

「エネルギー・航空運輸機器の安全性向上に資する 高精度マルチスケール損傷評価体系の構築」

研究テーマ 1 「耐熱金属材料の損傷劣化機構の解明と マイクロ損傷定量評価法の開発」

多軸応力を受けるCrMoV鍛鋼のクリープ損傷評価

千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科

緒方 隆志, 瀧野 日出雄, 仁志 和彦, 原 祥太郎, 菅 洋志

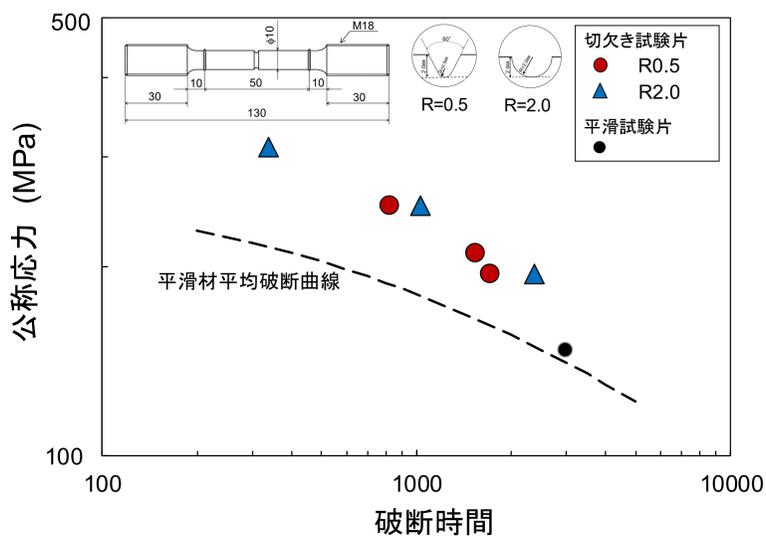
研究の必要性

蒸気タービンローターなどの火力高温機器は、使用中に応力集中部でクリープ損傷が進行し、き裂の発生につながる懸念される。機器の信頼性を維持するには、多軸応力場におけるクリープ損傷の進行過程を精度よく予測する手法の開発が必要不可欠である。

