



■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

 **Nissei** 株式会社 ニッセイ

 **三菱重工航空エンジン**

 名古屋工業大学

 **NT イヌティエンジニアリング** 株式会社

 **DENSO**
DENSO DAISHIN

 産業技術センター

 **NT イヌティツール**

 **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



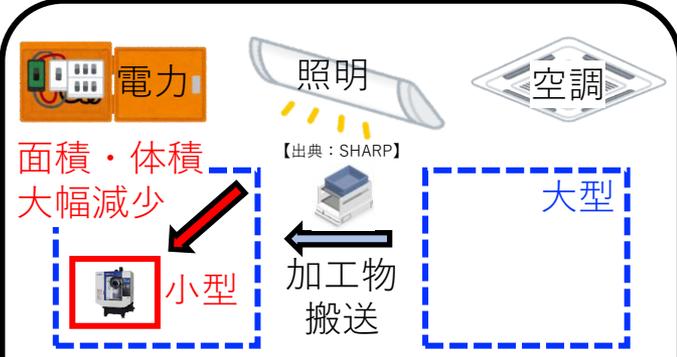
小型工作機械へ置き換え

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

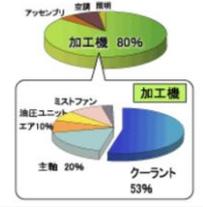
メリットだらけ?!



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.研究テーマの概要② 実施概要その1

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



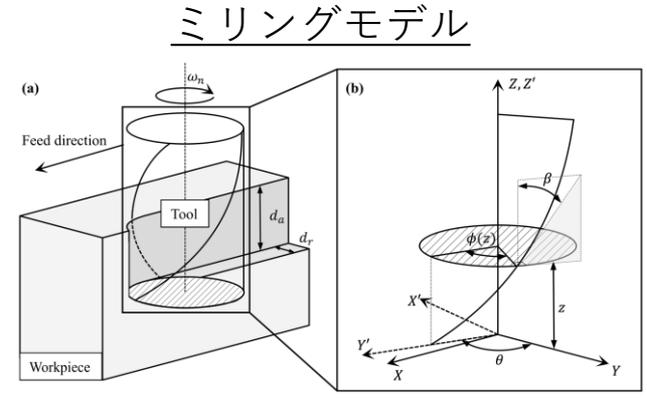
担当：  
 

- 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



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

1.研究テーマの概要② 実施概要その2

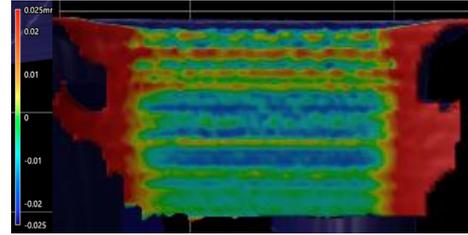
③異常状態回避技術 小型機械特有の切削状態異常発生

異常例①：加工液の過剰供給

異常例②：異常振動



加工液の供給例【出典：MONOTO】



(ニッセイでの伝導部品の加工例)

強制振動により
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

びびり振動に
より低精度！

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. 研究開発の成果まとめ

	2023.3	2023.9	2024.3	2025.3
① 工作機械状態監視技術	同定トライアルと基礎データ取得 →	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) →	同定トライアルと基礎データ取得その2 →	○最終目標達成!! 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	加工トライアルと基礎データ取得 →	切削情報同定アルゴリズムの構築 (例: びびり振動の情報) →	加工トライアルと基礎データ取得その2 →	◎最終目標達成!! 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 加工液過剰供給回避技術	ターゲット材料に対する最適油剤種の同定 →	加工負荷から最適供給量を算出する手法の構築 →	小型工作機械への実装技術の開発 →	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 ○最終目標達成!! →
異常振動回避技術	回避技術検討・開発, 加工トライアル実施 →	従来比80%の除去量あたりの消費エネルギー →	遺達方法改良, 加工トライアル実施その2 →	従来比50%の除去量あたりの消費エネルギー ◎最終目標達成!! →
				
