

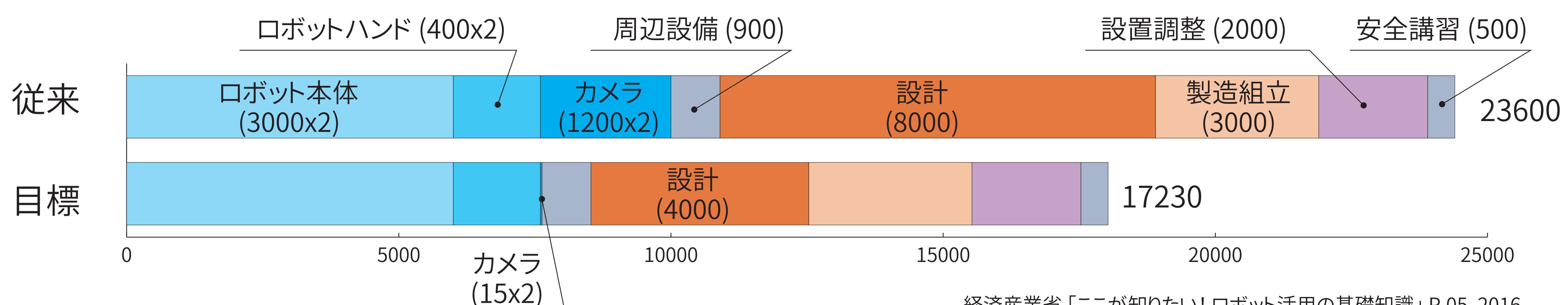
低成本なバラ積み部品組付け システムのためのビジョン技術



西卓郎, 増田健, 喜多泰代, 佐藤雄隆, 高瀬竜一, 吉見隆, 河井良浩 (産総研)

- ✓ デバイス特性に依存しないロボットなアルゴリズムを開発することで、ホビー用 RGB-D カメラを用いて 1mm 精度の組み付け作業の自動化を実現
- ✓ 実用化には技術面以外での課題があるが、現時点の成果でもトータルコスト削減には有用

バラ積み部品組付けシステムにかかる初期費用 (1000円)



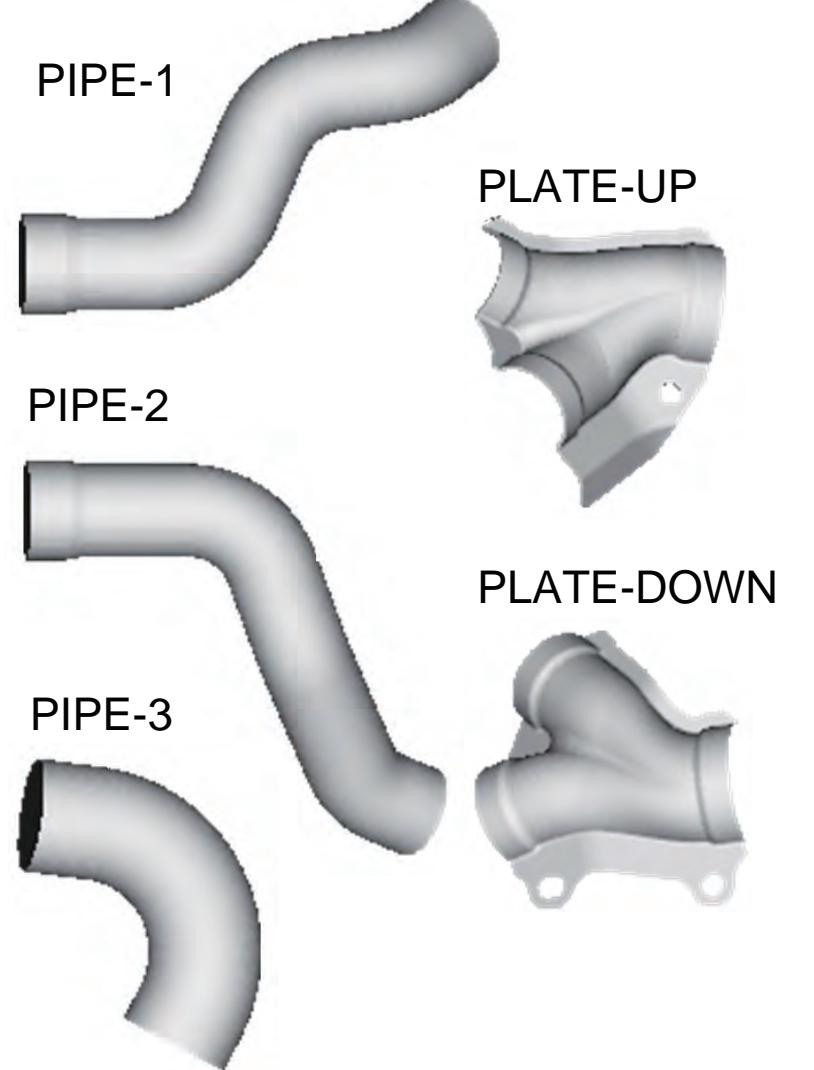
カメラとソフトウェア設計 (4人月相当) を圧縮することで 25% の費用削減を目指す

