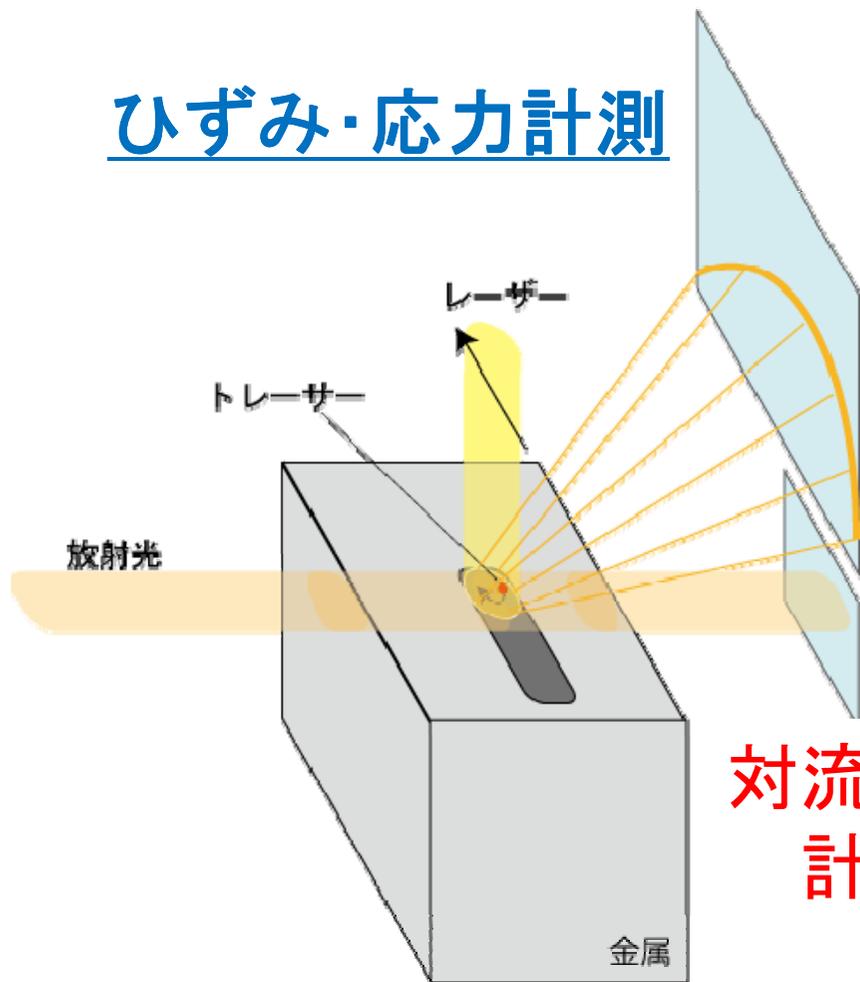


# リアルタイム測定を目指した2次元検出器による ひずみ・応力測定技術

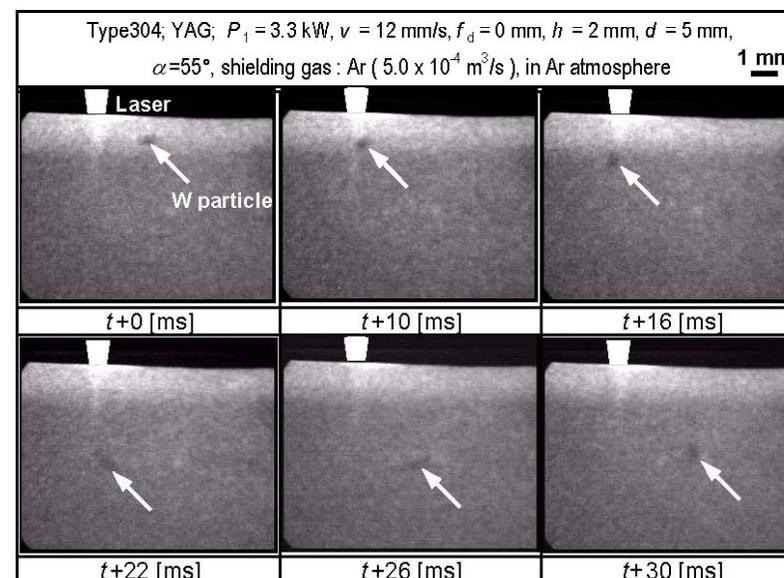
## ひずみ・応力計測



## 対流現象 計測

(独) 日本原子力研究開発機構  
量子ビーム応用研究部門  
弾塑性材料評価研究Gr.

菅蒲敬久 (shobu@spring8.or.jp)



溶接学会論文集 第24 卷 第2号 p. 149-161 (2006)

1. 2次元検出器の魅力
2. 2次元検出器による応力・ひずみ測定
3. リアルタイム2次元検出器
4. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定
5. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布測定技術開発
6. まとめ

1. 2次元検出器の魅力
2. 2次元検出器による応力・ひずみ測定
3. リアルタイム2次元検出器
4. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定
5. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布測定技術開発
6. まとめ

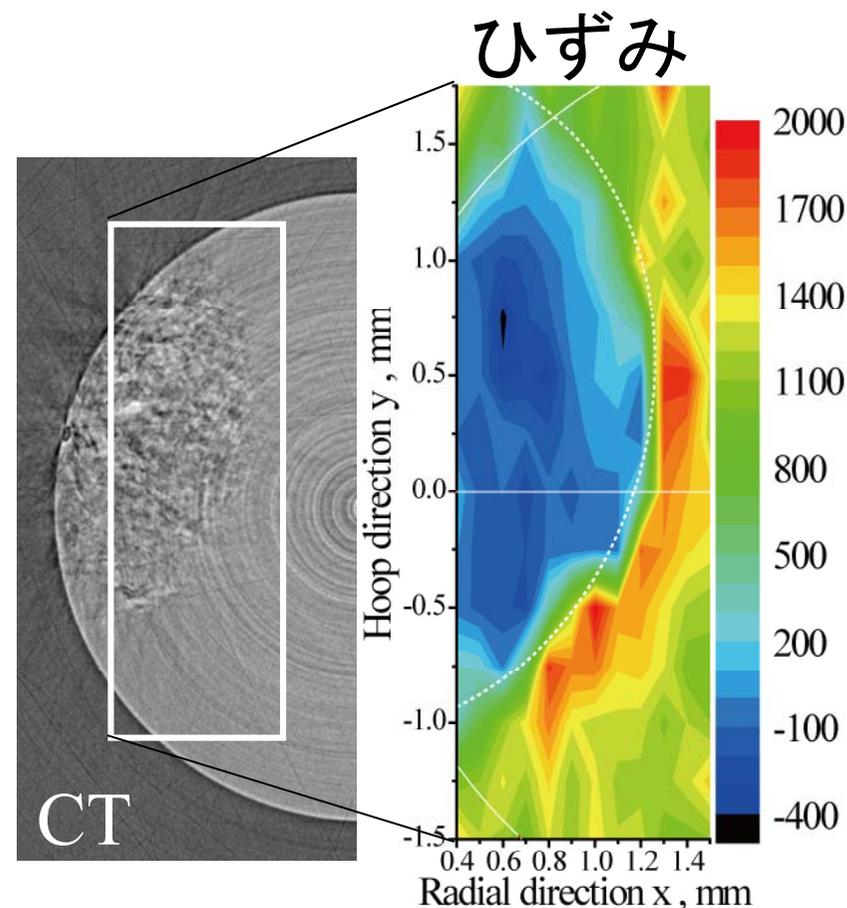
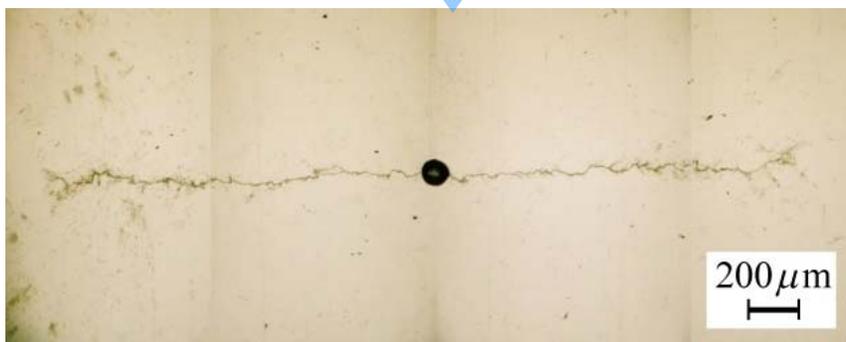
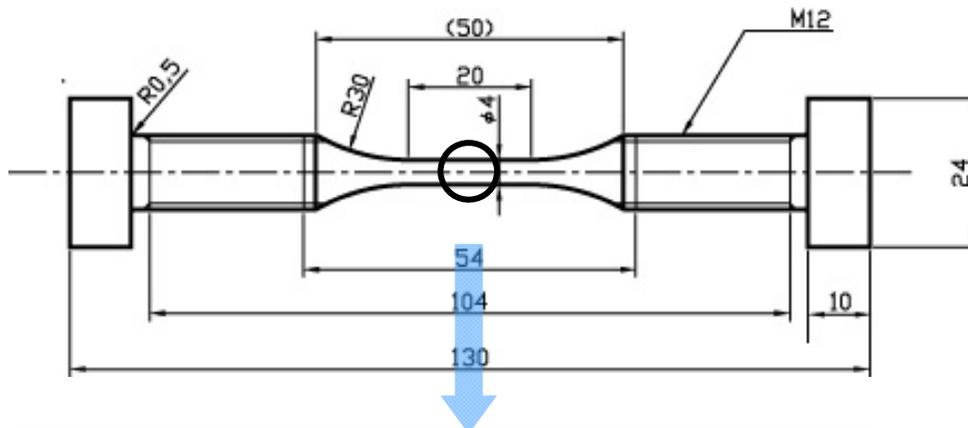
# 1. 二次元検出器の魅力

現在のひずみ・応力測定

- 高エネルギー
- アンジュレータ光源

内部  
微小部 → 内部分布

機械構造用炭素鋼S45C



材料Vol.58, No.7, pp588-595 (2009)

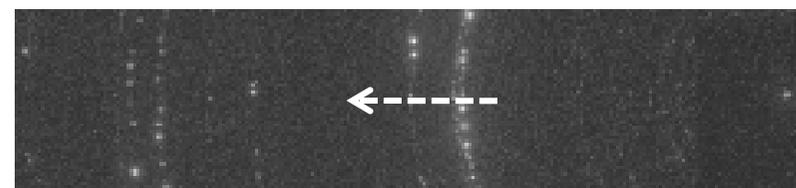
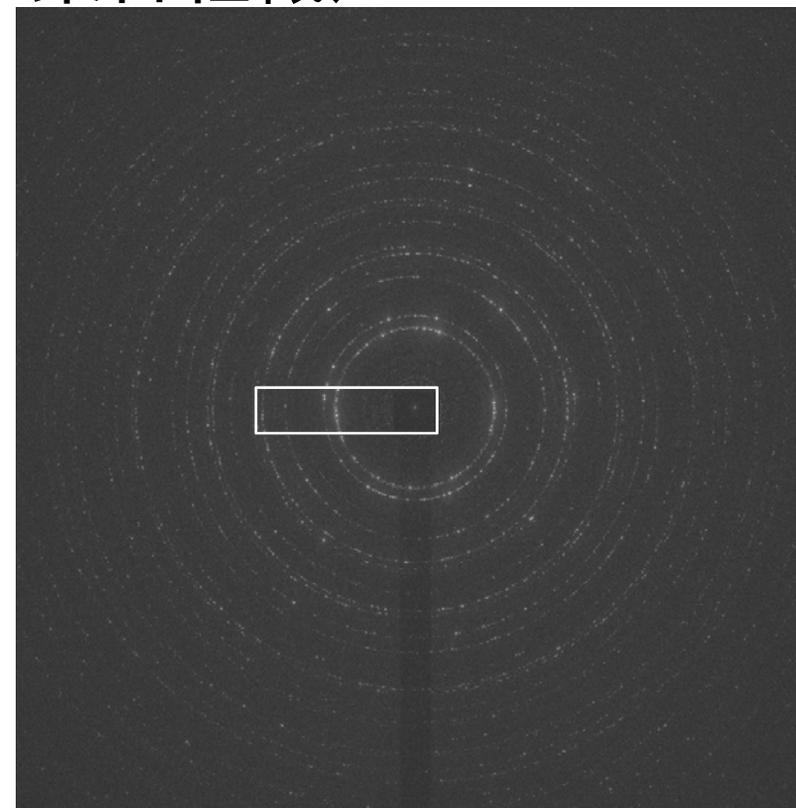
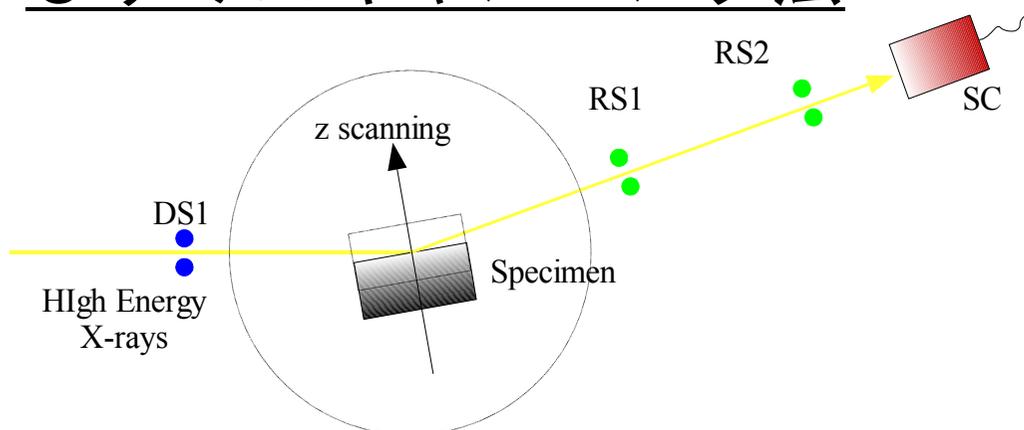
現在のひずみ・応力測定で困難な測定

