

新技術説明会

New Technology Presentation Meetings!

超音波振動切削による 機能性テクスチャの高速創成技術

長岡技術科学大学 技学研究院 機械系

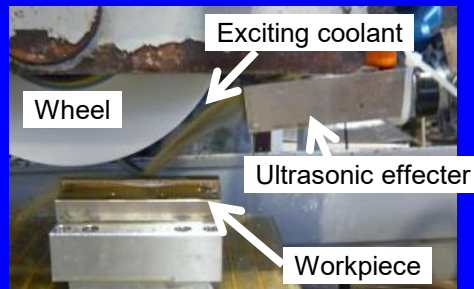
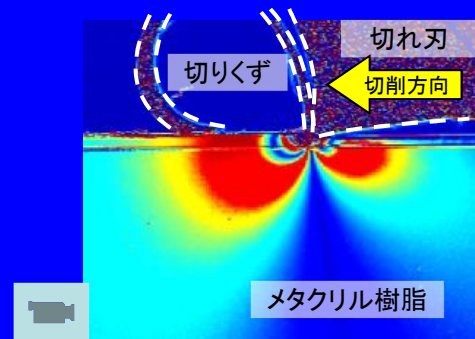
磯部 浩已

isobe163@mech.nagaokaut.ac.jp

超音波加工：除去加工の三要素：工具，被削材，切削液 ・・・いずれかを超音波振動させることで，加工特性を向上させる

超音波加工現象の究明

- ・切りくず生成と内部応力の可視化
- ・超音波加工の特性



超音波振動エネルギーを重畳した研削液

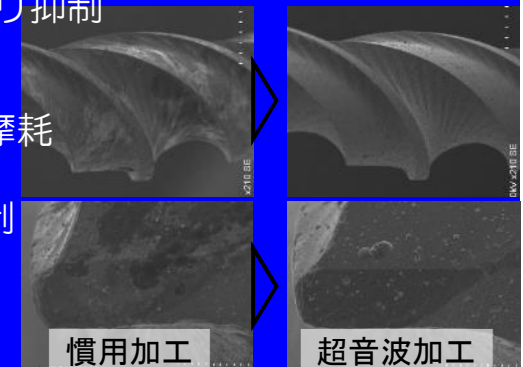
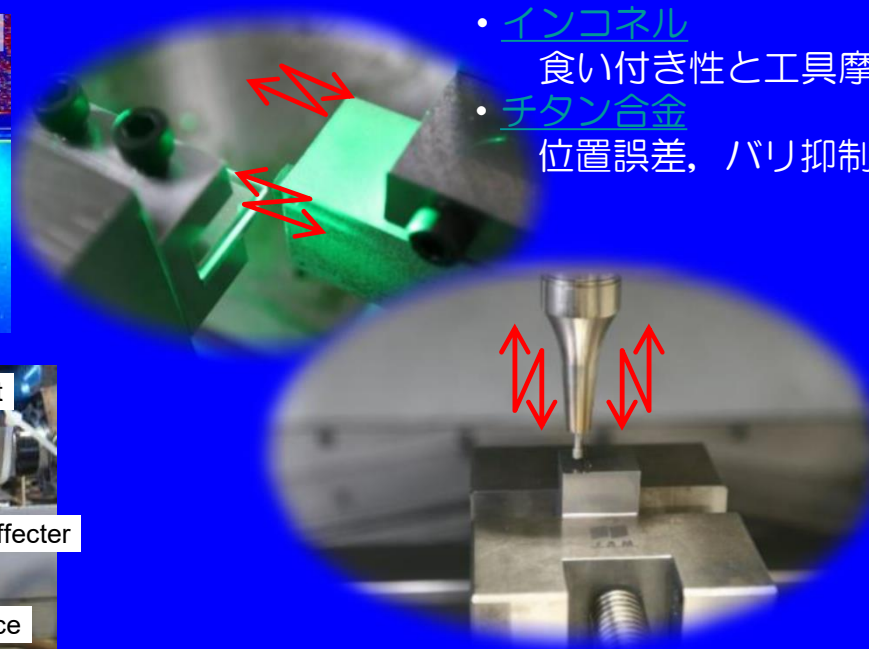
- ・装置説明と効果(目づまり抑制，温度低下)
- ・アルミ，SUS，SKS，チタン研削加工事例
- ・テープ研磨における目づまり除去および加工特性の向上

ISOBE LAB, NAGAOKA UNIV. OF TECH.

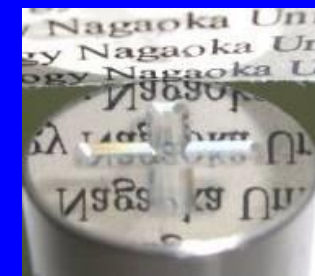
耐熱合金への小径ドリル加工

- ・切りくず排出性の向上
- ・加工精度向上，バリ抑制

- ・インコネル
食い付き性と工具摩耗
- ・チタン合金
位置誤差，バリ抑制



インコネル 10穴(φ0.3-深サ1)加工後



超硬合金の形彫り加工

- ・衝撃力による高能率・高精度加工
- ・トラッカー-ソノされた砥粒による鏡面仕上げ

精密加工・機構
磯部研



高度な振動状態の制御により超音波振動の効果は発現する！！
・・・とはいえ、

課題①：振動装置のコストが上乗せ

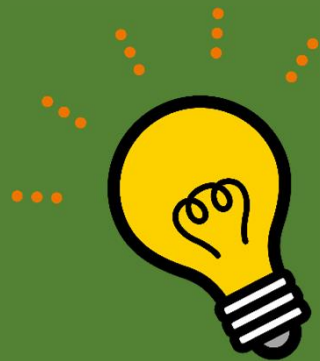
課題②：本質的に超音波振動する切れ刃は加工面に凹凸をつくる
→超高精度仕上げ加工は困難であった

