



小間 W1-09

代表 湊脇 大海



所属 横浜国立大学



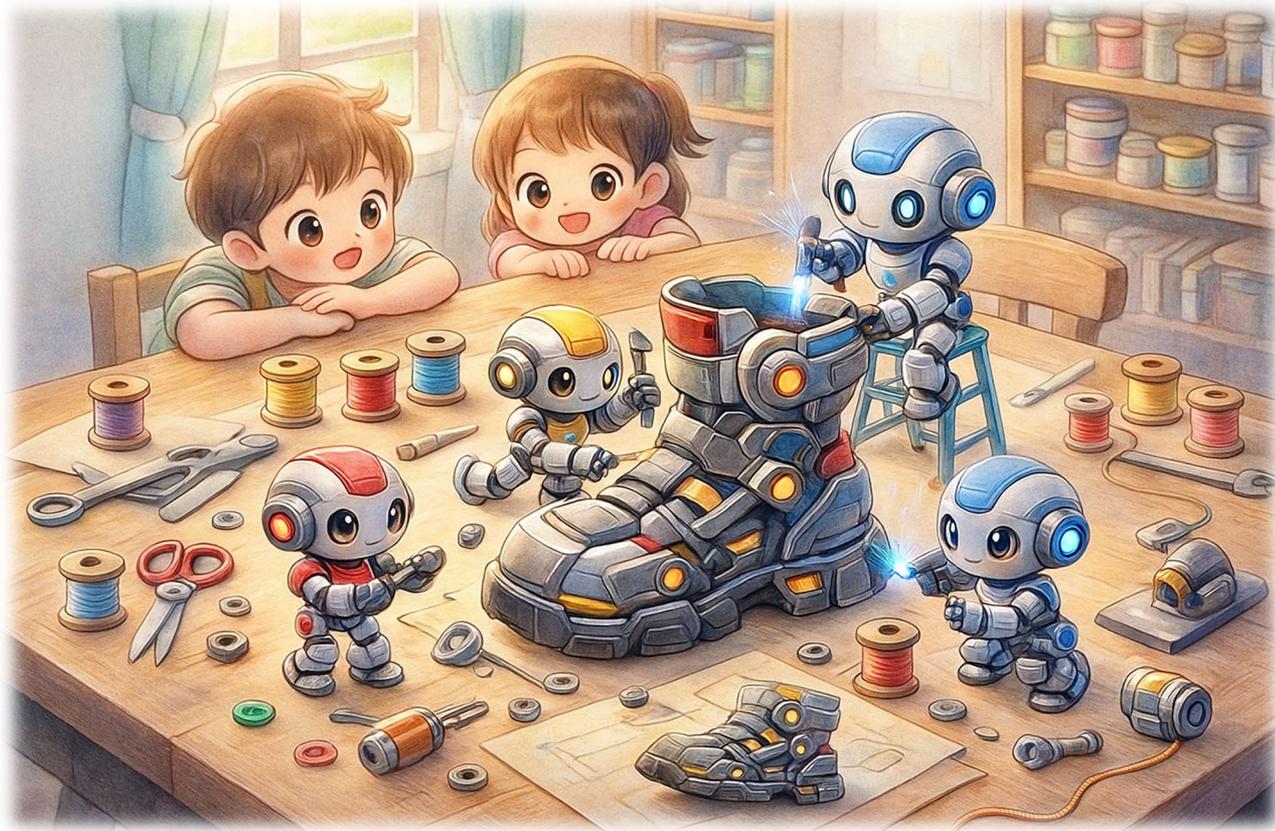
展示 12月3日(水)～12月6日(土)

セミナー 12月6日(土) 11時30分～12時10分
会場A (西4ホール)

