

ナノ領域・マクロ領域での強度解析の紹介

ナノ領域

- ・原子炉圧力容器の照射脆化に関する原子レベルの解析

マクロ領域

- ・耐圧PETボトルの強度解析

岡山県立大学 情報工学部 情報システム工学科
福田忠生

中性子照射脆化のマイクロ機構

材料の硬化に対応する 脆化マイクロ因子

Cu析出物

その他の析出物

MnNi析出物, リン化物,
炭化物

欠陥クラスター

格子間原子集合体,
空孔集合体

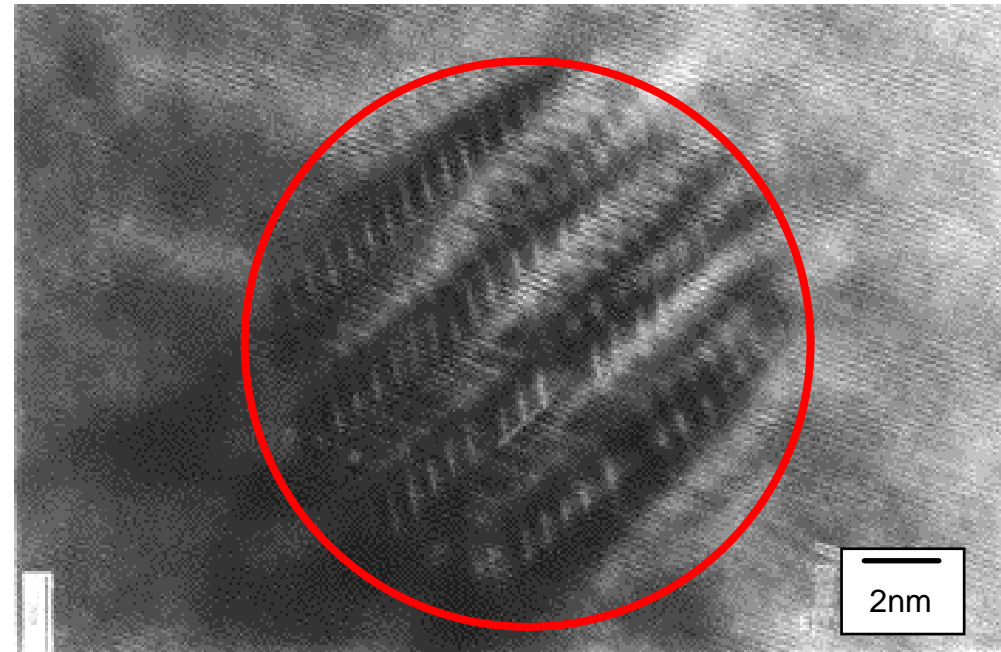
照射条件の脆化への影響

照射温度

フラックス効果

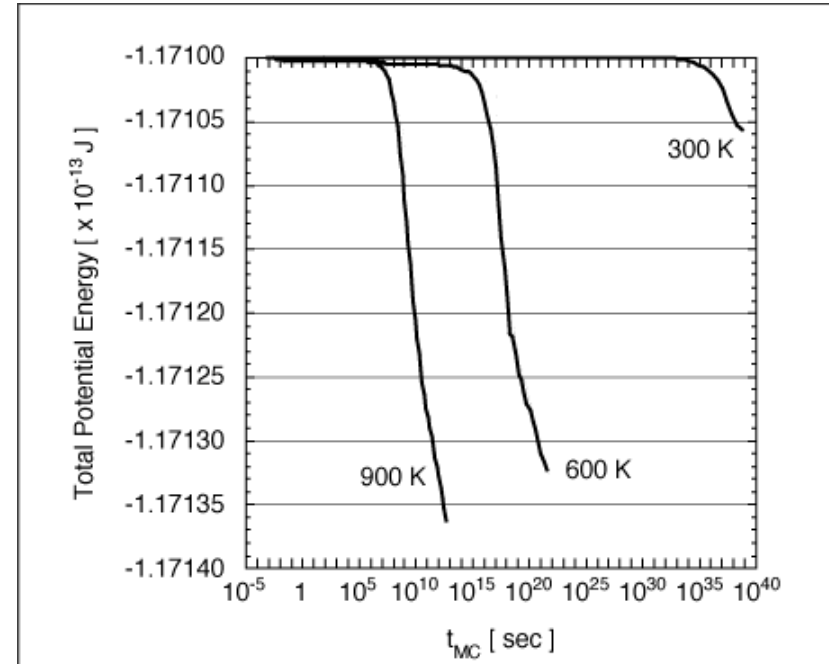
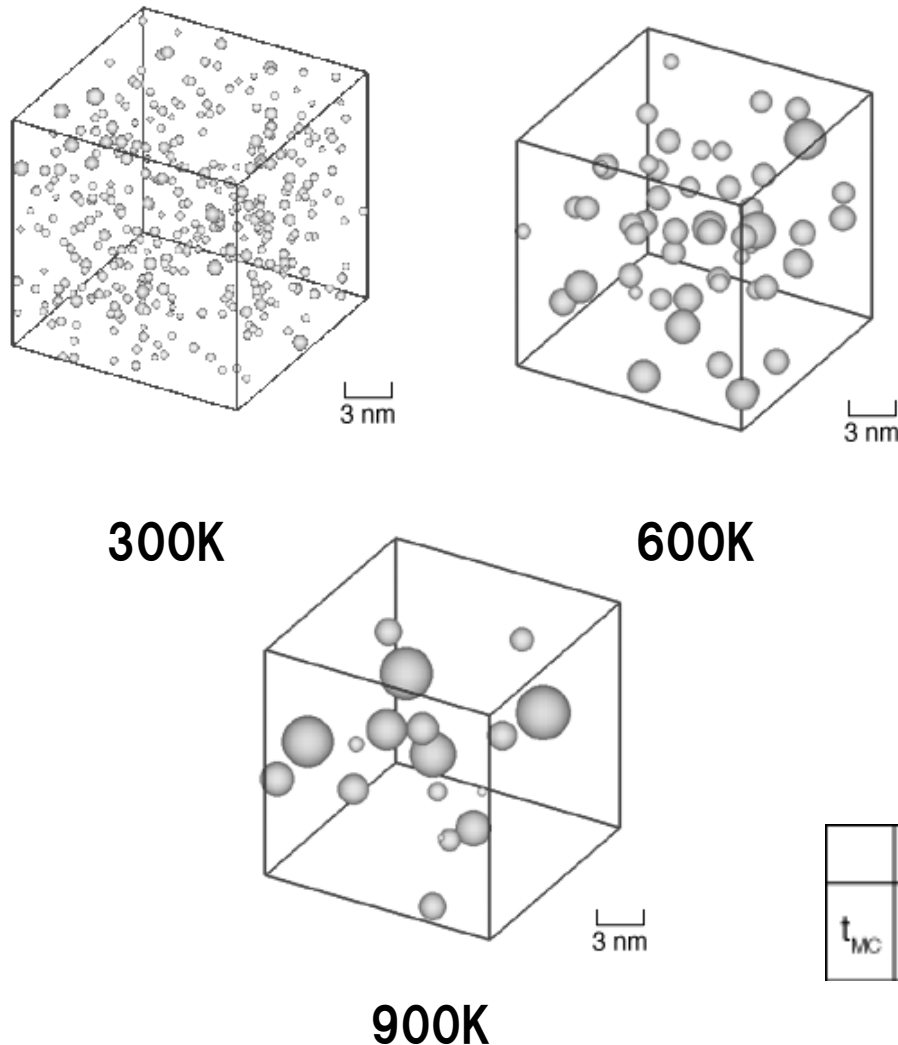
中性子スペクトルの効果

