



ともに挑む。つぎを創る。

産業用ロボットによる機械加工の研究動向

加藤 大暉

製造サイバーフィジカルシステム研究チーム

2025年11月26日

産総研シーズンウェビナー

～次世代ものづくり実装研究センター特集～

1. 産業用ロボットによる機械加工（ハード）

1.1 ロボット加工の背景

1.2 ロボット加工の課題

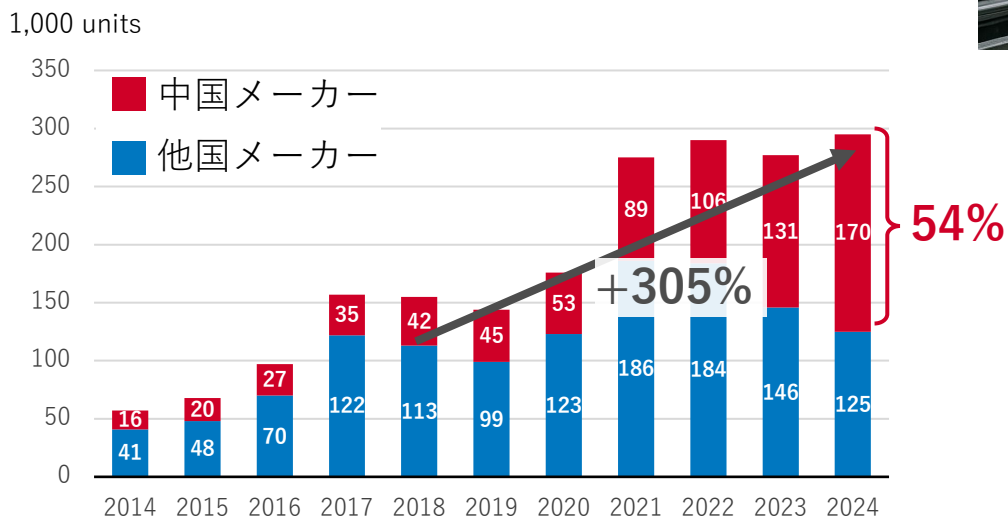
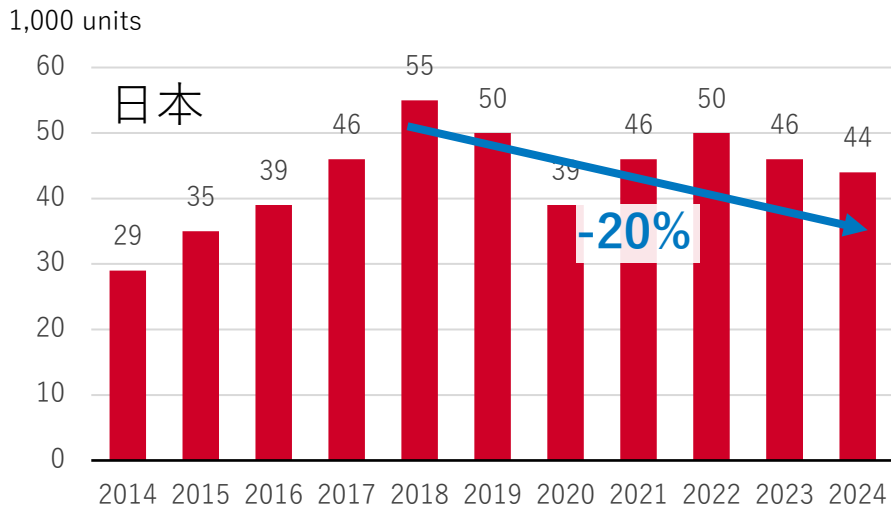
1.3 特異点とは

1.4 特異点加工による高剛性な加工

2. ROSによるロボットティーチング（ソフト）

産業用ロボットによる機械加工 —ハード—

産業用ロボット新規導入状況（協働ロボット含む）



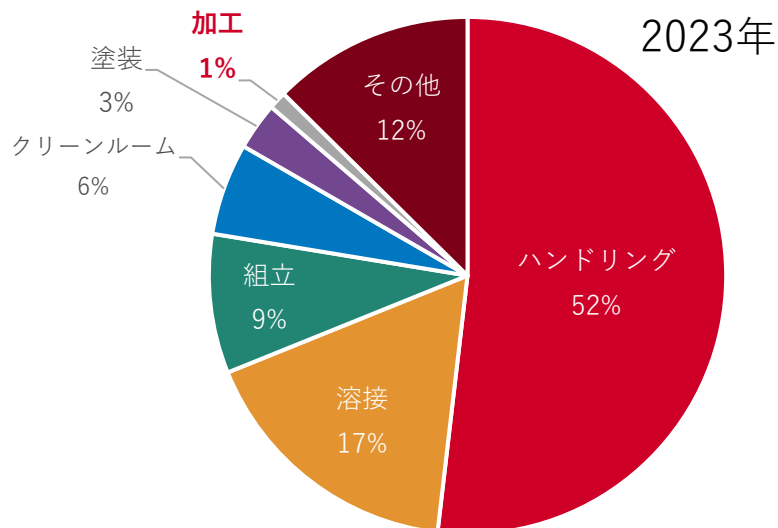
Copilotで作成

- 日本の産業用ロボットの新規導入台数は頭打ち
- 中国メーカーのシェアが拡大
- 中国国内の新規導入台数も増加

International Federation of Robotics, "World Robotics 2025"

産業用ロボットの新たな活用先

従来の産業用ロボットの用途



International Federation of Robotics, World Robotics 2024”

