

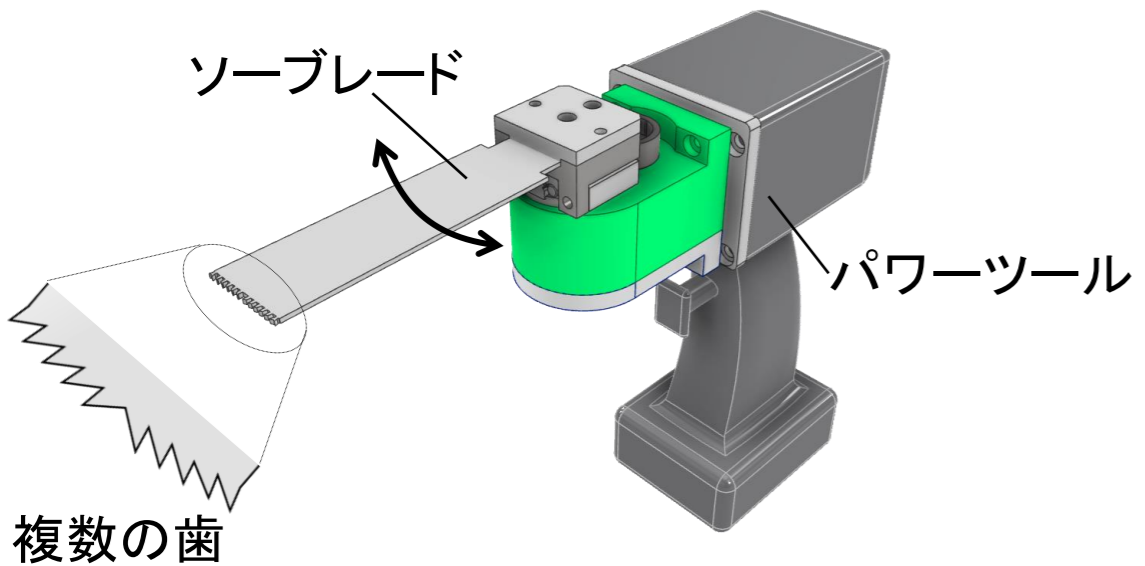
精度向上およびダメージ低減を実現するボーンソー

大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻

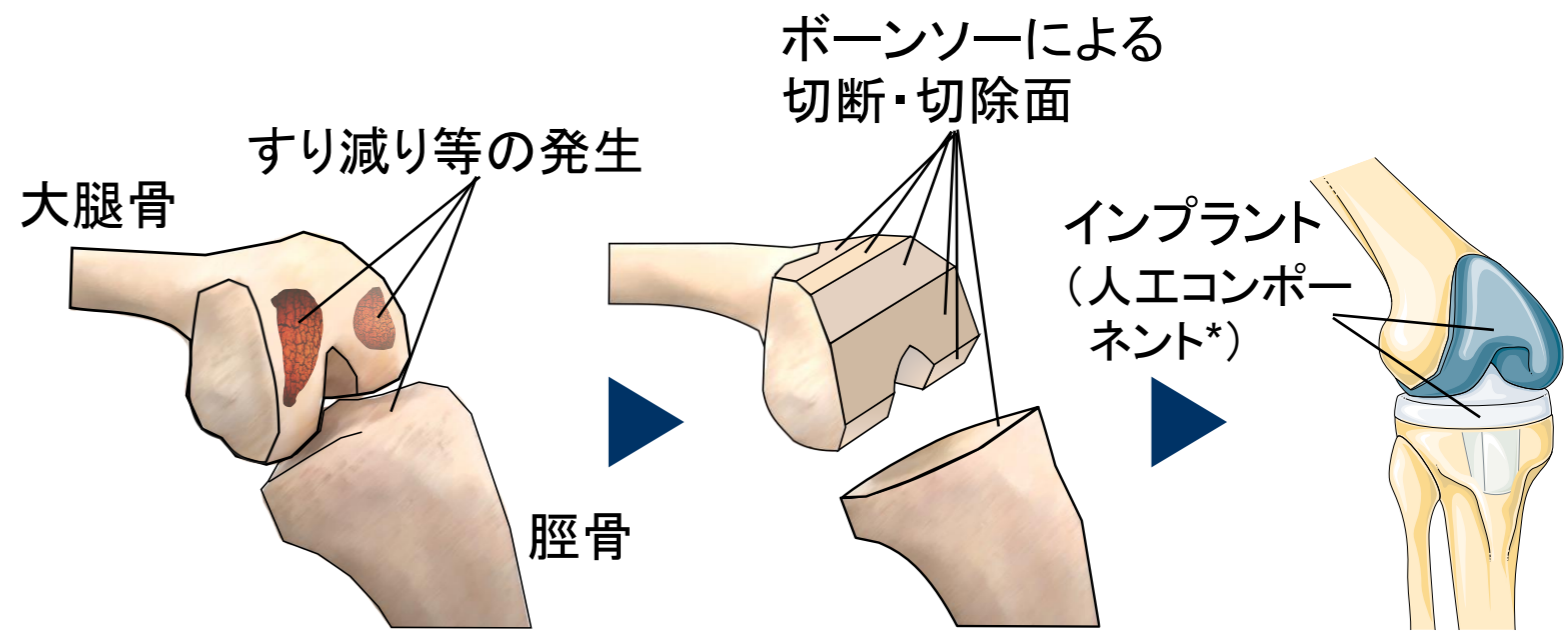
教授 榎本 俊之

2026年1月29日

◆整形外科用ボーンソー(オシレーション式)とは？



ボーンソーで用いる医療機器



人工膝関節全置換術 (Total Knee Arthroplasty: TKA)

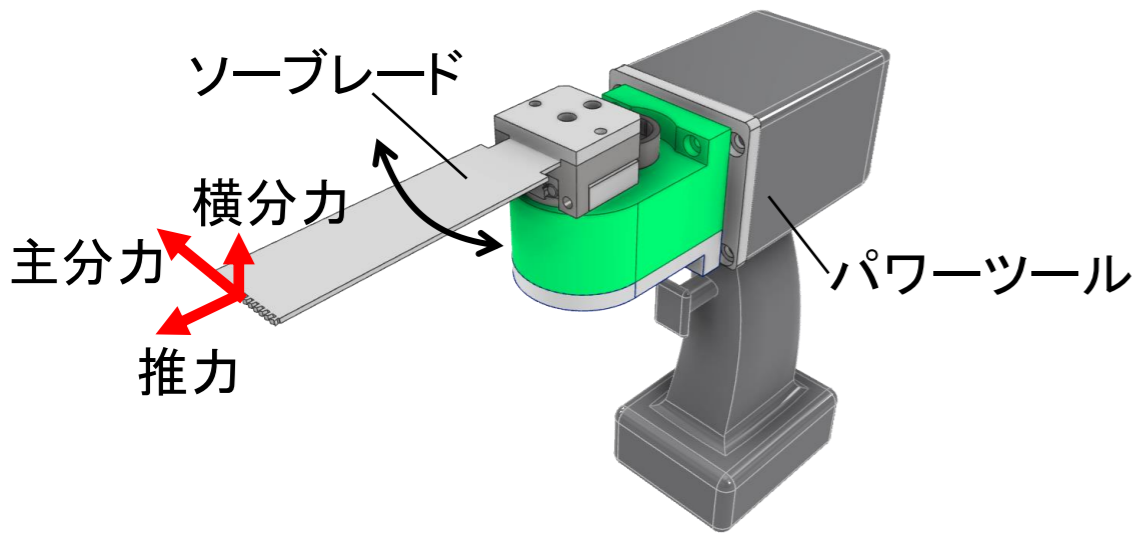
世界市場規模

- ✓ ソーブレード
210億円 (2024実績), 290億円 (2031予測)
- ✓ パワーツール
770億円 (2024実績), 1060億円 (2031予測)

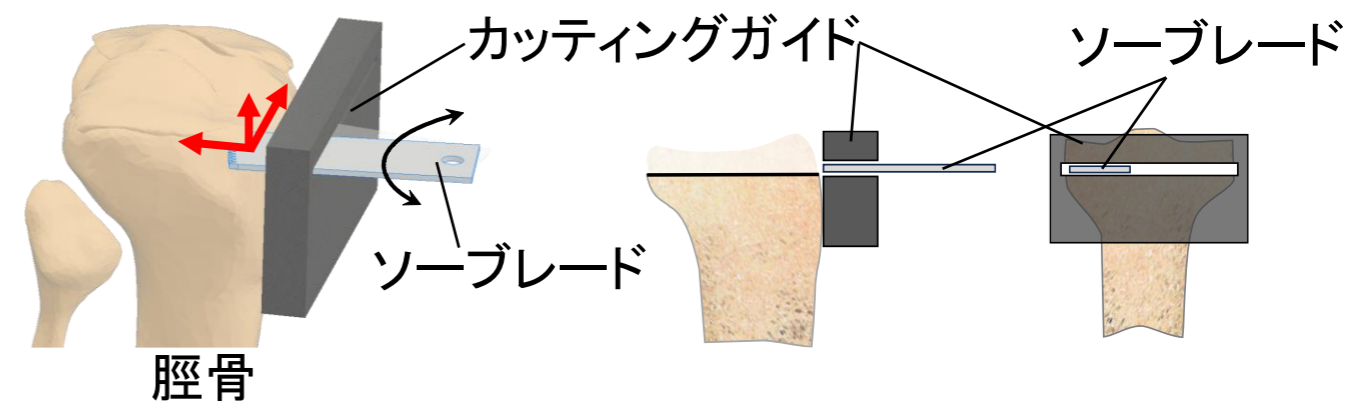
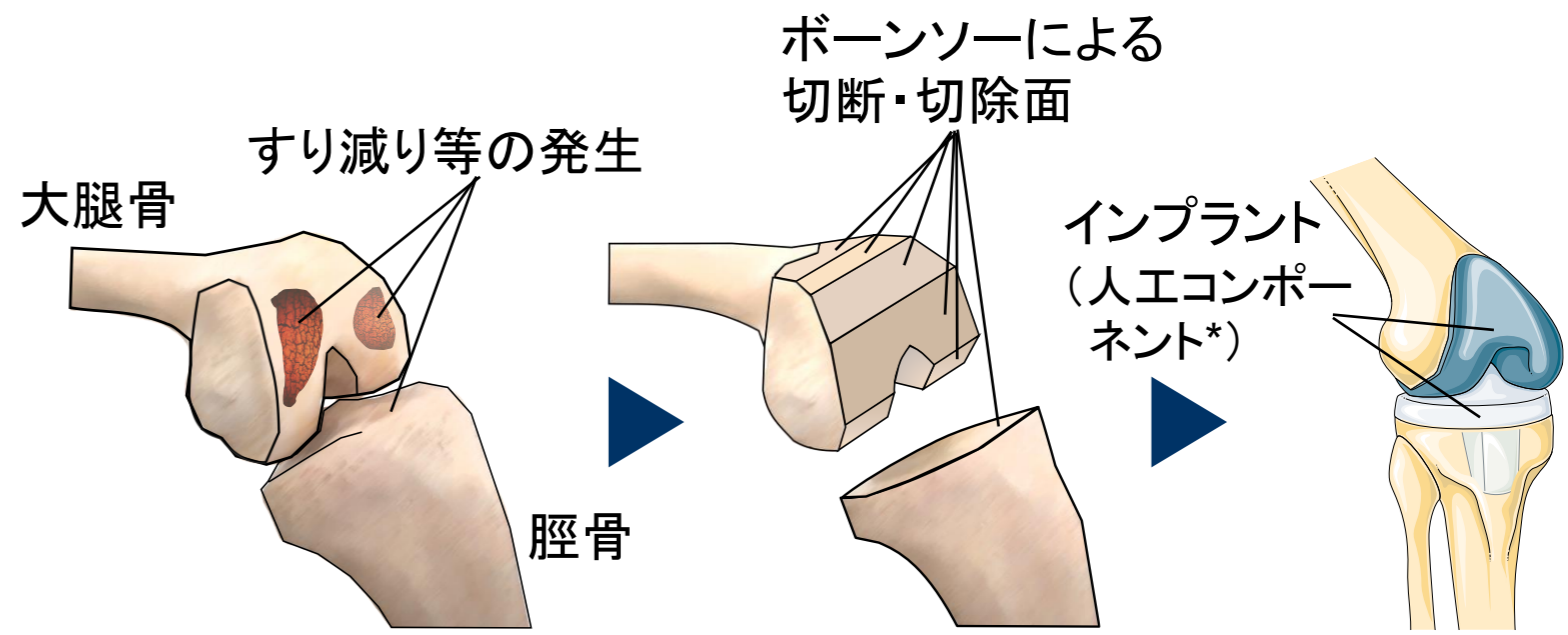
年間手術件数 (2022実績)

- ✓ 人工膝関節全置換術 (TKA)
 - ・日本: 8万件
 - ・米国: 160万件
 - ・ヨーロッパ: 79万件
- ✓ その他として, 人工膝関節単顆置換術 (UKA) など

◆ボーンソーの特性

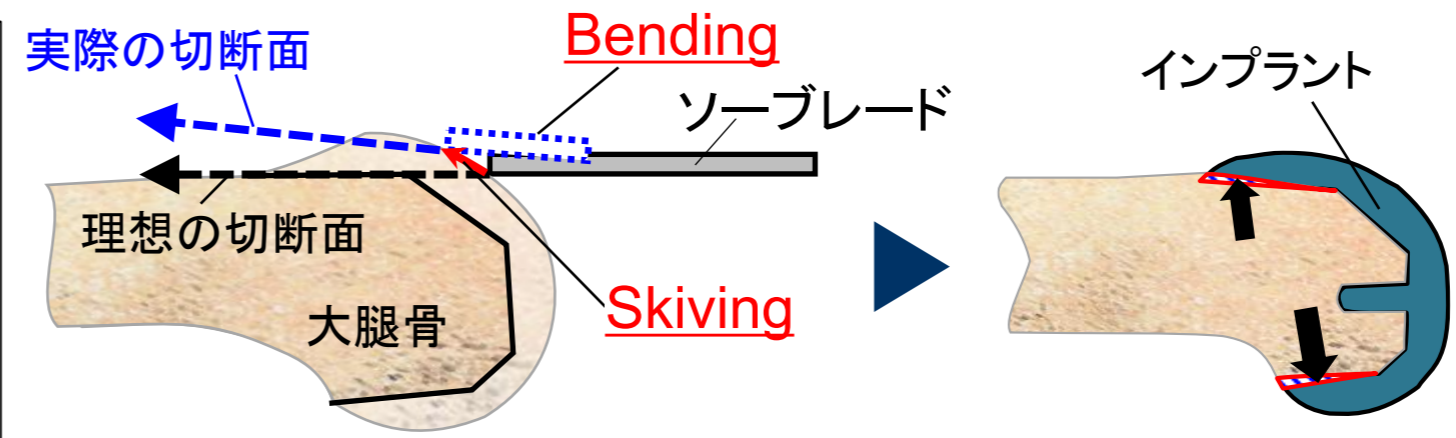


- ソーブレード: 低剛性な工具**
- ・厚さ 0.8 – 1.5 mm
 - ・長さ 100 mm 程度
 - ・幅 20 mm 程度
- +
- 切断中に発生する大きな力**
- ・皮質骨: 硬質かつ傾斜面
 - ・主分力, 推力, 横分力



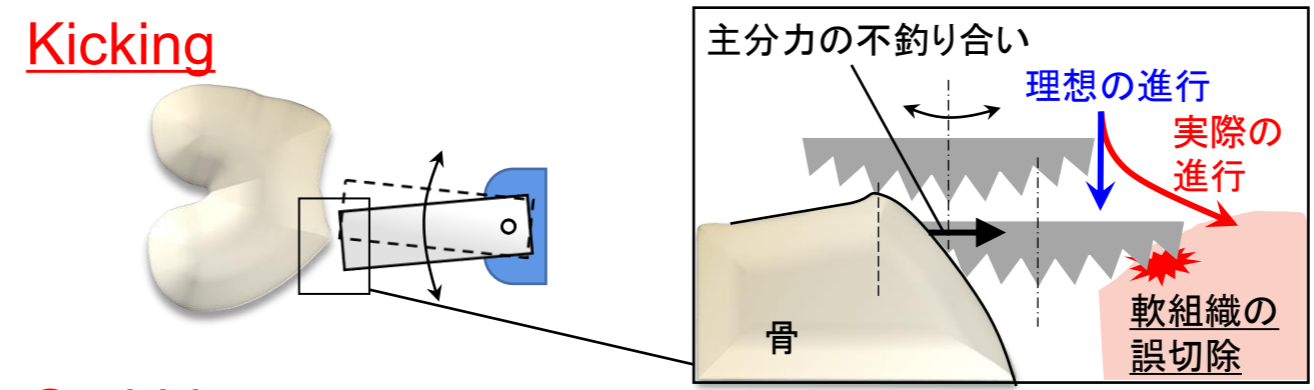
◆ボーンソーにおける課題とは？

- **大きな推力**
- Bending (ブレードのたわみ)
 - Skiving (ブレードの上滑り)

