

XYθサーフェスエンコーダの計測範囲 拡大で導くロボット技術の高精度化

横浜国立大学 大学院工学研究院
准教授 湊脇 大海

2026年6月23日

背景

2

FA (Factory Automation)

↓
多品種少量生産

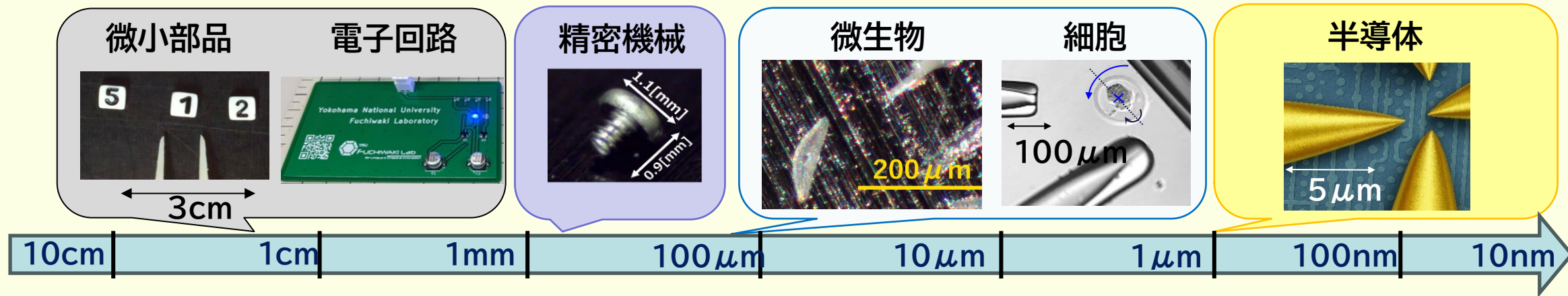
↓
人協働ロボット

→ ラボラトリーオートメーション

・1ロット試作

・細胞・薬品・電子・機械部品の操作

⇒ 多軸・精密作業



ロボットの高精度化

μm精度

多軸化



画像処理の限界
を超える計測法

従来技術の問題点

3

【従来の多軸エンコーダ】

- XY二軸または、 θ 単軸の計測に限定
- 三軸以上でも θ 軸の範囲が狭い
- スカラ型ロボットアーム手先、自走ロボットなど、
広範囲かつ回転を伴うXY θ 動作の精密計測が困難
(画像計測: 広範囲・高分解能・高速計測の同時実現が困難)

⇒ XY θ 軸を広範囲・高精度・高速で計測できる変位センサが必要

■ 従来技術との比較 ■ 画像解析との比較

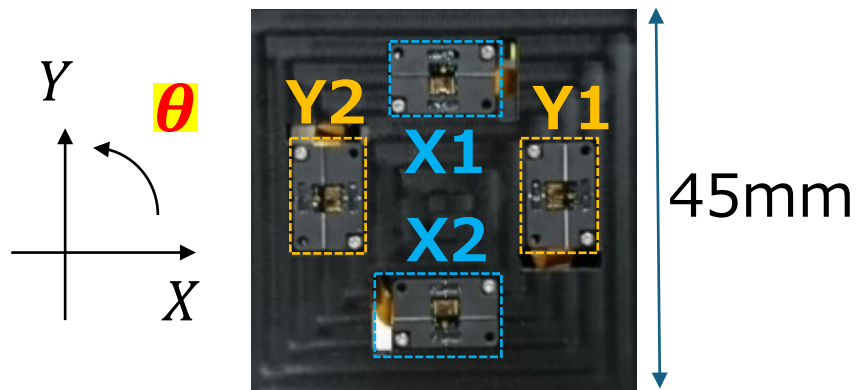
4

項目	画像解析	本発明 (XYθサーフェスエンコーダ)
サンプリング	30～100 fps (遅い)	> 40 kHz (高速)
遅延 (Latency)	数十～数百 ms (高速制御には制約)	< 10 μ s (低遅延)
計算負荷	高い (GPU/高性能PC必須)	低い (マイコン/FPGAで可)
精度	mm ～ cm オーダー	0.1 ～ 1 μ m オーダー
環境依存	照明・模様に関係ない(暗所NG)	照明・模様に関係なし

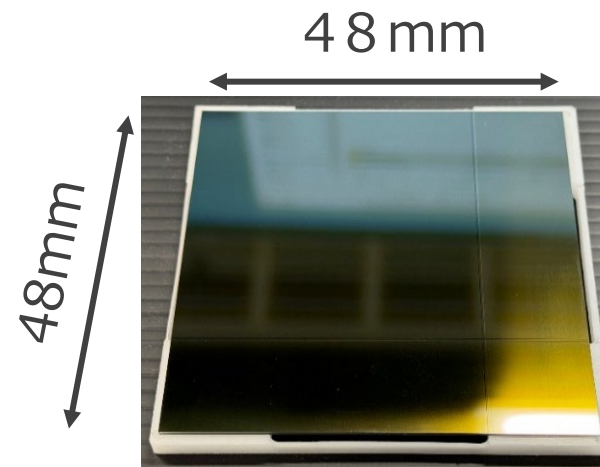
- ✓ 画像解析のトレードオフ: 【総データ量】 = 解像度 (分解能 × 範囲) × フレームレート (fps)
⇒ 高速な振動抑制や精密位置決めは不可能
- ✓ 本発明の優位性: ・数10kHzオーダーの高速フィードバックで、振動も外乱も瞬時に抑制
・照明不要、GPU不要、小型FPGAで動く「制御コストが低い」

■ 新技術の特徴

XY θ サーフェスエンコーダ



エンコーダ 4 個による変位検出部



2次元スケール

計測性能	
分解能: X (Y), θ	0.05 μ m, 0.3 mdeg
範囲: X $\times$ Y, θ	16 x 16 mm, ± 20 deg
不確かさ(3 σ): X(Y), θ	$\pm 0.3 \mu$ m , ± 1.8 mdeg
内部信号処理周期	0.1 μ s