- 52%がハンドリング用途
- 用途は長年変わっていない
- 加工用途(研磨含む)は1%



新たな活用先：ロボット加工



産業用ロボットで切削加工

→ ロボット加工

- 産業用ロボットの手先にスピンドルモーター
- エンドミルによる金属切削加工

ロボット加工の利点



3軸マシニングセンタ



5軸マシニングセンタ



6軸産業用ロボット

スペース 大・コスト 大

スペース 小・コスト 小

汎用性 小

汎用性 大

剛性 大

剛性 小

■ ロボットの剛性が低い

各関節のギアや
減速機がたわむ



手先位置がずれる



Copilotで作成

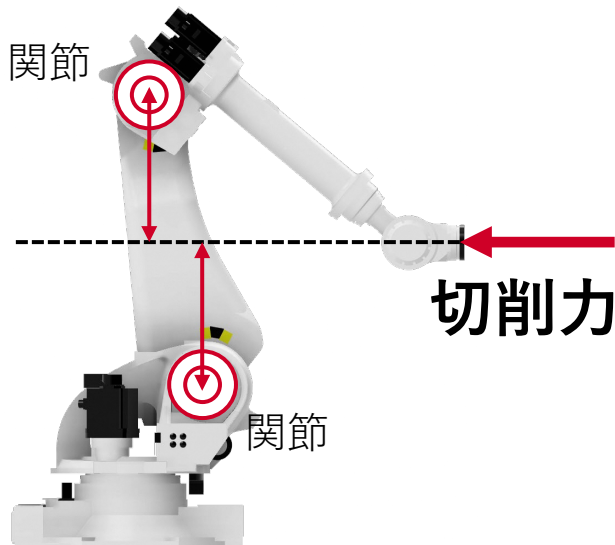


50倍の剛性



Copilotで作成

■ ロボットの姿勢によって剛性が変わる



姿勢によって切削力の作用線と関節の
