



# 航空宇宙生産技術開発センター

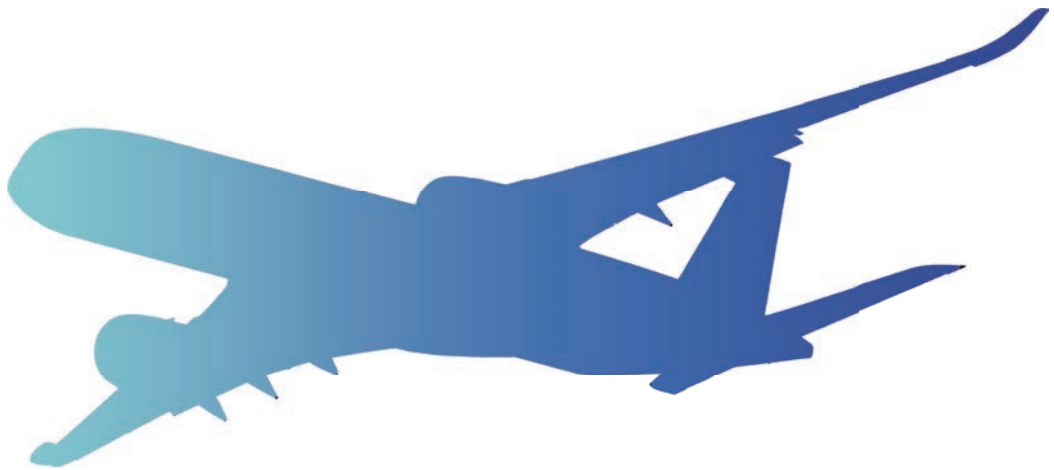
INTELLIGENT PRODUCTION TECHNOLOGY RESEARCH & DEVELOPMENT CENTER FOR AEROSPACE

2020 年度 研究開発成果



## 目次

- 1 -	センター概要	P04
- 2 -	研究開発概要	P06
- 3 -	特集 ジョブショップ型生産工程シミュレータ	P08
- 4 -	研究開発ポスター 情報通信技術分野	P14
- 5 -	研究開発ポスター 加工組付けロボット分野	P23
- 6 -	研究開発ポスター AMR (自律搬送) 分野	P33
- 7 -	研究開発ポスター 先端加工分野	P39
- 8 -	センター紹介	P45





# 航空宇宙生産技術開発センター

Intelligent Production Technology Research & Development Center for Aerospace

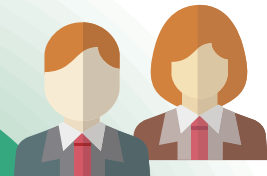
国内初となる航空宇宙生産技術に関する科学的・体系的な教育・研究開発を行う拠点として、岐阜大学に設置されました。  
産学金官が連携し、将来の航空宇宙産業界に必要とされる人材の育成、研究開発を行います。

## 航空宇宙生産技術 開発センター



- ・人材育成... 航空宇宙生産システムアーキテクトの育成
- ・研究開発... 生産の高度化、自動化、知能化に向けた研究・開発

講師派遣



研究ニーズ

技術者派遣



## 連携

人材輩出

教育プログラム  
提供

技術シーズ



## 地域航空宇宙産業

- ・川崎重工業(株)航空宇宙システムカンパニー
- ・ナブテスコ(株)航空宇宙カンパニー
- ・川崎岐阜協同組合
- ・地域航空宇宙関連企業等
- ・工作機械・金型・切削工具関連企業等

キラリと光る地方大学

地域産業の活性化

航空宇宙生産技術開発センターは、国内初となる「生産技術」に焦点を当てた教育研究機関として、内閣府交付金および岐阜県補助金の支援を受け、設置されました。本センターでは、航空機産業が持つ製造面の諸課題を解決することを目的とし、人材育成および研究開発を事業の柱に、活動を行っています。

航空機製造業は高品質・多品種少量生産の労働集約型産業であり、激化する国際競争の中で生き残るには、徹底した自動化・全体最適化等による抜本的な生産性向上が求められています。人材育成事業では、学生および就労者を対象に、生産技術を科学的・体系的に学ぶ講座を開講しています。研究開発事業では、ロボット等の自動化技術や、AI/IoT等のデジタル技術による生産効率向上に関する研究を進めています。

学生、就労者の学びの場、企業の課題解決の場として、皆様の本事業への積極的な参加と、益々のご支援をお願い申し上げます。

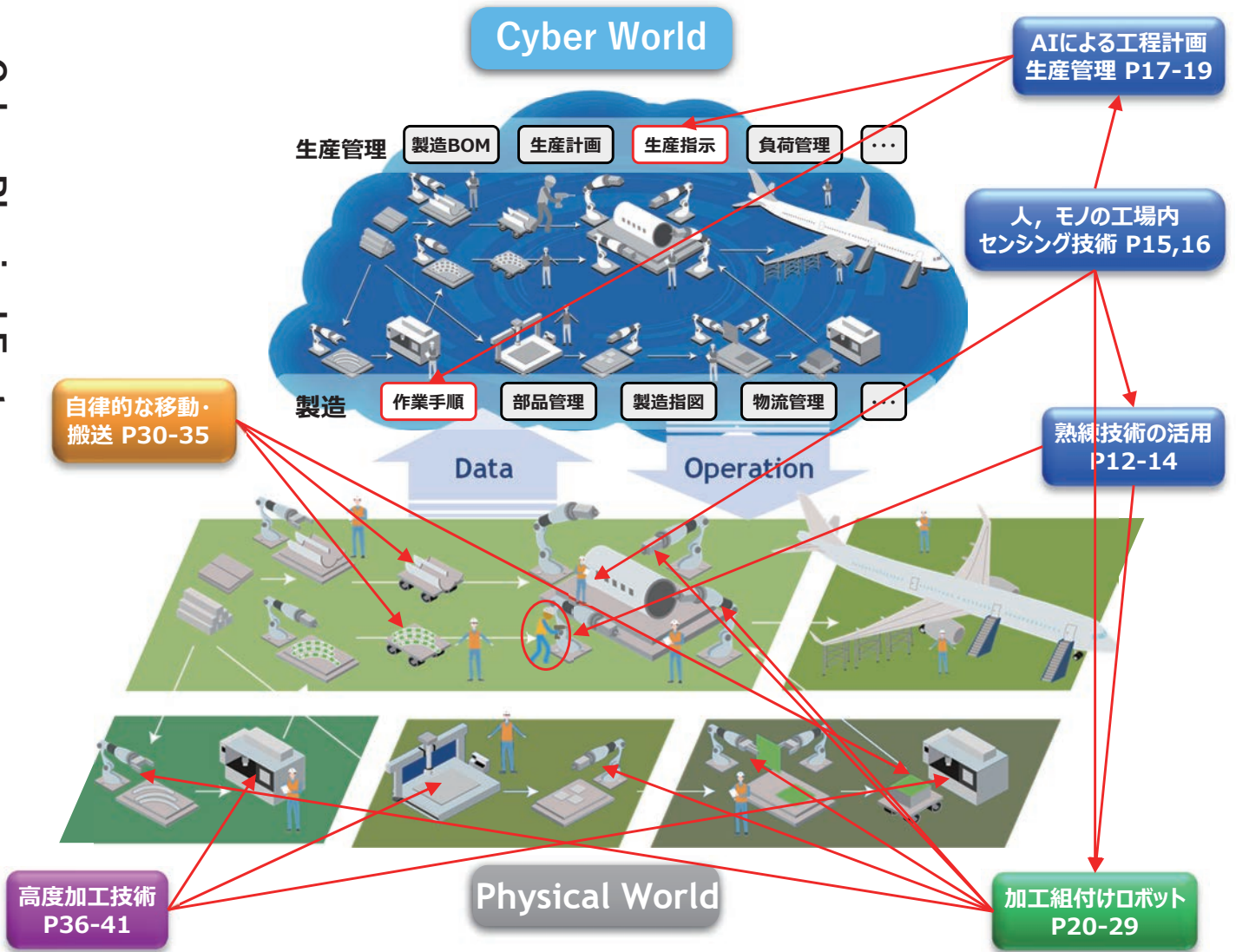


航空宇宙生産技術開発センター  
センター長 小牧 博一





# 航空宇宙生産技術開発センターの研究開発



航空宇宙生産技術開発センターは、航空宇宙産業に生産技術の革新をもたらすサイバー・フィジカル・ファクトリ (Cyber-Physical Factory ; CPF) の実現を目指し研究開発を進めています。CPFとは、Cyber-Physical Systems (CPS) 技術を適用した革新的な生産技術により進化した次世代の工場です。CPSとは、フィジカル世界の実体と、サイバー世界のモデルを一体のシステムとして研究開発するアプローチです。

ここでは、情報通信技術、組付け加工ロボット、AMR(自律搬送)、先端加工技術の4分野に分け、研究成果をご紹介します。これらは、岐阜大学・名古屋大学と共同研究企業が一体となり、現場のニーズや課題に基づき、実用化を目指した研究開発の成果です。

### 情報通信技術

データ解析, AI (人工知能), 最適化など  
最先端のITを活用し, 超多品種少量生産の  
高度な生産管理を実現

### 加工組付けロボット

最先端のAI, 制御, 加工技術を駆使し,  
高精度を要求される各種作業をこなし,  
自動化工場を実現

## Cyber-Physical Systems技術を活用した 生産技術のイノベーション

### AMR (自律搬送)

自律性を備え, 作業者と共存・協働し,  
常に変化する工場内レイアウトに柔軟に対応  
するスマートな工場内ロジスティクスを実現

### 先端加工技術

先端加工技術を駆使し, 航空機部品に多い  
難削材・難加工部品の加工技術を  
高度化・効率化

当センター所属の先生が研究により開発したシミュレータについてご紹介致します。

過去数年間の工程実績ビッグデータをもとに  
「多品種少量生産」の複雑な生産工程のリードタイムを予測

## ジョブショップ型生産工程シミュレータを開発

### ■ 本シミュレータにより期待されるメリット

本シミュレータ上での検討が可能となることで、以下のような生産性向上が期待されます。

- MERIT 1 | オーダーの発行時期を適切にコントロールし、リードタイムの短縮<sup>(注)</sup>、および工程間在庫・完成在庫の適正化につなげることができます。
- MERIT 2 | トラブル発生時において、今後の工場の状態や納期への影響を予測することができ、最適な介入方法の検討に役立ちます。
- MERIT 3 | ボトルネック工程を早期に発見し、工程改善に繋げることができます。

(注) 本研究対象の工場では、当面の目標としてリードタイム15%の削減を目指しております。

## 概要

国立大学法人東海国立大学機構 航空宇宙生産技術開発センターの横田康成教授は、**ジョブショップ型生産工程シミュレータを開発**しました。数十万点の製品を数百のジョブショップで部品製造を行う航空機製造工場において、**過去数年間の工程実績データをもとに、データサイエンスのアプローチ(数理的モデルを駆使した解析)により、生産工程のシミュレーションを可能にしました。**本シミュレータにより、リードタイム短縮、工程間在庫・完成在庫の適正化、ボトルネックの工程の見える化など産性の向上を目指します。

## 背景

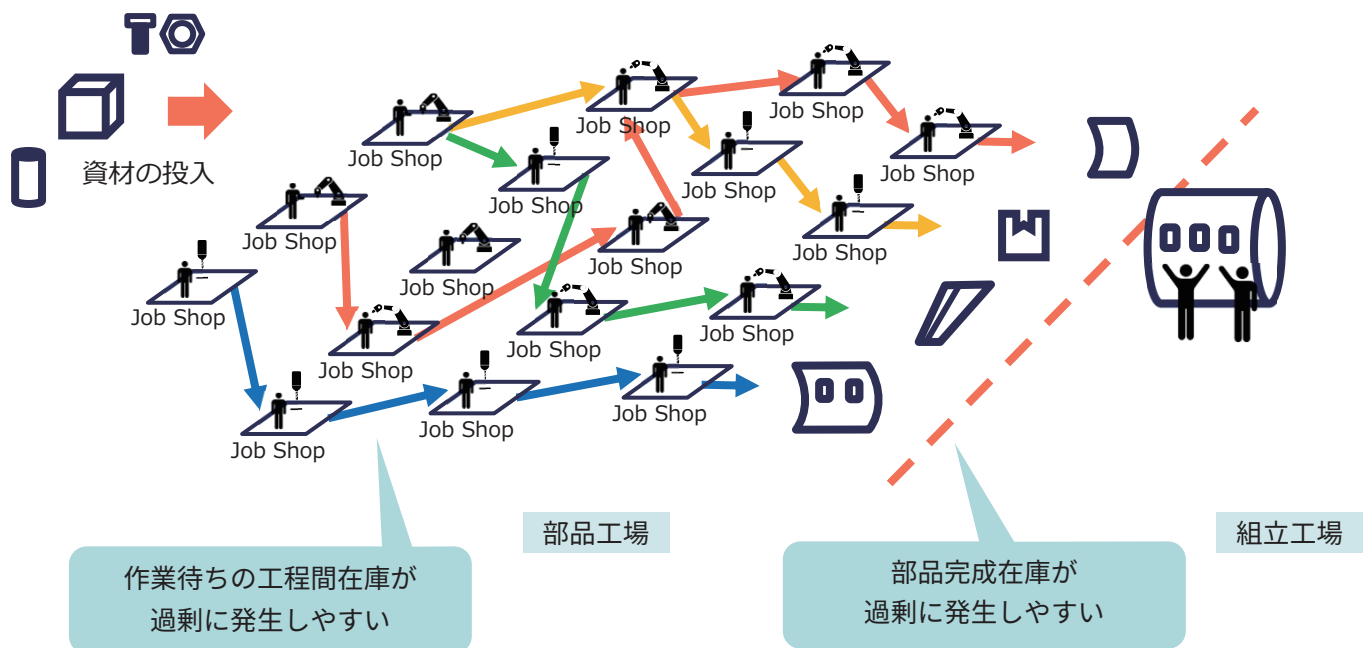
ジョブショップ型生産方式とは、製品の加工機能ごとに集約したジョブショップ(作業区)を設け、各製品の加工順序に従ってジョブショップをめぐり生産する方式です。

本研究が対象としている航空機製造工場では、機械加工や熱処理など多岐にわたる数百のジョブショップが設けられ、数十万点の仕掛品があります。ジョブショップの中には、複数種の部品をまとめて処理するところも存在しており、生産状況を正確に予測することが大変困難でした。さらに通常の生産に加え臨時的オーダーや加工機の故障、手戻り発生などによる生産計画変更が、計画全体にどのように影響するかを予測することも非常に困難でした。



## 多品種少量生産におけるジョブショップ型生産方式の工場によくある問題

- 早く作りすぎる = 過剰な在庫  
各ショップは、次工程での欠品を出さないよう早めに作業を行うので、作業待ちの工程間在庫になります。組立工場での欠品を出さないよう、計画に余裕を持たせ早めに製造指示を出すので、過剰な完成在庫が発生しがちです。
- リードタイムが長くなる  
その結果、工程間での待ち時間が膨大に累積し、製品完成までのリードタイムが無駄に長くなります。
- 急な計画変更に対応できない  
緊急の割込み生産指示、不具合や手戻り発生時には、計画変更しようにも全体への影響は簡単には分かりません。熟練者の経験と勘に頼ることになります。それが最適であるかは本人も知り得ません、また熟練者が退職すると大変です。



多品種少量生産に対応するジョブショップ型生産方式の工場では製品ごとにそれぞれ異なるルート・順番でジョブショップをめぐり、順次加工されて製品が完成する

図：多品種少量生産におけるジョブショップ型生産のイメージ（航空機生産の例）

## 本研究のシミュレータが有効な理由

### 1. 市販の工程管理ソフトウェアでは限界

ジョブショップが数十程度までの中小規模の工場であれば、市販の工程管理ソフトウェアが利用できます。しかし、航空機の製造工場のように、数百のジョブショップに対し、製造工程が異なる同時に数十万点の仕掛品のある工場では、製造工程の組合せパターンは膨大となり、既存のソフトウェアでは対応できません。

### 2. 各ショップの作業時間積み上げ方式のシミュレータでは膨大な計算時間が必要

シミュレーションのアプローチとして、各ジョブショップのオーダー処理の仕組みを調べ上げ、オーダー処理に必要な作業時間を割り出し、製品の工程に含まれるジョブショップの作業時間を全て積み上げる製造原理に基づいた方法もあります。しかし、数百のジョブショップに対し、製造工程が異なる同時に数十万点の仕掛品のある工場では、この方法は計算時間が膨大となり現実的ではありません。

当センター所属の先生が研究により開発したシミュレータについてご紹介致します。

## データサイエンスのアプローチによりシミュレータを構築

本研究開発では製造原理には踏み込まず、データサイエンス的なアプローチを行いました。本研究対象の航空機部品の工場には、数百のジョブショップが、過去数年間にわたって製造してきた工程実績のデータが揃っていました。このデータを元に、**確率モデル、待ち行列理論、組合せ最適化、離散事業モデルなどの数理的モデル**を駆使した解析をすることで、本シミュレータを構築しました。

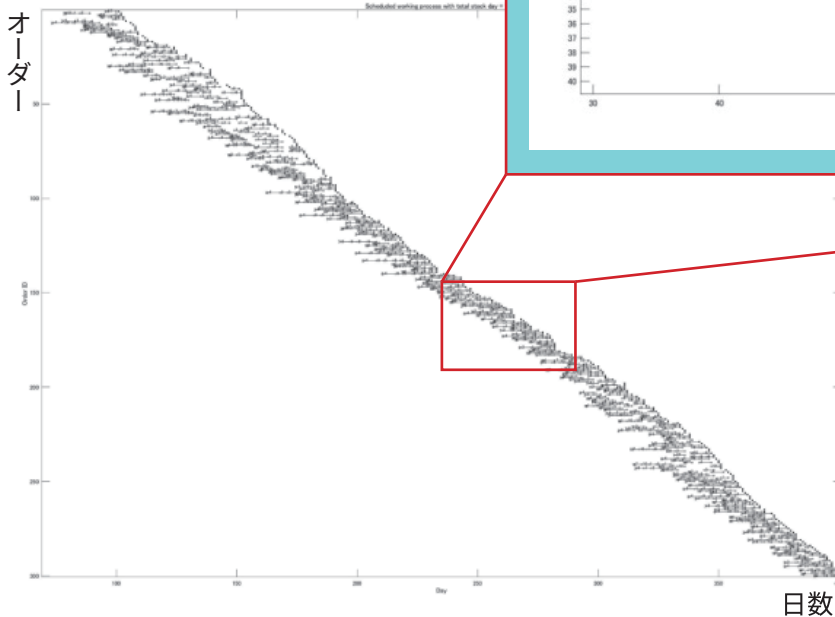
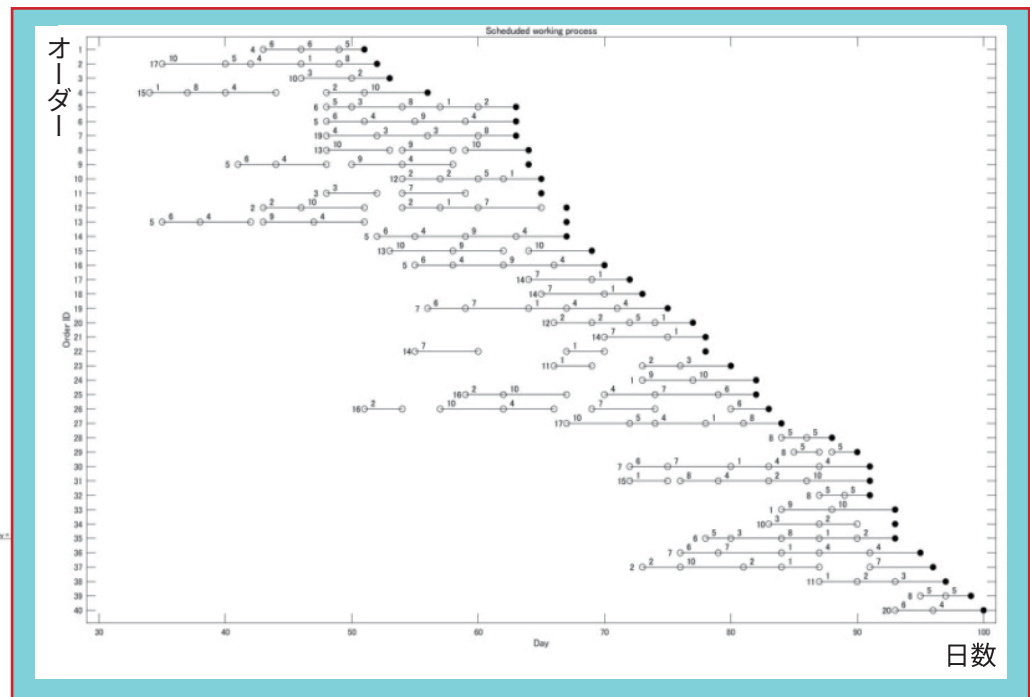
解析機器には、CPUにAMDの「Ryzen Threadripper 3990X」を搭載したPCを使用しました。数百のジョブショップがあり、同時に数十万点の仕掛品のある工場でも、数時間程度でシミュレーション結果を割り出すことができます。

