



ミリ波分散MIMOと 高速アンテナ・ビーム検出技術

2025年5月28日（水）
NTTアクセスサービスシステム研究所

高周波数帯の開拓

- ・ 5G Advanced、6Gにむけての更なる超高速・大容量に向けて、ミリ波のより有効活用、ミッドバンドの6G適用、Sub-THz波の将来性が期待されている。

ミリ波 より有効活用に期待

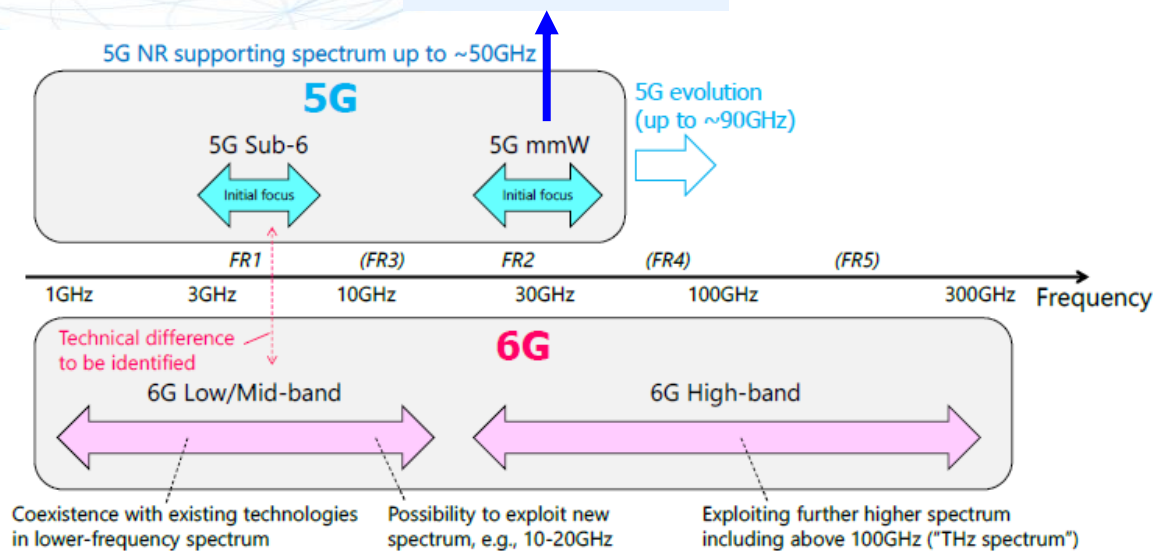


図 4-6. 6G に向けた周波数帯の開拓

※参考：6Gでの新たな周波数候補

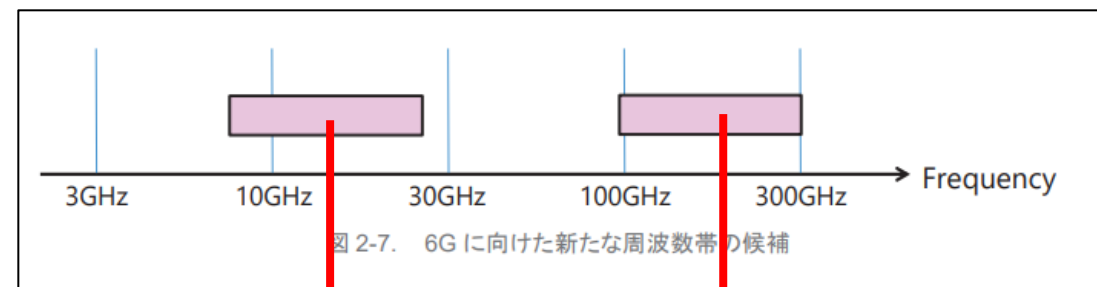


図 2-7. 6G に向けた新たな周波数帯の候補

ミッドバンド

6Gで期待

Sub THz波

超広帯域のポテンシャル

NTTドコモ, “ホワイトペーパー「5Gの高度化と6G」”, 2022年11月 (5.0版)

https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20221116.pdf

ミリ波などの高周波数帯無線通信のターゲット

- ・ 端末が多数存在し、トラフィックが高いエリア
 - ・ グループモビリティ：列車、バスなどの移動体
 - ・ 端末高密度エリア：ショッピングモール、イベント会場、工場など

◆グループモビリティ



駅ホーム



列車



バスなどの車

◆高密度エリア



ショッピングモール



イベント会場



工場

近いよりも見通し

- ・ 高周波数帯を移動通信ユースケースに活用した場合、基地局と近くても**遮蔽**されると**通信不可**
- ・ 「**近さ**」よりも「**見通し**」を確保する基地局設計が必要。
- ・ 特に人や車などの変動する遮蔽環境でも、**どこかしらの方向から基地局からの電波を確保する設計が必要**

ミリ波

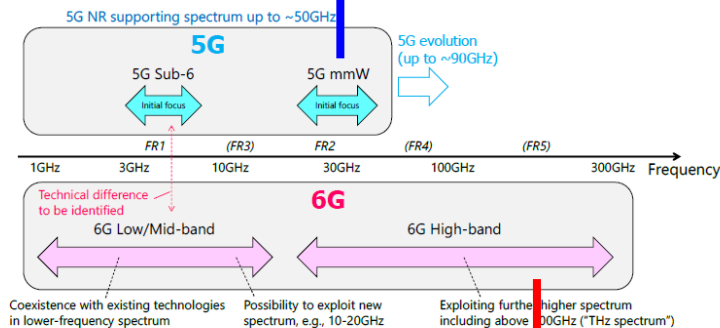
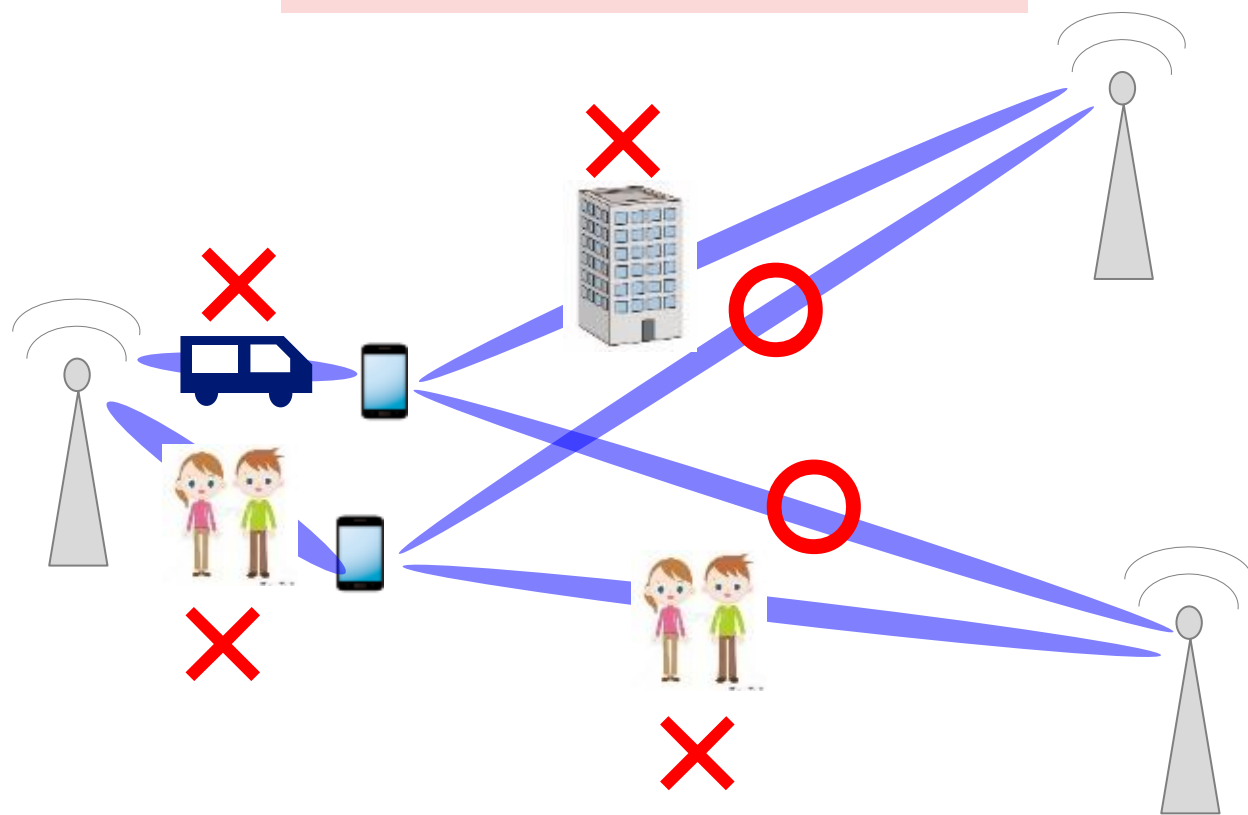


