



## ■プロジェクト名

プロジェクトDX

【第4次産業革命をもたらすデジタル・トランスフォーメーション（DX）の加速】

## ■研究開発分野

デジタルテクノロジー・ICT

## ■研究開発テーマ

DXと小型工作機械が織り成す機械加工工場の省エネ改革

## ■研究リーダー



名古屋大学

早坂 健宏

## ■事業化リーダー



寺倉 達雄

## ■他の参画機関



名古屋工業大学

**NT** **イヌティエンジニアリング** 株式会社



産業技術センター

**NT** **イヌティツール**

**Nissei** 株式会社 ニッセイ

**三菱重工航空エンジン**

**DENSO**  
DENSO DAISHIN

**idemitsu**

# 1.研究テーマの概要① 研究の目的

研究テーマ：DXと小型工作機械が織り成す機械加工工場の省エネ改革

中・大型工作機械 = 余裕がある = 無駄を含む



【出典: DMG森精機】

正常な加工を担保するために、求められる加工に対して**余裕 = 無駄**を持った機械が使用されている

消費エネルギー大, 占有スペース大  
コスト大等が**無駄**により生まれる

小型工作機械へ置き換え

小型工作機械 = 無駄が少ない = 余裕がない



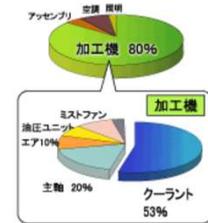
- ・小占有スペース / エネルギー / コスト
  - ・相対的に大きなモータ出力加速度
  - ・高主軸回転速度 / テーブル移動速度
  - ・高精度制御
- メリットだらけ?!



小型工作機械に置き換えることで省エネ化！さらにインフラ(空調等)や小型機を製造する上での省資源化も考慮すると**機械加工工場全体で50%以上省エネ!**

機械加工工場における工作機械エネルギー消費例

【出典:トヨタ自動車】



しかし...

余裕がない小型ならではの課題も存在

例1) 予想よりも厳しい加工プロセスのために生じる工作機械変化

例2) 小型機特有の切削状態異常発生

➡ **DX技術により余裕のなさを補い、「大は小を兼ねる」概念を払拭!**

**目的：機械加工工場の省エネ化**

本研究で定義するDX技術

- ① 工作機械状態監視技術
- ② 切削状態監視技術
- ③ 異常状態回避技術

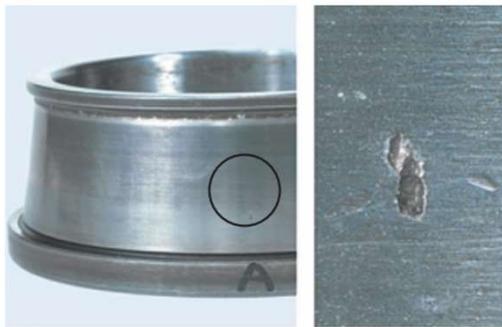


製造業の第4次産業革命に必須

## ① 工作機械状態監視技術

厳しい加工プロセスにより、一例として  
工作機械主軸の状態が変化

➡ 主軸の状態監視技術の開発



軸受損傷例【出典：JTEKT】



担当：



目標

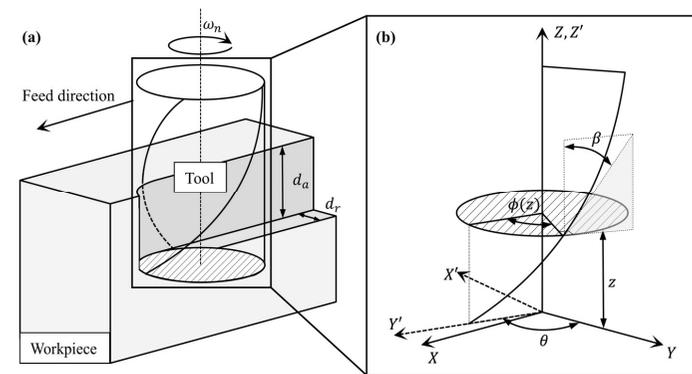
- ～2023.3 同定トライアルと基礎データ取得
- ～2023.9 工作機械情報同定アルゴリズムの構築
- ～2025.3 工作機械情報を表示するソフトウェアの試作

## ② 切削状態監視技術

切削状態（切込み等）の情報から、切削  
状態異常の程度を知ることが可能

➡ 切削状態監視技術の開発

### ミリングモデル



担当：



目標

- ～2023.3 加工トライアルと基礎データ取得
- ～2023.9 切削情報同定アルゴリズムの構築
- ～2025.3 切削情報を表示するソフトウェアの試作

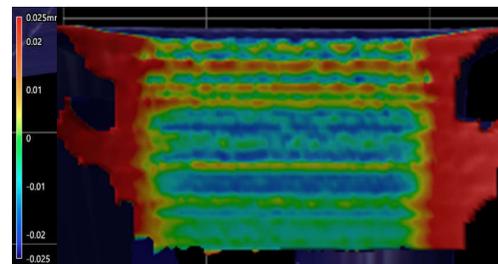
## ③異常状態回避技術 小型機械特有の切削状態異常発生

異常例①：加工液の過剰供給



加工液の供給例 【出典：MONOTO】

異常例②：異常振動



(ニッセイでの伝導部品の加工例)

