

放射光によるアルミニウム合金の 疲労き裂進展の観察

2007年7月20日

株式会社 東芝
沖縄工業高等専門学校

佐野 雄二
政木 清孝

報告内容

放射光によるアルミニウム合金の 疲労き裂進展の観察

- 研究の目的
- レーザピーニングの概要／疲労強度の向上
- 透過／CT像における屈折コントラストの検討
- 疲労によるき裂進展の非破壊観察
- まとめ／今後の計画

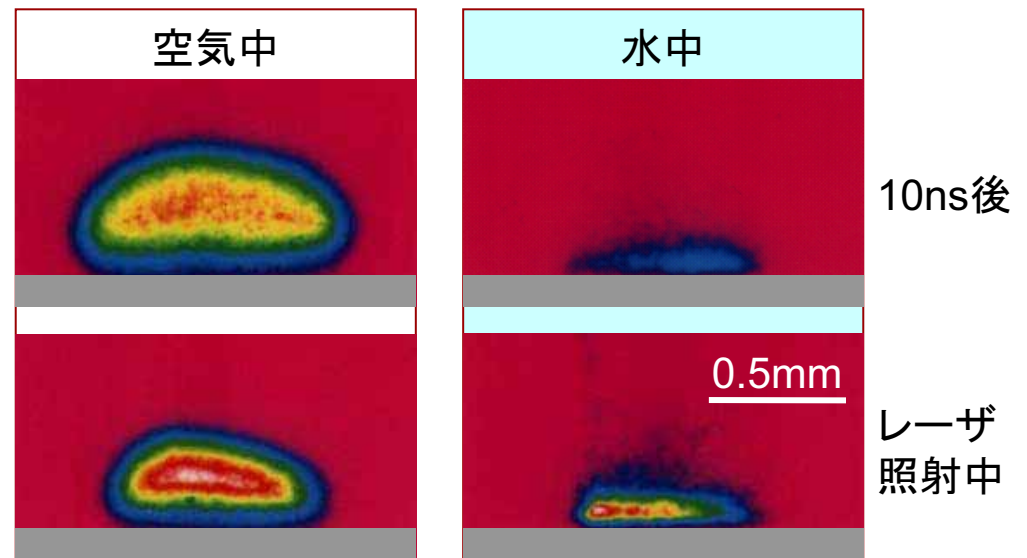
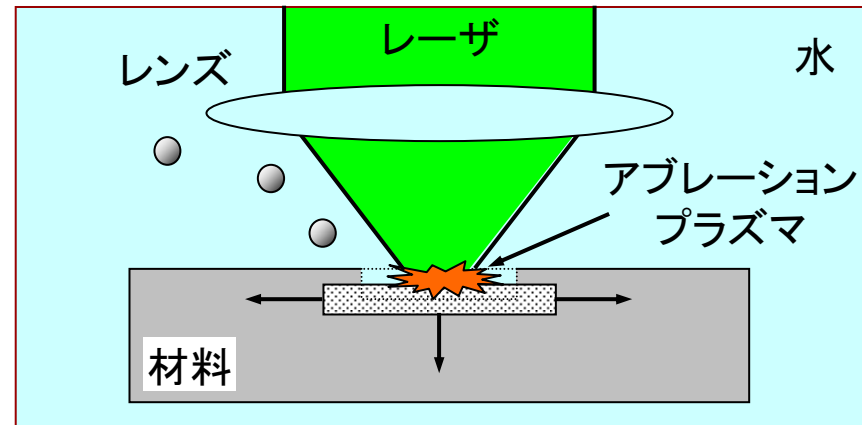
研究の目的

- 材料内部の疲労き裂形状の把握
- 疲労き裂の3次元的な進展の様子を把握
- 残留応力分布と疲労き裂進展(形状)の関係を把握
- 表面処理(レーザピーニング)による疲労き裂の進展抑制効果の確認
- 表面処理(レーザピーニング)条件の最適化による疲労強度の極大化

レーザーピーニングとは

水中または水膜がある状態でパルスレーザーを照射したときの衝撃力を利用して、材料表面の残留応力を改善する技術

- 1994年に原理確認(東芝)
- 施工面の前後処理が不要
- より深い残留応力改善が可能
- 施工条件の制御が容易なため効果が確実で再現性が高い
- 残留応力の制御が容易
- 反力がなく狭い部位にも適する