距離が変わる



姿勢によって切削力が各関節に加える
モーメントが変わる

■ 剛性が高くなる姿勢とは？→特異点

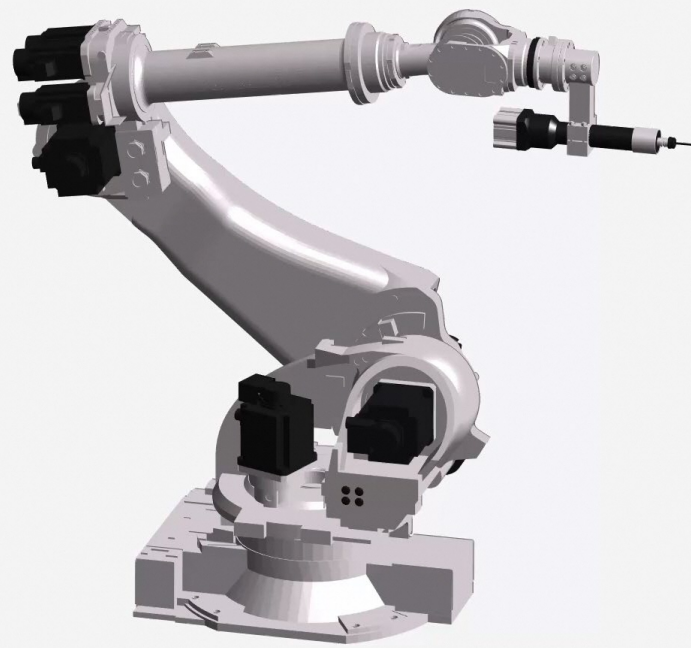
手首を伸ばした姿勢→特異点



- 特異点では手首を伸ばした方向に剛性が高くなる

問題点

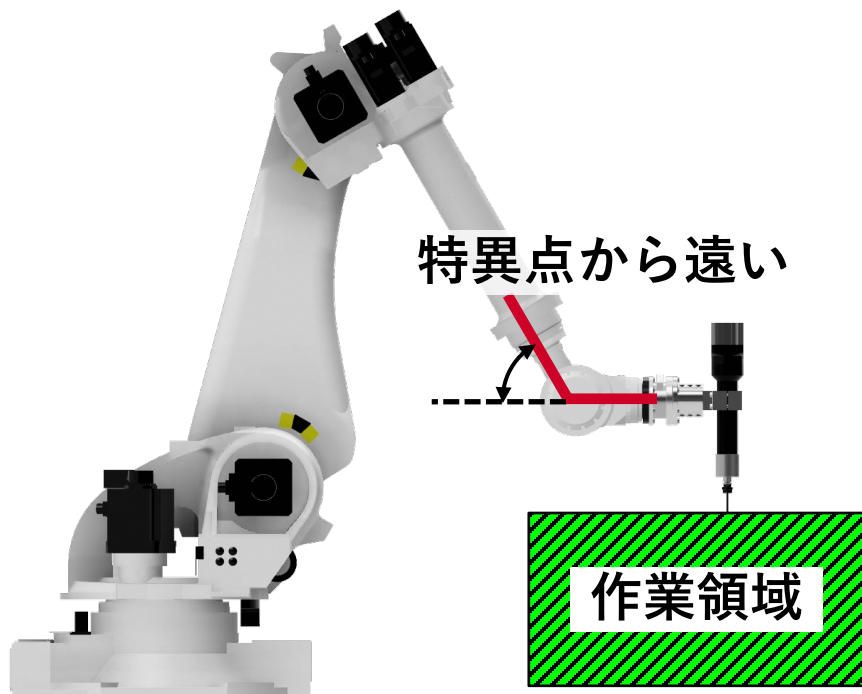
特異点は数学的な理由から避けられてきた



特異点通過時に関節が急回転する

■ 大型ワークの加工には横型ロボット加工が必要

従来 縦型ロボット加工

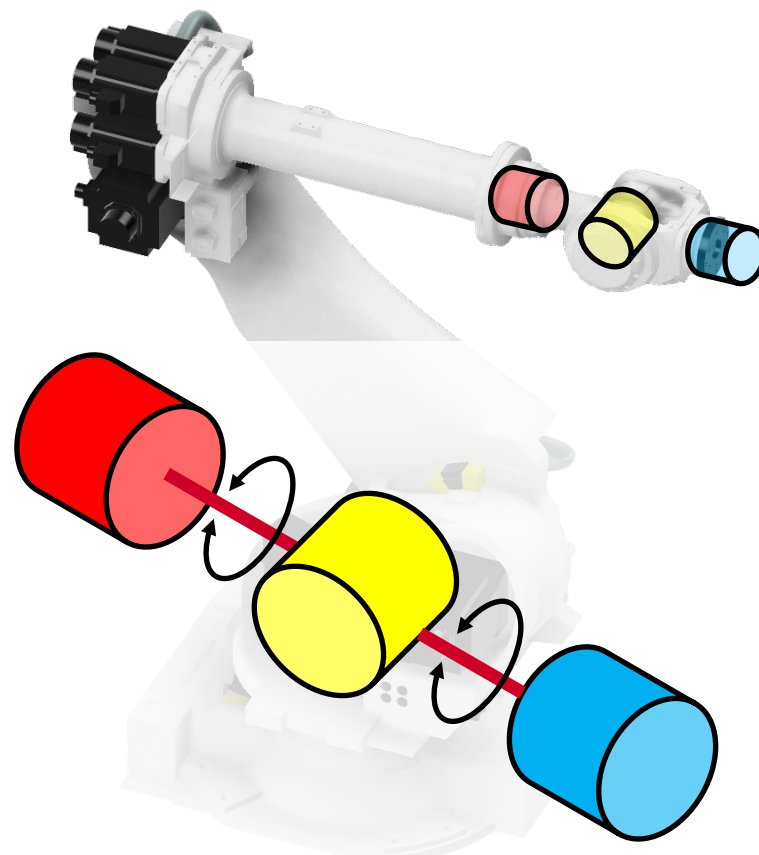
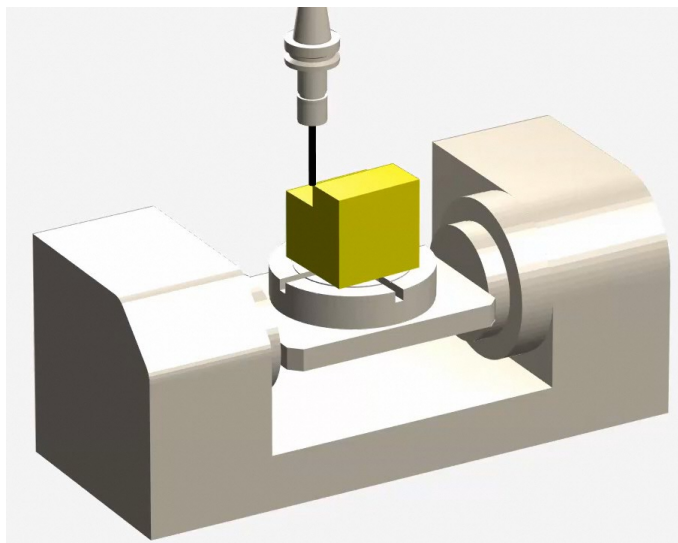
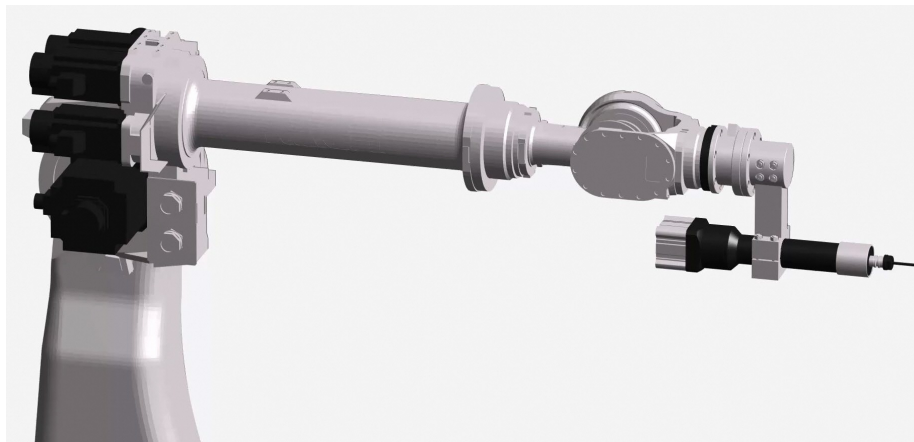