図 4-6. 6G に向けた周波数帯の開拓

Sub THz波

距離より見通し



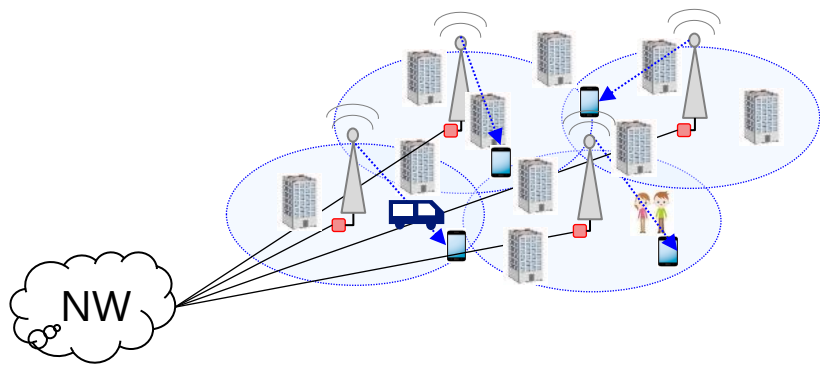
高周波数帯分散アンテナシステム

- ・ 任意の端末場所で見通し（※）を確保するためには、色々な方向のアンテナから電波を送受信して一つの集約局に接続する**分散MIMOシステム**が有効と考えられる。

※屋内環境なら、任意の場所で壁などの1回反射程度で届くようにする

セルラシステム

★回り込む電波（～6GHz帯）

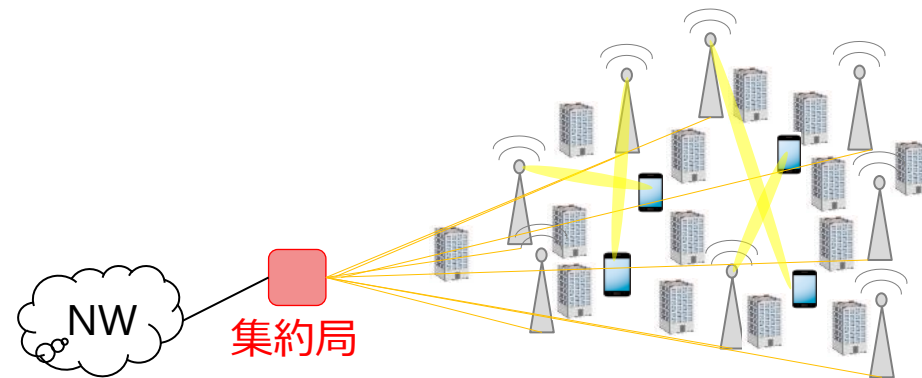


エリア毎にアンテナ配置



分散MIMOシステム

★回り込みにくい電波 （ミリ波・サブテラヘルツ波帯）



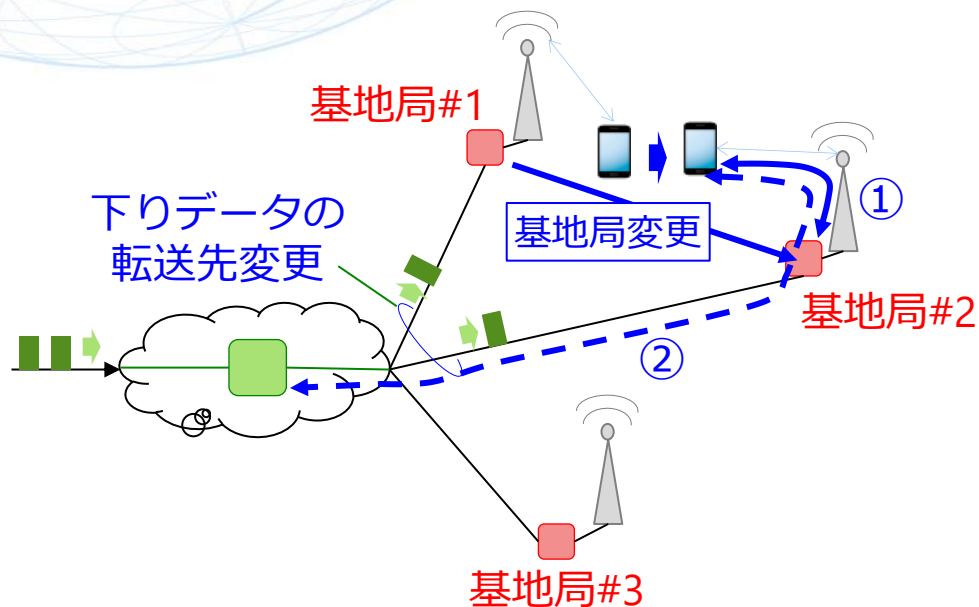
- ・ 色々な方向から電波 ⇒ 見通し電波確保(※)
- ・ 1集約局から多数アンテナを色々な場所へ

※屋内なら1回反射程度の電波を確保

分散MIMOと複数セルラの違いは？ -その1-

- NWと端末から見て、基地局が一つに見えるか、複数に見えるかの違い。
- 複数セルラ：アンテナ切替え時に**基地局切り替え**。端末にもNWにも、新しい基地局を認識させるやり取りが走る。
- 分散アンテナ：アンテナ切替え時も基地局の切り替えは不要。アンテナダイバーシチ (MIMO) と同じ (基地局のL1で閉じる)

