

5Gの高度化に資するCell-Free Massive MIMO技術に関する技術検討

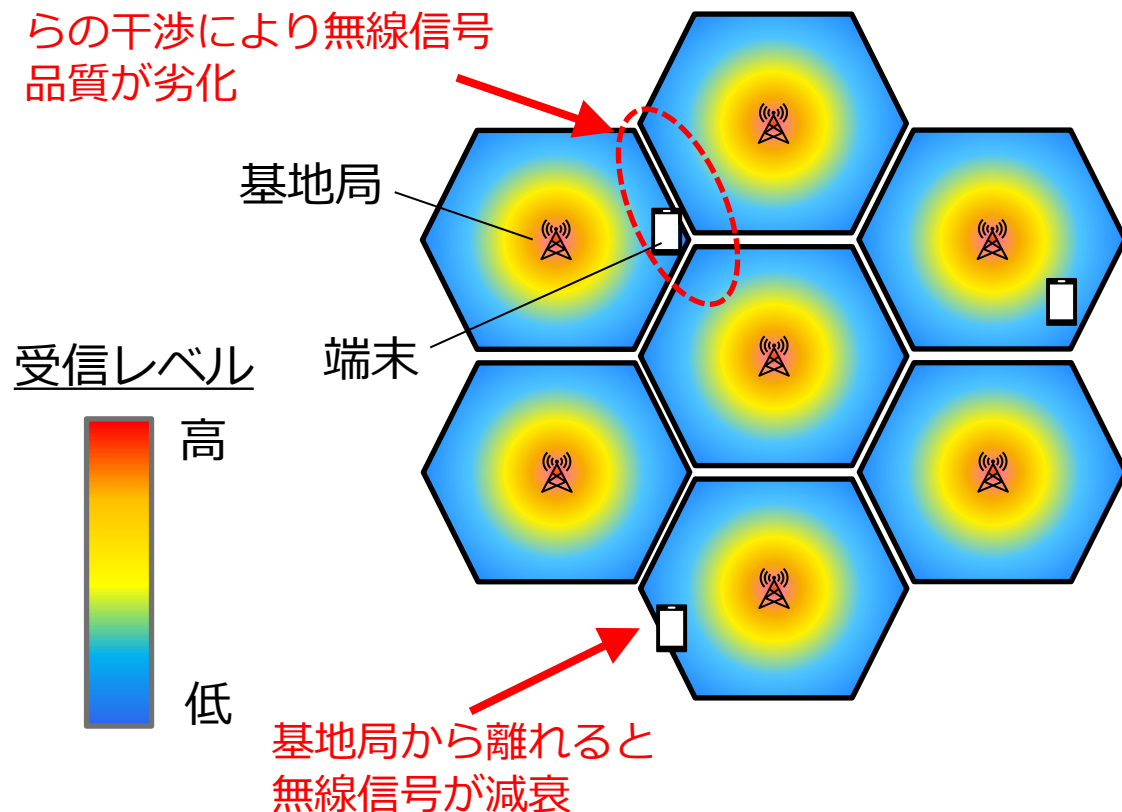
2022年2月28日
KDDI総合研究所

- 5Gの高度化に資するCell-Free Massive MIMO技術に関わる技術検討の結果について報告
 - Cell-Free Massive MIMO技術に関する調査
 - 実環境を想定した展開シナリオにおけるシミュレーション評価
 - Cell-Free Massive MIMO技術導入に係る課題

セルの概念を取り払い、分散配置したアンテナを連携させることで、全てのユーザに適切な無線環境を提供可能な無線技術

これまでのセルラーシステム (基地局を中心としたエリア形成)

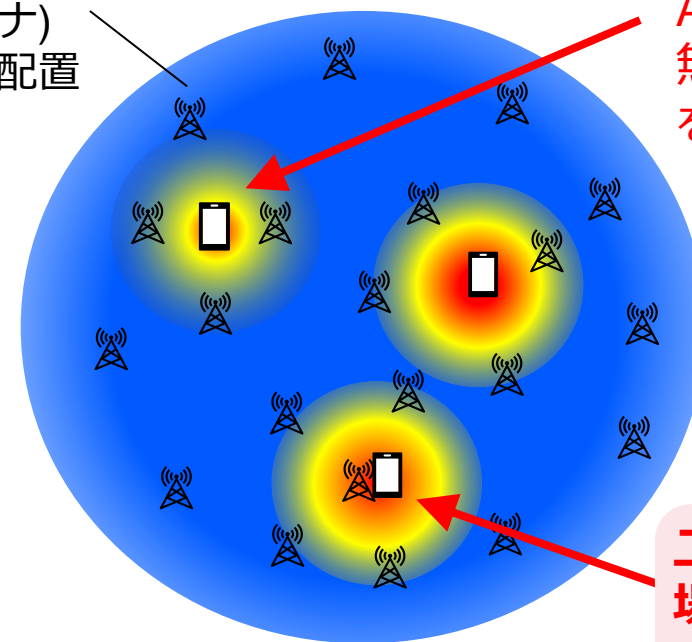
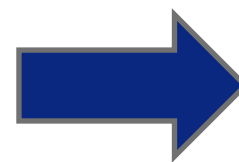
セル境界は隣接基地局からの干渉により無線信号品質が劣化



Cell Free massive MIMO (ユーザを中心としたエリア形成)

Access Point (AP:
基地局アンテナ)
※面的に分散配置

AP境界での無線品質劣化を回避



ユーザがいる場所の無線品質を向上

出展：KDDI B5G/6Gホワイトペーパー 2.0.1版
https://www.kddi-research.jp/tech/whitepaper_b5g_6g/assets/pdf/KDDI_B5G6G_WhitePaperJP_2.0.1.pdf

Cell-Free massive MIMOの基本的なシステム構成

無線アクセスネットワーク

基地局アンテナ

ユーザ端末

無線

集約局

Central Processing Unit (CPU)

Fronthaul

Access Point (AP)