・超音波加工の優位性は？

→ 難削材、脆性材料の高効率加工

→ 難削材加工における切削抵抗低減，工具摩耗の低減

・・・効果の程度 と 加工能率 がトレードオフ
→生産現場での採用が難しい

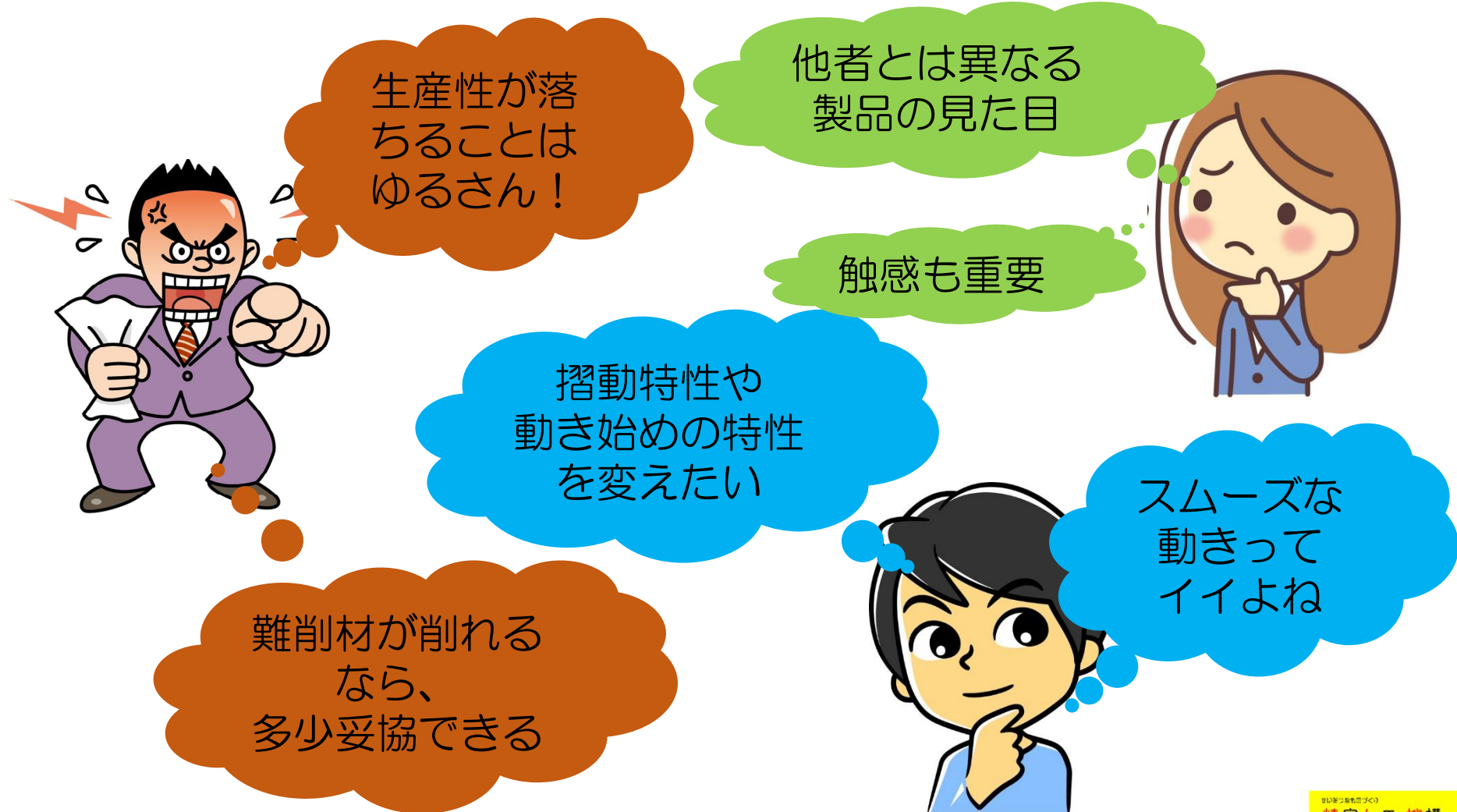


超音波加工でなければできない加工への展開！！



超音波振動切削による 微細テクスチャの高速創成のターゲット

切削加工で製造される製品に対して・・・

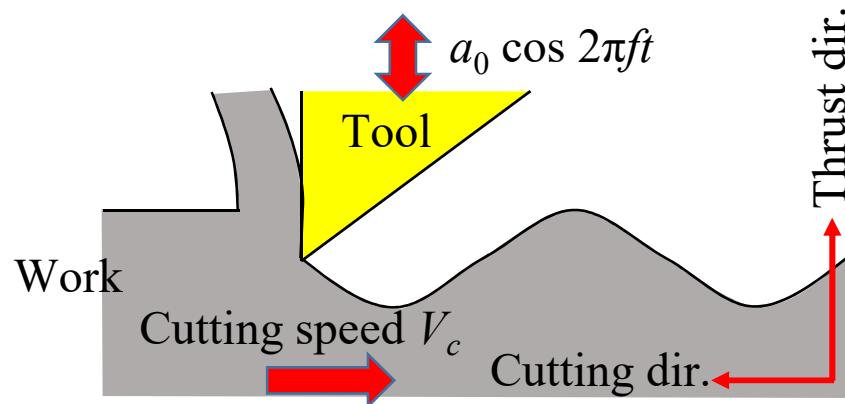


超音波振動切削加工

超音波振動する工具での加工

切込み方向(背分力方向)への振動
+
送り運動

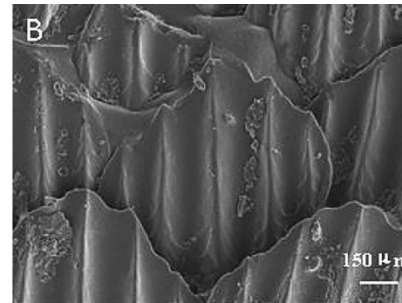
工具と被削材間の相対運動が
微小な凹凸として被削材に転写



被加工面の微小な凹凸

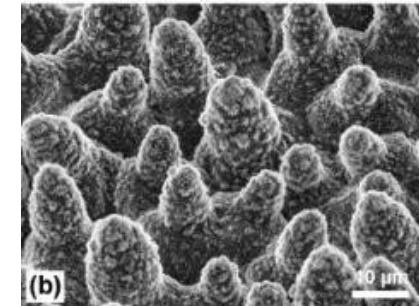
表面テクスチャと呼称

バイオミメティクス（生物模倣工学）



<http://bio.biologists.org/content/5/4/389>

鯨肌…水中抵抗低減
→スィムウェア



<https://www.beilstein-journals.org/>

蓮の葉…超撥水性材料

蛾の眼を模した表面・・・無反射光フィルムなど

マイクロメートル～ナノメートルスケールの周期構造
→ 摺動面への機能性の発現

想定される用途



リードスクリューナット
(日本粉末冶金工業web サイト)



車載用軸受
((株)ポーライトweb サイト)



きさげ面
(中村留精密工業(株) web サイト)

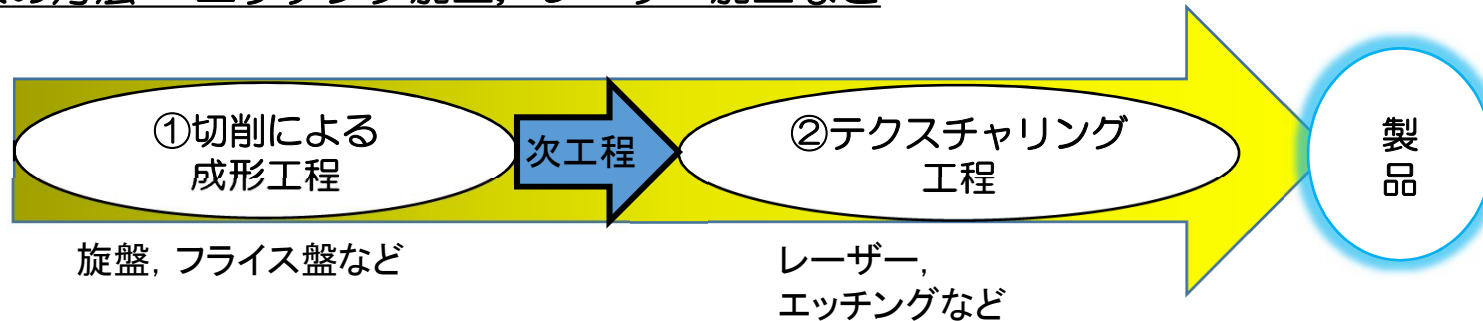


各種金型
(HILTOP web サイト)

