

表面・界面物性解析装置を用いた 銅系焼結合金摩擦材の材料強度分析手法

車両技術研究部 ブレーキシステム研究室

副主任研究員 西森 久宜

本日の発表

1. はじめに
2. 表面・界面物性解析装置を用いた材料強度分析手法
3. 摩擦材の材料強度分析
4. まとめ

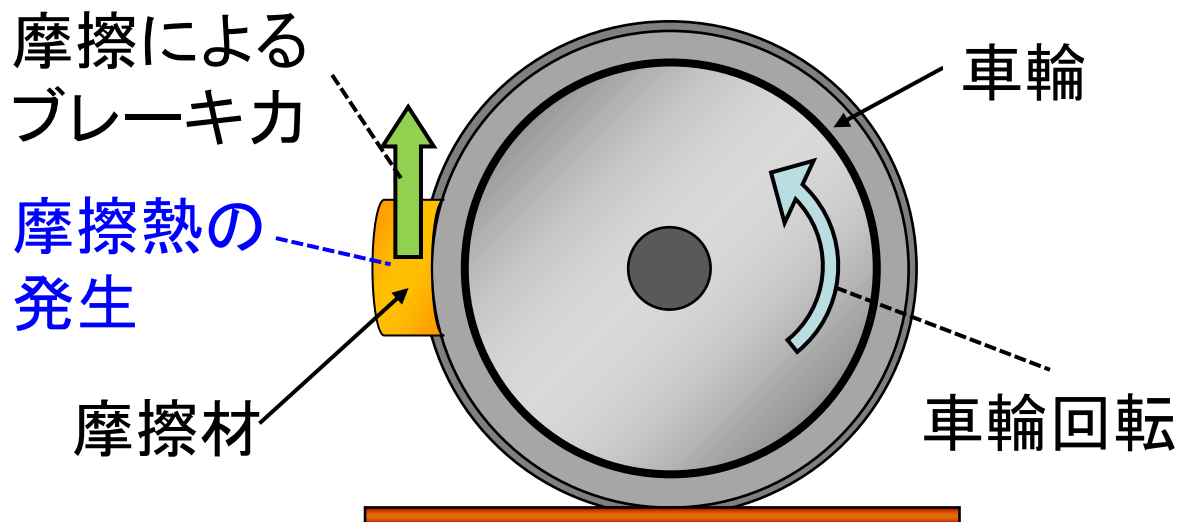
本日の発表

1. はじめに
2. 表面・界面物性解析装置を用いた材料強度分析手法
3. 摩擦材の材料強度分析
4. まとめ

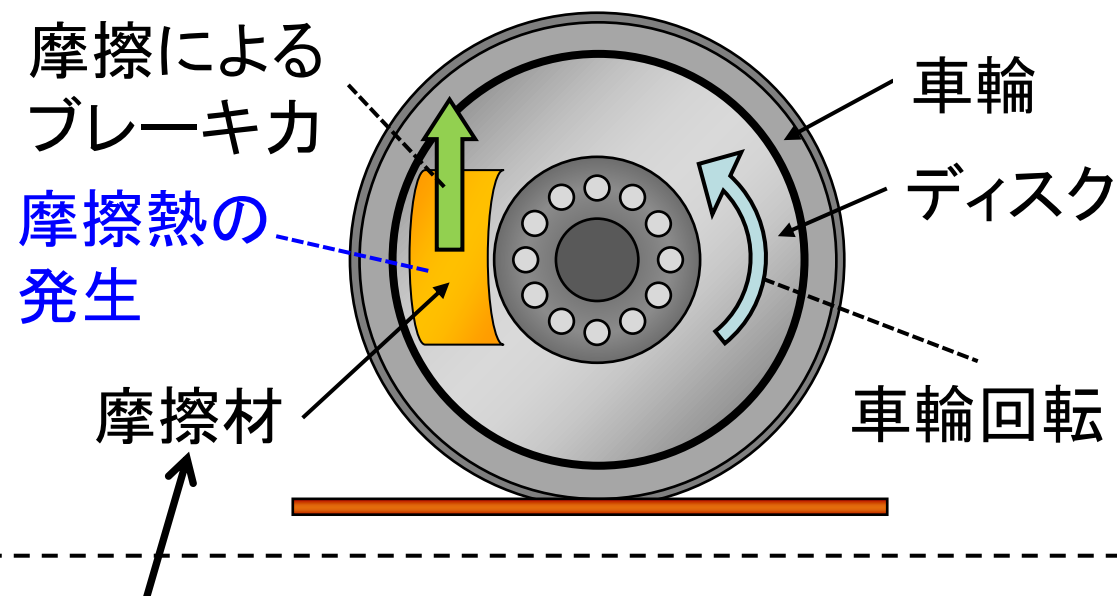
○機械ブレーキ

- 踏面ブレーキ装置: 車輪踏面に摩擦材を押し当て
- ディスクブレーキ装置: ブレーキディスクに摩擦材を押し当て

踏面ブレーキ装置の作動例



ディスクブレーキ装置の作動例

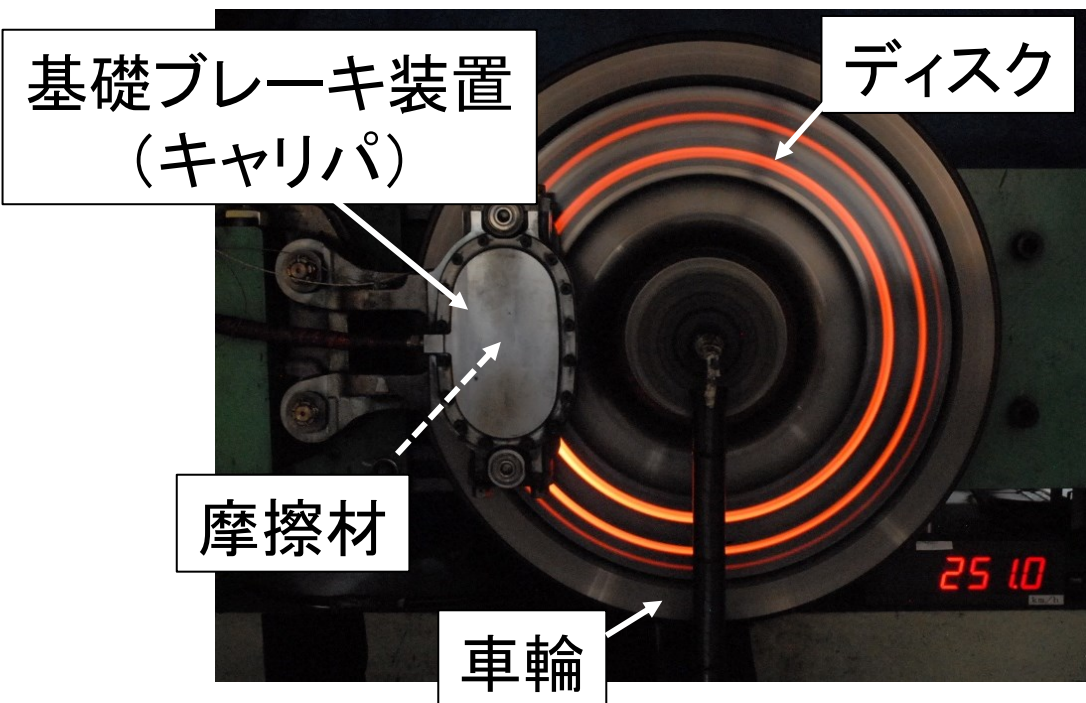


高速車両では銅系焼結合金が多い

○ブレーキ性能評価

実物大台上試験により性能を評価

実物大台上試験の一例



すべて実物大を準備

実車を想定した条件
(車両重量、初速度、押付力)を設定

停止距離、摩擦係数、
温度(車輪、ディスク、摩擦材)などを評価

目標の性能を満足するまで
新たな摩擦材を準備して繰り返し

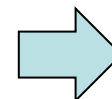


多大な時間と労力

○研究の目的

摩擦材に求められる性能

- 安定した摩擦係数(摩擦特性)
- 少ない摩耗量 (摩耗特性)