AP1

AP2

AP L

UE1

UE2

UE K

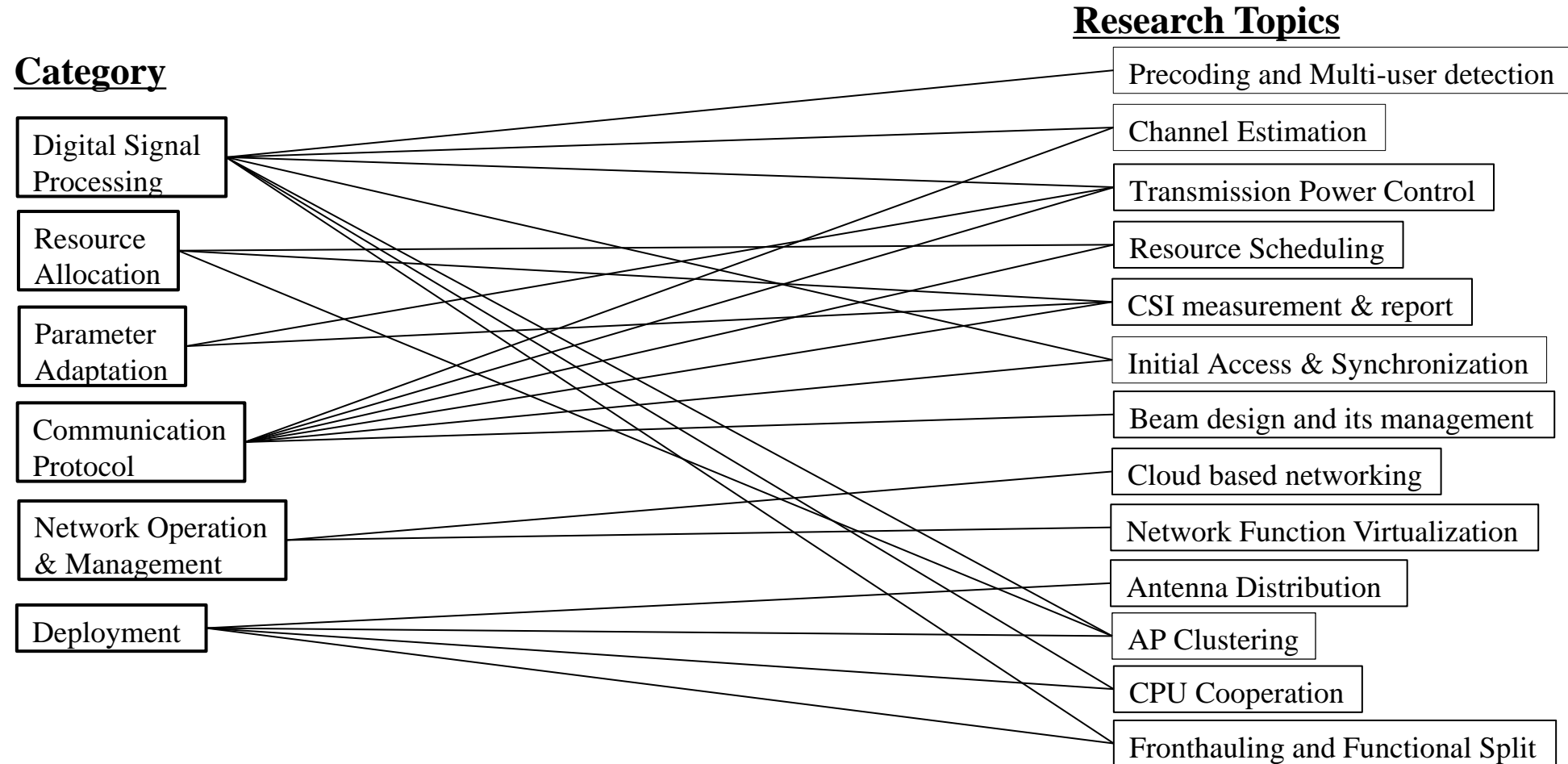
Distributed massive MIMO Propagation Channel

APの信号を集約し、一括した空間信号処理や制御により、各ユーザを効果的に多重

様々な場所に分散して配置

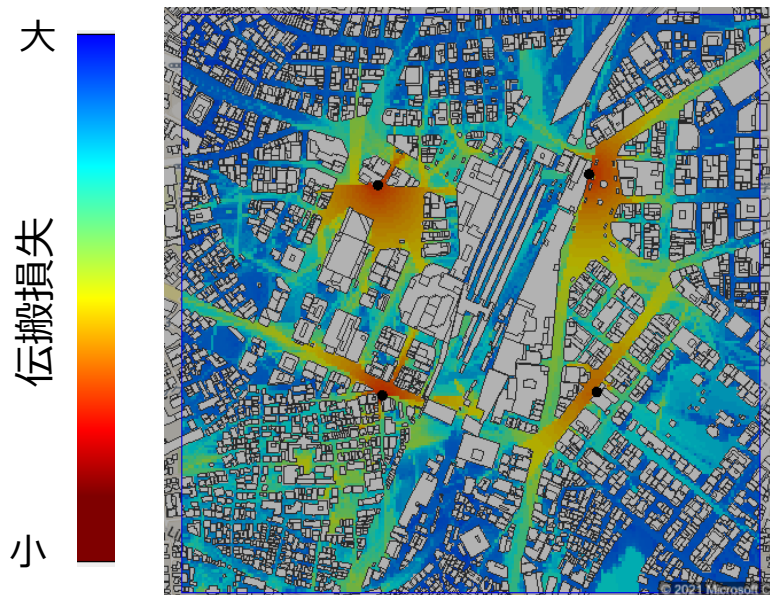
Beyond5Gに向けた有望な技術の一つとして、国内外の研究開発機関で様々な側面から幅広く研究が進められている

✓ 実際の無線環境でどれだけの効果があるか、実用的な性能検証が必要



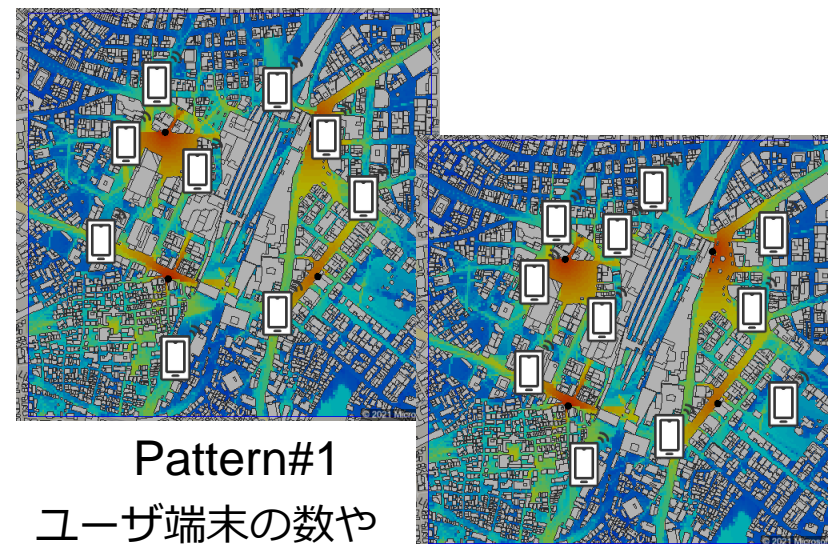
Cell-Free massive MIMO技術の基本方式について、実用的な電波伝搬モデルを用いたシステムレベルのシミュレーション評価を実施

レイトレース電波伝搬シミュレーション (実測データを用いて特性をチューニング)



各地点の電波の
パス情報

Cell-Free massive MIMOシステムレベル シミュレーション

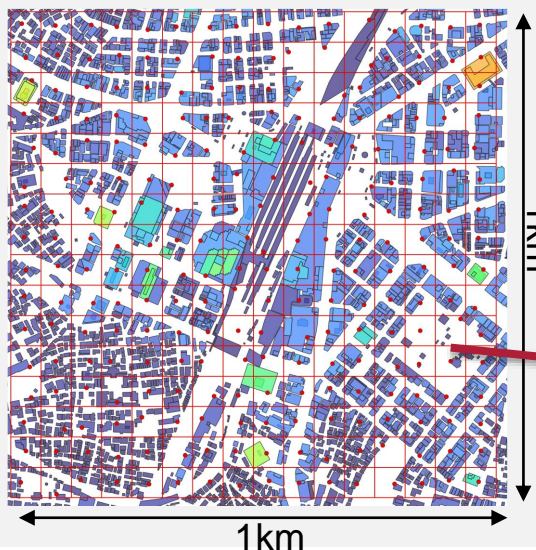


Pattern#1
ユーザ端末の数や
位置を変更

Pattern#2

評価環境	都市部（池袋） / 郊外（埼玉県ふじみ野市）
評価エリアのサイズ	狭域シナリオ（1Km四方） / 広域シナリオ（4Km四方）
周波数	4.5GHz / 28GHz

