

3Dモデルと2Dカメラ画像の照合による位置推定プロセスのNDT適用による軽量・高速化

豊橋技術科学大学 大学院工学研究科
機械工学専攻

准教授 高橋 淳二

新技術の概要

紹介する新技術は、3Dモデルとカメラ画像を照合して
実時間で大域位置推定を実現する Visual-Geometric-Matching (VGM) に、3D点群照合に用いられていた
NDTを導入するものです。

計算時間は1/10で、メモリ効率も向上し、同時運用するロボット数を増やし、対象範囲を広げられます。

位置推定の結果はロボットの自律走行や作業者、カート、フォークリフトなどのあらゆる移動体のトラッキングに利用できます。

想定される用途

- 工場や物流倉庫内で物品を運ぶ**搬送台車の自律走行**
- 作業員やフォークリフト、手押し台車などのあらゆる**移動体を継続的に位置追従**することで、館内物流の把握・分析・改善
- 特徴は、運用コストを低く抑えられることであり、福祉医療施設、学校、複合商業施設、公共交通施設などへも展開し、**生活圏での物流の自動化**

従来技術とその問題点

AGV (Autonomous Guided Vehicle)では、

- ガイドライン変更のコストが大きい

LiDAR-SLAMベースのAMR (Autonomous Mobile Robot)では、