主な成果1

環状切欠き試験片(先端半径R=0.5mm, 2.0mm)を用いて、温度600℃でクリープ破断試験を実施した。

切欠き試験片のクリープ破断寿命は、平滑試験片に比べて長寿命となる切欠き強化を示した。

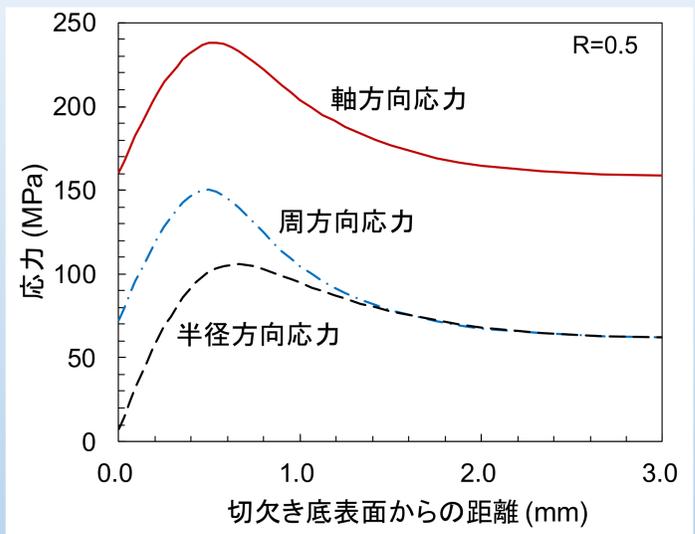


切欠き試験片と平滑試験片のクリープ破断時間

主な成果2

環状切欠き試験片の3次元有限要素弾塑性クリープ解析を実施した。

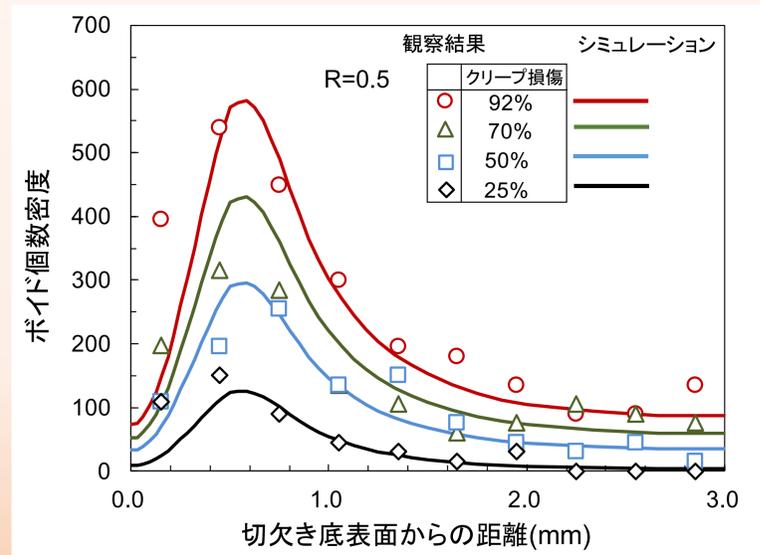
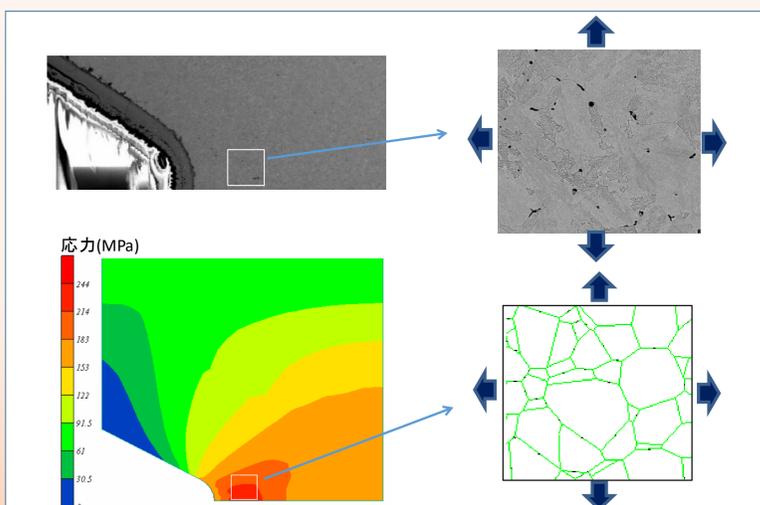
切欠き底断面では、3軸引張応力状態となり、クリープ変形が抑制されることが明らかとなった。



環状切欠き試験片の切欠き底の応力成分分布

主な成果3

- 1) 切欠き底近傍には、平滑材に比べ10倍以上のポイドが発生・成長することが観察された。
- 2) 開発したポイド成長シミュレーション手法によって、多軸応力場でのポイド個数密度のクリープ損傷に伴う変化を定量的に予測することができた。



走査型電顕によるポイドの観察およびポイド成長シミュレーション

ポイド成長シミュレーションによるポイド個数密度の予測結果

高温高圧用鋼材CrMoV鋼の切削加工に関する研究

千葉工業大学 山中篤、太田将史、瀧野日出雄、仁志和彦、緒方隆志

1. はじめに

CrMoV鋼は、火力・水力発電所の発電機用ロータ等に用いられている、優れた高温引張強度を持つ金属材料である。この材料は疲労特性の研究は行われているが、最適な切削加工特性が未だ明らかになっていない。本研究では、切削加工の特性を明らかにすることを目的に研究を行った。

2. 実験方法

本研究では、NC旋盤を用いてCrMoV鍛鋼製円柱の外周切削を行った。加工に使用した工具の逃げ面を光学顕微鏡で観察し、摩耗量及び刃先の状態の評価を行った。また、切り粉の分断の観察も行った。

