

研究成果報告 3

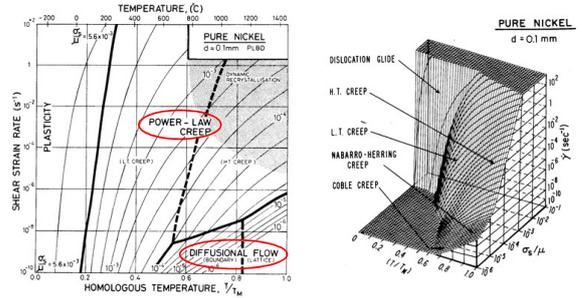
クリープ変形挙動の基礎解明に向けた
原子スケールシミュレーション

原 祥太郎



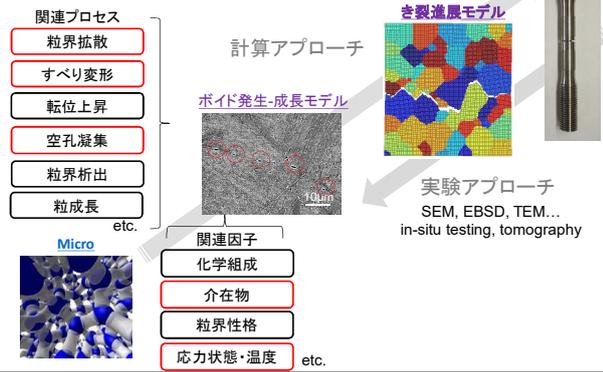
変形機構図

The plasticity and creep of metals and ceramics, H. J. Frost and M. F. Ashby (1982)