強制振動により  
低精度！



びびり振動に  
より低精度！

(MHIAEL\*1でのNi基エンジンケースの加工例) \*1 三菱重工航空エンジン

切削に本質的に必要以上の加工液  
(エネルギー大) が供給されている

➡ 加工液過剰供給回避技術の開発

異常振動を防ぐために消費エネルギーあたりの  
除去量を制限

➡ 異常振動回避技術の開発

担当：



目標

- ～2023.3 各種選定／技術検討
- ～2023.9 最適供給量算出手法構築／従来比50%の除去量あたり消費エネルギー
- ～2025.3 従来比50%の消費エネルギー／従来比50%の除去量あたり消費エネルギー

# 2.年次ロードマップ

本年度までのロードマップ

2023.3

2023.9

2024.3

2025.3

<p>①工作機械状態監視技術</p>	<p>同定トライアルと基礎データ取得</p> 	<p>工作機械情報同定アルゴリズムの構築 (例：工作機械の動剛性)</p> 	<p>同定トライアルと基礎データ取得その2</p>	<p>工作機械情報を表示するソフトウェアの試作</p> 
<p>②切削状態監視技術</p>	<p>加工トライアルと基礎データ取得</p> 	<p>切削情報同定アルゴリズムの構築 (例：びびり振動の情報)</p> 	<p>加工トライアルと基礎データ取得その2</p>	<p>切削情報を表示するソフトウェアの試作</p> 
<p>③異常状態回避技術 加工液過剰供給回避技術</p>	<p>ターゲット材料に対する最適油剤種の同定</p> 	<p>加工負荷から最適供給量を算出する手法の構築</p> 	<p>小型工作機械への実装技術の開発</p>	<p>小型工作機械への実装システムの試作と従来比50%の消費エネルギー実現</p> 
<p>異常振動回避技術</p>	<p>回避技術検討・開発、加工トライアル実施</p> 	<p>従来比80%の除去量あたりの消費エネルギー</p> 	<p>遺達方法改良、加工トライアル実施その2</p>	<p>従来比50%の除去量あたりの消費エネルギー</p> 
				
<p>④工場省エネ化 (試算)</p>	<p>従来比70%の消費エネルギー</p> 		<p>従来比50%の消費エネルギー</p> 	

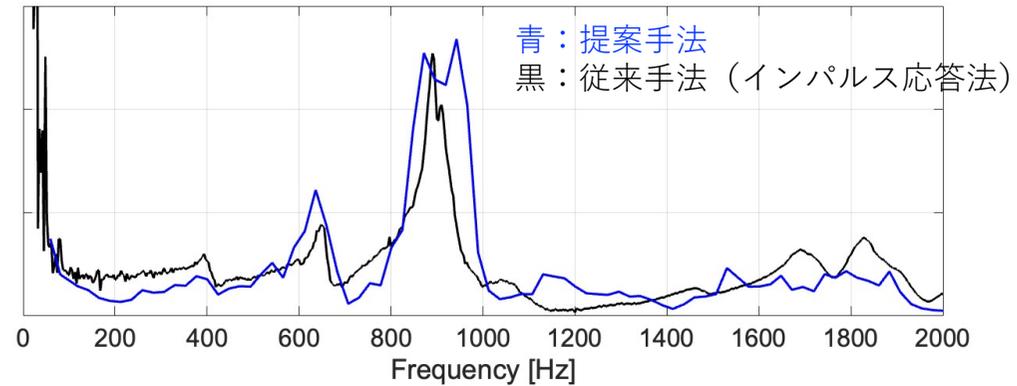
# 3. 研究開発の実施状況①②

## ① 工作機械状態監視技術

測定の様子



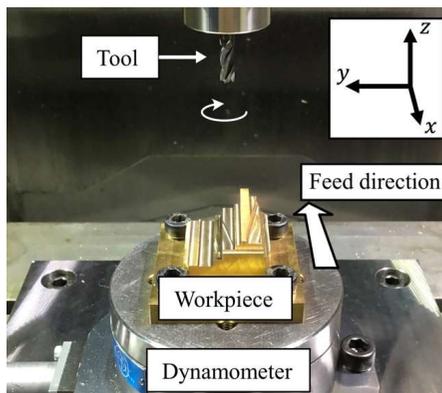
同定した動コンプライアンスの一例



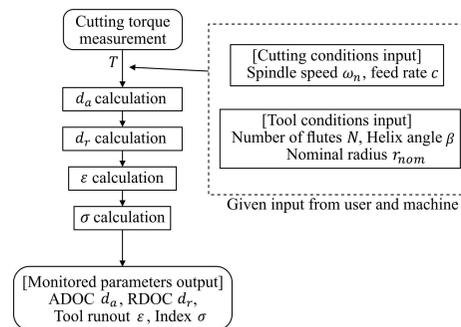
主軸回転時の軸受極微小歪みの加振により発生した振動を測定することで、工作機械の主軸回転中の**動特性同定技術を開発!**