④ 工場省エネ化 (試算)		従来比70%の消費エネルギー →		○最終目標達成!! 従来比50%の消費エネルギー →

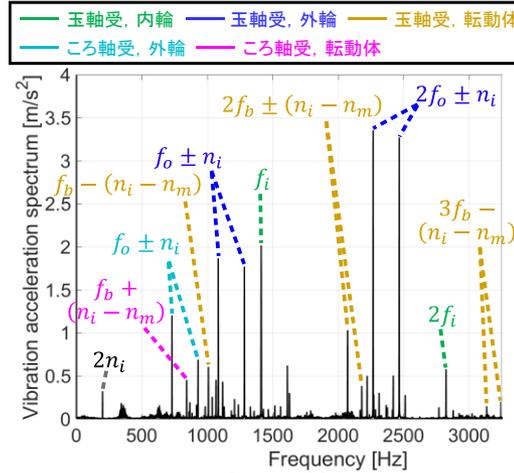
2. 研究開発の成果①②

本成果は主に名古屋大学博士前期課程
河合君・李助教の成果

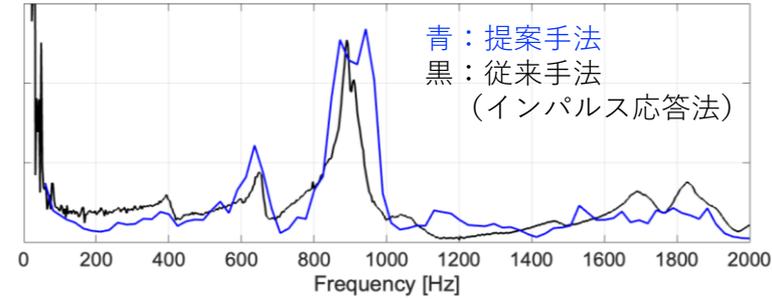
① 工作機械状態監視技術

監視した軸受状態

測定の様子



監視した動特性の一例

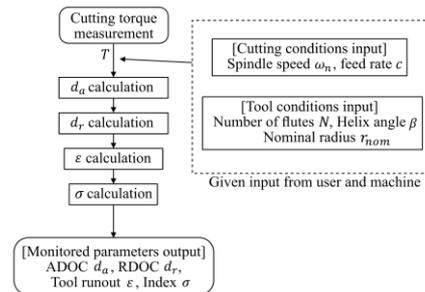
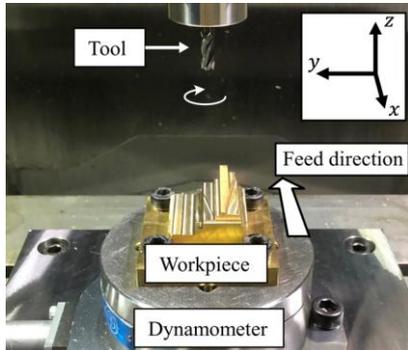


主軸回転時の軸受極微小歪みの加振により発生した振動を利用し、**軸受状態**や工作機械の主軸回転中の**動特性監視技術を開発!**

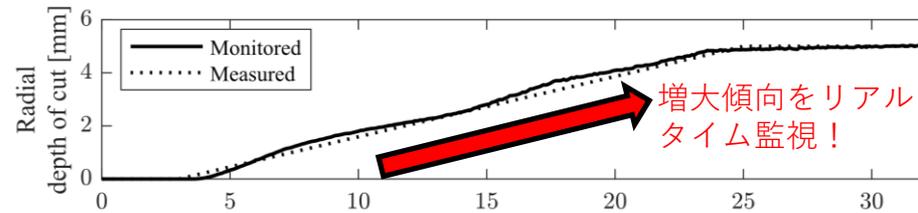
② 切削状態監視技術

開発したアルゴリズム

実験の様子



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共に最終目標を達成し、②に関しては論文公表済み!!

2. 研究開発の成果②

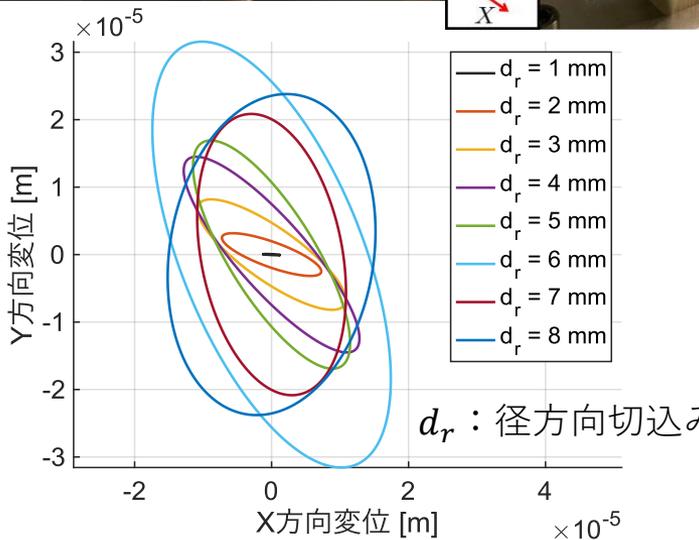
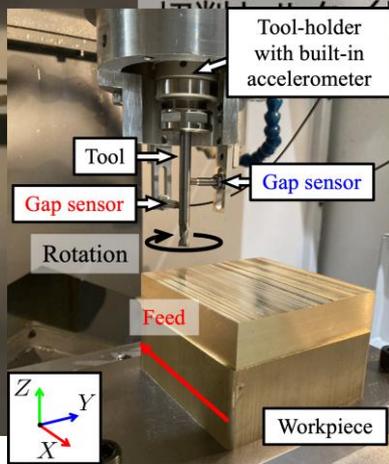
本成果は主に名古屋大学博士前期課程三田君
・李助教・産技セ（≒知の拠点）の成果