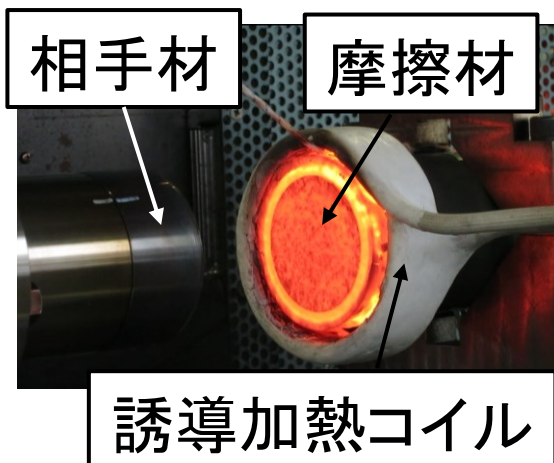


実物大台上試験に比べて
簡便に評価できないか？

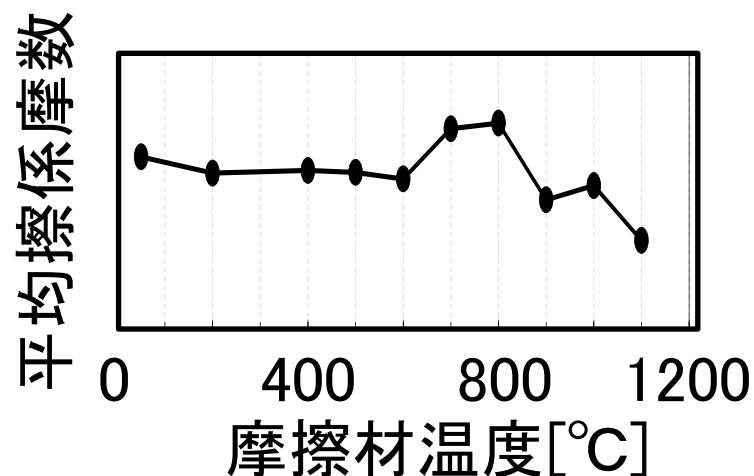
これまでの取り組み

小試験片を用いて摩擦特性を評価する手法を提案

高温摩擦摩耗試験※



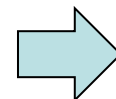
... 任意の温度で摩擦試験が可能



温度と摩擦係数の関係を
定量的に評価

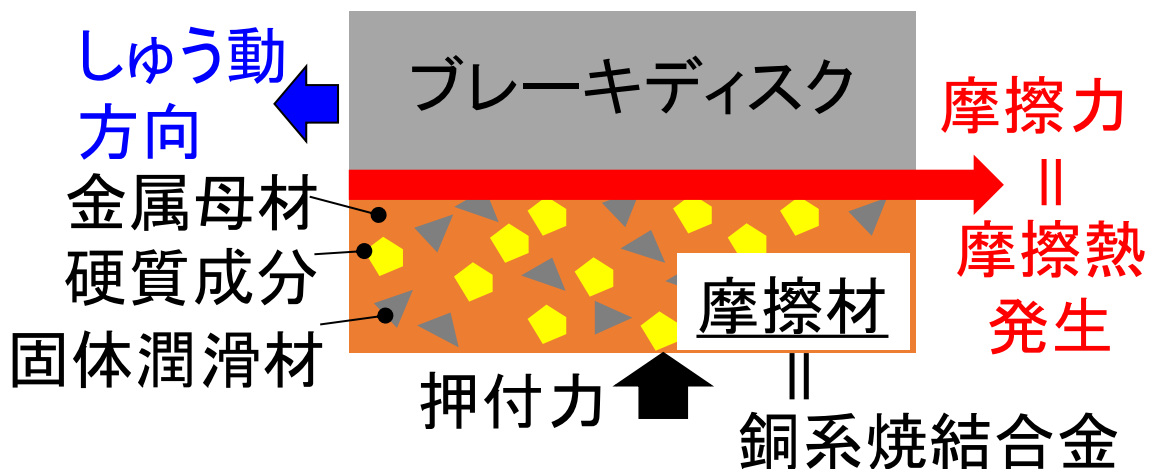
○研究の目的

摩擦材：温度上昇による組織変化が発生



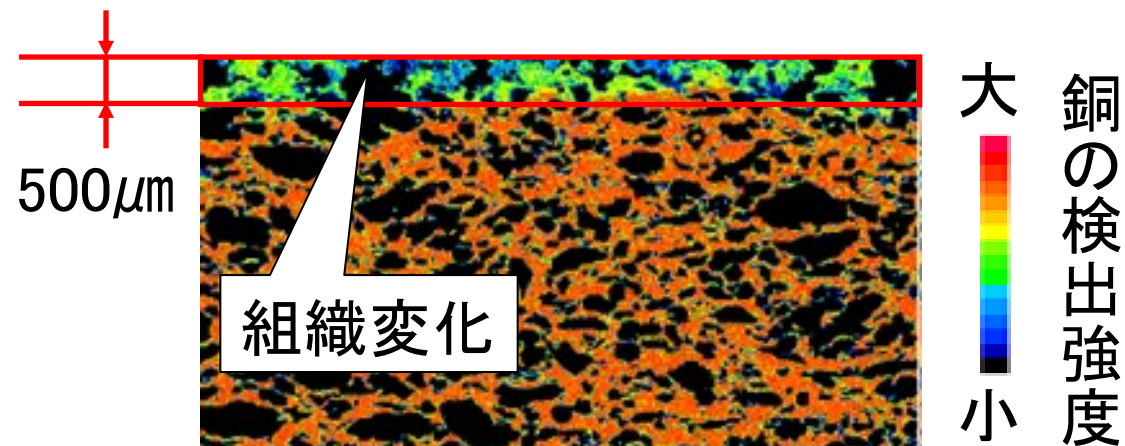
摩擦材表層で顕著

ブレーキ時に摩擦材に作用する力



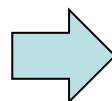
摩擦力はせん断破壊に起因

摩擦材表面から深さ方向の組織分析
(大気雰囲気気炉で1000℃加熱後)※



組織変化は材料強度に影響

摩擦材表層の材料強度が
摩擦・摩耗特性に影響するのでは？



表面・界面物性解析装置を用いた
摩擦材の材料強度分析手法を検討

本日の発表

1. はじめに
2. 表面・界面物性解析装置を用いた材料強度分析手法
3. 摩擦材の材料強度分析
4. まとめ

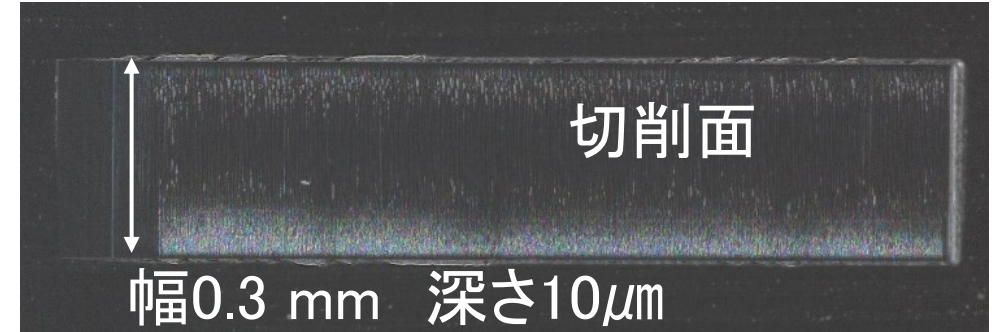
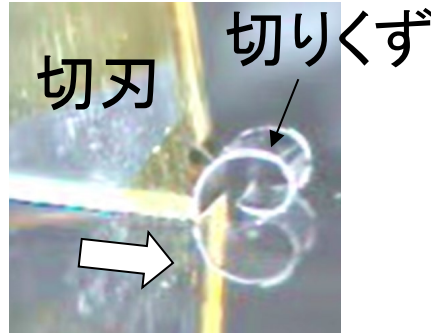
2. 表面・界面物性解析装置を用いた材料強度分析手法

