

協働ロボットを用いた省力化検証について ～バリ取り作業～

福島県ハイテックプラザ 電子・機械技術部
ロボット・制御科

専門研究員 安藤 久人

○ 研究員 松本 聖可

研究員 根本 大輝

1. ハイテクプラザの紹介

2. 研究背景・目的

3. 実験(方法・結果)

実験1. バリ取り条件の検証

実験2. 画像処理とロボットの連携

実験3. AIによる人認識とロボットの安全制御

4. 考察・まとめ・今後の展望

組織改編による機能強化

◎郡山本部の機能を強化。福島、いわき方面への支援はもとより、県内企業の支援を一層充実化。

(※全職員数88名、うち技術者81名【R5.4.1】)

職員数88名うち技術者81名【R5.4.1】

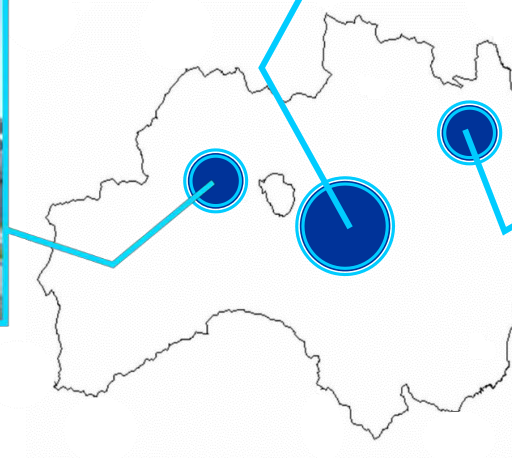
郡山本部(59名)

- ・総務、企画、産学連携、総合窓口
- ・材料分析（金属・繊維など）
放射能測定、先導的研究
- ・機械・金属加工、精密測定、電子計測



**会津若松技術支援センター
(19名)**

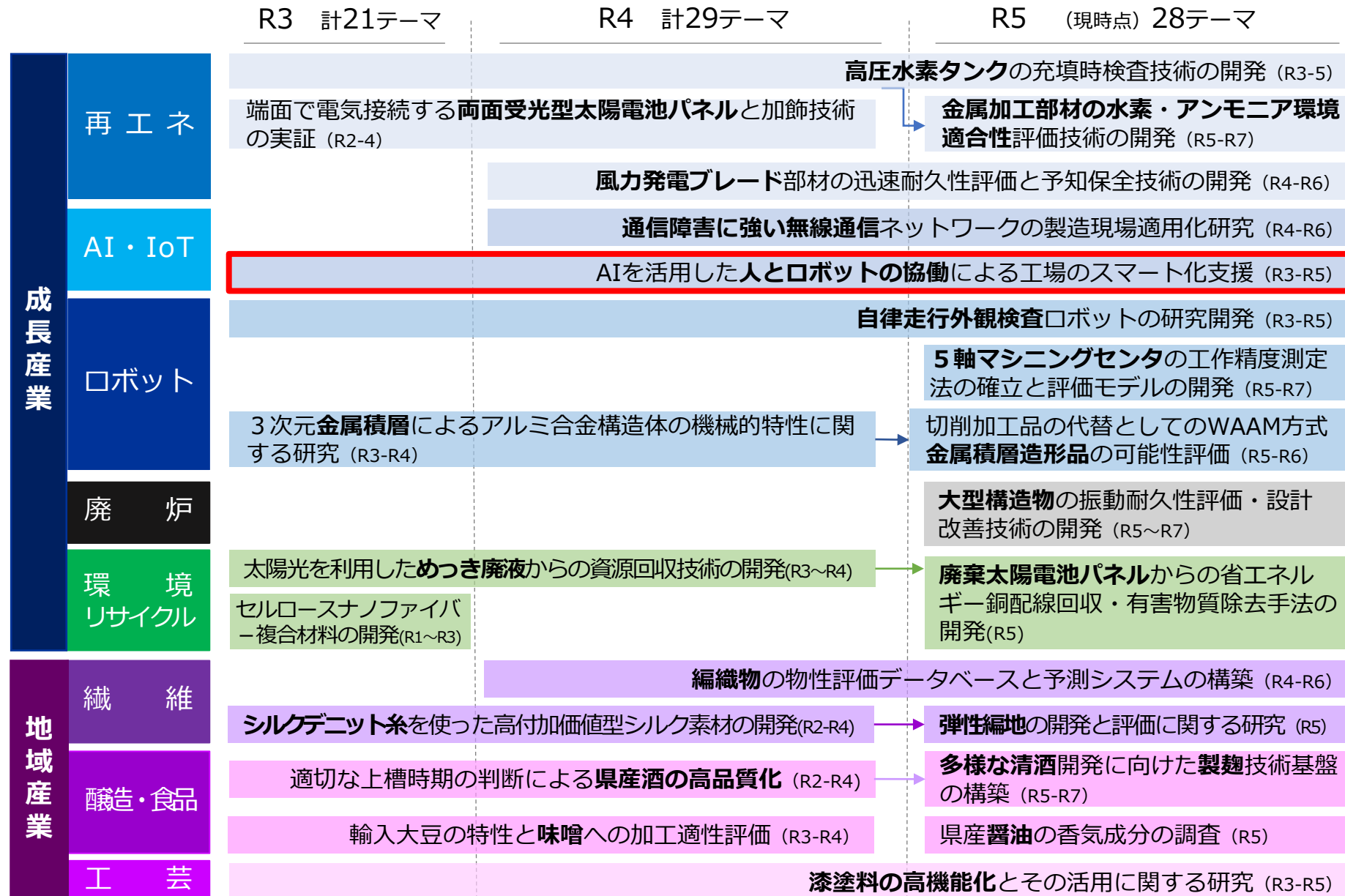
- ・醸造分野、食品加工
- ・漆器、木工加工 窯業、デザイン



南相馬技術支援センター(10名)

