

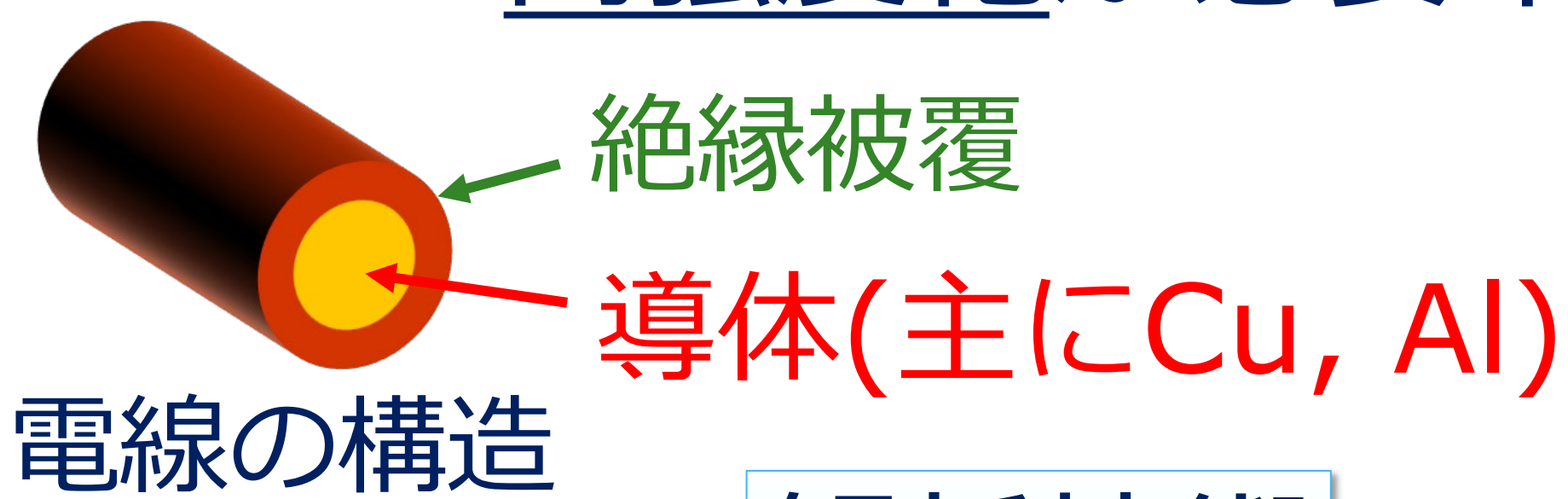
金属細線における加工と熱処理に伴う 金属組織変化の解析

住友電気工業株式会社 解析技術研究センター ・ 後藤和宏

背景 電線の細径化ニーズ増

（携帯機器内部配線
移動体向けの電線等）

高強度化が必要不可欠



電線の構造

解析技術 (定量化)