②切削状態監視技術

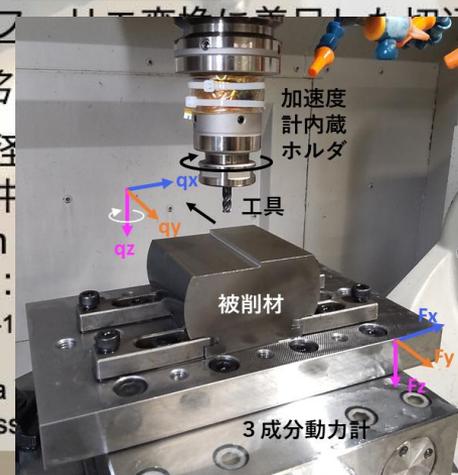
モードカップリングびびり振動監視

技術の開発

モードカップリング
びびり振動の成長原理に
着目し、二方向の振動が楕円軌跡を
成すことを発見！



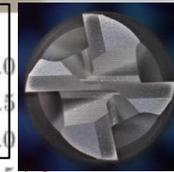
エンドミル側面加工時の工具欠損監視への適用



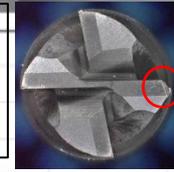
加工機	立型マシニングセンタ
被削材	ニッケル基合金 (Inconel718)
工具	エンドミル (4刃)
加工方法	側面加工
評価機器	加速度計内蔵ホルダ 切削動力計 マイクロスコープ

軸方向切込み →

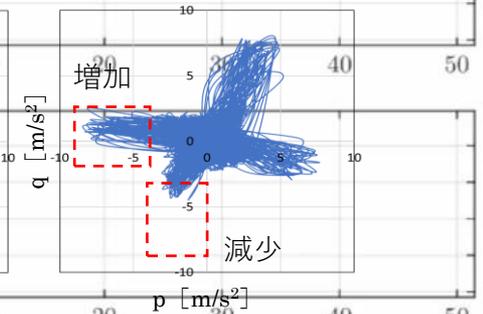
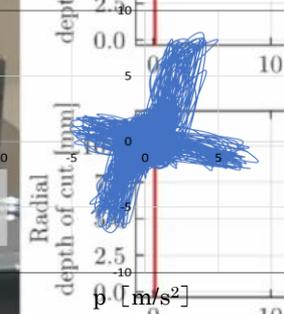
工具欠損なし



工具欠損あり



径方向切込み →



※3倍速再生

モードカップリングびびり振動監視に成功！ 欠損時に生じる振動の高感度測定に成功！

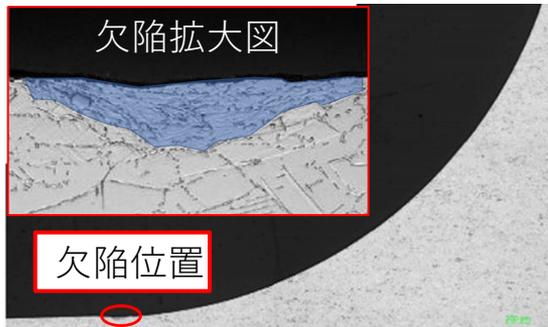
②の最終目標を達成し、論文公表・外部発表済み!!