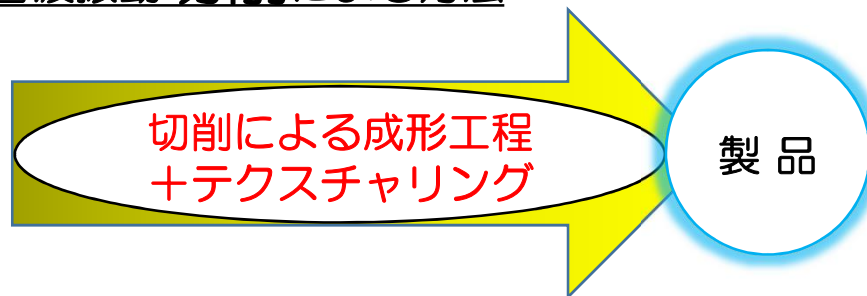
- 一般的な部品のため、量産が必要で、かつコストはかけられない
→ 少しでも特性が向上すると、トータルでの効果は大きい

従来技術の問題と本技術の優位性

従来の方法： エッチング加工，レーザー加工など



超音波振動切削による方法



成形工程と同時にテクスチャによる機能が付与される！

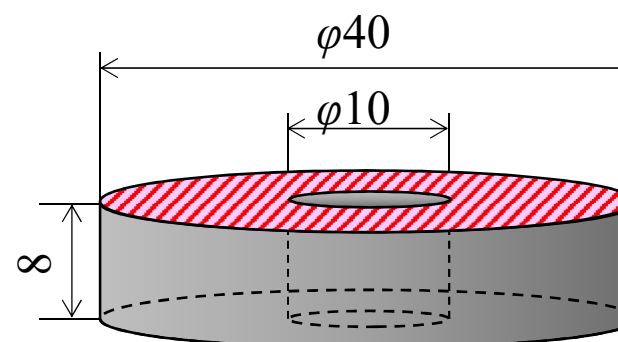
生産能率は従来の工程と同じ！



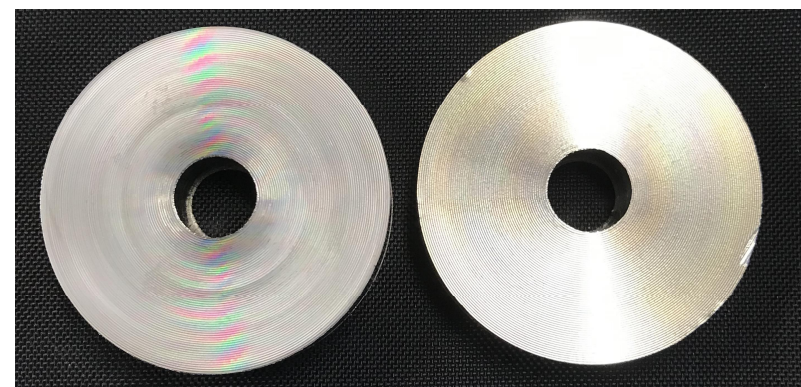
摩擦試験用のディスクの製作

切削条件

実験装置	櫛刃型NC旋盤
被削材	SUS304
切削回転数	710rpm
切削速度	22.3-89.2m/min
切り込み量	0.1mm
送り速度	0.09mm/rev
コーナー半径	1.2mm
工具逃げ角	7°
切削状態	湿式(鉋油)



Disc 寸法



Disc外観(左:超音波振動加工, 右:慣用加工)

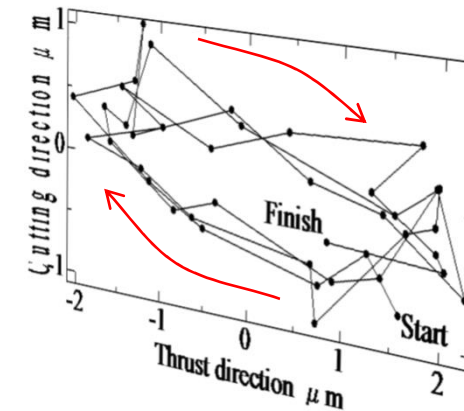
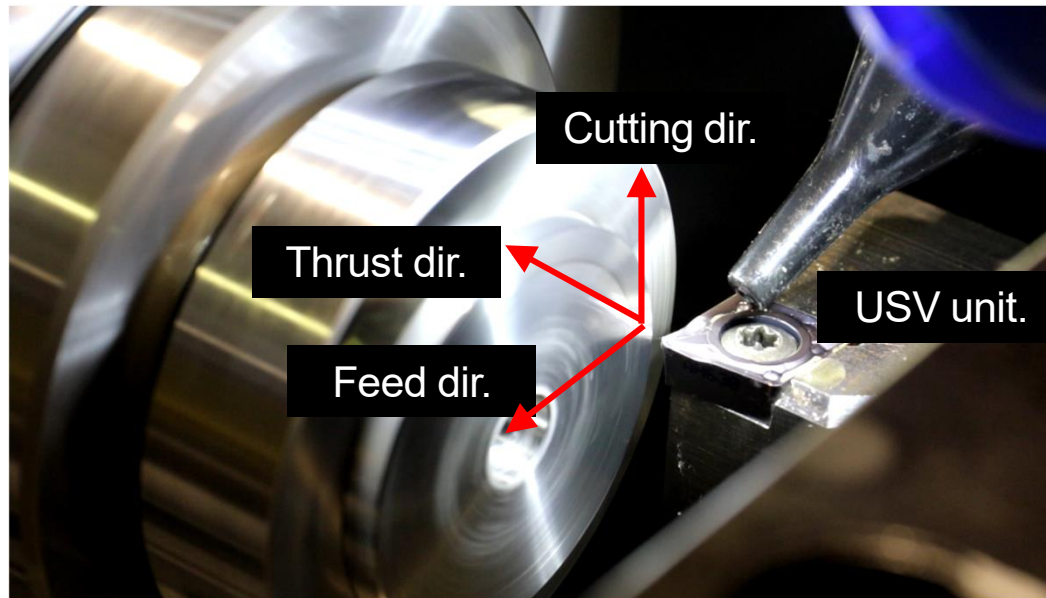
超音波振動ユニットの振動条件

振動周波数	30.7kHz
片振幅(切込み方向)	2 μ m

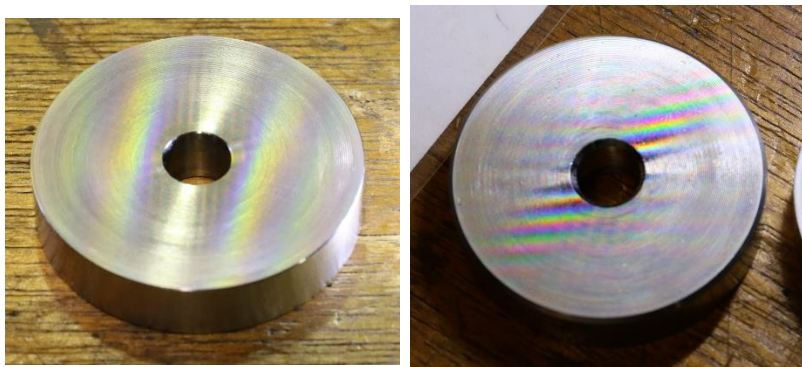
特許出願:加工装置および加工方法について

超音波振動切削装置

楯歯旋盤: 高松機械 TopTurn II に超音波切削装置を搭載
※汎用性の高い加工方法



工具刃先の振動状態
・振動周波数30.7kHz
・切り込み方向: $\pm 2\mu\text{m}$
切削方向: $\pm 1\mu\text{m}$



一般的な切削加工をしたように見えるが・・・

加工表面には、微細な凹凸が創成される



- ① 金属表面に光干渉による虹色の面・・・きれい
- ② ピーニング効果による残留応力付与?・・・かたい
- ③ テクスチャ構造による摩擦・摺動特性改善・・・すごい?