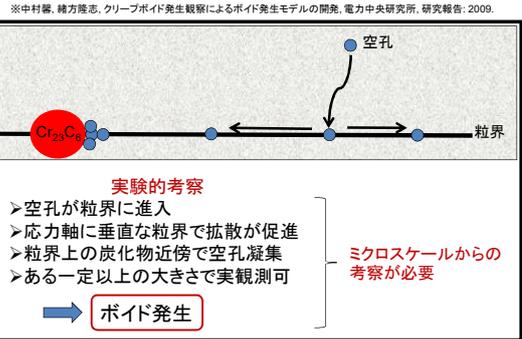


変形プロセス: ひずみ速度, 応力, 温度に依存
転位支配 v.s. 拡散支配

クリープ特性の高度制御に向けた
マイクロな解析アプローチ

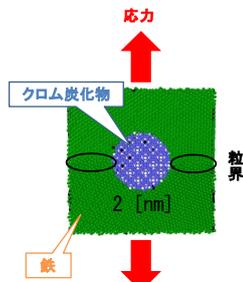


クリープポイドの発生・成長の既存モデル



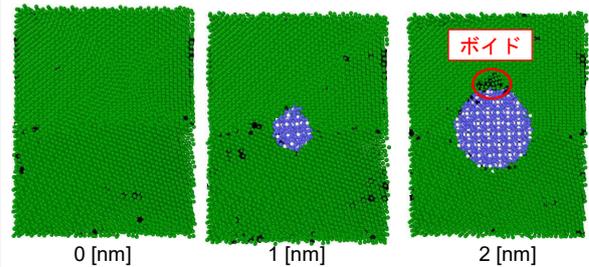
クロム炭化物を含む鉄の引張り解析

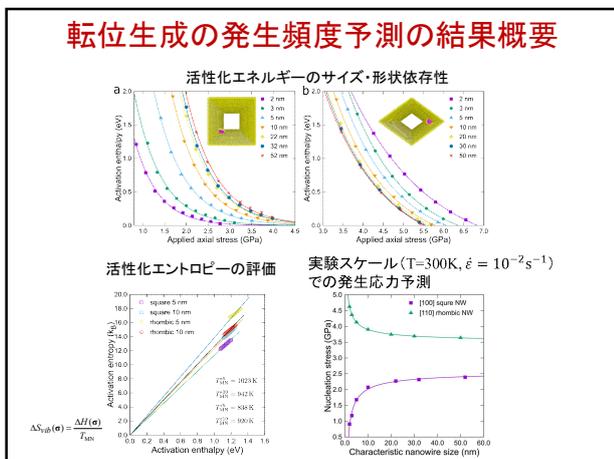
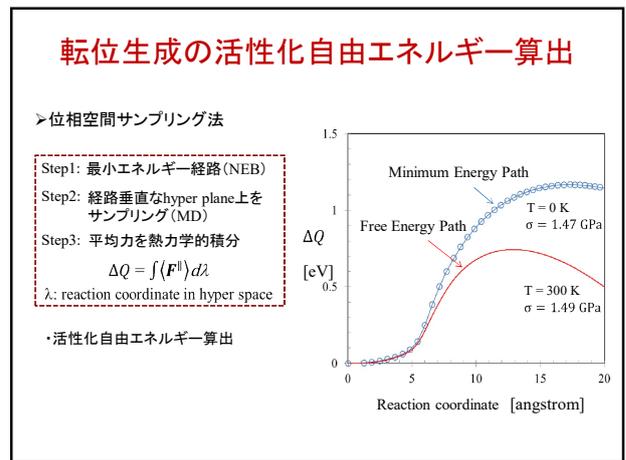
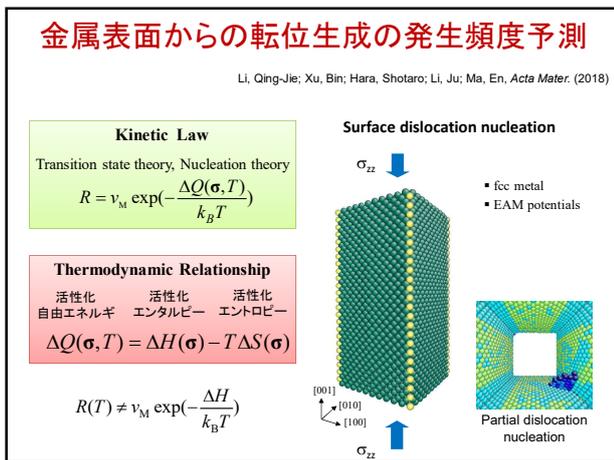
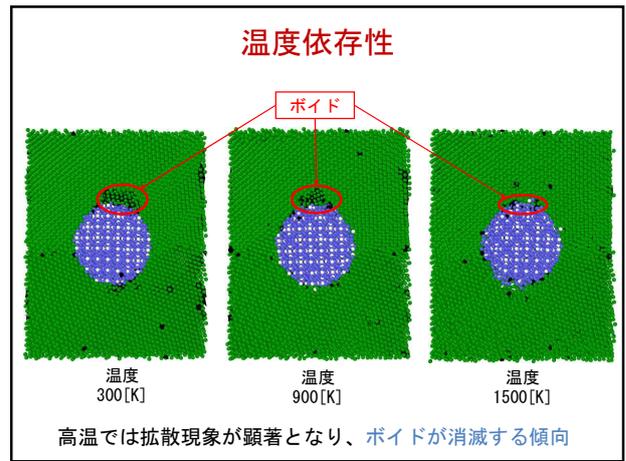
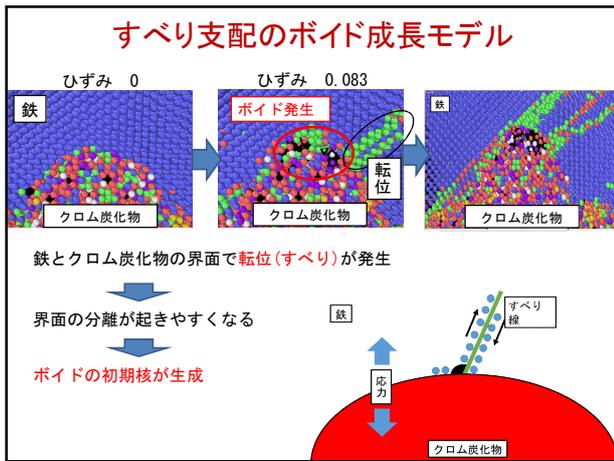
材料	Fe	Fe-Cr-C
クロム炭化物の半径	0 [nm]	1 [nm] 2 [nm]
設定温度	900 [K]	
サイズ	10 × 10 × 10 [nm]	
ひずみ速度	0.003 [1/ps]	
最大ひずみ	0.15	
結晶粒数	2 [個] (ランダム配向)	
ポテンシャル	Tersoft型集約ポテンシャル	



