

# Beyond 5G時代の有線ネットワーク検討会 取りまとめ 概要

---

令和2年3月10日  
総務省 総合通信基盤局  
電気通信技術システム課

# 目次

(1) 検討会の概要 ..... 2

(2) Beyond5G時代のネットワークインフラへの期待  
..... 4

# (1) 検討会の概要

---

## 立ち上げの目的

- 近年、フィンランドアカデミーが6G (Beyond 5G) の研究開発プロジェクト「6Genesis」をFlagship Programme Projectsに決定 (2018年4月) したことや、ITU-T SG13において「2030年代に向けたネットワークの在り方に関する検討」(FG NET-2030) が開始 (2018年7月) されるなど、国際的にもBeyond 5G (6G) 実現に向けた検討が活発化。
- 我が国においても、2030年代のBeyond 5G時代を見据えた有線ネットワーク技術について、必要となる要素技術や実現に向けたロードマップ等について官民一体となった検討を行い、戦略性を持った研究開発の推進が必要。

## 検討事項

- Beyond 5G時代に期待されるネットワークインフラの在り方
- それを実現するために求められる新たな要素技術及びそのロードマップ
- 諸外国の動向及び我が国の強み・弱み
- 学術・研究機関等における検討状況
- 戦略的・重点的に取り組むべき分野 等

## スケジュール

令和元年9月 検討会立ち上げ

令和元年10月～12月 構成員プレゼン

令和2年2月 取りまとめ

## 構成員

- 山中 直明 慶應義塾大学 理工学部 教授 (○:主査)  
岡崎 義勝 日本電信電話(株)  
電子情報通信学会NS研究会委員長
- 川西 哲也 早稲田大学 理工学術院 教授  
才田 隆志 日本電信電話(株)【第1回まで】  
釣谷 剛宏 (株)KDDI総合研究所  
電子情報通信学会PN研究会委員長  
PIF技術調査部会幹事
- 中尾 彰宏 東京大学大学院 情報学環 教授  
原井 洋明 (国研)情報通信研究機構  
廣岡 俊彦 東北大学 電気通信研究所 教授  
古川 英昭 (国研)情報通信研究機構  
宮澤 雅典 KDDI(株)  
電子情報通信学会NV研究会副委員長
- 山本 直克 (国研)情報通信研究機構  
吉野 修一 日本電信電話(株)【第2回から】

## (2) Beyond5G時代のネットワークインフラへの期待

---

## 新たな社会像(超スマートでインクルーシブな社会)※

— 生活 (ひと) —	— 産業 (しごと) —	— 公共 (まち) —
 <p>(C) alphaspirt / Adobe Stock <b>感覚通信</b></p>	 <p>(C) phoflanphoto / Adobe Stock <b>工場・農業 完全自動化</b></p>	 <p>(C) metamorworks / Adobe Stock <b>自律 モビリティシティ (信号の無い都市)</b></p>
 <p>(C) Elnur / Adobe Stock <b>身体投影 テレプレゼンス</b></p>	 <p>(C) jim / Adobe Stock <b>感情を 持った車 (車×車、 車×人の会話)</b></p>	 <p>(C) Tiemey / Adobe Stock</p>
 <p>(C) metamorworks / Adobe Stock <b>脳のクラウド化 (偉人の思考を持った バーチャルエージェント)</b></p>	 <p>(C) Sergey Nivens / Adobe Stock <b>地上・宇宙連携通信</b></p>	 <p>(C) Sergii Figumyi / Adobe Stock <b>ダイヤの 無い電車 (需要に応じた 自動運行)</b></p>
 <p>(C) archy13 / Adobe Stock <b>記憶・体験 の映像化</b></p>	 <p>(C) chesky / Adobe Stock <b>デジタルツイン (仮想空間での シミュレーション)</b></p>	 <p>(C) dxb13 / Adobe Stock <b>オムニ・コネクティビティ (陰影地域ゼロ)</b></p>
 <p>(C) Photobank / Adobe Stock <b>遠隔義体 (脳波による機器操作 × 感覚通信)</b></p>		