過去8年間、2,000以上の営業日にわたる、約500のジョブショップの生産実績データを取り込み部品種類20万超、オーダー（作業指示）数500万超により実証

図：シミュレータを用いて準最適化した工程スケジュールの例

右の表について

1. 黒丸は納期。オーダー開始日の先頭にある数字は品目ID
2. 線の上にある数字は作業区ID
3. 線のつながっていない部分は工程間在庫（待ち時間）



左の表について

該当期間の  
生産工程の全体図

## 他の業種でも適用可能

本シミュレータは、航空機製造工場は勿論、ジョブショップ型生産方式の様々な製造分野で活用できます。リードタイム改善や工程間在庫低減、急な計画変更などに悩まれている企業で活用いただくと、それらの解決だけでなく、工程のボトルネックなど根本的な問題発見にも繋がります。

次に示す業種の工場や、複雑な工程管理を行う業態において、本シミュレータで大きな効率化が実現できる可能性があります。なお、シミュレーションを行うためには一定期間の工程実績データが蓄積されていることが条件となります。

### 適用可能性のある業態

- 工作機械製造（専用機・汎用機）
- 重電機器製造（大型発電機など）
- 建設機械製造（大型重機、シールドマシンなど）
- 船舶製造
- 建設（ガントチャート管理）
- 港湾（荷役作業管理）

### 【研究者略歴】

## 横田 康成 YASUNARI YOKOTA

1987年 国立木更津工業高等専門学校 電気工学科 卒業  
1989年 豊橋技術科学大学 情報工学過程 卒業  
1994年 豊橋技術科学大学大学院工学研究科  
システム情報工学専攻博士後期課程修了  
名古屋工業大学工学部電気情報工学科助手  
1998年 岐阜大学工学部電子情報工学科助教授  
2011年 岐阜大学工学部応用情報学科教授  
2019年 航空宇宙生産技術開発センター 教授(兼任)



今回ご紹介しました横田先生の他にも、航空宇宙生産技術開発センターには多くの大学教員が所属しており、様々なテーマに対して研究を続けております。所属している先生の情報は、センターのホームページにございますので、以下のQRコードを読み取って頂き、ホームページ上の”教員紹介”ページや”研究インタビュー”ページをご覧ください。



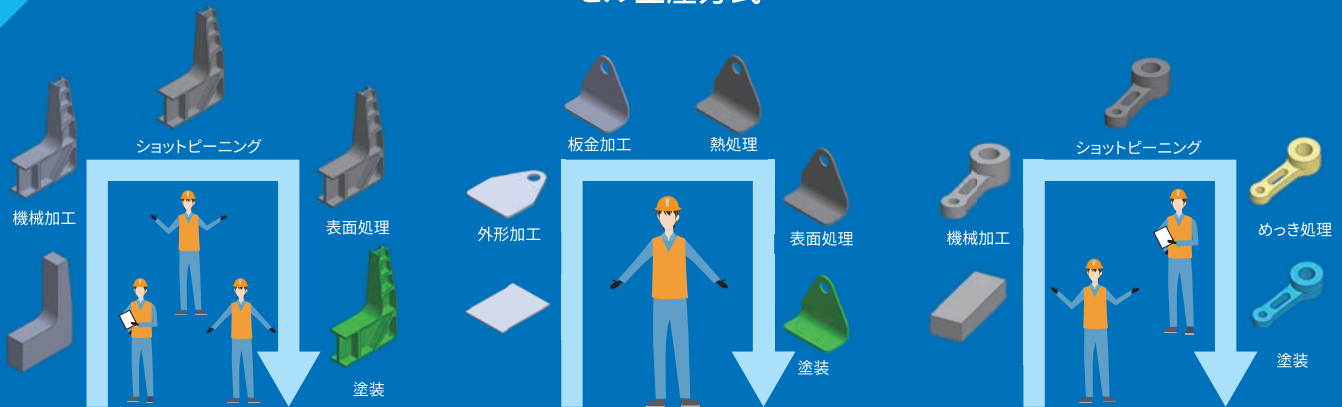
# 主な生産方式3種の紹介

## ライン生産方式



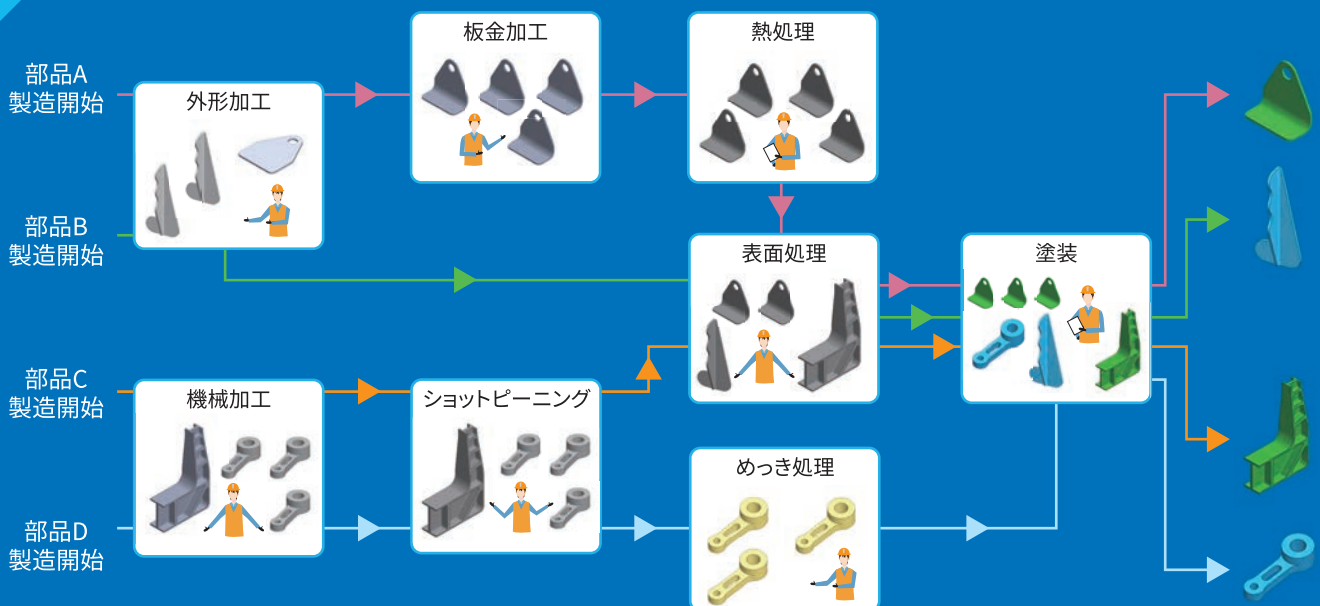
製造工程を一連化させて製造する方式。主に組立工程で使用されているが、部品製造でも利用可能。

## セル生産方式



一人、または少数編成のチーム (セル) 毎に製造を完成まで行なう方式。

## ジョブショップ生産方式



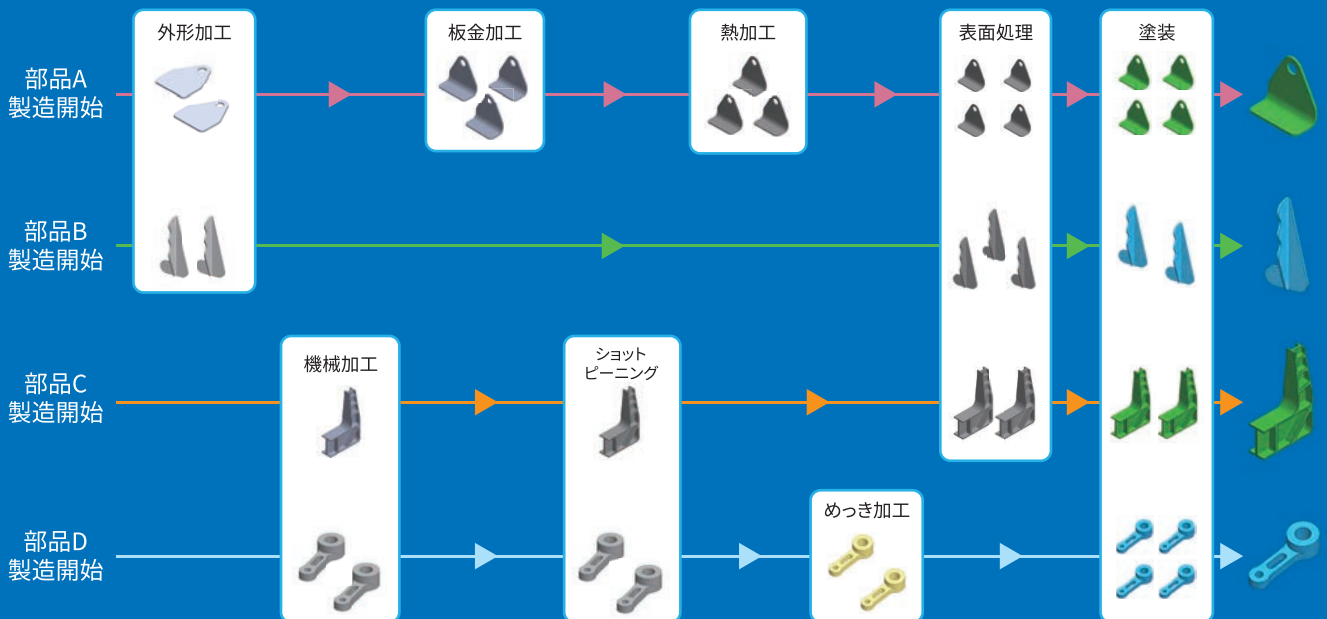
工場の構成が、製造に必要な工程毎に区分けされており、部品は製造に必要な工程作業エリア(ジョブショップ)を回り、順次加工されていく。

## 各生産方式の特徴

	メリット	デメリット
ライン生産方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同一製品の大量生産向け</li> <li>2. 生産量の管理が容易</li> <li>3. 作業員に高度な技術が必要無い</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 人員を多く必要とする</li> <li>2. 多品種の生産には不向き</li> <li>3. 単調作業が多く、作業員の技術向上が望めない</li> </ol>
セル生産方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. セル毎の製造は多品種少量生産向け</li> <li>2. 作業員の技術向上が望める</li> <li>3. 手持ちの無駄時間が発生しない</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多能工な作業員が必要</li> <li>2. 教育に掛かる時間・コストが増加</li> <li>3. 1人が多くの作業をするため、不具合の見逃す可能性が高くなる</li> </ol>
ジョブショップ生産方式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多品種少量生産向け</li> <li>2. 仕様変更・計画変更に対応しやすい</li> <li>3. 多能工な作業員は不要</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 生産管理・計画が複雑</li> <li>2. 工程間の搬送経路管理が必要</li> <li>3. 生産期間が長くなり仕掛品が増加</li> </ol>

ジョブショップ生産方式は多品種少量生産向きであり、セル生産方式の様な多能工の作業員を必要としないため一見優れている様に見えますが、この生産方式を最大限活用するためには生産管理・計画を十分に練らなければなりません。下図の通りジョブショップ生産方式を各部品毎の工程に整理した場合、コストを抑えるために各ジョブショップでは複数の部品をまとめて加工 / 処理を行ないます (処理条件が同じ場合)。下図で例えるなら、部品 A / B / C は表面処理が必要となっているため、同時期に処理が実施出来る様に各部品の製造を開始します。しかし、各部品によって機体毎の必要数も異なり、またどこかの部品で問題が発生した場合、他の部品を遅らせてでもまとめて加工 / 処理するか、処理を分けて作業するか等を考えなければなりません。ジョブショップ生産方式は、常に他の部品との製造日程調整が必要となります。

### ジョブショップ生産方式を部品毎に整理したイメージ





# 情報通信技術分野

- ▶ 身体運動の高精度計測と加工・組み立て作業時重要特徴の抽出
- ▶ データ駆動手法による可搬型ドリル穴あけ技能習得システム
- ▶ 加工・組立作業状態の計測分析システムの開発
- ▶ 人、モノの工場内センシング技術(CPF AI 基盤開発)
- ▶ 生産工程センシング, 通信, 分散ストレージに関する研究
- ▶ 計画変更や外乱にロバストな「準最適スケジューリング」の検討
- ▶ 画像処理による図面の解析
- ▶ 加工履歴のデータマイニングに基づく類似指示書の提案  
図面から類似手順文書の生成モデル

## 技術は身体化されている

- 熟練者の退職とともに技術も消失
- 習熟に時間を要する

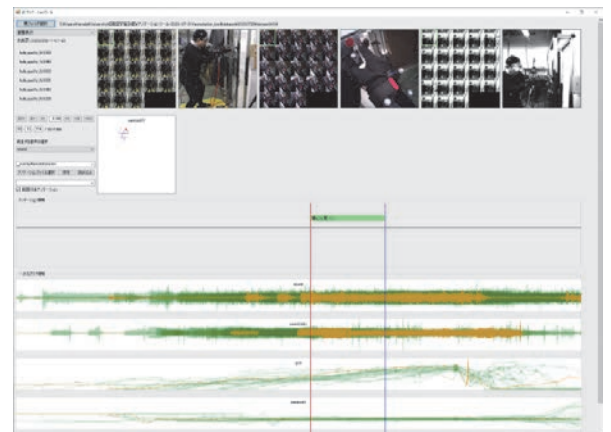


### 1. マルチセンサによる技術の計測

- モーションキャプチャ, データグローブ, アイトラッカー, 重心動揺計, 圧力センサ, カメラ
- 繰り返し計測することで統計解析, 機械学習可能なデータの取得

### 2. 統計学, 機械学習による重要特徴の抽出

- 品質に直結する身体運動の解明
- 熟練者と初心者の違いの明確化



データ可視化ソフトウェア

### 3. 初心者が効率的に習熟できるシステム

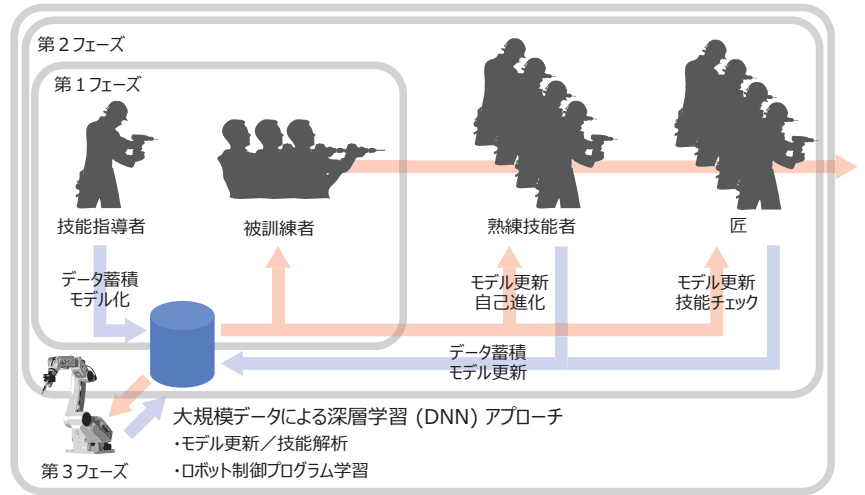
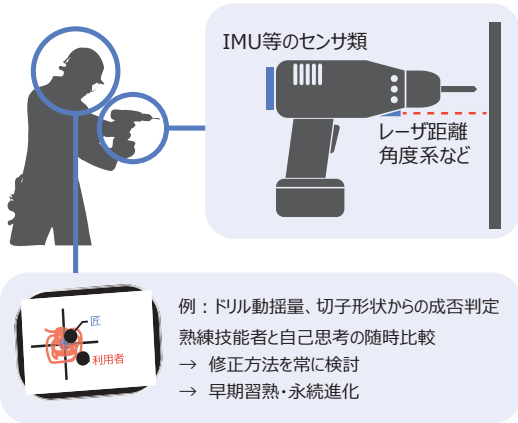
- 2Dディスプレイによる作業状態フィードバック
- 3D拡張現実による実作業状態への重畳



# データ駆動手法による可搬型ドリル穴あけ技能習得システム

名古屋大学 間瀬健二, 榎堀優  
川崎重工業 永塚満, 辻昌彦

## ドリル穴あけの技能向上



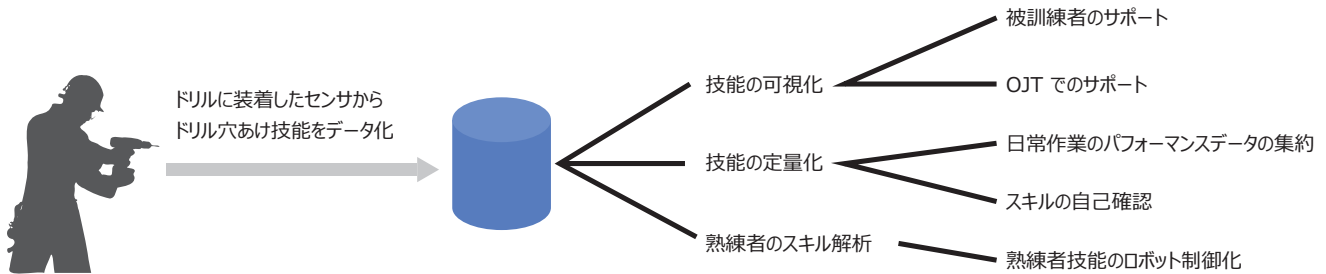
### システムイメージ

ドリル取り付け型のモバイルセンサ群の信号を統合し、自己と技能熟練者のリアルタイムスキル比較による見直し・検討回数増加と速習化の達成

### 展開イメージ

- ・技能指導者データから初期モデル構築 → 被訓練者へ展開
- ・被訓練者データから次期モデルを構築 → 作業現場へ展開
- ・作業現場からの大規模データ収集とモデル化 → ロボット制御などの属人性の排除へ

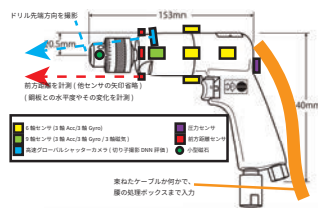
## 提案システム・研究プロセスによって想定される波及効果



## ドリル穴あけ技能評価指標の探索と計測デバイスの試作

計測対象	ドリルの姿勢変化	押し当て力変化	ドリル回転量変化	穿孔品質直接評価
利用センサ	IMU 切削面への多点距離センサ群(4点) 高速カメラ映像	小型圧カセンサ	地磁気センサ 音量センサ	高速カメラ映像による切子形状判別