- マップ更新・修正のコストが大きい
- LiDARセンサの管理コストが大きい

➤ 導入事例は大規模な施設、大規模な事業のみと限定的

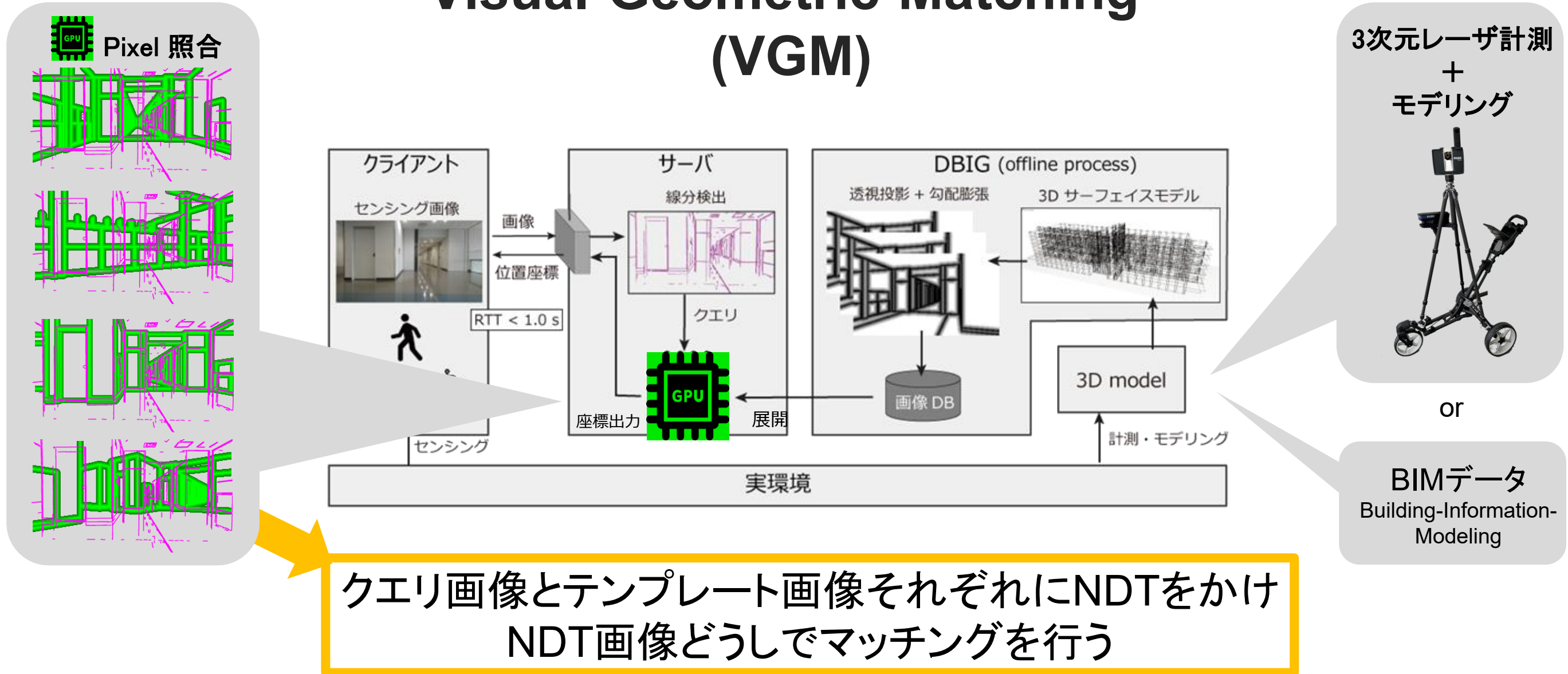
VGM (2024) は、

- 初回の3Dモデルの作成コスト、VRAM上限から対象空間の範囲が限られるのが課題

新技術の特徴・従来技術との比較

- 移動体（ロボット）に**搭載するのはカメラのみ**でよい
- 床設置物の配置や空間全体のレイアウトが変わっても初回に作成した3Dモデルは**半永久的に使える**
- 新技術（NDT-VGM）は従来技術の**1/10の計算時間**
- 導入コストを下げられるだけでなく、**運用コストをも低く抑える**ことができる

Visual-Geometric-Matching (VGM)



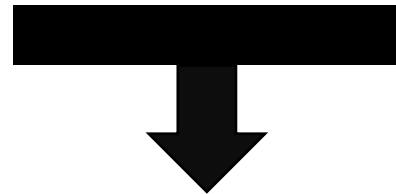
線分クエリ画像



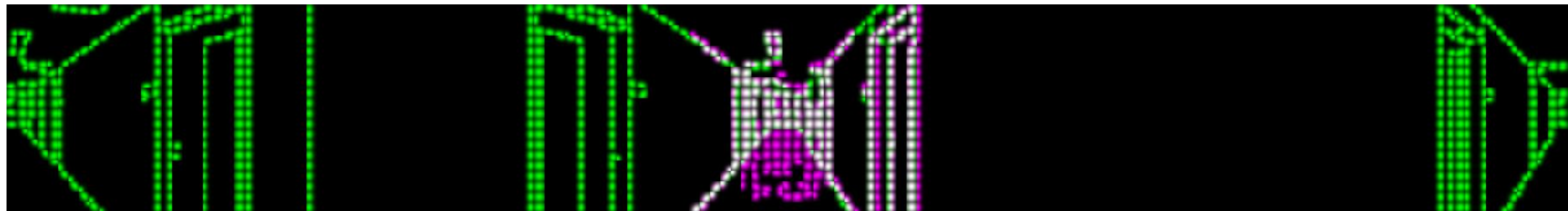
NDT



KL Divergence
による照合



照合結果(最大一致)



テンプレート画像

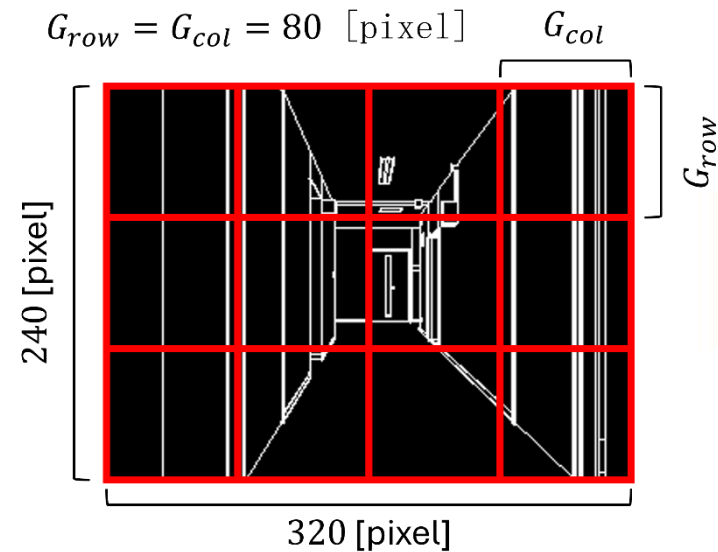


NDT (Normal distribution
Transform)