2. 研究開発の成果③-1

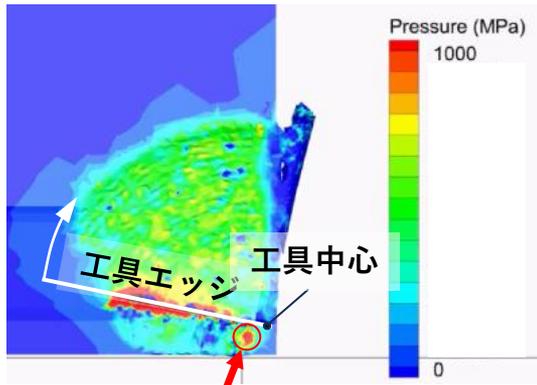
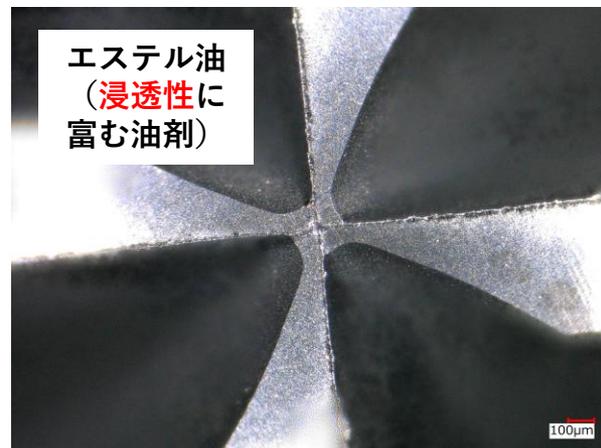
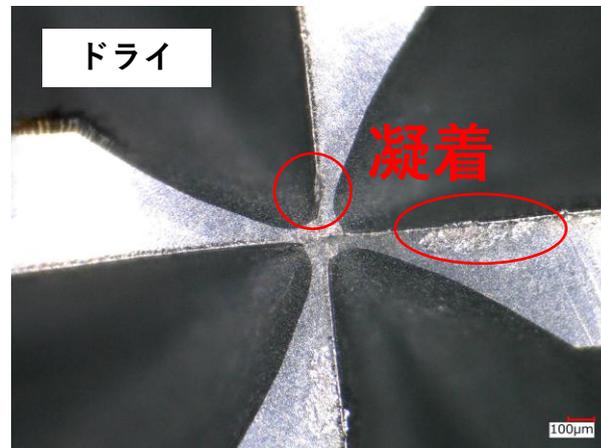
目 標

Ni基合金のボールエンドミル加工時の底刃付近の摩擦力・凝着抑制

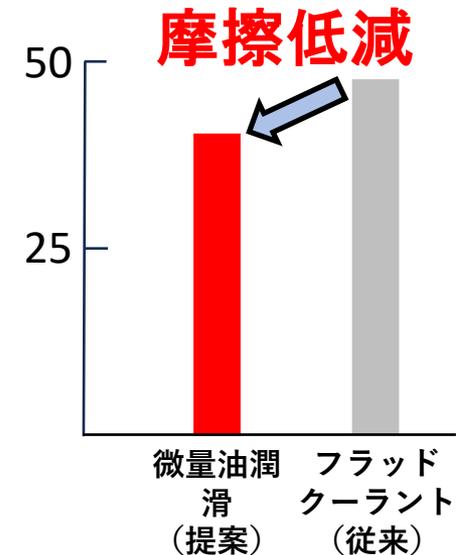
製品欠陥となる組織変化の発生は**工具中心付近の損傷と凝着**に起因することを見出した。現状、Ni基耐熱合金加工は水溶性加工液を大量供給する加工プロセスであり、“**供給量の最適化**”，“**潤滑剤性能の最適化**”による製品欠陥発生抑制効果が大きい。