題目 精密かつ柔軟な作業を実現する
超軽量ホロノミック自走ロボット



現代の小人の靴屋（モチベーション）



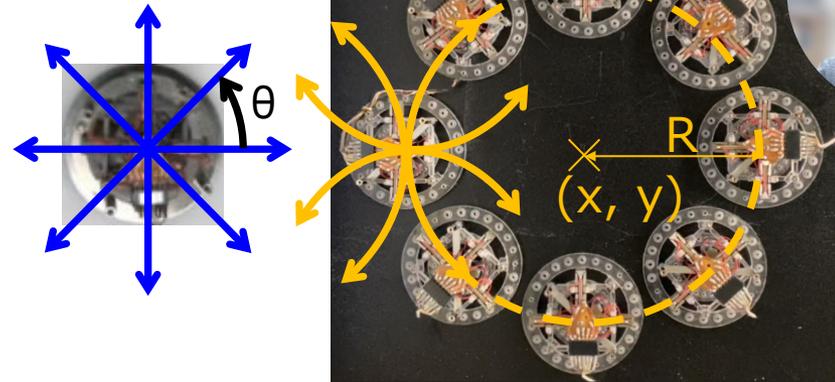
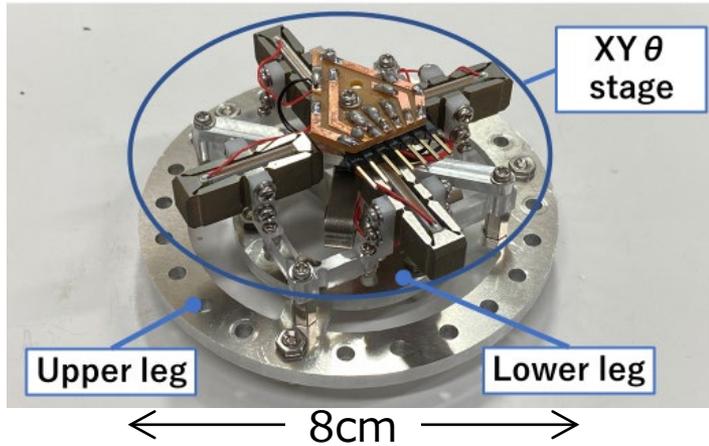
机の上で複雑かつ精密な自律作業を行う
「小さなロボット」を創出

精密 × 小型 × 多軸

⇒ 機構 × 計測 × 制御

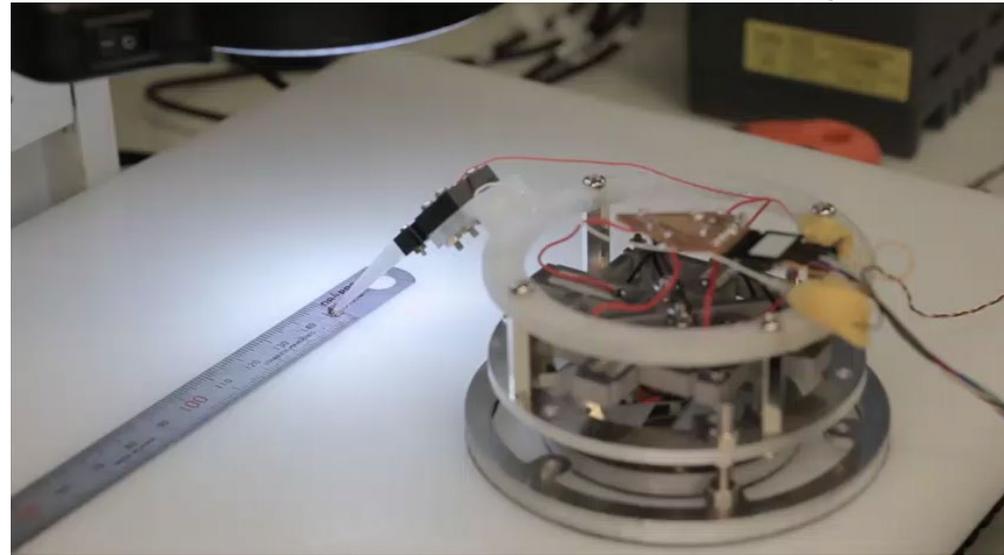
精密自走ロボット

ホロノミックロボット×精密ステージ



参考：Suzuki, 2024, Adv. Intell. Syst.

