

次世代に期待される情報通信技術

デジタルイノベーションユニット
技術戦略研究センター

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

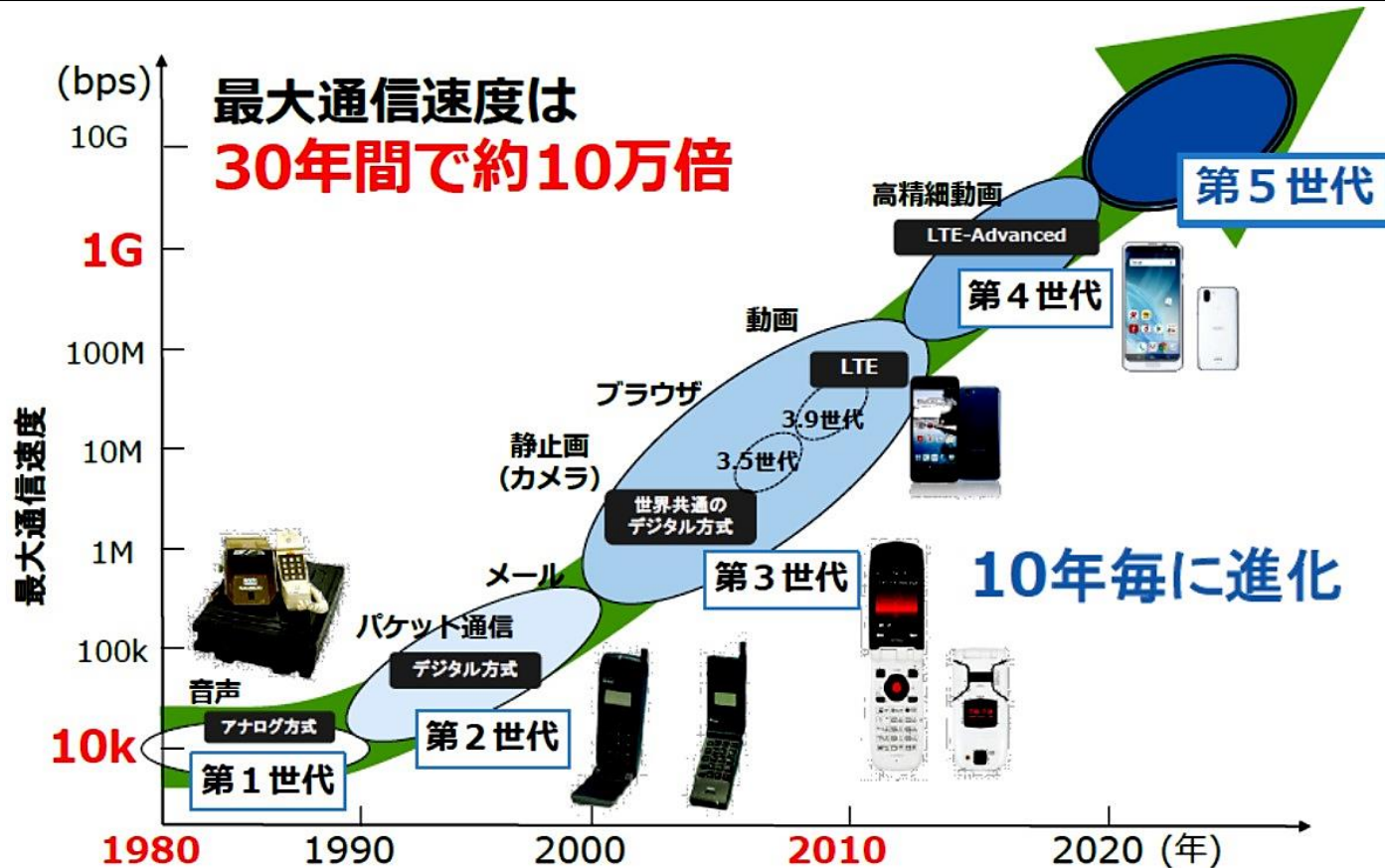
- **Society 5.0の実現に向け、IoT、人工知能、ロボットなどのデジタル技術の社会実装が進んでいる。また、コロナ禍の影響を受け、リモート化、デジタル化(DX)の更なる推進が必要であることが広く認識されるようになった。情報通信技術に関しても、従来の「大容量化」だけでなく、「低遅延性」を有する通信ネットワーク等が必須と考えられている。**
- **2020年は大手通信キャリアから5Gサービスが開始され、情報通信技術の進化は、単なる「技術革新」ではなく、「ビジネス環境の大きな変革」を促しているとの見方もある。**
- **目まぐるしく変わる通信関連ビジネスの将来像を技術的側面から読み解くべく、次世代の情報通信技術として重要になると考えられる技術を抽出し、それらの技術課題とともにビジネスに与えるインパクトについて考察を行った。**

1. 情報通信技術の変遷と最近のトレンド
2. 次世代情報通信技術として注目される技術とそれらがビジネスに与える影響
 - 2-1 オープン化を促すアンテナ構成
 - 2-2 OAM伝送による通信容量の向上
 - 2-3 ネットワークの高付加価値化
 - 2-4 ネットワーク仮想化とビジネスモデル
 - 2-5 Unlicensed Band等の自営網周波数を活用する次世代通信ネットワーク
3. まとめ

1. 情報通信技術の変遷と最近のトレンド

1. 通信の高速化(通信容量増大)の歴史

■時代のニーズに合わせて通信速度は着実に進化。本傾向は5G以降も継続が見込まれる。



出典:総務省「第5世代移動通信システム(5G)の今と将来展望」 https://www.soumu.go.jp/main_content/000633132.pdf

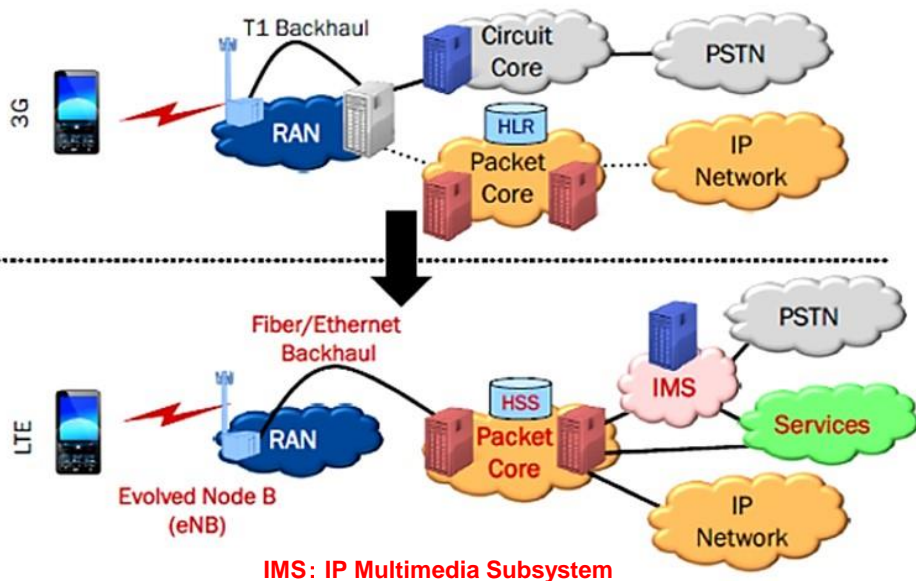
- ① 1993年に**2G(デジタル方式)**開始。
1994年の所謂“端末自由化”により爆発的に普及。
- ② 2001年に3Gサービスが始まる。安価なルータで
音声をお届ける**VoIP(Voice over IP)**が普及。
- ③ 次第に**スマートフォン**が主流に。4Gでは、音声・メール
だけでなく、**携帯端末から動画を視聴**する時代に。
- ④ 自動運転やIoT機器向けに、5Gでは「通信容量」だけで
なく、「**遅延時間**」、「**多数同時接続数**」等の仕様を追加。

1. 通信ネットワークアーキテクチャの変遷 (3G~LTE-Advanced)