○表面・界面物性解析装置(SAICAS)

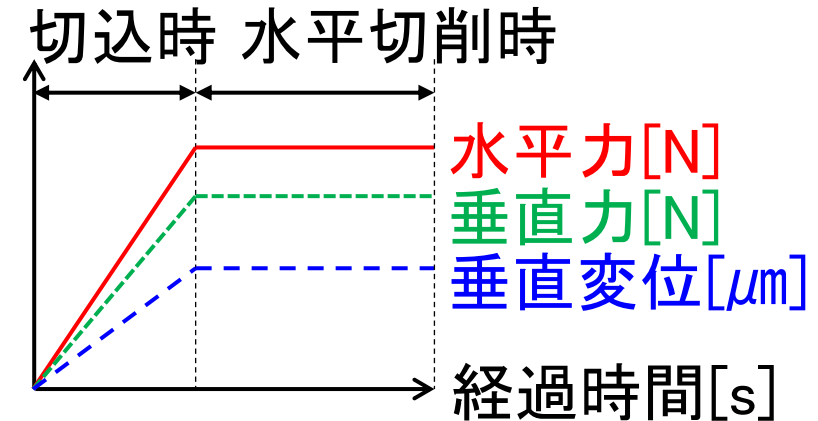
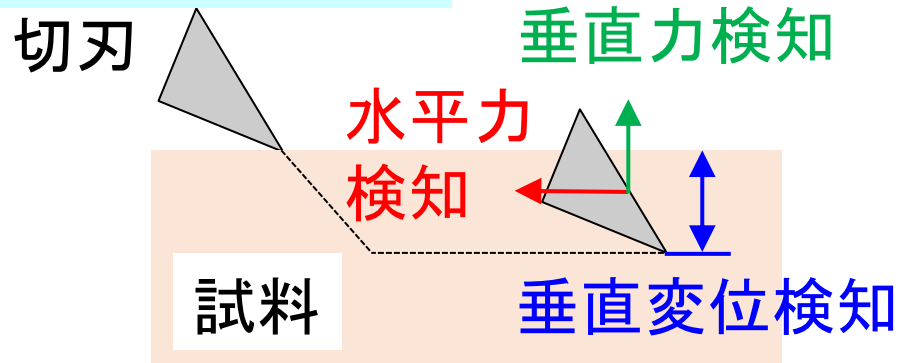
装置概要



例) アクリルプレート表面の切削力測定



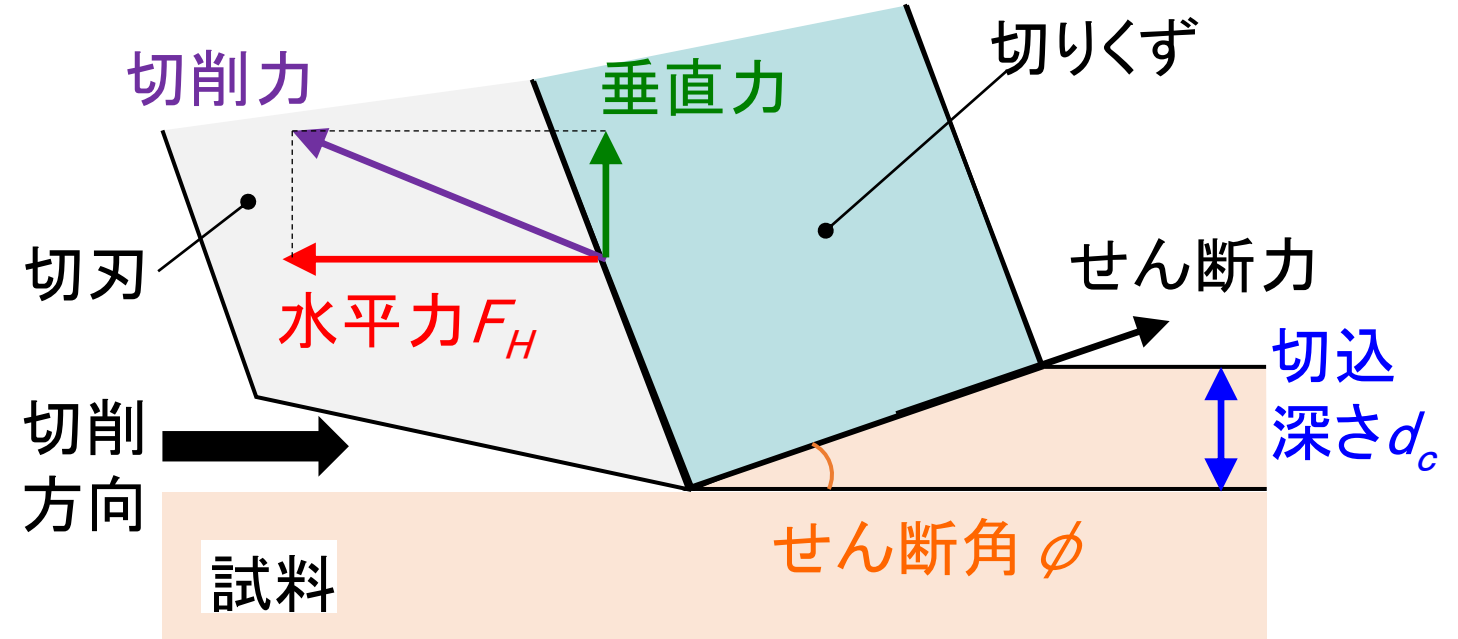
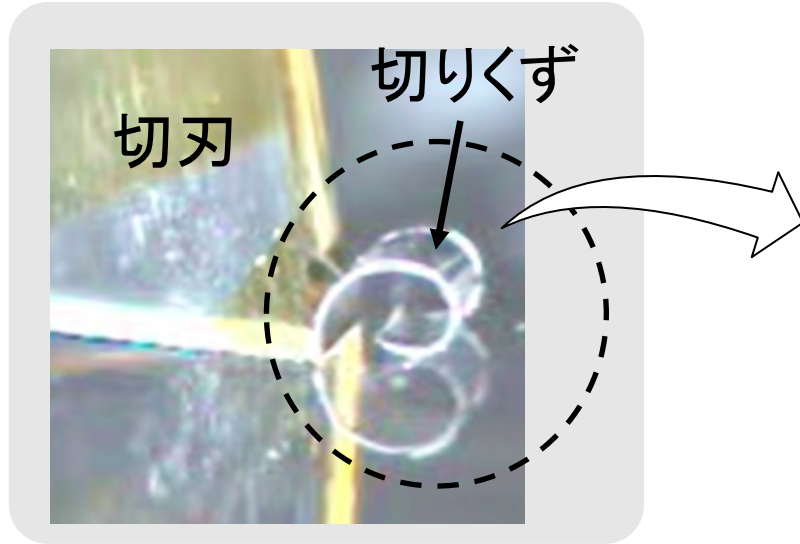
切削力測定原理