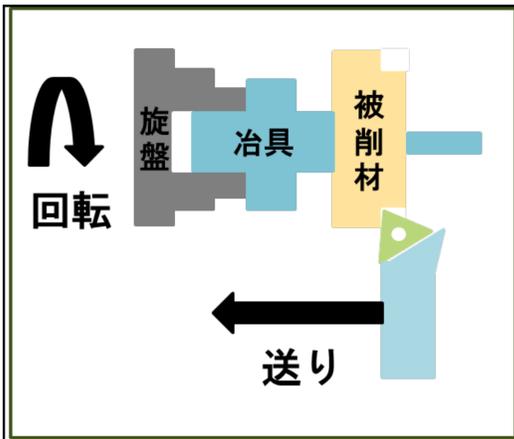


図. NC旋盤を用いた切削実験

加工条件

材料の直径: 50mm
送り速度: 0.08mm/rev
切り込み量: 0.3mm

使用工具

サーメット
超硬

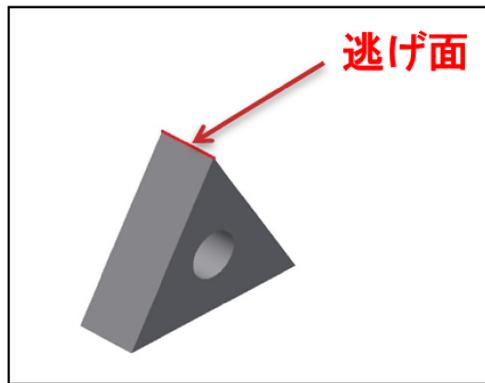


図. 加工に用いる工具

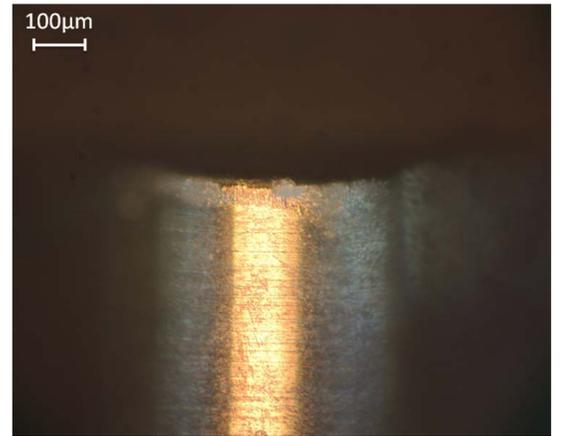


写真: 逃げ面摩耗の一例

3. 実験項目

① 切削速度による摩耗量の違い

・・・切削速度が高速になると、工具の刃先が溶融してしまうため、加工に最適な切削速度の検討を行った。また比較として、切削速度100m/minでステンレス鋼の切削実験を行い、摩耗量の比較を行った。

② 切込み量と送り量の変化による切り粉の違い

・・・切り粉の分断の有無や、工具破損の限界を調べるために、様々な切込みや送りの組み合わせで切削実験を行った。

4. 結果と考察

① 切削速度による摩耗量の違い

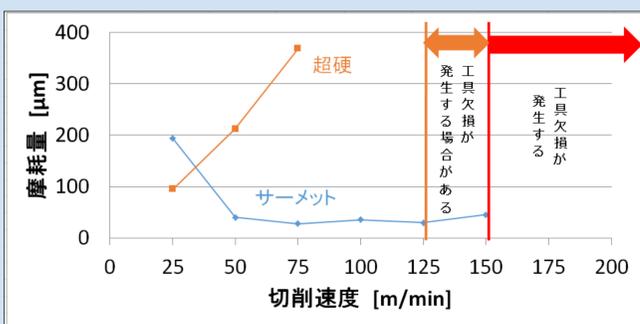


図. CrMoV鋼の工具摩耗の傾向

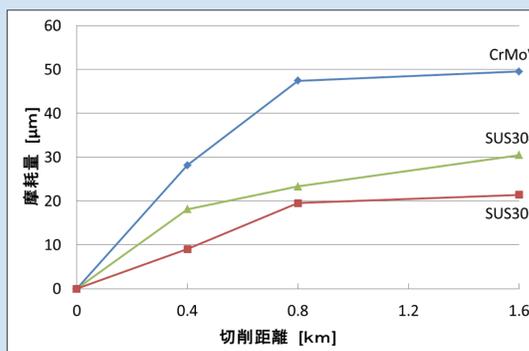


図. CrMoV鋼とステンレス鋼の工具摩耗の比較

切削速度25m/minにおいて大きな摩耗が確認された。これは構成刃先の発生が影響している可能性が考えられる。また、CrMoV鋼はステンレス鋼よりも摩耗量が多かった。これは引張強度や耐力、絞りの値がステンレス鋼より高いためこのいずれかが影響した可能性が考えられる。