○1結晶粒レベル（粗大粒、集合組織）

○複合材

**○その場観察**

## ひずみスキャンニング法



測定精度は非常に高いが...  
多大な時間が必要

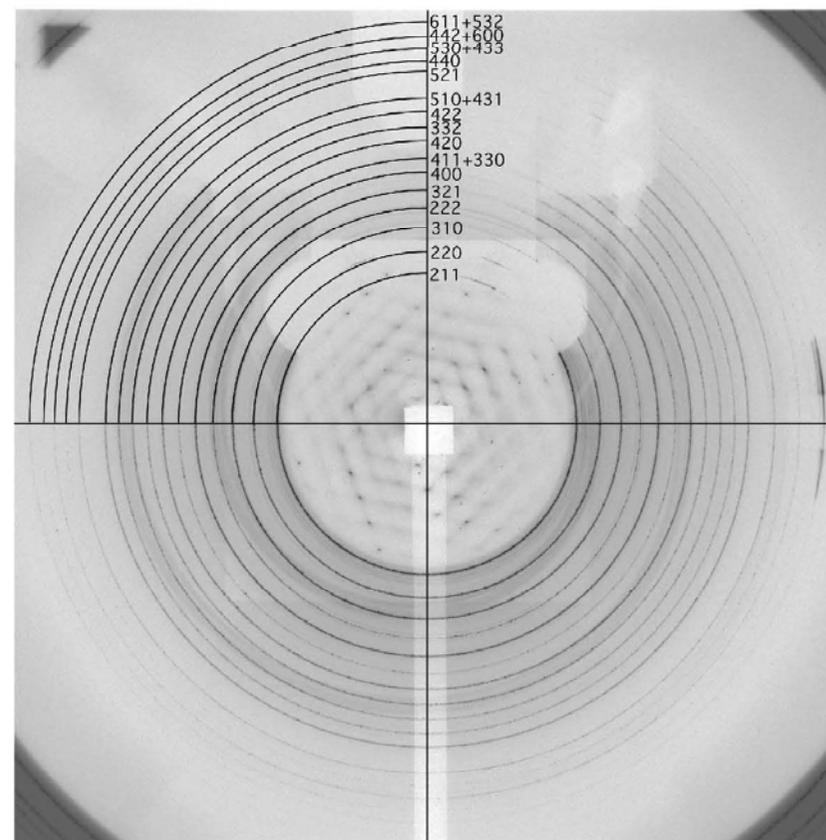
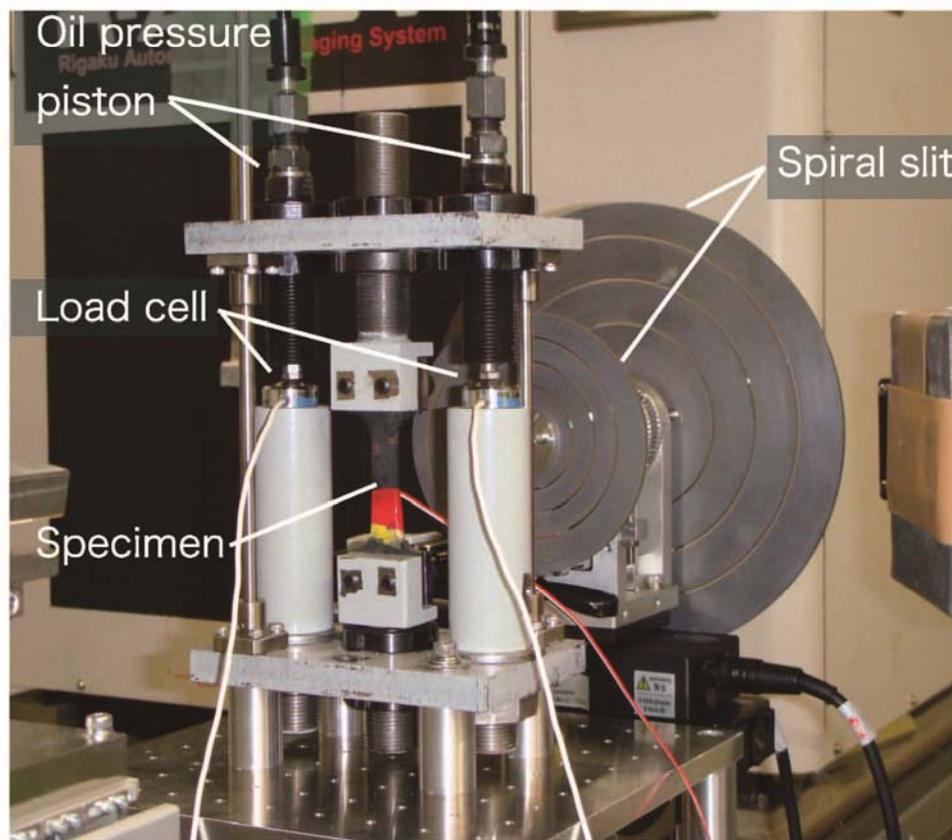
1. 2次元検出器の魅力
2. 2次元検出器による応力・ひずみ測定
3. リアルタイム2次元検出器
4. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定
5. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布測定技術開発
6. まとめ

### 負荷測定：多結晶

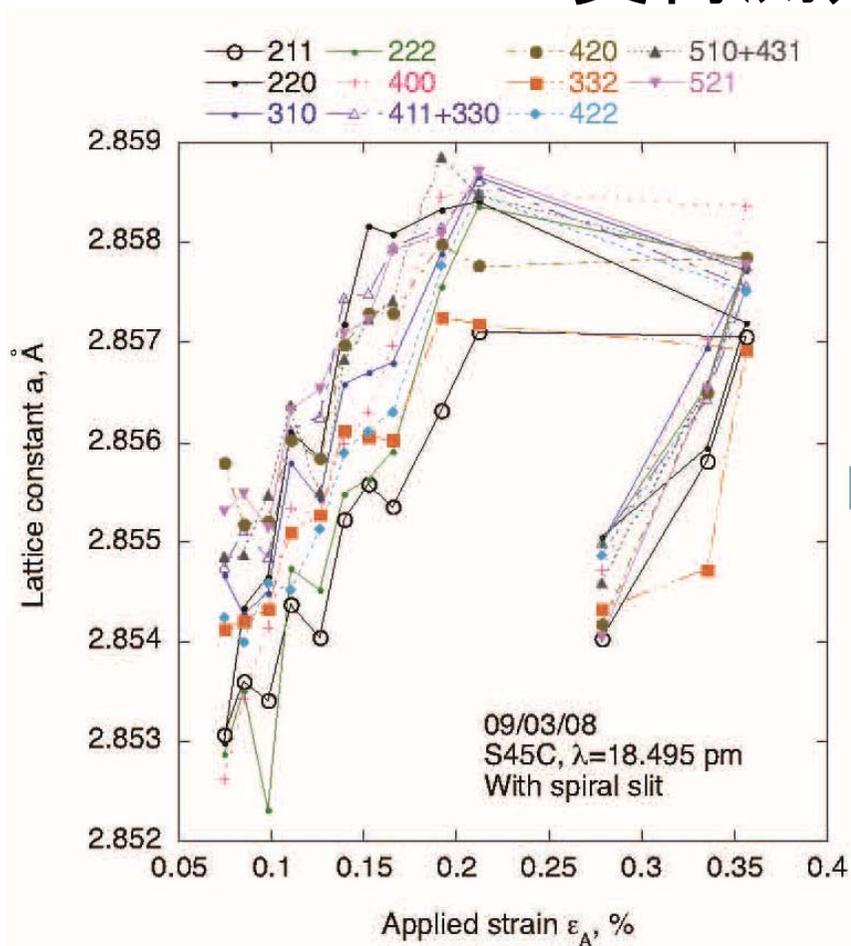
BL22XU, E=67.03keV

試験片：炭素鋼 (t=2mm) , ビームサイズ：0.2mm<sup>2</sup>

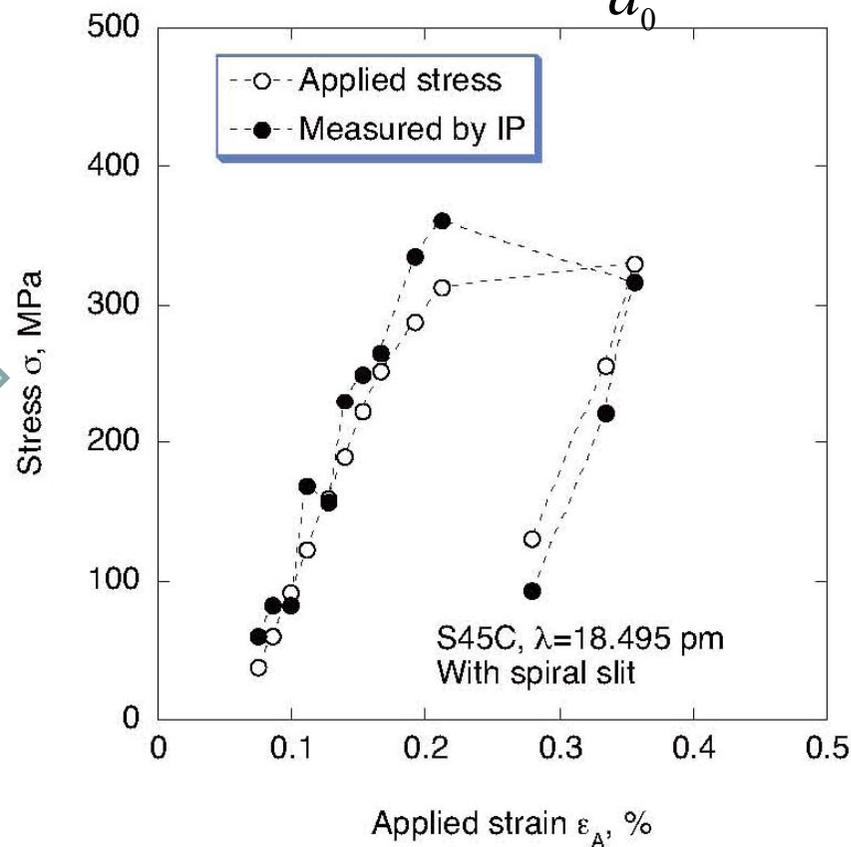
検出器：イメージングプレート, 測定時間：120sec



## 負荷測定：多結晶



$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{a - a_0}{a_0}$$



微細粒であれば問題なく測定可能

### 負荷測定：非晶質

BL22XU,  $E = 66.48 \text{ keV}$

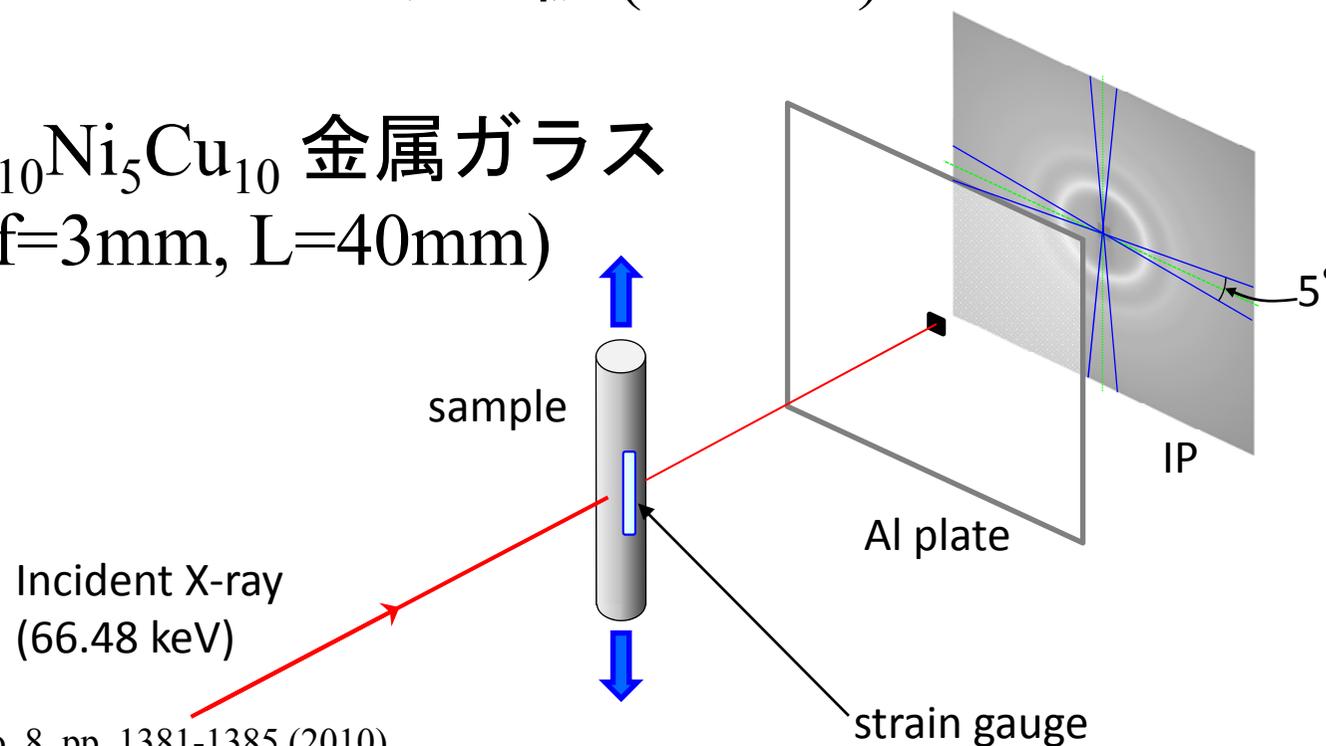
ビームサイズ： $0.2 \text{ mm}^2$

検出器：イメージングプレート

蛍光X線吸収材：アルミニウム板 ( $t = 5 \text{ mm}$ )

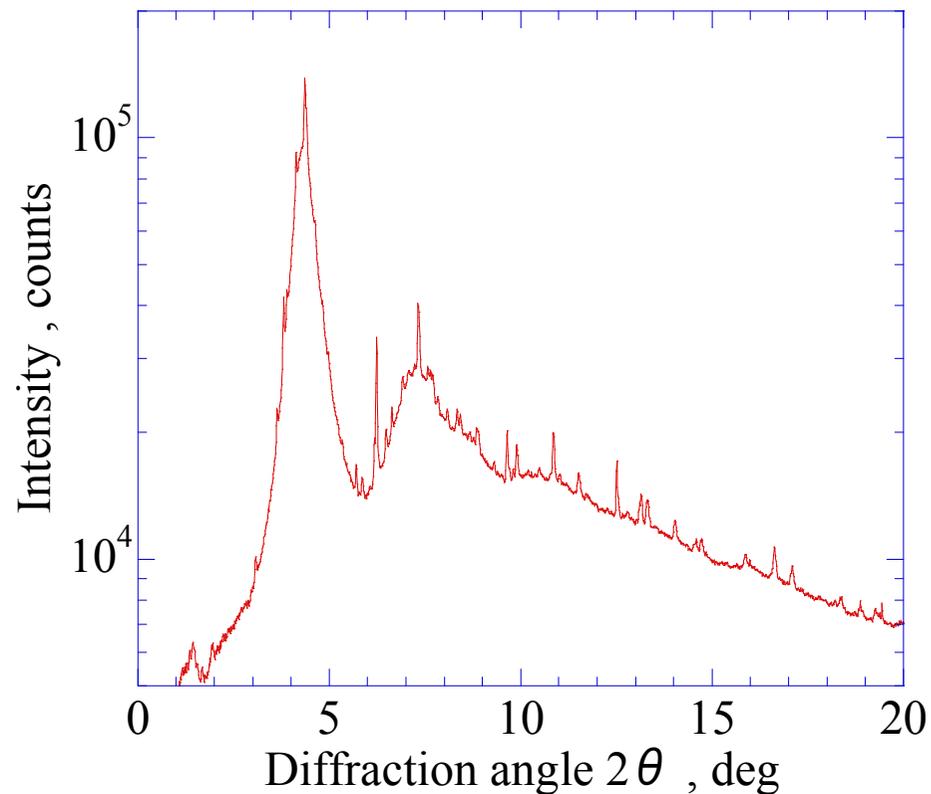
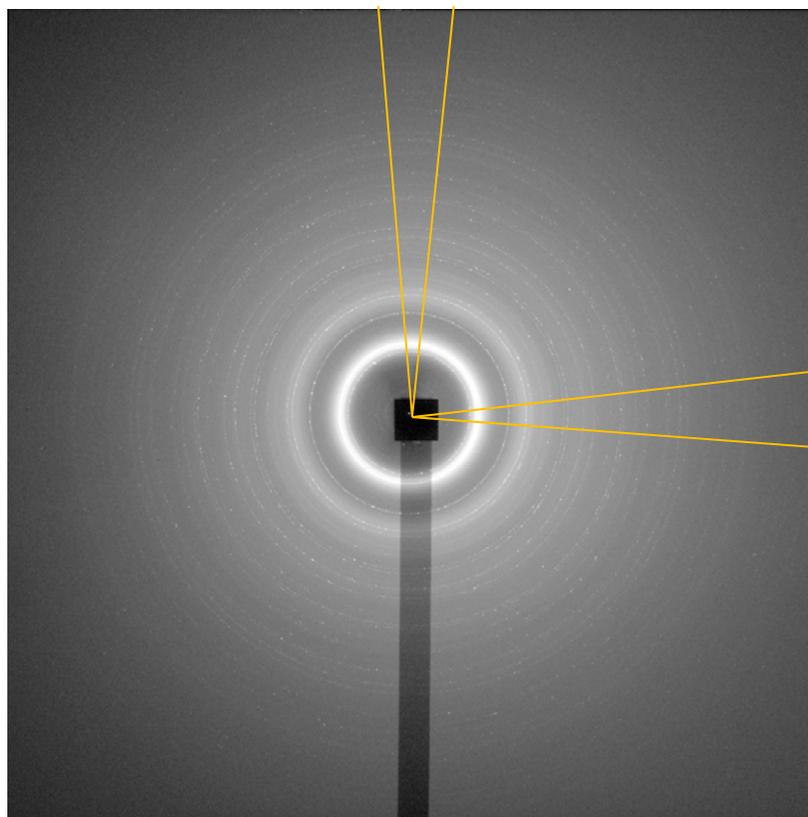
試験片： $\text{Zr}_{55}\text{Al}_{10}\text{Ni}_5\text{Cu}_{10}$  金属ガラス

