



ひずみ蓄積が転位と結晶粒成長に及ぼす 影響の評価

旭川工業高等専門学校 生産システム工学専攻(学)
旭川工業高等専門学校 機械システム工学科
豊橋技術科学大学 機械工学系

○惣田 和馬
杉本 剛
足立 望





本日の流れ

- ✓研究背景～せん断ひずみと結晶粒成長の関係性～
- ✓せん断ひずみと熱処理条件
- ✓結晶粒観察結果
- ✓結論と今後



研究背景～せん断ひずみと結晶粒成長の関係性～

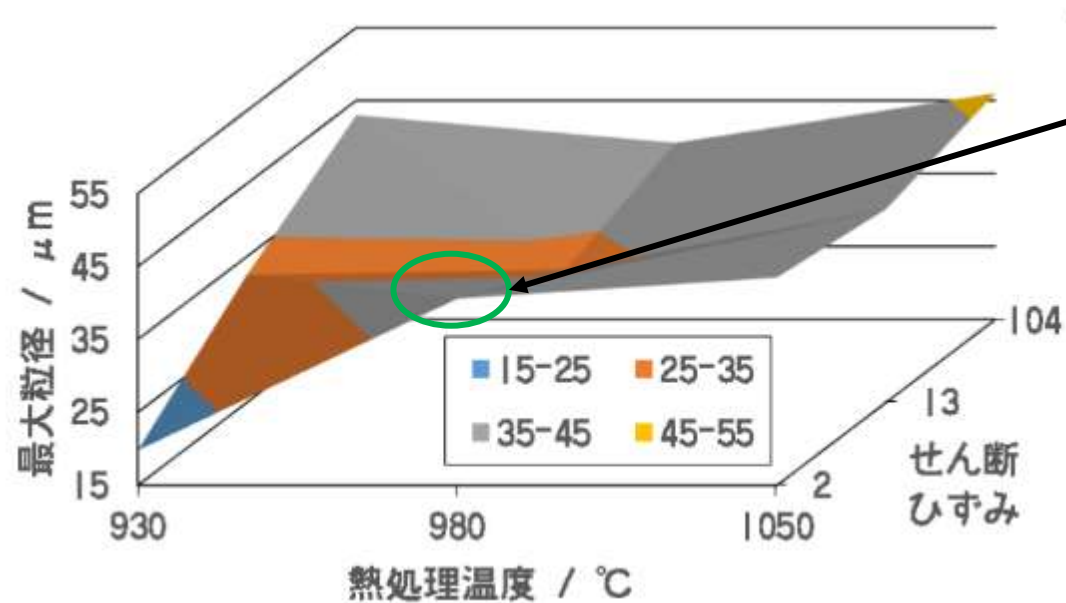


大ひずみを与え，その後熱処理した場合の結晶粒の最大粒径はひずみ量に正の相関を示す



冷間鍛造歯車

 : 大ひずみ発生箇所

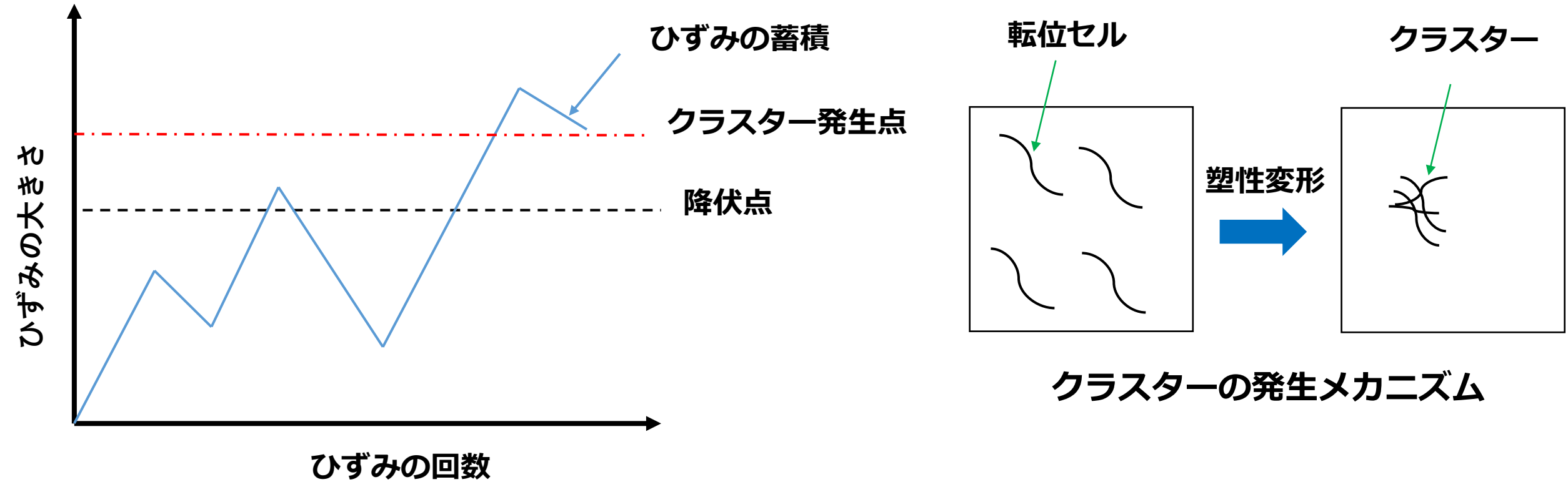


杉本剛，稲葉大地，足立望，強加工した鋼の焼入組織における旧オーステナイト粒粗大化と衝撃強度の発現メカニズムの解明，2022年度 機械工学系「高専連携共同研究プロジェクト」，2022

研究背景～せん断ひずみと結晶粒成長の関係性～



大ひずみによるクラスタの発生が、結晶粒の大きさに関連しているのではないか？

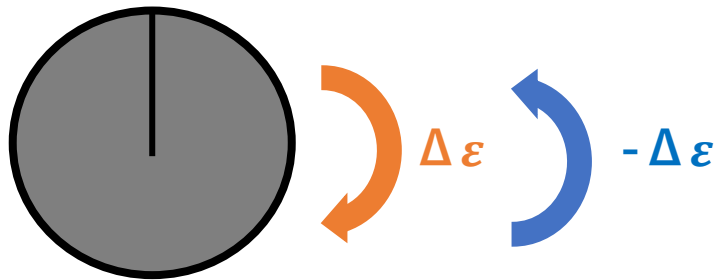


研究背景～せん断ひずみと結晶粒成長の関係性～

また、結晶粒微細化には1パスあたりのひずみ量 $|\pm\Delta\varepsilon|$ が寄与することが分かっている。

1パスあたりのひずみ量 $|\pm\Delta\varepsilon|$ と最大粒径の関係 ($\Sigma\Delta N=10$)

c-HPT加工

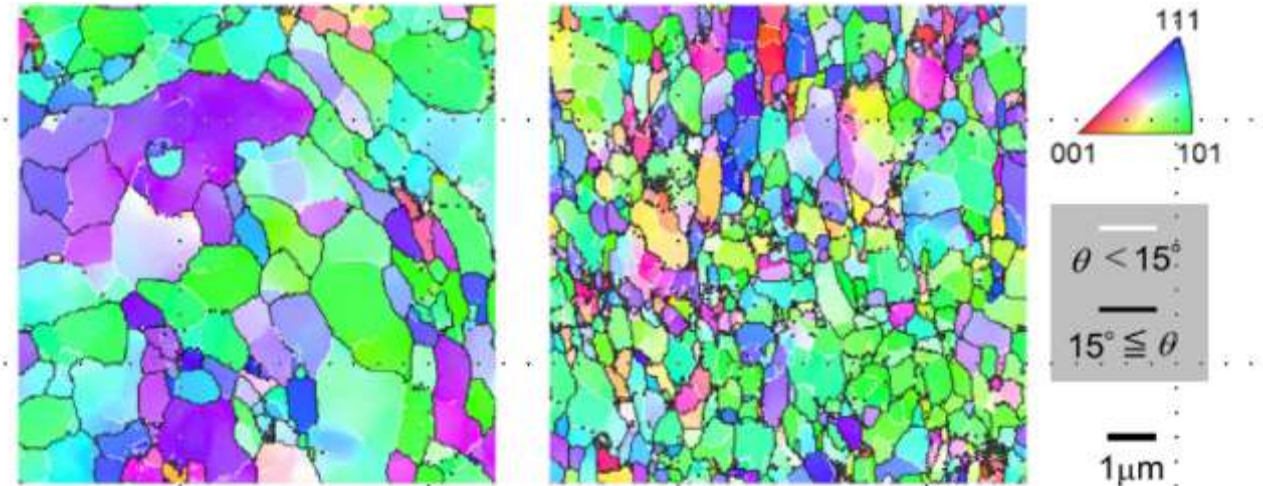


ひずみ量 $\varepsilon = Const.$

1パス： $|\pm\Delta N|$

1パスあたりのひずみ量= $|\pm\Delta\varepsilon|$

総ひずみ量 $\Sigma\Delta\varepsilon = |\Delta\varepsilon| + |-\Delta\varepsilon| + |\Delta\varepsilon| + |-\Delta\varepsilon| + \dots$



$\Delta\varepsilon=1.6$

$\Delta\varepsilon=2.4$

佐藤宏和, 足立望, 戸高義一, Cyclic-HPT加工により得られる定常結晶粒径に及ぼす1パスひずみの影響, 日本金属学会誌, 85(2), 67-74, 2021