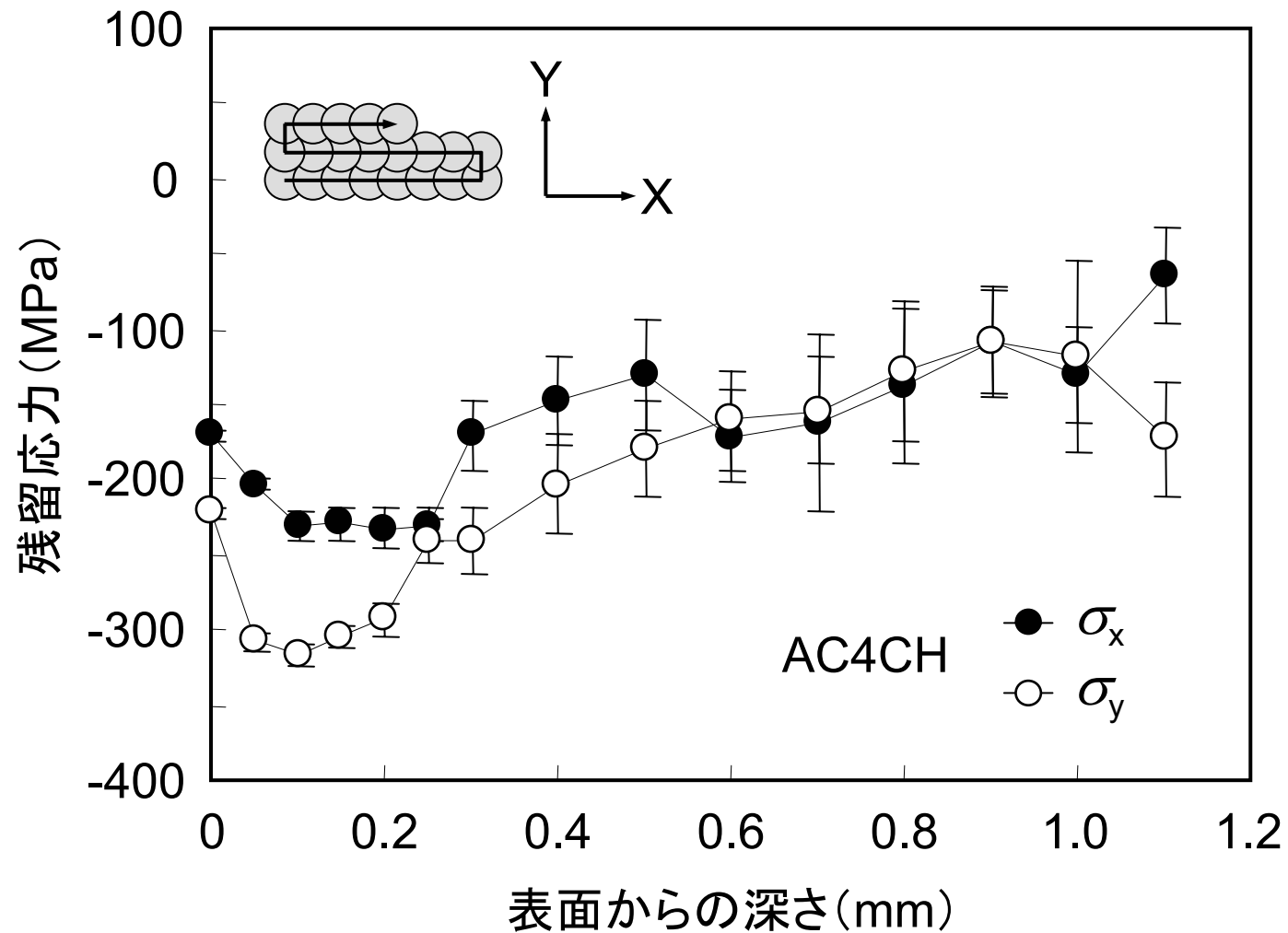


水でプラズマを閉じ込めて高圧化(数GPa)

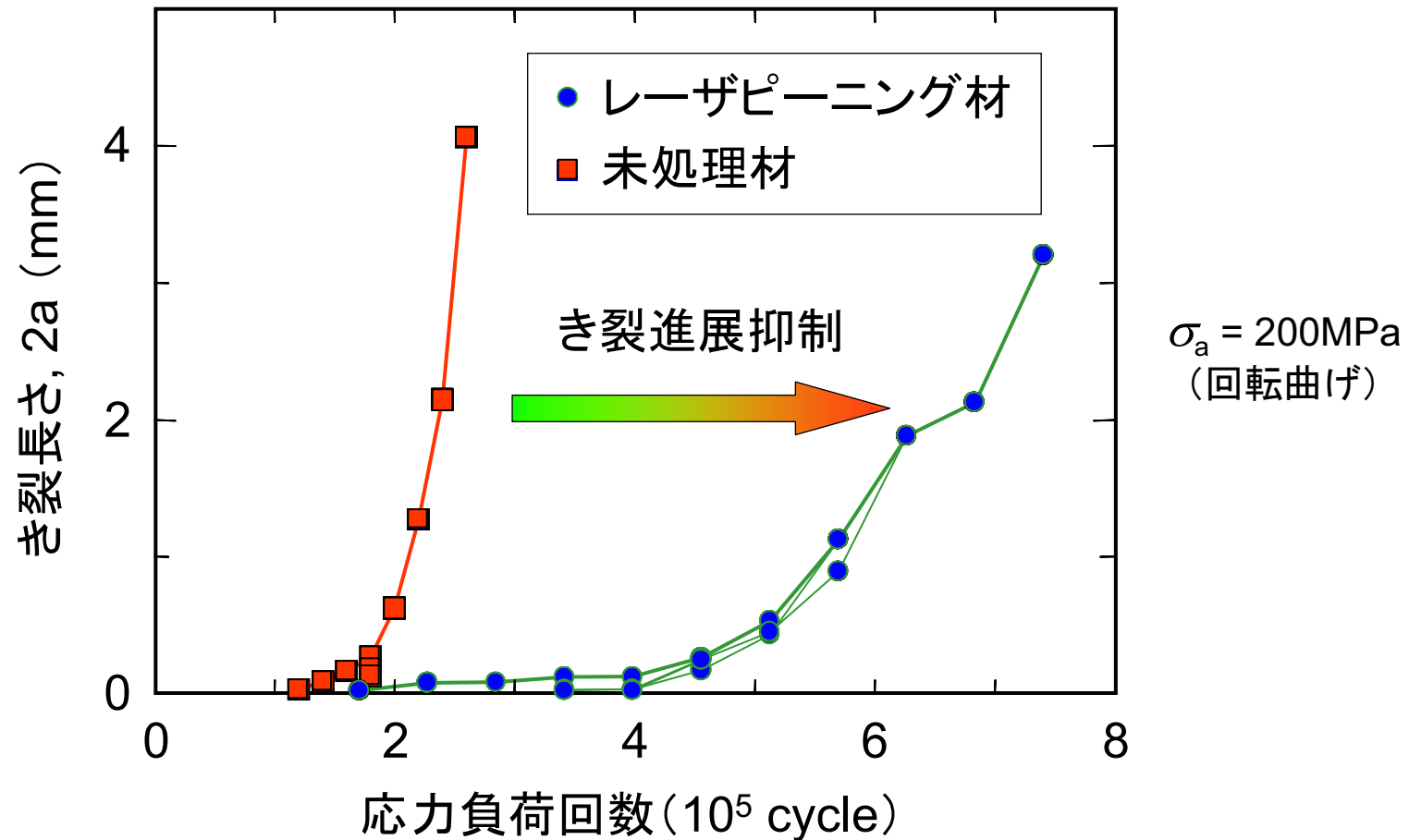
レーザーピーニング施工



アルミニウム合金 (AC4CH) の残留応力

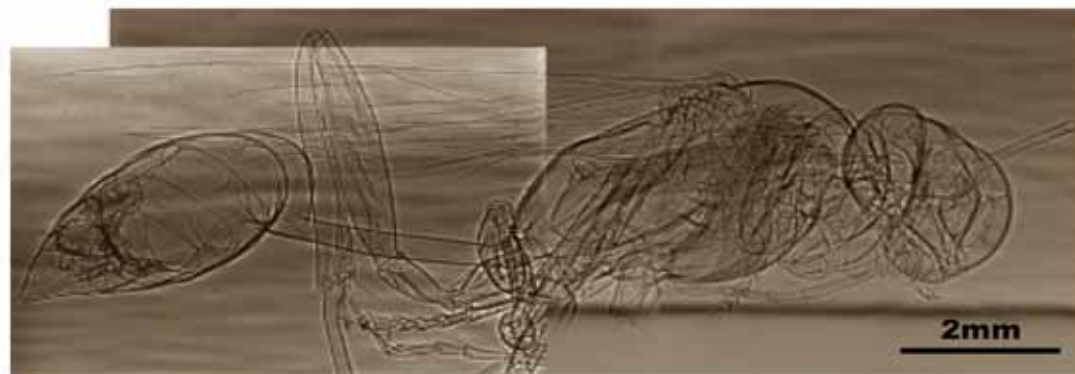
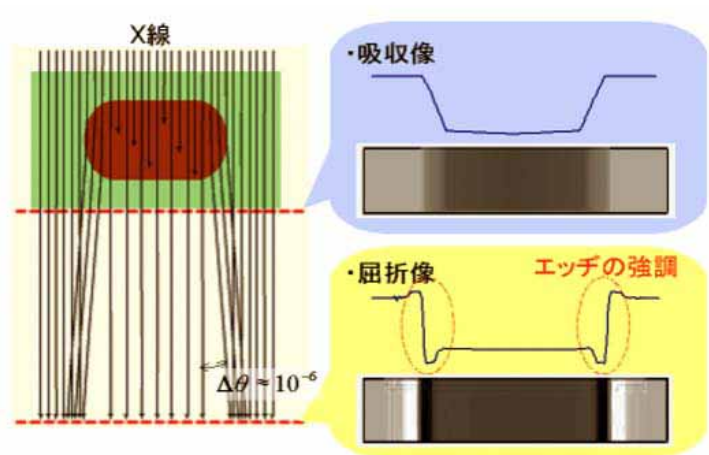