- 3G以降でIPによるルーティングが導入された。LTEでは音声通信もパケット化され、LTE-Advanced(4G)ではインターネット接続が主流に。

【3GからVoIP (Voice over IP)へ】

PSTN: Public Switched Telephone Network



出典: Medium記事 <https://medium.com/@sarpkoksal/core-network-evolution-3g-vs-4g-vs-5g-7738267503c7>

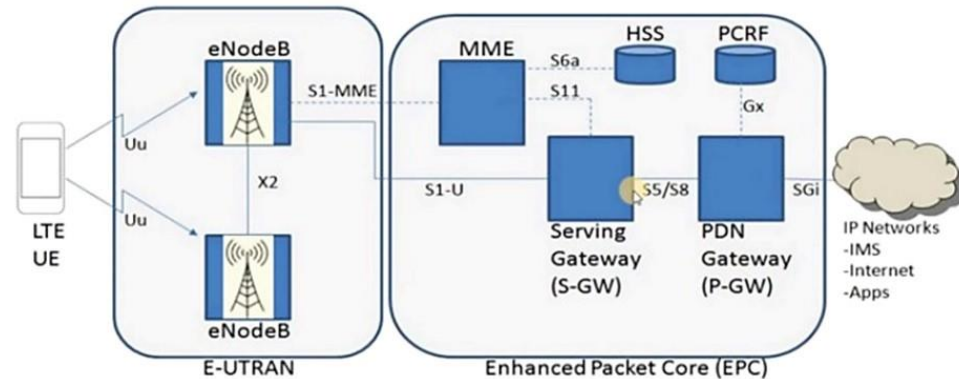
3Gの導入当初は電話交換機とパケット通信が混在。

Circuit CoreはEnd to Endで回線を確立し、Packet CoreではIPでルーティングし、通信を行う。

その後、パケット通信に完全移行(LTE)。

LTE無線アクセス用アンテナ(eNodeB)を導入。音声通信もパケット化し、IMSを介してPSTNに接続。

【LTE-Advanced】



UE: User Equipment (ユーザ端末)

MME: Mobility Management Entity (ローミング制御)

HSS: Home Subscriber Server (加入者情報)

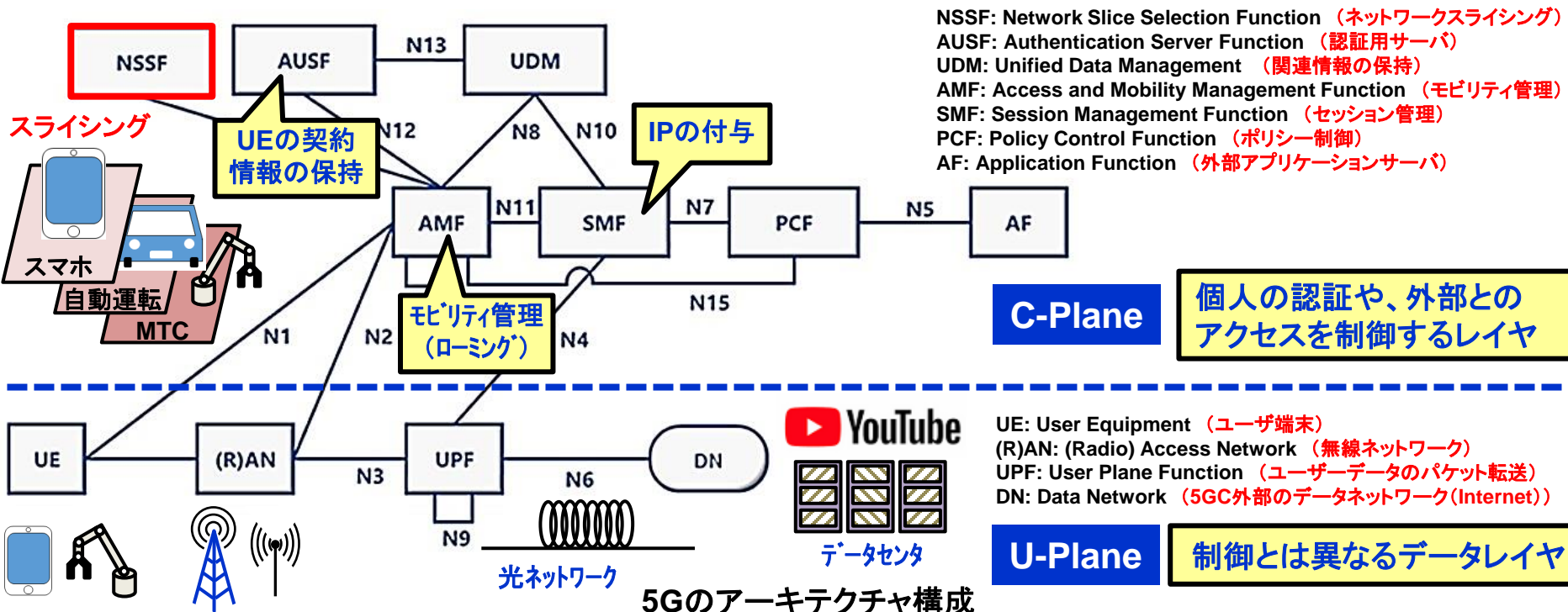
P-GW: Packet data network Gateway (IP付与)

PCRF: Policy and Charging Rules Functions (課金情報)

スマホの登場により、音声、ショートメール以外のユースケースが増加。結果、ユーザとアプリ側のデータ通信と、本通信を制御するデータ通信が分かれる形でアーキテクチャが進化。同時に通信トラフィックが増大し、コヒーレント通信(QAM等)を用いて帯域を確保する技術開発が進められた(Max:1Gbps)。

1. 通信ネットワークアーキテクチャの変遷 (5G)

- 5Gのアーキテクチャでは「データ通信」と「制御データ」の機能構成が明確に分離された。
- また、ネットワークを論理的に複数に分離する**スライシング機能(NSSF)**が追加された。



伊藤忠テクノソリューションズWebサイト(https://www.ctc-g.co.jp/report/column/5g_system/vol03.html)を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2021)

4Gとのアーキテクチャー上の大きな相違点は、NSSFを設けたこと。

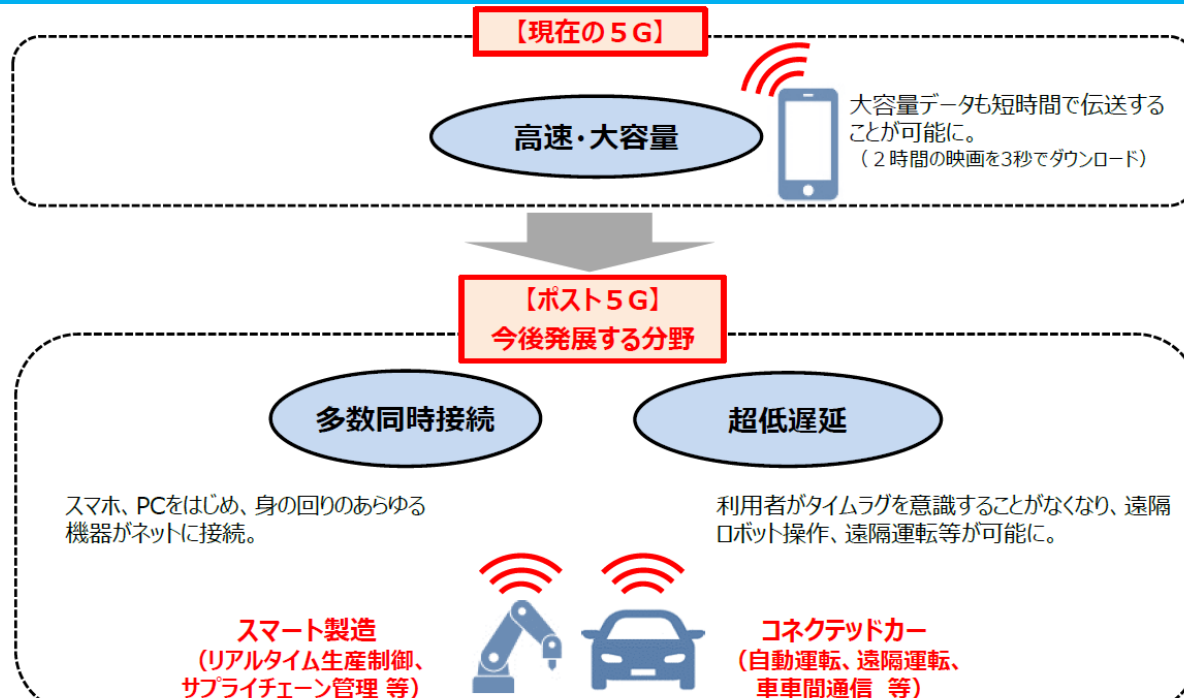
スライスにより1ユーザが複数のセッション(最大:8個)を設けることが可能になり、例えば「大容量性」と「低遅延性」を併せ持つ通信を別回線で確保できるようになった。なお、スライシングは物理的にネットワークを分離するのではなく、アプリケーション毎に行うことを指向している。

