

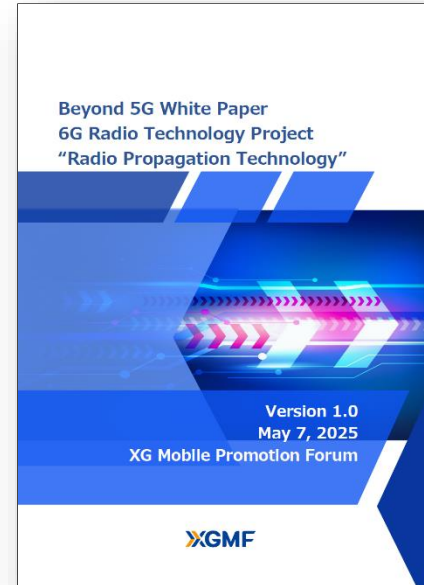
XGMF 6G無線技術プロジェクト 電波伝搬白書概要

2025年9月30日

電波伝搬WG白書コンテンツ

- 6G伝搬技術単体にフォーカスした初の白書
- 電波伝搬WGメンバー全員による内容確認を経て2025年5月7日に公表

内容			執筆者
全体			伊藤様（KDDI総合研究所） 久野様（NTTドコモ）
1. 6Gに向けた電波伝搬の動向	1.1 標準化動向	1.1.1 3GPP	NTTドコモ・SHARP
		1.1.2 ITU-R	NTT・ソフトバンク
	1.2 学会動向	1.2.1 チャンネルモデル	新潟大
		1.2.2 ISAC	NTT
		1.2.3 RIS	KDDI総合研究所
		1.2.4 NTN	ソフトバンク
		1.2.5 Digital Twin	KDDI総合研究所
		1.2.6 CPS	KDDI総合研究所
	2.1 測定	2.1.1~7	各機関が作成
2. 日本における電波伝搬に関する取り組み	2.2 シミュレーション	2.2.1~9	各機関が作成



106ページ

第1章. 6Gに向けた電波伝搬の動向

- 標準化や学会における世界の動向と日本の動向を紹介

カテゴリ	トピック	執筆者
I-1. 標準化動向	I-1.1. 3GPP Release 19 I-1.1.1. 7 to 24 GHz Band Channel Modelling I-1.1.2. ISAC Channel Modelling	シャープ 福井様, 平田様, 横枕様 NTTドコモ 久野様, 須山様
	I-1.2. ITU-R I-1.2.1. NTN I-1.2.2. ITU-R SG3 and SG5 WP5D	ソフトバンク 表様 NTT 山田様
I-2. 学会動向	I-2.1. MmWave and Sub-THz Channel Modeling	新潟大 金先生
	I-2.2. Radio Propagation for ISAC	NTT 山田様
	I-2.3. RIS-Based Propagation Modeling	KDDI総研 松野様
	I-2.4. Radio Propagation for HAPS / NTN	ソフトバンク 表様
	I-2.5. Radio Propagation Emulation for Digital Twin	KDDI総研 長尾様
	I-2.6. Radio Propagation Simulation for CPS	NTTドコモ 久野様, 須山様