### 最初期検討試作：IMU群のみを実装 全センサ搭載版の試作



### センサ配置の検討



- ・ 第一回の意見及びデータの収集を実施
- ・ 把持状態の関係等からセンサ出力値にノイズが発生する問題が明らかになった

- ・ 3月中旬から末を目処に、再度の意見及びデータ収集を実施予定
- ・ ドリル作業時に影響が出ないような更なる配置の工夫が必要

- ・ 3Dプリンタで作成したマウント取り付け
- ・ ドリルの持ち手に重ならないようなより柔軟なセンサ配置を検討中

# 加工・組立作業状態の計測分析システムの開発

岐阜大学 松下光次郎  
川崎重工業 永塚満, 辻昌彦

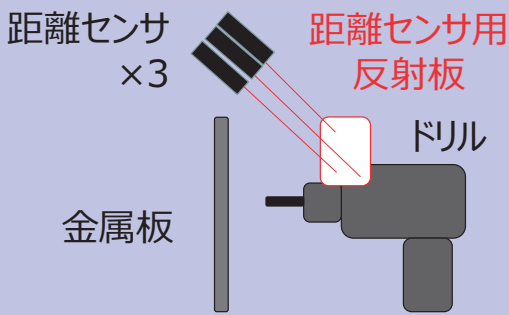
## ドリルの穴あけ時の 金属板に対して垂直直進動作評価のための 外部設置センサシステムの開発

航空機生産において胴体等のしなりやすい薄い金属板に対するドリル穴あけは熟練技能

金属板に対して「±2度」の垂直な姿勢を維持して穴あけできることが新人育成に有効

【目的】 レーザ距離センサ3個を用いて、金属板に対する  
ドリルの垂直・直進動作をリアルタイム評価するシステムの実現を目指す。

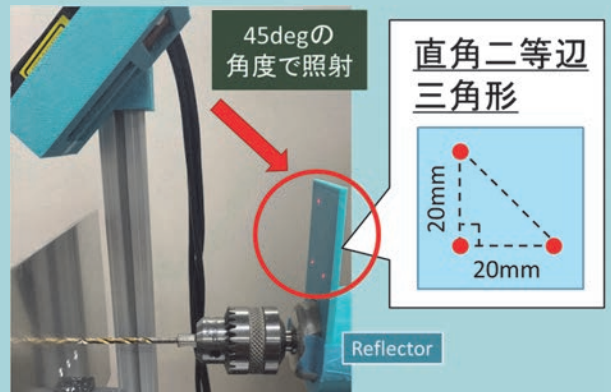
### システム概念図



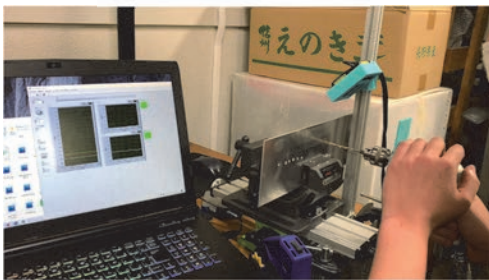
### 提案システム

- レーザー距離センサ 1
- レーザー距離センサ 2
- レーザー距離センサ 3

データ取得装置  
NI社USB-6001

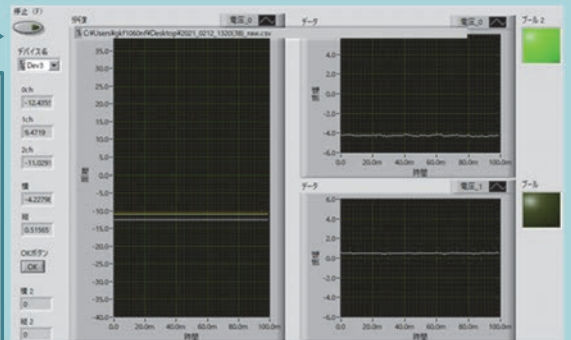


### 性能検証結果

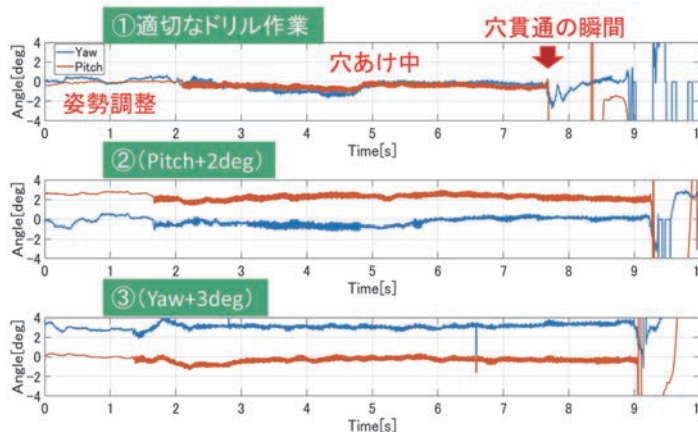


計測解析ソフトウェア  
<Labview>

- ① ドリル姿勢角度算出  
(ピッチ角・ヨー角)
- ② 角度が±2度を超えた時  
Beep音と光の点灯で  
感覚フィードバック



- 3種類の状態を  
リアルタイム評価
- ① 適切姿勢
  - ② 不適切ピッチ姿勢
  - ③ 不適切ヨー姿勢



±2deg以内の精度での  
ドリル操作を確認  
成功動作

ピッチ角に2deg以上傾けた  
ドリル操作を確認  
失敗動作

ヨー角に2deg以上傾けた  
ドリル操作を確認  
失敗動作

【結論】 ±2deg以内のドリル姿勢のリアルタイム評価が可能であることを確認。



# 人，モノの工場内センシング技術（CPF AI 基盤開発）

岐阜大学 加藤邦人  
 名古屋大学 武田一哉，中岩浩巳  
 川崎重工業 磯道文祥，永塚満，辻昌彦

## ◆ 背景，現状の問題（産業の経営課題）

- Cyber-Physical Factory (CPF) 実現のためには，生産現場の作業員，製品・部品，治具，加工装置，工場等あらゆるモノの状況をセンシング・データから認識する必要がある

## ◆ 技術課題（問題解決のために実現すべき技術課題）

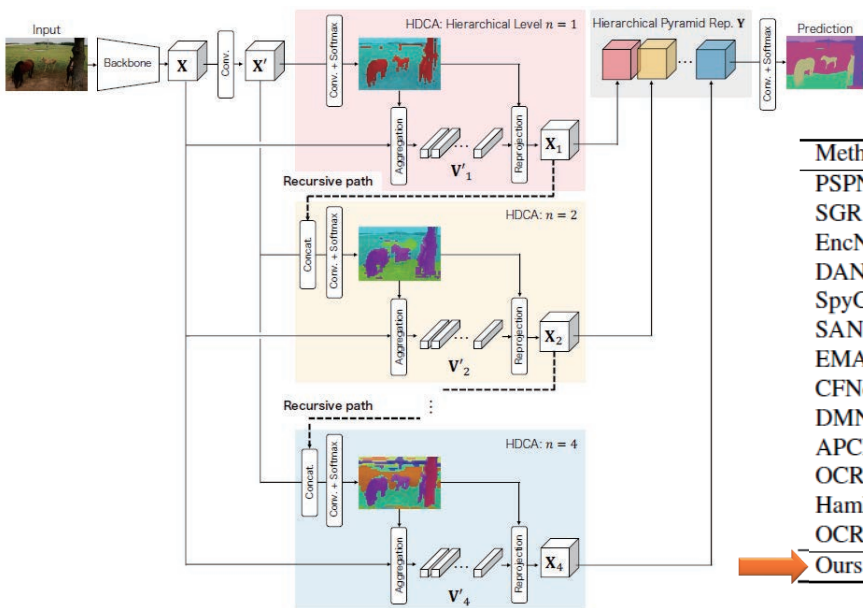
- 生産現場の様々なユースケースで必要なセンシング・データからモノの状況を認識する高度なAI基盤を実現し，ロボットや自律搬送車の環境認識，スクリーニング（品質検査）などの機能を高度化する。

## ◆ 実現時のイメージ（解決時に期待される将来像，ビジョン）

- AMRやロボット：人や障害物の追跡，人がAMRを気付いているか判定
- 航空機パネルの外観検査，打音検査，ファスナーのスクリーニング

## ◆ 研究開発実績

- Semantic Segmentation エンジンの開発
  - 視覚シーン（動画）データから，作業員，製造装置，部品，建屋構造物などを識別
- 革新的な深層学習モデルにより国際的なベンチマークで世界一（2021/3）
  - Stanford Univ の提供する PASCAL-Context Dataset（難易度が高い問題）で世界最高性能を記録



Method	mean IoU
PSPNet [43]	47.8
SGR [22]	50.8
EncNet [40]	51.7
DANet [8]	52.6
SpyGR [19]	52.8
SANet [45]	53.0
EMANet [20]	53.1
CFNet [41]	54.0
DMNet [11]	54.4
APCNet [12]	54.7
OCR [37]	54.8
HamNet [9]	55.2
OCR w/ HRNet [30] backbone [37]	56.2
<b>Ours</b>	<b>56.4</b>

世界最高性能を記録



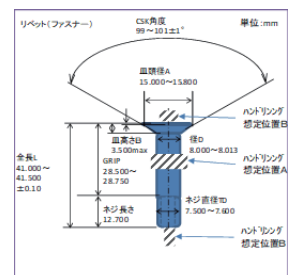
意味的な階層構造を考慮した深層学習モデル HPSNet

## ◆ 実現時の想定効果（定量指標）

- AMR の周辺状況の認識
  - 生産現場に混在する作業員が AMR の接近を気付いているか否かを判定
  - 気付いていればそのまま走行，気付いてなければ減速・停止

## ◆ 関連成果

- 航空機用ファスナー・スクリーニング試作機開発（別の深層学習モデル）



航空機用ファスナー・スクリーニング



## 背景, 現状の問題

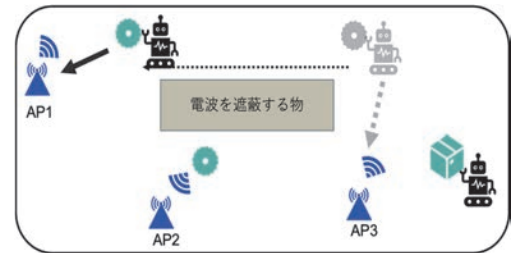
高速なWi-Fi, 5Gで使用される**高い周波数の電波**は、**工作機械などの障害物をほとんど回り込まない**。特に、非常に大きな**金属部品が存在する航空機**を製造する工場では、電波を遮蔽する障害物を多く、場所によって受信する電波の強さが大きく変化するため無線による通信が不安定になる。

## 技術課題

本研究では、無線を利用する移動物体と遮蔽物の位置を特定して、**常に良好なネットワーク環境を提供できる**ようにすることを目的とする。

**[課題1]** 無線ルータを使用し、屋内用の高精度測位システムを開発する。

**[課題2]** 端末と遮蔽物の位置から、電波の状況も考慮して、最適なアクセスポイントおよび移動経路を決定、アクセスポイントの変更を高速に行うプロトコルを開発する。



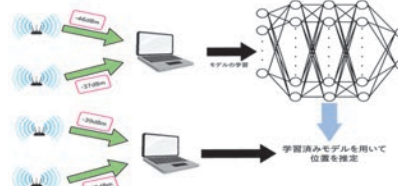
## 技術概要

**[課題1の技術]** 事前に収集した各位置データセットから、**深層学習モデル**を構築  
アクセスポイント (AP) 同士の**時計誤差を排除**、生データの特徴の抽出など、数値処理により、屋内測位の精度を向上することができる。[論文発表1]

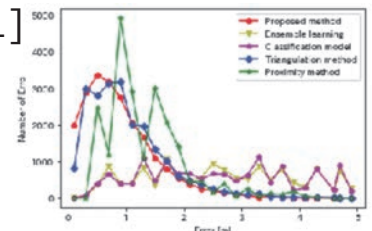
### 評価実験



屋内用の測位システム  
(データ収集)



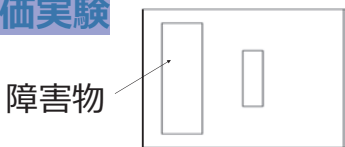
深層学習モデルを構築



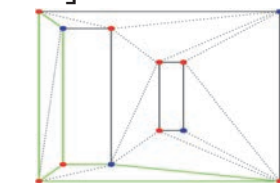
シミュレーション結果

**[課題2の技術]** 受信信号強度に基づく屋内位置推定の既存の手法では、電波の反射や減衰を考慮することができず、微細な測位ができないという問題がある。  
エリア内の全ての位置で**2台以上の AP と接続できる配置アルゴリズム**を提案した。  
エリア内の任意の位置に AP を配置できると仮定し、AP を配置する方法を提案した。シミュレーション結果は、エリア内の任意の地点で複数の AP に接続できるように、AP を配置できることを示した。[論文発表2]

### 評価実験



障害物がる屋内環境



任意の位置に複数のAPとの接続を保証する屋内環境を構築

Table: PERCENTAGE OF LOCATIONS THAT CAN ONLY CONNECT TO WIRELESS LAN 100,000 simulations

/No. of LAN	0	1	2->more
Proposed	0	0	1
Four corners	0.07	0.13	0.08
Random 1	0	0.05	1
Random 2	0	0	1

## 論文発表

1. Y. Narita, S. Lu, H. Kamabe, "Accuracy evaluation of indoor positioning by received signal strength using deep learning", ICACT2021, Feb. 2021. (査読あり)
2. Y. Narita, S. Lu, H. Kamabe, "Access Point Placement for Indoor Wireless LAN ", to be appeared in The 25th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2021). (査読あり)

# 計画変更や外乱にロバストな「準最適スケジューリング」の検討

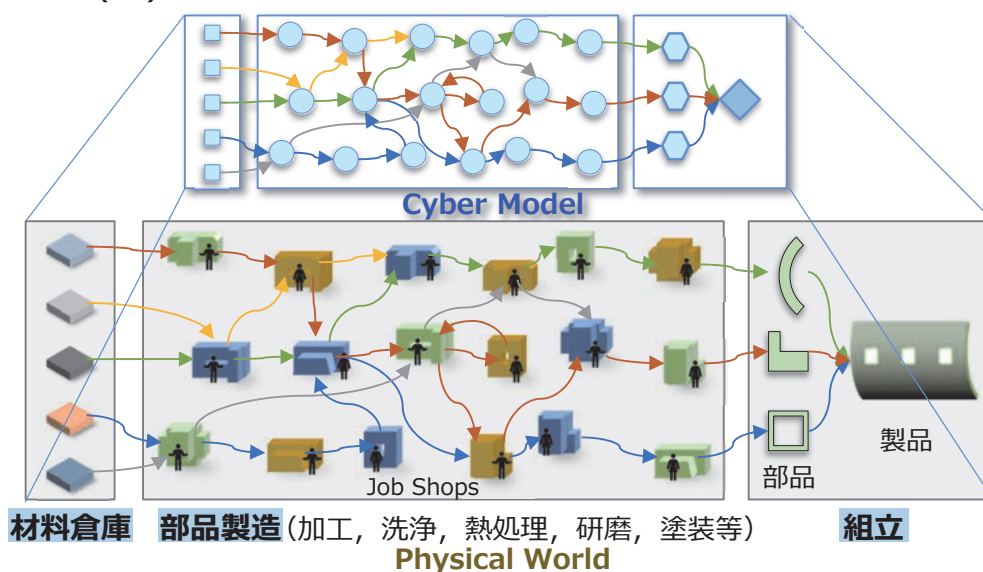
岐阜大学 横田康成, 深井英和, 今井敬吾  
川崎重工業 酒井亨, 厚坂裕太郎

## ◆ 背景, 現状の問題 (産業の経営課題)

- 航空機の部品製造は, 超多品種少量生産の (複雑な) Job Shop型生産方式
  - 部品ごとに生産経路が異なる → 数万通り, 経験則や勘に頼り → 大きな無駄や非効率が生じる
  - タスク順により段取り替え時間変動, 類似製品はロット合体で待ち時間やタクトタイム変化
  - アドホックな不具合やトラブル, 割り込み, データ欠損や誤
  - 一般に Job Shop 生産計画最適化は NP Hard (計算困難)
  - 市販の Job Shop 型生産管理システムでは, 複雑な状況に対応できない
  - 実用時間で (それなりの) 解が得られない. 満足な解 (生産計画や予測) にならない

## ◆ 技術課題 (問題解決のために実現すべき技術課題)

- 実際の複雑な Job Shop 型生産方式の計算可能な数理モデル化(Cyber Model)
  - 段取り替え時間変動, ロット合体, タクトタイム変化, 不具合やトラブル, 割り込み, データ欠損等などに対しロバストで, 実用時間内に計算可能な生産計画シミュレータによる実現と(準)最適解の算出



## ◆ 実現時のイメージ (解決時に期待される将来像, ビジョン)

- 実際の現場環境を反映した Job Shop型生産工程シミュレータにより
  - 全工場 各Job Shop の状態をリアルタイムにシミュレータで完全に再現
  - トラブル発生時には数日後の工場の状態を予測, 最適な介入方法導出

## ◆ 実現時の想定効果 (定量指標)

- 製造リードタイム 15% 削減

## ◆ 研究開発実績

### Job Shop型生産工程シミュレータV1を完成

- 過去8年間2,030営業日の全Job Shop実績データに対しシミュレーションを実行
  - Job Shop 数 約500, 部品種類 20万超, オーダ数 500万超 で実証

# 画像処理による図面の解析

岐阜大学 原武史, 加納大暉, 深谷航生

## 背景・目的

### 課題

- 膨大に蓄積された図面からの類似図面検索
  - 検索にかかる時間や労力
  - 知識や経験の差
- コンピュータによる高速かつ高精度な図面検索が期待

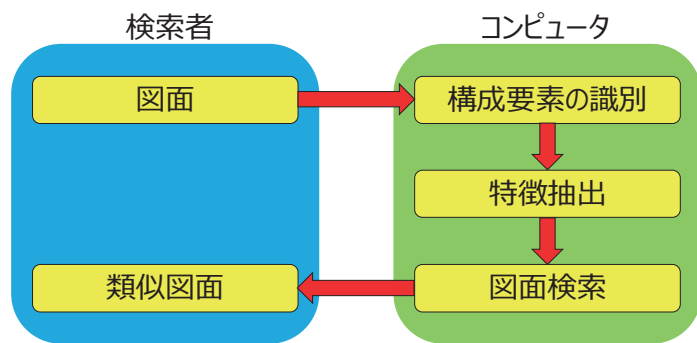
### 技術課題

- 図面の定量化
  - 図面の構成要素の識別 → 図面の特徴抽出
- 類似図面の検索

### 目的

図面の定量化の第一ステップとなる, 図面の構成要素の識別を高精度に行うシステムの開発を目指す

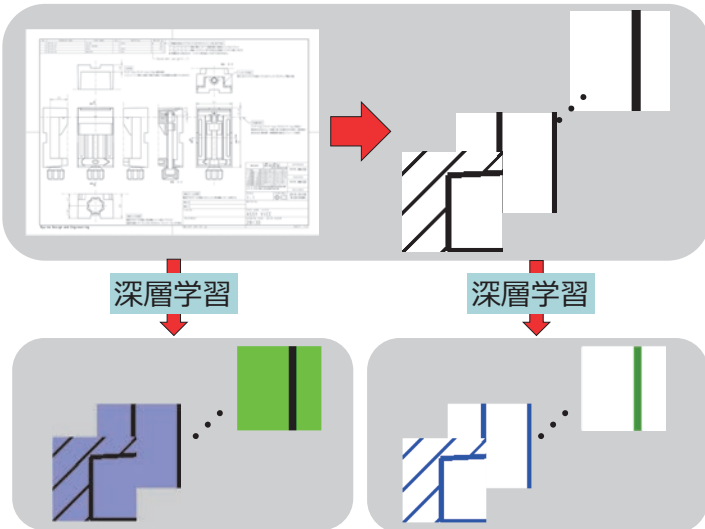
## 実現時のイメージと想定効果



- 検索にかかる時間や労力の減少
- 知識や経験の差に左右されない検索結果

## 技術概要

図面をパッチ画像として切り出し



実験1.パッチ画像のクラス分類

実験2.セグメンテーション

### クラス内訳

- Φ(直径)
- C(45度面取り)
- R(半径)
- 表面粗さ
- 矢印
- 数字
- アルファベット
- その他文字
- 図形
- 背景

## 実験 1

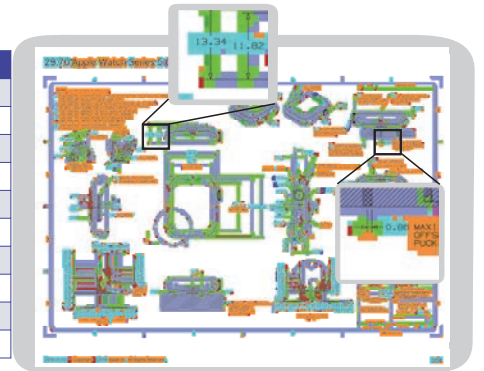
ImageNetで学習済みのVGG16を用いて, 5分割交差検証でパッチ画像のクラス分類を行った。