また、「スライシング」機能で生まれる新たなサービスにも注目すべきである。

1. 経済産業省・NEDOが進める「ポスト5G」事業とそのスコープ

- 各国で商用サービスが始まりつつある主に「**大容量化**」を実現した5Gに対し、さらに「**超低遅延**」や「**多数同時接続**」といった機能が強化されるポスト5Gは、今後、工場や自動車といった多様な産業用途への活用が見込まれており、我が国の競争力の核となり得る技術と期待。
- 経済産業省・NEDOは「**ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業**」を2020年に立ち上げ、同年6月には委託先を決定して本格的に事業がスタート。

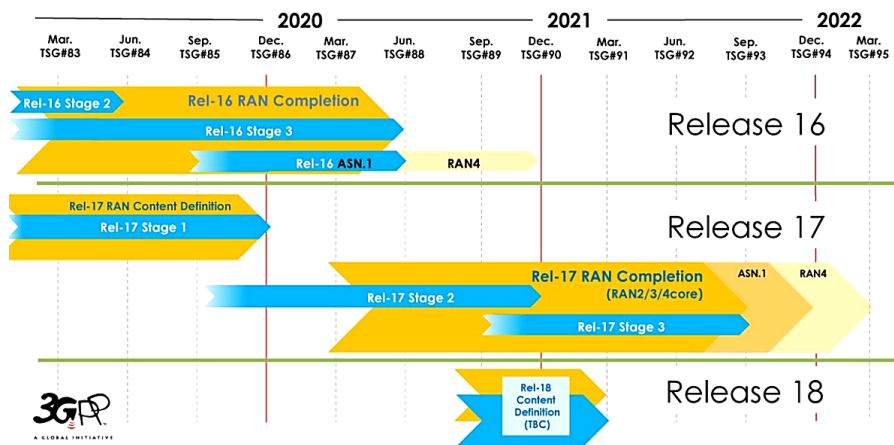
ポスト5Gのスコープ



(注) ここでは、各国で商用サービスが始まりつつある、主に「大容量化」を実現した5Gに対して、さらに「超低遅延」及び「多数同時接続」の機能が強化された5Gのことを「ポスト5G」と呼ぶ。

1. 次世代情報通信技術の標準化動向

■ 通信に係る仕様を3GPP*で策定中。最新のRel.16ではUnlicensed Bandの利用が盛り込まれた。今後も検討される仕様は増大する見込みである(拡張性・信頼性等)。

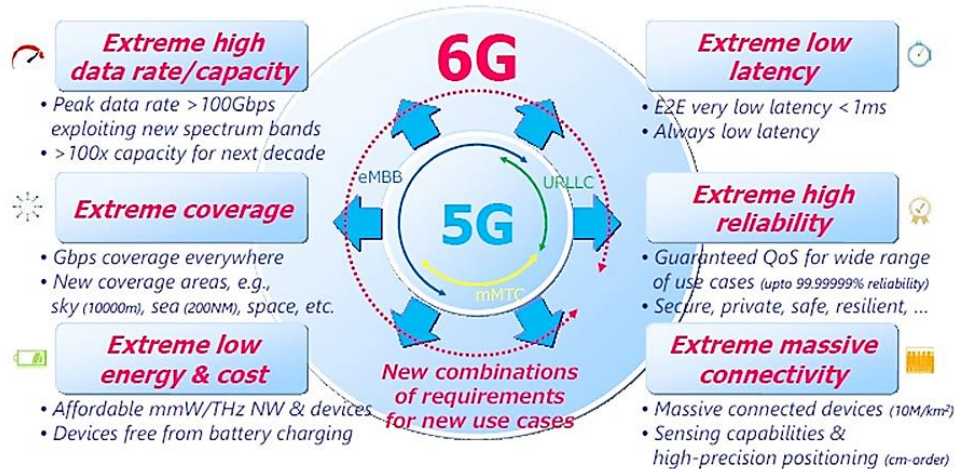


* 3GPP: 3G Partnership Project

- 3GPPにおける仕様策定状況 -

- ① Rel.15でデータレート(上り:10Gbps、下り:20Gbps)を策定。
- ② Rel.16で遅延時間、多数同時接続数の仕様を追加。Unlicensed Bandの利用について言及がなされた。
- ③ 今後、通信容量(データレート)以外の仕様について、仕様策定が進められる予定。

出典: 3GPP「Rel.16策定スケジュール」
<https://www.3gpp.org/release-16>

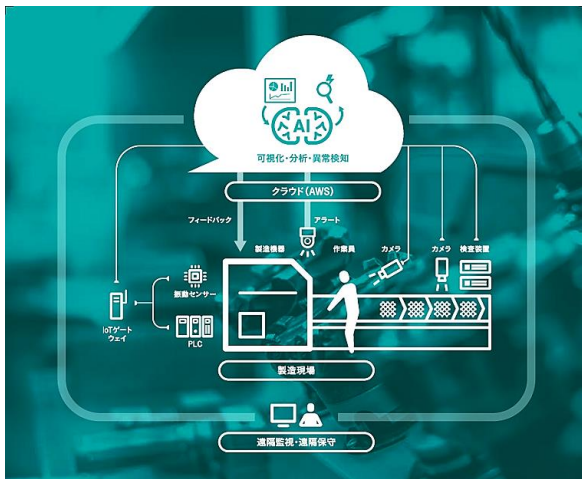


5G以降に議論されるであろう仕様

出典: 株式会社NTTドコモ「6Gホワイトペーパー」2.0版(2020)
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/whitepaper_6g/