第2章. 日本における電波伝搬に関する取り組み

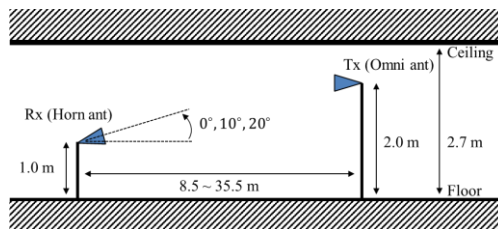
- 日本でこれまでに実施された6Gに関連した伝搬研究成果を紹介

カテゴリ	トピック	執筆者
II-1. 測定	II-1-1. Indoor Propagation Channel Measurements in 160 GHz	NTTドコモ
	II-1-2. 300GHz Band Propagation Loss in the vicinity of the human body	KDDI総合研究所
	II-1-3. 300GHz Band Propagation Characteristics in the Indoor and Outdoor Environment	KDDI総合研究所
	II-1-4. Path Loss Characteristics from Microwave to Sub-Terahertz Bands in Urban Environment for Beyond 5G	日本電信電話
	II-1-5. Terahertz Band Building Penetration Loss Characteristics for Beyond 6G	日本電信電話
	II-1-6. Millimeter-Wave Urban Cellular Channel Characterization and High-Precision Site-Specific Simulation	新潟大
	II-1-7. THz Channel Characterization and Modeling Towards 6G Networks	新潟大
II-2. シミュレーション	II-2-1. Fast Propagation Simulation by CI Method for CPS Realization	NTTドコモ
	II-2-2. AI-Based Radio Propagation Modeling and Data Augmentation	KDDI総合研究所
	II-2-3. Study on Machine Learning Propagation Loss Estimation Model using Point Cloud Data	構造計画研究所
	II-2-4. Investigation of Automatic 3D model Construction Techniques of the Surrounding Environment for Ray Tracing	構造計画研究所
	II-2-5. Radio Zone Interpolation by Kriging Method	日本電信電話
	II-2-6. RNN Based Prediction Method of Wireless Communication Quality	日本電信電話
	II-2-7. Deep Learning Propagation Loss Estimation Model Using Building Images	日本電信電話
	II-2-8. Achievable Channel Capacity of Multi-Beam MIMO Transmission at 300 GHz	新潟大
	II-2-9. AI/ML-based Radio Propagation Prediction Technology	東京電機大

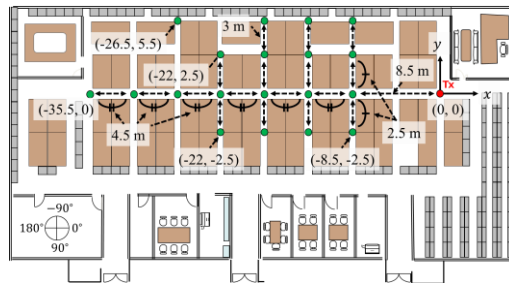
II-1.1. Indoor Propagation Channel Measurements in 160 GHz

- 飛躍的に広い帯域幅が利用可能な**サブテラヘルツ帯（100～300 GHz）**の活用が期待
- 最適なエリア設計およびシステム設計には、**利用環境ごとの電波伝搬特性の把握が必須**
- 屋内オフィス環境における**160 GHz帯の遅延時間・到来方向特性**等を測定・解析

測定諸元	
項目	値
中心周波数	160 GHz
変調方式	OFDM
帯域幅	2 GHz
Txアンテナ	オムニアンテナ 最大利得：4.98 dBi 垂直面 半値角：26.5度
Rxアンテナ	ホーンアンテナ 最大利得：20 dBi 垂直面 半値角：17度 垂直面 半値角：18度
Txアンテナ高	2 m
Rxアンテナ高	1 m
遅延分解能	0.5 ns
最大遅延	128 ns