曲面と平面の接続部に欠陥は発生



解析により、**工具中心部**において**大きな摩擦応力**が発生することを確認！

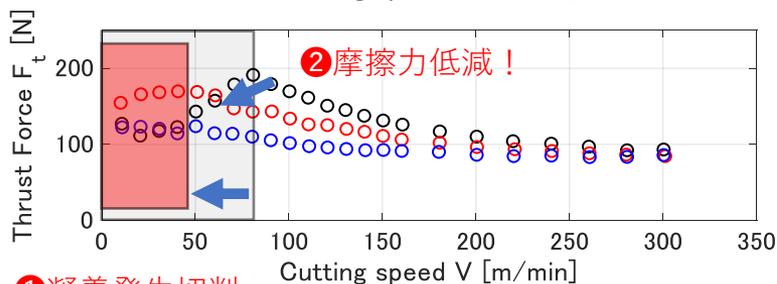
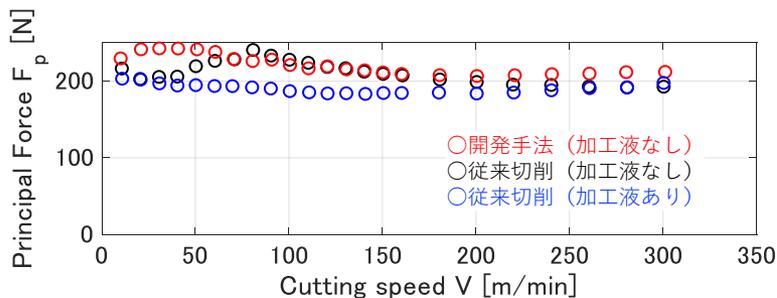
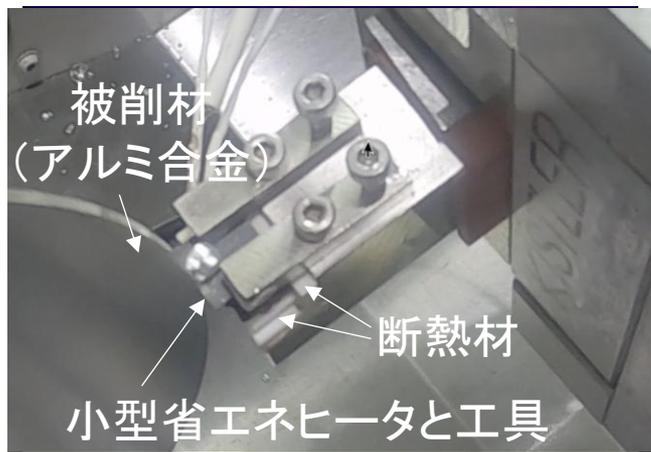


従来比50%の除去量
あたりの消費エネルギーで従来以上の**摩擦・凝着低減を実現！**

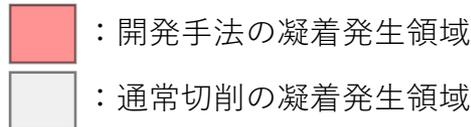
2. 研究開発の成果③-1

本成果は主に名古屋大学
博士前期課程西君の成果

③-1 加工液過剰供給回避技術

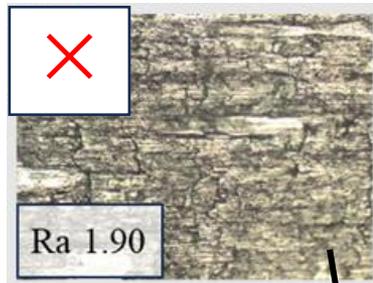


① 凝着発生切削
速度域を縮小!

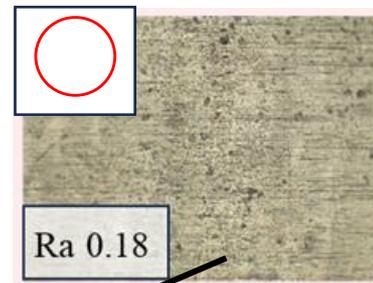


小型省エネ熱源を用いた加工液フリー切削
技術を開発し、凝着/摩擦の低減を実現

加工液なし (従来)



加工液なし (提案)



切りくず表面
(すくい面側)

③ 切りくず/仕上げ
面粗さ改善

④ 消費エネルギー削減!

開発手法：消費エネルギー 38W

従来比
4.5%!

※切削エネルギー
の考慮なし

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)

①②③④により凝着・摩擦を低減する省エネ
加工を実現!

③-1の最終目標を達成!