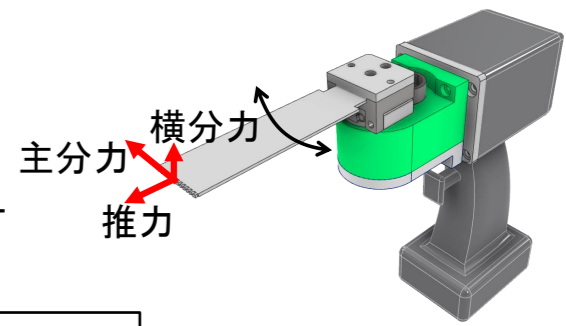
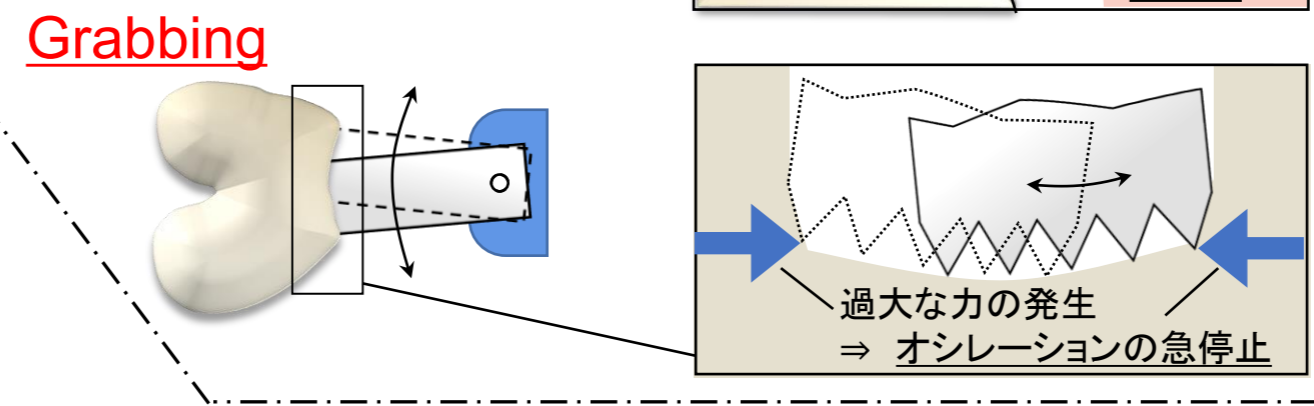


- ✓ カuttingガイド使用時発生
- ✓ 誤差2度以内

- **大きな主分力**
- Kicking (ブレードの跳ね返り)
 - Grabbing (ブレードの食い込み)

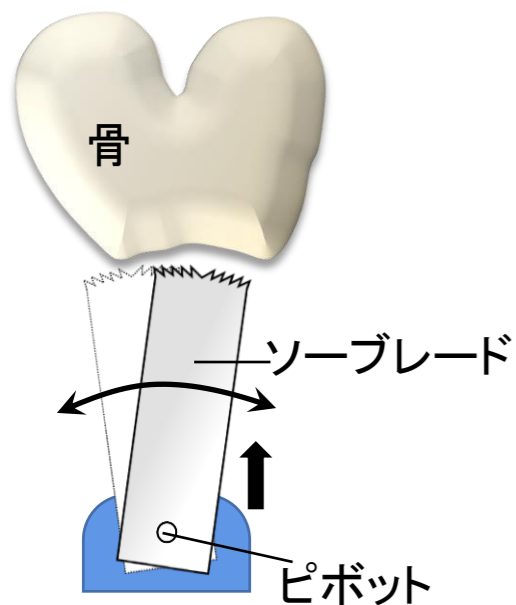


- **大きな力**
- ブレード歯先の変形・摩耗
 - 骨切断面のダメージ (クラックなど)



切断精度の劣化・骨切断面のダメージ増大

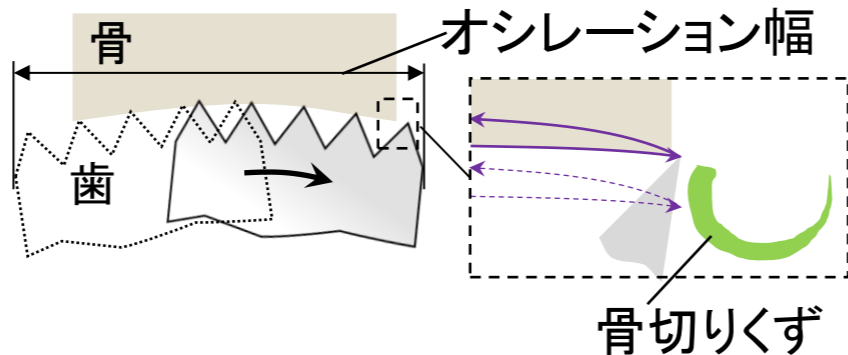
骨切断中に発生する／発生してしまう力 1/2



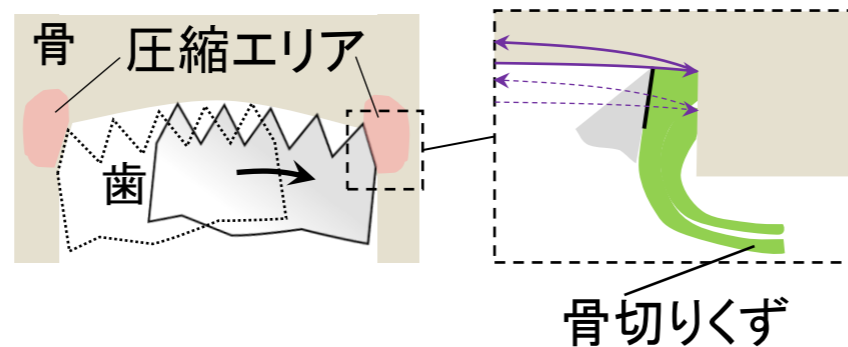
F_z (推力)
 F_y (主分力)

2種類の骨切断状態

(a) 通し溝

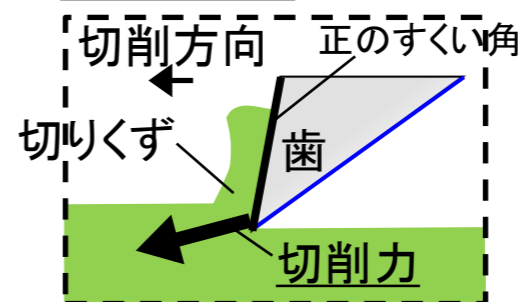


(b) 止まり溝

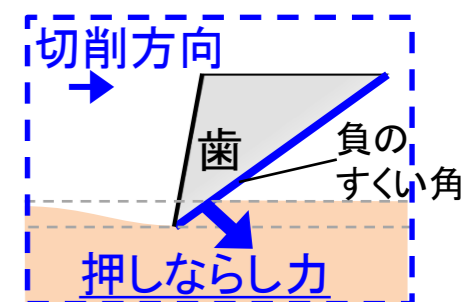


3種類の発生する／発生してしまう力

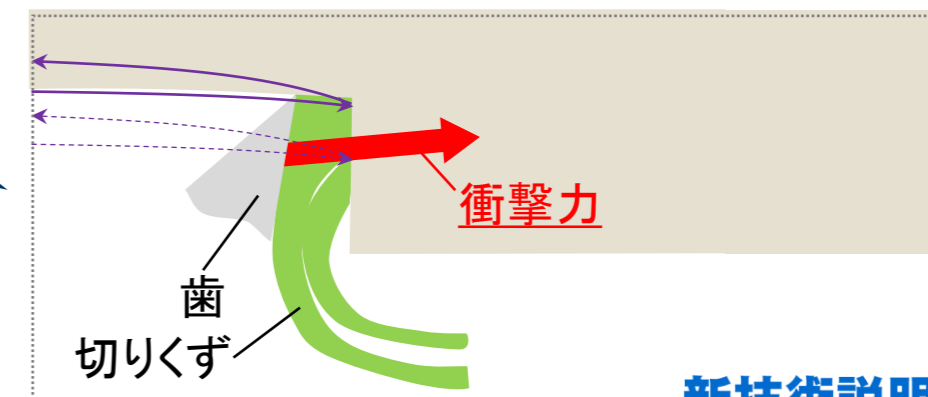
1. 切削力



2. 押しならし力



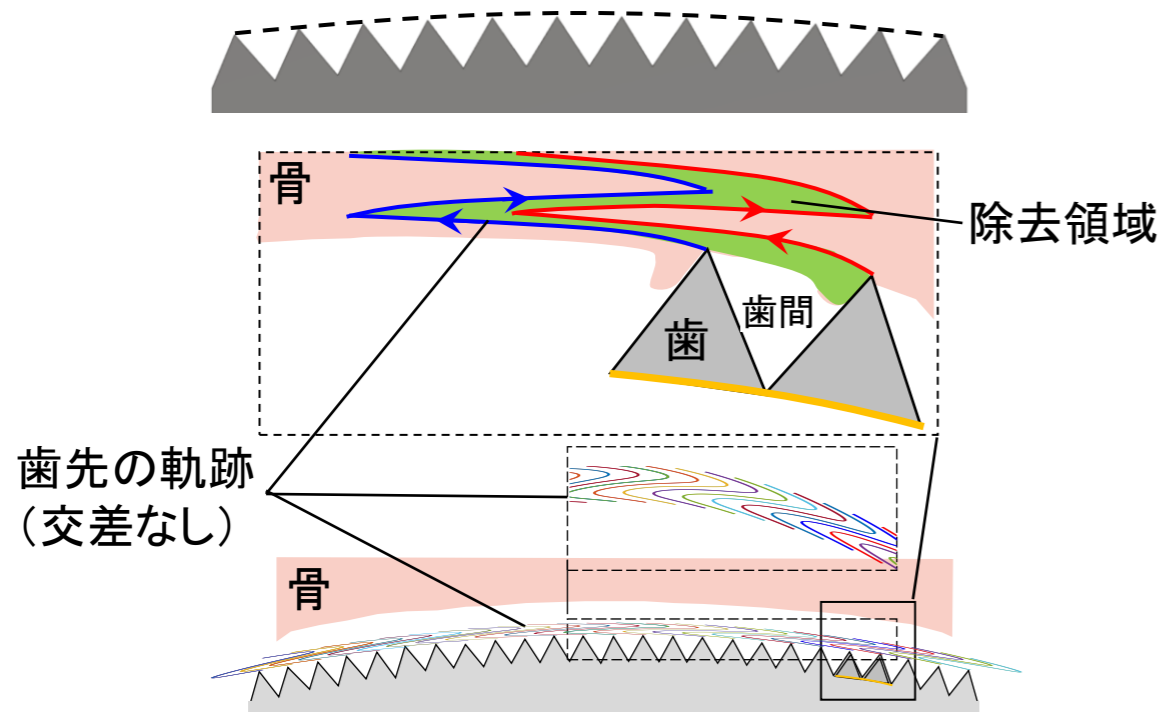
3. 衝撃力



押しならし力と衝撃力という切削
に関係の無い、無駄な力が発生

ソーブレードのエッジ形状による影響

➤ 円弧カーブエッジ形状

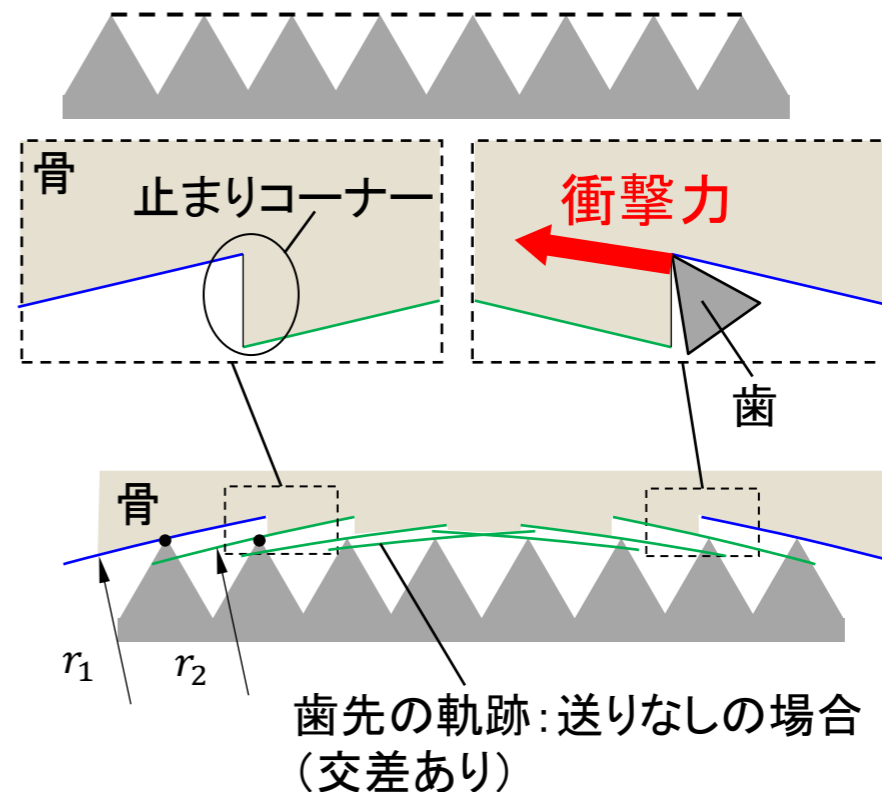


切削力

押しならし力

目づまりによる影響

➤ 直線エッジ形状



切削力

押しならし力

衝撃力

切りくず目づまりにより無駄な力が発生

(さらにオシレーション動作のため、ゼロ～低速度切除が起き、力増大)

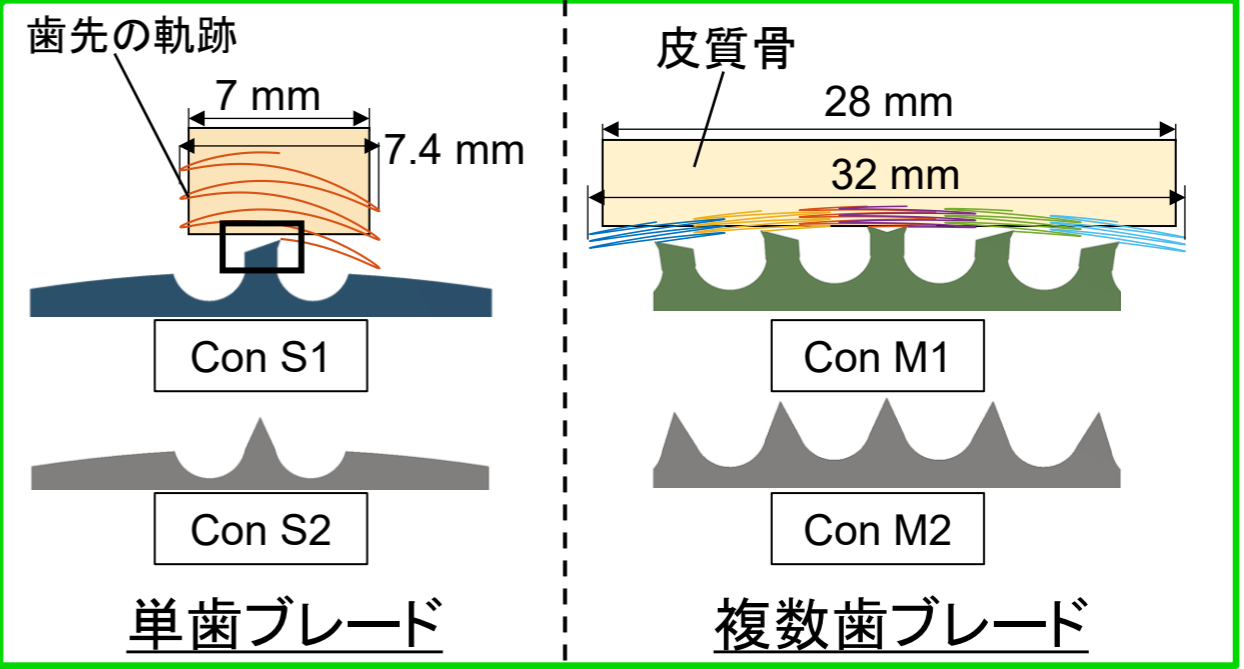
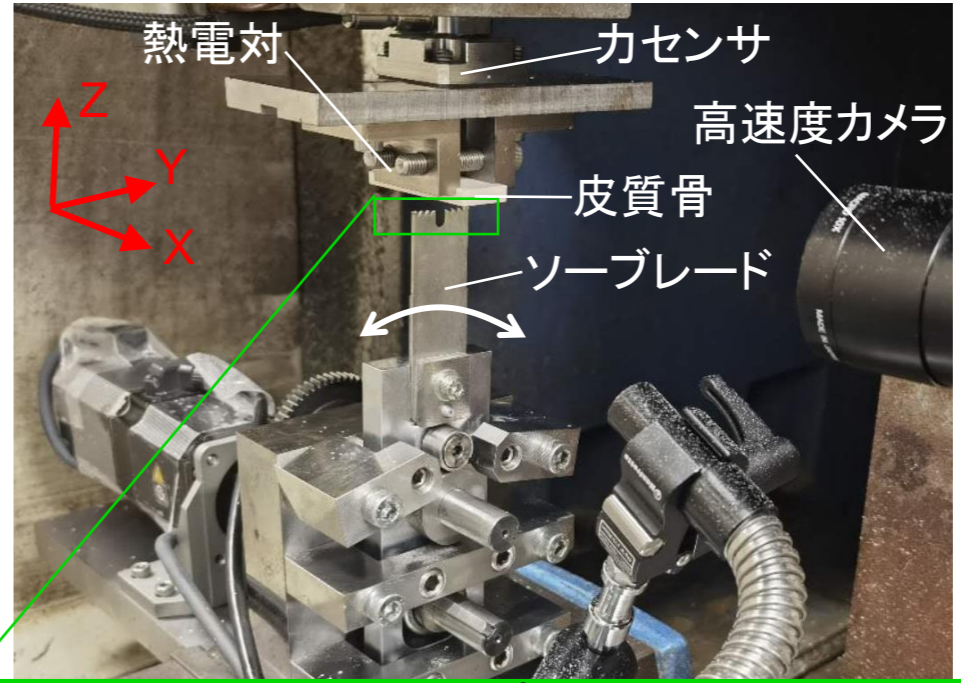
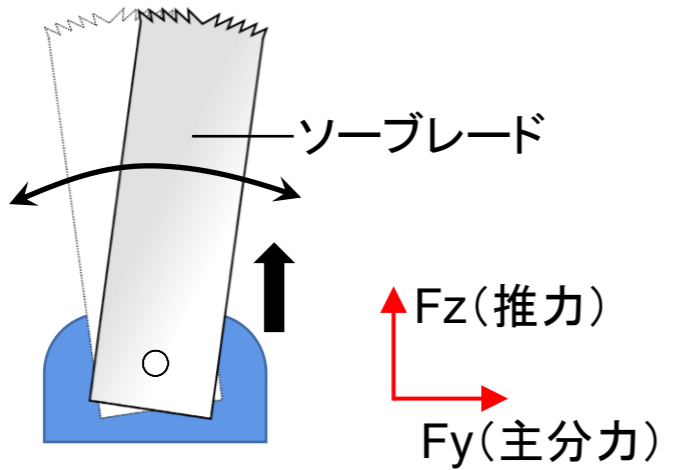
◆骨切断中に発生する力・熱 <評価方法>

