

成果報告1

「CrMoV鋼のクリープ条件における ボイド成長シミュレーション」

緒方 隆志

平成28年 2月24日



背景

- ・東日本大震災以降、電源供給に占める火力発電の割合は9割を超えており、火力発電の運用における信頼性の維持が重要な課題とされている。
- ・運転時間が10万時間を超える経年火力発電所が8割以上にのぼり、主要高温機器である蒸気タービンやボイラにおけるクリープ損傷の進行が懸念されている。
- ・クリープ損傷の蓄積によるクリープポイドや微小き裂の発生・成長を定量的に予測できる手法の開発が望まれている。

目的

- ・クリープ条件下での損傷メカニズムを解明し、それに基づきクリープ損傷の進行を定量的に予測する手法を開発する。



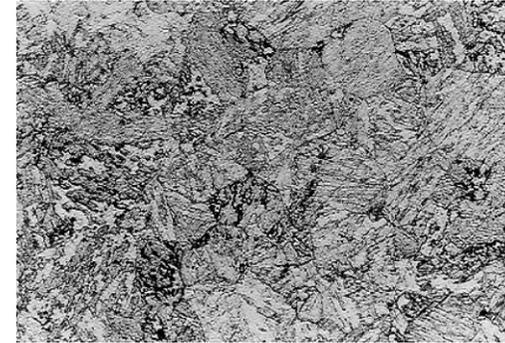
供試材料および試験方法

[供試材料]

蒸気タービンロータ材 (CrMoV鍛鋼)

化学成分 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
0.30	0.22	0.77	0.012	0.005	1.03	1.14	0.22



微視組織

50 μ m

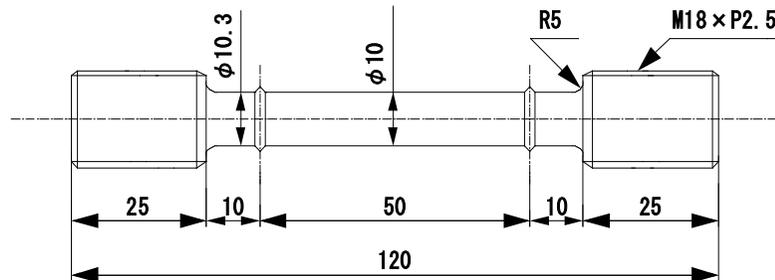
[試験条件]

