

ランダムフォレストとベイズ最適化を用いた
大型産業用ロボットの位置決め補正についての研究

同志社大学
理工学研究科機械工学専攻
生産システムデザイン研究室
加藤 大暉

1

研究背景



ブロックに分けて製作



2つのフランジ面を接続



配管製作の過程

現場でフランジ面の位置関係を採寸



工場配管を製造



現場で配管を接続 → 接続不可

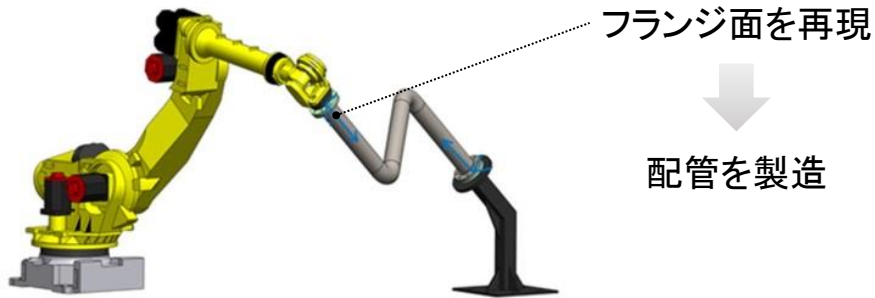


コスト・時間
がかかる

2

研究目的

提案するシステム



高精度の位置決め精度が必要

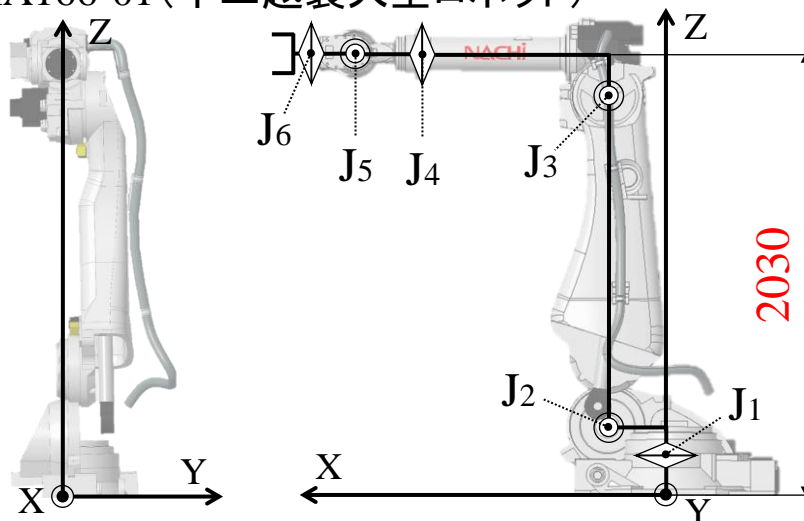
ロボットの位置決め補正についての研究

3

実験装置(1) ロボット

計測対象

SRA166-01 (不二越製大型ロボット)