- ・費用の安いホビー用 RGB-D カメラ



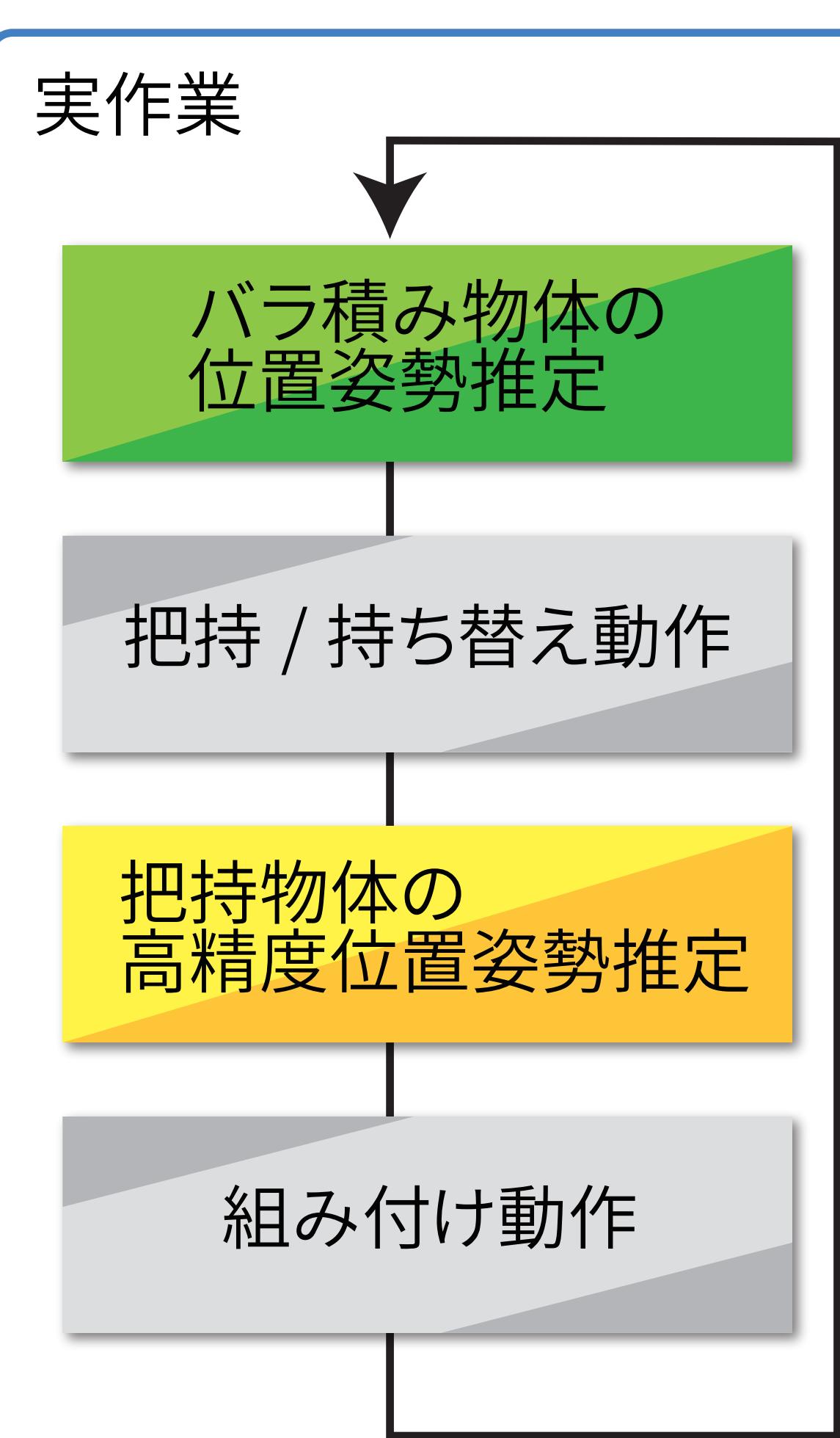
- ・カメラに依存しない (ホビー用 RGB-D カメラでも適用可能な) アルゴリズム
- ・ティーチングを簡略化可能なロボット動作計画アルゴリズム