- ・ロボット ・機械加工、精密測定
(福島ロボットテストフィールド内)
令和元年7月1日設置

ハイテクプラザの研究開発



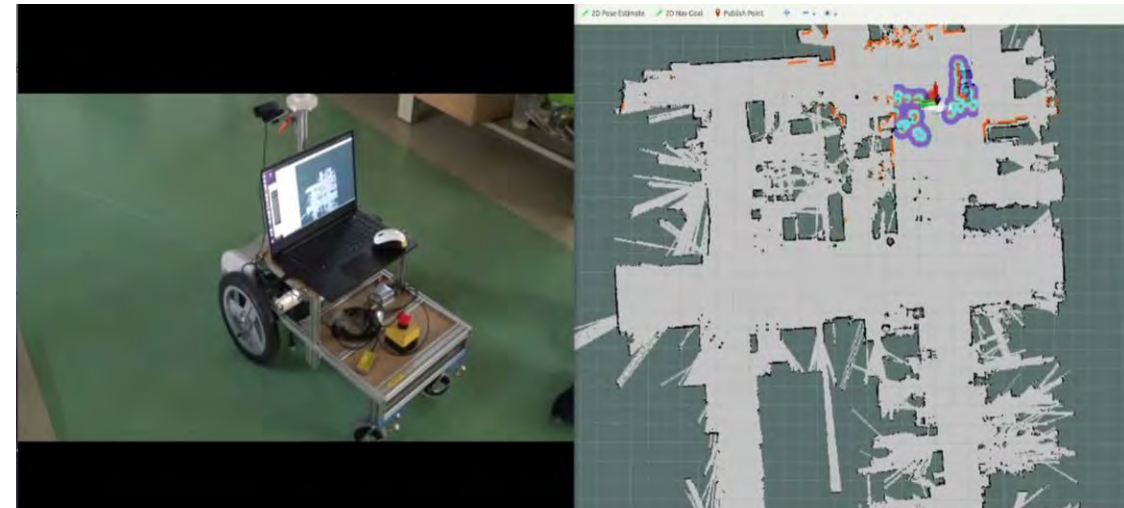
ハイテクプラザの研究開発（ロボット、AI・IoT関連一部抜粋）

■ 自律走行外観検査ロボットの研究開発（R3～5）

インフラ等の点検箇所へ自律的にアプローチ可能で、各種センサーによる外観検査および異音検出をする点検ロボットの開発。

■ ロボットビジョン技術活用事業 （R3～5 南相馬技術支援センター）

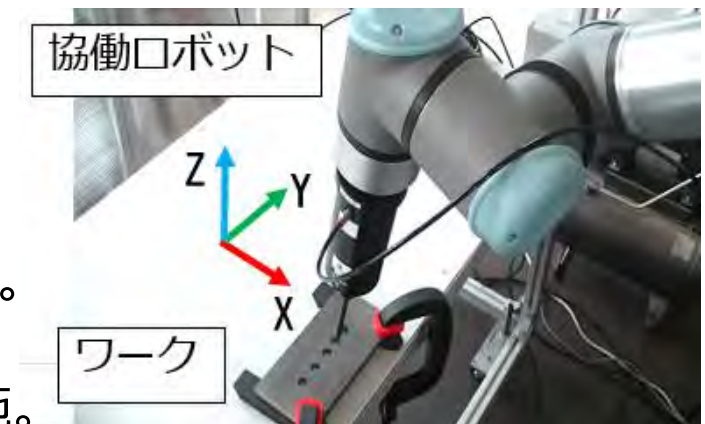
三次元構造の復元や物体検出などの技術に、中小企業が取り組みやすい環境を構築。



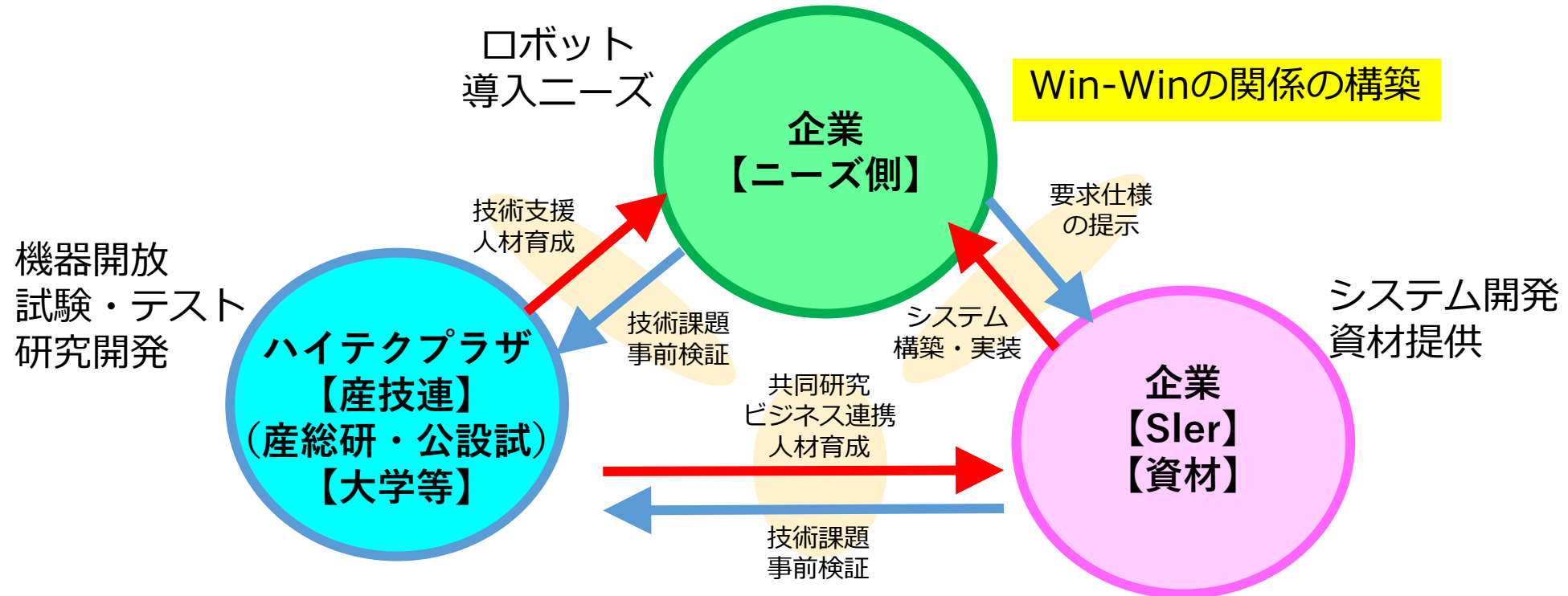
自律走行実験の様子

■ AIを活用した人とロボットの協働による 工場のスマート化支援（R3～5）

- ロボット導入効果を検証できる独自のロボットテスト環境「ロボット・テストベッド」を構築し、企業のAI・IoT導入の取組をサポート。
- 企業の工程に応じたロボット制御実験、工具選定、治具の試作を実施。



ふくしまAI・IoT技術研究会



- ・ **ロボット・テストベッドを構築し、県内企業の工場のスマート化を支援する。**
- ・ **セミナー開催や現場技術者向けの研修事業により、社内人材の育成を支援。**
- ・ **ロボット導入ニーズを有する企業とシステム開発企業等との連携を強化する。**

ロボットテストベッドの概要

1. ハイテクプラザの紹介

@ハイテクプラザ実験棟



産業用ロボット
RV-20F-D, 三菱電機 (株)

協働ロボット
UR10e, ユニバーサルロボット社

ロボット・テストベッドで出来ること

1. 動作検証（ユーザー側）

- ・ 社内のこの作業を自動化したいので試してみたい。
- ・ 社内で生産しているものの色や形状が認識できるか試してみたい。
- ・ 導入後に社員が使いこなせそうか試しに使いたい。

2. 動作検証（システム開発側）

- ・ 協働ロボットやロボットビジョンを使ってみたい。
- ・ 社内人材の技術研修に活用したい。
- ・ ROSなどを勉強してみたい。

3. 自社製品のテスト（資材、メーカー側）

- ・ 自社で開発したハンドをテストしたい。
- ・ ロボット導入に不可欠な治具、資材等をテストしたい。



協働ロボットによるバリ取り (令和3度~4年度実施)

企業ニーズ 鉄板に開けたドリル貫通穴のバリ取りを自動化したい。

目的

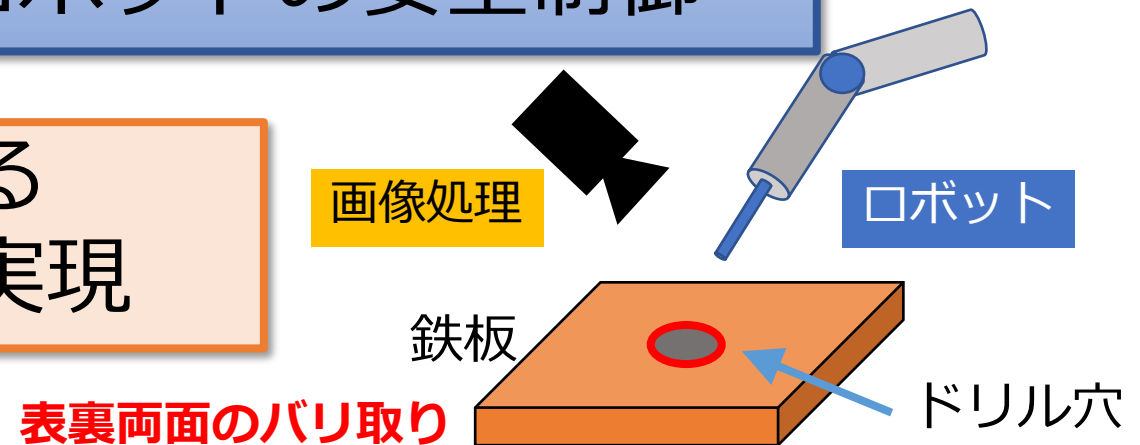
鉄板にあけたドリル貫通穴のバリ取り作業の省力化を図る

課題

1. ロボットによるバリ取り条件
2. 画像処理による穴認識とロボットの連携
3. AIによる人認識とロボットの安全制御

目標

画像処理との連携によるバリ取り作業自動化の実現



実験 1. (1) . ロボットによるバリ取り条件の検証

～工具、制御手法の選定編～

※実験の目的：ロボットによるバリ取りに適した工具、制御手法を選定する。

実験条件 協働ロボット UR10e (ユニバーサルロボット製)

