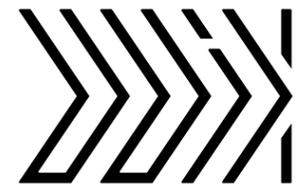


大学発アーバンイノベーション神戸 研究成果報告書



大学発アーバンイノベーション神戸
University's Urban Innovation Kobe

研究課題名：医療機器開発促進に向けたカスタマイズ部品加工の自動化システム

研究期間：2024年4月～2025年3月

交付決定額(研究期間全体)：3,600千円

申請区分：企業テーマ提案
型

課題番号：A23203

研究代表者：神戸大学 工学研究科
准教授 西田 勇

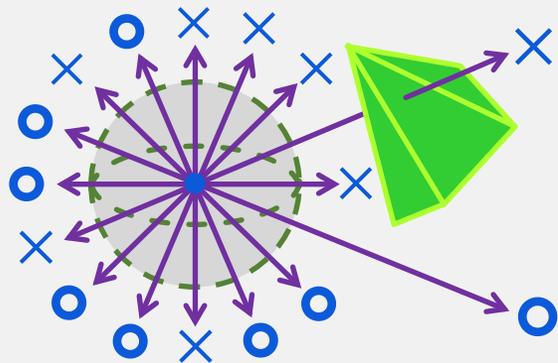
1. 研究成果の概要

研究要旨

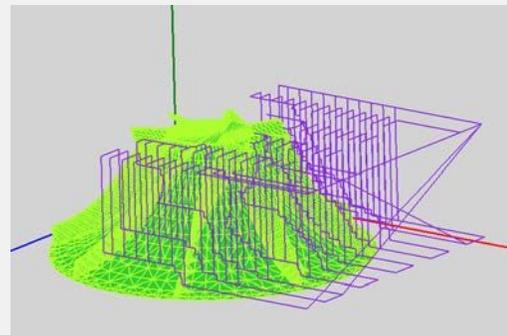
金属加工業を担う熟練者の高齢化や後継者不足の現状において、多品種少量生産もしくはカスタマイズ生産が必要不可欠な医療機器開発における切削加工の5軸加工の完全自動化システムを構築