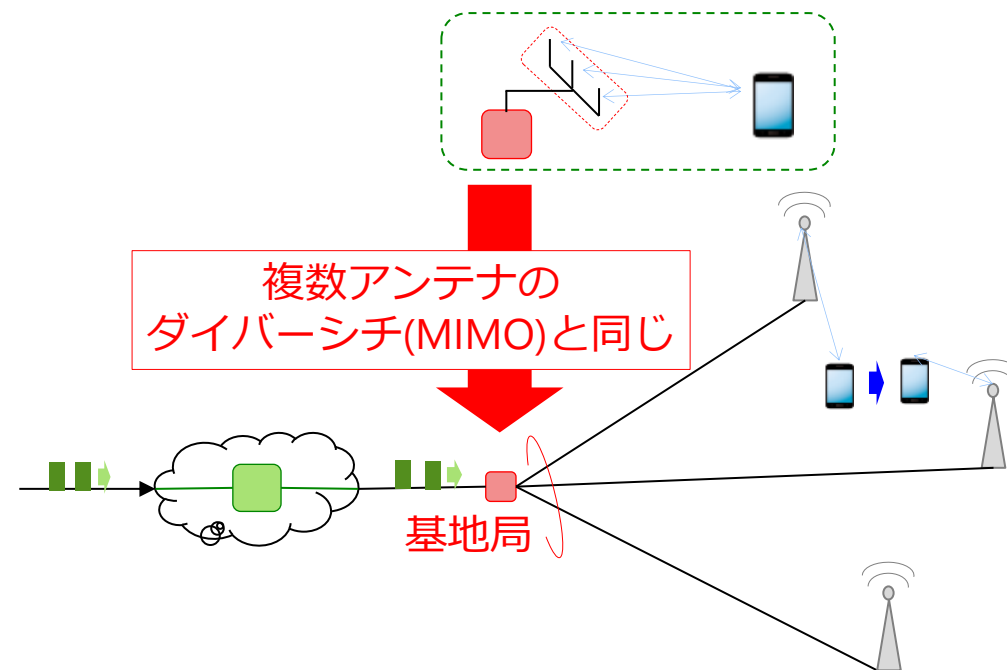
複数のセルラシステム



★基地局アンテナが切替え時：

- ① 端末は新しい基地局と接続
- ② NW側にも新しい基地局の通知必要
※下りデータを新基地局へ届けるため

分散MIMOシステム



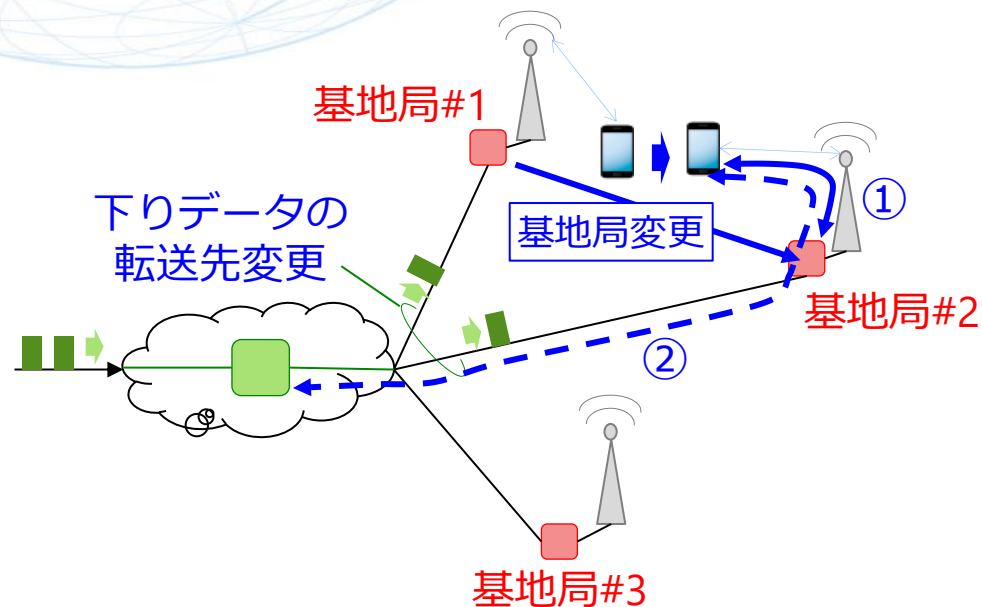
★基地局アンテナ切替え時：

- 端末が接続する**基地局は変わっていない**
⇒ ①②は不要 ★これが大きい！

分散MIMOと複数セルラの違いは？ -その2-

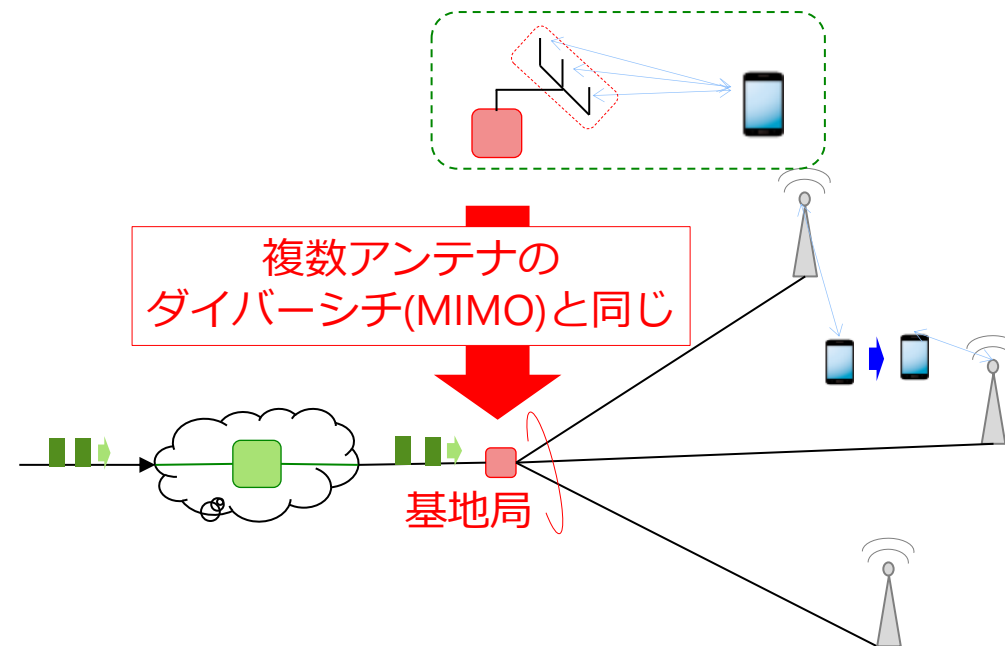
- NWと端末から見て、基地局が一つに見えるか、複数に見えるかの違い。
- **複数セルラ**：アンテナ切替え時に**基地局切り替え**。端末にもNWにも、新しい基地局を認識させるやり取りが走る。
- **分散アンテナ**：アンテナ切替え時も基地局の切り替えは不要。**アンテナダイバーシチ (MIMO) と同じ**（基地局のL1で閉じる）

複数のセルラシステム



- 切り替え時に色々な制御シーケンスが流れる
- **制御のタイムスケール >> 遮蔽変動時間。**
⇒遮蔽変動の追従困難

分散アンテナシステム



- アンテナダイバーシチ(MIMO)と同じ。L1処理。
- **制御のタイムスケール = 遮蔽変動時間**
⇒遮蔽変動の追従可

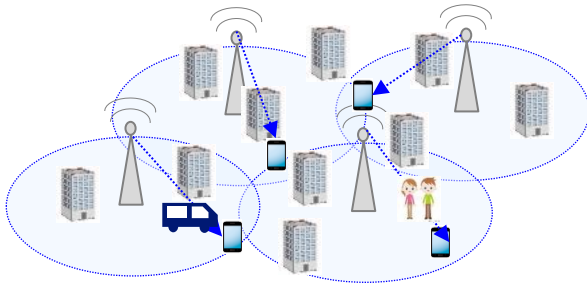
分散MIMOシステムのメリット -1- 「L1 サイトダイバーシチ」

- ・ 高周波数帯の人体や車などの瞬時遮蔽変動の対策として、L1サイトダイバーシチが必要
- ・ **分散アンテナシステム**は複数分散アンテナに対して集約局が共通の変復調部を持つので、**L1サイトダイバーシチが自然に実現。**

セルラシステム

★回り込む電波（～6GHz帯）

見通し外電波も使ってエリアカバー



各エリアに1基地局アンテナ

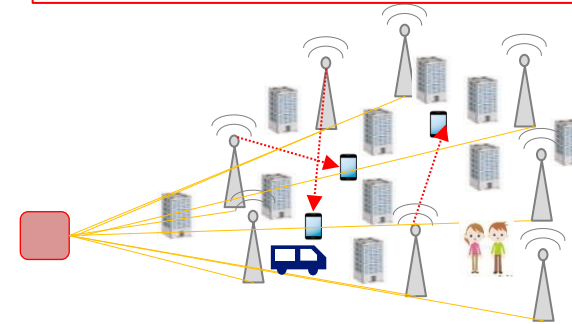
基地局切替時はハンドオーバ
(緩やかなシャドウイング変動に対応)



分散MIMOシステム

★回り込みにくい電波 (ミリ波・サブテラヘルツ波帯)

見通し電波中心でエリアカバー



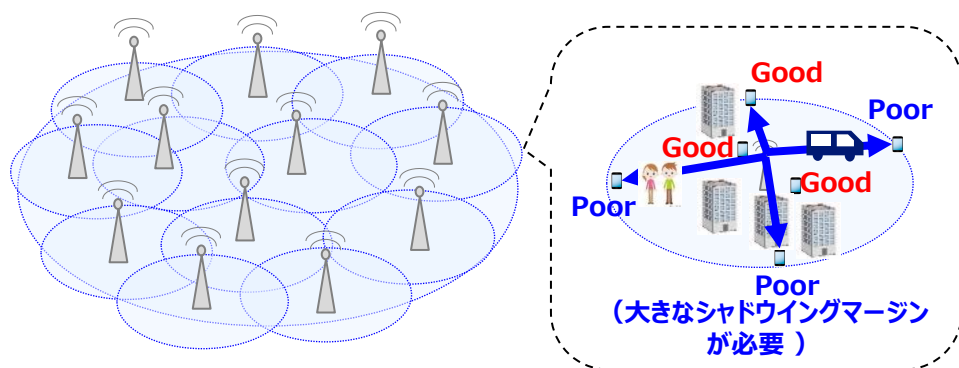
1エリア内に複数基地局アンテナ

基地局アンテナ切替はL1サイトダイバーシチ
(瞬時の遮蔽変動にも対応)

分散MIMOシステムのメリット -2- 「エリア内の無線品質均」

- ・分散アンテナによりシャドウイングマージンを軽減できるため、エリア内のシャドウイング損失変動を抑えられるため、エリア内の無線品質を均一化できる可能性がある。

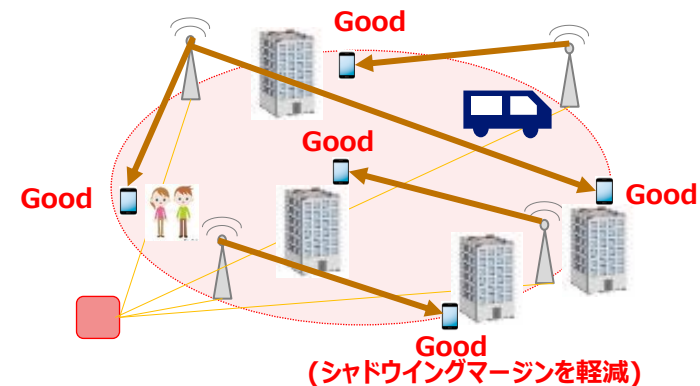
セルラシステム



エリア内の無線品質が不均一
（方向によって変わる（遮蔽損失が変わる））



分散MIMOシステム

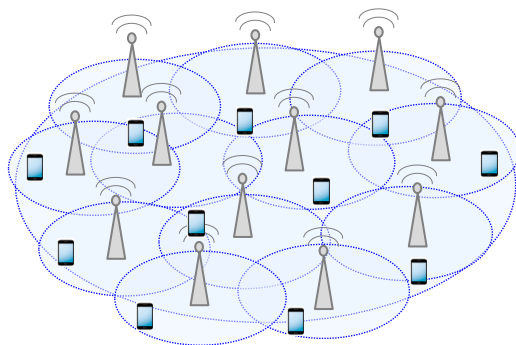


★シャドウィング変動を抑えられるため
エリア内の無線品質を均一化できる

分散MIMOシステムのメリット -3- 「マルチユーザ伝送」

- ・ **空間相関の低い複数の分散アンテナを用いた分散MIMOによりユーザ間干渉を軽減できるので、同時刻・同一周波数チャネルで複数ユーザが伝送するマルチユーザ伝送が可能。**
- ・ **理論的には分散アンテナ数分だけのユーザ数のマルチユーザ伝送が可能であり、容量が向上できる。**