研究背景～せん断ひずみと結晶粒成長の関係性～

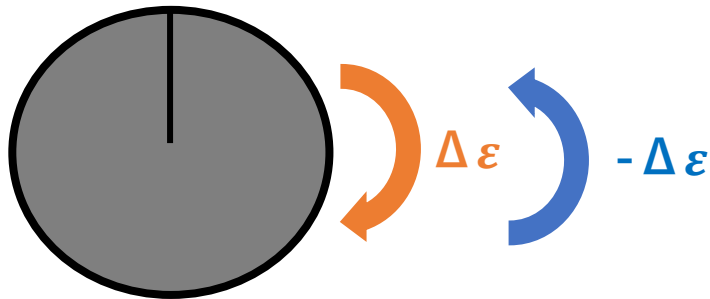


本研究では1パスで与えられるひずみ量 $|\pm \Delta \varepsilon|$ と、積み重ねによって与えられる総ひずみ量 $\Sigma |\pm \Delta \varepsilon|$ に着目し、転位の蓄積によってその後の熱処理時の結晶粒成長（以下、GG）がどのように変化するかを検証した。



冷間鍛造部品における浸炭熱処理時のGGを抑制し、浸炭強化部品の高品質化につながる

c-HPT加工



小ひずみの繰り返しにおいても、一度の大ひずみと同様に結晶粒成長が発生する可能性があるのではないか？


せん断ひずみと熱処理条件




供試材：JISSCr420

元素	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
成分量 (wt%)	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030以下	0.030以下	0.25以下	0.90~1.20	-

手順


SCr420丸棒

切削
平面研削

Φ20mm × t=1.0mm
Ra=0.1μm



機械加工

ひずみ取り焼きなまし
(600°C×1hr FC)



せん断ひずみ付与



結晶粒粗大化処理
(無酸化熱処理)

組織観察へ

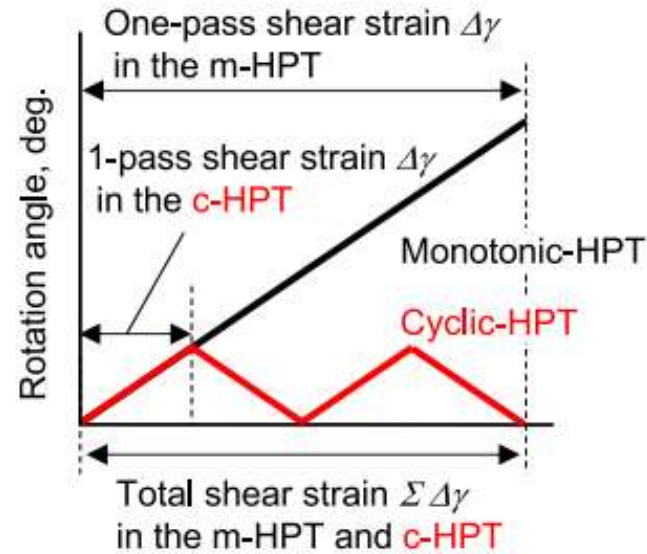
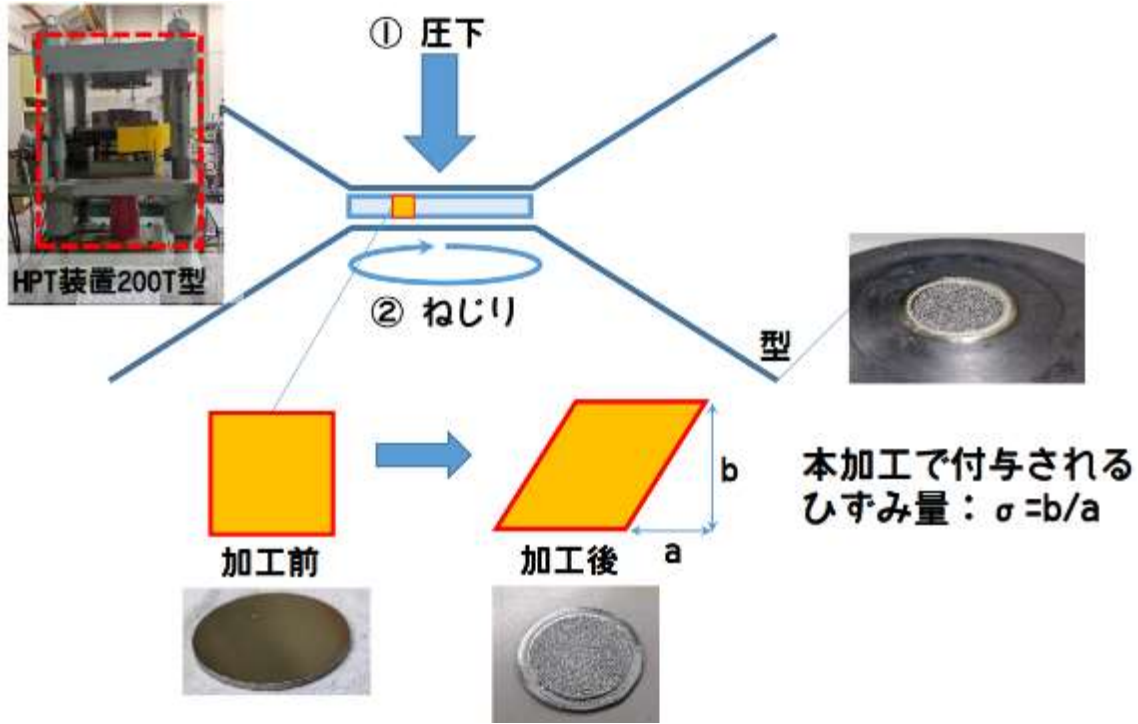


せん断ひずみと熱処理条件

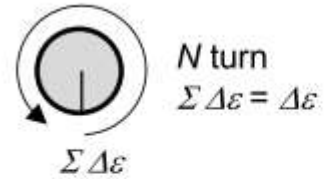


加工方法：HPT加工（圧力 $P=5\text{GPa}$ ，回転速度 $\omega=0.2\text{rpm}$ ，室温）

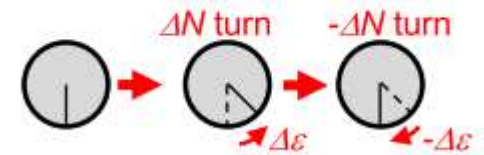
$\Sigma|\pm\Delta\varepsilon|$ および $|\pm\Delta\varepsilon|$ の制御：**Cyclic-HPT (c-HPT)**加工



◆ Monotonic-HPT (m-HPT)



◆ Cyclic-HPT (c-HPT)



$$\Sigma\Delta N = |\Delta N| + |-\Delta N| + |\Delta N| + |-\Delta N| + \dots$$

$$\Sigma\Delta\varepsilon = |\Delta\varepsilon| + |-\Delta\varepsilon| + |\Delta\varepsilon| + |-\Delta\varepsilon| + \dots$$

せん断ひずみ付与メカニズム

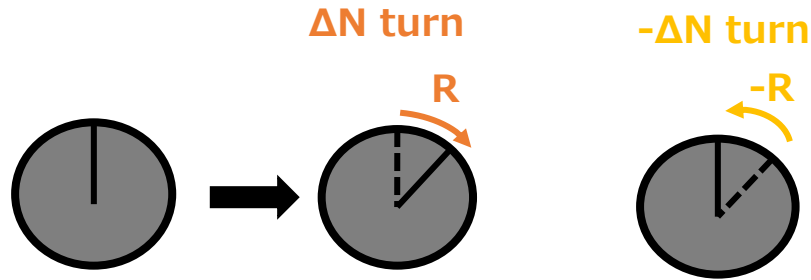
Cyclic-HPT加工メカニズム



せん断ひずみと熱処理条件

せん断ひずみ付与加工条件

圧下圧：5GPa
 回転速度：0.2rpm
 温度：室温
 総ひずみ量は
 外周部の値



$$\Sigma \Delta N = |\Delta N| + |-\Delta N| + |\Delta N| + |-\Delta N| + \dots$$

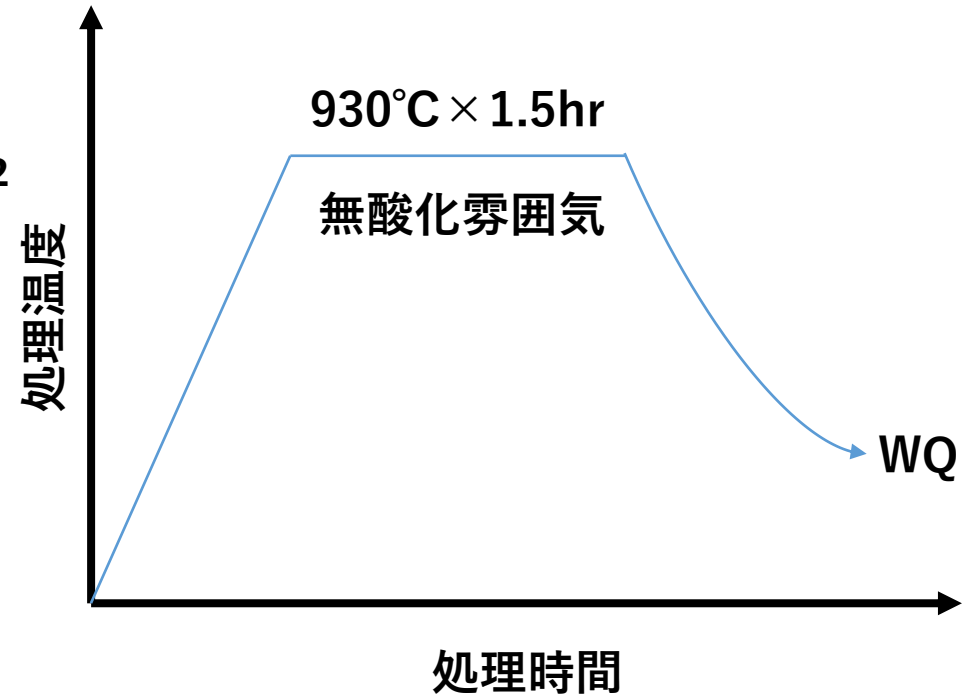
$$\Sigma \Delta \epsilon = |\Delta \epsilon| + |-\Delta \epsilon| + |\Delta \epsilon| + |-\Delta \epsilon| + \dots$$

