

# 人の多い混雑な環境下での SLAMによる移動ロボットのナビゲーション



東京工業大学大学院 総合理工学研究科  
知能システム科学専攻

森岡博史, 李想揆, Tongprasit Noppharit, 長谷川修

# 人の多い混雑な環境下でのナビゲーション



# 研究背景と目的

## [O.Booi et al. 2007]

- 4人程度まで人が写っていてもナビゲーション可能
- 学習(SLAM)は人がいない環境で行う

## [M.Tomono 2009]

- エッジを用いたSLAM
- 少量であれば移動物体を取り除いて学習(SLAM)ができる
- ナビゲーションまでは行われていない

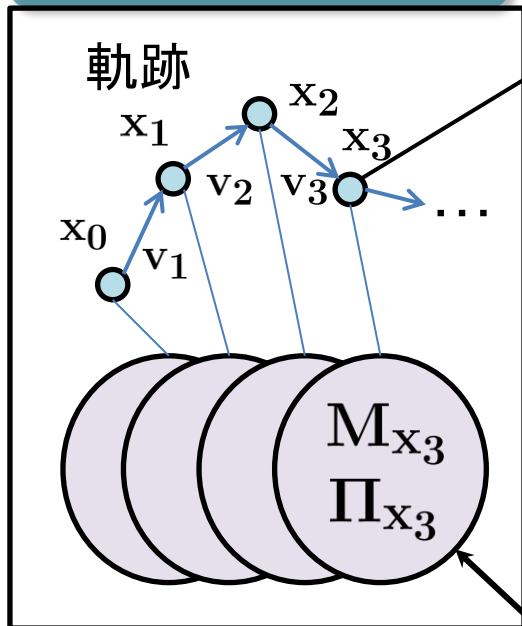
本研究の目的

人の多い混雑な環境下でのSLAM・ナビゲーション



# 本研究で構築する「ハイブリッド地図」のイメージ

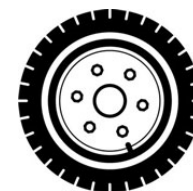
## ハイブリッド地図



## 観測データ

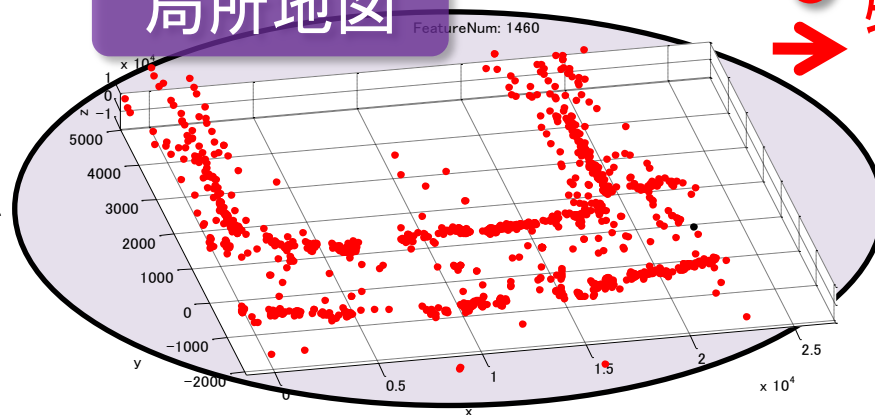


全方位カメラ



エンコーダ

## 局所地図



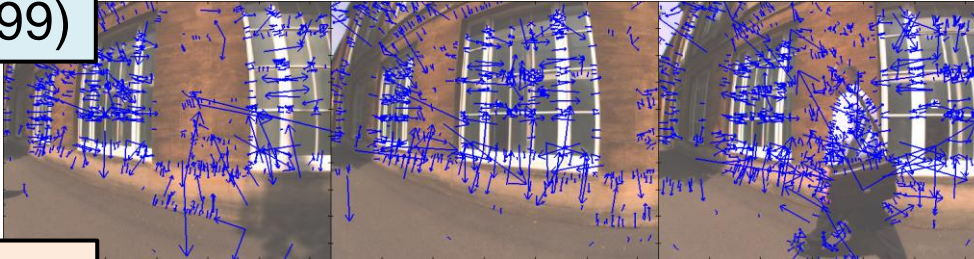
- グラフ構造を持つため、経路計画がしやすい
- 距離情報も持つため、最短経路探索が可能