HRTEM 観察によるナノレベルでの析出



Philosophical Magazine A, 1994, Vol. 70, No. 1, pp. 1-24
By P. J. OTHEN et. al.

析出解析結果と総ポテンシャルエネルギーの変化

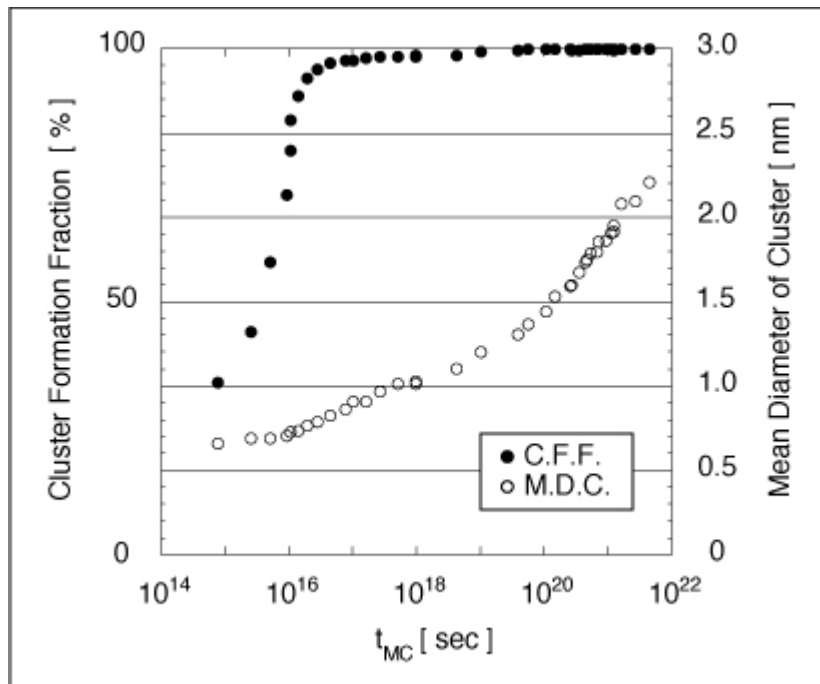


時間に伴うエネルギー変化

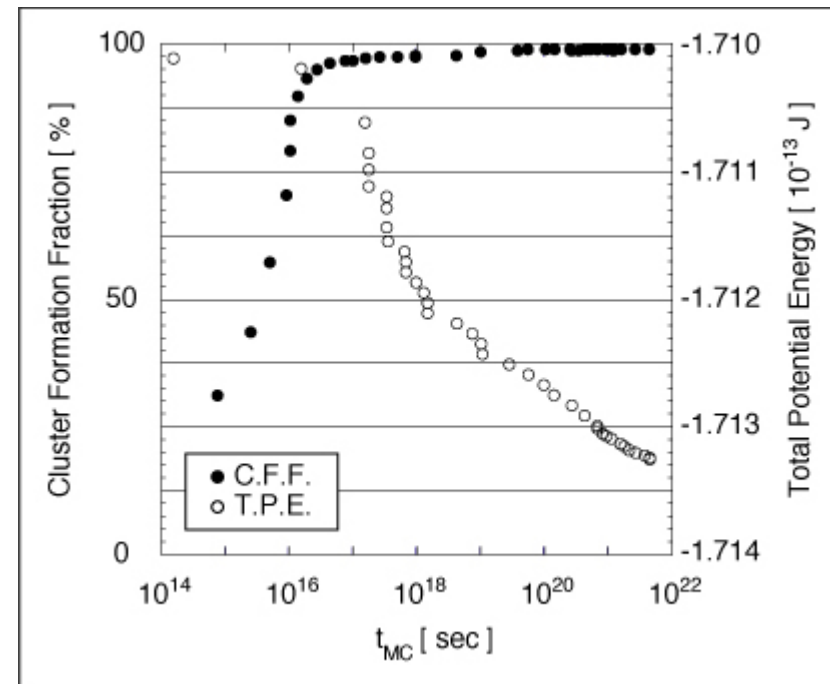
	300 K	600 K	900 K
t_{MC}	3114 year (6.8×10^{38} sec)	26 year (8.4×10^{21} sec)	1 day (5.6×10^{12} sec)