## ② 切削状態監視技術

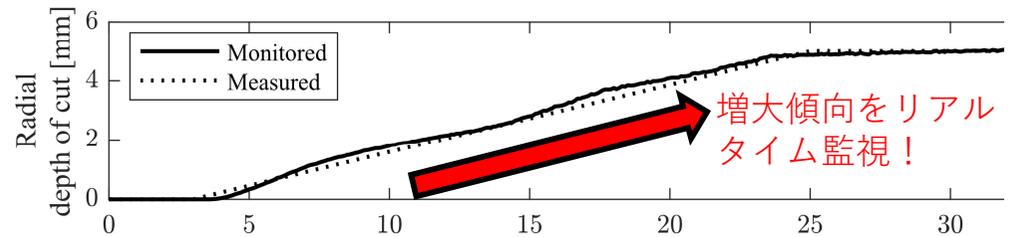
実験の様子



開発したアルゴリズム



予想・実験結果の一例



切削トルクの周波数解析結果の特徴に着目し、**切込みと工具偏心をリアルタイムで監視する技術を開発!**

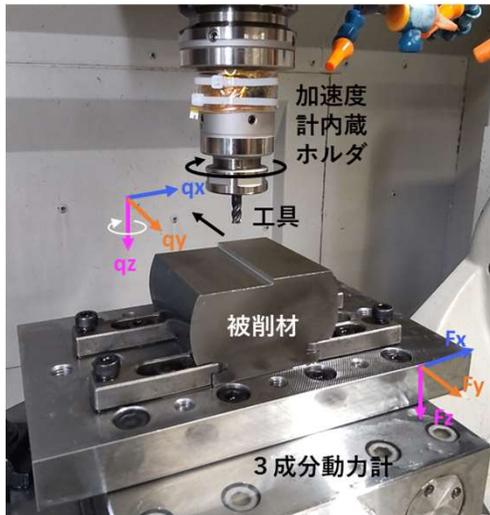
①②共に中間/2024年度目標を達成, ②に関しては論文公表済み!!

# 3. 研究開発の実施状況②

産技セ（≡知の拠点）の成果

## 産技セの切削状態監視技術に関する取組み

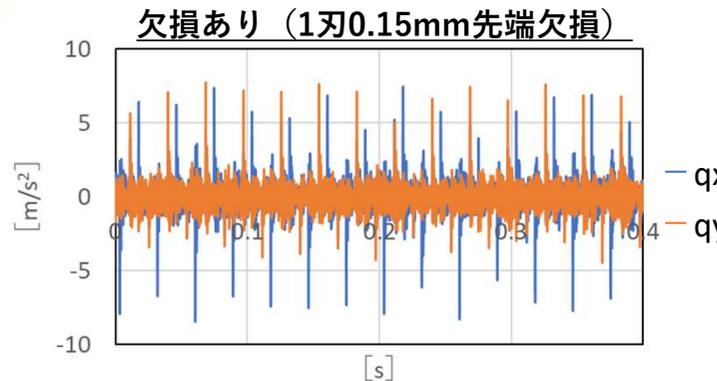
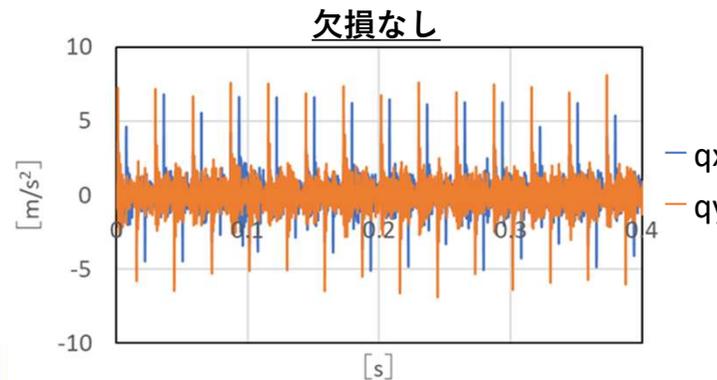
目標：加速度計内蔵ホルダによる被削性（工具損耗・切りくず処理）評価技術の検討  
 エンドミル側面加工時の工具損耗の評価



加工機	立型マシニングセンタ
被削材	ニッケル基合金 (Inconel718)
工具	エンドミル (4刃)
加工方法	側面加工
評価機器	加速度計内蔵ホルダ 切削動力計 マイクروسコープ