### 試料

一般に公開されている図面 17枚  
 サイズ: 7650~11650×5900~8250 [pixel]  
 50×50(stride:25)で分割したパッチ画像を使用  
 パッチ数: 362586枚

### 結果

クラス	成功率[%]
Φ(直径)	52.47
C(45度面取り)	6.7
R(半径)	2.3
表面粗さ	26.77
矢印	41.23
数字	67.90
アルファベット	86.46
その他文字	66.25
図形	73.17
背景	99.75



結果画像例

## 実験2

DeepLabv3<sup>[1]</sup>をベースとしたネットワークを用いて, 2分割交差検証でパッチ画像のセグメンテーションを行った。

### DeepLabv3<sup>[1]</sup>

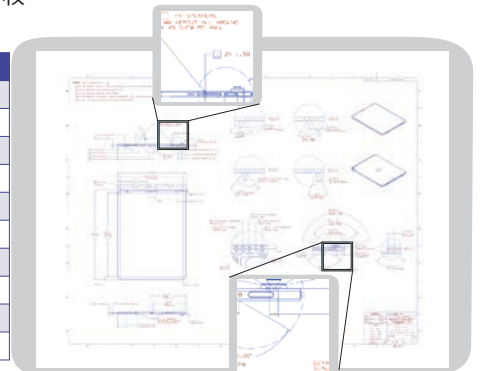
- 複数の拡張畳み込みを並列に行うAtrous Spatial Pyramid Pooling (ASPP)を利用
- 特徴マップのサイズを変えずに広範囲の特徴を得ることが可能

### 試料

一般に公開されている図面 17枚  
 サイズ: 7650~11650×5900~8250 [pixel]  
 512×512(stride:256)で切り出したパッチ画像を使用  
 パッチ数: 18744枚

### 結果

クラス	成功率[%]
Φ(直径)	62.75
C(45度面取り)	17.20
R(半径)	17.05
表面粗さ	46.60
矢印	53.75
数字	77.70
アルファベット	89.05
その他文字	85.80
図形	92.25
背景	100



結果画像例

## 参考

[1] L.-C.Chen, et.al., "Rethinking Atrous Convolution for Semantic Image Segmentation," arXiv:1706.05587, 2017



# 加工履歴のデータマイニングに基づく類似指示書の提案 図面から類似手順文書の生成モデル

岐阜大学 田村哲嗣, 速水悟  
川崎重工業 奥村瞭平, 酒井亨

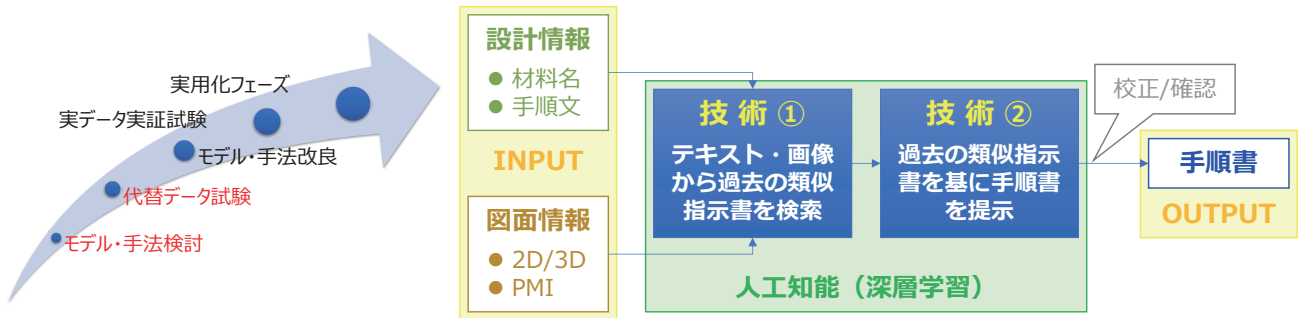
## 背景

- 「飛行機は紙で飛んでいる」と言われるほど、航空機の製造には、大量・多様な**指示書・手順書**が必要
- 現在、これらの作成は熟練者が人手で行っているため、その経験に依存しており、人手不足などを背景に今後の**持続性**に課題がある

図面や材料・手順から過去の指示書を検索したい  
過去の類似手順を基に手順書を新たに生成したい

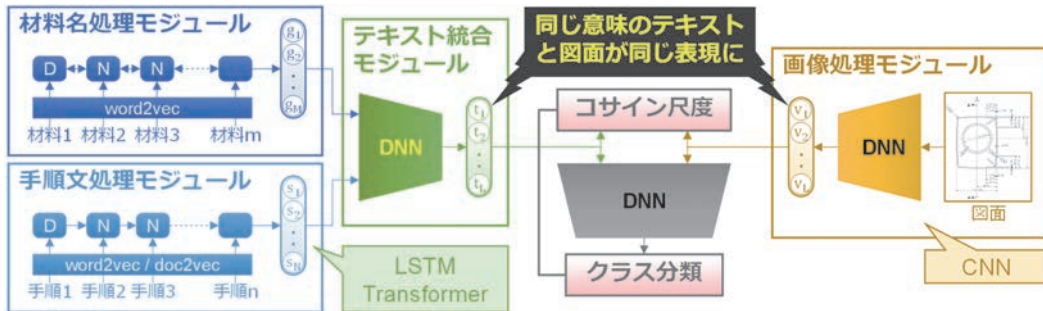
## 実現像

- 最先端の**人工知能（深層学習）**による**テキスト処理・画像処理**で、**指示書検索・手順書生成**を実現



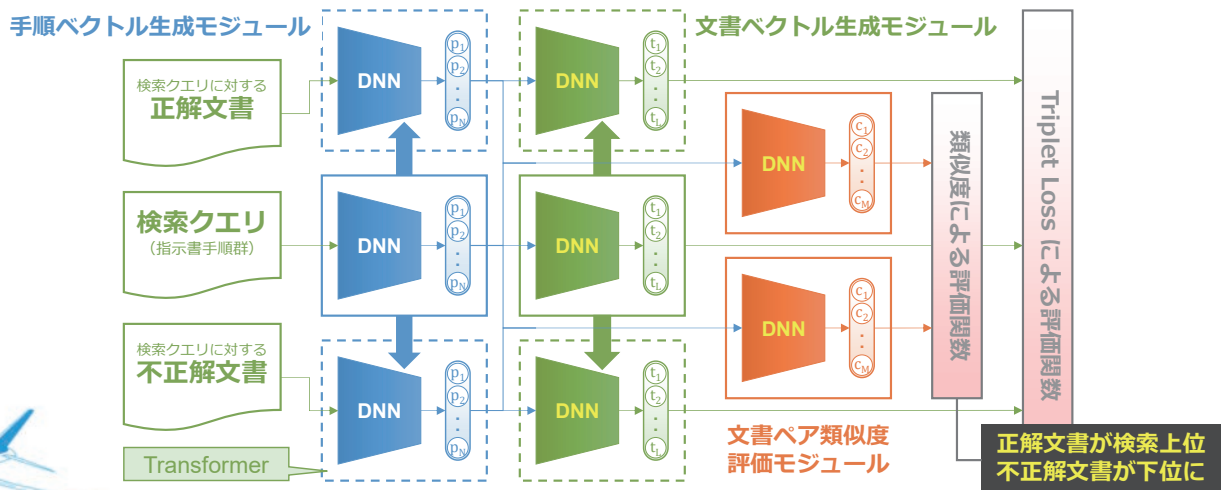
## 技術①

- 手順書・指示書内の「**テキスト情報**（材料名・手順文）」と「**画像情報**（図面）」を意味的に紐づけできる**深層学習モデル**を構築
- 同じ意味のテキストと図面が同じ表現（ベクトル）となるよう、**二つの評価関数**によりモデルを学習
- テキスト処理では Transformer、画像処理では ResNet など**最新かつ広範なモデル**を比較・検討



## 技術②

- 与えられた**指示書（検索クエリ）**に対して、データベースから**類似の手順書**を検索し提示する**深層学習モデル**を構築
- 検索クエリに対する**正解文書**と**不正解文書**を用いた**距離学習**によるモデル学習法を改善
- Attention 機構により、精度よい検索を実現しつつ、**説明可能な人工知能（XAI）**を考慮



# 加工組付けロボット分野

- ▶ 低剛性ロボットを用いた加工制御 1
- ▶ 低剛性ロボットを用いた加工制御 2
- ▶ 難削材ドリル加工システムの開発
- ▶ スクリーニング用部品ハンドリング装置の開発
- ▶ 小型飛行体による大型検査対象物体の外観検査用データの自動計測
- ▶ 金属部品の鏡面および細穴内の加工状態推定
- ▶ MRを用いた作業支援システムの開発
- ▶ ロボットによるセーフティワイヤ組付けの自動化
- ▶ 画像処理を用いた組付け状態検査



# 低剛性ロボットを用いた加工制御

岐阜大学 佐々木実, 松下光次郎, Waweru Njeri, Mulembo Titus  
 川崎重工業 磯道文祥, 永塚満, 辻昌彦

## フレキシブルマニピュレータ

### 軌道制御

従来法の逆運動学では

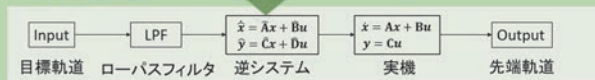
- ①低剛性化による**弾性振動**
- ②先端**位置精度の悪化**

高精度な**先端位置決め**と**振動抑制**の同時制御が必要

実験① 逆運動学

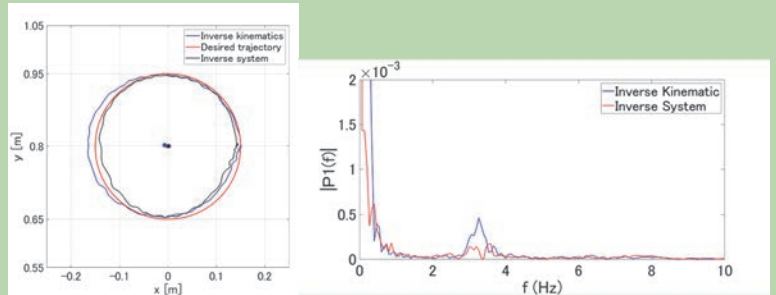


実験② 逆システム



### 目的

先端位置決めと振動抑制の同時制御を目的とした逆システムを用いた先端軌道制御



- **軌道追従性能の改善**
- 3Hz付近の**共振周波数の除去**に有効

### 力制御

軽量・高速・省エネルギー化が求められるが、アームの柔軟さにより**弾性振動**が発生。

### 技術ニーズ

機械的に干渉する3次元的な動作に対する軌道制御及び力制御

提案手法: **歪みフィードバック法**  
 従来手法: **接触力フィードバック法**

二つの手法の性能を比較

### 目的

ひずみフィードバック法による先端接触力制御

弾性変形内でフックの法則を適用

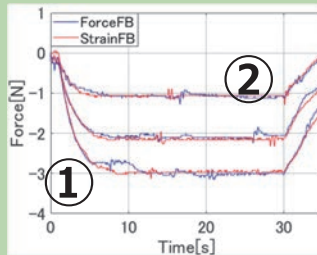
歪み-接触力間に**線形**が成り立つ

### 【実験結果】

2つの制御手法で、目標追従性能を確認。また接触面の滑りによる、外乱の影響を確認。

ひずみフィードバック法では

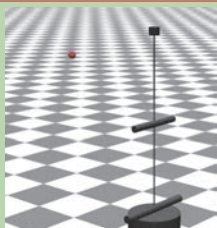
- ①**収束時間**
  - ②**外乱即応性**
- の点で従来手法より**有効**であることを確認。



### 強化学習

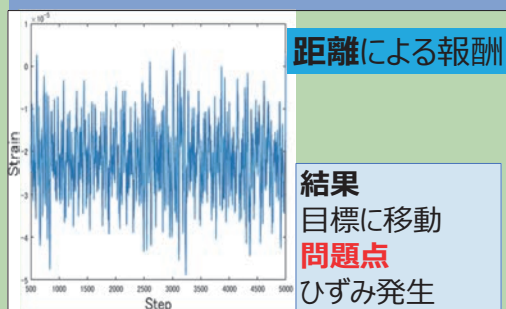
### 目的

強化学習による位置決め時の振動抑制



シミュレーションモデル

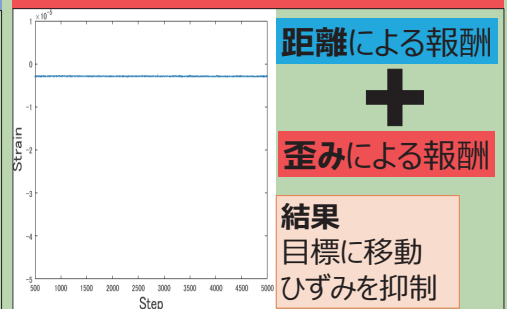
### 【実験1】先端位置制御



距離による報酬

結果  
 目標に移動  
**問題点**  
 ひずみ発生

### 【実験1】先端位置と振動制御



距離による報酬

歪みによる報酬

結果  
 目標に移動  
 ひずみを抑制

# 低剛性ロボットを用いた加工制御

岐阜大学 伊藤和晃, 八田禎之  
川崎重工業 磯道文祥, 永塚満, 辻昌彦

## 低剛性小型ロボットによるドリル孔あけの背景

現在、航空機のフレームは主にガントリー型大型装置（図1参照）によって孔あけが行われているが、  
① ガントリー型大型装置は高額なうえ大型で取り回しも悪い  
② 自動車ラインのように、コンパクトで低価格な中小型ロボットを複数配置する構成にしたい  
という課題があり、**コンパクトかつ低価格帯である低剛性ロボットによるドリル孔あけ**が要求されている



図1 ガントリー型大型装置

## 第1段階EEにおける技術的課題の検証

### ● ロボットの位置決め精度

ロボット先端のスピンドルをストローク方向に移動させた際に、公差の要件0.076 mmに対して0.075 mmの軸ブレを検出

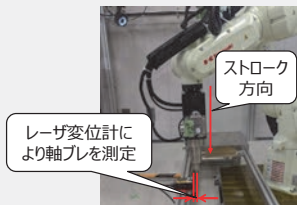


図2 軸ブレの測定環境

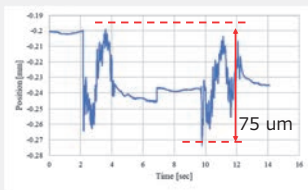


図3 ストローク動作時の軸ブレ

### ● ドリル孔あけ時の振動

ドリル孔あけ時における加速度値の振幅はワークに接触することにより増加し、貫通後さらに増加する(図4参照)

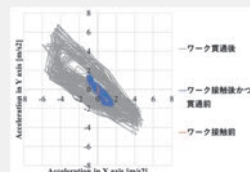


図4 ドリル孔あけ時のワーク平面方向におけるスピンドルの加速度

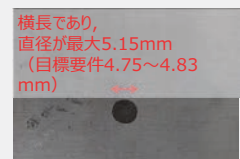


図5 ドリル孔あけ後の孔

### ● アームのたわみによるスピンドル位置の変動

穿孔加工時のEE位置を三次元計測用カメラ（モーションキャプチャ）により計測

図6に示すように、ストローク方向に進むにつれて穿孔加工時動作と無加工（フリーモーション）時動作にずれが発生

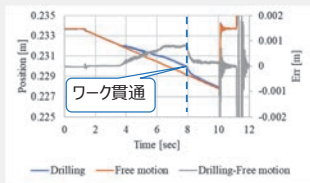


図6 ワーク平面方向におけるEEの位置

## 第1段階EEにおける検証結果

ロボットによるドリル孔あけの精度低下の要因として以下のものを確認

- ① **ロボット自体の位置精度**
  - ② **ロボットアーム又は関節における弾性変形によるドリル加工中の位置ずれ**
  - ③ **貫通後の弾性エネルギー解放による振動と、貫通後もドリルが孔に残っていることによる孔の拡大**
- さらに、④**ワークに対する面直の精度**があると考えられる。

## 第2段階EE + 力制御による孔あけ試験

精度低下要因①, ③に対する施策として、ストローク機能を有する第2段階EEを製作

第2段階EEの特徴として、

- I. 直動機構によるストローク動作の精度向上（要因①に対する施策）
- II. 所定距離（6 mm）移動したに基づいて貫通を検出し、貫通後の引き抜き動作への素早い切替（要因③に対する施策）

ストロークの制御において、一定の力でスピンドルをワークに押し当てる力制御を実装これにより、穿孔時のワークに対するドリル位置の振動を抑制

表1に示すように、孔あけ精度が向上

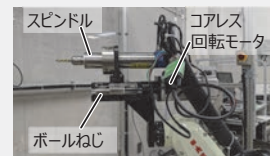


図7 第2段階EE



図8 第2段階EEによる形成孔

表1 孔あけ精度比較

	最大直径 [mm]	最小直径 [mm]
第1段階EE(ロボットによるストローク動作)	5.15	4.80
第2段階EE (EEによるストローク動作)	4.86	4.78

## ロボットの位置・姿勢制御

精度低下要因②, ④に対する施策として、ロボットにおける以下の位置・力ハイブリッド制御の実装を検討

- I. 振動を抑制しつつ、外部センサから取得されたEEの位置情報に基づいた位置制御
- II. ワークに押し当てるプレッシャーフット(PF)をEEに装着し、PFをワークに押し当てる力情報に基づいた姿勢制御

なお、ハイブリッド制御のベースとなる「二自由度制御+ダイナミクス軸間干渉力補償」を設計し、その有効性をシミュレーションで確認した

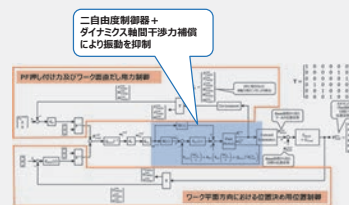


図9 第2段階EE

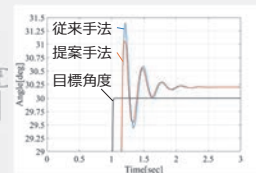


図10 シミュレーション結果 (第3軸目の負荷側角度)

## 250kg可搬ロボットとEE

- 250kg可搬ロボットを設置完了
- 250kg可搬ロボット用EEを作成し、2021年度から稼働予定
- 250kg可搬ロボット用EEについて特許出願予定



図11 250kg可搬ロボットとEE

## まとめ

- 目標の孔直径4.75 mm～4.83 mmを達成するための課題を洗い出した
- 上記課題を解決する施策を提案し、一部について有効性の確認を終えた
- 今後の予定として、ハイブリッド制御の設計を完了し、その有効性を確認する  
また、250kg可搬ロボットによる穿孔加工検証を行う

# 難削材ドリル加工システムの開発

岐阜大学 上坂裕之, 古木辰也  
川崎重工業 磯道文祥, 永塚満, 辻昌彦

## 目標 低剛性ロボットによる航空機パネルの高精度な穴あけ加工の実現

課題 & 目的

穴あけ時に発生する**切削抵抗に起因する**

- ・ロボット側変形
- ・パネル側変形

による**穴精度の悪化**

↓

ドリル軸方向の**切削抵抗（スラスト力）**を

- ①**最小化する切削条件の探索**
- ②**制御できる予測式の導出**を行った。

実験方法

アルミニウム合金の穴あけ切削条件を変化させ、スラスト力データを取得した

切削加工は各条件因子が複雑に影響し合う。

↓ 切削特性の解明には膨大な実験が必要 ↓

実験計画法で各因子がスラスト力に与える影響を定量化

ドリル加工実験条件 (試行回数：25回)