バリ取りアクチュエータ

実験ワーク

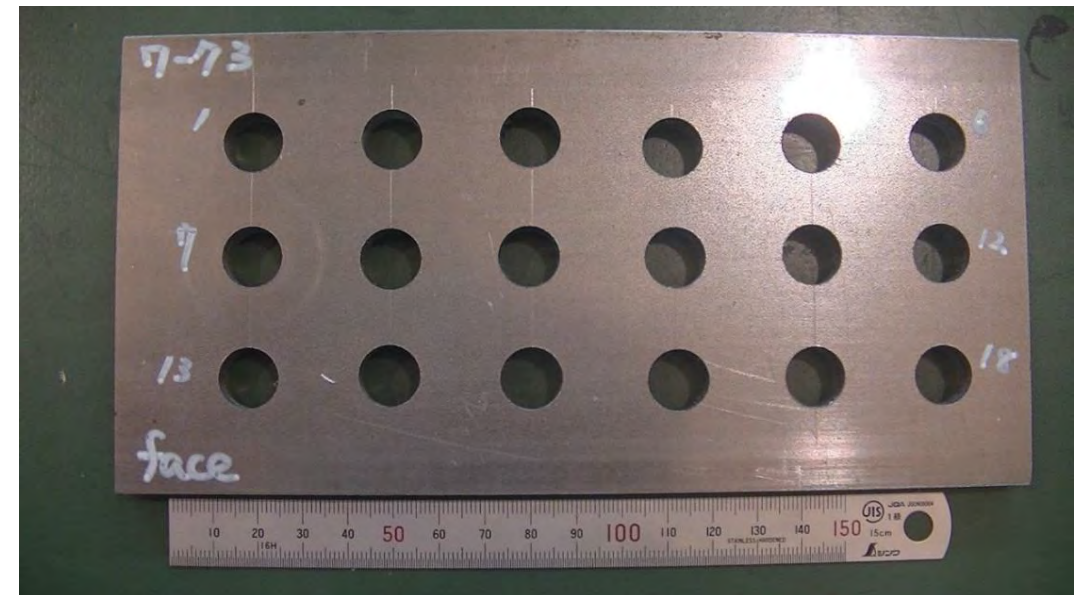


ブレード式



スピンドル式

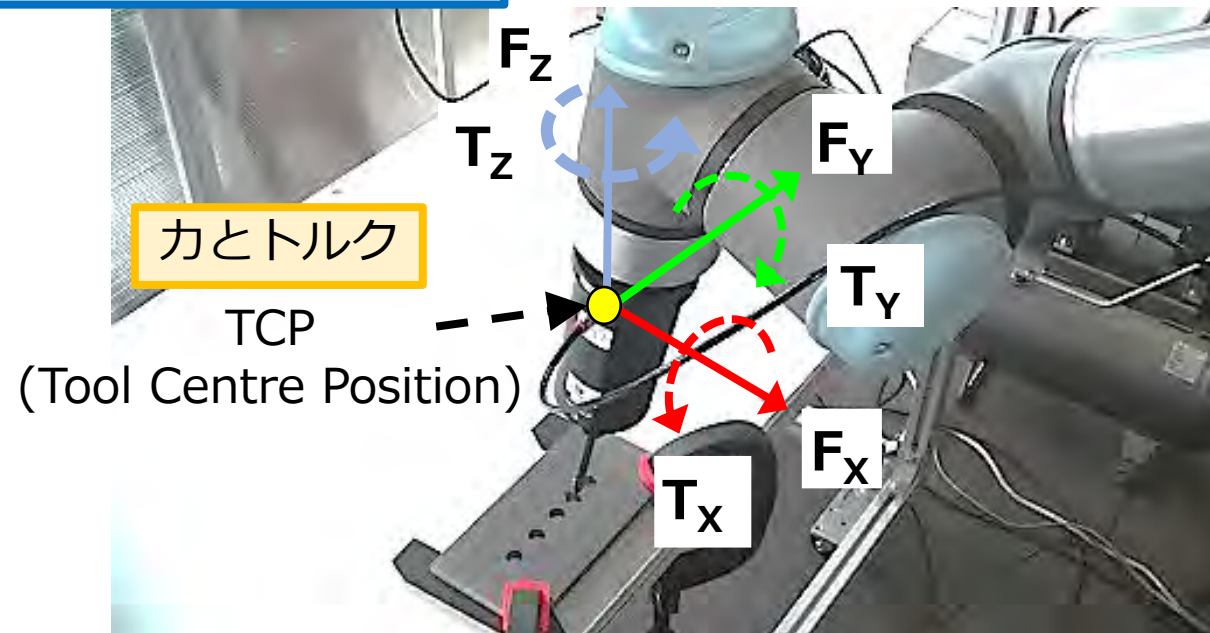
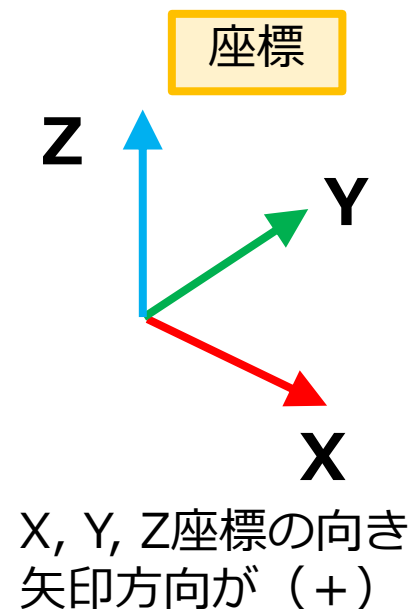
- ・鉄板 SS400 (100×200×t10mm)
- ・穴径 13mm (ドリル キリ穴)



評価項目

- (1) バリ取り後の外観 (目視・工具顕微鏡)
- (2) バリ取り前後の断面形状 (輪郭形状測定器)
- (3) バリ取り作業時のロボットアーム先端に加わる負荷力とトルク

座標、及び力とトルクの向き



ロボットアーム先端に作用する
 F_x, F_y, F_z : 負荷力
 T_x, T_y, T_z : トルク
 矢印方向が (+)

結果 1. (1) . 評価項目 (1) (2)

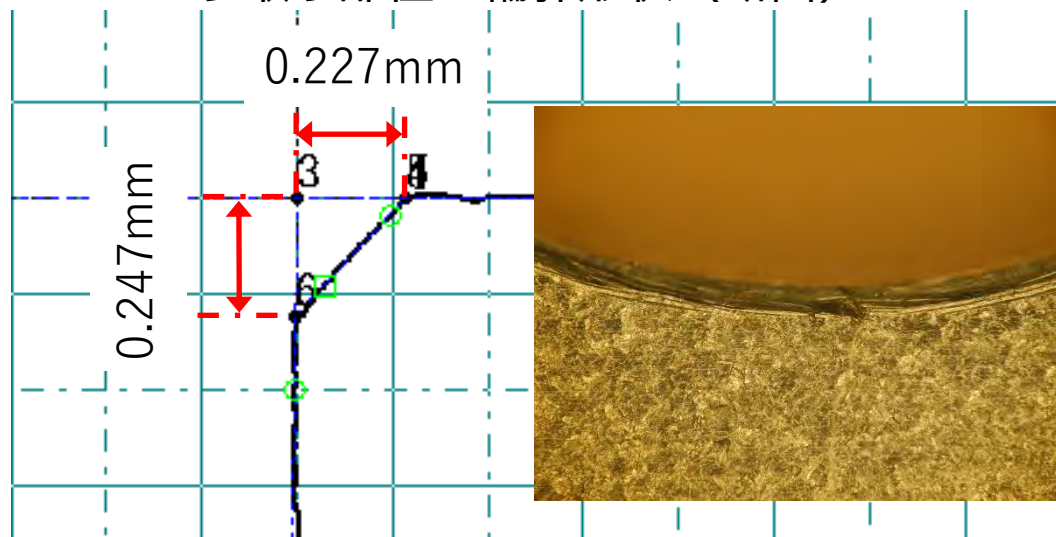
ブレード式

バリ取り前

バリ取り後



バリ取り部位の輪郭形状 (断面)

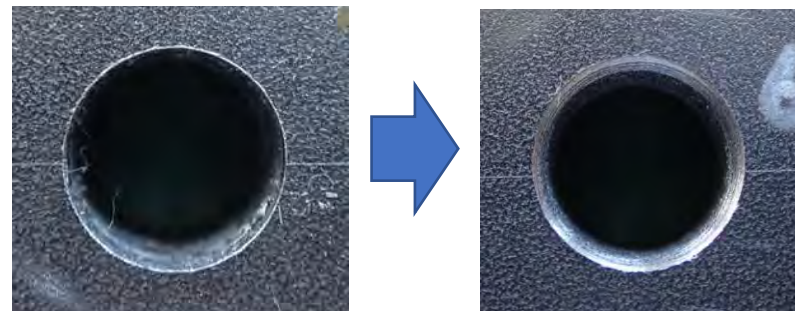


- ・押し付け力のパラメータ設定が課題
- ・工具の送りを遅くすると穴に落下
- ・複数回工具を回す必要あり
(加工時間長い)

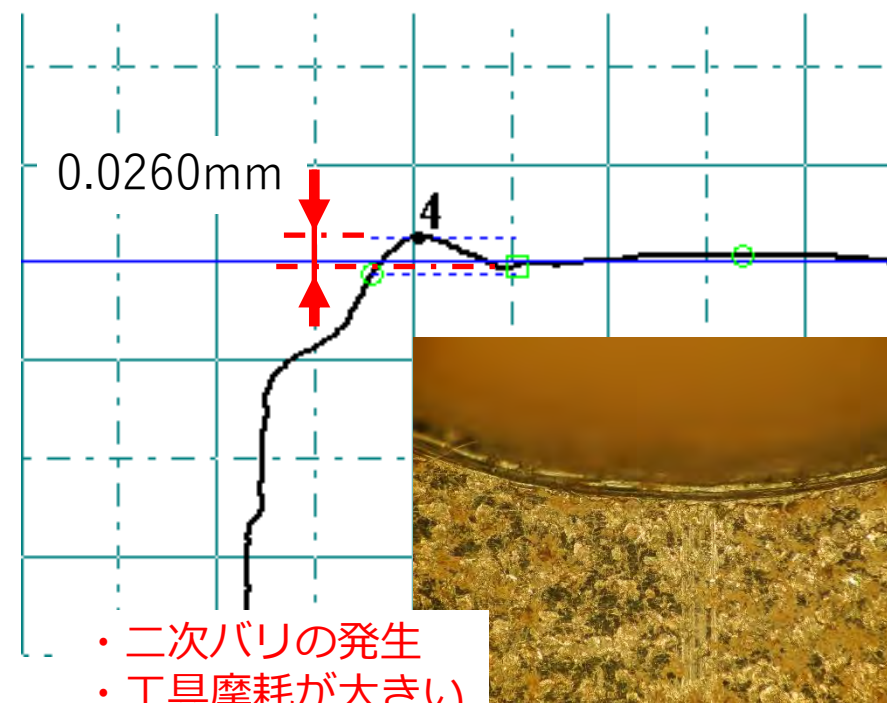
スピンドル+軸付き砥石

バリ取り前

バリ取り後



バリ取り部位の輪郭形状 (断面)