研究方法

5軸加工の難しさである工具姿勢の決定および複雑形状に対する工具経路の生成を幾何学的に自動で求める



工具姿勢の決定



工具経路の算出

社会への効果

神戸市が目指す「医療産業都市」に対して、試作が重要となる医療機器開発にもものづくりで貢献



股関節の
シェルカップ

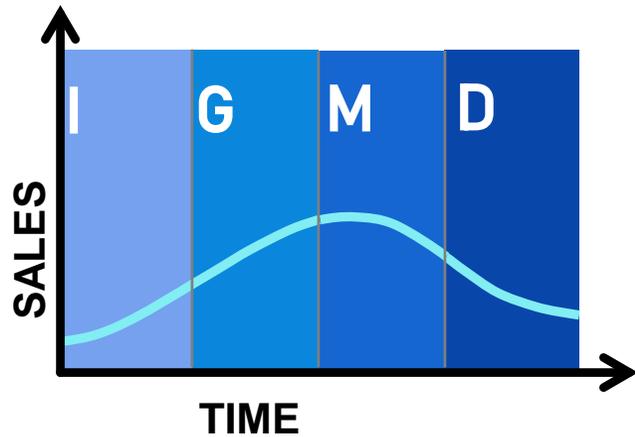


骨折
プレート

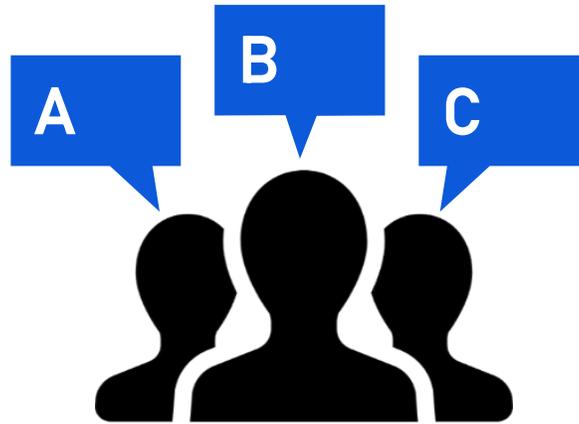


歯科用
ブリッジ

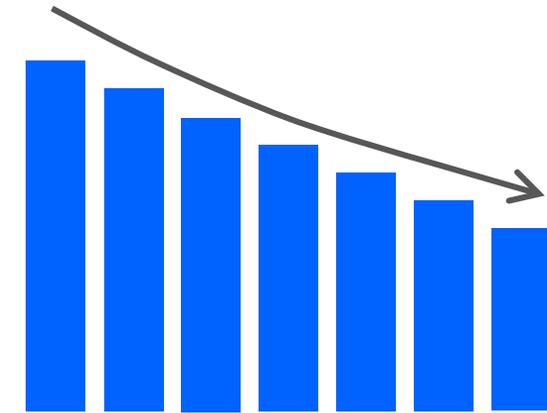
製造業における課題



製品ライフサイクルの短期化



ニーズの多様化

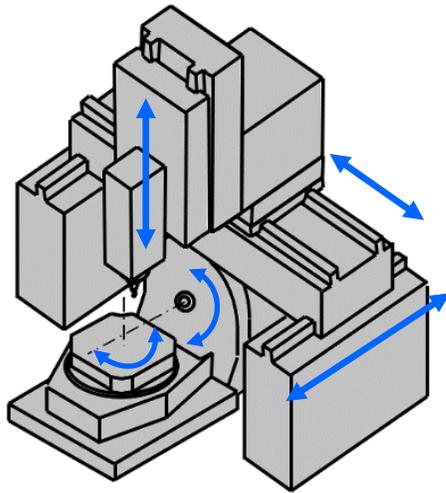


就業者数の減少

生産リードタイムの短縮・人的資源不足への対応が急務

3. 研究開始当初の背景

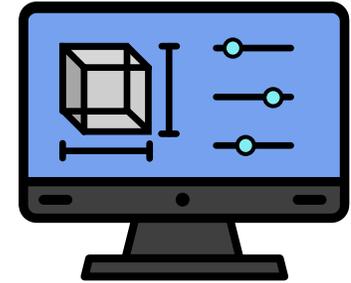
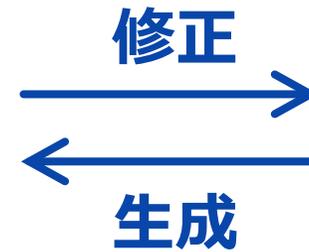
5軸制御工作機械の活用



直進 3軸
+
回転 2軸



熟練者



CAM

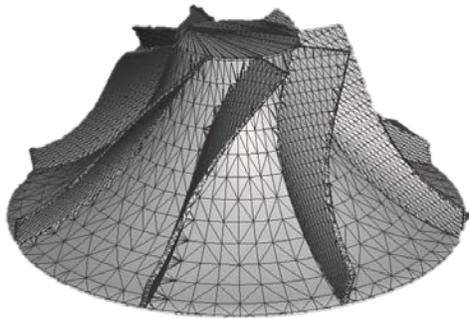
- **自由曲面を含む複雑形状**の加工が可能
- 1度の取付けで**多方向からの加工**が可能
- **オーバーハング形状**の加工が可能