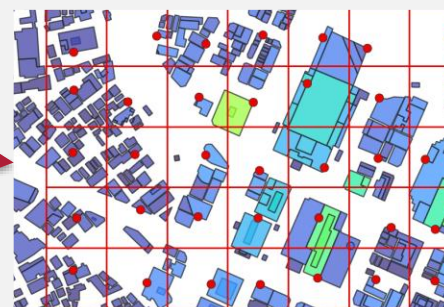
■ 狭域シナリオ



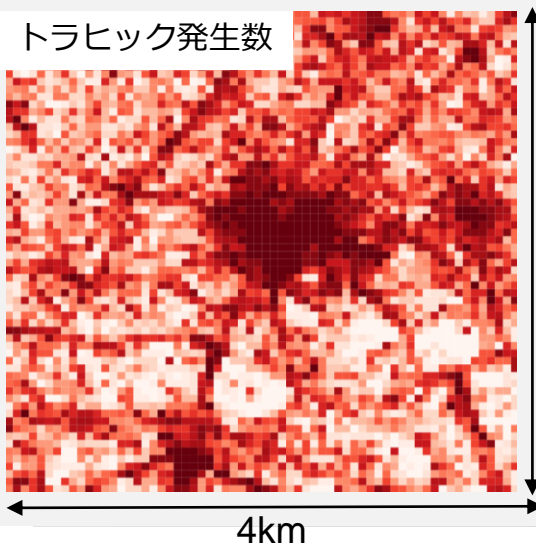
AP・ユーザ端末を均一に配置

256メッシュに分割し、メッシュ毎に以下の基準で基地局を設置

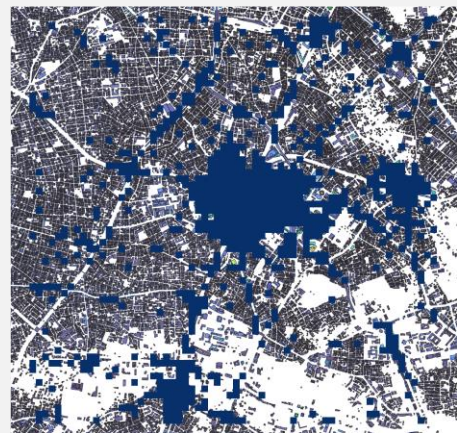
- ①7m超の建物有：中心付近にある建物を選択
- ②7m以下の建物 or 建物無：15m高の鉄塔を設置