- ・二次バリの発生
- ・工具摩耗が大きい

スピンドル+切削式工具

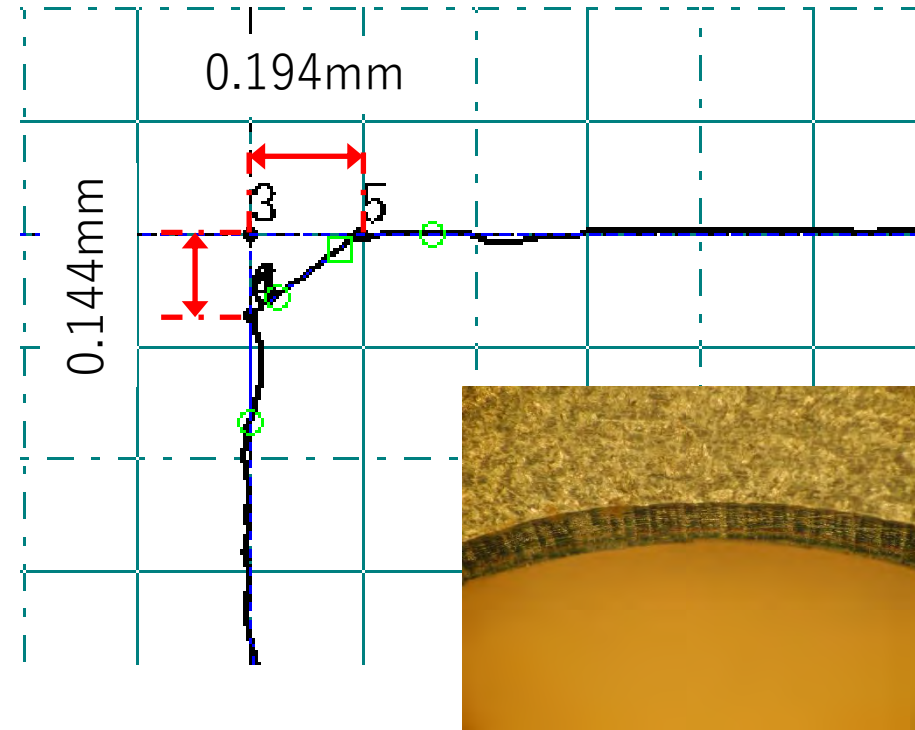
バリ取り前



バリ取り後



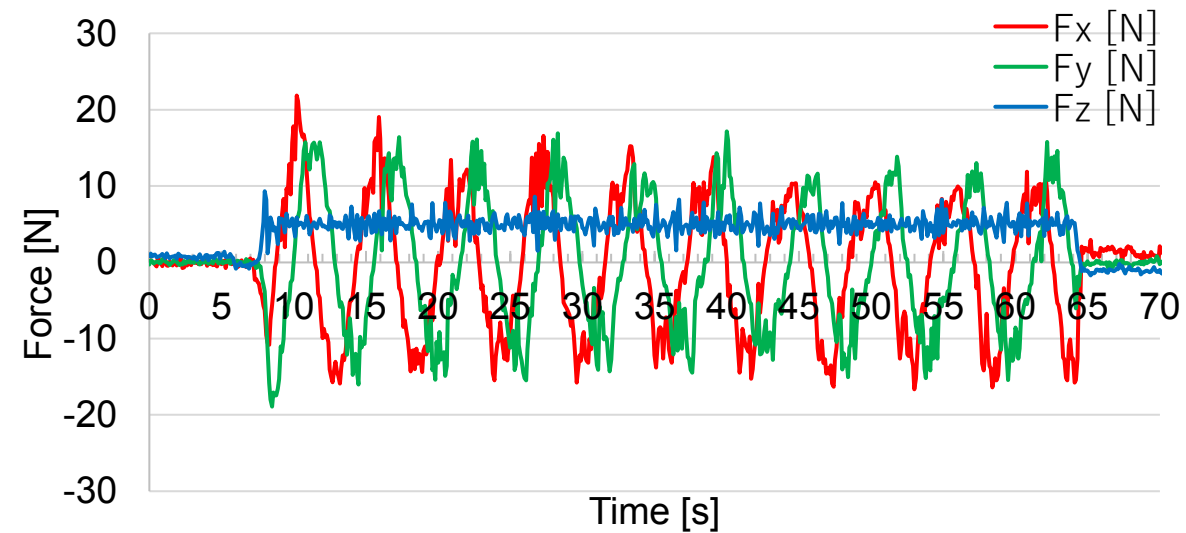
バリ取り部位の輪郭形状 (断面)



- 負荷が小さい
- 工具摩耗が小さい

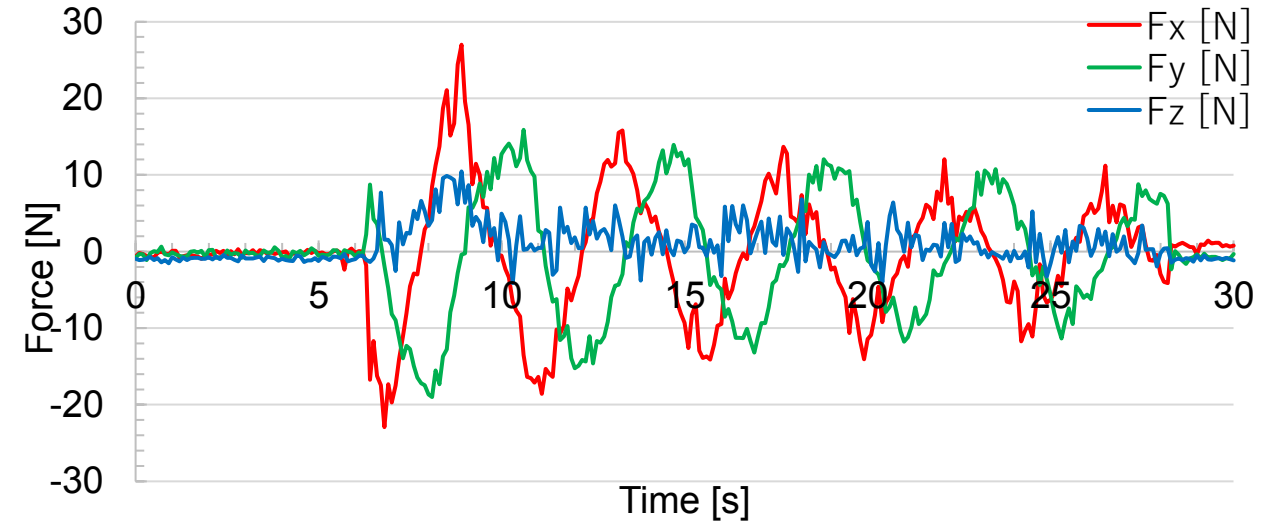
結果 1. (1) .評価項目 (3)

力制御 ブレード式

 $F_z=5\text{N}$, $K=1.0$, $C=0$, 工具送り15mm/s

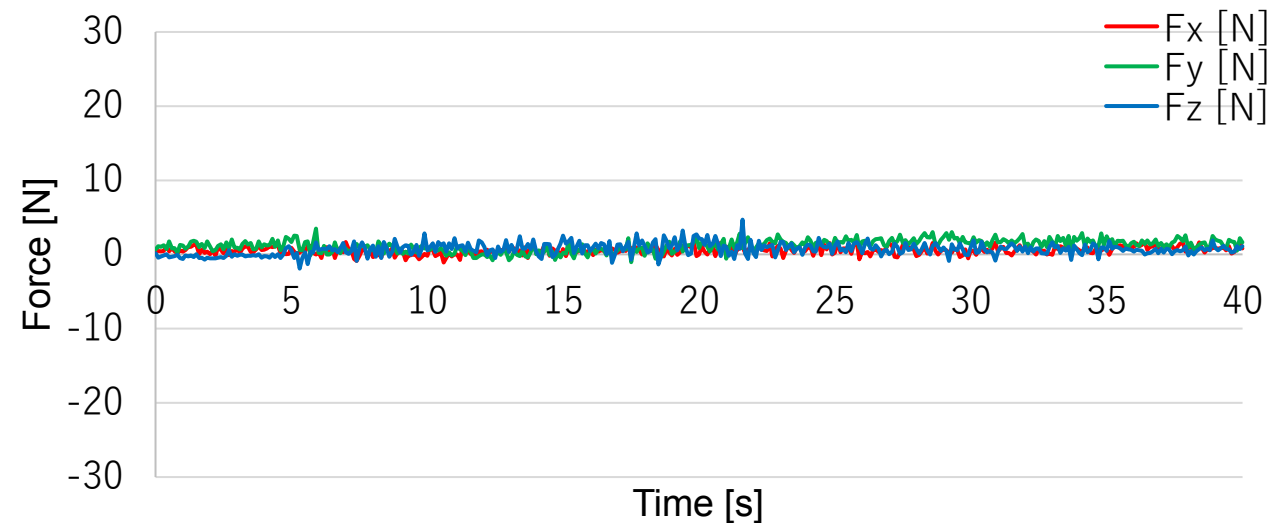
位置制御 スピンドル+軸付き砥石

工具回転数12,000rpm, 工具送り5mm/s








位置制御 スピンドル+切削式工具

工具回転数10,000rpm, 工具送り1mm/s



結果 1. (1) .まとめ

協働ロボットによるバリ取り実験結果 (工具、制御手法選定)

項目 工具種類	工具形状	位置制御	力制御	時間[s]	課題など	
ブレード式		▲	○	58.4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工具を食い込ませるため傷が付く ・ 複数回工具を回す必要あり (加工時間長) ・ 刃先が自由に回転し、刃の向きが変化する (画像処理と連携しにくい) 	
スピンドル式	軸付き砥石 (円錐型)		▲	×	22.5	力制御時 <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次バリの発生 ・ 加工時に火花 (加工抵抗が大きい?) ・ 砥石が摩耗する ・ 負荷が大きい (60N)
	軸付き砥石 (先端R型)		▲	×	27.5	力制御時 <ul style="list-style-type: none"> ・ 二次バリの発生 ・ 砥石が摩耗する ・ 負荷が大きい (50N)
	弾性軸付き砥石		×	×	27.5	<ul style="list-style-type: none"> ・ 弾性軸がたわむため、加工量が小さい
切削式工具		○	×	27.5	<ul style="list-style-type: none"> ・ 位置制御時の負荷が小さい ・ 力制御時、工具の切削性が高くワークを加工してしまう。 	