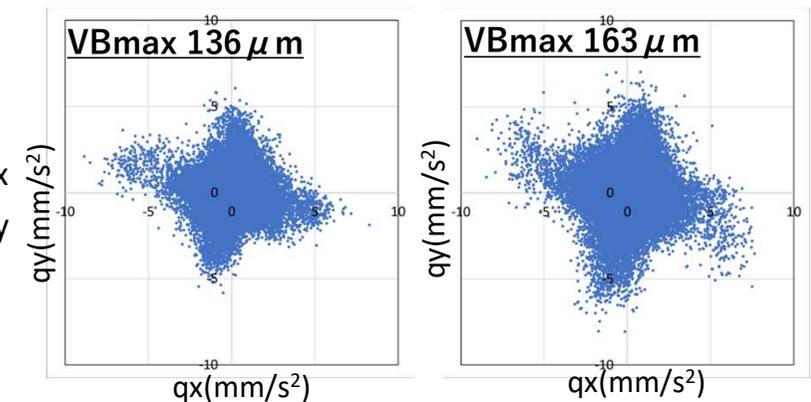
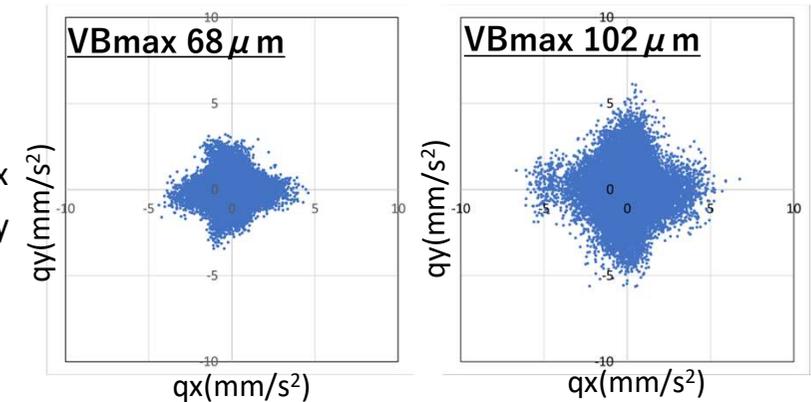
### ○ 工具欠損の評価

工具先端の微小欠損により、加速度波形qx, qyの振幅が増加, 減少することを確認



### ○ 工具摩耗の評価

工具逃げ面の摩耗の進行に伴い、加速度qx, qyの増加を確認



産技セ（≡知の拠点）の工作機械, 分析・評価機器を用い、  
 周辺中小企業等の課題解決に取り組む

HTO

## 目 標

ターゲット材料の選定とそれに対する最適油剤種の同定

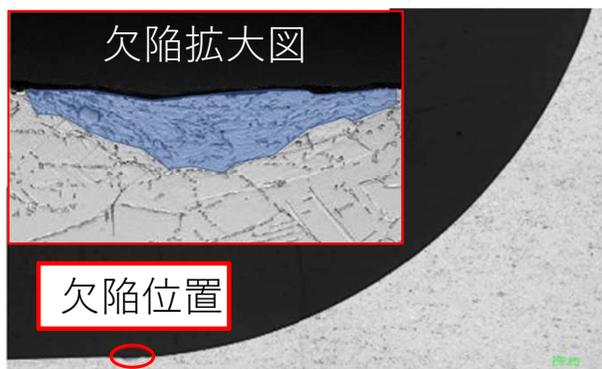
## 到 達

### 1) ターゲットの選定：

#### ■ Ni基合金のボールエンドミル加工

製品欠陥となる組織変化の発生は**工具中心付近の損傷と凝着**に起因することを見出した。現状、Ni基耐熱合金加工は水溶性加工液を大量供給する加工プロセスであり、“**供給量の最適化**”，“**潤滑剤性能の最適化**”による製品欠陥発生抑制効果が大い。

工具  
中心部



欠陥拡大図

欠陥位置

曲面と平面の接続部に欠陥は発生

仕上面

### 2) 最適油剤種の同定：

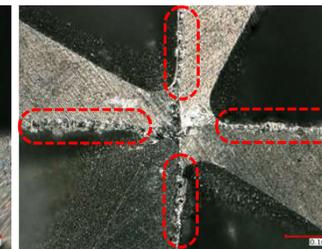
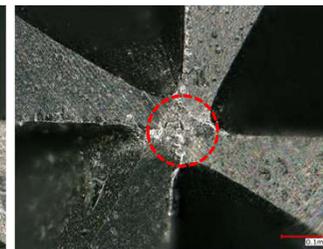
微量油剤塗布潤滑条件による**工具摩耗**（**損傷**）観察を実施

