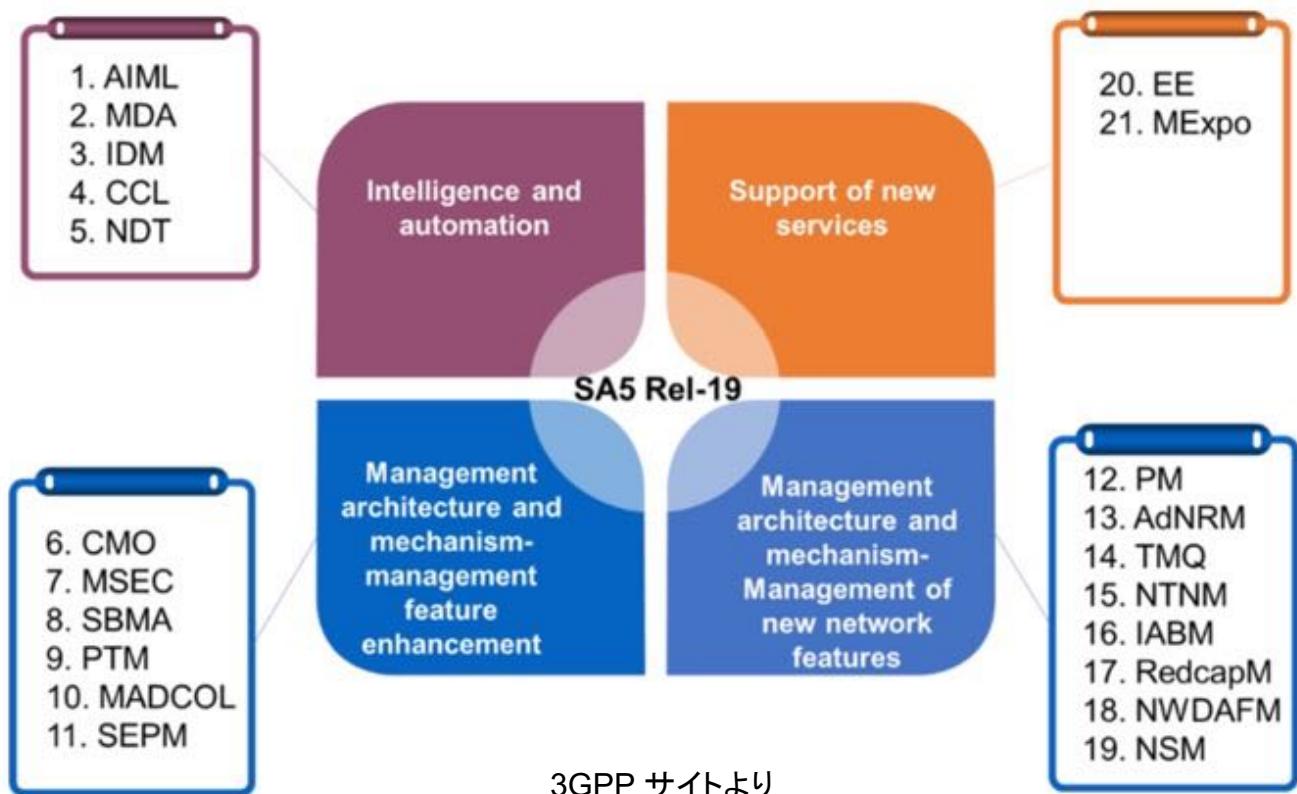


5G Advancedによる機能拡張

～ 3GPPリリース19 策定動向など～



目次

1 3GPP リリース19とは		4 IoTとISAC	
5G-Advanced仕様の第2版	3	RedCap/eRedCap	17
5G機能の拡張分野	4	IoT UEでの伝送容量増加対策	18
ITU-RのIMT2030	5	超低消費電力無線機	19
		アンビエントIoT	20
2 無線周波数帯の拡張		ISAC	21
日本での周波数割当状況	6	ISACのセンシングモード	22
周波数再編アクションプラン	7		
Rel-18以降が注目する新帯域	8		
7-24GHz帯の利用状況	9	5 NTN	
7-8GHz帯域	10	再生中継衛星通信システム	23
		ストアアンドフォワード方式	24
		HAPS	25
3 アンテナ方式と多重アクセス		6 AIの活用	
6G方式でのMIMOアンテナ	11	RANへのAI/ML技術の適用	26
Sub Band Full Duplex	12	消費電力の削減	27
RSMA 1/2	13	AI-RANアライアンス	28
RSMA 2/2	14	ソフトバンクのAITRAS	29
MIMOビーム管理方式の多様化	15	自律運用網(AN)	30
ハンドオーバーの高度化	16		

5G-Advanced仕様の第2版

2025年頃に仕様凍結の見込み

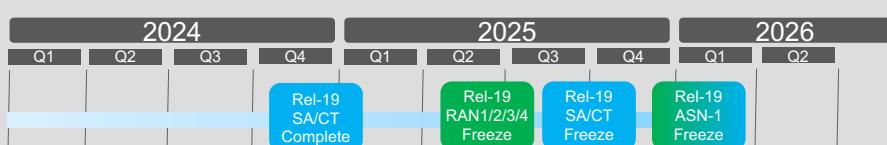
3GPP(3rd Generation Partnership Project)による最初の5G方式仕様であるリリース15(以下,Rel-15)は2019年に策定された。

その後、4G方式(LTE)機能の拡張をも含むRel-16に続いて、5G方式機能を拡張したRel-17、Rel-18が策定された。現在はRel-19の策定作業が進行中であり、その仕様凍結は2025年末の予定である。なお、3GPPではRel-18以降の方式を5G-Advancedと呼称している。

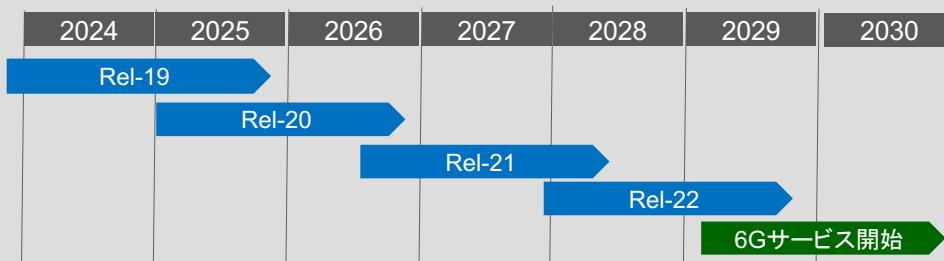
5G仕様はSA, RAN, CTの機能条件を担当する各TSG(Technical Spec. Group)にて検討が行われている。ここでSA(Service & Systems Aspects)はサービスとアーキテクチャ、RAN(Radio Access Network)は端末と基地局、CT(Core Network & Terminals)はコア網と端末間を言う。なお、UE-NW間メッセージのビット列はASN(ASN: Abstract Syntax Notation)にて定義される。

以下では端末をUE、5G基地局をgNB、コアネットワークを含む網をNWで表す。

3GPPでの5G-Advanced 仕様策定の策定スケジュール



各TSGは次の3段階の規定を順に定義。(Stage 1:要求条件, Stage 2:アーキテクチャ, Stage 3:プロトコル)



5G Advancedの第2版となるRel-19は2025年末頃に仕様凍結の見込み。2030年頃の6G方式導入まで更に3回の仕様拡張が続くと見られる。

AI、NTN、IoT等の活用で網の高度化や省電力化を進める

Rel-19ではNWの知能化、NW管理の高度化、新規NW機能の管理、新サービスサポートの4分野で合計21の機能・仕様を検討している。

【NWの知能化と自動化】

1. AIML: AI/ML management
2. MDA: Management Data Analytics
3. IDM: Intent Driven Management
4. CCL: Closed Control Loop
5. NDT: Network Digital Twin

【NW管理の高度化】

6. CMO: Cloud Management & Orchestration
7. MSEC: Enablers for Security Monitoring
8. SBMA: Service Based Management Architecture
9. PTM: Plan Management
10. MADCOL: Data Management
11. SREM: Data Subscriptions & Reporting

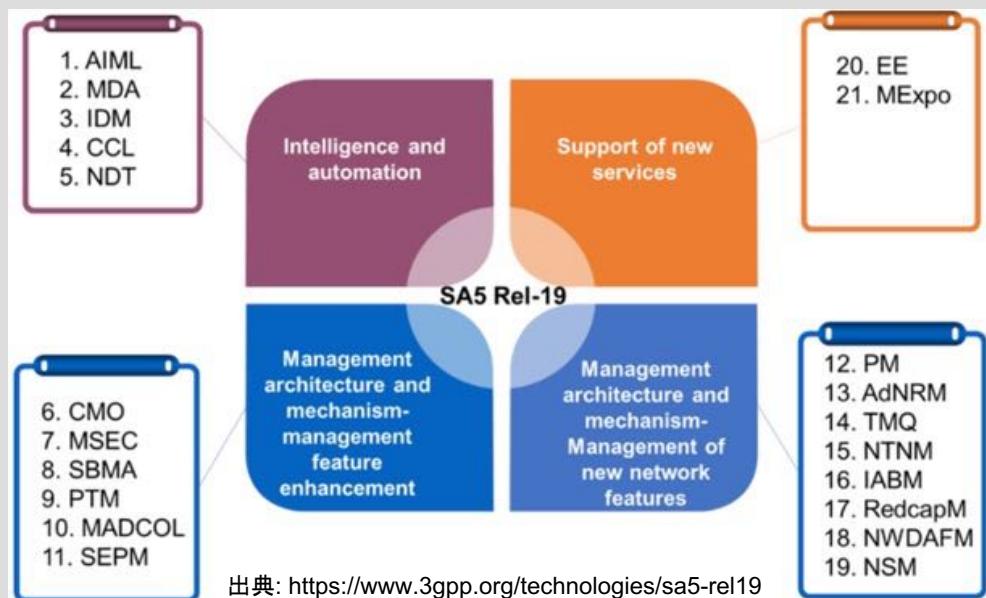
【新規NW機能の管理】

12. PM: Performance Measurement & KPIs
13. AdNRM: Additional Network Resource Modeling
14. TMQ: subscriber & equipment
Trace Management & QoE collection
15. NTN: Non-Terrestrial Network Management
16. IABM: Integrated Access & Backhaul Management
17. RedcapM: Reduced capability Management
18. NWDAFM: NetWork Data Analytics Function Management
19. NSM: Network Sharing Management

