

5GMF白書 「ミリ波普及による5Gの高度化 第1.0版」概要



2023年5月22日
第5世代モバイル推進フォーラム
ミリ波普及推進アドホック

ミリ波普及推進アドホックの概要

目的 : ミリ波帯の普及促進を図り、産業利用や社会課題の解決に貢献するとともに、新たな5G/6G周波数割当に向けた前提条件としてのミリ波普及促進を図り、日本のミリ波に関する国際的なイニシアチブを発揮すること

発足 : 2023年1月20日

参加数 : 27社 : オブザーバー 1 社含む。 同行者を含めて総勢58名

主な活動 :

- ・月次定期会合 : ミリ波普及に向けた議論（白書に反映）／普及にむけたイベント参加等の準備
- ・白書の作成 : 2023/3/31 第1.0版を公開 : 5GMF Webサイトにて
- ・イベントでの普及活動 : 1) ワイヤレステクノロジパークへの参加（5/24～26 東京ビックサイト）
 - 展示 : アドホックメンバー8社によるミリ波関連の展示
 - セミナー開催 : ミリ波普及に向けた講演（5/24 東京ビックサイト展示場内）
- 2) CEATEC2023 5Gスペシャルデー V（10/18幕張メッセ国際会議場）
 - ミリ波普及推進グローバルサミット（仮）（関係者調整中）

項目	2022年度				2023年度											
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
ミリ波アドホック会合	設立準備	△ 第1回 1/20	△ 第2回 2/21	△ 第3回 3/17	△ 第4回 4/18	月次開催										
イベント						▲(5/11) 5G-ACIA WS					▲(10/30-31) Global 5G Event#10 (韓国)					
						▲(5/24-26) WTP (東京ビックサイト)					▲(10/17-20) CEATEC(幕張メッセ)					
白書マイルストーン 四半期毎に改版				△ 第1版			△ 第2版			△ 第3版						

白書「ミリ波普及による5Gの高度化 第1.0版」を2023年3月31日に公開（5GMF Webサイトにて）。
5GMFWebサイト：<https://5gmf.jp/news/5949/>

章立て （全63ページ）

項番	項目
-	はじめに
1	ミリ波の必要性の明確化
2	国内外の動向
3	ミリ波普及の課題
4	ミリ波技術概要
5	性能評価
6	ミリ波導入シナリオ
7	ローカル5Gとの親和性
8	ミリ波ユースケース
9	ミリ波普及に向けた既存のソリューション
-	おわりに

白書



1. ミリ波の必要性の明確化

□ ミリ波の必要性について、以下の5つの観点から明確化

- 将来のトラフィック増加に対する周波数リソース確保
- 将来の高速大容量・低遅延サービスへの対応
- 経済性、エネルギー効率
- 新たなユースケース開拓
- 将来の追加周波数割り当てへの足掛かり

- 移動通信トラフィックが**年率1.2倍**で増加。今後も増加が想定される。
- トラフィック増加に対し、現在のsub6を主とした5G展開による容量増大や、移動通信システムの技術的な高度化による通信容量の拡大も期待されるが、**これらだけで将来のトラフィック増加に対応することは困難**
- GSMAのレポートによると2030年までにeMBB、FWA、Enterprise networksの3種のユースケースで**合計5GHz**のミリ波周波数リソースが必要と報告

移動通信トラフィックの推移

○ 月間平均トラフィック、最繁時トラフィック、1契約あたり平均トラフィックは増加傾向

- ・ 月間平均トラフィックは 1年で約1.2倍 (+22.6%)、3年で約1.8倍 (+84.4%) に増加
- ・ 最繁時トラフィックは 1年で約1.2倍 (+22.1%)、3年で約1.8倍 (+82.7%) に増加
- ・ 1契約あたり平均トラフィック 1年で約1.2倍 (+18.2%)、3年で約1.6倍 (+63.0%) に増加

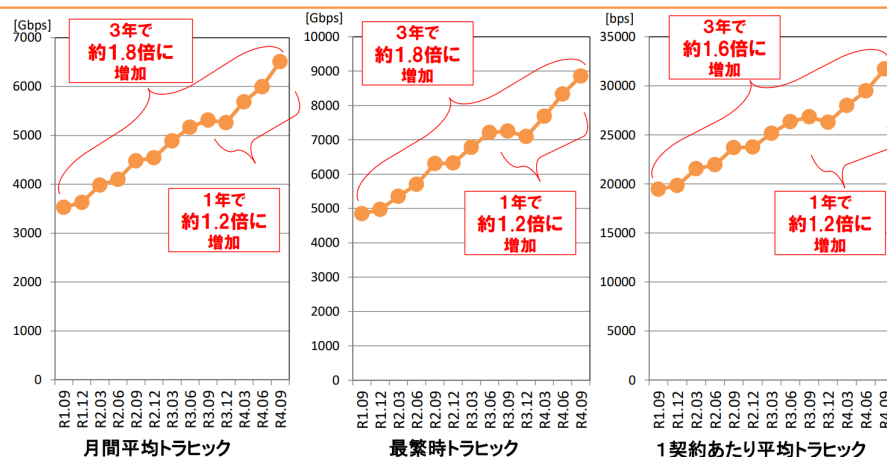


Fig. 1-1 移動通信トラフィックの推移

総務省 情報通信統計データベース

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt010602.pdf>

Figure ii: Expected amount of mmWave spectrum needed per market by 2030

Source: GSMA Intelligence

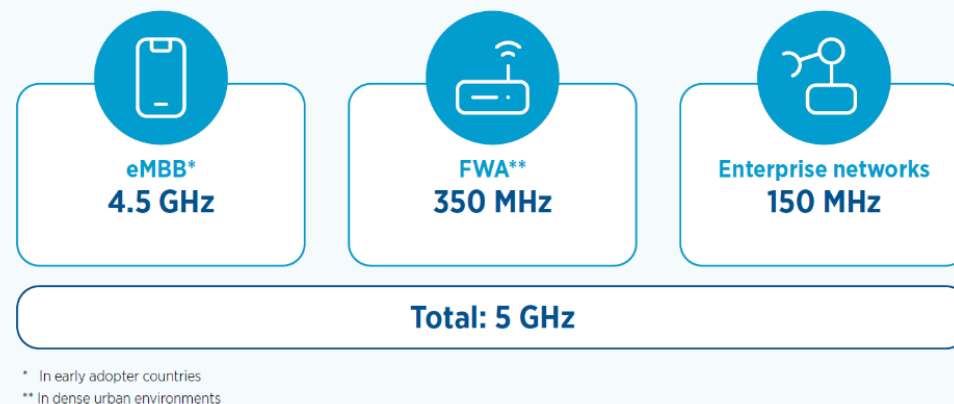


Fig. 1-2 2030年までのミリ波周波数需要予測

GSMA Vision 2030: mmWave Spectrum Needs, Full Report

<https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2022/06/5G-mmWave-Spectrum.pdf>

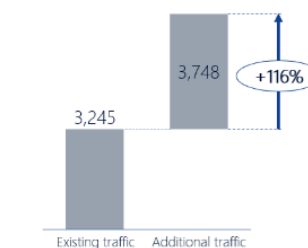
- 5Gの高速大容量性、低遅延の特徴を生かした多くのサービスやアプリケーションが開発され、また今後の発展も期待されている
 - 遠隔監視・遠隔操作、4K/8K映像伝送、高品質なXRデバイスを活用したサービス、ロボティクス、etc
- 将来的にはデバイスの発展とともに様々な先進的なサービスやアプリケーションが開発される。これに伴い、通信の高速大容量性や低遅延性のニーズが高まる
- 逆に高速大容量、低遅延なサービスが適材適所に提供されることで、これら先進的なサービス・アプリケーションの開発と普及が促進

1. ミリ波の必要性の明確化 経済性、エネルギー効率

- ミリ波のデータ通信量あたりの実装コストが年々低下するなか、2026年にはミリ波の実装コストはミッドバンドに対して75%低下
- ホットゾーンあたりのスモールセルの必要数は2025年にはミッドバンドに対して74%低下、電力消費量を70%程度低減させる効果が見込まれている
- 戦略的な場所へミリ波基地局を設置することで、高い経済効率性で、増大するトラフィックへ対応することができることから、通信事業者の5G通信網のTCO(Total Cost of Ownership)を低減

In the first analysis, we demonstrated that telecom operators could serve 5G subscribers with better profitability and technically superior solution by investing in 5G mmWave.