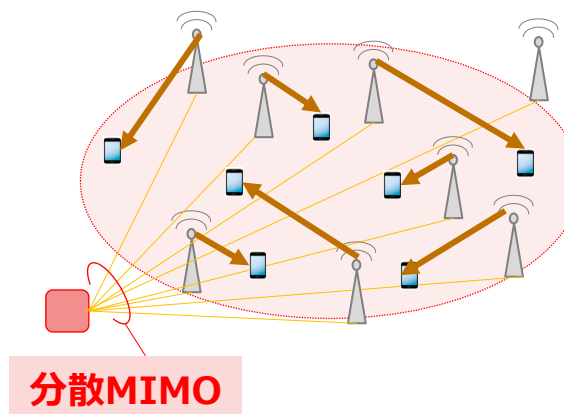
セルラシステム



セル間干渉の対策が必要

セル間で周波数チャネル、コードなどを分ける

分散IMMOシステム

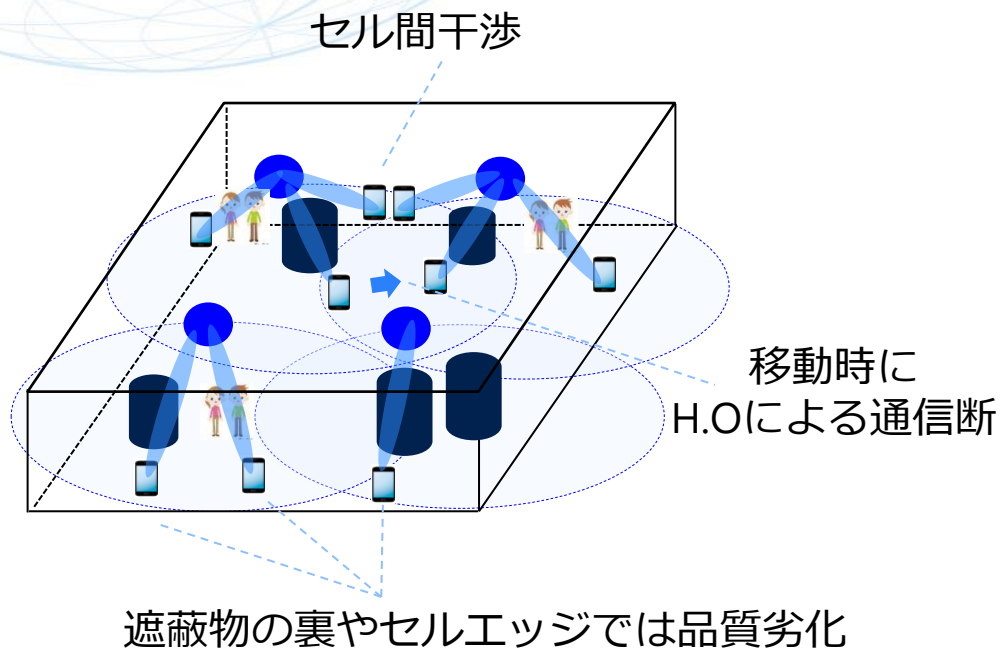


マルチユーザ伝送
(同時同一周波数チャネル)

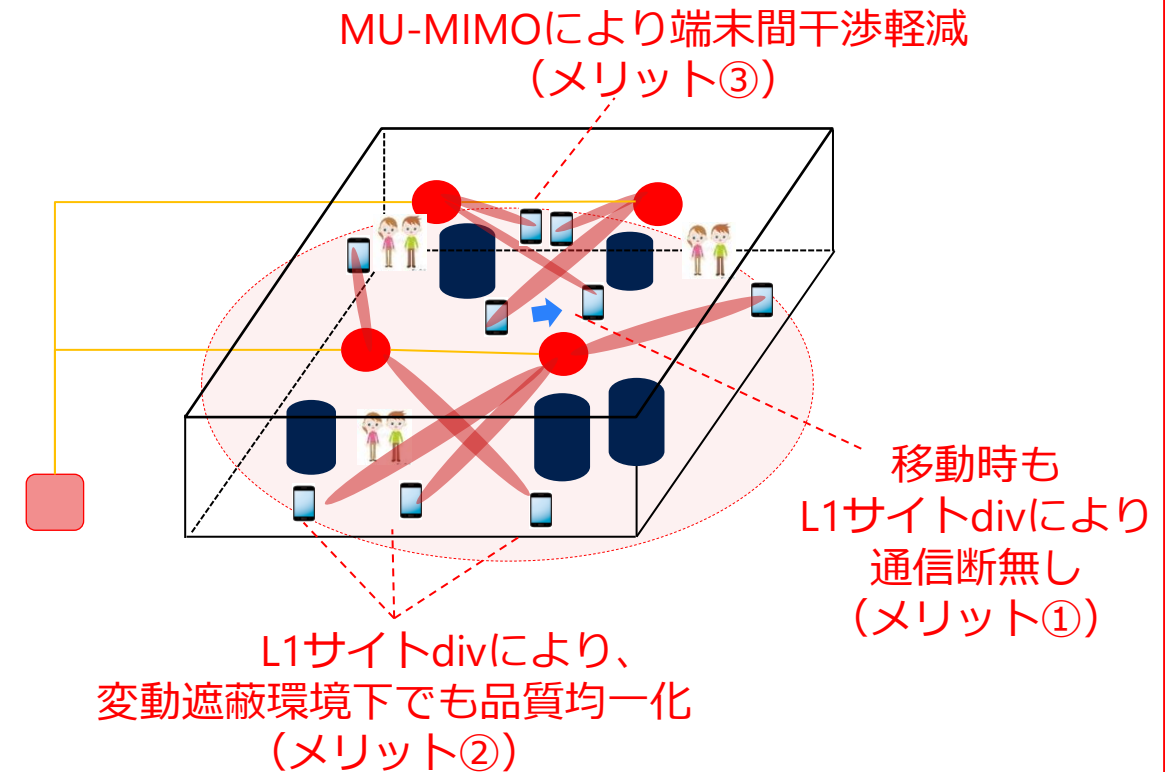
高周波数帯分散MIMOシステムの活用イメージ -イベント会場など屋内大規模エリア-

- ・ メリット①～③により、イベント会場などの端末が高密度であり、かつ、遮蔽が厳しい屋内大規模エリアでも、高周波数帯を活用した安定した大容量無線伝送が可能

セルラシステム

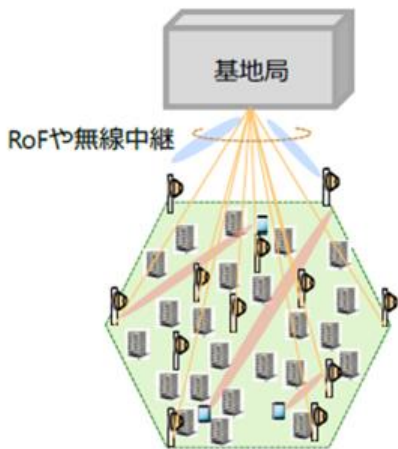


分散MIMOシステム



高周波数帯分散MIMOシステムの所要技術

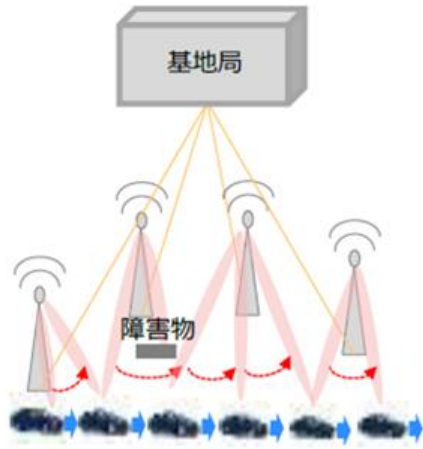
- 高周波数帯分散MIMOシステムを実現するための所要技術は下記3つ。NTTドコモ, “ホワイトペーパー「5Gの高度化と6G」”, 2022年11月 (5.0版) (※)
(※) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20221116.pdf
- 本日は①②の技術を紹介します。