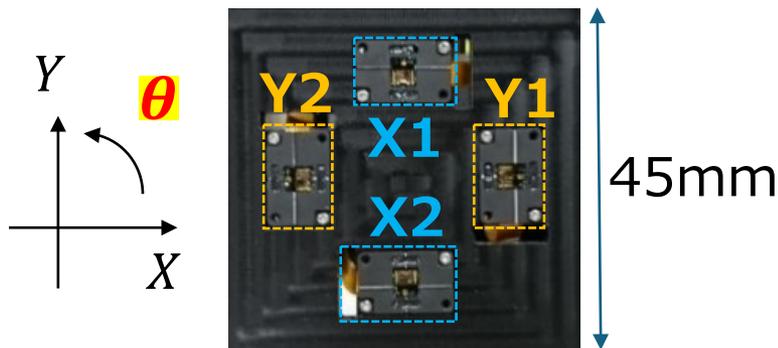
- 小型：8cm
 - 軽量：0.1kg
 - 耐荷重：1kg
 - 分解能：10nm
 - 全方向移動
 - 任意軸回転
- 10倍



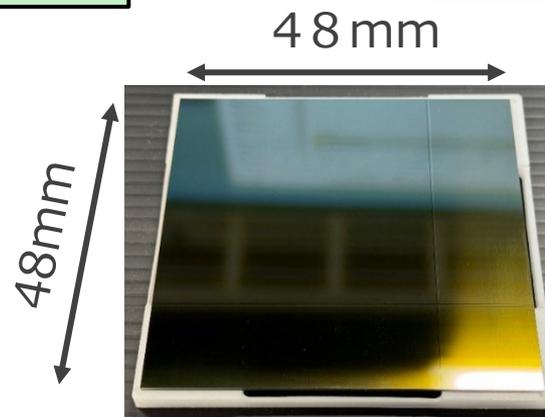
機構の代表例として、精密自走ロボットを紹介します。カブトムシと同程度のサイズ8cm・重量0.1kgであり、自重の10倍の1kgの荷物を運ぶことができます。位置決め分解能は10nmであり、フィードバック制御なしでも、この動画のように再現性の高い動作を実現できます。全方向移動、任意軸回転を実現できるため、ホロノミックロボットと、精密ステージの特長を併せ持つロボットです。

XY θ サーフェスエンコーダ

特許申請中



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

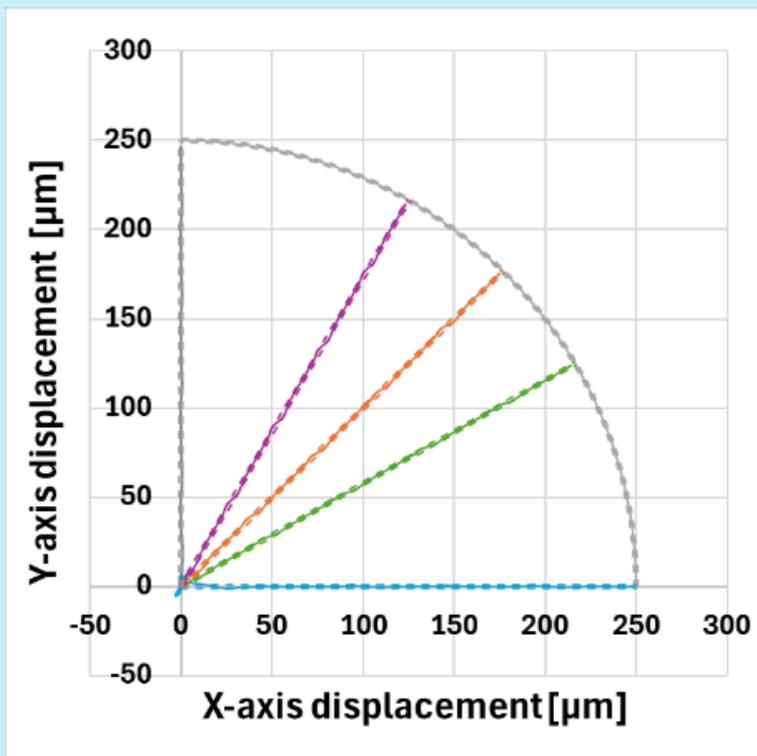
分解能 : X (Y), θ	0.05 μ m, 0.3 mdeg
範囲 : X \times Y, θ	16 x 16 mm, ± 20 deg
不確かさ (3σ) : X(Y), θ	± 0.3 μ m, ± 1.8 mdeg
計測周期	0.1 μ s