【新サービスサポート】

20. EE: Energy Efficiency management
21. MExpo: Management capability Exposure

Rel-19が注力する5G機能の拡張分野



Allは高度化・多様化する網機能や通信サービスの省力化や省電力化に役立つだろう。

6G方式導入に向けて電波割当や勧告策定の準備を開始

国際電気通信連合の無線通信部門(ITU-R)は、3GPPが2030年導入を目指すに計画中の6G方式を国際標準方式IMT-2030として認定し、対応する周波数帯域の新たな割当に加え、関連する勧告や規則の策定を準備している。

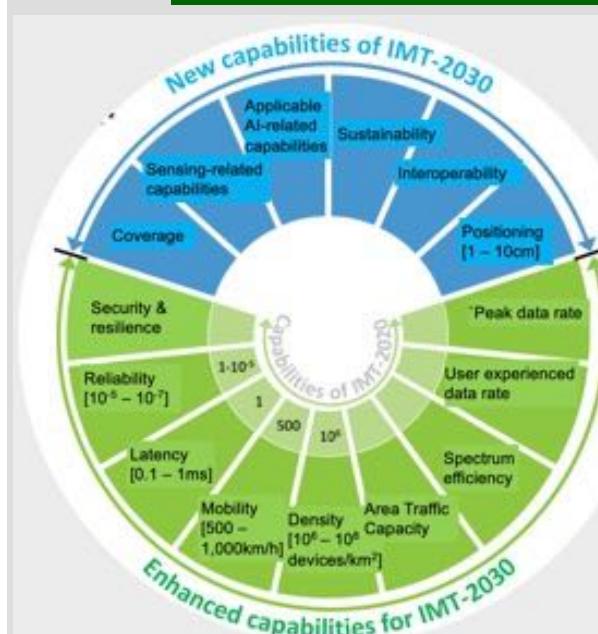
その際、ITU-RではIMT-2030の利用シーンや性能を次のように定義している。

- IMT-2030の利用シーン
(カッコ内はIMT-2020での呼称)
- ・Immersive (← eMBB)
- ・AI
- ・Hyper Reliable&Low-Latency (←URLLC)
- ・Ubiquitous Connectivity
- ・Massive (←mMTC)
- ・Integrated Sensing

出典:ITU-R勧告 M.2160

- IMT-2030の性能
- ・遅延時間 (0.1 – 1ms)
- ・移動速度 (500 – 1,000 km/h)
- ・デバイス密度 (10^6 – 10^8 個/km²)
- ・信頼性(10^{-5} – 10^{-7})
- ・最大データ速度
- ・ユーザ体感データ速度
- ・周波数帯域利用効率
- ・面積あたりのトラヒック容量
- ・セキュリティや障害回復性能

IMT-2030に関わるITU-Rの活動



【IMT-2030関係の会合予定】
(ITUサイトを元に作成)

2024	2025	2026	
			技術特性要求条件整理
			要求条件, 評価基準, 提案テンプレート作成
2027	2028	2029	2030
			WRC-27
			IMT-2030の技術提案
			評価→合意形成 →決議
			IMT-2030 規定

超高速通信やIoT等の需要拡大に備えて、新無線帯域の割当や規則制定が必要となる。

5G方式向けの帯域割り当てが進む

5G方式普及のため、総務省はMNOへのサブ6ギガ帯や準ミリ波帯の周波数割当を順次行なってきた。

3.4, 3.5GHz帯での40MHz幅を1単位とした割当に続き、3.7GHz, 4.5GHz帯では100MHz幅、28GHz帯では400MHz幅を単位とした割当が既存3社と新規に市場参入した楽天に対して行われた。

その後、2024年までに次のような電波割当が実施されている。

2.3GHz帯にて既存の放送業務及び公共業務に混信を与えないようにダイナミック周波数共用を行う条件で2022年にKDDIに割当が行われた。

2023年10月、700MHz帯の既存割当帯域の間隙に上下とも3MHz幅（合計6MHz幅）を楽天に割り当てた。

2024年12月、4.9GHz帯の合計100MHz幅をソフトバンクの5G方式用に割り当てた。（既存の無線アクセスシステム無線局の移行措置を行うこと等が条件）

モバイル通信事業者に割り当て済みの周波数帯

【単位:MHz】

2024年12月現在

MNO グループ	700 MHz	800 MHz	900 MHz	1.5 GHz	1.7 GHz	2 GHz	2.3 GHz	2.5 GHz	3.4 GHz	3.5 GHz	3.7 GHz	4.5 GHz	4.9 GHz	28 GHz
	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
ドコモ	20	30		30	40 ¹⁾	40			40	40	100	100		400
KDDI	20	30		20	40	40	40	50 ³⁾		40	200			400
SB	20		30	20	30	40		30 ⁴⁾	40	40	100		100	400
楽天	6				80 ²⁾						100			400

1) 東名阪のみ

2) 東名阪以外は40MHz

3) UQ

4) WCP

楽天は2023年秋に1GHz以下のプラチナバンドである700MHz帯に6MHz帯を獲得し、2024年6月に同帯域での商用サービスを開始した。

26GHz帯、40GHz帯での新規周波数割り当てを計画

総務省は5G方式の更なる普及のため、周波数再編アクションプラン(令和6年度版)では、5G新帯域を表すn257, n258, n259, n260 の帯域について条件付きのオーケション実施を2025年度末目途に目指すとしている。

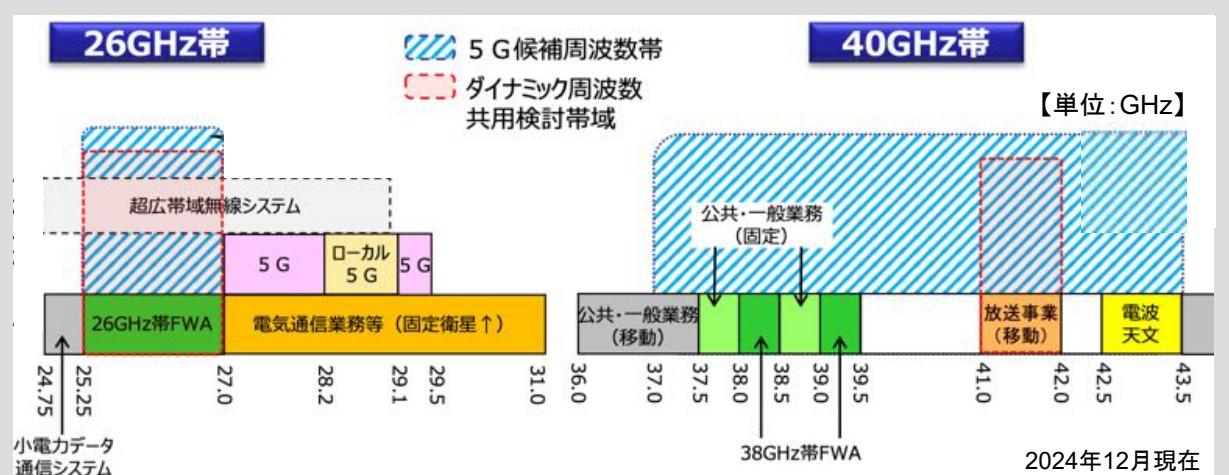
これに関連した次の帯域での5G無線仕様は2023年に3GPPが策定している。

- ・26GHz帯 (25.25～27GHz)
- ・40GHz帯 (37～43.5GHz)

総務省の新世代モバイル通信委員会では、当該帯域でのダイナミック周波数共用の適用を含む既存無線システムとの共用条件や共用管理システムの要件等に係る検討を行った後に関連する技術基準を2025年内に策定する。

その際、26GHz帯では、固定無線アクセスシステム(FWA: Fixed Wireless Access)を22GHz帯に移行させる際の他業務との共用条件等を定めた後、条件付きオーケションを2025年度内に実施する予定である。

26GHz帯、40GHz帯での既存無線システム



総務省は40GHz帯に先立ち、26GHz帯での条件付きオーケションを2025年度内に実施する見込み。このために既存無線システムとの共用や他帯域へのFWA移行等のための技術的条件を策定する。

7~24GHzの帯域に注目

5G方式での周波数帯拡張のため、3GPPのRel-17までは主にサブ6GHz帯域(FR1)と準ミリ波帯(FR2)での新規割当て可能性を検討してきた。

ここで、FR1, FR2とは次の帯域である。(FR: Frequency Range)

FR1: 450 MHz – 7125 MHz FR2: 24.25 GHz – 71.0 GHz

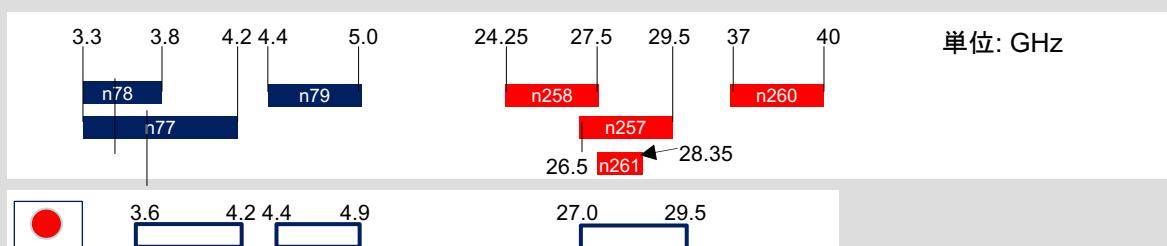
一方、Rel-18以降ではFR1とFR2間にあたる7-24GHzの利用可能性を重点的に検討している。当該帯域は帯域幅が広いのに加え、FR2より周波数が低いためセルカバレッジが広くなる利点がある。

また、Rel-19では通信とセンシングを同時提供するISAC(Integrated Sensing & Communication)の導入に向けて、7-24GHz電波のチャネルモデルをクラッタ特性、レーダー断面積、時間変動等を考慮して作成している。