- ・平面方向、深さ方向の材料強度を連続的に評価可能
- 塗膜・薄膜の密着性評価、樹脂材料の劣化評価に活用

○切削理論によるみなしせん断強度算出方法

切削時のせん断面モデル



試料のせん断強度 τ_s は
Merchantの最小抵抗説により

$$\tau_s = \frac{F_H}{2d_c w} \tan \phi$$

試料や切削条件で刻々と変動

ϕ を 45° に設定し、 F_H 、 d_c から
試料のせん断強度を推定

みなしせん断強度 τ_s

$$\tau_s = \frac{F_H}{2d_c w}$$

銅系焼結合金摩擦材に対してSAICASによる材料強度分析を実施

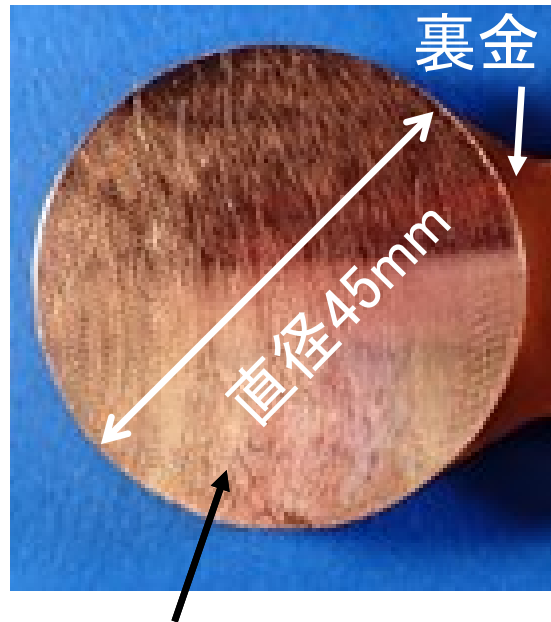
本日の発表

1. はじめに
2. 表面・界面物性解析装置を用いた材料強度分析手法
3. 摩擦材の材料強度分析
4. まとめ

○SAICASを用いた摩擦材の材料強度分析

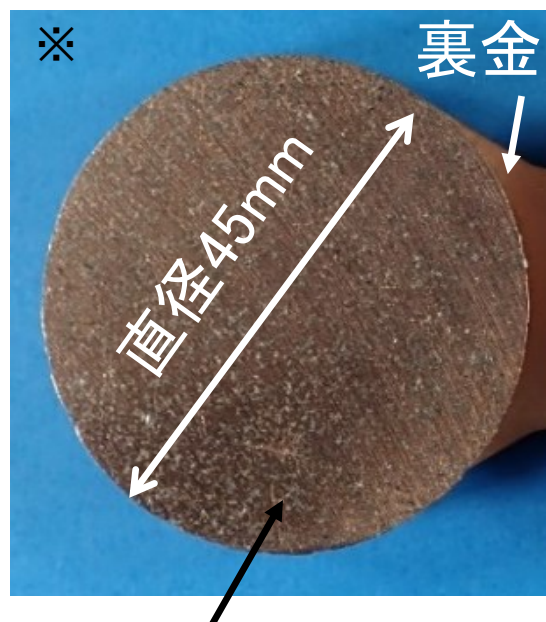
摩擦材(複合材)の材料強度の定量化・・・銅系焼結材試料の切削力を測定

A材

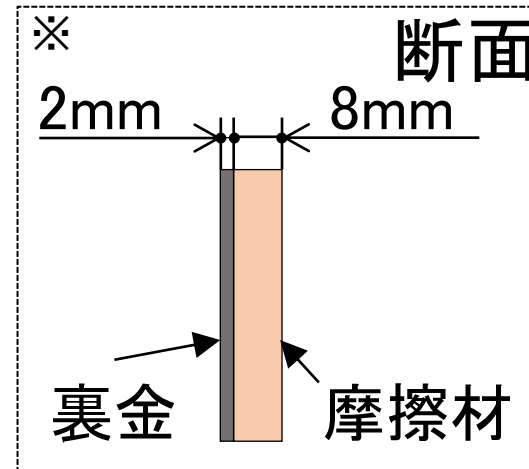
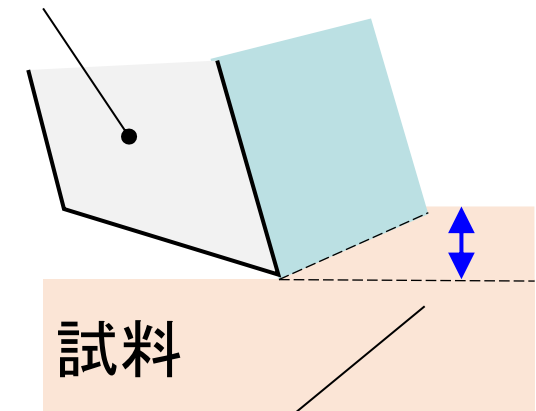