装置条件

製造プロセス

材料

試験評価

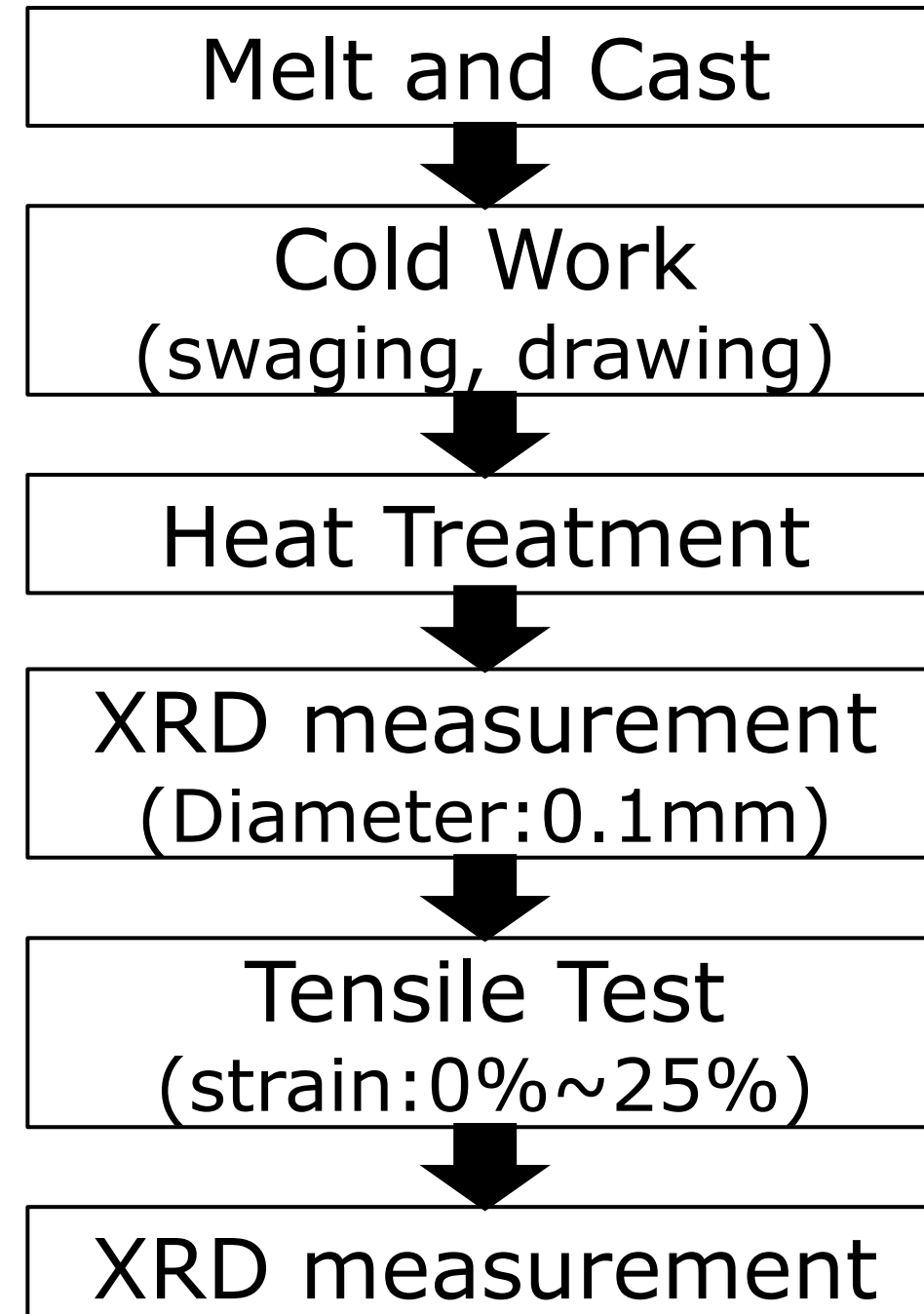
製品特性



目標：材料の強度因子を定量化
→高強度化プロセス設計に反映

今回：X線プロファイル解析を用いた
強度因子(ミクロ歪/結晶子サイズ)評価

試料準備



測定条件

測定試料外観



ビームライン：BL5S2
X線エネルギー：約18.0keV
高次光除去ミラー：4 mrad(Pt)
入射スリット：0.35 mm^H
x 0.5~1.0 mm^W
検出器：PILATUS 100K(4連装)
Threshold：13keV
カメラ長(CL)：510, 340 mm
露光条件：下表の通り

表1. 露光条件一覧

測定対象	CL=510 mm		CL=340 mm	
	CeO ₂ (標準試料)	測定試料 (金属細線)	CeO ₂ (標準試料)	測定試料 (金属細線)
露光回数	4 shot	3 shot	3 shot	2 shot
2θ (degree)	0, 8, 16, 24	9, 17, 25	0, 12, 25	0, 12
露光時間目安 (秒/shot)	162	54~162	162	54~162

X線プロファイル解析には (古典)Williamson-Hall法^[1] (下式)を用いた

$$\beta \frac{\cos \theta}{\lambda} = 4\varepsilon \frac{\sin \theta}{\lambda} + \frac{1}{D}$$

ε : 不均一格子歪(%)
 D : 結晶子サイズ(nm)
 β : 積分幅 θ : 回折角 λ : X線波長

[1] G. K. Williamson *et al.*, Acta Metall., 1, 22 (1953).