クロム介在物近傍でのポイド成長

- 原子が欠如した部分を黒で可視化
- ひずみ0.15





研究成果4

走査電子顕微鏡その場観察のための
計測要素技術開発

千葉工業大学 菅 洋志

微細構造(結晶)の観察手法

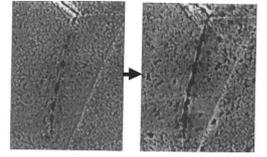
Ni合金では、700°C以上の熱応力による疲労損傷が研究対象となる
(これまでは600°C)

通常の顕微鏡観察



顕微鏡その場観察

- 顕微鏡で観察しつつ引張試験
- 微細構造変化を観察可能



SEMその場観察の現状

650°C超試験片のSEM観察は熱電子のため困難

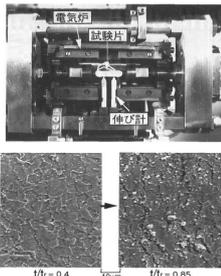
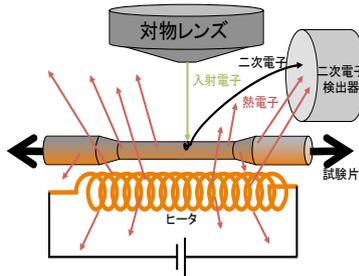


図5 クリーブ条件下の厚板継手継ぎ目における損傷過程

Microscopic Damage Evaluation by using a high-temperature Fatigue Testing Machine in a SEM*

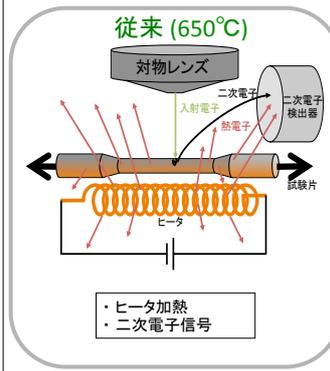
by Takashi OGATA**



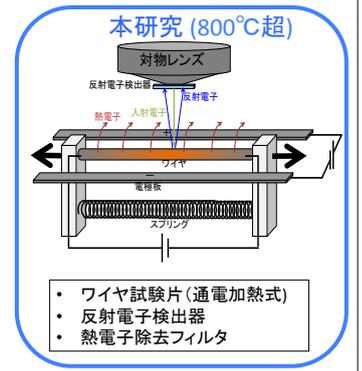
ヒータの熱が電子光学系に悪影響

研究のターゲット

SEMその場観察における高温サンプルの撮像技術



- ・ヒータ加熱
- ・二次電子信号



- ・ワイヤ試験片(通電加熱式)
- ・反射電子検出器
- ・熱電子除去フィルタ

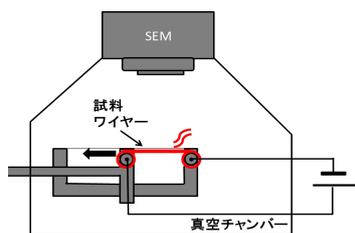
ワイヤー試験片引張装置

小型容積低ドリフト引張試験機構

- 温度計測
- ☑ ドリフト
- 伸び計測
- ☑ 熱影響
- ☑ 通電加熱
- 繰かえし荷重

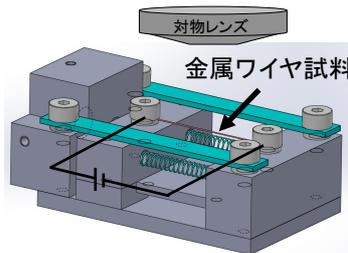
$$t_2 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) + t_1$$