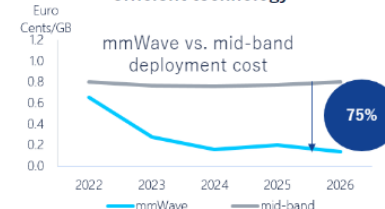
Explosive capacity demand at specific locations



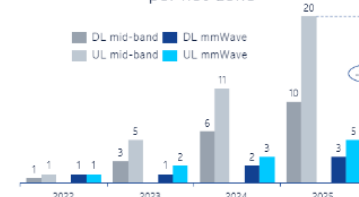
Mobile data capture potential (UK, Avg. PB/year over 2021-26)

3 © Nokia 2022

Requires the most cost-efficient technology

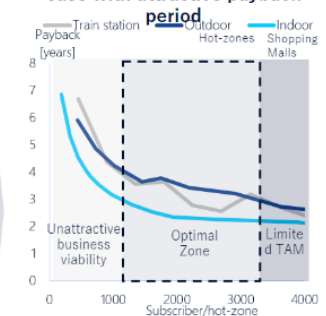


mmWave vs. mid-band number of small cells per hot-zone



Qualcomm & Bell Labs Consulting Confidential

That will drive a positive business case with attractive payback period



As a recommendation, the operator strategically select and scale 5G mmWave deployments considering zones of advantage of mmWave

Bell Labs Consulting

Fig. 1-3 ミリ波の実装コストと電力消費見込みの調査結果

- ミリ波の特徴である直進性の高さと広帯域性、そしてビームフォーミングによる運用は、新たなユースケースを開拓する可能性を秘めている
- ポジショニングでは、ミリ波を用いることでセンチメートルレベルの測位精度を達成できることが報告されている
- 今後、任意の物体の位置や形状・状態を推測するセンシング機能や、5Gデータ通信とセンシングを融合するJoint Communication & Sensingの標準化も想定
- 5Gネットワークによる交通トラフィックのモニタリングなど、これまでにない新たなサービスの創出が期待

1. ミリ波の必要性の明確化 将来の追加周波数割り当てへの足掛かり

- 2020年代中においても追加の周波数リソースの割り当てと活用が必要となると考えられる
- 今後のさらなる高速大容量、低遅延性の期待を考慮すると、ある程度広い帯域幅を有する周波数リソースが必要であり、準ミリ波以上の追加周波数帯の活用が期待
- 追加周波数をタイムリーに活用し、今後の社会発展を推進するためには、現段階から28GHz帯をしっかりと活用できるソリューション開発と運用スキルが必須
- ミリ波のソリューションを現段階でしっかりと確立し運用することで、6Gでのサブテラ波のソリューションを効率的に開発することが可能

- 5Gサービスは世界各国においてサービスが進展する一方、ミリ波に関しては、周波数の割当は進展しつつも限定的な利用にとどまっている
- 国内および海外のミリ波の動向として、以下の観点でとりまとめ
 - 周波数割り当て
 - 商用化サービス等の開始状況
 - ミリ波対応端末状況
 - 3GPP標準化動向

世界動向

- 5Gサービス用途として、**26/28GHz帯**で主に**400MHzから1000MHz幅**が割り当て
- 2022年12月には**31か国**でミリ波利用可能。商用化事業者数は28。順次増加の見込み。
- ミリ波周波数の割当を受けた事業者のうち商用化へ進んでいるのは**20%**、ミリ波に対応する端末のシェアは**10%**にとどまる
- ミリ波を用いた商用サービスが本格化しているのは、2022年11月時点で**米国と日本に限られる**



Fig. 2-1 5Gミリ波周波数割当と商用化の状況(2022年11月時点)

https://www.soumu.go.jp/main_content/000860192.pdf

国内動向

- 2019年に**4通信事業者**にミリ波が割り当てられており、商用サービスが開始
- 5G人口カバー率の寄与は主にローバンドとミッドバンド
- 28GHzは、**人口カバー率0.0%、5Gトラフィック量0.2%、ミリ波対応端末5.2%**程度と限定的な利用状況

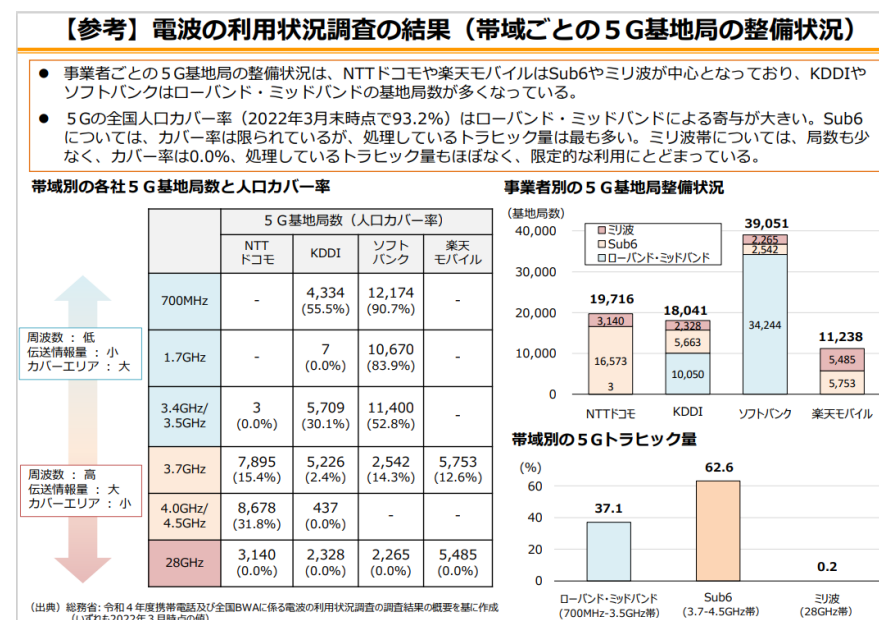


Fig. 2-4 電波の利用状況調査の結果（帯域ごとの5G基地局の整備状況）

https://www.soumu.go.jp/main_content/000860636.pdf

- ❑ Rel-15以降FR2帯域(24250 MHz – 52600 MHz)として、バンドn257, n258, n259, n260, n261, n262が標準化
- ❑ Rel-17においてFR2-2帯域(52600 MHz – 71000 MHz)まで拡張されバンドn263も標準化

NR バンド	周波数	デュプレックス	主要地域
n257	26500 MHz – 29500 MHz	TDD	日本、韓国
n258	24250 MHz – 27500 MHz	TDD	欧州、インド、豪州等
n259	39500 MHz – 43500 MHz	TDD	
n260	37000 MHz – 40000 MHz	TDD	米国
n261	27500 MHz – 28350 MHz	TDD	米国
n262	47200 MHz – 48200 MHz	TDD	米国
n263	57000 MHz – 71000 MHz	TDD	

- 現在、5Gのエリアは主にローバンド、ミッドバンドおよびsub6を中心に展開されており、ミリ波のトラフィック収容比率は極めて低い
- ミリ波の状況を改善する上での課題として、以下の4つの観点で分析しつつ、全てが相互に関連し、現状は負の連鎖を生じていることを解説
 - ミリ波導入エリア
 - ミリ波対応基地局装置
 - ミリ波対応端末
 - ミリ波ユースケース
- ミリ波の状況と課題は国内だけのものではなく、世界的な課題
- 今後、ミリ波の課題と解決方法を世界的に共有し、グローバルなエコシステムを構築することが国内での普及に向けても極めて重要