検証システムおよびタスク



5種類のバラ積み部品を 1mm 精度で治具に組み付け

要素技術とタスクフロー



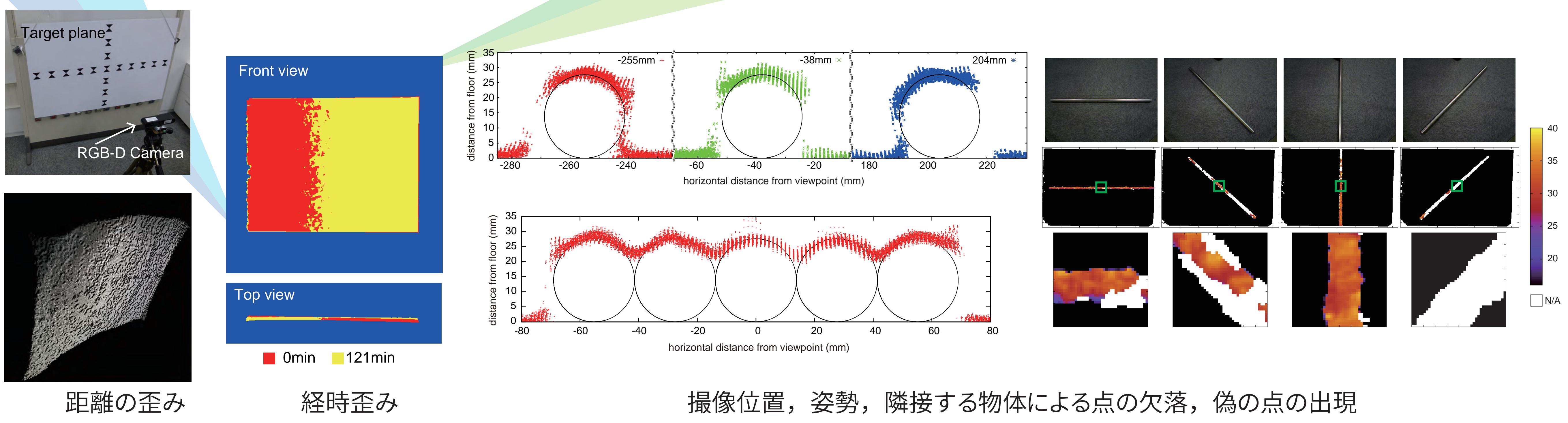
ビジョン技術
動作計画技術

・姿勢判定が困難な一部品 (PIPE-3, 左右形状がカメラ分解能以下の差異を持つ) を除き, 87%-100% の繰り返し精度で組み付け可能

・ロボットによる組み付けを意識した部品設計が必要
・実用途にはカメラの供給期間の短さと, 個体間の精度, 特性のばらつきの大きさがネック

・実用システムには, 導入コストだけにとらわれず工業用途に設計されたカメラを使うべき
・RGB-D カメラおよび本研究の成果物のアルゴリズムをシステムおよび部品設計時のプロトタイピングに使用することで, 設計コストを大幅に抑えることが可能