※海外での議論動向等を参考に事務局にて作成

ニーズ

## 「ニーズ」と「シーズ」の相乗効果により新たな社会を実現

シーズ

### 【社会課題】

- 少子高齢化
- エネルギー枯渇
- 自然災害の激甚化
- サイバー攻撃

### 【欲求】

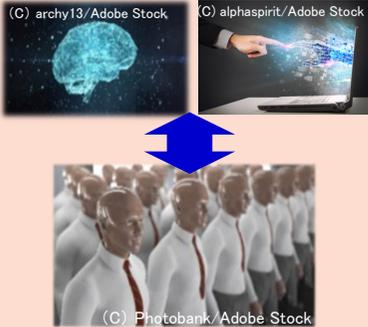
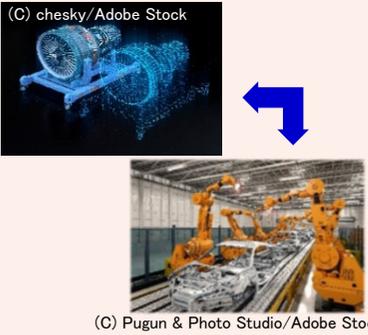
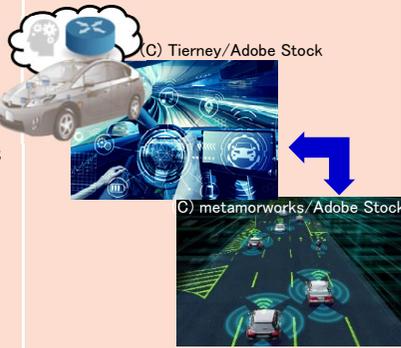
- 超高臨場感
- 誰でも・どこでも
- 安心・安全
- 快適

etc

### 【要素技術】

- 大容量
- 省電力
- 超低遅延
- 柔軟性
- 高効率
- 安全・信頼性
- 自律性

etc

ユースケース(一例)	期待効果	技術課題
<ul style="list-style-type: none"> <li>・感覚通信</li> <li>・身体投影テレプレゼンス</li> <li>・記憶・体験の映像化</li> <li>・脳のクラウド化</li> <li>・遠隔義体</li> </ul> <p>etc</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 少子高齢化、労働力不足への対応</li> <li>✓ 超高臨場な社会の実現</li> <li>✓ 快適な社会の実現</li> </ul> <p>etc</p>	<p>人の思考や五感情報、周辺環境等の膨大かつ複雑なデータをサイバー空間とフィジカル空間の間でリアルタイムに違和感なく高精細に送受信するための技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 超大容量通信(ペタビット級)</li> <li>➢ 超低遅延通信(サブミリ秒級)、完全同期</li> <li>➢ 自律創発性(ゼロタッチ、NW知能化)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・工場・農業の完全自動化</li> <li>・デジタルツイン</li> </ul> <p>etc</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 少子高齢化、労働力不足への対応</li> <li>✓ エネルギー枯渇への対応</li> <li>✓ サーバー攻撃への対応</li> <li>✓ 安心・安全な社会の実現</li> </ul> <p>etc</p>	<p>建設機械、監視カメラ、センサなどの膨大な量のデータを遅延なくかつ限られた電力で伝送するための技術や、サイバー空間上でフィジカル空間を完全再現し、シミュレーションや検証をするための技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 超低遅延通信(サブミリ秒級)</li> <li>➢ 低消費電力通信(サブミリW級)</li> <li>➢ 安全・信頼性(自動検証)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・自律モビリティ・シティ</li> <li>・感情を持ったクルマ</li> <li>・ダイヤのない電車</li> </ul> <p>etc</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 少子高齢化、労働力不足への対応</li> <li>✓ エネルギー枯渇への対応</li> <li>✓ 快適な社会の実現</li> <li>✓ 安心・安全な社会の実現</li> </ul> <p>etc</p>	<p>車両間の関係性や人流・交通量等の膨大な情報をリアルタイムに収集・分析し、需要に応じた最適かつ高度な協調ネットワークを実現するための技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 超大容量通信(ペタビット級)</li> <li>➢ 超低遅延通信(サブミリ秒級)、完全同期</li> <li>➢ 安全・信頼性(セキュア通信)</li> <li>➢ 自律創発性(ゼロタッチ、NW知能化)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上・宇宙連携通信</li> <li>・オムニ・コネクティビティ</li> </ul> <p>etc</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 激甚災害への対応</li> <li>✓ 誰でも・どこでもつながる社会の実現</li> <li>✓ 快適な社会の実現</li> </ul> <p>etc</p>	<p>あらゆる場所、あらゆる環境下でも途切れない通信を実現するための技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 柔軟性・高効率性</li> <li>➢ 展開性(未開拓領域へのNW展開)</li> </ul>