従来ソーブレード種類

単歯	複数歯 円弧カーブエッジ
Con S1	Con M1
Con S2	Con M2

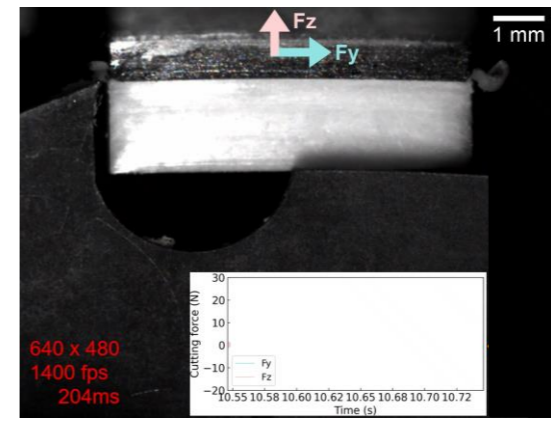
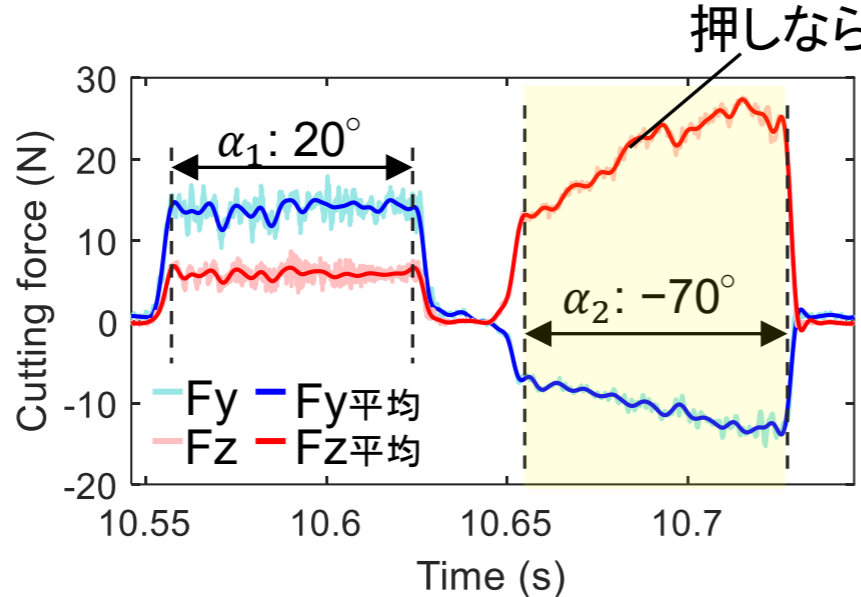
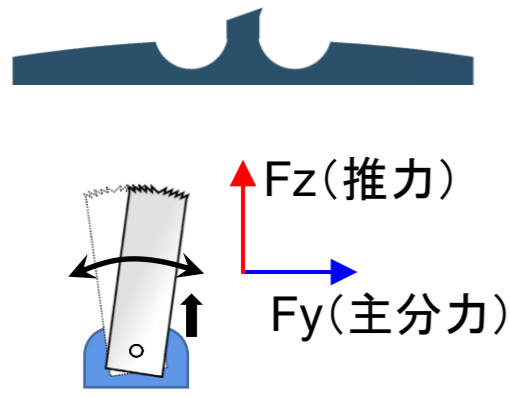
評価項目

- 切断中に発生する力(三分力)
- 切断中の温度
- 切断中の切りくず生成

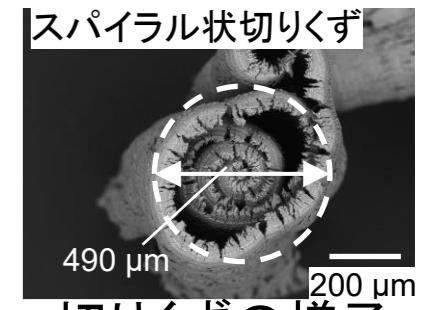


◆従来ソーブレード(単歯)使用時に発生する力 <評価結果>

Con S1



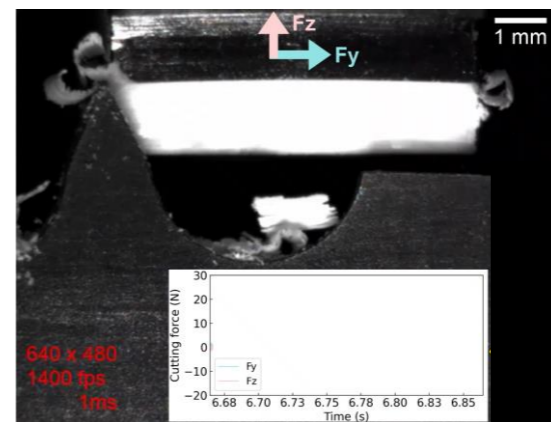
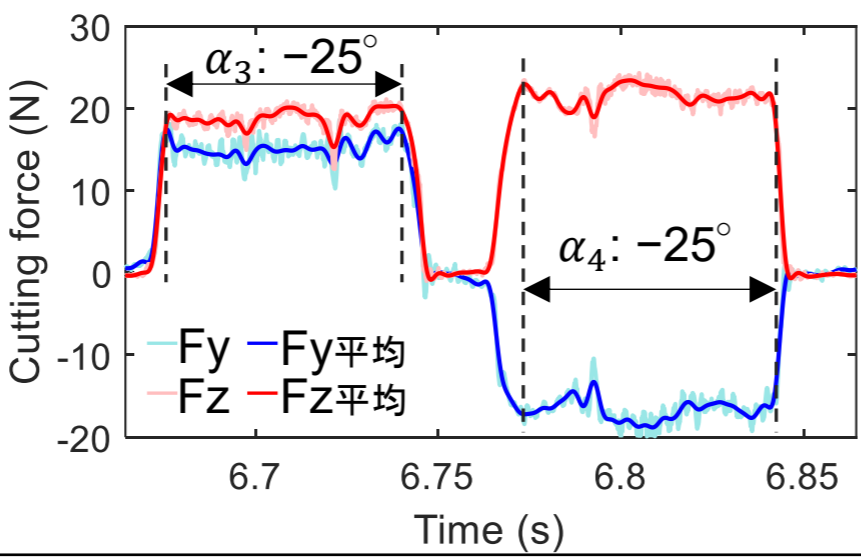
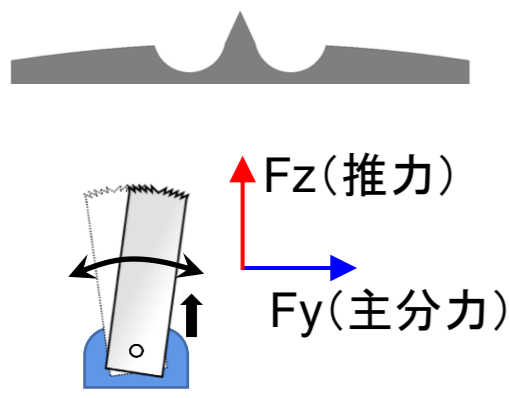
骨切除時の様子



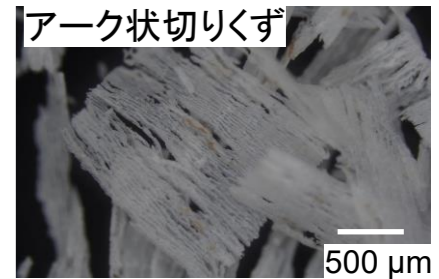
切りくずの様子

• 大きな押しならし力 (大きな負のすくい角) • 目づまりしやすいスパイラル状切りくず (正のすくい角)

Con S2



骨切除時の様子

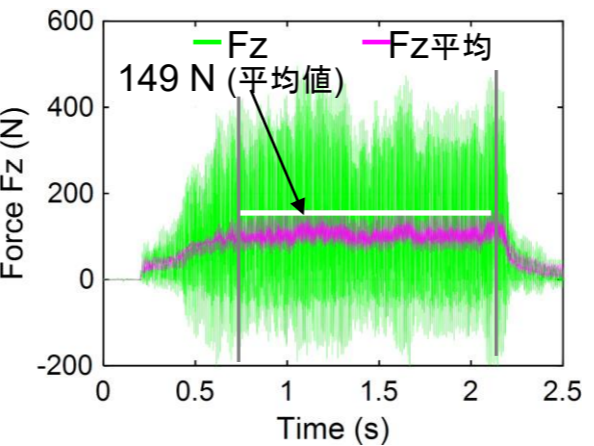
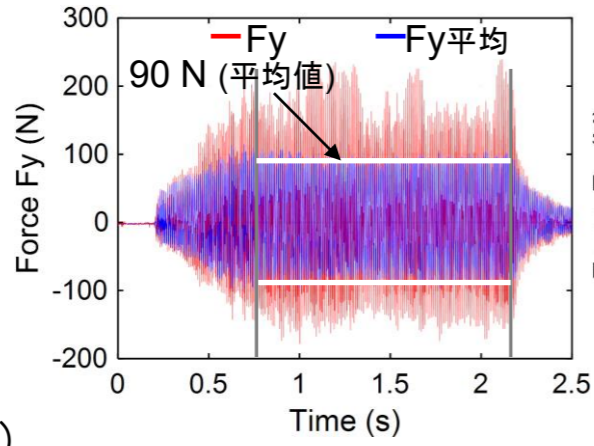
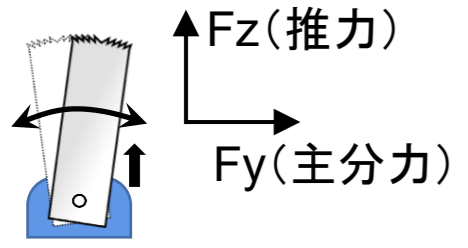


切りくずの様子

• 押しならし力 (小さな負のすくい角) • 目づまりしにくいアーク状切りくず (小さな負のすくい角)

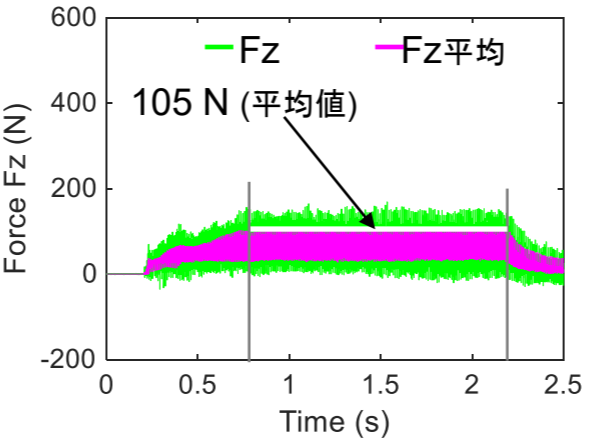
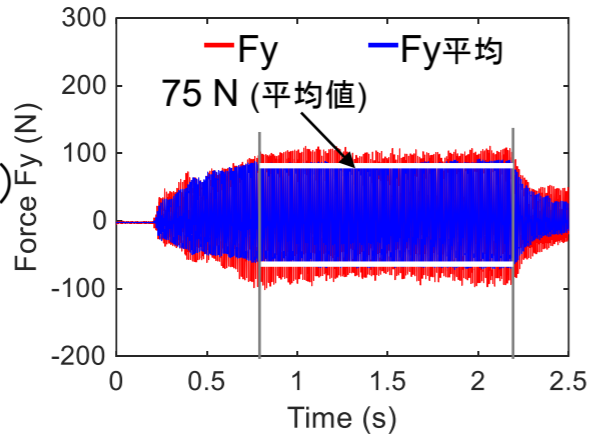
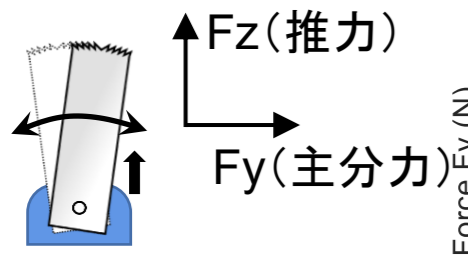
◆従来ソーブレード使用時に発生する力 <評価結果 1/2>

Con M1



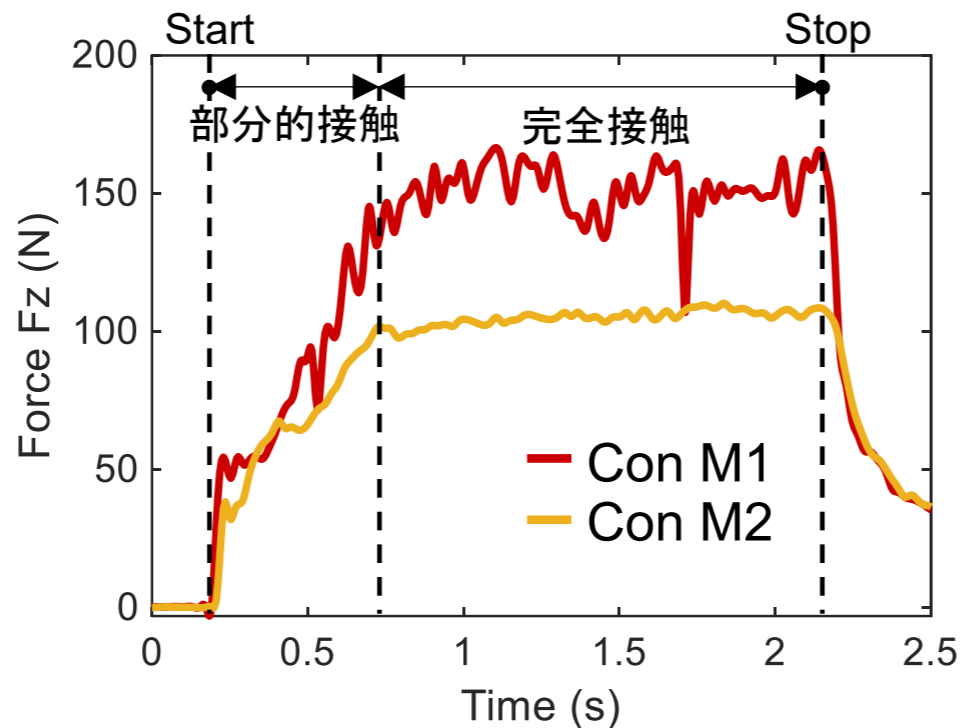
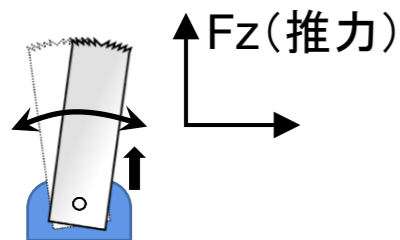
Con M1ではCon M2より大きいのみならず、特に振動成分が大きい
: 大きな負のすくい角による大きな押しならし力の影響大