温度: 600 $^{\circ}$ C 応力: 147MPa

破断時間: 2996時間

中断時間: 1200, 1800, 2400時間

クリープ損傷率: 40%, 60%, 80%

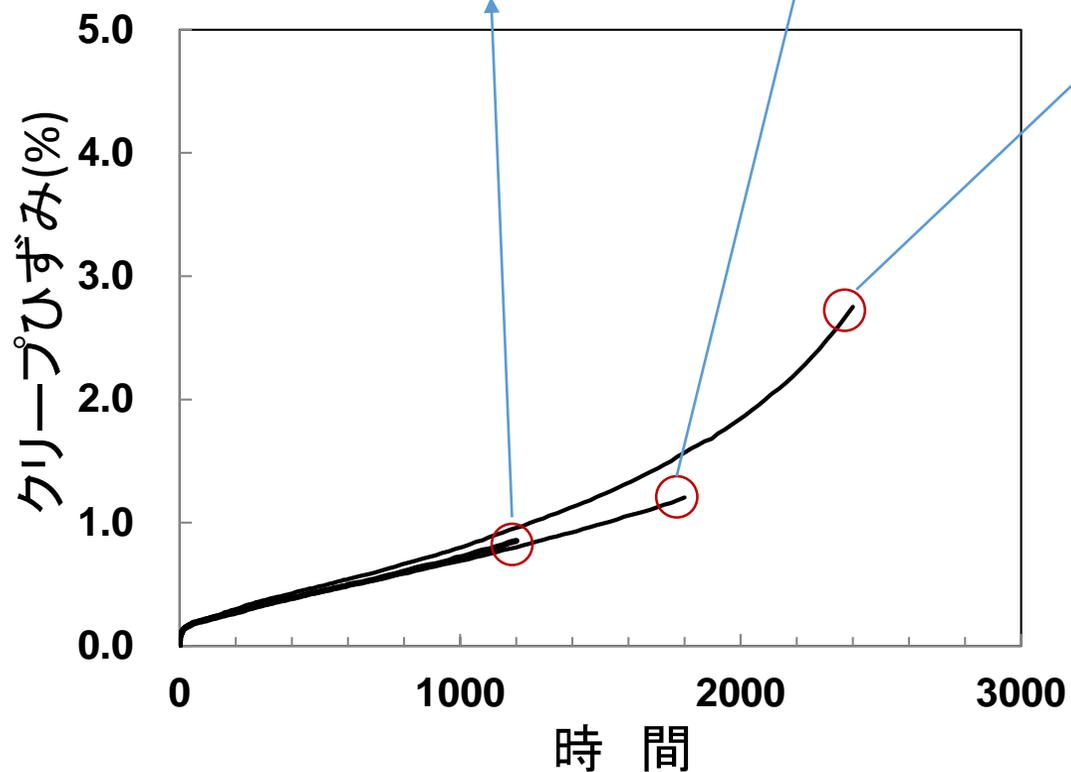
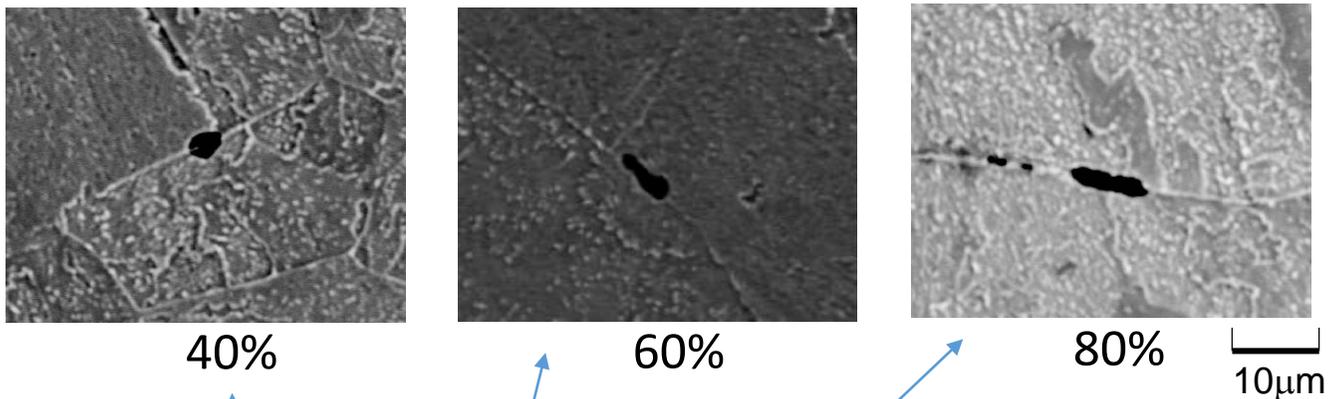


クリープ試験片形状



単軸クリープ試験機

クリープ試験および損傷観察結果の代表例



実験によるボイド観察結果のまとめ

- 初期の球状ボイド(1 μm 程度)は、寿命の15~25%程度で観察された。
(径が1 μm ~数 μm の球状ボイドは表面および粒界拡散と結晶粒のクリープ変形の寄与により成長する)
- 数 μm で球状ボイドからき裂状ボイドに遷移して成長を続ける
(主として粒界拡散と結晶粒のクリープ変形の寄与により成長する)
- ボイドは応力軸方向に垂直方向に近い粒界上に発生する 경우가多いが、2次元的に垂直方向から角度が大きい粒界に発生する場合もある。
(ボイドは散在することから、ボイドが発生していない周りのりの結晶粒からの拘束を受ける)
- ボイドは同一粒界に複数個発生して合体するというよりも、単一で発生し、成長する場合が多い。



既存ボイド成長モデルの代表例

○Hull & Rimmer

引張応力 σ を受ける剛体粒中の
拡散によるボイド成長速度式

$$\frac{da}{dt} = \frac{\delta_b D_b \Omega (\sigma - \sigma_0)}{kTab}$$

○Chen et. al.