# 混雑な環境に適した特徴点(ランドマーク)

## ■人の多い混雑な環境でのSLAM

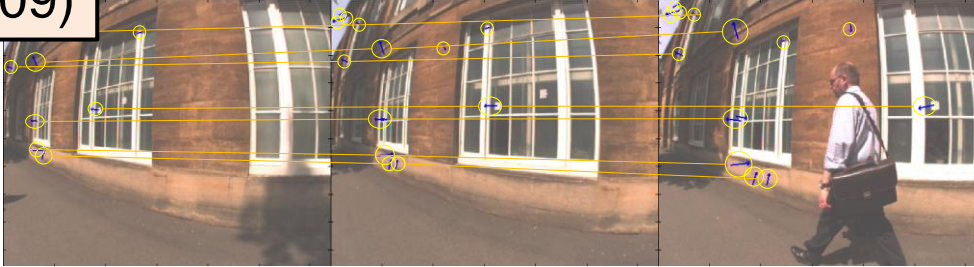
- 動いている物体からも画像上の特徴点が抽出される
- 地図構築・自己位置推定の精度を著しく損なう

SIFT[9](1999)



- カメラの移動・同物体に対して不安定

PIRF[1](2009)



- 常に見えていた特徴点
- カメラの移動・同物体に対して安定

本研究

SIFTのマッチング

- 特徴点としてPIRF[1]を使い, 動的な(不安定な)特徴を排除
  - ✓ PIRFは画像上の特徴量. 直接地図構築には使えない
- PIRF特徴点を3次元上にマッピングすることで局所地図を構築

# 特徴点の3次元位置の計算とハイブリッド地図の構築

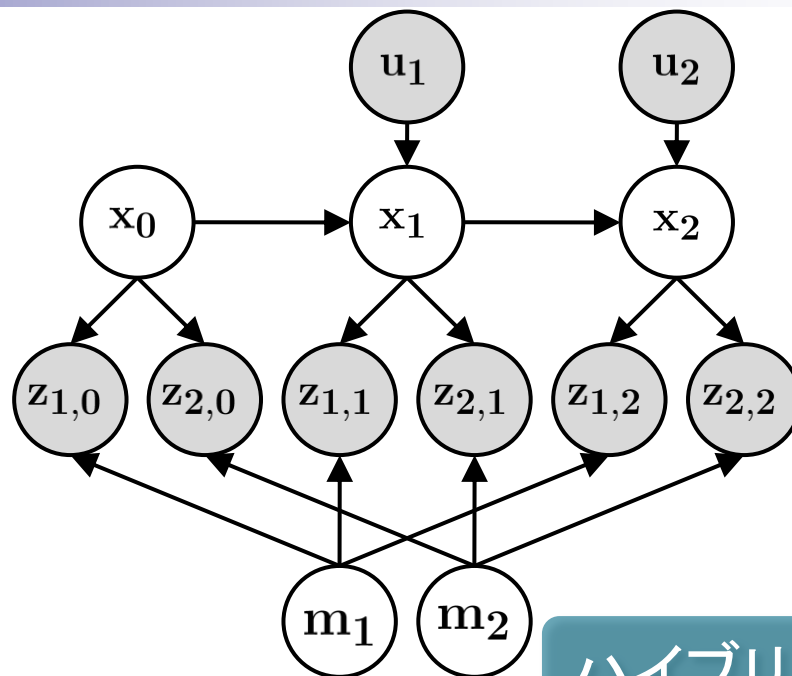
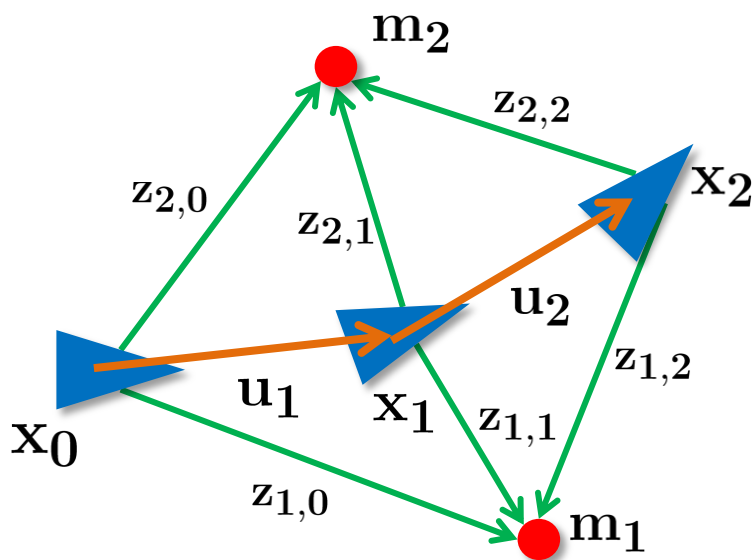
観測  
(特徴点の計測方向)