■ 広域シナリオ



実際のトラフィック分布に応じて AP・ユーザ端末を配置



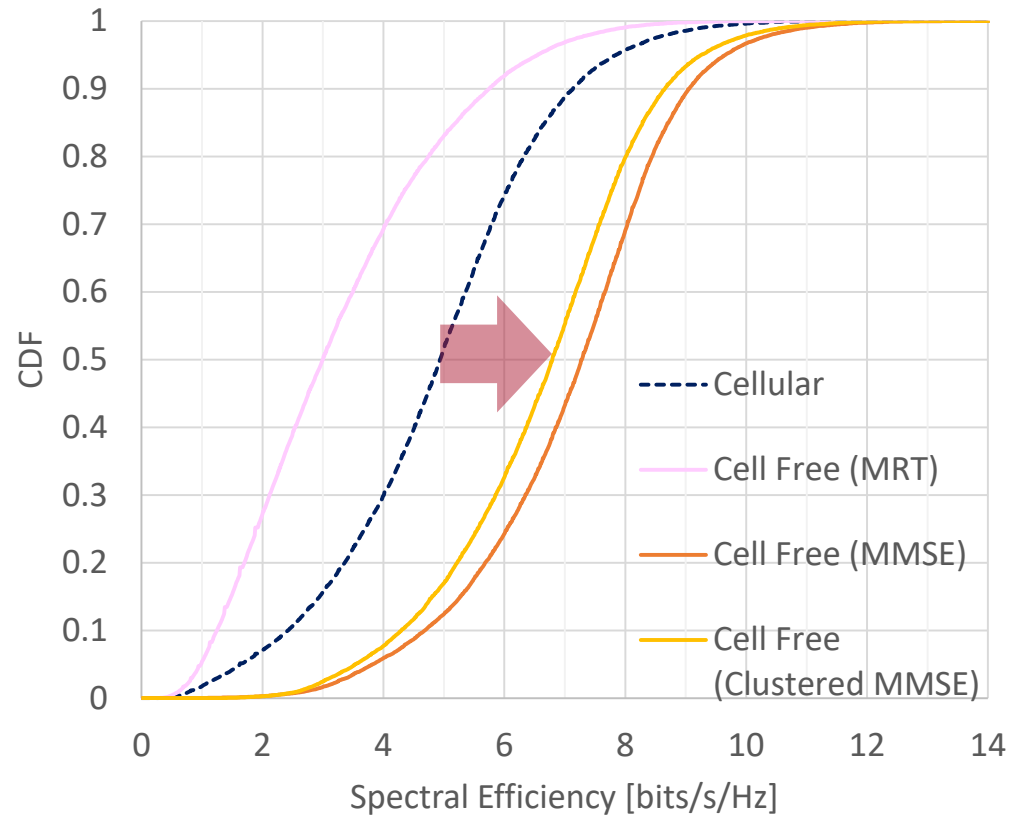
メッシュ内の基地局設置方法は狭域シナリオと同じ

上位20%のメッシュを選択

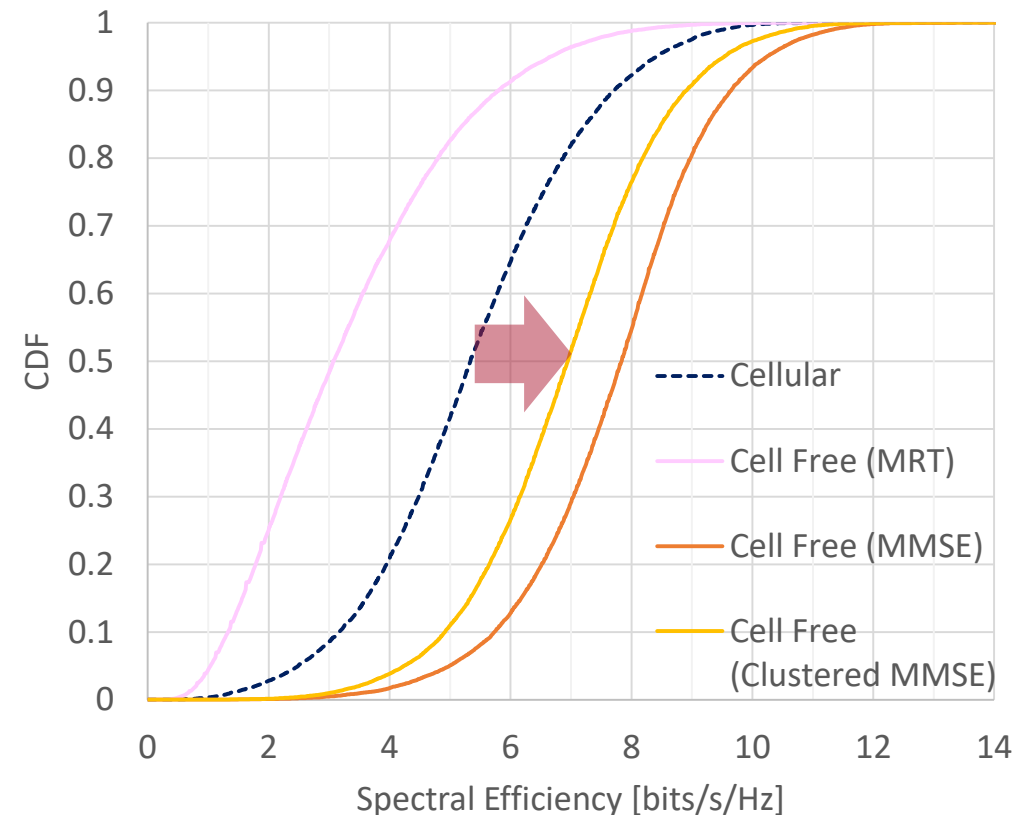
シミュレーション諸元

項目	4.5GHz 100MHz幅				28GHz 400MHz幅			
	狭域 1km x 1km		広域 4km x 4km		狭域 1km x 1km		広域 4km x 4km	
	都市	郊外	都市	郊外	都市	郊外	都市	郊外
AP数	256		819		256		819	
空間多重ユーザ数	64				16			
アナログBF	-				Beam Sweep Based 20dBi peak gain			
デジタル信号処理	<ul style="list-style-type: none"> ・セルラー: 最大受信電力の基地局に接続 ・Cell-Free: Precodingを用いて空間多重 Precoding : MRT/MMSE/Clustered MMSE - Clustered MMSEクラスタAP数 : 32 							
送信電力	43 dBm per AP (各ユーザに均等に電力を割り当)							
NF	7dB							
Air interface	5G NR を想定 <ul style="list-style-type: none"> ・ TDD比率: 3:1 ・ Overhead Ratio: 0.14 (4.5GHz), 0.2 (28GHz) 							

4.5GHz 都市部

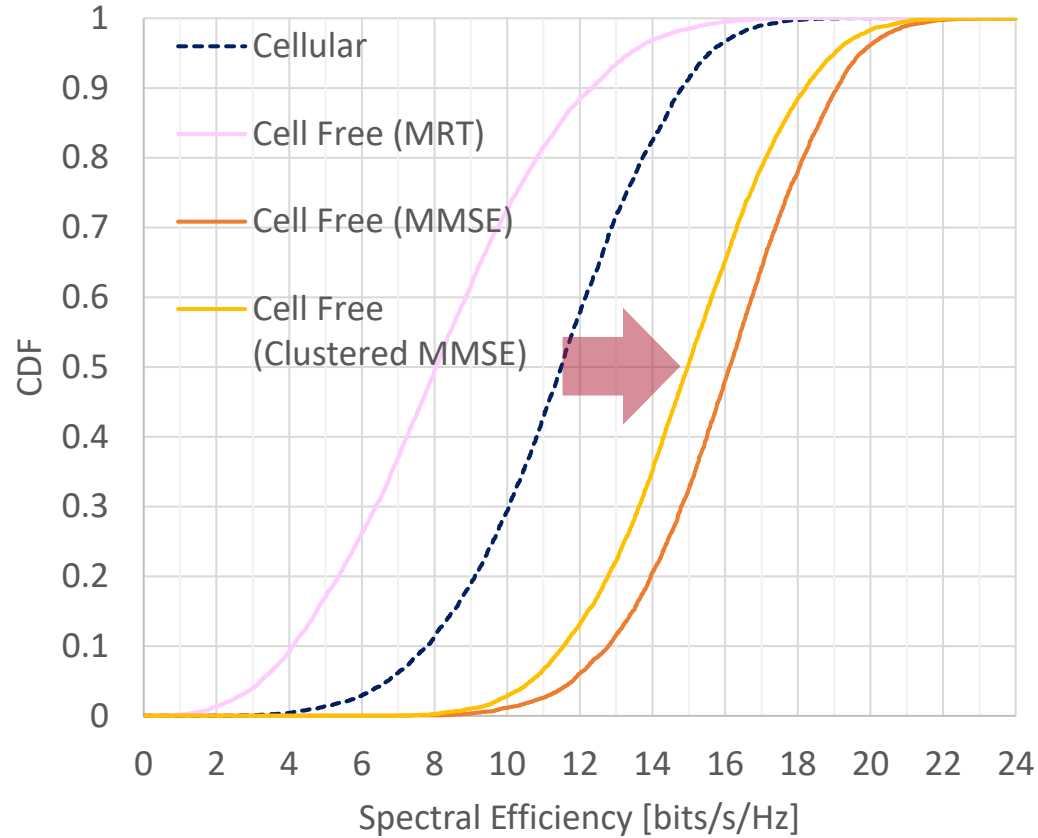


4.5GHz 郊外部

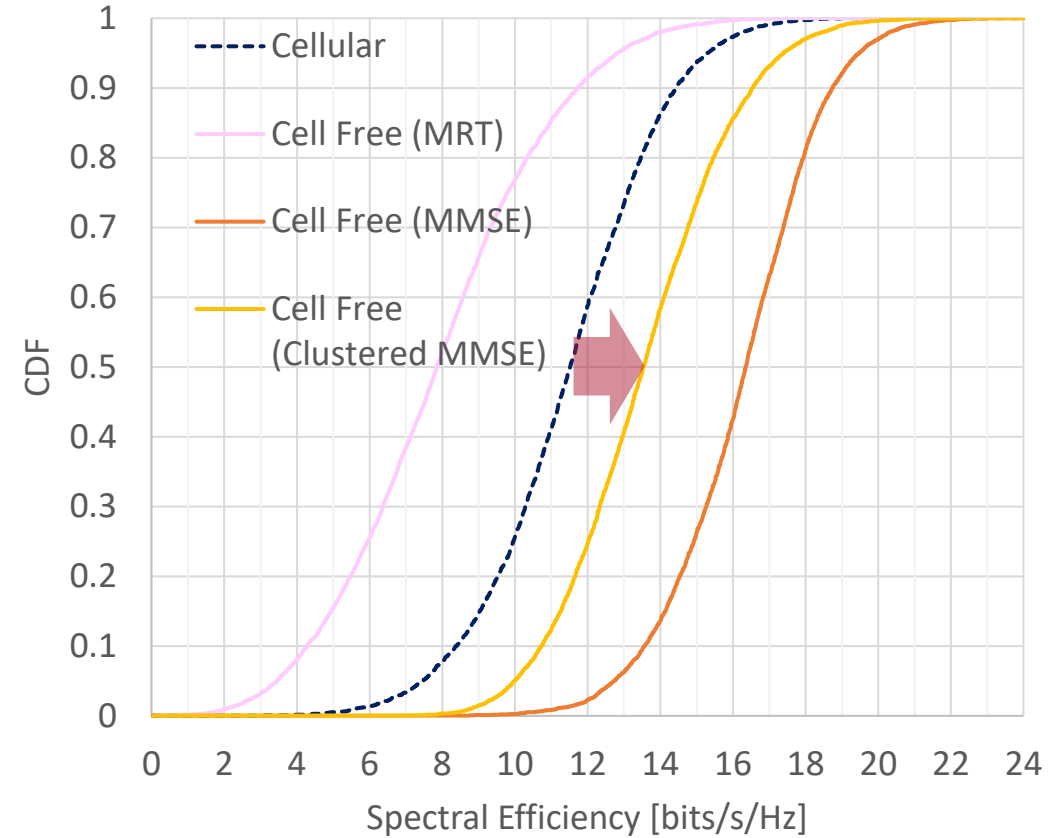


- 都市部・郊外部ともCell-Free massive MIMOによりユーザ毎の周波数利用効率をセルラーから改善可能
- Cell-Free は信号処理方式により大きな性能差が生じる（MRT << clustered MMSE < MMSE）
 - ✓ 大規模展開を見据えると、ユーザ数・AP数の増加に対して現実的な計算量で実現できる**Clustered MMSE**が望ましい
 - 都市部の方が建物等によるクラスタ外のAPからの干渉が軽減され効果が高い（送信電力やクラスタを組むAP数等展開エリアに応じて適切に設定するのが望ましい）