3.研究実績

□特許出願件数：1件

□外部発表

論文投稿：2件

学会発表：1件

ホームページ掲載：1件

□情報発信

展示会出展：5件

セミナー開催：3件

□会議の開催件数

研究開発会議：14件

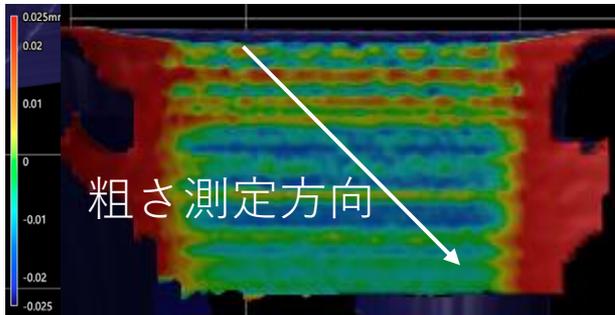
個別会議：110件

4.事業化の見通し 取組紹介①

③-2 異常振動回避技術 – ニッセイ・名大主体の取組

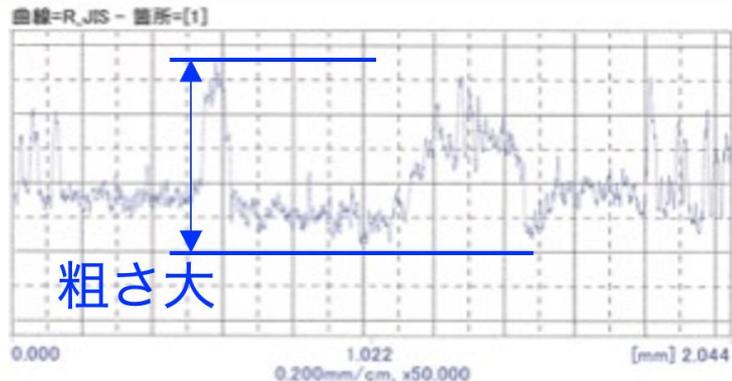
Nissei 株式会社 ニッセイ

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

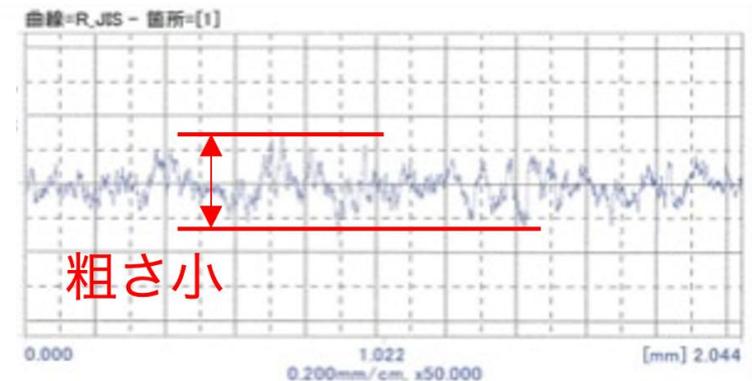


- ・伝動部品（左の写真）においては**強制振動**が問題になっていることを特定し、その対策（**工具・条件の最適化**）により解決！

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！

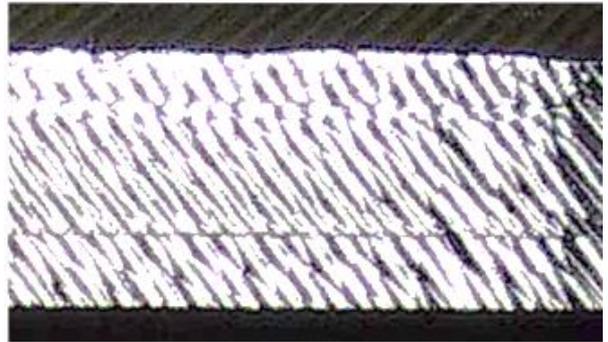
工程改善に成功し、実生産ラインへ適用済み!!

4.事業化の見通し 取組紹介②

③-2 異常振動回避技術 – 三菱重工航空エンジン・名大主体の取組

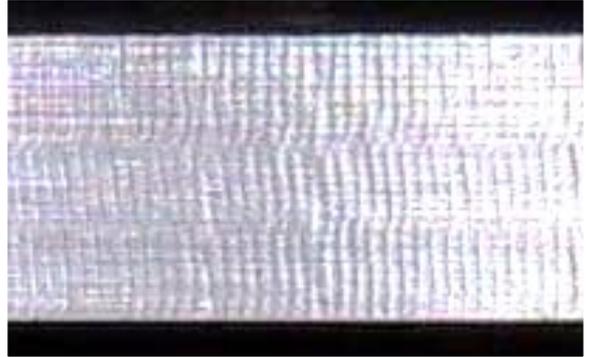
三菱重工航空エンジン エンジンケース加工時に**複数種類のびびり振動**が混合して発生していることを特定し、開発技術により**同時抑制に成功!**

従来 (改善前)

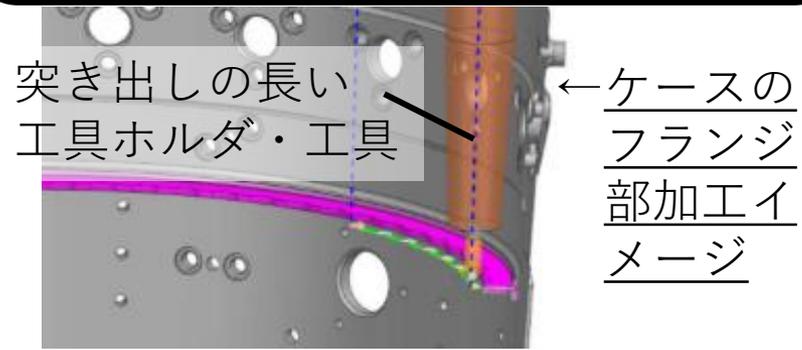


斜めのマークが特徴的なびびり振動発生(粗さ大, 工具損耗が課題)

提案 (改善後)

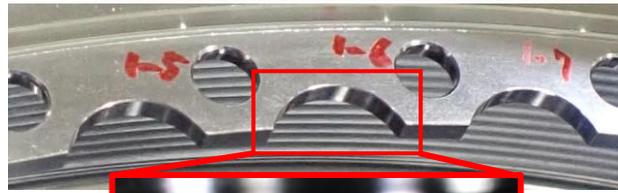


びびり抑制(粗さ小, 工具損耗抑制)!!