結果1 利用日毎の同一試料評価(CeO₂)

表2. 利用日毎のスリット幅、CLおよびX線エネルギー

測定日	スリット幅 (mm)	CL※1 (mm)	エネルギー (keV)※2
黒2019/6/26	0.5	510	18.000
赤2019/8/21	0.5	510	17.999
青2019/11/13A	0.5	510	17.995
緑2019/11/13B	1.0	510	17.995
黄2019/11/29	0.5	340	17.994

※1 CL=510では0.005°, CL=340では0.01°刻みで1D変換
※2 CeO₂ の回折角を用いて校正(a=5.41165Å)

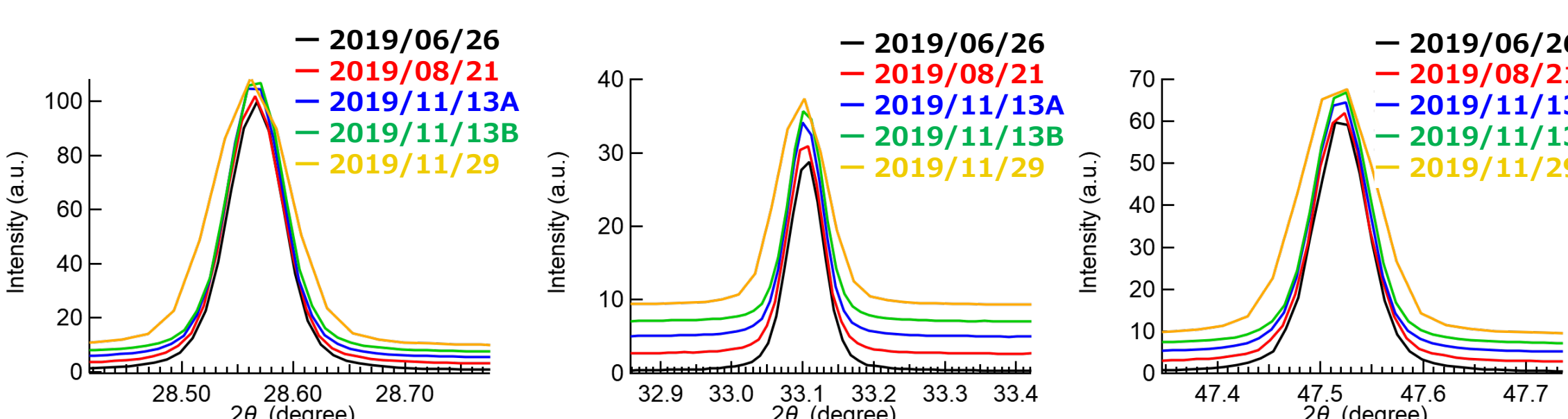