【クラッタ】レーダー電波が海面や雨などで反射されて発生する不要電波

【レーダー断面積】照射電波を受信アンテナ方向へ再放射する能力を表す面積単位の指標

リリース19で検討中の新帯域



【Rel-18以降での拡張帯域の候補】



Rel-19では7- 24GHzの帯域を追加するための検討が行われている。

7-24GHz帯の利用状況

10- 15GHzの帯域は各種の衛星業務や地上業務に広く使用

7-24GHz帯にはITUの無線通信規則(RR: Radio Regulations)にて複数の業務が割り当てられているので、6G方式に割当可能な連続した広い周波数ブロックが存在しない。特に10-15GHzは移動衛星業務(MSS), 固定衛星業務(FSS), 放送衛星業務(BSS), 地上業務(FS/MS)等に広く利用されている。

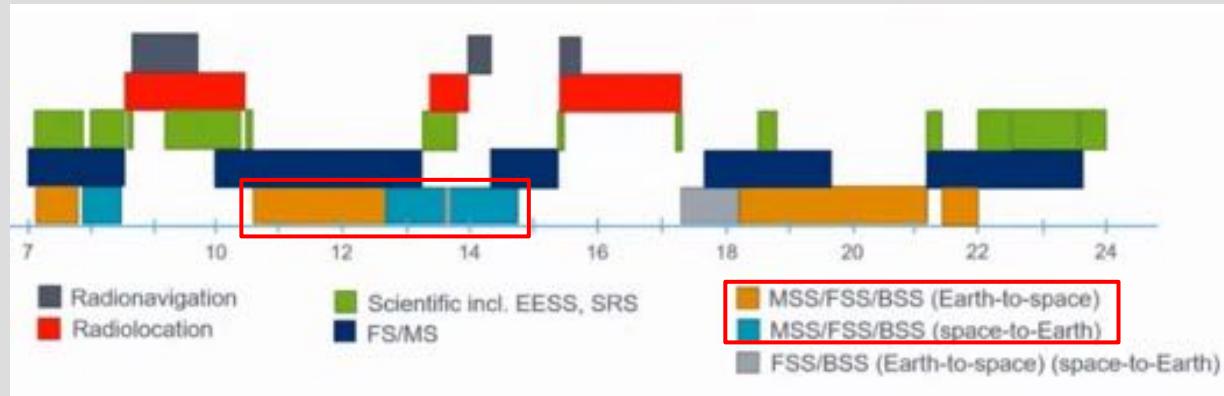
そこで当該帯域への6G用帯域割り当てには、既存サービスの移行や高度な周波数共用技術の適用によって既存サービスとの共用を図る必要がある。

WRC-23では4.4-4.8GHz、7.125-8.4GHz、14.8-15.35 GHzが6G向け検討対象となった。一方、WRC-27では7-15GHzでの6G方式帯域の割り当てが主要議題となり、その中で米国・カナダは7.125-8.4GHz帯を提案すると見られている。

これに対して欧洲は7.25-7.75GHz帯をNATOが利用中であるなどから、7-30GHzでの6G方式候補帯域では安全保障や宇宙政策関連の利用を妨げないよう主張するようだ。

7-24GHz帯の利用状況

”海外主要国の6Gに向けた取り組み”, KDDI総合研究所R&A 2023年9月号より



10- 15GHzの帯域を6Gが使用するには、既存の各種衛星サービスと共にできるように高度な周波数共用技術の適用などが必要となる。

広帯域の利用に加え経済的な設備展開も可能に

WRC-27では第6世代向けに 7.125–8.4GHzの利用が主な検討対象になるだろう。

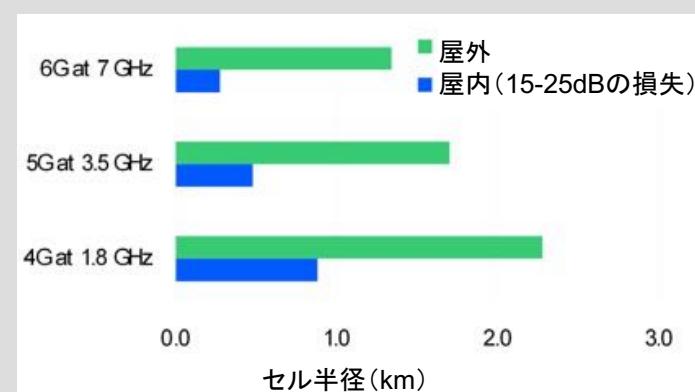
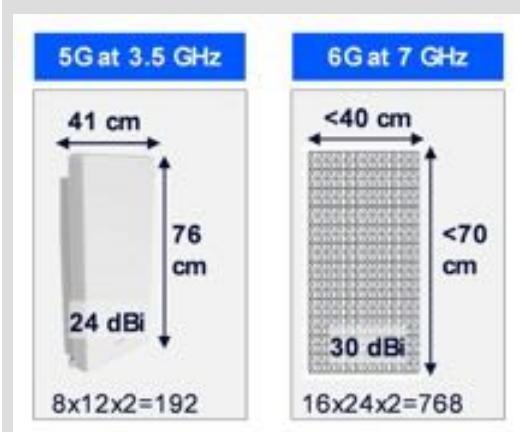
当該帯域は既に地上や衛星サービスに割当済みだが、他周波数帯への移行によって6G帯域向けに利用可能となれば次の理由から大いに有望である。

- ・ 1GHz幅以上の帯域があるので各MNOは200～400MHz幅の割当を受けることで超高速な通信が可能に
- ・ 周波数は3.5–3.7GHz帯の約2倍と高いが28GHz帯との比較では約1/4であり4GHz帯の既存基地局への設備追加等によって経済的な展開が可能に

例えば、40cmD × 70cmHの3.5GHz帯基地局アンテナは 8x12個の両偏波素子で $8 \times 12 \times 2 = 192$ 個のビームが生成できる。一方、同サイズの7GHz帯アンテナは 16x24個の両偏波素子で 768 個のビームが生成できるのでアンテナ利得は 3.5GHz に比べ 6dB 高くできる。(下図では 3.5GHz で 24dBi が 7GHz で 30dBi に)

そこで、伝搬距離の約3.5乗に比例して増加する都市部での伝搬損失を相当程度補償できる。

7GHz帯 基地局アンテナ例と都市部での伝搬距離



奥村・秦伝搬モデルに基づくセル半径の予測

"The 6G Upgrade in the 7-8GHz Spectrum Range", 5G Americas, Oct.2024" より

基地局アンテナ素子を高密度にすることで7GHzアンテナによるセル半径は 3.5GHz のそれに近い値にできるだろう。

複数アンテナの分散設置でビル陰や道路上での見通し確保

第6世代方式での基地局アンテナでは次のような高度化が図られるだろう。

1. アンテナ素子数の増加

現在は最大数百個である基地局アンテナ素子数が数千個までに拡張される。その際には微細なアンテナ回路設計や消費電力抑制対策が必要となる。

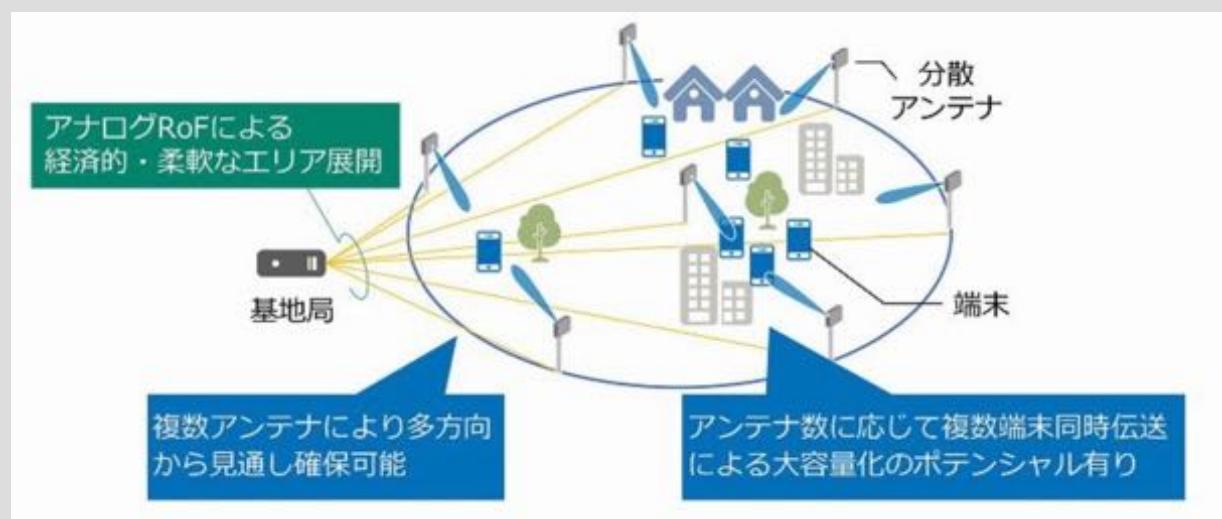
2. 分散MIMO

複数地点にアンテナを配置し、同一UEに多方向から電波を照射することで遮蔽物による電波の減衰を回避する。また、多素子のMIMOアンテナから複数UEへの同時伝送が可能になる。

3. 複数基地局電波の切替

高速移動する車両等では道路や鉄道沿いの複数基地局電波を順次切り替えることで通信安定化できるだろう。その際には、基地局切り替え前後で生じる伝送遅延時間やドップラー周波数の違いを補正する必要がある。

分散MIMOアンテナシステム（NTT資料より）



<https://businessnetwork.jp/article/26579/>

都市部では複数基地局に設置した分散MIMOアンテナを用いてビル陰等での不感帯削減や自動車や列車上での通信安定化が期待される。

SBFD (Sub Band Full Duplex)**基地局では送受間の回り込み雑音の抑圧が必要**

5GNRでは多くの産業面で制御に対する応答時間の短縮が求められている。これまでの5GNRにはTDDが広く用いられており、アップリンクとダウンリンク間のタイムスロット間には十ミリ秒から最小でも数ミリ秒の遅延時間があった。