# ネットワークインフラに求められる要求条件

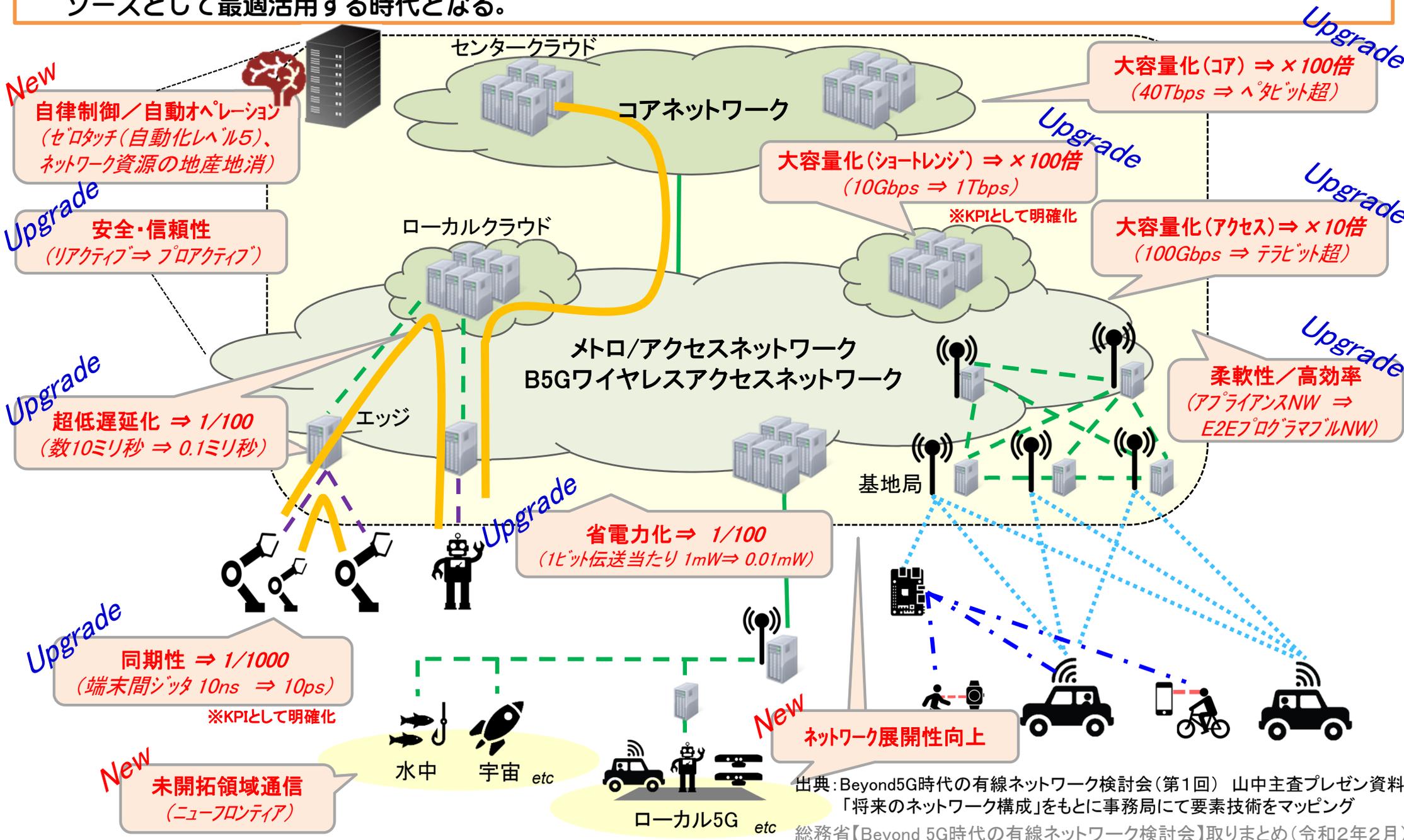
- Beyond5G時代のネットワークインフラにおいては、「大容量」、「省電力化」、「超低遅延」、「柔軟性」、「高効率」、「安全・信頼性」といった既存技術の高度化だけでなく、社会情勢の変革に臨機応変に対応すべく「自律創発性」、「展開性」といった新たな価値創出に係る技術の開発についても取り組むことが重要。