参考：Tanabe, 2023, Micromachines

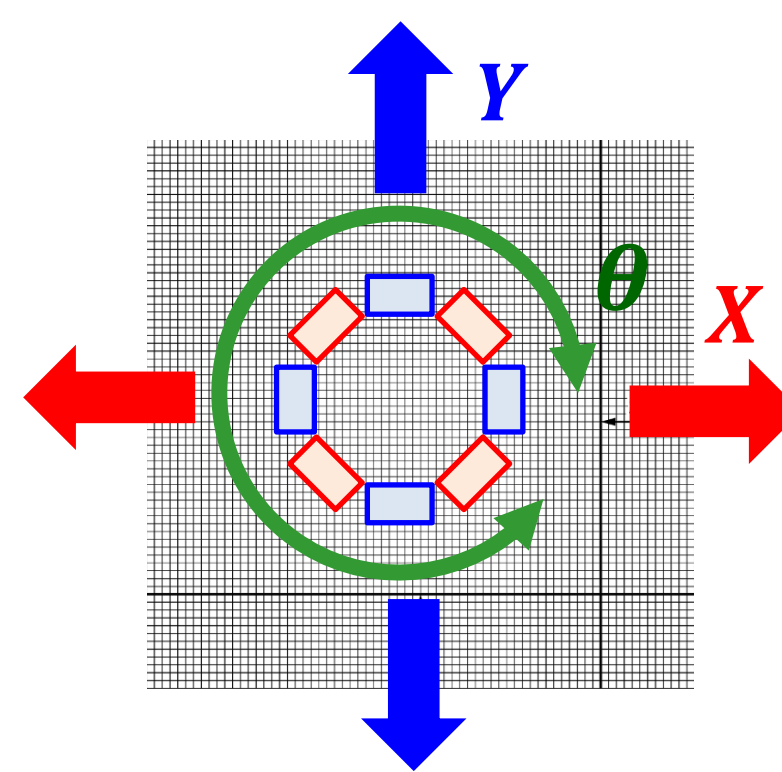
- 小型
- 広範囲
- 高精度
- 高速

■ 発明の技術内容

【広範囲・高速・高精度を両立する計測技術】

☆安価エンコーダ＋高汎用性 ⇒ 実用性

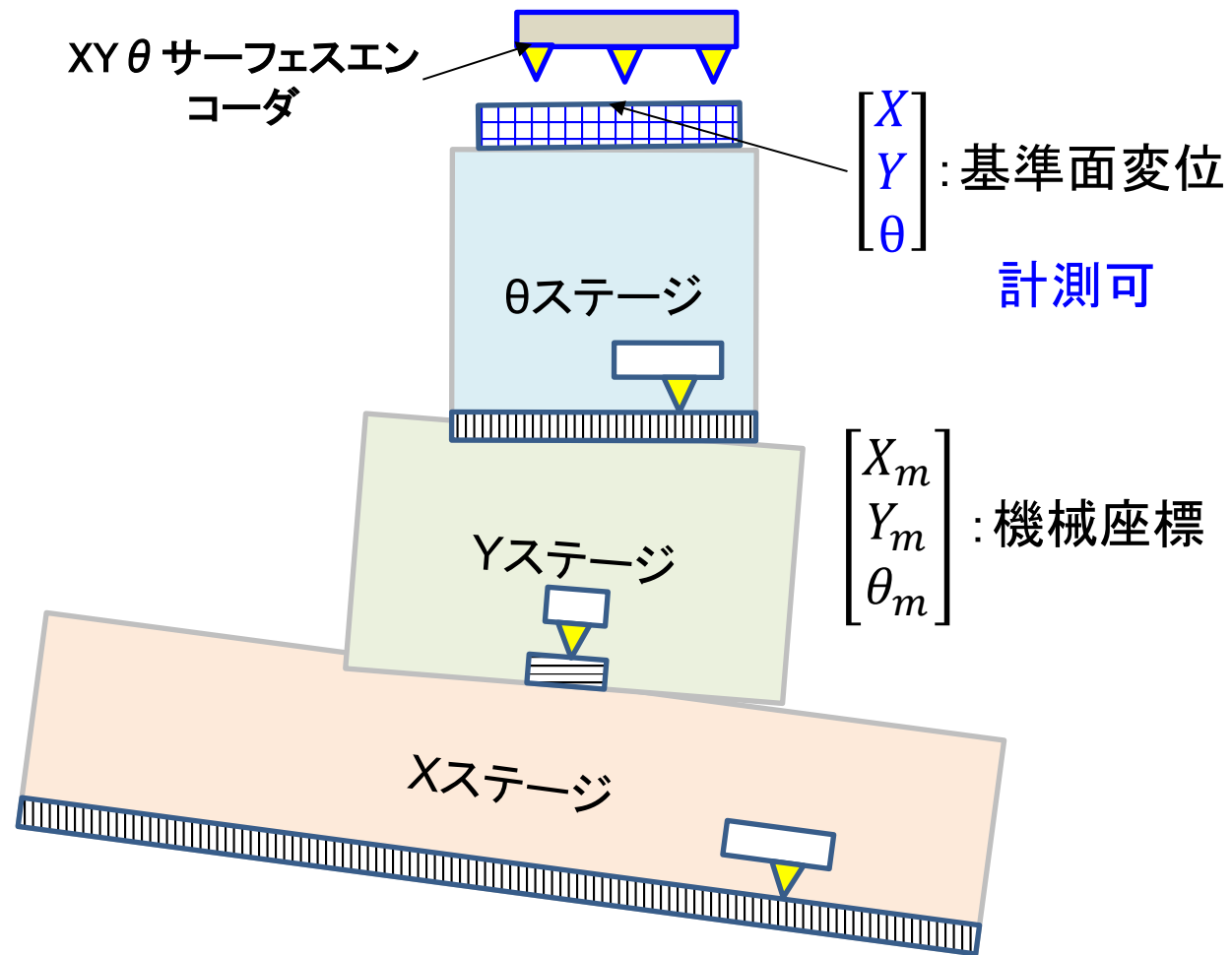
・「多点配置×動的切替」



スケール	XY分離	交差格子
精度: X (Y), θ (平均化処理後の目標値)	1 ~ 2 μm 、 5mdeg (1 μm , 0.6 mdeg)	5 μm 、 10mdeg (1 ~ 2 μm , 1.4 mdeg)
範囲: X $\times$ Y	32 x 32 mm, ± 180 deg	200 x 200 mm 以上 ± 180 deg
範囲: θ		
分解能: X (Y), θ (不確かさ3 σ)	0.05 μm , 0.3 mdeg (± 0.3 μm , ± 0.9 mdeg)	