R=抵抗[Ω], t = 温度[°C],
α = 温度係数 [1/°C]



加熱機構 および 引張荷重機構

- ☑ 熱影響
- ☑ ドリフト
- ☑ 通電加熱

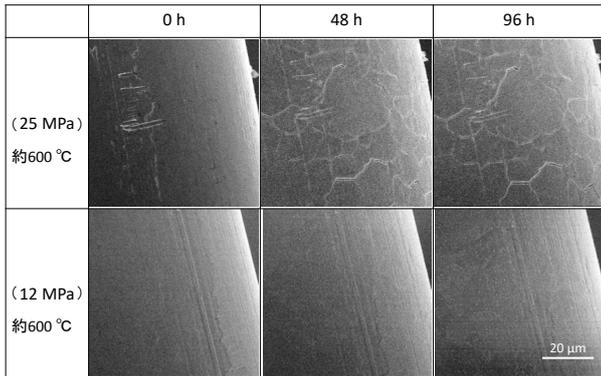


評価方法

- ・試料: φ0.1mm Ni wire
- ・96時間引張応力を印加 (約12MPa, 約25 MPa)
- ・温度: 約 600 °C ~ 700 °C
- ・24 h間隔で 加熱を中断し SEM観察
- ・二次電子(SE)検出

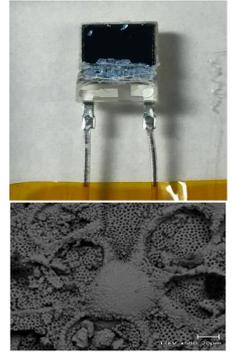
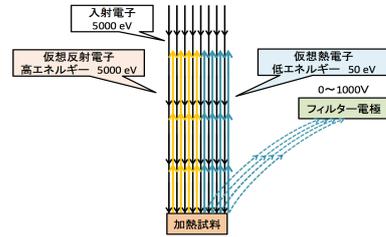
長時間荷重試験中のSE像(撮像時 加熱off)

クリープ変形をドリフトの影響なく観察



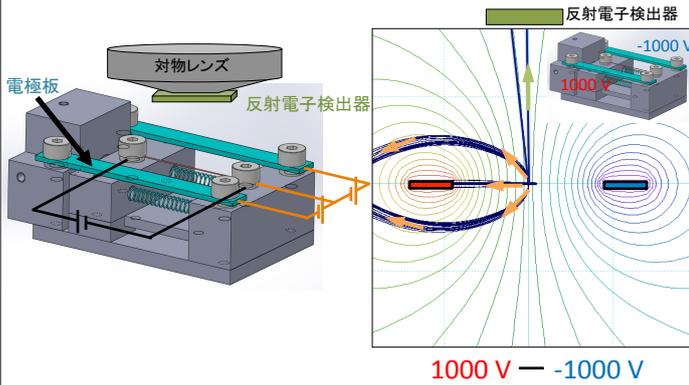
反射電子検出器と熱電子除去フィルタ

- 二次電子 20 - 50 eV
- 反射電子 ≒ 加速電圧 (1000eV-15000eV)
- 熱電子 50 eV



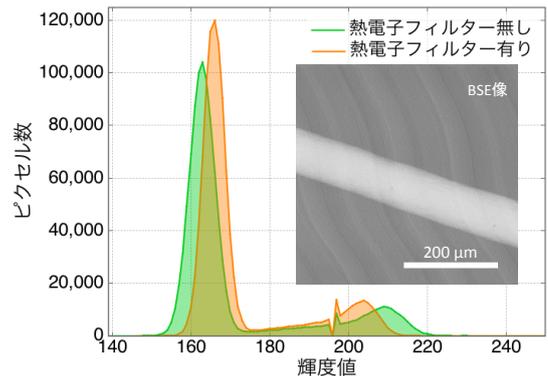
静電フィルタによる熱電子分離

静電フィルタにより熱電子と反射電子の分離が可能



650°C以上での反射電子(BSE)像

熱電子フィルタによる熱電子除去が可能



まとめ

- 低容積・低ドリフト引張試験機構を試作した。電子光学系への負担を低減でき、Niワイヤ特定箇所のクリープ変形損傷を96時間SEM観察した。
- 従来のSEM観察で問題となっていた熱電子ノイズ除去のため、静電低減フィルタを試作した。反射電子検出器との組み合わせで、形状情報と熱電子ノイズの除去が可能となり、650 °C 超ワイヤー試験片をSEM撮像できた。