CAMが生成した工具経路を**熟練者の知識や経験に基づいて修正**する必要がある。

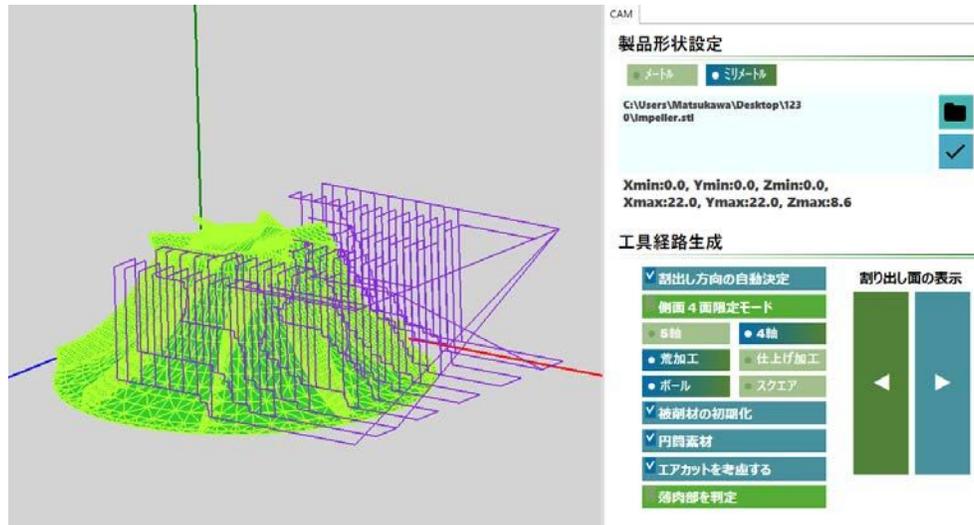
4. 研究の目的

研究目的

5軸加工における工具姿勢および工具位置の決定を自動で行うシステムの開発



CADモデル



工具姿勢および工具位置の決定

```
G01 X13.50 Y-9.39 Z15.00 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z12.44 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z11.94 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z11.44 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z10.94 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z10.44 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z9.94 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z9.44 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z8.94 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z8.44 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z7.94 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z7.43 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z6.93 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z6.43 F300
G01 X13.50 Y-9.39 Z5.93 F300
```