因子	水準
切削速度 m/min	60, 120, 180, 240, 300
送り量 $\mu\text{m}/\text{rev}$	30, 60, 90, 120, 150
ステップ量 mm	0.4, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0

ドリル：TiNコートハイス ( $\phi 4.76$  mm)  
被削材：アルミニウム合金 A2024  
加工機：立形3軸マシニングセンタ

実験結果

①スラスト力最小化条件の探索

スラスト力の要因効果図

最小スラスト力になる条件

- 切削速度：180 m/min
- 送り量：30  $\mu\text{m}/\text{rev}$
- ステップ量：0.4 mm

②スラスト力予測式の導出

スラスト力推定式 (要因効果図を基に作成)

$$F_t = 4.8E^{-3}(-7.0E^{-6}V_c^3 + 0.0044V_c^2 - 0.91V_c + 270) \times (-2030f^2 + 1724f + 79.52)$$

摩耗進行したドリルで、スラスト力制御を検証した

検証条件			
No.	$V_c$	$f$	$Q$
0	140	50	1.0
1	90	30	
2	190	70	
3	240	90	
4	290	110	

高速条件下において**誤差は5%以下**

結言

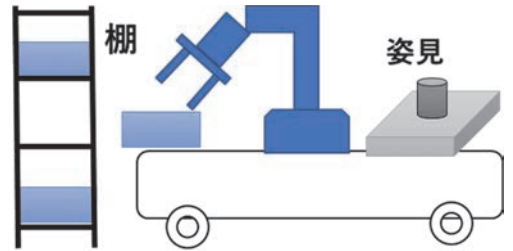
- ✓ 少ない試行回数で最適条件導出
- ✓ 摩耗したドリルでもスラスト力制御は可能
- 予測値と乖離する条件で振動特性が変化した→寿命判定モデル構築(2021年度)



# スクリーニング用部品ハンドリング装置の開発

岐阜大学 山田貴孝, 伊藤和晃, 佐藤惇哉  
川崎重工業 磯道文祥, 永塚満, 辻昌彦

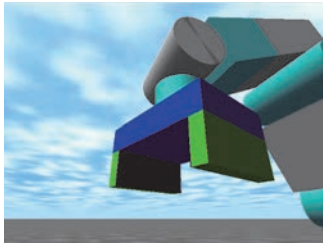
次工程に必要な部品を部品棚から選定し、姿見と呼ばれる型に嵌め込むハンドリング作業の自動化を研究した。  
(1) ODEシミュレータを構築し、人による一連の作業データを基に、作業自動化のための動作生成手法を提案した。  
(2) 棚に置かれた箱を取り出し、部品を検出し、姿見に嵌め込むロボットシステムを構築し、作業を実現した。



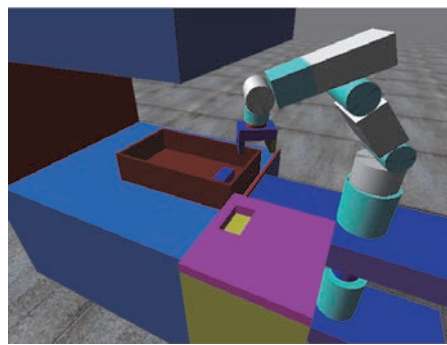
## (1) ODEシミュレータを用いた教示データ作成手法の開発



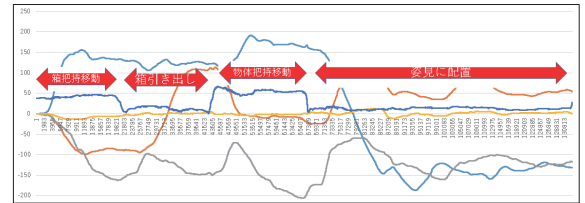
入力装置 (Leap Motion)



仮想空間 (ODE)

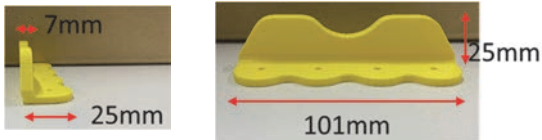


ODEを用いた姿見作成のシミュレータ



	特徴	成功率
手法 1	時間調整のみ	0%
手法 2	作業の細分化後に作業内で、等間隔で調整	28%
手法 3	作業の細分化後に作業の重要度に応じて調整	80%

## (2) モデルレス部品のハンドリングと姿見作成



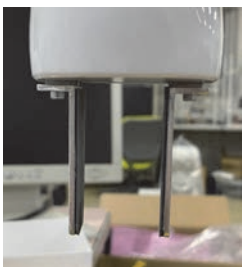
対象部品 (Shear Tieサンプルモデル)



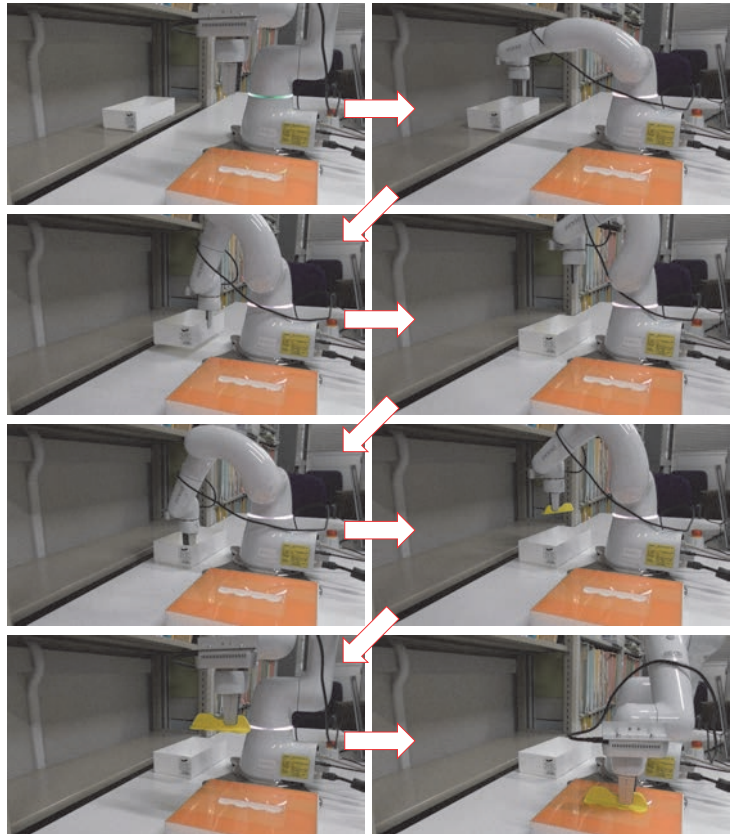
カメラ固定用治具 (第5軸に固定)



RGB-Dカメラ



ハンド (長さ50mm)



サンプル部品モデルのハンドリング、姿見への嵌め込み動作

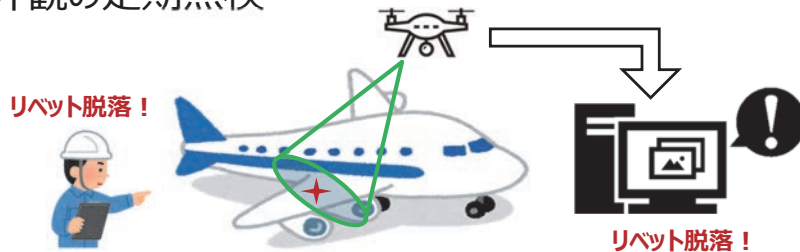
# 小型飛行体による大型検査対象物体の外観検査用データの自動計測

名古屋大学 舟洞佑記, 道木慎二  
川崎重工業 永塚満, 辻昌彦, 二宮崇

## 【背景】 航空機等の大型検査対象外観の定期点検

現行の目視点検の課題

- ・点検時間
- ・判定基準
- ・検査員の育成



「外観画像データの自動収集」+「画像処理技術」で短時間で高信頼な検査

## 【技術課題と想定効果】

対象外観全域の漏れの無い画像データを安全かつ効率的に収集

- 一定精度以上の画像データを計測すること
- 対象全域の画像データがAを満たすこと
- 対象との衝突を確実に回避できること

飛行経路計画の段階で導入

### 類似技術

- ・Airbusのドローン検査システム：  
ハンガー内での機体上部の検査に最適化  
[this drone-based aircraft inspection system is optimised for inspecting the upper parts of the aircraft fuselage] ([press-release](#), Airbus, 2018)
- ・ANAのドローン検査システム：  
スクリーニングに特化(検査要求が低い)

安全で高信頼な自動検査  
時間・人員コストの削減!

均一なデータの蓄積  
価値(異常発生 の 解明・予測)の創造!

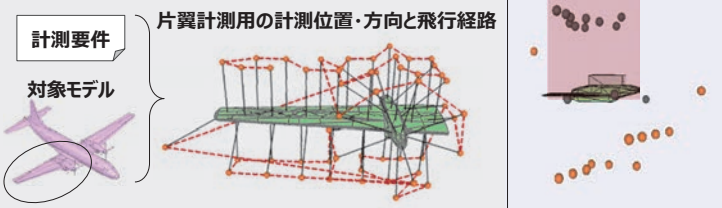
幅広い応用先  
機体・建物・設備等の包括的な検査!

## 【技術概要】

### A・B・Cを満たす経路計画法の立案

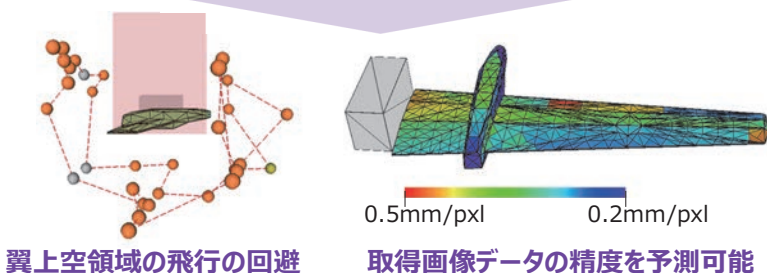
先行開発技術[1]を適用した計測

翼上空領域からの計測



対象上空を飛行：墜落時の衝突危険性大

斜め撮影を許容した経路計画

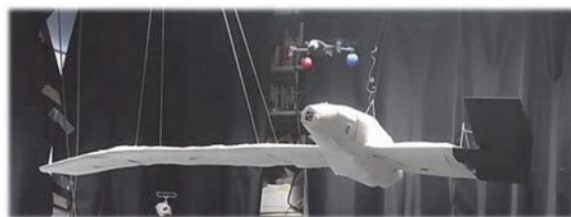


翼上空領域の飛行の回避

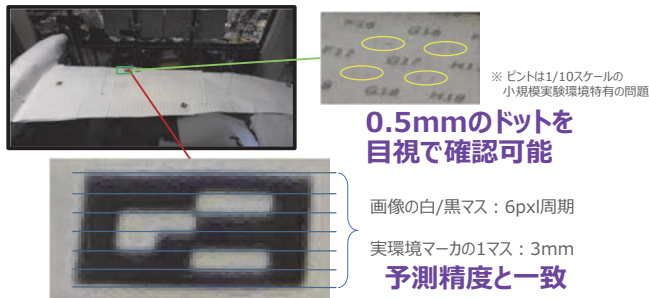
取得画像データの精度を予測可能

### 小規模環境での計測試験:

- 1/10スケール環境での片翼表面の計測
- 小型飛行体 (Anafi) による計測
- リベット脱落が検知可能な画像データ (0.5mm/pxl)
- 対象上空の飛行を禁止



計測した画像の例 (画像精度が最も悪い領域)



0.5mmのドットを  
目視で確認可能

※ピントは1/10スケールの  
小規模実験環境特有の問題

画像の白/黒マス：6pxl周期  
実環境マーカの1マス：3mm  
予測精度と一致

要素技術開発は完了

開発・実装・画像処理技術との融合による社会実装フェーズへ



# 金属部品の鏡面および細穴内の加工状態推定

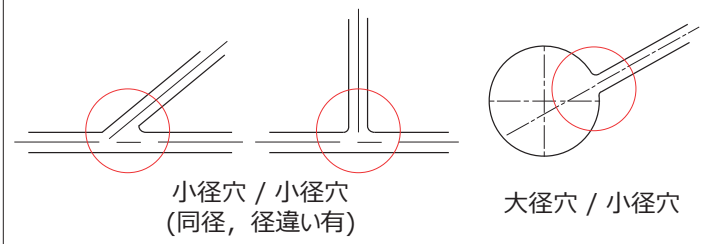
岐阜大学 原武史, 竹内祐慈, 不破僚太郎, 森下拓水  
ナブテスコ 久米宏毅, 水谷敏雄

## 研究背景・目的

### 製造業における技能人材不足が深刻

- 産業ロボットやシステムによる自動化
- 省力化・省人化によるコストダウン
- 人的影響を減らすことによる品質向上

本テーマの対象：交差穴の加工部周辺のバリ



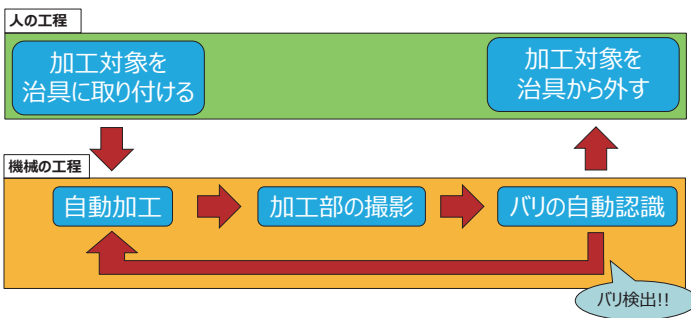
**目的** 交差穴の加工部に発生するバリのリアルタイム検出  
**手法** 工業用スコープで細穴内を撮影し、深層学習を利用した画像認識技術によりバリを検出する

## 技術課題

1. 加工部の撮影方法
  - 撮影環境の安定化と半自動化
2. 撮影された画像からバリの有無の判定
  - 深層学習を利用した画像認識

## 実現イメージ

1. 作業者がワークを治具に取り付け、起動スイッチを押す
2. 自動加工
3. 加工完了後に加工部の状態を自動認識
4. バリが発生している場合アラーム等で知らせる
5. バリが検出された場合、検出箇所にて工程2から4を再度実行
6. 作業者がワークを治具から外す



## 実現時の想定効果

- |  |                        |
|--|------------------------|
| 人の手による作業の単純化<br>- 作業者の熟練度による影響を低減<br>- 作業工程の削減による省力化・省人化 | 加工状態の定量化<br>- バリ計測の定量化 |
|--|------------------------|

- 技能人材不足の解消
  - 人的コストの削減も可能
- 品質の均一化

## 技術概要

### 実験試料と機材



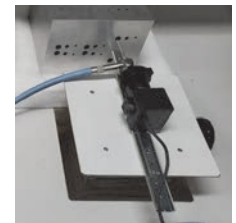
金属ブロックA (バリ無)      金属ブロックB (バリ有)



USBカメラ, LED光源, 工業用スコープ

### 加工部の撮影方法

- ・送りネジ式ジャッキとスライドレールを利用
- ・撮影時の解像度は640\*480
- ・秒間14フレームで撮影



### 深層学習によるバリ検出

撮影中の画像をリアルタイムにセグメンテーションを行う。DenseNet<sub>[1]</sub>をベースにパラメータ数を調整したモデルを作成した。

### DenseNet<sub>[1]</sub>

ある層の出力をその後のすべての層に接続することで、勾配消失の削減、特徴伝達の強化減を実現したモデル。“growth rate”を操作することで、情報伝達の程度を変更でき、同時にパラメータ数も調整可能である。

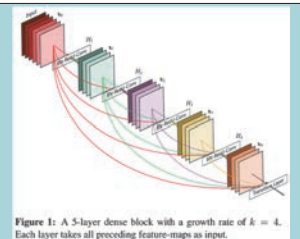


Figure 1: A 5-layer dense block with a growth rate of  $k = 4$ . Each layer takes all preceding feature-maps as input.

## 実験

実験用の加工済み金属ブロック内の交差穴加工部を撮影し、録画データを対象にバリと穴の自動検出を行った。

学習データ：168枚      テストデータ：28枚

OS	Windows10
CPU	Intel core i7-7700HQ
RAM	32GB
GPU	GTX 1050 Ti
Framework	Keras (Backend: Tensorflow)

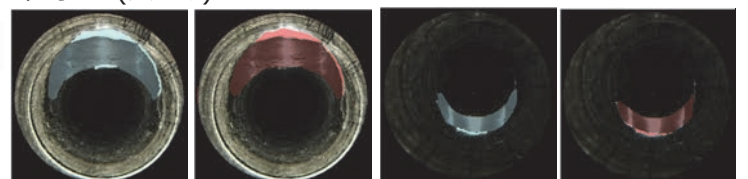
ノートPCの実行環境



実験環境のイメージ

## 結果

平均IoU(バリのみ)：46.6%  
平均IoU(穴のみ)：76.9%



IoU  
バリ:64.5%, 穴90.9%      正解ラベル      結果画像      正解ラベル      結果画像  
IoU  
バリ:35.2%, 穴81.2%

## 参考文献

[1]G.Huang, Z.Liu, L.van der Maaten, K.Q.Weinberger. Densely Connected Convolutional Networks. IEEE Conference on Pattern Recognition and Computer Vision (CVPR), 2017. pp.4700-4708

# MR を用いた作業支援システムの開発

岐阜大学 松下光次郎  
ナブテスコ 久米宏毅, 水谷敏雄

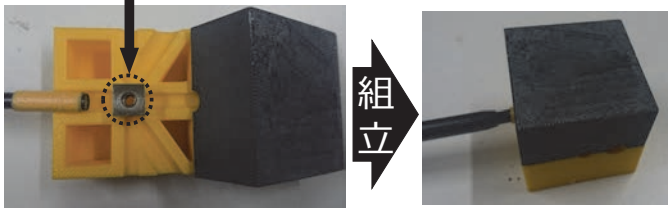
## 部品内部バリ取り作業のための技能訓練システムの開発

直接見ることができない部品内のバリ取りは、「触覚」を用いた熟練技能といえる

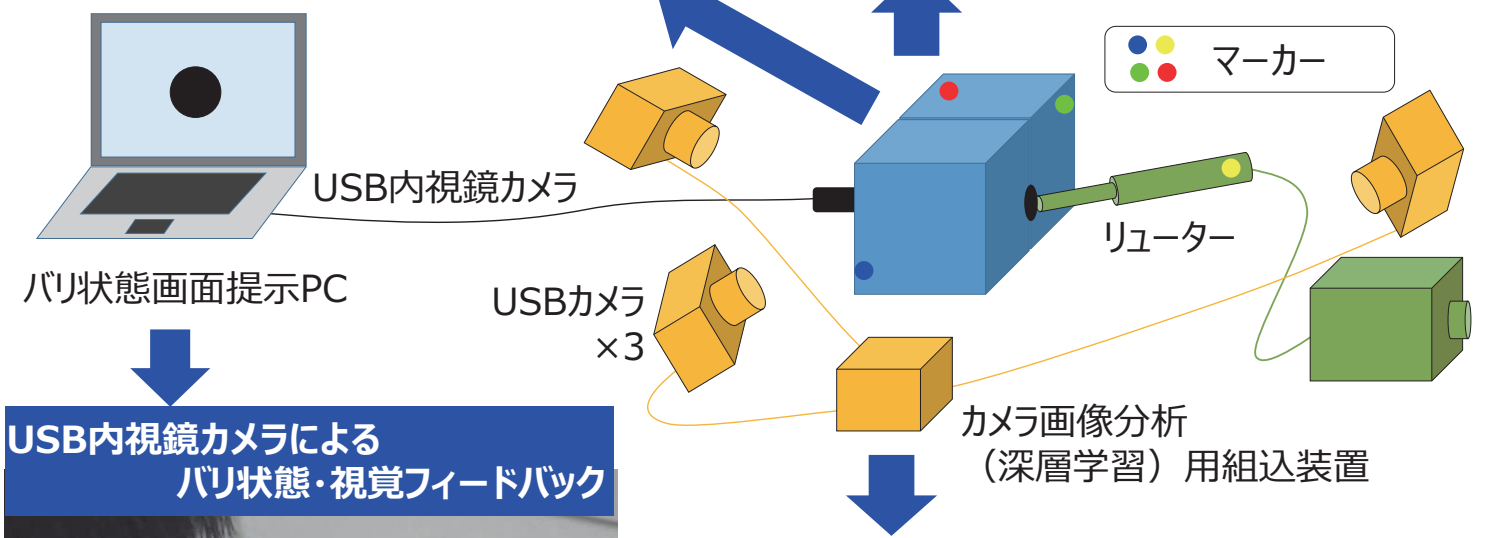
「部品内バリ取り作業」の新人教育の効率化のため、仮想技能訓練システムの実現を目指す