アンテナ位置関係

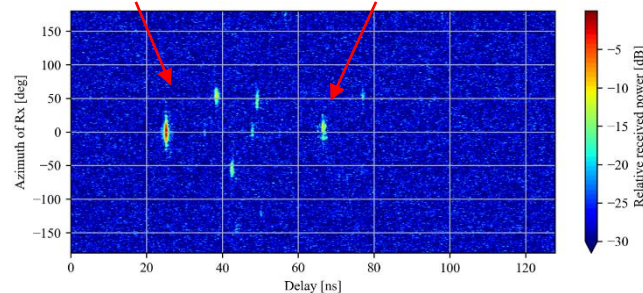


測定環境

160GHz帯の屋内オフィス環境における遅延時間や到来方向などを測定、エリア設計やシステム設計に必要な伝搬パラメータを解析

28.3nsに直接波相当

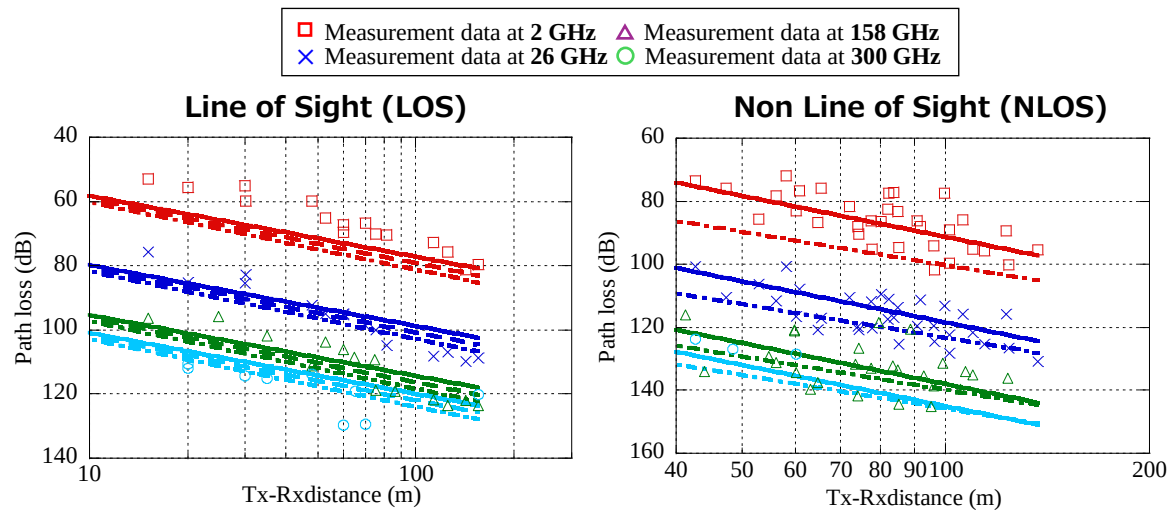
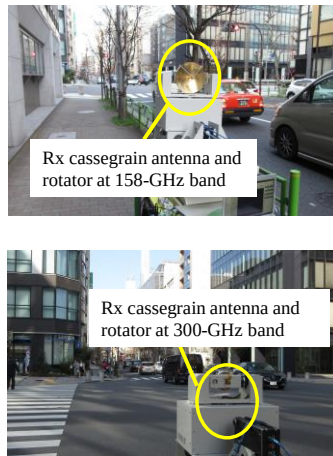
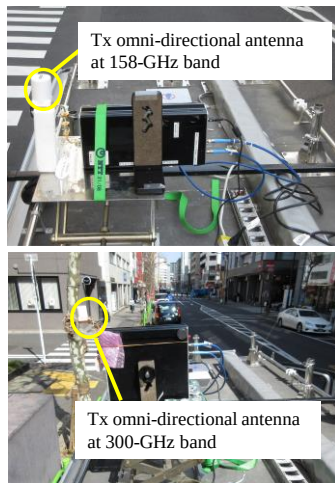
70nsなどに床・天井の反射波



ポイント (-8.5, -2.5) における遅延プロファイル

II-1.4. Path Loss Characteristics from Microwave to Sub-Terahertz Bands in Urban Environment for Beyond 5G

- 都市部マクロセル(UMi: Urban Microcell)における**2 GHzから300 GHzまでの伝搬損失を測定**。
LOS環境とNLOS環境で特性を比較
- これらの測定結果をすでに**ITU-R SG 3とSG 5**に入力し、国際標準化に貢献



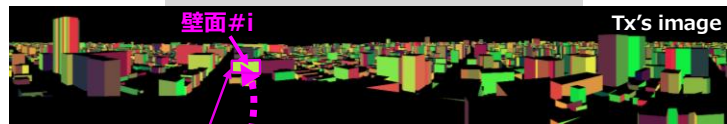
		n	Constant loss (dB)	χ_{σ}^{CI} (dB)
LOS	CI_{meas}	1.9	$32.4 + 20 \log_{10} f_{GHz}$	6.04
	$FSPL$	2.0	$32.4 + 20 \log_{10} f_{GHz}$	6.21
	$M.2412$	2.1	$32.4 + 20 \log_{10} f_{GHz}$	6.86