参考 : Tanabe, 2023, Micromachines

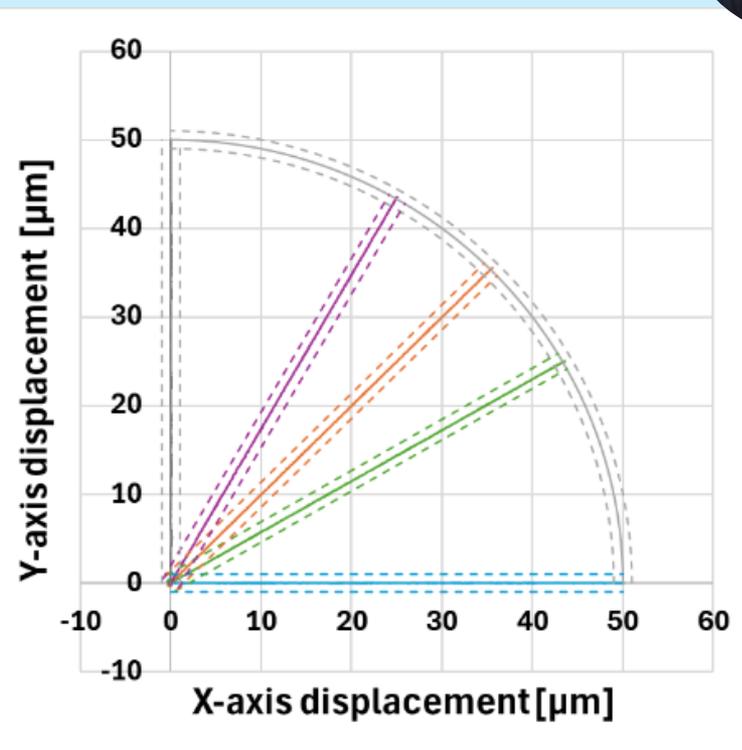
- 小型
- 広範囲
- 高精度
- 高速

精密自走ロボットの変位を「計測」する技術として、XY θ サーフェスエンコーダ、について説明します。4つのエンコーダと一体型の2次元スケールの相対変位を計測する事で、XY θ 軸を同時に計測出来ます。計測分解能 : 0.05 μ m、0.3mdeg ・ 計測範囲 : 12mm x 12mm, ± 20 deg ・ 計測周期 : 0.1 μ sが主な性能となります。このXY θ サーフェスエンコーダにより、自走ロボットの広範囲、高精度、高速な計測が可能となりました。現在は、計測範囲の拡大と計測値の高精度化に取り組んでいます。

直進経路の追従制御



経路誤差 $7\mu\text{m}$ 、 10mdeg
連続歩行(粗動)

