

材料の壊れない仕組みを科学する

学術研究院環境生命自然科学学域(工) 応用固体力学研究室

坂本 惇司

- 機械・構造物の老朽化が進む中、材料のき裂の拡大による破壊過程の解明は急務だが、人工的に再現性の良いき裂を材料中に作製する手段が無かった。
- 集束イオンビーム(FIB)の利用により、**任意形状のき裂(欠陥)を材料中に作製することに成功した。**
- 再現性の良いき裂を用いることで、**き裂からの破壊現象の解明**はもとより、**冷間圧着現象による自己治癒する金属材料の開発等**にも応用できる。

1. 集束イオンビーム(FIB)による模擬き裂(欠陥)の導入技術

炭素鋼の疲労損傷メカニズムの解明への応用^[1]

疲労破壊は、微小なき裂が発生し、それが成長することにより起こる。
⇒ FIB模擬き裂を導入することで、詳細なき裂の挙動の分析が可能になる。

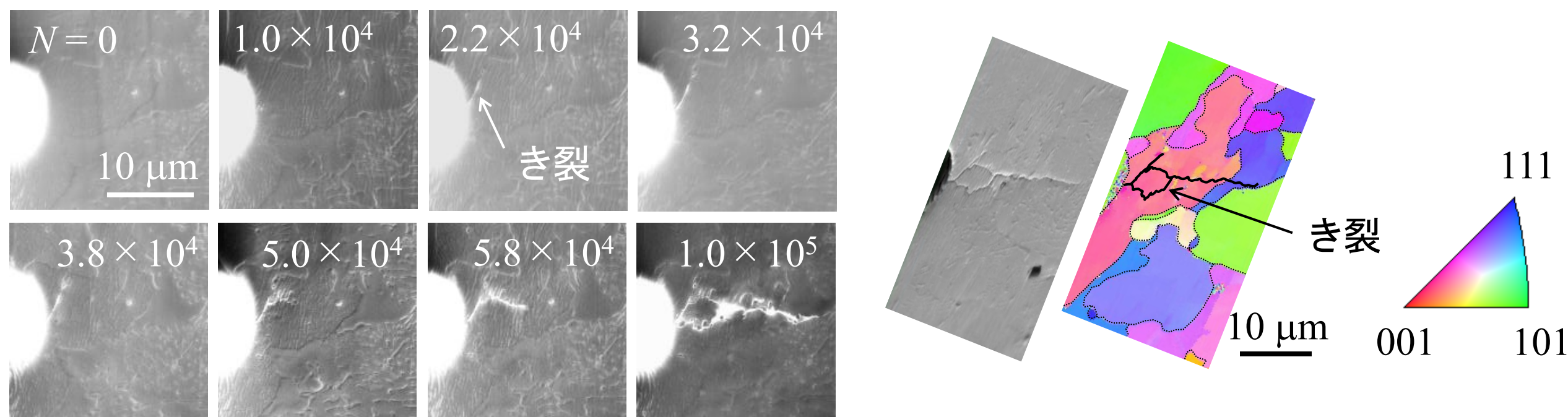


図1. FIB模擬き裂から進展するき裂の分析

Ti-6Al-4V細線の引張特性に及ぼす欠陥形状・寸法の影響評価への応用^[2]