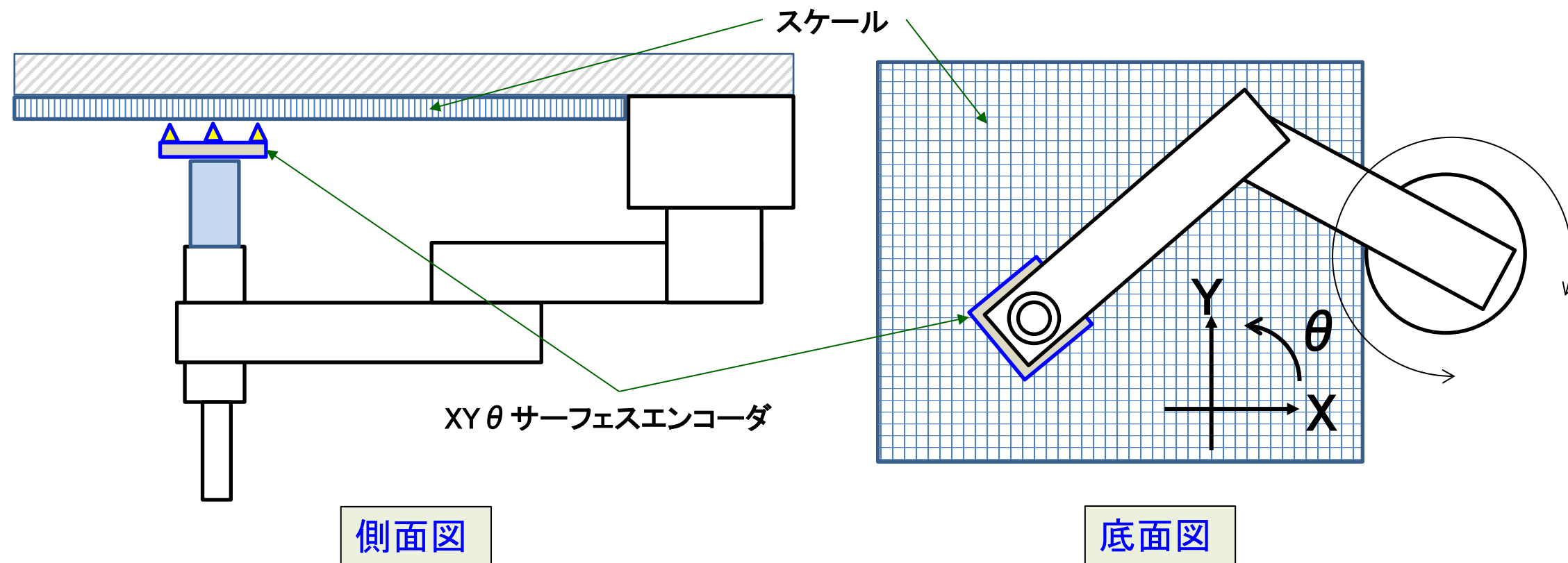
■ 想定される用途

■ 積上げ式XYθステージの相互干渉誤差の評価



各軸間の干渉誤差を計測可能

■ スカラ型ロボットの広範囲かつ高速変位計測



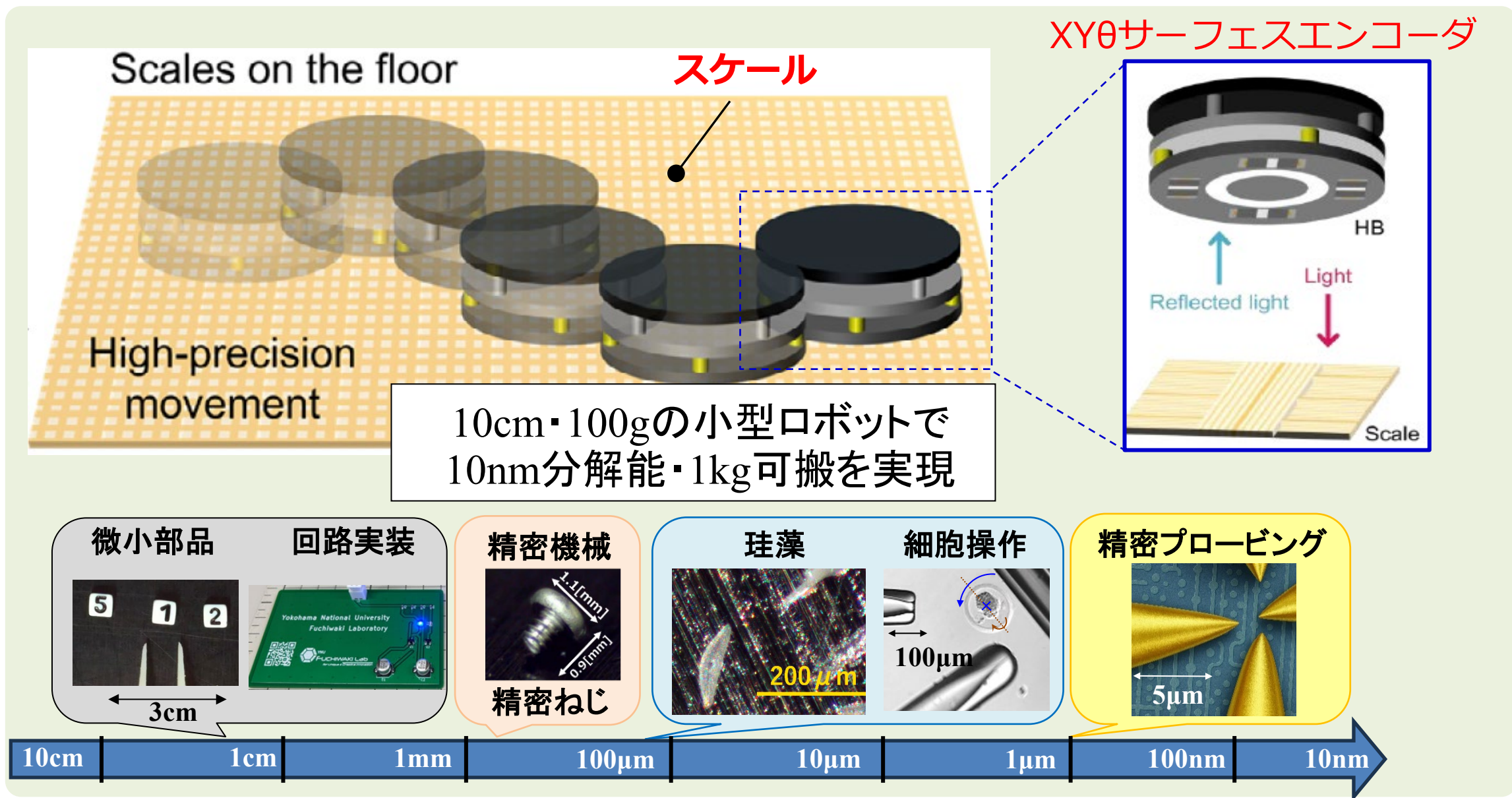
9

	位置決め精度	計測範囲(手先)
現状	10 μm	機械座標(各関節の回転角)のみ
本特許	1~2 μm (目標)	XY θ 軸変位の全動作範囲

産業用ロボットの精度1 μm 領域への普及可能

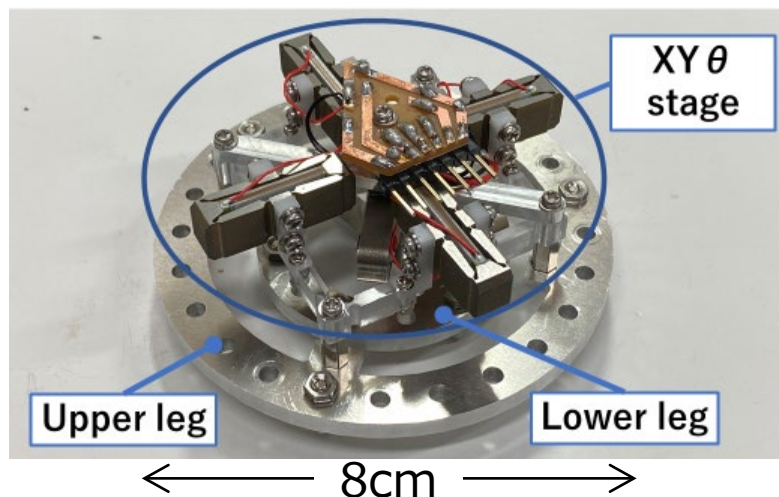
画像処理のような遅延がなく、40kHzの計測周波数によるロボットの『反射神経』として機能