見通し伝搬路確保

多数アンテナの展開法

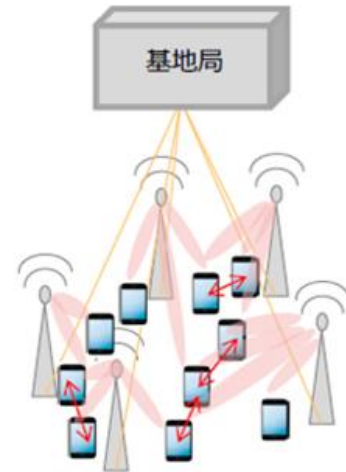
分散アンテナ展開技術



通信経路・ビームの選択

多数アンテナの切替・極狭ビーム追従

分散伝搬路制御技術



多端末同時伝送

多数アンテナ間の干渉制御・端末間連携

分散協調MIMO技術

本日はご紹介

- ① 同時ビームサーチ技術
- ② SU-MIMO用分散アンテナ割当技術

・最適ビーム予測技術
など

- ・MU用分散アンテナ割当技術
- ・ヌル空間拡張技術
- ・CSI予測技術
など

NTT
検討技術

- ・A-RoF*技術
- ・クラスタリング技術
- ・など

*Analog Radio over Fiber

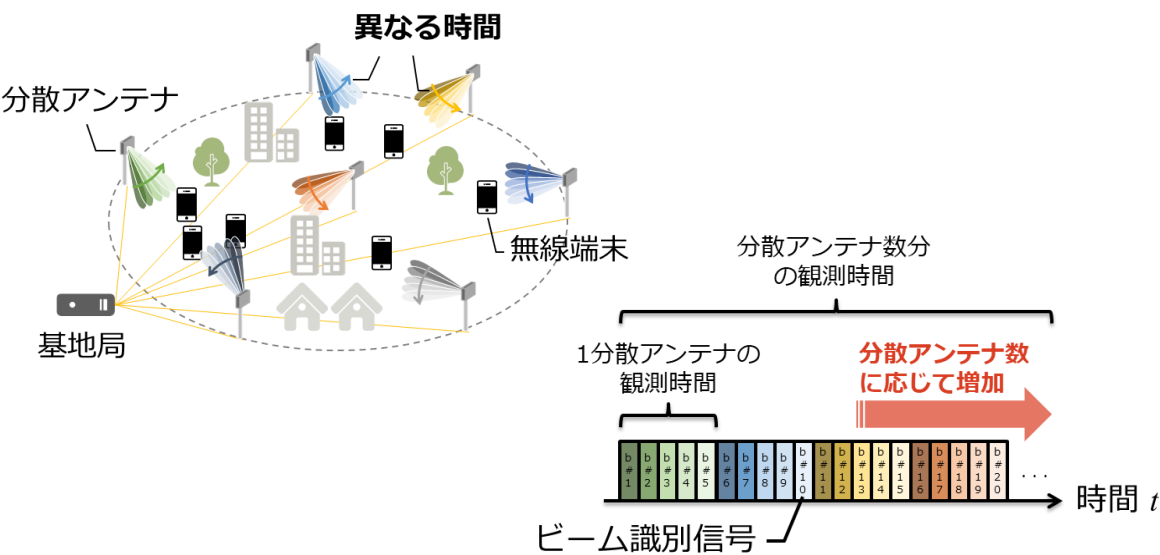
紹介技術①：同時ビームサーチ技術

- ・ 端末移動に伴い、随時、最適な分散アンテナ（DA：Distributed Antenna）と最適ビームの組合せを高速検出する必要がある
- ・ 全DAを同時ビームサーチすることにより、DA数によらずに1DA分のビームサーチ時間で高速検出する技術を考案。

従来

全分散アンテナ-端末間のビーム組み合わせから受信電力が最大となる最適ビームを選択

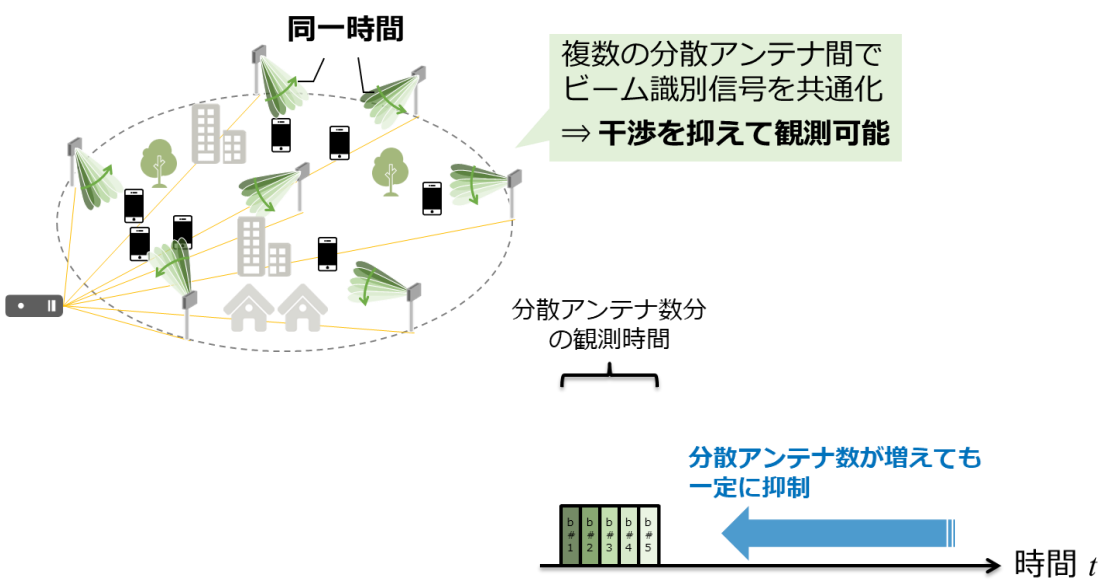
ビーム探索が分散アンテナ毎に必要となり、分散アンテナ数が増えると探索時間が膨大に



提案

全ての分散アンテナで、ビーム探索のための同時スweepが可能

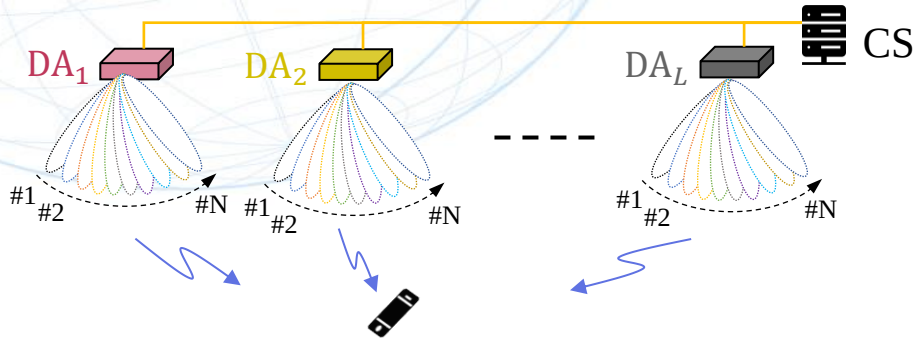
ビーム探索時間がアンテナ数に依存せず、高速なビーム探索が可能



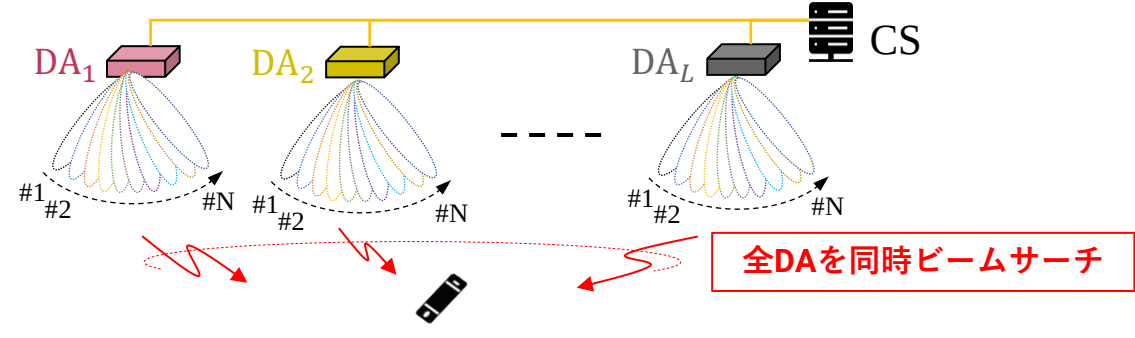
紹介技術①：同時ビームサーチ技術 -初期接続時やビームリカバリ時も対応-

- SS/PBCHで全DAでビームサーチ(1段階)、検出ビームをCSI-RSによりDA毎にサーチ(2段階)。**初期接続時やビームリカバリ時にも対応**
- 周期の長いSS/PBCHでのサーチをビームだけに絞り、最適DAのサーチを即時性のあるCSI-RSに任せてサーチ時間の短縮。**