提案 横型ロボット加工



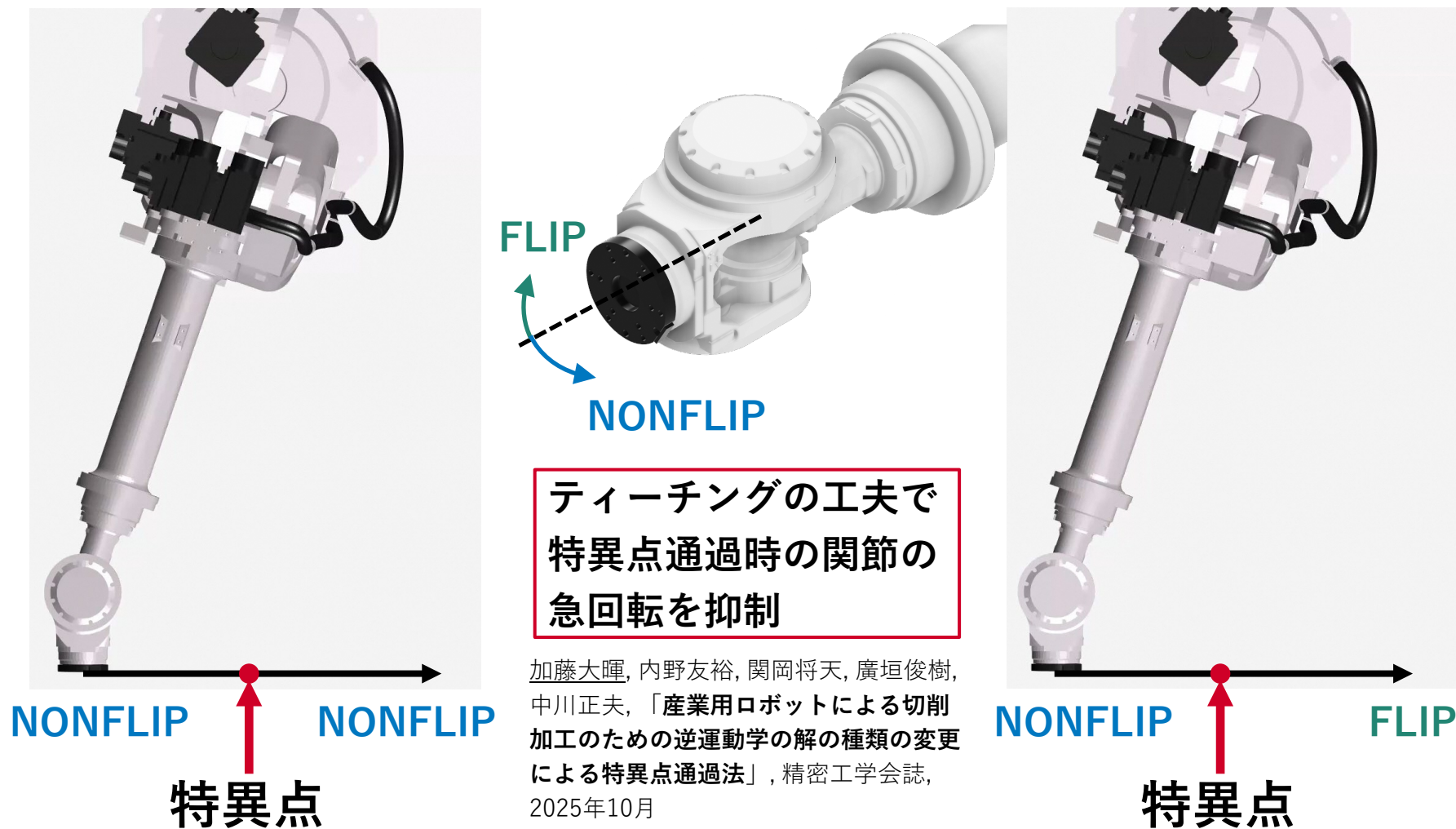
横型ロボット加工は特異点に近くなる
→特異点問題を解決する必要がある

■ 解が数学的に一意に定まらない特別な姿勢

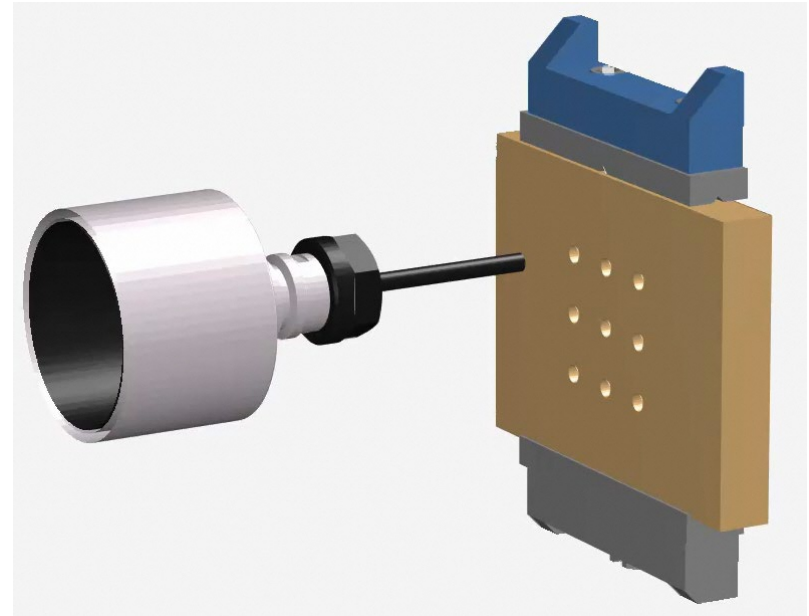
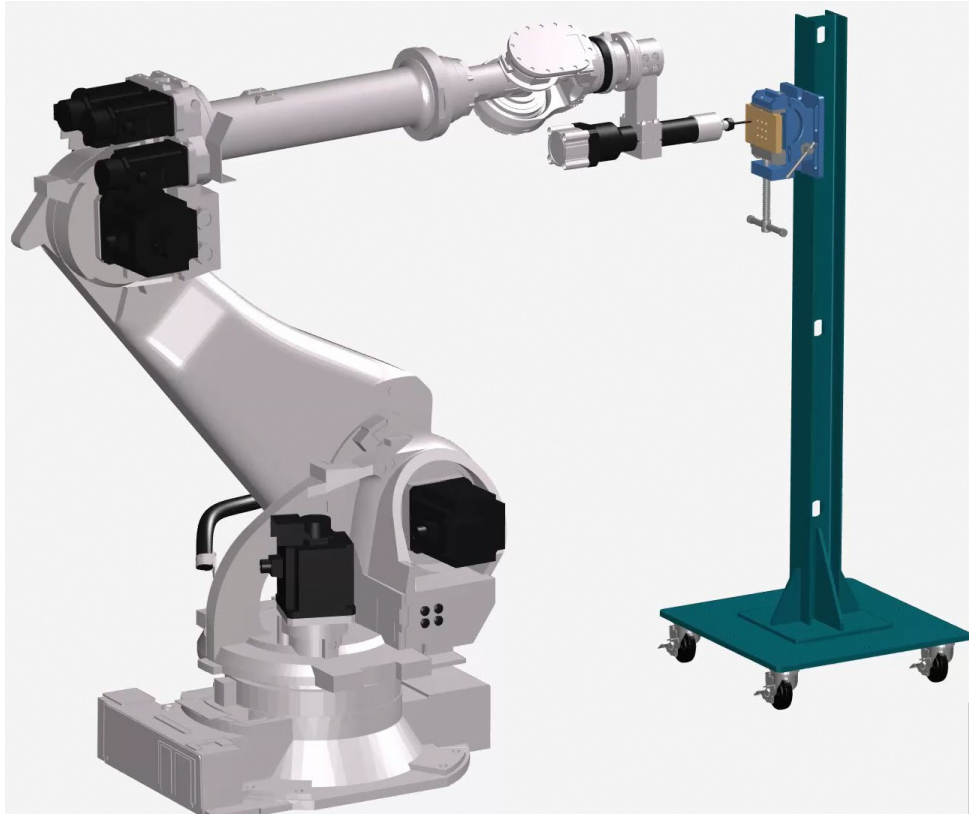


と の回転軸が平行

■ 特異点で解の形態(NONFLIP or FLIP)を変更



■ MATLABでロボットプログラム作成



ロボット言語を出力

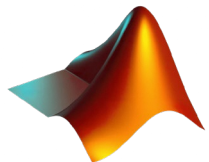
REM "singularity drilling"