■ 新しいロボットプラットフォーム：精密自走ロボット



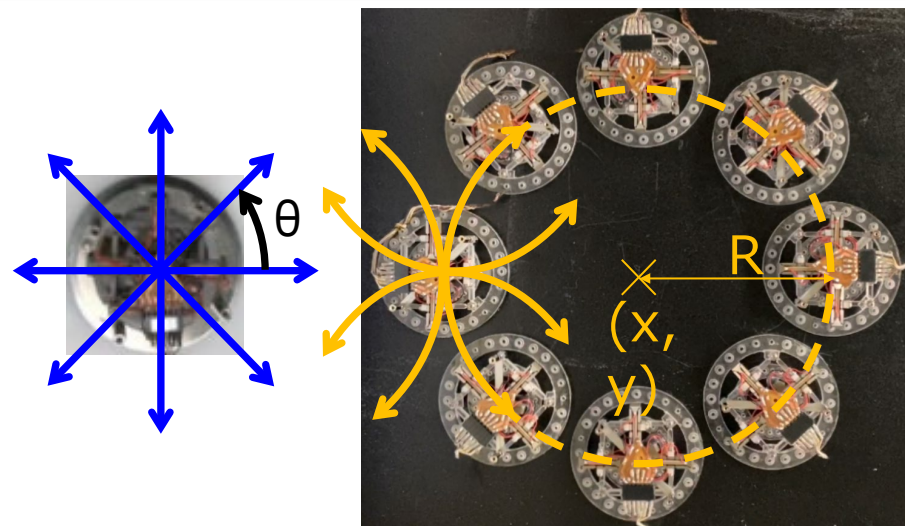
- 広範囲・高精度計測の実現 ⇒ 机・チャンバー・機器の隙間・片手配置・多目的精密作業
- BSフジ「ガリレオX」(2024)

精密自走ロボット

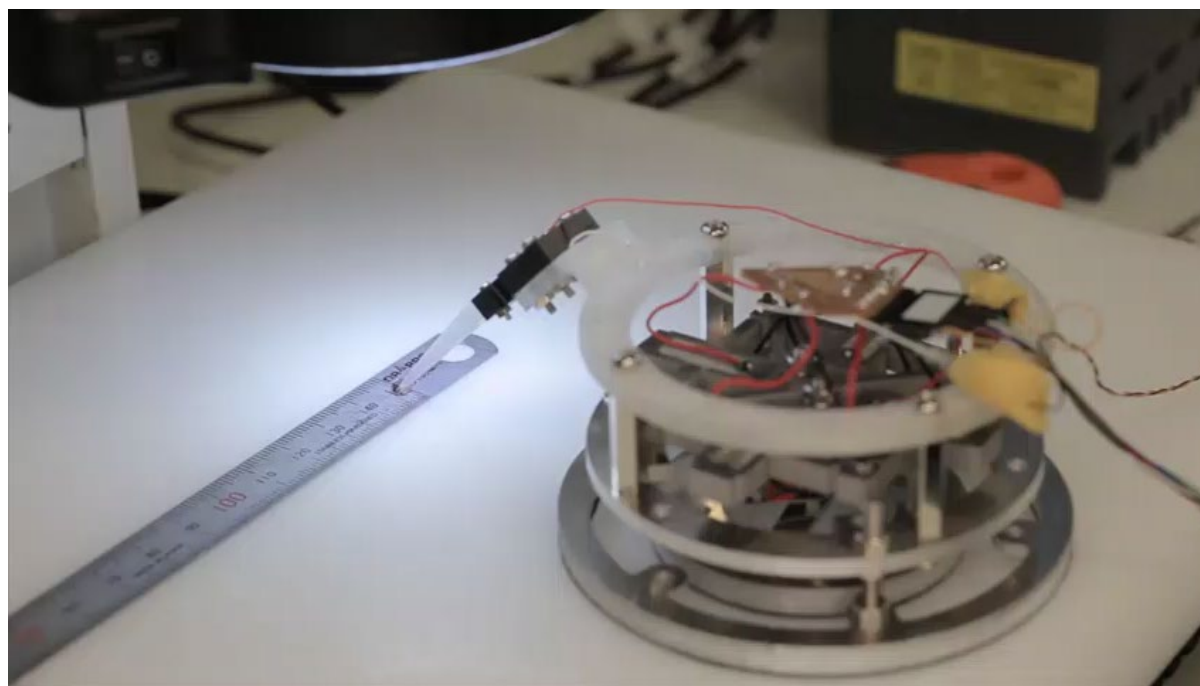


- 小型 : 8cm
 - 軽量 : 0.1kg
 - 耐荷重 : 1kg
 - 分解能 : 10nm
 - 速度 : 10mm/s
 - 全方向移動
 - 任意軸回転
- 10倍