1

研究成果 5

耐熱金属材料における疲労強度と加工面性状との関係

瀧野日出雄

2 目的

耐熱金属材料CrMoV鋼について、**切削条件と表面粗さ**、および**加工硬化層深さ**との関係を明らかにする

耐熱金属材料CrMoV鋼について、**表面粗さの疲労寿命への影響**を明らかにする

3 供試材

試料: Cr-Mo-V鍛鋼(大平洋製鋼製)

5.5 m

4 目的

耐熱金属材料CrMoV鋼について、**切削条件と表面粗さ**、および**加工硬化層深さ**との関係を明らかにする

耐熱金属材料CrMoV鋼について、**表面粗さの疲労寿命への影響**を明らかにする

5 実験方法

切削 → 表面粗さ測定 → 硬化層測定

試料加工条件と試料番号

送り速度 [mm/rev]	切込み深さ [mm]		
	0.3	0.5	1.0
0.08	B1	B2	B3
0.20	B4	B5	B6
0.31	B7	B8	B9

• 切削速度50 m/min

レーザープローブ式表面粗さ測定器

6 実験方法

切削 → 表面粗さ測定 → 硬化層測定

試料加工後 1/4切断 試料埋め込み 研磨 ピッカース硬さ測定

研磨紙(#400~2000)で研磨
3μm, 1μmでアルミナ粉による研磨

7 実験方法

切削 → 表面粗さ測定 → 硬化層測定

試料加工後 1/4切断 試料埋め込み 研磨 ピッカース硬さ測定

切削面 測定位置

試験力: 490mN
保持時間: 12秒

8 実験結果: 表面粗さ

サンプル	切込み (mm)	表面粗さ Ra (μm)
B1	0.3	~5
B2	0.5	~5
B3	1.0	~5
B4	0.3	~15
B5	0.5	~15
B6	1.0	~15
B7	0.3	~40
B8	0.5	~40
B9	1.0	~40

◆ 工具送りが大きくなるにしたがい表面粗さは増加

9 実験結果: 表面粗さ

(a) Cr-Mo-V steel (b) SUS304

CrMoVでは、B1~B6条件(工具送り0.2mm/rev以下)で、ほとんど硬化層が発生せず

→ 工具送り0.2mm/rev以下にて、硬化層無しで、表面粗さの異なる試験片が加工可能

10 実験結果: 表面粗さ

(a) Cr-Mo-V steel (b) SUS304

CrMoVでは、B1~B6条件(工具送り0.2mm/rev以下)で、ほとんど硬化層が発生せず

→ 工具送り0.2mm/rev以下にて、硬化層無しで、表面粗さの異なる試験片が加工可能

11 実験結果: 組織観察結果

送り: 0.08mm/rev 送り: 0.2mm/rev 送り: 0.31mm/rev

試料B3 試料B6 試料B9

組織変化は見られない (B3, B6) 組織変化 (B9)

塑性変形が認められる (B9)

12 まとめ

- ◆ 工具送りを大きくするにしたがい表面粗さは増加。
- ◆ 工具送り0.2mm/rev以下では、硬化層はほとんど生成しない。同一切削条件でSUS304は硬化層が生成。
- ◆ 工具送りが大きい場合(0.31mm/rev), 切削深さが大きいほど硬度が高く、深い硬化層が生成。