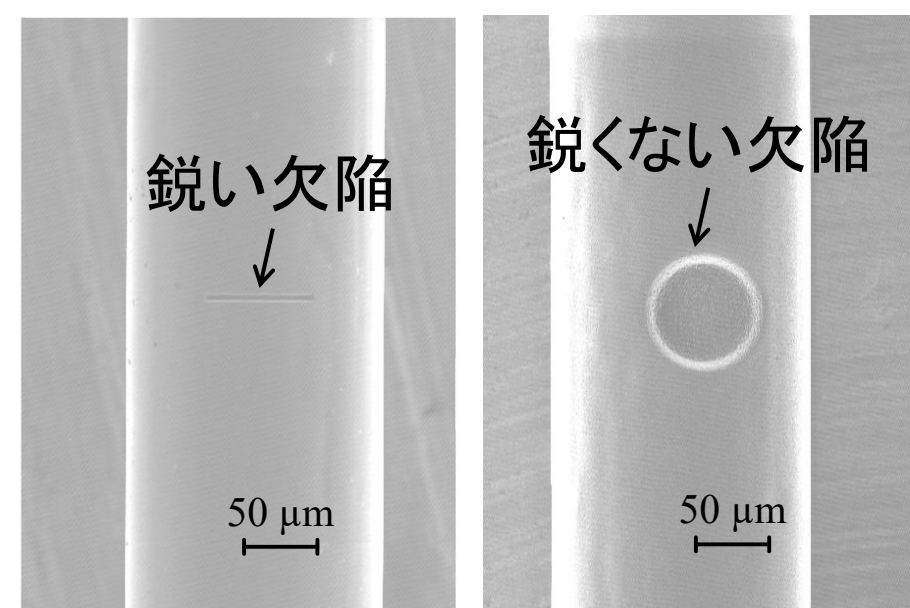


図2. FIBで導入した欠陥

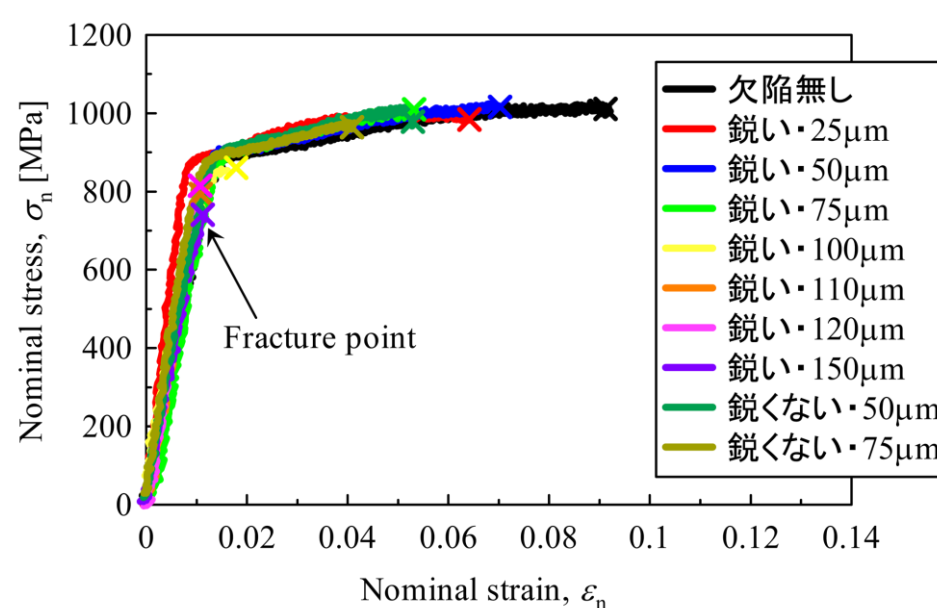


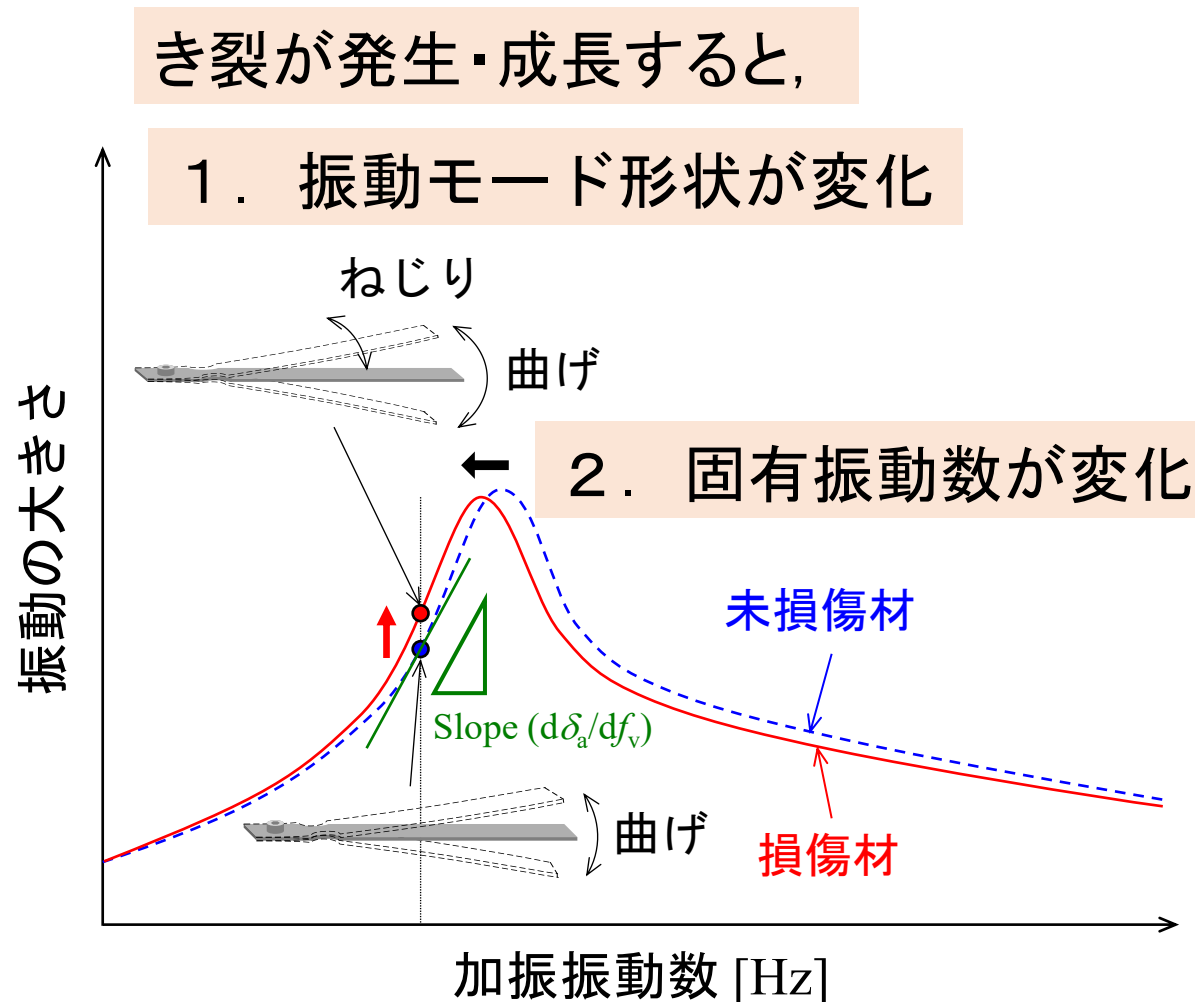
図3. 応力ひずみ線図に及ぼす欠陥の形状・寸法の影響

欠陥を導入することで、実材料の壊れ方を解明し、壊れない仕組みを提案する。

[1] Junji Sakamoto, Shigeru Hamada, Hiroshi Noguchi, Effects of the shape and small flaws and damage due to a focused ion beam on the fatigue strength characteristics of annealed medium-carbon steel, *Engineering Failure Analysis*, Vol.87, pp.49–68, 2018.
[2] Junji Sakamoto, Noya Tada, Takeshi Uemori, Koyo Oishi, Effect of artificial defect on tensile properties of thin titanium alloy wire, *Mechanical Engineering Journal*, Vol.11, p.24-00129, 2024.



2. 振動時の材料損傷の評価と非破壊検査への応用



「振動の変化」と「材料の損傷」の関係性を調査

→ A7075の曲げ振動時の疲労強度の評価[3]

→ Ti-6Al-4Vにおける曲げ振動の変化を利用したき裂寸法の予測手法[4]

“Slope ($d\delta_a/df_v$)”を用いて各加振振動数における振動変化の度合いを予測する。

「高周波数」で試験が可能なことを利用

→ Ti-6Al-4Vの超高サイクル疲労時のき裂発生箇所の微視組織の特徴の解明

図4. 損傷時の振動特性の変化の模式図

[3] 坂本 淳司, 多田 直哉, 上森 武, アルミニウム合金の曲げ振動下の振動変化とき裂進展, 日本機械学会論文集, Vol.90, p.24-00008, 2024.

[4] Junji Sakamoto, Noya Tada, Takeshi Uemori, Method for predicting crack size using amplitude change in titanium alloy under bending vibration, *Procedia Structural Integrity*, Vol.68, pp.1319-1323, 2025.

