



# 生産加工・工作機械分野におけるデジタルものづくり

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 杉田 直彦

2018年10月26日

# 自己紹介



名前：杉田 直彦

出身：1970年姫路生まれ，金沢育ち

仕事：1996- 日本電気（株）

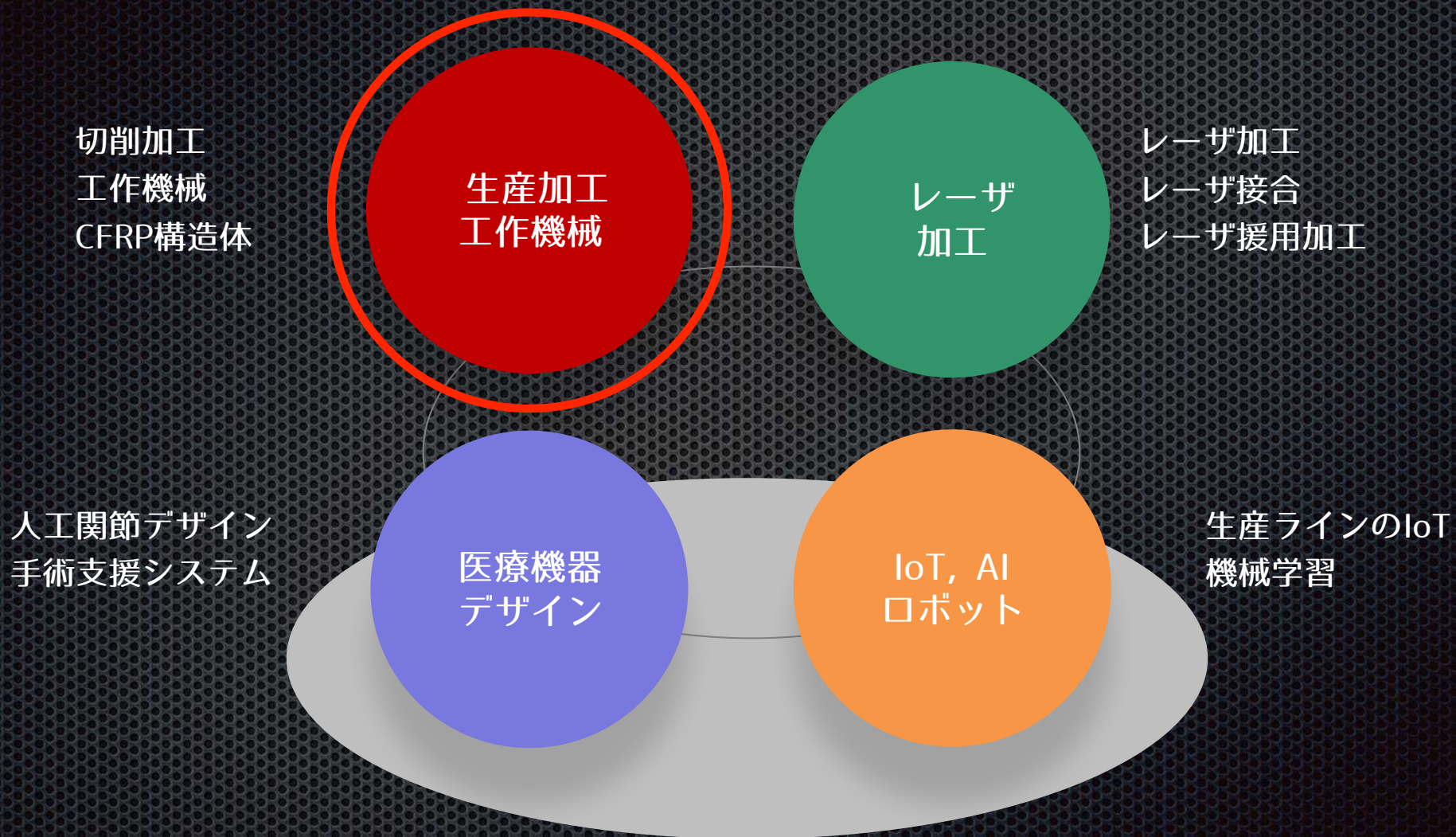
2003- 東京大学 助手

2007- 東京大学 准教授

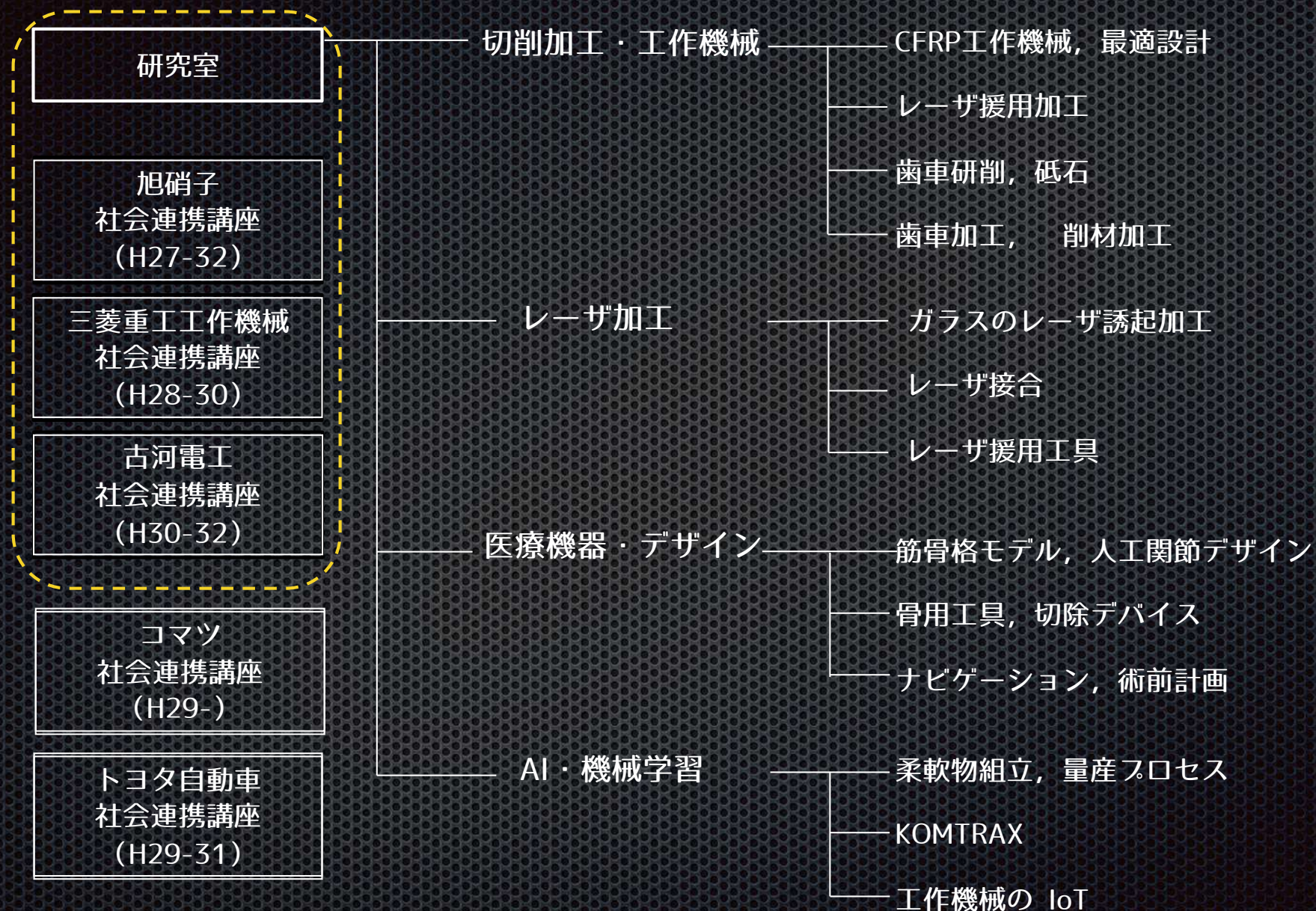
2014- 東京大学 教授



# 研究領域



# H30 研究グループ



# 東京大学社会連携講座の活用

			規模（千円/年）
寄付講座		個別に研究室とマッチング	100～
社会連携講座		担当教員が課題解決に最適な体制をアサインする。 ※組織的	20,000～
産学協創	<p>(メリット)</p> <p>企業：課題に対して、大学内から最適なチームをアサイン 組織的にアウトプットをフォロー マッチング、コストのリスクに対してのメリットが大きい</p> <p>大学：社会貢献へのモチベーション向上 レベルの高い研究員、研究体制の維持、確保</p>		000～



# 2030年のマニユファクチャリング

## 背景

持続可能な社会（SDGs）

EV化ゼロエミッション化（特に自動車）

社会・生活スタイルの多様化

日本のエネルギー消費（資源エネルギー庁資料）

・産業分野が40%で最も多い。

その中で素材製造系が80%近い 特に鉄鋼と化学30%ずつくらい

加工組立系は2割くらい 素材系も巻き込まないと大幅には省エネできない

→加工系の省エネ+必要な素材、材料が減ればさらに大きな効果