MOVEX A=1P, AC=0, SM=0, M1J, P,(1.824776, 134.275402, -42.642740, 131.806128, 2.448365, -131.832131),R=10,H=1,MS

MOVEX A=1P, AC=0, SM=0, M1J, L,(1.715536, 132.031267, -41.977310, 91.800938, 1.716384, -91.801746),S=8.300000,H=1

DELAY 1.0

MOVEX A=1P, AC=0, SM=0, M1J, L,(1.824776, 134.275402, -42.642740, 131.806128, 2.448365, -131.832131),S=16.600000,H=1,MS



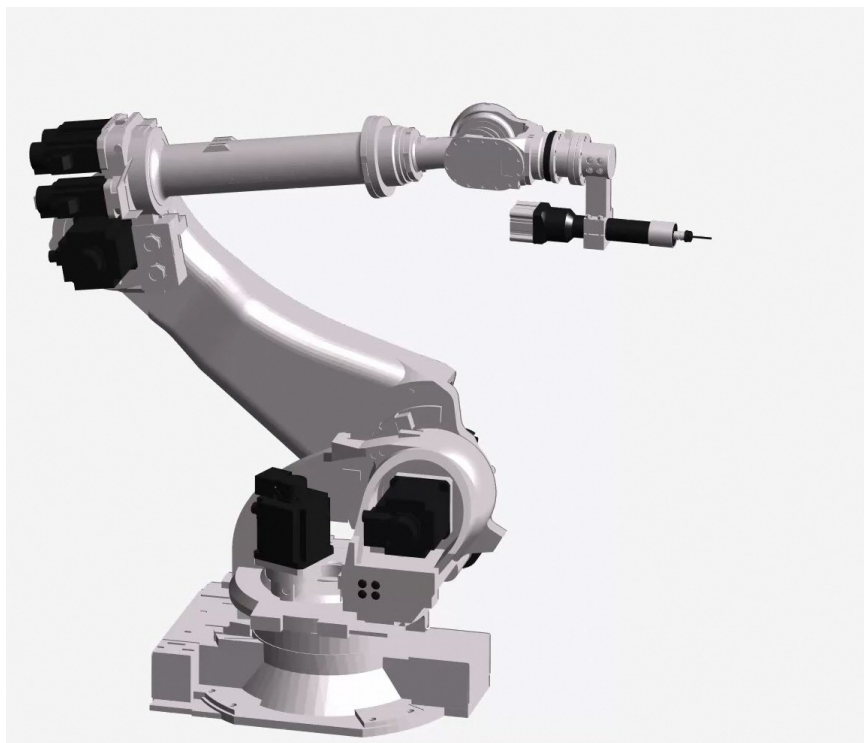
MATLAB®

Robotics System Toolbox

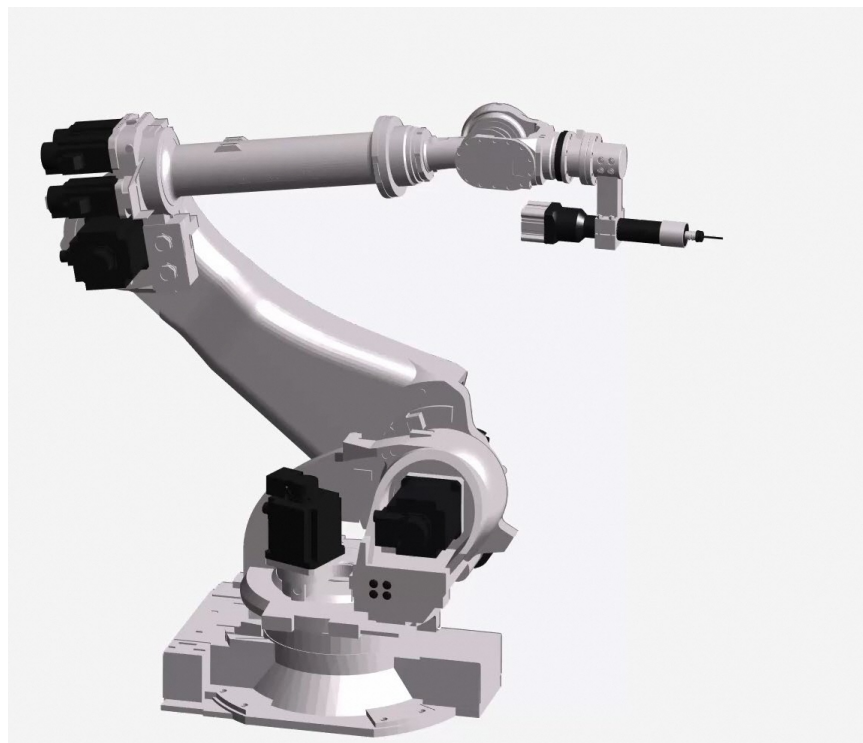
<https://jp.mathworks.com/products/robotics.html>