アルミニウム合金 (AC4CH) の疲労き裂進展



レプリカ(光学顕微鏡)により観察 → 内部のき裂形状は？

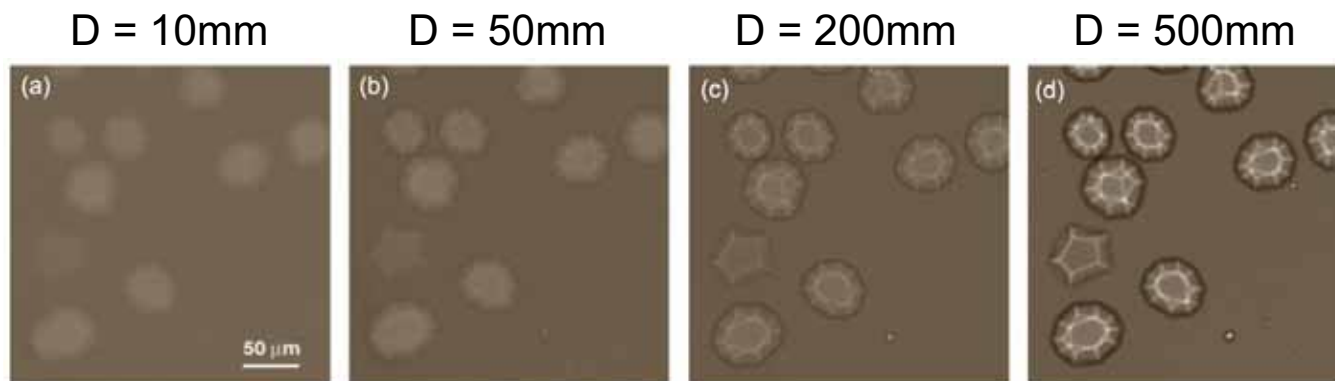
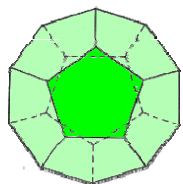
屈折コントラストの効果(透過像エッチの強調)



昆虫の屈折コントラスト像(SPring-8 BL19B2)