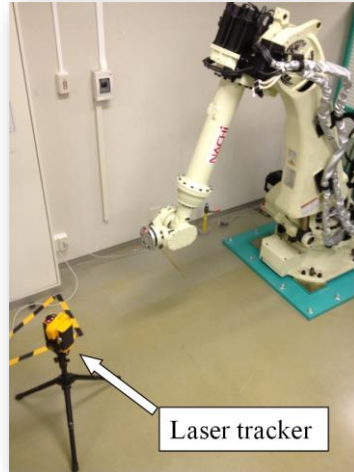
4

実験装置(2) レーザートラッカー

IHIエスキューブ製レーザートラッカー InSightEye
エンドエフェクタの座標取得に使用



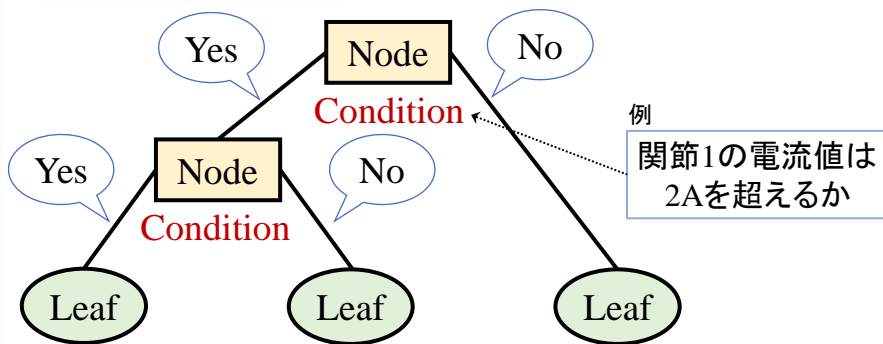
計測精度: 0.25 mm



5

理論(1) 決定木

CARTアルゴリズム

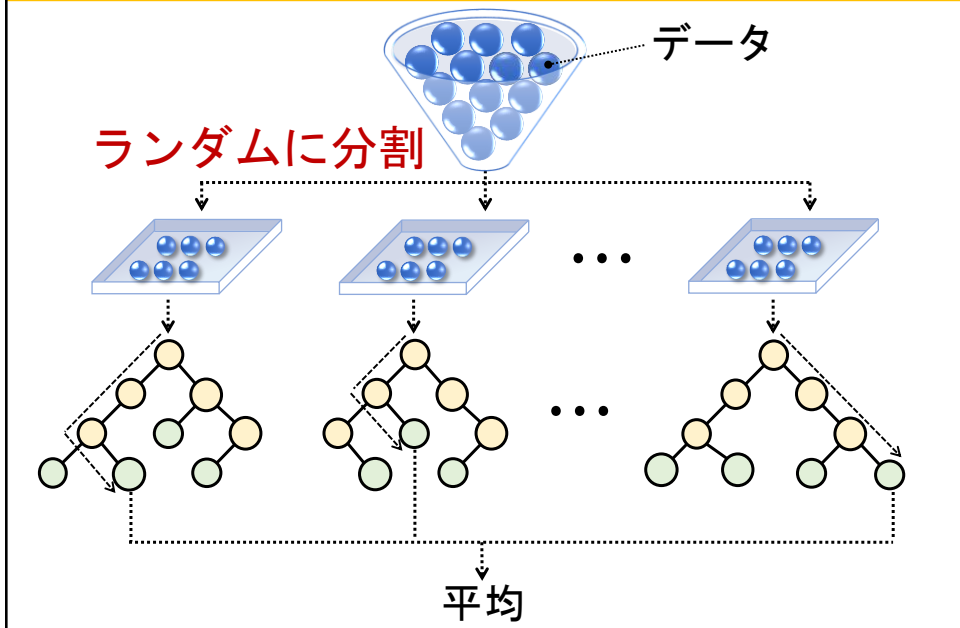


位置決め誤差を特徴的なパラメータで分類

▶ 位置決め誤差の予測

6

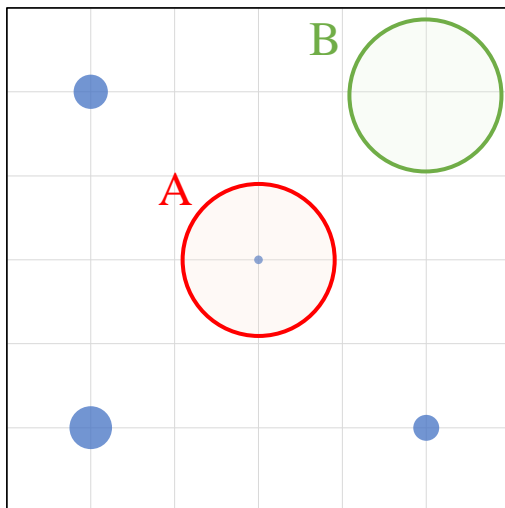
理論(2) ランダムフォレスト



7