図1. CeO₂の111反射 図2. 200反射 図3. 220反射

図1,2,3の横軸はCu-Kα相当に換算

- ✓ エネルギー校正後の回折角再現性は十分と判断
- ✓ スリット幅(0.5~1.0)は今回条件では特に影響なし
- ✓ CLは510 mmを選択

結果2 銅粉末を用いた太さ影響評価

18 keVにおけるCuへのX線侵入深さ
・細線(密度8.96g/cc)：約25μm
・粉末(推定密度2.5g/cc)：約90μm

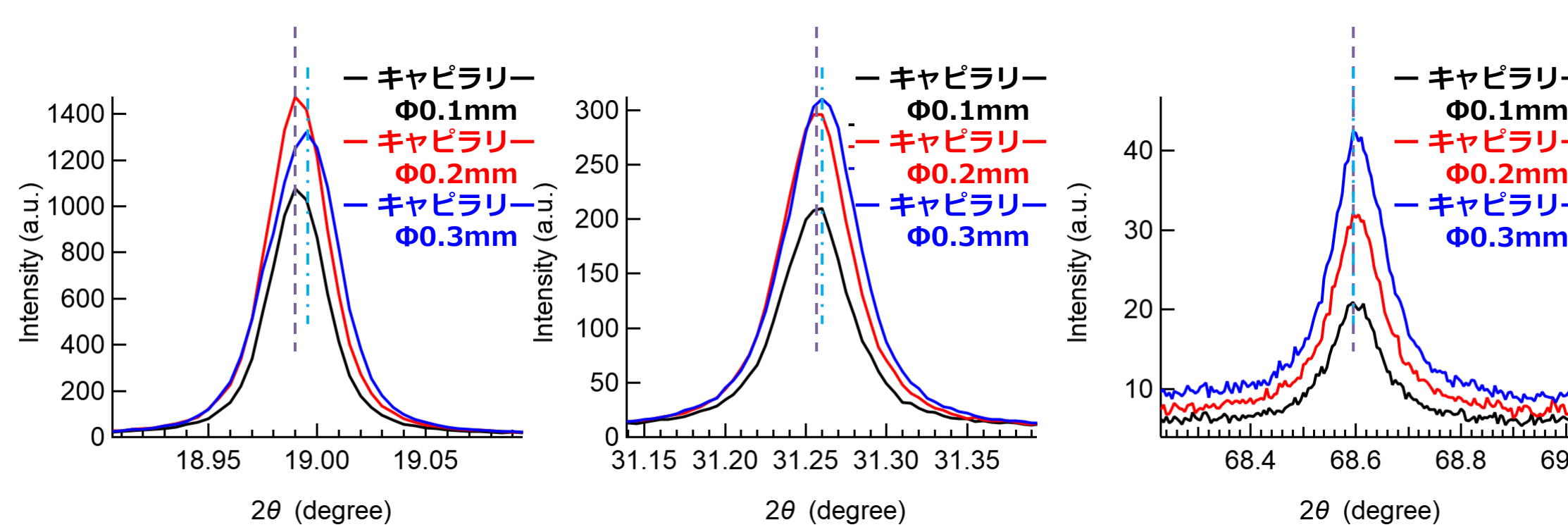
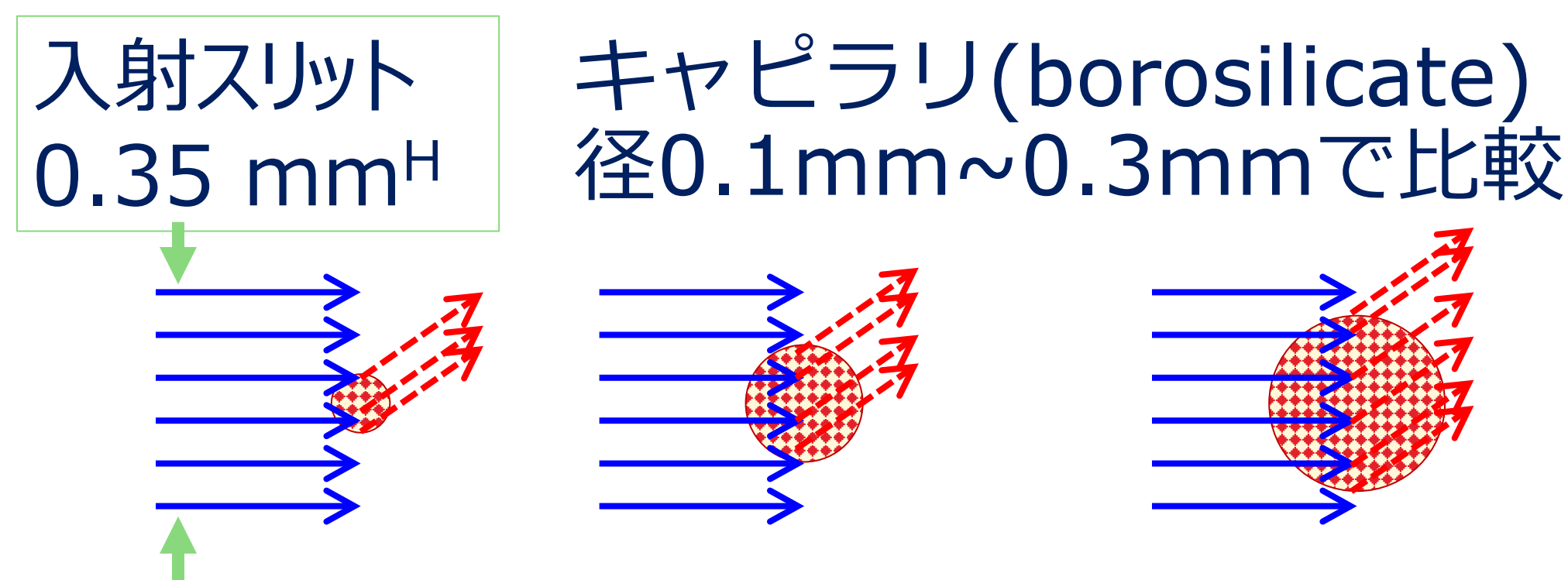