- ミリ波の高い伝搬損失、遮蔽損失により、セル半径はsub6より小さい
- **見通し環境**をできるだけ確保できる場所にアンテナを設置する必要があり、通信事業者にとって**コストやアンテナ設置場所**の確保上課題
- ミリ波のエリア改善のために、アンテナ性能の改善や小型化、アンテナ設置場所の制限を緩和する**新たなソリューション**が必要

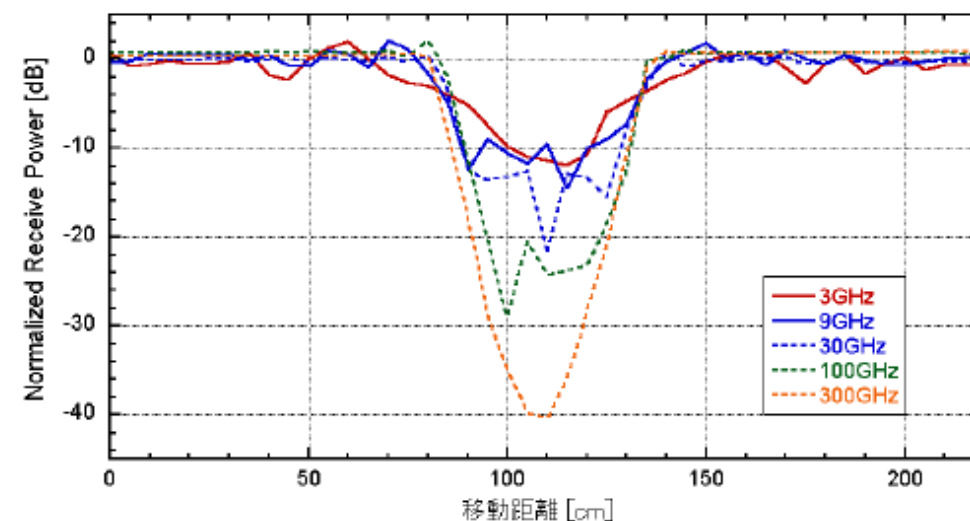


Fig. 3-1 遮蔽ロスの測定結果例

豊竹和孝, 他, “テラヘルツ帯における人体遮蔽損失,” 信学総大, B-1-5, Mar. 2022.

- ミリ波は5Gで新たに移動通信向けに使われる周波数帯で、**新規開発**が必要
 - 超多素子アンテナ
 - アンテナと増幅器を一体化したアナログRFICによる実装

- 普及度合いはsub6と比較して限定的で無線デバイスの**規模の経済効果**も現状は低い

- 今後、以下について装置の高度化が期待される
 - アンプの効率
 - MIMOレイヤ数
 - フルデジタルによる高性能化

- ミリ波を実装した端末は増加しつつあるが、いまだ**ハイエンド端末**に限られている
 - ミリ波アンテナ、モジュール、ベースバンド、関連するSW等の開発等に伴うコスト増加
 - 価格上昇分に見合うメリットを見いだせていない。エンドユーザーが享受できてない。
- ミリ波導入で部品点数が増えることで、**端末のデザイン**にも制約
- 増幅器等の半導体デバイスの電力効率がマイクロ波と比べ低く、**消費電力**が高い。バッテリー消費量や発熱等に影響。エンドユーザーの使用感に影響。
- ミリ波導入の**コスト**、アンテナ・モジュール等の**小型化**、**アンテナ特性**の高力バレッジ化が端末への普及のカギ

- 現状のほとんどのユースケースがsub6の性能でも満足できるレベルにとどまっており、ミリ波の高速・大容量性能を必要とするレベルではない
- 今後、ミリ波を必要とするさらなるユースケースの高品質化や新たなユースケースの創出に向け、他業界へのミリ波の有効性の訴求と実証が必要

□ 3章で述べたミリ波普及の課題を解決するために有効と考えられる技術や、3GPP等の標準化において仕様化または仕様化が検討されているミリ波に関連した技術について、以下の通り分類し網羅的に紹介

- ビームフォーミング技術
- MIMO技術
- トポロジー改善技術
- ミリ波デバイス技術
- インフラシェアリング
- ミリ波キャリアアグリゲーション(CA)
- sub6+ミリ波デュアルコネクティビティ(DC)
- High-Power UE (HPUE)

ビームフォーミング技術

多素子アレーアンテナ
アナログビームフォーミング→デジタル
ビームフォーミング／ハイブリッドビーム
フォーミング
VH偏波2多重
マルチビーム多重対応ミリ波RFチップ
高速DAC/ADCの低消費電力化