形状：円柱状 ( $f = 3 \text{ mm}$ ,  $L = 40 \text{ mm}$ )



Materials Transactions, Vol. 51, No. 8, pp. 1381-1385 (2010)

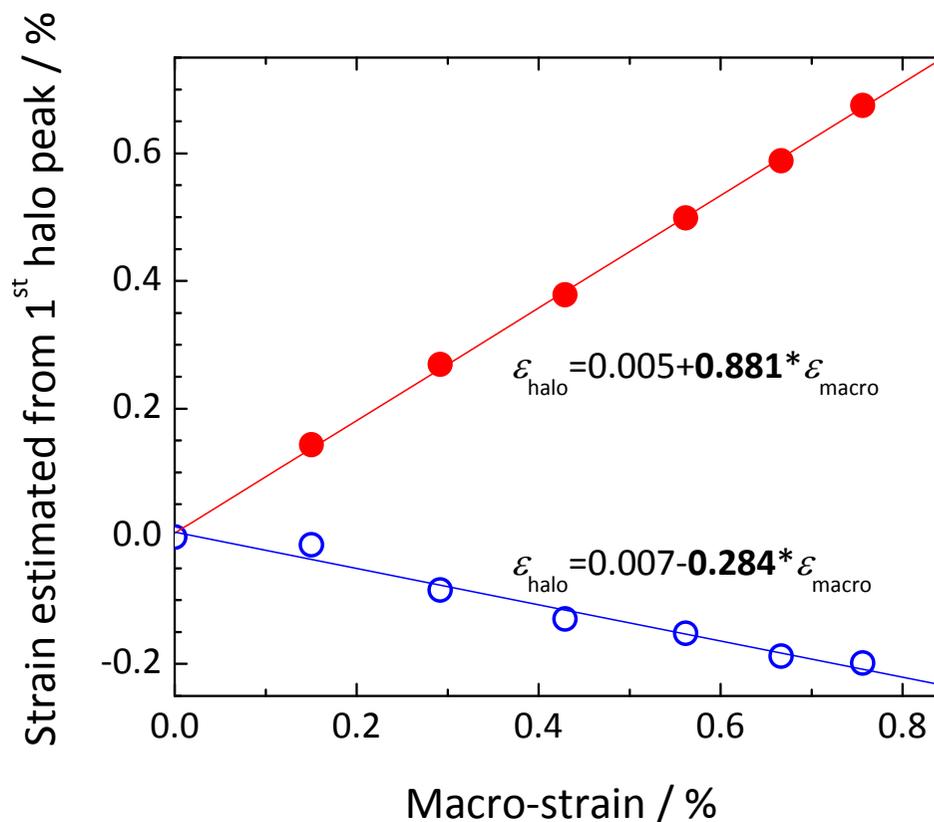
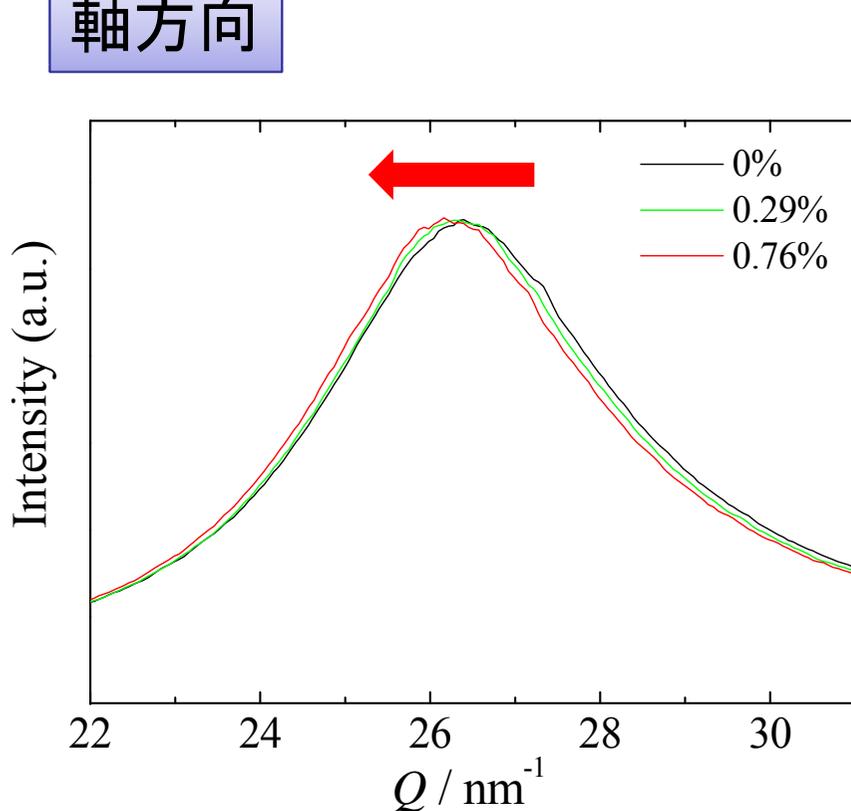
### 負荷測定：非晶質



非晶質の中に結晶が多々存在

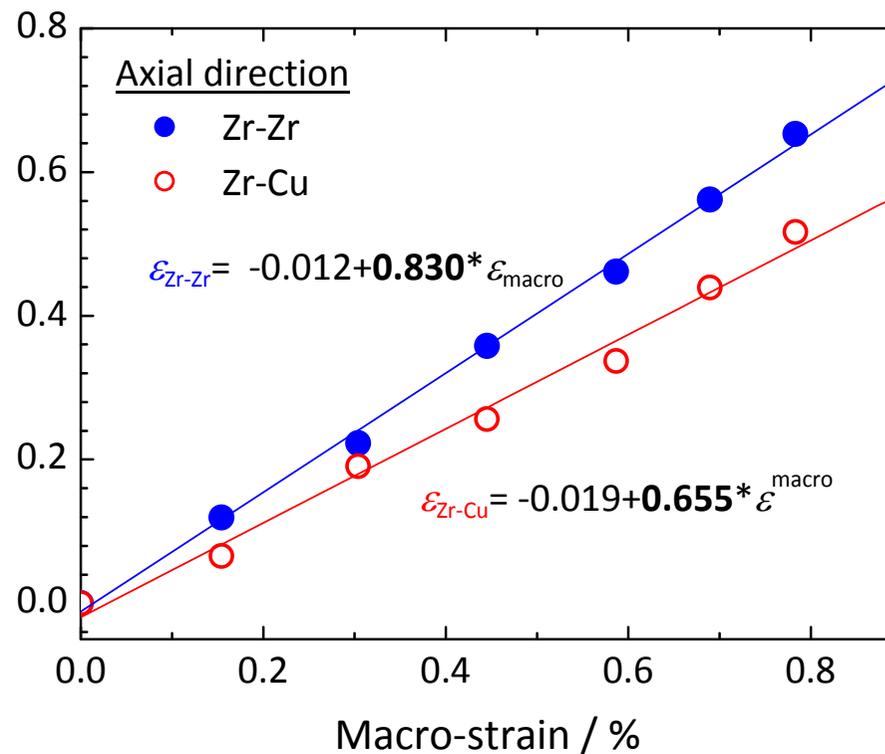
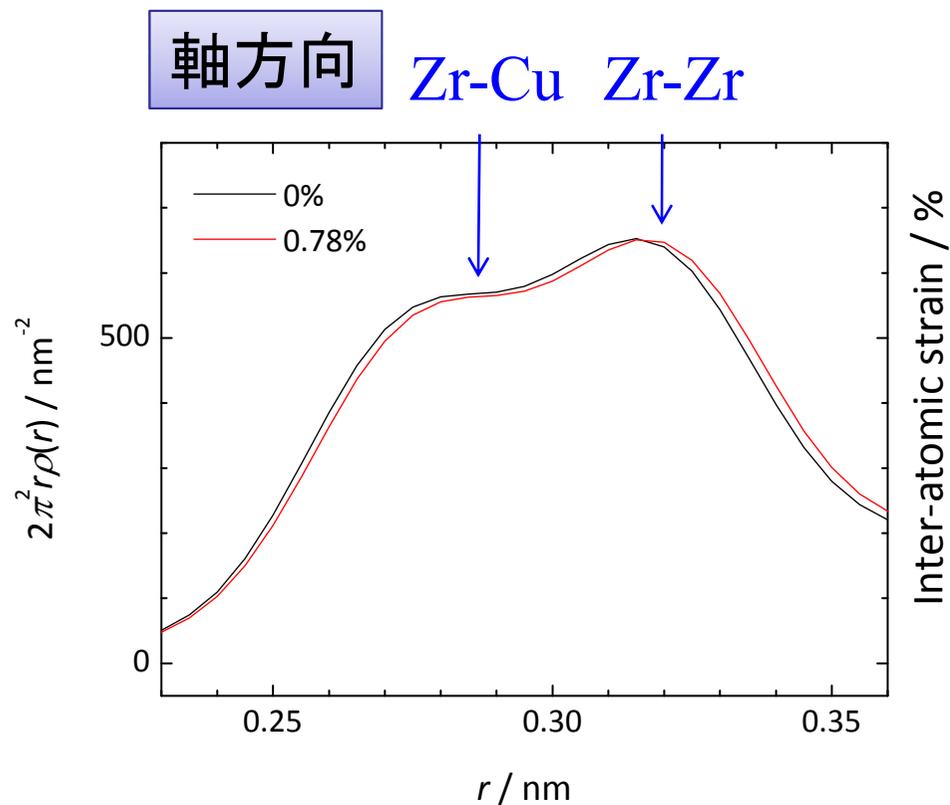
## 負荷測定：非晶質

軸方向



第一ハローのシフトからひずみの算出ができた

## 負荷測定：非晶質



- Zr-Zr、Zr-Cu相関いずれも明瞭にシフト
- 原子レベルでの局所ひずみ評価も可能

1. 2次元検出器の魅力
2. 2次元検出器による応力・ひずみ測定
- 3. リアルタイム2次元検出器**
4. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定
5. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布測定技術開発
6. まとめ

### 3. リアルタイム2次元検出器

#### Pilatus : Pixel Apparatus for the SLS

Swiss Light Sourceとの国際協力により世界に先駆けて開発された放射光実験用の大面積X線光子計数型2次元検出器

#### PILATUS-100K



Sensor	Silicon diode array
Pixel Size	172 × 172 μm <sup>2</sup>
Format	487 × 195 = 94,965 pixels
Area	83.8 × 33.5 mm <sup>2</sup>
Dynamic Range	20 bit (1:1,046,576)
Quantum Efficiency	8 keV:99% 15keV:55%
Readout Time	2.7 ms
Framing Rate	200Hz

パルス計数型X線画像検出器PILATUSと金属材料への応用, 豊川秀訓, 金属, Vol.80 No.2 (2010) 39-44(127-132)

# 3. リアルタイム2次元検出器

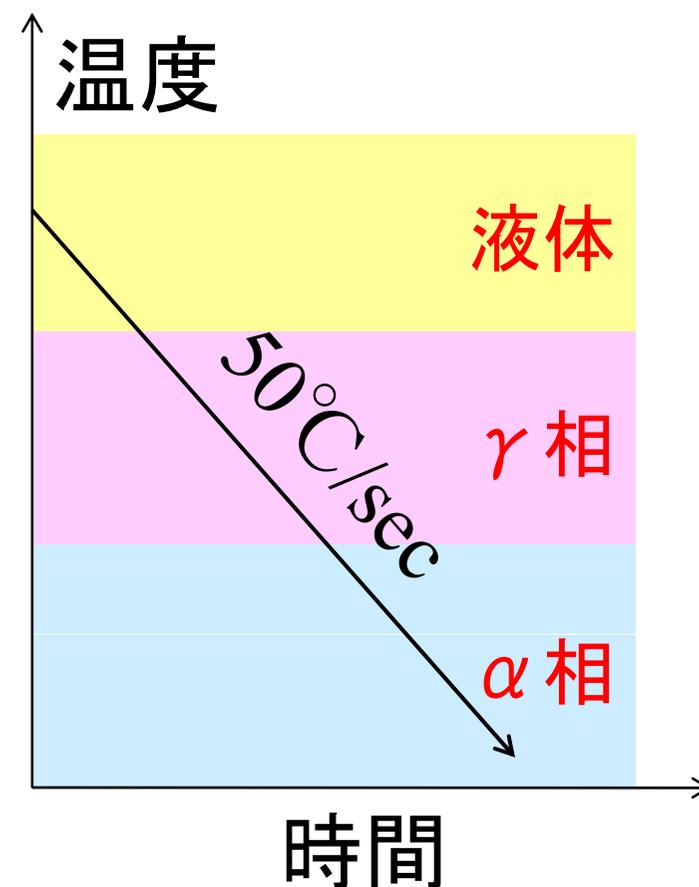
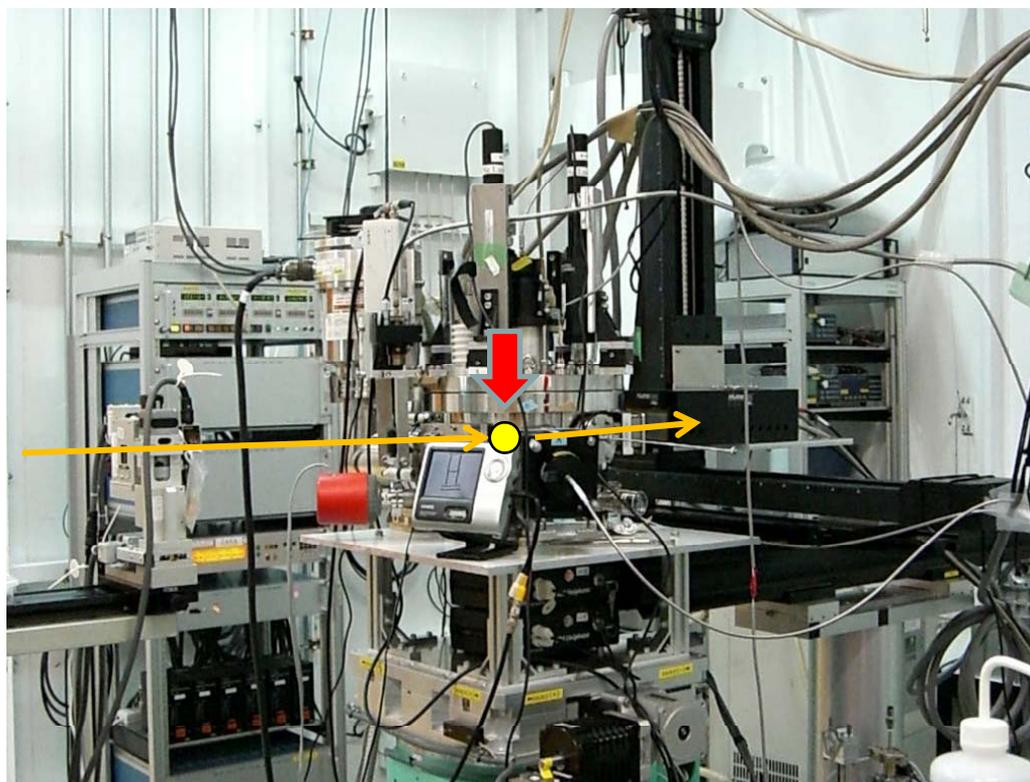
## その場観察：凝固過程