・産業分野に続くのは運輸24%

自動車ほとんど →自動車の省エネは効果大きい



# 生産システム全体の最適化

WANT > NEED

短期間での開発  
柔軟な供給体制  
精緻な情報共有  
条件変更に対応

「サプライチェーンの水平統合」  
需要に合わせた製造拠点連携

「プロダクト管理」  
保守管理, 稼働管理, 省エネ管理

短いリードタイム  
欲しい製品が欲しい  
時に

「製造システムの垂直統合」  
状況に合わせた, 柔軟かつ再構成可能な製造システム,  
次世代加工システム

「エンジニアリングチェーンのデジタル統合」  
設計から製造までバーチャルとリアルの融合によるエンジニアリング



# 日本工作機械工業会での取り組み

## (1) 構造体

④高剛性、低熱変位を実現するラムの開発  
(中村留精密、東京大学)

③高剛性、低熱変位を実現するサドルの開発  
(牧野フライス、東京大学)

①高剛性、低熱変位を実現するコラムの開発  
(オークマ、東京大学)

②高剛性、低熱変位を実現するベッドの開発  
(OKK、東京大学)

## (2) 主軸ユニット

⑤省エネ型軽量主軸の主軸シャフトの開発  
(DMG森精機、京都大学)

⑥省エネ型軽量主軸の主軸構造の開発  
(ヤマザキマザック、京都大学)

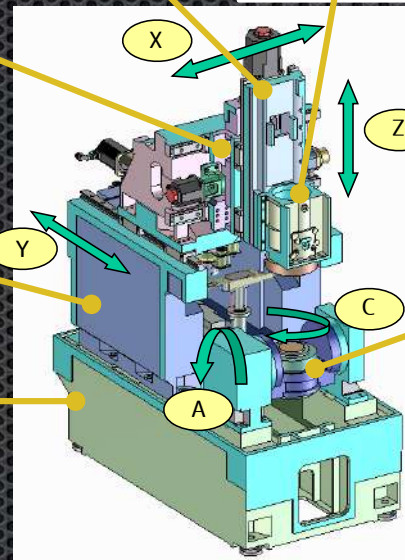
## (3) 移動体

⑦高剛性、高加減速な直線送り軸、旋回軸(A軸)の開発  
(三井精機、東京工業大学)

⑧高剛性、高加減速な旋回軸の開発  
(ジェイテクト、東京工業大)

## (4) 制御

⑨工作物質量変動に対応でき外乱抑圧性能に優れた制御の開発  
(ファナック、慶應義塾大学)