さらに、切削速度が175m/minを超えると、工具欠損が発生することが分かった。

② 切込み量と送り量の変化による切り粉の違い

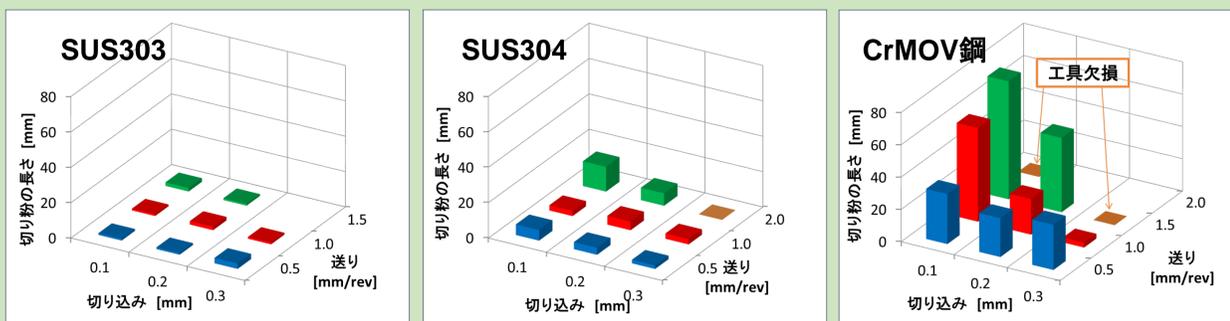


図. 切り込みと送りによる切り粉の長さの関係

CrMoV鋼はステンレス鋼に比べて、切り粉が分断しにくく、切込み量や送り量を多くすると、工具破損の発生が多かった。

これらはCrMoV鋼の引張強度や耐力、絞りの値が高いことが影響した可能性が考えられる。

5. まとめ

今回の研究では超硬工具とサーメットの摩耗を比較すると、切削速度50~100m/minにおいてサーメットの方が摩耗が少なくCrMoV鋼の切削に適していることが分かった。また、CrMoV鋼を切削する時の摩耗量がステンレス鋼よりも大きい結果となった。CrMoV鋼の切り粉は、ステンレス鋼より長くなり、切込み量と送り量を多くすると、工具欠損が発生した。引張強度や耐力、絞りの値がステンレス鋼より高いことがこれらの原因と考えられる。今後は切削する時に工具にかかる力を測定し、切り粉が伸びることや工具欠損の原因を考える。また切削距離を伸ばして摩耗の傾向を見る。

「エネルギー・航空運輸機器の安全性向上に資する 高精度マルチスケール損傷評価体系の構築」

研究テーマ 1 「耐熱金属材料の損傷劣化機構の解明と
ミクロ損傷定量評価法の開発」

原子スケール解析による高温クリープ変形の基礎機構評価

千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科

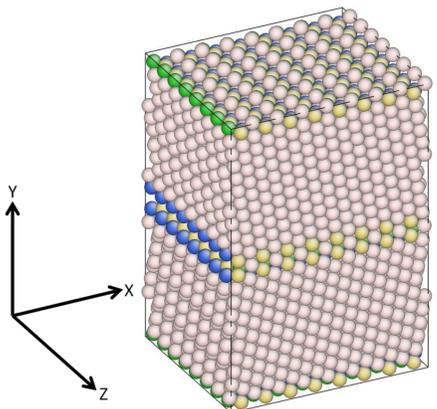
原 祥太郎, 子安 裕之, 大島 純路, 菅 洋志, 緒方 隆志

研究の必要性

近年、火力発電プラントの蒸気温度の高温化が著しく、構造材料におけるクリープ変形と破壊が大きな工学的課題となっている。しかしながら、高温クリープ変形は、粒界拡散・粒界すべり・転位上昇といった様々な原子スケールのプロセスと複雑に関係し、実験観測も困難であることから、その基礎メカニズムは未だ不明な点が多い。そこで本研究では、原子スケールシミュレーションを活用し、高温クリープ変形の基礎メカニズムの解明を行う。