グリッド分割の問題

- ① Yaw角分解能が低下
- ② グリッド分割位置で正規分布が変化

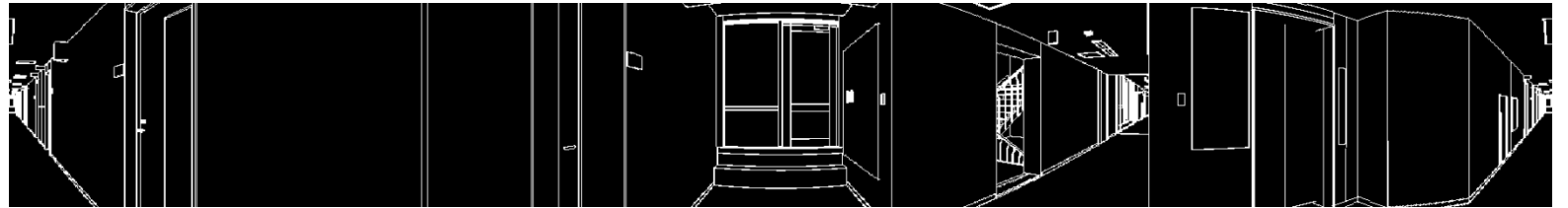


正規分布が変化



推定性能がグリッド
分割位置に依存

横 : 1812 pixel



NDT



横 : 151 グリッド



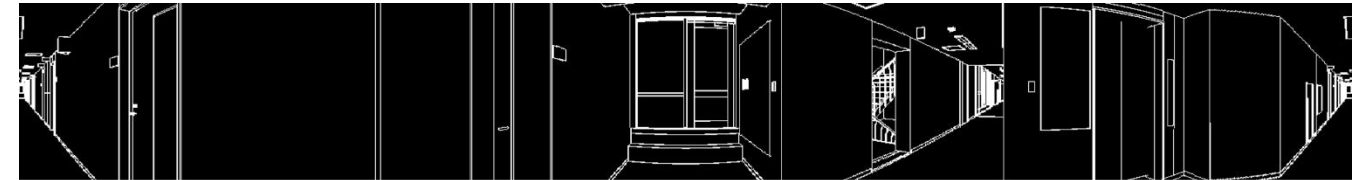
グリッド開始位置を 9 pixel ずらす



派生ND画像による問題の解消

○分割位置が異なるND画像を複数生成

- Yaw角推定の分解能低下を防止
- 位置推定性能におけるグリッド分割位置の依存性を低減

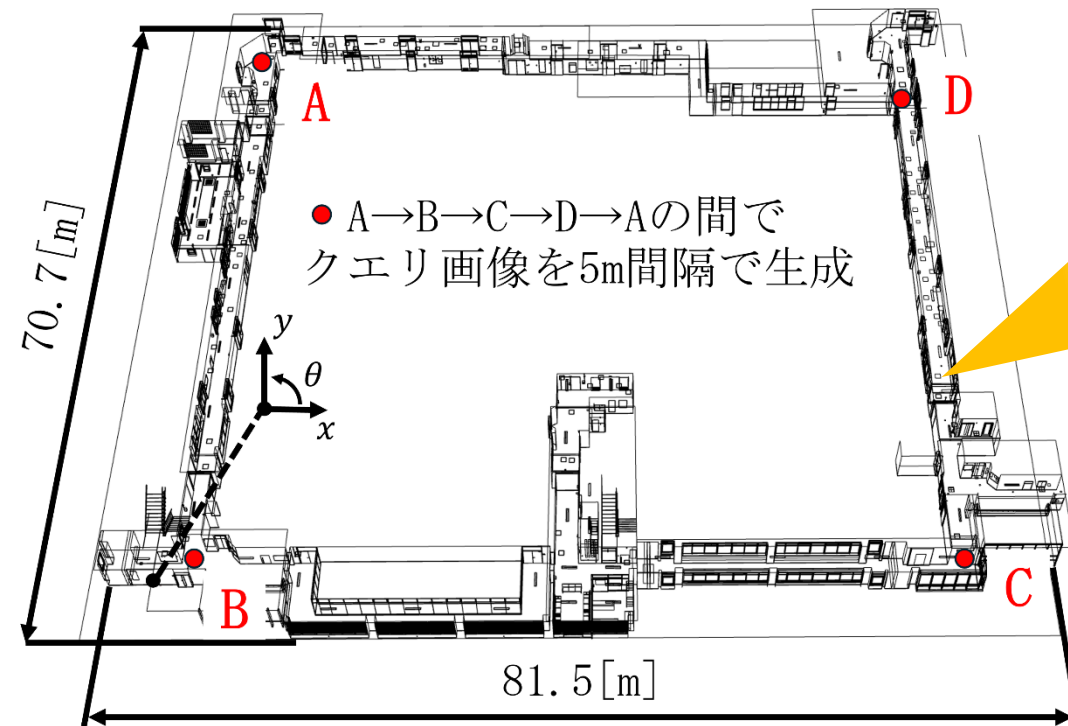


派生PTP-ND画像生成

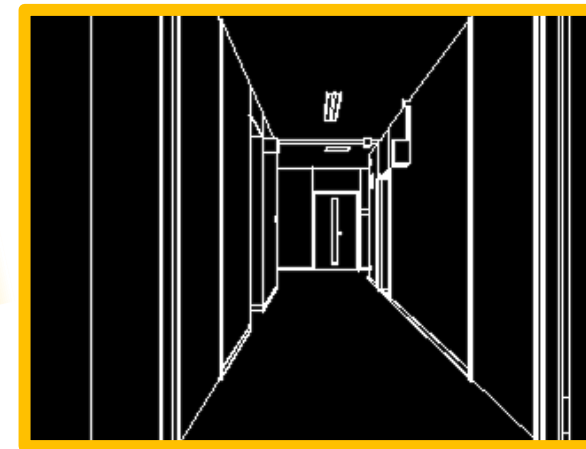