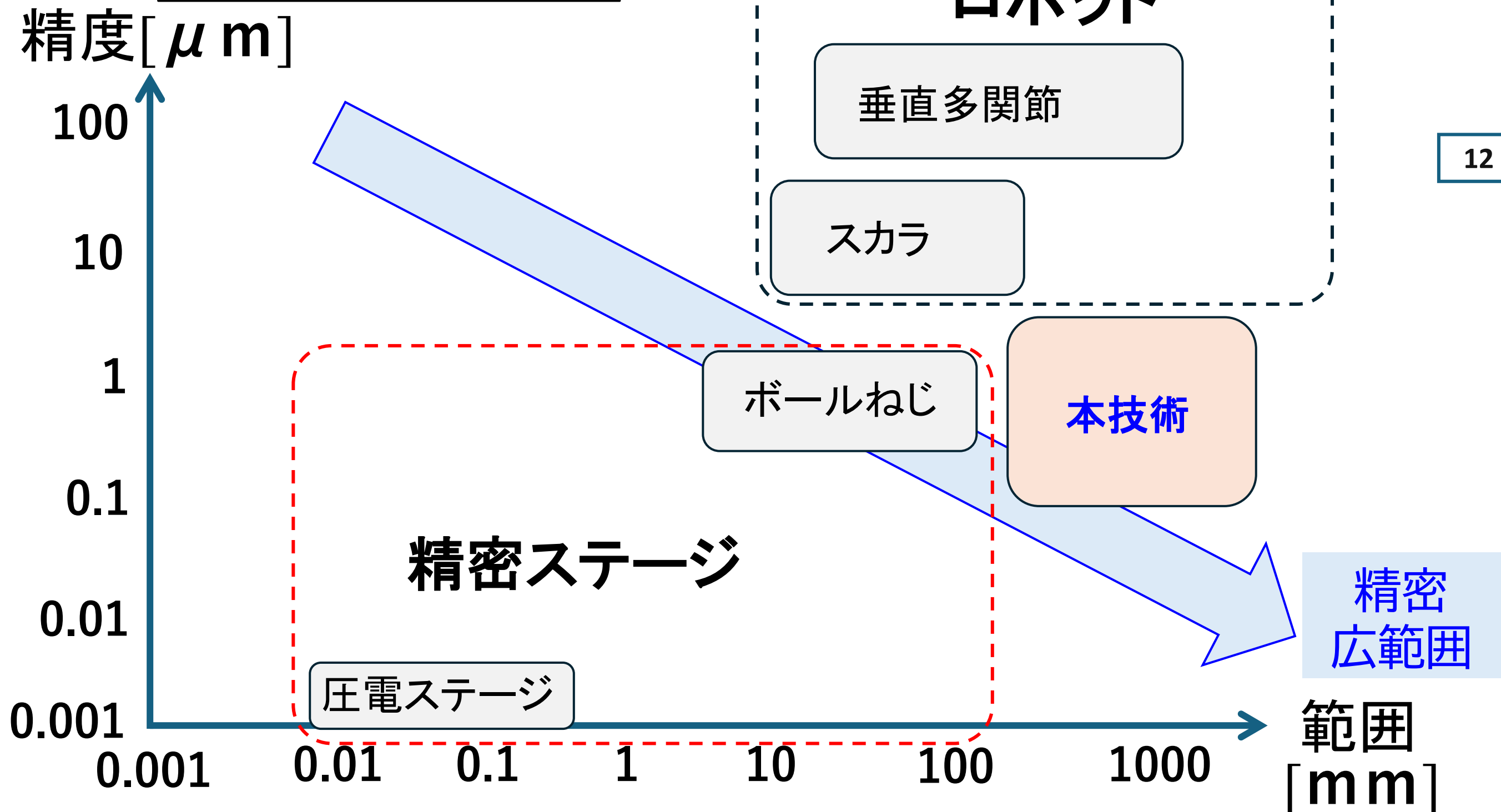
ホロノミックロボット×精密ステージ



参考 : Suzuki, 2024, Adv. Intell. Syst.

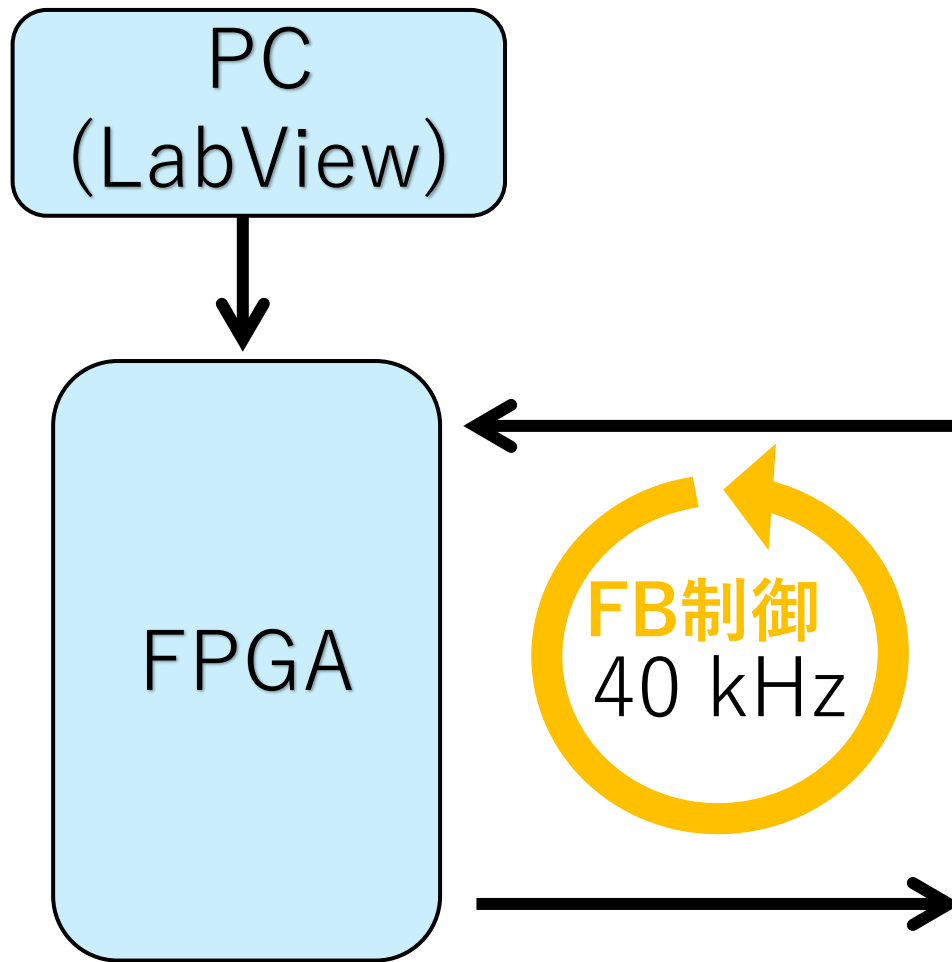


精密自走ロボット

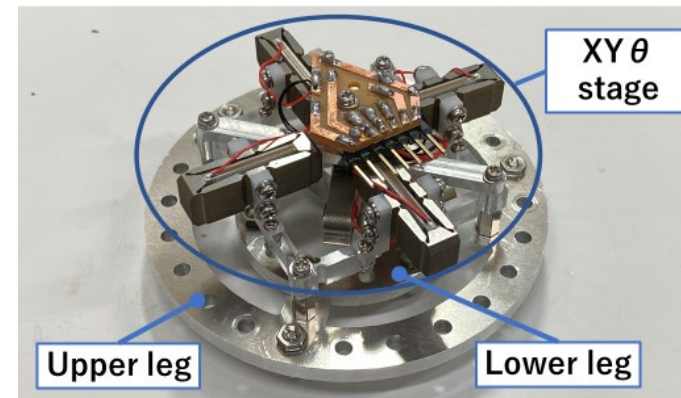


精密自走ロボット

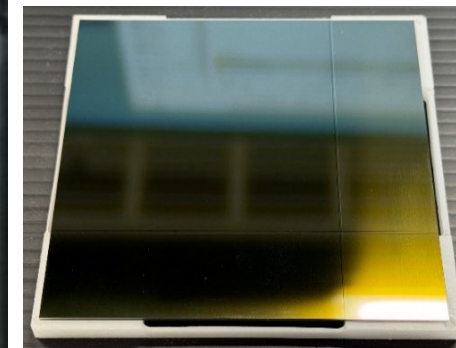
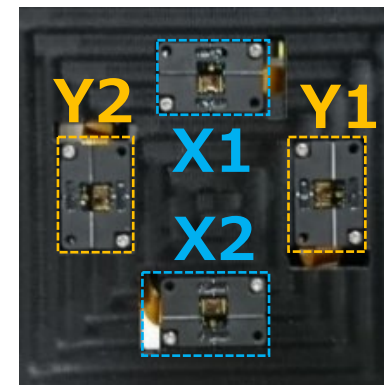
計測装置の構成