クラスタ形成率と平均クラスタ半径の変化

$$\text{クラスタ形成率} [\%] = \frac{\text{クラスタ化したCu原子数}}{\text{モデル内の総Cu原子数}} \times 100.0$$



時間に伴うクラスタ形成率の変化

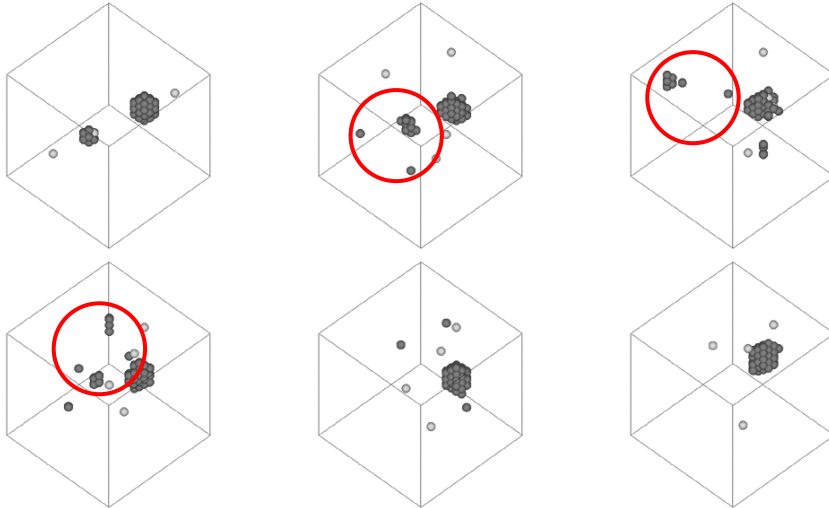


クラスタ形成率と平均直径の関係

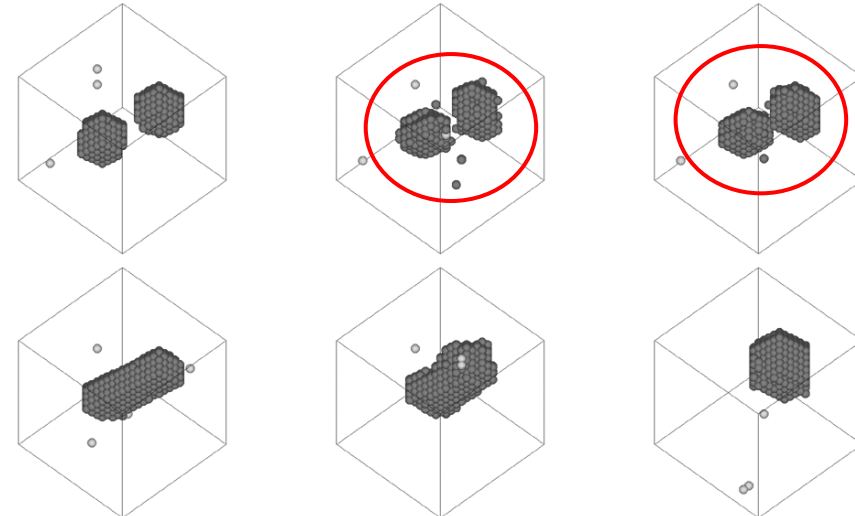
形成率100%未満の段階はナノクラスタの形成と飽和過程

形成率100%に達してからは平均直径の急激な上昇(クラスタの成長過程)