実験 1.(2). ロボットによるバリ取り条件の検証

～工具の送り速度検証編～

実験の目的：工具の送り速度による仕上がりの違いを評価し、加工時間を短縮する。

※送り速度を速くする
= 加工時間の短縮につながる

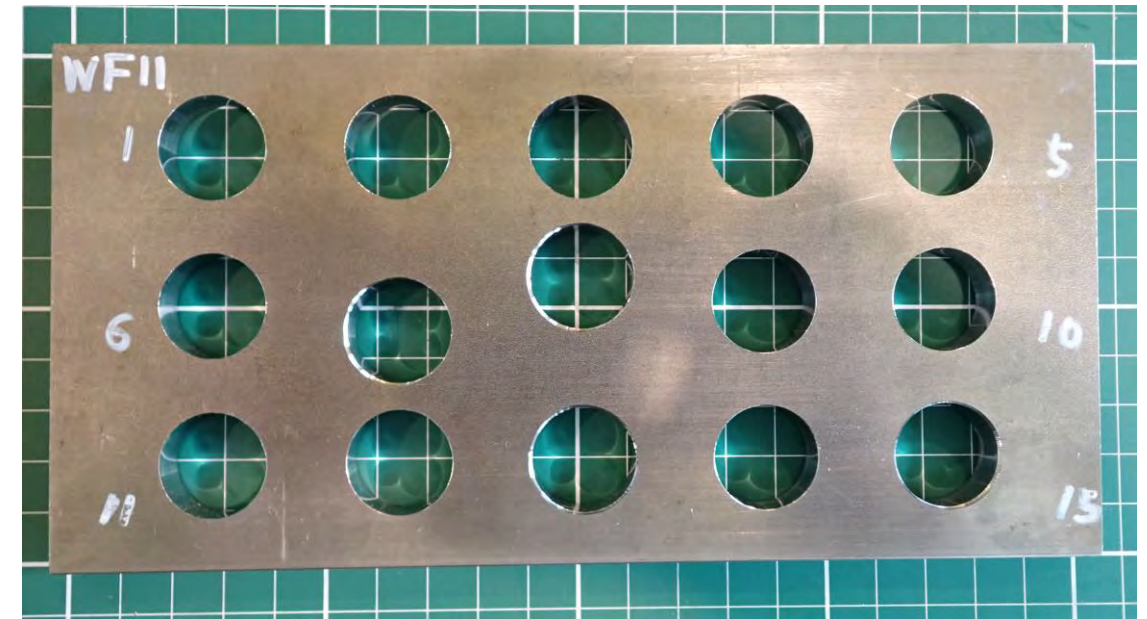
実験条件

バリ取りアクチュエータ



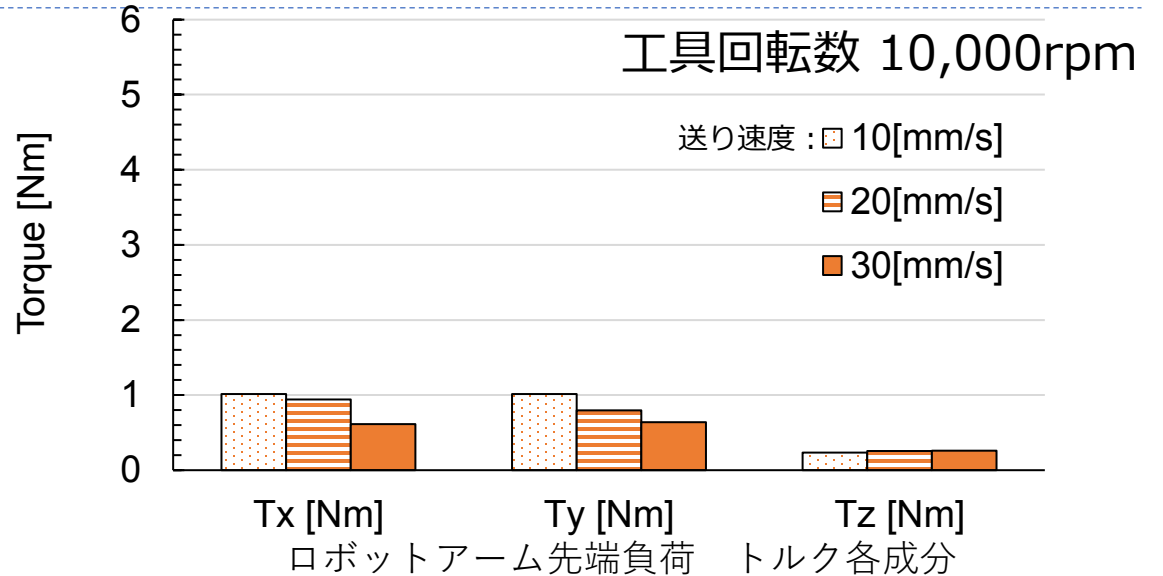
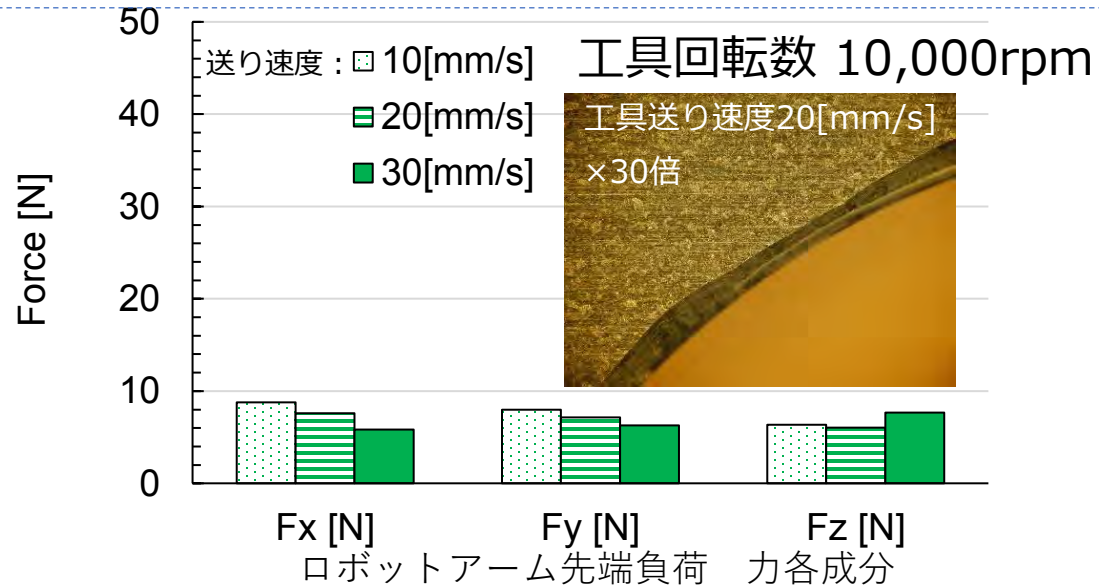
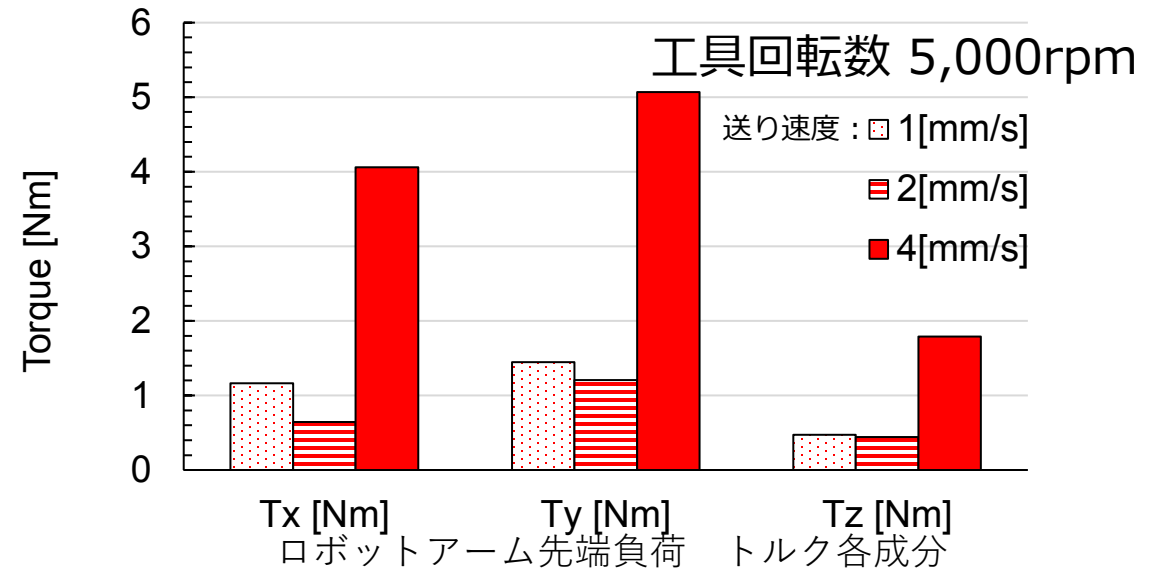
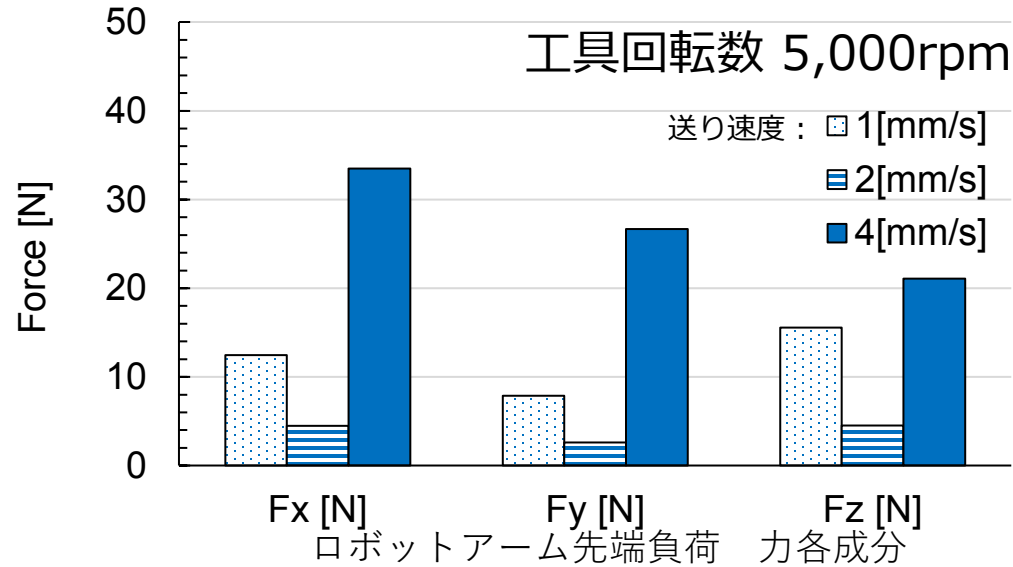
スピンドル式 + 切削式工具

実験ワーク



- ・鉄板 SS400 (100×200×t10mm)
- ・穴径 20mm (ドリルによるキリ穴)