テクスチャ創成原理

二次元切削モデル
送り運動と超音波振動の運動軌跡でテクスチャの構造を求める。

ピッチ間隔 $P = \frac{V_c}{60f}$

V_c : 切削速度 m/min

f : 工具の振動周波数[1/s]

テクスチャ高さ h_{te}

a) 工具逃げ面とテクスチャが干渉しない場合

$$h_{te} = 2 a_0$$

b) 工具逃げ面とテクスチャが干渉する場合

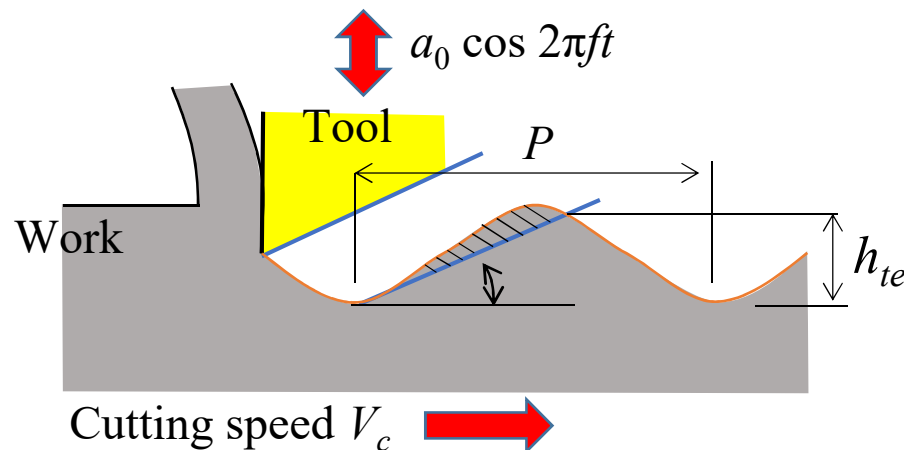
・工具の運動軌跡

$$f(x) = a_0 \cos\left(\frac{2\pi}{P}x\right) + a_0$$

・逃げ面

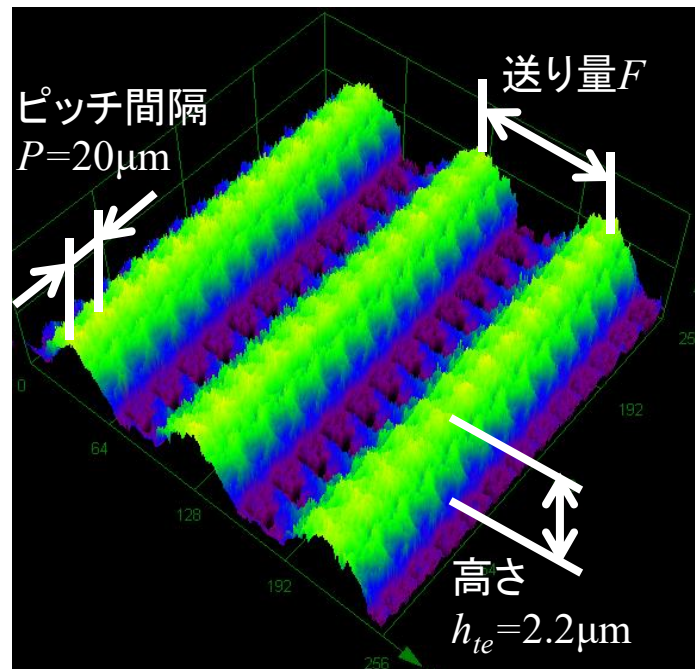
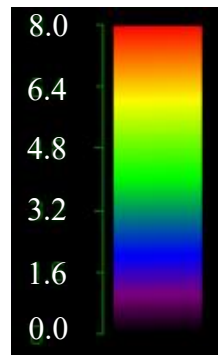
$$g(x) = \left(x + \frac{P_{th}}{2}\right) \tan\theta_{re}$$

交点を数値解析することで、 h_{te} を求める

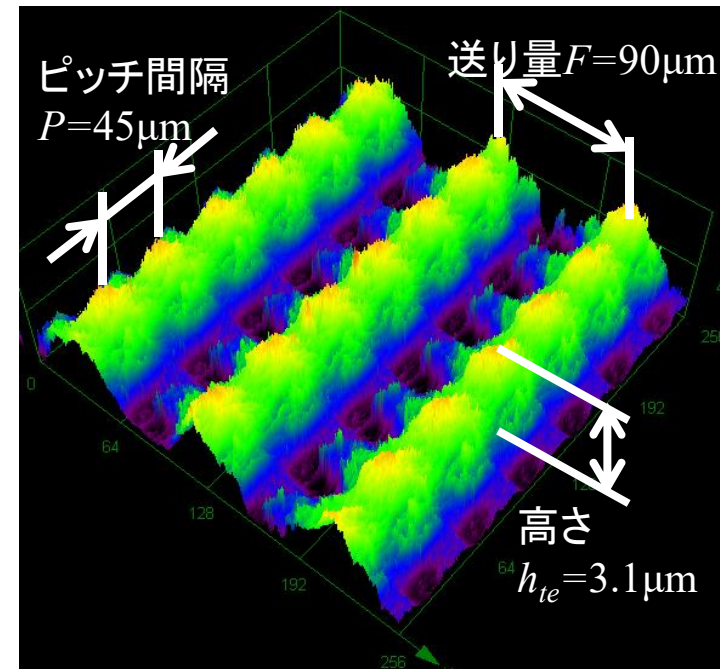


テクスチャ創成原理

- a) 切削速度 $V_c=35.7\text{m/min}$ $\Rightarrow$ 理論ピッチ $P=19\mu\text{m}$, 理論テクスチャ高さ $h_{te}=1.8\mu\text{m}$
 b) 切削速度 $V_c=80.3\text{m/min}$ $\Rightarrow$ $P=44\mu\text{m}$ $h_{te}=3.4\mu\text{m}$