突き出しの長い工具ホルダ・工具

← ケースのフランジ部加工イメージ



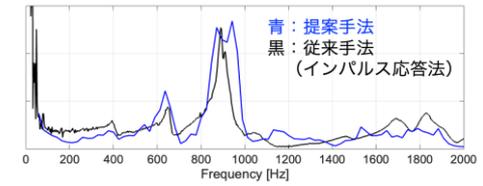
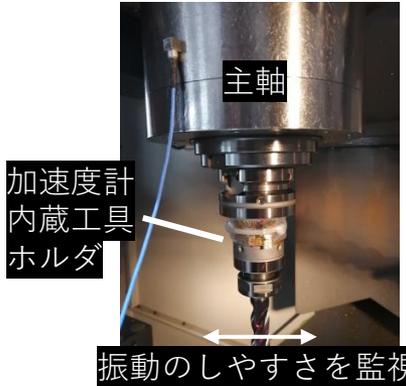
← 本技術実用化前の実部品加工結果 (耐熱合金製)

従来比25%の (除去量あたりの) 消費エネルギー, さらに従来比17%の工具費達成!

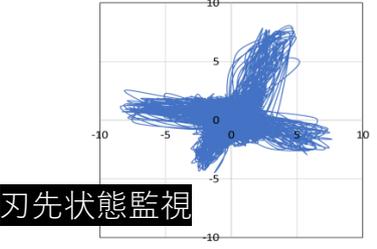
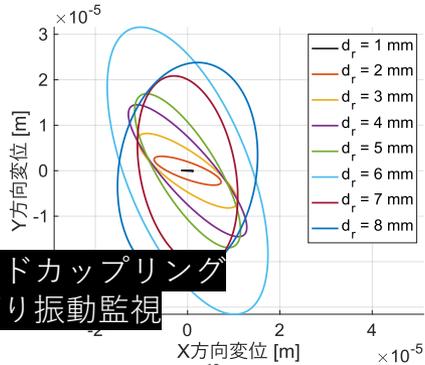
③-2の最終目標を達成し, 実生産ラインへ適用済み!!

4.事業化の見通し (全体像)

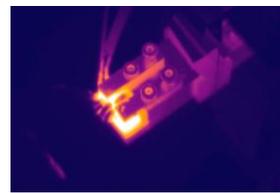
① 工作機械状態監視



② 切削状態監視

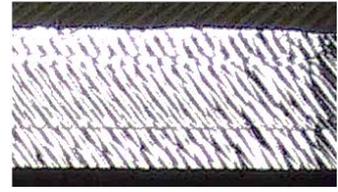
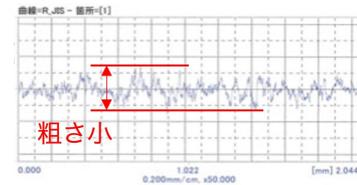


③ 異常状態回避



異常振動回避

従来比25%の消費エネルギー!!

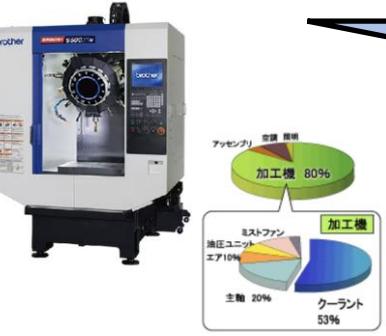


異常状態の監視により
その状態を適切に回避

状態の可視化により異常状態を把握

④ 小型工作機械特有の問題を解決しその導入を促進し省エネ化を加速

試算の一例：従来比
12.4%の消費エネルギー!