引張応力 σ を受けて拡散および
パワーローク変形による
擬球状ボイド成長速度式

$$\frac{da}{dt} = \frac{a \varepsilon c}{2h(\psi)} \left(\frac{\Lambda}{a} \right)^3 \frac{1}{M}$$

$$M = \ln \left(\frac{a + \Lambda}{a} - \left(3 - \left(\frac{a}{a + \Lambda} \right)^2 \right) \left(1 - \left(\frac{a}{a + \Lambda} \right)^2 \right)^{1/4} \right)$$

○Rice

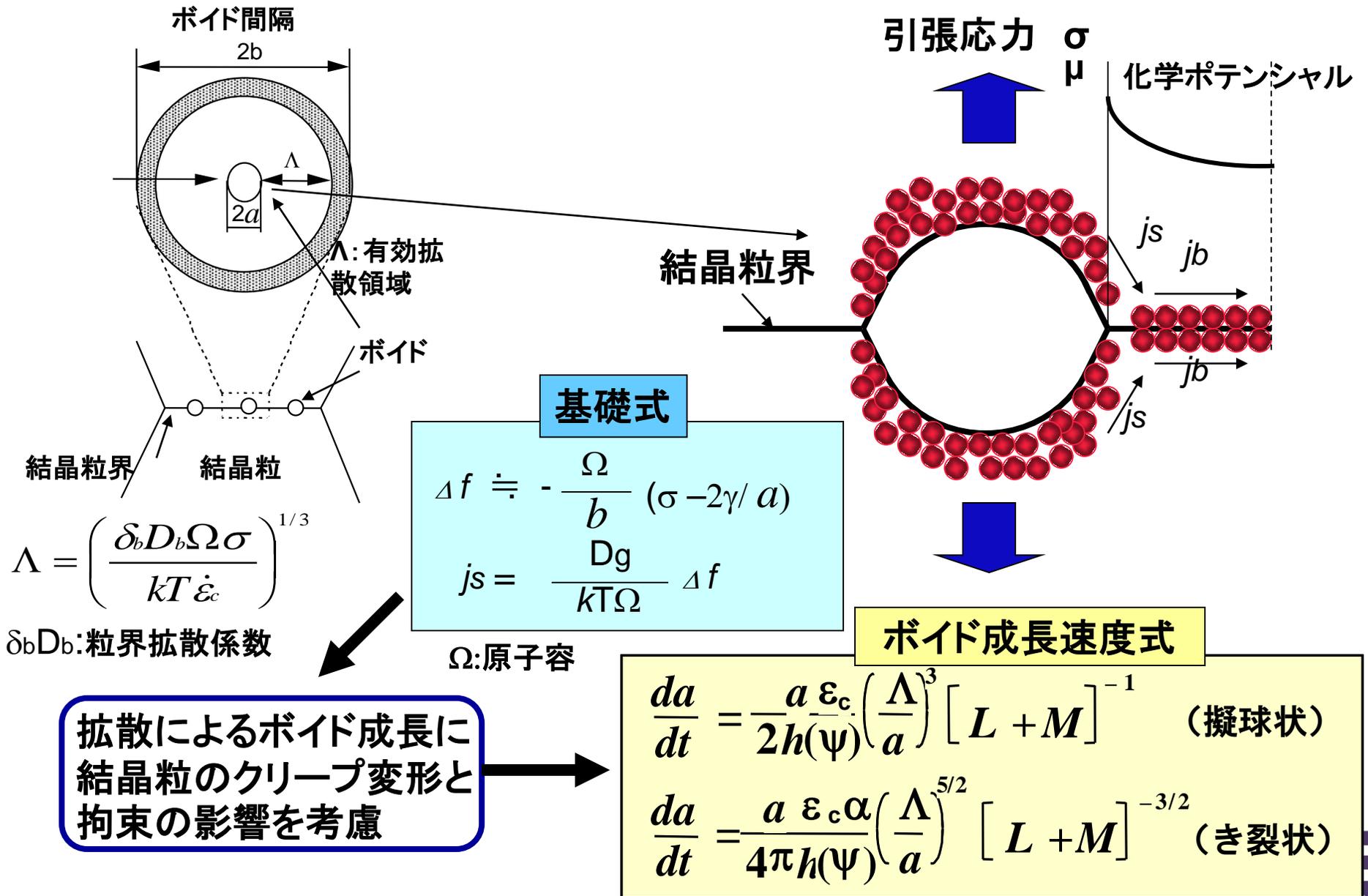
引張応力 σ を受ける弾性体中
の拡散によるボイド成長に及
ぼす周りの粒の拘束の影響
を考慮した速度式

$$\frac{da}{dt} = \frac{a \varepsilon c}{2h(\psi)} \left(\frac{\Lambda}{a} \right)^3 \frac{1}{L'}$$

