されると考えられる。「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450億円程度と推計される。



出典：ポスコ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

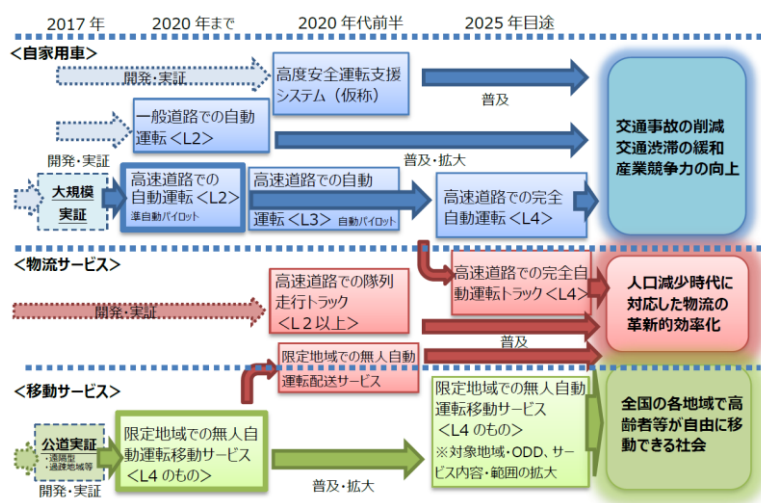
<図 5-3> 超リアルタイムサービスの市場規模(推計)

中でも、自動走行については、「官民 ITS 構想・ロードマップ 2017」(平成

29年5月30日高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部決定)においては、2025年の完全自動運転を見据えた市場化・サービス実現のシナリオが示されている(図5-4)。

同ロードマップによれば、2020年頃には、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していくとされている。

また、2025年頃には、自動走行サービスの市場化・普及が進展していくことが期待される。そして、2030年頃には、ロボットの遠隔制御、遠隔医療、街中でのVRの利用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していくものとした。



出典：官民 ITS 構想・ロードマップ 2017

<図5-4> 2025年完全自動運転を見据えた市場化・サービス実現のシナリオ

5.2.2 ネットワーク側に求められる技術的対応

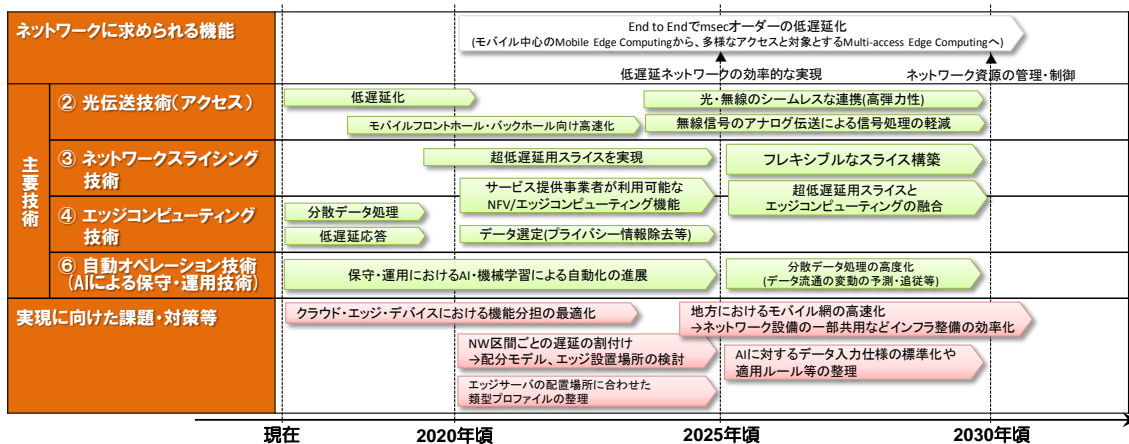
5.2.1節で設定したようにサービスが進展していくとした場合に必要となる技術的対応について考察した。まず、超リアルタイムサービスの導入に向けて初期の段階では、電気通信事業者とサービス提供事業者が共働でネットワークの機能を設計し、エッジサーバを随時導入していくことが想定される。

また、サービスの進展に対し、ネットワーク側には、クラウド/エッジ/デバイスにおける機能分担の最適化を図るといった対応や、電気通信事業者が予め定めた複数の種類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利用できる環境を整備するといった対応が求められていくものと考えられる。

以上を踏まえ、ネットワーク側に求められる技術的対応としては、以下のようなものが考えられる。また、主要技術に関するネットワーク発展のロードマップは、図5-5のとおりである。