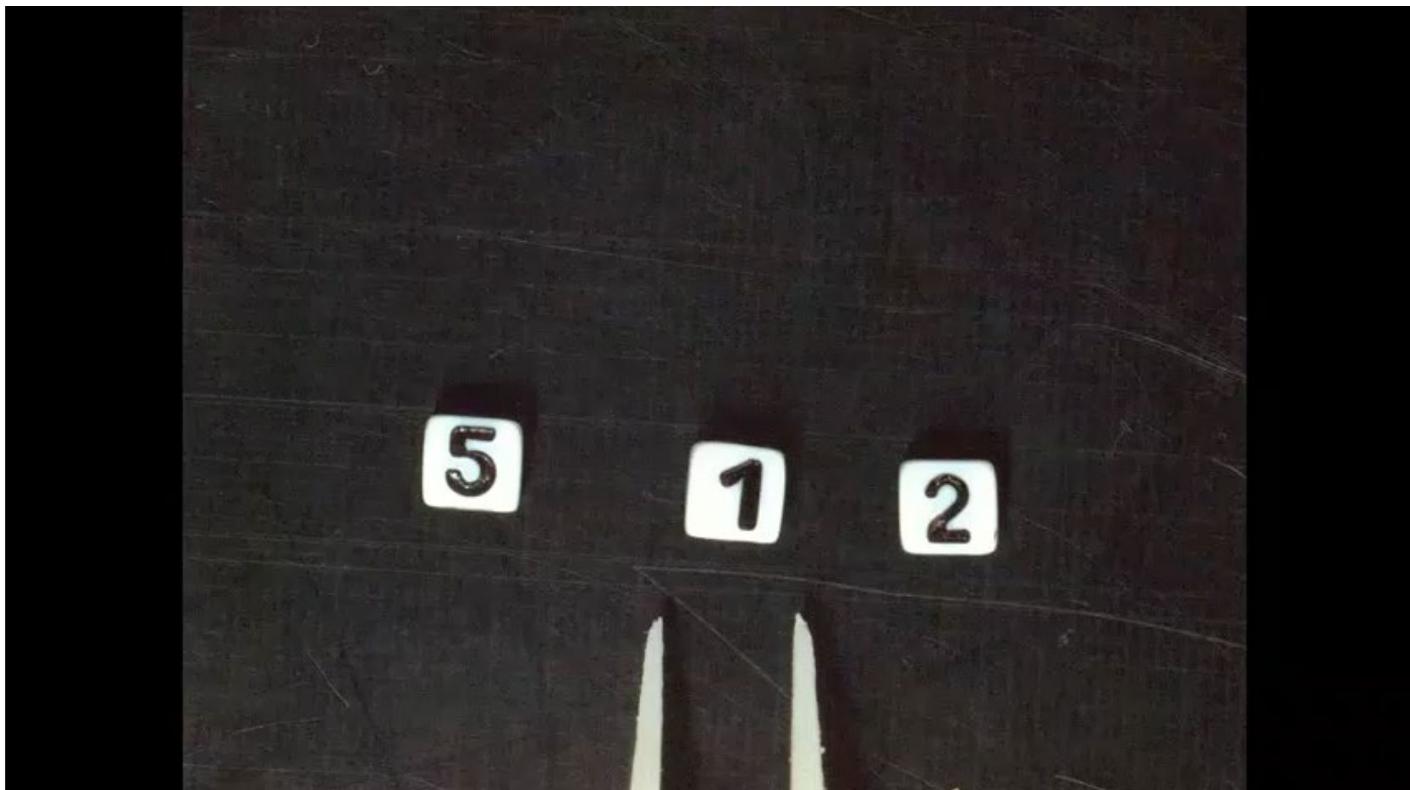


経路誤差 $1\mu\text{m}$ 、 3mdeg
一步内精密位置決め(微動)

楠井, 後藤 他, ROBOMECH2025, 6/6

精密自走ロボットの変位を、 $XY\theta$ サーフェスエンコーダにより計測し、FPGAにより高速なPID制御を実装する事で、 $\text{cm}\sim 0.1\mu\text{m}$ までのマルチレンジでの精密経路追従が可能となりました。
例として、直進経路の追従制御の際の XY 軌道をお示しします。粗動モードである「連続歩行」では、経路誤差 $7\mu\text{m}$ 、 10mdeg 、微動モードである「一步内精密位置決め」では、経路誤差 $1\mu\text{m}$ 、 3mdeg を維持しながら直進経路上を追従できます。最終到達点の計測値との偏差は、サブ μm オーダーとなります。
現在は、広範囲、複雑経路、 θ 軸可変の条件での追従制御の研究を進めています。