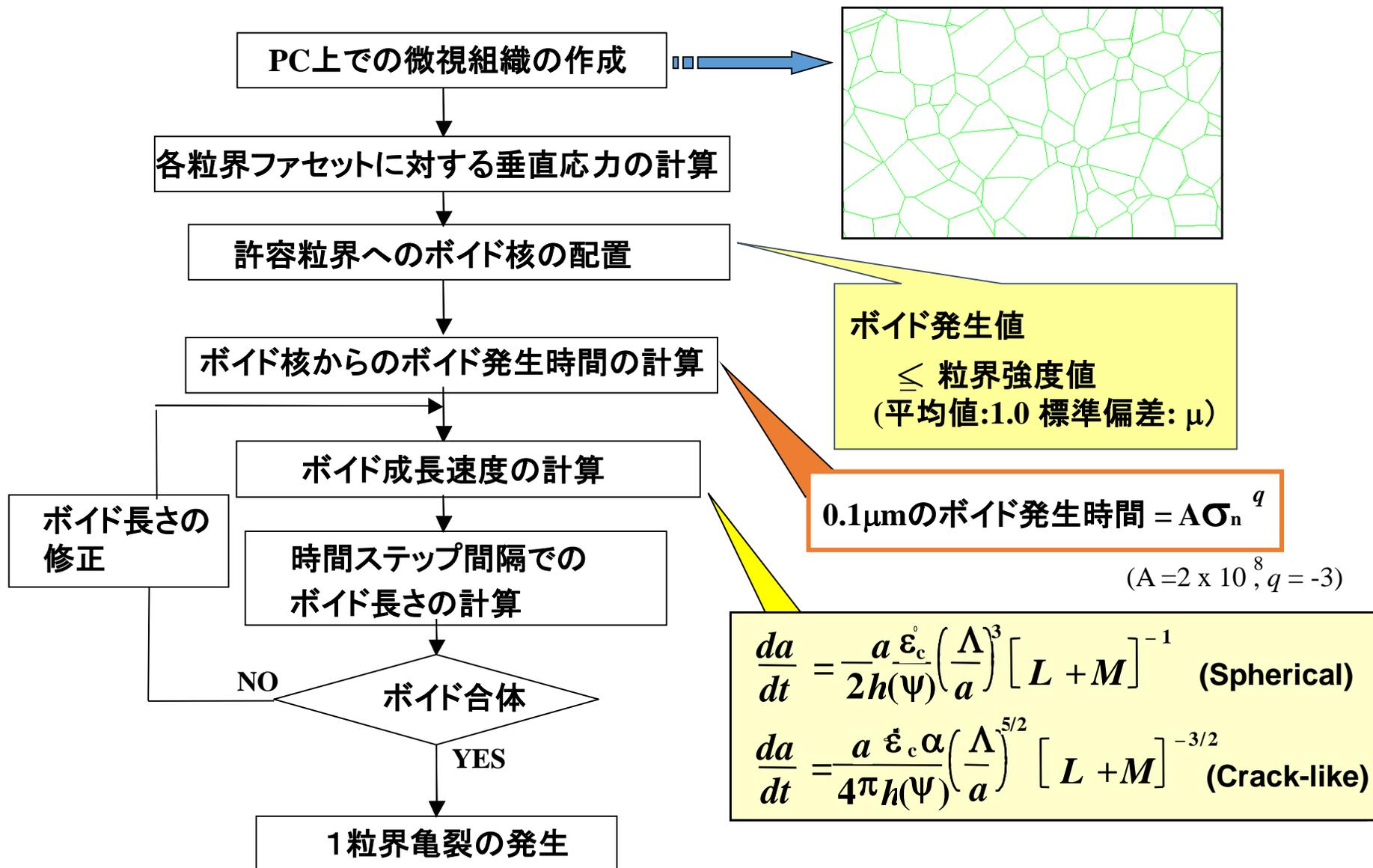
$$L' = 2\Lambda^3 / \beta b^2 d + \ln(b/a) - (3 - (a/b)^2)(1 - (a/b)^2) / 4$$