金属母材のみ

B材



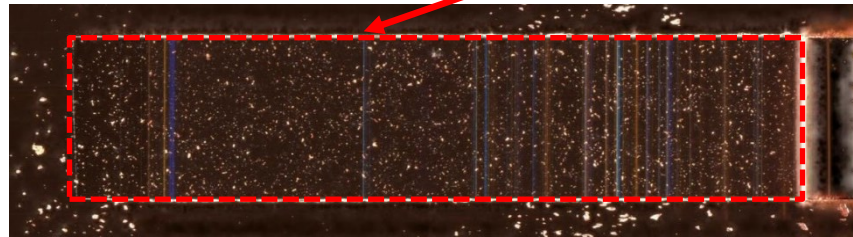
- ・金属母材
 - ・固体潤滑材
 - ・硬質成分
- 複合材

切刃(刃幅 w : 0.3mm)切込深さ d_c : 10 μ mSAICASによる
切削条件

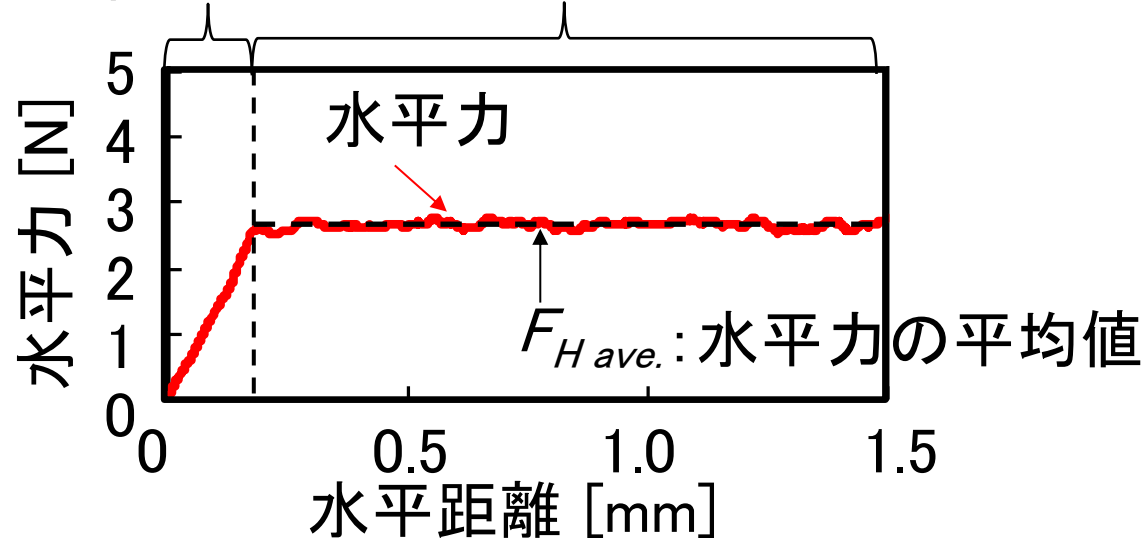
○SAICASを用いた摩擦材の材料強度分析

A材

切削面: 0.3mm × 1.5mm

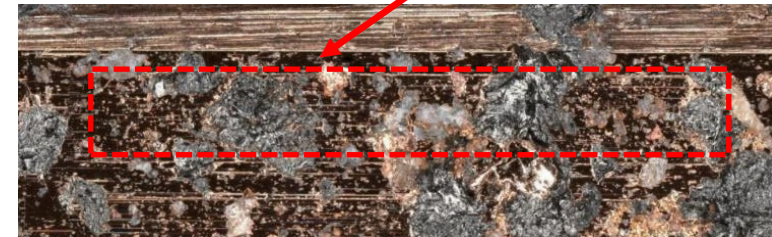


斜め切削 水平切削

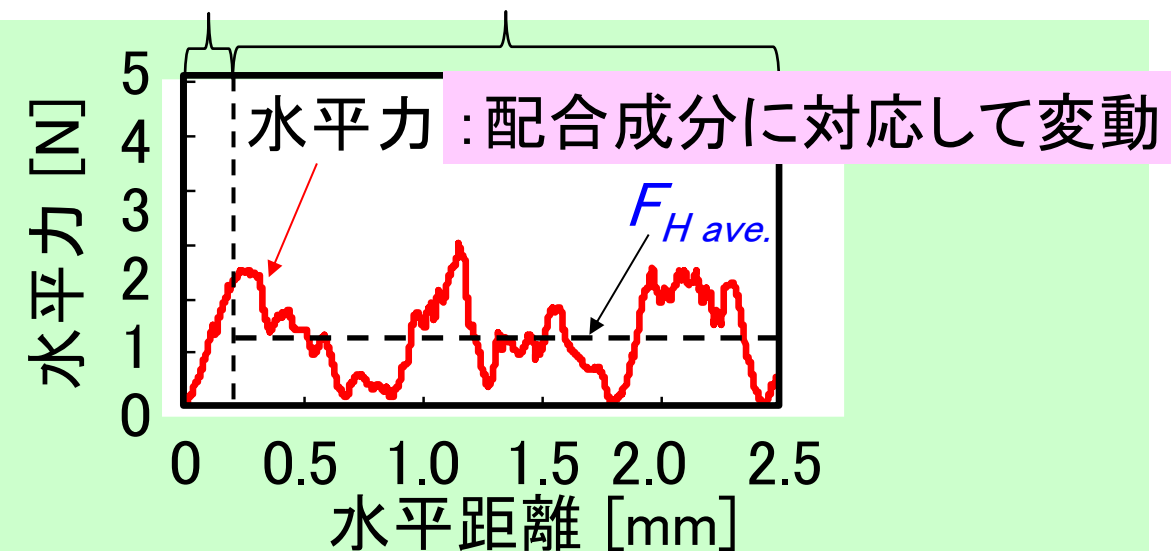


B材

切削面: 0.3mm × 2.5mm



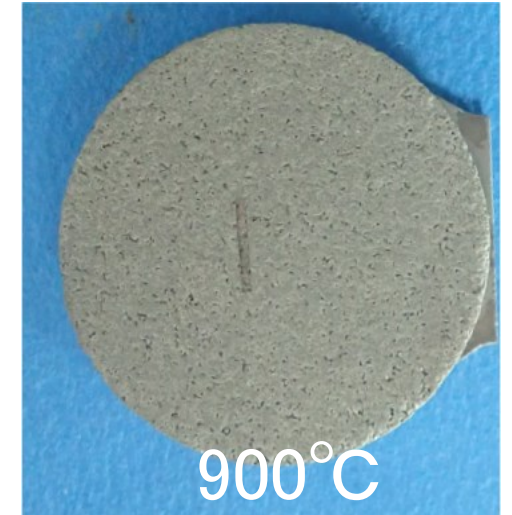
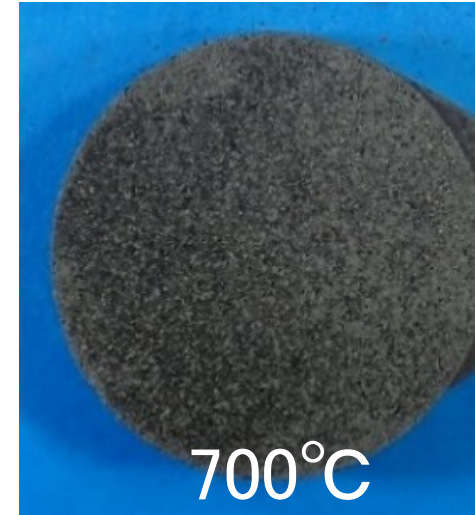
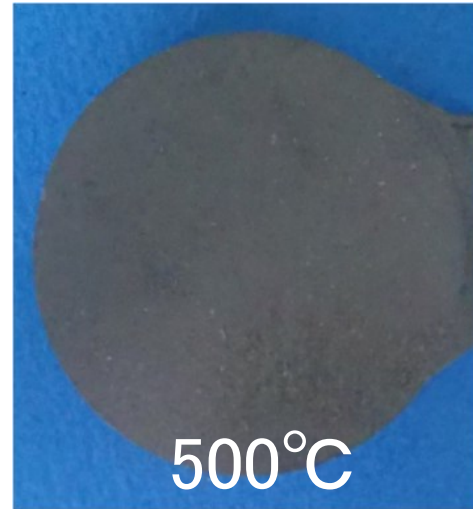
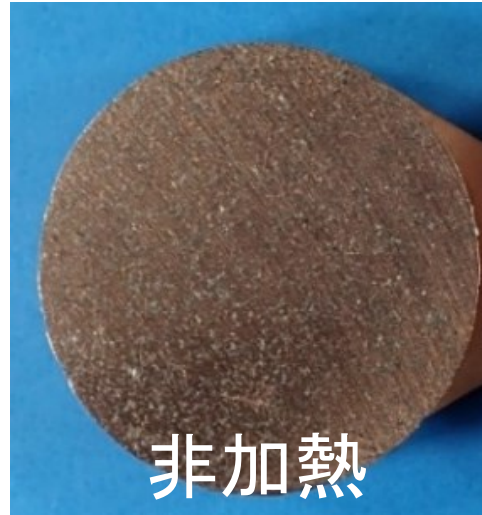
斜め切削 水平切削



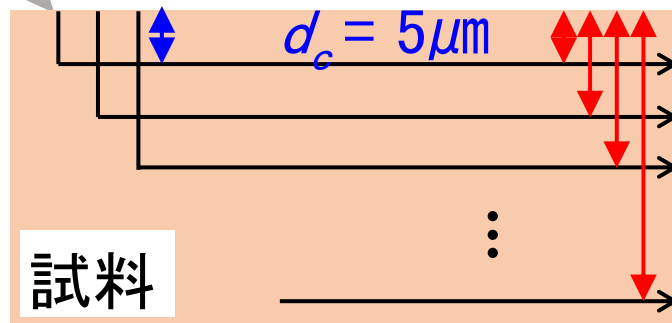
摩擦材(複合材)の材料強度として水平力の平均値を活用

○熱負荷を受けた摩擦材の深さ方向の材料強度分析

B材



(大気雰囲気炉による熱負荷後)※

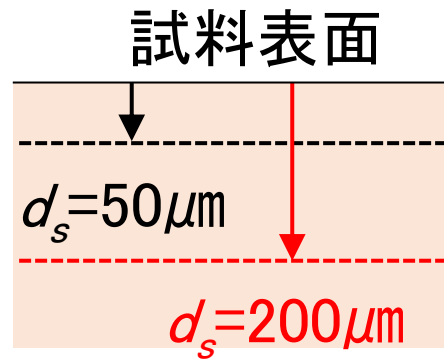
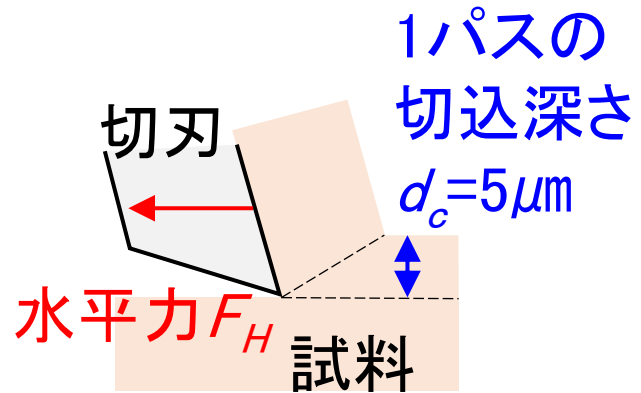
切刃 (刃幅 w : 1.0mm)→ 切削方向 x 表面からの深さ d_s 