28GHz 都市部



28GHz 郊外部



- 都市部・郊外部ともCell Free massive MIMOによりユーザ毎の周波数利用効率をセルラから改善可能
- AP毎にアナログビームフォーミングを用いることで干渉抑圧効果が得られ、性能絶対値は4.5GHzよりも改善
- Cell Free massive MIMOの信号処理方式に関する優劣は4.5GHzと同じ傾向

評価結果 (マップ) : 狭域シナリオ・都市部

4.5GHz



Cellular

スループット
[Mbps]

低

- 0 - 2
- 2 - 4
- 4 - 6
- 6 - 8
- 8 - 10
- 10 - 12
- 12 - 14
- 14 - 16
- 16 - 18
- 18 - 20
- 20 - 22
- 22 - 24
- 24 - 26

28GHz



スループット
[Mbps]

低

- 0 - 30
- 30 - 45
- 45 - 60
- 60 - 75
- 75 - 90
- 90 - 105
- 105 - 120
- 120 - 135
- 135 - 150
- 150 - 165
- 165 - 180
- 180 - 195
- 195 - 210
- 210 - 225
- 225 - 240
- 240 - 255
- 255 - 270
- 270 - 285
- 285 - 300

4.5GHz

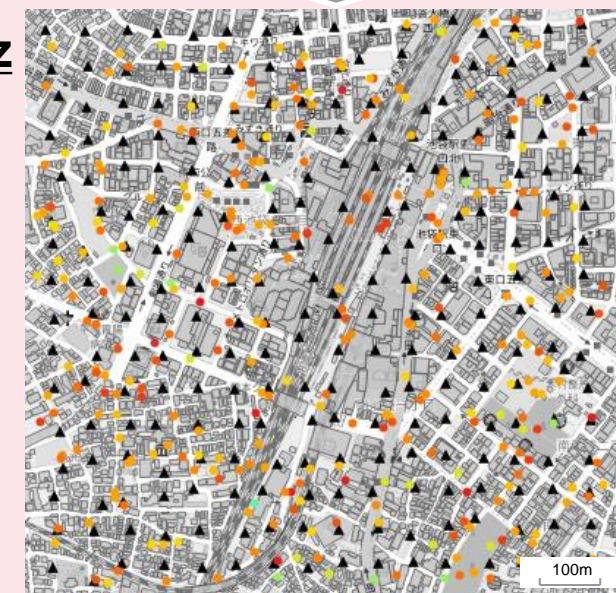


Cell-Free
Clustered
MMSE

高

スループット
を面的に改善

28GHz



高

スループット
を面的に改善

評価結果 (マップ) : 狭域シナリオ・郊外部

4.5GHz



スループット
[Mbps]

低

- 0 - 2
- 2 - 4
- 4 - 6
- 6 - 8
- 8 - 10
- 10 - 12
- 12 - 14
- 14 - 16
- 16 - 18
- 18 - 20
- 20 - 22
- 22 - 24
- 24 - 26

28GHz



スループット
[Mbps]

低

- 0 - 30
- 30 - 45
- 45 - 60
- 60 - 75
- 75 - 90
- 90 - 105
- 105 - 120
- 120 - 135
- 135 - 150
- 150 - 165
- 165 - 180
- 180 - 195
- 195 - 210
- 210 - 225
- 225 - 240
- 240 - 255
- 255 - 270
- 270 - 285
- 285 - 300