粒界拡散シミュレーション

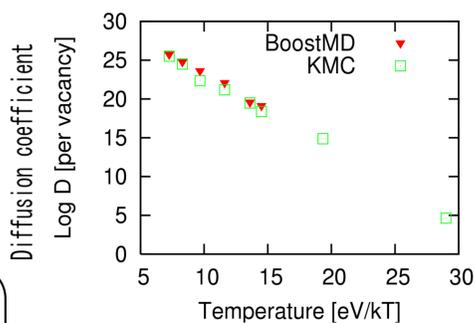
FeのΣ11傾角粒界モデル



Fe原子数 5504個
セルサイズ (37.8Å, 53.3Å, 32.7Å)
Misorientation 129.5°
エネルギー的に安定な粒界面
空孔は粒界近傍に1個

加速分子動力学法を用いて粒界拡散係数を導出

ポテンシャル曲面のlocal minimumにΔVを加え、系を安定状態から追い出し、現象を加速化

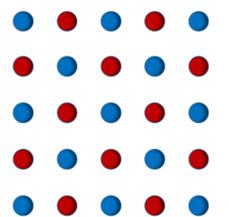


実験環境に近い温度での面内自己拡散移動エネルギーは $0.93 \pm 0.04 \text{ eV}$

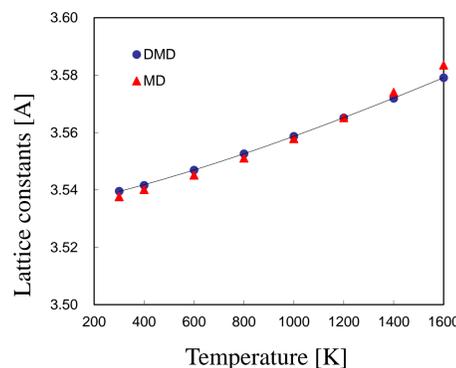
拡散型分子動力学法の基礎コード開発

拡散型分子動力学法のコード拡張

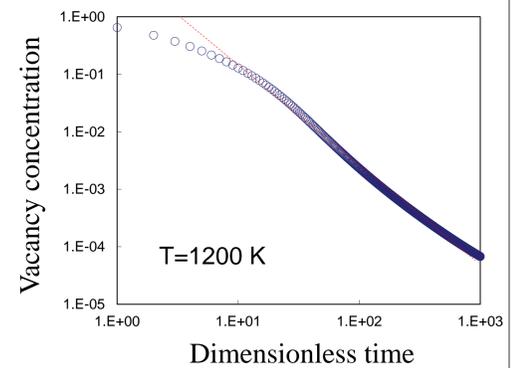
- ✓ 時間スケールが拡散スケール
- ✓ 空孔拡散ベースの物質輸送問題が原子スケールで取り扱い可能