オドメトリ

3D-PIRF

ロボットの姿勢

# 特徴点の3次元へのマッピング方法

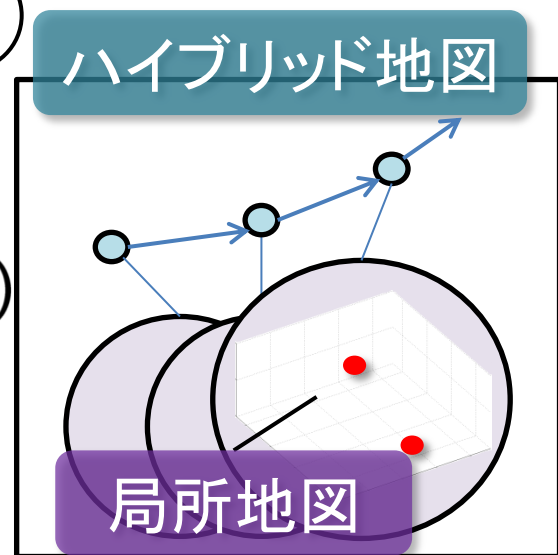


$x_t$  : ロボットの姿勢       $u_t$  : 入力  
 $m_t$  : 特徴点の位置       $z_{i,j}$  :  $x_j$ から見た $z_i$ の観測値  
 $v_t$  :  $x_t \ominus x_{t-1}$  (相対座標)