NCプログラムを生成

4. 研究の目的

5軸加工の分類

同時5軸加工

直進XYZ軸の3軸と回転傾斜2軸を同時に制御

3次元自由曲面の加工が可能

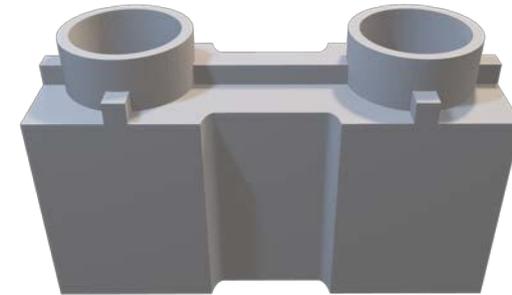


NCプログラムの作成が困難

5軸割出し加工

回転傾斜2軸で工具姿勢を決定し3軸加工を行う

比較的単純な形状に用いる

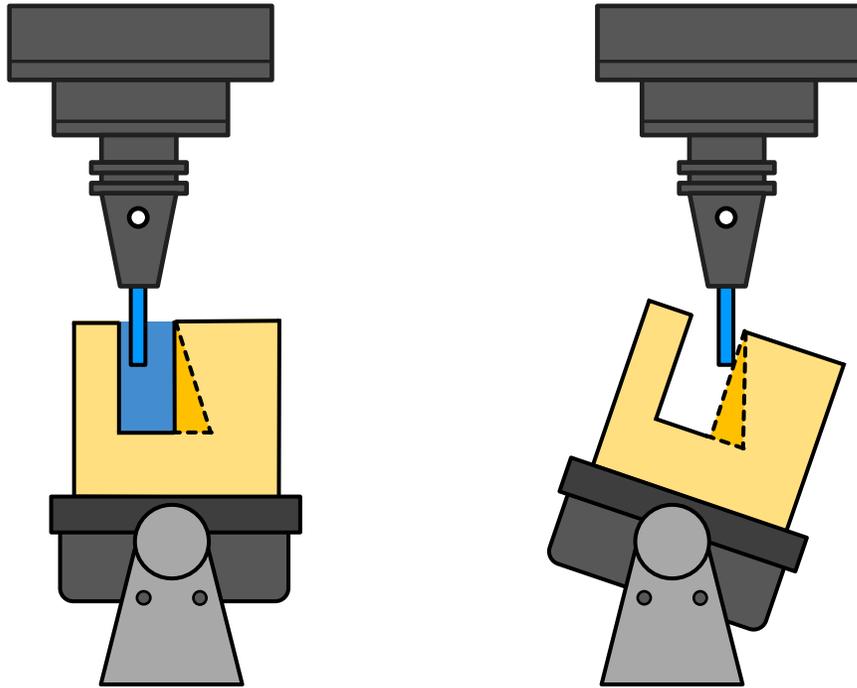


NCプログラムの作成が比較的容易

複雑形状の加工を5軸割出し加工で行う

4. 研究の目的