微小物の自動認識+ピック&プレース



自走ロボットによる精密マニピュレーションの自動化

(AISys, IF=7.4) BSフジ, ガリレオX, 2024年4月28日, 朝8時28分~9時00分,

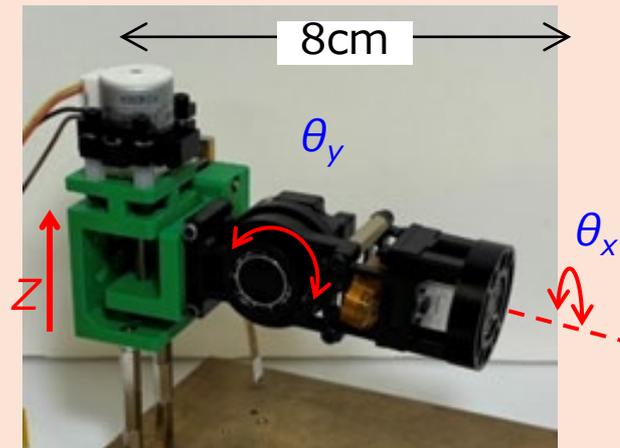
「小さなロボットが拓く世界 極小ロボットが秘める可能性」

参考: Suzuki, 2024, Adv. Intell. Syst.
Kinoshita, 2024, Adv. Intell. Syst

このロボットに精密ピンセットを搭載して、機械学習とビジュアルフィードバック制御を適用する事で、微小物の自動認識・自動ピック&プレース作業に成功しました。

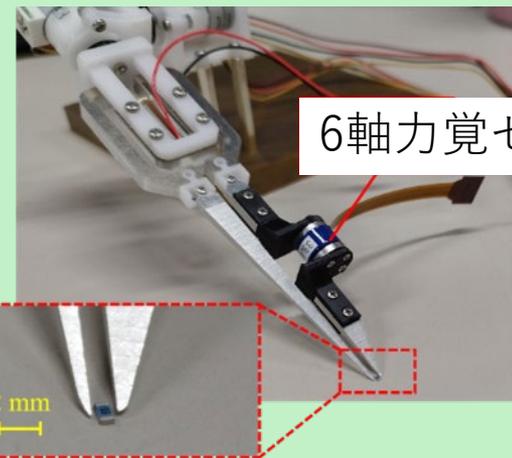
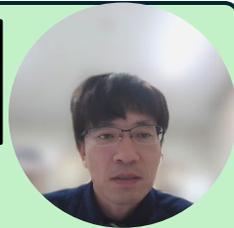
この動画のように、数字の自動認識と整列、色の認識と挿入、任意軸の回転機能を生かした扇形配列、側面カメラを用いたチップ部品の積上げ等の自動化を実現しました。現在、作業速度の向上に取り組んでおります。

超小型ロボットアーム



ねじ締め
多軸操作

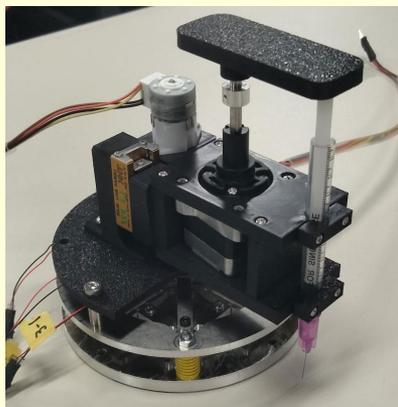
6軸力覚グリッパ



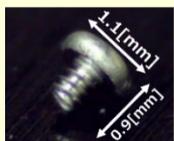
6軸力覚センサ

柔軟物
繊細な把持

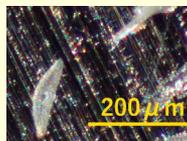
液架橋カグリッパ



極細コイル



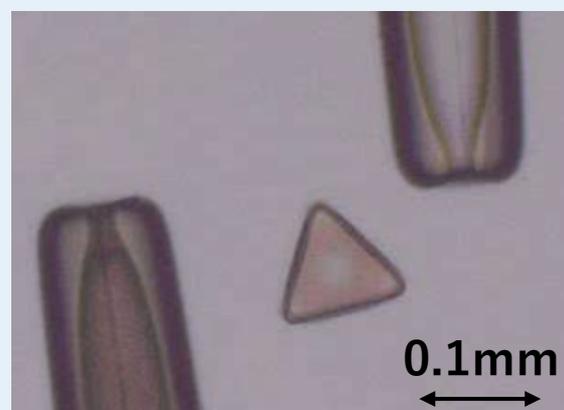
精密ねじ



微化石

複雑・微小物

液中マニピュレータ



細胞
微生物
多軸操作

先ほどの動画の精密ピンセットの他、ネジ締め等の多軸操作の「超小型ロボットアーム」、挿入、押込み、柔軟物の把持等の繊細な作業用の「6軸力覚グリッパ」、極細コイル、精密ねじ、微化石等の複雑微小物用の「液架橋カグリッパ」、液中での細胞・微生物の多軸操作の「液中マニピュレータ」等、様々なツールを開発しています。