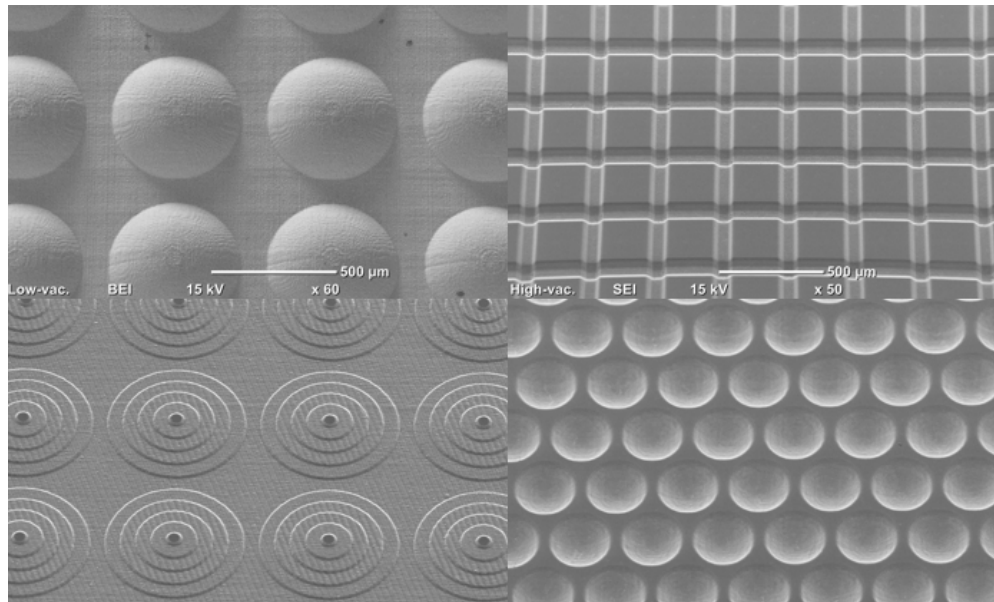


(a) 周速35.7m/min



(b) 周速80.3m/min

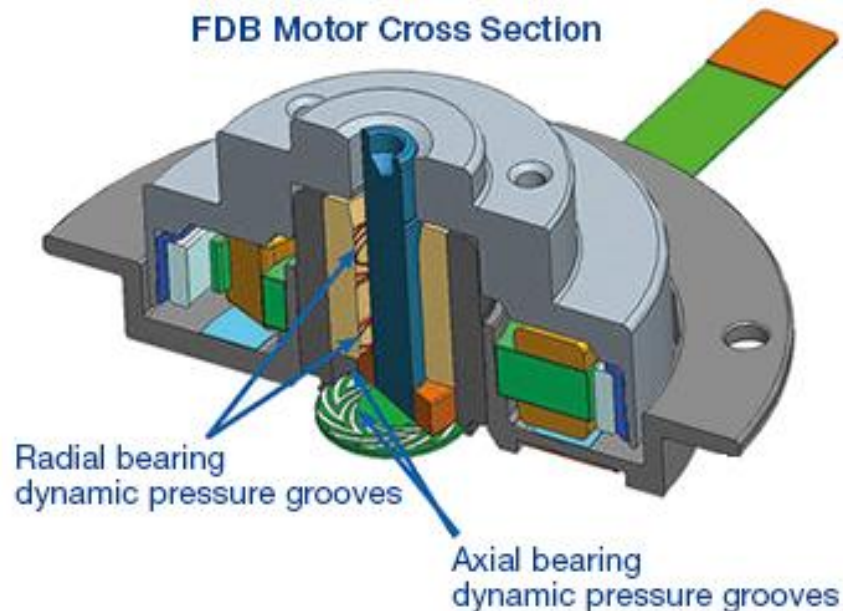
- $\Rightarrow$ 理論値と実測値で一致した
- $\Rightarrow$ 容易に変更可能な切削条件と振動条件で、任意のテクスチャ構造を創成できる



(<https://lps-works.com>)

微細なテクスチャの機能

- ・ 摩耗粉トラップによる
アブレシブ摩耗の抑制
 - ・ くさび動圧効果による
負荷容量の発生
 - ・ 接触面積の変化による
接触圧力の変化
- などなど・・・



FDB（流体動圧軸受）はボールベアリングの限界を超えた精度により、非繰返し性振れ（NRRO）を最小化し、また騒音レベルを低減、且つ信頼性を向上させております。このFDB（流体動圧軸受）技術は、超高精度かつ長寿命が求められるハードディスクドライブ向け軸受の開発を原点にしています。

(<https://www.minebeamitsumi.com>)

ガラスシリンジ（シーリング効果・負荷容量） 外周面を超音波振動切削

テクスチャ有無での比較



荷重による摺動特性変化

実験目的

負荷荷重変化時の摩擦特性を調査.

実験条件

ピン材質: SUJ2, SR 0.5インチ(12.7mm), 表面粗さ: $0.050\mu\text{m}$, HRC: 62-67

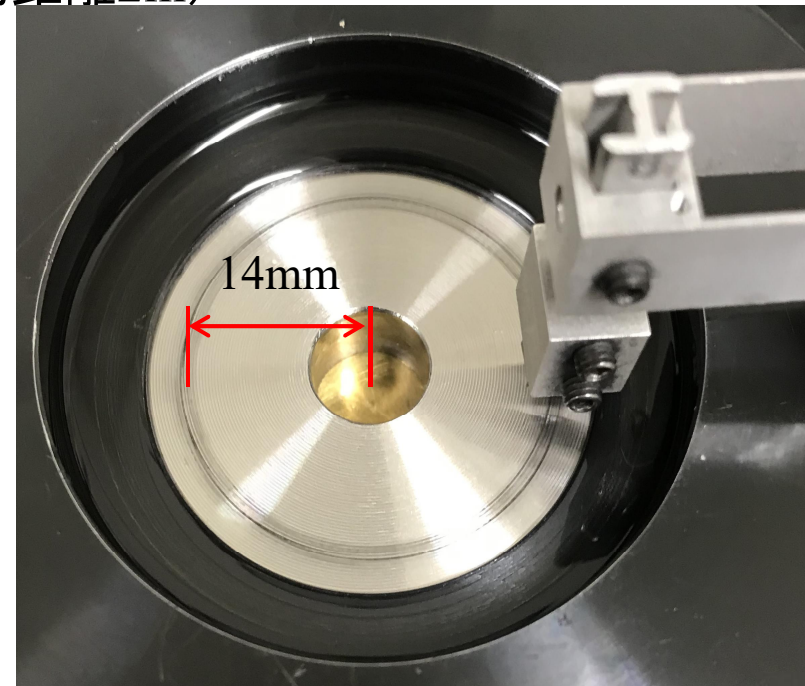
摺動回転数: 60rpm (摺動時間20sec, 摺動距離2m)

摺動速度: 5.3m/min

摺動位置: 14mm

負荷荷重: 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0N

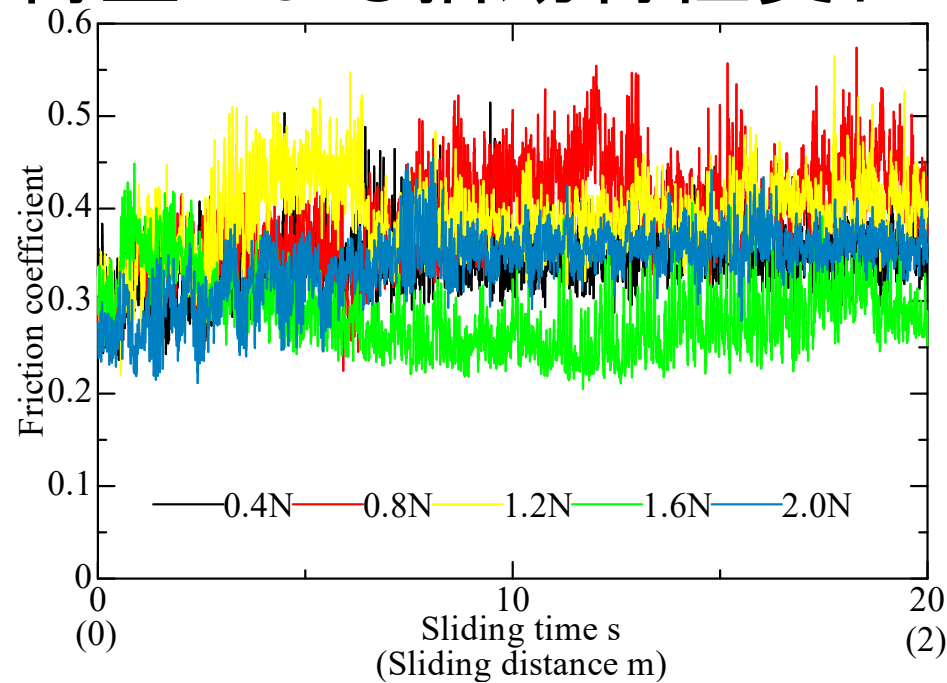
潤滑油粘度: 50cSt.