1パス目 $d_s = 5\mu\text{m}$
 2パス目 $d_s = 10\mu\text{m}$
 3パス目 $d_s = 15\mu\text{m}$
 ...
 40パス目 $d_s = 200\mu\text{m}$

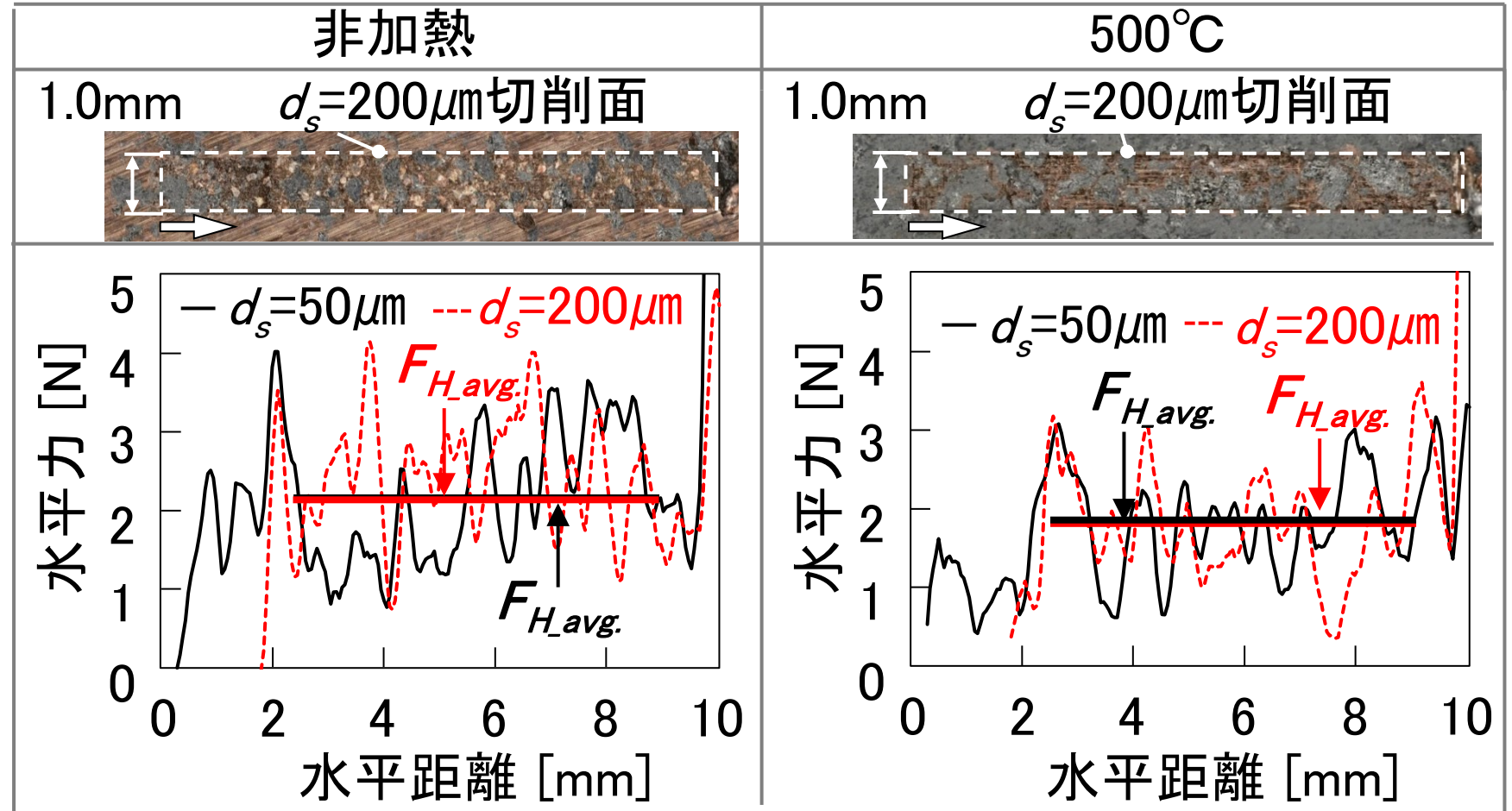
水平切削を繰り返し
 深さ方向の材料強度を分析

○熱負荷を受けた摩擦材の深さ方向の材料強度分析

切削力測定結果※



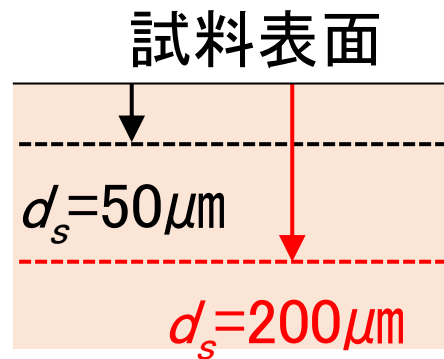
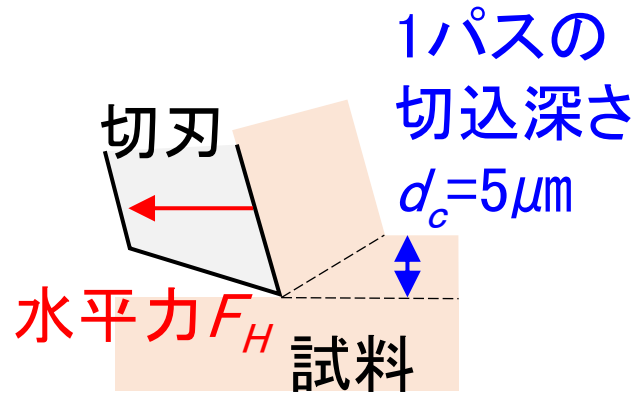
$F_{H\text{ avg.}}$ は $2.5 < X < 8.8\text{mm}$ の平均値