○ 仮想クエリ画像による検証

豊橋技術科学大学 D棟2階廊下



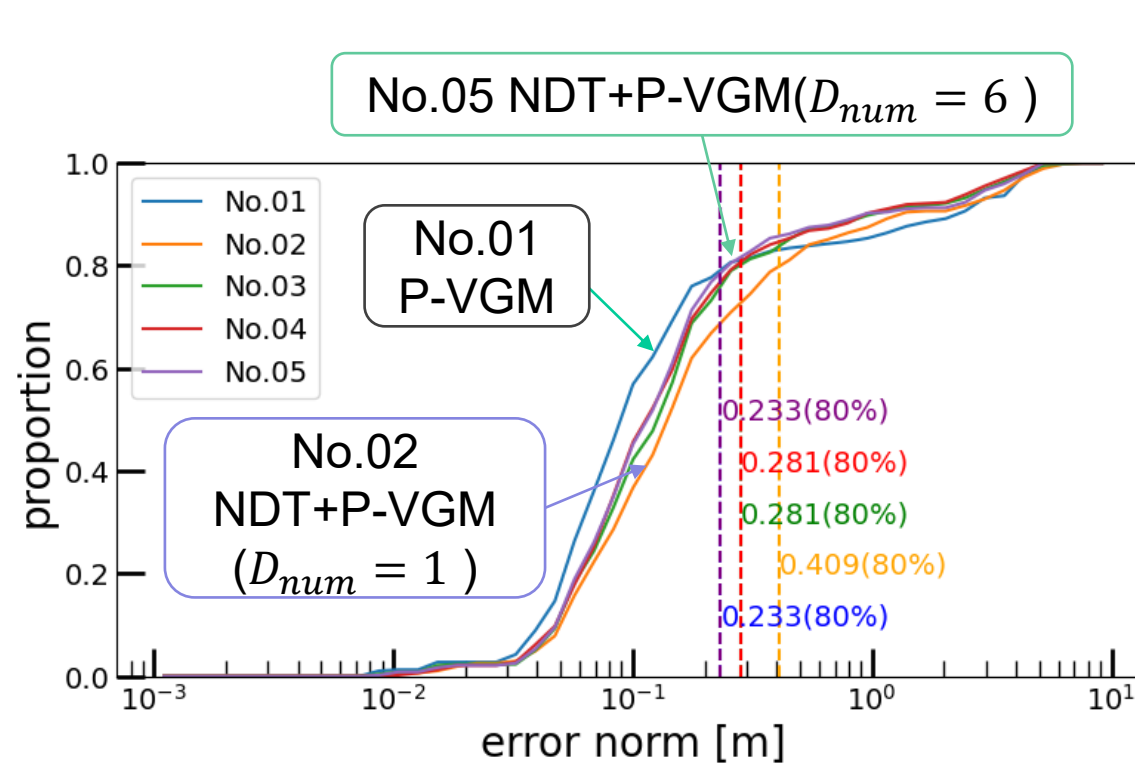
仮想クエリ画像



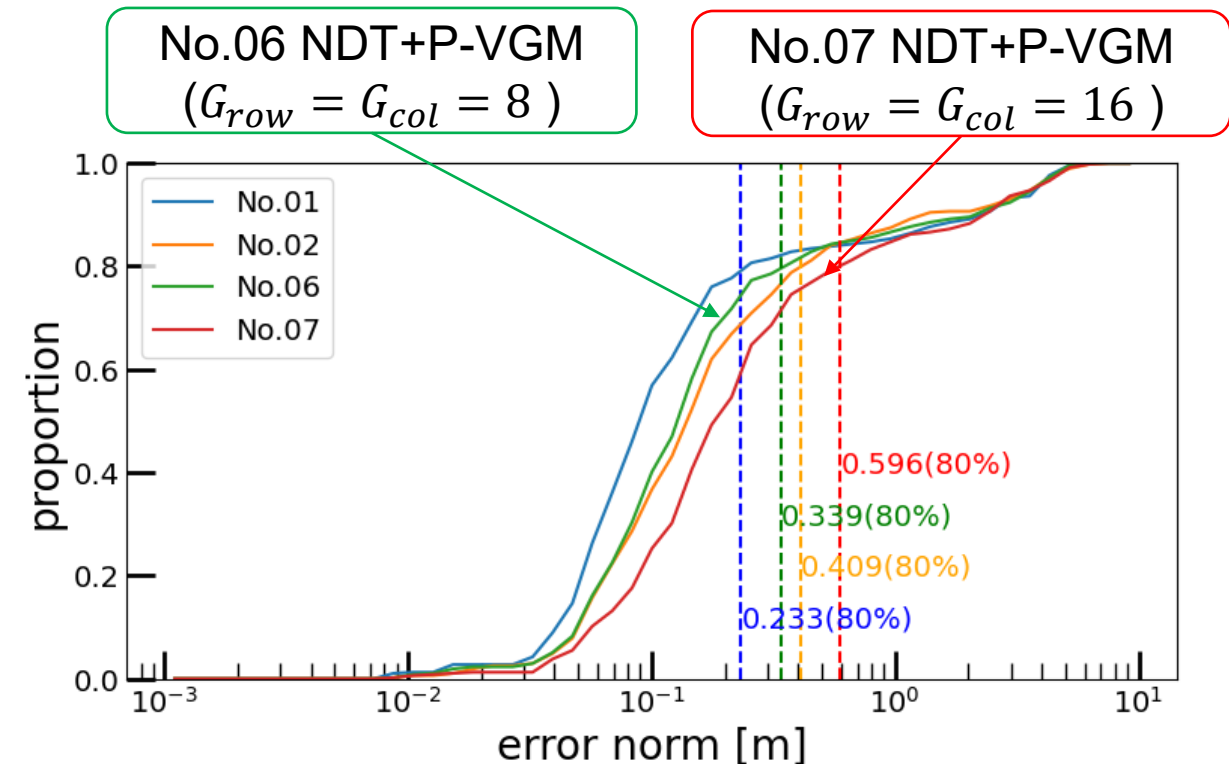
- ・3Dモデルから生成
- ・真値が既知
- ・外乱がない

- ・画像の照合範囲：真値を中心に5 m × 5 m
- ・テンプレート画像の生成間隔：0.2 m

○ 実験結果

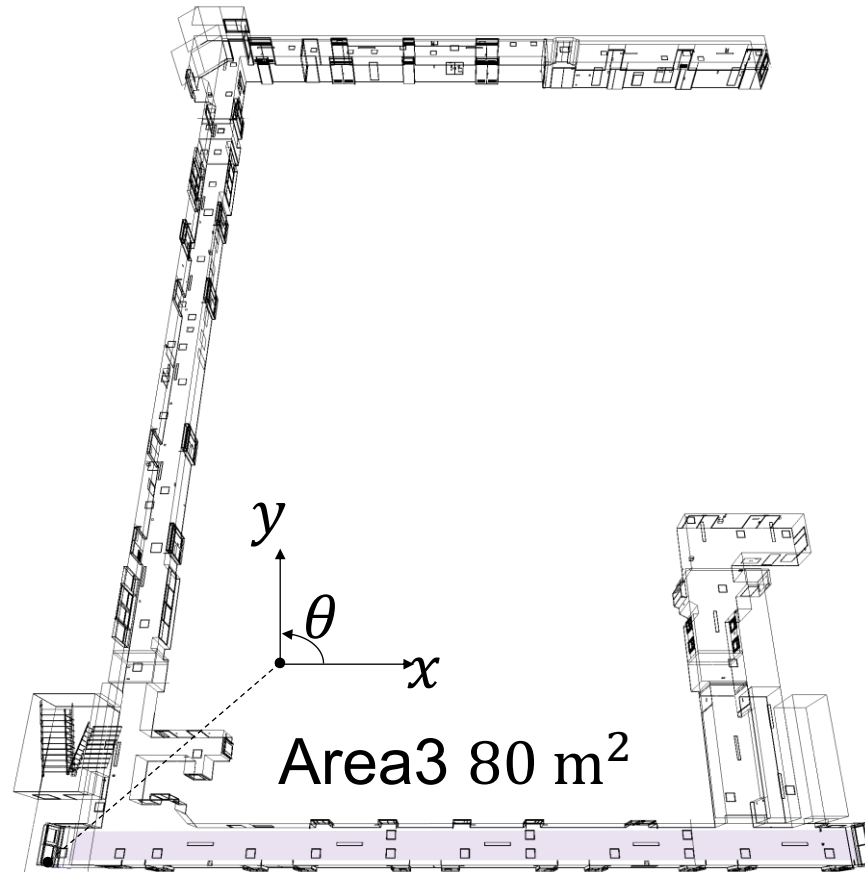


派生画像数が多い→精度が向上



グリッドサイズが小さい→精度が向上

○ 実カメラ画像による検証

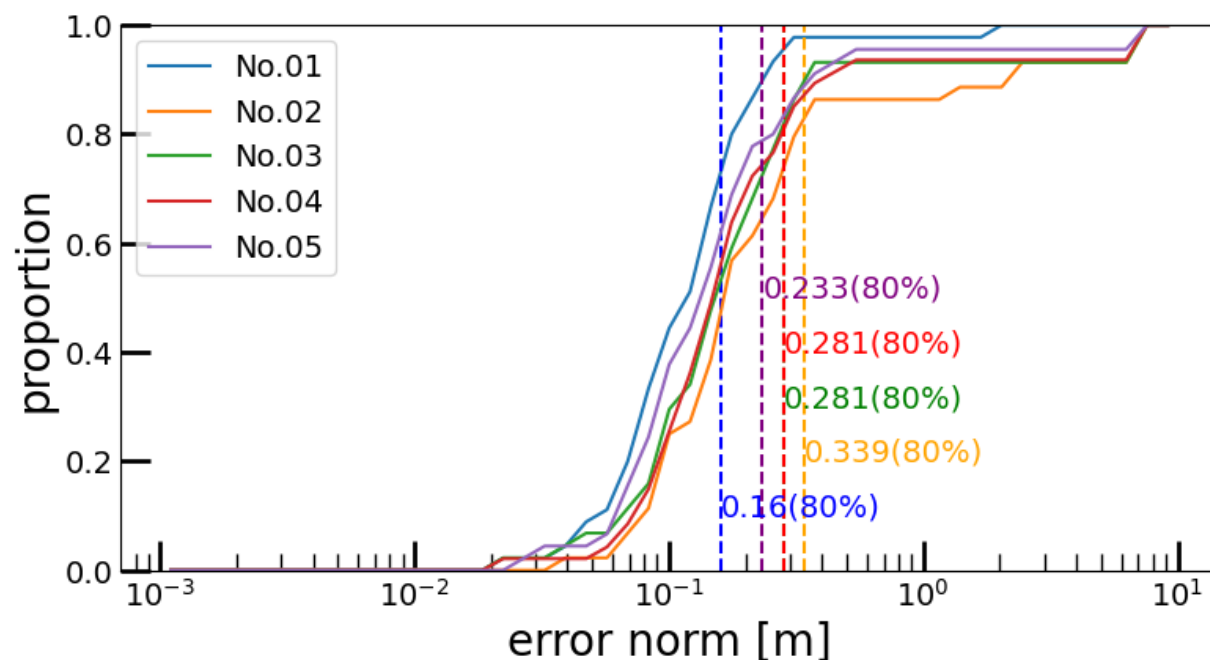


D棟4階廊下データセット

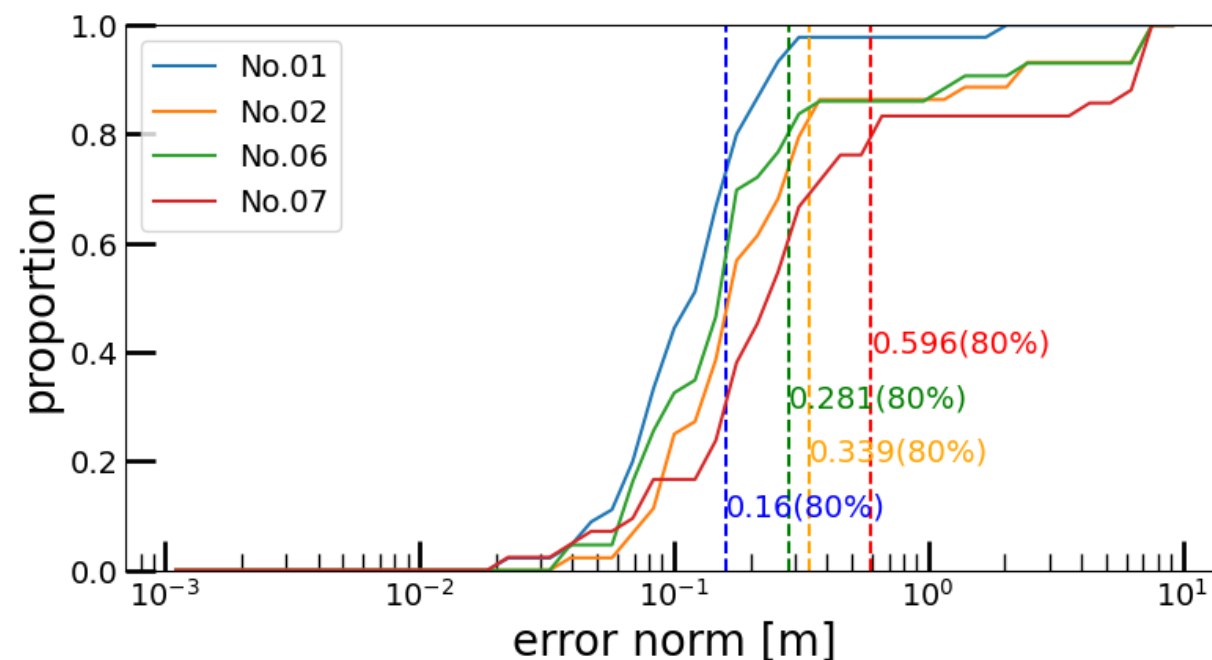