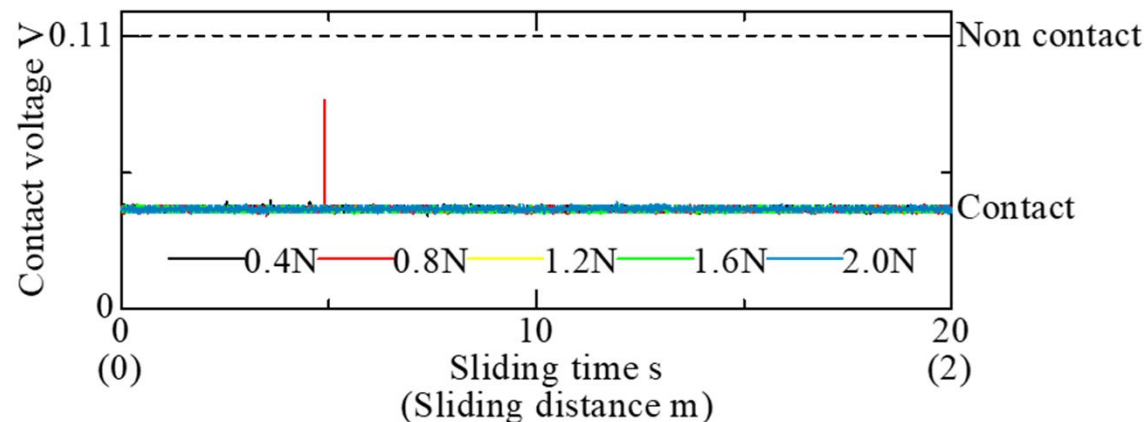
Disc摺動位置

荷重による摺動特性変化

～テクスチャなし～

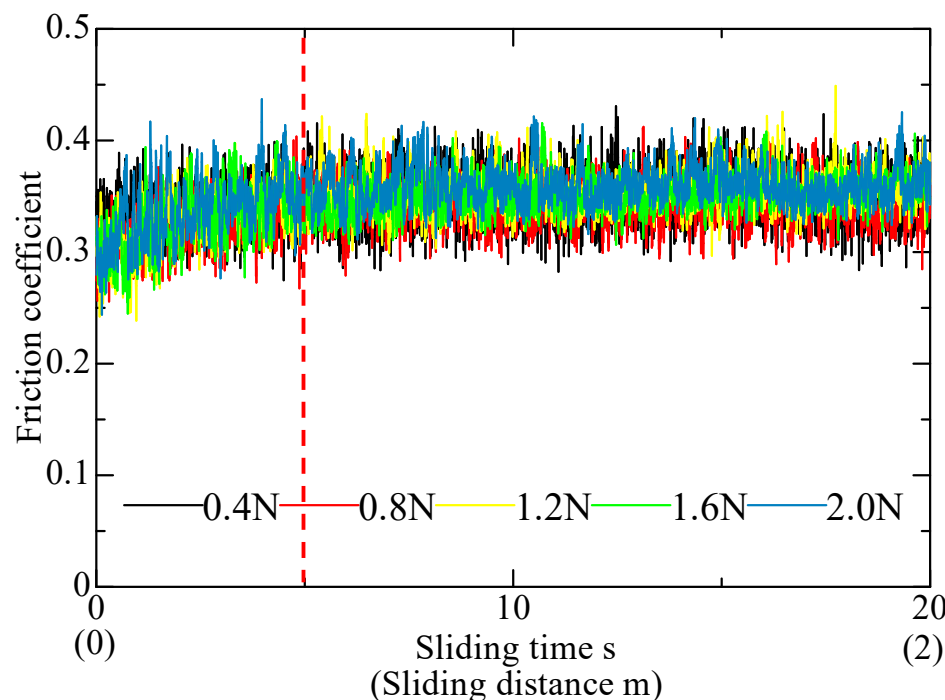


- ・摩擦係数が大きく変動
- ・摩擦係数は
初期段階で0.3
→ 摺動距離0.5m後には
0.5以上まで上昇
- ・接触電圧は常に接触状態を示す
➡境界潤滑領域



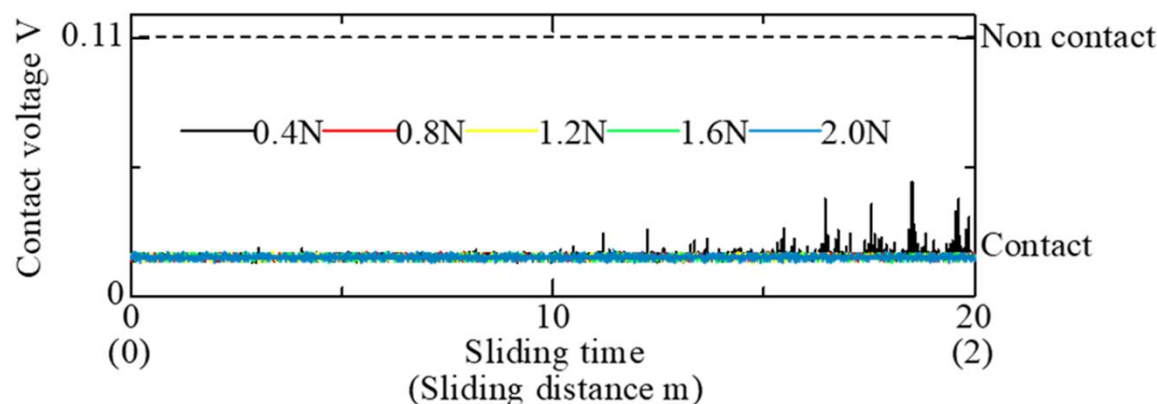
荷重による摺動特性変化

～テクスチャあり～



- ・0.4-2.0Nすべての実験で摩擦係数が0.35程度
- ・摩擦係数は実験開始5秒(0.5m)後, 一定になる.