クラスタ合体の詳細



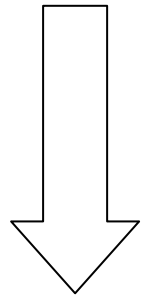
クラスタがさらに小さなクラスタに分離し、
吸収合体されている



クラスタの分離はおこらず、
クラスタが空孔を含んだまま移動、合体している

解析手法 -せん断ひずみ下-

圧力容器鋼の長期使用によるクラスタの形成および成長を確認

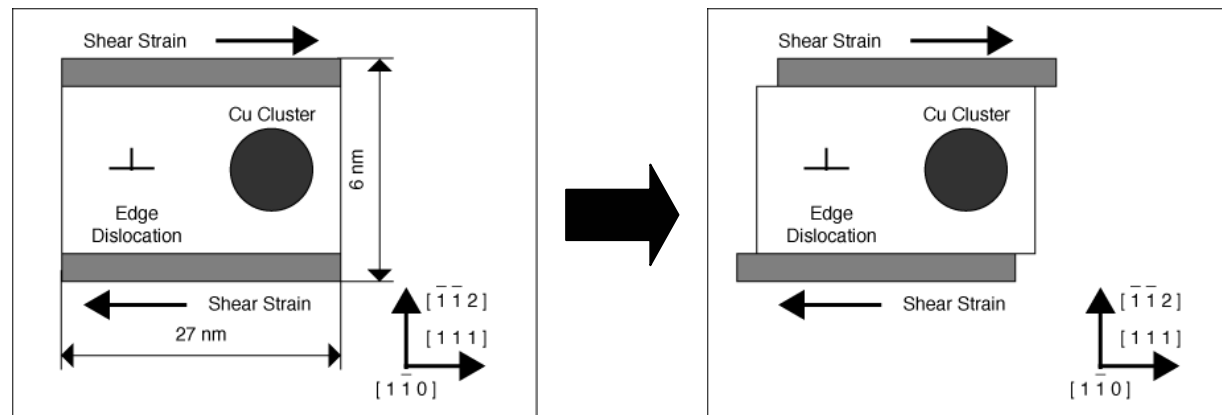


経年劣化(脆化)への影響

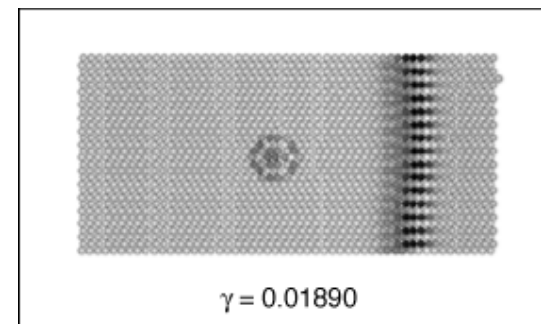
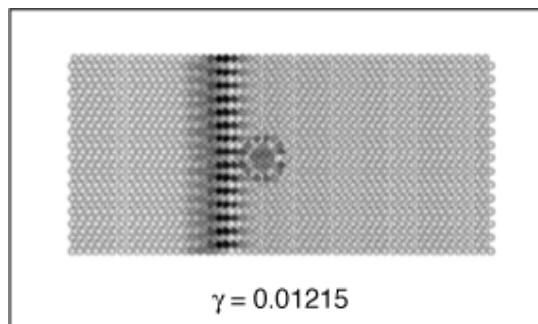
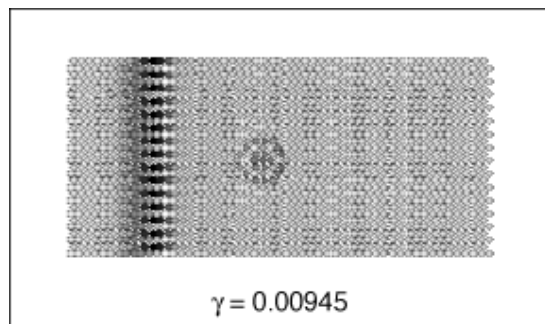
脆くなる = すべり変形にたいする変形能を低下

転位(刃状転位)へのピンニング効果

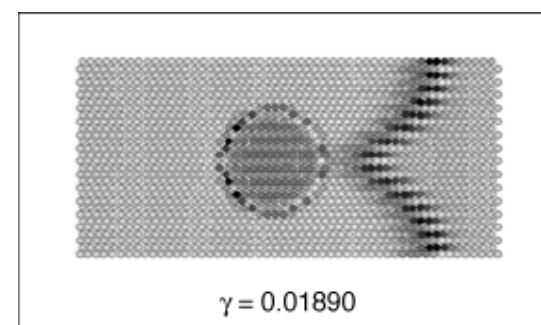
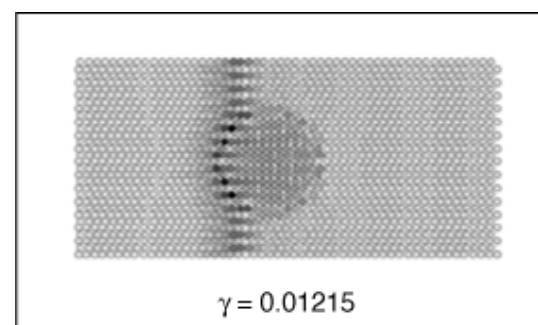
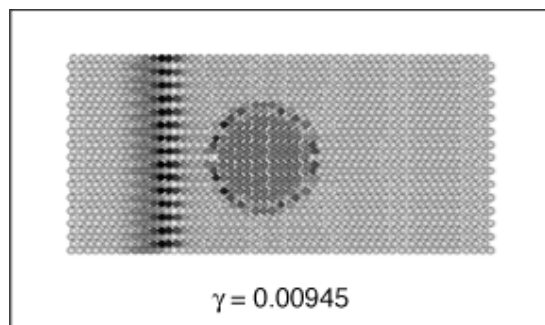
1 stepを1 fsec として,
10,000 fsec の緩和計算後, 一様せん断ひずみを負荷