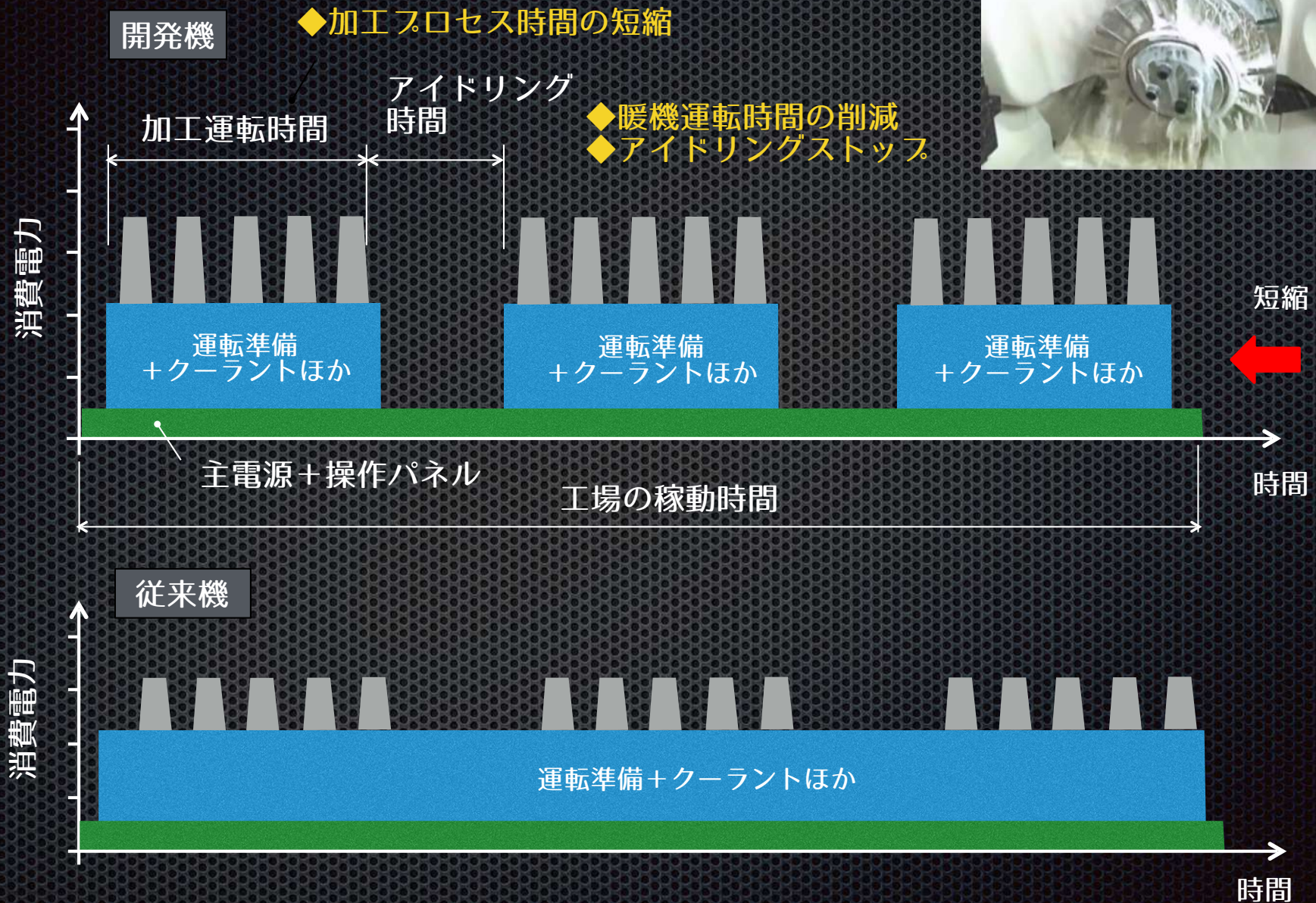
<最終目標 (H30年度)>  
従来機比

・ 24%省エネ	
・ 加減速	50%向上
・ 切削能力	13%向上
・ 熱変位	10%低減
・ 加工面精度	1μm以下





# 工作機械の電力削減イメージ



# 本研究室のデジタルものづくり

Physical

物理現象の解明

+

Cyber

物理モデルの構築による現象の理解

+

Idea

新たなアイデア



研究成果



# 1. 複合材料を用いたマシニングセンタの開発

工作機械への要求



高精度化

省エネルギー化



Machining center