ホビー用 RGB-D カメラの点群出力例 (ASUS Xtion)



歪み、ノイズ対策が必須

歪み補正

歪みの性質

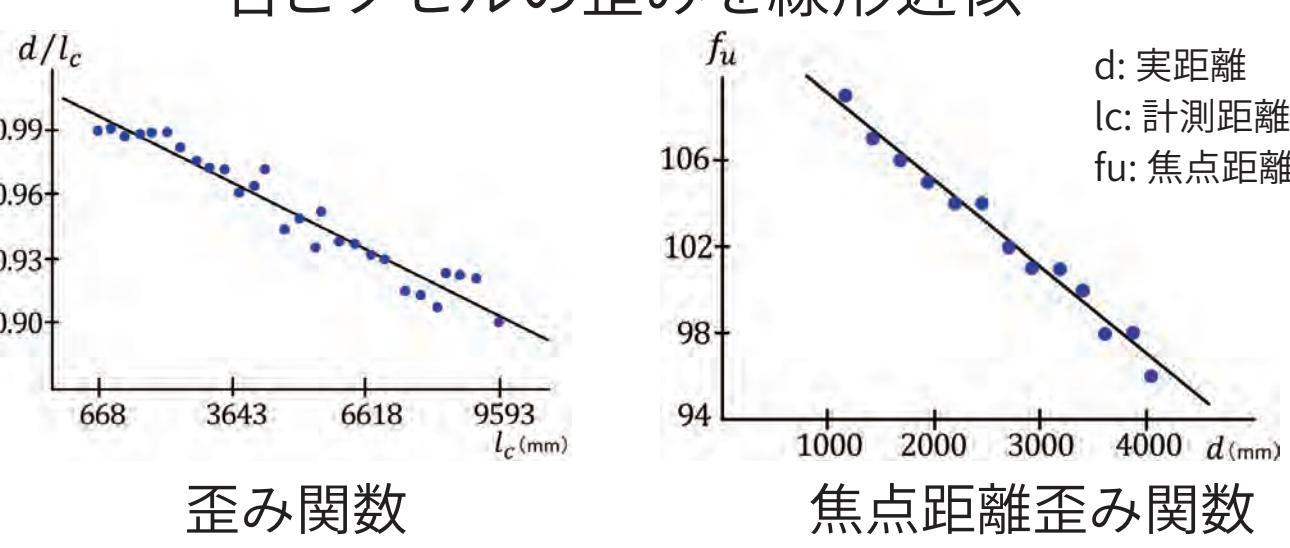


自由曲面歪み } 距離の関数
焦点距離歪み } (距離により歪みが変化)

Pixel-wise補正

- ・大局的な幾何モデルを持たず、いかなる形状も補正可能
- ・補正にかかる処理コストに注意が必要

各ピクセルの歪みを線形近似



補正データの計測方法

- ・カメラと正対させた距離が既知の平面を、距離を変えながら複数回撮影
- ・部屋の壁を利用すると便利
- ・間隔が既知のマーカーを平面に付し、焦点距離の補正に利用