転位の運動観察

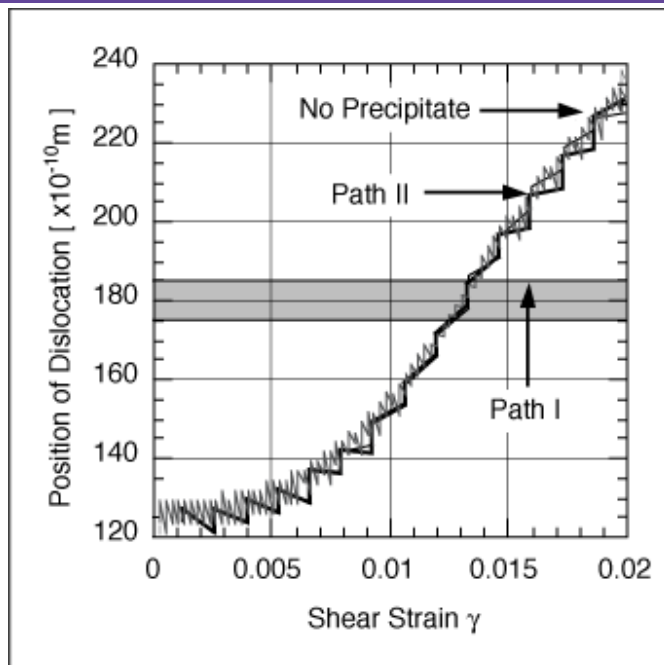


転位の運動 クラスタ直径 1 nm



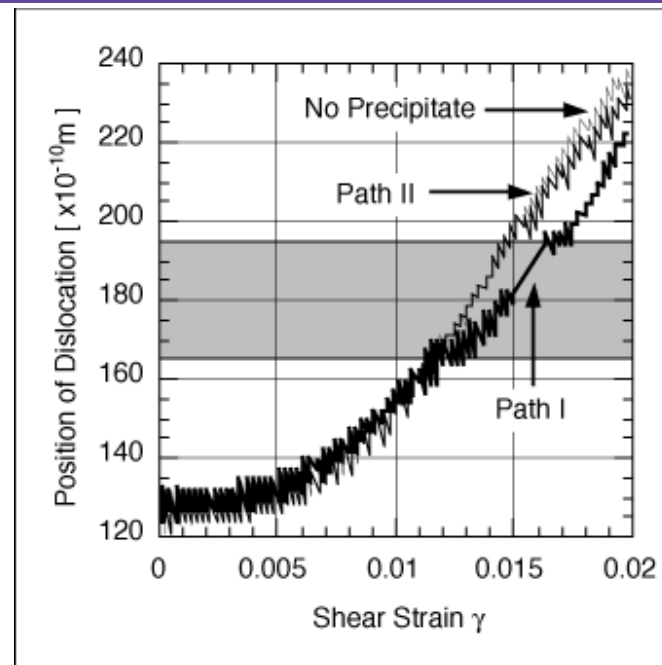
転位の運動 クラスタ直径 3 nm

積層欠陥エネルギーでの考察



転位位置の計測

Case 4-3-1(クラスター直径 1 nm)



転位位置の計測

Case 4-3-2(クラスター直径 3 nm)

積層欠陥エネルギーの比較

Cuが35%低く, 安定

	[J/m ²]
BCC-Cu	1.1964
BCC-Fe	1.8391

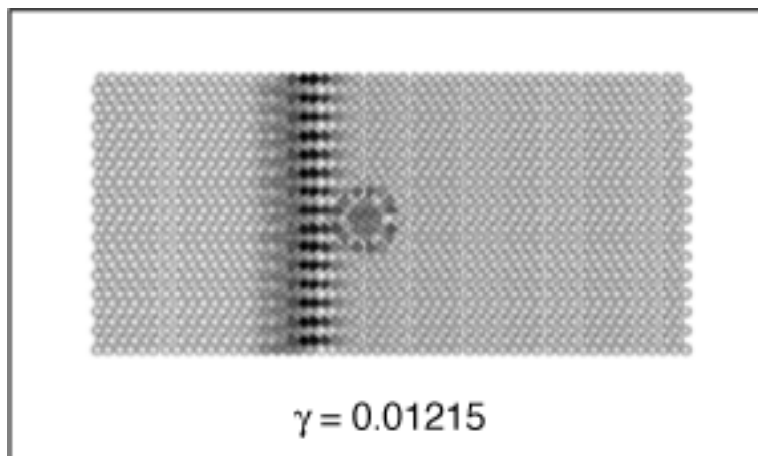
積層欠陥エネルギー

積層欠陥エネルギーの比較

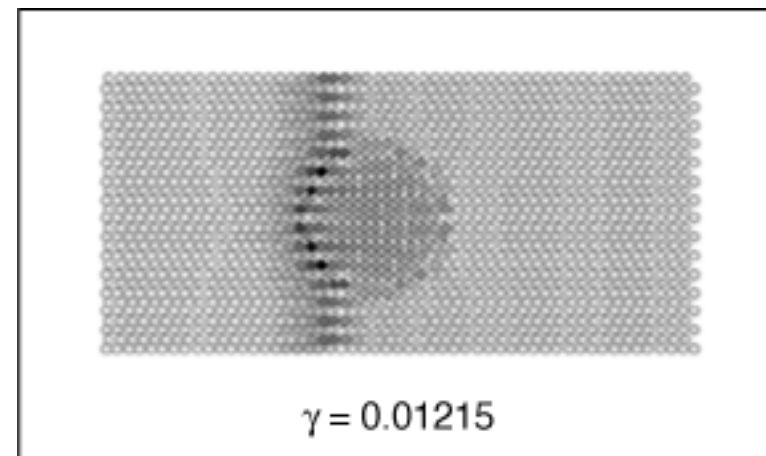
Cuが35%低く, 安定

	[J/m ²]
BCC-Cu	1.1964
BCC-Fe	1.8391

拡張した刃状転位の運動 = 拡張転位 → 完全転位
 → 拡張転位 → 完全転位 ...