## ■ 求められる性能

- ・ 軽量
- ・ 高剛性
- ・ 高減衰性
- ・ 熱的安定性



全てを従来の単一の方法で  
実現することが困

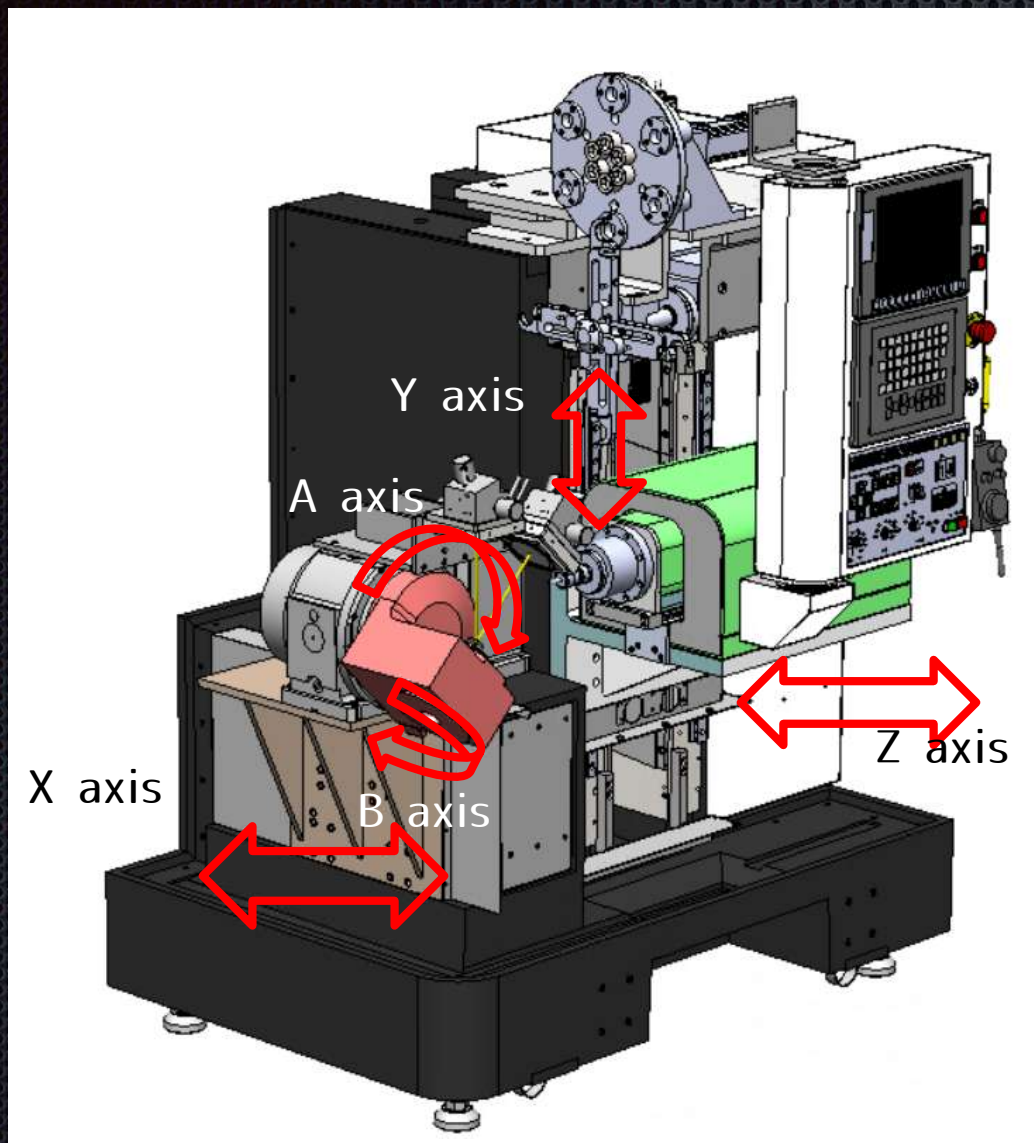
## ■ そこで…

- ・ 材料の検討  
鉄鋼 → CFRP
- ・ 複合材料の検討  
CFRP + 高減衰材料, アルミハニカム

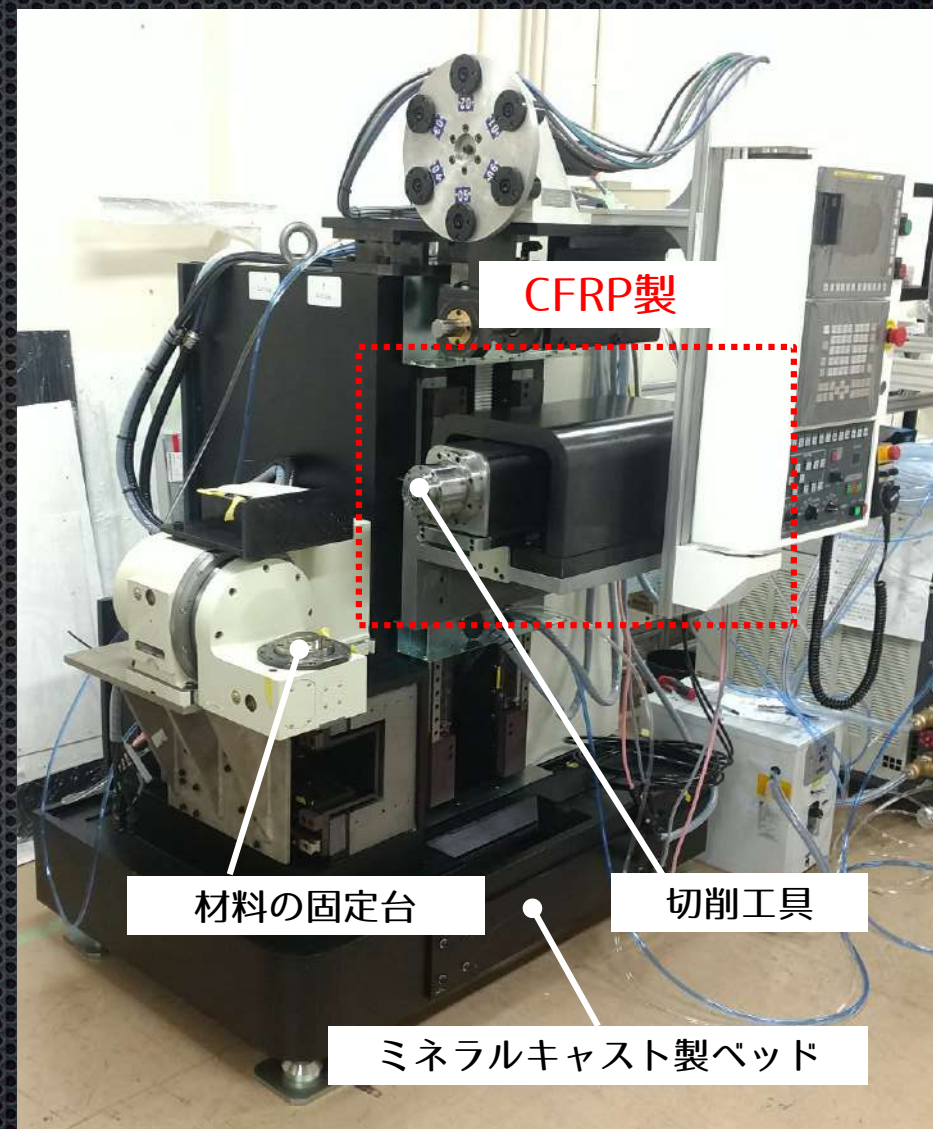
\*CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)  
→ 炭素繊維強化プラスチック