※ R=1, 1/8, 1/32のとき, それぞれ $|\pm \Delta \epsilon| = 104, 13, 2$

回転 R	パスの総量 $\Sigma \Delta N$	総ひずみ量 $\Sigma \pm \Delta \epsilon $
1/32	32	104
1/8	8	
1/2	2	
1	1	
1/32	4	13
1/16	2	
1/8	1	

熱処理（結晶粒粗大化処理）

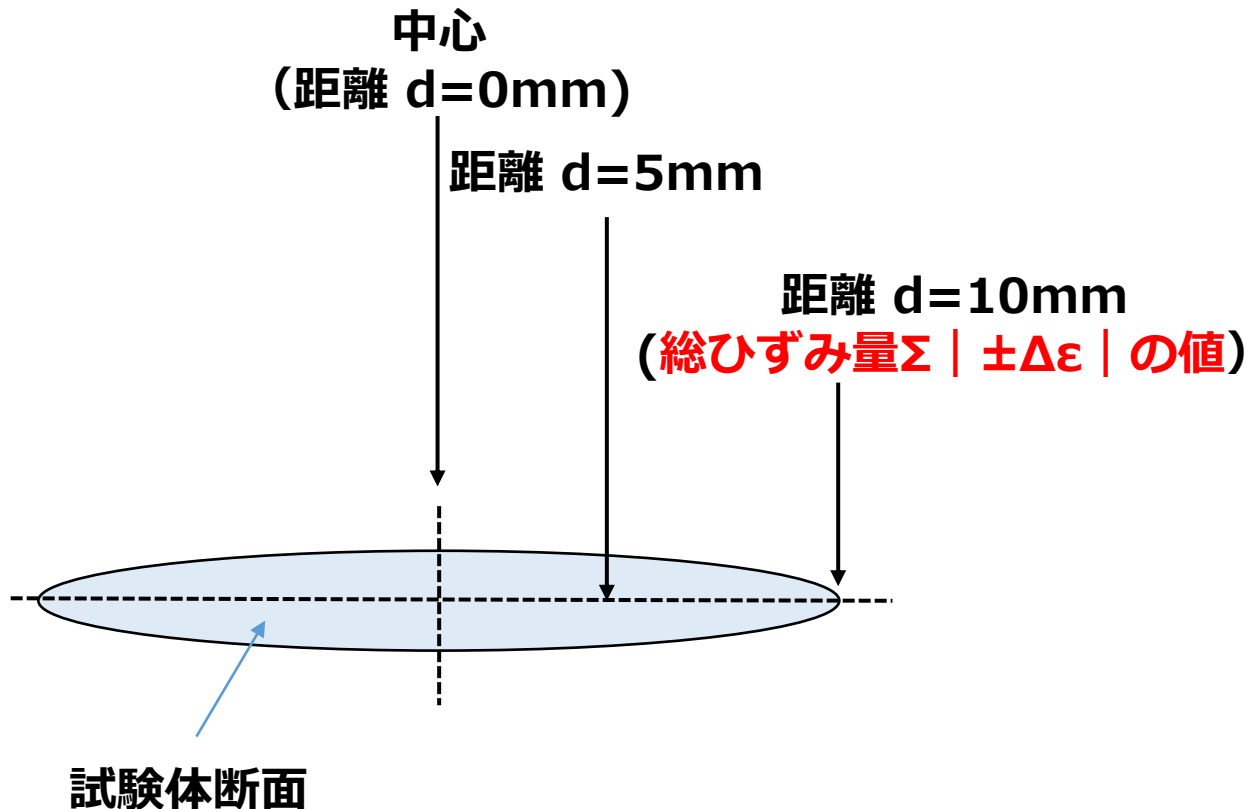
930°C：結晶粒の大きさが変化する境界線の温度



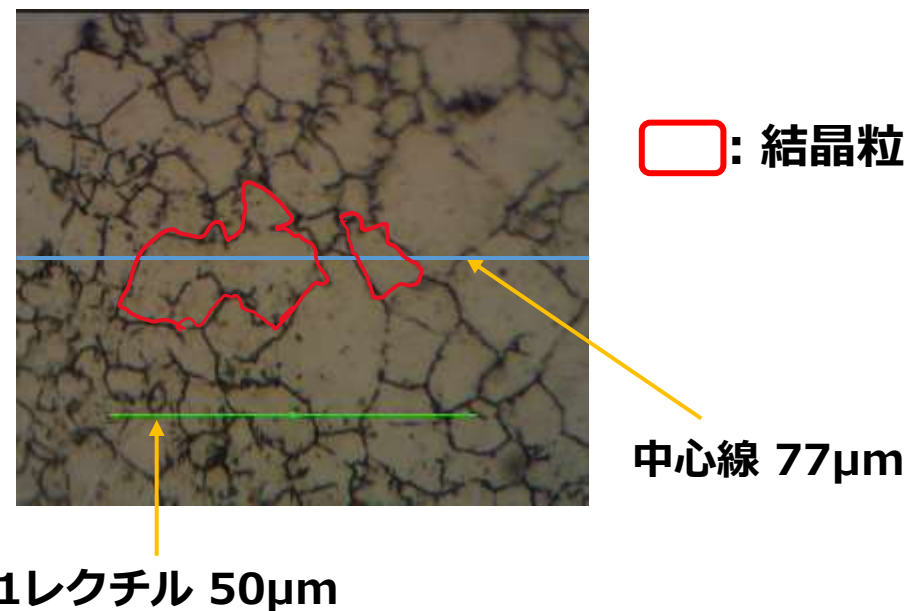
せん断ひずみと熱処理条件



結晶粒径の計測位置



切断法による平均粒径の計測



平均粒径の計算式

$77 (\mu\text{m}) \div \text{結晶粒の個数 (個)}$

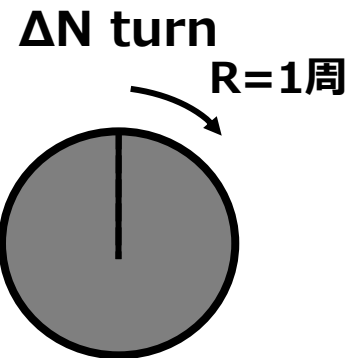
最大粒径: 中心線上の結晶粒のなかで最大のもの

結晶粒観察結果

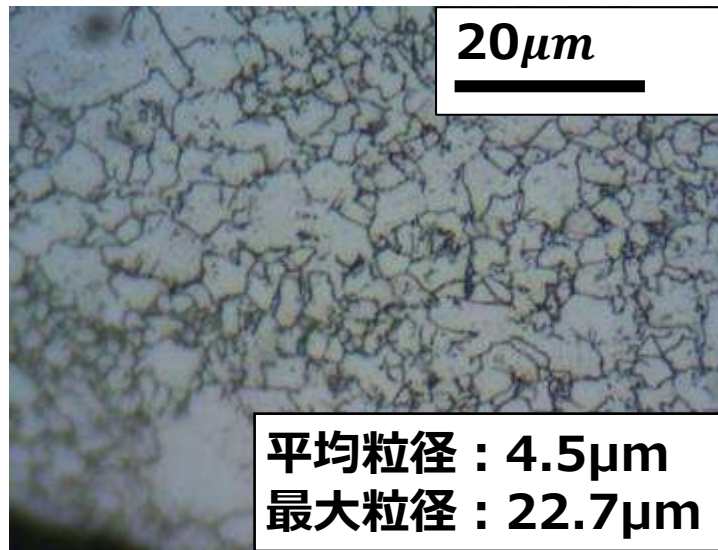


総ひずみ量 $\Sigma |\pm\Delta\varepsilon| = 104$

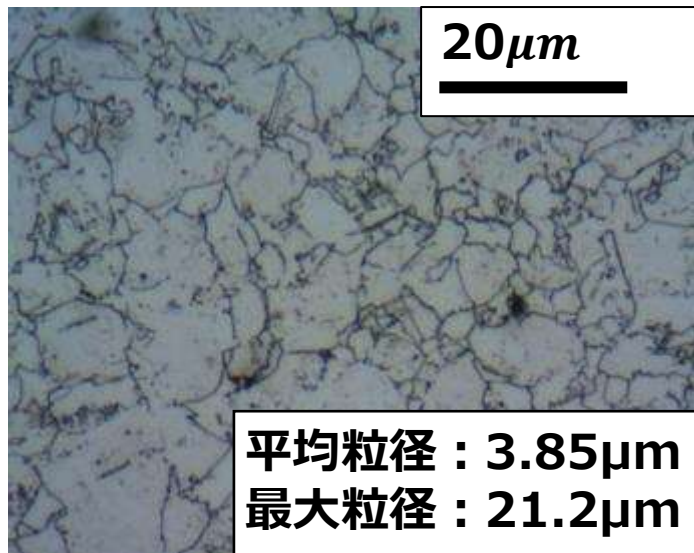
回転 $R=1$ 周, パスの総量 $\Sigma\Delta N=1$ 回