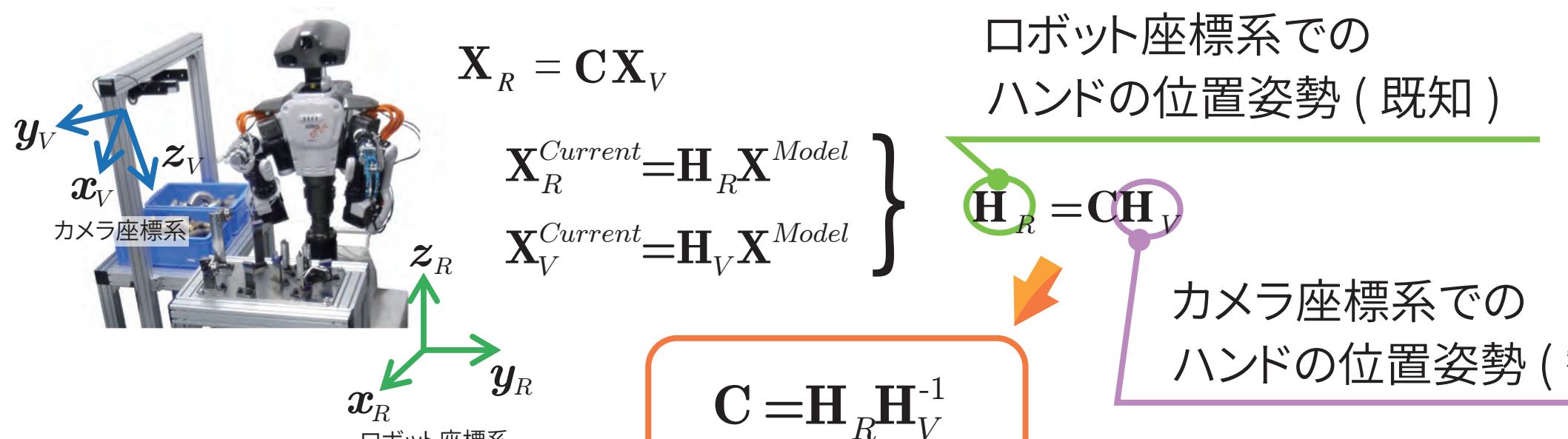
経時歪み

- ・カメラ自体の発熱による鏡胴の変形が原因
- ・熱平衡に達すると変形が止まる

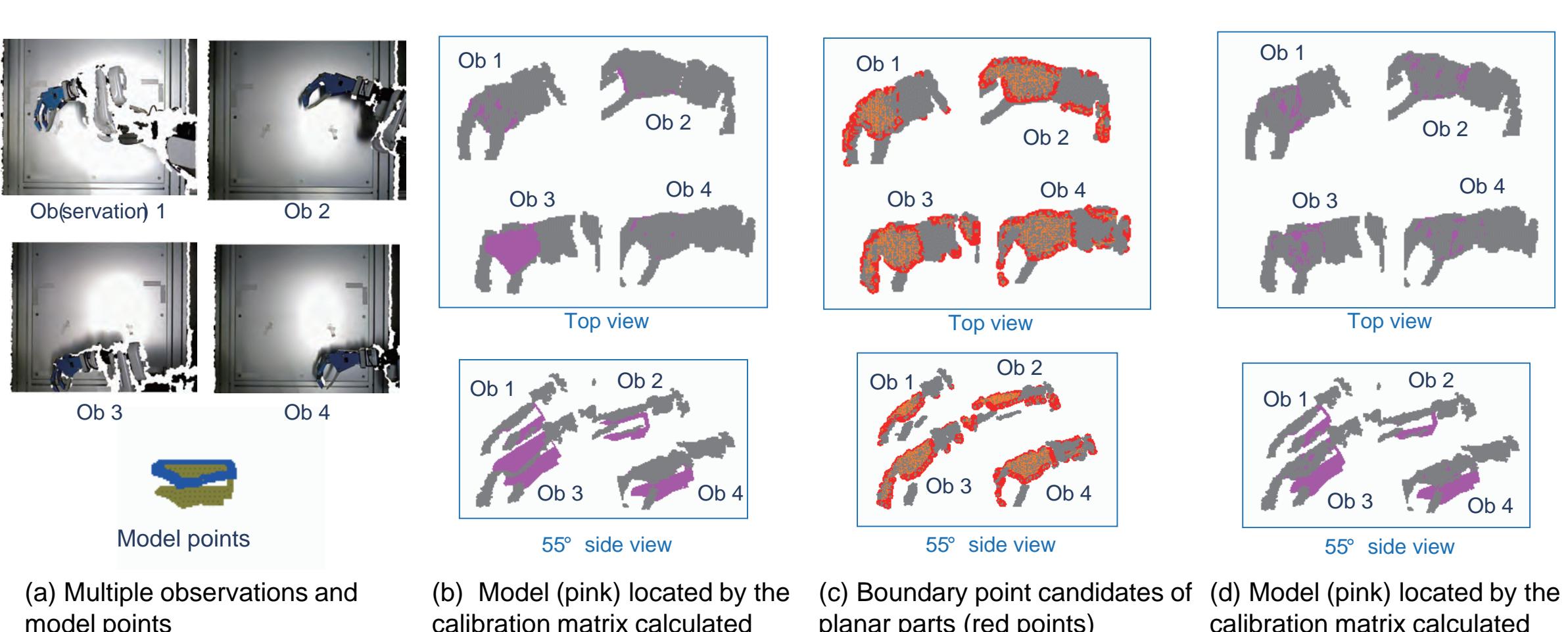
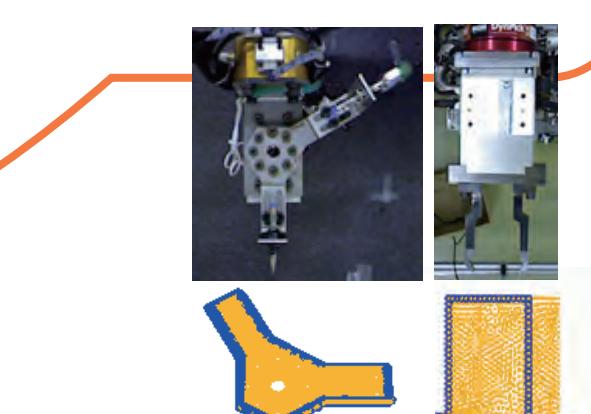
計測開始前に暖気運転することで回避