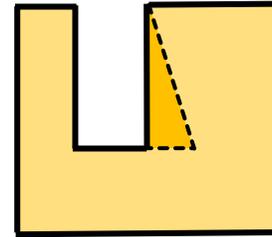
5軸割出し加工の特徴



姿勢を調整することで
干渉を避けながら削り残しを防ぐことができる

姿勢割出し回数

◆ 不足している場合



削り残しが生じる

◆ 過剰な場合



計算コストの増加



加工の複雑化

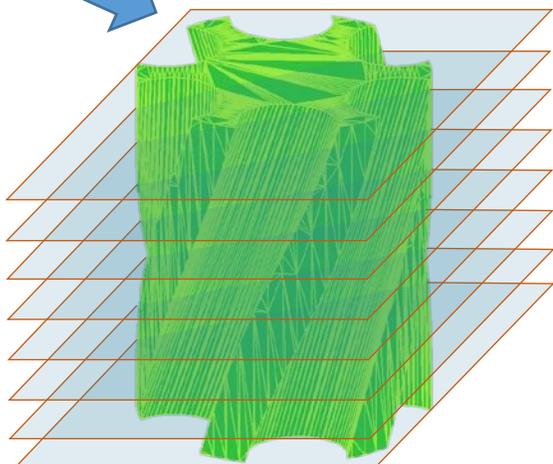
5. 研究の方法

工具姿勢の決定

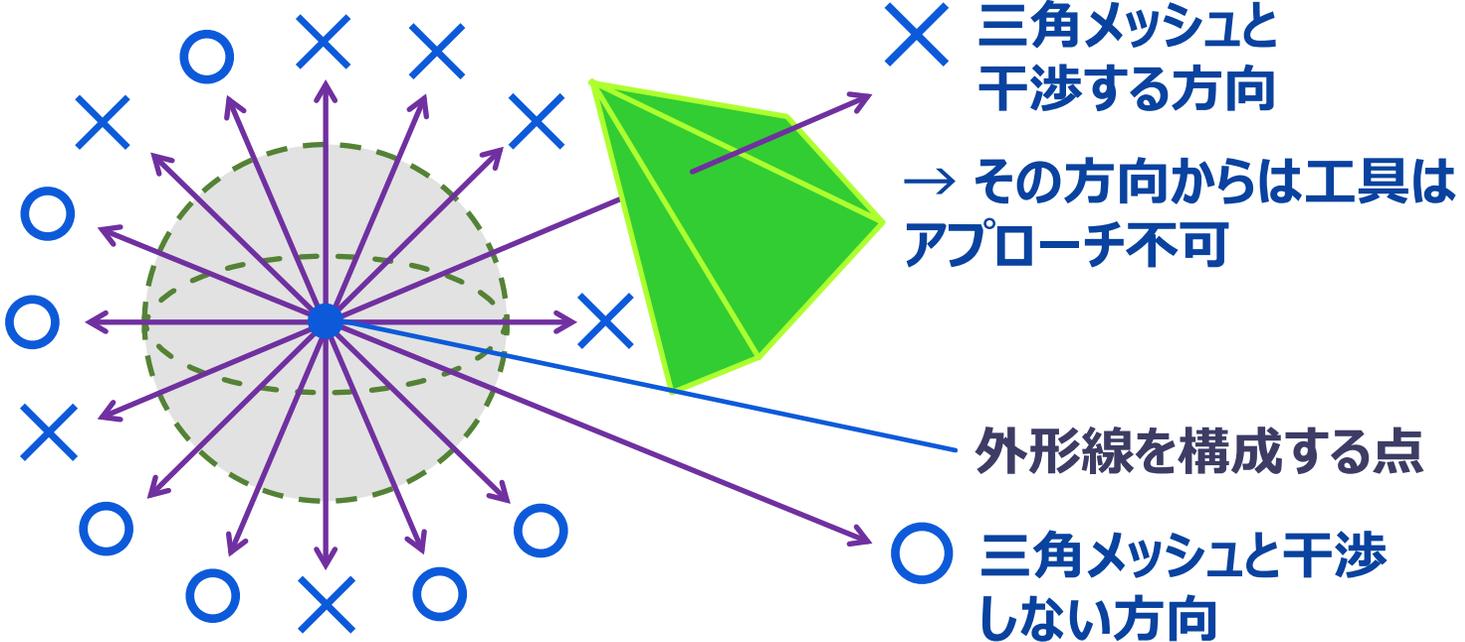
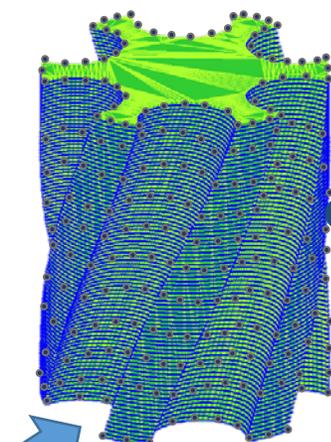
STL形式の
CADモデル