Industrial IoT等の実現に向け、要求性能は増加傾向。

今後、AIを駆使するユースケースの登場が予想され、更に高度な通信技術が必要になる。



出典: 株式会社シーエーシー「IoTとAIによるスマート工場」
<https://www.cac.co.jp/product/iot/>

2. 次世代情報通信技術として注目される技術と それらがビジネスに与える影響

2. 注目技術の概要

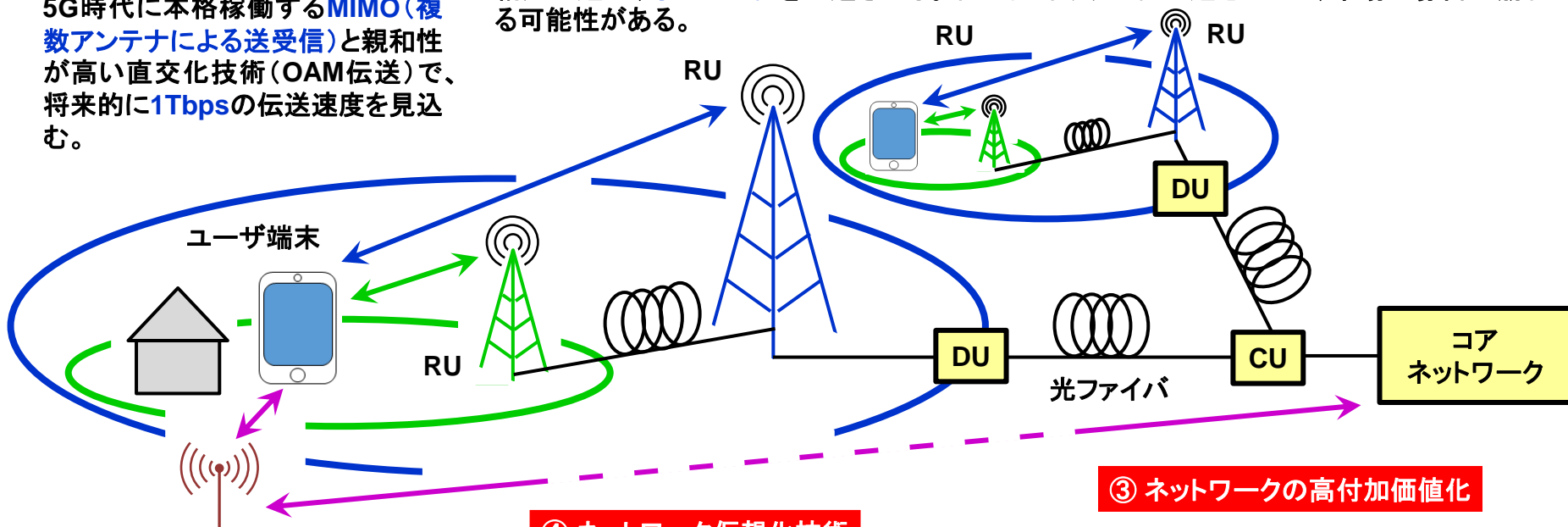
■ ビジネスに大きなインパクトを与える可能性がある次世代情報通信技術。

① オープン化を促す アンテナ構成

4G時代のC-RANをベースに、アンテナ構成が更に進化(RU:Radio Unit、DU:Distributed Unit、CU:Central Unit)。RUが光ファイバで信号処理部(DU/CU)に結ばれる。パーツ毎の納入が進み、オープン化を加速させる。ホワイトボックス化が進むことで、市場の寡占が崩れる可能性がある。

② OAM伝送

5G時代に本格稼働するMIMO(複数アンテナによる送受信)と親和性が高い直交化技術(OAM伝送)で、将来的に1Tbpsの伝送速度を見込む。



⑤ Unlicensed Band

宅内、工場敷地内等で、更なる大容量化のため通信キャリアが免許不要の帯域の活用が活発に。ローカル5Gの導入もあり、自営の通信ネットワークを直接コアネットワークに接続する運用が普及し、大学・ベンチャー企業の技術開発が容易になると期待されている。

④ ネットワーク仮想化技術

仮想化技術でネットワークをスライシングし、ユーザ毎に異なる要求性能の通信を実現可能に。当該技術で回線の一部貸し出しが可能となり、異業種企業が借り受け、自前のネットワーク(ローカル5G)を構築してサービス提供を行う時代が到来。

③ ネットワークの高付加価値化

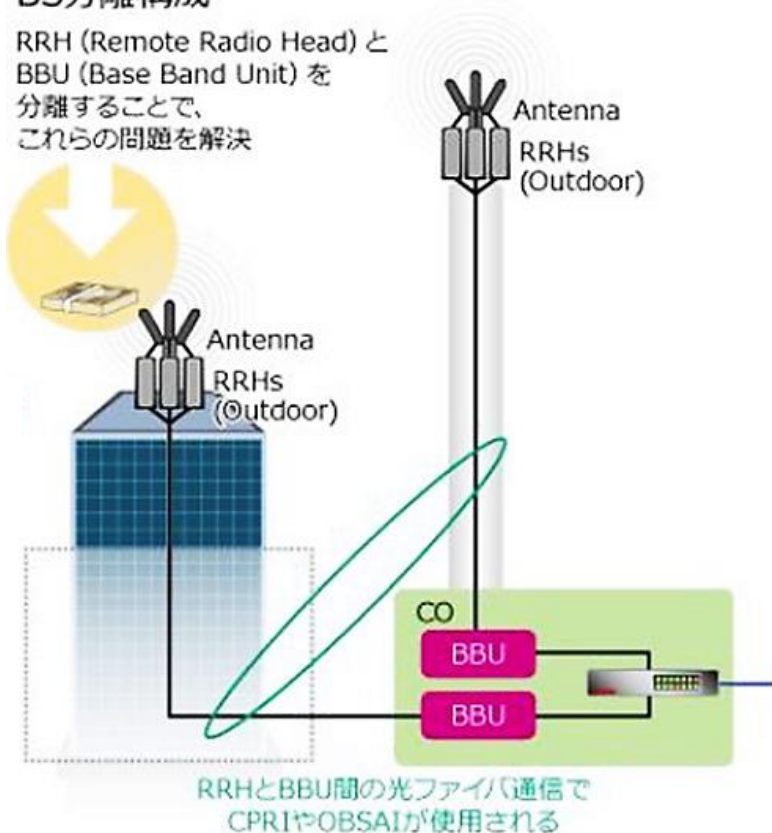
ルータでの信号処理を効率的、かつ高速に行うことで、自動運転やスマート工場等で要求される低遅延性を実現。AI技術も取り込みながら、ベストエフォートのネットワークから脱し、通信容量以外の新たなQoS(Quality of Service)を実現する。

2-1 オープン化を促すアンテナ構成

- LTE-Advanced時代、**信号処理部：BBU**と**アンテナ部：RRH**を分離する高度化C-RAN (Centralized Radio Access Network)が普及。今後も本傾向は継続すると見込まれている。
- 5Gのネットワーク構成(RU/DU/CU)と親和性が高く、オープン化が加速する可能性あり。

BS分離構成

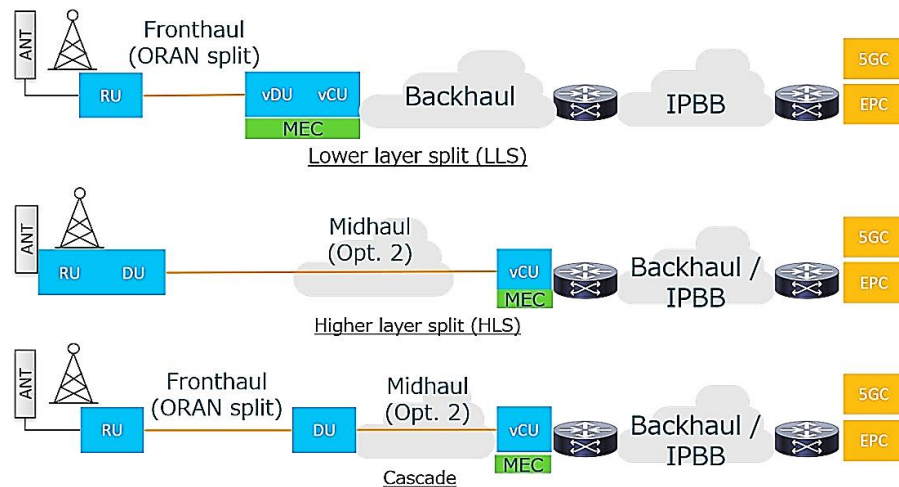
RRH (Remote Radio Head) と BBU (Base Band Unit) を分離することで、これらの問題を解決



出典: アンリツ株式会社「CPRI/OBSAIオプション製品紹介」

https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/MT1000A_MT1100A_CPRI_JL1100.pdf

RU(Radio Unit)とDU(Distributed Unit)/CU(Central Unit)の間で許容される遅延時間により、ネットワーク構成が変化する。