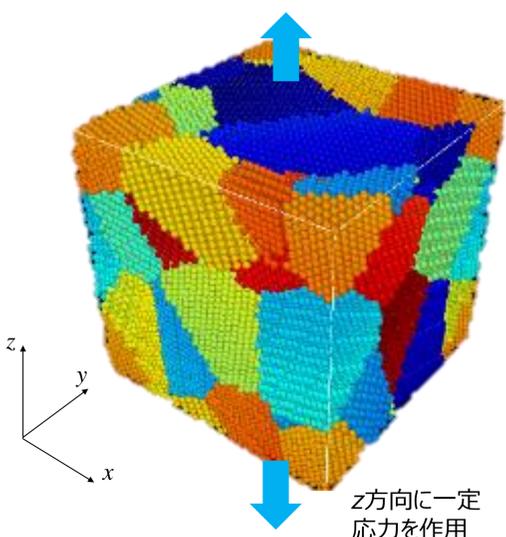
Ni3Al合金(10800サイト)の有限温度格子定数を再現



Ni3Al合金(10800サイト)での空孔のランダムウォーク挙動を再現



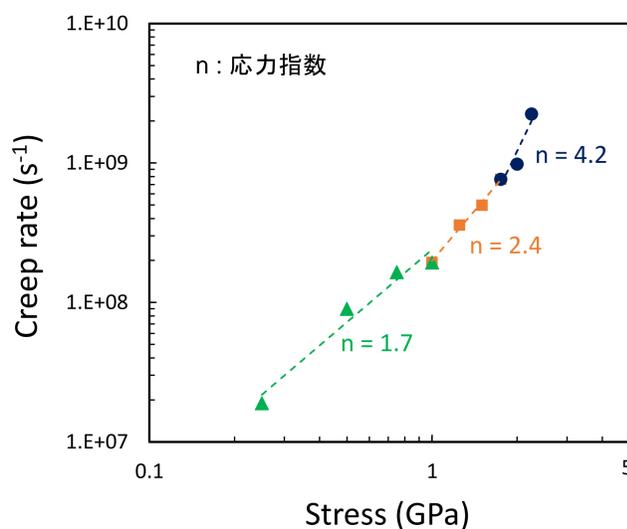
ナノ多結晶体のクリープ変形シミュレーション



金属ナノ多結晶モデル

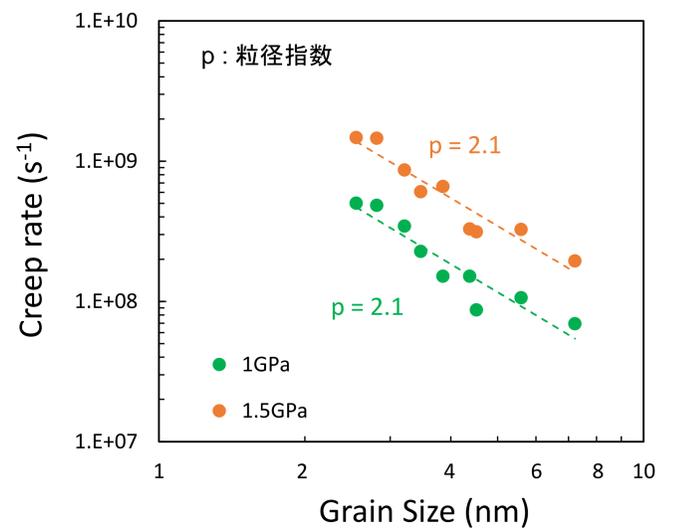
モデルサイズ	35.24×35.24×35.24 [nm]
温度	900 [K]
原子数	90218

ナノNi多結晶体のクリープ挙動評価
(クリープひずみ速度と応力の関係)



作用応力の増加に伴い、変形機構が遷移
→拡散起因の機構から転位生成起因の機構へ
(Wangら (PRB2011) のCuと同様の傾向)

ナノFe多結晶体のクリープ挙動評価
(クリープひずみ速度と粒径の関係)



作用応力範囲での粒径指数pは2程度
→粒界すべり機構が支配的と考えられる

「エネルギー・航空運輸機器の安全性向上に資する 高精度マルチスケール損傷評価体系の構築」

研究テーマ 1 「耐熱金属材料の損傷劣化機構の解明と
ミクロ損傷定量評価法の開発」

高温環境下における白金原子拡散の解析

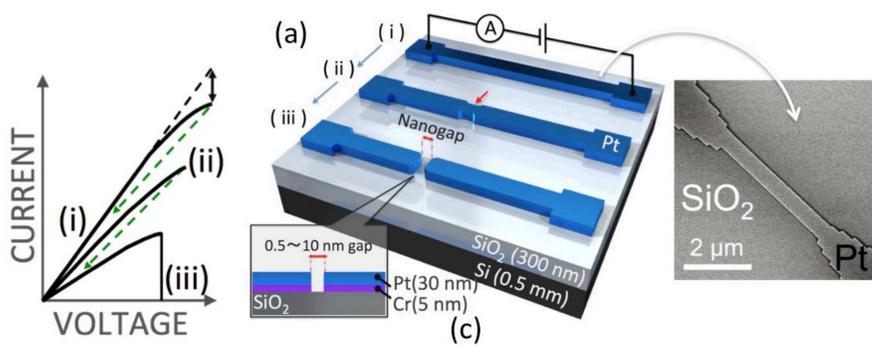
千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科
鈴木 博也, 菅 洋志, 原 祥太郎, 緒方 隆志