MIMO技術

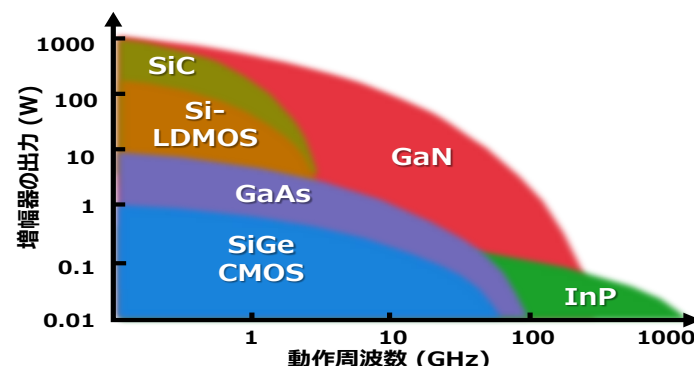
LoS-MIMO
Massive-MIMO／分散MIMO

トポロジー改善技術

中継局(再生型, e.g. IAB、非再生型, e.g.
レピーター)
メタサーフェス反射板／RIS
誘電体導波路

ミリ波デバイス技術

デバイス材料(GaN, InP)
Dohertyアンプ
DPD



インフラシェアリング

基地局あるいは基地局無線部を共用
する形態のシェアリング
アナログRoF
アンテナおよび増幅器からなる張出局
を複数の無線システムで共用する基地
局構成

ミリ波キャリアアグリゲーション

帯域幅100MHz等のキャリアを複数束
ねて通信
通信に利用するキャリア数を柔軟かつ
適応的に変更
下りリンクと上りリンクで異なるキャリア
数を利用

sub6+ミリ波デュアルコネクティビティ

sub6のキャリアをアンカーキャリアとし
て利用。NSA含む。

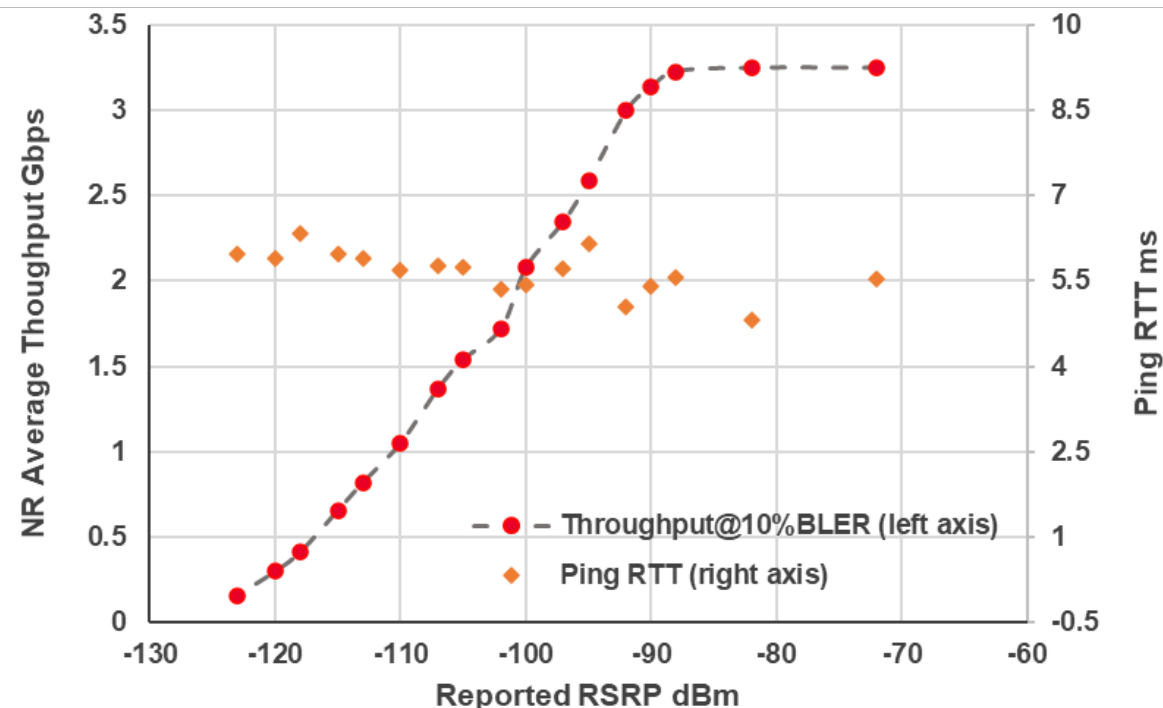
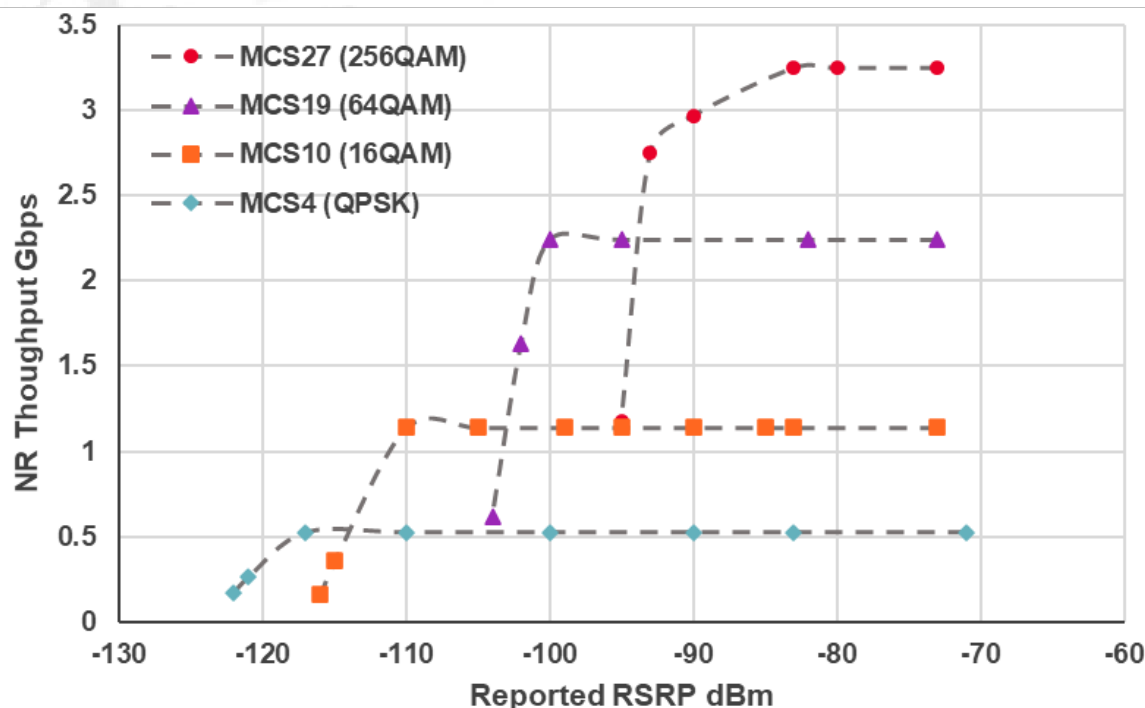
High-Power UE

人体防護等で問題が生じない範囲で高
出力化
上りリンクカバレッジを改善
Power Class 1: 固定無線用移動局、最
大EIRP 55dBm

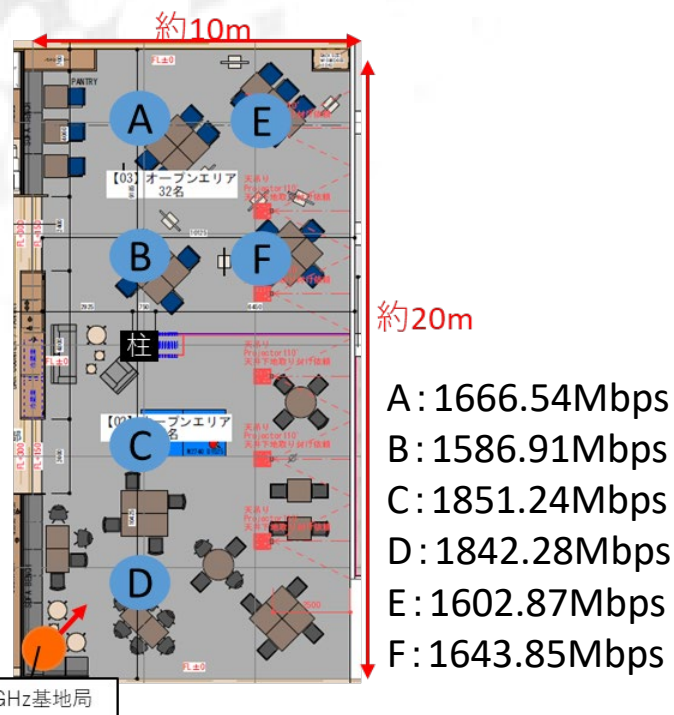
□ 5Gミリ波を用いた具体的な実験・測定結果として、ミリ波が屋内および屋外で非常に高いスループットおよび遅延性能を達成でき、屋内では見通し外であっても十分活用できることを以下の通り解説

- 5Gミリ波のスループットと遅延性能の測定（一対一通信・理想環境）
- 5Gミリ波の屋内環境測定
- 5Gミリ波の屋外環境測定
- 5Gミリ波の課題とその解決策

- ❑ 5Gミリ波のスループットと遅延性能の測定
- ❑ 実際に市販されているミリ波対応の端末と5Gミリ波対応の疑似基地局を使用して、1対1通信の理想的な環境でのパフォーマンスを測定
- ❑ 低い受信電力の環境であっても**1Gbps以上**のスループットを得ることができ、かつ**7ms以下**のPing RTTを維持



- ❑ 基地局近傍で高いスループットを得られるのはもちろん、柱による遮蔽が存在する場所であっても**基地局近傍と大きく変わらない**スループットを達成
- ❑ 空港コンコースの屋内基地局または無線LANアクセスポイントに5Gミリ波基地局を併設した場合、ほぼ全域(99.7%のエリア)でMPLが**115dB以下**