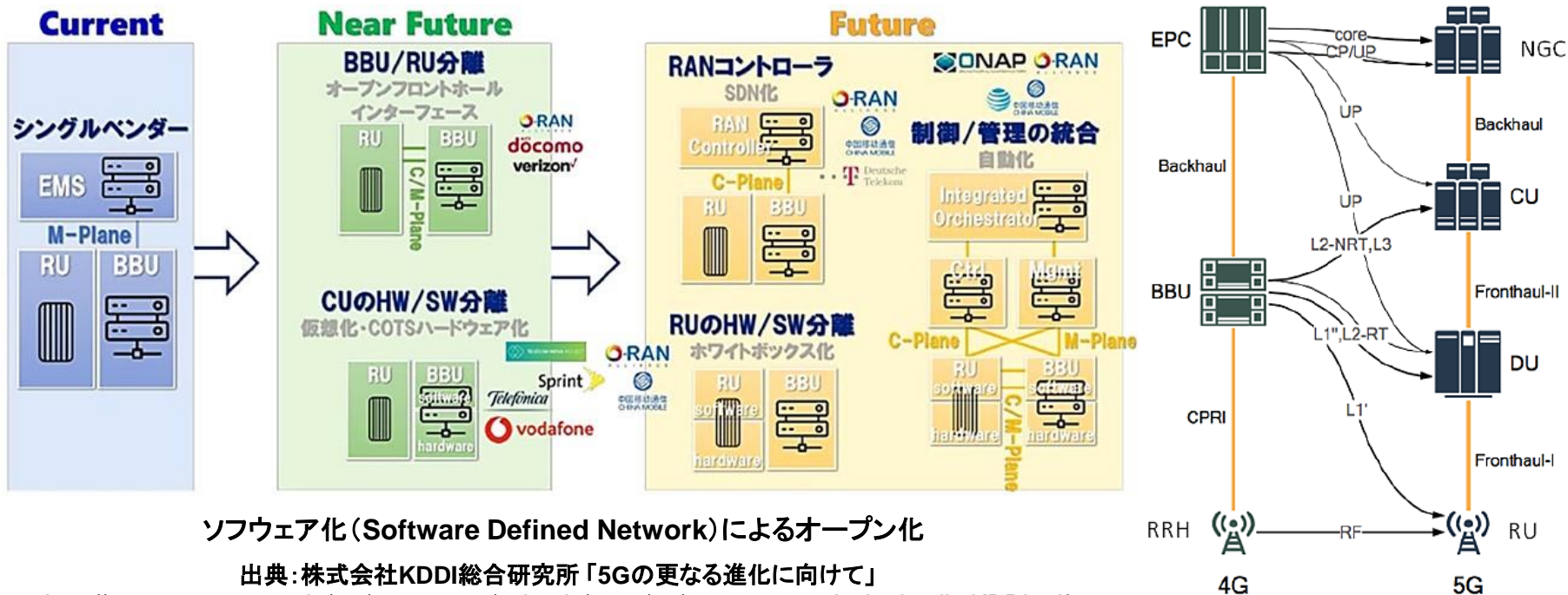
出典: Cisco Systems Inc. Blog 「5G—シスコが考えるサービスプロバイダー E2E アーキテクチャ 第1章 5G 時代の無線アクセス(1)」

<https://gblogs.cisco.com/jp/2019/11/service-provider-end-to-end-architecture-1-radio-access-in-5g-era-1/>

高周波数(28GHz以上)の電波は直進性が強く、多くのアンテナを必要とする。そのため、**5G以降も本構成がスタンダード**に。なお、OAM伝送用アンテナには開発要素が多いものの最終的にはコモディティ化し、**基地局に付加価値(AI、ソフトウェア化)が求められる時代**に突入する可能性がある。

2-1 オープン化を促すアンテナ構成

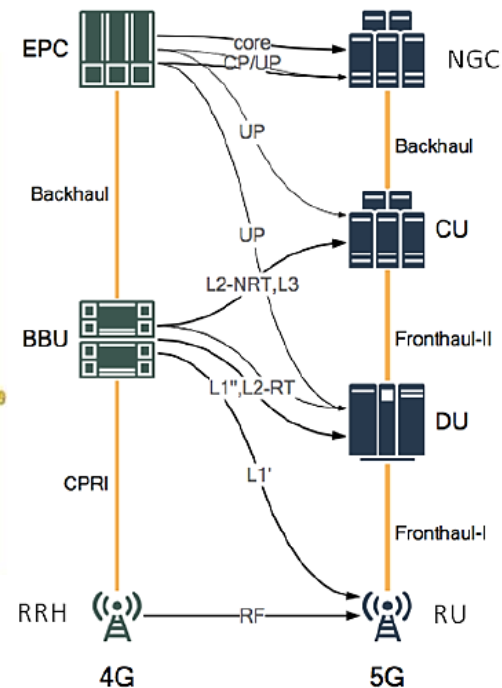
■ 伝送装置の細分化(RU/DU/CU)により、APIを公開しクラウド上で操作する動きが加速。
機器のホワイトボックス化が進み、市場の寡占が崩れ去る可能性も指摘されている。



ソフトウェア化 (Software Defined Network) によるオープン化

出典: 株式会社KDDI総合研究所「5Gの更なる進化に向けて」

http://www.awcc.uec.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2019/05/2019_04_25_Invited_talk_KDDI.pdf



通信設備の名称

出典: TTC「第5世代移動体通信システムの前ホールにおける光アクセスに関する技術報告書」

<https://www.ttc.or.jp/application/files/1515/5969/8881/TR-1079v1.pdf>

従来は一社単独で設備を納入することが多かった(Nokia、Ericsson、Huawei)が、パーツ毎の納入が可能に。その結果、ベンチャー企業を含め、比較的世界シェアの低かった日本企業にも参入機会が発生する。



幾つかのオープン化を加速させる組織が立ち上がっており、

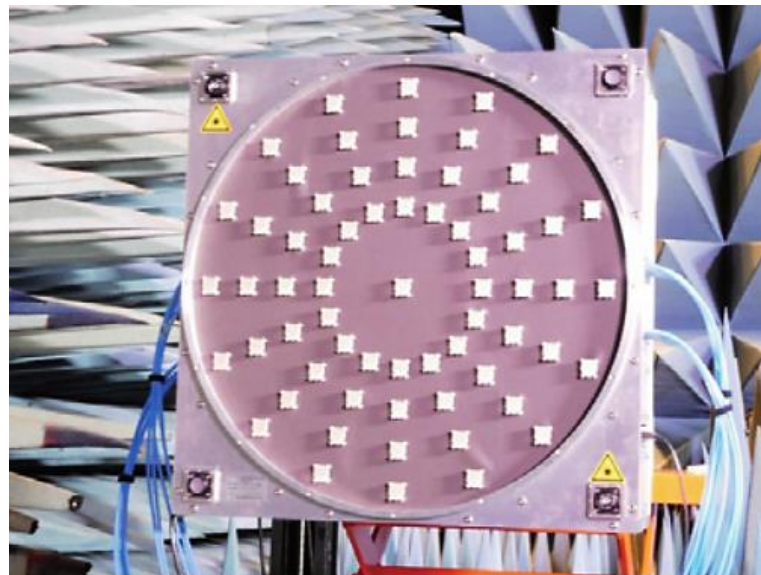
- ・マルチベンダー化
- ・機器のホワイトボックス化
- ・インターフェースの公開が進められている。

- 5Gの主要技術であるMIMOと親和性が高いOAM(Orbital Angular Momentum)伝送が注目されている。1Tbpsも可能と見込まれ、2026年頃の実用化に向けた開発が進展中。
- ただし、多重反射の影響を受け易い低周波数(<6GHz)の電波には不向き。そのため高周波数帯で使用されるとともに、Rel.18以降に標準化が進められる可能性が高い。
- OAM伝送の検討は日本が先行していたものの最近では中国も注目する技術となっており、アンテナの小型化等は重要な技術開発の一つとなっている。