従来



提案



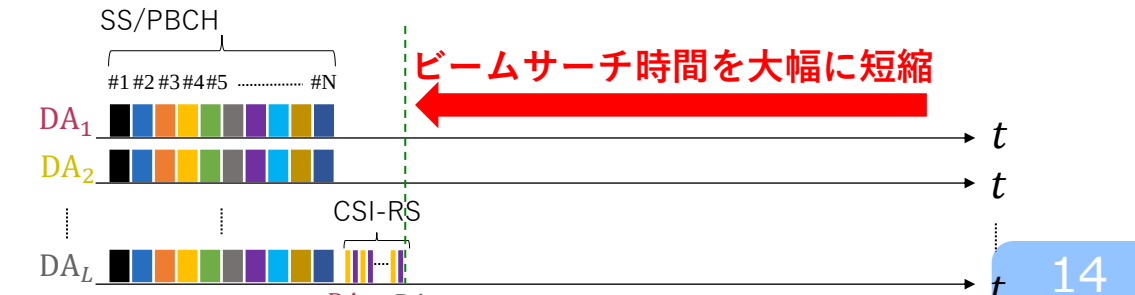
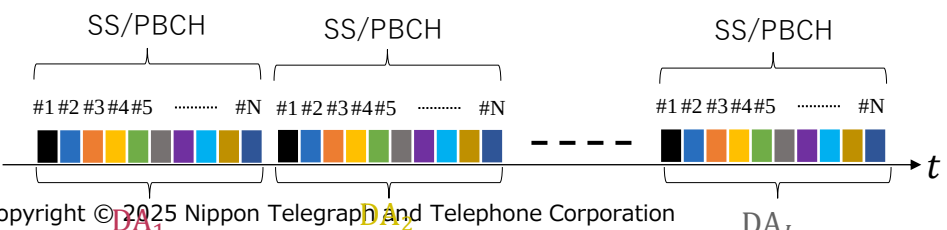
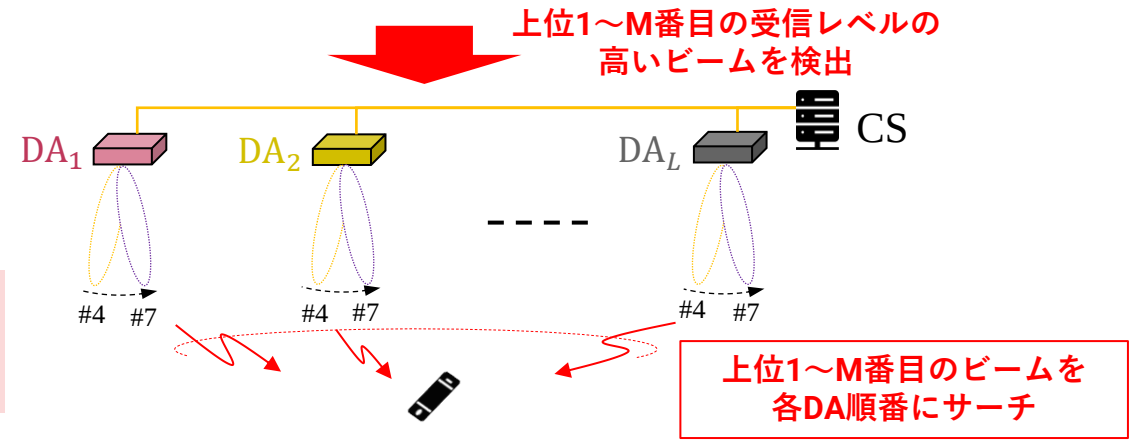
◆1段階

SS/PBCHでは
候補ビームのみ検出



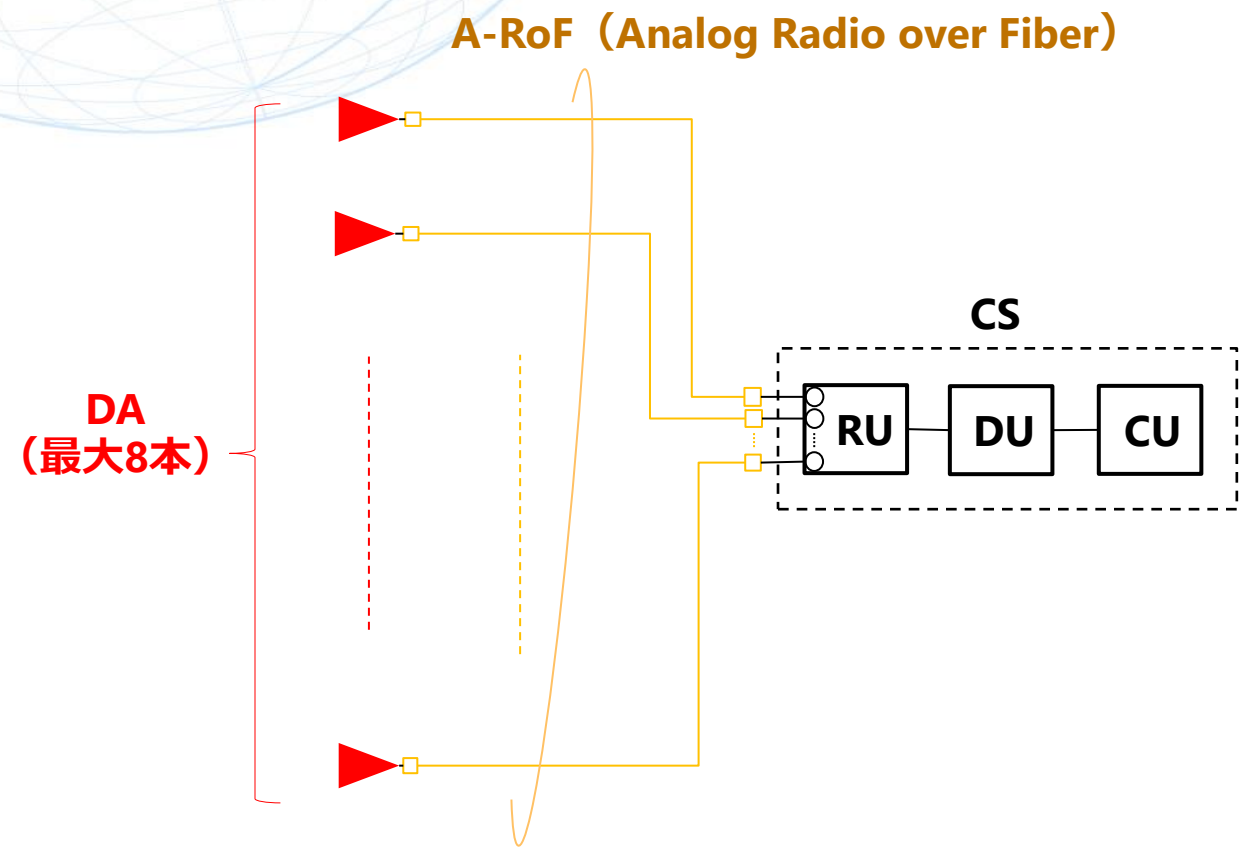
◆2段階

CSI-RSにより
全DA×候補ビーム
のみサーチ



紹介技術①：同時ビームサーチ技術 -実証実験-

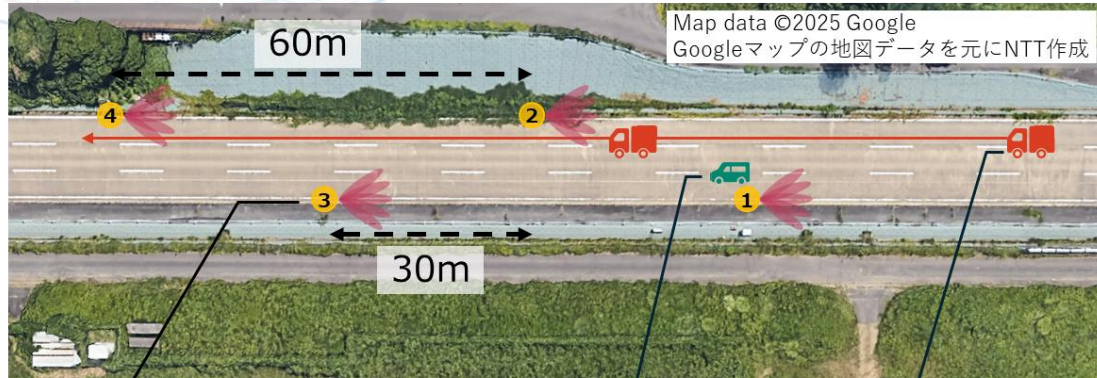
- 周波数帯40GHz帯、信号帯域100MHz、変復調方式は5G NR準拠の試作機で実証実験。
- DA（Distributed Antenna）はRUからIF信号によりA-RoFを経由して張出し、各DAを広範囲に設置可能とした



Parameters	Values
Carrier frequency	40.8 [GHz]
Channel bandwidth	100 [MHz]
Modulation Scheme	OFDM
Subcarrier spacing	60 [kHz]
Target radio link	Downlink (DL)
EIRP (DA)	22 [dBm]
NF (UE)	10 [dB]
Number of DA	4
Number of UE antennas	2
Number of antenna elements	8 (8 x 1)
Beam width	16 degrees
Number of analog beams (DA)	16
Number of analog beams (UE)	9
Number of MIMO layers	Max 2
Post-coding (UE)	MMSE

紹介技術①：同時ビームサーチ技術 -実証実験：高速移動体実験-

- 国土技術政策総合研究所の実験施設（試験走路）を借りて実験（2025/2/10～2/21）
- 基地局は分散アンテナを道路沿いに4か所設置、**大型車両を遮蔽物として50km/hで無線端末車両の横を走行**
- 従来と比較して、**通信劣化時間を350ms⇒100msに短縮**。（分散アンテナ数4個分⇒1個分の検出時間）