自走ロボット



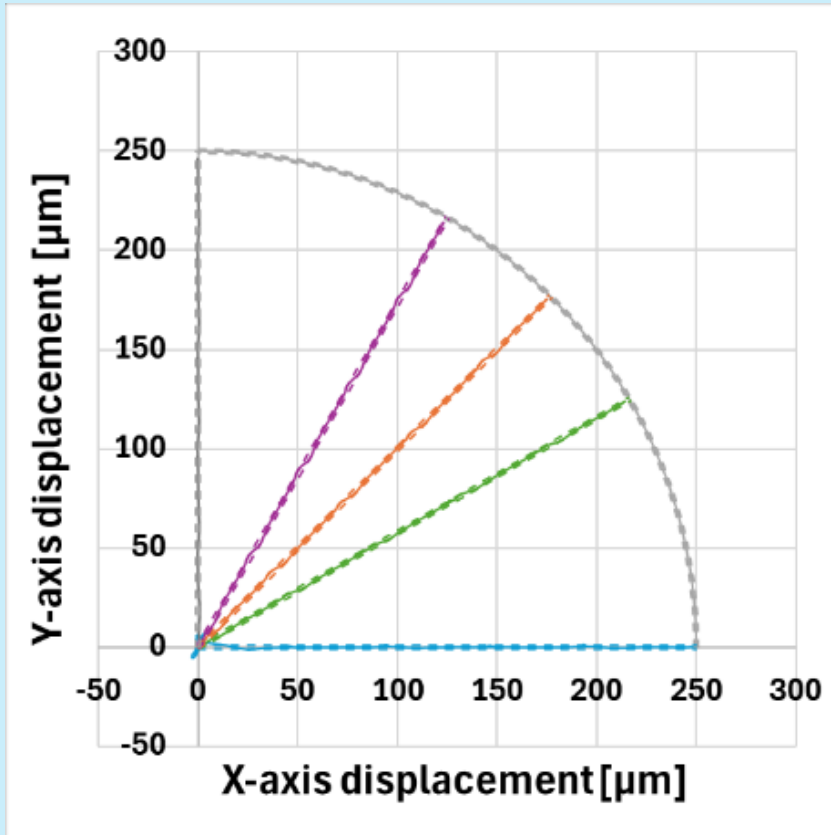
XY θ サーフェス
エンコーダ



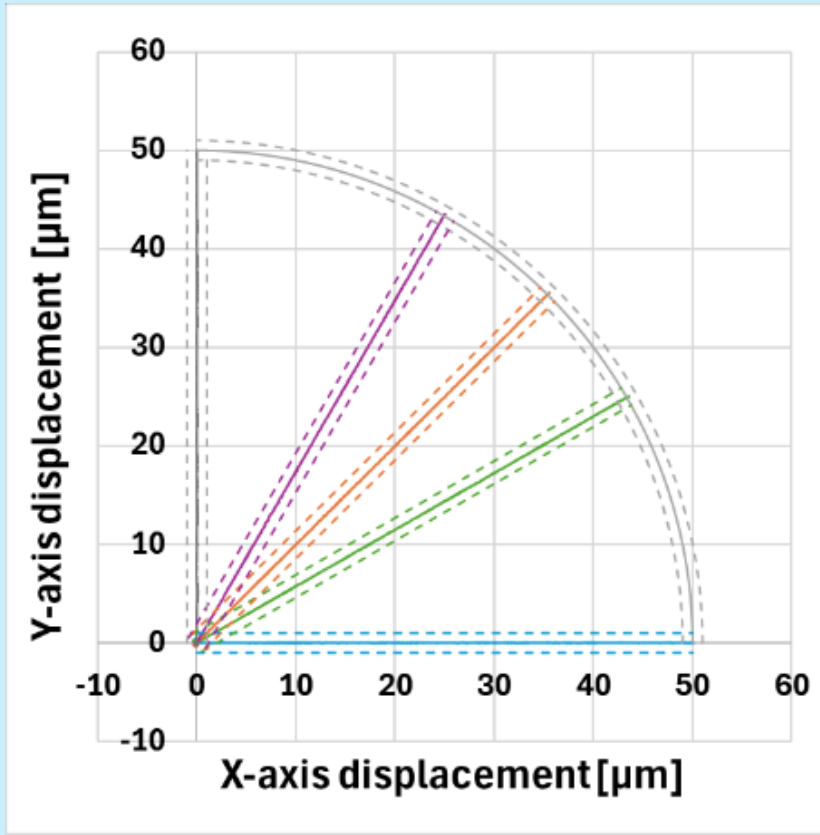
精密自走ロボット

直進経路（並進動作）

14



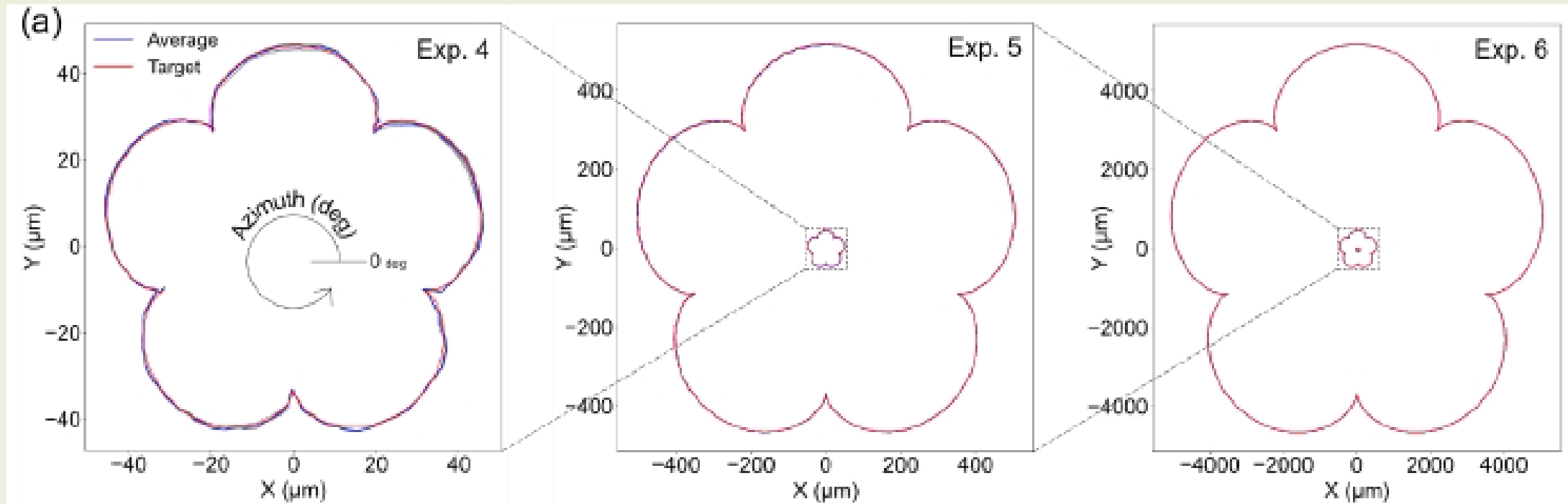
経路誤差 $3\mu\text{m}$ 、 10mdeg
連続歩行(粗動)