ポリオールエステルを選択し切削距離0.5m時の工具損傷を観察。動粘度が中心部付近の潤滑性能に影響することを見出した。

無潤滑

動粘度37cm<sup>2</sup>/s

動粘度51cm<sup>2</sup>/s



- 切れ刃中心部付近が送り量以上の範囲で平坦化(摩耗)
- 中心部付近のトロコイド運動に対応する工具引き目が観察できない

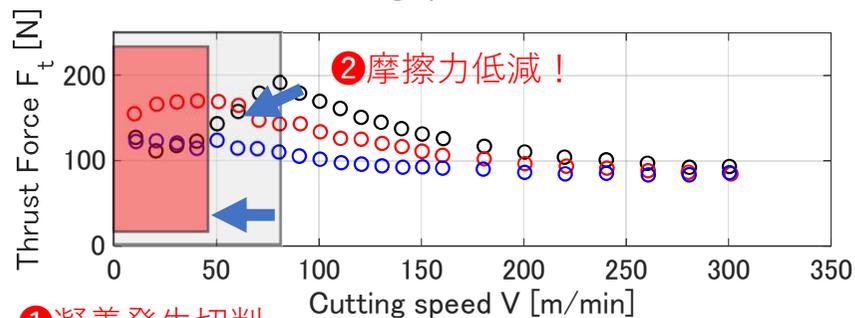
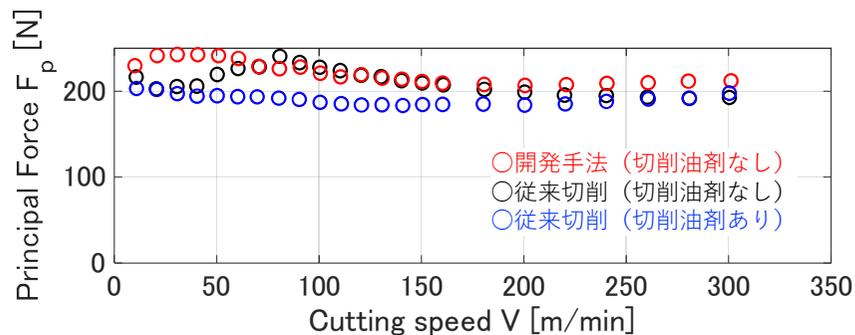
- 切削速度反転部で工具損耗（赤線囲部）
- 逃げ面摩耗は僅か
- 中心部付近のトロコイド運動に対応する工具引き目は観察

- 切削速度反転部は健全
- 逃げ面摩耗、及び凝着が発生(赤線囲部)
- 中心部付近の工具引き目は良好であるが、工具中心軌跡に凝着発生

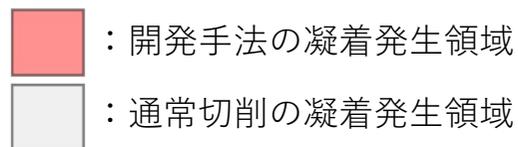
## ③-1 加工液過剰供給回避技術

省エネ加工技術を開発し、凝着／摩擦を抑制する切削油剤レス加工を実現

※切削エネルギーの考慮なし



① 凝着発生切削速度域を縮小!



③ 消費エネルギー削減!

開発手法：消費エネルギー **38W**

切削油剤：クーラントポンプ消費エネルギー **850W** (カタログ値)

従来比  
4.5%!

①②③により凝着・摩擦を低減する省エネ加工を実現!

③-1の最終目標を前倒しで達成!

## 4. 研究実績

□特許出願件数：0件（1件は出願検討中）

□外部発表

論文投稿：1件（切削状態監視技術）

□情報発信

展示会出展：3件

セミナー開催：2件

□会議の開催件数

研究開発会議：9件

個別会議：61件

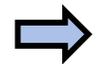
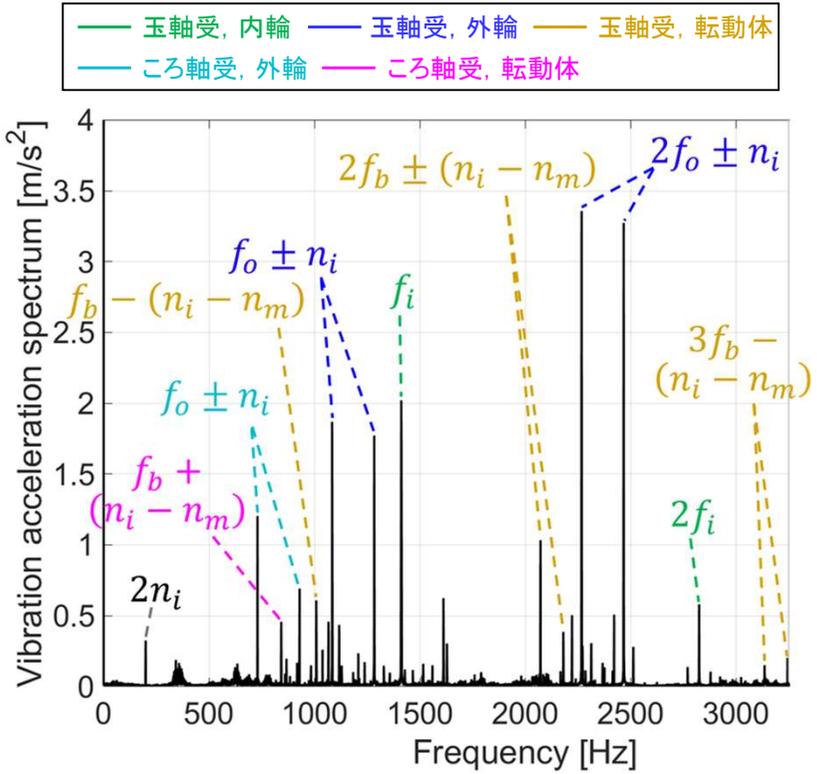
# 5.事業化の見通し 取組紹介①