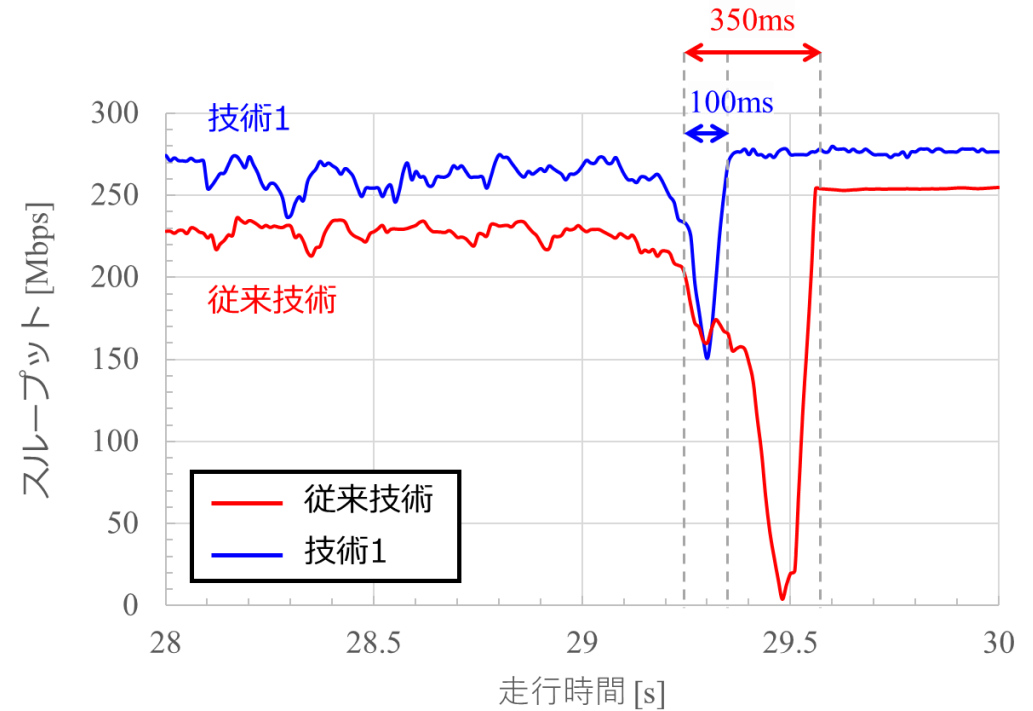
分散アンテナ



無線端末車両



大型車両（遮蔽物）



NEC、NTTドコモと連携実験（2025/3/25 リリース）

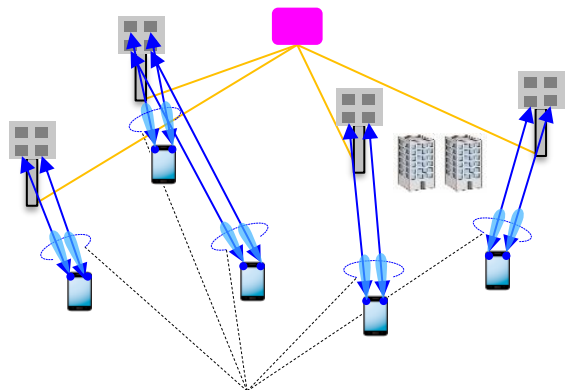
<https://group.ntt.jp/newsrelease/2025/03/25/250325a.html>

紹介技術②：SU-MIMO用DA割り当て技術 -DAがサブアレー構成のとき-

- ◆受信電力の高いアンテナ・ビームを選択する技術②では、分散アンテナがサブアレー構成の場合、同一端末の複数アンテナに対して、同じサイトの分散アンテナが選択されやすく、SU-MIMO特性が劣化する
- ◆提案技術：同一端末の複数アンテナに対して、距離が遠くても互いに異なるサイトの分散アンテナ選択する制御により、上記課題を解決し、SU-MIMO伝送特性の改善

◆受信レベルに基づく割当（Sベース）

最も受信レベルの高いDAを選択



同一UEの複数アンテナは
同一サイトのDAを選択しやすい

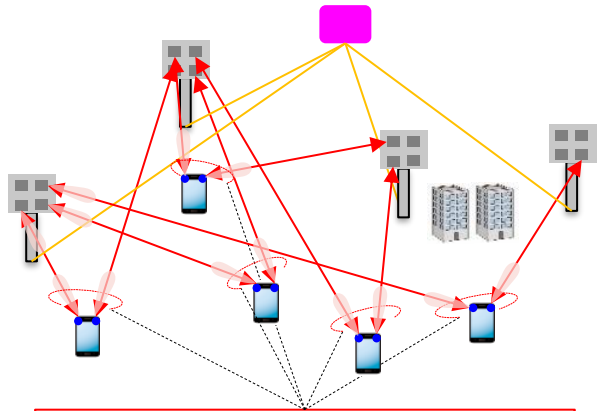
空間相関が高い



SU-MIMO 伝送特性が劣化

◆提案技術

同一UEの複数アンテナは同一サイトのDAを選択しない



同一UEの複数アンテナは
異なるサイトのDAを選択

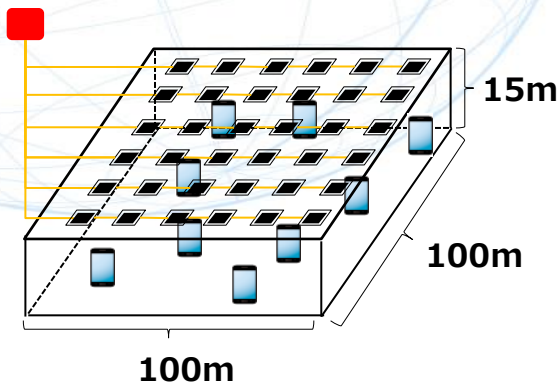
空間相関が低い



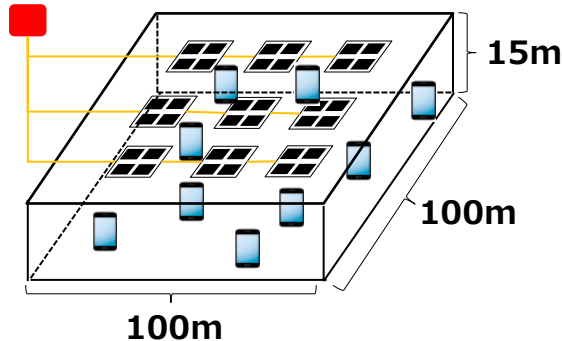
SU-MIMO伝送特性が劣化

紹介技術②：SU-MIMO用DA割り当て技術 -シミュレーション評価-

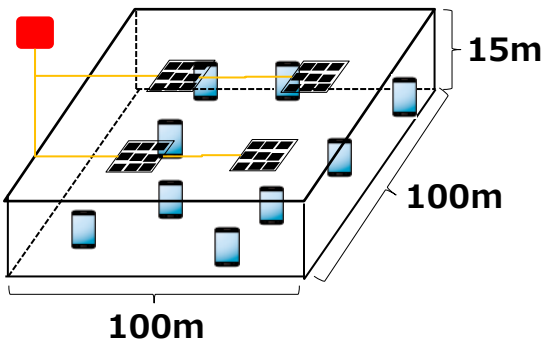
- ・本技術のサイト数依存性を評価するために、総サブアレー数一定（36）の下記4モデルを用いてシミュレーション評価した。
- ・周波数帯100GHz、信号帯域10GHzで評価
- ・分散アンテナ（DA）は天井設置モデルとした。（工場やショッピングモールなどの屋内大規模モデル）