結果 1. (2) . 工具送り速度とアーム先端負荷の関係



最適条件 : 工具回転数 10,000rpm, 工具送り速度 10 mm/s

実験 2. 画像処理とロボットの連携

実験の目的：穴の位置が変わっても画像処理で追従できるようにする。

実験条件

ロボットへのカメラ設置状況

実験ワーク

穴の位置をオフセット

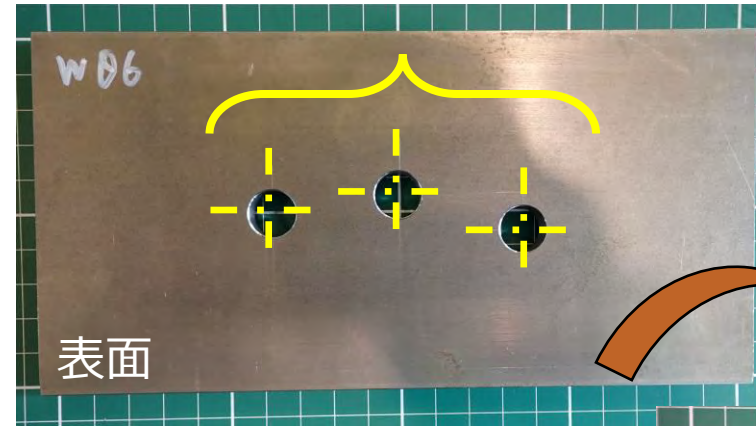
協働ロボット

カメラ

スピンドル
+
バリ取り工具



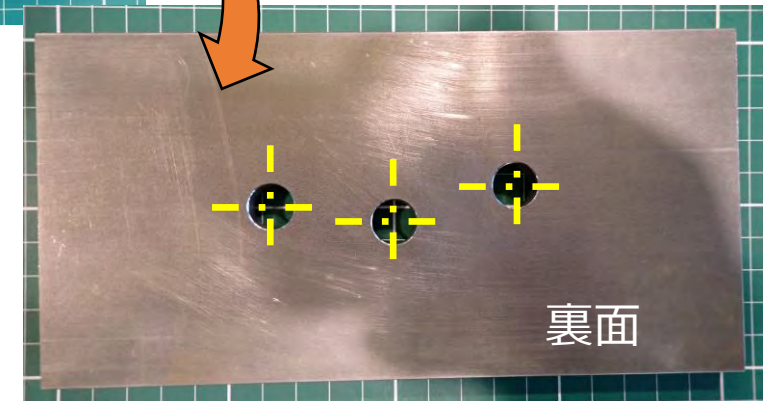
画像処理
システム



鉄板 SS400
(100×200×t10mm)
穴径 13mm
(ドリルキリ穴)

裏返す！

穴の位置が変わる



実験動作

- ①画像処理：穴位置認識（表面）→②ドリル穴のバリ取り（ロボット）→③板を裏返す（人）→
④画像処理：穴位置認識（裏面）→⑤ドリル穴のバリ取り（ロボット）

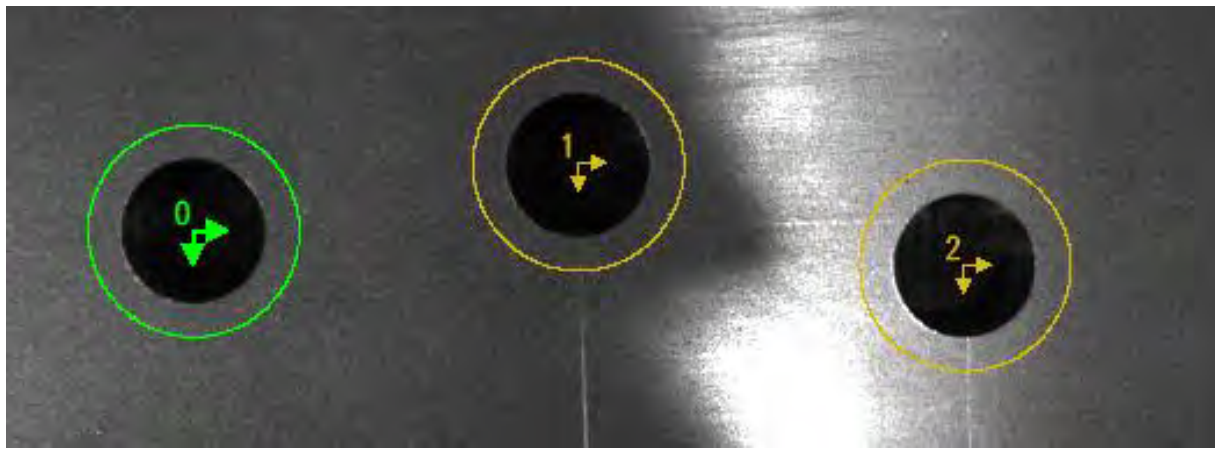
結果 2.