→ 工具送り0.2mm/rev以下にて、硬化層無しで、表面粗さの異なる試験片が加工可能

→ 疲労試験の実施

13 目的

耐熱金属材料CrMoV鋼について、
切削条件と表面粗さ、および加工硬化層深さとの関係を明らかにする

耐熱金属材料CrMoV鋼について、
表面粗さの疲労寿命への影響を明らかにする

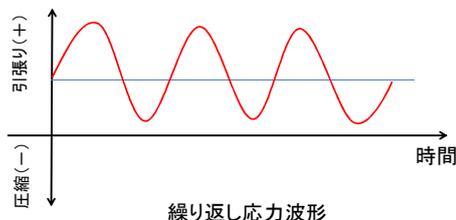
14 片振り疲労試験片方法

応力振幅: 200 MPa~450 MPa

試験速度: 15 Hz

試験温度: 室温

最大繰返し数: 10⁶回



15 片振り疲労試験片形状

平行部長さ: 24mm

平行部直径: 6mm

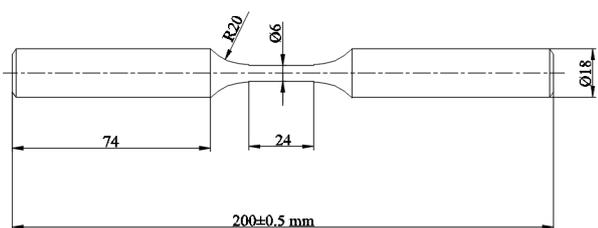


図1 部分片振り疲労試験片形状

16 片振り疲労試験片の加工条件

目的: 硬化層の影響を排除し、表面粗さの疲労強度への影響を調べる

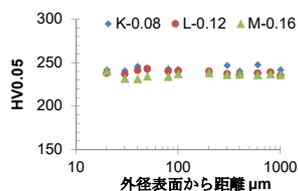
送り速度 [mm/rev]	切込み深さ [mm]		
	0.3	0.5	1.0
0.08	K		
0.12	L		
0.16	M		
0.20			
0.31			

前実験で求められた
 無硬化層の切削条件

そこで、K,L,M条件で
 試験片を製作

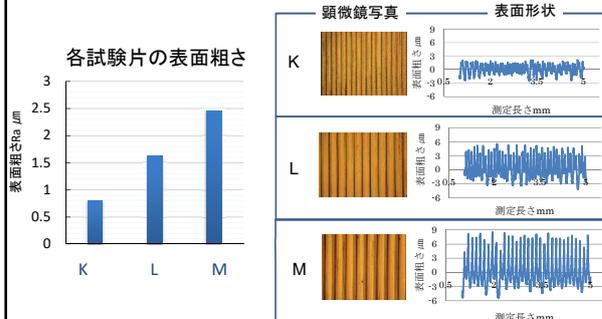
17 片振り疲労試験片の硬化層測定結果

送り速度 [mm/rev]	切込み深さ [mm]		
	0.3	0.5	1.0
0.08	K		
0.12	L		
0.16	M		
0.20			
0.31			



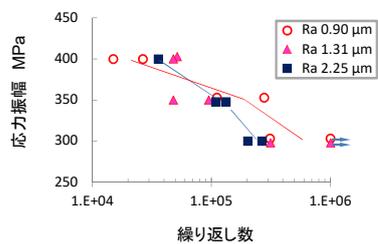
硬化層がほとんどない試験片を製作できた。

18 片振り疲労試験片の硬化層測定結果



硬化層無しで、表面粗さの異なる試験片が製作できた

19 片振り疲労試験結果



応力振幅が低くなるに従って、表面粗さの値が小さい試料の寿命長くなることがわかった。

20 結言

本研究では以下のことが明らかになった。

- ◆工具送り0.2mm/rev以下では、硬化層はほとんど生成しない。同一切削条件でSUS304は硬化層が生成。
- ◆工具送りが大きい場合(0.31mm/rev), 切削深さが大きいほど硬度が高く、深い硬化層が生成。
- ◆硬化層がほとんど無い試験片を製作して、疲労試験を実施。応力振幅が低くなると、表面粗さ(Ra)値が小さいほど破壊までの寿命が長い。