カメラ - ロボット間キャリブレーション

キャリブレーション行列 C



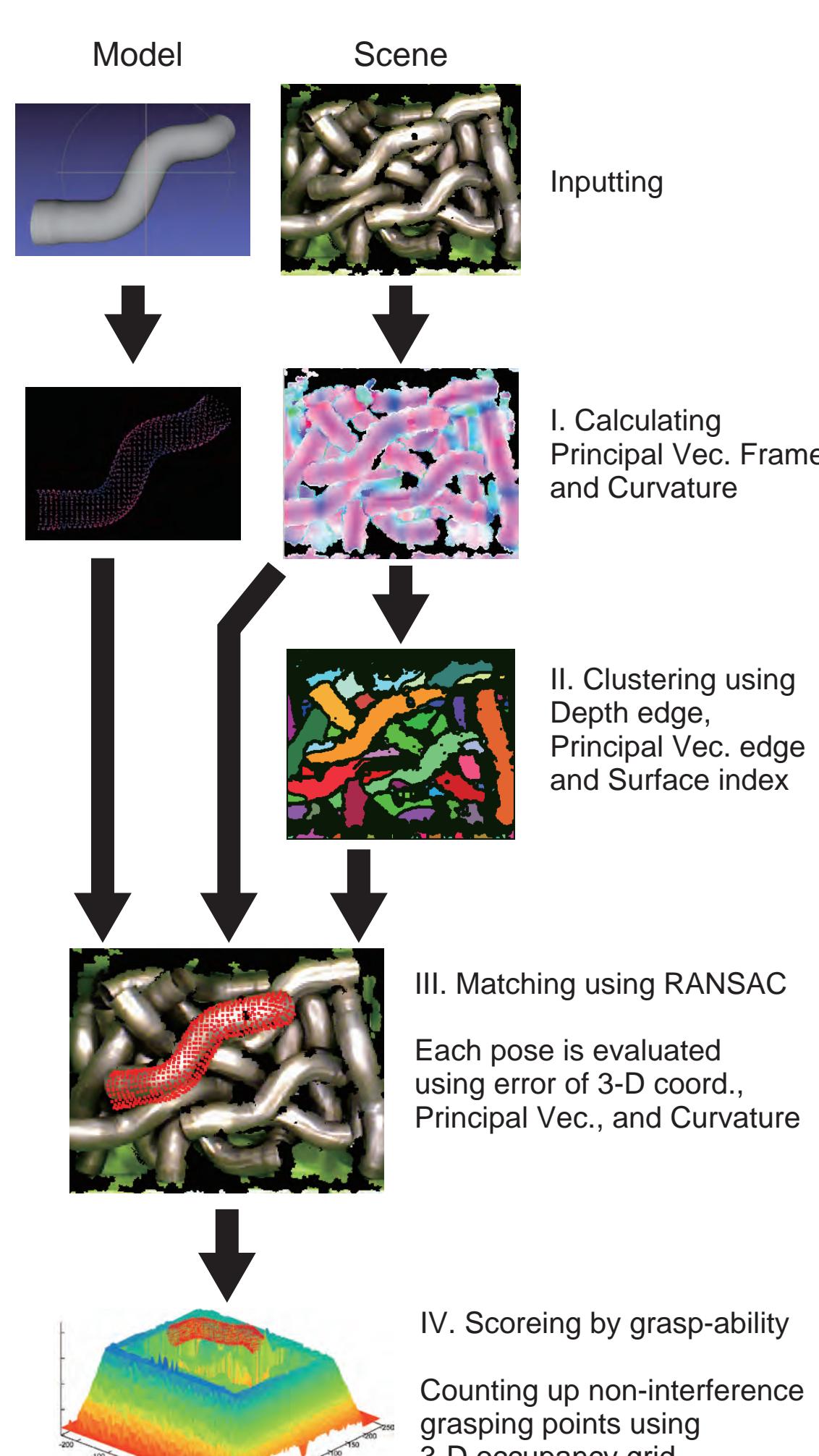
平面部分のみを用いることで
種々の形状のハンドをロバスト