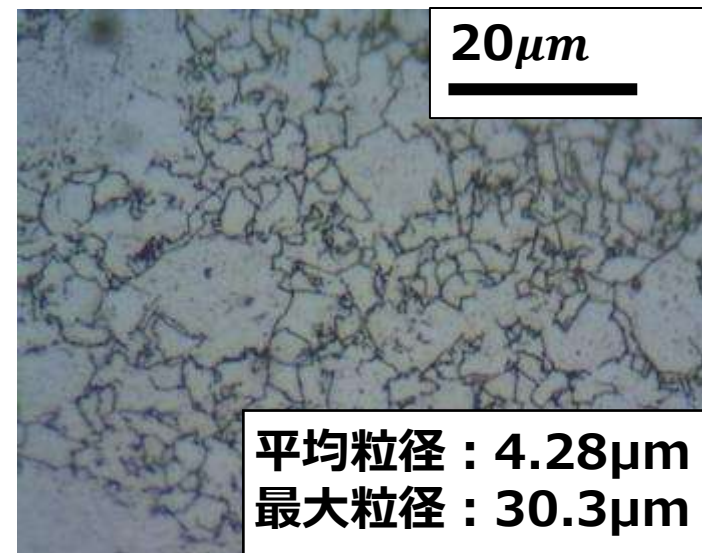
距離 $d=0\text{mm}$



距離 $d=5\text{mm}$



距離 $d=10\text{mm}$



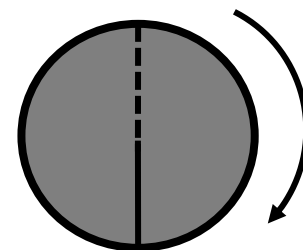
結晶粒観察結果



総ひずみ量 $\Sigma |\pm\Delta\varepsilon| = 104$

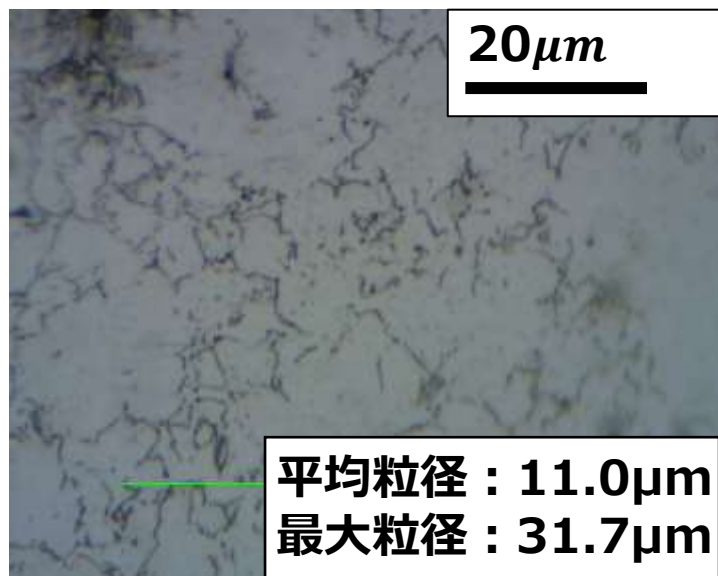
回転 $R=1/2$ 周, パスの総量 $\Sigma\Delta N = 2$ 回

ΔN turn

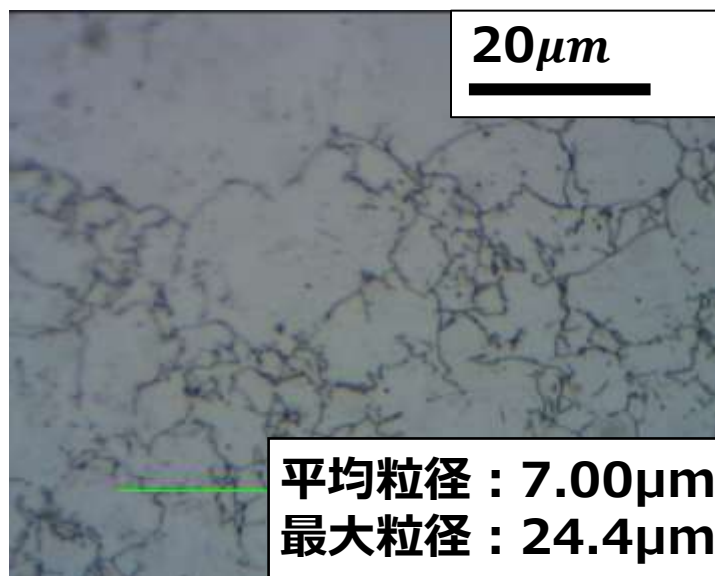


$R=1/2$ 周

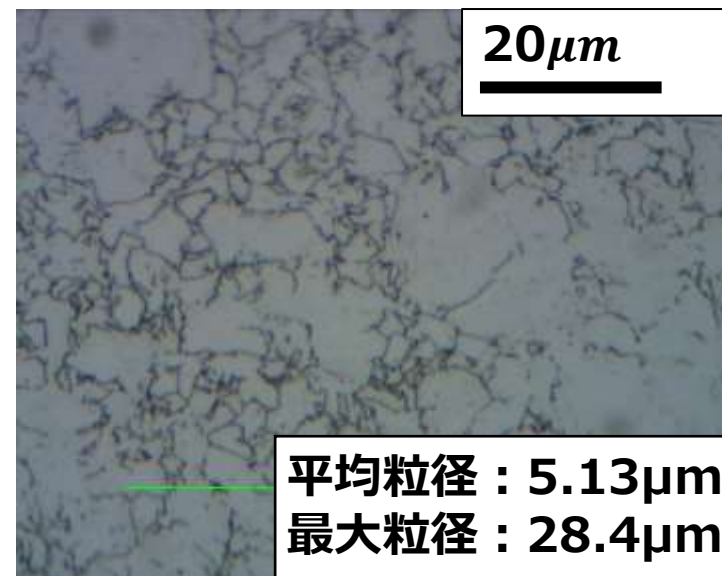
距離 $d=0$ mm



距離 $d=5$ mm



距離 $d=10$ mm

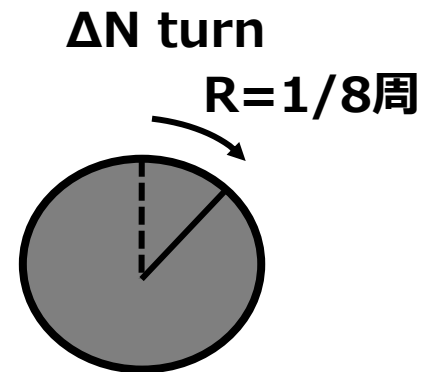


結晶粒観察結果

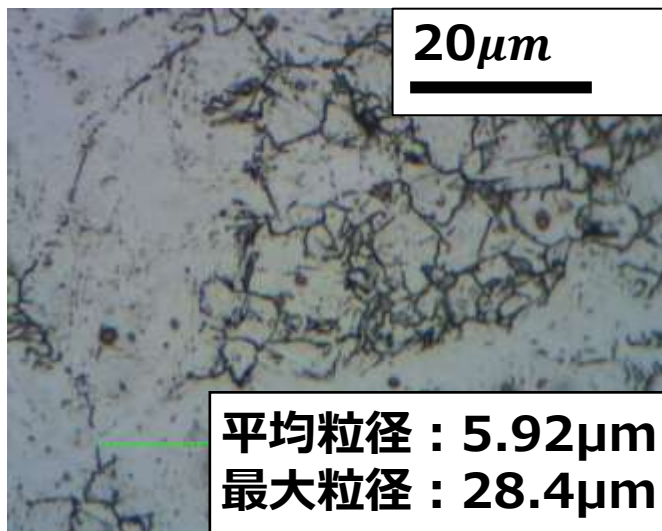


総ひずみ量 $\Sigma |\pm\Delta\varepsilon| = 104$

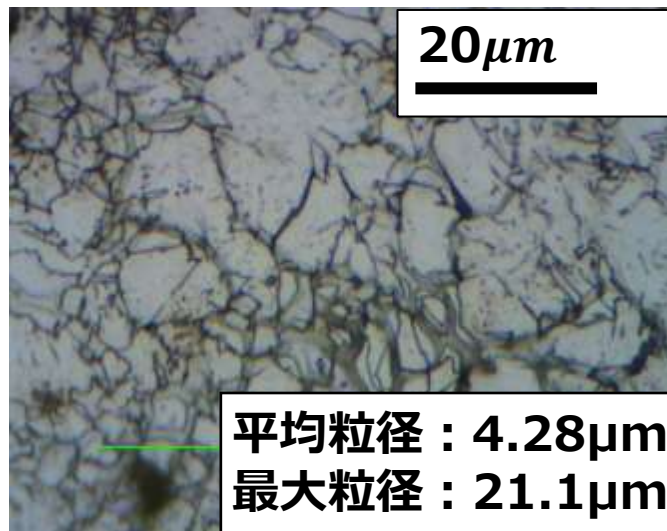
回転 $R=1/8$ 周, パスの総量 $\Sigma\Delta N=8$ 回