事後確率  $p(x_{0:2}, m_{1:2} | u_{1:2}, z_{(1,0):(2,2)})$

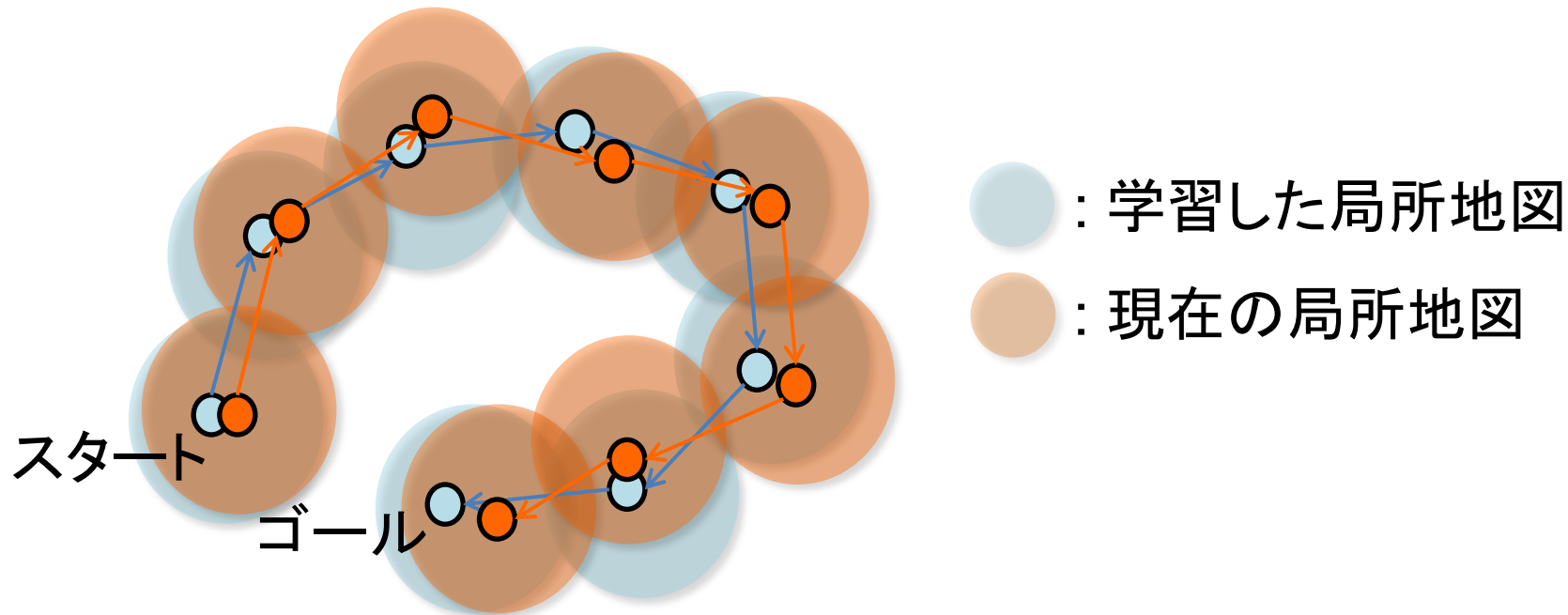
↓ 最大化

**$x$ (ロボットの姿勢)・ $m$ (特徴点の位置)が求まる**



# ナビゲーションフェーズ

## ■ナビゲーションフェーズ：学習フェーズで学習した軌跡に自律追従

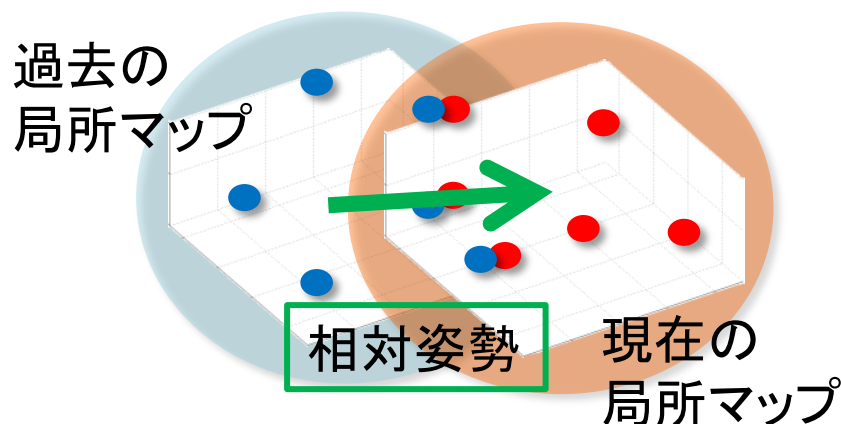


- 学習した地図と現在の地図とのノード間の距離・局所マップを比較し、自己位置を推定する