研究の必要性

発電所やジェットエンジンなどの高精度寿命予測のため、耐熱金属材料における新しいミクロ損傷定量評価法が望まれている。本研究では、高温環境下における金属拡散の電子的定量評価法を探索するため、高温環境下における白金原子拡散を電子計測手法で解析した。

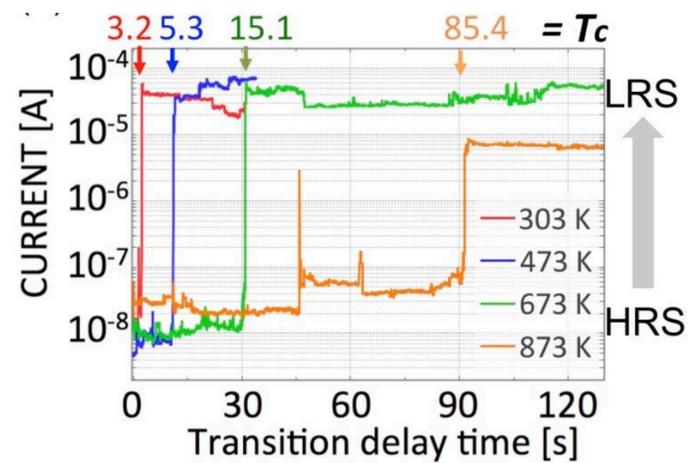
研究方法

シリコン酸化膜基板上に電子線リソグラフィと真空蒸着を用いて形成した白金ナノワイヤを電流で破断した。原子が動くことによりナノメートル隙間が変化する現象を高温環境において電子的に計測した。



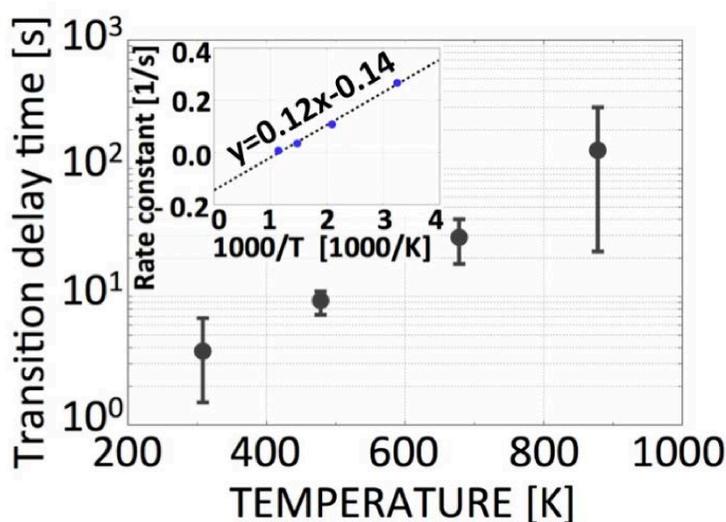
主な成果1

一定電圧 (3 V) を長時間印可することで原子が移動する様子を電流測定により調べた。この白金原子の移動が温度に依存性することを明らかにした。



主な成果2

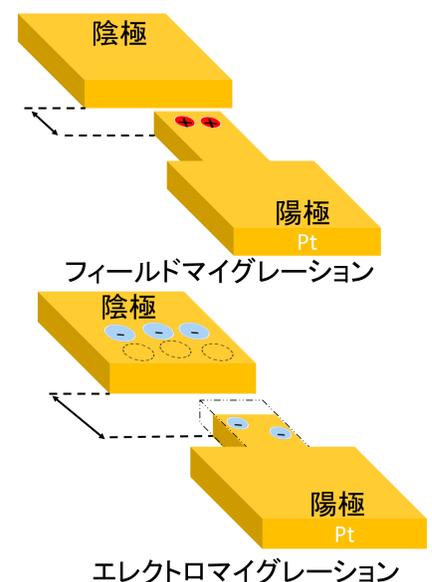
白金原子移動の温度依存性がアレニウスの式に従い、活性化エネルギーが -10.4 meV であること、電界により拡散を阻害する力と温度と電流で拡散する力がほぼ釣り合うことを明らかにした。