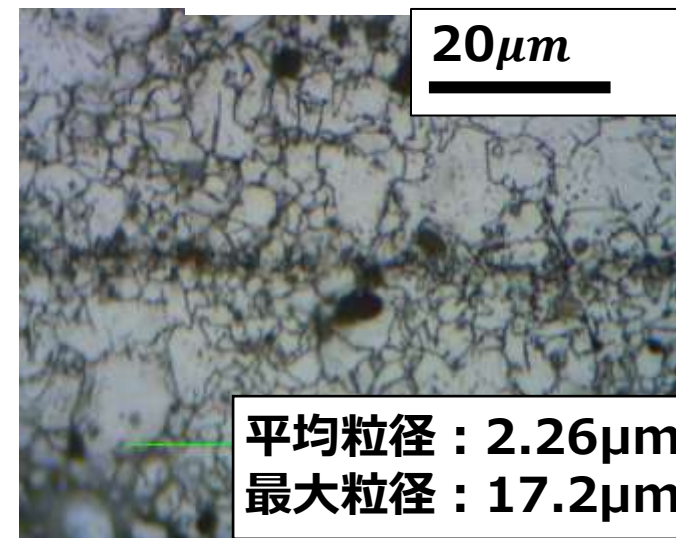
距離 $d=0$ mm



距離 $d=5$ mm



距離 $d=10$ mm



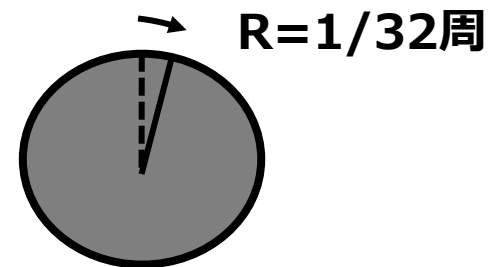
結晶粒観察結果



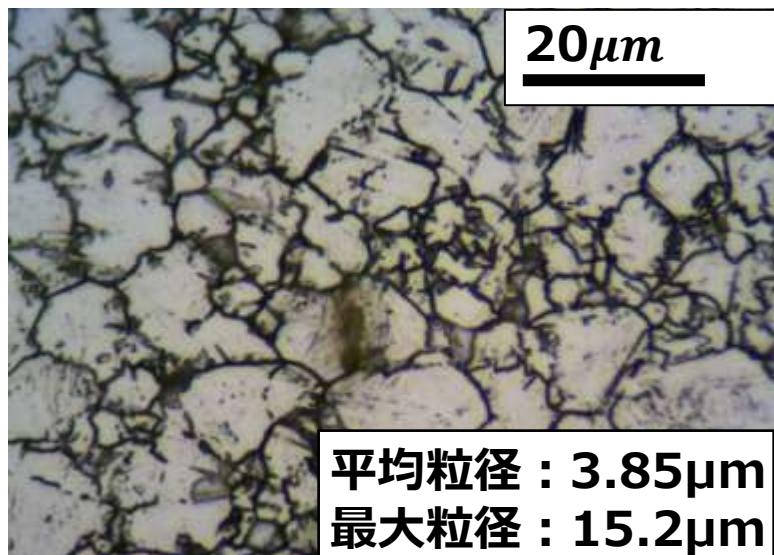
総ひずみ量 $\Sigma |\pm\Delta\varepsilon| = 104$

回転 $R=1/32$ 周, パスの総量 $\Sigma\Delta N=32$ 回

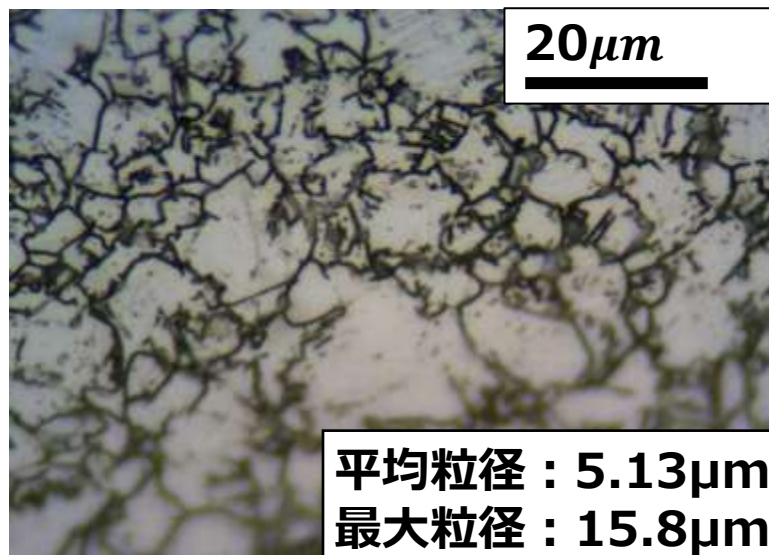
ΔN turn



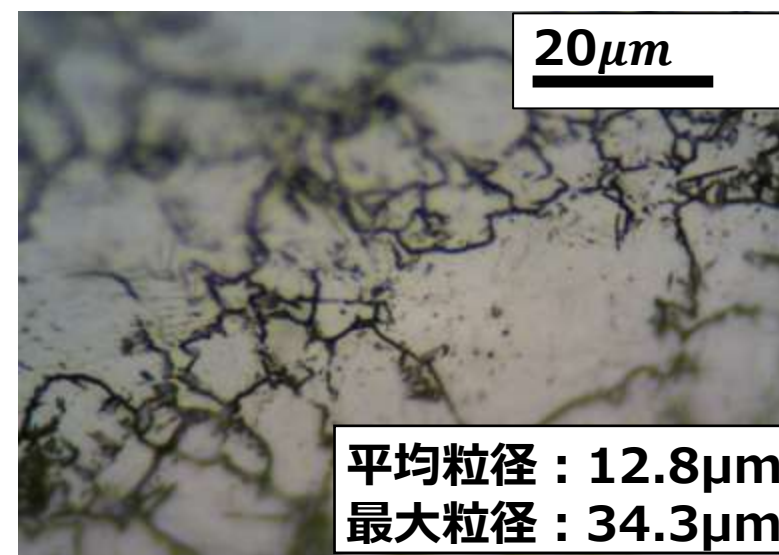
距離 $d=0\text{mm}$



距離 $d=5\text{mm}$



距離 $d=10\text{mm}$



結晶粒観察結果

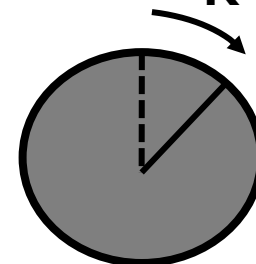


総ひずみ量 $\Sigma |\pm\Delta\varepsilon| = 13$

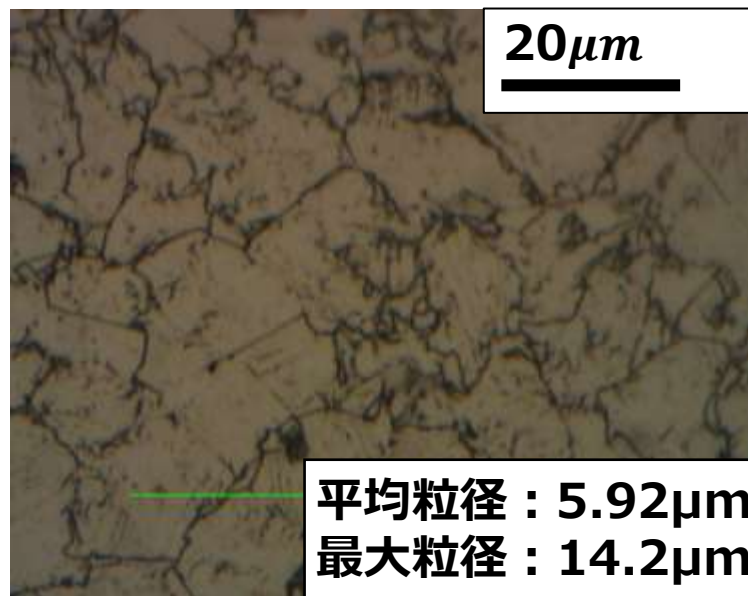
回転 $R=1/8$ 周, パスの総量 $\Sigma\Delta N=8$ 回