# 開発した同時5軸マシニングセンタ



軸の構成



実機



# 製造の風景

CFRP部品の成形



Z軸構造の成型



Z軸構造の接着

株式会社テックラボ

CFRP部品の加工



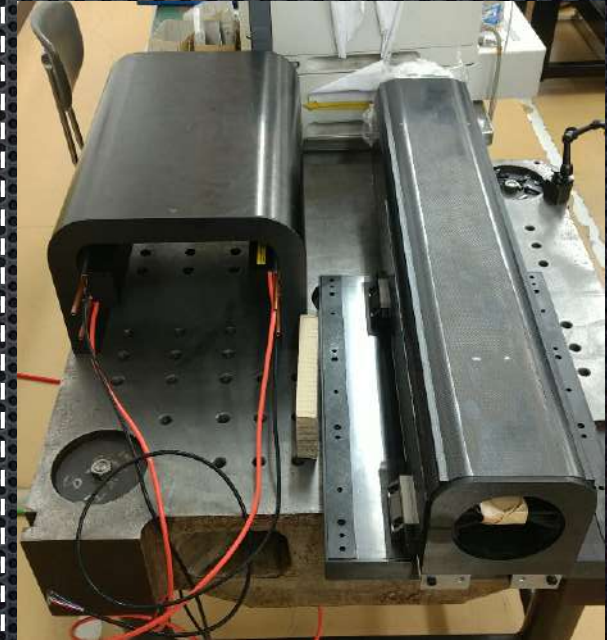
Z軸構造の加工



加工後

株式会社東鋼

CFRP部品の組み立て



組み立て

株式会社岩間工業所



## 2. 研削における冷却・潤滑液の供給

### ■ 研削液供給の現状

➤ ノズルからの供給量4 L/min・mmが必要<sup>[1]</sup>だが有効流量は供給量の1/4程度<sup>[2]</sup>



3/4は冷却・潤滑に関与しない

[1] Webster J et al. Annals of the CIRP 51(1):235 240, 2002.

[2] Morgan MN, et al. Annals of the CIRP 57(1):363 366, 2008.

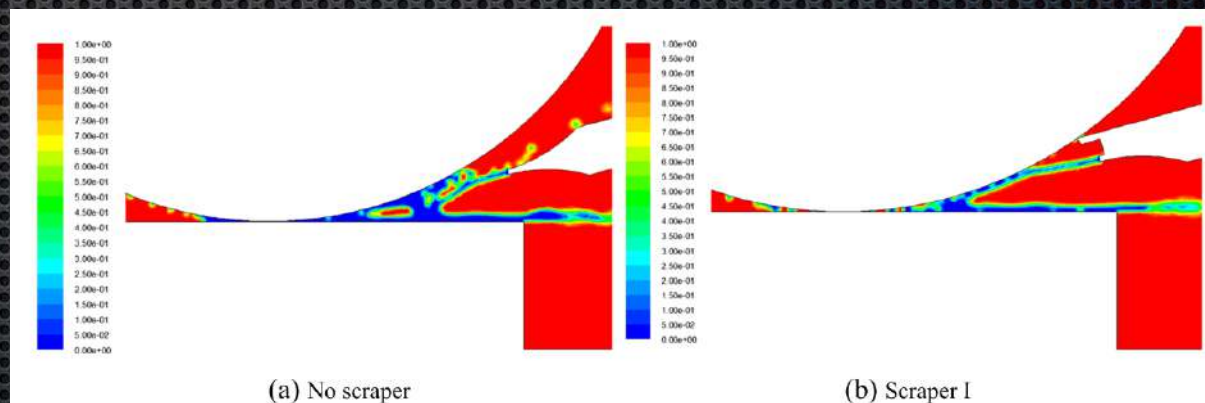
### ■ 有効流量割合(Useful flow ratio)低下の原因と改善方法

#### 主な原因

➤ 高速回転砥石周囲の連れ回り空気流



連れ回り空気流による  
研削液の浸入阻害<sup>[3]</sup>



スクレイパーによる連れ回り空気流の阻止<sup>[4]</sup>

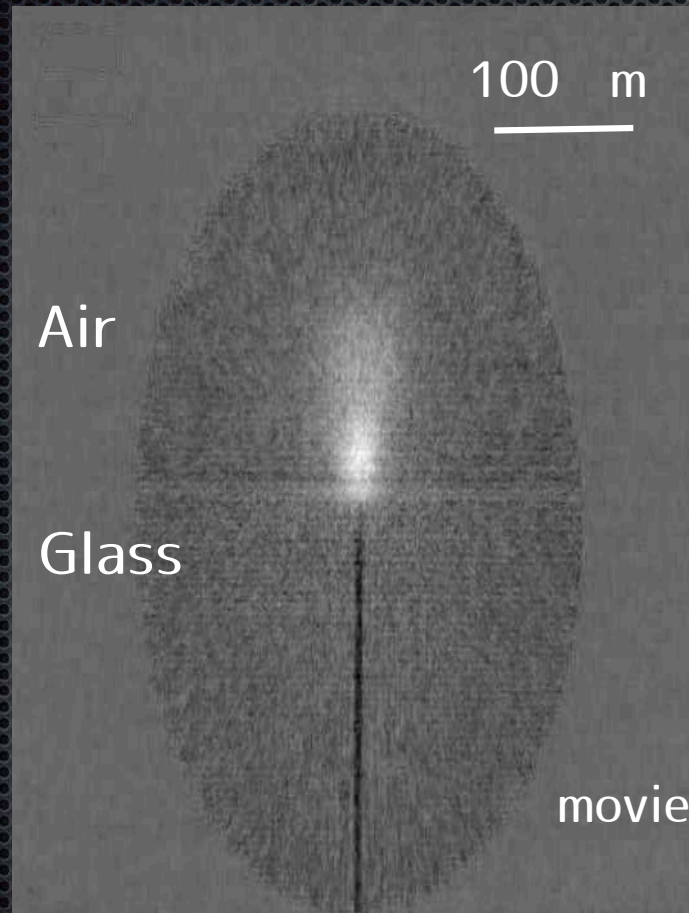
[3] Ebbrell, S. et al. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 40, 209 223, 2000.  
[4] Zhang, Y. et al. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2113 2126, 2015.