→ iPhoneカメラで撮影した画像と照合

- ・クエリ画像枚数 : Area3内で50枚
- ・テンプレート画像の生成間隔 : 0.2 m
- ・真値 : LiDAR EMCLの位置姿勢

○ 実験結果

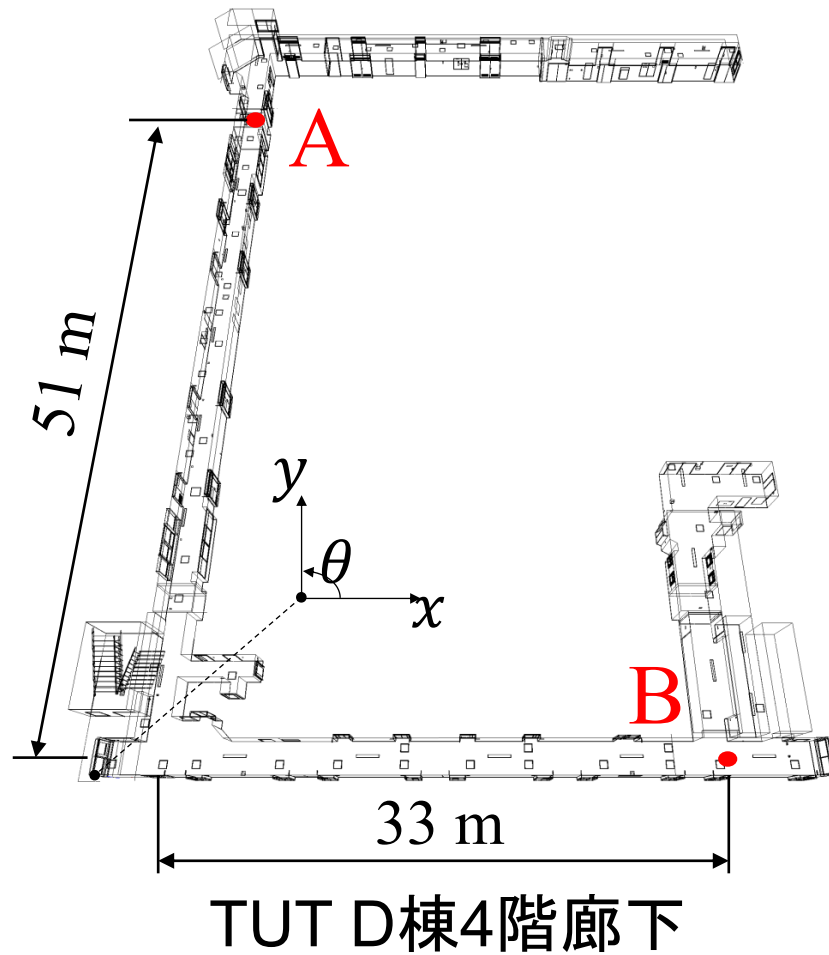


・派生画像数が多い→精度が向上



・グリッドサイズが小さい→精度が向上

NDT+P-VGMの長時間走行実験



NDT+P-VGMの性能

- 仮想クエリ画像実験：80%ile誤差0.28 m、処理時間 **89%** 減
- カメラ画像実験：80%ile誤差0.28 m、処理時間 **91%** 減
- ロボット走行実験 (vs EMCL): 直線距離 0.23 m、角度差 0.034 rad

実用化に向けた課題

- 建築物のスキャンとモデリングのコストがネック