Con M2

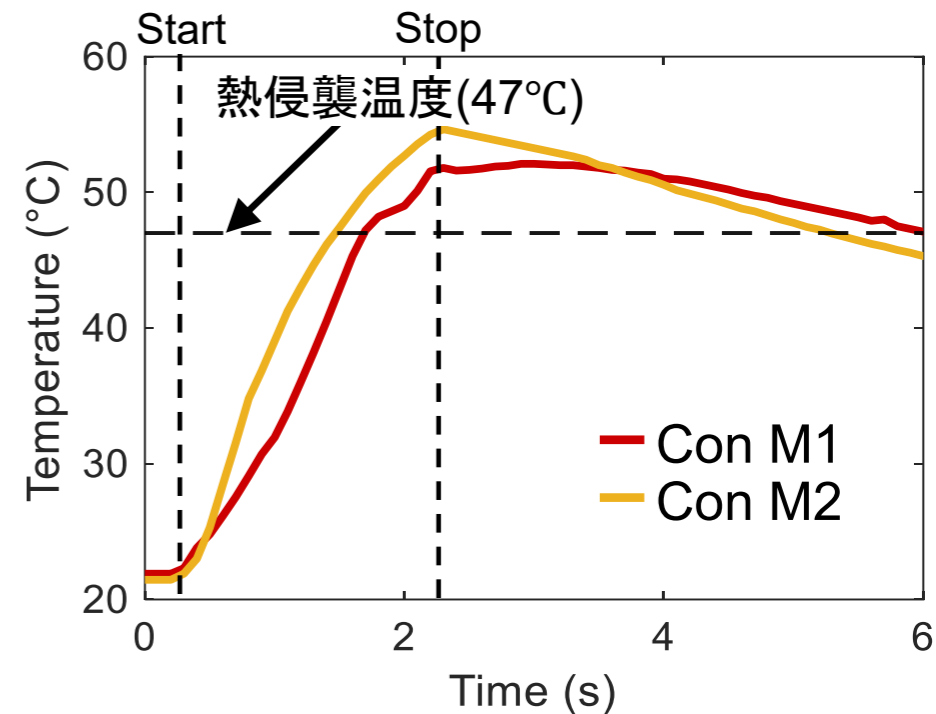


従来ソーブレード使用時に発生する力と温度 <評価結果 2/2>

Con M1



切断中の推力(平均)の変化



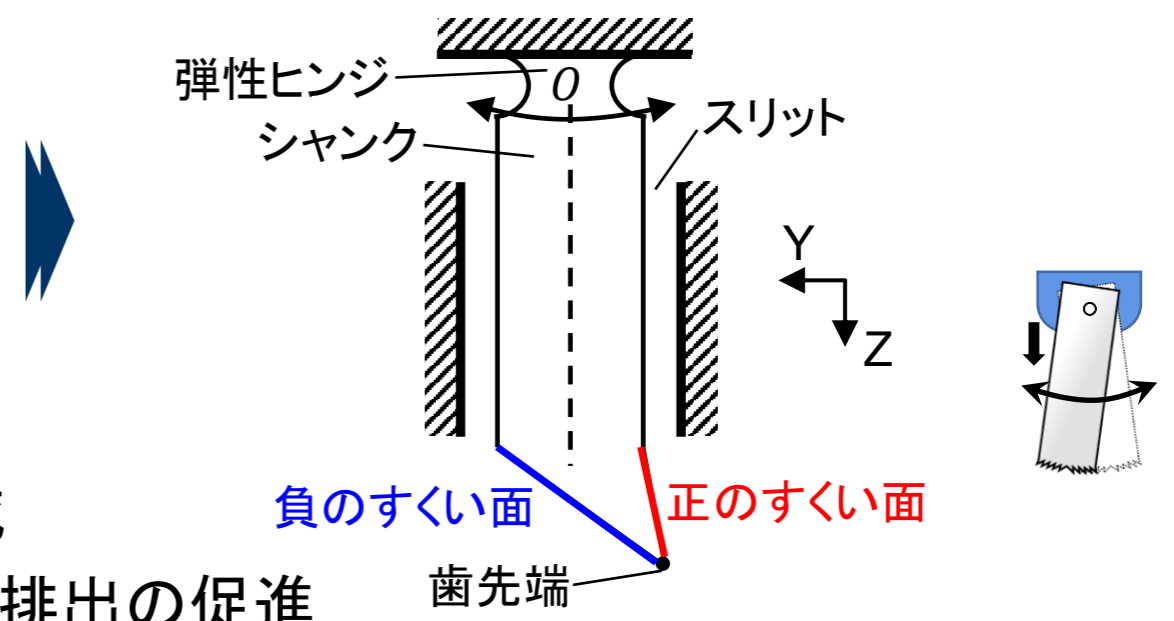
切断中の骨温度(平均)の変化

- Con M1～大きな負のすくい角による大きな押しならし力の影響大
- いずれも熱侵襲温度以上に温度上昇

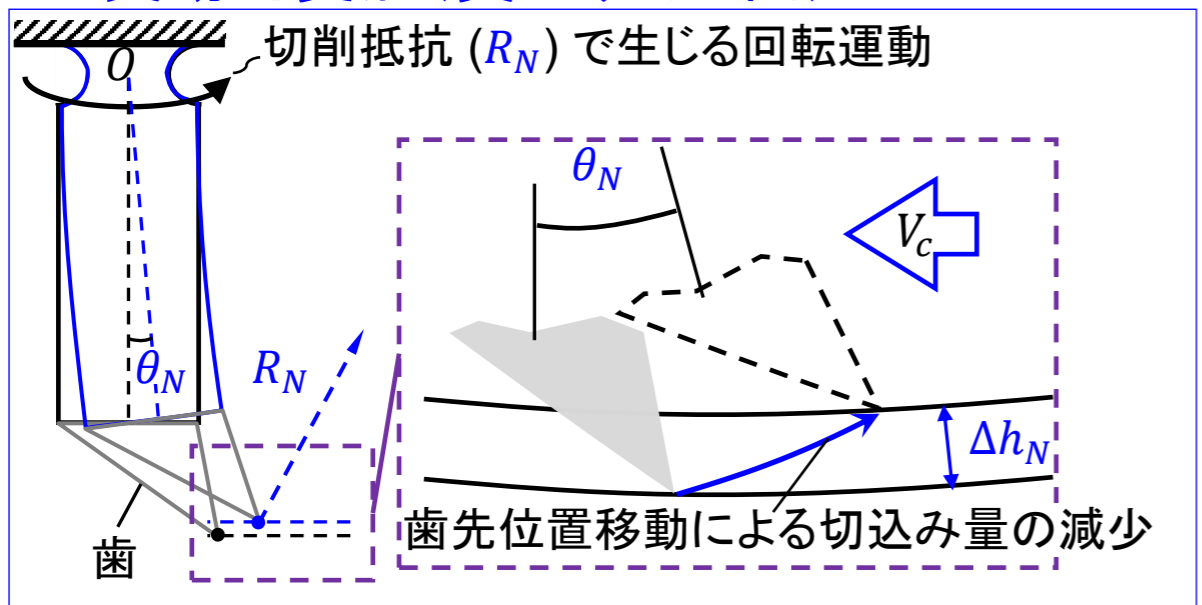
◆新設計：可とう構造を有するソーブレード <押しならし力の低減>

可とう構造の導入

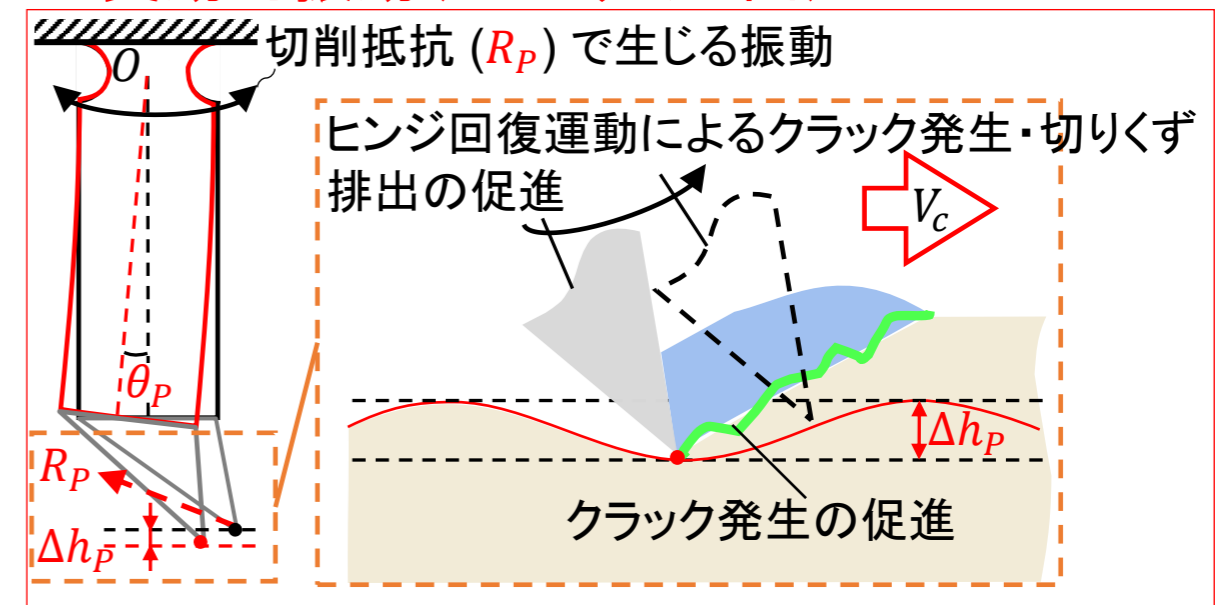
- 弾性ヒンジ機構：回転運動の発生
 - シャンク構造：回転運動を切込み量変化に変換
 - スリット構造：回転角の制限
-
- 負のすくい面側：受動的変形による押しならし力の低減
 - 正のすくい面側：受動的振動による切りくず生成および排出の促進



❖ 受動的変形(負のすくい面)

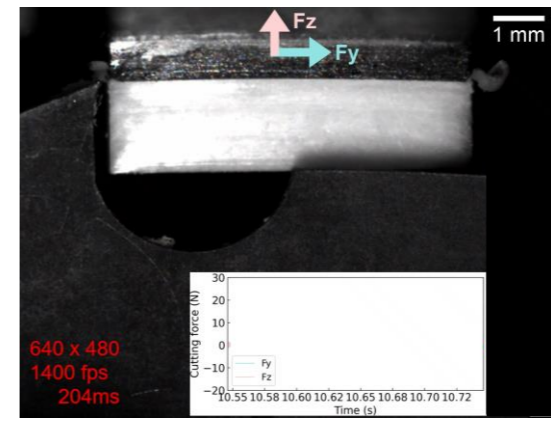
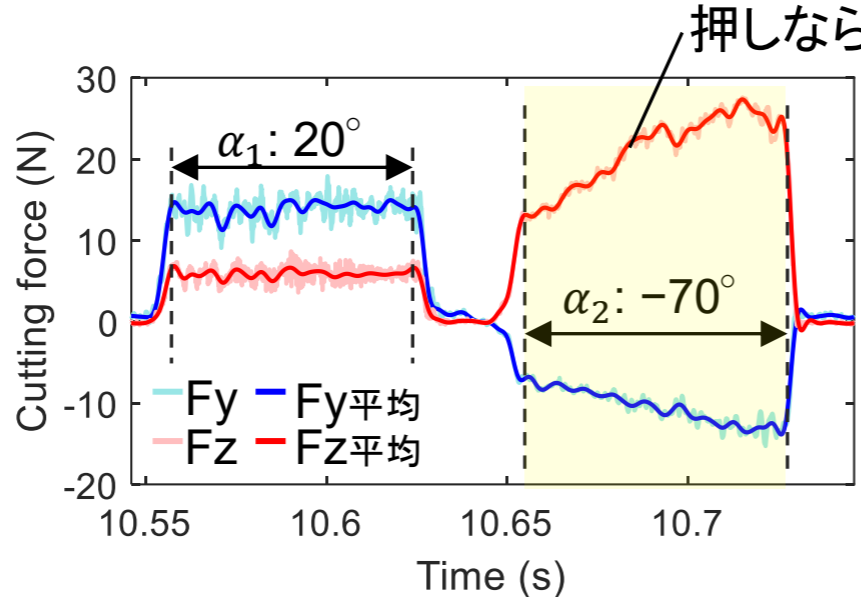
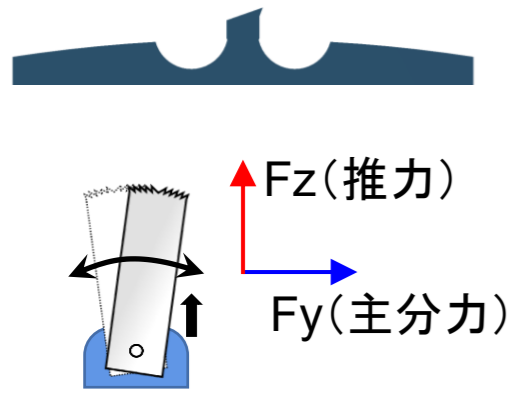


❖ 受動的振動(正のすくい面)

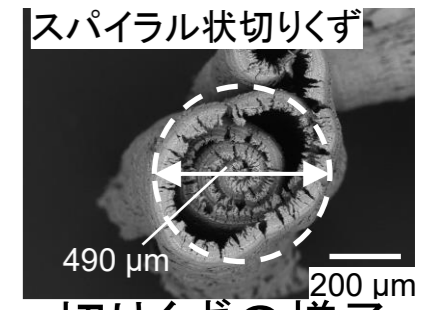


◆可とう構造を有するソーブレード(単歯) <評価結果>

Con S1



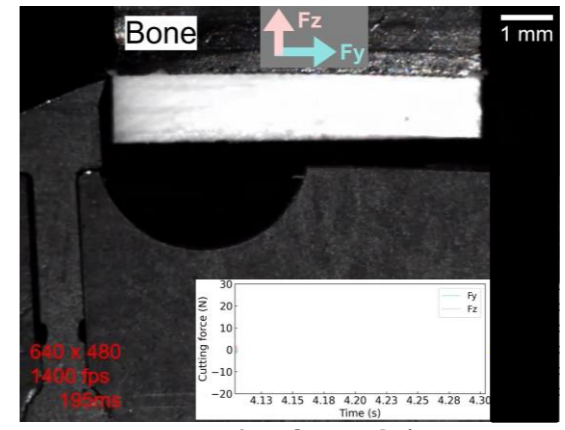
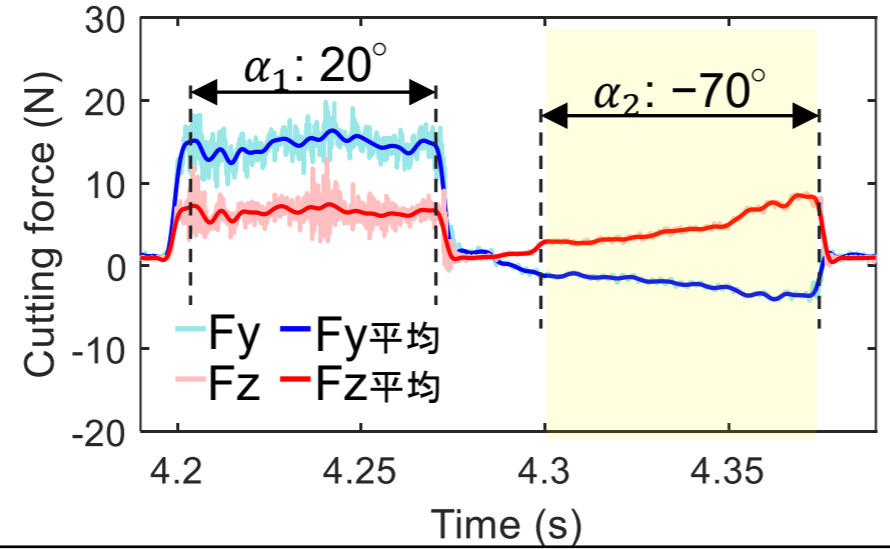
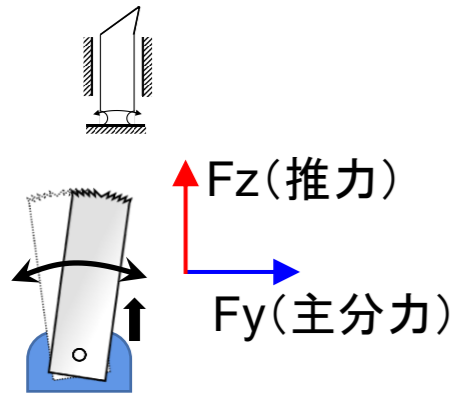
骨切除時の様子