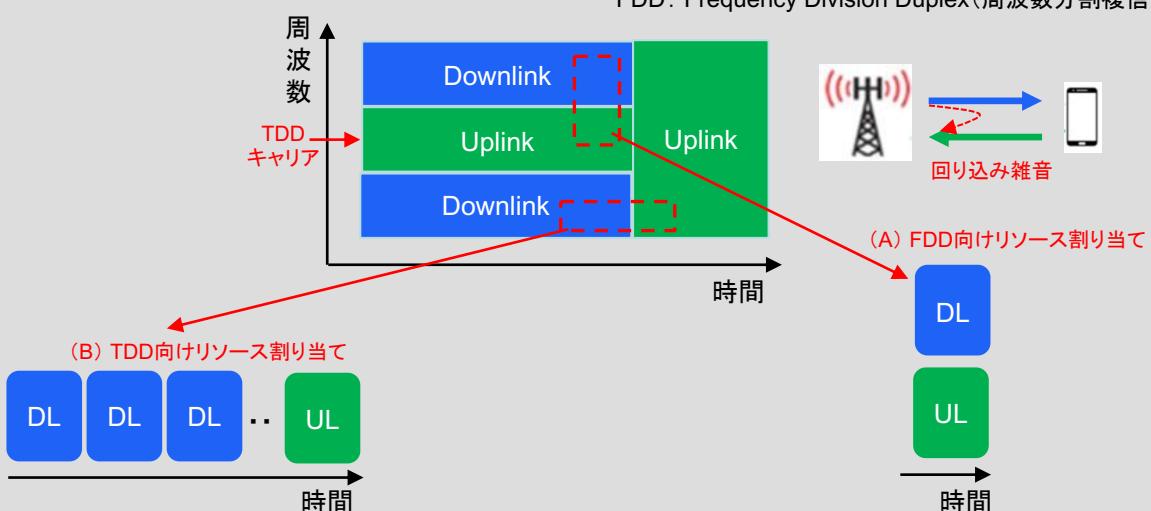
これを更に短縮するため、Rel-19では一部の無線リソースを全2重のFDDモードで運用できるようにリソース割り当てを行うSBFD(Sub-Band Full Duplex)でのシグナリングや手順が検討された。

SBFDでのFDDでは、リソースグリッド内での上下リンク用リソースユニットを下図(A)のようにサブフレーム内の同じ時間となる位置に割り当てる。一方、TDDでは下図(B)のように同じ周波数となる位置に割り当てる。

このFDDの適用にはgNB側にて送信部から受信部への回り込みによる干渉雑音を抑圧する自己干渉抑圧機能が必須となる。なおUE側は従来同様、送信と受信タイミングを切り替える半2重の運用になる。

SBFD (Sub-Band Full Duplex)

TDD: Time Division Duplex(時分割複信)
FDD: Frequency Division Duplex(周波数分割複信)



基地局(gNB)で上下リンクを同時に送受信する全2重(Full Duplex)モード運用の場合、送信系から受信系への周り込み雑音の低減が必要になる。

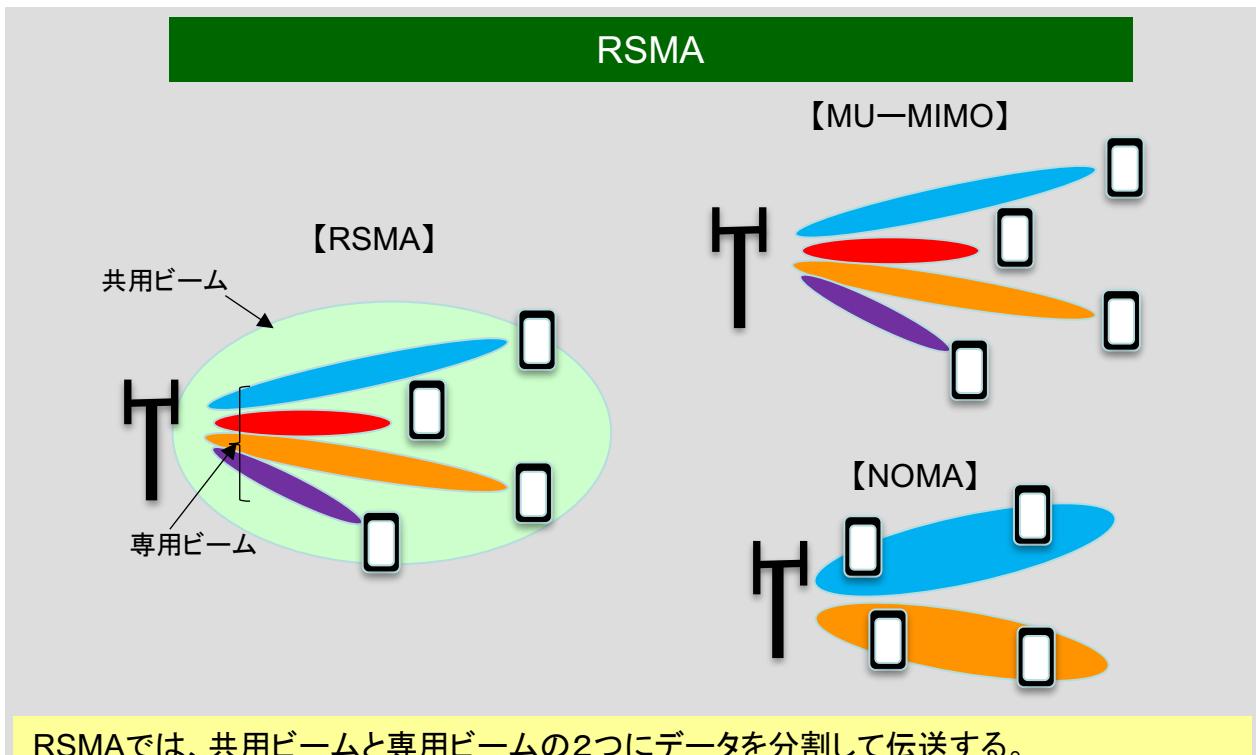
専用ビームと共用ビームの双方にデータを分割して伝送

基地局からUE向けのダウンリンク伝送では、各UEの位置や方向の相違を利用した空間多重を行うことで複数ストリームを同時伝送する各種の方式がある。

このうちMU(Multi-User)-MIMOでは、複数レイヤー内に挿入された特定のRS(Reference Signal)の受信品質を各UEが測定し、その品質情報を基地局に返送することで複数UE間の相互干渉が一定値以下となるチャネル行列を求める。しかし多くの場合、十分有効な行列を短時間で見出すのは相当困難である。

一方、NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access)は、基地局近くで受信品質の良いユーザ(UE1)と、セル端付近にて受信品質の悪いユーザ(UE2)をペアにして送信する方法だが、最適ペアを見出す方策や改善効果の点に課題がある。

他方、Rel-19で検討されたRSMA(Rate-Splitting Multiple Access)は各UEのみに送信する専用ビームと広角でカバーする共用ビームの両者にデータを分割して送信する方式である。



ダウンリンクでは各UE向けビームと全UE向けビームの2つで伝送

RSMAでは、gNBは各UE向けメッセージを2つに分割し、一方は専用ビームで、他方は全UE向けの共用ビームで伝送する。

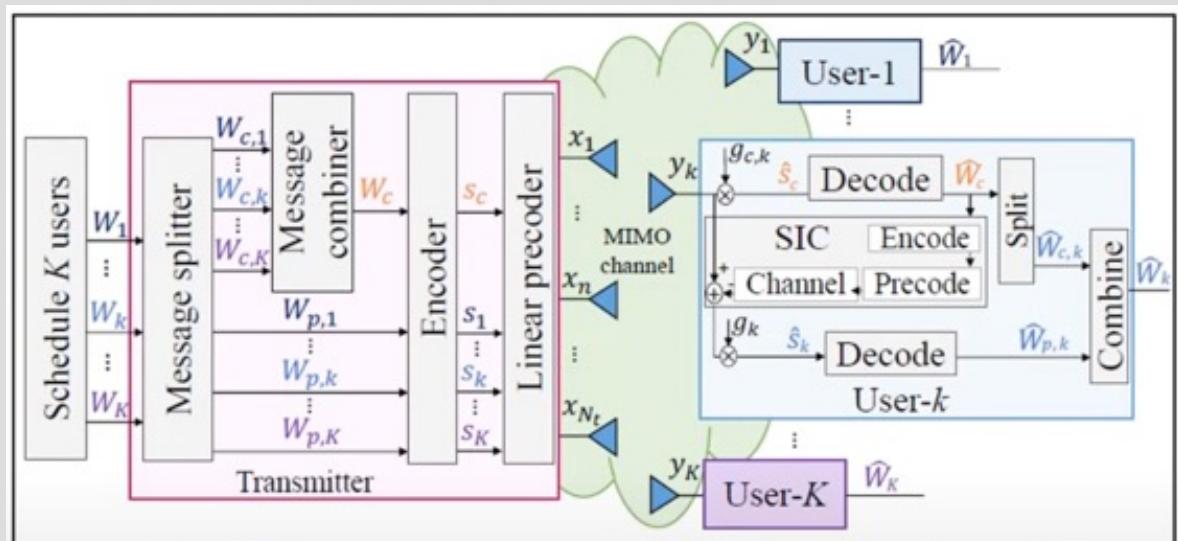
RSMAの送信側、受信側の回路は下図のようになる。

送信側ではUE_k宛てメッセージ(W_k)は専用ビーム用の $W_{p,k}$ と共用ビーム用の $W_{c,k}$ の2つに分割される。

前者($W_{p,k}$)はUE_kを照射する高利得の専用ビームにて伝送され、後者($W_{c,k}$)は全UE(あるいは複数UE)宛てメッセージ(W_c)に合成され、広角な共用ビームにて伝送される。