画像処理でのドリル穴位置認識によるバリ取り作業（両面）
× 4 倍速

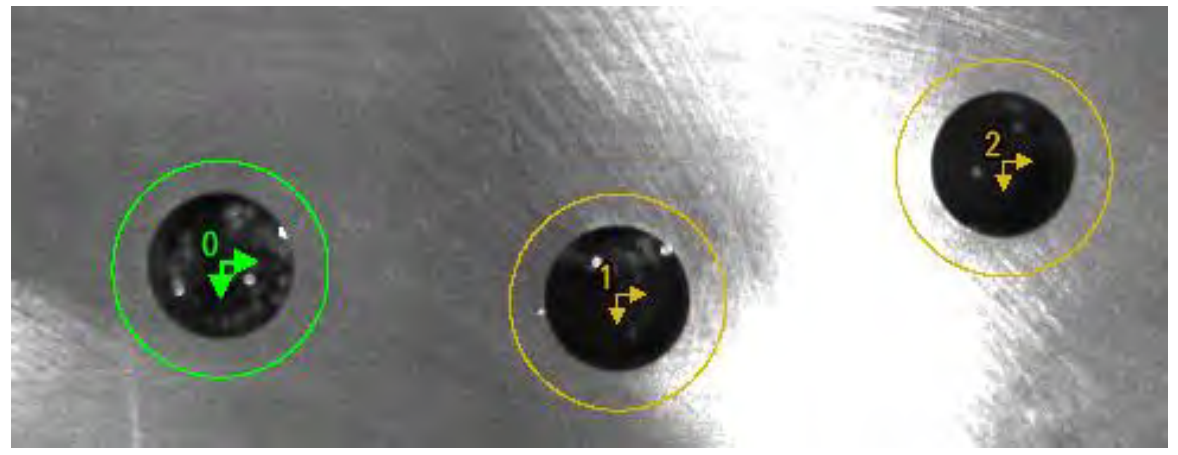


結果 2. ドリル穴の画像認識

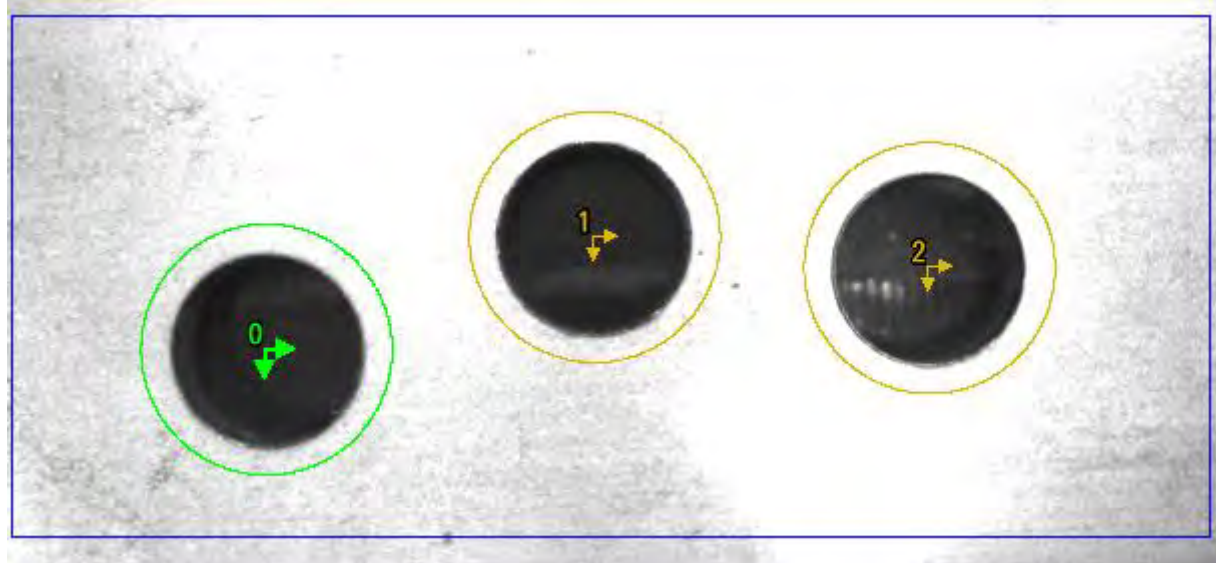
鉄板 (表面) 穴 直径13mm



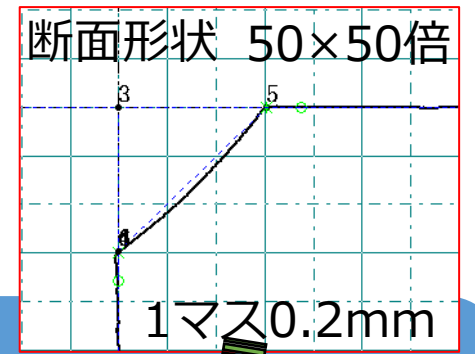
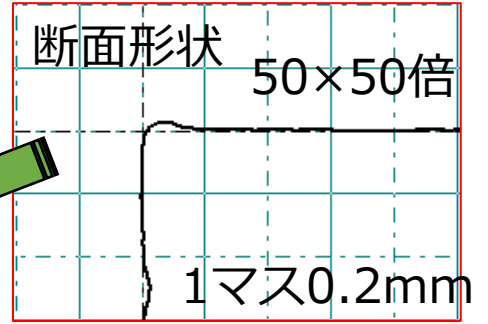
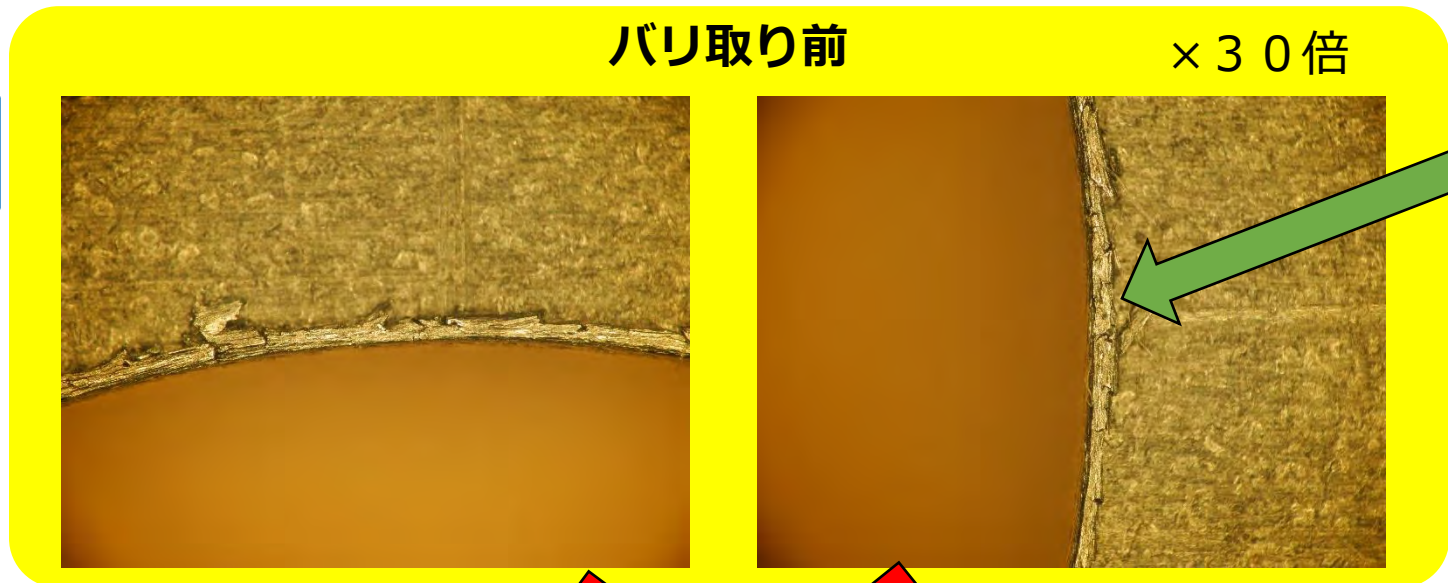
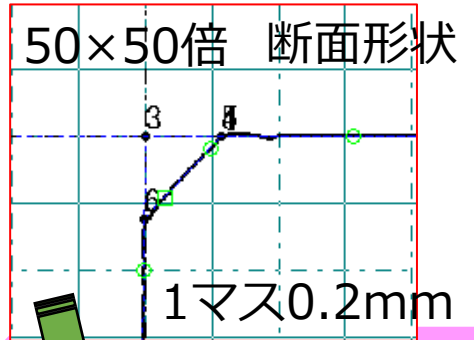
鉄板 (裏面) 穴 直径13mm



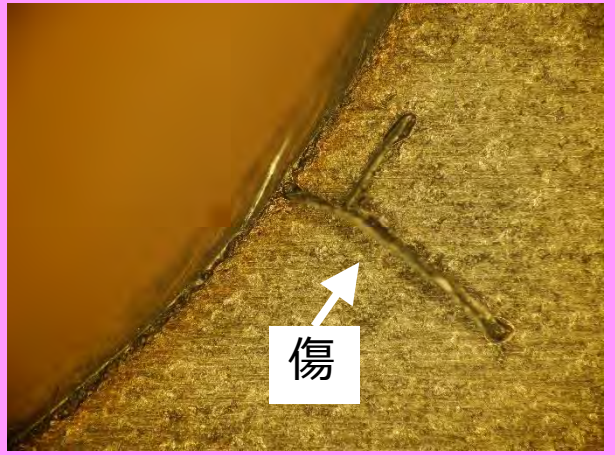
鉄板 (表面) 穴 直径20mm (TEST)



バリ取り結果

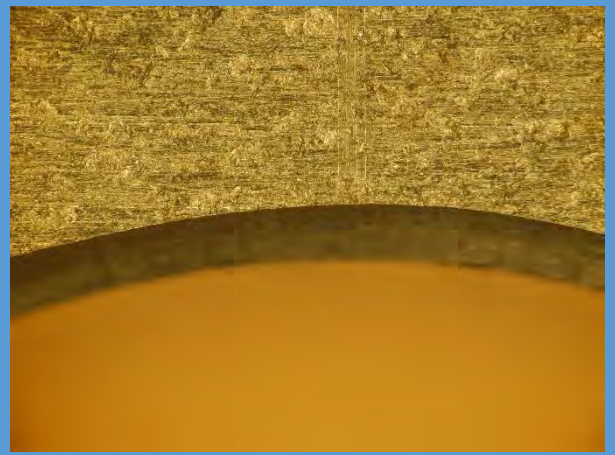


手作業バリ取り工具 (ブレード式) ×30倍



穴1個平均40.5秒×6 = 243秒 (4分03秒)

画像処理との連携によるロボットバリ取り ×30倍



112秒 (1分52秒)

実験 3. AIによる人認識とロボットの安全制御

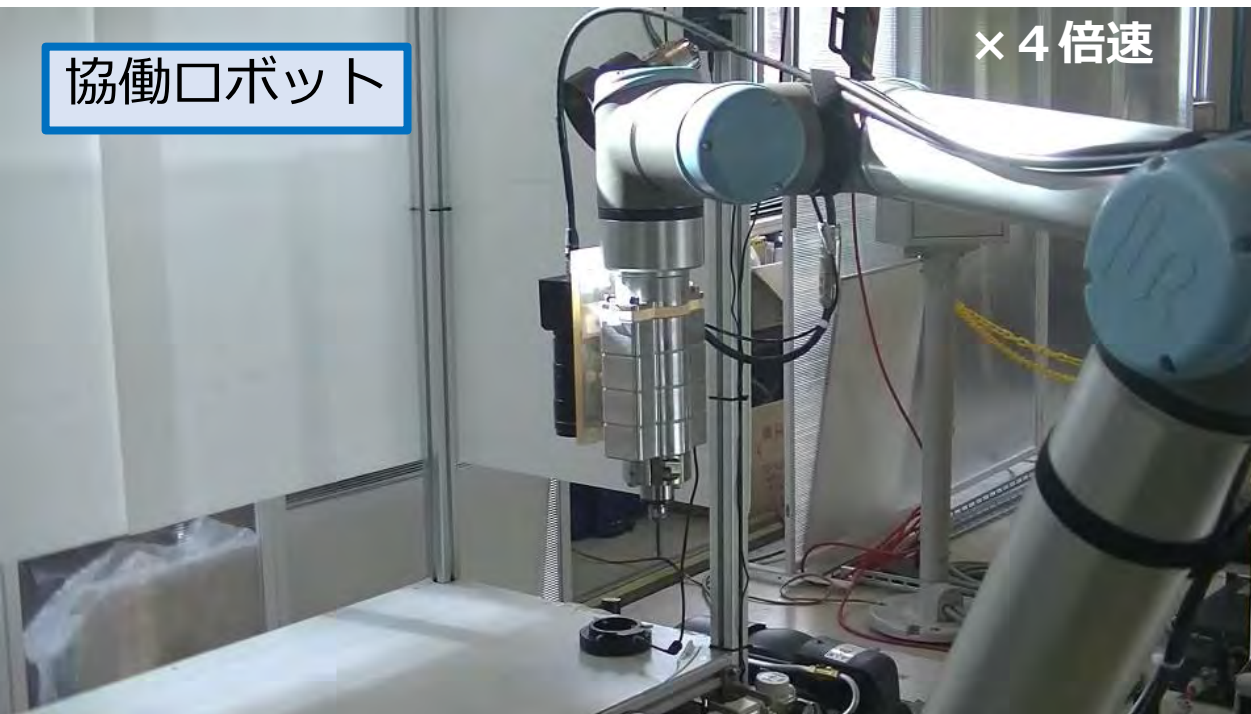
実験の目的：工具を扱う作業のため、人がロボット周辺で作業をしている最中は、安全面からロボットを動かしたくない。

➡AIにより作業中に人を認識したら安全策（停止・速度低下）を取る。

システムの仕様

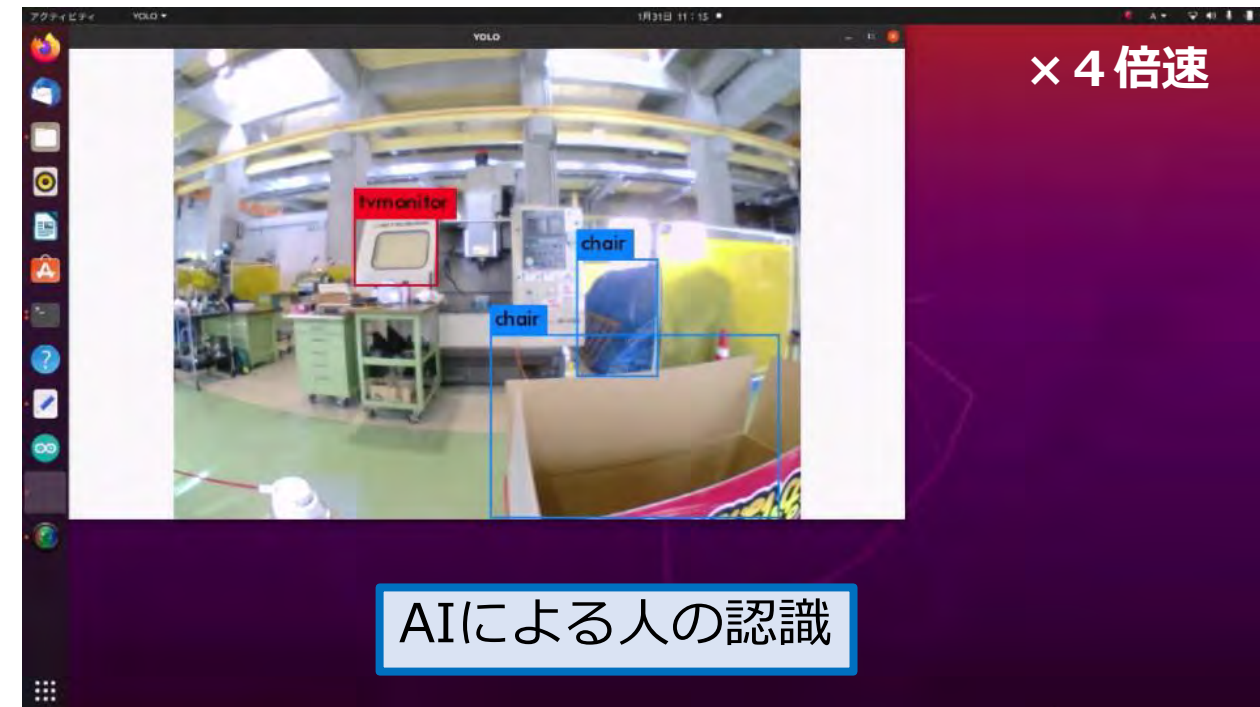
OS	ROS	AI	CPU	メモリ	通信
Ubuntu 20.04.4 (64bit)	noetic	YOLO v3	Intel Core i5 2.4GHz	8 GB	Ethernet