経路誤差 $0.2\mu\text{m}$ 、 3mdeg
一步内精密位置決め(微動)

精密自走ロボット

複雑経路（並進動作）



経路誤差 $1\mu\text{m}$ 、 3mdeg
一歩内精密位置決め（微動）

Kusui et al, AISYS, 2026/1/30
6回の経路を重ねて表示

経路誤差 $7\mu\text{m}$ 、 10mdeg
連続歩行（粗動）

15

	経路誤差	計測範囲
現状	$1\sim 7\mu\text{m}$	$16\text{mm} \times 16\text{mm}$
本発明		$200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 以上

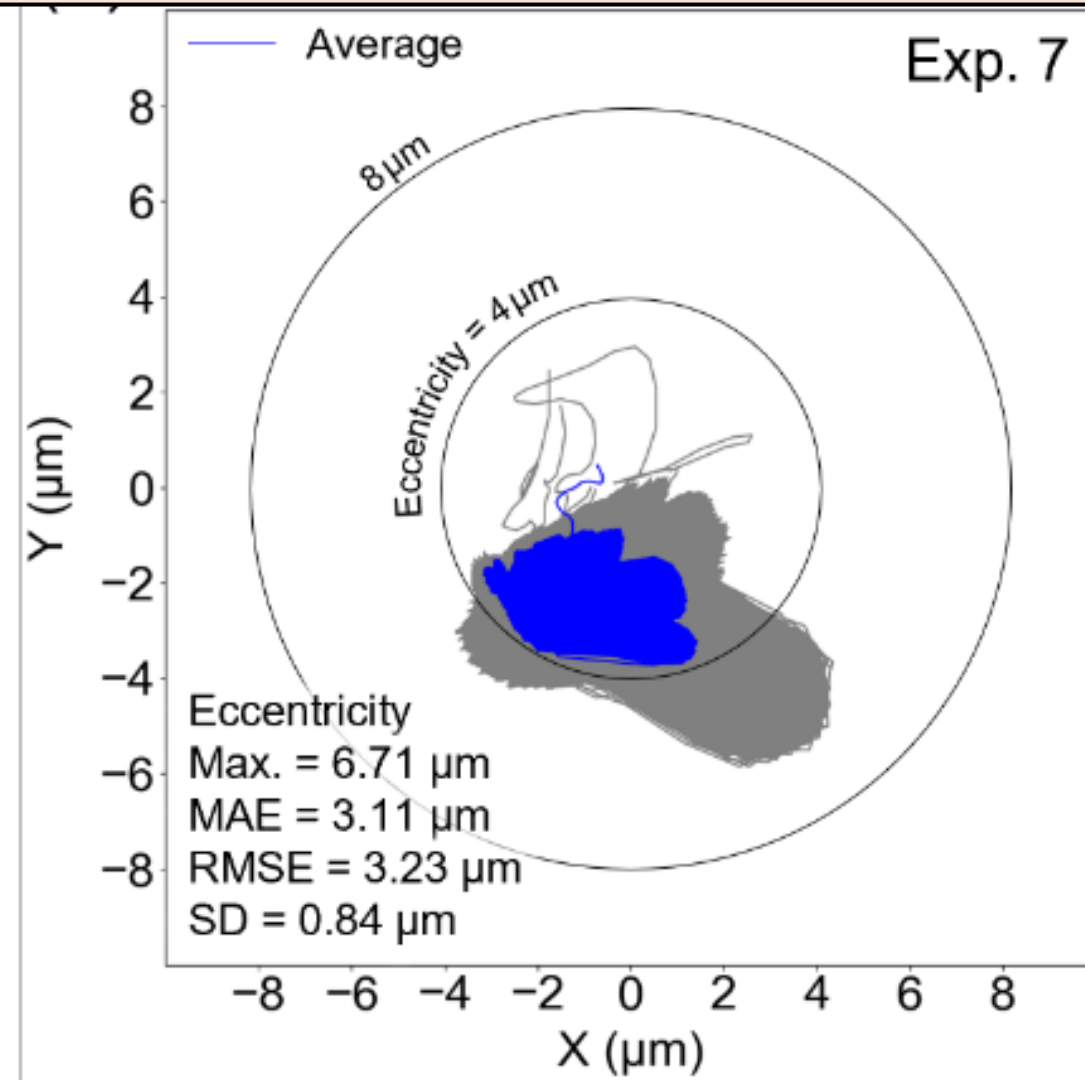
面積280
倍以上

ロボット技術を精度 $1\mu\text{m}$ の分野に普及させる技術（2026年1月, Q1誌, AISYS公表）

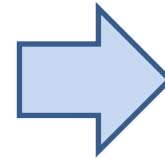
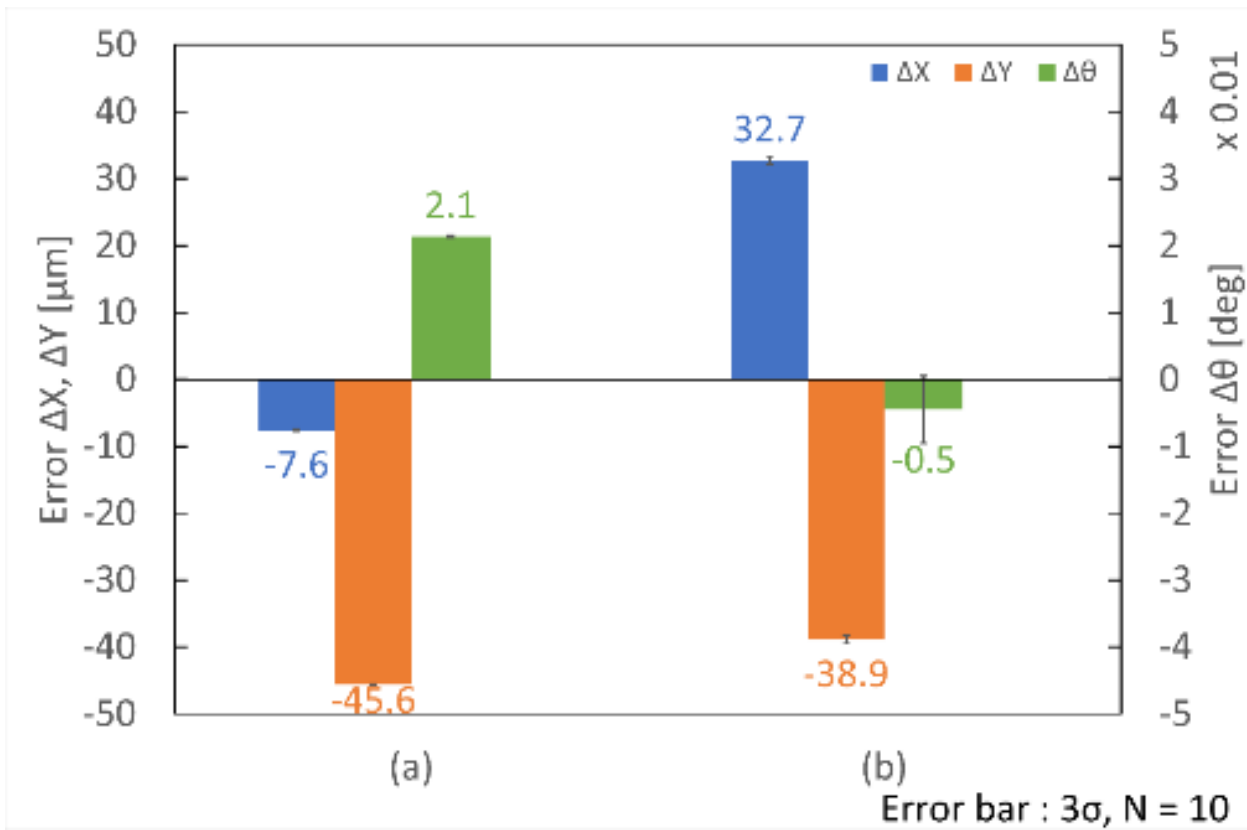
精密自走ロボット