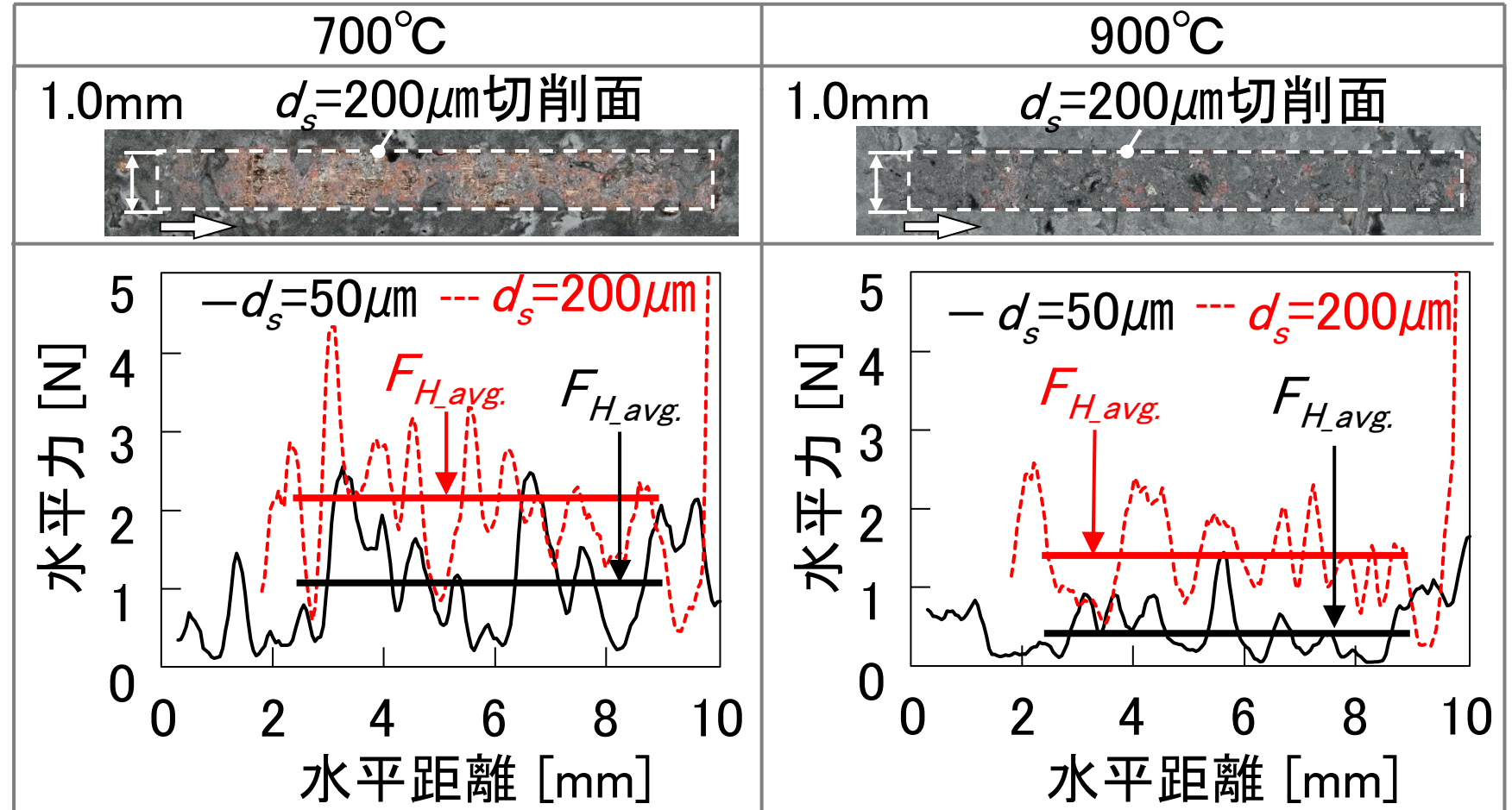
非加熱、500°Cともに深さ方向の強度変化はほぼなし

○熱負荷を受けた摩擦材の深さ方向の材料強度分析

切削力測定結果※



$F_{H_{avg.}}$ は $2.5 < X < 8.8\text{mm}$ の平均値



700°C、900°Cともに表層に近い深さ50μmの方が強度低下

Railway Technical Research Institute

※参考文献(4)より一部改変

○熱負荷を受けた摩擦材の深さ方向の材料強度分析

深さ方向の材料強度分析結果※

みなしせん断強度

$$\tau_s = \frac{F_H}{2d_c w}$$

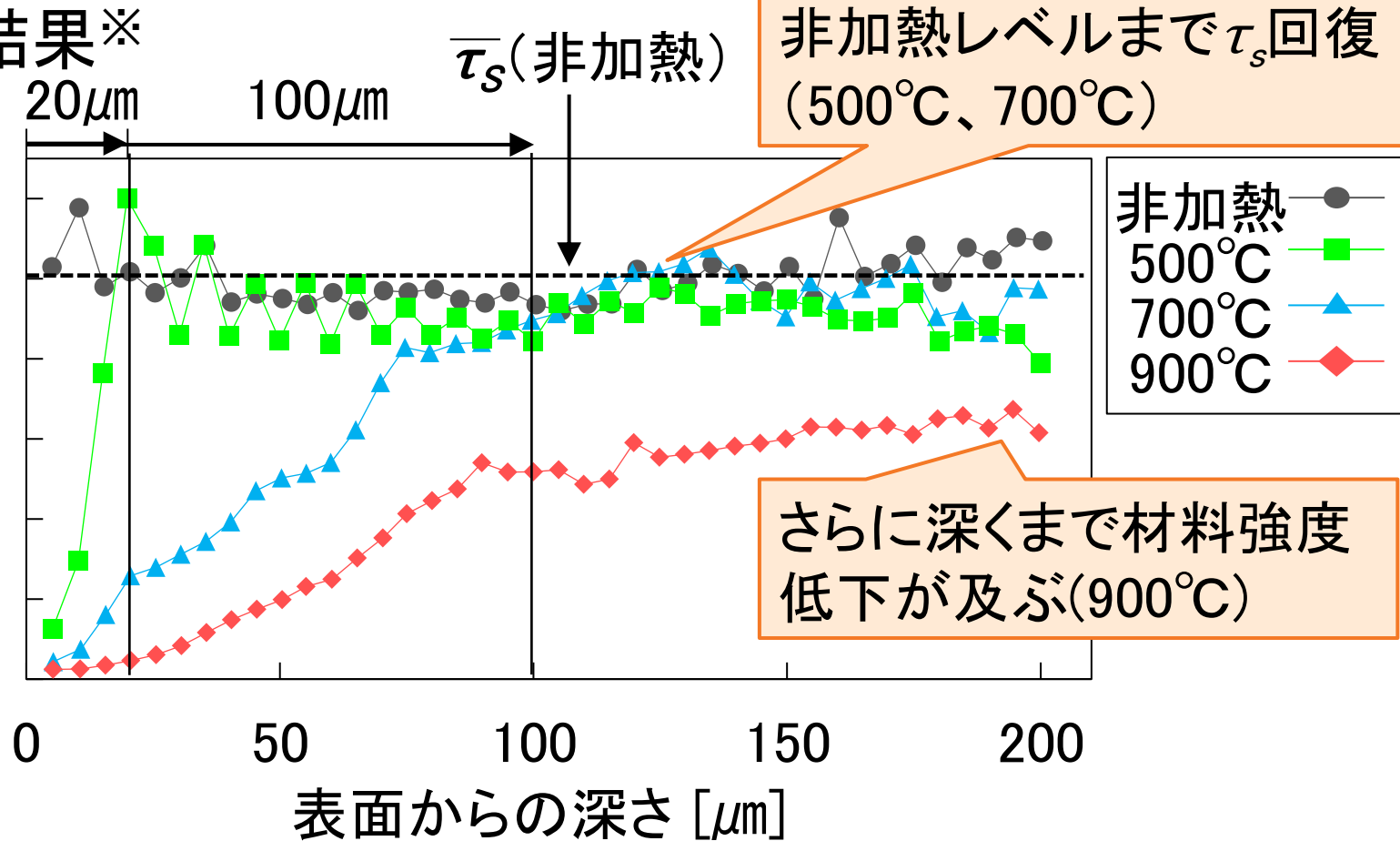
 F_H 、 d_c は $2.5 < X < 8.8 \text{ mm}$

の平均値

みなしせん断強度比

$$\tau_s' = \frac{\tau_s(\text{測定値})}{\tau_s(\text{非加熱})} \times 100 [\%]$$

みなしせん断強度比[%]