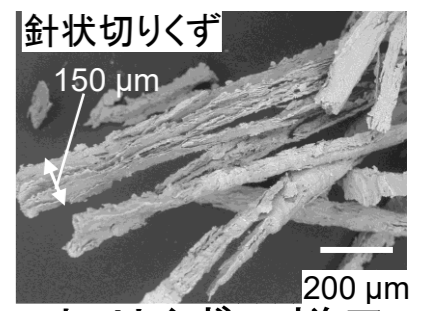
切りくずの様子

・大きな押しならし力(大きな負のすくい角) ・目づまりしやすいスパイラル状切りくず(正のすくい角)

Proposed



骨切除時の様子

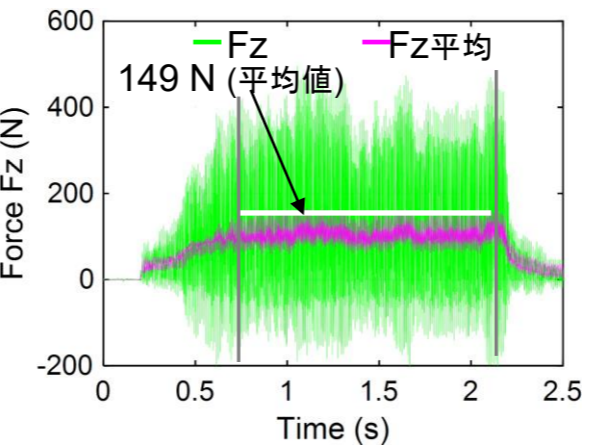
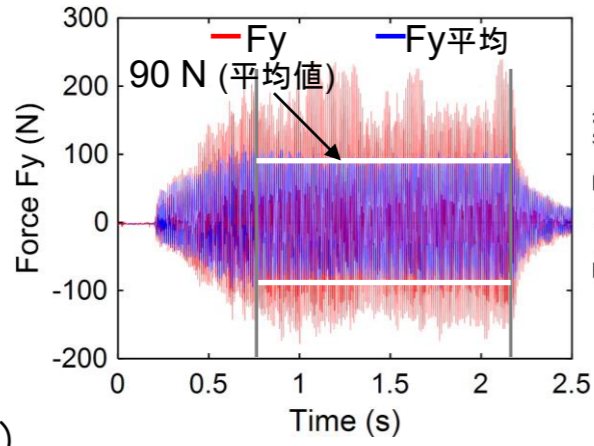
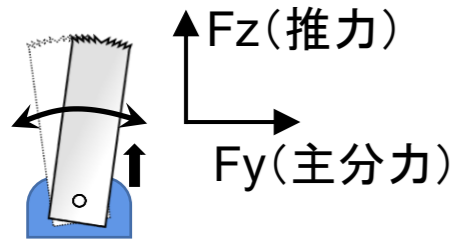


切りくずの様子

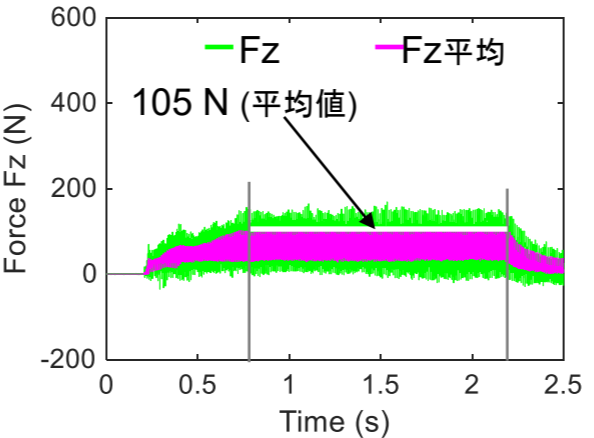
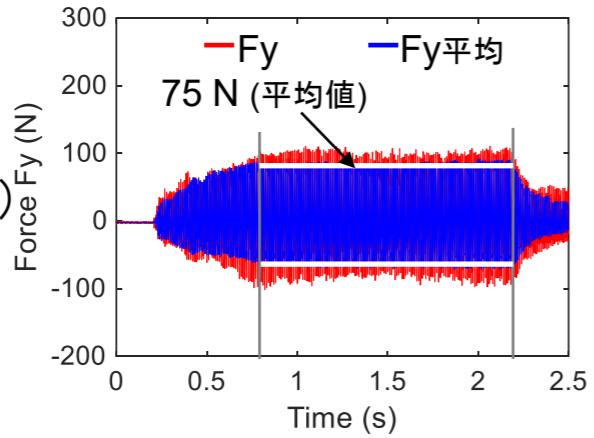
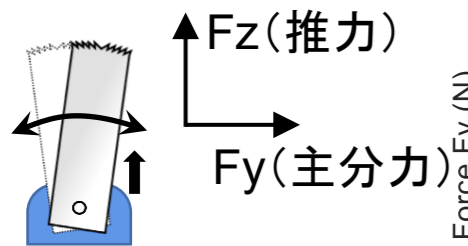
・押しならし力の大幅な抑制 ・目づまりしにくい針状切りくず

◆可とう構造を有するソーブレード <評価結果 1/3>

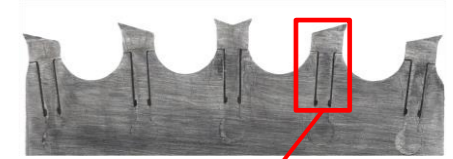
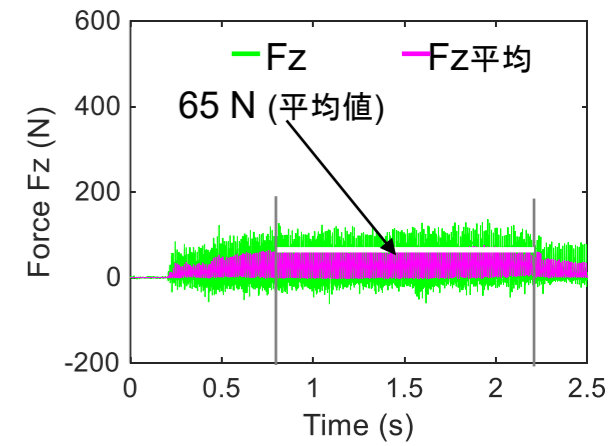
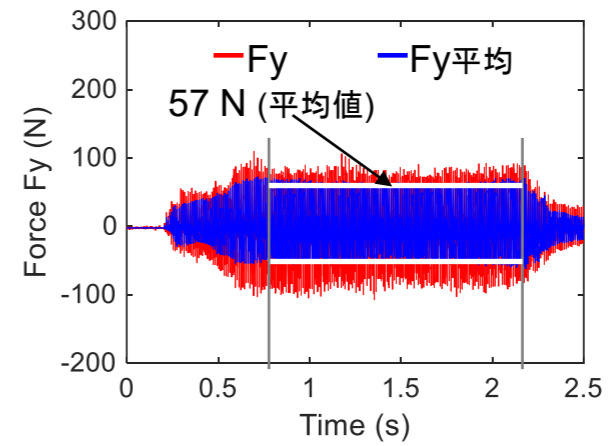
Con M1



Con M2



Proposed



可とう構造を有するソーブレード <評価結果 2/3>

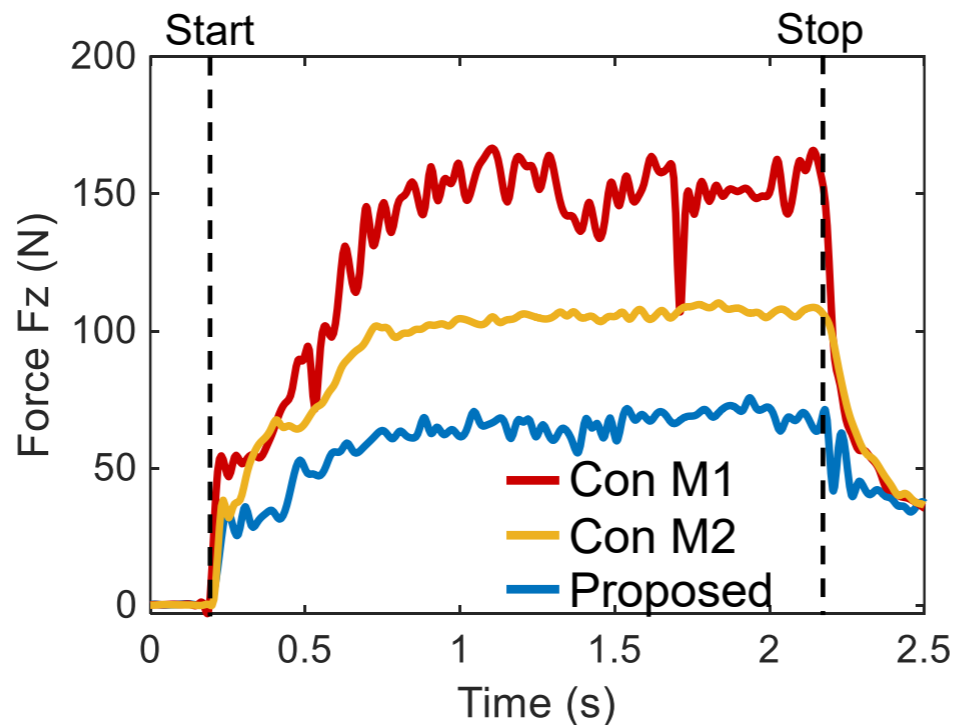
Con M1



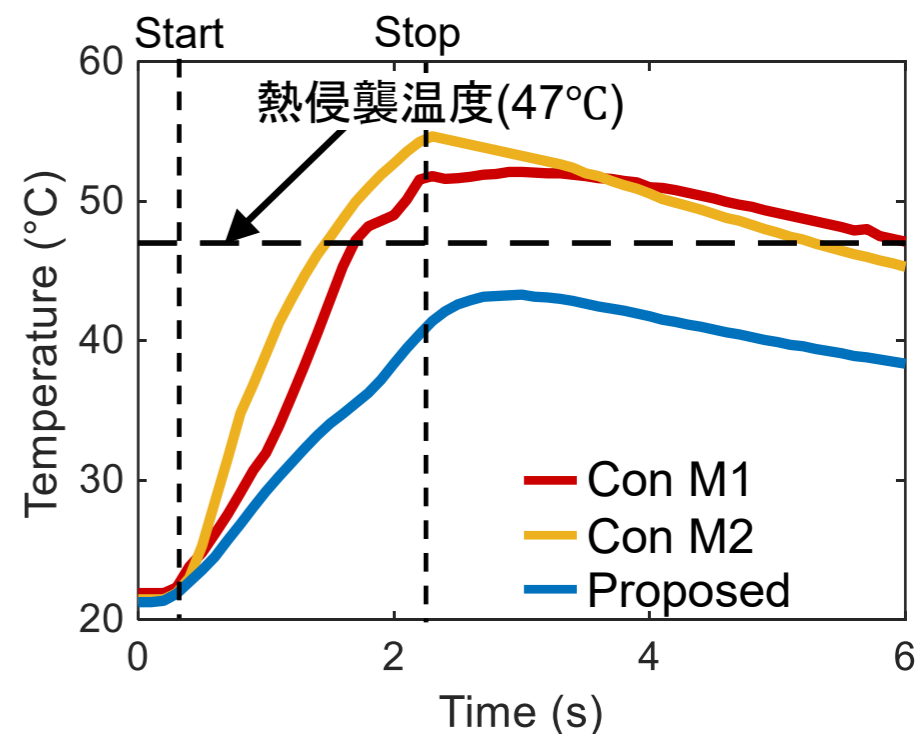
Con M2



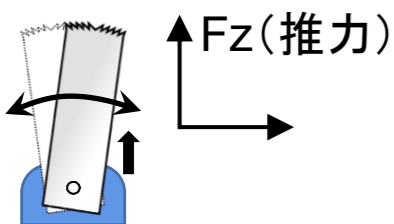
Proposed



切断中の推力(平均)の変化



切断中の骨温度(平均)の変化



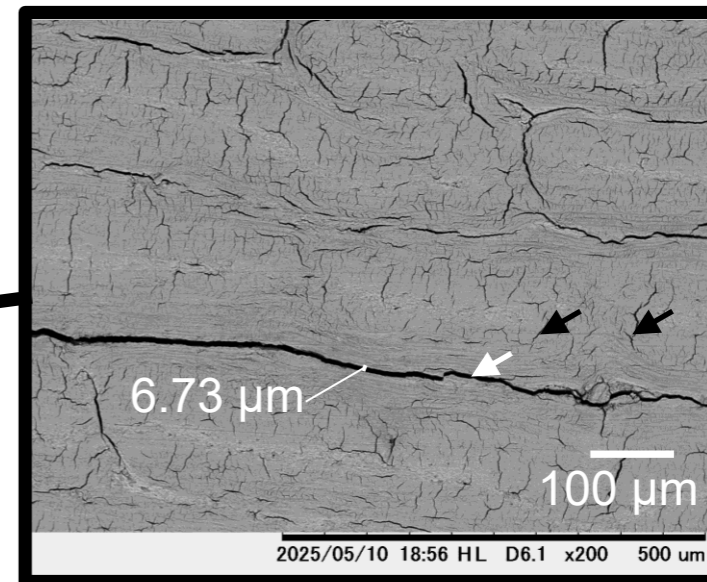
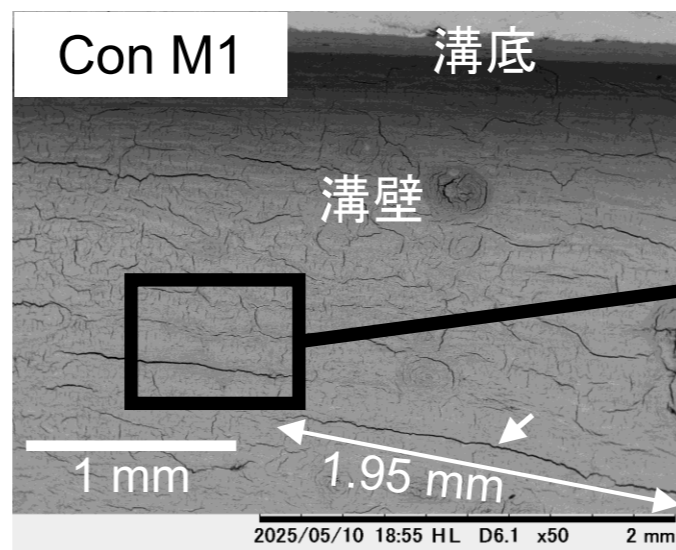
- Con M1に比べ, 推力 -56%, 主分力 -37%と大幅に減少
- 熱侵襲温度以下に抑制

可とう構造を有するソーブレード <評価結果 3/3>

Con M1



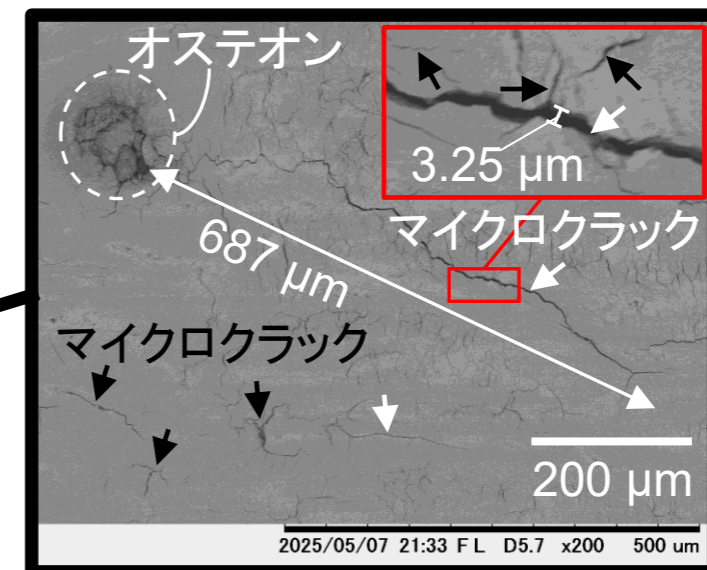
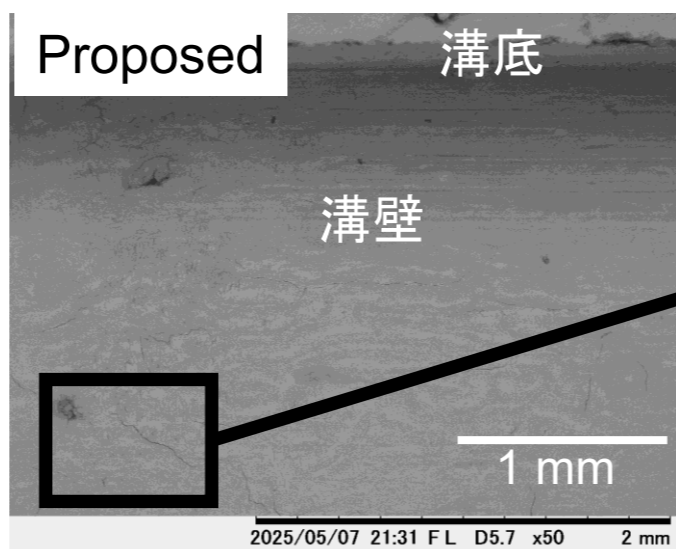
- 長く(約2 mm), 幅広い(約6.7 μm)クラックが溝の壁部に発生
- 最大クラック深さ: 約400 μm