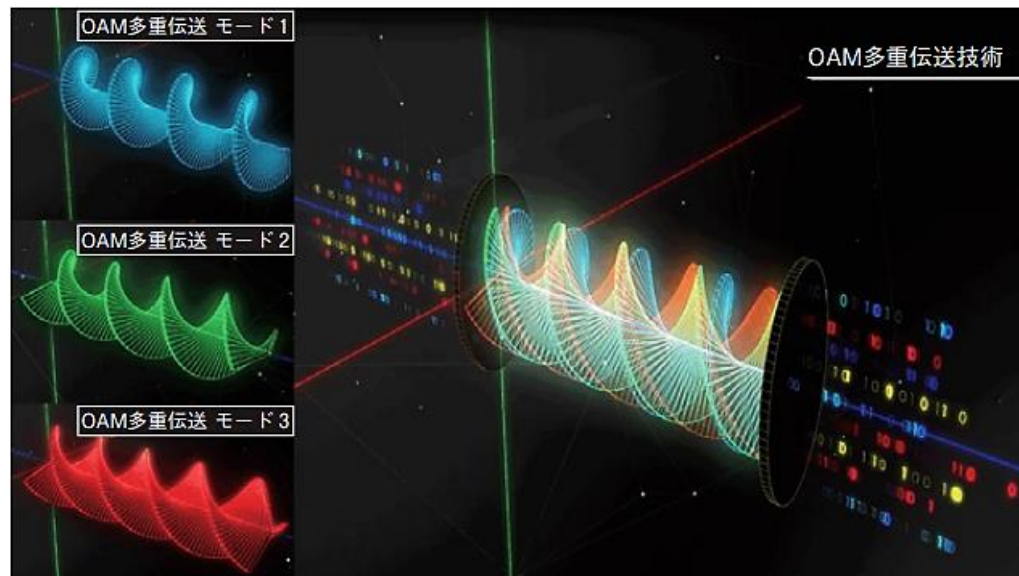
【発振と多重化の原理】

同心円状に配したアンテナから時間差(位相差)をつけて電波を出射する。

一波長進む間の回転数(軌道角運動量)が異なる電波の直交性を利用し、多重化を実現。



試作された送受信装置

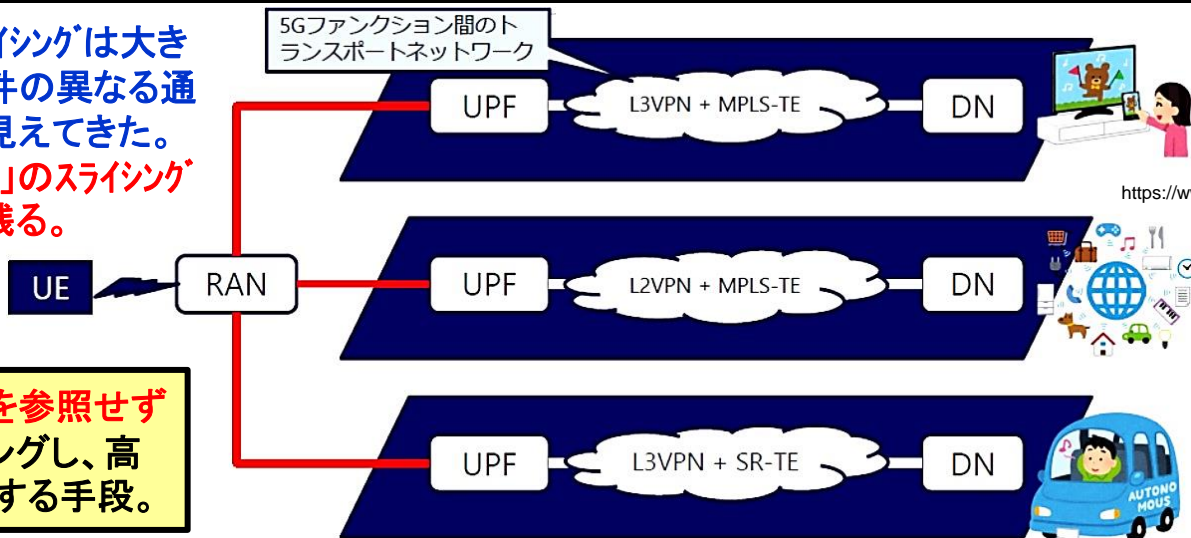


OAM伝送の概念図

2-3 ネットワークの高付加価値化

- 新たにネットワークを構築せず、**スライシング環境下で「低遅延」ネットワークを実現。**遅延の発生は**機器内のデータ処理が主因**であることから、**ルーティングの高速化が鍵**に。
- MPLS(Multi Protocol Label Switching)等の**IPに依らないルーティング手法**や、AI技術の活用によるルーティングの最適化などを導入し、スライシングで切り出したネットワークに低遅延性を実現することで高付加価値化を達成することが求められる。

「有線」のスライシングは大きく進捗し、要件の異なる通信の両立が見えてきた。しかし、「無線」のスライシングには課題が残る。

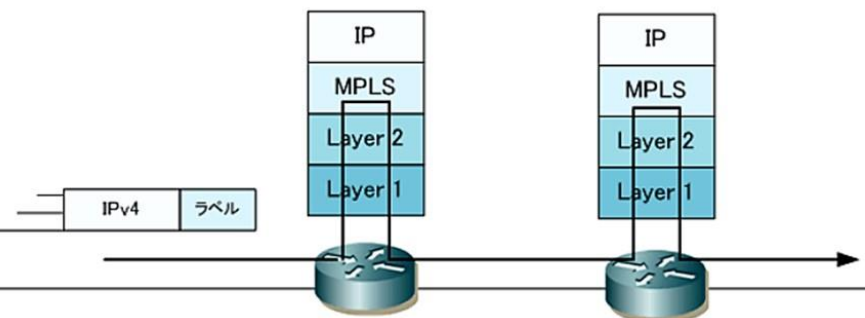


出典：日本ネットワーク・オペレーターズ・グループ「Network Slicingとトランスポートに求められること」

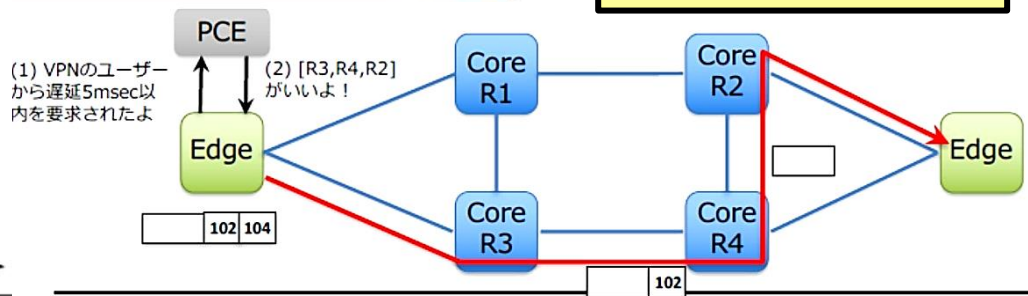
<https://www.janog.gr.jp/meeting/janog42/program/network-slicing>

MPLSはIPを参照せずにルーティングし、高速化を実現する手段。

MPLSだけでは回線がパンクする可能性あり。回避策として**PCE (Path Computation Element)**を使用。⇒ AIの出番



出典：ネットワークエンジニアとして「MPLS」
<https://www.infraexpert.com/study/mpls1.html>



出典：日本ネットワーク・オペレーターズ・グループ「Segment Routing」
<https://www.janog.gr.jp/meeting/janog40/application/files/7815/0104/5635/janog40-sr-mpls-miyasaka-00.pdf>

- 当初から最適なネットワークを構築することは困難。そこで、“後付け”で機能拡張を行うべく、AI等で用いられる『専用アクセラレータ』の利用が始まっている。⇒ 高付加価値化
- また、PCE等のAIによるネットワークの保守・管理技術は仮想化(ソフトウェア基地局)の重要技術と考えられており、既に総務省の下で検討が進められている。