BL22XU、E=69.42keV

試験片：炭素鋼

検出器：Pilatus

住金米村氏、JAXA岡田氏、  
JASRI豊川氏らの研究



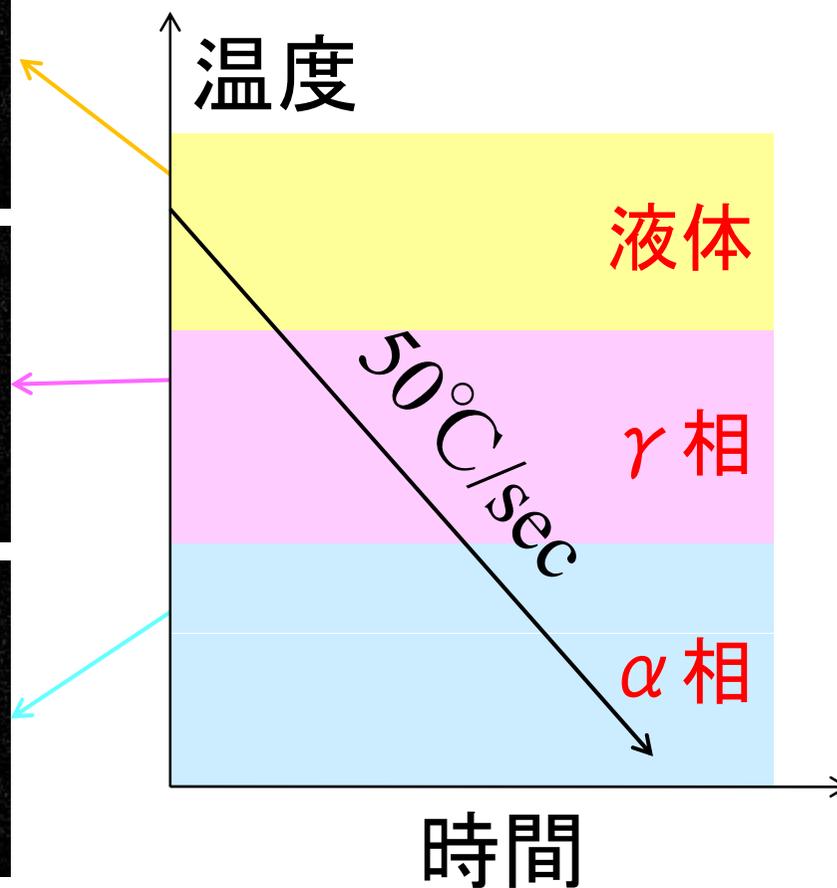
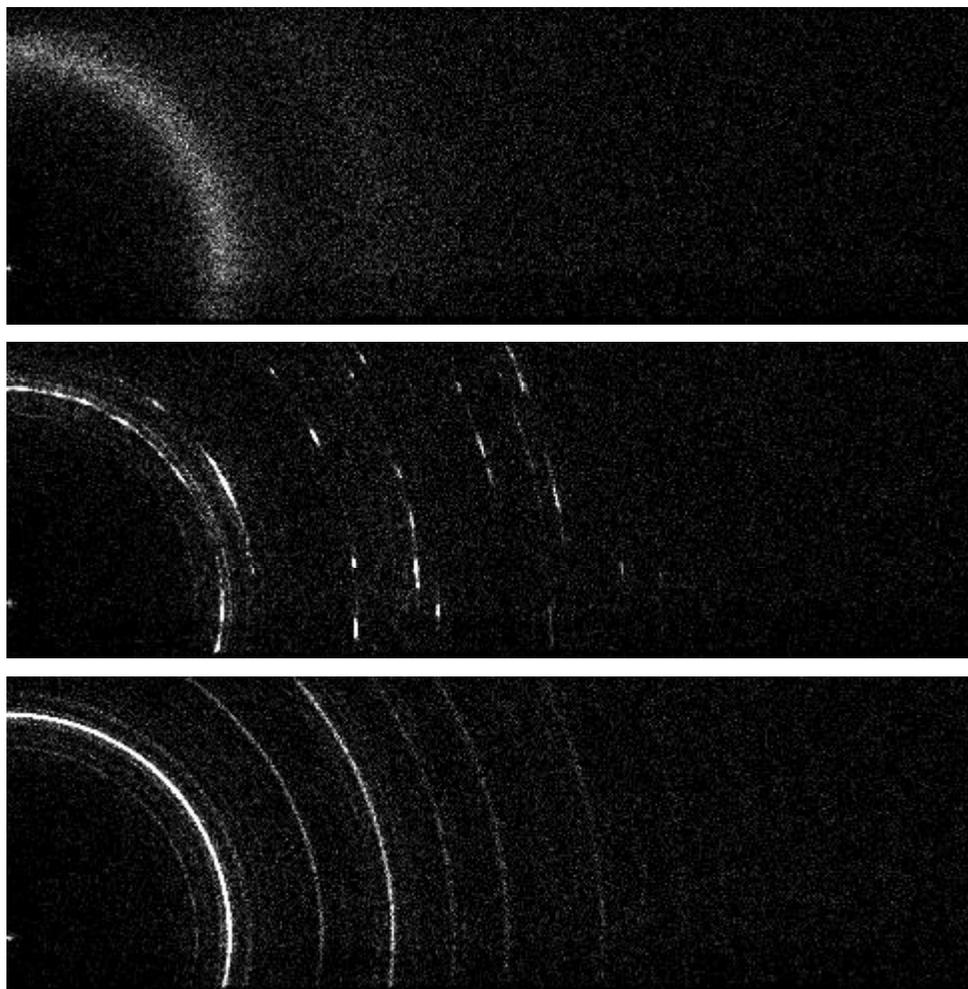
# 3. リアルタイム2次元検出器

## その場観察：凝固過程



# 3. リアルタイム2次元検出器

その場観察：凝固過程  
 逐次変化する状態の観察に成功



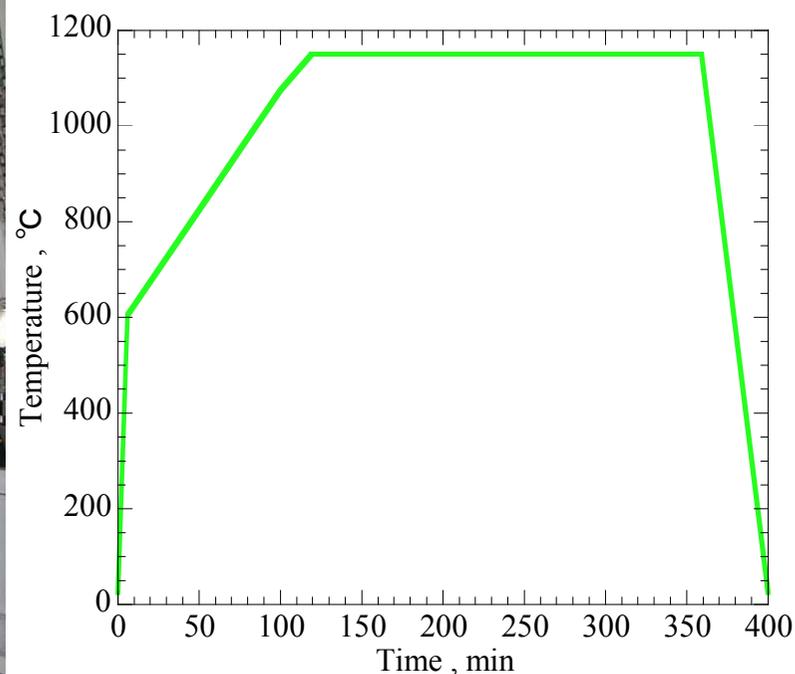
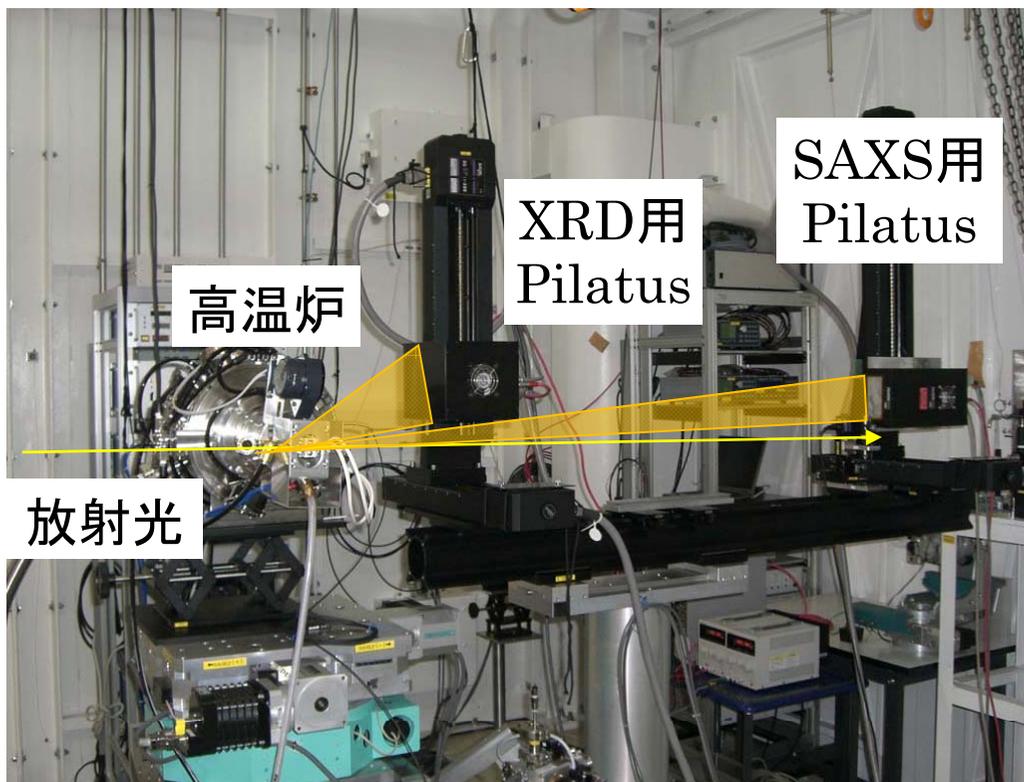
# 3. リアルタイム2次元検出器

## その場観察：酸化物生成

BL22XU、E=25keV

試験片：酸化物分散強化型フェライト鋼

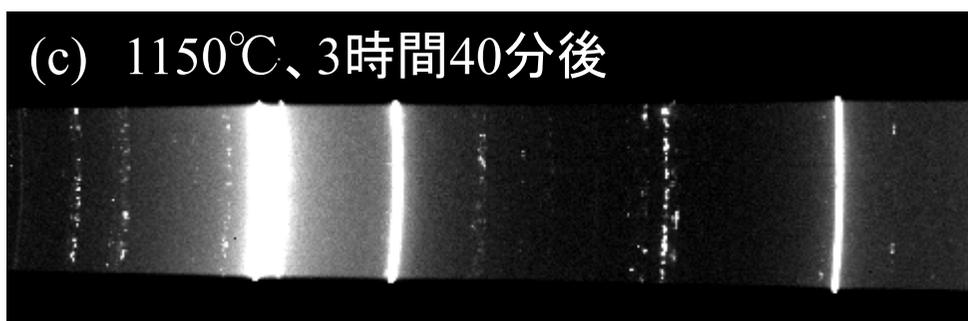
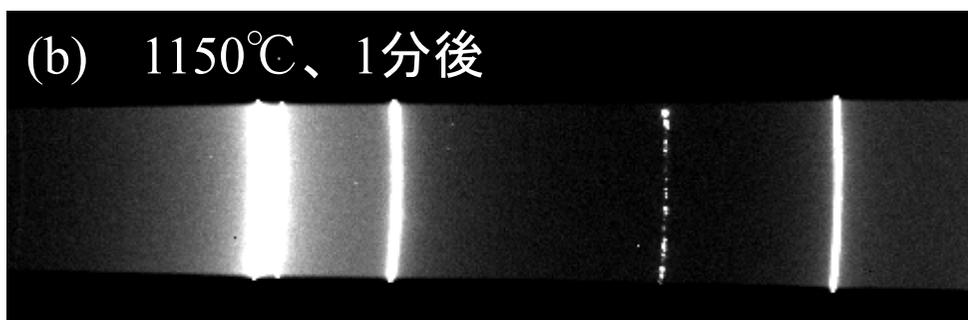
検出器：Pilatus × 2台