【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。



<図 5-5> ネットワーク発展のロードマップ (超リアルタイムサービス)

5.3 高精細映像配信サービス

5.3.1 サービスの進展に関する仮説

1.2.3 節でも述べたとおり、2020年には4K対応テレビ受信機の世帯普及率が50%に達すると推計されており、4KのBS放送開始が予定されている2018年を皮切りに4Kコンテンツの素材が増加していくことが想定される。

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していくことが想定される。

そして、2030 年頃には、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となり、1,000 万人程度のユーザが同時に 4K・8K のコンテンツを視聴できるようになるものと設定した。この場合、コアネットワークを流通するトラヒックは 3,000Tbps 程度²⁶にまで、固定系のアクセスネットワークを流通するトラヒックは数 Gbps 程度²⁷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ヒックは 100Gbps 程度²⁸にまで、それぞれ増大するのではないかと考えられる。

5.3.2 ネットワーク側に求められる技術的対応

5.3.1 節で設定したようにサービスが進展していくためには、ネットワーク側には、大容量化によって爆発的に増大するトラヒックを安定的に収容するという対応が求められていくものと考えられる。さらに、将来的には、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用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するという対応も求められていくものと考えられる。

以上を踏まえ、ネットワーク側に求められる技術的対応としては、以下のようなものが考えられる。また、主要技術に関するネットワーク発展のロードマップは、図 5-6 のとおりである。

【ネットワーク側に求められる技術的対応】

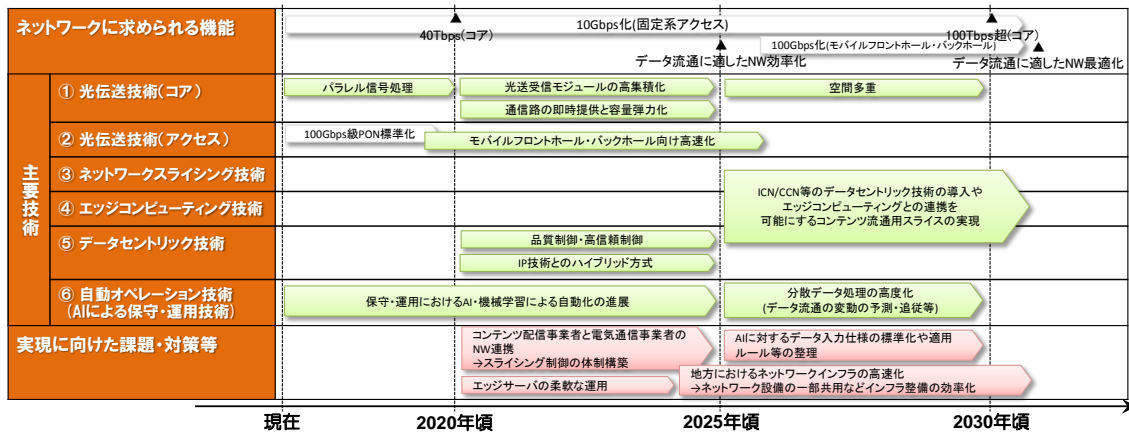
- 1 ファイバ当たりのコアネットワークの伝送容量について、2020 年頃までに 40Tbps、2030 年頃までに 100Tbps 超を実現。
- 固定系アクセスネットワークの伝送容量について、10Gbps を実現。
- モバイルフロントホール・バックホールの伝送容量について、100Gbps を実現。
- 2030 年頃に最大 3,000Tbps 程度になると想定されるトラヒックを効率的に収容するため、ICN/CCN 等のデータセントリック技術の導入やエッジコン

²⁶ 1,000 万人程度のユーザのニーズに応じて 200Mbps 程度の伝送レートで高精細な映像を配信する場合、新たに発生するトラヒックは 2,000Tbps 程度になることが想定される。さらに、このうちの 0.1%のユーザに対しては非圧縮の 100Gbps 程度の伝送レートでより高精細な映像を配信する場合、さらに 1,000Tbps 程度のトラヒックを増大させることとなり、新たに発生するトラヒックは 3,000Tbps 程度になることが想定される。

²⁷ 200Mbps 程度のレートで高精細な映像を最大 32 ユーザによるシェアドアクセス方式で配信する場合、新たに発生するトラヒックは 6.4Gbps 以下になることが想定される。