## ①工作機械状態監視技術 – NTエンジニアリング・名大主体の取組

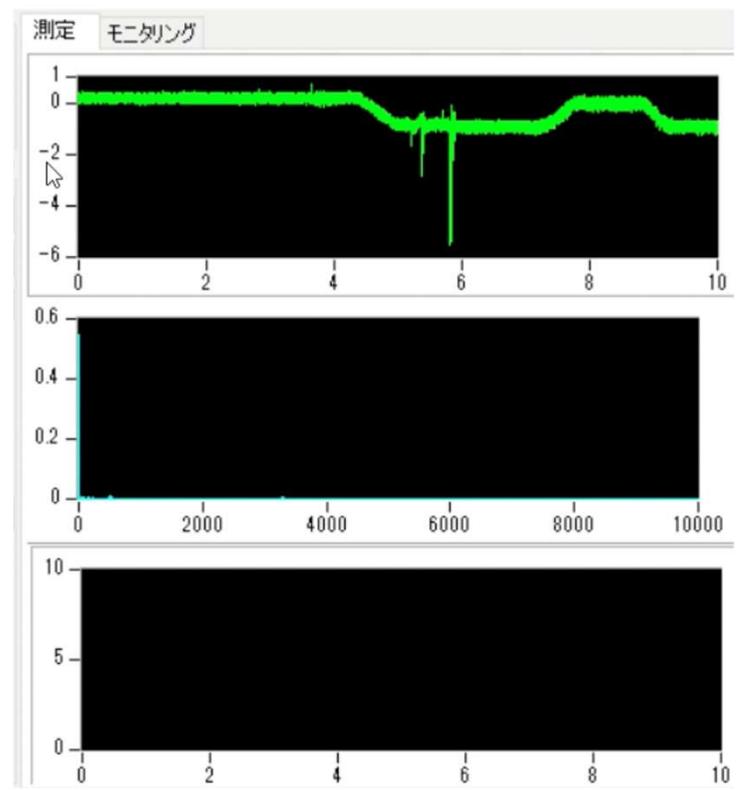
**NTエンジニアリング株式会社**

開発技術

工作機械状態監視技術（主軸軸受監視）のソフトウェア試作を開始



### 試作ソフトウェア極初期段階の画面



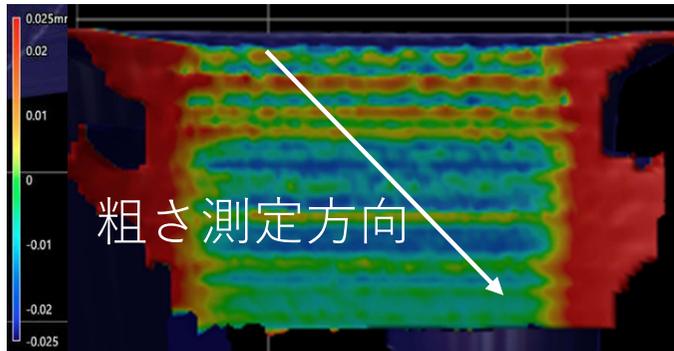
- 軸受の極微小ひずみによる主軸の振動を加速度計内蔵工具ホルダで監視！
- 開発技術により損傷箇所を検知
- 損傷の程度を検知する技術も開発中

①の中間/2024年度目標を達成!!