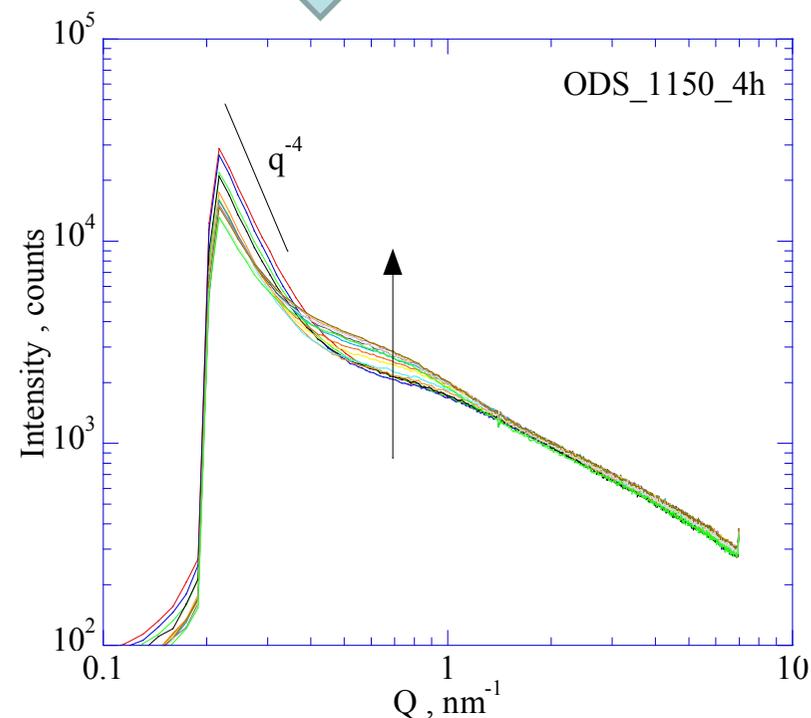
# 3. リアルタイム2次元検出器

## その場観察：酸化物生成

複合酸化物が生成する時間の観察に成功

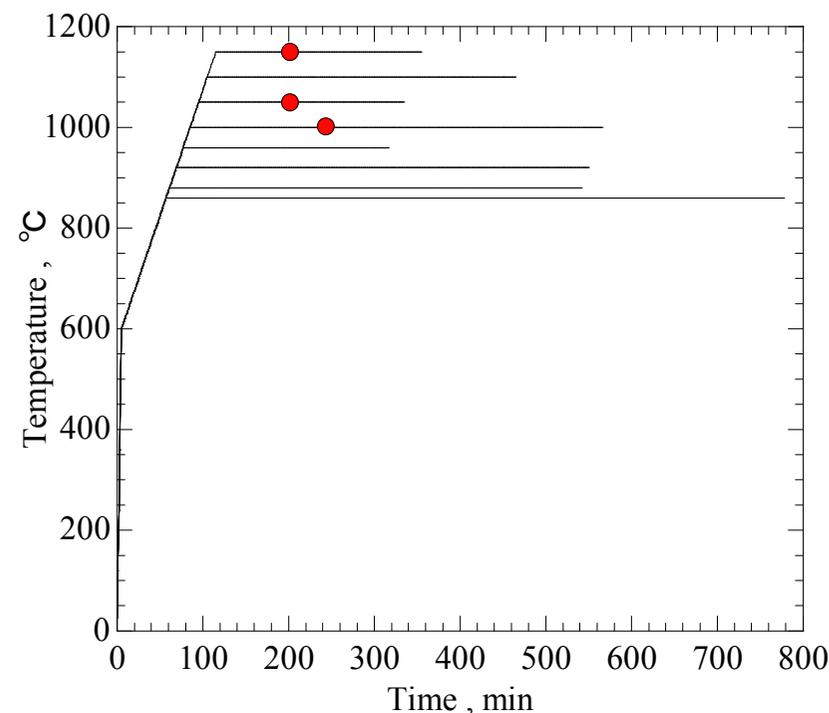
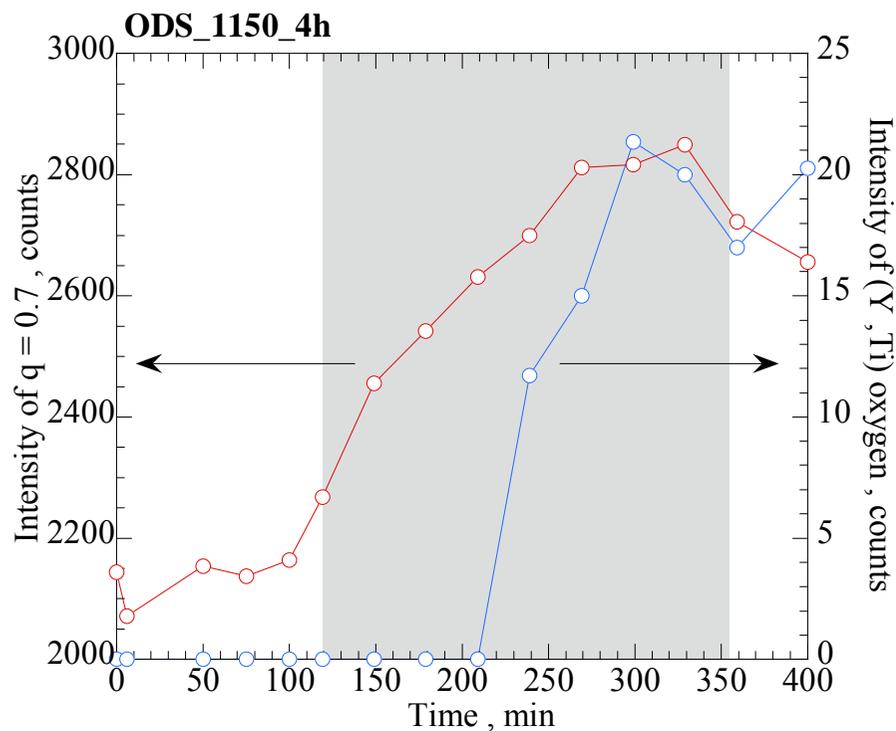


← XRD  
SAXS  
↓



# 3. リアルタイム2次元検出器

## その場観察：酸化物生成 複合酸化物が生成する時間の観察に成功



保持温度により複合酸化物が生成する時間が異なる

1. 2次元検出器の魅力
2. 2次元検出器による応力・ひずみ測定
3. リアルタイム2次元検出器
4. **リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定**
5. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布測定技術開発
6. まとめ

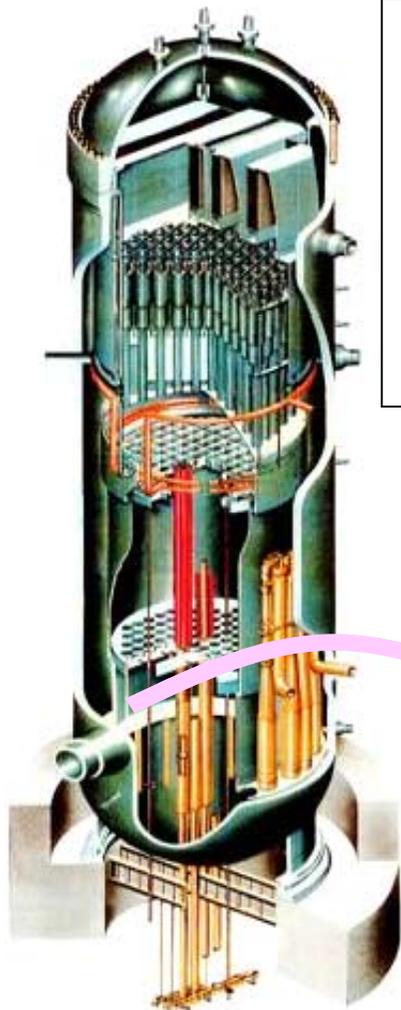
## その場観察：応力腐食割れ

### <研究課題>

粒界型SCCのメカニズム解明には、き裂近傍の残留応力解析が不可欠であるが、高温水中その場測定技術は未開発

### <研究目的>

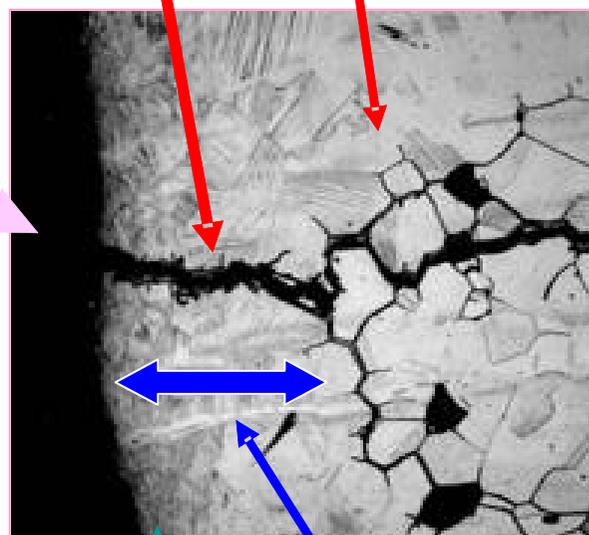
放射光応力測定技術を活かし、原子炉内（高温高压水中下）を模擬した環境におけるSCCに関する試験研究を実施



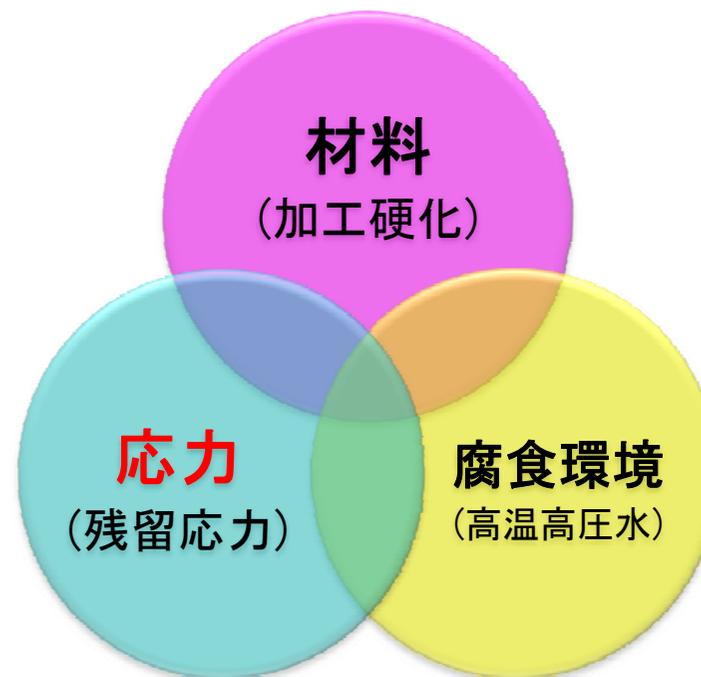
BWR構造図

粒内型SCC 粒界型SCC

炉心シユラウド



外表面 加工硬化層

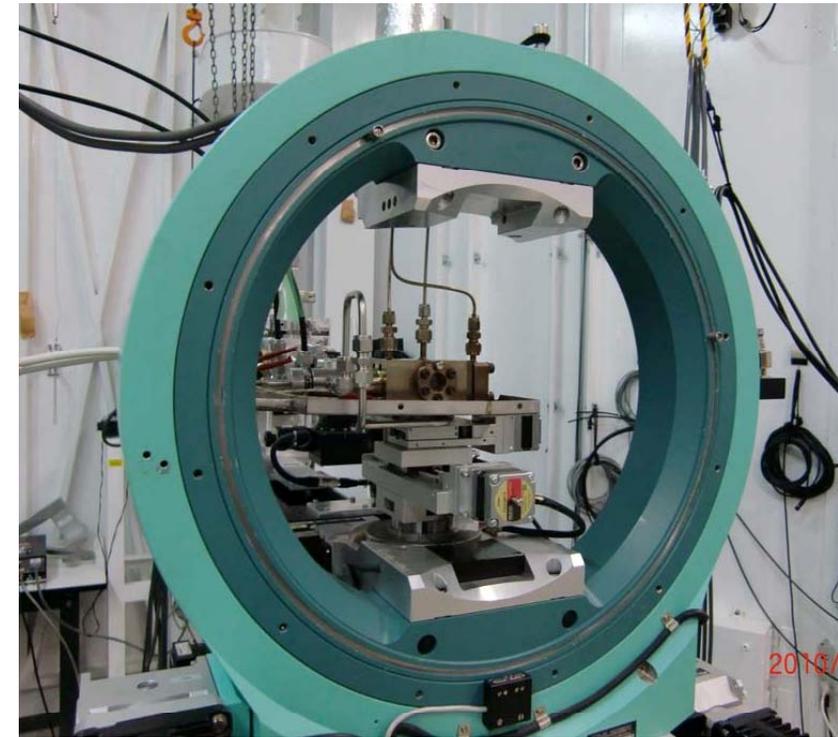
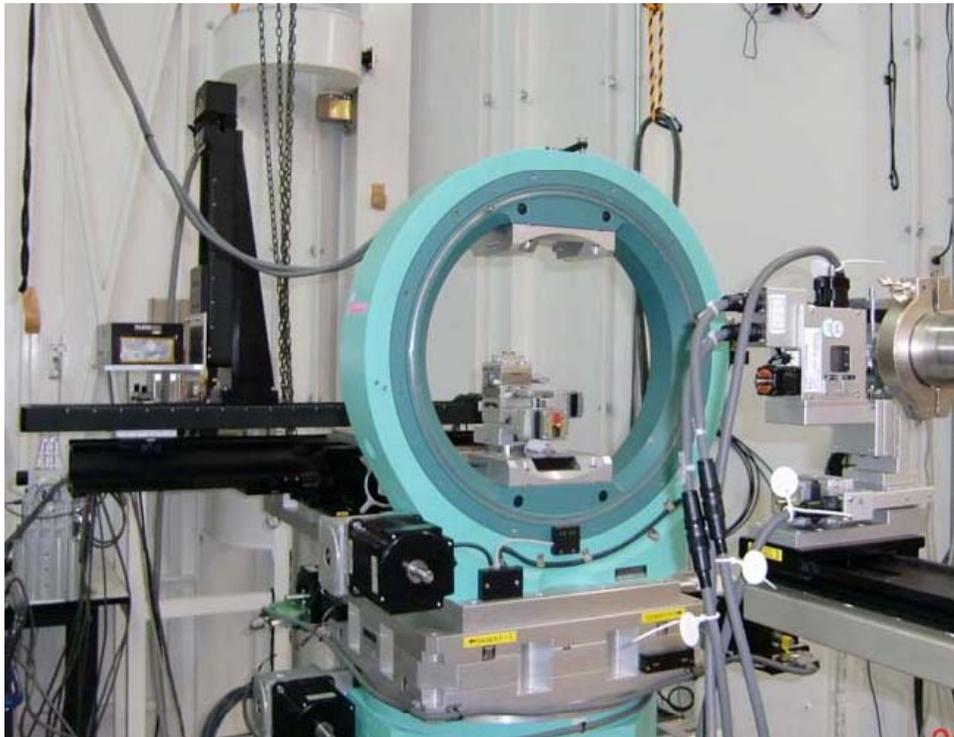