$$\ln K = -\frac{E}{k_B} \times \frac{1}{T} + \ln A$$

$$K = A \exp\left(\frac{-E}{k_B T}\right)$$

K : 遷移速度
 A : 頻度因子
 E : 活性化エネルギー
 k_B : ボルツマン定数
 T : 絶対温度



「エネルギー・航空運輸機器の安全性向上に資する 高精度マルチスケール損傷評価体系の構築」

研究テーマ 1 「耐熱金属材料の損傷劣化機構の解明と
マイクロ損傷定量評価法の開発」

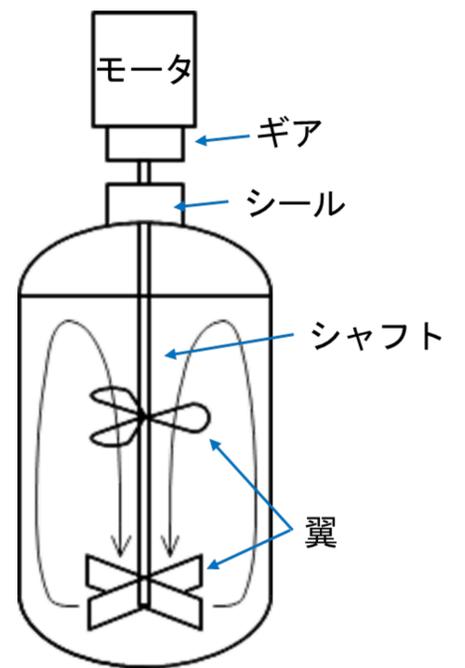
安全性向上を目指した回転式攪拌装置における トルク、ラジアル荷重解析

仁志和彦・緒方隆志・瀧野日出雄

攪拌の目的

- ・ 混 合：温度や溶質濃度の均一化
- ・ 伝 熱：冷却、加熱速度の向上
- ・ 分 散：混ざり合わない2流体の均一化
気泡、液滴の微細化、粒径制御
- ・ 物質移動：気泡、液滴、粒子-母液間の物質移動速度向上
- ・ 反 応：反応、培養速度、反応経路の制御

失敗は製品不良、**爆発事故**にもつながる
(攪拌翼がタンクを突き破る、可燃有毒ガスの漏洩)

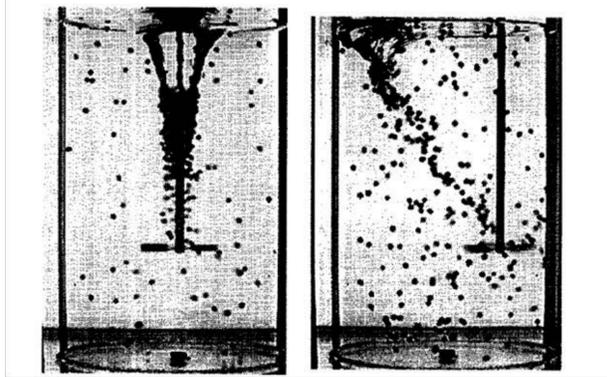


高性能翼、攪拌手法の開発

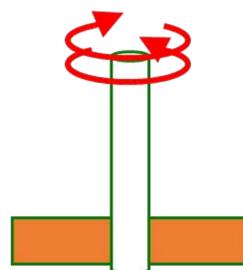
大型特殊翼攪拌



非対称(偏心)攪拌



非定常攪拌



装置設計や安全管理において必須な、**トルク、ラジアル荷重**の大きさ、変動に関するデータの不足



- ・ 工業的な展開の遅れ
- ・ 過大な安全設計、メンテナンス負荷

本研究では、

- ・ 大型特殊翼による偏心攪拌における**トルク、ラジアル荷重**の測定、定式化
- ・ トルク、ラジアル荷重の**発生、変動メカニズム**の解明
- ・ 流体力学と構造力学の並列解析に基づく**応力解析シミュレーション**
- ・ トルク、ラジアル荷重の測定結果に基づく**疲労寿命評価**