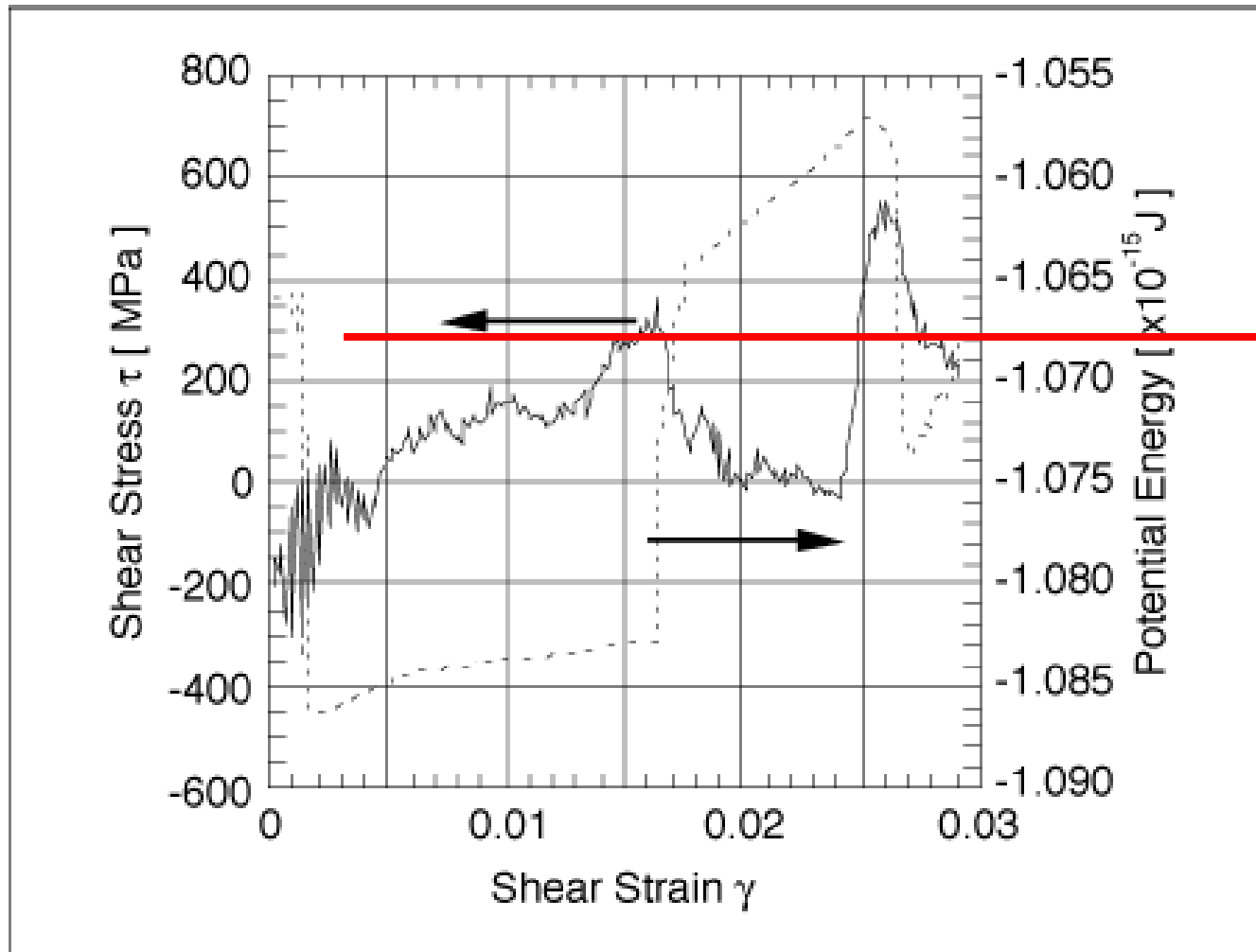


拡張転位の幅 > クラスタサイズ



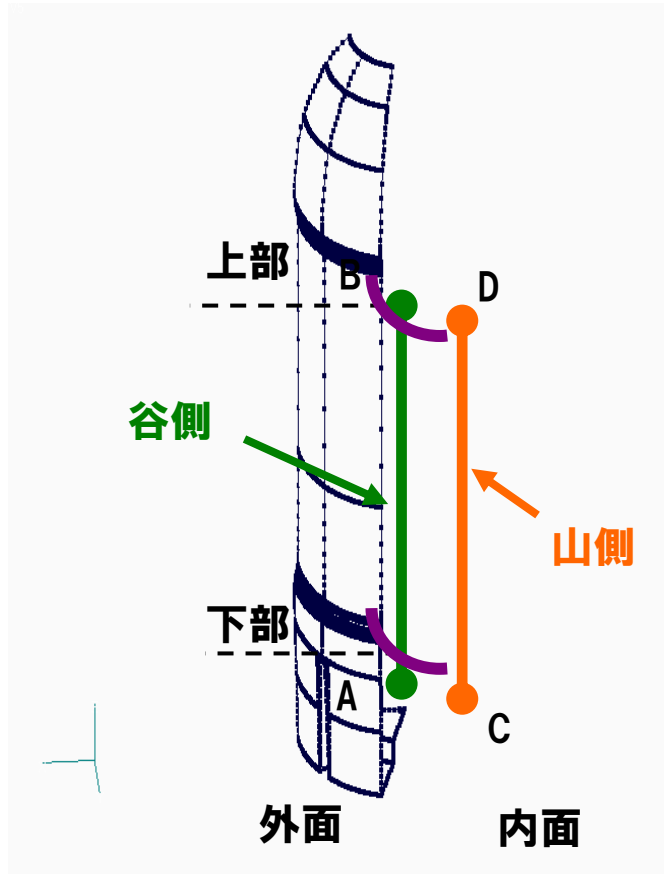
拡張転位の幅 < クラスタサイズ

転位通過時のせん断応力の変化



10 Kにおける
純Feの降伏せん断応力
300 MPa

耐圧PETボトルの強度解析



解析ソフト : MSC/NASTRAN for windows

解析法 : 弧長増分法による大たわみ材料非線形解析

モデル : 72° (1/5)モデル

材料特性 : n乗硬化式 $\sigma = 667.94 \varepsilon^{0.7455}$
ポアソン比 0.4

要素 : 板要素
(節点数11423 , 要素数 11740)