## その場観察：応力腐食割れ

BL22XU、E=60.67、69.42keV

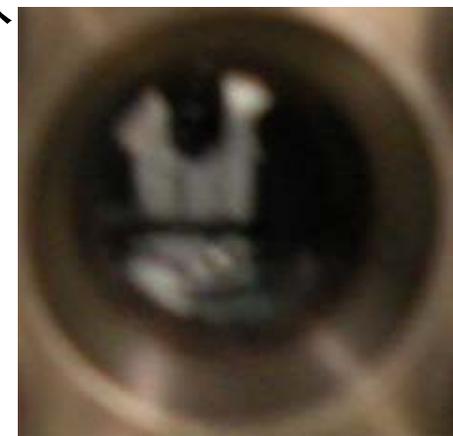
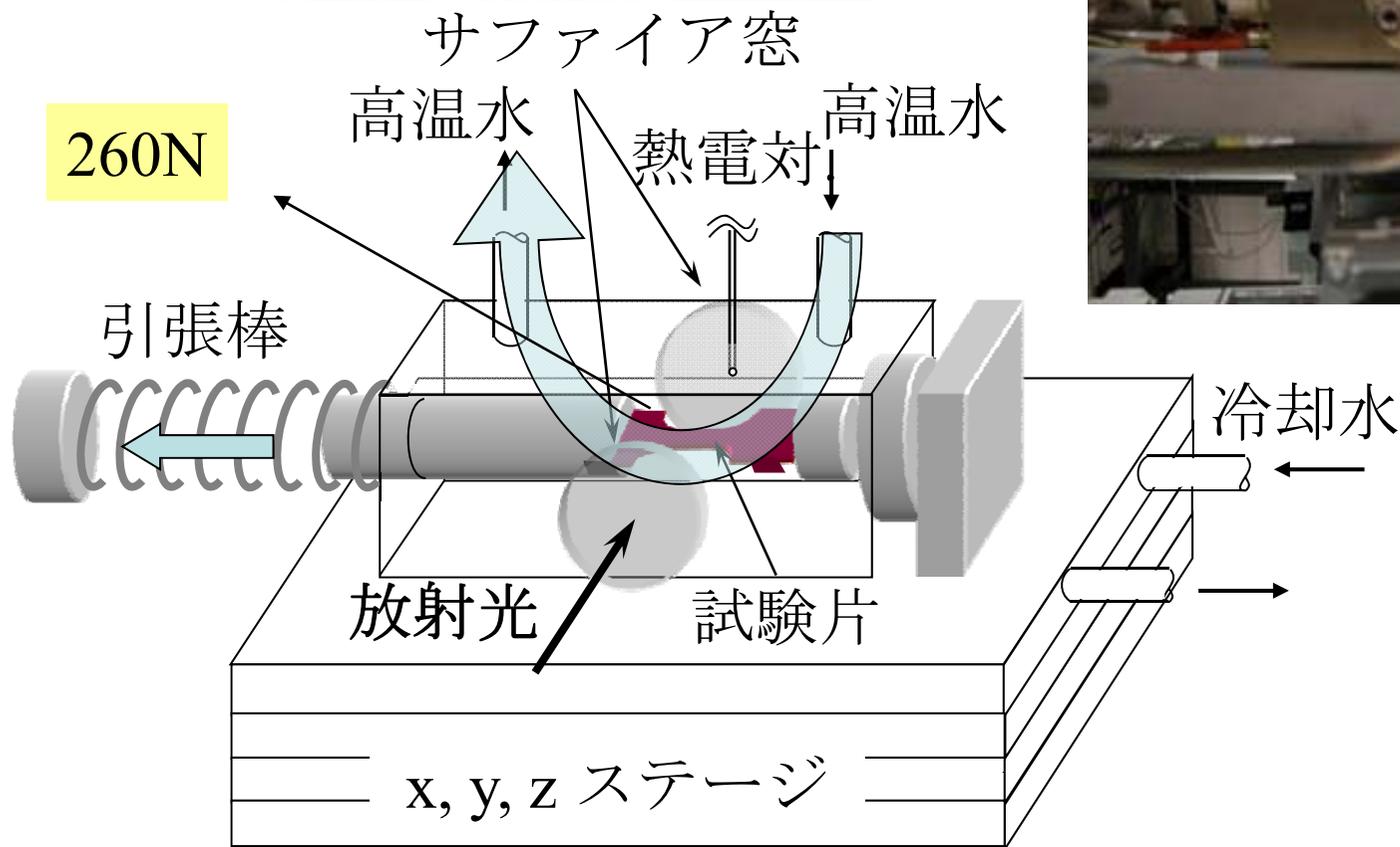
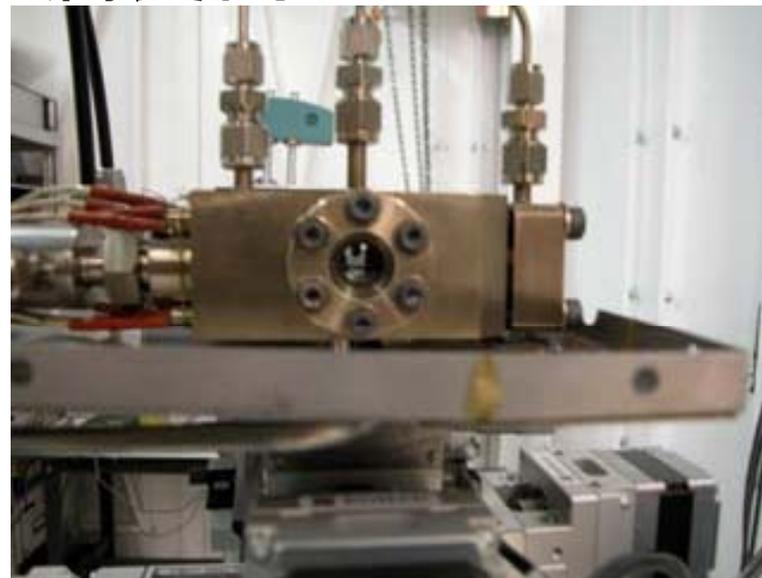
試験片：SUS316

試料環境：288°C、8.8MPa



## その場観察：応力腐食割れ

実験前



## その場観察：応力腐食割れ

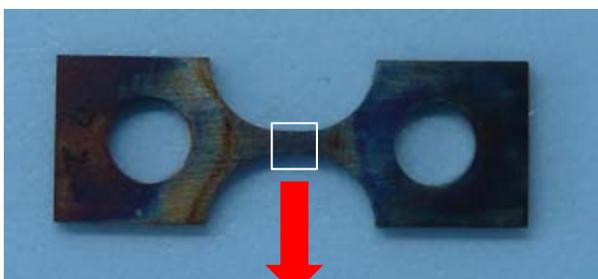
### 0次元検出器の場合

※ ±5° の回転揺動

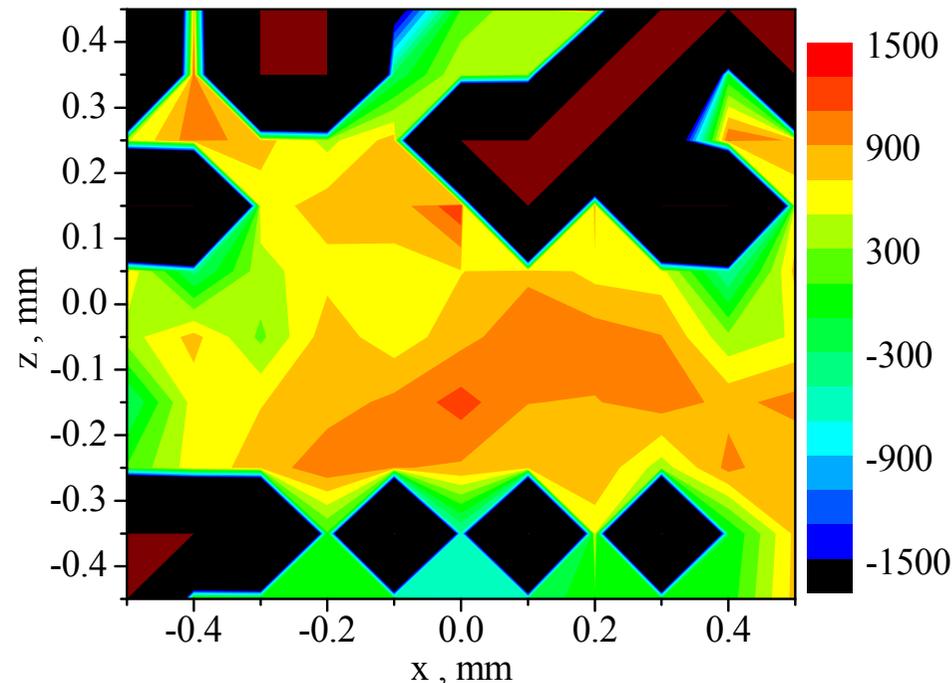
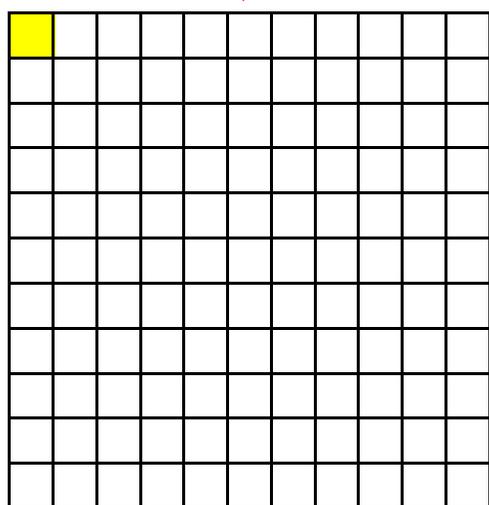
実験前



実験後



0.1mm<sup>2</sup>



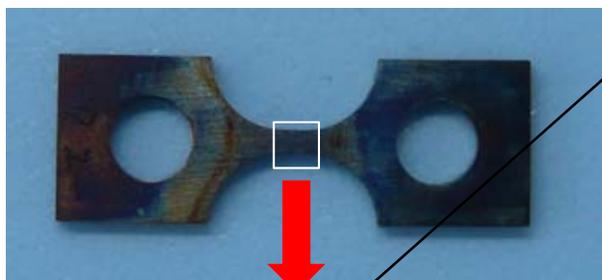
- ブラインドにより計測不能領域
- 多大なる測定時間

# その場観察：応力腐食割れ

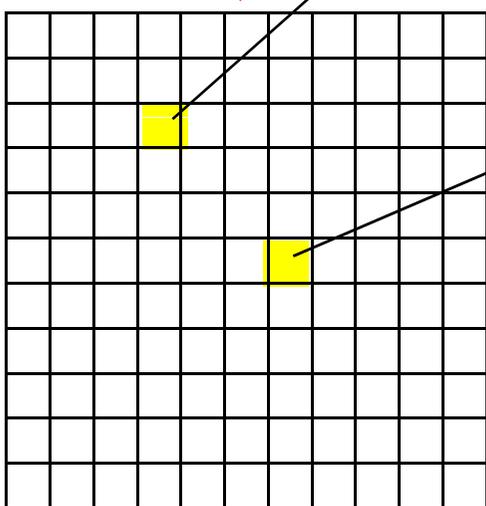
## Pilatusの場合

※ ±5° の回転揺動

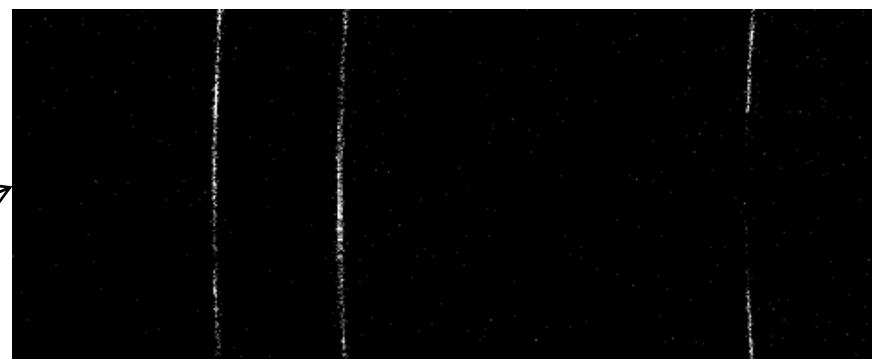
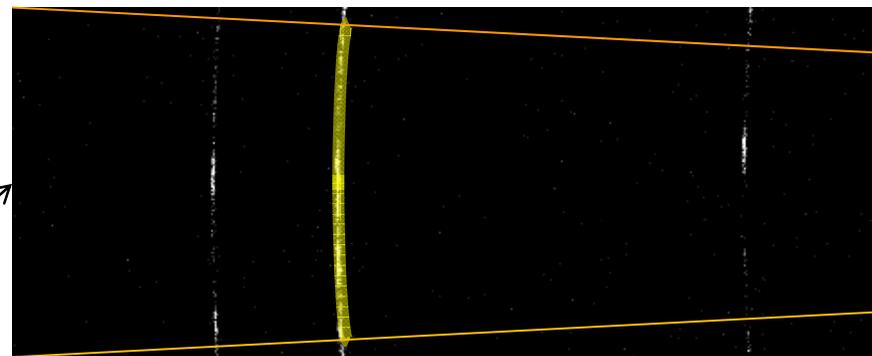
実験後



0.1mm<sup>2</sup>



222 311 220



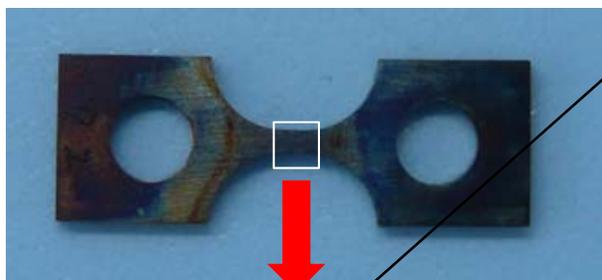
回折リングの一部を計測  
→円周積分して規格化

## その場観察：応力腐食割れ

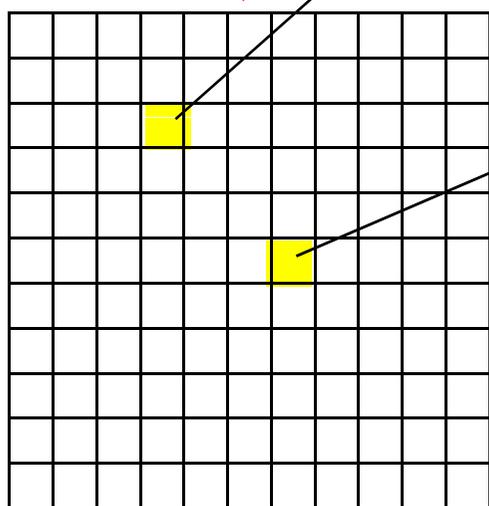
### Pilatusの場合

※ $\pm 5^\circ$  の回転揺動

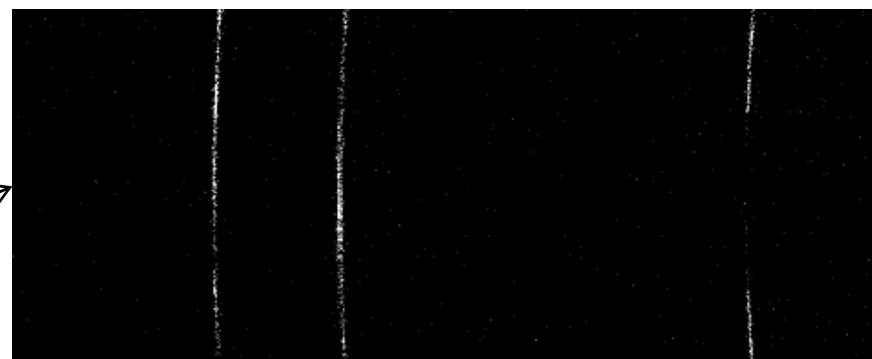
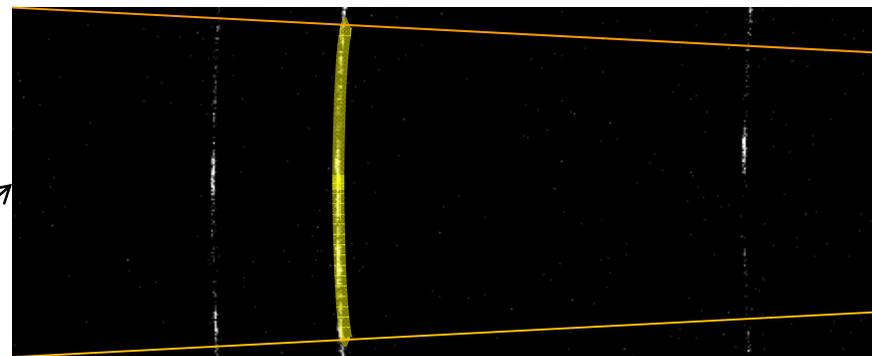
実験後