実験方法(3) ベイズ最適化

最小値をとる座標を探索



A
観測値が小さい

▼
付近も小さい

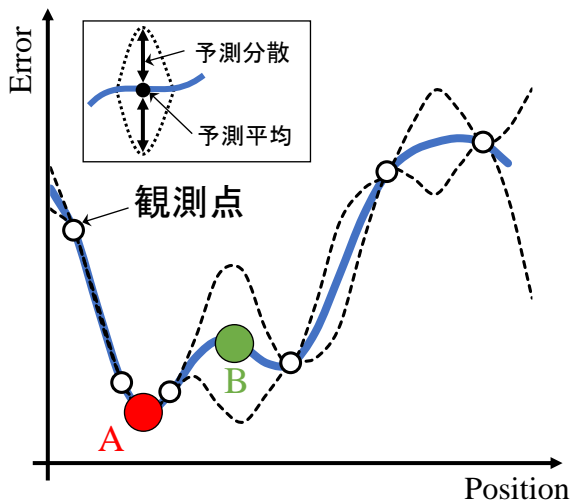
B
観測点が少ない

▼
付近が小さい

8

理論(3) ベイズ最適化

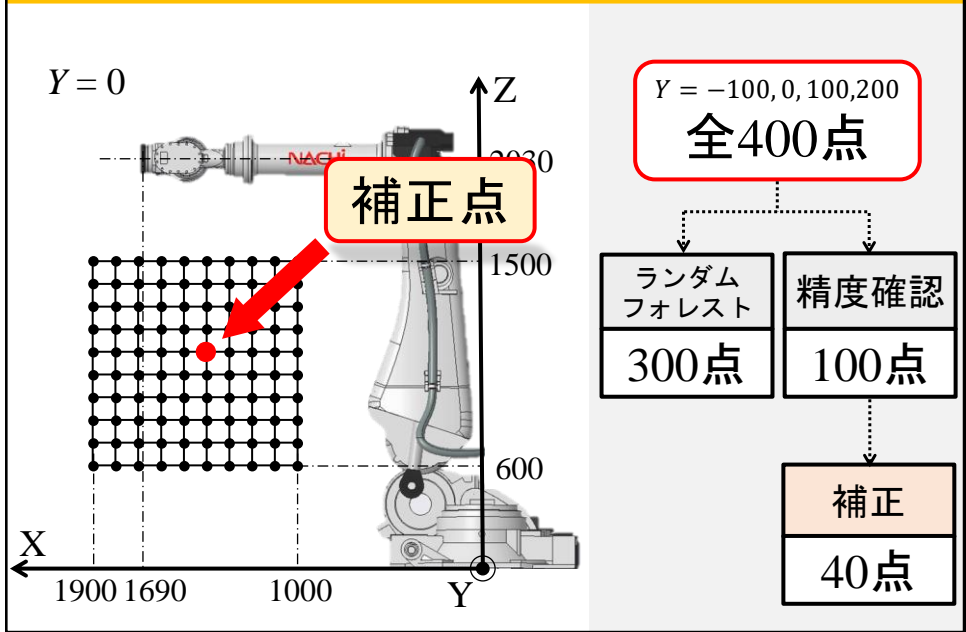
位置決め誤差分布を**ガウス過程**で予測



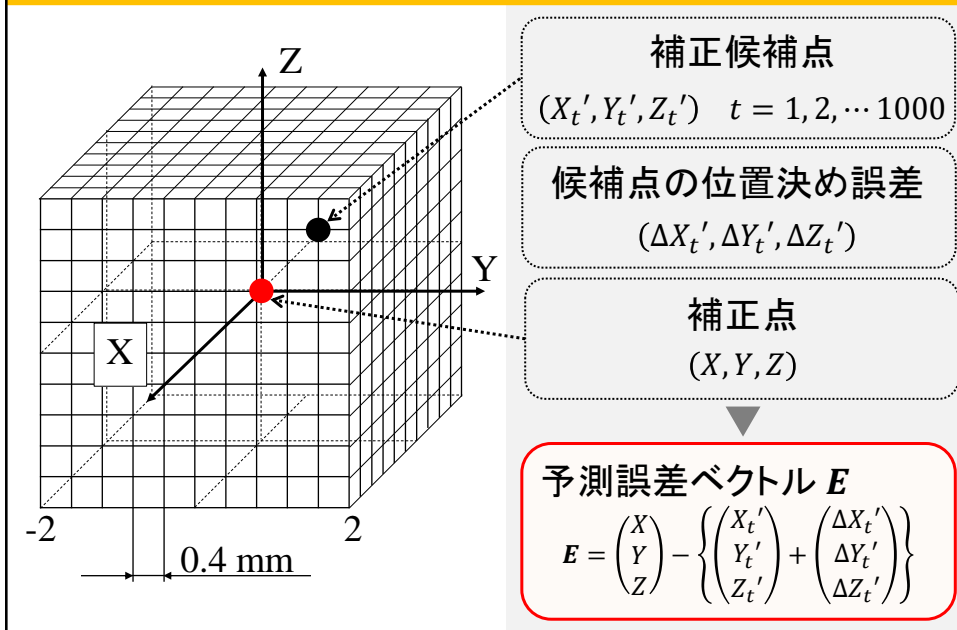
A
 予測平均が最小
 予測分散が小さい

B
 予測平均が大きい
 予測分散が最大

実験方法(1) 位置決め誤差の測定

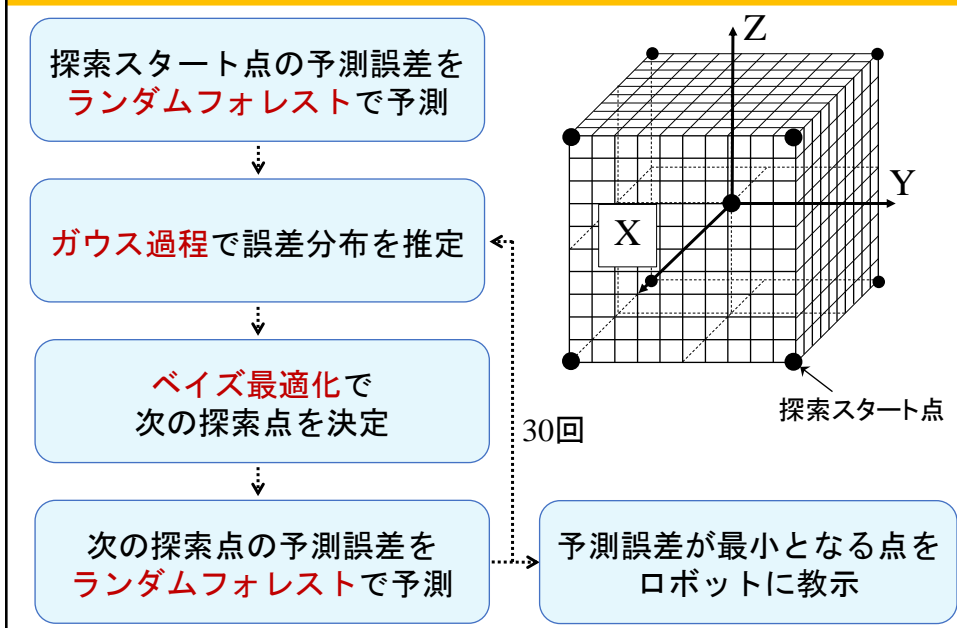