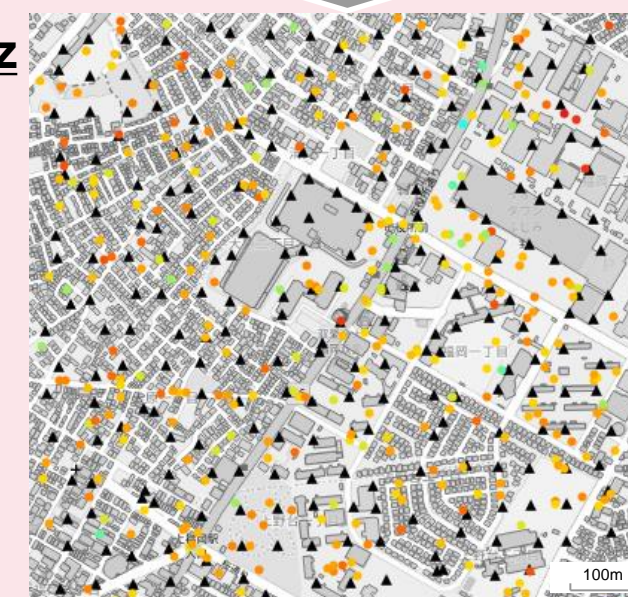
Cellular

4.5GHz



高

28GHz



高

Cell-Free
Clustered
MMSE

スループット
を面的に改善

スループット
を面的に改善

評価結果 (マップ) : 広域シナリオ・28GHz・都市部

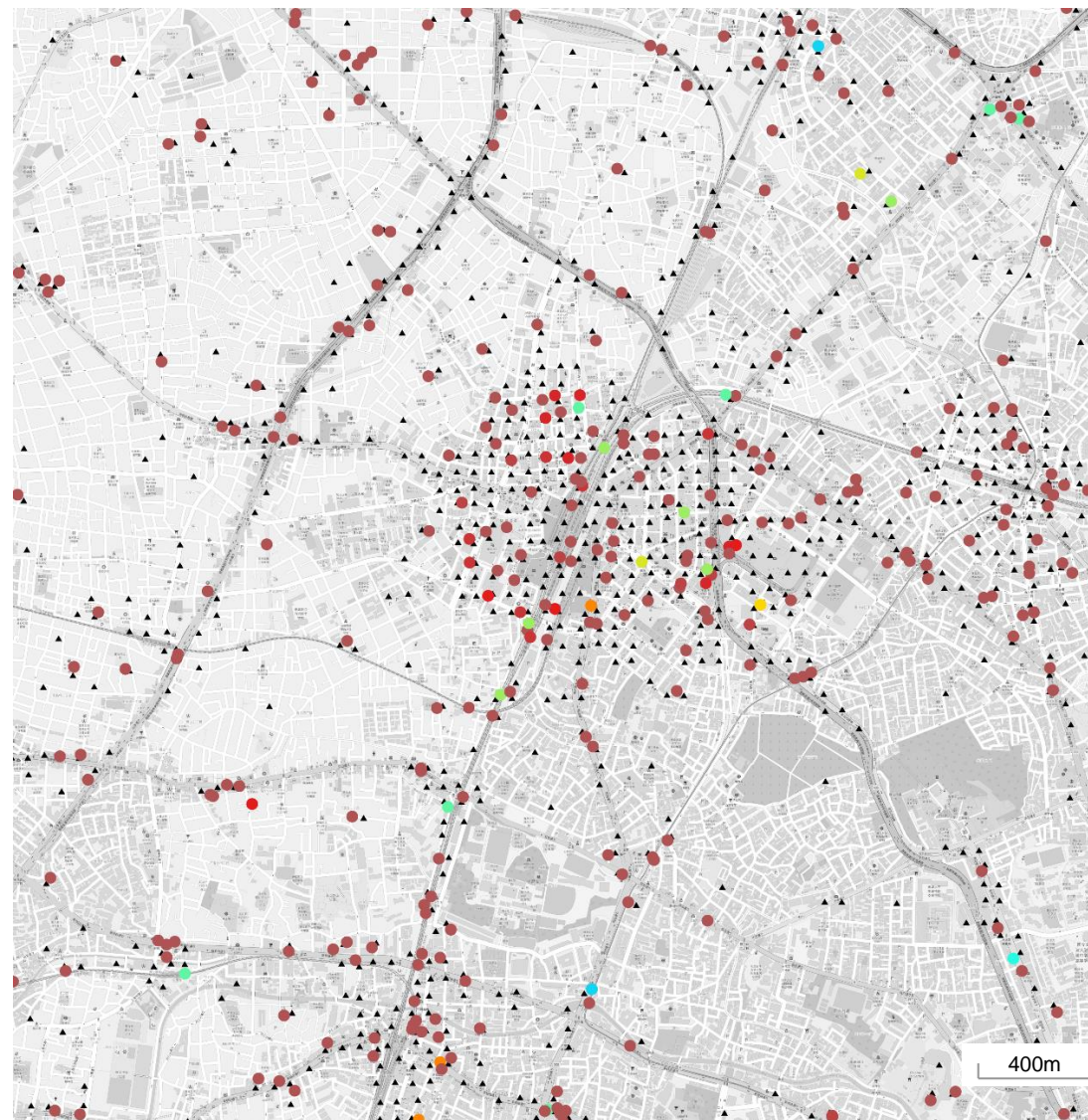
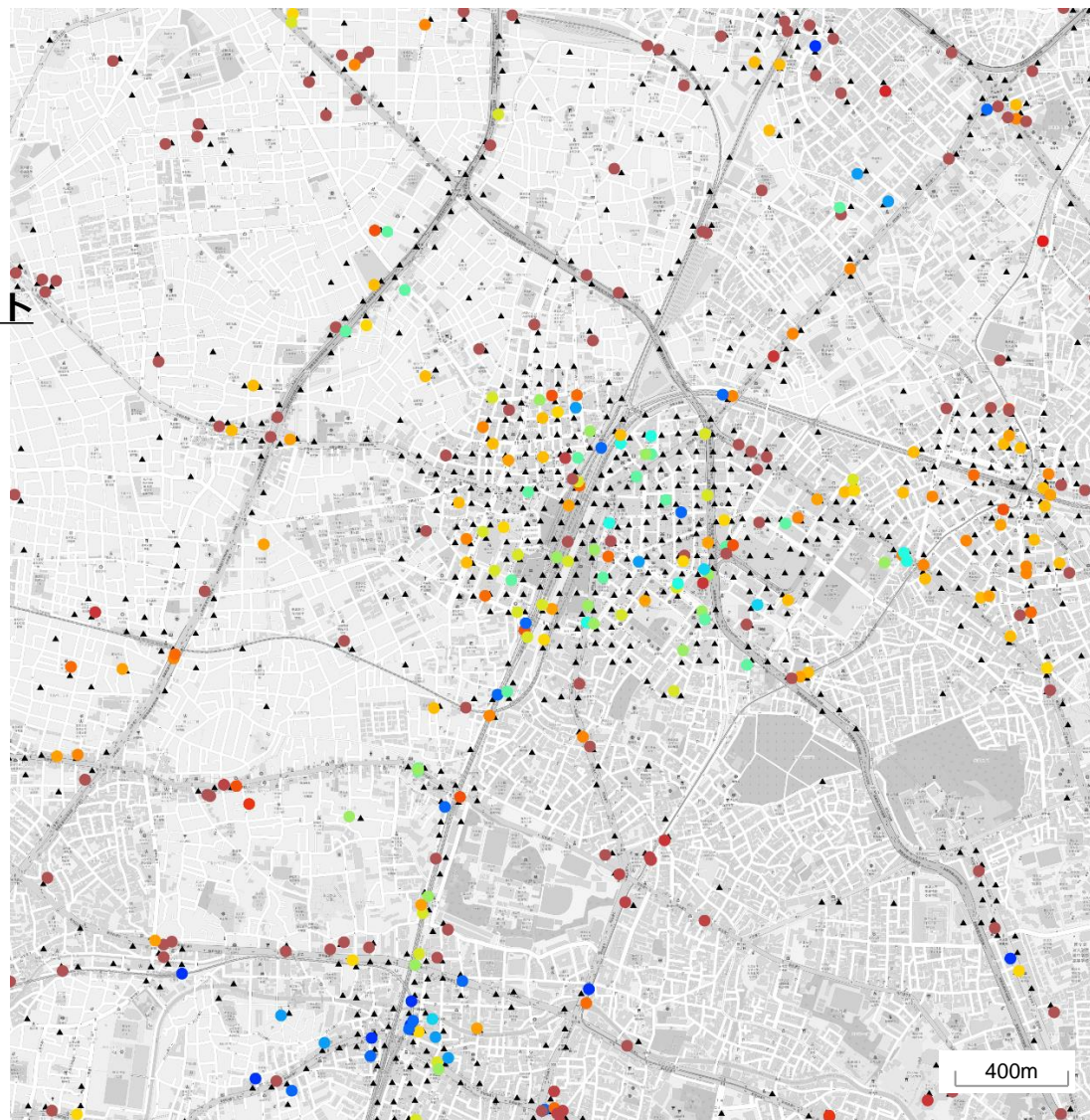
Cellular

Cell-Free Clustered MMSE

スループット

[Mbps]

- 0 - 30
- 30 - 45
- 45 - 60
- 60 - 75
- 75 - 90
- 90 - 105
- 105 - 120
- 120 - 135
- 135 - 150
- 150 - 165
- 165 - 180
- 180 - 195
- 195 - 210
- 210 - 225
- 225 - 240
- 240 - 255
- 255 - 270
- 270 - 285
- 285 - 300