0.1mm<sup>2</sup>



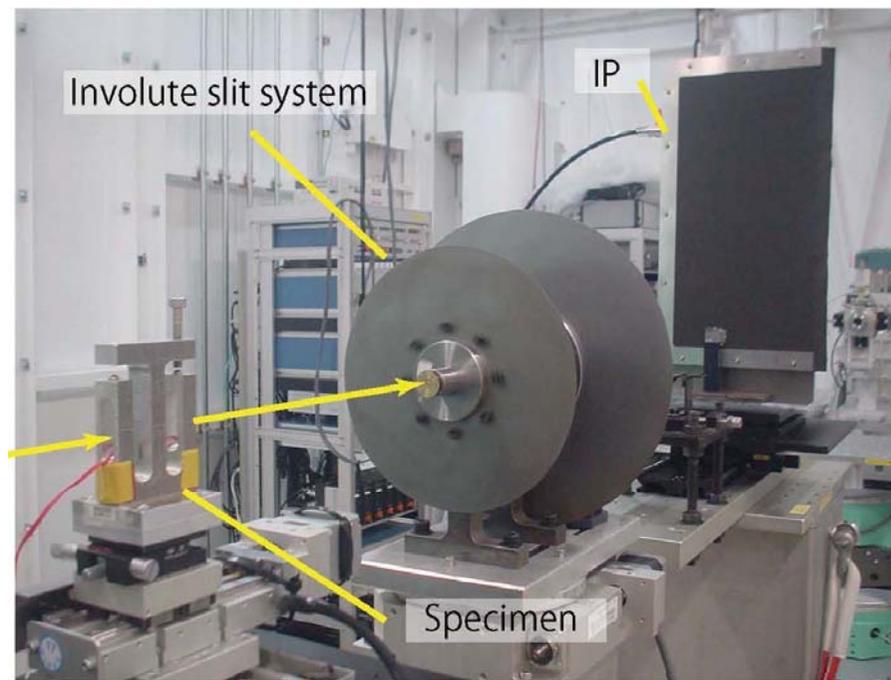
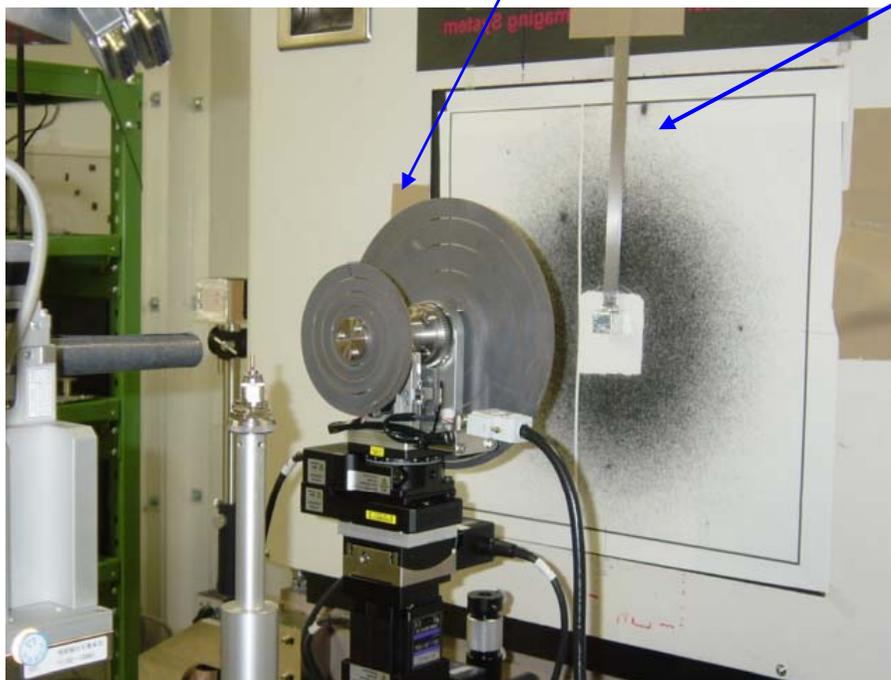
222 311 220



回折リングの一部を計測  
→円周積分して規格化

1. 2次元検出器の魅力
2. 2次元検出器による応力・ひずみ測定
3. リアルタイム2次元検出器
4. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定
5. **リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布  
測定技術開発**
6. まとめ

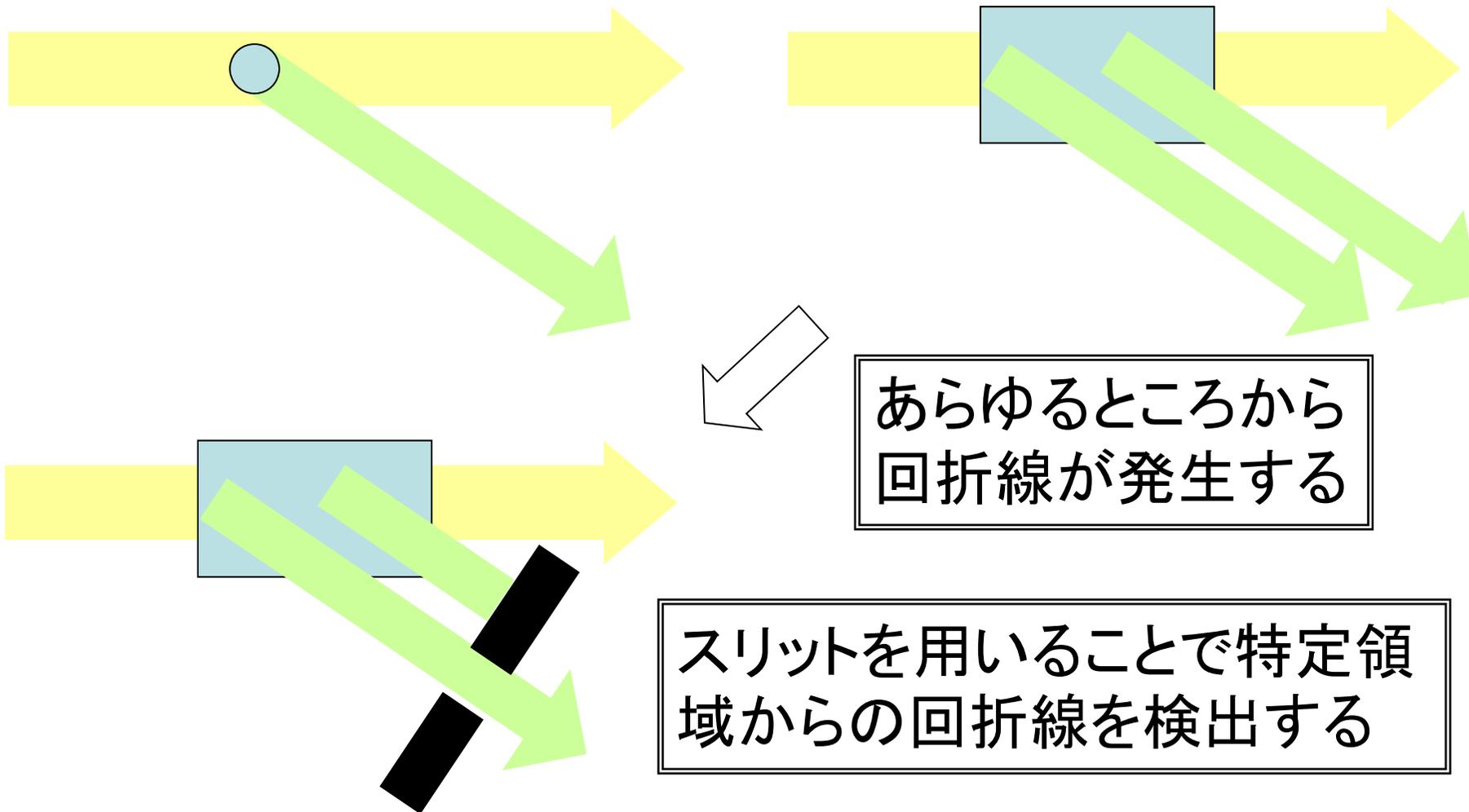
# スパイラルスリット+2次元検出器



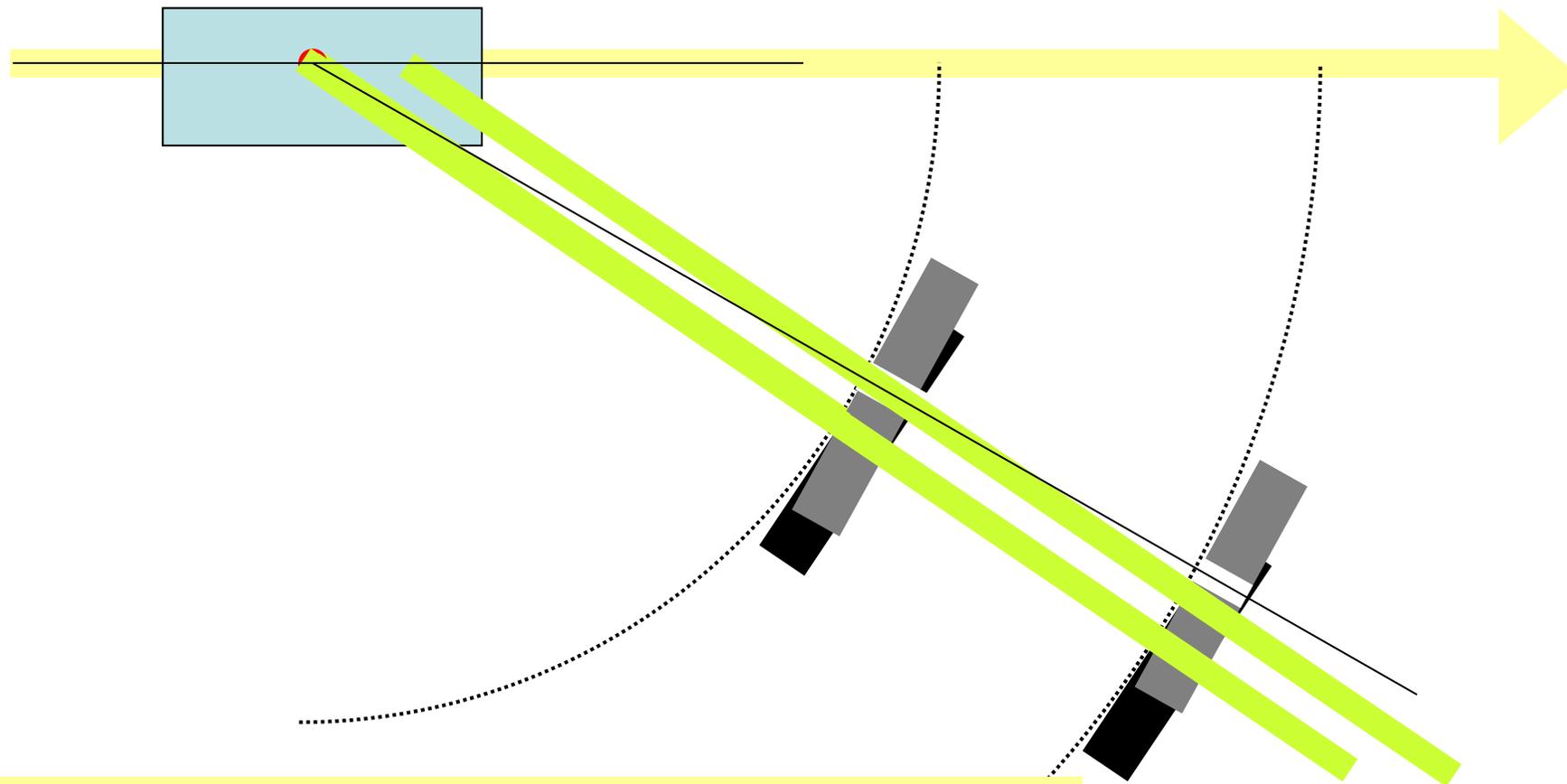
# スリットの役割

物性測定や低エネルギー

応力測定や高エネルギー

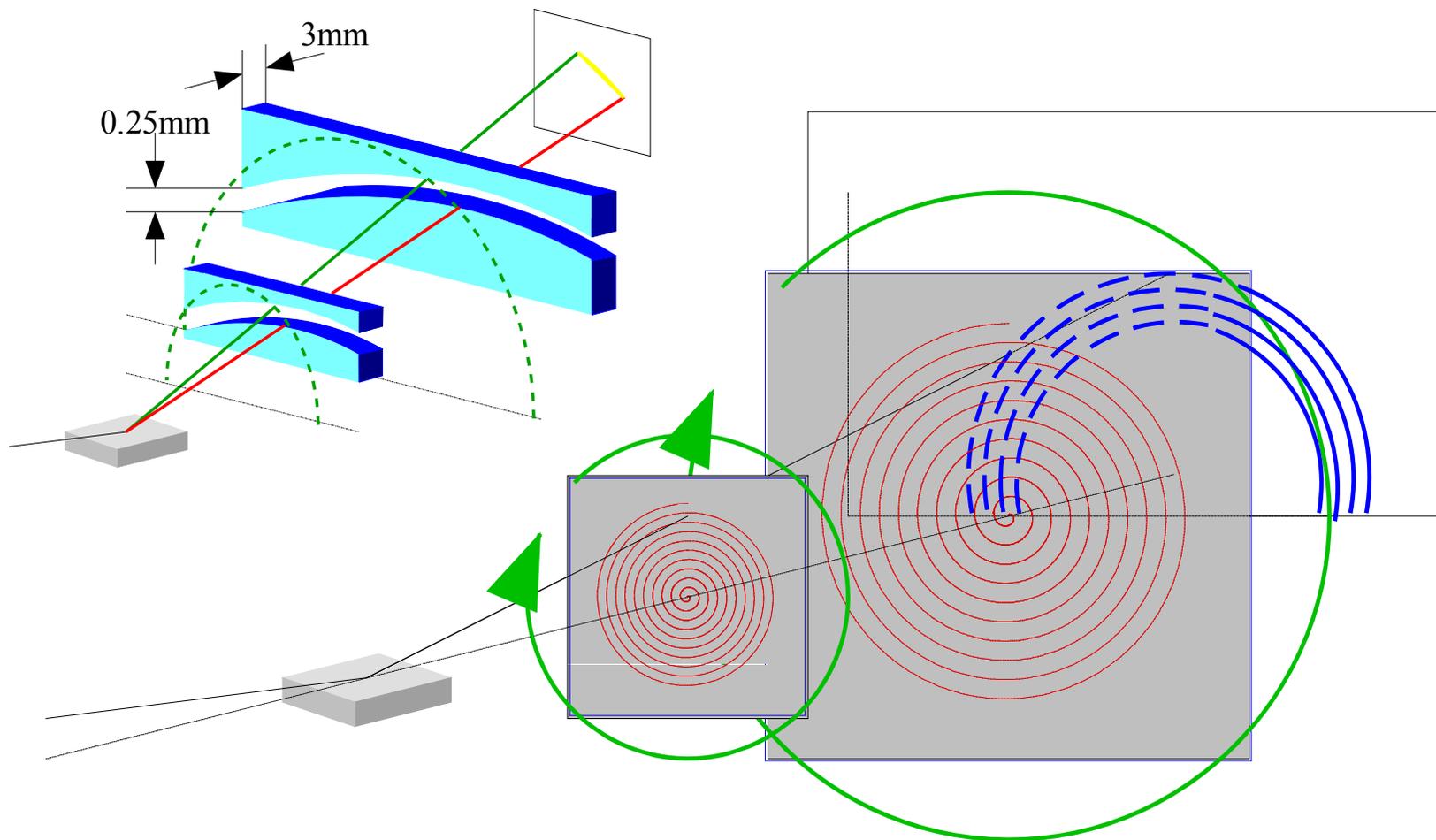


# スリットの役割：ダブルスリットの場合



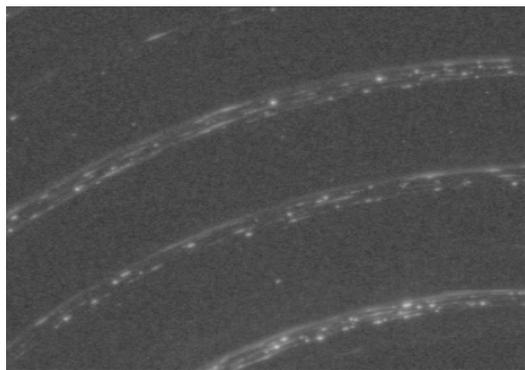
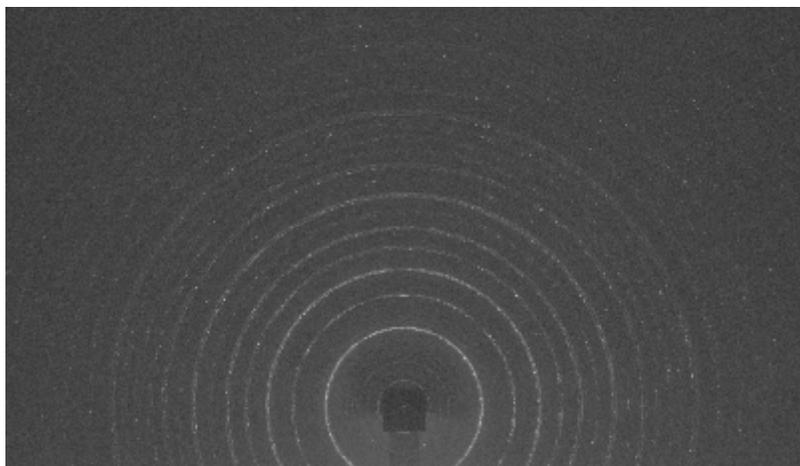
ダブルスリットにより  
測定領域を制限することが可能となる