http://support.spring8.or.jp/document/Co_030710.html

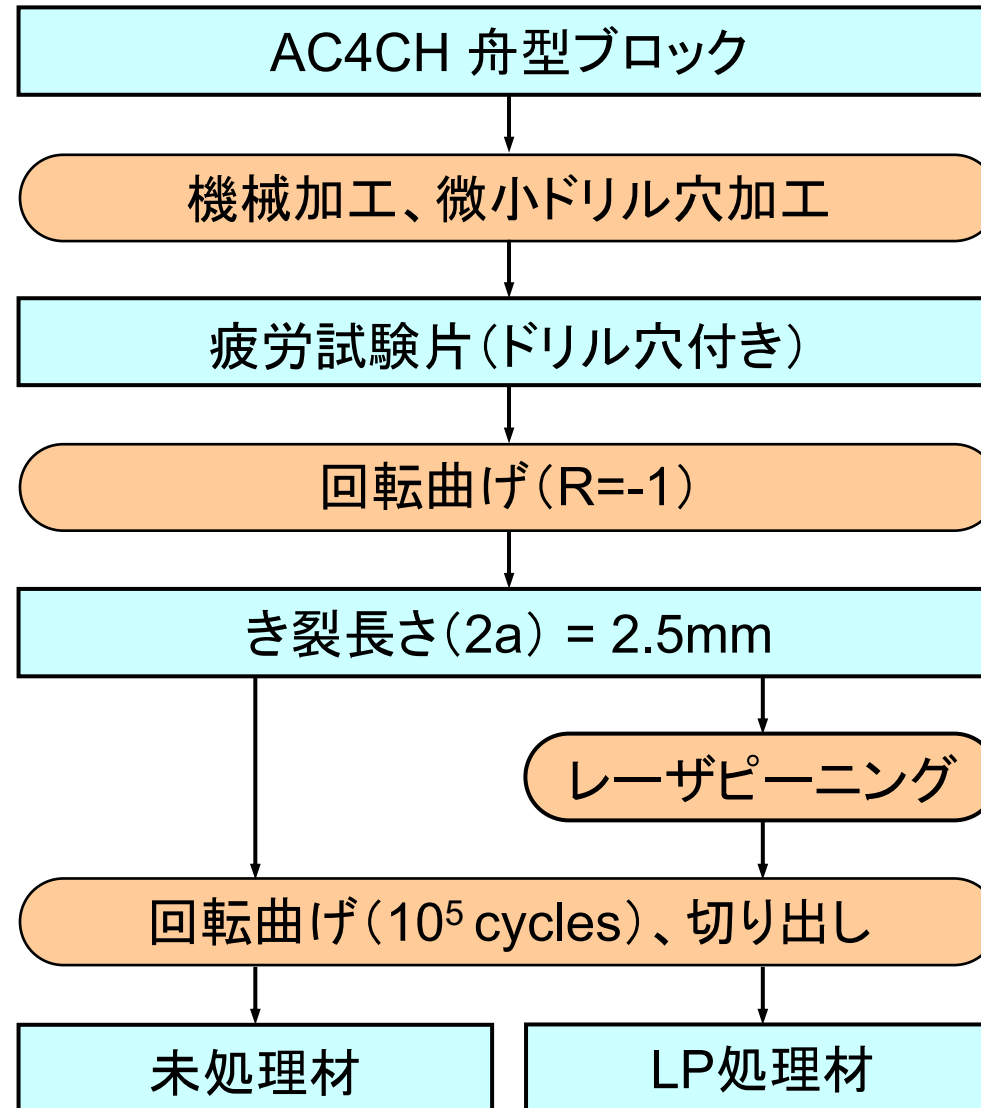
準結晶 (Al-Pd-Mn) 中の
ポアの屈折コントラスト像



S. Agliozzo and P. Cloetens, J. Microscopy, **216** (2004) 62

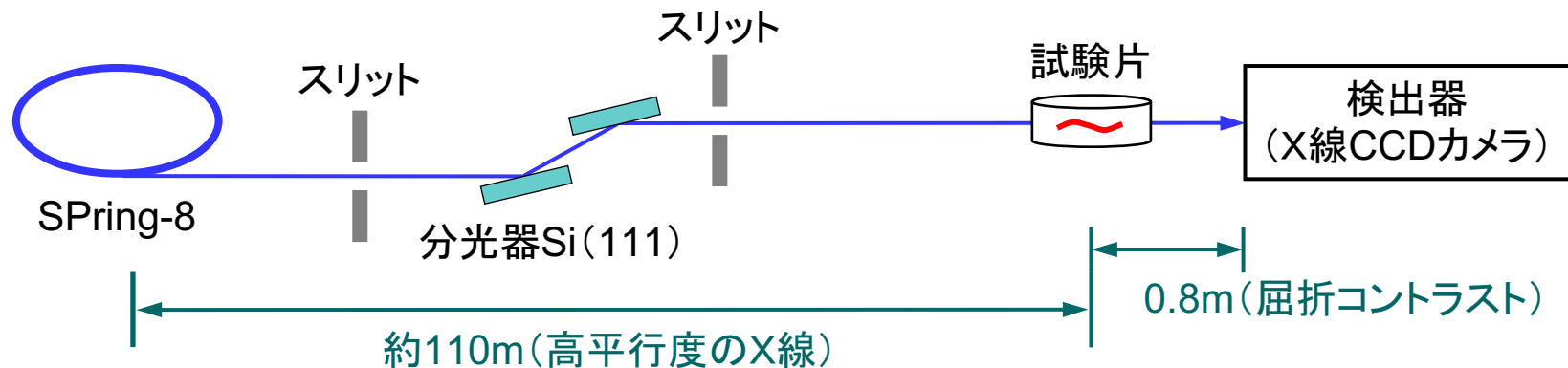
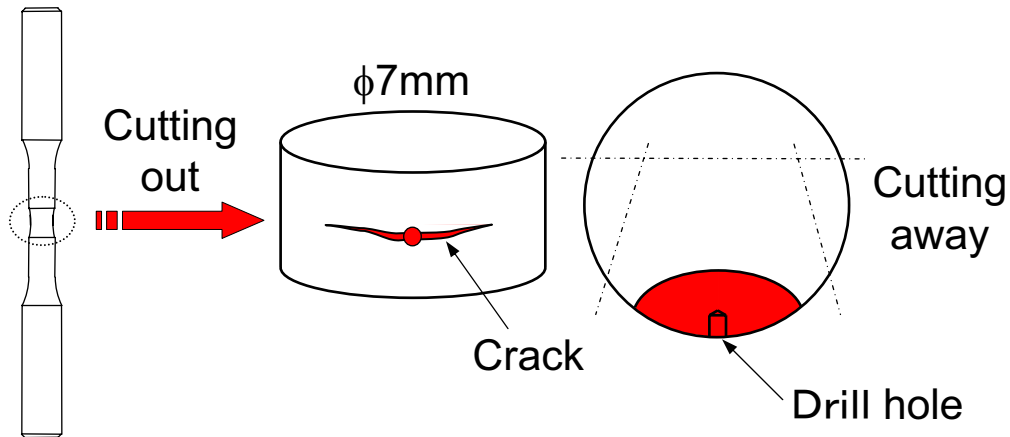
試験片準備(透過/CT)

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」



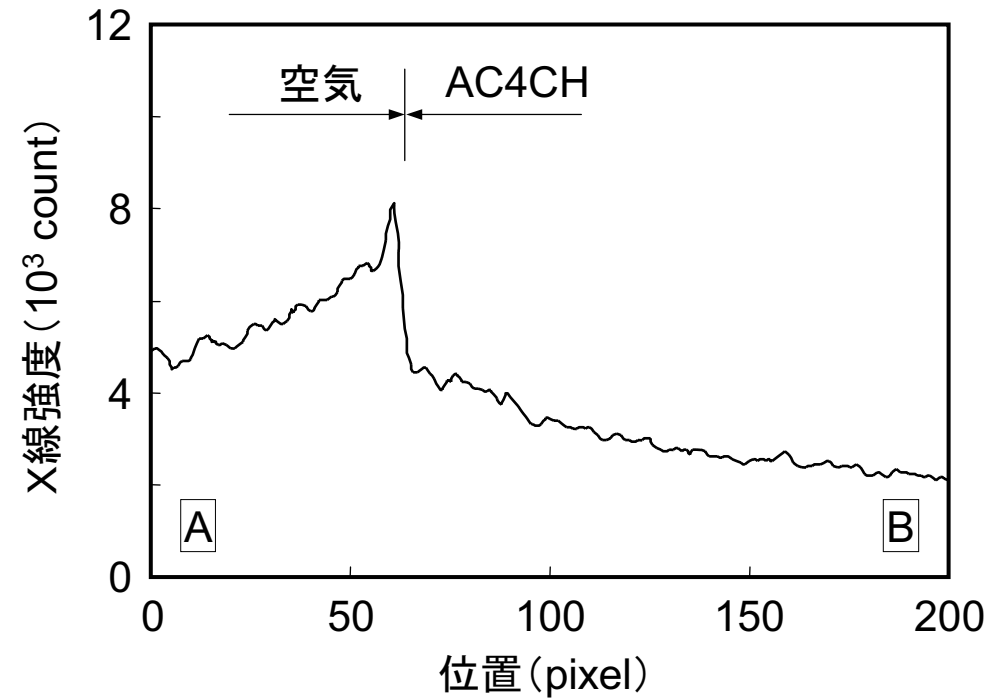
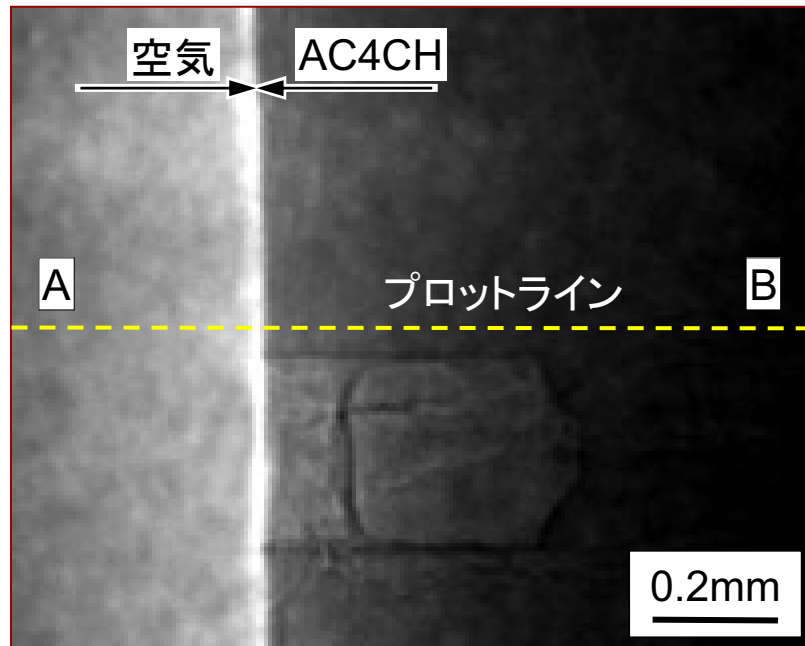
試験片準備／透過・CT像の撮影