XY平面で
スライス

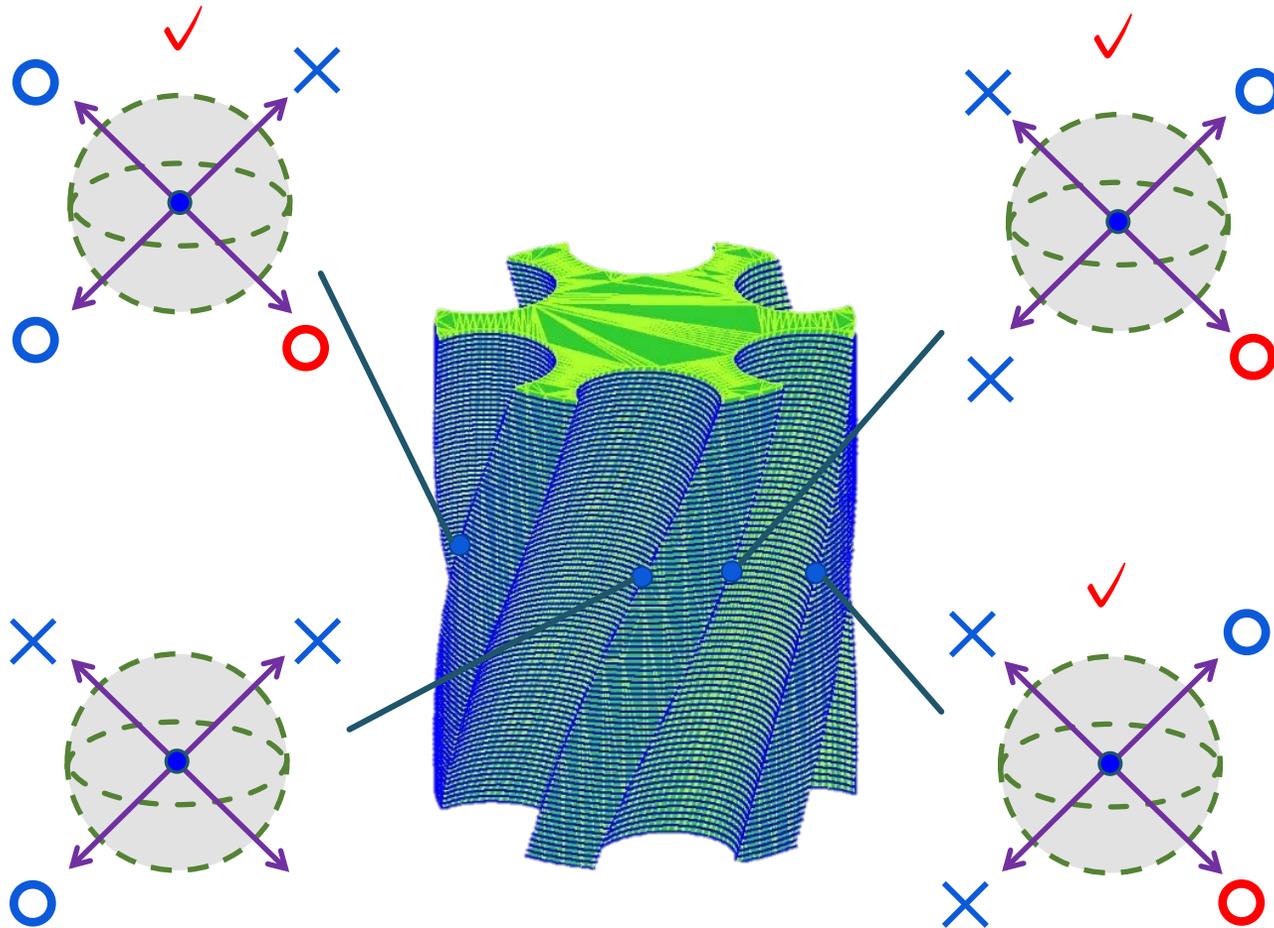


外形線モデル



外形線を構成する各点から指定角度間隔ごとにレイをキャストし、それぞれのレイがCADモデルの三角形メッシュと干渉するかを判定する。

工具姿勢の決定



0 1

各方向ごとにアプローチ可能な外形線の点の数をカウントする。

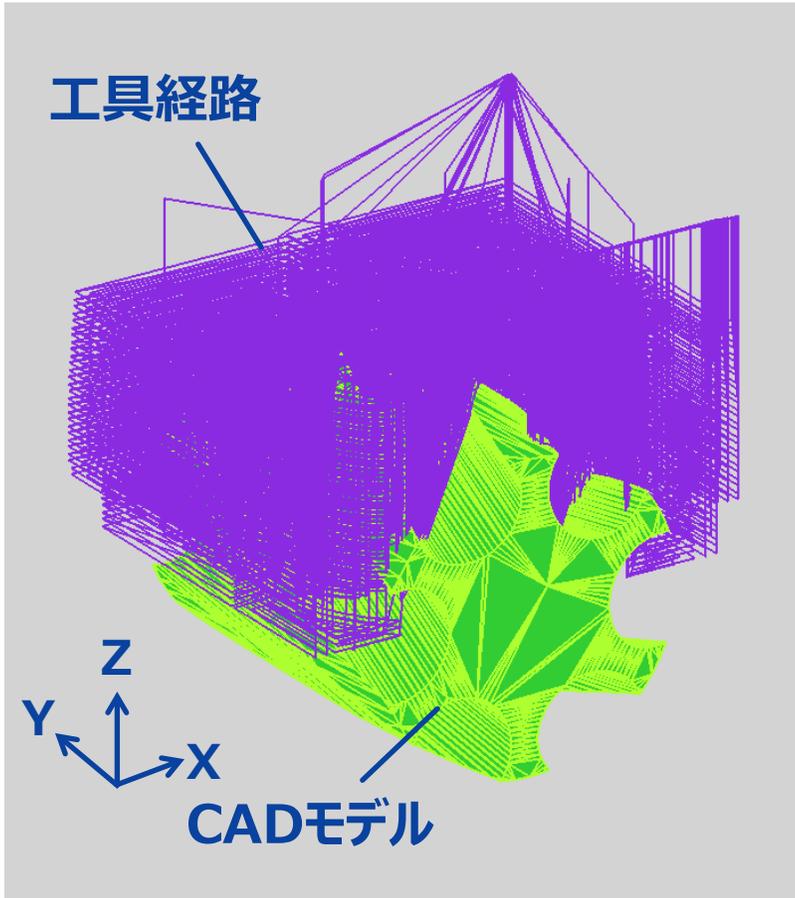
0 2

アプローチ可能な点の数が最も多い方向を特定する。

0 3