- 学習した軌跡に追従するように経路計画を行う



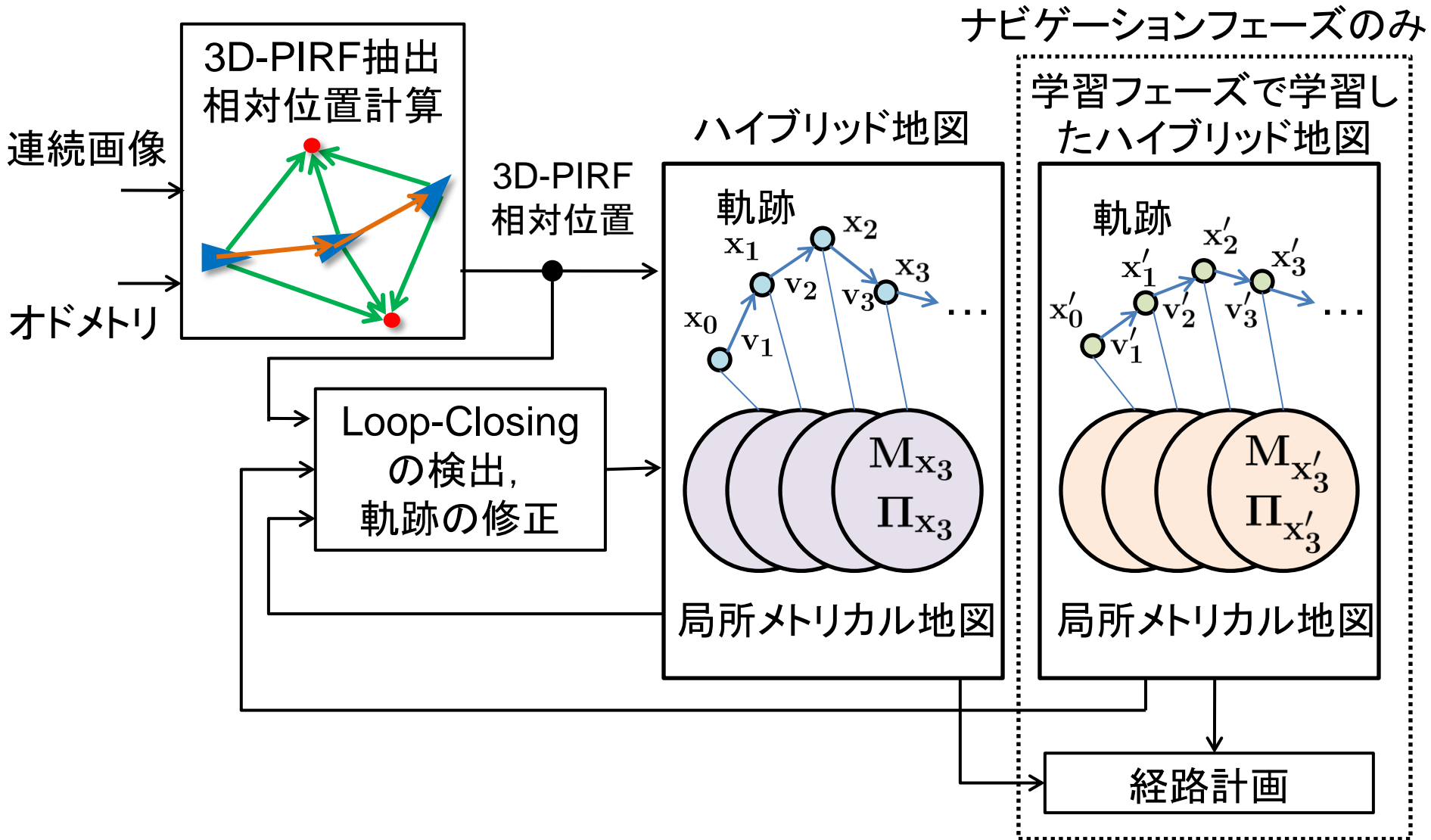
# ナビゲーションフェーズ

- 局所マップの比較による自己位置推定のための情報取得



1. Loop-Closing検出を行う
2. 学習した地図と現在の地図との局所マップを比較(特徴点のマッチングを取る)
3. 8点アルゴリズムなどで学習時と現在の姿勢との相対姿勢を求める
  - ✓ 局所マップ中の特徴点の数：平均20～30個程度
  - ✓ 相対姿勢の誤差：平均20[cm]以内