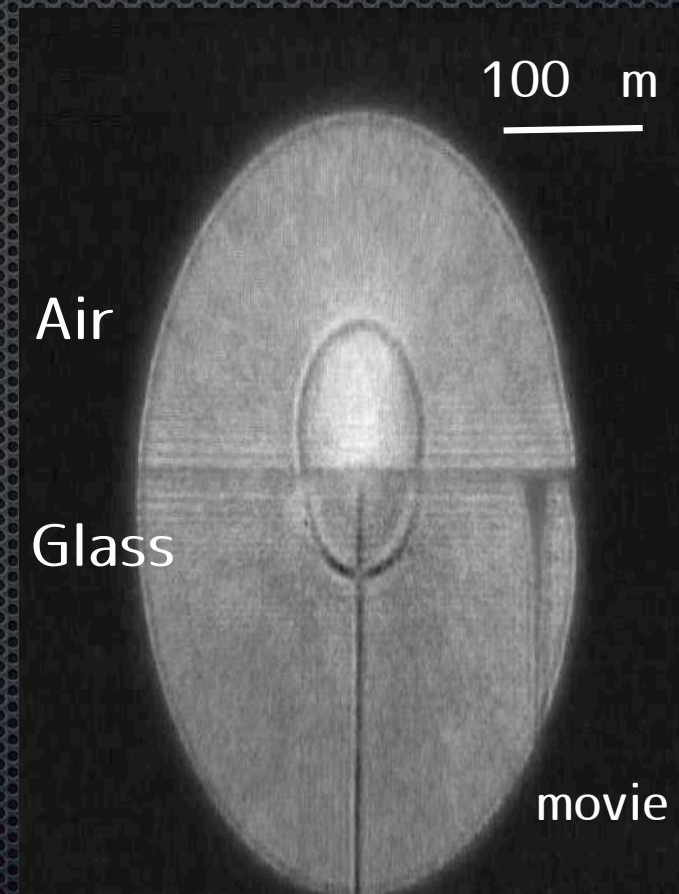
# フェムト秒レーザー誘起高速現象の解明に基づく ガラスの超高速微細精密加工

## 応力波の挙動

### 1ショット目における応力波の伝播



1.5ナノ秒を1秒で再生

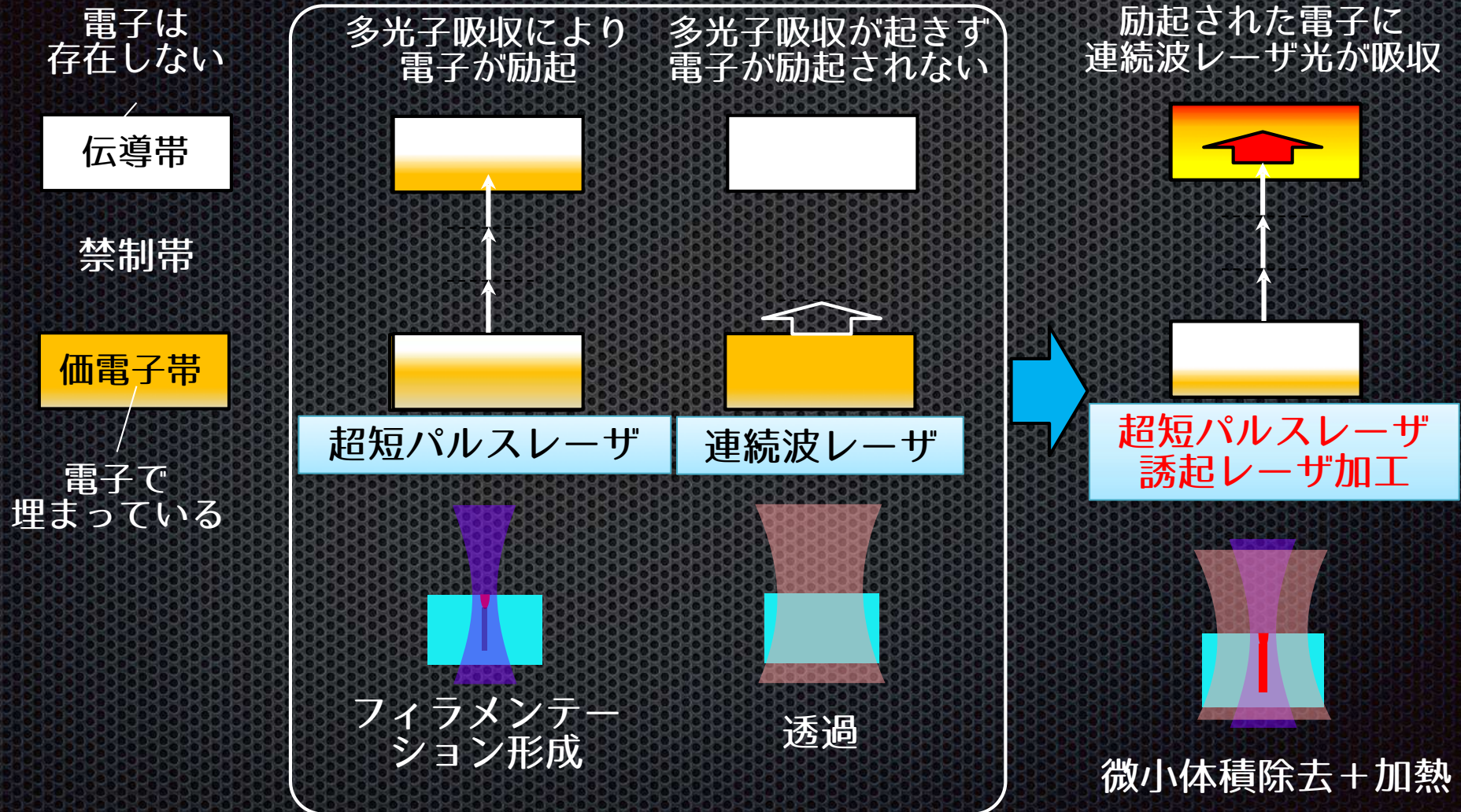


15ナノ秒を1秒で再生



# 提案手法

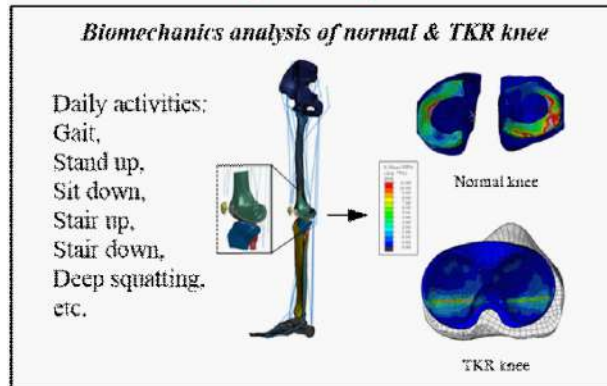
## 超短パルスレーザー誘起レーザー加工法





# 患者個別インプラントを実現する 筋肉骨格モデルおよび加工デバイス

## Body level study

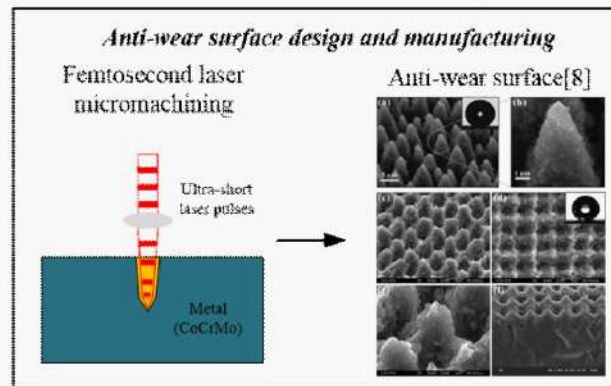


Biomechanics analysis

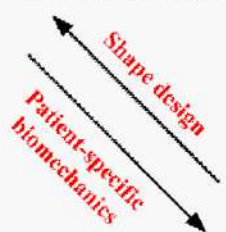
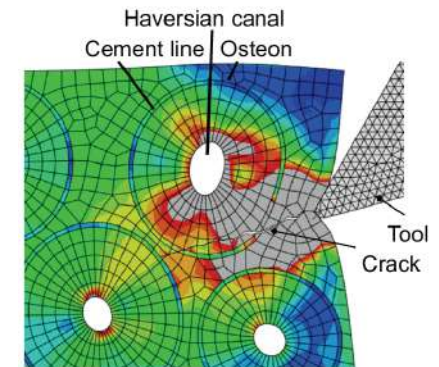
## Multi-scale Level Design & Optimization of Knee Prosthesis