## ③-2 異常振動回避技術 – ニッセイ・名大主体の取組

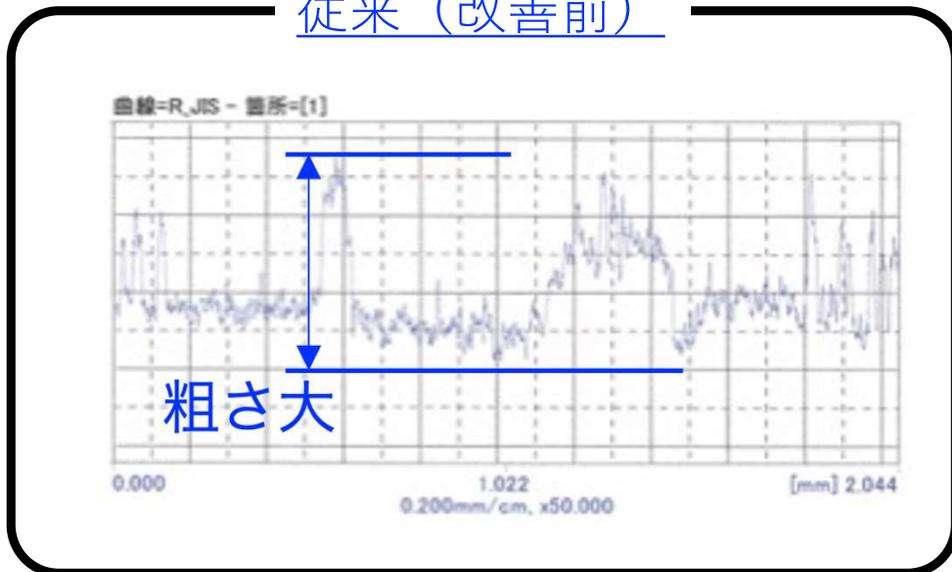


現状課題となっている部品を2つ選定し，それぞれの部品の加工中に問題となっている振動を分析

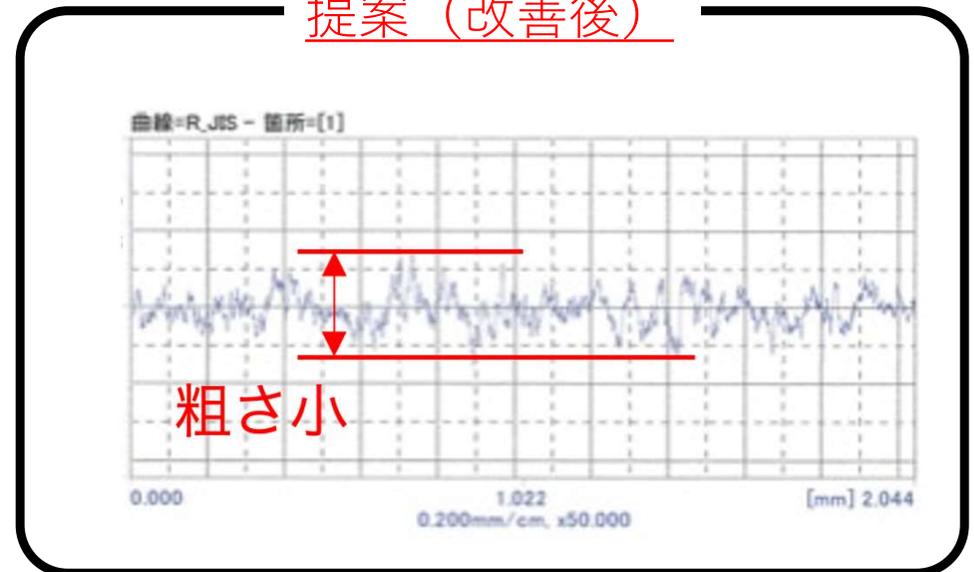


- 部品A（左の写真）においては**強制振動**が問題になっていることを特定し，その対策（**工具・条件の最適化**）により解決可能！

従来（改善前）



提案（改善後）



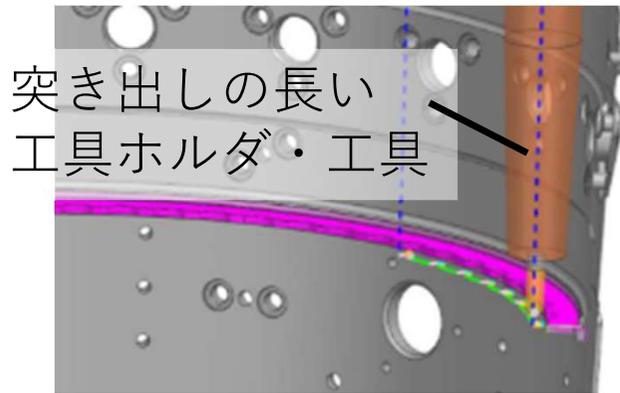
現状で従来比76%の除去量あたりの消費エネルギー達成，更なる高能率化に向けて試験計画中

③-2（異常振動回避技術）の  
中間/2024年度目標達成!!