【出典：トヨタ自動車】



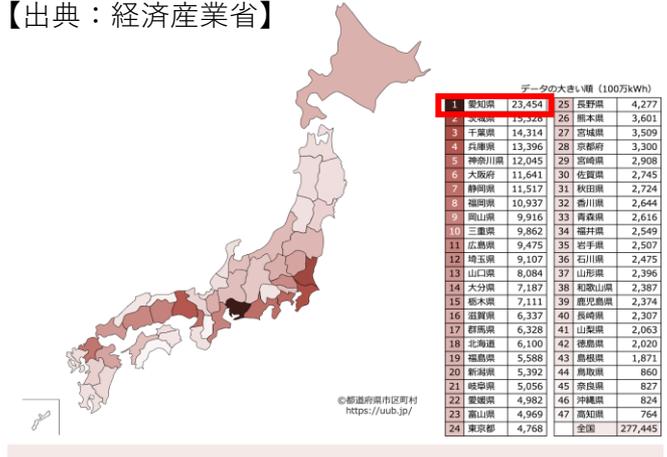
モノづくり
王国あいち
の機械加工
工場の省エ
ネ改革

5. 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】



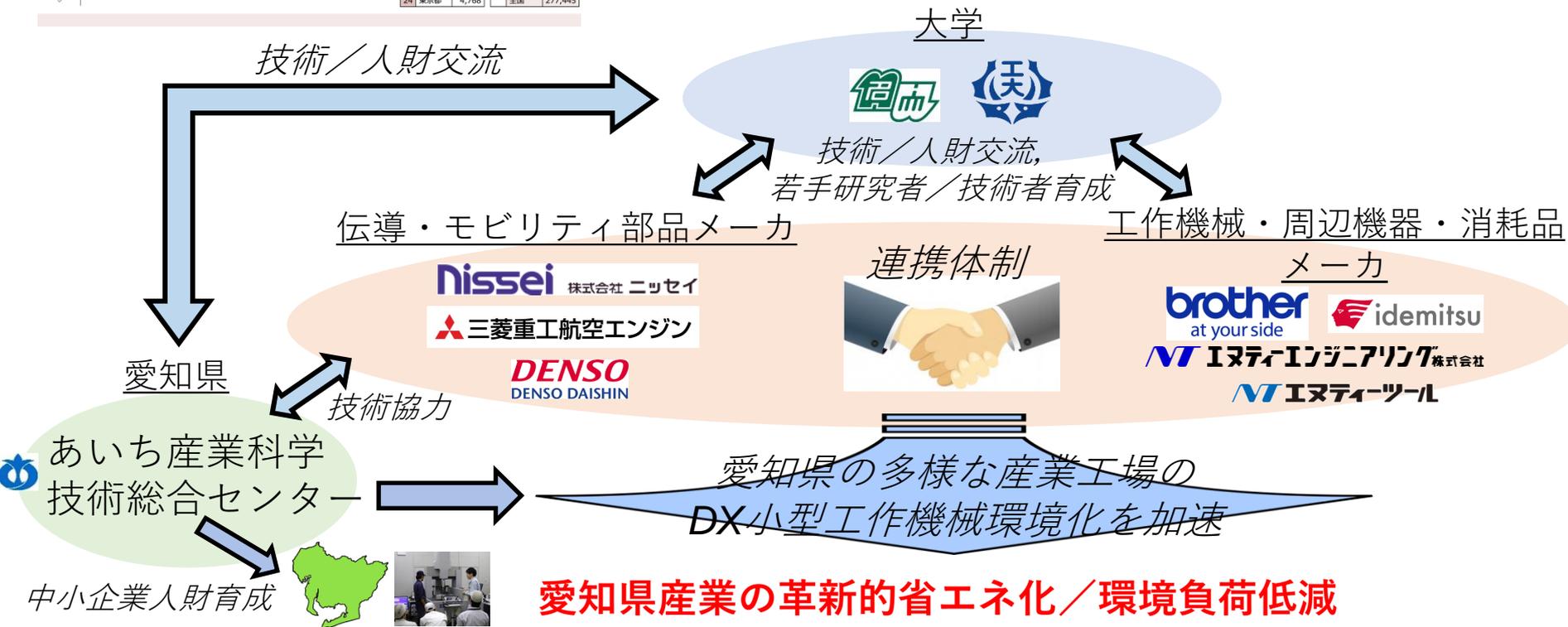
愛知県：23,454 (100万kWh)

→ 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**



5. 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



brother
at your side

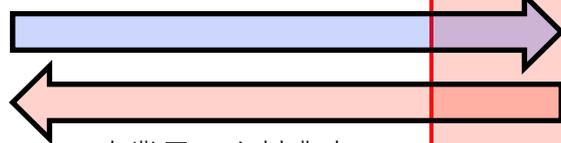
NT イヌティエンジニアリング株式会社

Nissei 株式会社 ニッセイ

三菱重工航空エンジン

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 



- ・学生を派遣して共同で研究
- ・教員による研修
- 学生の研究活動や中小企業への成果普及活動を支援

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



ご清聴をありがとうございました。