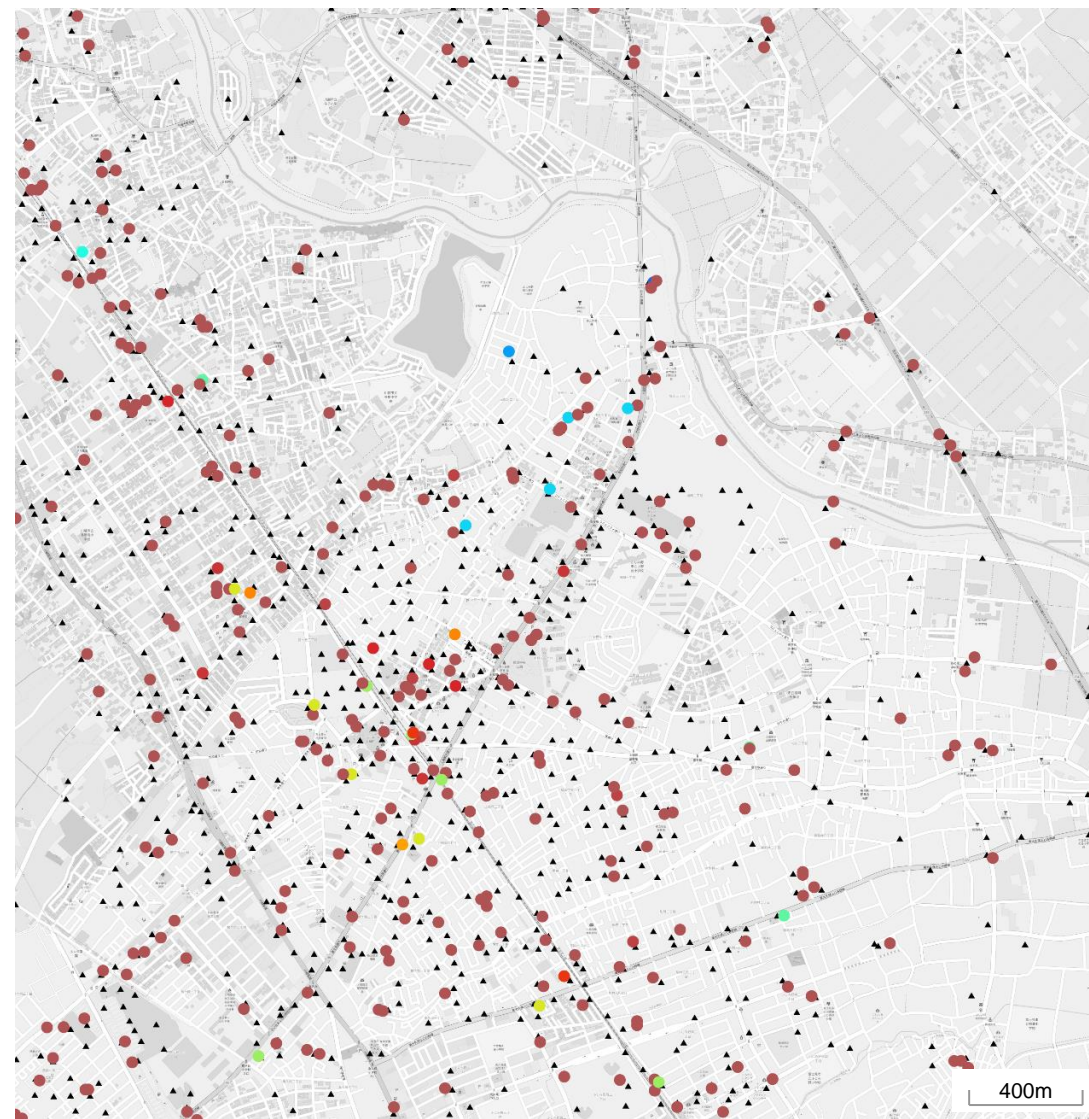
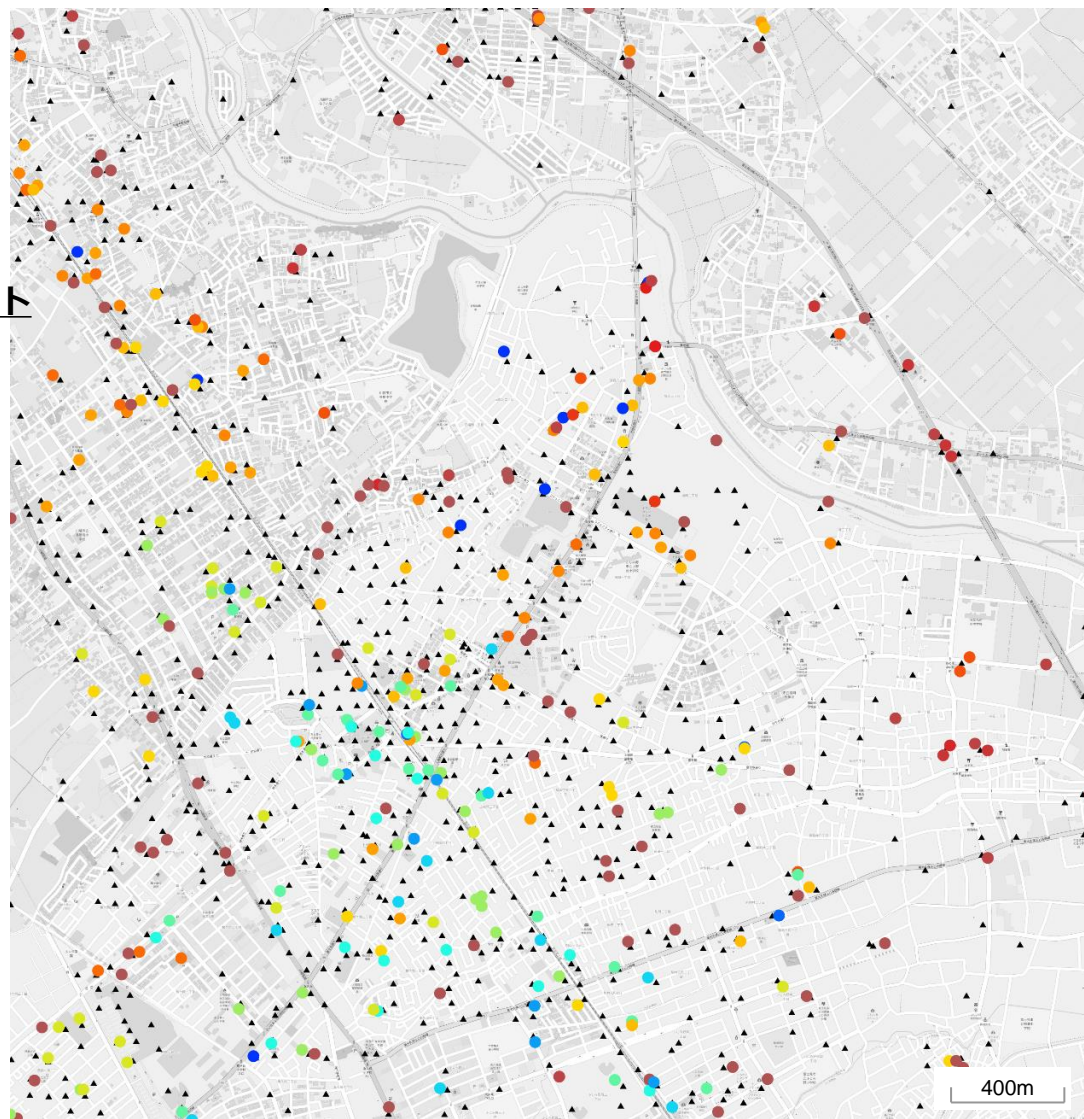
評価結果 (マップ) : 広域シナリオ・28GHz・郊外部

Cellular

Cell-Free Clustered MMSE

スループット
[Mbps]

- 0 - 30
- 30 - 45
- 45 - 60
- 60 - 75
- 75 - 90
- 90 - 105
- 105 - 120
- 120 - 135
- 135 - 150
- 150 - 165
- 165 - 180
- 180 - 195
- 195 - 210
- 210 - 225
- 225 - 240
- 240 - 255
- 255 - 270
- 270 - 285
- 285 - 300



- アンテナ設置・フロントホール敷設コスト削減に向けた効果的なアンテナ展開方法の確立

- フロントホールの大容量化・効率的な伝送方式の確立
 - IFoF (IFoverFiber)等のAnalog RoFによる高効率・大容量方式を検討中

- 大規模展開を想定したスケーラビリティの確保
 - 集中的な信号処理・制御における計算量の削減が必須
 - Clustered MMSE等の信号処理方式が有効

- セルラーシステムからのスムーズなマイグレーション方法の確立

A large, stylized logo for KDDI Research. The word "KDDI" is in a bold, blue, sans-serif font with a white swoosh underneath. Below it, the words "KDDI Research" are written in a blue, sans-serif font.