共用ビームと専用ビームの送信電力や専用/共用ビームで送信するデータ比率を調整することで、ビーム相互間の干渉雑音を一定値以下に抑える。

RSMAの回路構成



YouTube: "Rate-Splitting (Multiple Access) for 6G", B. Clerckx, May 2020" より

RSMAでは基地局は各UE向け専用ビームと全UE向け共用ビームの両者で送信する。

Rel-19では基地局(gNB)やUEの多様な構成を考慮して改善

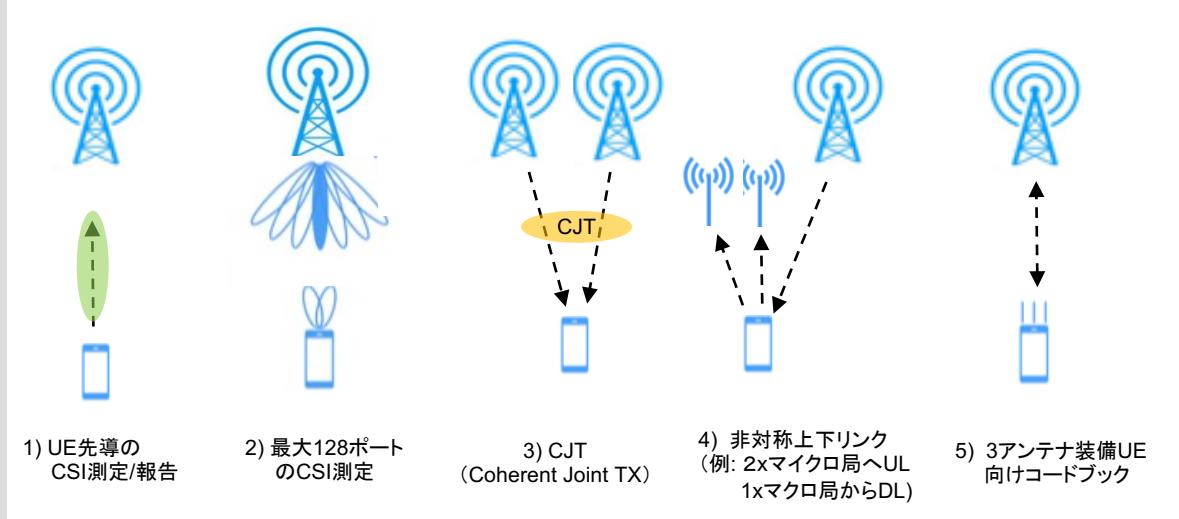
MIMOの最適ビーム選択では、gNBから要求されたUEが各ビームの受信強度を測定し、その結果報告を元に実行されてきた。このようなgNB主導の手順にはオ制御情報の増加や制御遅れに伴う性能劣化が生じる問題点があった。

TDDを用いる5G方式では上下リンクの双対性があるので、UEが自律的に下りリンクビームの受信品質を評価し、受信品質劣化等の状態変化が生じた場合のみにgNBに報告して最適ビームの選択切替を促すのが効率的である。

また、高い周波数を用いる5G方式のgNBアンテナには最大数百もの素子が搭載できるので、これ迄最大32のCSI-RSポート数をRel-19では最大128に拡張した。(CSI-RS: Channel State Information Reference Signal)

この他、Rel-19では2つのgNBからの同期(コヒーレント)DL送信、UEからマクロ局とマイクロ局への同時UL送信、3アンテナを持つUE向けのコードブックを新たに定義した。

アンテナビーム管理方式の多様化



UE主導のビーム管理とすることで制御のオーバーヘッドや遅延時間を削減できる。

Rel-19ではgNBやUEの多様な構成を考慮して改善

網と接続状態にある移動中のUEが基地局セルを切替えるハンドオーバ(HO)の手順はプロトコルスタック第3層のRRCLレイヤ上で実行されていた。

Rel-18ではHO期間中の瞬断時間短縮のため、より低位のPHYやMACレイヤでHOを実行する次のLTM(Lower layer Triggered Mobility)手順が仕様化された。

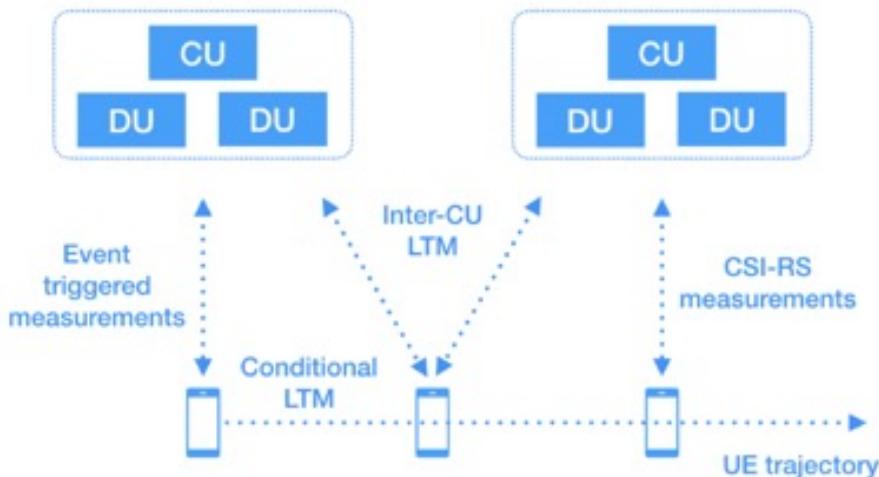
1. HO元のgNBはRRCでの品質測定報告に基づきHO候補セル情報をUEに設定
2. HO直前にHO元のgNBはUEのPHY層での品質測定結果報告に基づき、HO先の複数セル候補から最適なHO先セルとビームを選択
3. HO元のgNBはMACシグナリングでUEにセル切替のHOコマンドを送信

このHOは従来、同一CUの制御下にあるgNBのDU間で適用可能だった。

Rel-19では、下図のように異なるCU配下にあるDU間でのLTM手順を仕様化した。

低位レイヤによる基地局ハンドオーバー高速化

Mobility Enhancements



Rel-19では、異なるCU配下にあるDU間でのLTM手順を仕様化した。

3GPP リリース17,18に基づき技術的条件を制定

5Gでの移動性能や中速データ通信が可能なIoT機器向けに、スマホ等の高度なUEに比べて消費電力や機能を抑えたRedCap(Reduced Capability)や、その拡張版のeRedCap(e: enhanced)がRel-17,18で規定された。これらは超低速通信用方式であるNB-IoTと、高速通信方式の5G NRの間を埋める方式であり次の特徴・性能がある。

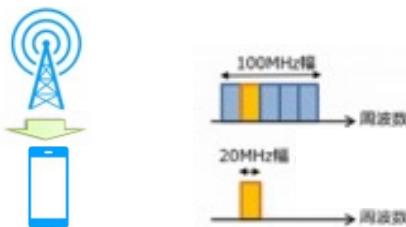
- ・eDRXが可能：受信間隔を最長で約3時間まで拡大可能
- ・通信帯域幅の制限：RedCapでは20MHzまで、eRedCapでは5MHzまで可能
- ・半2重(Half Duplex)：UEでの送受信タイミングを分離
- ・アンテナ素子数：1個のみ

日本ではRel-17,18での定義に基づき2024年に総務省が技術的条件を定めたことで国内利用が可能になった。

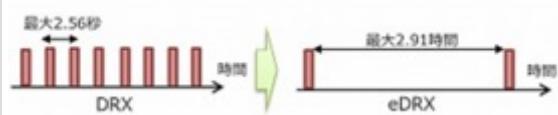
産業向け各種センサ、監視カメラ、ウェアラブルデバイス、電力・ガス・水道等のスマートメーター等への応用が見込まれる。

RedCap/eRedCapの主要技術

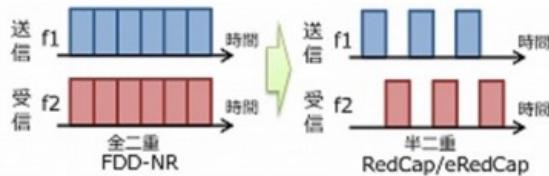
【UE最大帯域の低減】



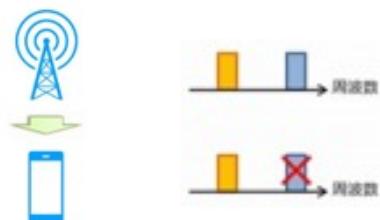
【UE最大受信間隔の拡大】



【UE送受信タイミングの分離】



【UE受信アンテナ数の制限】



総務省 情報通信審議会 新世代モバイル通信システム委員会報告概要(2024.12)より

産業向け無線センサやスマートグリッドでの利用が期待される。

ULSCHに直交カバー符号を適用

UE送信電力が小さいIoTでは伝送速度の制限や干渉雑音の低減が必要となる。

特にOFDM変調ではピーク電力対平均電力比(PAPR)が高くなるため、送信電力に余裕がある基地局送信のダウンリンクでは問題が少ないが、送信電力に厳しい制約があるUE送信データチャネル(ULSCH)では信号をDFT-s-OFDM方式によってシングルキャリアの信号波形に変換することでPAPRを低減している。

一方、多数のIoT UEによる低速データ送信では同一リソースブロック内で隣接リソースエレメントを使用する複数UE間での干渉雑音抑圧が重要である。Rel-19では、IoT UEがULSCHに送信するリソースエレメント信号に直交カバー符号を適用することで信号間干渉を低減する検討がされている。

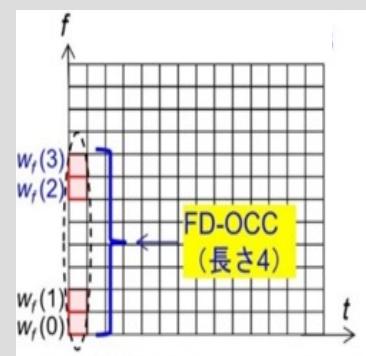
直交カバー符号(OCC:Orthogonal Cover Code)は異なる符号ベクトル間の内積がゼロになる性質がある。

なお、Rel-15では長さ2のOCCがDMRSに、更にRel-18では長さ4のOCCを用いて最大ポート数が2倍に拡張されたDMRSが導入されている。

直交カバー符号(OCC)の例

4ユーザに対して、長さ4の次の4種類のコードを割り当てる。

- ユーザ1: [1, 1, 1, 1]
- ユーザ2: [1, -1, 1, -1]
- ユーザ3: [1, 1, -1, -1]
- ユーザ4: [1, -1, -1, 1]



上記では異なるユーザ符号 $[a_k], [b_k]$ 間の内積($\sum a_k b_k$)は全てゼロになっている。

OFDMで多重される各サブキャリアに直交カバー符号を割り当て、上図のように送信ビット列に適用することで異なるユーザ間の干渉雑音を低減できる。

直交カバー符号はWalsh-Hadamard符号やGolay符号などから生成できる。直交カバー符号は符号間干渉雑音抑圧に非常に有効という長所の反面、正確な符号同期が必要であり、復号処理が複雑になる欠点がある。