協働ロボット



×4倍速

×4倍速



AIによる人の認識

実験 3. AIによる人認識とロボットの安全制御

実験の目的：工具を扱う作業のため、人がロボット周辺で作業をしている最中は、安全面からロボットを動かしたくない。

➡AIにより作業中に人を認識したら安全策（停止・速度低下）を取る。

システムの仕様

Jetson Orin Nano	OS	ROS	AI	メモリ	通信
	Ubuntu 20.04.4 (64bit)	foxy	YOLO v3	8 GB	Ethernet

協働ロボット



AIによる人の認識

遅延時間：1～2秒

考察

○結果1 バリ取り条件について

- ・力制御よりも**位置制御**の方が良かった。
※対象がドリル穴端部のため、接触面積が小さく力が伝わりにくかったか

○結果2 画像処理とロボットとの連携について

- ・**穴の位置が変わっても追従**させることができた。
- ・**公差穴**等の寸法精度が厳しい穴の場合、画像処理の**精度の検証が必要**。

○結果3 AIによる人認識とロボットの安全制御について

- ・**人を認識**することで、ロボットを**停止**させるなどの動きを制御できた。
- ・応答までの**時間差が課題**。
※画像処理を行うPCのスペックを上げて検証が必要。

まとめ

- 協働ロボットによる、ドリル穴のバリ取りに適した**工具**及び**条件**を選定した。
- 画像処理により、ドリル穴の**位置が変わっても追従**させることができた。（**鉄板両面のバリ取り実現**）
- AIによる人認識を実装することで、作業中にロボットを**停止**、**速度低下**させるなどの**安全制御**を付与した。

今後の展望

- 企業との現場への導入に向けた具体的な検証を進める。
- AI実装のPCスペックを向上させてシステムを改善。
- 工具寿命等の評価。
- 穴の個数や外径が変化する場合での検証。
- 公差穴への適用可能性の検証。
- 奥行き情報の認識。

今後の展開

絶賛成長中！



R5.4月～

- ◆ロボット・テストベッドの整備・拡充
 - ・塗装ブース
 - ・AGV（搬送用ロボット）
 - ・ベルトコンベア
- etc…

R4年度内

- ◆第2回セミナー開催
- ◆個別相談受付

ふくしま AI・IoT 研究会

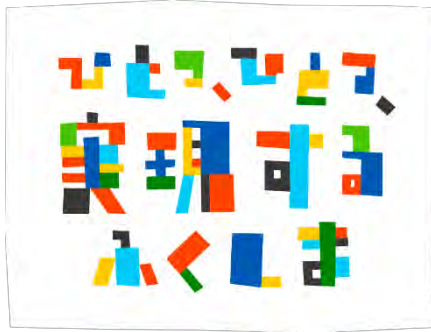
検索

R4.11月～

- ◆シミュレータ整備
- ◆アクチュエータ、ハンド整備



<http://www4.pref.fukushima.jp/society-of-aiiot/html/top.html>



福島県ハイテックプラザ

Industrial Technology Institute
Fukushima Prefectural Government

県内企業に寄り添い共に歩み続けます！

ホームページ：<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/hightech/>

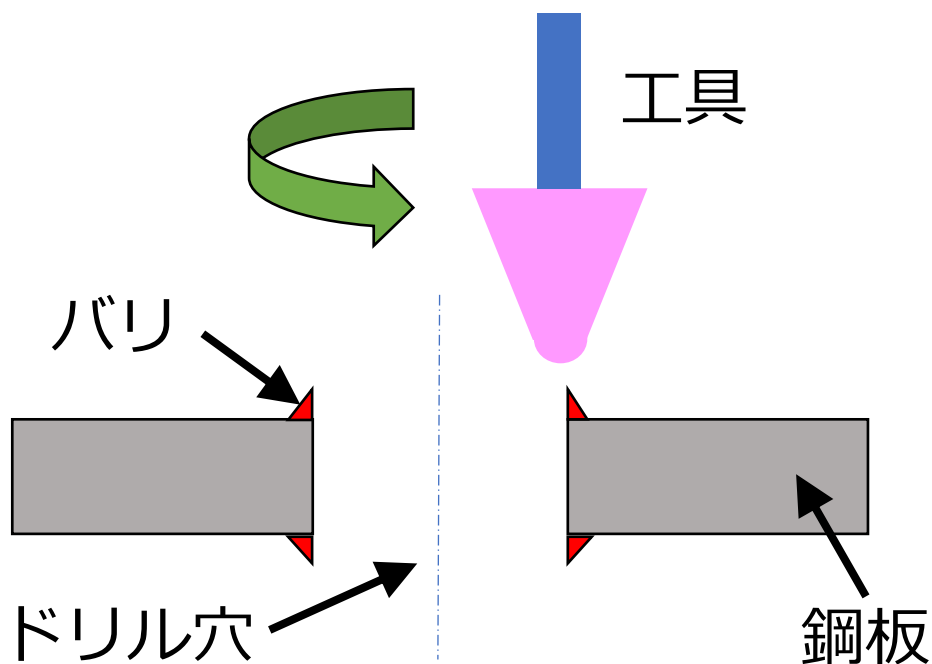
ロボット・制御科：TEL) 024-954-4963

MAIL) hightech-robot@pref.Fukushima.lg.jp

參考資料

制御方法

位置制御

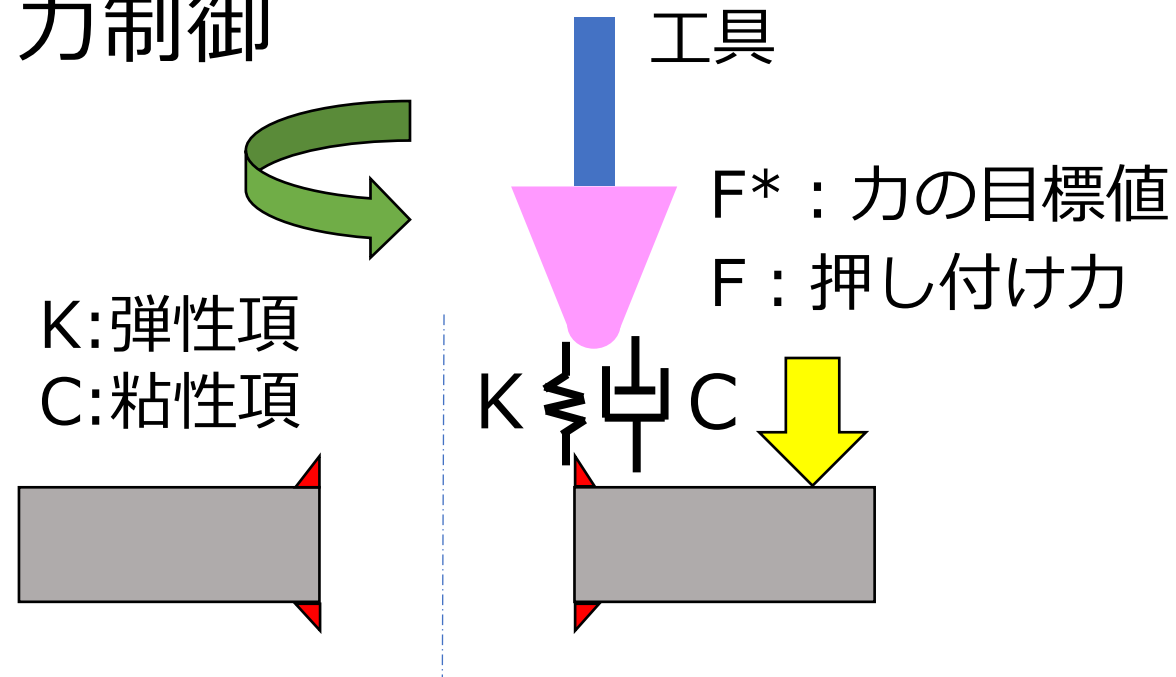


工具と鉄板の幾何的な位置関係で動作をプログラミング

側面図

UR10eは「インピーダンス制御」を実装
K:弾性項、C:粘性項の値を変え応答を調整

力制御








$F^* - F = 0$ となるように、位置と速度を制御

工具と鉄板の位置関係から押し付ける位置を求め、押し付け力Fが目標値F*となるように制御

側面図

結果 1. (1) .

協働ロボットによるバリ取り実験結果 (工具、制御手法選定)

工具種類	項目	工具形状	位置制御	力制御	時間 [s]	工具寿命	画像処理との連携	課題など
	ブレード式		▲	○	58.4	○	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工具を食い込ませるため傷が付く ・ 複数回工具を回す必要あり (加工時間長) ・ 刃先が自由に回転し、刃の向きが変化する (画像処理と連携しにくい)
スピンドル式	軸付き砥石 (円錐型)		▲	×	22.5	×	○	力制御時 <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次バリの発生 ・ 加工時に火花 (加工抵抗が大きい?) ・ 砥石が摩耗する ・ 負荷が大きい (60N)
	軸付き砥石 (先端R型)		▲	×	27.5	×	○	力制御時 <ul style="list-style-type: none"> ・ 二次バリの発生 ・ 砥石が摩耗する ・ 負荷が大きい (50N)
	弾性軸付き砥石		×	×	27.5	×	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 弾性軸がたわむため、加工量が小さい
	切削式工具		○	×	27.5	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ 位置制御時の負荷が小さい ・ 力制御時、工具の切削性が高くワークを加工してしまう。