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」



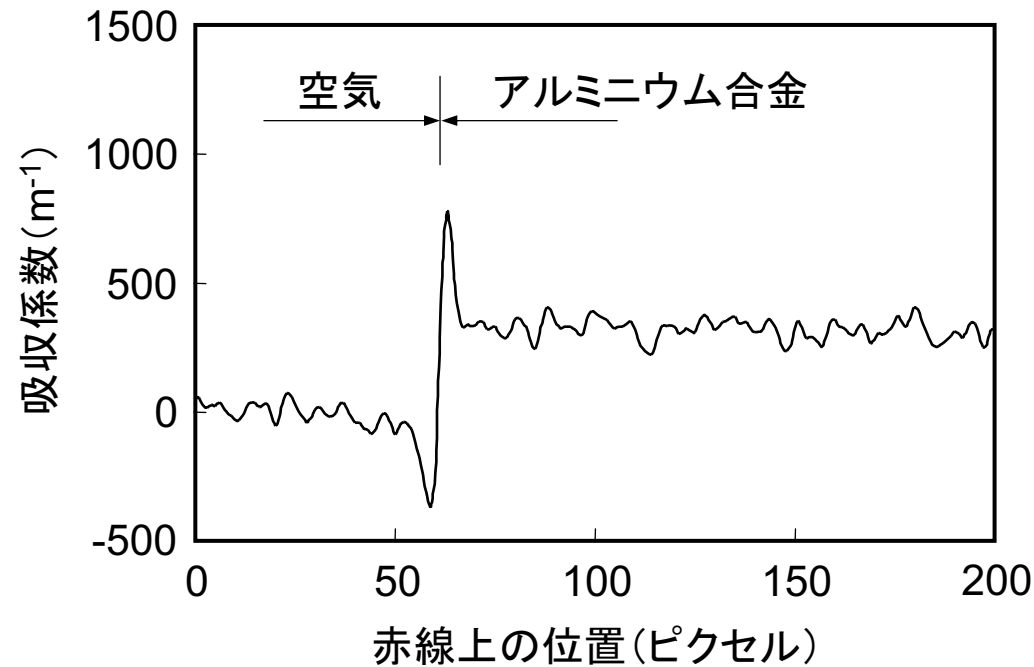
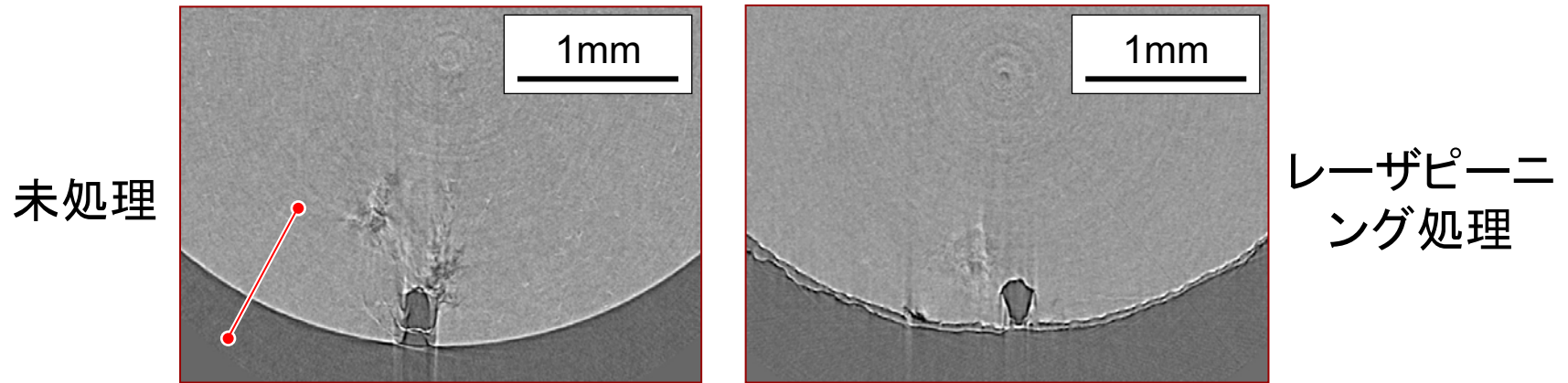
屈折コントラストの効果(透過像)

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」



屈折コントラストの効果(再構成スライス像)

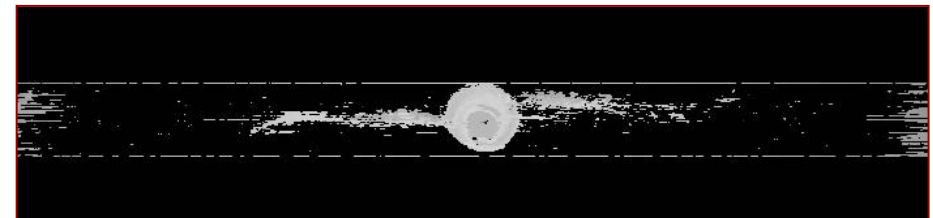
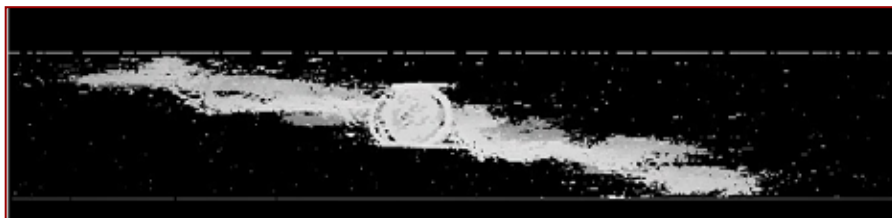
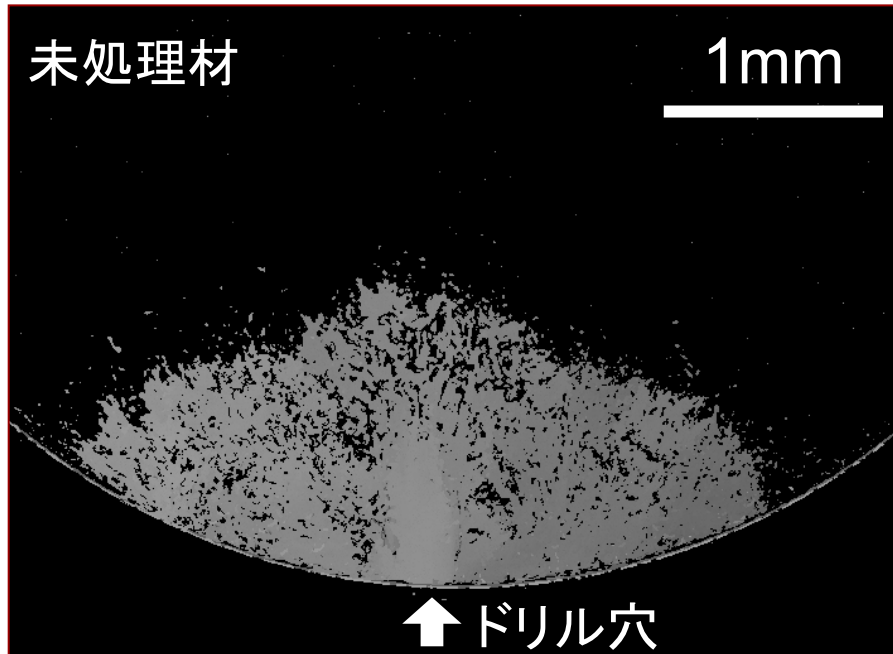
「先端大型研究施設戦略活用プログラム」