拘束条件 : モデル上面を完全拘束
両境界面を周方向変位拘束

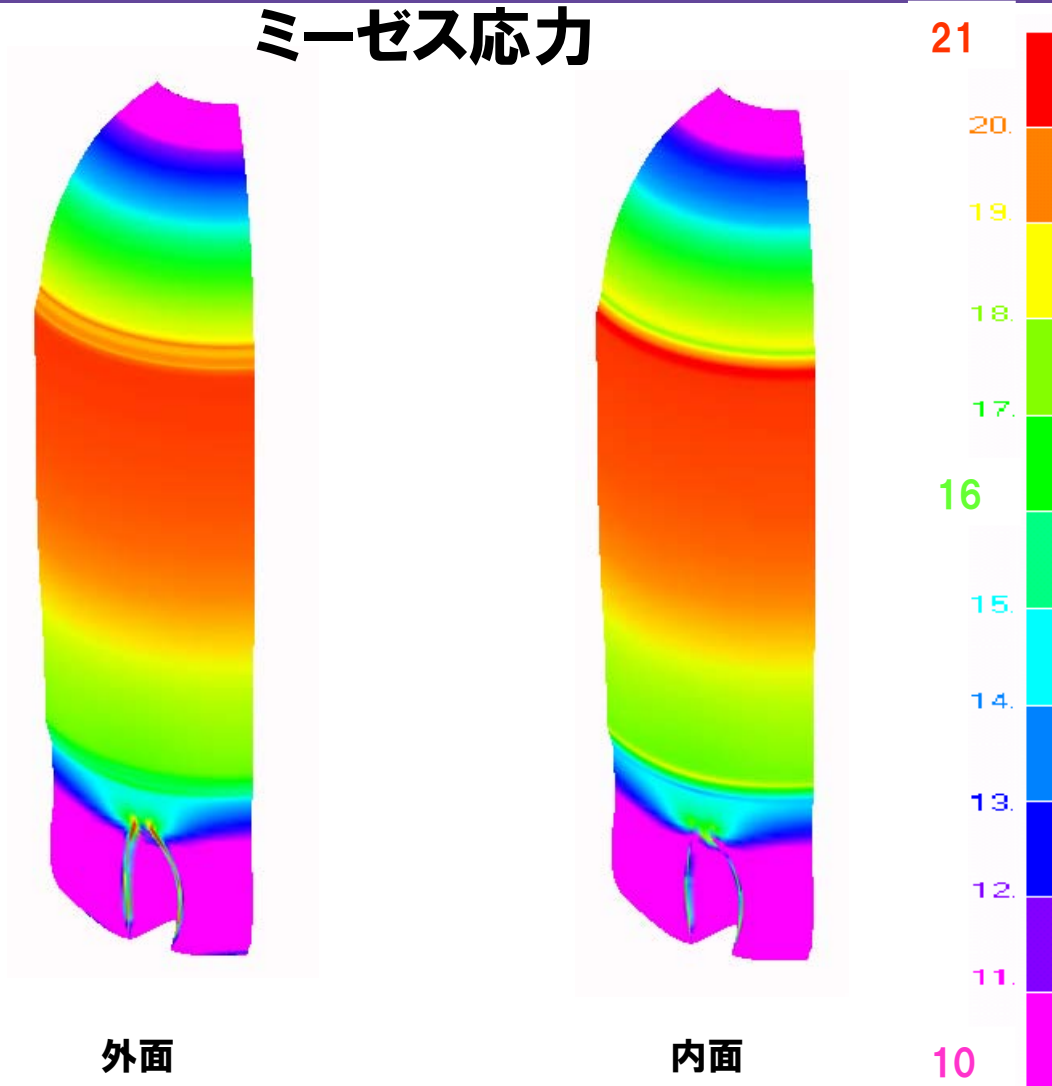
荷重条件 : 内圧 2 MPa



ペタロイド部付き周期対称モデル

解析結果(応力分布)

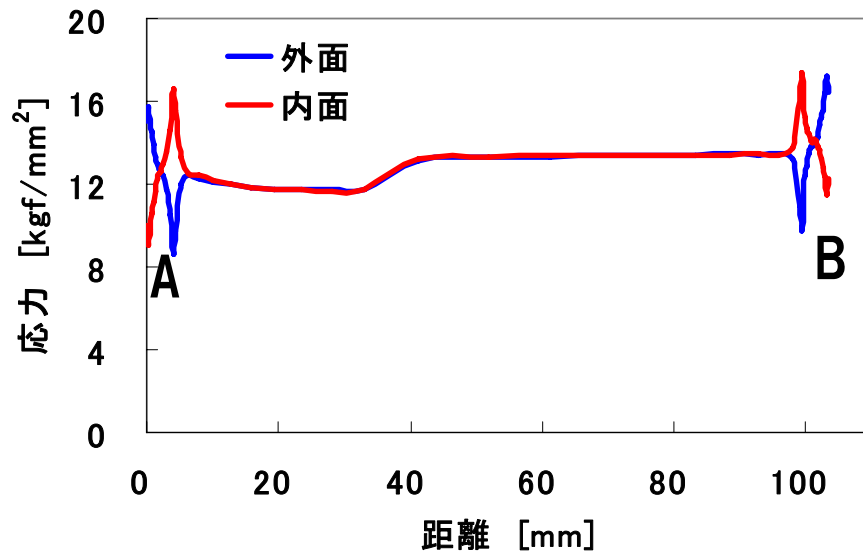
ミーゼス応力



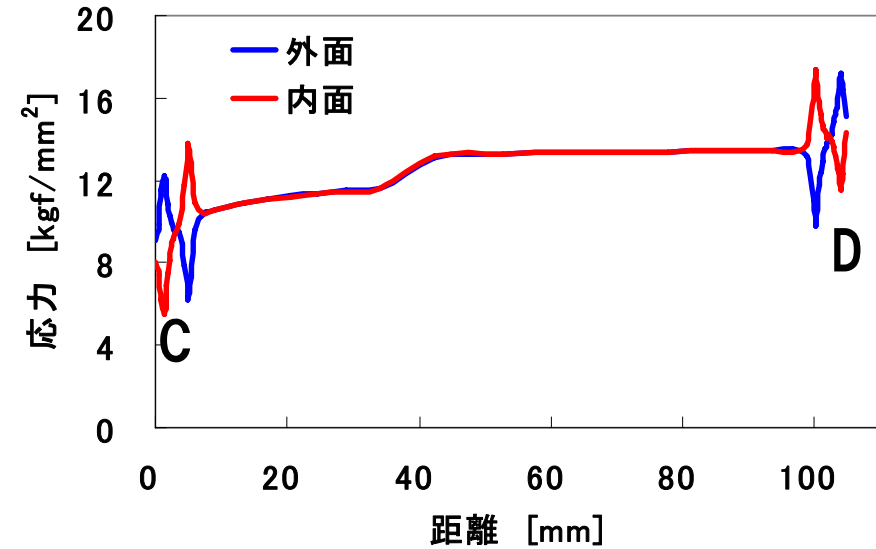
外面と内面では、差がなく、円筒部に最大応力の分布が見られた。

解析結果(応力分布)