²⁸ モバイルフロントホールの伝送容量を 160Gbps（出典：5GMF White Paper “5G Mobile Communications Systems for 2020 and beyond”，第 1.01 版（2016 年 7 月 4 日））、このうち動画像の流通に関するトラヒックの割合を 75%（出典：ITU-R “Report ITU-R M.2370”）と仮定すると、モバイルフロントホール・バックホールに必要な伝送容量として 100Gbps 程度が想定される。

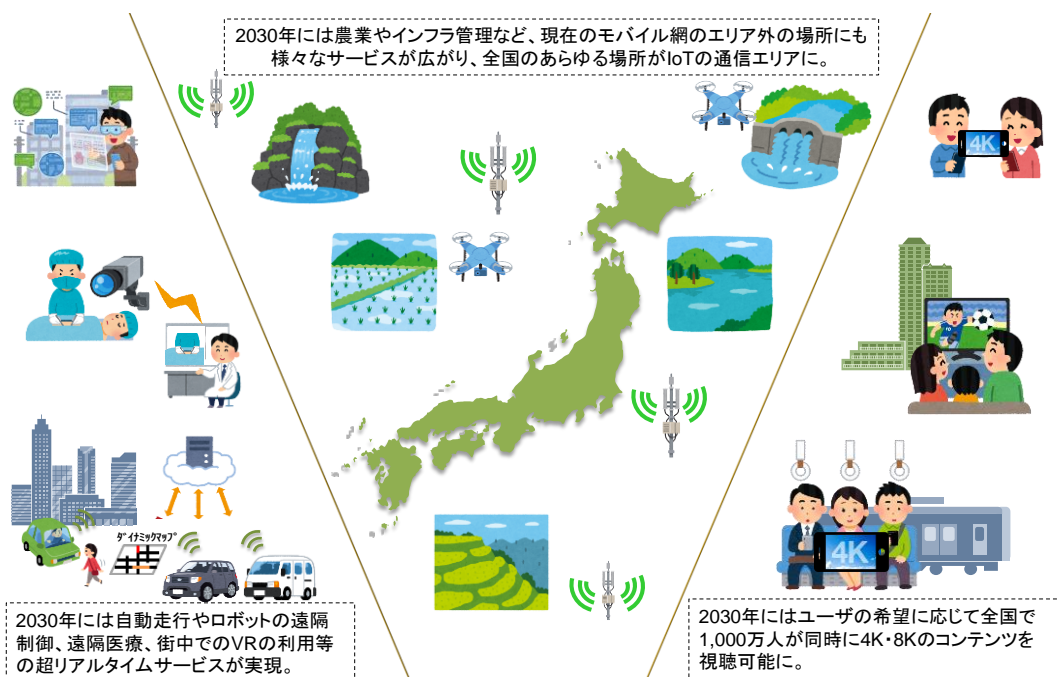
ピューティングとの連携を可能にするコンテンツ流通用スライスを実現。



<図 5-6> ネットワーク発展のロードマップ (高精細映像配信サービス)

5.4 ネットワークインフラの発展によって実現するサービスのイメージ

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 万人のユーザーに対する 4K・8K 映像の高品質な同時配信の実現が想定できる。実現が想定されるサービスのイメージは図 5-7 のとおりである。



<図 5-7> ネットワークインフラの発展によって実現するサービスのイメージ

これらのサービスの実現に向けては、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である。

そのためには、新しいサービスが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であると考えられる。

第6章 将来のネットワークインフラの実現に向けて

将来のネットワークインフラは、少数の電気通信事業者が維持する「情報の流通網」から、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」へと進展していくことが想定される。

そして、その進展を支えるのは技術革新である。我が国が強みを有するネットワーク技術を最大限活かして、今後も世界の先頭を切ってネットワークの高度化に取り組んでいくことが必要である。

同時に、社会システムの神経網であるためには、当然のことながら誰もが安心して安全にネットワークインフラを利活用できる環境を確保することが不可欠である。ネットワーク機能のソフトウェア化が進展し、ネットワークインフラの制御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・信頼性を確保していくとともに、このような関係事業者が将来の新しい通信プラットフォームにおいてWin-Winの関係を築いていく必要がある。

さらに、こうした技術革新の恩恵は、希望する利用者すべてに届くことが重要である。このため、ネットワークの構築や利活用の方法をできるだけ効率化する工夫が求められる。

将来に向けて、ネットワークインフラを取り巻く環境はめまぐるしく急速に変化していくことが予想される。ネットワークインフラの維持を担う様々な立場の機関においては、目の前のことだけにとらわれることなく、将来に向けて技術革新に取り組むとともに、それに伴い直面すると思われる課題を関係者間で早い段階から共有し、準備を進めていくことが重要である。