疲労き裂の3D表示

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」

①ドリル穴 → ②き裂導入 → ③レーザピーニング(有/無) → ④試験継続



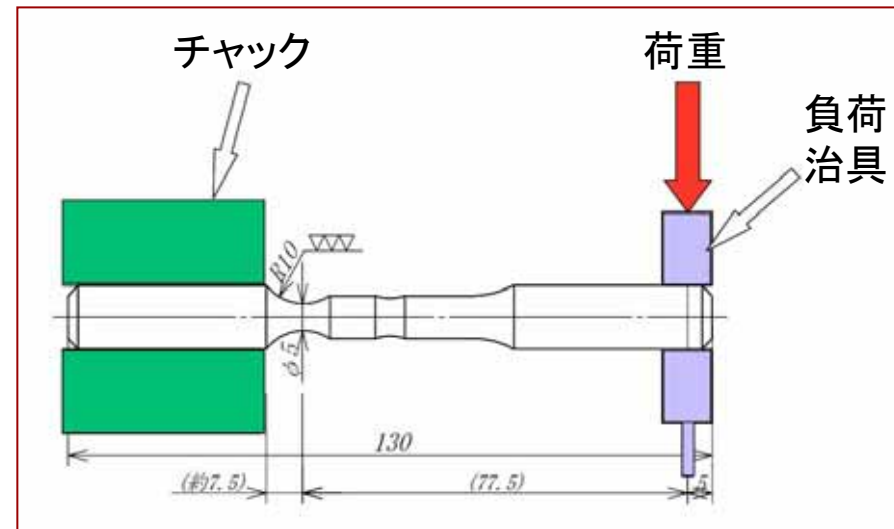
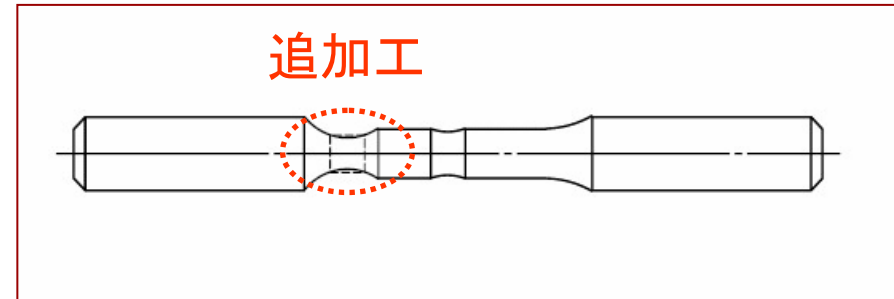
レーザピーニングにより疲労き裂の進展が抑制されていることを確認