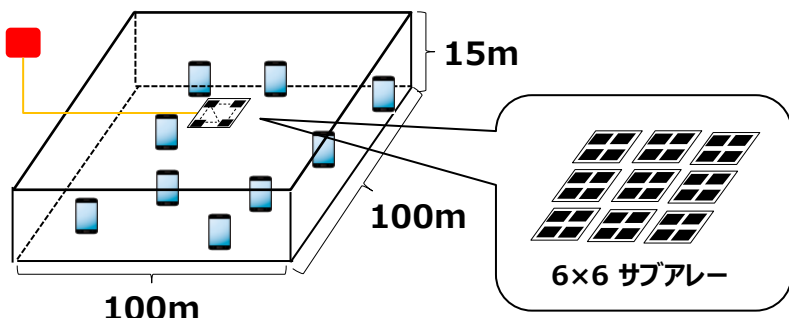
6×6 サイト
1サイトあたり1サブアレー



3×3 サイト
1サイトあたり2×2 サブアレー



2×2 サイト
1サイトあたり3×3 サブアレー

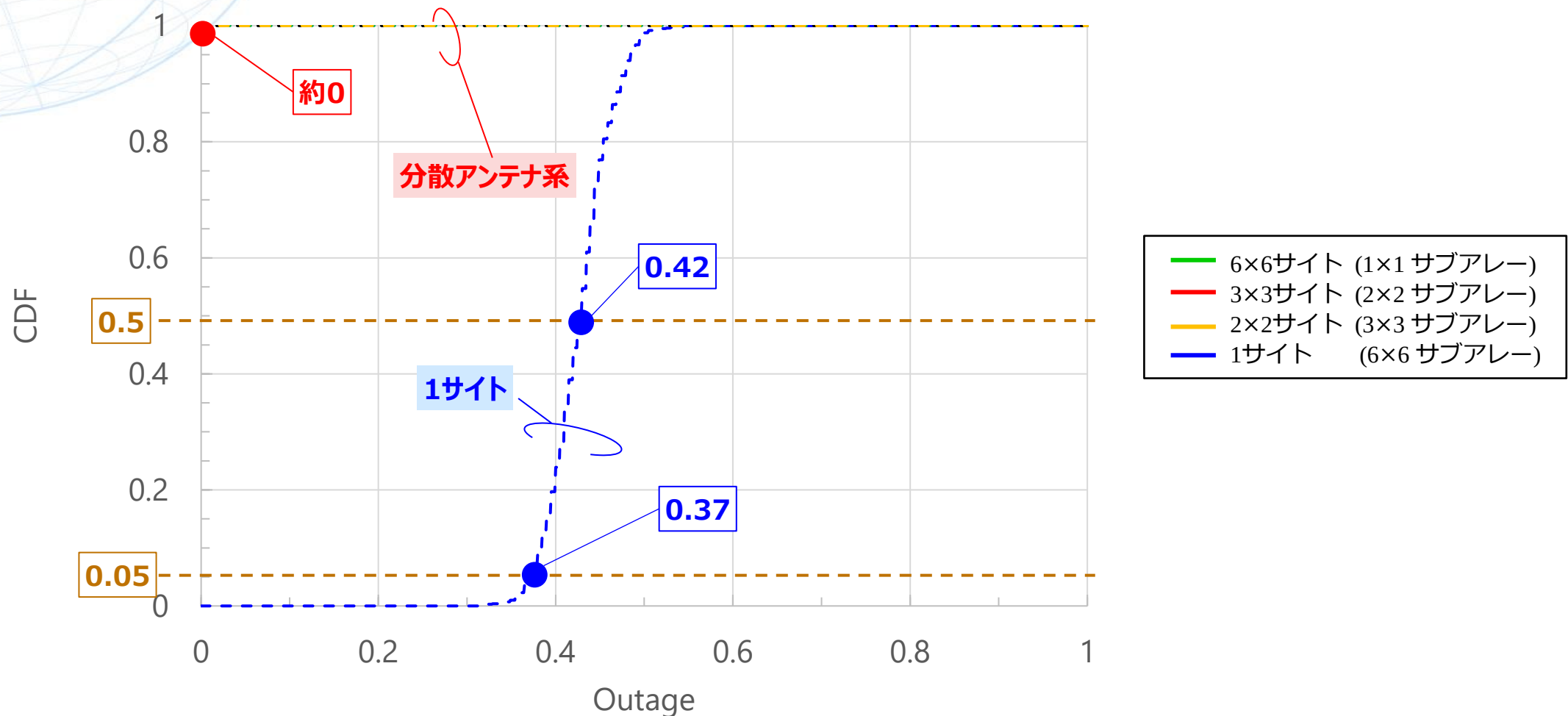


1 サイト
1サイトあたり6×6 サブアレー

項目		諸元
エリアモデル		屋内 (100 [m]×100 [m]×15 [m])
評価対象リンク		下り回線
周波数帯		100 [GHz]
信号帯域		10 [GHz]
UE数		10
最大SU-MIMOレイヤ数		2
最大MU-MIMOレイヤ数		20
DAの送信電力		20 [dBm]
NF (UE)		10 [dB]
アレーアンテナ素子数 (2次元アレーアンテナ)	DA	1サブアレー：256 (16×16)
	UE	1サブアレー：64 (8×8)
サブアレー数 (UE)		4 (前面に2サブアレー/背面に2サブアレー) *受信レベルの高い面を選択
アナログ・ビームフォーミング		分散アンテナ、UEとも最適ビームを仮定
Pre-coding (DA)		Block Diagonalization (BD) for MU-MIMO ※有り/無しも評価
Post-coding (UE)		MMSE for SU-MIMO
所要受信レベル		-86dBm このレベルを満たす時に接続)
伝搬チャネルモデル		3GPP Inf-SH 1回反射まで考慮 (壁面、天井、床面)

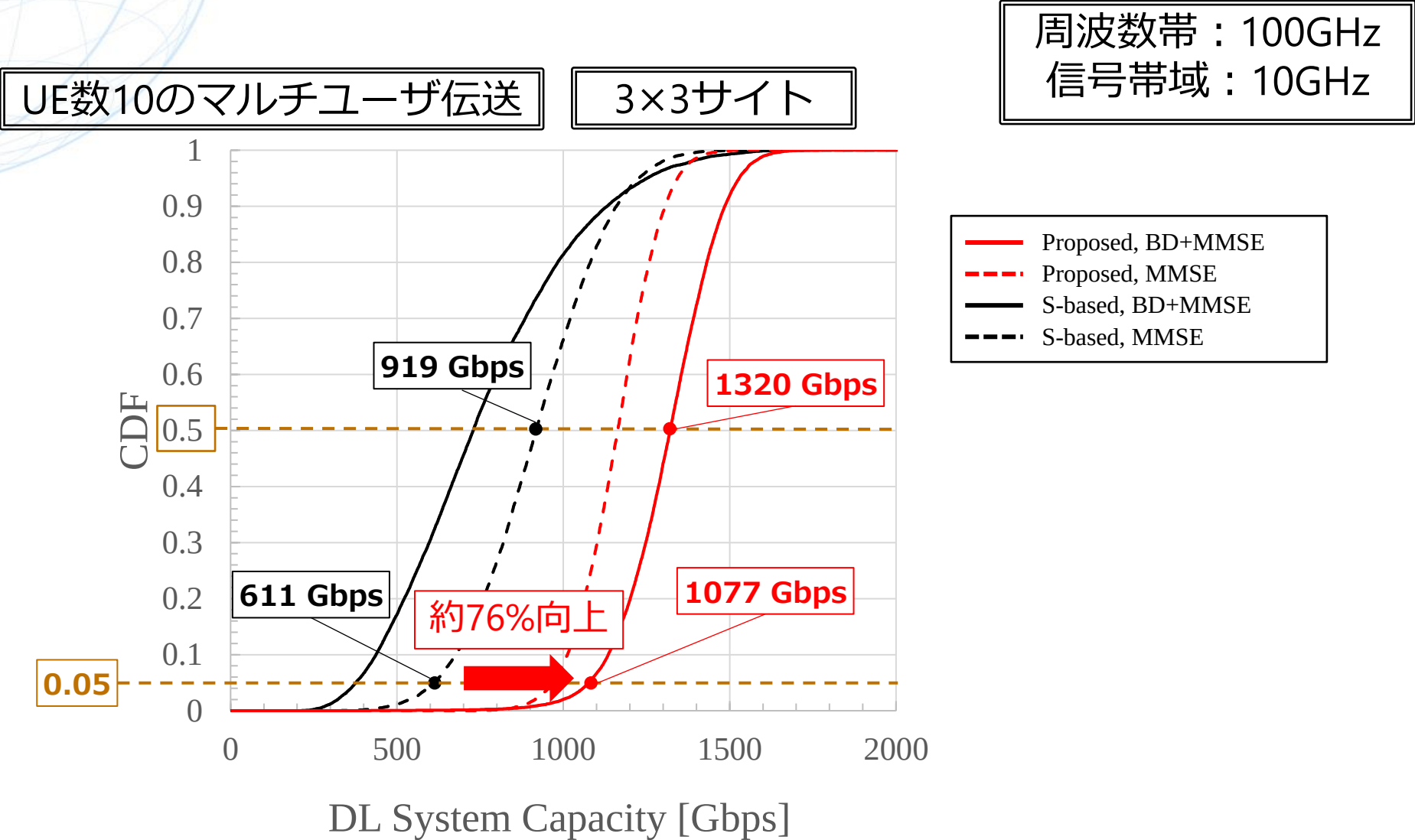
紹介技術②：SU-MIMO用DA割り当て技術 -Outage（場所率） 評価-

- ・ 1サイト系（BSアンテナ設置個所が1か所）では1回反射波でもOutage特性が約40%
- ・ 分散アンテナ系は4サイトでもOutage特性がほぼ0%となる。（工場やショッピングモールなどの屋内大規模モデル）



紹介技術②：SU-MIMO用DA割り当て技術 -エリア容量評価-

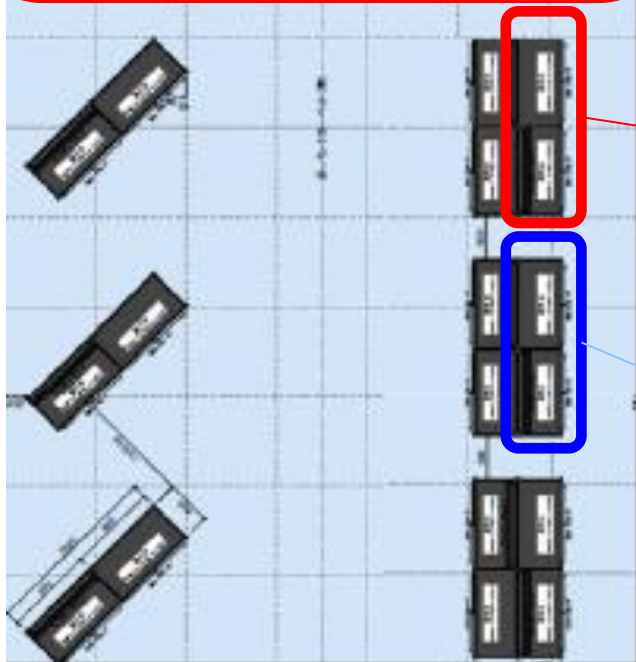
・場所率95%（CDF5%）で、Sベースでは611Gbps、本技術を用いると1077Gbps（100Gbps×10ユーザ）を達成。



本講演内容（特に技術①）については下記ブース（W-20 NTT）で展示しております。



現講演会場



NECさま・NTTドコモさまの展示
・本講演内容と連携展示です

W-20 NTT

・本講演内容の展示



NTTドコモさまの展示ブース

- ・ここでも本講演内容を展示しています
(パネルのみ)