図4. Cuの111反射 図5. 220反射 図6. 531反射

- ✓ 0.1mm~0.2mmΦではピーク位置、強度比は同等に評価
- ✓ 0.3mmΦでシフト、低角強度低下→吸収影響考慮は必須(高エネルギー利用は今後の課題)

結果3 純銅細線への加工と熱処理影響

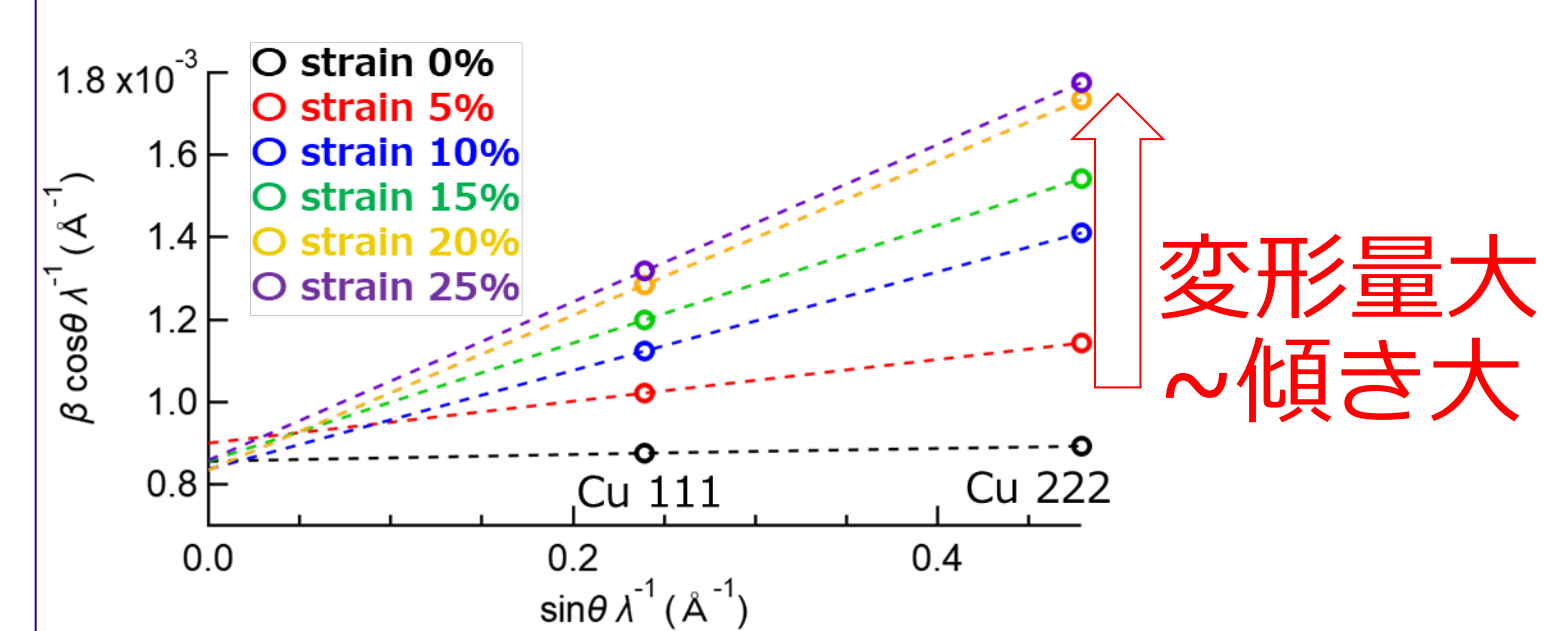


図7. Williamson-Hallプロット

表3. 上図から求めたε, D