疲労試験機の試作／試験片形状の変更

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」



回転曲げ疲労試験機

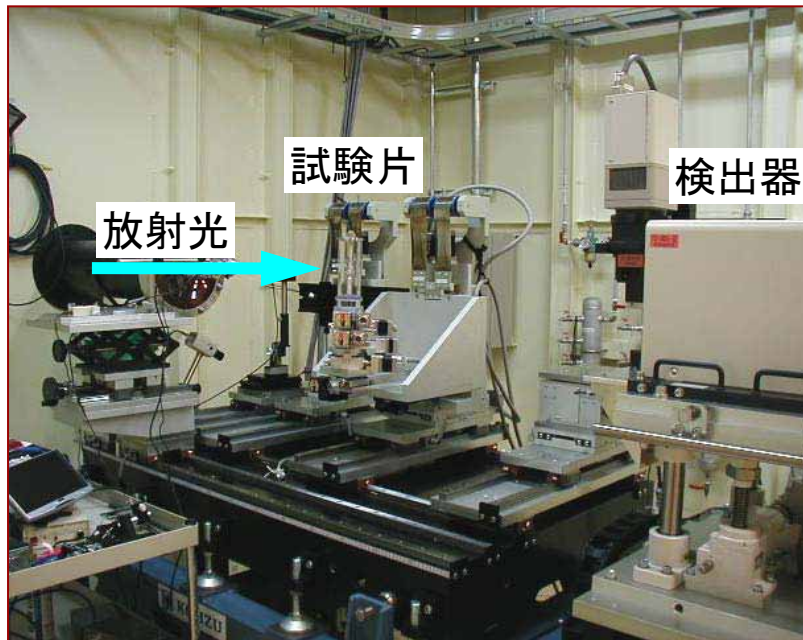


試験片形状の変更

イメージング(マイクロCT)試験状況

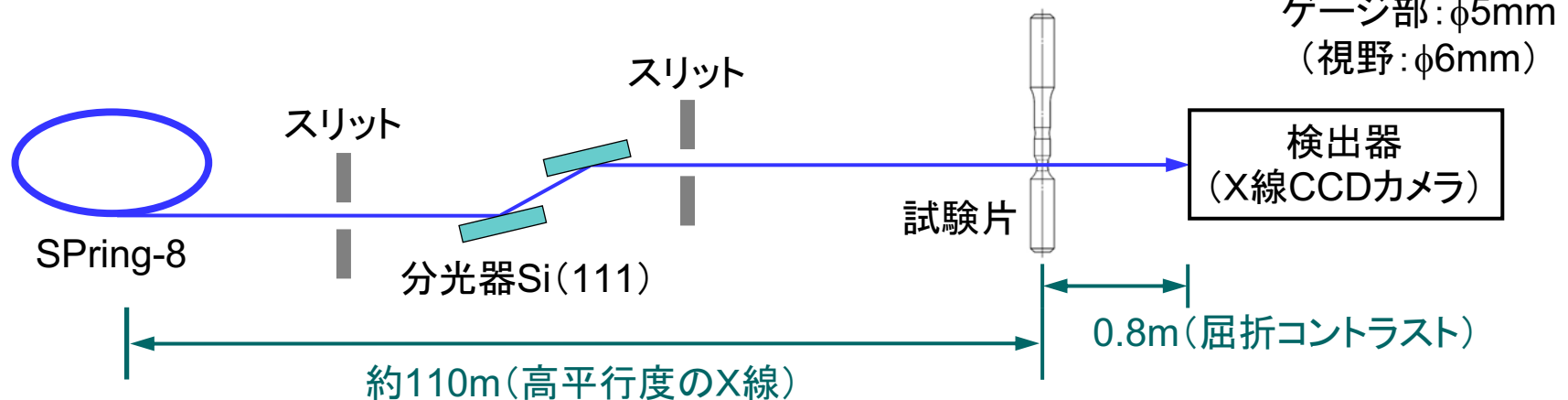
「先端大型研究施設戦略活用プログラム」

SPring-8
(BL19B2)
第3ハッチ



試験片

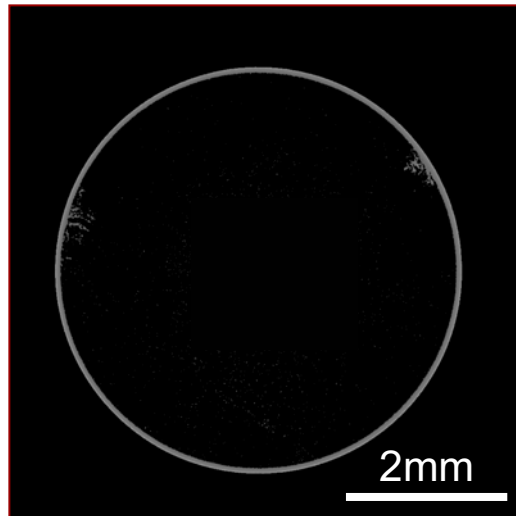
き裂



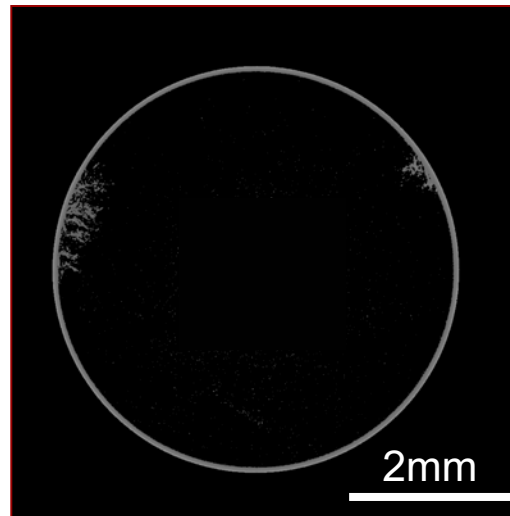
疲労き裂の成長を非破壊で確認

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」

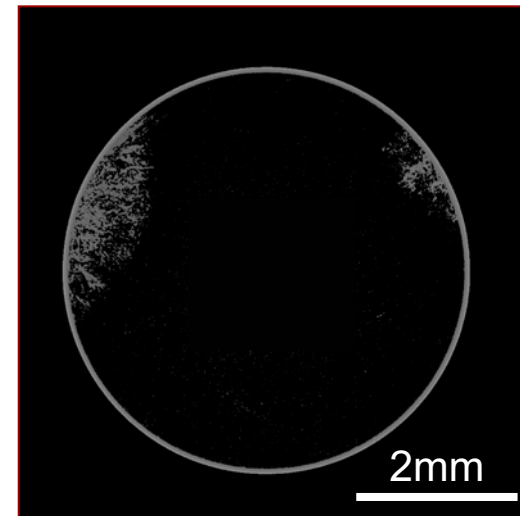
高強度・高平行度の放射光を使用することにより、
金属疲労によるき裂の成長を非破壊で観察（未施工材）