※将来のネットワークインフラに関する研究会(平成29年7月取りまとめ)において、2030年までに求められる主な要求条件として取りまとめ。  
総務省【Beyond 5G時代の有線ネットワーク検討会】取りまとめ(令和2年2月)

# 目指すべきネットワーク像

- Beyond5G時代は、コンピューティングとネットワークが融合した形への変革が期待されており、それらを超大容量、超低遅延、超省電力でつなぎ自律的に全体最適化を行うことで、ネットワーク全体を1つのコンピューティングリソースとして最適活用する時代となる。



出典: Beyond5G時代の有線ネットワーク検討会(第1回) 山中主査プレゼン資料  
「将来のネットワーク構成」をもとに事務局にて要素技術をマッピング  
総務省【Beyond 5G時代の有線ネットワーク検討会】取りまとめ(令和2年2月)

- Beyond 5G時代を支えるネットワークインフラの8つの主要技術に関して、今後も産学官が連携して強力かつ戦略的に推進することで、本分野における最先端の技術とそれらを支える主要デバイスを早期に確立し、我が国発の「超スマートでインクルーシブな社会を支える次世代ネットワーク」を世界に先駆けて実現するとともに、厳しい競争が予想されるBeyond5G時代においても、持続的なプレゼンス確保を目指す。

## Infinite Technology

1. 大容量 (Infinite Capacity)
4. 柔軟性 (Infinite Elasticity)
5. 高効率 (Infinite Efficiency)
8. 展開性 (Infinite Frontier)

## Zero Technology

2. 省電力化 (Zero Consumption)
3. 超低遅延 (Zero Latency)
6. 安全・信頼性 (Zero Threat)
7. 自律創発性 (Zero Touch)

8つのキーテクノロジーの強化と、それらを支えるキーデバイスの早期確立により、我が国発の「次世代ネットワーク」を世界に先駆け実現し、Beyond5G時代の主導権を奪取