に位置姿勢推定



バラ積み物体の位置姿勢推定

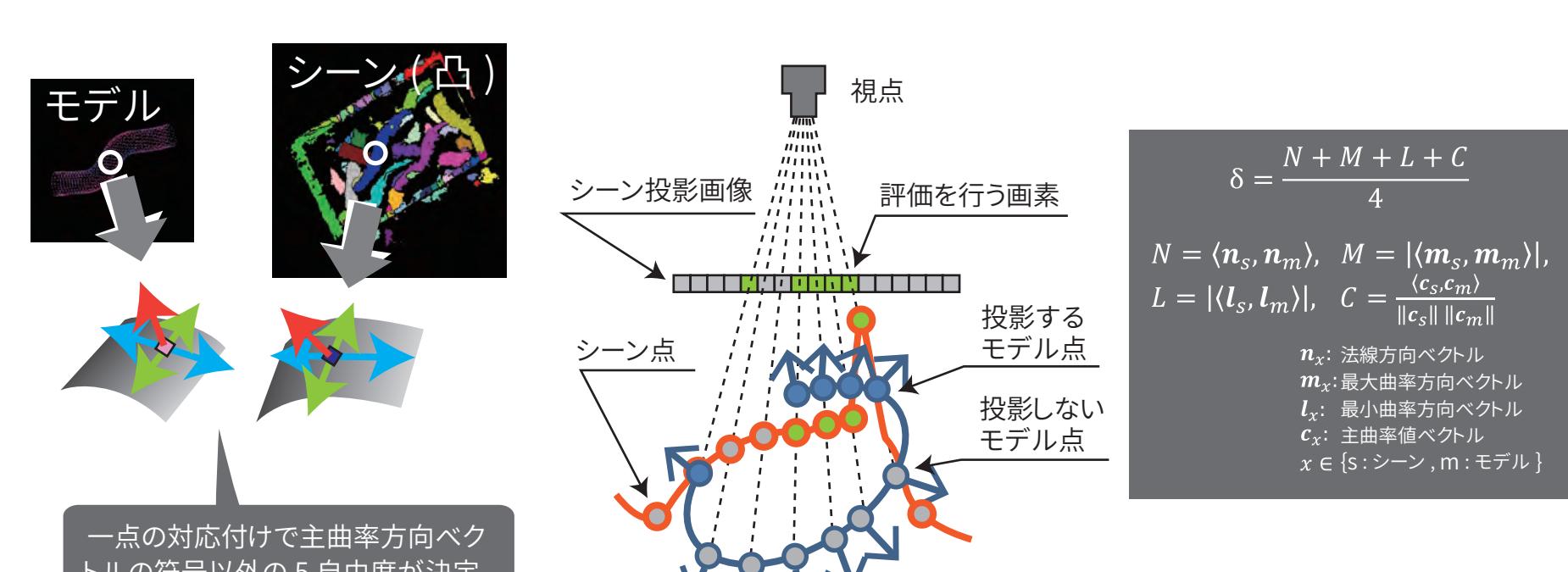
- モデル、シーン画像の各画素に二次曲面をあてはめ、主方向ベクトルおよび主曲率を計算