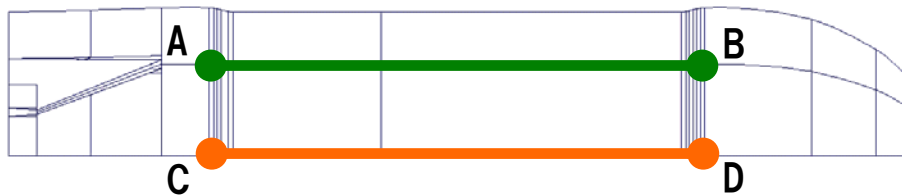
子午線方向応力



谷側



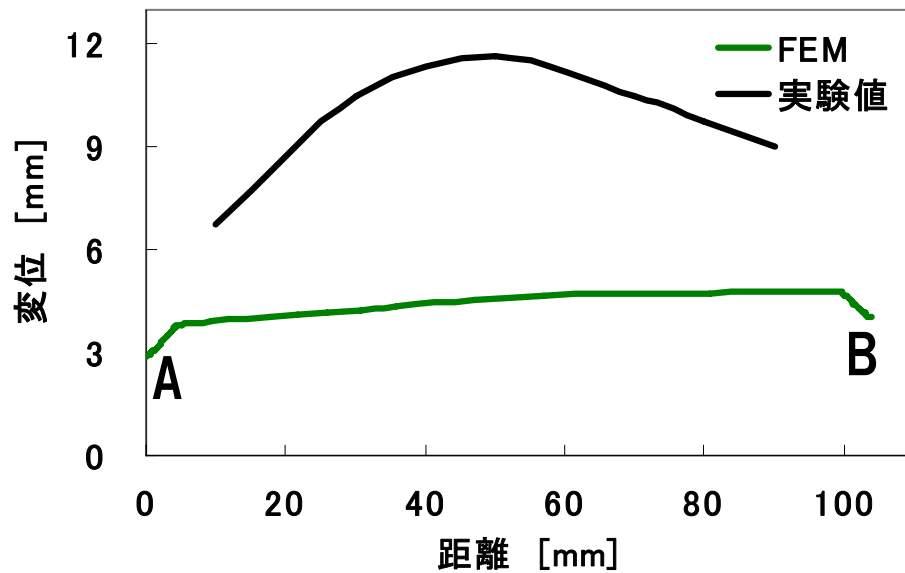
山側



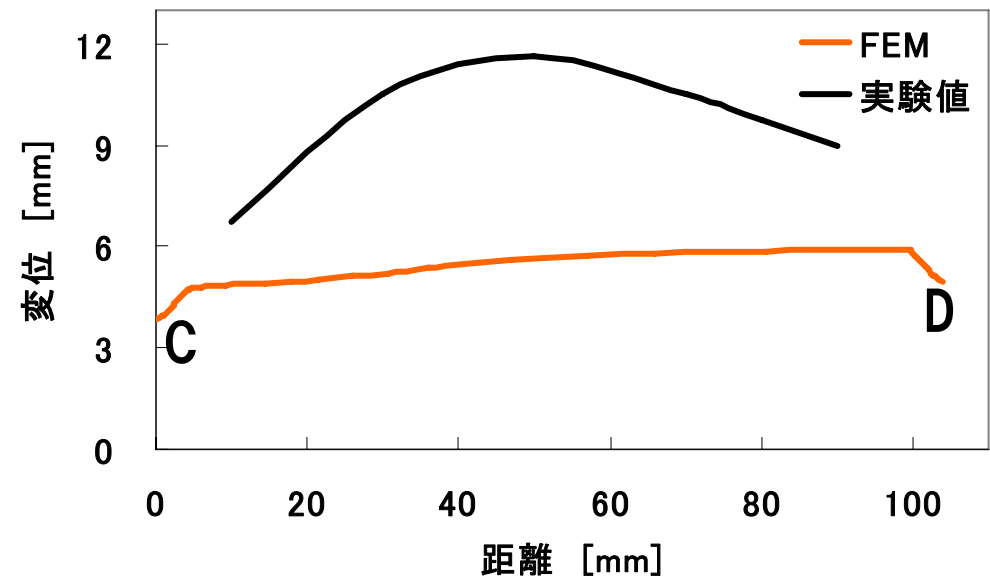
(点A, 点C近傍の)
下部に多少の差が見られる。

解析結果(変位)

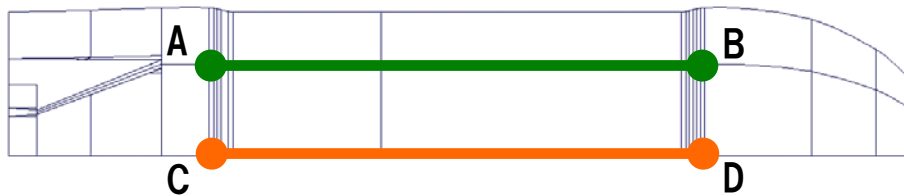
半径方向変位



谷側



山側



- ・両端の内圧が低い傾向は同じ
- ・実験値と解析結果には誤差がある