### 仮想バリ取り作業用・組み立て式部品

内部のバリ付金属キューブを交換して、  
何回でもバリの触覚を再現



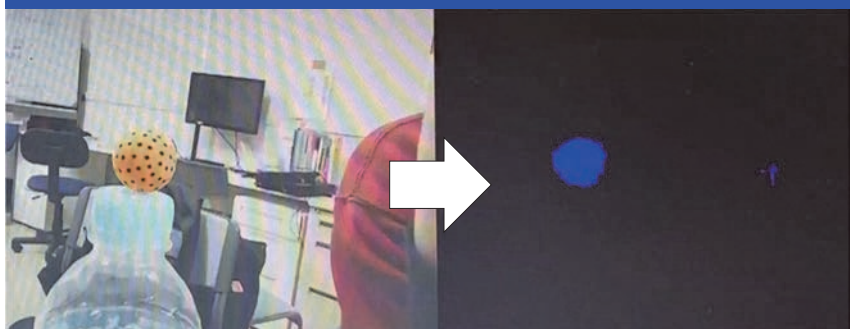
### ロードセル3軸による 接触力状態・視覚フィードバック



### USB内視鏡カメラによる バリ状態・視覚フィードバック



### 複数のUSBカメラを用いた カメラ画像分析 (深層学習) に基づく ルーター & 対象部品の姿勢分析システム 【現在, 開発中】



【今後】提案システムの実地検証を試み、未熟練者・熟練者の違いの定量的に明らかにする

# ロボットによるセーフティワイヤ組付けの自動化

岐阜大学 伊藤和晃, 八田禎之  
ナブテスコ 久米宏毅, 水谷敏雄

## ロボットによるセーフティワイヤ組付けの背景

航空機の装備品におけるボルトは、緩み止め及び脱落防止のためにセーフティワイヤによってボルト同士が繋ぎ止められている

セーフティワイヤの組付けは右図のように複数の工程で行われるが、組付け箇所が多い上にそのすべてが人作業で行われている

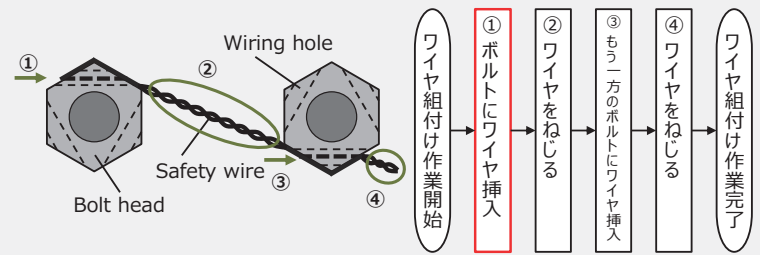


図1 セーフティワイヤの簡略図とワイヤ組付けの流れ

そこで、**ロボットによるセーフティワイヤ組付けの自動化**が求められている  
一連の工程のうち、2020年度は「①ワイヤ挿入」自動化の技術開発を行った

## ワイヤ挿入検証システムとワイヤ挿入アルゴリズム

図2に示すシステムを用いてワイヤ挿入の検証を行う

なお、本検証ではロボット手先に対するワイヤ先端の位置が既知であることを前提に行う

ワイヤ挿入アルゴリズムの概要 (図3)

- ① カメラ (図2参照) において撮影されたボルトの画像からボルトの回転角度を検出し、ワイヤの挿入方向を算出
- ② 算出されたワイヤ挿入方向に基づいて教示データを補正し、ワイヤを挿入

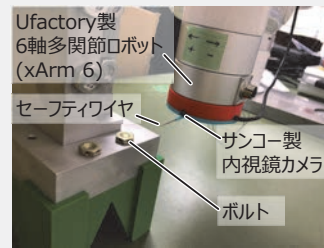


図2 ワイヤ挿入検証システム

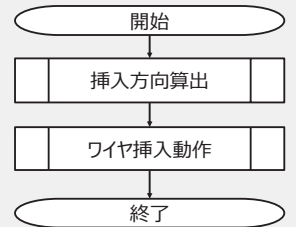


図3 ワイヤ挿入の流れ

## 挿入方向検出とワイヤ挿入動作

テンプレートマッチングに基づいてボルトの回転角度を検出し、その角度情報に基づいてワイヤの挿入方向を算出する

- 挿入方向算出のための準備  
予め角度1度ごとのテンプレート画像を作成  
なお、角度0度はワイヤ挿入動作を教示させた際の角度(基準角度)

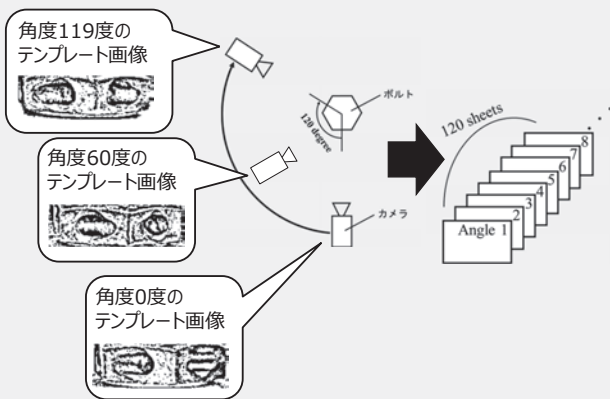


図4 テンプレート画像作成の概要

- 挿入方向検出  
120枚すべてのテンプレート画像に対してテンプレートマッチングを行い、評価関数に基づいて最も近いテンプレート画像を特定(図5, 6参照)  
テンプレートマッチングの結果から、ボルトの回転角度(挿入方向, 図7参照)を算出

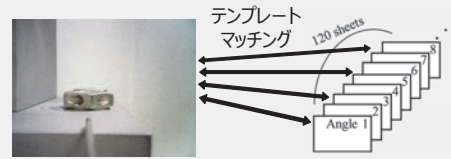


図5 ワイヤ挿入時の撮影画像とテンプレートマッチング



図6 テンプレートマッチングの結果

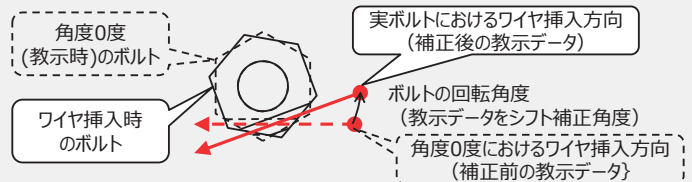


図7 教示データの補正

## まとめ

- 実現場で使用されているボルトを使用してワイヤの自動挿入を実現

今後の課題として、

- 他のボルトについてもワイヤ挿入が可能であるか検証が必要  
挿入孔とワイヤとのクリアランスによっては、ワイヤ挿入動作中に教示データをリアルタイムに補正するとともに振動を抑制する必要がある、図7のようにトルク制御可能なロボットの活用が考えられる
- ワイヤの把持及び引抜のためのハンド検討が必要

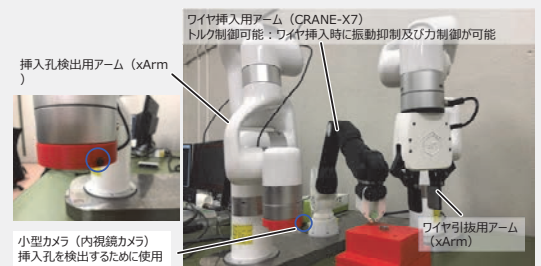


図8 ワイヤ組付け装置



## 画像処理を用いた組付け状態検査

岐阜大学 山田貴孝, 伊藤和晃, 佐藤惇哉  
ナブテスコ 久米宏毅, 水谷敏雄

### 【背景】

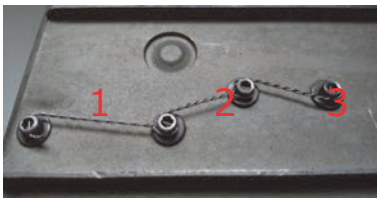
航空機備品には、緩みおよび脱落防止のために、セーフティーワイヤーを組付ける。現状、ワイヤーなどの柔軟物の組付けは手作業が多い。作業の自動化により、生産効率の上昇を目指す。

### 【成果】

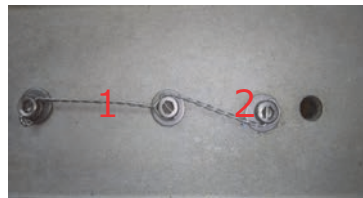
- Webに掲載されていたサンプル画像を用いて、ワイヤ検出、捻じり数カウントの手法を検討し、プログラムを構築した。
- 提案手法を用いて検出し、目視による計数と一致することを確認した。
- 今後は、手法のさらなる改善、実際的なサンプルを用いた検出が必要。



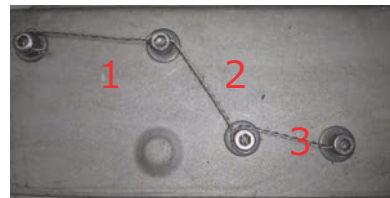
サンプル部品



画像 1



画像 2



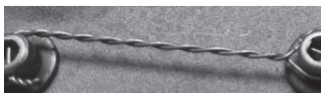
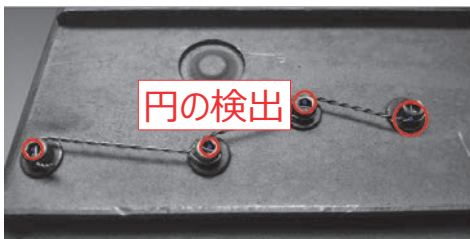
画像 3

画像の参考文献

<https://okinawa-airport-terminal.com/airplane-safety-wire/>

### 手順

- 1) 画像からワイヤーに相当する部分を切り出す
- 2) 切り出した画像からワイヤー以外の部分にマスク処理
- 3) 捻じり部分を強調するための二値化処理
- 4) 手順 2, 3 を組み合わせた画像にラベリング処理



- ・ボルト頭部をハフ変換で円として検出する。
- ・ボルト頭部を含む矩形領域を抽出する。



- ・ワイヤ部分をハフ変換で直線として検出する
- ・マスク処理により、ワイヤー以外の部分を除去する。



- ・適応的二値化処理を用いて、捻じり部分の反射光の強弱を検出する。(光が反射して他の部分より白く見える部分)



- ・ラベリング処理を行い、白く残った部分の個数をカウントする。



- ・面積について、閾値を設定し、計数誤差を修正する。(軸の部分除去)

画像	ワイヤー	目視	カウント
画像 1	ワイヤー 1	12	12
	ワイヤー 2	9	9
	ワイヤー 3	9	9
画像 2	ワイヤー 1	12	12
	ワイヤー 2	10	10
画像 3	ワイヤー 1	14	14
	ワイヤー 2	14	14
	ワイヤー 3	9	9

# AMR（自律搬送）分野

- ▶ 自律的な搬送・AMR
- ▶ アルゴリズム検証用プラットフォームの構築
- ▶ 他者との協調的な移動を達成する軌道計画・制御手法の創出
- ▶ 画像処理による AGV のための障害物認識ジェスチャー認識等の研究
- ▶ 台車牽引機構・連結制御



# 自律的な搬送・AMR (Autonomous Mobile Robot)

岐阜大学 伊藤聡, 山田宏尚, 加藤邦人, 松下光次郎, 池田貴公, 上木諭  
 名古屋大学 鈴木達也, 道木慎二, 原進, 舟洞佑記, 奥田裕之  
 川崎重工業 永塚満, 辻昌彦

## 航空機製造現場特有の課題に対応

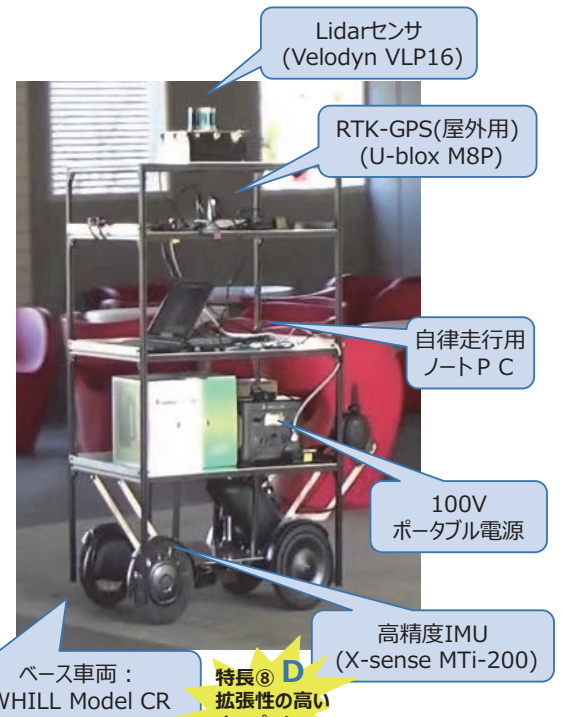
- 航空機の大型工程間製品 ➡ 常にレイアウトが変わる製造現場に対応
- 多種多様な組立部品 ➡ 多種多様な搬送経路に対応
- 作業員／搬送車が混在 ➡ 人や他の搬送車との衝突回避, 協調作業

## 特徴

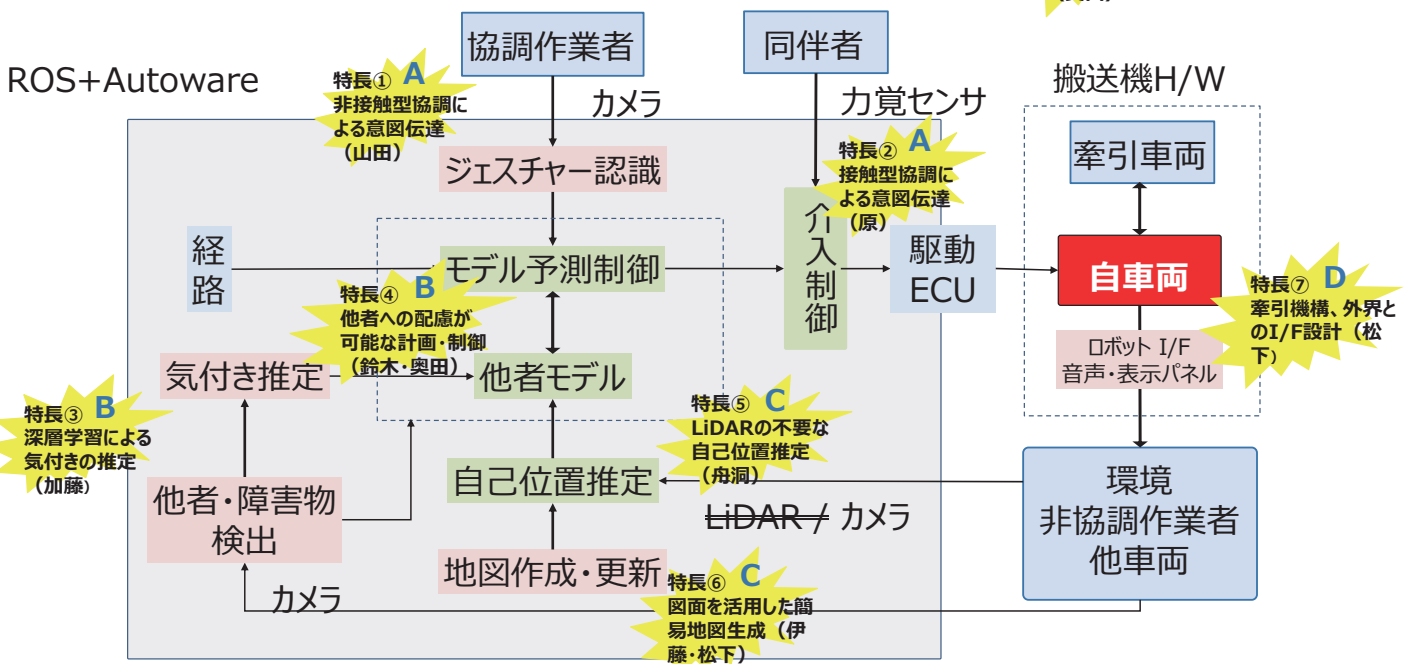
- A. 作業員との協調・協働 (山田, 池田, 原)
- B. 他の作業員への配慮 (鈴木, 奥田, 加藤)
- C. 高信頼・低コスト自己位置推定と地図作成自動化 (舟洞, 道木, 松下, 伊藤)
- D. 拡張性のあるプラットフォーム (奥田, 松下)



共同研究による強みの融合



## 次世代搬送用AMRのアーキテクチャ



# アルゴリズム検証用プラットフォームの構築

名古屋大学 鈴木達也, 奥田裕之  
川崎重工業 永塚満, 辻昌彦

## 背景, 現状の問題

大学における基礎研究では、要素技術開発は得意であるものの、システムインテグレーションに伴う問題の検証と評価が不足しがちである。各研究グループがプロジェクトで開発した要素技術を迅速に集積し、試験できる共通の基盤（プラットフォーム、PF）の整備が必要であった。

## 技術課題

**コンセプト**：学習が容易で、簡単に使え、頻繁なメンテナンスが不要な共通プラットフォーム

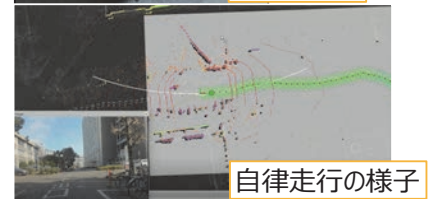
- 物理的に距離のある大学の複数研究室が協調。
- 多数の学生が参加。
- できるだけ市販品で構成しメンテに専門知識が要らない
- 誰でも利用可能で情報が多しオープンソースソフトウェア(OSS)を活用する = ROS, Autoware(名大発)の活用
- ROSによるモジュール化の効果で、各モジュールを個別に開発した後、統合することが容易

**【諸元】** 想定可搬重量：50kg      段差：5cmまで  
 本体重量：70kg                      登坂力：10度  
 充電時間：5時間                      走行距離：16km程度  
 最高速度：6km/h                      最小回転半径：760mm