		A	β	γ	X_{σ} (dB)
NLOS	ABG_{meas}	4.34	-4.1	2.52	6.19
	$M.2412$	3.53	22.4	2.13	9.22

II-2.1. Fast Propagation Simulation by CI Method for CPS Realization

- CPS（サイバー・フィジカルシステム）による6Gの最適化に向けて超高速な伝搬エミュレーション手法の検討が必要
- 建物の壁面に識別色（例：RGB）を割り当て送受信点から見たイメージに変換し、両イメージからお互いの色コードが一致する壁面を散乱壁面として、そのピクセル数により受信電力を計算する**カラーイメージ法**を考案
- 画像処理技術を用いることで、**従来のレイトレーシング法より数百～数千倍の速度で計算が可能**
- 散乱壁面の面積を用いた受信電力計算により、**レイトレーシング法に対して高精度な推定が可能**

送受信点から見たカラーイメージ

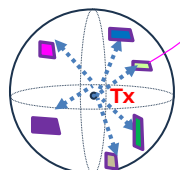


送受信で同一色の壁面を一括探索



ピクセル数: $N_{P,T}(i)$

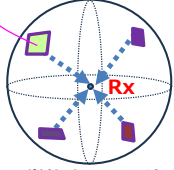
面積: $S'_T(i)$



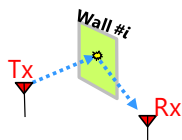
単位球面:Tx送信球

ピクセル数: $N_{P,R}(i)$

面積: $S'_R(i)$



単位球面:Rx受信球

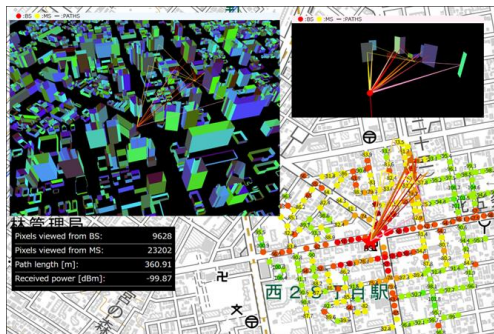


散乱壁面の色のピクセル数及び係数の乗算で、散乱波の受信電力を計算

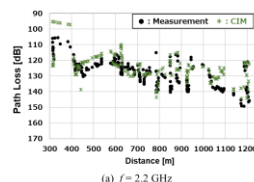
$$P_R = \sum_i k(i) \cdot N_{P,T}(i) \cdot N_{P,R}(i)$$

$k(i)$: 係数で、壁面の反射係数や入射角、反射角、周波数等に依存

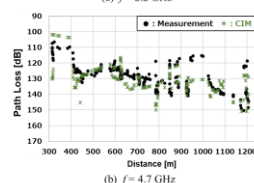
※ピクセル数は見える部分に面積に相当し、距離及び壁面の角度を包含されている。
見える面積が大きいほど、伝わっていく、または伝わってくる電力が多くなる。



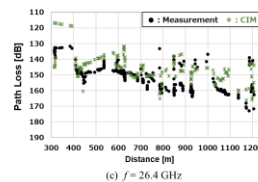
カラーイメージ法を用いた
エリア推定ツール



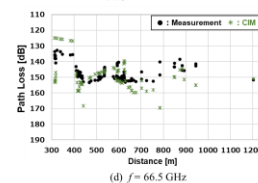
(a) $f = 2.2$ GHz



(b) $f = 4.7$ GHz



(c) $f = 26.4$ GHz



(d) $f = 66.5$ GHz

測定データとの比較結果

II-2.9. AI/ML-based Radio Propagation Prediction Technology

- BS距離マップ、MS距離マップ、建物マップを入力とする、深層畳み込みニューラルネット(DCNN)による伝搬損失推定法を提案
- DCNN内で抽出される特徴量をGrad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) より可視化し、伝搬損失推定の判断根拠を解析