ΔN turn

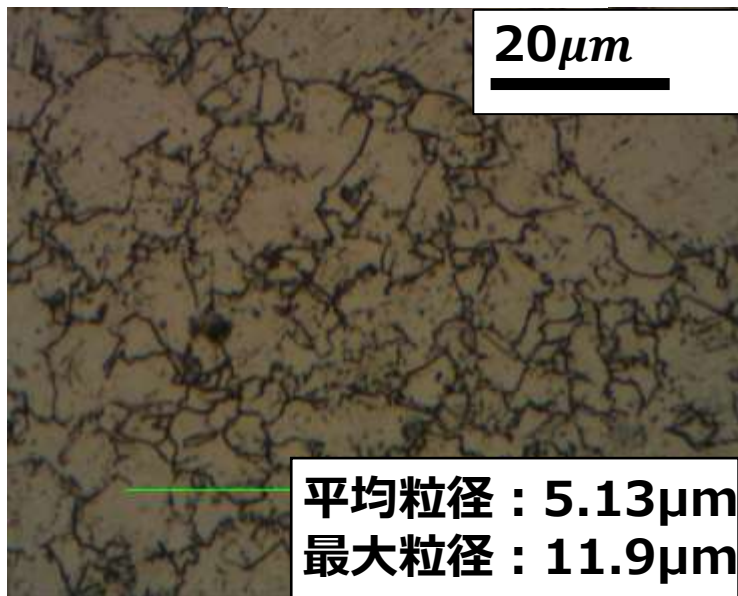
$R=1/8$ 周



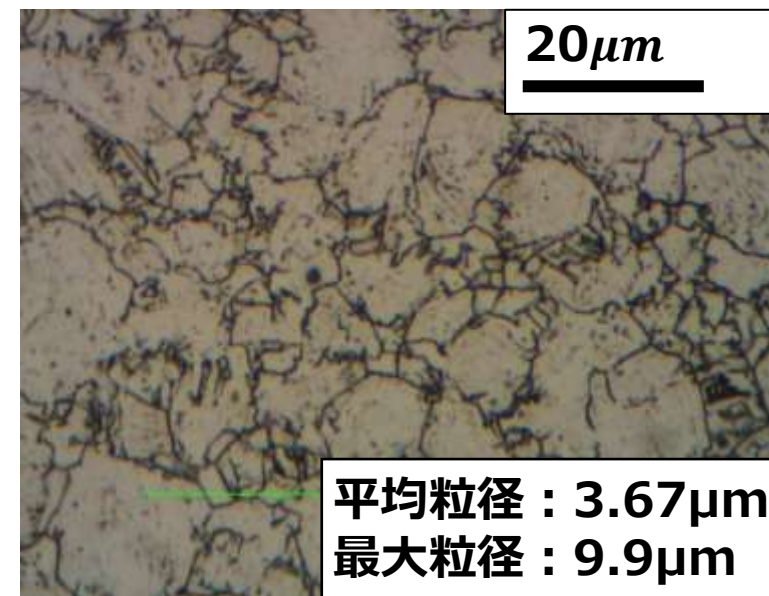
距離 $d=0$ mm



距離 $d=5$ mm



距離 $d=10$ mm



結晶粒観察結果

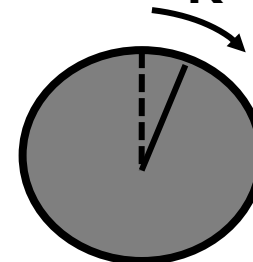


総ひずみ量 $\Sigma |\pm\Delta\varepsilon| = 13$

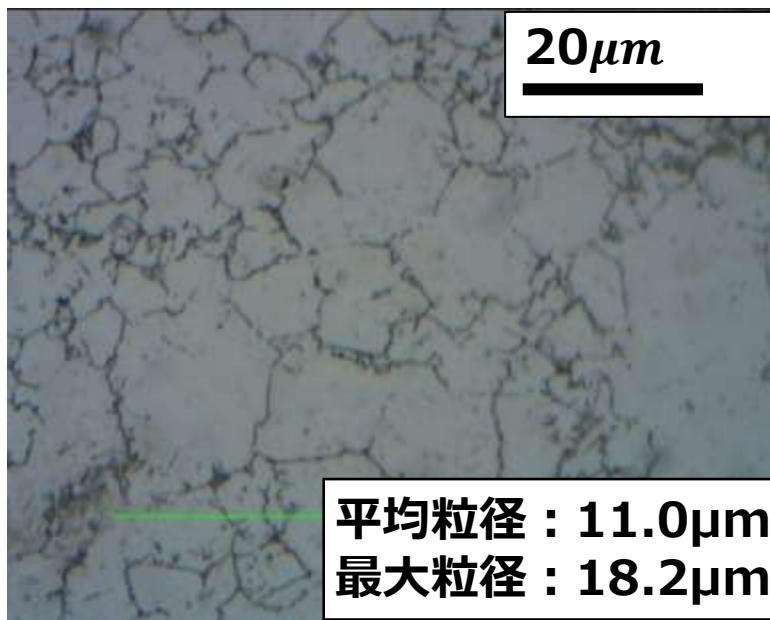
回転 $R=1/16$ 周, パスの総量 $\Sigma\Delta N=2$ 回

ΔN turn

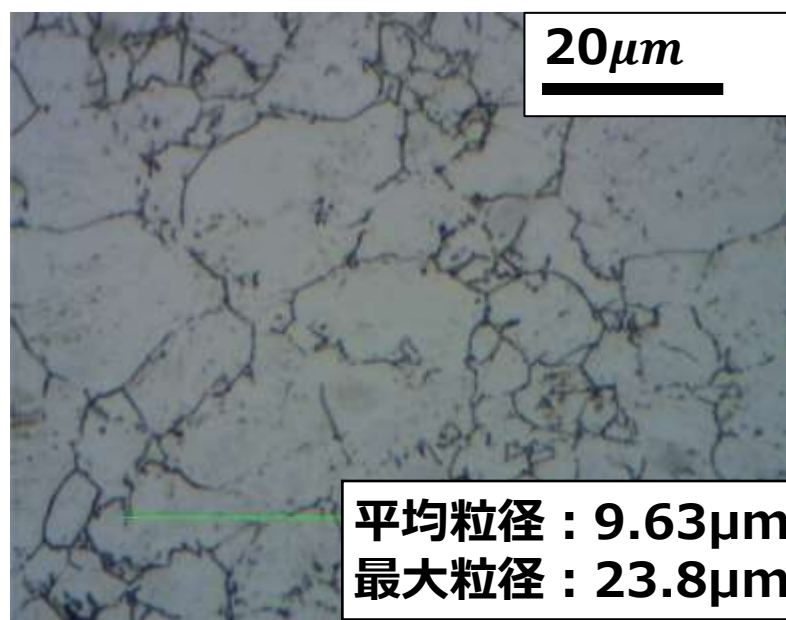
$R=1/16$ 周



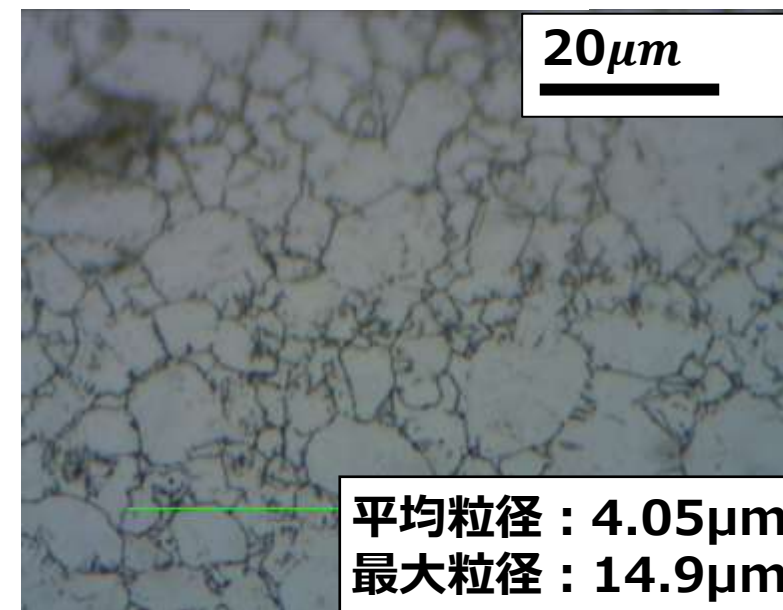
距離 $d=0$ mm



距離 $d=5$ mm



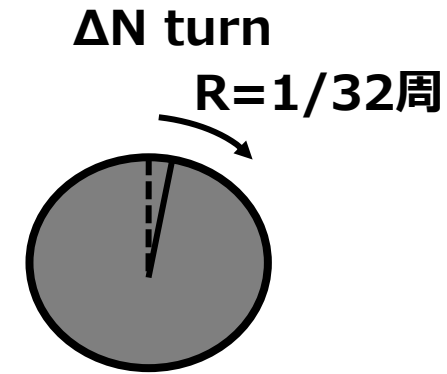
距離 $d=10$ mm



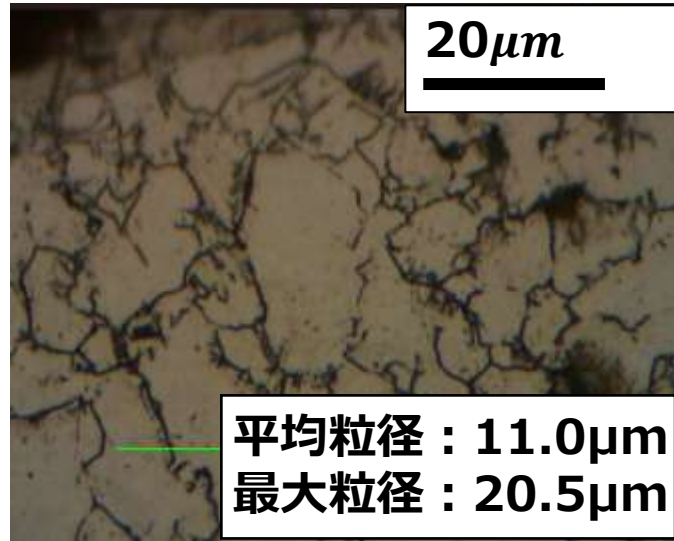
結晶粒観察結果

総ひずみ量 $\Sigma |\pm\Delta\varepsilon| = 13$

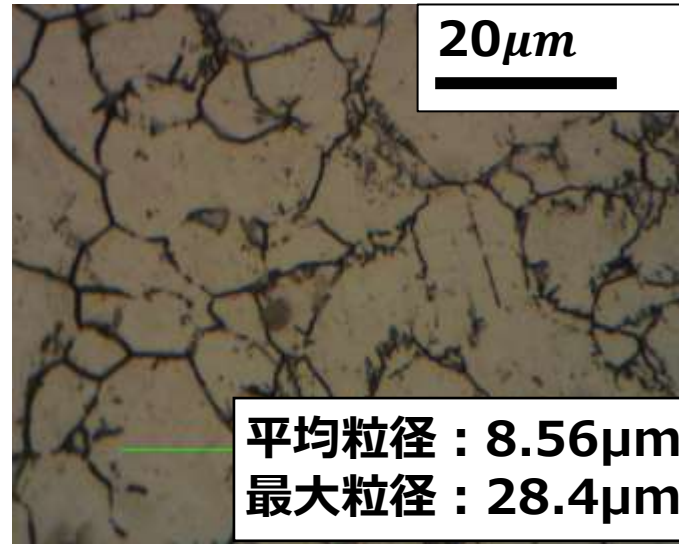
回転 $R=1/32$ 周, パスの総量 $\Sigma\Delta N=4$ 回