# 2枚の板状のスリットを連動させることで ダブルスリットと同じ役割を生み出す



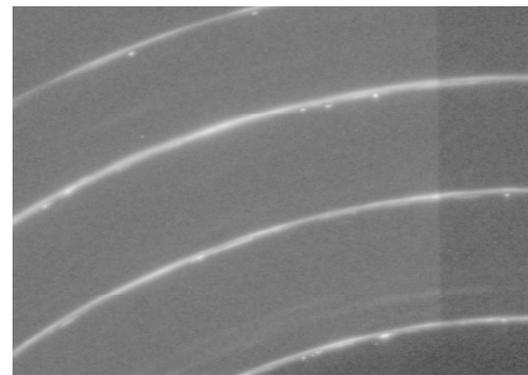
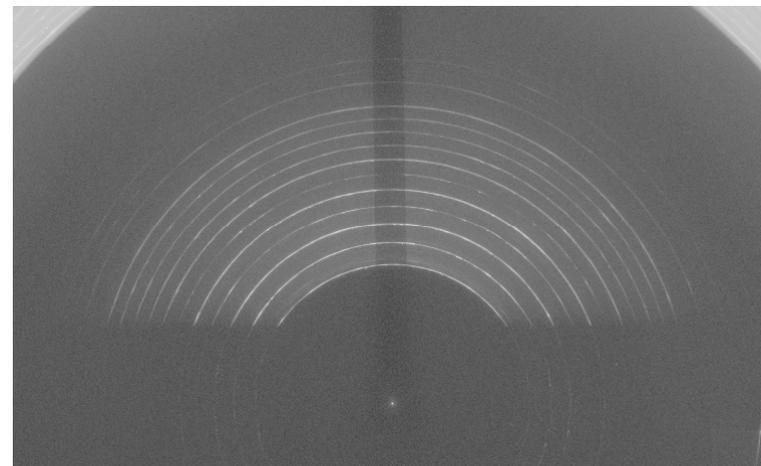
## スリット評価

BL22XU、E=66.5keV  
 試験片：S45C、t=10mm  
 スリットなし



スリットを導入することで  
 回折リングがシャープに

スリットあり

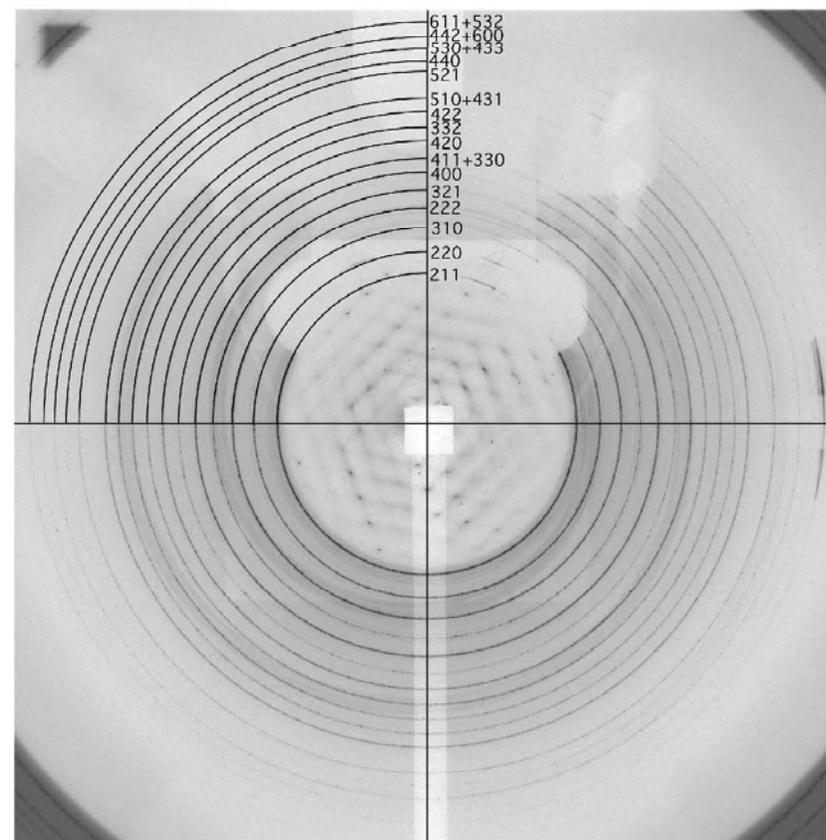
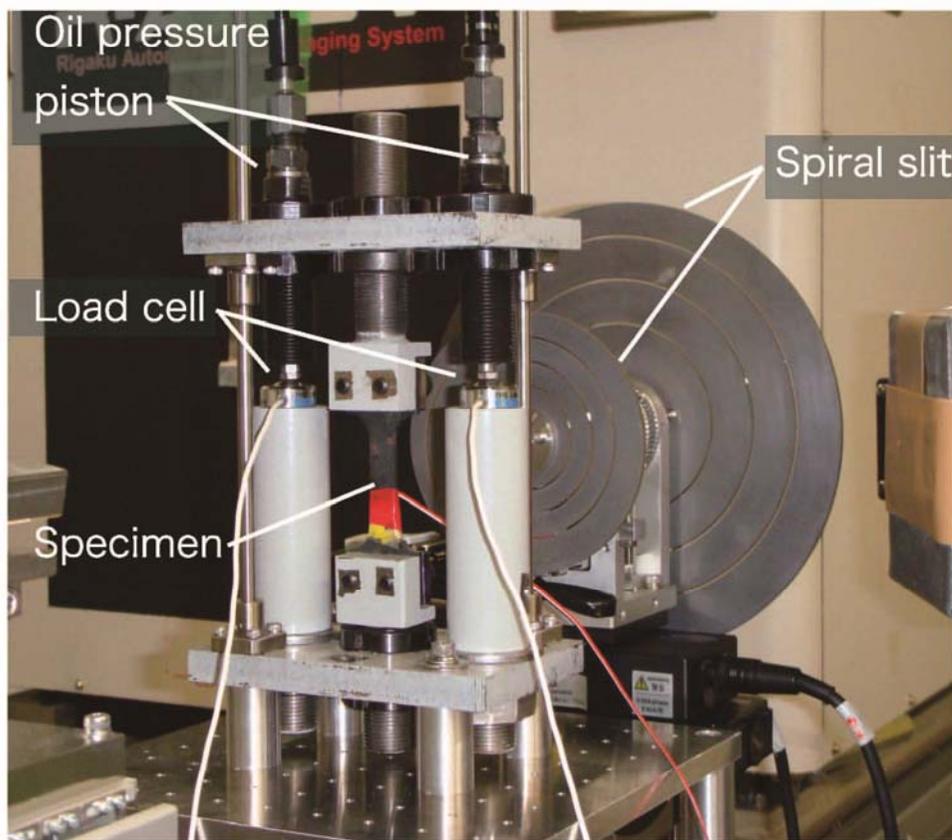


## スリット評価

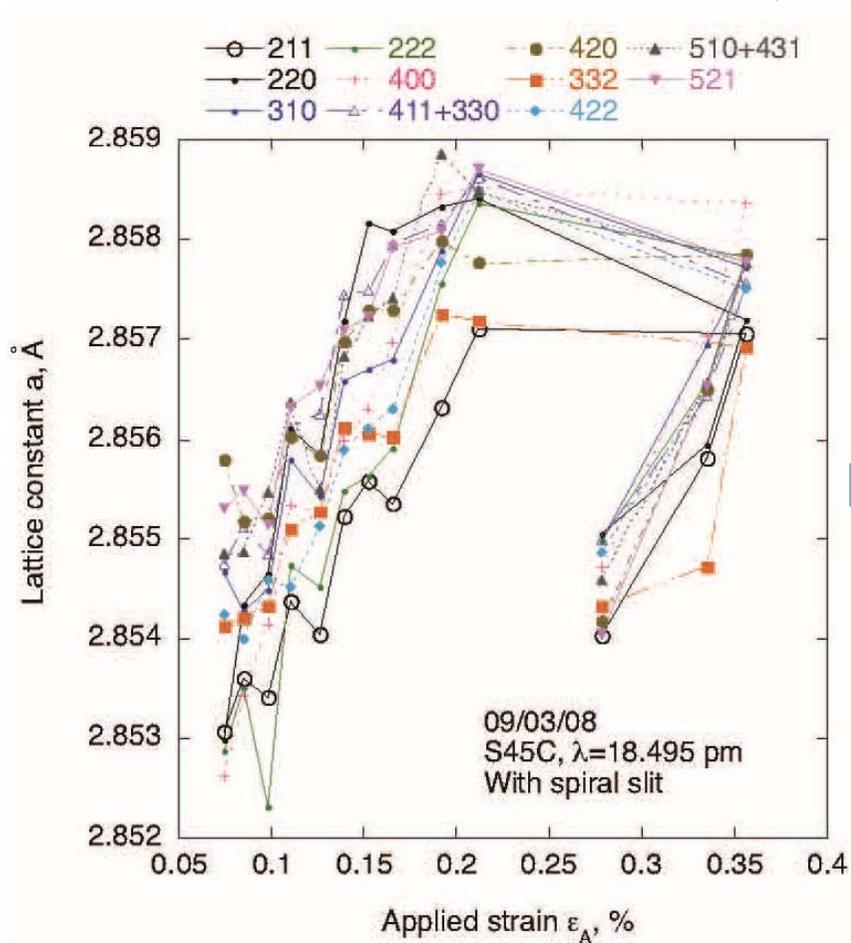
BL22XU, E=67.03keV

試験片：炭素鋼 (t=2mm) , ビームサイズ：0.2mm<sup>2</sup>

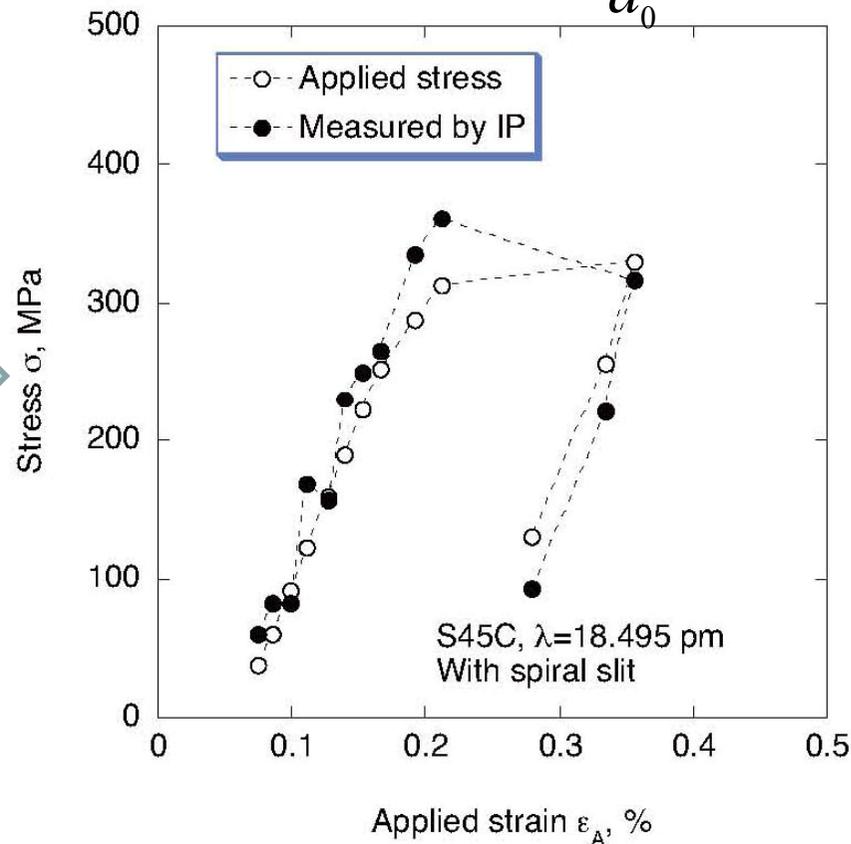
検出器：イメージングプレート, 測定時間：120sec



# スリット評価



$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{a - a_0}{a_0}$$



- 粗大粒への導入、表面効果の補正、単結晶ひずみ解析
- Pilatusとの組み合わせによる評価、および高速化

1. 2次元検出器の魅力
2. 2次元検出器による応力・ひずみ測定
3. リアルタイム2次元検出器
4. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定
5. リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布測定技術開発
6. まとめ

以下の内容に関する研究例を紹介した。

- 2次元検出器による応力・ひずみ測定
- リアルタイム2次元検出器
- リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ測定
- リアルタイム2次元検出器による応力・ひずみ分布測定技術開発

数値目標

空間分解能 :  $10\mu\text{m}$

時間分解能 :  $0.01\text{sec}$

ひずみ精度 :  $1 \times 10^{-4}\varepsilon$

現在、BL22XUを中心に開発を進めているが、手法ができあがればBL19B2をはじめ多くのビームラインへフィードバックさせる予定

- 官 JAEA : 桐山幸治、鈴木裕士、水木純一郎、小西啓之  
JASRI : 佐藤眞直、梶原堅太郎、豊川秀訓  
JAXA : 岡田純平
- 学 発電技研 : 中東重雄  
北見工業大学 : 柴野純一  
東北大学 : 米澤利夫、渡邊真史、佐藤成男  
新潟大学 : 鈴木賢治  
武蔵工業大学 : 秋田貢一  
静岡大学 : 坂井田喜久  
横浜国立大学 : 秋庭義明  
名城大学 : 田中啓介  
兵庫県立大学 : 山本厚之、寺澤倫孝
- 産 東芝 : 佐野雄二  
三菱重工業 : 栗村隆之  
住友金属 : 米村光治