熱負荷による摩擦材劣化を材料強度を用いて定量的に分析可能
 ⇒劣化層深さの特定に有用なことを確認

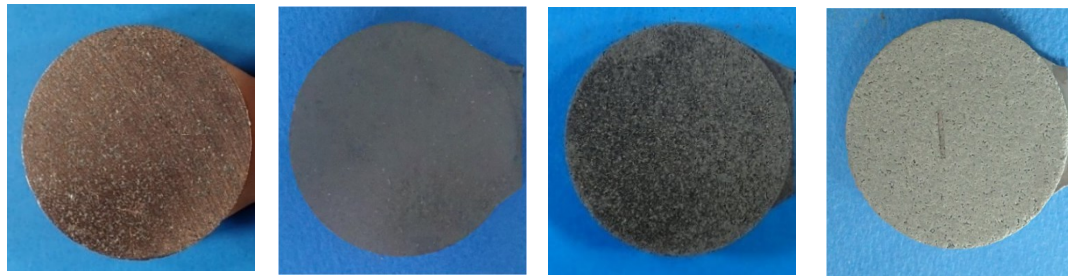
本日の発表

1. はじめに
2. 表面・界面物性解析装置を用いた材料強度分析手法
3. 摩擦材の材料強度分析
4. まとめ

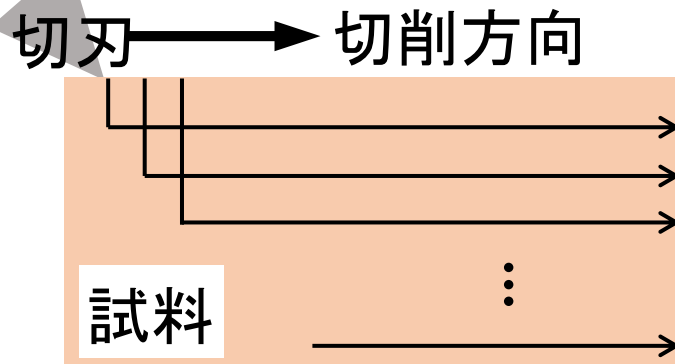
○まとめ

- SAICASを用いた銅系焼結合金摩擦材表層の材料強度分析が、摩擦材の熱劣化深さ特定に有用なことを確認した。

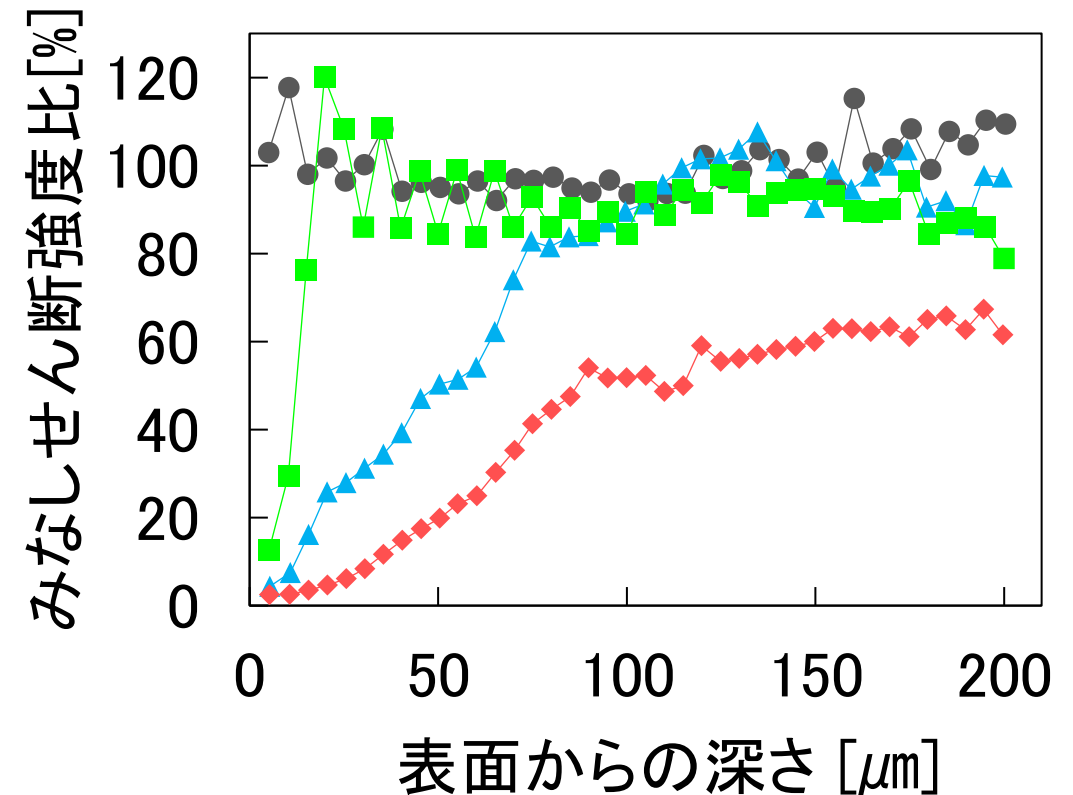
試料の準備※



SAICASによる測定

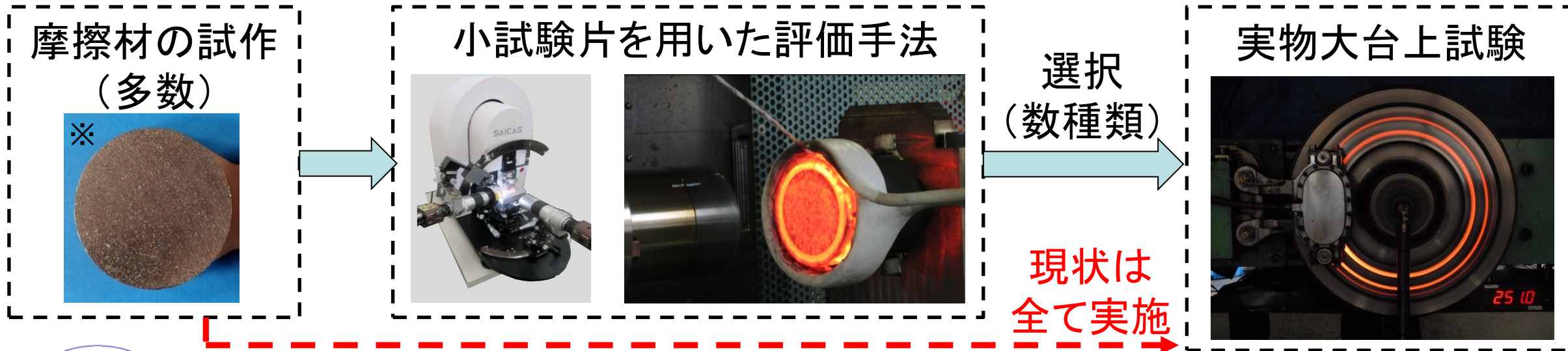


深さ方向の材料強度分析※



○成果の活用

- 実物大台上試験による摩擦係数、摩耗量との相関性を調査し、
簡便な摩擦・摩耗特性評価手法として提案
⇒ 摩耗量との相関性について今後報告予定
- 小試験片を用いた簡便な評価手法により、実物大台上試験に
供する摩擦材を選択し、開発期間を短縮



参考文献

1. 西森久宜、狩野泰、阪井章悟、辻貴史、北澤結寿華、銅系焼結合金摩擦材の基材耐熱性に関する新たな評価手法の提案、第27回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2020)講演論文集、No.S1-2-2、2020
2. 西森久宜、狩野泰、阪井章悟、辻貴史、銅系焼結合金摩擦材の基材耐熱性が摩擦係数に与える影響評価手法、鉄道総研報告、第35巻、第8号、pp.5-10、2021
3. 松原孝聡、西森久宜、野澤仁裕、狩野泰、表面・界面物性解析装置(SAICAS)を用いた銅系焼結合金の機械特性評価手法の検討、第29回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2022)講演論文集、No.S1-4-2、2022
4. 松原孝聡、西森久宜、奥村茂里、野澤仁裕、狩野泰、熱負荷を受けたブレーキ摩擦材のSAICASによる材料強度分析、第30回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2023)講演論文集、No.S1-2-4、2023