精密回転（偏心：6 μ m/15度）

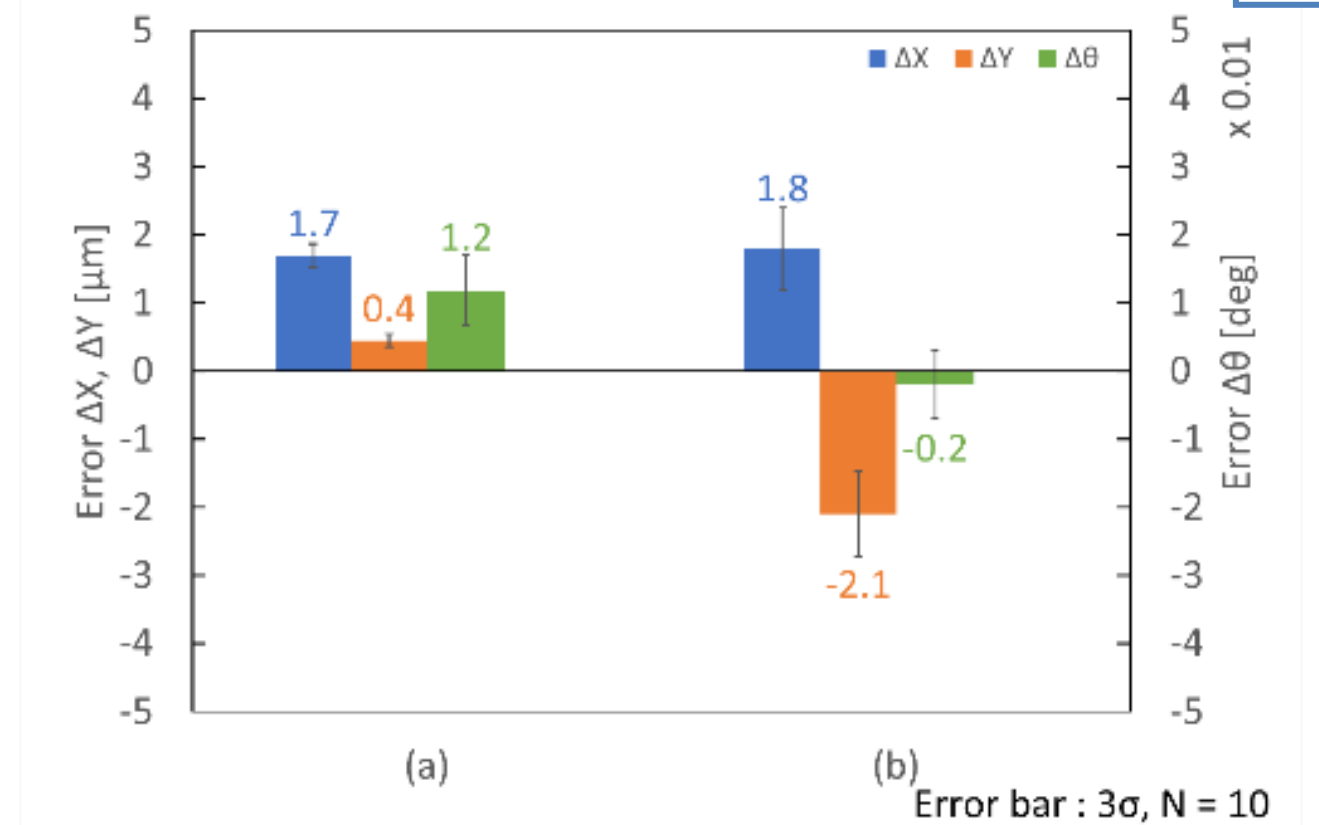
16



■ 実用化に向けた課題



$(X,Y,\theta)=(2\text{mm},-1\text{mm},10\text{deg})$ $(X,Y,\theta)=(4\text{mm},4\text{mm},5\text{deg})$



±360° 高精度化 小型化

■ 企業への期待・貢献・PRポイント

18

- ①XYθを同時計測できる
 - ②高速・高精度・広範囲
 - ③ロボットへ実装可能
-
- 高精度化・量産化に向けた共同研究を希望
 - 本格導入にあたっての共同研究・技術指導等も可能

社会実装への道筋

時期	開発項目	社会実装への取り組み
基礎研究	XYθサーフェスエンコーダ計測技術の理論・基礎実験	
現在	XYθ軸の計測範囲の拡大原理の知財化	国際ロボット展にて技術紹介
1年後	θ軸の計測範囲を±360度に拡大(分離スケール) XYθ精密自走ロボットの精密経路追従デモの実現	実証研究の推進 信号処理装置の小型化
3年後	校正法の確立	XYθ精密自走ロボットの 精密経路追従の デモンストレーション
5年後	スカラ型ロボットの手先の高精度化の実証試験	スカラ型ロボットの高精度計測の デモンストレーション

まとめ

- ・ロボット技術を μm 精度領域へ拡張する基盤計測技術
- ・広範囲・高速・多軸計測を低コストで実現
- ・ロボット・精密機械・半導体分野への応用を展開

本技術に関する知的財産権

21

- 発明の名称 : サーフェスエンコーダ
- 出願番号 : 特願2025-090922
- 出願人 : 横浜国立大学
- 発明者 : 刈脇大海、関口翔玄、後藤大毅、関根千裕

- 発明の名称 : 自走機構
- 出願番号 : 特願2025-244255
- 出願人 : 横浜国立大学
- 発明者 : 刈脇大海、石丸清梧、草間弾、桜井優恭

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 自走機構
- 出願番号 : 特願2026-092445
- 出願人 : 横浜国立大学
- 発明者 : 刈脇大海、大石悠人、後藤大毅、石丸清梧

産学連携の経歴

23

2021年-2024年 S社と共同研究実施

お問い合わせ先

24

横浜国立大学
研究推進機構 産学官連携推進部門
産学官連携支援室

T E L 045-339-4450

e-mail sangaku-cd@ynu.ac.jp