変形量	ε (%)	D (nm)
黒 0%	0.002	117
赤 5%	0.013	111
青 10%	0.030	119
緑 15%	0.036	117
黄 20%	0.047	120
紫 25%	0.048	116

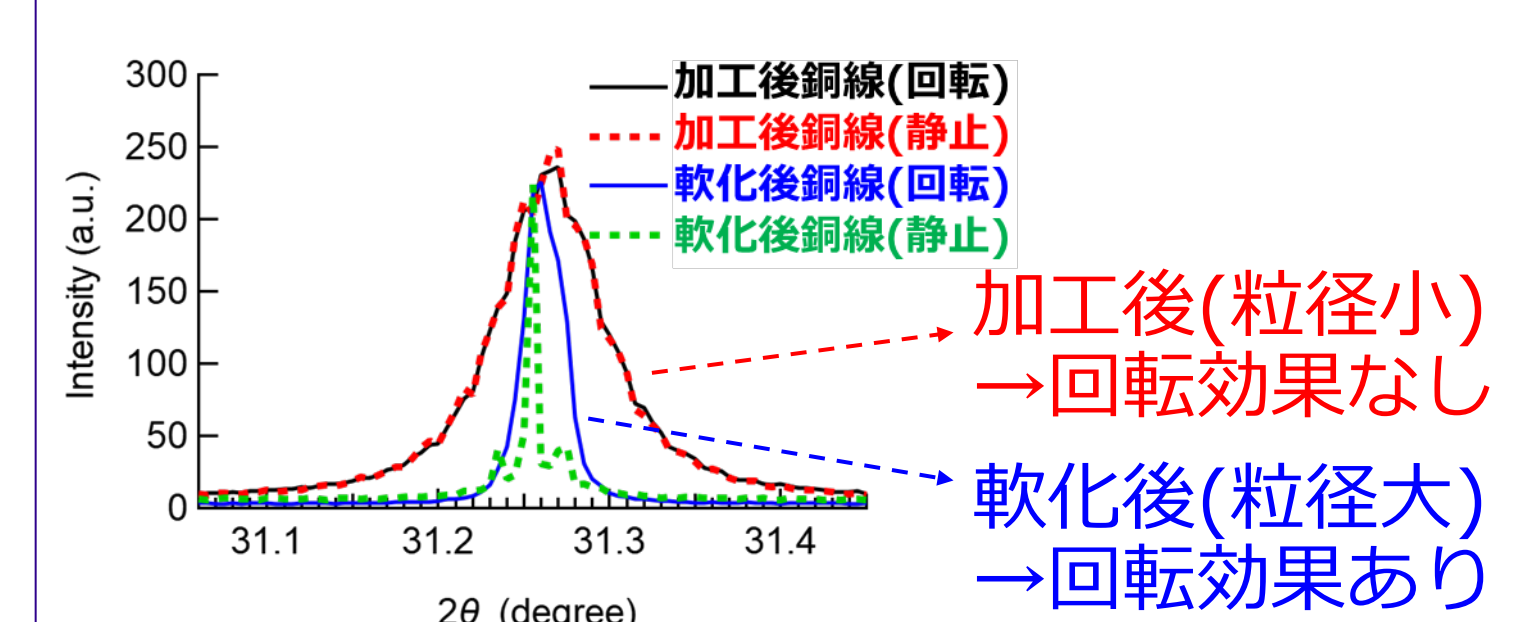


図8. 銅線の軟化熱処理前後の変化および露光中の試料回転/静止の影響

- ✓ 変形に伴う歪増大の傾向は観測された
- ✓ 軟化後の銅線(粗大粒)の評価は今後の課題