ノイズ対策



- シーンを、空間座標、法線ベクトル方向、主方向ベクトルおよび主曲率を用いて領域分割

- シーンの任意の領域およびモデルから同一の曲面型を持つ点をランダムに一点を抽出し、シーンの空間座標、主方向にあわせてモデルを投影、主方向ベクトルと主曲率値ベクトルからなる曲面特徴量の類似度を用いて投票

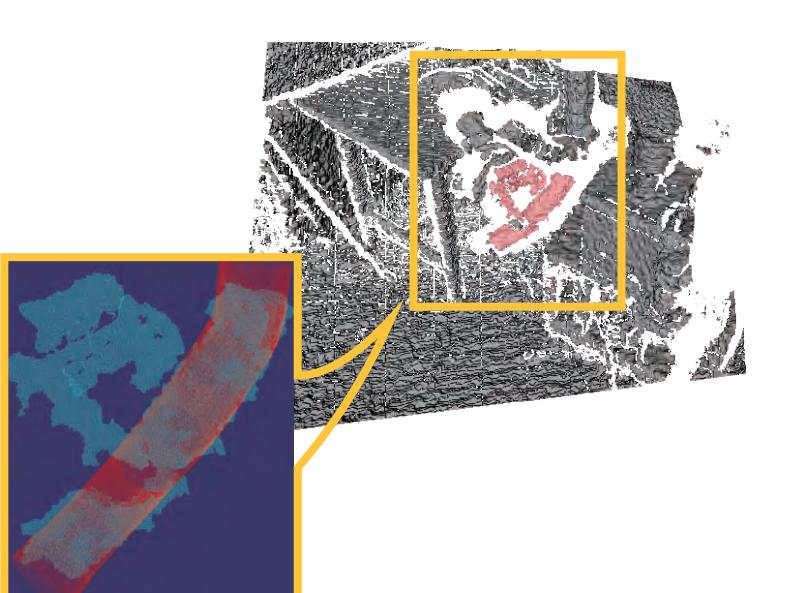


- 対象物、ハンドと周辺物体との干渉を考慮したスコアリング

把持物体の高精度位置姿勢推定

- ・バラ積み物体の位置姿勢推定では組み付けに必要な 1mm の精度がない
- ・組み付け位置までの搬送中に姿勢ズレが生じる

組み付け動作直前にロボットハンドで把持中の単品物体の位置姿勢を ±1mm 精度で再度推定

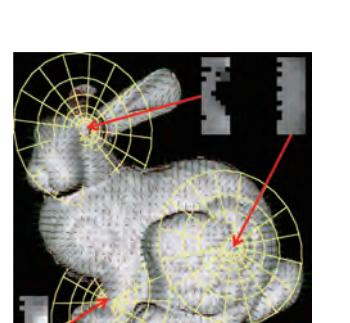


手法

- モデルベース位置合わせ
粗い位置合わせ : LPHM
細かい位置合わせ : 線形演算 +LM-ICP

ノイズ、オクレージョンに頑強

- モデルと入力点群を再サンプリングし、符号付距離場 (SDF: Signed Distance Field) により記述する



- 各サンプリング点で、接平面上の Log-Polar Height Map(LPHM) 特徴を求める

- モデル点と入力点群とを LPHM で対応付け、対応付いたサンプリング点数による投票で位置姿勢を決定する

組み付け実験結果

パーツ名称	試行	成功	失敗要因		
			バラ積み	動作計画	把持姿勢
PIPE-1	98	86	3	9	-
PIPE-2	94	83	2	7	2
PIPE-3	53	38	-	-	15
PLATE-UP	20	20	-	-	
PLATE-DOWN	30	30	-	-	

カメラおよび部品仕上り精度の問題
(RGB 特徴を併用することで改善可能だが、
安定性の確認が必要)

バラ積み : バラ積み対象物の位置姿勢推定失敗
動作計画 : 動作計画算出不能
把持姿勢 : 把持物体の位置姿勢推定失敗