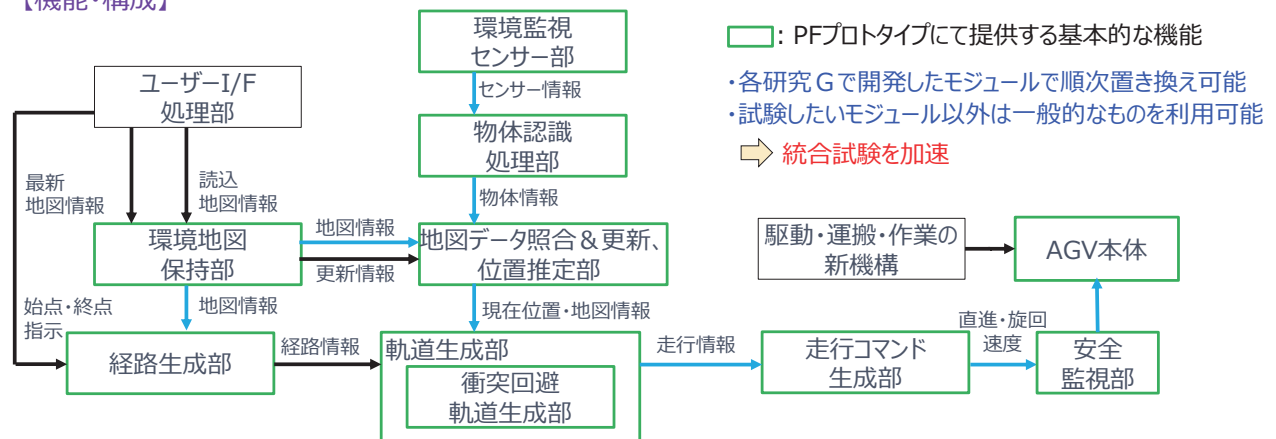
## 【搭載機器・センサ】

Lidarセンサ	前方カメラ
GPS(屋外用)	RGBDカメラ
慣性計測装置	Laptop P C
全天球カメラ	100V 携帯電源

- 各研究Gで利用が見込まれるセンサをあらかじめ搭載
- できるだけROS-Autowareで一般的なデバイスを選定



## 【機能・構成】



## 想定効果

- ROS + AutowareはWEB上に情報が多く、比較的短期間で習得可能であるため、プロジェクトへの参画が容易になり、研究・開発サイクルが加速されると期待できる。
- 検証プロセスに必要な時間を大幅に削減でき、早いサイクルでのPDCAの実行を実現できる。
- 共通プラットフォームを用いることでプロトタイプ構築の（経済的・人的）コストを削減

## ロードマップ

- PFプロトタイプによる自律搬送試験（2020年9月末）【達成】
- 障害物回避制御等、他チームの成果の集積（順次実施）

# 他者との協調的な移動を達成する軌道計画・制御手法の創出

名古屋大学 鈴木達也, 奥田裕之  
川崎重工業 永塚満, 辻昌彦

## 背景, 現状の問題

産業現場に混じって働く自動搬送AMRでは, 専用の通路等のインフラを設けることは経済的/空間的なコストに無駄が大きい。人と環境を共有しつつも, 他者にできる限り迷惑をかけることなく, 受け入れられるようなAMRのふるまいの実現が必要である。

## 技術課題

人と協調するため, **人を理解し**, **人を予測し**, **人と価値**を共有するための方策が必要。

- 判断/動作のモデル化
- モデル予測制御
- 評価関数の設計

判断: ロジスティック回帰モデル (先行する/譲る等の判断をモデル化)  
動作: ソーシャルフォースモデル (歩行者の連続的な移動をモデル化)

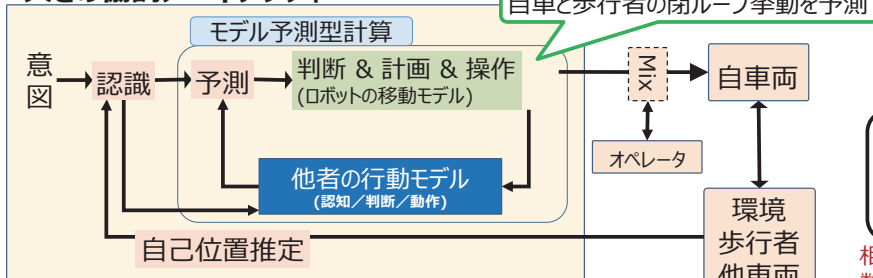
判断+動作の  
組み合わせモデル  
(ハイブリッド動的システム)

サンプリングベース (Randomized MPC)  
数値計画法ベース (Interior-point method) } 二つのアプローチを検討。  
非線形MPCを実時間で実行

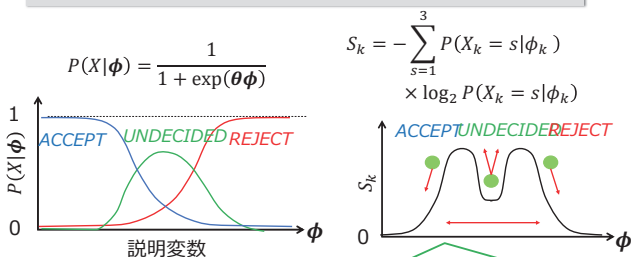
判断のエントロピー:

→判断の曖昧さを定量的に評価。協調相手の判断のエントロピーをMPCの評価関数に含めることで他者の判断があいまいになる状況を回避。理解しやすい動作を生成。

## 人との協調アーキテクチャ



## ロジスティック回帰モデル (Softmax関数)



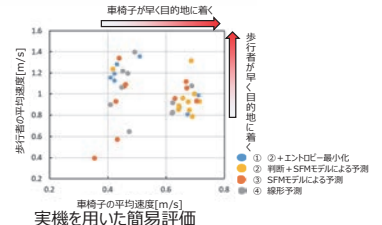
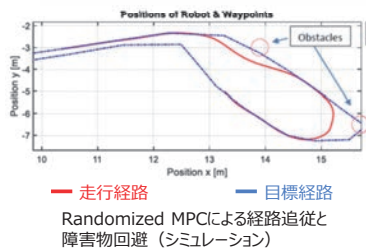
エントロピーの低い状態(相手が判断しやすい状態)へ持っていきよう車速を制御

## モデル予測制御による実現

Given:  $x(0|t) = x(t), L_W,$   
Find:  $u^M(k|t) (k \in \{1, 2, \dots, K\})$   
which minimize:  
 $J(t)$ : 目標軌道からの誤差や入力の大さき, 滑らかさ, 判断のエントロピー等の指標  
Subject to: 各種制約条件 (安全, 物理的制約)

上記の最適化問題を1制御周期毎(0.1sec程度)に解くことで制御量(車速)を決定。

## 実装と検証



## 想定効果

AMRが工場内を走行しても, 他の作業員が安心して移動, 作業を継続できる。工場内に多数のAMRが存在する場合, 安全性はもとより人への恐怖心もより大きな問題になり, 上記のような技術がより効果的となる。

## ロードマップ

- モデル予測制御ソルバの実装 (2020年9月)【達成】
- 歩行者の判断/動作モデルを考慮した協調制御の実装(2021年2月)

# 画像処理による AGV のための障害物認識 / ジェスチャー認識等の研究

岐阜大学 山田宏尚, 池田貴公, 上木諭  
川崎重工業 永塚満, 辻昌彦

## 【背景, 現状の問題】

現行の自動搬送車両

→決められたコースを走行, 柔軟な走行経路の変更不可  
レイアウトに柔軟に対応する自立搬送ロボット (人と協働環境, 時々刻々と変更する環境に対応)



現場の作業者が操作指示する必要性 → **直感的なジェスチャインタフェース**によりこれを解決

## 【技術課題】

- 1) 日常動作による誤差操作を回避するために直感的な入力と日常動作の切り分け
- 2) 人による指差しの曖昧さを許容した目標位置の設定手法

## 【実現時のイメージ】

画像認識に基づくジェスチャ認識により, **直感的な動作で停止や経路変更を指示**することが可能



## 【実現時の想定効果】

AMRへ直感的な動作で指示可能なことにより, AMRの操作技能を持たない人でも操作可能  
作業者が自身の作業中に簡潔に指示を入力可能

## 【ロードマップ】

2020年度

ジェスチャインタフェース  
ベースシステムの構築

2021年度

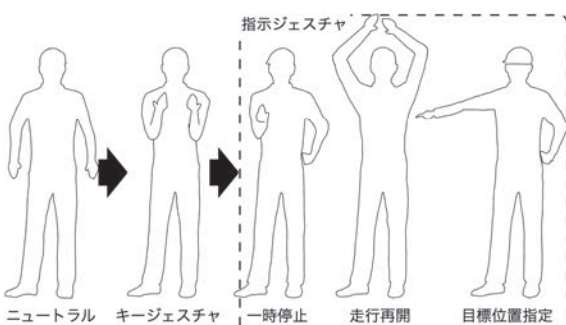
深層学習を用いた  
ジェスチャ判別器の作成

地図情報や物体認識に  
基づく目標位置補正

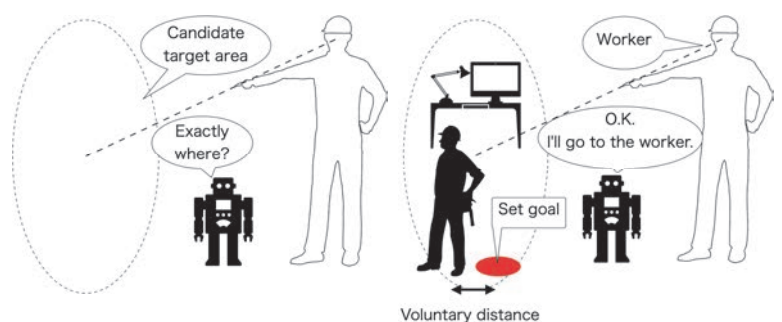
システム統合化

## 【技術概要】

キージェスチャと指示ジェスチャによる  
誤認識の回避



指差し認識と物体認識の組み合わせによる  
目標位置の設定



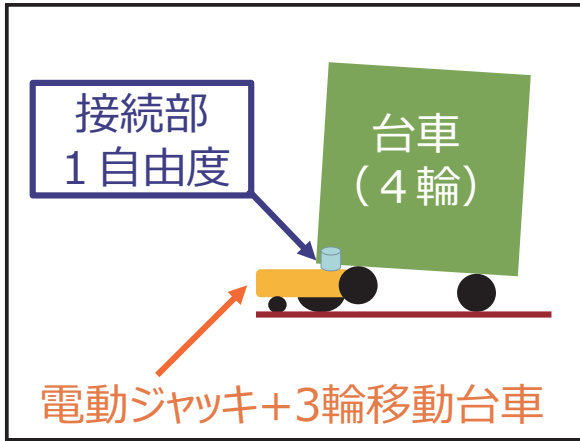
## 【発表・特許】

今村翼, 池田貴公, 山田宏尚, 座標変換による中心高レンズ画像の歪み補正, 第38回日本ロボット学会学術講演会, 2D2-01, 2020.  
特許申請中



### 既存設備に対する無人搬送システムの実現

## 潜込持上式3DLidar無人搬送 (SLAM) ロボットの実機開発



牽引型移動ロボット  
(2モータ, 1キャスト構造)

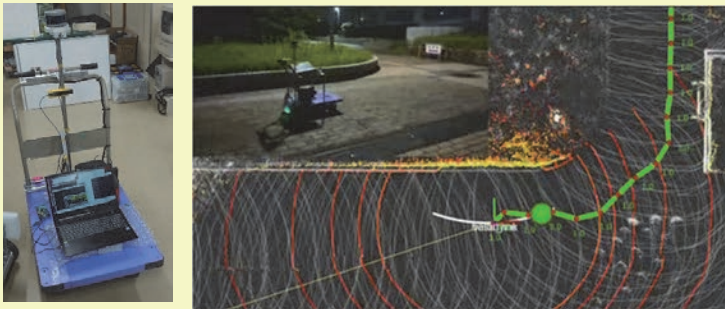


50kgの運搬検証済

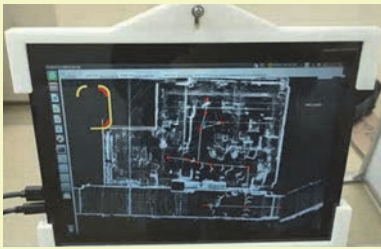
↓ 自律制御

現在, 50kg以上の荷物運搬を実現するためにモータ高出力化予定

### 3DLidar無人搬送車 (3DSLAM)

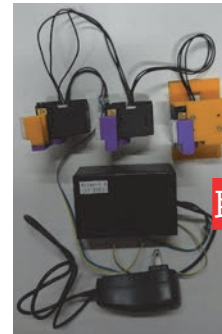


→通常の電動台車での3DSLAMの性能検証済



→利便性向上のための  
タッチパネル式  
インターフェイス導入済

### 無線エレベータ操作装置の開発

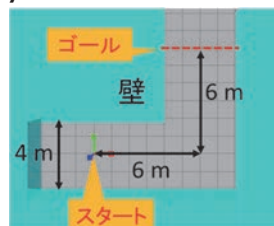
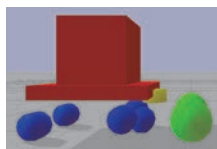


取付

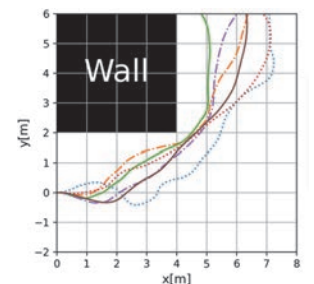
### 3D動力学シミュレーションを用いた最適な牽引制御の探索



3D動力学エンジンPyBulletに基づく  
シミュレーション



遺伝的アルゴリズムを用いた制御の探索





# 先端加工分野

- ▶ Ta含有DLC膜の工具への応用の可能性の検討
- ▶ 電子エミッションを利用した薄膜コーティングの革新的破壊靱性評価技術開発による機能性工具表面開発への挑戦
- ▶ 航空機材料に対する切削加工技術高度化に関する研究
- ▶ 航空機部品構造に対する加工技術の高度化に関する研究
- ▶ 航空機機体部品加工装置 / 工具技術の高度化に関する研究

## 研究背景

炭素繊維強化プラスチック(carbon fiber reinforced plastics: CFRP)に含有される高硬度炭素繊維由来アブレシブ摩耗により, **工具寿命が極端に低下**.

加工部のバリやはく離が発生, 切削油の使用が制限される航空機翼加工時に発生する切削粉, 被削材, エンドミルによる高摩擦によって摩擦発熱も仕上がりに悪影響.

**切れ味確保薄膜**, 及び**低摩擦による発熱抑制**が重要であり, **Ta含有DLC膜**(ta-C:Ta : tetrahedral amorphous Tantalum Carbon)をエンドミル表面に適用し, 大気中低摩擦CFRP加工用工具の可能性を明確化.

ta-C:Ta膜成膜板材とCFRPを切り出したブロック試験片は, SUJ2 (ステンレス鋼)や窒素を含有したta-CN<sub>x</sub>に比べ低摩擦係数 (図1).

ta-C:Ta膜成膜エンドミル切削試験による, 低切削トルクの可能性 (図2).

切削トルクが徐々に上昇する原因: 膜のはく離と硬さの減少. 成膜条件の改善により膜硬さ向上, 低切削トルク, 低摩擦を実現する.

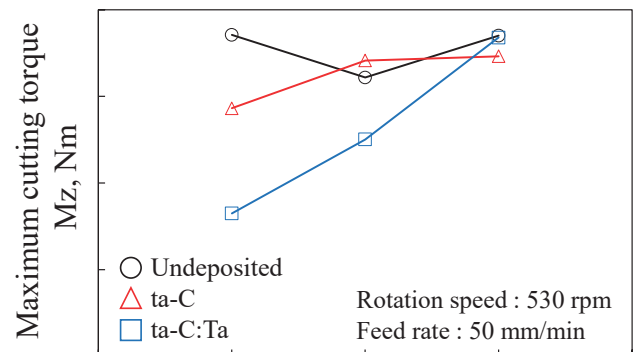
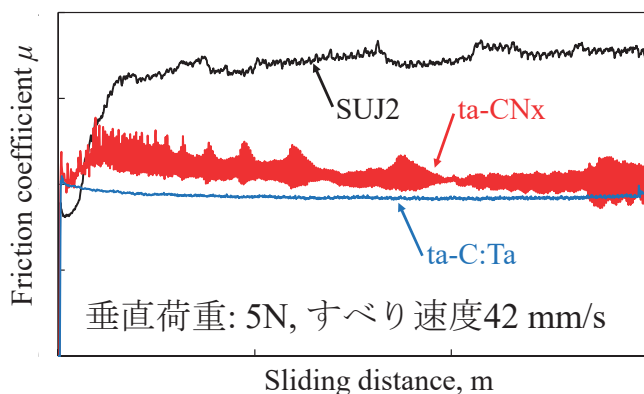


図1 SUJ2, ta-CN<sub>x</sub>及びta-C:Ta膜板材とCFRPブロックとの摩擦係数

図2 各成膜エンドミルによる最大切削トルクの切断距離に伴う変化

### IBA-FAD成膜装置



### ta-C成膜アーク



# 電子エミッションを利用した薄膜コーティングの 革新的破壊靱性評価技術開発による機能性工具表面開発への挑戦

名古屋大学 村島基之, 梅原徳次  
川崎重工業 大槻直洋

## コーティングの破壊靱性値測定

### コーティングの機械特性評価

- ・ナノインデント → 表面硬さ
  - ・スクラッチ試験 → 限界耐荷重
  - ・亀裂進展試験 → **破壊靱性値**
- ※脆性基板上での成膜が必要

### 課題

実製品基材上のコーティングに対する破壊靱性値の定量的測定手法の開発

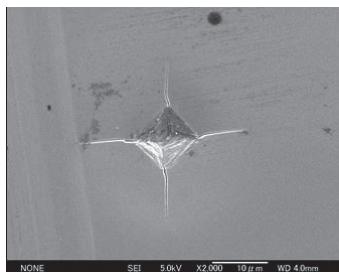


図1 シリコン基板上に製膜されたDLC薄膜の亀裂進展

## 電子エミッションを利用した破壊靱性値測定の可能性

- ・材料の破壊時に生じる電子エミッションを利用
- ・薄膜内部応力と電子エミッション量の関係より破壊靱性値を算出

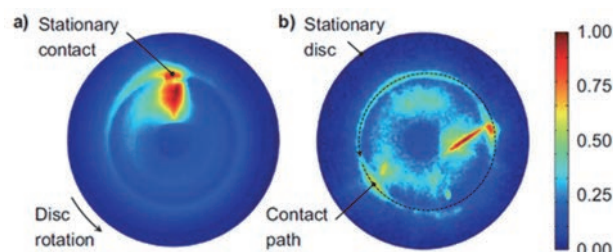


図2 摩擦による電子エミッション計測例  
\* Reddyhoff et al., Wear, 374 (2017) pp. 113.