3. 力学と材料学に基づいた微視的変形の評価

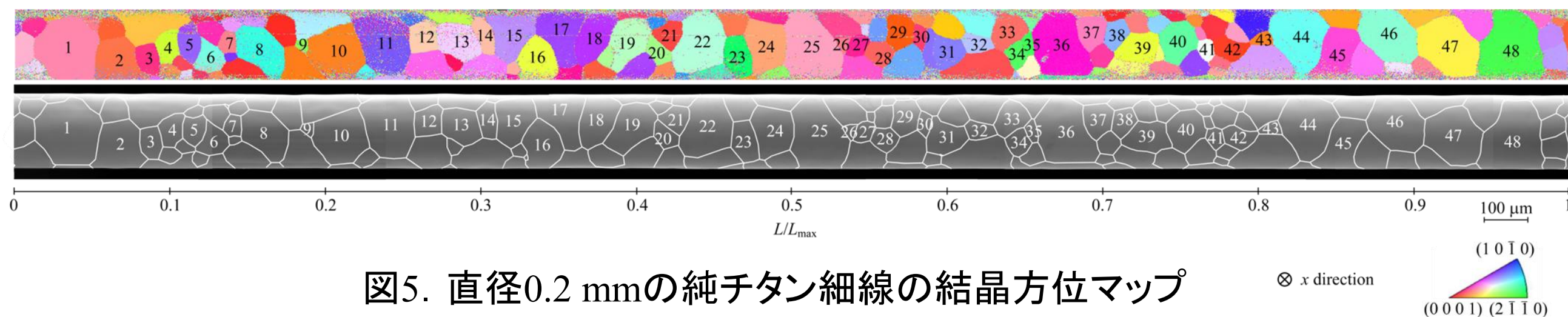


図5. 直径0.2 mmの純チタン細線の結晶方位マップ

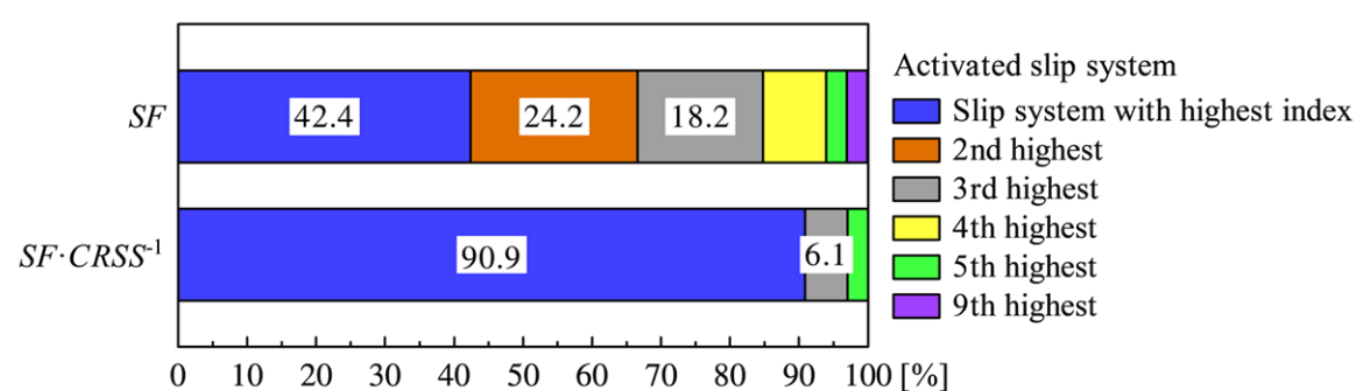


図6. 力学的パラメータによる変形の予測率

力学と材料学に基づいた純チタン細線の微視的変形の評価[5]

自由表面座標系の導入

表面に対する角度で変形のしやすさが異なることから、表面が曲率を持つ場合に新たな座標系の導入した。

[5] Junji Sakamoto, Naoya Tada, Takeshi Uemori, Tensile properties and slip deformation behavior of pure titanium thin wire with a small diameter-to-grain-size ratio, *Materials Science and Engineering: A*, Vol.863, 144532, 2023.

4. 自己治癒する金属材料の開発への挑戦(構想中)

常温でも酸化膜が無い状態の金属同士がくっつく現象(冷間圧着)を用いたき裂の自己治癒の可能性の検討 (金属表面の酸化膜の除去方法を検討中)