既存クリープポイド成長モデルの拡張



ボイド発生・成長シミュレーション手法



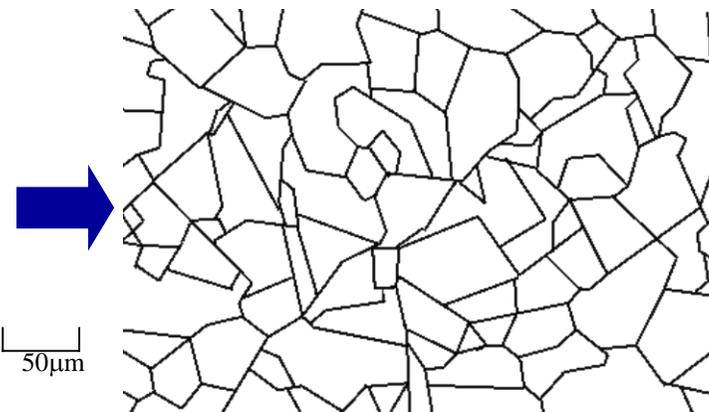
(ボイド成長シミュレーションフロー)



タービンロータ材(Cr-Mo-V鍛鋼)組織の作成



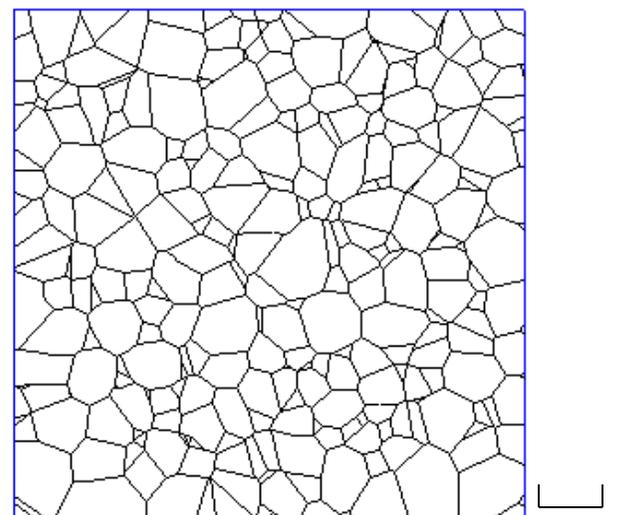
タービンロータ材マイクロ組織



粒界直線近似組織

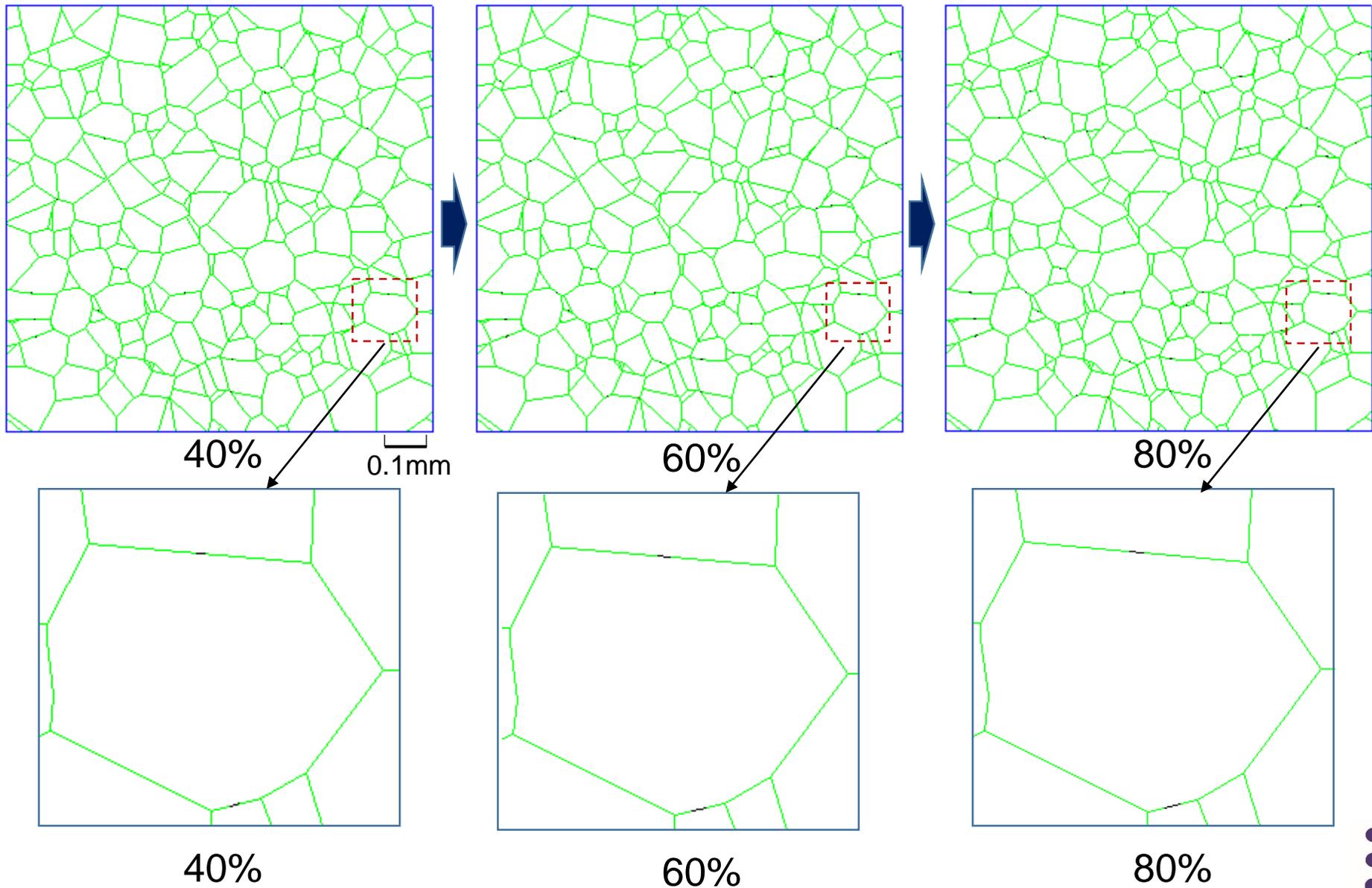