機械学習による自律作業



小型軽量

顕微カメラ

多軸精密

高精度

小型ロボットアーム

手先カメラ

XYθ変位センサ

精密自走
ロボット

保護フィルム

二次元スケール

← 30cm →

⇒机・チャンバー・隙間・顕微鏡

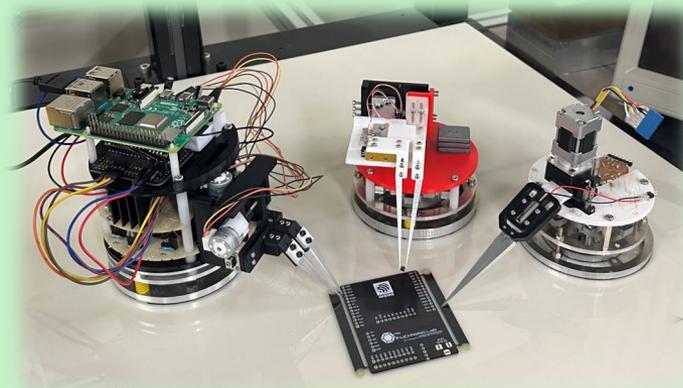
⇒生物,医療,電子,半導体,精密機械, Factory・Labオートメーション

現在は、これまで蓄積した機構・計測・制御を組み合わせた、機械学習による3台の精密自走ロボットによる超軽量ロボットファクトリを構築しています。机、各種チャンバー、機器の隙間、顕微鏡のステージ上などの、狭い場所にて、生物、医療、電子、半導体、精密機械、ファクトリーオートメーション、ラボラトリーオートメーションへの応用を目指して鋭意開発中です。

コンセプト



超軽量ロボットファクトリ



微小部品

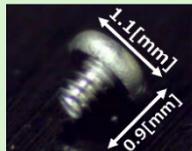


3cm

回路実装

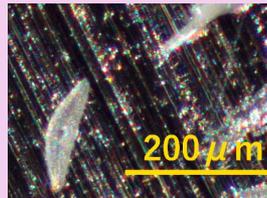


精密機械

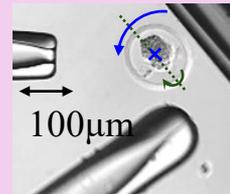


精密ねじ

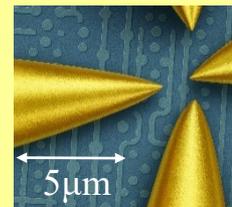
珪藻



細胞操作



精密プロービング



機械学習によるマルチスケールでの精密作業の自動化

- ① c mの微小部品の配置
- ② mmの精密部品の組立 (精密ねじ締め、押込み、挿入)
- ③ 0.1mmの珪藻・細胞 (大気中・液中)
- ④ μmオーダーの半導体ウェハのプロービング (大気中・真空)

最後に本発表のサマリをお示しします。本研究室では、超軽量ロボットファクトリの構築のために、精密・小型・多軸化のための、機構・計測・制御の基盤技術を確立してきました。精密自走ロボットは、10cm~10nmのマルチスケールでの広い作業範囲を持ち、机、チャンバー等の狭い場所にて、多軸精密作業を機械学習により自動化する事が出来ます。本技術の現場への適用に御興味のある方は、ご来場及びご連絡お待ちしております。

ご清聴ありがとうございました。



研究室ホームページ
<http://www.fuchilab.ynu.ac.jp>



アンケートに御協力ください。
<https://forms.office.com/r/P0dhPjPV6F>



本研究は以下の研究助成の支援を受けております(2025年度実績)。研究室一同感謝申し上げます。

公益財団法人 三菱財団
THE MITSUBISHI FOUNDATION

 公益財団法人
高橋産業経済研究財団

公益財団法人 NSKメカトロニクス技術高度化財団

公益財団法人
津川モーター研究財団

 一般財団法人 中西奨学会
Nakanishi Scholarship foundation

 公益財団法人スズキ財団
SUZUKI FOUNDATION

 MAST
Mitsuyo Association for Science and Technology

 KEIRIN