実験方法(2) 予測誤差ベクトルの定義



11

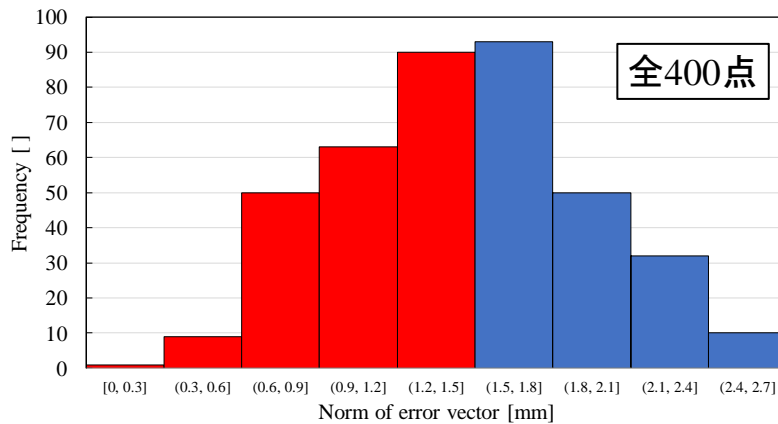
実験方法(3) ベイズ最適化による補正



12

実験結果(1) レーザートラッカーによる測定結果

位置決め誤差ベクトルの二次ノルム

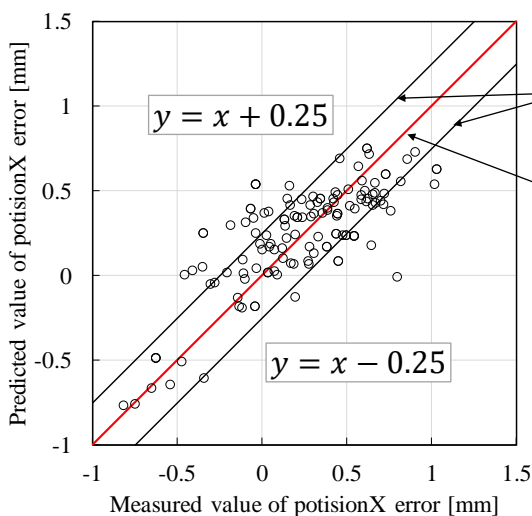


1.5 mm以下でフランジ接続可能 ▶ 53 %

13

実験結果(2) ランダムフォレストによる予測結果

X軸方向位置決め誤差の予測結果



レーザートラッカーの
測定誤差±0.25 mm
(許容範囲)

予想と一致

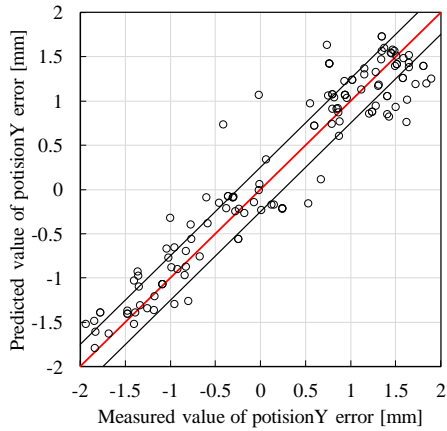
許容範囲内の
相対度数(信頼度)