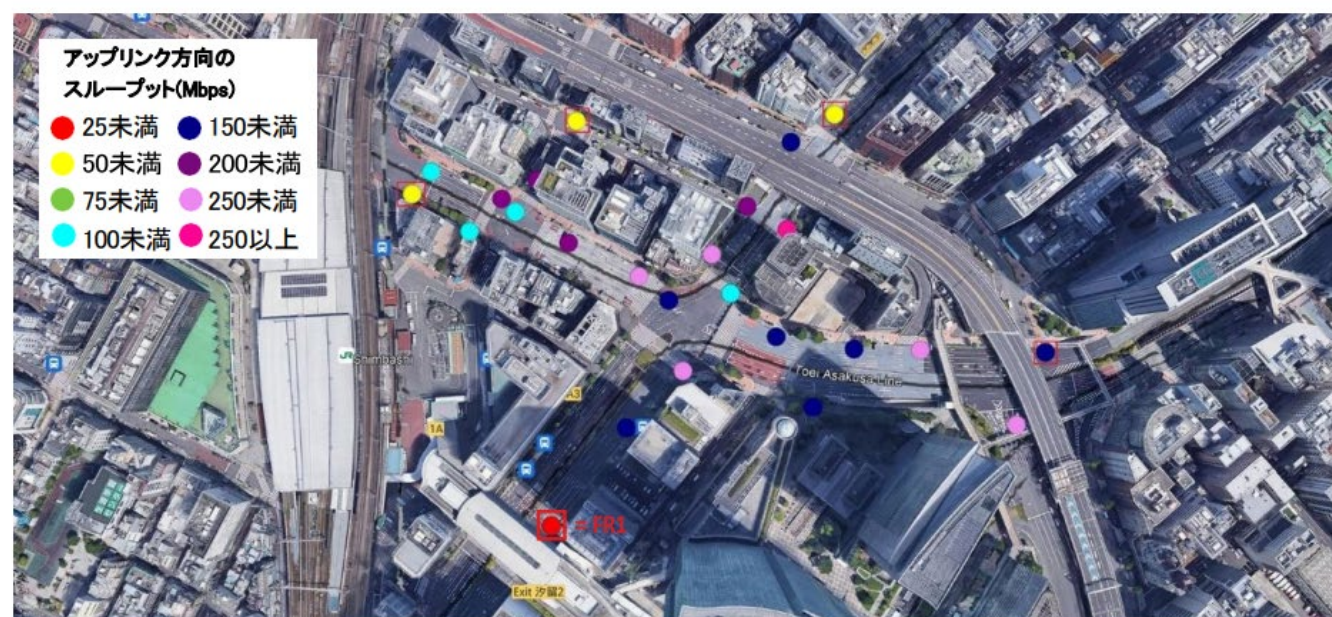


Deploying Indoor mmWave for an Airport Concourse



- 新橋駅近辺で実施された5Gミリ波の通信性能ベンチマーク調査結果
 - 商用スマートフォン、商用5Gミリ波基地局を用い、スループットを測定
- 端末と5Gミリ波基地局の距離115m程度で、**下りリンクで2Gbps、上りリンクで300Mbps**を超えるスループット測定を記録。100m程度の範囲でミリ波通信可能なエリアを形成
- スループットは場所により大きく変わってくるが、上りについても**広い範囲で150Mbps**を超えるスループットを達成

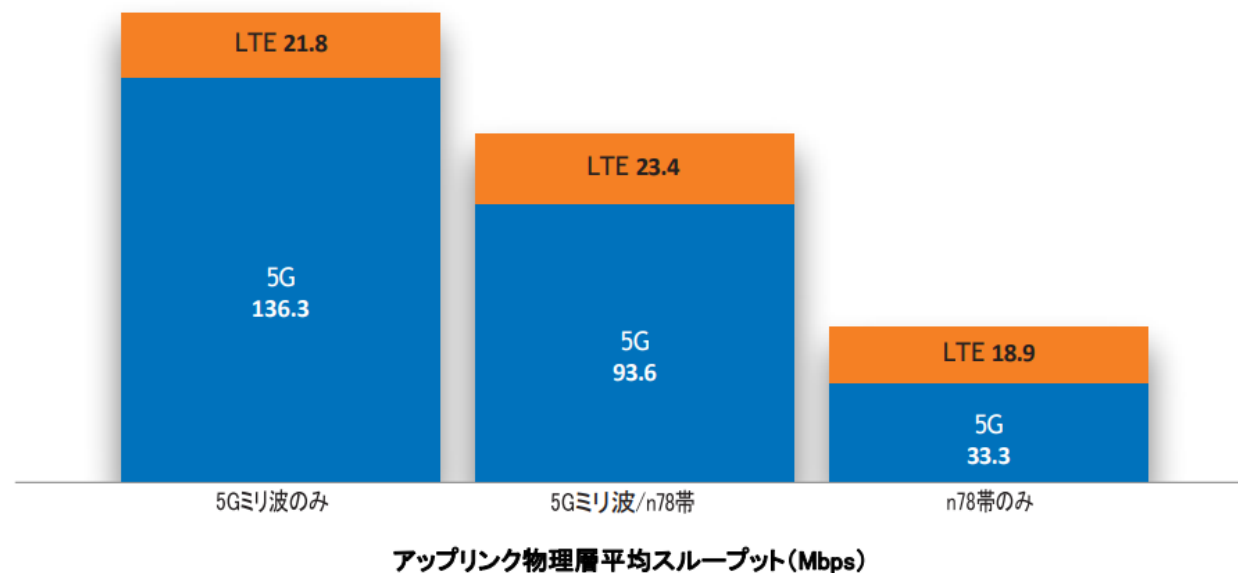
図9. アップリンク方向における5Gミリ波スループット結果



データ: シグナルズ・リサーチ・グループ

- 東京駅周辺で徒歩で移動した場合の平均の上りリンクスループットを測定
- 5Gミリ波は**上りリンクの移動平均スループットを大きく改善**
- 右下図の中央のグラフの測定では、5Gミリ波を常時利用できてない場合でも、5G sub6周波数帯(n78)のみを用いた場合に比べ、**平均で3倍もの上りリンクスループットを達成**
- ある程度エリアカバレッジが**不完全な状況であっても高いユーザメリット**が得られるということを示している

図20.アップリンク方向における移動測定の結果



データ: シグナルズ・リサーチ・グループ

- 基地局から見通し外となる場所のエリア化が課題。このようなエリアに対して、基地局を多数設置することも考えられるが、経済的でなく、より効率的なエリア化技術が求められる。
- 中継器
 - 遮蔽物の影響により弱くなった基地局からの電波を増幅し再放射することで、エリアを拡張
 - アンテナはビームフォーミングアンテナを採用し、設置後も水平面・垂直面のビーム幅およびビーム方向を変更できるため、必要に応じて柔軟なエリア構築が可能
- メタマテリアル／メタサーフェス応用
 - ミリ波帯における見通し外エリア化に対して、電波伝搬を周辺環境などに応じて適用的または動的に制御, e.g.
 - 入射電波を通過するモード、電波の一部を透過し、一部を反射するモード、全ての電波を反射するモードの3パターンを動的に制御
 - 窓ガラスを通る電波を屋内の焦点に集め、焦点にレピータや反射板を置くことで、建物内のエリア化が可能
 - 電波伝搬を制御する具体的な技術の一つにRIS(Reconfigurable Intelligent Surface)がある。RISではメタマテリアル、メタサーフェスといった要素技術が利用される。
 - メタサーフェスはシート形状で製作できるため、構造物の形状に合わせて設置できる

- ミリ波は特に高い周波数帯であるため、その特徴を生かした使い方をすることが重要
- 大きな伝搬ロスによりセル半径は比較的小さくなるため、狭域・閉域での用途が有効
- 周波数帯域幅が大きいことによる高速大容量性は、トラヒックの多い場所や高速サービスの提供が求められる場所でも有効
- これらの特徴を踏まえ、以下の具体的なミリ波導入シナリオを列挙
 - 1) ホットスポット、スタジアム、イベント会場
 - 2) オフィス、屋内
 - 3) プライベートNW／ローカル5G
 - 4) 都市部の歩道、道路や交差点
 - 5) FWA

- ローカル5Gでは比較的狭いエリアで、多数の端末が同時に密に使われることも想定されることから、超広帯域が扱えるミリ波はローカル5Gとの親和性が非常に高い
- ローカル5Gの経緯や普及状況とともにミリ波の活用が限定的である状況とその課題を述べる一方で、ローカル5Gでのミリ波活用の有効性として以下の観点で解説
 - エリア規模と電波特性
 - 通信容量と通信需要
 - システム規模の観点(超低遅延)

ミリ波とsub6の使い分けや
組合せの有用性も併せて説明

- ローカル5Gは、携帯電話事業者による全国向けの5Gサービスとは別に、**地域の企業や自治体等の様々な主体**が、自らの建物や敷地内でスポット的に柔軟にネットワークを構築し利用可能な無線システムとして、2019年度に制度化。
- ミリ波(**28GHz帯**)とsub6(**4.7GHz帯**)が利用可能
- 映像伝送など上り通信を重視した利用ニーズにあわせて、「上り1:下り1」比率の『**準同期TDD**』運用も可能