第1章から第5章にわたって述べてきた将来のネットワークインフラの「社会システムの神経網」への進展を実現していく上で、取り組むべき主な課題等について以下にまとめた。

(1) ネットワークの高度化

将来のネットワークインフラの進展を支えるのは技術革新である。マルチコアファイバ技術、アナログ RoF (Radio over Fiber) 伝送技術等の光伝送技術（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や標準化について今後も産学官が連携して強力に推進していく必要がある。その際、我が国がこれらの分野で将来にわたり国際競争力を確保するためには、単に目先の流行に目を奪われることなく、例えば、シームレスな光・無線変換技術やデータセントリック技術のような将来を見据えたネットワーク技術の研究開発についても取り組んでいくことが重要である。

さらに、ネットワークの構築に当たっては、特にソフトウェアの領域においてオープンソースの活用が必要なケースが増えてきている。最先端のネットワークインフラを効率的に実現し、安定的に維持していくためには、オープンソ

ースを「使いこなす」ことが重要であるが、そのためには仕様の乱立を回避しつつ、重要なオープンソースを見極めてその技術をスピーディーに展開する必要がある、そのための検証の場等を確保することが有効である。しかしながら、我が国の企業等においては、こうした開発コミュニティにおいて技術的な貢献等を通じてプレゼンスを確保していけるような人材が必ずしも十分に確保できていない。このような開発コミュニティに対応する人材の育成が求められる。

(2) 安全・信頼性の確保

ネットワークのソフトウェア化の進展により、サービスを提供するプレーヤー及びネットワーク機器を提供するベンダが多様化し、ネットワーク管理が複雑化していくことが想定される。このような中においても、サービス提供や設備運用の責任主体を明確化することにより、ネットワークインフラの安全・信頼性を確保することが不可欠である。その際、ネットワークの安全・信頼性を担保する技術基準等の制度面の検証も行う必要がある。

また、少子高齢化が急速に進んでおり、近い将来にはネットワークインフラの保守・運用人材が急速に不足していくことが見込まれる中、少人数で確実なネットワーク管理や保守・運用を実現していく必要性が高まっており、AI を有効に活用していくことが有効であると考えられる。そのためにはマルチベンダ化が進んだネットワーク機器間でのデータ流通や、電気通信事業者間でのデータ流通等のためのデータ仕様の標準化等に取り組んでいく必要がある。

さらに、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ことから、今後、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について技術開発や制度面の観点から対応していく必要がある。

(3) 新しいプラットフォームへの対応

ネットワーク機能のソフトウェア化が進展することにより、ネットワークを自由に利用することに対するニーズが高まってくることが予想される。

一方、こうしたニーズに応えつつも、ネットワークインフラは(2)で述べたように安全・信頼性が確保されることが必須である。

このように将来の通信プラットフォームは相反する機能を同時に実現することが求められることになるが、そのためには、ネットワークインフラを管理する電気通信事業者と OTT やサービス提供事業者が、Win-Win の関係を構築できるプラットフォームを実現することが不可欠である。

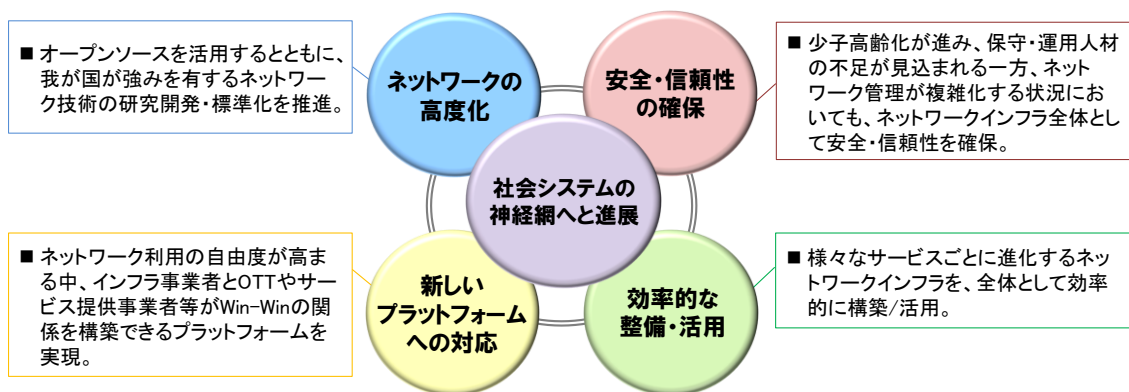
このような関係作りは基本的には事業者間同士で進められるべきことであるが、関係事業者の連携や利用者へのサービス提供が円滑に行われるために最低限必要となる標準化や、ネットワークリソースを適切に管理するための全体の