## ③-2 異常振動回避技術 – 三菱重工航空エンジン・名大の取組



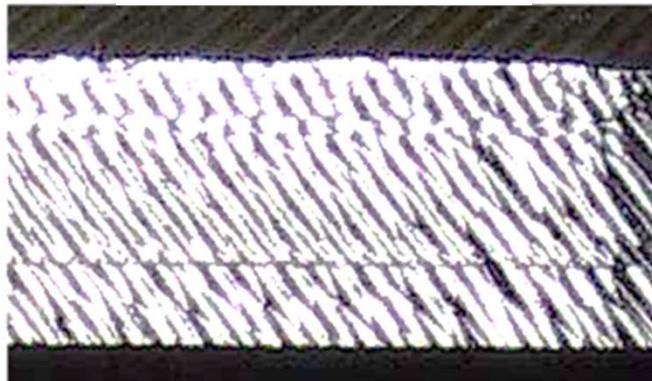
エンジンケース加工時の振動問題を分析



突き出しの長い  
工具ホルダ・工具

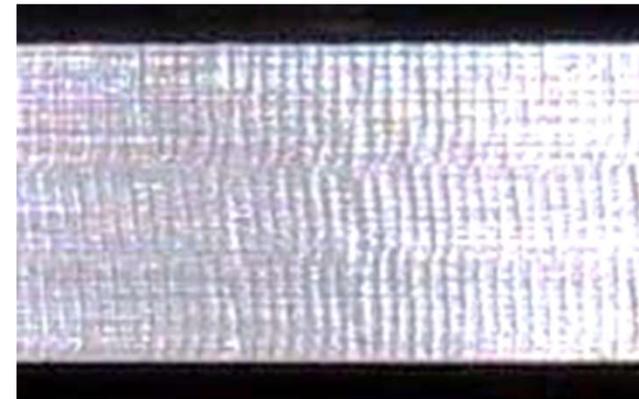
- ・ 動剛性が低く、加工条件が厳しいために複数のびびり振動問題が同時に発生

従来 (改善前)



斜めのマークが特徴的なびびり振動発生(粗さ大)

提案 (改善後)



びびり抑制(粗さ小)!!

従来比20%の除去量あたりの消費エネルギー、さらに工具費83%削減の可能性！

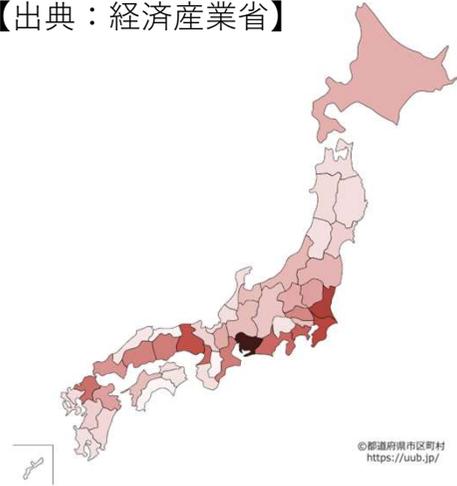
③-2 (異常振動回避技術) の基礎試験実施完了 + 実部品加工計画中!!

# 6. 県産業への貢献度, 人材育成等

## 製造業における電力消費量(2016年度)

電力消費量【産業部門】

【出典：経済産業省】



### 愛知県：23,454 (100万kWh)

→製造業(機械加工の割合が高い)の集積地



製造業が多いゆえに**機械加工工場**の**50%の省エネは効果絶大**

→ 本研究で開発する**DX小型工作機械環境**によって**初めて実現**

技術／人財交流



伝導・モビリティ部品メーカ



大学



技術／人財交流, 若手研究者／技術者育成

工作機械・周辺機器・消耗品メーカ



連携体制



愛知県

技術協力

あいち産業科学技術総合センター

中小企業人財育成



愛知県の多様な産業工場のDX小型工作機械環境化を加速

### 愛知県産業の革新的省エネ化／環境負荷低減

# 6. 県産業への貢献度, 人材育成等

## 《モノづくり人材循環サイクル》

企業

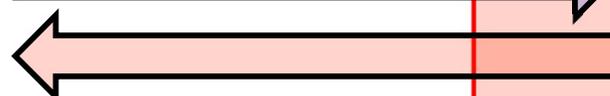


若手技術者育成

主導技術者などとのディスカッションで最先端の技術／課題について聞く・発表する機会を設け実践的な教育



産業界に人材輩出



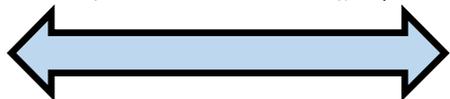
産業界のニーズを反映することで実用的な研究実施



最新研究シーズを展開



人材ネットワーク構築



大学 

学生 

若手研究者育成

教員 



愛知県 

- ・セミナー・講習会を開催，成果技術の普及と技術支援により，中小企業の人材育成を支援
- ・研究プロジェクトを通じて、産業技術センター職員の人材育成を推進

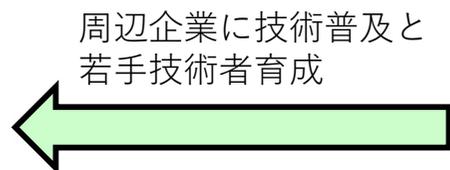
講習会開催



周辺企業



モノづくり王国あいち



周辺企業に技術普及と若手技術者育成