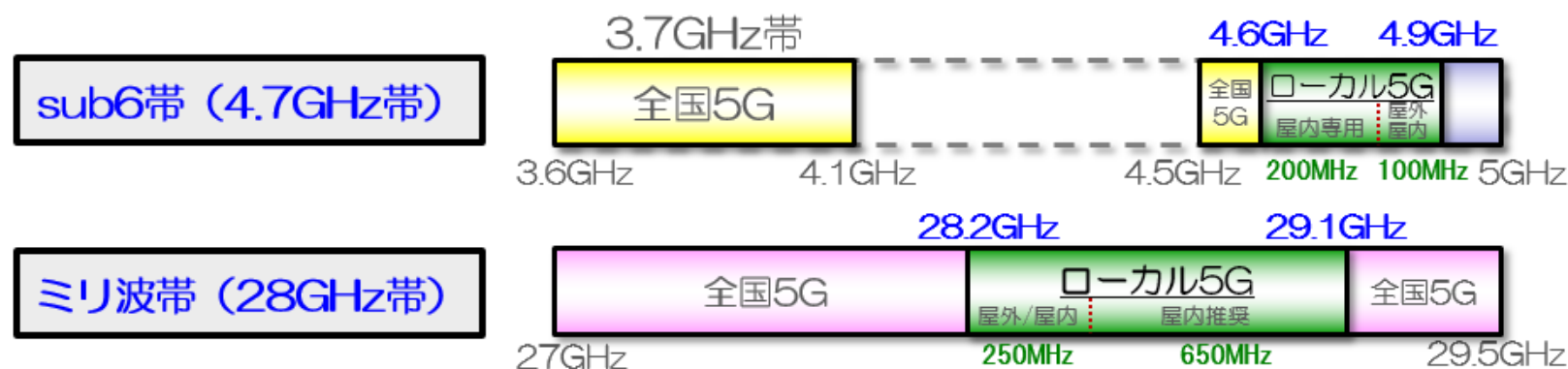


Fig.7.1-1 ローカル5Gの割当周波数帯

7. ローカル5Gとの親和性 ローカル5Gの概況

- ❑ 屋外で利用可能な**4.8-4.9GHzの100MHz幅**で、アンカーバンドを必要としない**SA方式**を中心に導入が進んでいる。
- ❑ ローカル5Gの免許数の推移は、2020年12月以降はsub6の基地局導入が急速に進んでいるものの、**ミリ波の基地局数は横ばい**
- ❑ ローカル5G開発実証の推移は、この3カ年においても**sub6を利用する実証実験が多数**を占めている
- ❑ 2022年8月末現在でsub6が102者、**ミリ波で30者**がローカル5Gの免許を取得しているものの、約3年を経過した進捗としては一定程度の普及に留まっているのが現状

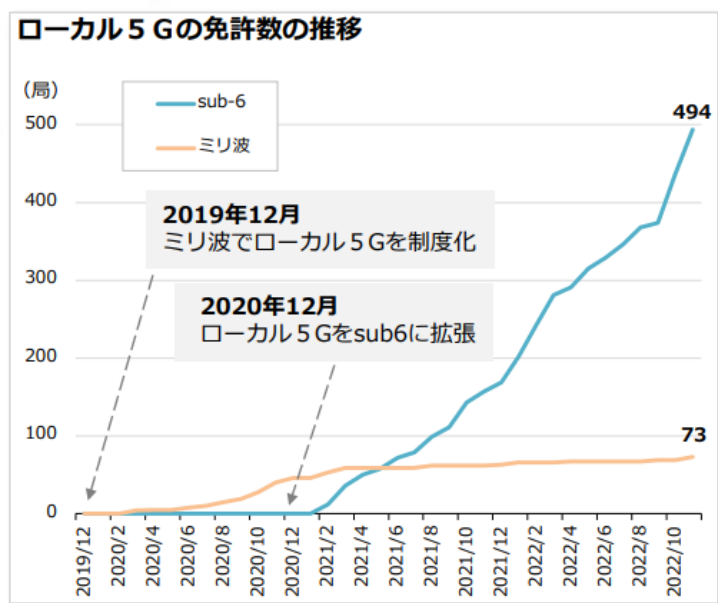


Fig.7.2-1 ローカル5Gの免許数の推移

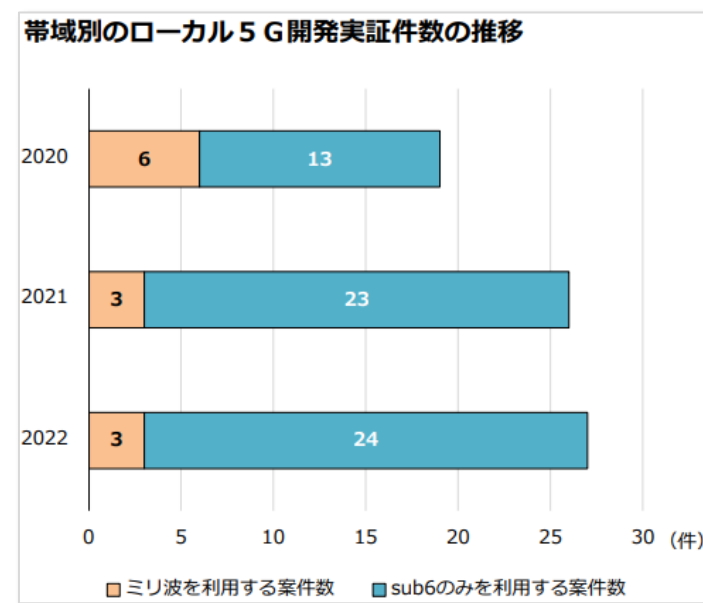


Fig.7.2-2 ローカル5G開発実証件数の推移

7. ローカル5Gとの親和性 ミリ波における状況(実態)

- ローカル5Gは、一定程度の普及は進んでいるものの、その数はまだ十分とはいえず、大半はsub6に集中。ミリ波については伸び悩んでいるのが現状。ローカル5G固有で考えられる「ミリ波の普及が進まない要因」を整理。
 - エリア構築が難しい
 - ・ 直進性が強く、遮蔽物等の影響を受けて遠くに伝わりにくいため、建物内や敷地内でのエリア構築(置局設計)が難しい
 - NSA方式が主流で複雑、高コストであった
 - ・ ミリ波はNSA方式が主流であったため、システム構成が複雑となり、比較的高価なローカル5G設備に加えて、4G設備のコストもかかっていた
 - 対応端末が少なく、高コストである
 - ・ ミリ波対応の5G端末(産業用ルータ等)が少なく、価格も高い。そのため、Wi-Fiに変換する中継器としての活用が大半
 - sub6制度化以降、ミリ波は後回しの感がある
 - ・ 開発メーカー・ベンダは、ミリ波よりもエリア設計がしやすく、SA方式のシンプルな構成で開発も比較的容易なsub6の製品化にシフト。ミリ波対応の優先順位が下がっている
 - ミリ波の超広帯域を活かすユースケースにたどり着かず、ビジネスにも結びつきにくい
 - ・ ミリ波を活かす発想にまで至らずsub6仕様の範囲で設計等の検討が行なわれているのが実態
- sub6に対するミリ波の特徴や活かし方を全ての関係者が正しく理解できるよう、今後も継続した情報提供や発信が必要

□ エリア規模と電波特性（ミリ波のカバーエリアと相性がよい）

- ローカル5Gの実際の活用に目を向けると、比較的狭いエリアでの利用が多くなる。
- 建物内（屋内）の利用であれば、外への電波の漏れを抑えたいので、遮蔽に弱いミリ波には好都合。
- ミリ波は、特に密集した場所で扱うには好都合