Proposed

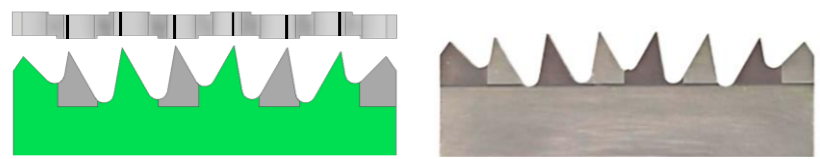


- 短く(約0.7 mm), 幅狭い(約3.3 μm)クラックが溝の壁部に発生
- 最大クラック深さ: 約200 μm

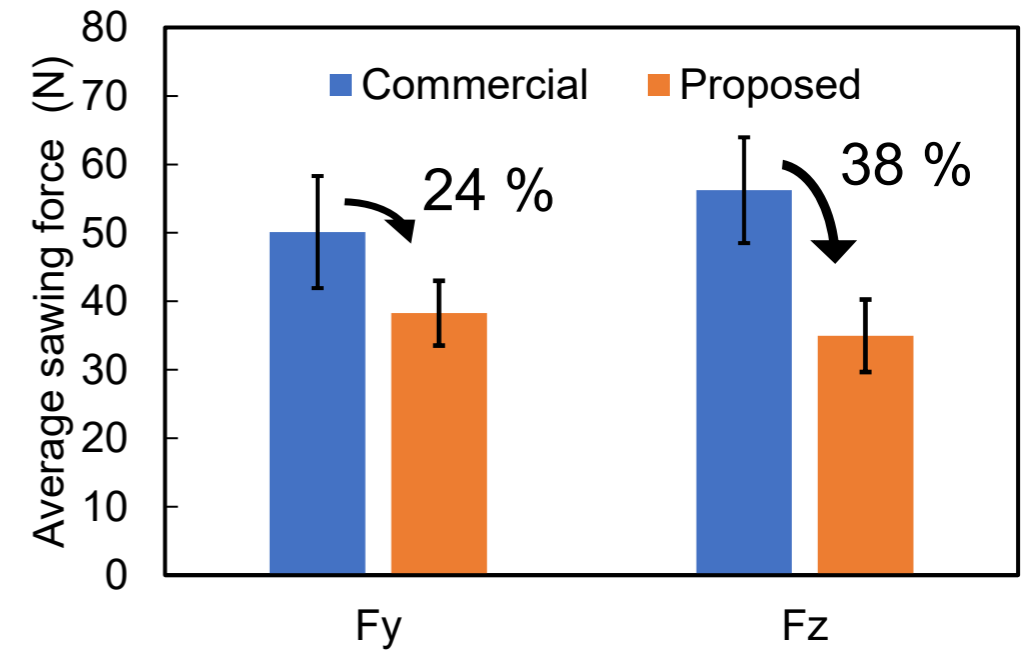
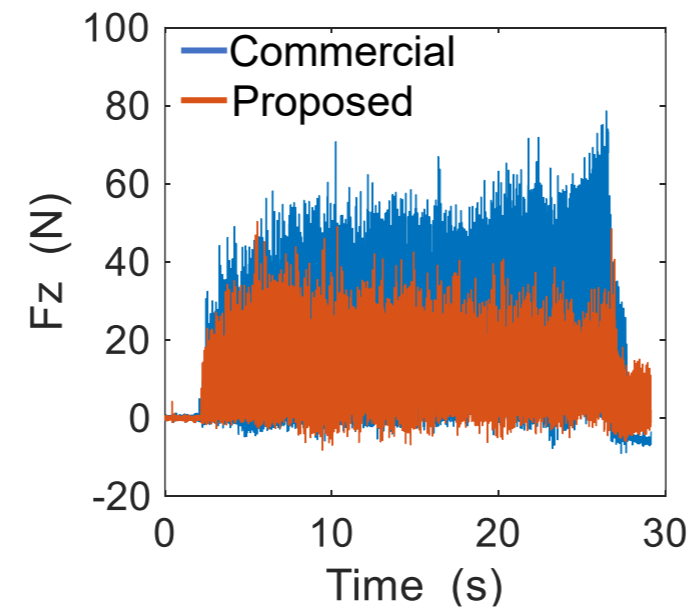
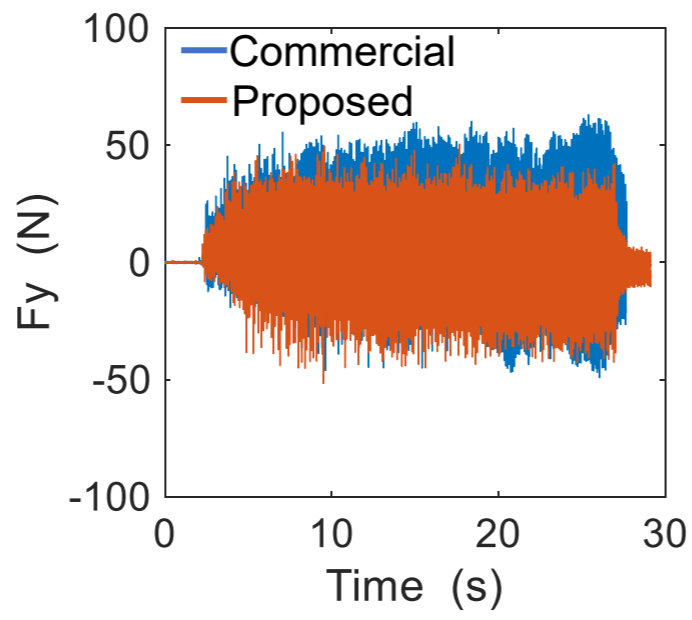
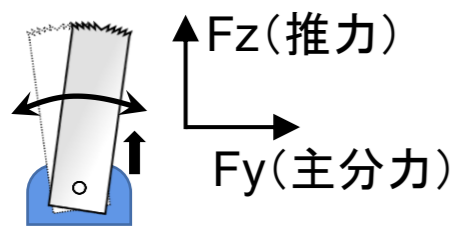
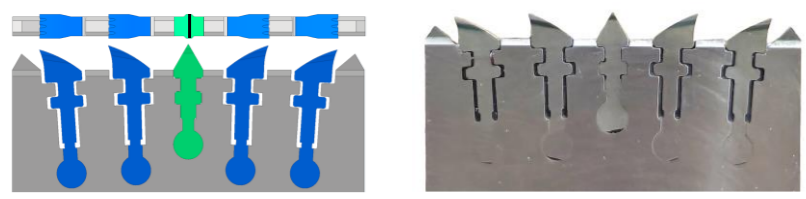


◆可とう構造を有するソーブレード <実用に近い評価結果>

Commercial



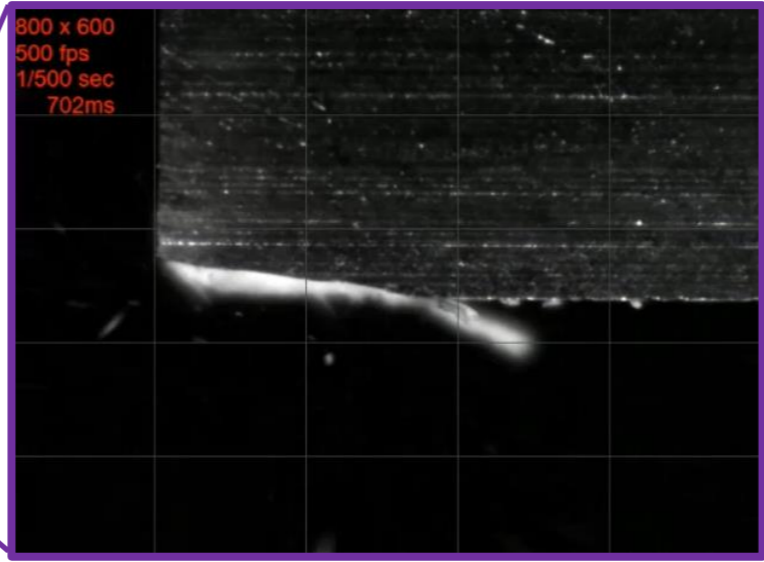
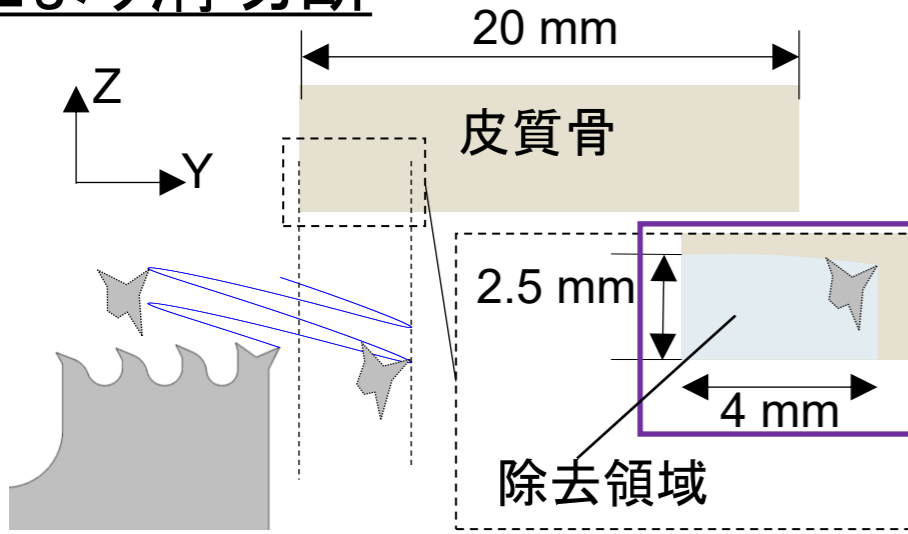
Proposed



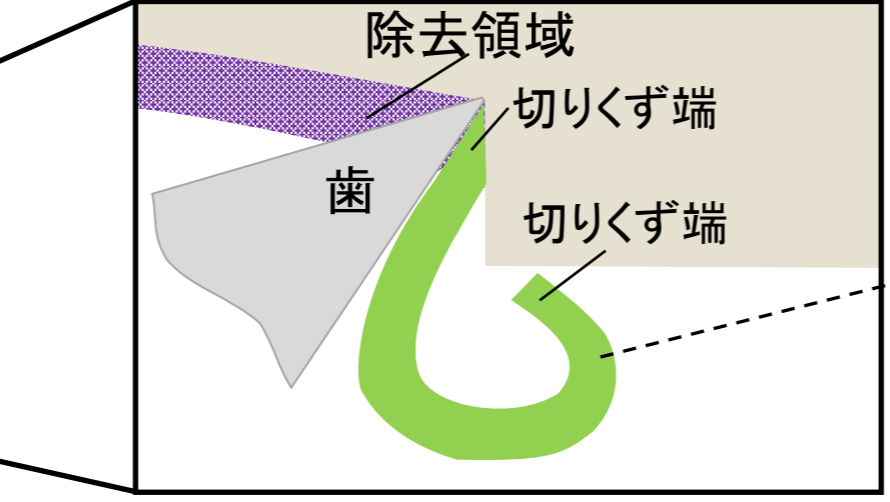
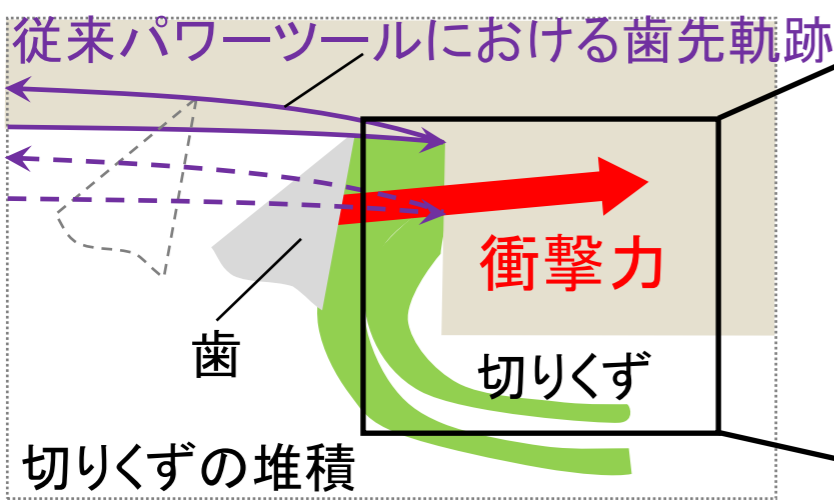
- 推力 -38%, 主分力 -24%と大幅に減少
- 歯先変形および摩耗を大幅に抑制

◆従来パワーツール使用時の骨除去状態 <評価結果>

止まり溝切断



送り速度: 0.1 mm/s; 送り量: 2.5 mm;
オシレーション周波数: 10 Hz



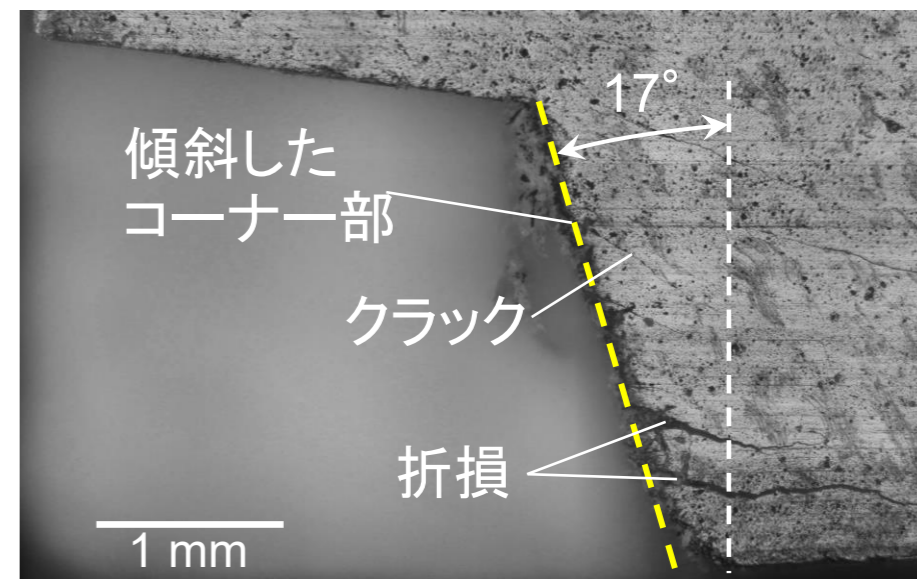
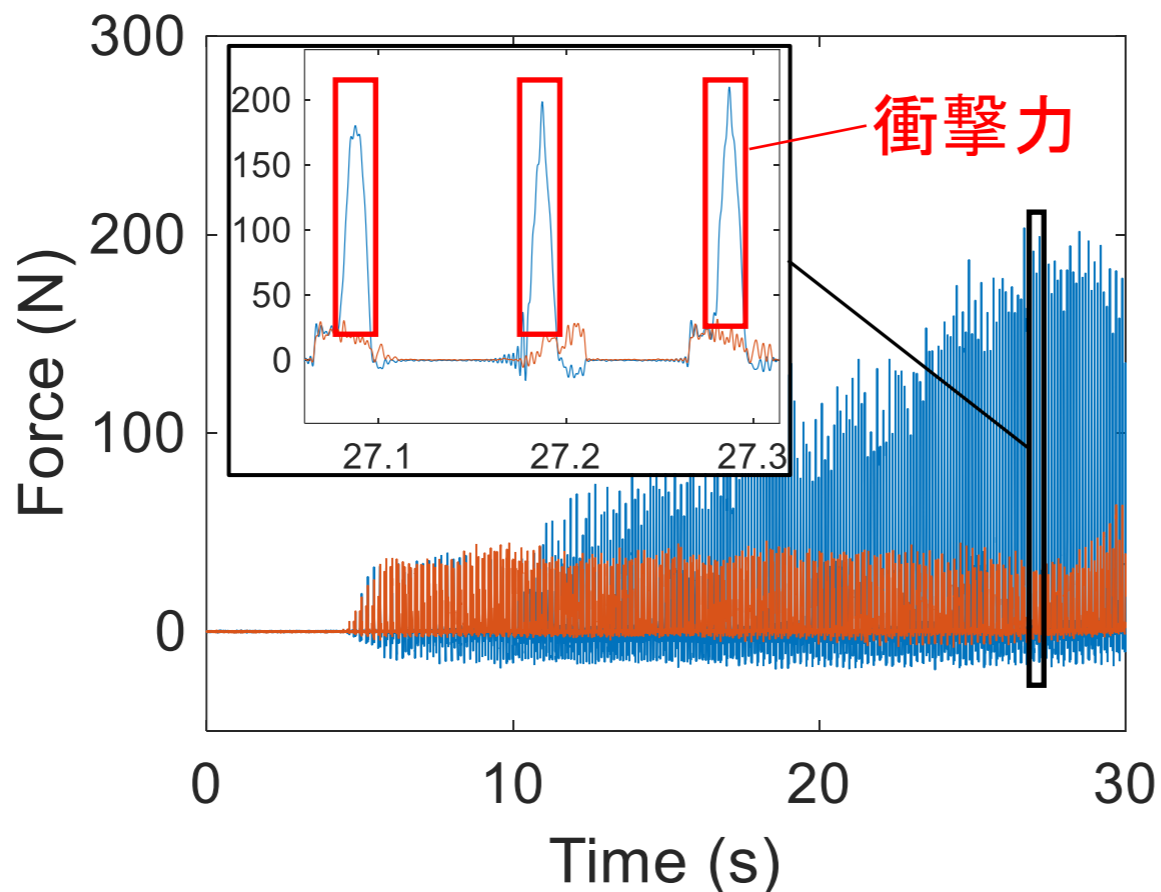
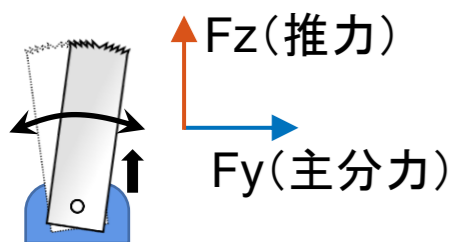
- ・衝撃力の発生
- ・切りくずの堆積
- ・クラックの発生
- ・傾斜した切断面