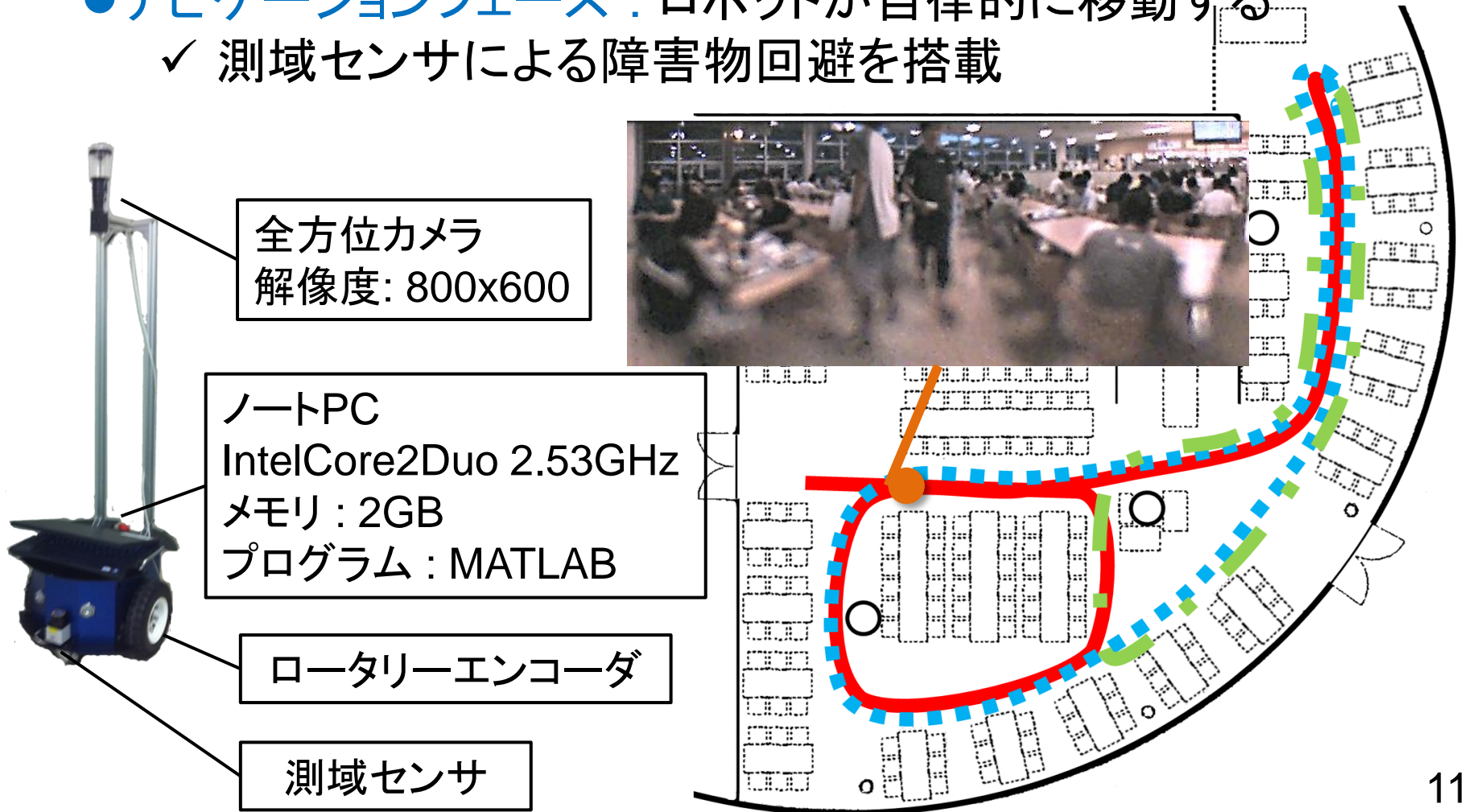
# 提案システム全体



# 実験

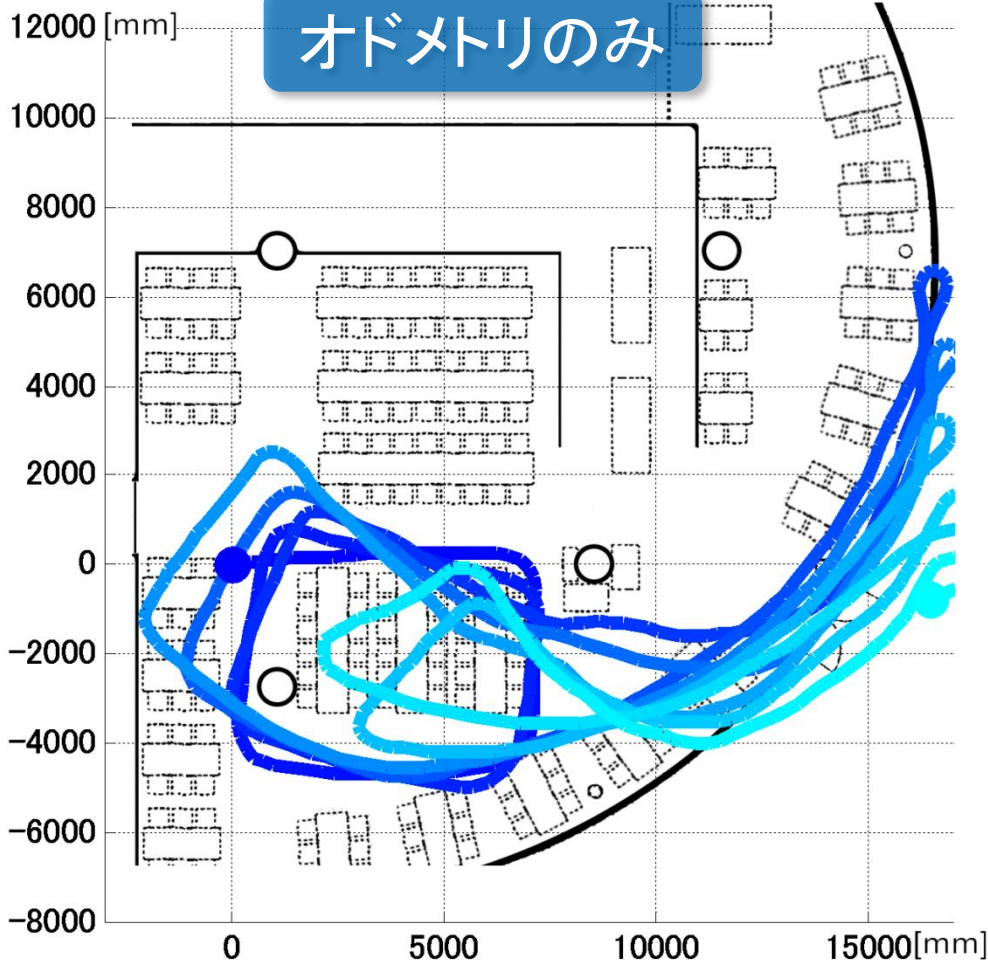
## ■人の多い屋内環境 (大学食堂, 約20[m] x 20[m])

- 学習フェーズ: 人が操縦し, ロボットに経路を覚えさせる
- ナビゲーションフェーズ: ロボットが自律的に移動する
  - ✓ 測域センサによる障害物回避を搭載