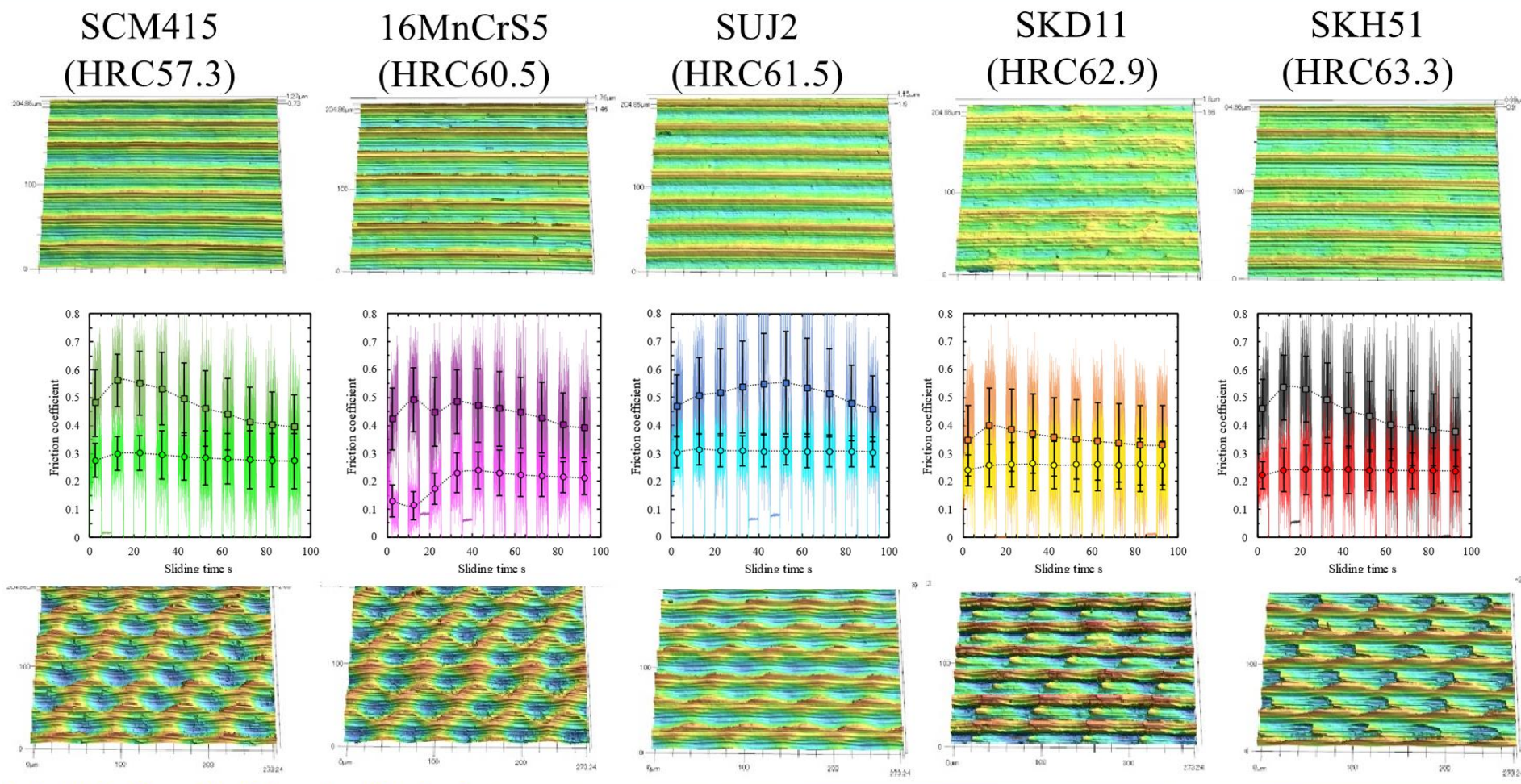
- ・接触電圧は接触している状態を示す
➡境界潤滑領域



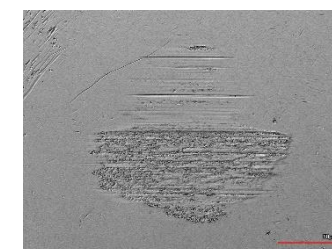
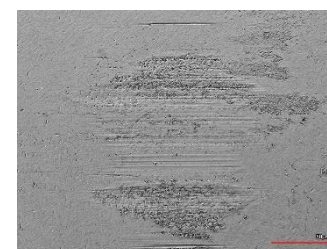
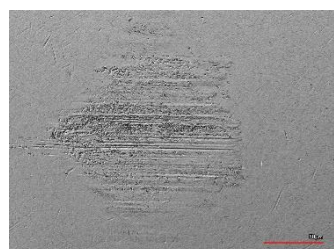
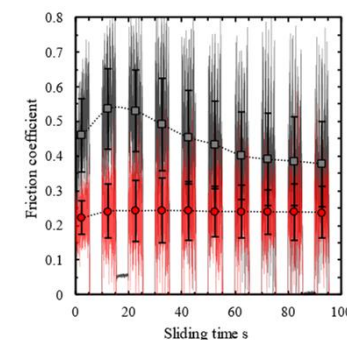
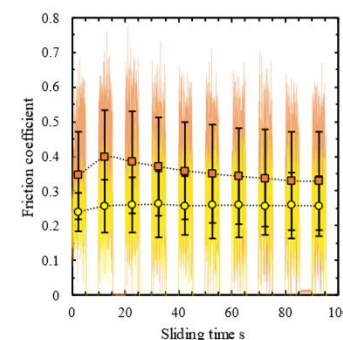
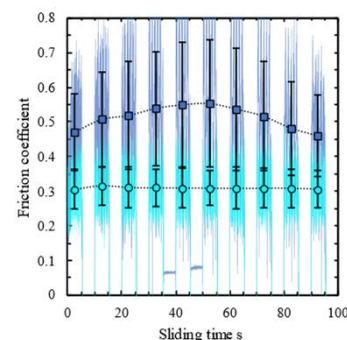
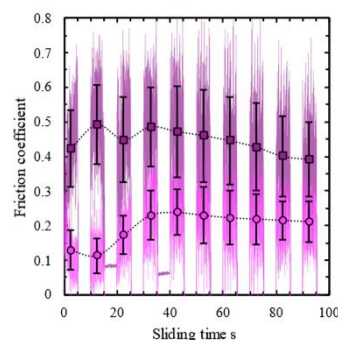
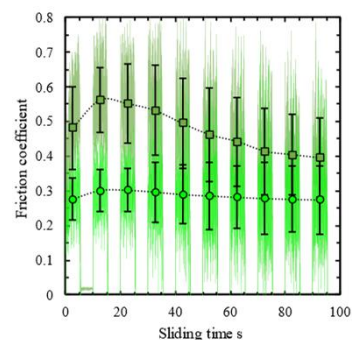
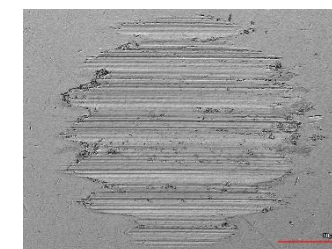
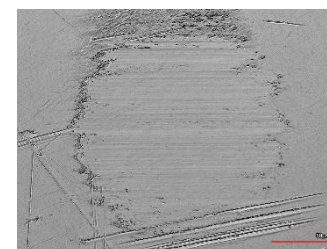
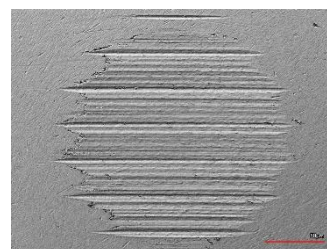
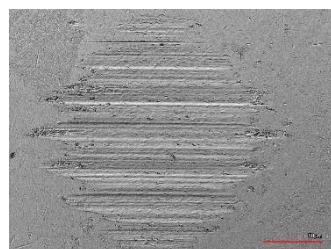
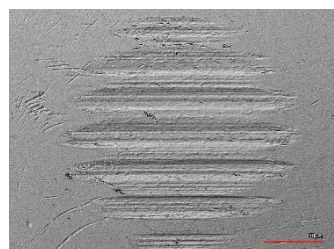
高硬度鋼に対する テクスチャリングと摺動特性