# 主要技術の進展イメージ(技術ロードマップ)

	2020年頃	2030年以降
1-1. 大容量(コア)	システム当たりの伝送容量 40Tbps超 波長多重技術(シングルコアファイバ) 高度多値変復調技術 広帯域技術(C+L帯等)	システム当たりの伝送容量 ペタビット超 空間多重技術(マルチコアファイバ、マルチモードファイバ等) 高集積光モジュール技術、複数DSP/パラレル信号処理技術 超広帯域技術(U、S、O、T帯等対応新規ファイバ・増幅器等)
1-2. 大容量(アクセス/ショートレンジ)	ユーザ当たりの最大伝送速度 100Gbps超 (コンシューマ向け)100Gbps超PON技術 (モバイル向け)400Gbps超Ether技術、フロントホール広帯域化技術 (データセンター向け)400Gbps超DCインターコネクション技術 (共通)モジュール化技術	ユーザ当たりの最大伝送速度 テラビット超 (コンシューマ向け)1Tbps超PON技術、デジコヒ多値変調技術 (モバイル向け)1Tbps超Ether技術、デジコヒ多値変調技術、アナ・デジ協調技術(次世代RoF等) (データセンター向け)1Tbps超DCインターコネクション技術 (コンピューティング向け)チップ間光インターコネクション技術(1Tbps程度) (共通)高速対応モジュール技術
2. 省電力化・小型化	1ビット伝送当たりの送受信器のエネルギー効率 1mW シリコンフォトニクス技術 波長選択光スイッチ技術	1ビット伝送当たりの送受信器のエネルギー効率 0.01mW 高集積・ヘテロジニアス光電子融合技術 フレキシブル光スイッチ技術(大規模・超高速・超小型等) フォトニックアクセラレーション技術
3. 超低遅延・同期性	伝送遅延 数10ミリ秒程度(地域限定) エッジコンピューティング技術(クラウドオフロード等) ネットワークスライシング技術(低遅延用優先処理)	伝送遅延 数ミリ秒程度(広域展開)・0.1ミリ秒程度(地域限定)、端末間ジッタ10ps程度 ネットワーク内コンピューティング技術(区間毎の遅延配分最適化等) ネットワーク処理の低遅延化技術(アクセラレーション技術等) シームレスな伝送メディア変換技術(光・無線変換の低遅延化) 端末間の高精度時刻同期技術
4. 柔軟性・高弾力性	特定サービスに合ったネットワークを迅速に提供 エッジコンピューティング技術(カスタマー機能オフロード等) ネットワークスライシング技術(ポリシーベース) 自動オペレーション技術(AI補助のプロビジョニング等)	あらゆるサービスに適したネットワークを迅速に提供 「7. 自律創発性」の自律制御、自動オペレーション技術として整理 プログラマブルフォトニックネットワーク技術(光資源利用の柔軟化) ソフトウェア化・オープン化・ディスタグリゲーション技術(機器構成の柔軟化) シームレスな伝送メディア変換技術(システム設計の柔軟化)
5. 高効率データ流通	ネットワークを効率的に活用 IP技術(CDN等) エッジコンピューティング技術(地域内トラフィック分散等) 自動オペレーション技術(AIによる変動予測等)	ネットワーク全体(End-to-End)を効率的に活用 IPに依存しないデータセントリック技術(ICN/CCN等) 「7. 自律創発性」の自律制御、自動オペレーション技術として整理
6. 安全・信頼性	既知の脅威に対して最適なセキュリティを実現 ネットワークスライシング技術(スライス毎の個別管理・制御) 自動オペレーション技術(AI補助の保守・運用等)	あらゆる脅威に適応可能なプロアクティブセキュリティを実現 「7. 自律創発性」の自律制御、自動オペレーション技術として整理 セキュア伝送技術(量子暗号通信等) AI・デジタルツインを活用したセルフディフェンシブマネジメント技術 AIを活用したインテリジェントアシスタント技術
7. 自律創発性	-	人手を介さずに自律的に高度なネットワークを創出(ゼロタッチネットワーキング) ネットワークの自律・分散・協調型制御技術(コレオグラフィ等) ・クラウド・エッジ・デバイス間の自律資源調停技術 ・自律協調近接通信技術(通信経路の最適選択) ・クロスパーティカル技術(産業間コラボレーション) 自動オペレーション技術(ゼロタッチオペレーション等) ・AI主導の保守・運用・建設 ・AIによる変動予測・制御
8. 展開性	-	未開拓領域への新たなネットワーク適用 未開拓領域へのネットワーク展開に係る技術 ・光給電技術 ・音響・光融合技術(水中通信)、衛星・光融合技術(衛星通信) ・光センシング・光コンピューティング技術(インフラセンサやコンピューティング領域への光技術応用) ネットワーク展開性向上に係る技術(低コスト化、リファレンスパッケージの整備等)

ネットワーク資源の  
地産地消

ゼロタッチ  
自動化レベル5

ニューフロンティア

※下線部分について、主要要件として新たに定義

## 1-1. 大容量(コア)

⇒ システム当たりの伝送容量 ペタビット超

- マルチコアファイバ、マルチモードファイバ等の「空間多重技術」や「高集積光モジュール技術」、「DSP 並列信号処理技術」等の周辺技術の更なる高度化が必要。
- 同時に、O、T帯等の新たな光周波数帯域に対応した「超広帯域技術」等にも取り組むことが必要。

## 1-2. 大容量(アクセス/ショートレンジ)

⇒ ユーザ当たりの最大伝送速度 テラビット超

- 「大容量PON技術」や、1波当たり的高速化が期待される「デジタルコヒーレント多値変調技術」、小型・低廉化が期待できる次世代RoF技術などの「アナログ・デジタル協調技術」等の更なる高度化が必要。
- 同時に、コンピューティング等のよりショートレンジに対応した「チップ間光インターコネクション技術」等にも取り組むことが必要。