従来パワーツール使用時に発生する力 <評価結果>

止まり溝切断

- F_y (主分力)

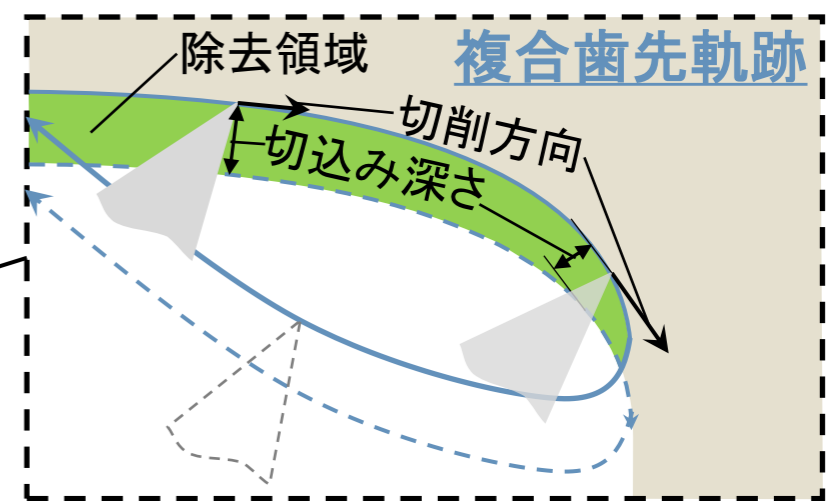
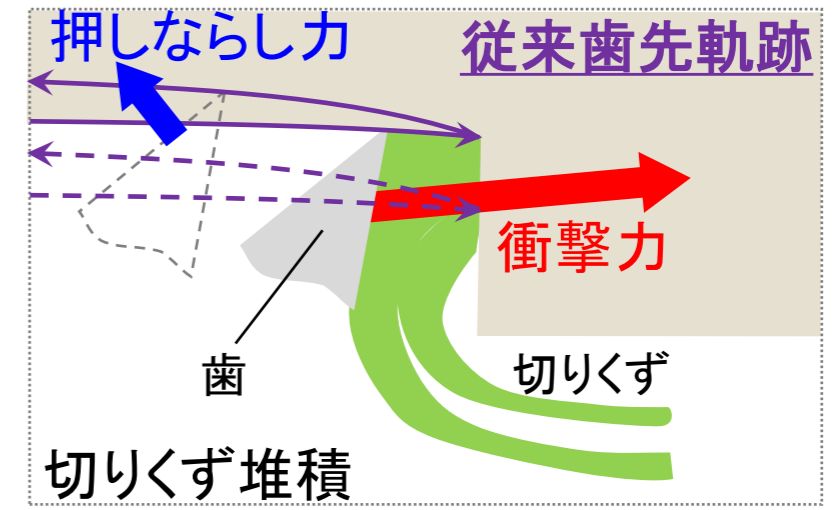
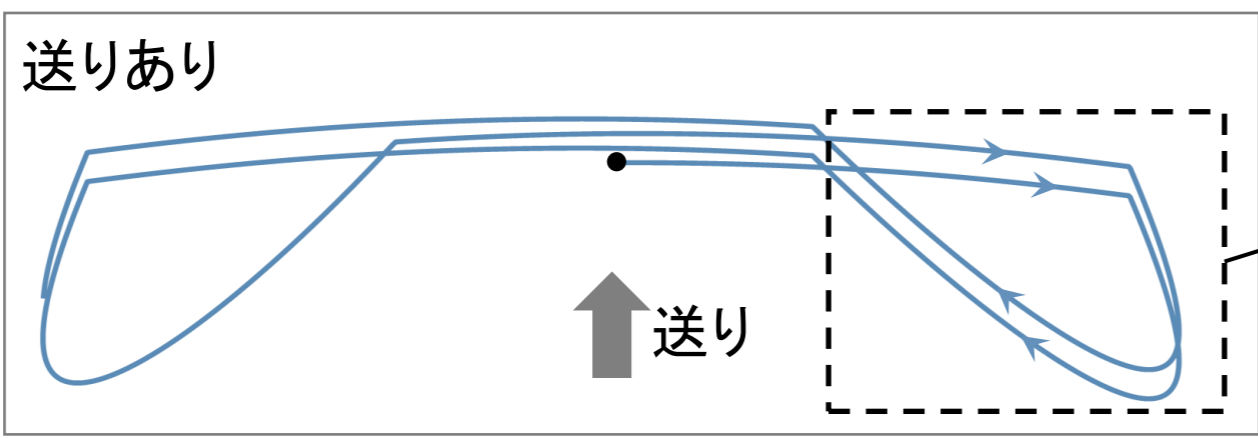
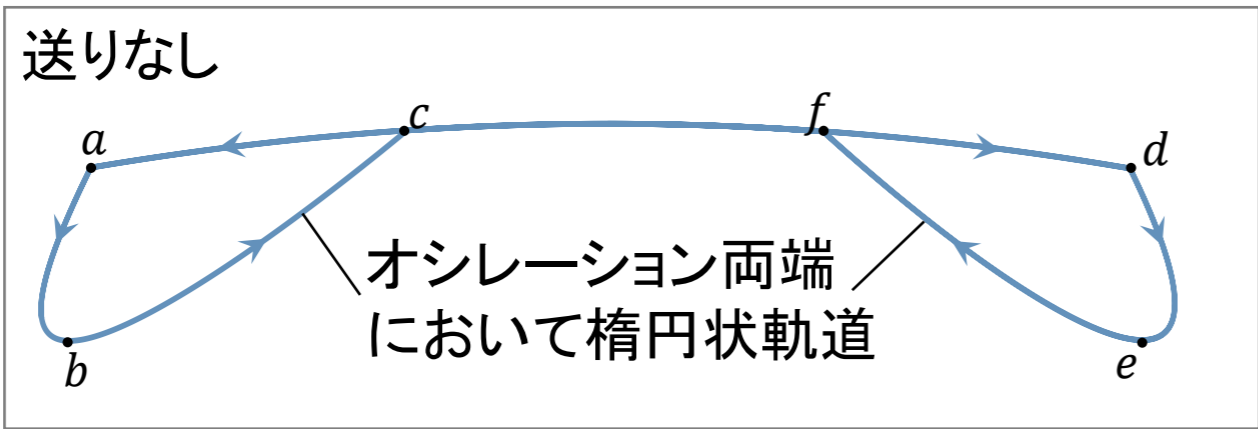
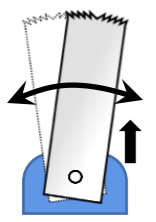
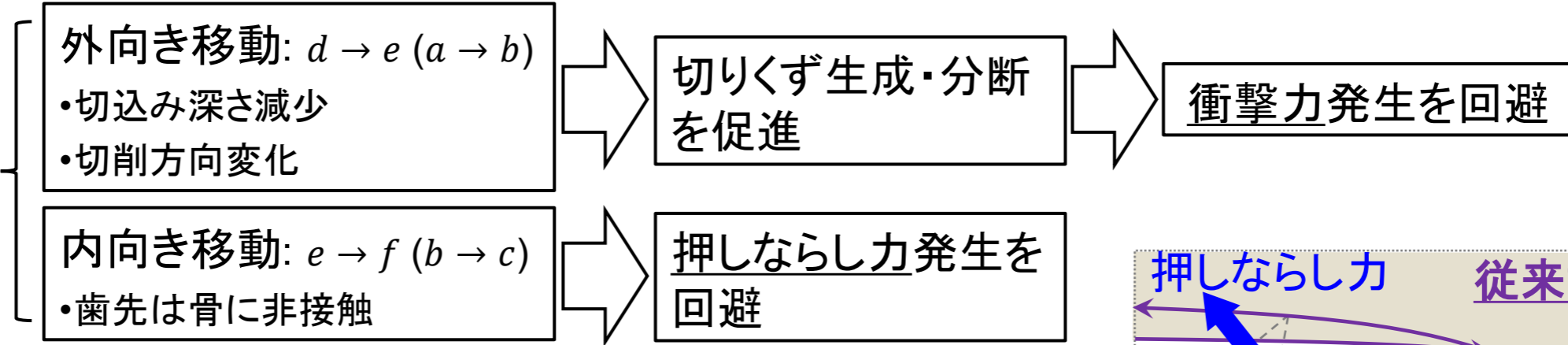
- F_z (推力)



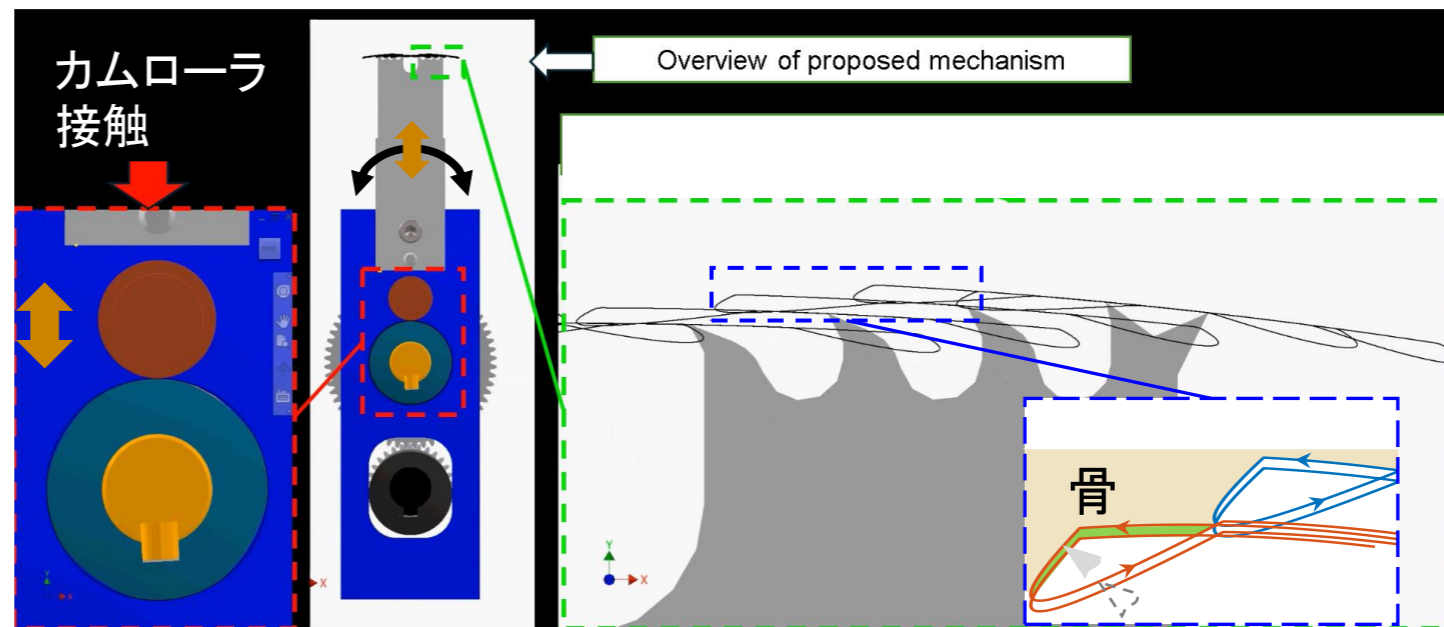
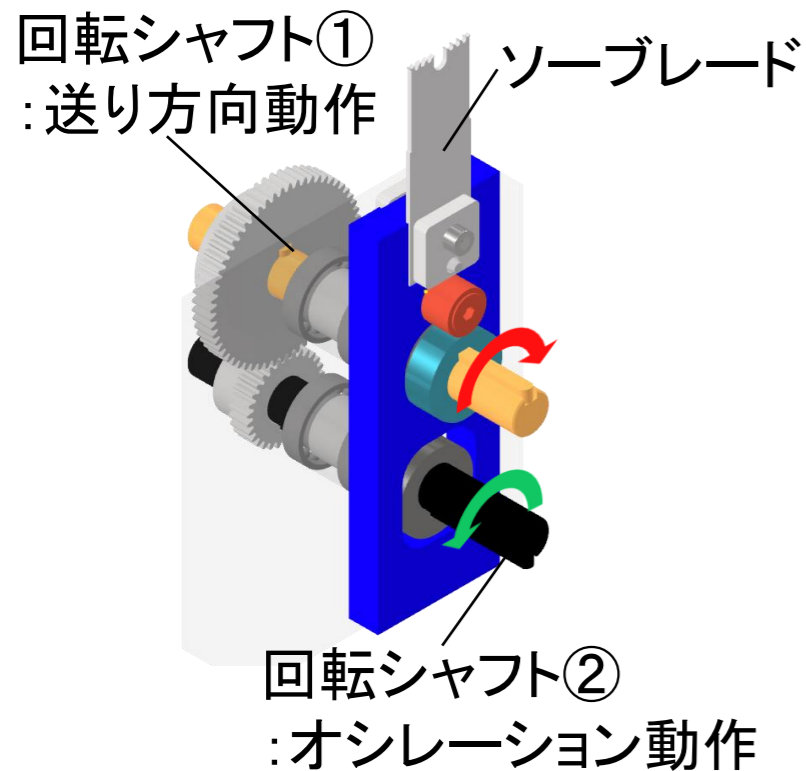
- 大きな衝撃力により過大な主分力
- 止まり溝コーナー部が傾斜し, クラックや折損が発生