マネジメント機能の実現に必要なルールづくり等について必要に応じて検討の場を設けることが必要である。

(4) 効率的な整備・活用

今後は、様々なサービスごとに進化していくネットワークインフラについては、その技術革新の恩恵を誰もが享受できる環境を整備することが必要である。そのためには、最先端の技術の開発・導入を加速するための実証環境を実現することや、複数の事業者が連携してインフラを構築すること等を通じて効率的にネットワークインフラを整備していくことが有効である。

また、ネットワークの高度化のみに着目するのではなく、ネットワークを利用する事業者等が、例えば非リアルタイム系の情報をトラフィックが落ち込むタイミングを選んで流通させるなど、ネットワークの利活用の効率化して負荷を軽減するなどの手法を検討する必要がある。



<図 6-1> 将来のネットワークインフラの実現に向けて

「将来のネットワークインフラに関する研究会」構成員 一覧

(五十音順、敬称略)

(座長)	相田 仁	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	内田 真人	早稲田大学 基幹理工学部 情報理工学科 教授
	内田 義昭	KDDI株式会社 取締役執行役員専務
	岡 政秀	株式会社日立製作所 ICT事業統括本部 執行役員 エグゼクティブストラテジスト
	尾上 誠蔵	株式会社NTTドコモ 取締役常務執行役員 <small>【平成 29 年6月 19 日まで】</small>
	片山 泰祥	一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会 専務理事
	加藤 次雄	株式会社富士通研究所 取締役
	河村 厚男	日本電気株式会社 執行役員常務
	黒田 徹	日本放送協会 放送技術研究所 所長
	篠原 弘道	日本電信電話株式会社 代表取締役副社長 研究企画部門長
	島上 純一	株式会社インターネットイニシアティブ 取締役 CTO
	田口 和博	株式会社ジュピターテレコム 上席執行役員
	中尾 彰宏	東京大学大学院 情報学環 教授
	中川路 哲男	三菱電機株式会社 執行役員 情報技術総合研究所 所長
	中村 秀治	株式会社三菱総合研究所 企業・経営部門 副部門長
	中村 寛	株式会社NTTドコモ 取締役常務執行役員 <small>【平成 29 年6月 20 日から】</small>
	前田 洋一	一般社団法人情報通信技術委員会 専務理事
	牧園 啓市	ソフトバンク株式会社 常務執行役員
	三友 仁志	早稲田大学大学院 アジア太平洋研究科 教授
	森川 博之	東京大学 先端科学技術研究センター 教授
	安川 健太	株式会社ソラコム CTO
	横田 潔	沖電気工業株式会社 執行役員 技術責任者
	和田 尚也	国立研究開発法人情報通信研究機構 ネットワークシステム研究所長

「将来のネットワークインフラに関する研究会」 開催状況

- 第1回（平成29年1月24日(火)16:00～）
 - ・研究会の開催について
 - ・構成員からのプレゼンテーション
（内田(義)構成員、尾上構成員、篠原構成員、牧園構成員）

- 第2回（平成29年2月20日(月)16:00～）
 - ・構成員からのプレゼンテーション
（中村構成員、黒田構成員、島上構成員、安川構成員）

- 第3回（平成29年3月17日(金)16:00～）
 - ・構成員・関係者からのプレゼンテーション
（(株)トヨタ IT 開発センター、田口構成員、岡構成員、片山構成員、中尾構成員、前田構成員）

- 第4回（平成29年3月31日(金)10:00～）
 - ・構成員・関係者からのプレゼンテーション
（加藤構成員、河村構成員、中川路構成員、横田構成員、和田構成員、シスコシステムズ合同会社、(一社)日本インターネットプロバイダー協会）

- 第5回（平成29年4月27日(木)16:00～）
 - ・論点整理(案)について

- 第6回（平成29年5月29日(月)16:00～）
 - ・将来のネットワークインフラの発展イメージについて

- 第7回（平成29年6月30日(金)10:00～）
 - ・取りまとめ(案)について