# 実験結果：学習フェーズ(人が操縦)

オドメトリのみ



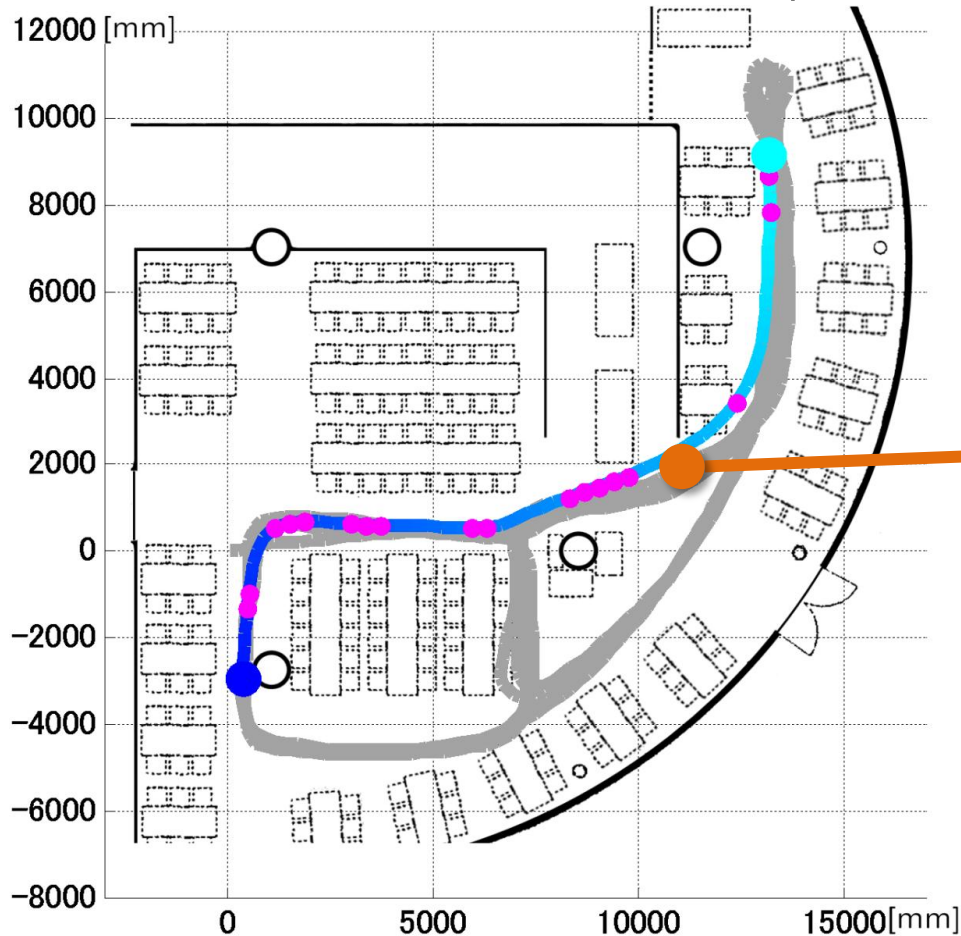
提案手法



- オドメトリのみの場合、軌跡を正しく計算できない
- 提案手法では、カメラから安定した特徴点を抽出して、その情報を用いることで軌跡が正しく計算できている

# 実験結果：ナビゲーションフェーズ(自律移動)

## ■左下から右上まで自律移動 (学習フェーズとは違う日)



- スタートからゴールまで自律的に到達できている
- 人が多くなってくると、局所地図のマッチングが取れず、ゴールに到達できないことが多くなる

# 研究の発展性

## 発展性

- PIRFに用いる特徴量はSIFT以外でも可
  - ✓ SURF, コーナー点, エッジ..., それらの組み合わせ
- センサを増やすことによる拡張が可能
  - ✓ レーザーレンジファインダ, ソナー...
- 広範囲の地図を作成することが可能
  - ✓ 局所地図の結合によるメモリ削減
- 処理速度の向上
  - ✓ MATLABからCへの書き換え
  - ✓ GPU実装を進行中(数倍の高速化?)
- センサの性能向上による精度の向上

# まとめ

## まとめ

- テーマ

人の多い混雑な環境下でのSLAMと、移動ロボットのナビゲーション

- 手法

PIRFを3次元上にマッピング(3D-PIRF)することで地図を構築し、人の多い環境下での地図構築を実現

- 実験

大学食堂での実験で提案手法の有効性を確認

## 今後の課題

- 定量的な評価
- 処理の高速化

# Reference

- [1] A.Kawewong, S.Tangruamsub, O.Hasegawa, “Wide-baseline Visible Features for Highly Dynamic Scene Recognition,” CAIP, 2009
- [2] Noppharit Tongprasit, et al., “A Fast Online Incremental Loop-Closure Detection for Appearance-based SLAM in Dynamic Crowded Environment,” MIRU, 2010
- [3] C.Bibby, I.Reid, “Simultaneous Localisation and Mapping in Dynamic Environments (SLAMIDE) with Reversible Data Association,” RSS, 2007
- [4] G.Sibley, L.Matthies, G.Sukhatme, “Constant Time Sliding Window Filter SLAM as a Basis for Metric Visual Perception,” ICRA, 2007
- [5] O.Booij, B.Terwijn, Z.Zivkovic, B.Krose, “Navigation using an appearance based topological map,” ICRA, 2007



# Reference

- [6] W.Burgard, et al.:“Experiences with an interactive museum tour-guide robot”, Artificial Intelligence, 114(1-2), 3-55, 1999
- [7] M.Tomono, “Robust 3D SLAM with a Stereo Camera Based on an Edge-Point ICP Algorithm,” ICRA, 2009
- [8] T.Goedeme, M.Nuttin, T.Tuytelaars, and L.V.Gool, “Omnidirectional Vision based Topological Navigation, IJCV,2007
- [9] D.Lowe, “Object recognition from local scaleinvariant features,” ICCV, 1999
- [10] P.Biber, T.Duckett, “Dynamic Maps for Long-Term Operation of Mobile Service Robots,” RSS, 2005