(2,000~3,000円/m²)
- 工場にVGMを導入し、チョコ停なしで1~4時間連続稼働...などと実績を積み上げていく
- 現在の精度（誤差10cm~20cm）でも適用できるアプリケーションはあるが、最適化技術を取り入れさらなる（≦1cmオーダー）高精度かを目指す

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・VGM位置推定方の設計が完了	
現在	・大学の廊下でロボットの240分連続走行を確認	
2年後	・実際の工場で、ロボットの240分連続走行を実現	共同研究の継続
4年後	・3DGS (3D Gaussian Splatting) の技術により、事前マップ作成効率の向上。例えば、20~30円/m ² 。	多様なフィールドへVGMを展開
6年後	・製造業、施設園芸、図書館、大学キャンパス、病院、などでロボットの自律走行を前提としたサービスに向けた実証試験	試験サービスの実現

企業への期待

- 未解決の3Dモデルの作成コストについては、3DGS (Gaussian Splatting) の技術により克服できると考えている。
- 実環境での技術評価・実証実験にご協力いただける企業との連携を希望する。
- AMR、搬送ロボット、清掃ロボット、警備ロボット等を開発する企業において、本技術は導入コストを抑えた自己位置推定基盤として活用できる可能性がある。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は低コスト（初期コスト、運用コスト）で建物内の物品搬送の自動化が可能であり、企業内の製造プロセスのDX化による効率化に貢献できる
- 既に実用に耐えるレベルに到達しているが、最適化の導入などさらなる性能向上は見込め学術活動として研究はすすめるので、一度VGMを導入すれば放っておいても性能は向上する
- 本格導入にあたっての技術指導も可能

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 建物内位置推定システム
- 出願番号 : 特願2025-144928
- 出願人 : 豊橋技術科学大学
- 発明者 : 高橋 淳二、 木田博貴

お問合せ先：研究推進アドミニストレーションセンター

Phone: 0532 - 44 - 6975

FAX: 0532 - 44 - 6980

E-mail: sangaku@rac.tut.ac.jp 担当: 白川正知

産学連携の経歴

- 2022年-2022年 NEDO若サポマッチングフェーズ
- 2023年-2023年 NEDO若サポ共同研究フェーズ
- 2024年-2025年 NEDO若サポ共同研究フェーズ
- 2026年-2027年 製造業との共同研究