0.72

14

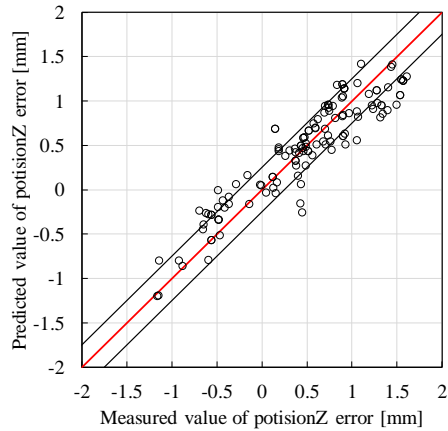
実験結果(3) ランダムフォレストによる予測結果

Y軸方向誤差の予測



信頼度 : 0.54

Z軸方向誤差の予測

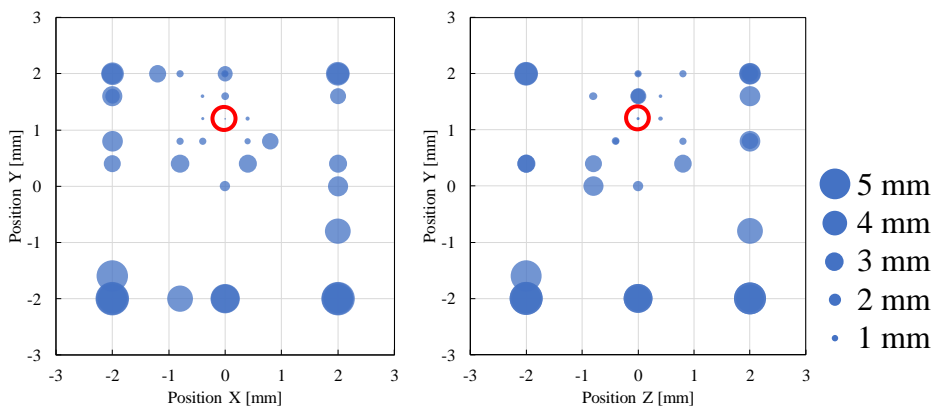


信頼度 : 0.61

15

実験結果(4) ベイズ最適化による探索結果

補正点の予測誤差ベクトルの二次ノルム



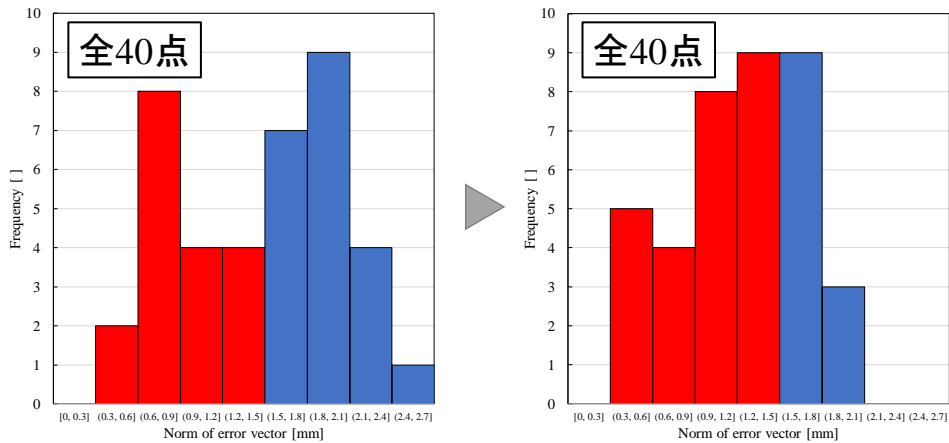
探索結果 X = 0 mm Y = 1.2 mm Z = 0 mm

▶ ロボットに教示して位置決め誤差再測定

16

実験結果(5) ベイズ最適化による補正結果

補正点の位置決め誤差の二次ノルム



補正前 : 47 %

補正後 : 68 %

17

結言

1. 0.47の確率でフランジ接続不可となる
2. ランダムフォレスト法により各軸方向の位置決め誤差を精度よく予測することができる
3. ベイズ最適化により予測誤差ベクトルの二次ノルムが最小となる補正候補点を探索することができる
4. ベイズ最適化とランダムフォレストを用いた位置決め誤差補正モデルにより二次ノルムを減少させることができる

18