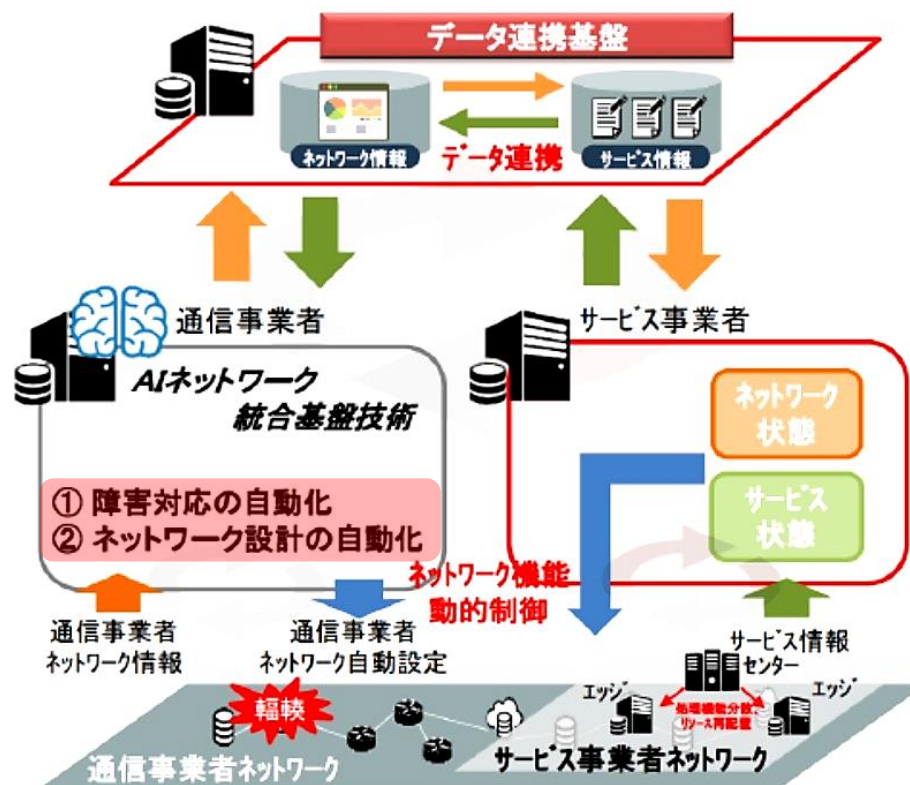
【AI技術の検討例】

SoftBankではアクセラレータ(AI技術)を活用し、既存基地局の処理速度を向上させる取組みに着手。



出典: SoftBank「NVIDIAのGPUを活用した5G仮想基地局の技術検証」
https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2020/20201029_01/

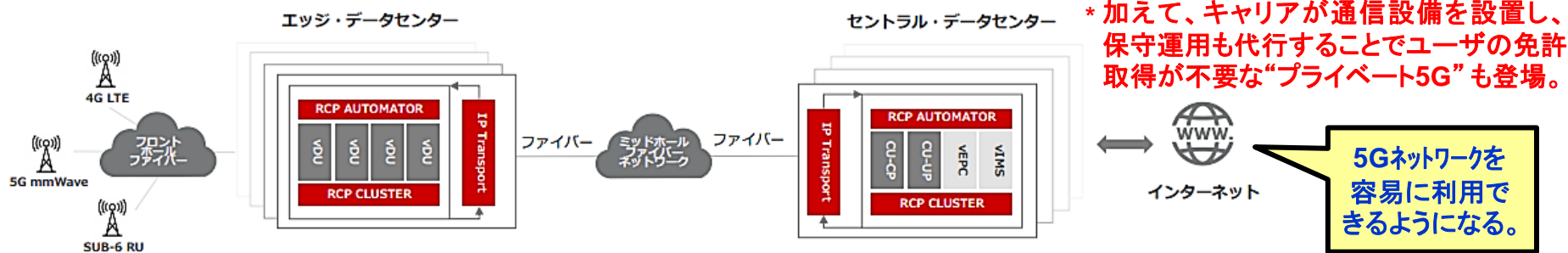
総務省のPJでは、KDDI、日立、NECがAIの活用を検討中。



出典: 総務省「革新的AIネットワーク統合基盤技術の技術開発」
https://www.soumu.go.jp/main_content/000611585.pdf

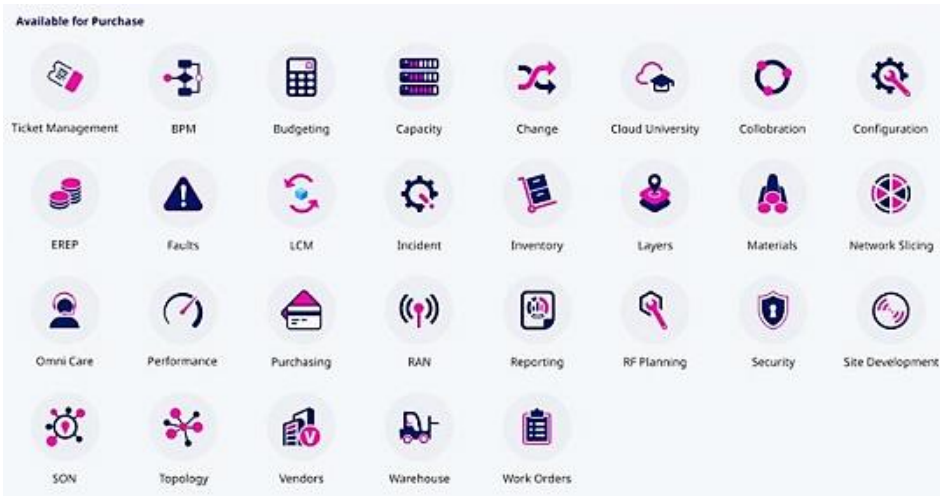
ホワイトボックス化の進展により利益の源泉が縮小。そのため、AIにおけるアクセラレータ技術の横展開、ソフトウェア基地局への対応等で高付加価値化を図る動きが加速中。

■ 仮想化技術でネットワークをスライシングし、ユーザが必要とする機能を選択することで、誰もが容易に“ローカル5G*”を利用可能。よって、従来参入機会を得られなかった自前の通信設備(光ファイバー網)を持たない事業者も、NSaaS(Network Slice as a Service)を通じてビジネスチャンスを広げることができる。



ユーザが必要とする機能を自ら選択し、自由にネットワークを構築する“マーケット形式”で提供。

従来より安価に設備を準備することが可能。



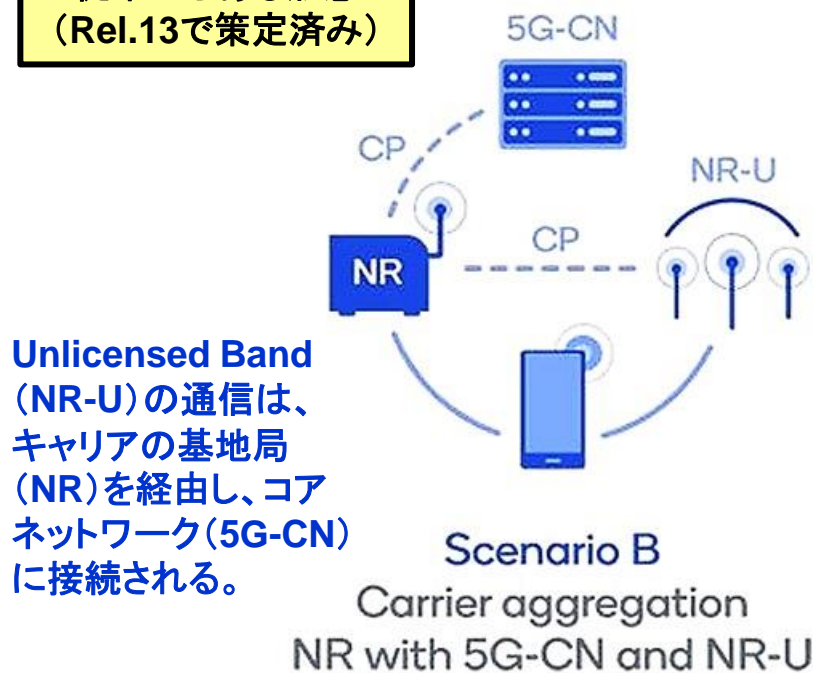
	従来型	RCP	%	根拠
設備投資額合計	100	60	-40%	
ソフトウェア	30	30	0%	・ N/A
ハードウェア	45	17.5	-60%	・ 仮想化と容量及びリソースのプーリングによる基地局周辺機器の削減
デプロイメント	25	12.5	-50%	