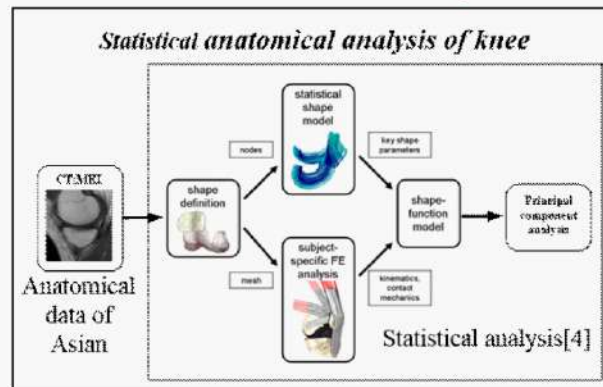
## Micro/Nano-Structure level study



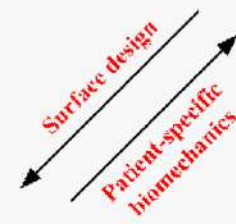
Biotribology analysis



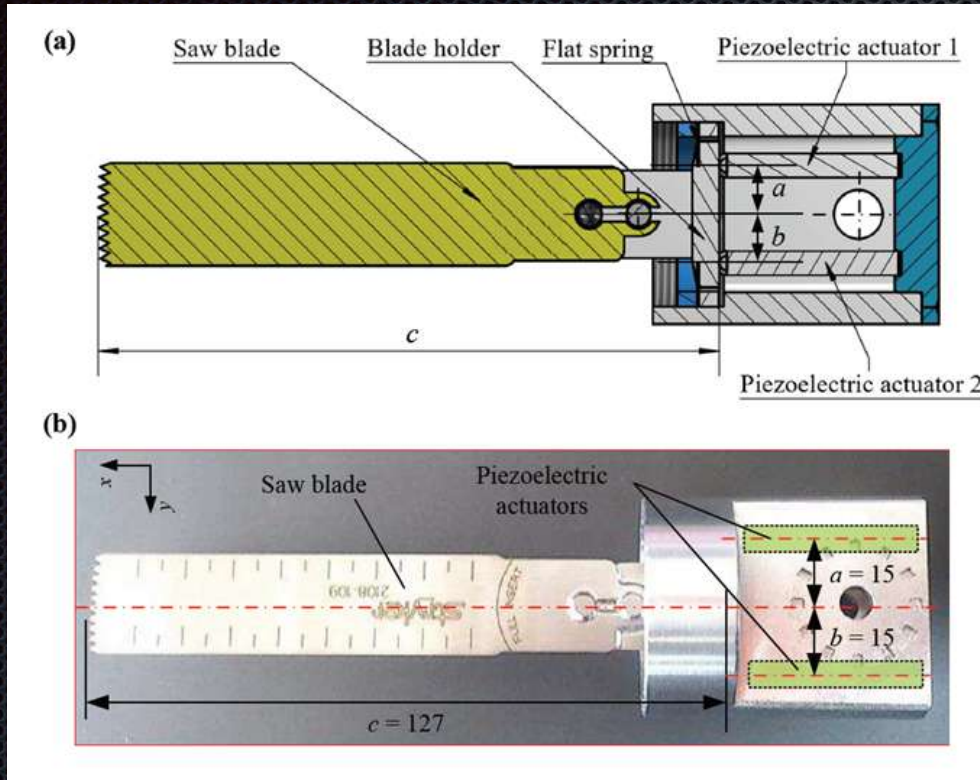
## Anatomic structure level study



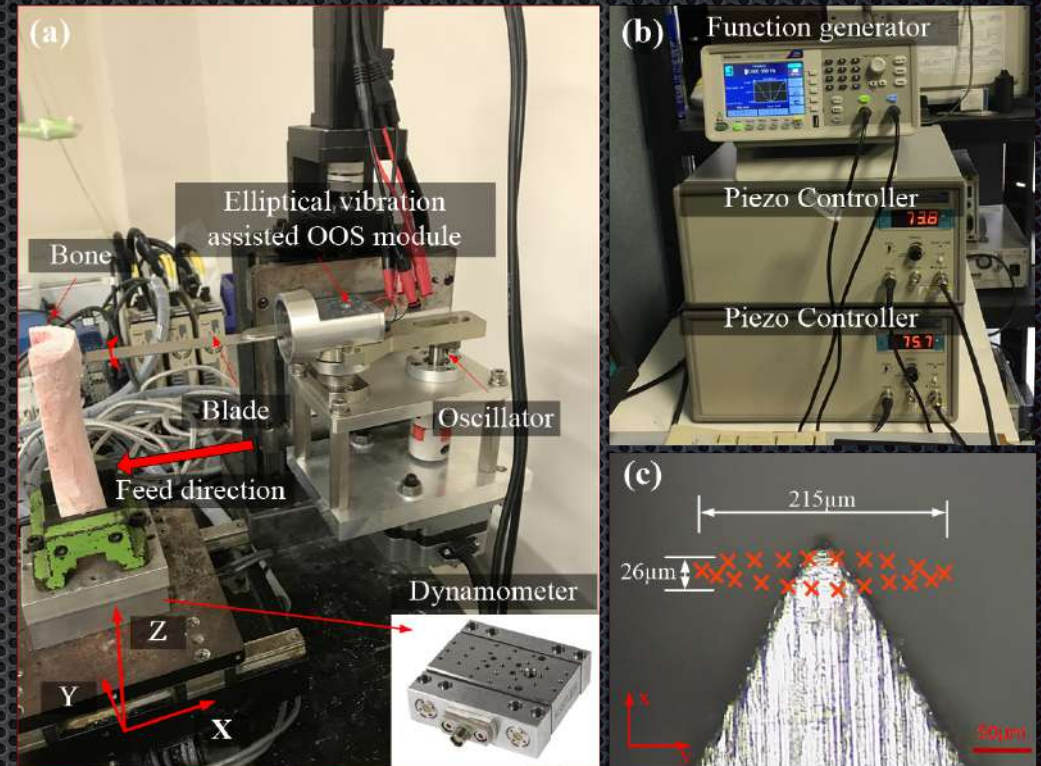
Topology design



# 骨切除用加工デバイス



(a) Diagram of elliptical vibration assisted OOS module. (b) Picture of elliptical vibration assisted OOS module