## 研究目的

### 電子エミッション測定を用いた薄膜破壊靱性値の定量的評価手法の開発

- ・摩擦応力により生じる電子エミッションを用いた破壊靱性値の定量的評価手法の提案
- 実製品に使用される基板とコーティングを用いた評価による高信頼性、長寿命薄膜コーティングの開発

## 今年度の研究目標

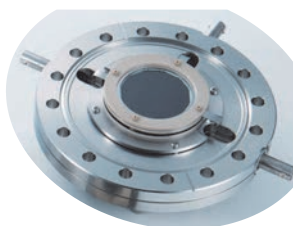
### 計画全期間概要

- ・航空機部材の自動加工, 大量生産, 高生産性生産において必要となる高信頼性, 長寿命工具の開発に重要な, **高信頼性薄膜コーティング評価技術の開発**に挑戦

### 今年度目標

- ・電子エミッションを測定するためのシステム構成検討
- ・装置の製作と稼働試験

## マイクロチャネルプレート



### MCP(マイクロチャネルプレート)

- ・表面上に微小ホールを有する
- ・ホールにより電子を増倍させることで高感度測定が可能
- ・面方向分解能を有する
- ・高真空状態で電子の測定が可能

\* 浜松ホトニクスカタログ

## 高真空環境下直動式摩擦試験装置

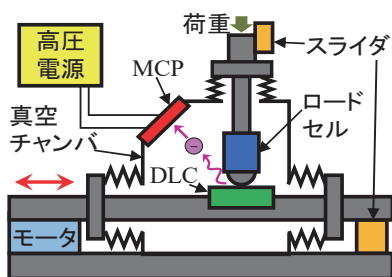


図3 高真空環境下直動式摩擦試験機

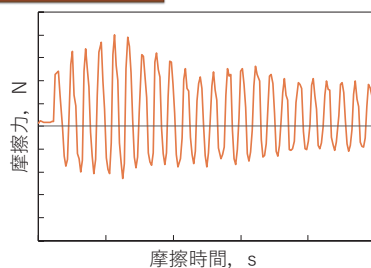


図5 測定された摩擦力

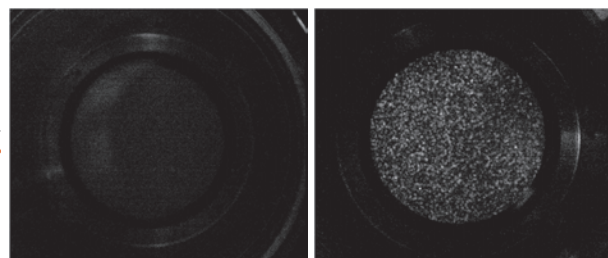


図6 MCPによる電子観察(左: 真空計OFF時, 真空計より放出される電子の観察に成功)

### 本年度の研究成果

- ・電子エミッションの測定を可能とするための高真空環境下摩擦試験機の開発を実施 (図3, 図4)
- ・高真空環境における摩擦力の測定を達成 (図5)
- ・MCPの動作に必要な5kV高電圧回路を開発
- ・MCPによる電子の撮像を達成 (図6)

### 来年度研究目標

- ・摩擦時に発生する電子エミッションを測定するための新治具形状, 試験片形状の検討
- 新しい測定手法の有効性を検証する。

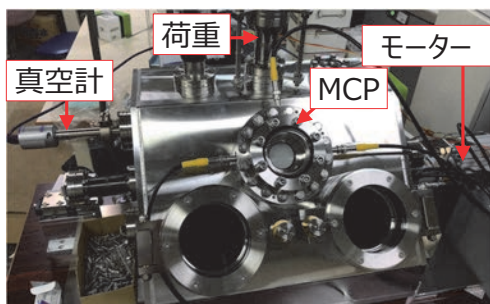


図4 高真空環境下直動式摩擦試験機外観

# 航空機材料に対する切削加工技術高度化に関する研究

名古屋大学  
オークマ  
川崎重工業  
日本特殊陶業

中村隆, 社本英二, 早坂健宏, 水谷雄大, 長田孝二, 荒井政大, 吉村彰記  
安藤知治  
大槻直洋  
波多野祐規

## ■ 背景, 現状の問題

- 切削加工においては, 工具の刃先が損耗することが生産性を低くしている。
- 損耗の少ない工具材料が漸次開発されているが, 航空機産業では削りにくい(難削性)材料が増えている。
- 刃先損耗の状態を加工プロセス中(インプロセス)に観察できれば飛躍的に生産性が向上する。
- 現状では実用的な工具刃先インプロセス監視の方法がない。

## ■ 技術課題

- 航空機産業では多様な切削形態があり, 特殊な機材を使う工具刃先インプロセス監視は使えない。
- 生産性最優先のため, 工程・段取の変更は避けたい。
- 工具刃先監視に使う機材は安価で使いやすいものでなければならない。

## ■ 実現時のイメージ

- マシニングセンターを使った部品製造現場では, 従来通りの作業において, 操作パネル画面に工具刃先温度がオシロスコープ波形として常に表示される。
- 研究が進めば, 測定波形からAI識別により自動的に工具交換, 座標補正が可能となる。

## ■ 実現時の想定効果

- 現在は工具の使用時間管理で工具交換を行っているため, 寿命のばらつきもあり工具本来の性能が使えていない。インプロセス監視が可能となれば, 工具交換回数が減り, 加工費の削減が望める。
- 突発的な工具欠損による製品不良も防ぐことができる。航空機部品は高価であるため, 経費削減につながる。
- 本手法が適用された工作機械は, 航空機産業のみならず幅広く利用が進むと想定される。

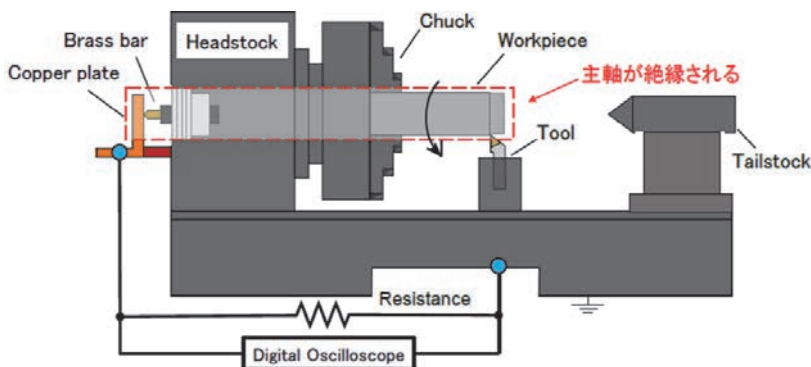


図1 旋削でのTEMF測定(絶縁無し)

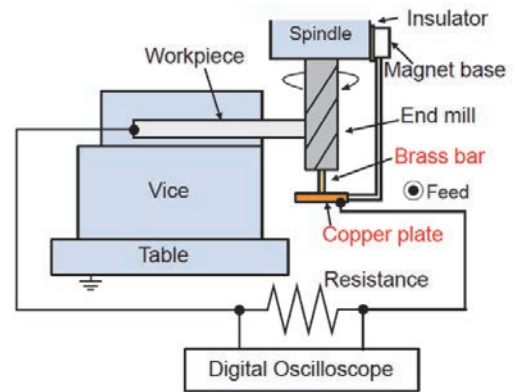


図2 縦型MCでのTEMF測定(絶縁無し)

弾性流体潤滑理論を利用した, 実用性を考慮に入れた絶縁レス熱電対法による温度測定が可能な工作機械を開発

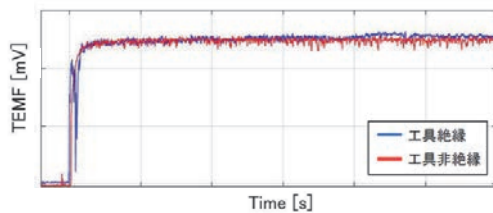


図3 TEMF測定結果(旋削, 絶縁有無比較)

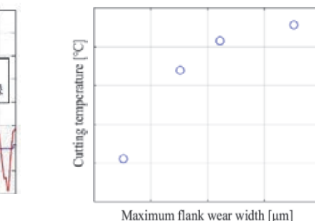
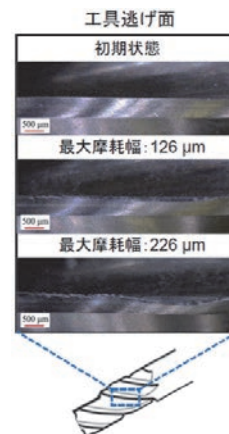
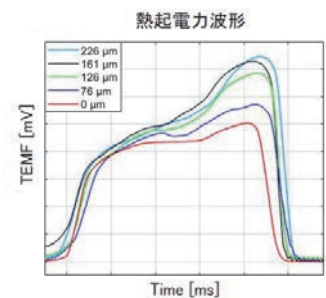


図4 測定波形(MC) 図5 摩耗幅-刃先温度



摩耗が刃先上部で進行  
→ 一切削時間後半で熱起電力上昇

図6 エンドミル加工でのTEMF測定結果

絶縁レス熱電対法による温度測定に成功

測定した温度と工具摩耗の相関を確認



# 航空機部品構造に対する加工技術の高度化に関する研究

名古屋大学 社本英二, 早坂健宏, 中村隆, 水谷雄大, 奥村大  
川崎重工業 大槻直洋  
オークマ 安藤知治  
村田機械 廣瀬光典

## ■ 背景・現状の問題・技術課題

主に燃費向上のため航空機機体の軽量化が進められている。そのため部品構造の軽量化が図られ、その形状等に起因して加工技術の高度化が求められている。具体的には、①軽量化のために各部品の薄肉化が進み、加工時の静たわみ・強制振動・自励振動問題を生じる、②複雑形状部品の金属積層造形への期待が高いが、現状では需要の高いアルミ合金に適した高能率高精度低コスト積層造形法が存在しない、③振動問題の設計段階での予測には機械構造の減衰予測が必要であるが、現状では非現実的な長い解析時間を要し事実上不可能である、などの技術課題がある。

## ■ 技術概要・実現時のイメージ・実現時の想定効果（上記①に対する研究開発について詳述）

従来の薄壁加工法(図1)では、薄壁の高さ方向に細かく分割して粗・仕上げ加工を実施するため能率が低い。これに対して提案法(図2,3)では、低剛性方向の加振力・再生幅（再生びびりの一因）が小さくなるように粗加工時の切削送り方向を薄壁高さ方向に変更し、大きな余肉を加工箇所のおすぐ隣りに残して仕上げ加工を行う。提案法とそのために開発した工具により、数十倍の自励振動安定性、仕上げ面積比2.5倍、除去体積比11倍以上の高能率化（粗・仕上げ加工込み）と高精度化（たわみ40%減）を同時に達成した。今後実製品への適用に向けて検討を進める。

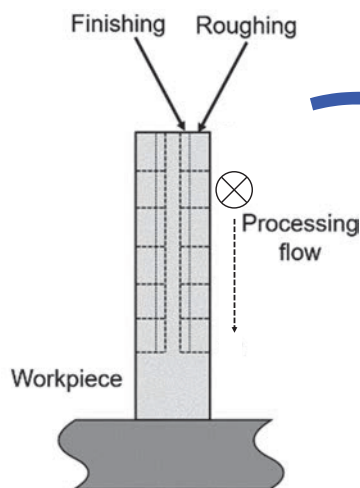


図1 従来の薄壁加工法

高能率化：加工能率 2.5倍以上(仕上げ面積比), 11倍以上(除去体積比)  
高精度化：静たわみ 40%減

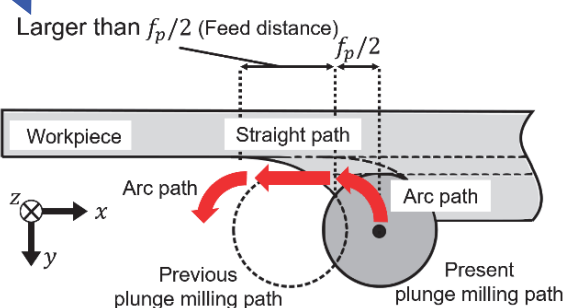


図2 提案する薄壁加工法

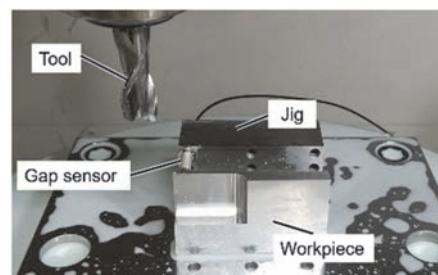


図3 加工実験の様子

## ■ 特許・成果発表

1. 中村 隆, 社本英二. 切削装置, 出願番号: PCT/JP2020/033554 (出願日: 2020年9月4日)
2. 社本英二, 早坂健宏, 宮川景伍. 突き加工を応用した高精度高能率薄壁加工法, 加工装置, および加工プログラム, 出題番号: PCT/JP2020/008388 (出願日: 2020年2月28日)
3. 宮川景伍, 早坂健宏, 社本英二. 突き加工を積極的に利用する薄肉立壁の高能率切削法の提案. 精密工学会2020年度春季大会学術講演会講演論文集. 2020年3月発表



## ■背景・現状の問題・技術課題

航空機部品を製造するための加工装置は、材料の切断に始まり、マシニングセンタに取り付けた工具による切削の仕上げ加工が幅広く行われている。最近では、航空機部品に使われている材料は進化（e.g. 高高温強度化）を続けており、また、従来を超える高能率加工を実現に向けて様々な取組みが行われている。その一方で、①**工作機械の動剛性変化に起因する振動問題**、②**切断時の工具損耗・びびり振動・帯鋸曲がり問題**、などが今まで以上に問題になっており、それらの解決が望まれている。

## ■技術概要・実現時のイメージ・実現時の想定効果

### ①N041 工作機械の動剛性監視

工作機械の動剛性の新しいモニタリング手法を研究開発する。工作機械の主軸の超高速回転によるベアリングの予圧変化や、工作機械の経年変化により、加工能力を決める主軸システムの**動剛性**がそれらの変化前と比べて**大きく変化**する。一方で、これらをモニタリングすることは現状では難しいあるいは不可能とされている。したがって、この変化をモニタリングすることで、**加工能力**を**最大限**に発揮出来る加工条件等を選定することを旨とする。

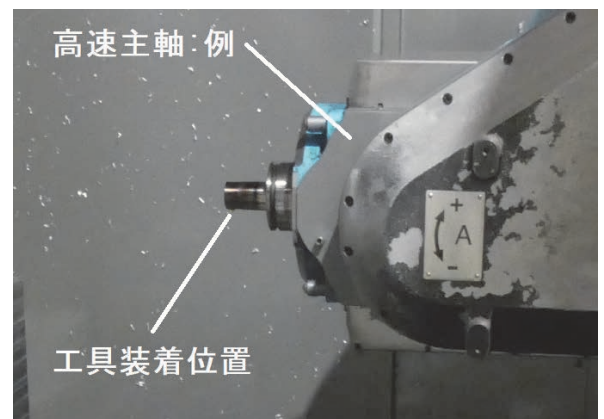


図 超高速主軸（e.g. 30000 min<sup>-1</sup>）を搭載した工作機械の例

### ②N042 材料切断装置の高度化に関する研究

切断時の種々の問題を解決する切断条件最適化法・新切断法を研究開発する。切断加工は古くから行われているもののその定量的な評価は十分にされておらず、その際の**条件が最適である**とは言えない。また、切断時に有効とされている**振動付与**の現象も**未解明**部分が多い。これらを評価・解明することで切断・振動付与条件を最適化し、また、これらの限界をも超える**新しい切断加工法**の開発も目指す。

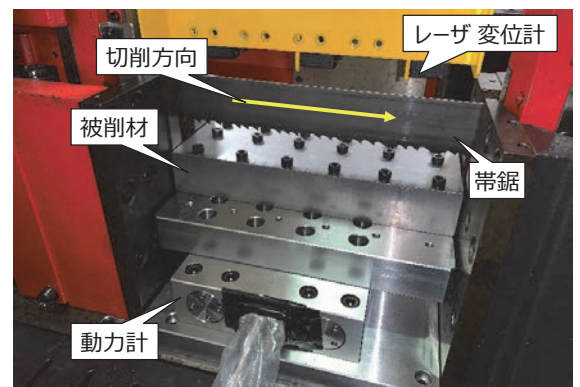


図 帯鋸切断機を用いた基礎切削試験の様子

▶▶ 計算機室

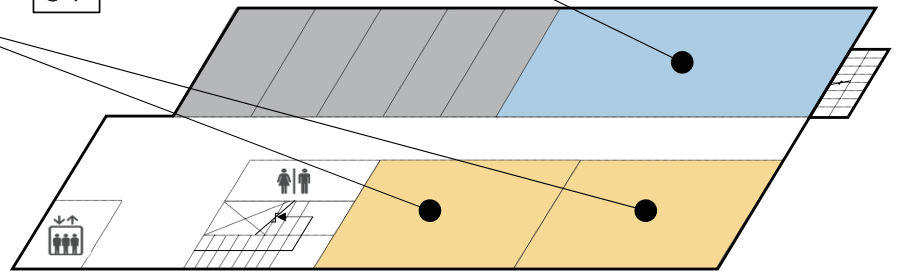
人工知能(深層学習や強化学習など)の学習などに必要な計算機を配備

▶▶ 共同実験研究室

企業と大学との共同研究成果の実装に向けた実証実験等を実施

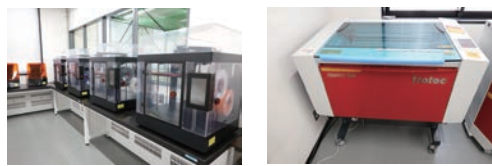


3 F



▶▶ FabLab・計測室

実習／研究で使用する治具／部品の製作などに使用する加工機（3Dプリンター、レーザー加工機、ミリングマシンなど）や計測機器(3Dスキャナー、レーザートラッカーなど)を配備

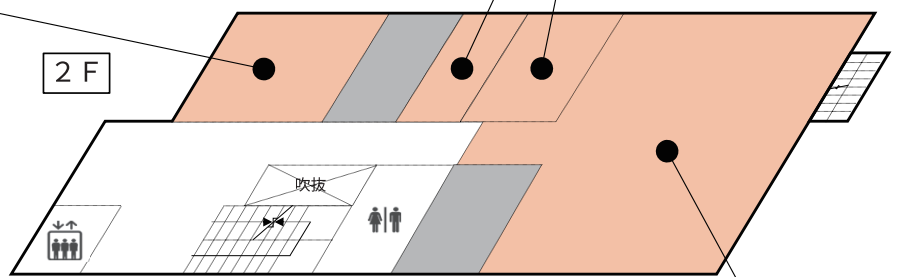


▶▶ セミナー室

遠隔講義システムを活用した名古屋大学との連携授業の他、生産技術・設計に関する学生教育／リカレント教育を実施

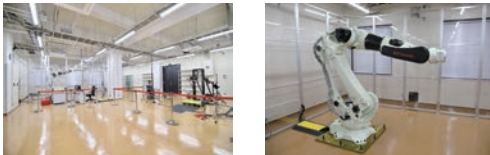


2 F



▶▶ 生産技術共同実験研究室

アーム型ロボットや人作業を対象とする計測のための実験装置などを用いた企業との共同研究を実施



▶▶ 共同実験オープンスペース

電動模型飛行機を自動で組み立てる生産工程を学ぶための実習の他、専用装置を要する実習を実施

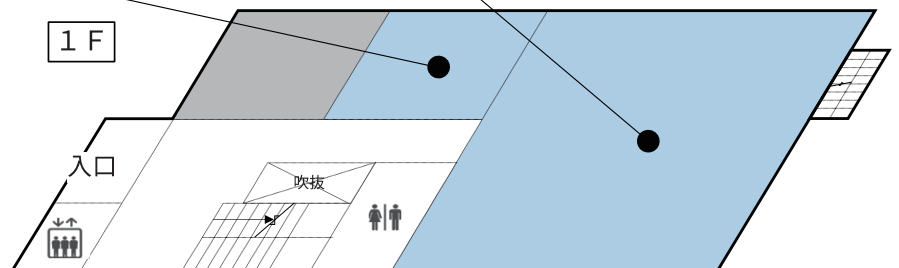


▶▶ サイバーオープンスペース

大型モニターを利用し、サイバーフィジカル工場に向けた研究開発の打ち合わせや議論および研究成果の検証などを実施



1 F



# 学内マップ



## 所在地

岐阜大学 柳戸キャンパス構内  
岐阜バス「岐阜大学」バス停 下車 徒歩5分、「柳戸橋」バス停 下車 徒歩10分

## 岐阜大学までのアクセス

JR岐阜駅／名鉄岐阜駅から大学まで約7km。朝の通学は岐阜駅からの直行バスが便利です。  
午前 7:30～8:30までは、直行バスが5～7分間隔で運行。清流ライナーや普通を加えると3分間隔で運行しています。





# IPTeCA

INTELLIGENT PRODUCTION TECHNOLOGY  
RESEARCH & DEVELOPMENT CENTER  
FOR AEROSPACE



東海機構 航空宇宙生産技術



H P : <https://www1.gifu-u.ac.jp/~ipteca/>

E-mail : [ipteca@gifu-u.ac.jp](mailto:ipteca@gifu-u.ac.jp)

T E L : 058-293-3714 (代表)



 @ipteca\_tn

 @ipteca\_tn



チャンネル名  
航空宇宙生産技術開発センター

本事業は下記交付金・補助金により運営されています。

【内閣府】 地方大学・地域産業創生交付金 「日本一の航空宇宙産業クラスター形成を目指す生産技術の人材育成・研究開発」

【岐阜県】 航空宇宙産業生産技術人材育成・研究開発事業費補助金☑