◆新設計：複合軌跡を有するパワーツール <衝撃力の低減>

新設計：
複合軌跡

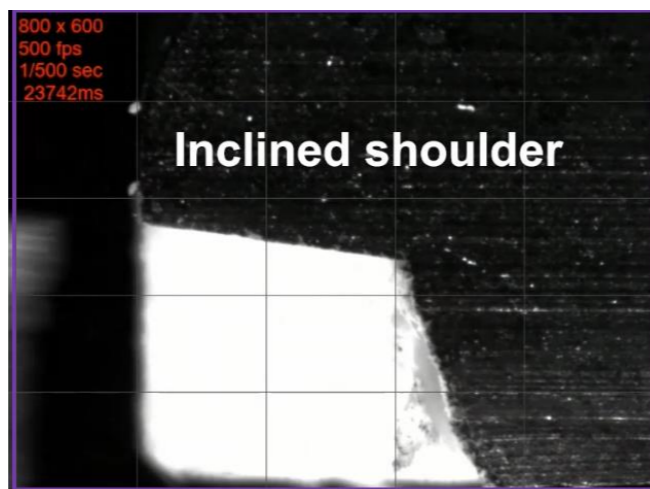


新設計：複合軌跡を有するパワーツール

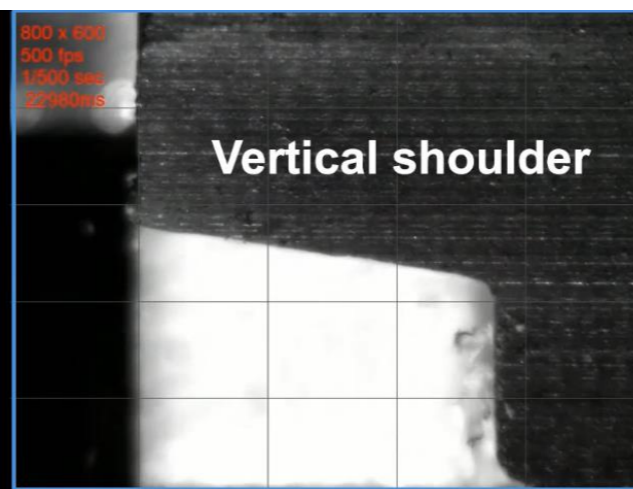


新設計：複合軌跡のアニメーション

従来軌跡 骨切除

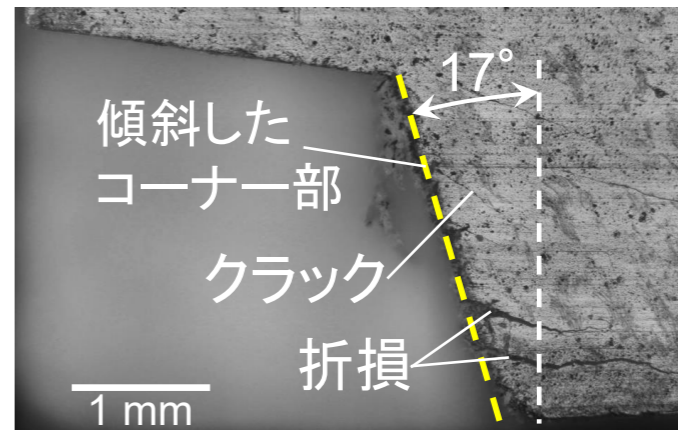
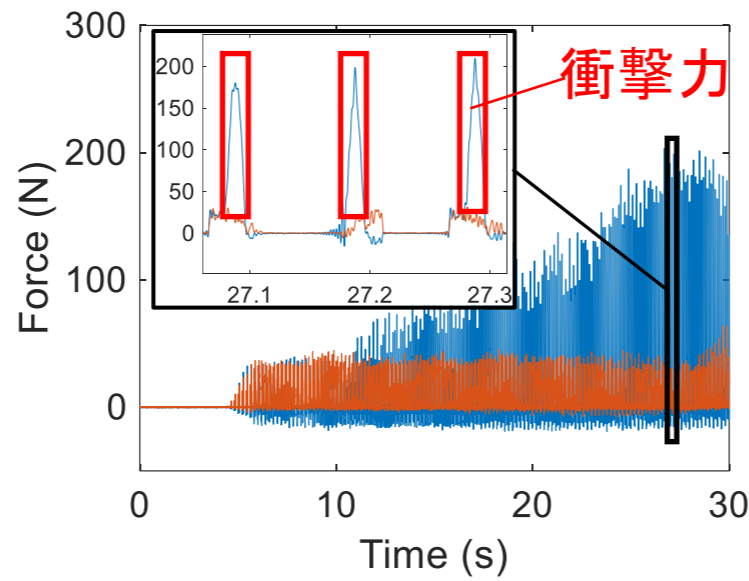
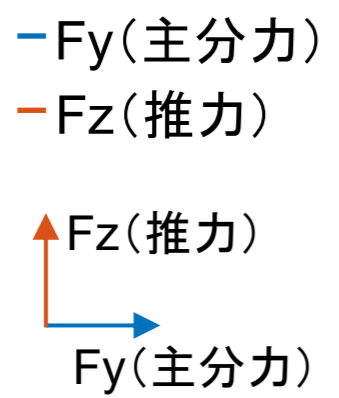


新設計軌跡 骨切除



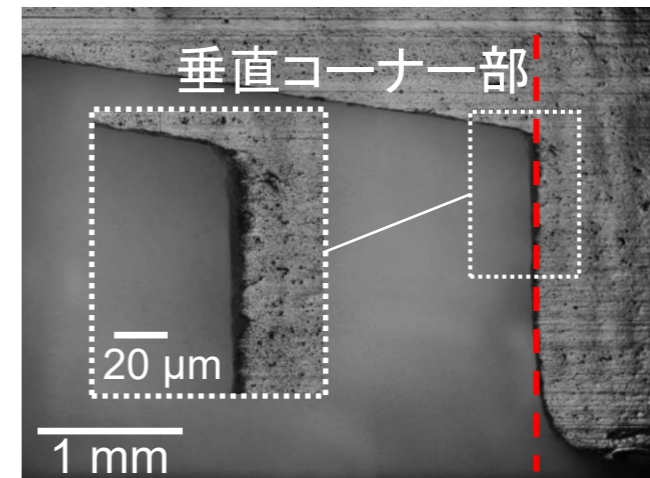
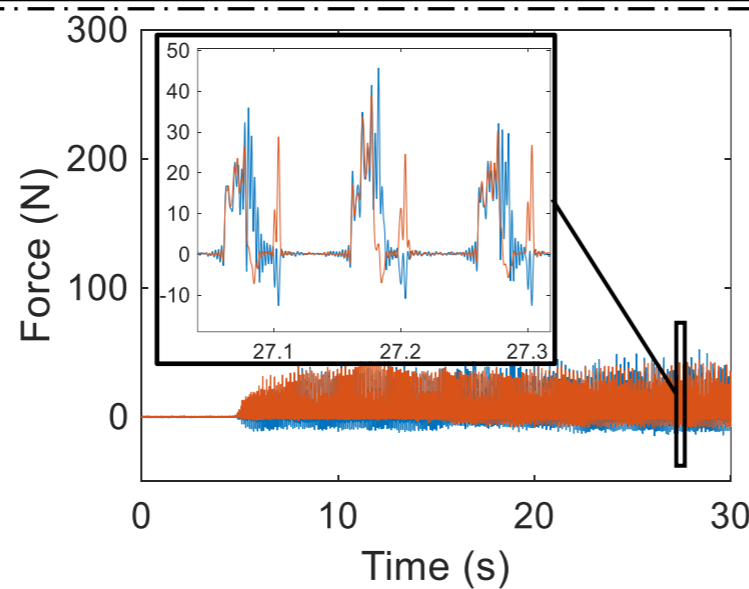
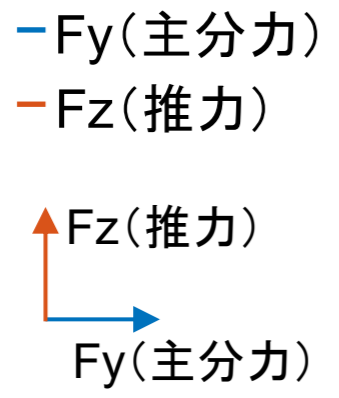
◆複合軌跡を有するパワーツール <評価結果 1/2>

従来パワーツール



- 大きな衝撃力 (主分力 Max. 213 N, 推力は安定)
- コーナー部分が傾斜し, クラックや折損が発生

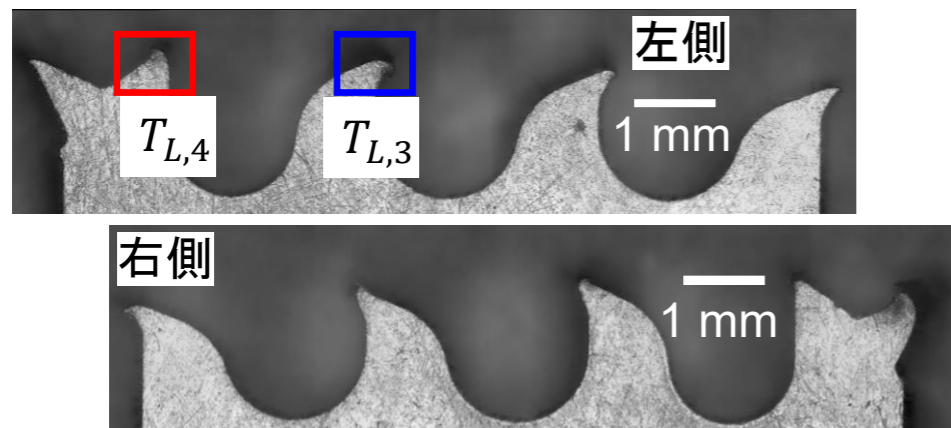
新設計パワーツール



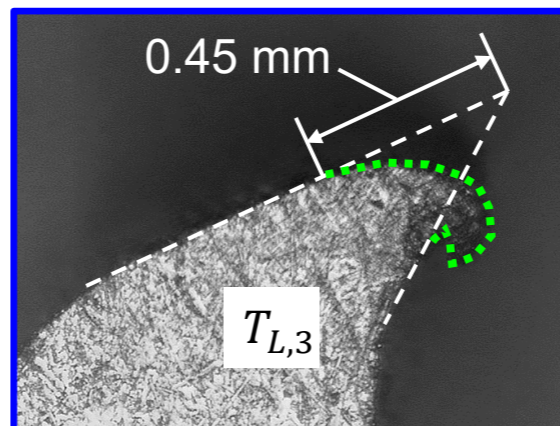
- 衝撃力発生なし (主分力, 推力とも安定)
- コーナー部分は垂直で, クラックや折損の発生なし

複合軌跡を有するパワーツール <評価結果 2/2>

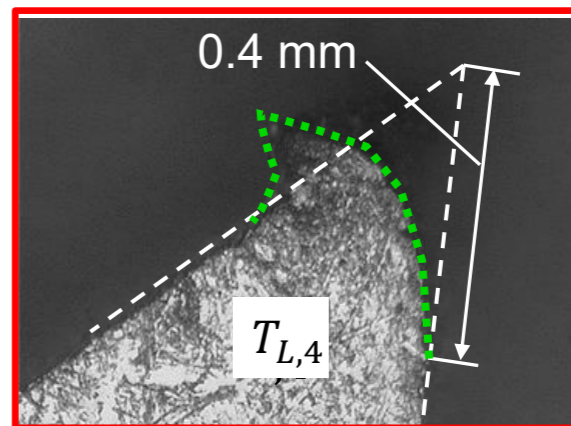
従来パワーツール使用



押しならし力により発生



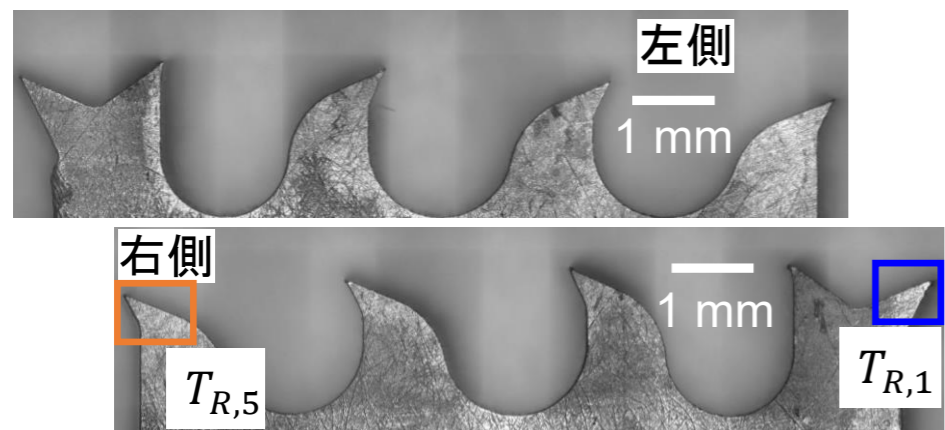
衝撃力により発生



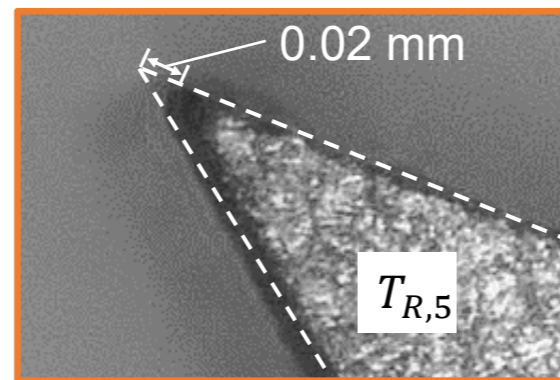
• 平均変形量 0.3 mm程度

全送り量: 30 mm

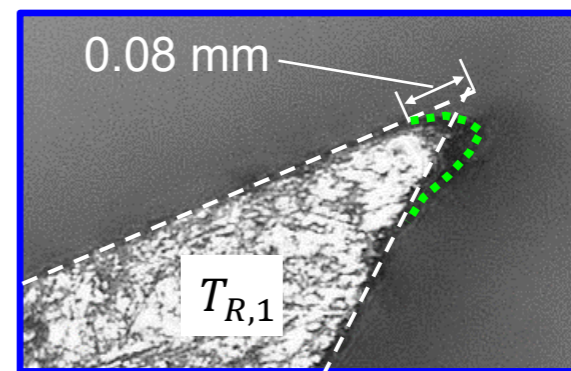
新設計パワーツール使用



摩耗の発生



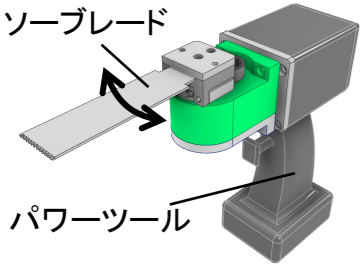
押しならし力により発生



• 平均変形～摩耗量 0.02 mm 程度

◆新設計ソーブレード・パワーツールの特徴

ボーンソーの特性



ソーブレード: 低剛性な工具
+
切断中に発生する大きな力

- 切断精度の劣化
- 骨切断面のダメージ増大

ボーンソーにおける課題

1. Bending: ブレードのたわみ
2. Skiving: ブレードの上滑り
3. Kicking: ブレードの跳ね返り
4. Grabbing: ブレードの食い込み
5. 歯先の変形・摩耗
6. 骨切断面のダメージ(クラックなど)

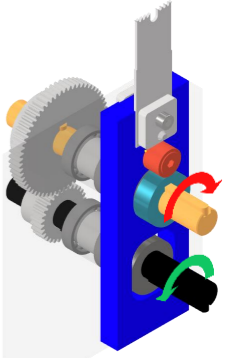
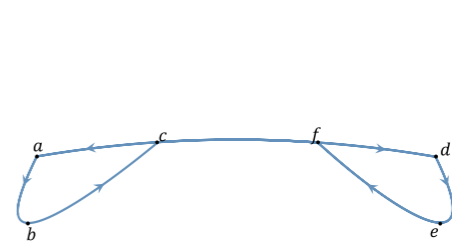
➤ 新設計: 可とう構造を有するソーブレード

- 骨切断中に発生する力を大幅に抑制



➤ 新設計: 複合軌跡を有するパワーツール

- 骨切断中に発生する力を抑制, 特に衝撃力を完全に抑制



◆本技術に関する知的財産および発表論文

本技術に関する知的財産

- 国内特許およびPCT国際出願中, 国際公開番号 WO 2025/150293 A1

本技術に関する発表論文

- Han Wang, Urara Satake, Toshiyuki Enomoto: Surgical oscillating saw blade to suppress forces in bone cutting, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 71, 2022, 73–76.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2022.04.066>
- Han Wang, Urara Satake, Toshiyuki Enomoto: Serrated chip formation mechanism in orthogonal cutting of cortical bone at small depths of cut, Journal of Materials Processing Technology, 319, 2023, 118097.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.118097>
- Han Wang, Urara Satake, Toshiyuki Enomoto: Modeling of oscillating bone sawing forces with instantaneous cutting speed and depth of cut, Journal of Materials Processing Technology, 324, 2024, 118225.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.118225>
- Han Wang, Urara Satake, Toshiyuki Enomoto: Reduction of sawing forces in bone cutting: Innovative oscillating saw mechanism based on trajectory analysis, Journal of Materials Processing Technology, 332, 2024, 118563.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2024.118563>
- Han Wang, Urara Satake, Toshiyuki Enomoto: A novel flexible-structured saw blade for bone cutting: Reducing ploughing and promoting chip evacuation, Journal of Materials Processing Technology, 344, 2025, 119000.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2025.119000>

◆実用化に向けた課題および企業への期待

実用化に向けた課題

- 切断角度や位置を含めた臨床的データの収集
- ソーブレードおよびパワーツールの設計の最適化
(製造コストとパフォーマンスの観点から)

企業への期待

- 本技術に関する実用化に向けた共同開発
- 本技術を含め、ボーンソー, またその他医療器具(ダイヤモンドバー等)に関する共同研究開発

お問い合わせ先

大阪大学

共創機構 イノベーション戦略部門 知的財産室

<TEL> 06-6879-4861

<e-mail> tenjikai@uic.osaka-u.ac.jp