DMRSに使用中の直交カバー符号(OCC)はIoT装置のデータ送信にも有効である。

超低消費電力無線機

IoT UE待受時の節電性能を改善

UEの節電方式であるDRX(Discontinuous RX)はUEが一定周期で起動してダウンリンク信号をモニタする方式だが、基地局から当該UE宛ての送信信号がない場合には短時間とはいえ受信機起動による無駄な電力消費が生ずる。

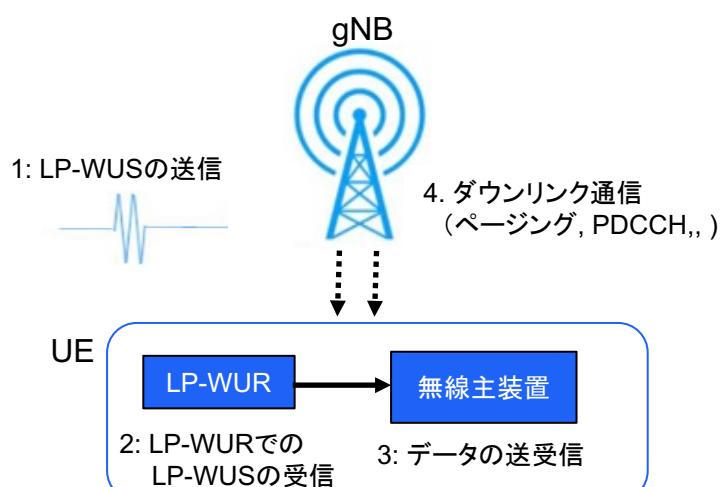
そこで、UE向け信号伝送がある場合は基地局(gNB)が明示的に起動信号(WUS: Wake-Up Signal)を送信し、その受信時のみにUEの送受信機能が起動できればUE節電効果が大きくなる。

Rel-19ではgNBがLP-WUR(Low Power Wake-Up Receiver)を起動できる信号(LP-WUS)を送信し、UEのLP-WURは当該信号の受信後に無線主装置を起動すべきかを判断できるようにした。

LP-WURは無線リソース割当が行われない(アイドル又は非接続)状態では無線主装置を起動せず、ページングチャネルのモニタを継続する。

一方、接続状態に移行後は無線主装置を起動してPDCCHでのリソース割り当て情報を取得し、PDSCHやPUSCHによるデータ送受信を行う。

LP-WUS & WUR



UEの簡易受信機はgNBからのLP-WUS信号で起動し、ページングCHで自身とのデータ送受信があるかを判断し、送受信がある場合のみ無線主装置を起動する。

電源を持たずバックスキヤッタ方式でIoTデータをアップリンク

アンビエントIoTは電波、光、熱などの周囲環境エネルギー源からエネルギーを取り込んで電力を得るIoTデバイスである。

アンビエントIoTのうち受信電波のバックスキヤッタ(後方散乱)にてIoTデータをアップリンクする方式がRel-19で初めて定義された。

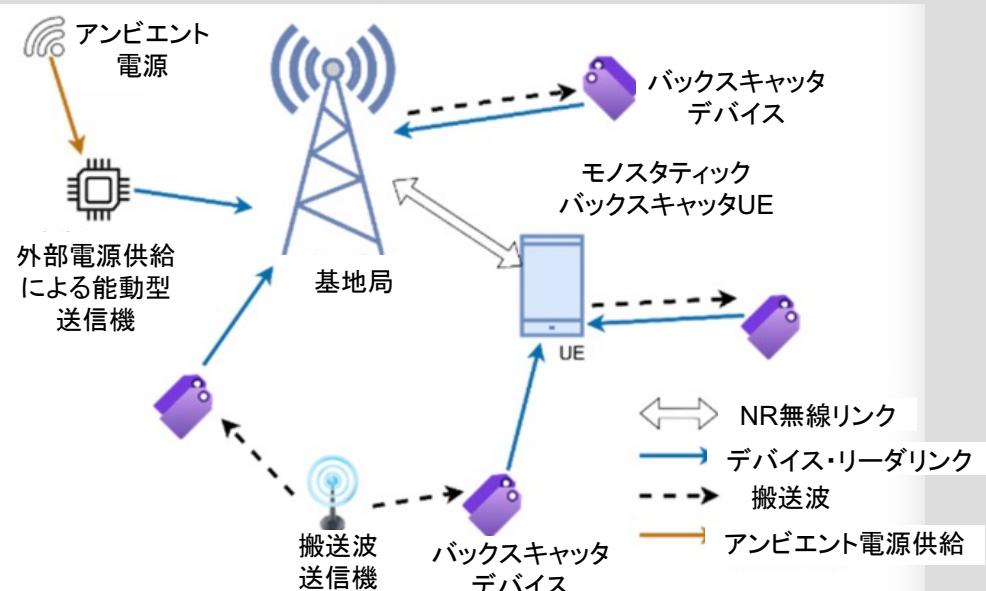
このバックスキヤッタ通信では受信電波の微弱なエネルギーでチップを起動後、反射波に情報を乗せる変調を行って送信する。

バックスキヤッタ方式の通信距離は極めて短いことから、5GNR網ではリーダー機能を備えた各種UEにて中継する構成や基地局(gNB)自身がリーダー機能を有する構成も想定されている。

アンビエントIoTはUHF RFIDの進化形とも言えるだろう。

ユニクロのセルフレジはUHF RFIDの一例であり、リーダー送信のUHF帯電波によって商品に装着されたRFIDタグを給電した後、商品ID等の情報を反射波に乗せ送信しリーダーが読み取っている。

アンビエントIoTネットワーク(3GPPサイトより)



アンビエントIoTではリーダ機能を備えたUEを中継ノードとしてIoT情報を中継する構成もある。アンビエント(ambient)は英語で「周囲の」意味。

スマートシティ実現に向けた6G方式の重要な技術に

スマホや基地局が送信する電波で人やモノの位置を特定する技術ISACが6Gの重要な技術として今後検討される予定である。これによって人やモノを検知するための専用センサが不要になるメリットもある。

3GPPでは次のような多様なISACユースケースを想定し、スマートシティ実現に向けた重要な技術として期待している。

- ・繁華街や観光地での人流や高速道路での混雑状況の推定
- ・線路への人や動物の侵入検出
- ・運転支援システムの補助や交差点死角での障害物検知
- ・降雨量や洪水の監視
- ・工場でのAGV(自動搬送ロボット)位置追跡や作業状況の監視
- ・自宅での侵入者検知や健康・睡眠のモニタ

この他、ドローンの追跡や衝突回避への活用も考えられる。

ISACのユースケース例

	ユースケース	難易度	難易度に関する補足
屋内利用	AGVの検出と追跡（工場内）	中	信頼性と10cm以下の精度
	人間の移動や認識	中	屋内での低遅延と更新頻度
	ロボットの位置把握	高	ミリ程度の位置精度と実時間での制御
屋外利用	ドローンの検出	中	直接見通し環境
	空からの環境センシング	中	UAV
	大規模災害リスク監視	高	広域カバレッジ、緊急機関との連携
	交差点での交通流や安全	高	網エッジ型のセンシング方式や警報制御
	UAVの安全で経済的走行	高	直接見通し外での支援
屋内外両方での利用	緊急時捜索や救難	高	網エッジでのAI利用、動的ルーティング
	センシング補助による通信	高	通信制御レイヤでのセンシングデータ利用

参考 “Transforming Industries with ISAC”, July 2025, 5G Americas

モバイル通信にUE位置情報を組み合わせ利用することでスマートシティの実現が近づく

基地局とUEを各ユースケースに適した形態で利活用

ISACでは通信網内の基地局やUEをユースケースに適した構成で活用する必要がある。

その際、人物やモノの検出や位置特定のために送信するパルスは次の2つの形態で利用される。

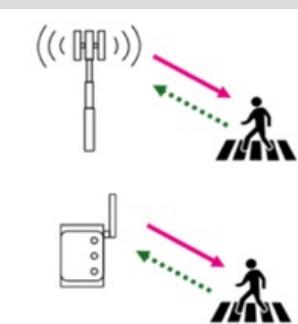
その一つは、1つの基地局又はUEがパルスの送信局になるとともに、自身がその反射信号を受信する形態である。

もう一つは、パルスの送信局と受信局が異なり、送信局からの送信パルスの反射信号を別の局が受信する形態である。

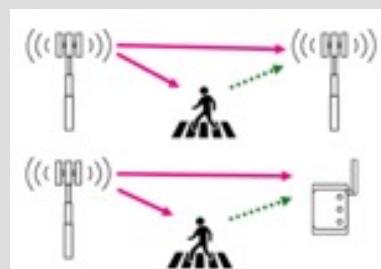
このほか、送信局あるいは受信局がそれぞれ複数あるような形態も想定されている。

ISACでのセンシングモード

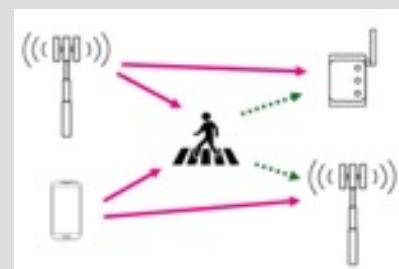
【Mono-staticモード】



【Bi-staticモード】



【Multi-staticモード】



センシング用送信機、受信機
が同じ装置（基地局やUE）

送信機、受信機が別装置
(多くは別の基地局)