(a) The experimental setup, (b) Piezoelectric actuator controller, and (c) elliptical path of tool tip



# ロボット・AI研究の方向性

## 1. 実社会における複雑なタスクを自動化するロボット・AI技術の開発

- 実システムでのマニピュレーションタスクに利用可能な強化学習手法の開発
- フラントなどの複雑な系の最適化手法の開発

実社会で実際に役立つロボット・AI

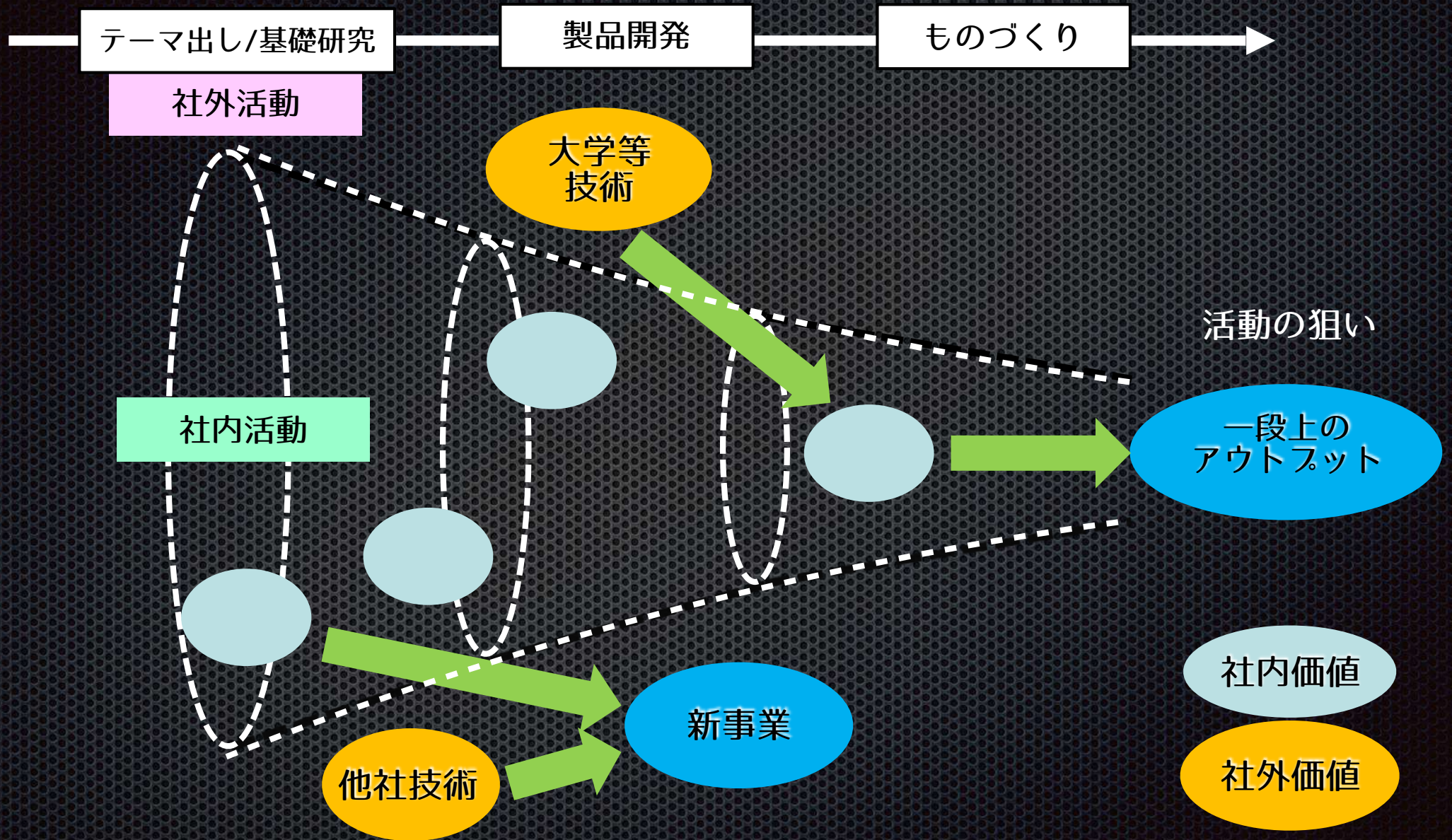
## 2. ブラックボックスを最小限にし、人間の理解を助ける機械学習の開発

- 膨大なデータからの重要な情報の抽出
- データ構造の理解可能な形での学習・可視化

人間がデータを理解することを助ける道具としてのAI



# バリューチェーンの内側に外部技術を活かす。





Question?

fin.