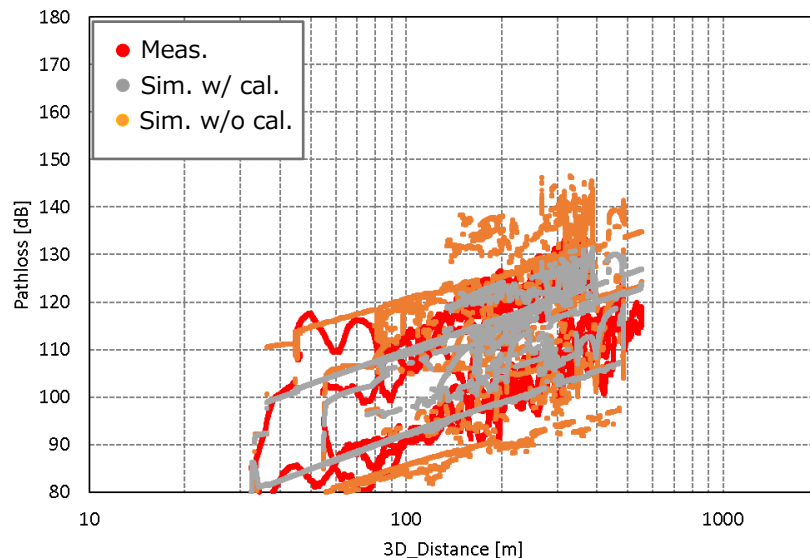
参考資料

レイトレースシミュレーション（都市部）

■ 新宿で測定した伝搬損失データを用いて、レイトレースのモデルチューニング

伝搬損失

- 149 dB
- 142 dB
- 135 dB
- 128 dB
- 121 dB
- 114 dB
- 106 dB
- 99 dB
- 92 dB
- 85 dB
- 78 dB

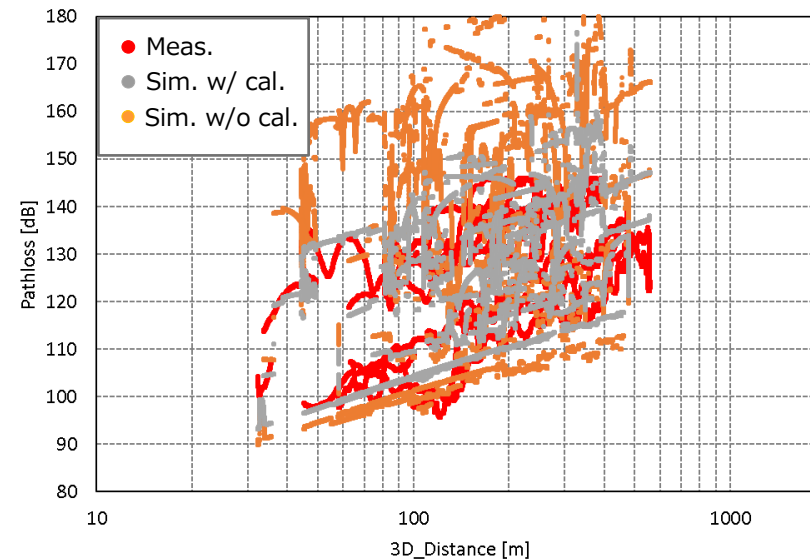
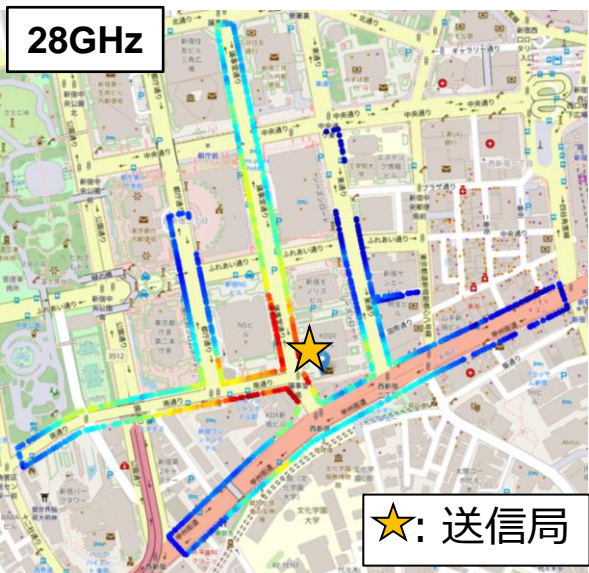


RMSE

	4.5GHz	28GHz
Sim. w/o cal.	9.7dB	20.58dB
Sim. w/ cal.	5.51dB	9.07dB
UMi	9.03dB	10.81dB

伝搬損失

- 149 dB
- 144 dB
- 138 dB
- 133 dB
- 128 dB
- 123 dB
- 117 dB
- 112 dB
- 107 dB
- 101 dB
- 96 dB



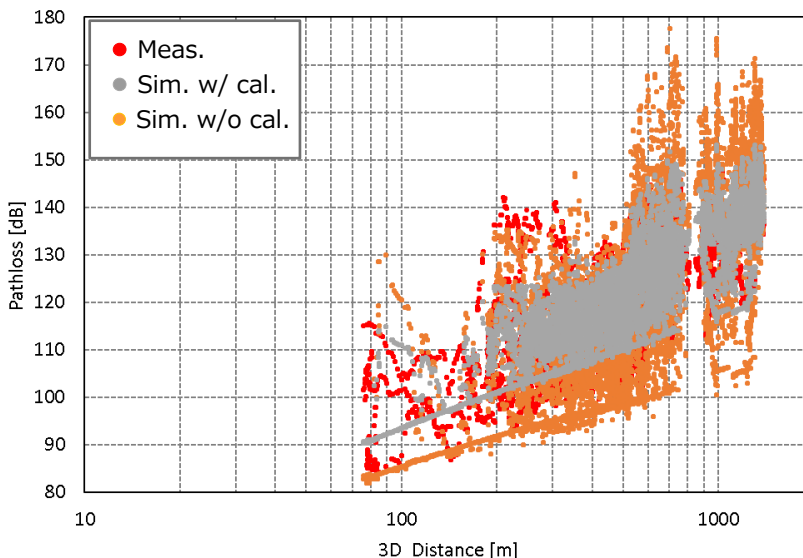
都市部のモデルとして利用

■ ふじみ野で測定した伝搬損失データを用いて、レイトレースのモデルチューニング

伝搬損失

4.5GHz

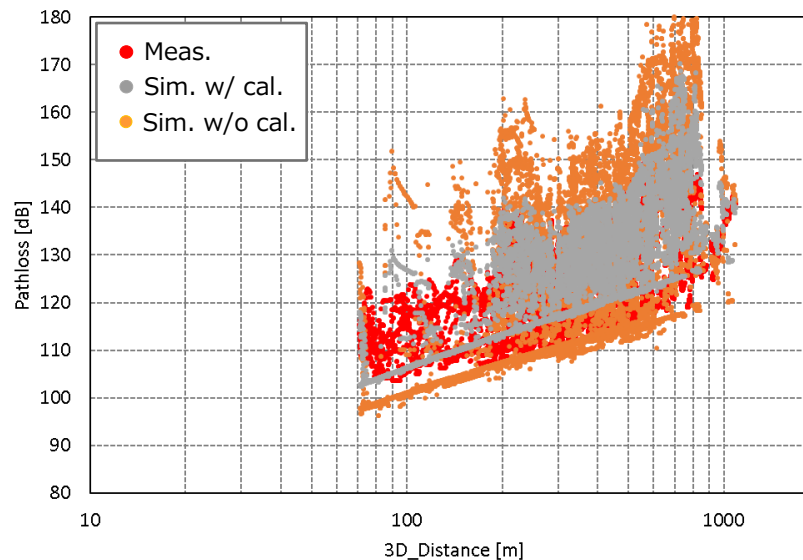
- 149 dB
- 142 dB
- 135 dB
- 128 dB
- 121 dB
- 114 dB
- 106 dB
- 99 dB
- 92 dB
- 85 dB
- 78 dB



伝搬損失

28GHz

- 149 dB
- 144 dB
- 138 dB
- 133 dB
- 128 dB
- 123 dB
- 117 dB
- 112 dB
- 107 dB
- 101 dB
- 96 dB



RMSE

	4.5GHz	28GHz
Sim. w/o cal.	10.96dB	14.29dB
Sim. w/ cal.	6.26dB	6.91dB
UMi	11.31dB	12.28dB

郊外のモデルとして利用