複数の受信機が1個又は複数
の送信機からの反射波を受信

“Transforming Industries with ISAC”, July 2025, 5G Americas

ISACではユースケースに応じて、多様な基地局とUEの組合せが考えられる。

StarlinkやIridiumでは再生中継方式によるISLを適用

Rel-17, 18のNTNでは上りリンクの変調信号を衛星中継器内で増幅し、下りリンクに再送信するベントパイプ型中継方式が主たる対象だった。

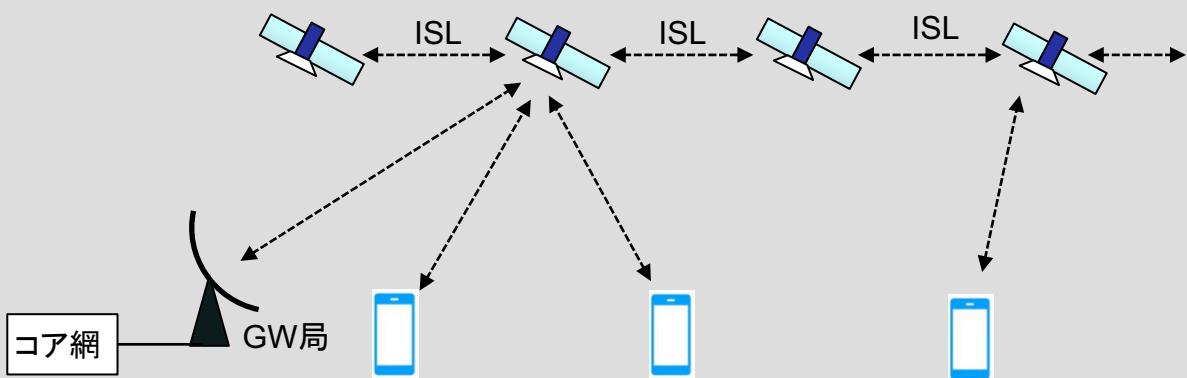
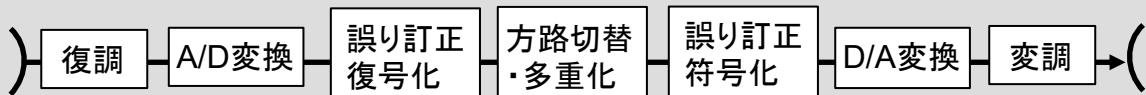
Rel-19では再生中継に加え、衛星中継器にgNB機能を搭載して地上UE、GW局と対向するとともに、衛星間リンク(ISL)にて多段中継する構成も含めている。

再生中継は衛星中継器内で上りリンク信号を復調し、デジタル信号での方路切替や多重化の後、下りリンク(やISL)信号送信のため再変調を行うものである。再生中継方式には、複数リンクの接続で雑音が加算されることによる品質劣化がないなどの長所がある。

特に、衛星間リンク(ISL)の多段接続を行うLEOコンステレーションでは再生中継が必須となる。

例えば、Starlink衛星ではKa帯の無線又は光通信によるISLを再生中継と組み合わせている。

再生中継方式と衛星間リンク(ISL)



ISL(衛星間リンク)での多段中継を行う場合には再生中継が必須と考えられる。

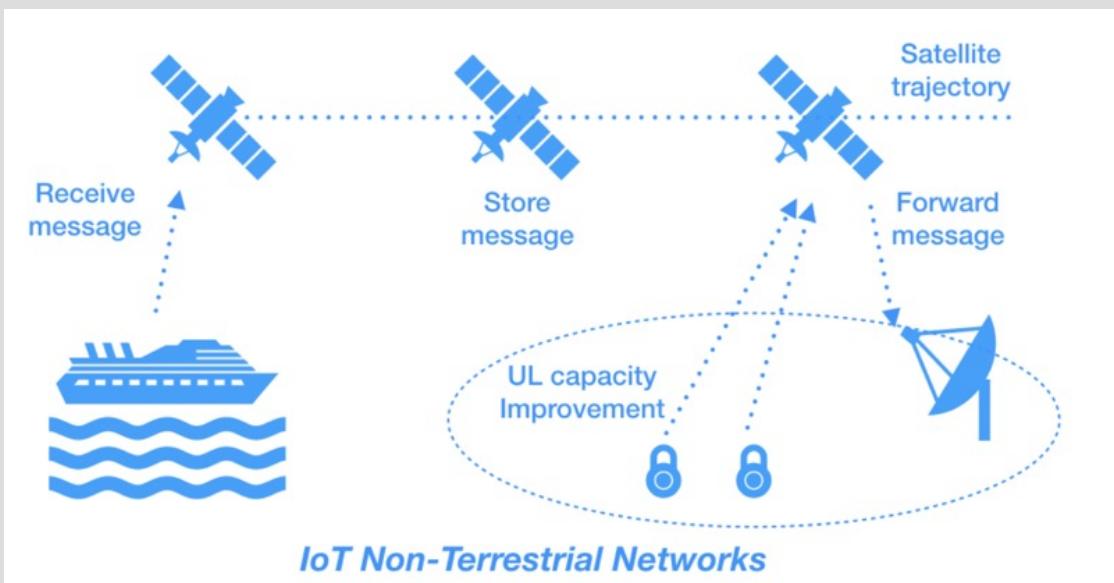
海洋等でのIoTセンサ情報収集には効果的

IoT向けNTNでは、地球上の広大なサービスエリアを少数の衛星でカバーすることが重要である一方、リアルタイム伝送の必要性はそれほど高くない。とりわけ、地球全体のうち約7割を占める海洋上ではリアルタイム受信できるハブ局の設置が困難な場合が多い。

そこで、LEOやMEO衛星ではIoT UEから送信されたデータを(再生中継方式の)衛星中継器内に一時記憶しておき、ハブ局のサービスエリアに入った時点で(多数のUEからの)当該データを一挙にダウンリンクすることが効果的である。ストアアンドフォワードと呼称される当該方式は、低軌道衛星を用いた気象や海洋関係の各種データの収集衛星システムにて既に広く利用されている。

ストアアンドフォワード方式は陸上網でのショートメッセージサービス(SMS)に似ている。SMSでは送受信装置間エンドツーエンド接続性ではなく、中間にあるサーバーがメッセージを一時記憶し転送する役割を果たしている。

ストアアンドフォワード方式のIoT



地球上に広く分布する多数のIoTセンサからの非リアルタイム情報収集に適している。

山岳部等のエリアや災害時の通信に効果的

地上約20kmの上空を飛行するHAPS(高高度プラットフォーム)はNTNの一種であり、地上網の敷設が困難なエリアや災害時の通信サービス提供に有望である。2023年開催のWRC23では、HAPS用の周波数割り当てが行われ、サービス導入に向けた環境が整いつつある。

当初のHAPSでは地上UEとの間のサービスリンクに2GHz帯、HAPSとハブ局間のフィーダリンクに38-40GHz帯の利用が想定されている。

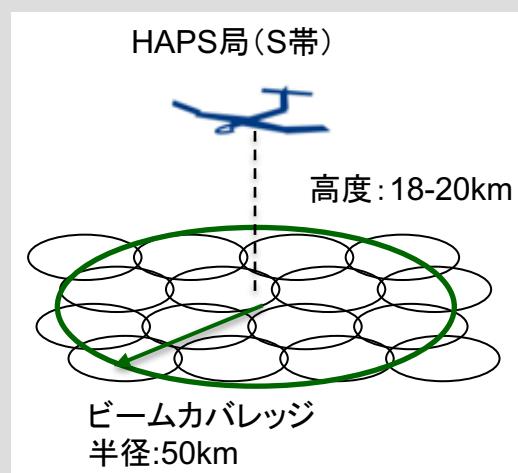
提供サービスは携帯電話エリア拡大や災害利用であるが、この他に静止画や映像によるリモートセンシングへの利用も期待されている。

総務省では、2025年にHAPSの技術的条件の策定とともに隣接帯域を使用する他のサービスとの干渉検討を行っている。

HAPSの共用検討に用いた無線局諸元

パラメータ	単位	ダウンリンク	アップリンク
アンテナ高	km	18	0
周波数	MHz	2110-2170	1920-1980
帯域幅	MHz	5, 10, 15, 20	
EIRP密度	dBW/MHz	14.9/ビーム	-14.0
アンテナ利得	DBi	23	0

総務省 新世代モバイル通信システム委員会報告(案)
2025年12月 より



HAPS1機は地表面上で10~20のセルを含む半径50km程度をカバーする。

ビーム管理や基地局カバレッジ/負荷容量の最適化などに応用

Rel-19ではRel-18から引き続いだAI/ML適用によるビーム管理、位置情報取得(ポジショニング)、CSIフィードバック効率化などを検討している。

このうちビーム管理やポジショニングでは、UE側あるいはNW側の一方のみにAI機能を搭載する場合のシグナリング等の仕様がある。

CSIフィードバック関係では、空間・周波数領域でのCSI返送情報の圧縮、およびUE側での時間領域のCSI予測がある。

UE移動時のハンドオーバー(HO)関係では、HO元およびHO先基地局との伝搬特性変動の先行予測によって最適時点でHOする手順などがある。

更に、次のような課題解決に向けたAI/MLの適用も検討されている。

- ・NWスライシングでのリソース割り当て最適化
- ・隣接セル間でのカバレッジやリソース割り当て(容量分担)の調整

AI/MLの適用分野

【空間インターフェイス】



【UE移動性能】



【NW/提供サービスの運用】



AIの活用によってビーム管理の効率化、ハンドオーバー性能の向上、基地局負荷配分の最適化等が期待できる。

消費電力の削減

ピーム管理や基地局力バレッジ/負荷容量の最適化などで実現

モバイル網の全消費電力のうち8割から9割が基地局で消費されているため、基地局の節電は重要課題になっている。

その改善策として3GPP Rel-18では主に次の2つが検討された。

その一つは、各基地局のトラヒック負荷変動を考慮したセルの休止や不要なシグナリングの削減である。セル休止には大きな節電効果がある一方、サービス品質維持のためにはトラヒック時間変動の高精度予測が必要となる。

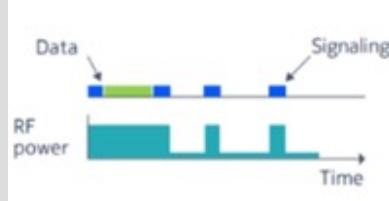
もう一つはアンテナ構成や送信電力及び帯域幅の制限である。

アンテナ構成最適化には、アンテナビーム数やMIMOアンテナを構成する素子の稼働数をトラヒック変動に応じて増減する方法がある。ベースバンド装置ではトラヒック変動に応じて使用帯域に対応する回路を休止/再稼働する方法がある。

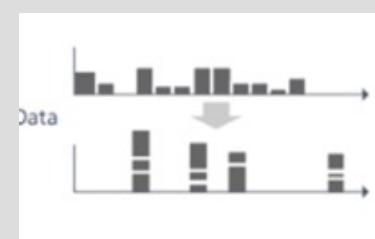
IoT装置等との送受信ではデータ送信がない時間の節電効果を高めるために、データ送信タイミングの多重化やシグナリング送信間隔の拡大がある。