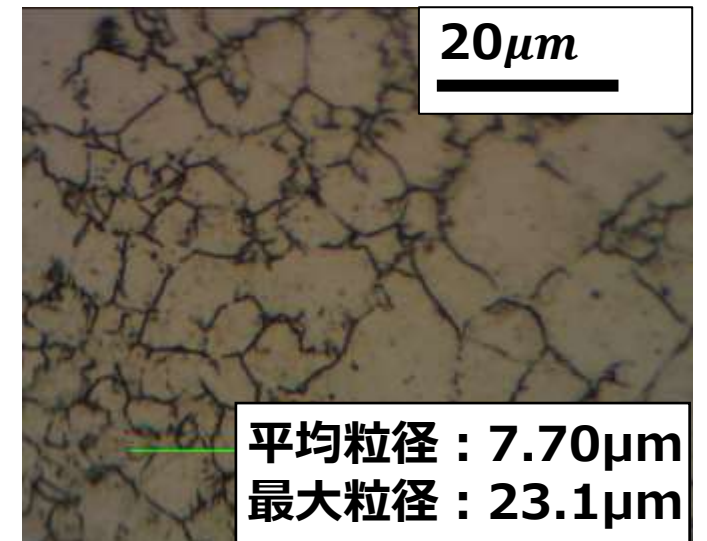
距離 $d=0\text{mm}$



距離 $d=5\text{mm}$

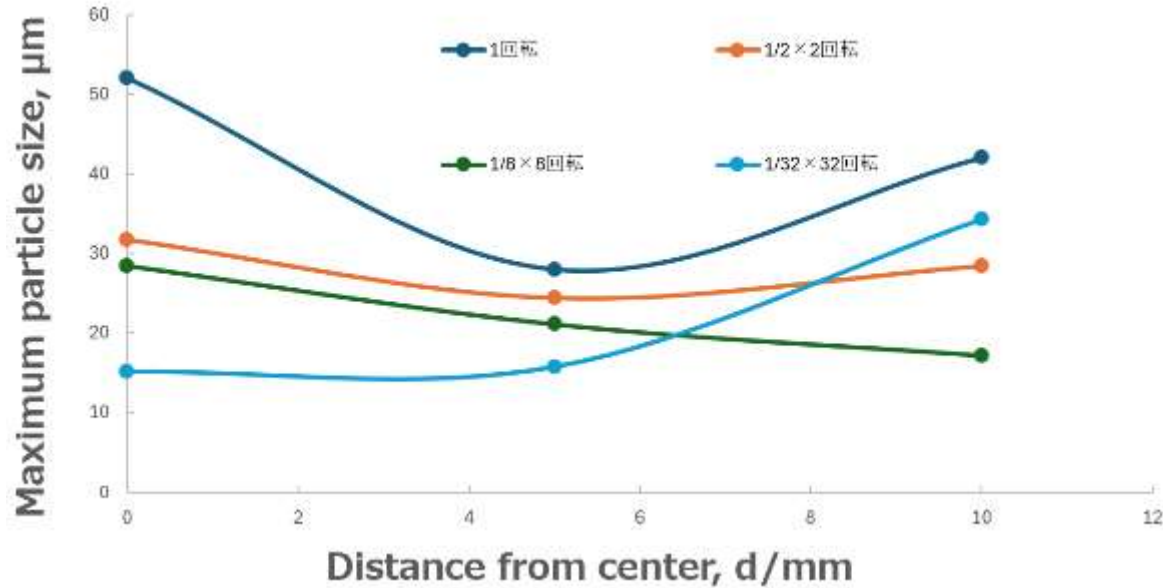


距離 $d=10\text{mm}$

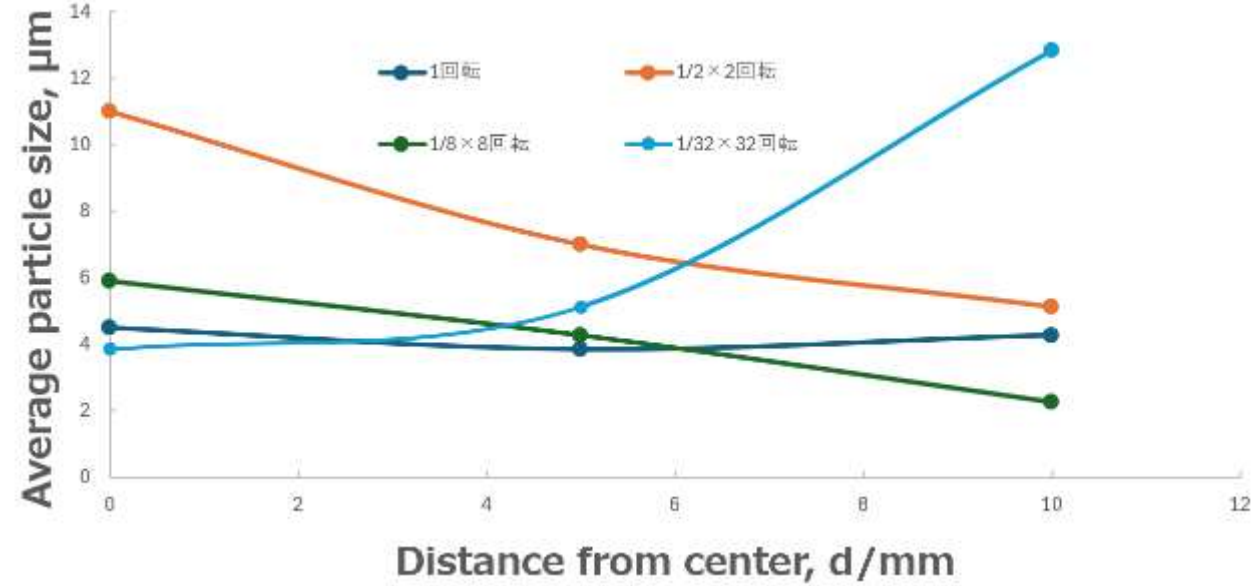


結晶粒観察結果

総ひずみ量 $\Sigma|\pm\Delta\varepsilon|=104$



距離 d と最大粒径のグラフ



距離 d と平均粒径のグラフ

最大, 平均粒径ともに距離 d について正, 負の相関を示すデータがそれぞれ存在した



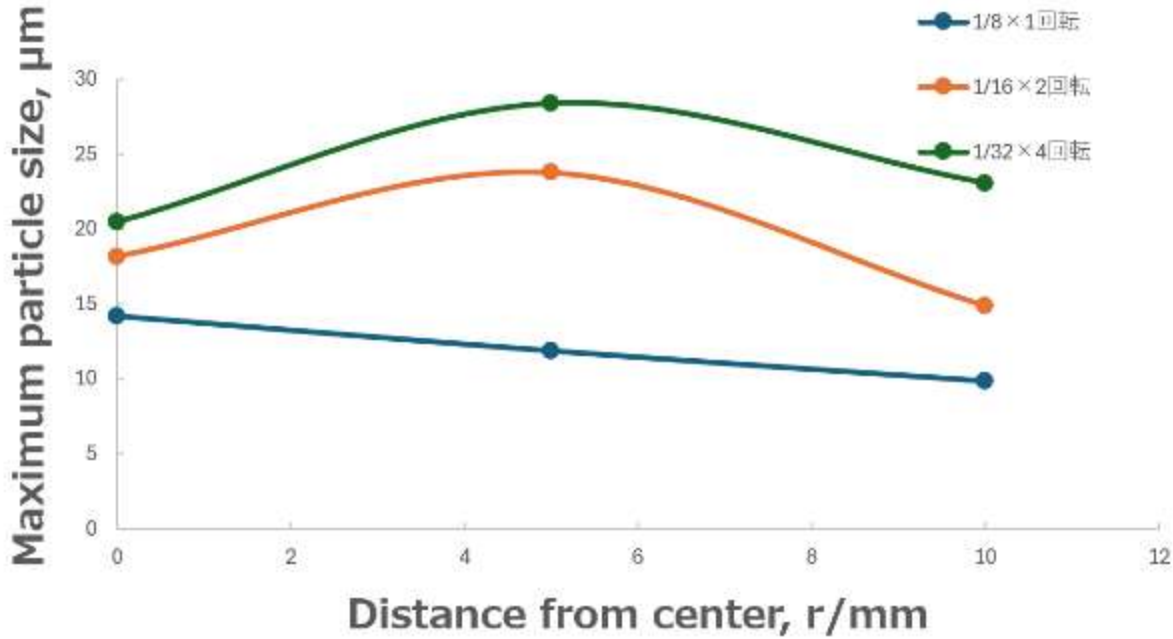
結晶粒径の増減の境界条件となる
距離 d , パスの総量 $\Sigma\Delta N$ が存在する