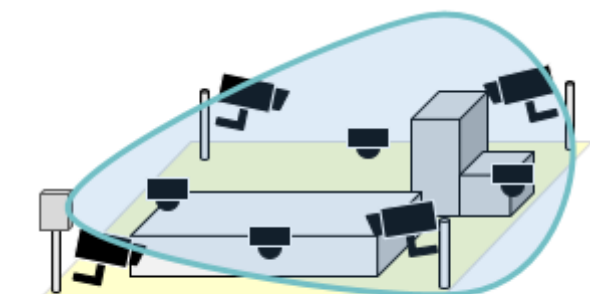


Fig.7.3-1“街なか”等の様々な場所で多様な活用が期待されるローカル5Gのイメージ

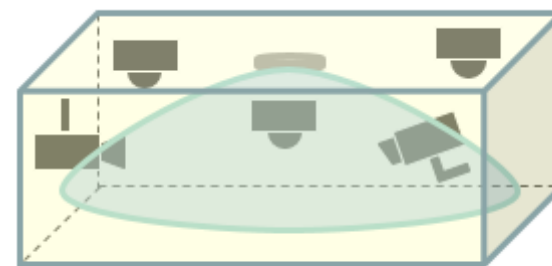
7. ローカル5Gとの親和性 ミリ波とローカル5Gの親和性 (2)

□ 通信容量と通信需要(高速大容量で相性がよい)

- ローカル5Gは、比較的狭い空間で数多くの端末が利用される可能性があることから、大容量を確保しやすいミリ波との相性がよい
- ローカル5Gのミリ波帯は、合計800MHz幅の超広帯域の運用も技術的に可能
- 施設等の状態の監視やデータ収集などデータを常時リアルタイムに送信する運用も想定されるローカル5Gでは、下りだけでなく上りの通信容量も重要なポイント
 - 4Kカメラによる映像監視をリアルタイムで行なう場合、sub6では、カメラ10台(約200Mbps)程度が限度。ミリ波であれば800Mbps程度の上り容量が見込め、余裕をもって対応可能。
 - ローカル5Gでは、「準同期TDD運用」が制度化されており、同期運用(上り1:下り3の比率)に対してアップリンク容量は2倍
- 28.45～29.1GHzの650MHz幅では衛星通信システムと共用する点から屋内での利用が推奨



工場/事業所等の施設内(敷地内)



建物内(商業施設、ビルの1フロア等)

Fig.7.3-2 ローカル5Gで4Kカメラによる映像監視をする場合のイメージ

7. ローカル5Gとの親和性 ミリ波とローカル5Gの親和性 (3)

- システム規模がコンパクト(システム規模と超低遅延で相性がよい)
 - ローカル5Gでは、システム全体を比較的コンパクトにまとめやすいことから、5Gの特徴である超低遅延が実現しやすく、ミリ波との相性がよい
 - アンカーバンドの5G化も考えられることから、ローカル5Gではsub6がその役目を担う期待が想定される。
 - 5Gコアについては、自前で構築する場合とクラウドコアを利用する2つの形態が想定され、いずれにおいてもローカル5Gエリア内でデータ処理が行なえれば、超低遅延が期待できる。
 - システム全体の規模感がローカル5Gエリア内ということであれば、セキュリティ対策も容易
 - ミリ波とsub6を組み合わせることでミリ波接続時の安定性や更なる大容量化等を実現するDC (デュアル・コネクティビティ)も可能

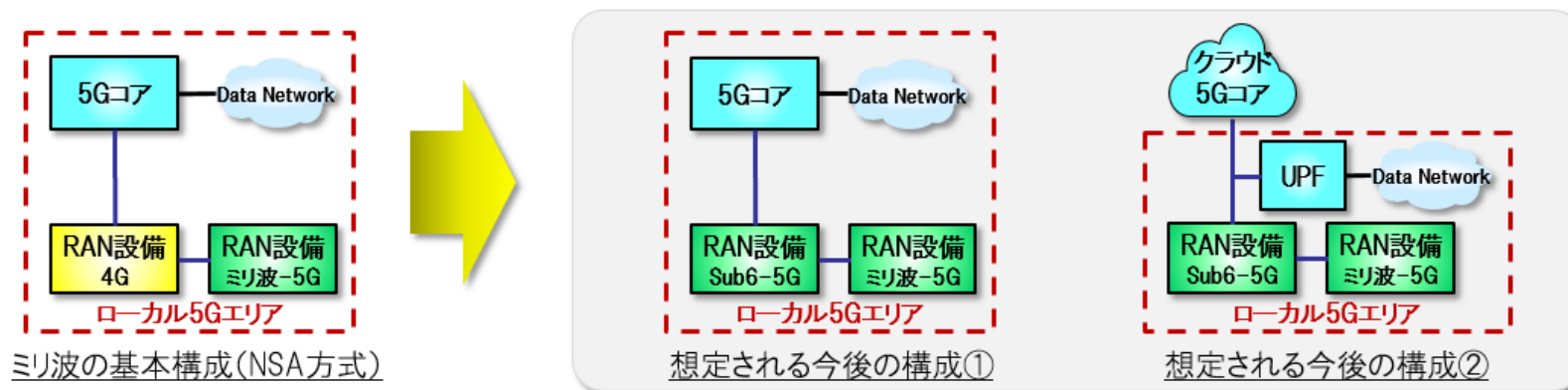


Fig. 7.3-3 ローカル5Gのミリ波におけるシステム構成例

- ミリ波普及にはミリ波の高速大容量、低遅延性を生かすことができるユースケースを明確にすることが重要
- 現状の多くのユースケースはsub6の性能でも満足できる状況であるが、今後のユースケースの高品質化等により、ミリ波の高速・大容量、低遅延の高い性能を求めるユースケースになり得る
- 以下の通り3つのカテゴリに分け、具体的なミリ波を活用したユースケースを解説
 - 人の集まるスタジアムなどの施設での大容量高速化(eMBB)
 - FWAによるFTTH代替
 - 法人専用ネットワーク

□ スポーツスタジアムやコンサート会場、空港などの人の集まるエリアでミリ波を活用することで、高速大容量通信を必要とするアプリケーションによる新たな価値提供の実現や、ローバンド、ミッドバンドの容量補完が期待される。

■ NFL決勝戦での限定体験

- Verizon returns to Super Bowl to spotlight new 5G Internet expansion
- At Super Bowl LV, 5G Will Change the Game

■ サッカーにおける新たな観戦体験

- 名古屋グランパスのホーム開幕戦から豊田スタジアムを「au 5G」化

■ 劇場での限定体験

- 台湾のNTCH(国立コンサートホール)の敷地内に32のミリ波スモールセルを設置

■ ARグラス向け個別最適サイネージ

- ZEPPELINが電通デジタル、KDDIと業務提携。ARプラットフォーム「ARaddin」提供開始

□ FTTHの整備が限定的なエリアなどにおいて、FTTHの代替手段として5G FWAを活用することで経済的かつ迅速な展開が期待される。

■ 都市部等でモバイル向けに整備された3.7GHz、28GHz、39GHzの5Gネットワークを活用したFTTHの代替

- Verizon expands 5G Home Internet and mobility to more customers: 都市部等でモバイル向けに整備された3.7GHz、28GHz、39GHzの5Gネットワークを活用し、FTTHの代替としてFWAサービスを提供

■ ルーラル地域におけるデジタルデバイド解消

- UScellular Fixed Wireless Access: ルーラル地域におけるデジタルデバイド解消に向け28GHz、39GHzを用いたFWAを提供。300Mbpsの通信速度で提供

- 企業社屋や製造工場など、同時アクセス数やULトラフィックが多いユースケース。多数の機器の同時接続およびULの大容量化に期待。ミリ波の特徴である減衰を逆手に取り、機密性の高い閉域NWの運用にも期待。
 - 製造業：
遠隔地から機械の故障個所を共有、フラッシュメモリ製造工場での品質管理、4K映像を活用した安定操業・スマートファクトリー化
 - 自動車：
自動運転などの研究開発を行うテスト路において5G環境を整備
 - 医療：
医療研究施設への導入、病院間で高精細映像を伝送、除菌作業をロボットが代替
 - メディア：
可搬型高品質映像伝送装置による報道・スポーツ中継