多様な節電技術

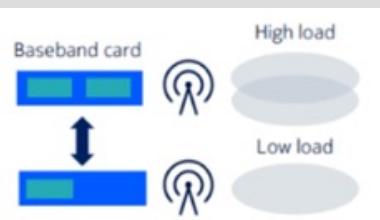
【Micro DTX】



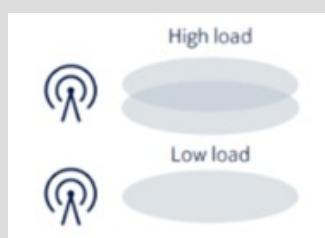
【Enhanced μDTX】



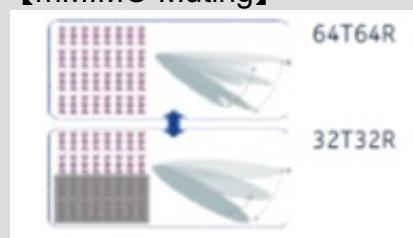
【Dynamic BB Power Management】



【Cell Shutdown】



【mMIMO Muting】



"5G-Advanced Overview",
July 2025, 5G Americas,

基地局のトラヒック量の変動を考慮した節電にはAIの適用による最適化が期待される。

Softbank, Ericsson等はAI-RANアライアンスを設立

2024年2月にソフトバンク等はAI活用によって既存インフラやサービスの改善を目指すAI-RANアライアンスを設立した。

創設メンバーは通信事業者のソフトバンク、T-Mobile、ベンダーのノキア、エリクソン、マイクロソフト、サムソン、AWS(Amazon Web Services), ARM, NVIDIA等、大学では米国ノースイースタン大学や東京大学である。

AI-RANアライアンスは次の3テーマに関する研究開発を行うとしている。

- ・AI and RAN: AIとRANの処理を統合して装置の利用効率を向上
- ・AI for RAN: AIの活用によりRANの周波数利用効率や性能を向上
- ・AI on RAN: 基地局装置へのAI搭載でユーザに新規サービスを提供

なお、ソフトバンクは2024年秋に慶大SFCと共同で20基の基地局アンテナと100台のUEにて4.8-4.9GHz帯TDD方式でのAI-RAN実証実験を慶大湘南藤沢キャンパス内で実施している。

AI-RANアライアンスの重点検討領域



ソフトバンクプレスリリースより <https://www.softbank.jp/corp/technology/research/story-event/041/>

基地局のAI機能活用で設備や周波数利用効率化に加え新規サービス創出も図られる。

AI-RAN用のソフトウェアパッケージとして外販を目指す

ソフトバンクは、慶大湘南藤沢キャンパス(SFC)試験環境内のプロトタイプ装置をベースに開発中であるAI-RANソフトパッケージをAITRAS(アイトラス)の名称で製品化し、海外の通信事業者等に外販する計画である。

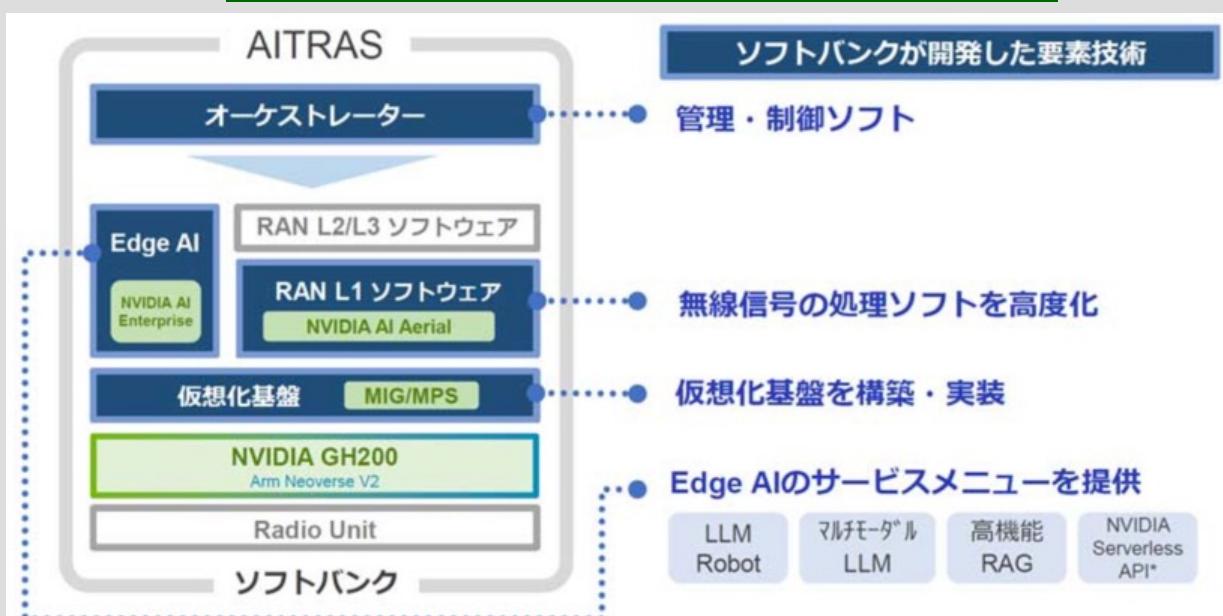
AI-RANでは基地局の制御装置であるCU(Central Unit)とDU(Distributed Unit)を仮想化する。ここでは省電力性に優れたArm CPUを搭載したNVIDIA製GH200サーバー上でAI制御によるネットワーク機能を実装する。

プロトタイプ装置のソフトウェアではAIサーバーにNVIDIAのAI Enterprise、仮想化基盤はRedHatのOpenShift、SFC試験環境の5G無線機とL2/L3用は富士通が担当しているとのこと。

AITRASは基地局近傍に構築したGPUインフラを通じてAIの処理遅延を数十ミリ秒に抑えることで即時性が必要なAIアプリケーションへの適用が期待される。

また、ソフトバンクは2025年3月、米国NVIDIA本社内にAITRASを構築したと発表した。

AITRASのシステム構成 (ソフトバンク発表資料より)



自律運用網(AN)

ITU, 3GPP等はAI活用による通信設備運用の自律自動化を検討中

高度化複雑化が進む通信設備において運用管理の生産性向上を高めるとともに、高品質で多様な通信サービスを顧客に提供するため、通信業界全体が協力して運用モデル再考が必要がある。その際にはLLM/GenAIを活用した自律運用網(AN: Autonomous Network)の構築が鍵になる。

LLM(Large Language Model) : 大規模言語モデル, GenAI: 生成(Generative) AI

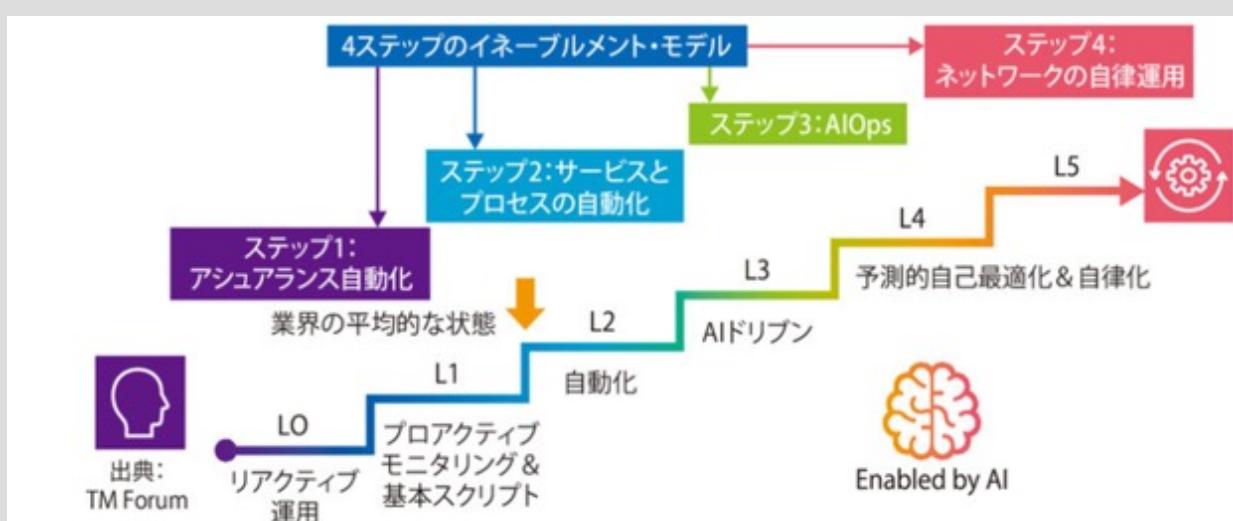
ITUや3GPP等の標準化団体は連携してAN実現の取り組みを行なっている。

そこではANの達成レベル(L1からL5の5段階)をサービス対象(個人,家庭,企業)とネットワークリー別(RAN,コア網,固定アクセス,伝送路,IP網,,)や運用項目(計画,構築,故障対応,品質最適化,,)毎に判定している。

ここで、L0: 手動, L1: 一部支援, L2: 部分的自動化, L3: 条件付き自律網, L4: 高度な自律網, L5: 完全自律網

現在、殆どの事業者はL2~3の段階にあり、2026年~28年にL4を目指している。

AI活用による自律運用網(AN)の段階的な発展



複雑高度化する網において、通信サービスの設定や運用状況の把握、様々な故障や障害復旧を的確迅速に行えるようにAI活用を段階的に進めていく必要がある。



【著者略歴】

田代 務

KDDにて、衛星通信設備の設計や設備導入、研究開発計画の策定、人材育成、海外事業等に従事。ワシントン事務所長、KDDアメリカ副社長、IP事業企画部部長の後にKDDIを退職し、2003年に同僚と株式会社A2A研究所を設立。2023年の会社解散後も個人事業主として衛星通信やモバイル通信関係の調査や技術支援を行なっている。東大工学部電子工学修士修了。静岡県出身。

主な著書 「どこでもワーク、いつでもラーニング」、「携帯電話の仕組み」、「衛星通信のしくみ」など。
(以上、A2A研究所ウェブサイト www.a2a.jp にて公開中)