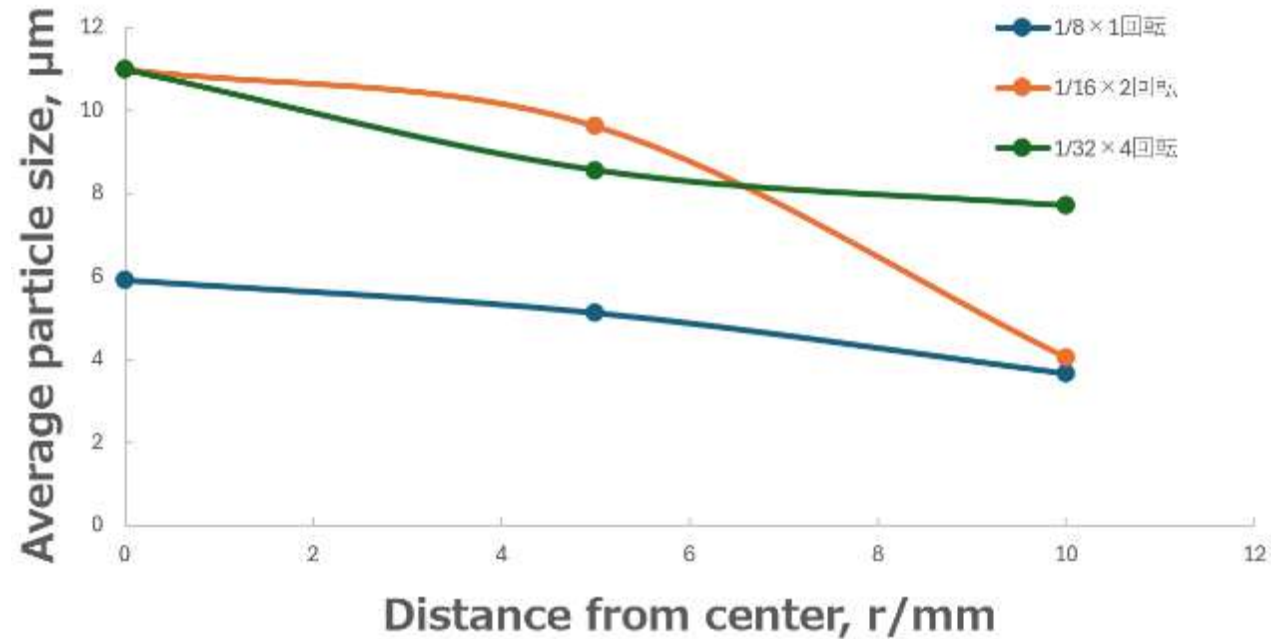
結晶粒観察結果



総ひずみ量 $\Sigma|\pm\Delta\varepsilon|=13$



距離 d と最大粒径のグラフ



距離 d と平均粒径のグラフ

最大粒径については距離 $d = 5\text{mm}$ 付近で一度上昇する動きがみられるが、その後平均粒径と同様に減少していった

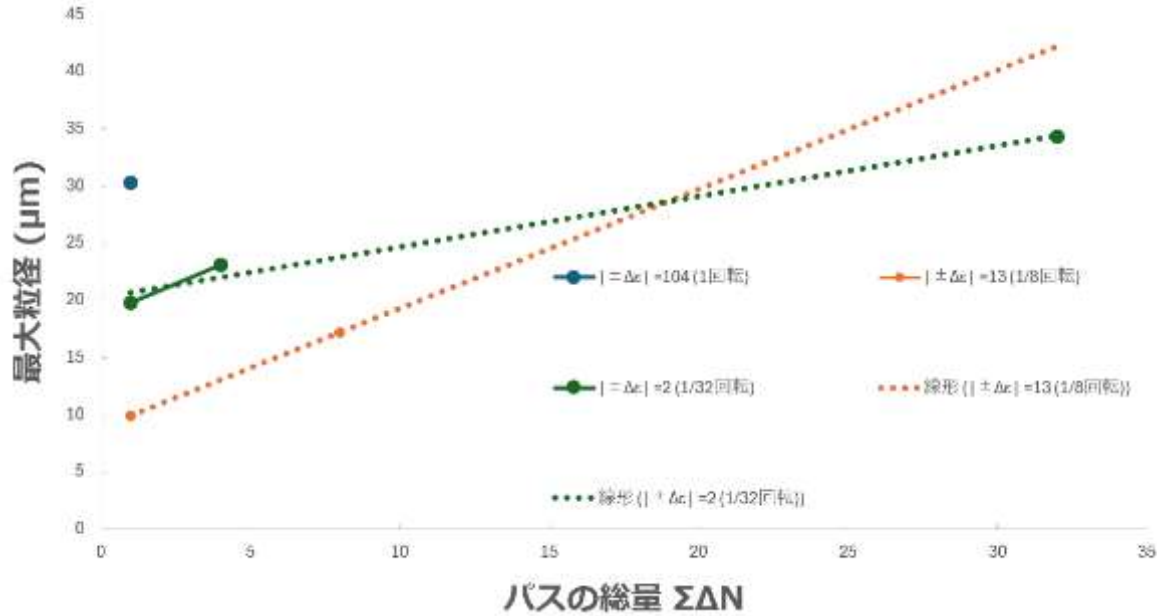


距離 d について、結晶粒径に対する正負の境界条件が存在する

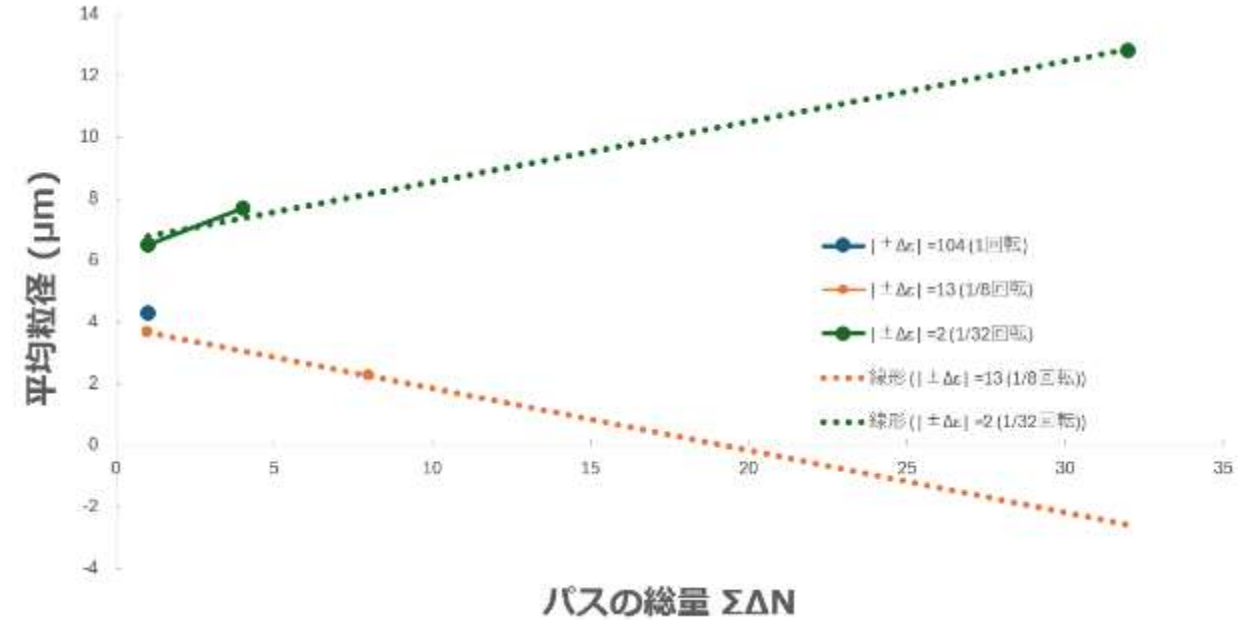


結晶粒観察結果

1パスひずみ $|\pm\Delta\varepsilon|$ とパスの総量 $\Sigma\Delta N$ について



パスの総量 $\Sigma\Delta N$ と最大粒径のグラフ



パスの総量 $\Sigma\Delta N$ と平均粒径のグラフ

最大粒径についてはパスの総量 $\Sigma\Delta N$ と正の相関を示し、平均粒径については負の相関を示す1パスひずみ $|\pm\Delta\varepsilon|$ が存在した



1パスひずみ $|\pm\Delta\varepsilon|$ の条件を限定したうえでパスの総量 $\Sigma\Delta N$ との相関を調べる必要がある

結論と今後



先行研究では、最大せん断ひずみが発生する距離 $d=10\text{mm}$ において
結晶粒の最大粒径がひずみの大きさに正の相関を示すことが分かっている



本研究では小ひずみの繰り返しに着目し、2種類の総ひずみ量 $\Sigma|\pm\Delta\varepsilon|$ について
3か所から結晶粒の観察を行った結果、

結晶粒径について

- 1. 回転 R , パスの総量 $\Sigma\Delta N$
- 2. 距離 d

について正負の境界条件が存在し、

1パスひずみ $|\pm\Delta\varepsilon|$ とパスの総量 $\Sigma\Delta N$ について
 $\Sigma\Delta N$ と正の相関を示す1パスひずみ $|\pm\Delta\varepsilon|$ が存在することが分かった





今後は

- 境界条件の導出
- 1パスひずみ $|\pm\Delta\varepsilon|$ とパスの総量 $\Sigma\Delta N$ との相関関係
- SEM EBSDによる結晶方位観察
- TEMによる転位観察

について行う



ご清聴ありがとうございました