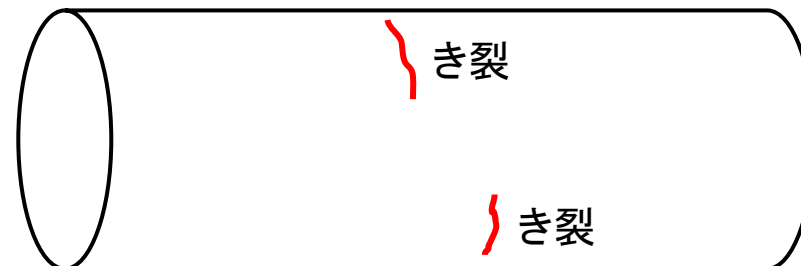
負荷繰返し：60万回



負荷繰返し：63万回



負荷繰返し：65万回

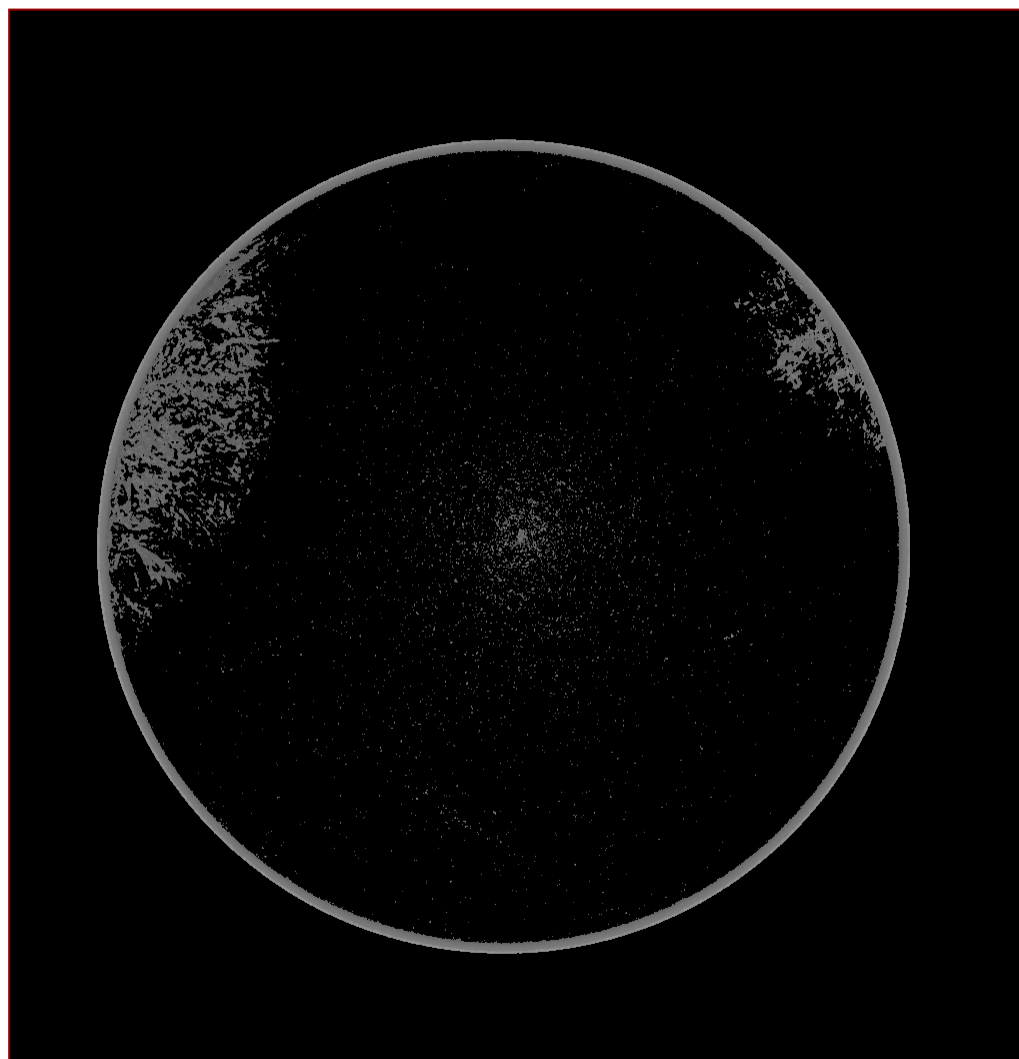


丸棒
試験片

疲労き裂の成長を非破壊で確認

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」

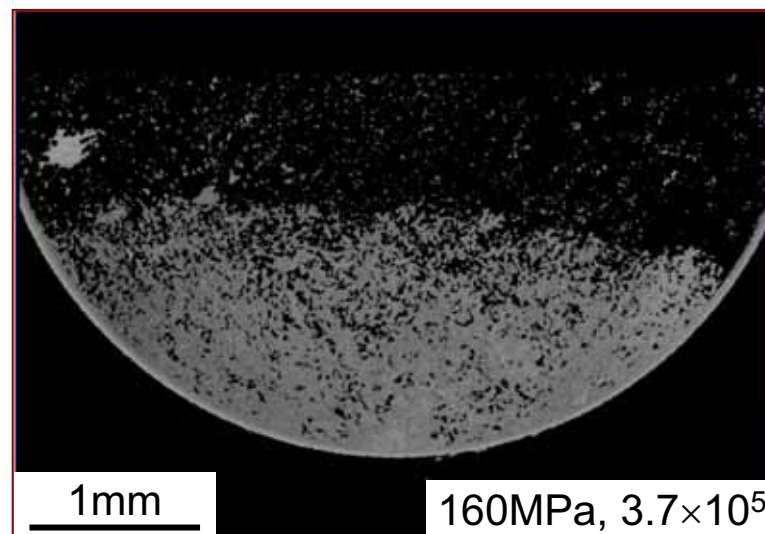
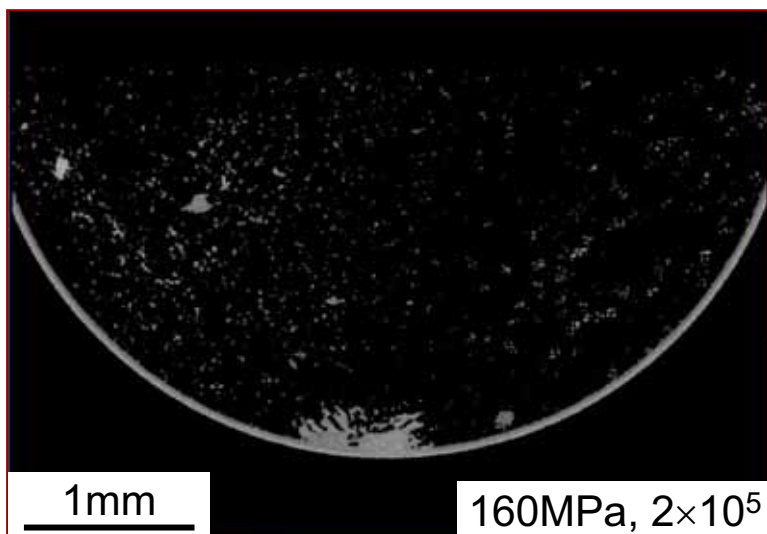
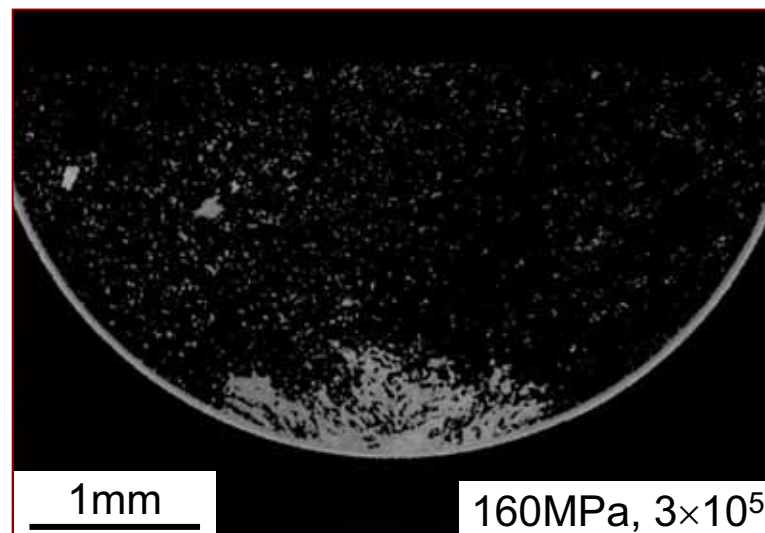
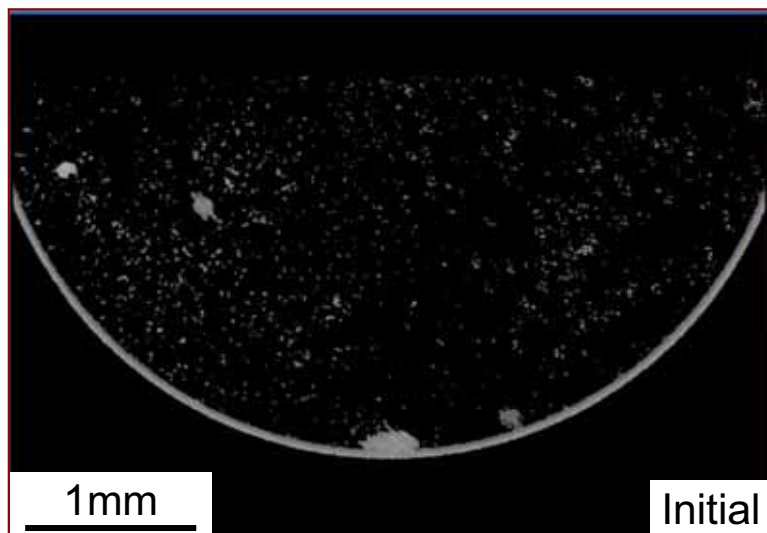
鋳造アルミニウム
合金 (AC4CH)
未施工材



$\sigma_a = 160\text{MPa}$
(回転曲げ)
 6.5×10^5 cycles

疲労き裂の成長を非破壊で確認

「先端大型研究施設戦略活用プログラム」



まとめ／今後の計画

まとめ

- 高エネルギー・高輝度・高平行度の放射光を線源とし、吸収と屈折コントラスト効果を併用したマイクロCTにより、鋳造アルミニウム合金(AC4CH)の微細な疲労き裂を画像化できることを確認した。
- レーザピーニングによる疲労き裂の進展抑制効果を確認した。
- 疲労き裂の進展の様子を非破壊で確認した。

今後の計画

- き裂進展に伴う応力再分布の検討、残留応力を考慮したき裂進展シミュレーション(ひずみスキャニング、FEM)
- 屈折コントラスト効果の定量的な検討
 - ・き裂とX線が平行(従来)でないとき
 - ・ファントムを使用した定量的な検討
 - ・マイクロフォーカスX線CTとの比較

ご清聴ありがとうございました

参考文献

平成17年度 先端大型研究施設戦略活用プログラム成果報告書
SPring-8戦略活用プログラム(2005B)171-176頁

平成18年度 先端大型研究施設戦略活用プログラム成果報告書
SPring-8戦略活用プログラム(2006A)148-152頁

平成18年度 先端大型研究施設戦略活用プログラム成果報告書
SPring-8戦略活用プログラム(2006B)160-165頁