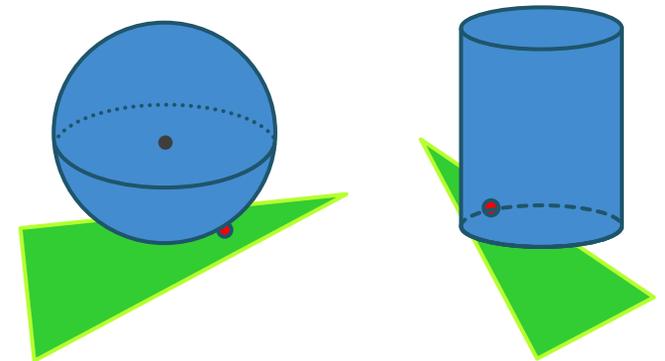
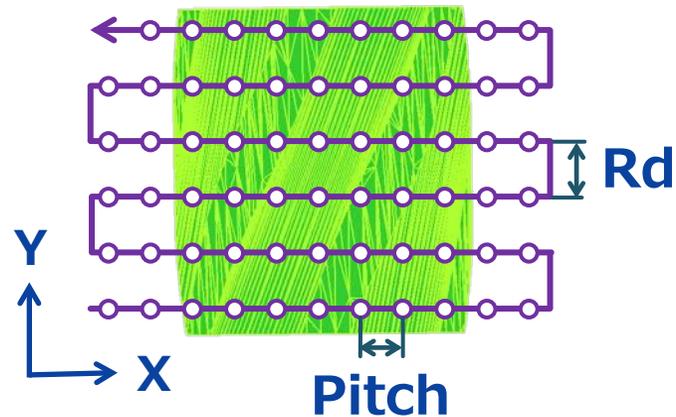
特定した方向のアプローチ可能な点を探索範囲から除去する。

工具経路の生成

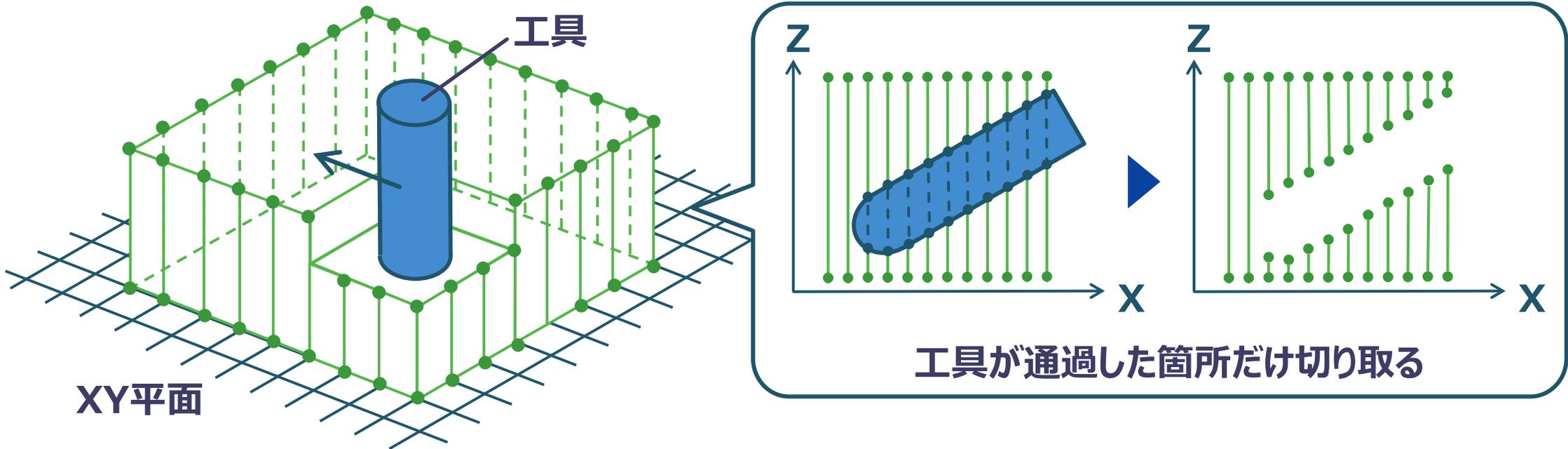


走査線加工

- ◆ 製品形状に倣うように加工する方法.
- ◆ 複雑形状の加工に有効である.
- ◆ 各XY座標において、製品形状と工具が接触するZ座標を算出することで工具経路を生成する.