テクスチャにより摩擦係数は低減かつ安定化

負荷加重 F	1.0 N
摺動速度 v	0.05 m/s
摺動半径 R	7.5 mm
潤滑油粘度 η	100 cSt
摺動時間 t	合計100 s
摺動距離 l	5.3 m



しゅう動試験後のボールの摩耗



SCM415

16MnCrS5

SUJ2

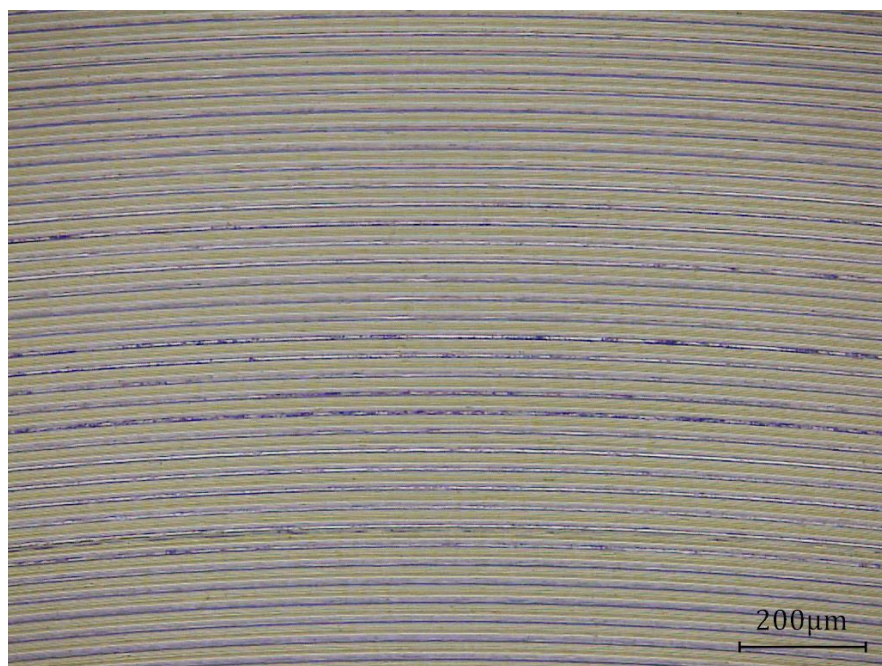
SKD11

SKH51

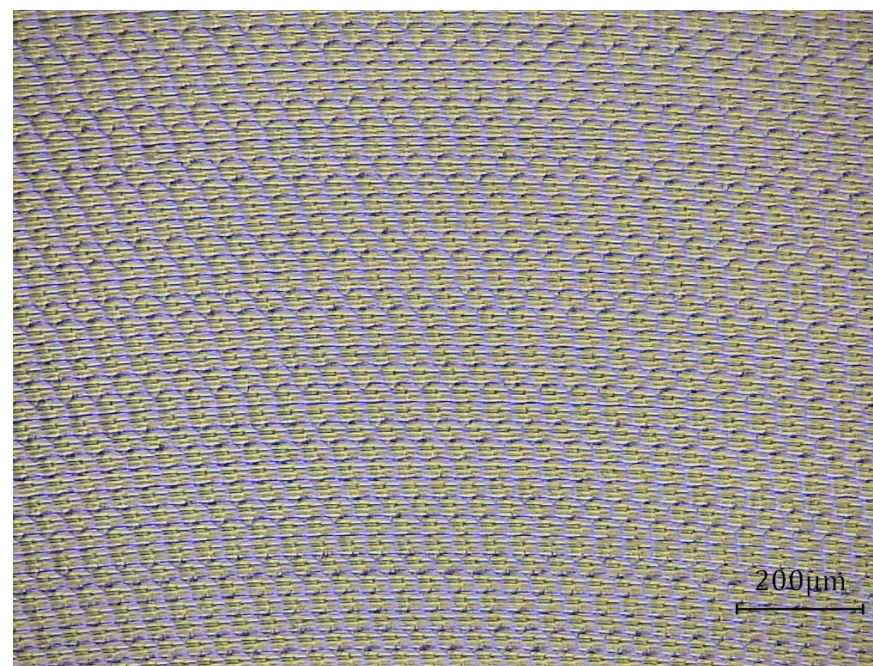


しゅう動試験後の摺動面の摩耗

- 試験後に，しゅう動させたφ15 mm付近を観察した
- テクスチャの有無にかかわらず，しゅう動痕は見つけられなかった
 - ボールだけが摩耗した



SCM415 慣用



SCM415 テクスチャ

実用化に向けた課題

- ・生産性が要求される基本的な機械加工
 - + 工具は刃物台に固定される …………… 旋盤加工にのみ適用
- マシニングセンター等の回転工具と超音波加工との組み合わせの実施

企業への期待

超音波テクスチャの適用事例(2024年現在)
ただし、共同研究案件のため、詳細説明は省く

【摩擦係数低減効果】

- ・切断工具への凝着抑制
- ・摺動部材の摩擦低減, 摩耗抑制

【摩擦係数安定化の効果】

- ・流体のシーリング
- ・ねじ締結部の摩擦係数安定化

・量産加工品での接触部について、なんらかの解決すべき課題を抱えている。

・「見た目」が虹色の干渉模様
→加工によって見た目に特徴の独自性を求めたい。

まとめ

- ・被削材の法線方向(背分力方向)への超音波振動切削により表面テクスチャを創成する装置と加工方法について提案した。
- ・汎用旋盤での仕上げ加工と同時にテクスチャリングが可能である。
- ・テクスチャのピッチ間隔, 高さは, 加工条件(一般切削条件, 工具形状および超音波振動条件)によって制御できる
- ・ピンオンディスク試験によって, 摺動特性を検証した.
 - ・停止一起動繰り返し摺動試験では, ばらつきのない摩擦係数が得られた
 - ・無次元軸受け特性数が小さい領域(境界潤滑領域)で, 摩擦係数を低くし, かつ変動を小さくする
 - ・テクスチャ構造のピッチや高さを変更すると, その特性も変化するはずだが, その傾向はさらに多くの実験と解析が必要である
- ・主軸回転と超音波振動を同期制御することで, テクスチャの整列が可能
ばらつきは超音波振動周期に相当して $\pm 1\%$ 以内であった.

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 超音波加工装置
- 出願番号 : 特願2023-189008
- 出願人 : 国立大学法人長岡技術科学大学
- 発明者 : 磯部浩己、高島孝太、原圭祐

お問い合わせ先

国立大学法人 長岡技術科学大学

産学連携・研究推進課 知的財産係

T E L 0258-47-9279

e-mail patent@jcom.nagaokaut.ac.jp