■ 特異点通過アルゴリズムによる急回転の抑制

アルゴリズム適用前



アルゴリズム適用後



特異点で**高剛性**な加工を実現

ロボット加工の課題はロボットの剛性が低いことであり、剛性は姿勢によって大きく変わる。

特異点では特定の方向の剛性が高くなる。

しかし、特異点は数学的に解が不定となる特別な姿勢で避けられてきた。

そこで、**特異点通過アルゴリズム**を適用して、特異点で加工することで剛性を上げて、加工精度を向上させた。

ROSによるロボットティーチング —ソフトウェア—

1. 産業用ロボットによる機械加工（ハード）

2. ROSによるロボットティーチング（ソフト）

2.1 ロボットティーチングの背景

2.2 ロボットティーチングの課題

2.3 ROSとは

2.4 ROSによる制御と通信の共通化とその効果

■ 産業用ロボットのティーチング方式

ティーチングプレイバック



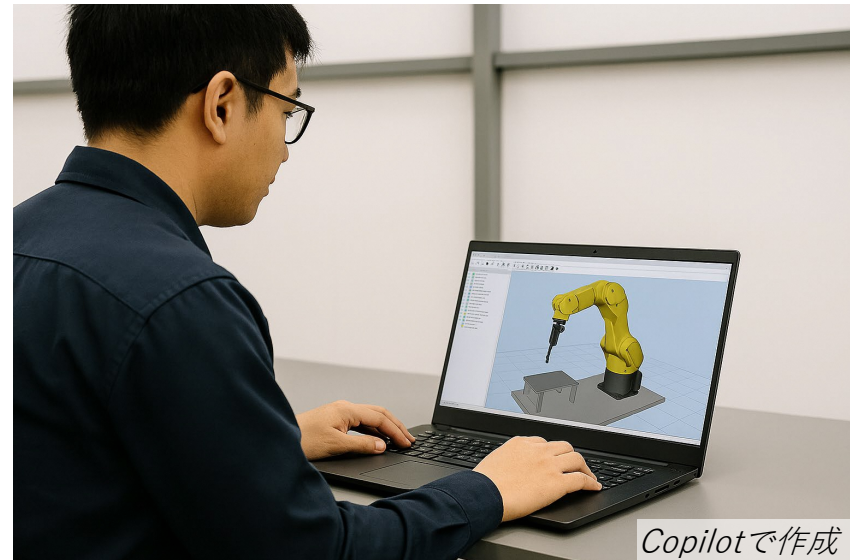
メリット

- 直感的なティーチング
- 高い繰り返し精度

デメリット

- 生産ラインを止める必要がある
- 柔軟性が低い

オフラインティーチング



メリット

- 生産ラインを止めずに作業可能
- 効率的なプログラム作成

デメリット

- 周辺環境の実装が困難
- 現場での微調整が必要

■ 周辺環境をバーチャルに再現することが難しい



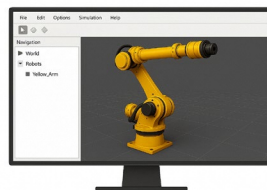
- 様々なメーカーのロボット
- 工作機械やAGVなどの周辺機器



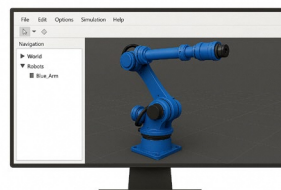
同一のシミュレータ上に再現
干渉を検知してロボット動作を生成

現在のロボットシミュレータ

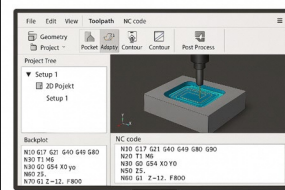
A社



B社



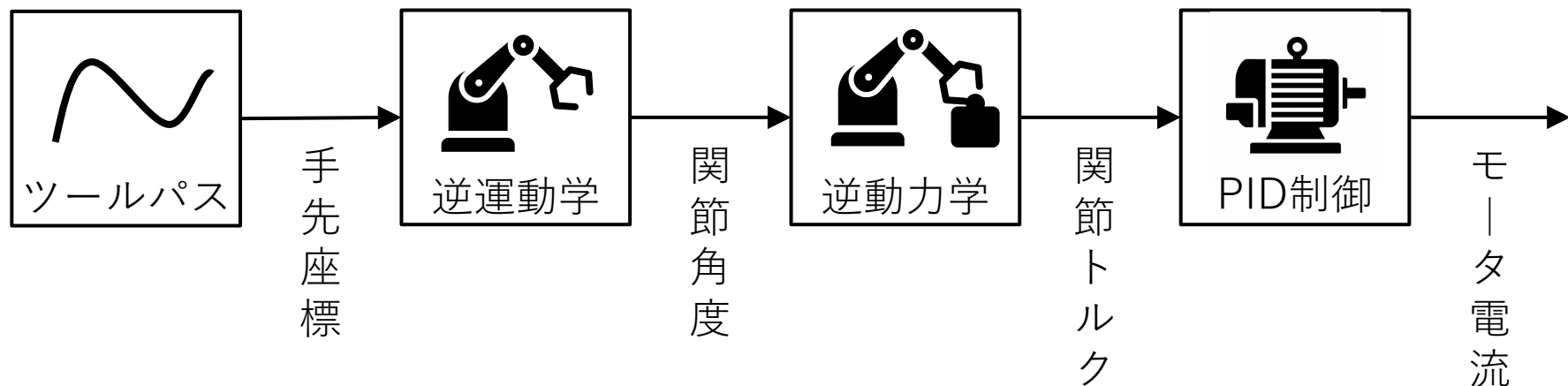
C社



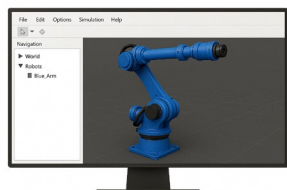
すべてCopilotで作成

シミュレータがメーカーごとに独立
別メーカーのモデルは動かない
例：工作機械のドアは開かない

■ 制御方式や通信方式がメーカー独自でブラックボックス



メーカーごとに異なるブラックボックス



Robot Operating System (ROS)

Researchers should not start by reinventing the wheel.

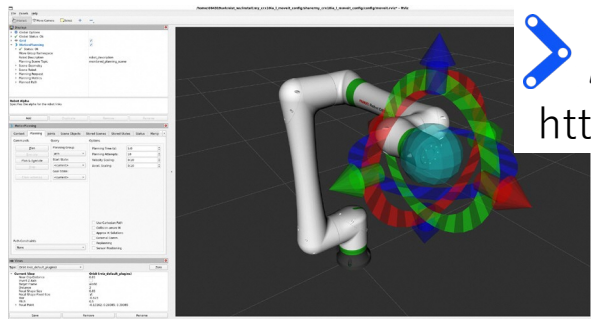
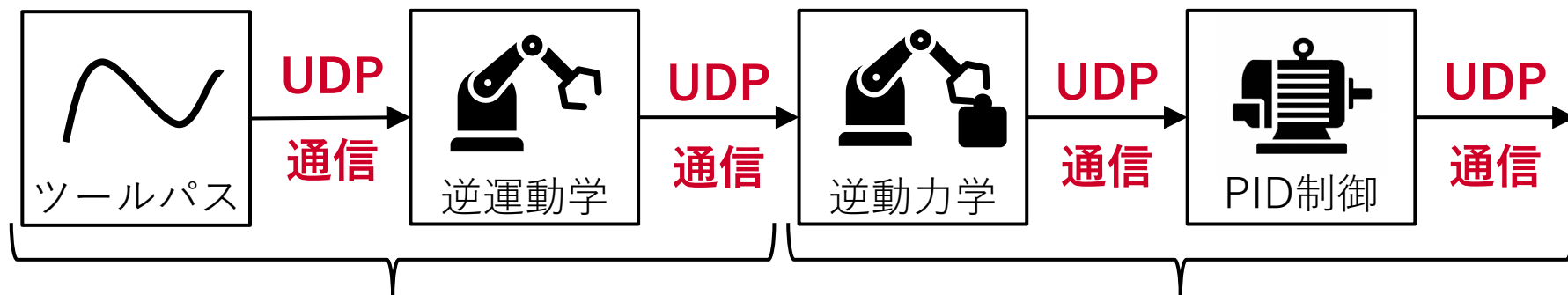
一研究者は車輪の再発明から始めるべきではない