デクセルモデルによる形状シミュレーション



◆ 計算コストが低い

2Dグリッド + 深さ情報による表現のため、演算対象が少なく、シミュレーションを高速化可能。

◆ Z方向の精度向上

各グリッドセルに対して、Z方向の端点は浮動小数値を持つため、格子点よりも正確。

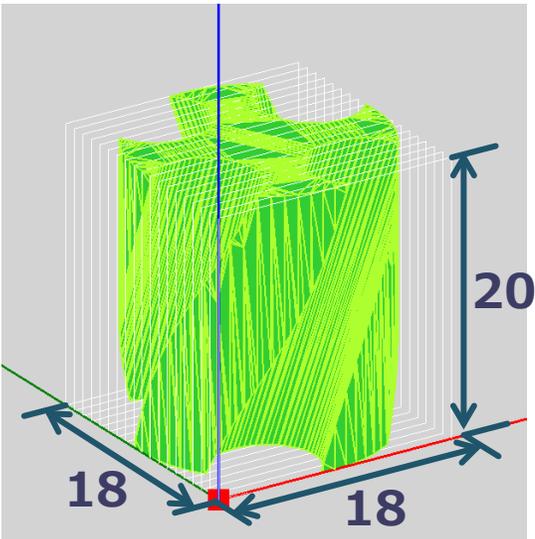
6. 研究成果

加工条件

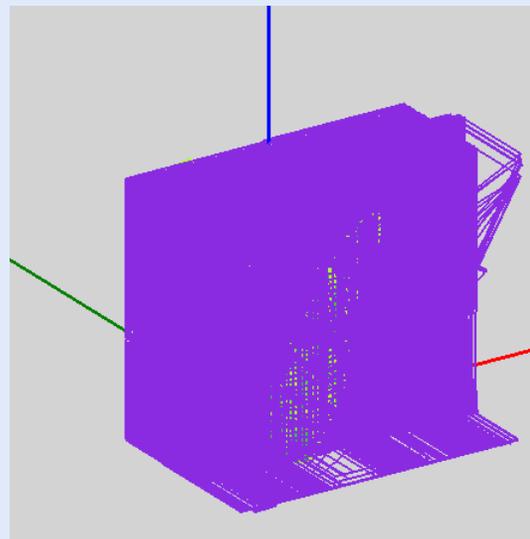
工具	Ball end mill
工具径	2 mm
軸方向切込み	0.35 mm
半径方向切込み	0.5 mm
回転数	8000 min ⁻¹
送り速度	300 mm/min

加工時間

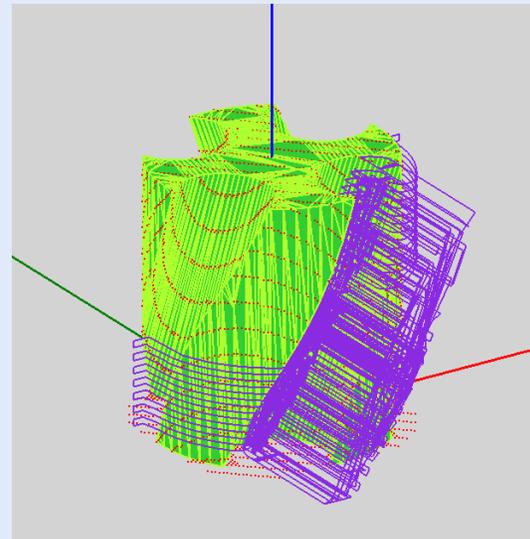
エアカットを省いていない場合の加工時間	22h 9m
エアカットを省いた場合の加工時間	4h



CADモデル



エアカットを省いてない
工具経路



エアカットを省いた
工具経路



加工結果

【雑誌論文】

- Isamu Nishida, Eiki Yamada, Hidenori Nakatsuji, Automated process planning system for machining injection molding dies using CAD models of product shapes in STL format, International Journal of Automation Technology, Vol.17, No.6, pp.619-626 (2023)
- Ryo Takamori, Hidenori Nakatsuji, Isamu Nishida, Automated Process Planning System to Machine Organic Shapes by Combining Turning and Milling, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.18, No.4, DOI: 10.1299/jamdsm.2024jamdsm0038 (2024)
- Kentaro Matsukawa, Hidenori Nakatsuji, and Isamu Nishida, Automated Tool Path Generation for Complex Shapes Applicable to 5-Axis Indexing Machining Using STL Format CAD Models, International Journal of Automation Technology (査読中)

【学会発表】

- Kentaro Matsukawa, Hidenori Nakatsuji, and Isamu Nishida, AUTOMATED NC PROGRAM GENERATION FOR COMPLEX SHAPES WITH 5-AXIS INDEXING MACHINING, Proceedings of the 2024, International Symposium on Flexible Automation, July 21-24, 2024, Seattle, WA