## 2. 省電力化・小型化

⇒ 1ビット伝送当たりの送受信器のエネルギー効率 0.01mW

- デバイスの省電力化・小型化が期待できる「高集積・ヘテロジニアス光電子融合技術」や、超多チャンネルを小型かつ一括に処理可能な「フレキシブル光スイッチ技術」等の更なる高度化が必要。
- 同時に、オールフォトリクス技術など、これまでの電子技術による信号処理に光技術を導入する「フォトリックアクセレーション技術」等にも取り組むことが必要。

## 3. 超低遅延・同期性

⇒ 伝送遅延 数ミリ秒程度(広域展開)・0.1ミリ秒程度(地域限定)  
端末間ジッタ10ps程度

- 区間毎の遅延配分を最適化するための「ネットワーク内コンピューティング技術」や、ハードウェア処理とソフトウェア処理を最適に連動させた「ネットワーク処理の低遅延化技術」、光・無線変換の低遅延化が期待できる「シームレスな伝送メディア変換技術」等の更なる高度化が必要。
- 同時に、2端末間を高精度に協調制御可能とする「時刻同期技術」等にも取り組むことが必要。

## 4. 柔軟性・高弾力性

⇒ あらゆるサービスに適したネットワークを迅速に提供

- 限られたネットワーク資源の中で要求に応じた必要十分な資源を即座に提供可能な「プログラマブルフォトリックネットワーク技術」、有・無線を意識しない柔軟なシステム設計が期待できる「シームレスな伝送変換技術」等の更なる高度化が必要。
- 同時に、より柔軟なネットワークを実現するための「オープンソースをベースとしたネットワーク機能のソフトウェア化」や、ネットワーク機能のみならず装置の「オープン化(マルチベンダ化)・ディスアグリゲーション」等にも取り組むことが必要。

## 5. 高効率データ流通

⇒ ネットワーク全体(End-to-End)を効率的に活用

- 大量のトラフィックを効率的に收容するためのIP技術に依存しない「データセントリック技術」等、新たなネットワーク技術等に取り組むことが必要。

## 6. 安全・信頼性

⇒ あらゆる脅威に適応可能なプロアクティブセキュリティを実現

- ソフトウェア化やインフラの共用等が進展する中においても、高い安全性を確保するための量子暗号通信などの「セキュア伝送技術」等に取り組むことが必要。
- 同時に、フィジカル空間とサイバー空間の融合により大規模化かつ複雑化する環境においても、AIやデジタルツイン技術を活用し、事前検証、攻撃予兆の検知、防御等を自律的に実践することで、あらゆる脅威に対処可能な「セルフディフェンシブマネジメント技術」や、それらに必要となる情報を事前に高速かつ広域に収集・分析するための「インテリジェントアシスタント技術」等にも取り組むことが必要。

## 7. 自律創発性

⇒ 人手を介さずに自律的に高度なネットワークを創出  
(ゼロタッチ(自動化レベル5)、ネットワーク資源の地産地消の実現)

- 大規模なネットワークにおいて、「ネットワーク資源の調停や機能最適配置」、通信経路を最適選択可能な「近接通信」、「あらゆるプレーヤや産業間の柔軟な接続(クロスバーティカル)」等を人手を介さずに、自らの判断で最適かつダイナミックに実現するための「ネットワークの自律・分散・協調型制御技術」に取り組むことが必要。
- 同時に、ネットワークの設計や、障害の予兆検知、トラフィックの変動予測等を人手を介さずに実現するための「AI主導の自動オペレーション技術(ゼロタッチオペレーション等)」にも取り組むことが必要。

## 8. 展開性

⇒ 未開拓領域への新たなネットワーク適用(ニューフロンティア)

- これまで電源確保が困難であった地域へのネットワーク展開が期待できる「光給電技術」や、水中、宇宙といったネットワークの展開が困難と考えられていた未開拓領域へのネットワーク展開を可能とするための「音響・光融合技術」や「衛星・光融合技術」、光技術の適用領域を広げる可能性のある「光センシング技術」等に取り組むことが必要。
- 同時に、あらゆるユーザが基本的通信サービスを手軽に構築可能とするための「低コスト化技術」や「リファレンスパッケージの整備」等にも取り組むことが必要。