ROS 2™

<https://ros.org/>

ロボットのオープンソースミドルウェア

制御と通信をオープンソースで共通化

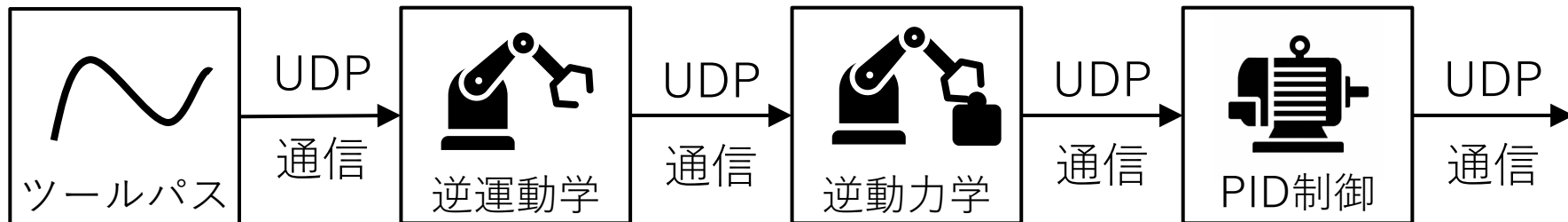


 **MoveIt**
<https://moveit.ai/>

ROS Control
<https://control.ros.org/>

すべてオープンソース

■ 異なるメーカーで制御方式を共通化して統合制御

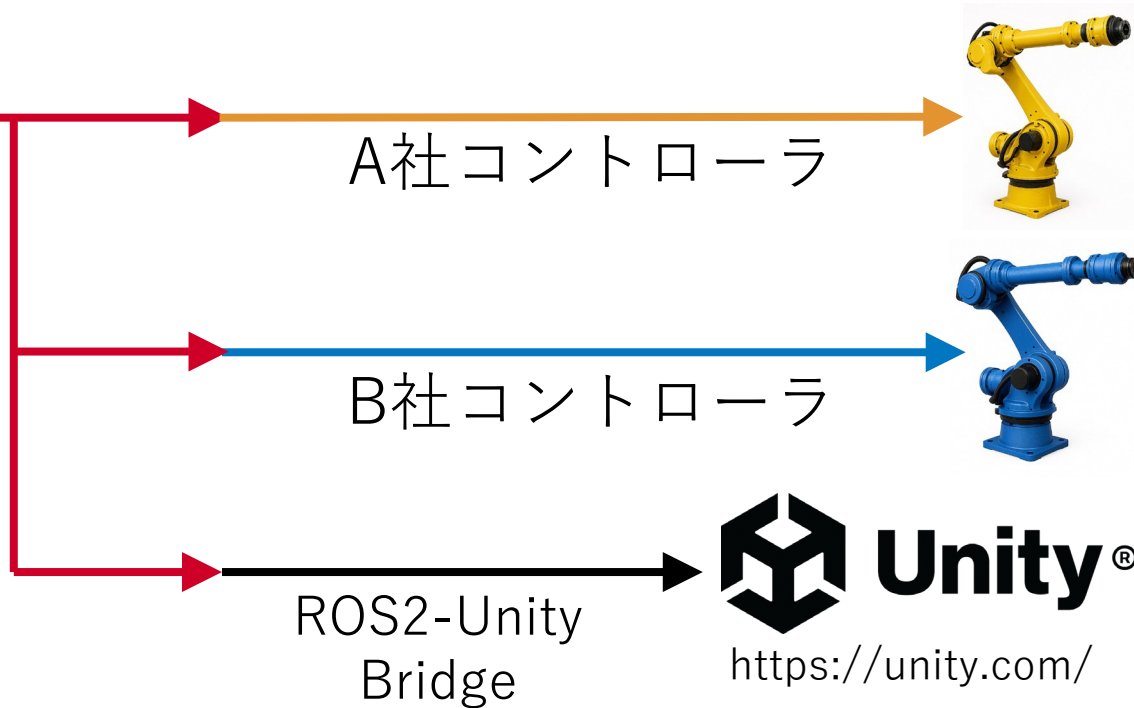


例1

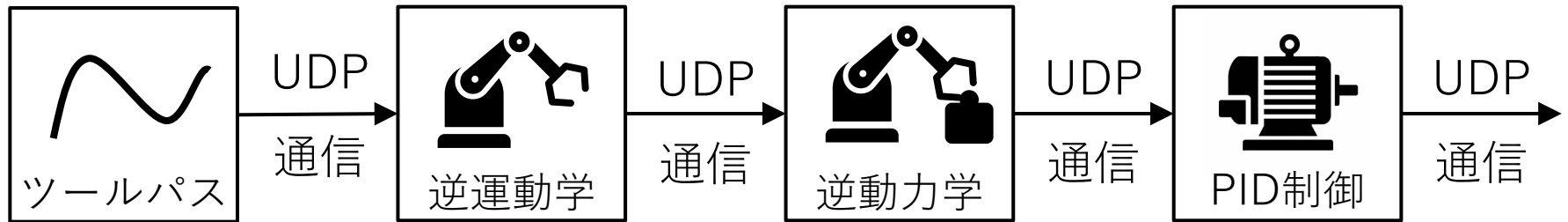
—> **Movel**

- 異なるメーカーのロボット
- AGVやAMR
- センサ
- シミュレータ

1つのソフトで統合制御

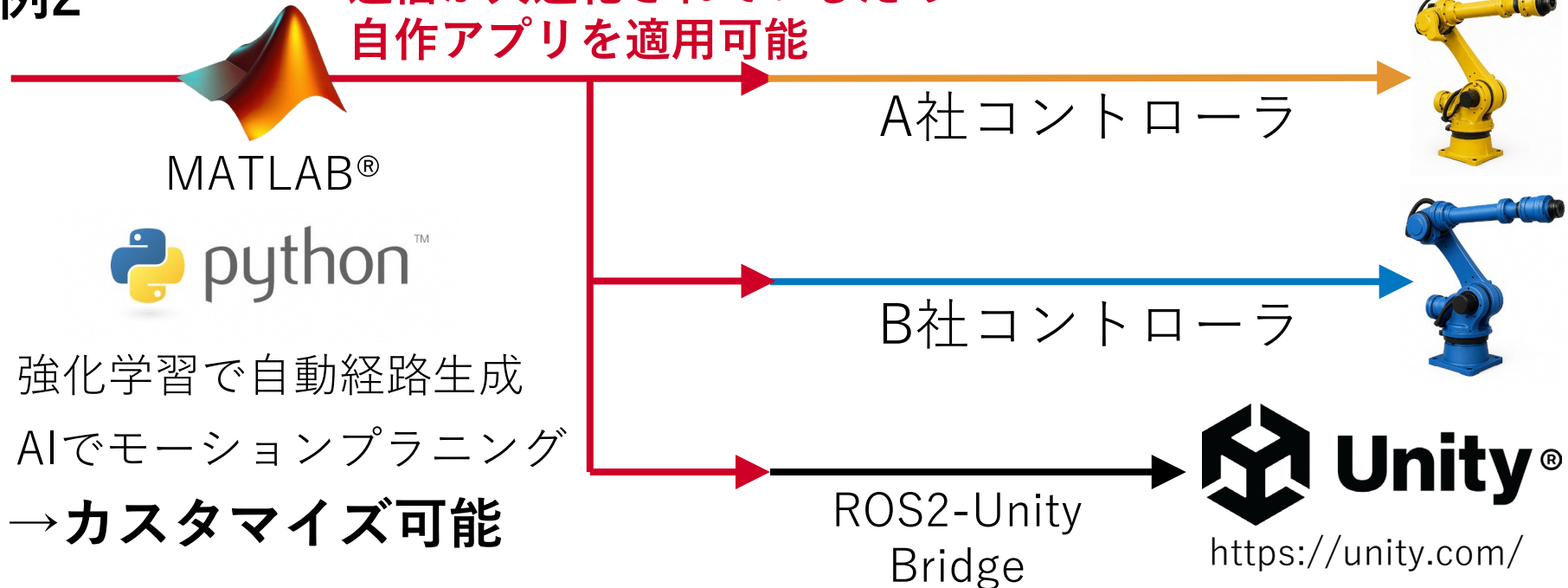


■ 通信が共通化されているためカスタマイズが自由



例2

通信が共通化されているため
自作アプリを適用可能



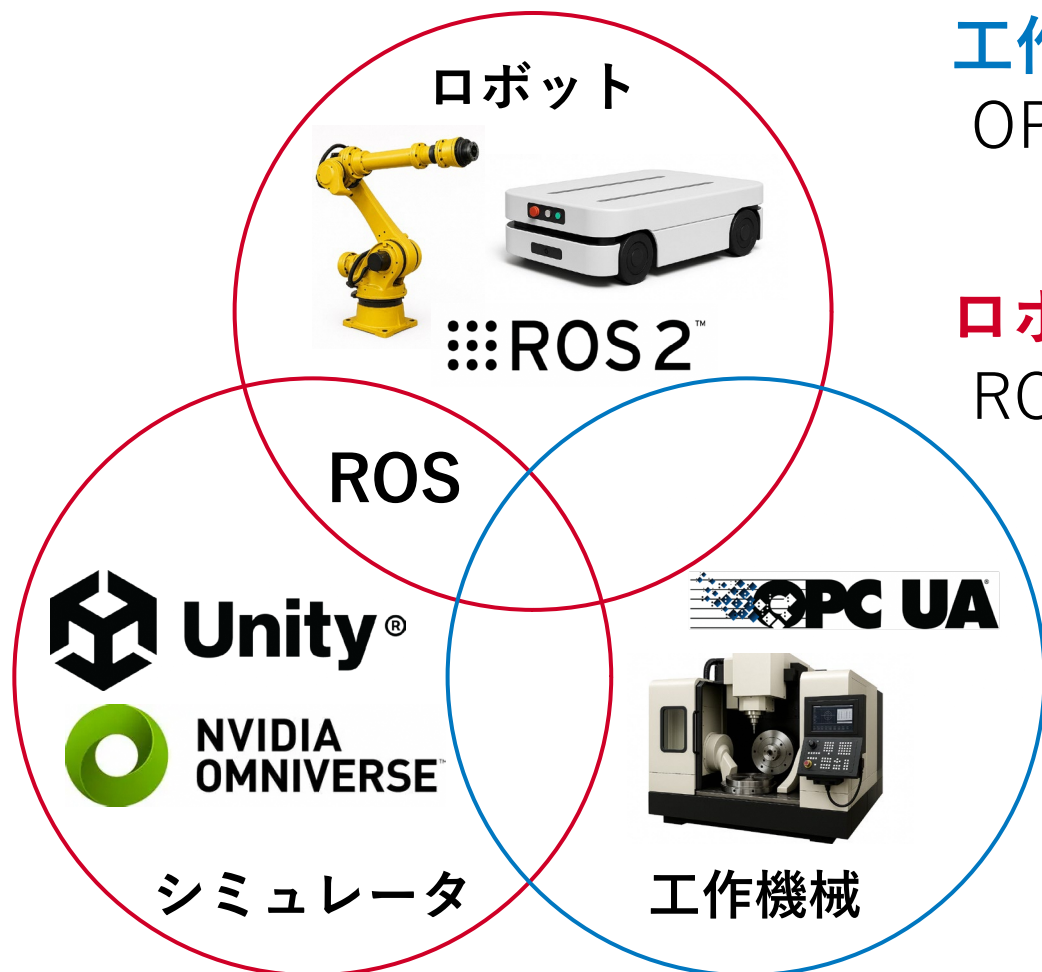
■ ROSによるロボットのオフラインティーチング



- 同一のシミュレータ上にロボット
・ 工作機械・ AGVを再現する
- 物理シミュレーションから最適な
ロボットの動作を学習する
→ AIモーションプランニング

1. **ロボットの实機と通信**して
ロボット姿勢をシミュレー
タ上にリアルタイム再現
2. **工作機械の实機と通信**して
ドアの状態とテーブル位置
をシミュレータ上に再現
3. **現実空間とリアルタイムに
リンクしたシミュレータに
よるロボットティーチング**
4. **AIモーションプランニング**

■ ROSによるロボットと工作機械の統合制御



工作機械の通信規格

OPC-UA、MT-Connectなど

⇕ 互換性なし

ロボットの通信規格

ROS



ROSとOPC-UAのBridge

ROSを基盤とした
ロボット・工作機械・
シミュレータの連携

<https://www.nvidia.com/ja-jp/omniverse/>

<https://jp.opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>

ロボットの**オフラインティーチング**の実現のためには、同一のシミュレーション空間に異なるメーカーのロボット・工作機械・AGVなどを再現する必要がある。

しかし、各メーカーで制御方式や通信方式が異なるため、同一シミュレータ上で動かすことは難しい。

そこで、**ROS**によって制御方式と通信方式を共通化し、現実空間とリアルタイムにリンクしたシミュレータと、それを用いたAIティーチングを実現する。

ご清聴ありがとうございました。