5G以降の新たなサービス形態(NSaaS)に。

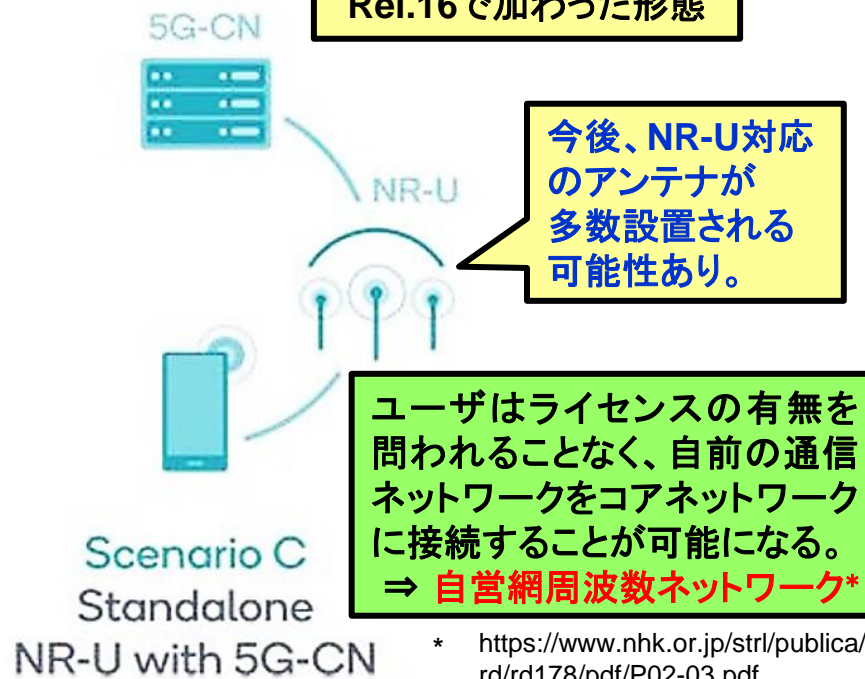
- 2020年7月リリースのRel.16で、**免許不要の通信帯域**に追加がなされた。IoT機器を直接5G-CN(Core network)に接続可能で、工場IoT等での利用が想定されている。
- LTE-Advanced 時代にも存在した、免許不要帯の通信をキャリアの基地局を経由しネットワークに繋げる“**Anchored NR-U**”だけでなく、“**Standalone NR-U(5G-CNに直接繋げる形態)**”が新規に加わった。今後は当該通信の**品質保証手段**が議論される見込み。

Anchored NR-U Standalone NR-U

従来からある形態
(Rel.13で策定済み)



Rel.16で加わった形態



* <https://www.nhk.or.jp/str/publication/rd178/pdf/P02-03.pdf>

- **28GHzを上回るサブテラヘルツ波(>52.8GHz)の利用は進む。**そのため、新たに加わる周波数帯と既存周波数(<28GHz帯)を両立させる手段等は必須技術になっていく。
- **ローカル5GやUnlicensed Bandの利用**で、誰もがコアネットワークにアクセス可能。技術開発のハードルが下がり、**大学・ベンチャー発の技術が次々と導入される可能性がある。**

1. 高周波数帯の利用等、更なる広帯域化にむけた通信技術の開発。
例:RU/DU/CUの進展、OAM伝送

2030年代に予想される
ネットワーク構成

オープン化
による商流
の変化。

5G基地局
(28GHz以下)

連携

連携



コア
ネットワーク

現在は、5~6GHz帯の
利用が予定されている。

自営網周波数
ネットワーク

Licensed Band

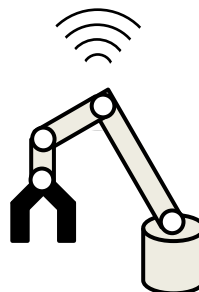
Unlicensed Band

NG*基地局
(>52.8GHz)

* NG: Next Generation

2. ネットワーク構成・要件の見直しを
契機とする新たなビジネスの創出。
例: NSaaS

3. 免許不要帯を利用したCA
(Carrier Aggregation)の進展。
例: 5~6GHz帯 + 52.8GHz帯



- 昨年6月に総務省が公表した「Beyond 5G推進戦略」では、「有線・無線を超えた最適なネットワークの構築」、「無線チャレンジ」が重要とされている。
- 米国では、DARPA主催で「SPECTRUM CHALLENGE」を開催。ここでは、AI等を駆使し、空いている周波数帯を有効利用しながら通信品質を向上させる検討が進められている。

【Beyond 5G推進戦略における位置づけ】

自律性

- ゼロタッチで機器が自律的に連携
- 有線・無線を超えた最適なネットワークの構築

完全仮想化

研究開発戦略

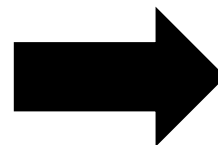
破壊的イノベーションの創出と人材育成

- 懸賞金やアワード型の公募「無線チャレンジ」等により、新奇なアイデアや人材を発掘・支援。

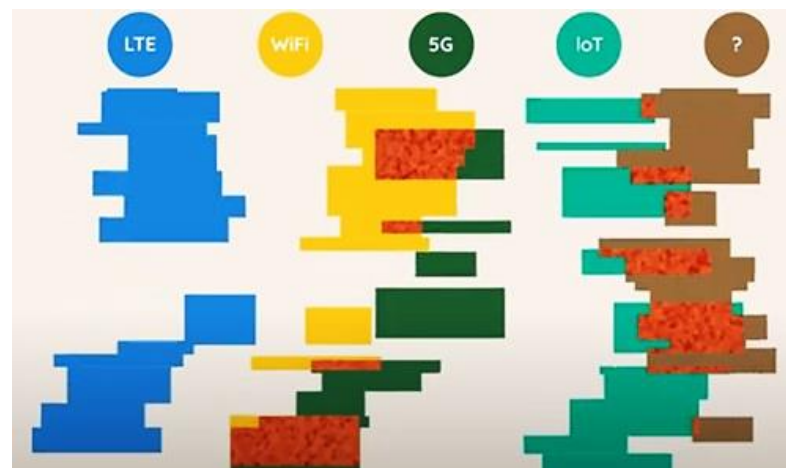
総務省「Beyond 5G推進戦略」(https://www.soumu.go.jp/main_content/000702111.pdf)を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2021)



周波数利用を柔軟に(AIで制御)し、通信品質の向上を図る。



現在は、ユースケース毎に周波数を割当てる。



出典: DARPA Spectrum Collaboration Challenge 101
<https://www.youtube.com/watch?v=cd3kCPvaXOw>

3. まとめ

- 本レポートでは、Society 5.0の実現に向けて鍵を握る次世代の情報通信技術を取り上げた。
- より高い周波数の電波を利用するためのアンテナシステムや、1Tbps級の「大容量化」を実現する多重化技術、「低遅延性」などネットワークの高付加価値化を実現する手法への注目がより高まると考えられる。
- 5Gで導入される「ネットワーク仮想化」は新たなビジネス業態(NSaaS)を可能とし、機器の「オープン化」はベンダーの再編を加速させる可能性が高い。また、Unlicensed Band等の自営網周波数による電波利用が広がることで、より多くの事業者(大学・ベンチャー企業)が通信キャリアが持つコアネットワークにアクセス可能になる。その結果、情報通信ビジネスへの参入機会が拡大するとの指摘もなされている。
- 次世代で期待されている情報通信技術は、ビジネス環境を大きく変える可能性があり、本レポートが、次世代の情報通信技術の現状を知る機会になるだけでなく、これに起因するビジネス環境の変化を好機と捉える気付きになることを期待する。

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight 短信

次世代に期待される情報通信技術

2021年3月31日 発行

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター（TSC）

- センター長 岸本 喜久雄
- センター次長 西村 秀隆
- デジタルイノベーションユニット
 ユニット長 伊藤 智
 研究員 村嶋 清孝

- 本資料に掲載されている全てのドキュメント、画像等の著作権は、特に記載されているものを除き、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター（以下、NEDO TSCという。）に帰属します。
- 本資料の内容の全部又は一部について、私的使用又は引用等著作権法上認められた行為として、適宜の方法により出所を明示することにより、引用・転載複製を行うことができます。
ただし、NEDO TSC以外の出典元が明記されている場合は、それぞれの著作権者が定める条件に従ってご利用下さい。
- 本資料に掲載されている著作物を商業目的で複製する場合は、予め下記お問い合わせ宛にご連絡下さい。
商業目的で複製とは、直接収益を得ることを目的に著作物を複製して販売すること等を指します。
- 本資料の全部又は一部について、NEDO TSCに無断で改変を行うことはできません。
- 本資料に関する問い合わせ先：
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター
電話 044-520-5150 E-Mail: tsc-unit@ml.nedo.go.jp