↓
平均結晶粒54μm

← 平均結晶粒57.2μm

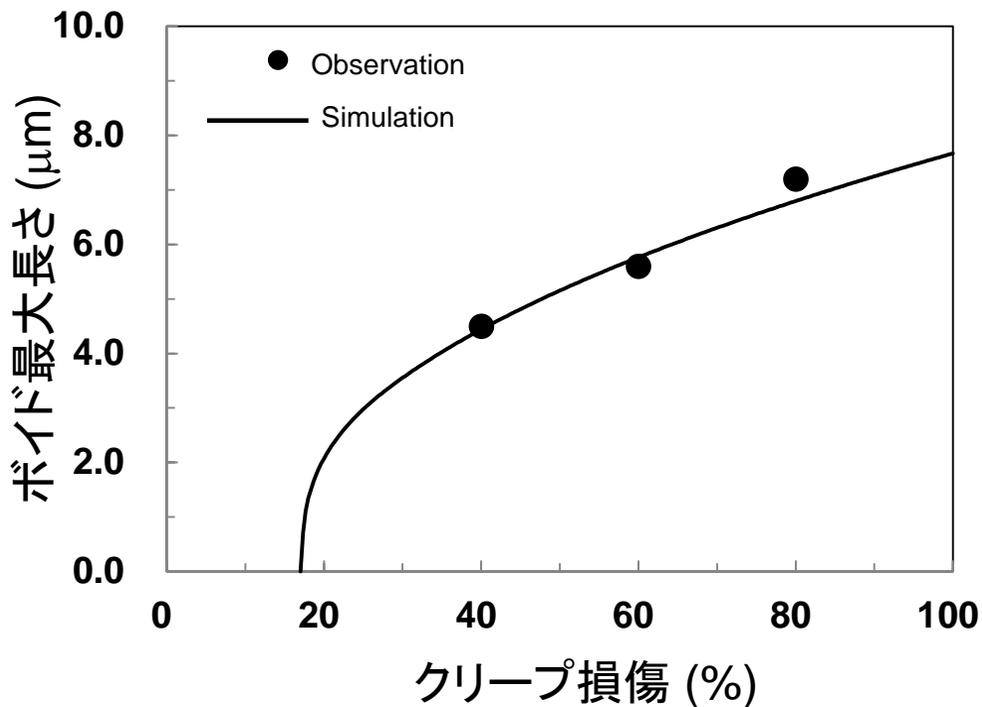


シミュレーション組織

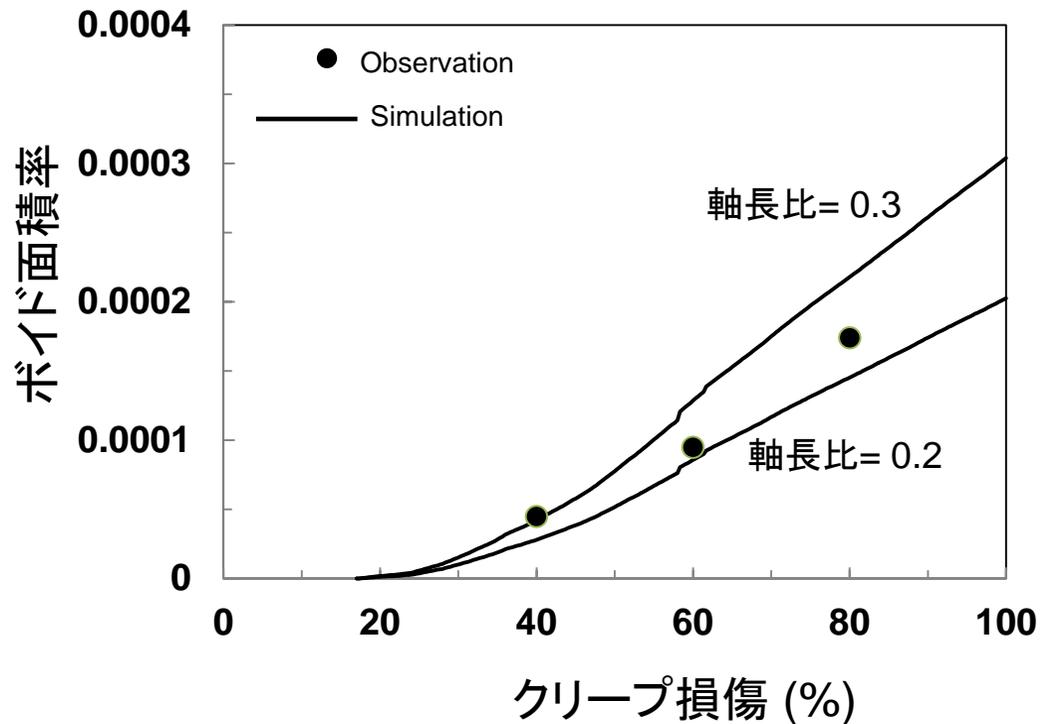
ボイド成長シミュレーション結果



シミュレーションによるボイド成長予測結果



ボイド最大長さークリープ損傷



ボイド面積率ークリープ損傷

まとめ

1. CrMoV鍛鋼を対象にクリープ損傷材を作製し、微視組織を走査型電顕により観察した。損傷の進行に伴って、粒界上のボイド最大長さ、個数密度、面積率が増大することが観察された。
2. 損傷材のボイド発生・成長形態の観察結果に基づき、クリープ条件下でのボイド成長に及ぼす結晶粒の変形と拘束の影響を考慮したボイド成長モデルを提案した。
3. ボイド成長モデルを組み込んだボイド発生・成長シミュレーションプログラムにより、ボイド最大長さ、個数密度、面積率の損傷に伴う変化を定量的に予測できることを検証した。