- ミリ波の普及を推進する上では、ネットワークを構成する機器、その機器を開発・製造するにあたってデバイス、測定器が十分調達可能な状況であることが重要
- 本章では、端末、基地局、アンテナ、測定器等のソリューションについて実例をもとに紹介
- 付録として、「ミリ波普及に向けた既存のソリューション 参考情報リンク一覧」を掲載。ソリューションを提供している各社の情報を参照可能とした

付録（ミリ波普及に向けた既存のソリューション 参考情報リンク一覧）

端末ソリューション例

<https://www.qualcomm.com/products/technology/modems/snapdragon-x65-5g-modem-rf-system>
<https://www.qualcomm.com/products/technology/modems/snapdragon-x70-modem-rf-system>
<https://www.qualcomm.com/products/technology/modems/snapdragon-x75-5g-modem-rf-system>

<https://www.fujitsu.com/global/products/network/solutions/5gran/>

基地局ソリューション例

<https://www.fujitsu.com/global/products/network/solutions/5gran/>
https://jpn.nec.com/nsp/5g_vision/oran.html
<https://jpn.nec.com/nsp/5g/local5g/product.html>
<https://www.nokia.com/networks/mobile-networks/airscale-radio-access/mmwave-radio/>
<https://www.nokia.com/blog/nokia-fixes-mmwave-wireless-access/>
<https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2021/06/08/nokia-qualcomm-and-uscellular-hit-extended-range-5g-world-record-over-mmwave/>
<https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2021/10/12/nokia-gives-fixed-wireless-access-a-boost-by-enabling-5g-mmwave-indoor-installations/>
<https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2022/06/21/nokia-and-elisa-achieve-over-2-gbps-over-5g-mmwave/>

アンテナ・デバイスソリューション例

https://jpn.nec.com/press/201906/20190603_01.html
<https://www.qualcomm.com/products/technology/modems/rf/qtm545>

測定器ソリューション例

<https://www.viavisolutions.com/ja-jp/products/oneadvisor-800-wireless-platform>
<https://www.viavisolutions.com/ja-jp/node/60033>
<https://www.viavisolutions.com/ja-jp/products/tmlite-network-tester#overview>
<https://www.keysight.com/jp/ja/product/S8711A/s8711a-uxm-5g-test-application.html>
<https://www.keysight.com/jp/ja/product/NTH00000B/nemo-handheld-measurement-solution.html>
<https://www.keysight.com/us/en/cmp/user-case/5g-field-interference-hunting.html>

- ミリ波をサポートしている端末は、2022年12月の時点で**65を超すメーカー**から、**170以上の製品**が発売
- 端末の種類としては、スマートフォン、PC、IPカメラ等のIoTデバイス、モバイル無線LANルーター、モジュール、CPE (Customer Premises Equipment)、FWA等がすでに利用可能
- 現在のところ上位機種が主流であるが、徐々にサポートする端末の種類は多くなってきており、**今後中位機種**にも広がることが期待されている
- ミリ波は指向性が非常に強いいため、端末を向ける方向によって電波強度が大きく異なることがある。端末の受信では、どの方向からのミリ波の信号も受信が可能なように360° にわたる電波環境を把握・記録することにより変化する受信環境に動的に対応する機器や、AIを活用したBeam Managementを行う機器もあり、変化する環境や障害物に対応することが可能になっている。また、どの向きに端末を向けるとミリ波を受信しやすいかアシストするアプリを搭載するスマートフォンもある。

- 伝搬距離を稼ぐためには高い実効輻射電力(EIRP)が必要。既に60dBm以上の基地局も市場に出ており、商用ネットワークでCPE端末との間で10km離れても下リスピード10Gbpsが達成されている
- 小型軽量化低消費電力化も同時に進んでいる。広い周波数割当てにも対応できるように広帯域幅化も進んでおり市場では既に連続800MHz幅、非連続1.4GHz幅(Frequency separation class III対応)の基地局も調達可能
- 小型化された基地局は場所を問わず必要な場所へのフレキシブルな設置が可能となり、ミリ波展開における重要な役割を担う。街灯に簡単に設置することに特化した小型基地局も存在。屋内に特化した基地局も準備。
- 端末向けモデムRFの設計資産を流用し、SoC化、モジュール化により小型化、低コスト化、低消費電力を実現した基地局向けモデムプロセッサが登場
- ORANに対応したミリ波のRU(Radio Unit)は小型・軽量・低消費電力を実現。内蔵したアンテナ装置によりビームフォーミングをサポート。製品によってはSub 6とミリ波のデュアルバンド構成のものもある。無線部(RU)、制御部(CU/DU)の一体化により小型化を実現した製品も実現、迅速なネットワーク構築が可能

- 日本の28 GHz帯、世界的の26 GHz、39 GHz、41 GHzの周波数帯を**一つのアンテナモジュール**で対応できる製品も存在。共通のデバイスが利用できるようになっている。
- 1個のRFICで**2方向への電波放射**を可能にしたアンテナモジュールも製品化。安定したミリ波無線通信を実現。
- 安価で量産可能な**シリコンCMOS集積回路チップ**により実現したミリ波帯フェーズドアレイ無線機が開発され、高周波信号の位相・振幅ばらつき・補償機構により、高精度に電波の指向性を制御することが可能となっている。

- ミリ波(FR2)評価では端末からRU(gNB)間の物理層に対応できるマイクロ波送受信機能をもった機器が必要となるが、様々なメーカーからすでにそれぞれの測定分野に向けて用意されている。

- FR2 端末の性能試験

- FR2での端末のRF試験は通常ケーブル、コネクタ接続が困難なためOTAで行われる。
- 疑似的に基地局からの無線信号を端末に向け発生させるgNBエミュレータ、必要に応じて伝送空間特性を疑似的に作成させるチャネル・モデル・エミュレータ、数GHzからFR2の周波数へ変換するラジオ・ヘッドおよび電波暗箱などが必要となる。

- FR2 エリアテスト

- 実運用動作時の基地局との通信のやりとりのログを記録、解析できる機器
- アンカーLTE, FR1およびFR2の端末、基地局間での通信ログの同時記録、解析が可能

- 電波環境のモニタ

- Local 5Gなどの置局、サービスを行うシステムインテグレータ、サービスプロバイダーにとって信頼性を担保するためには現地での電波環境調査が事前、および運用時重要
- リアルタイム スペクトラム アナライザ (RTSA) を備えたシグナル アナライザが有効
- 現場でのトラブルシューティングに適した電池駆動可能な可搬型の製品においても、100MHz以上のリアルタイム帯域をもつ製品がすでに市場にリリースされている
- ミリ波に対応するUEシミュレーターも準備されており、基地局、ネットワーク試験が可能となっている

- 白書利用のための作業：ツール作成、5GMFのホームページに公開
 - 白書英語版(4月末)
 - プレゼン用要約版(5月中旬)
 - 第2版:ビジネス化関連の追記(6月or 7月を予定)
- 国内の関係業界・学会等と情報共有
 - 必要性:5G導入による事業拡大を図る企業や学会での研究開発に取り組む方々と情報の共有を図り、具体的な行動に結びつける
 - 取組策:各種イベント等において白書ツールを利用し、ワークショップや講演等を実施予定および計画中
 - ・ 5月:WTP(ワイヤレステクノロジーパーク)、6月:Interop Tokyo、9月:IEICEソサイエティ大会、10月:CEATEC、3月:IEICE総合大会
- 海外の団体や有力企業との連携構築のためのグローバルな情報発信
 - 必要性:ミリ波普及はグローバルな課題、各国・地域の特性を踏まえた議論が必要。日本のイニシアティブを鮮明にするとともに、具体的な行動に結びつける
 - 取組策:欧州、米国、アジア等の海外イベントへの参加・講演、日本での国際カンファレンスの開催等



The Fifth Generation Mobile Communications Promotion Forum