

文部科学省

平成27年度 私立大学戦力的研究基盤形成支援事業

「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」

研究成果ポスター発表

(千葉工業大学 オープンキャンパス 2017/ 8/ 6)

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」

研究テーマ2 「高分子基複合材料のマルチスケール損傷
評価手法の開発とその構造ヘルスマニタ
リングへの応用」



改良9Cr-1Mo鋼溶接部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

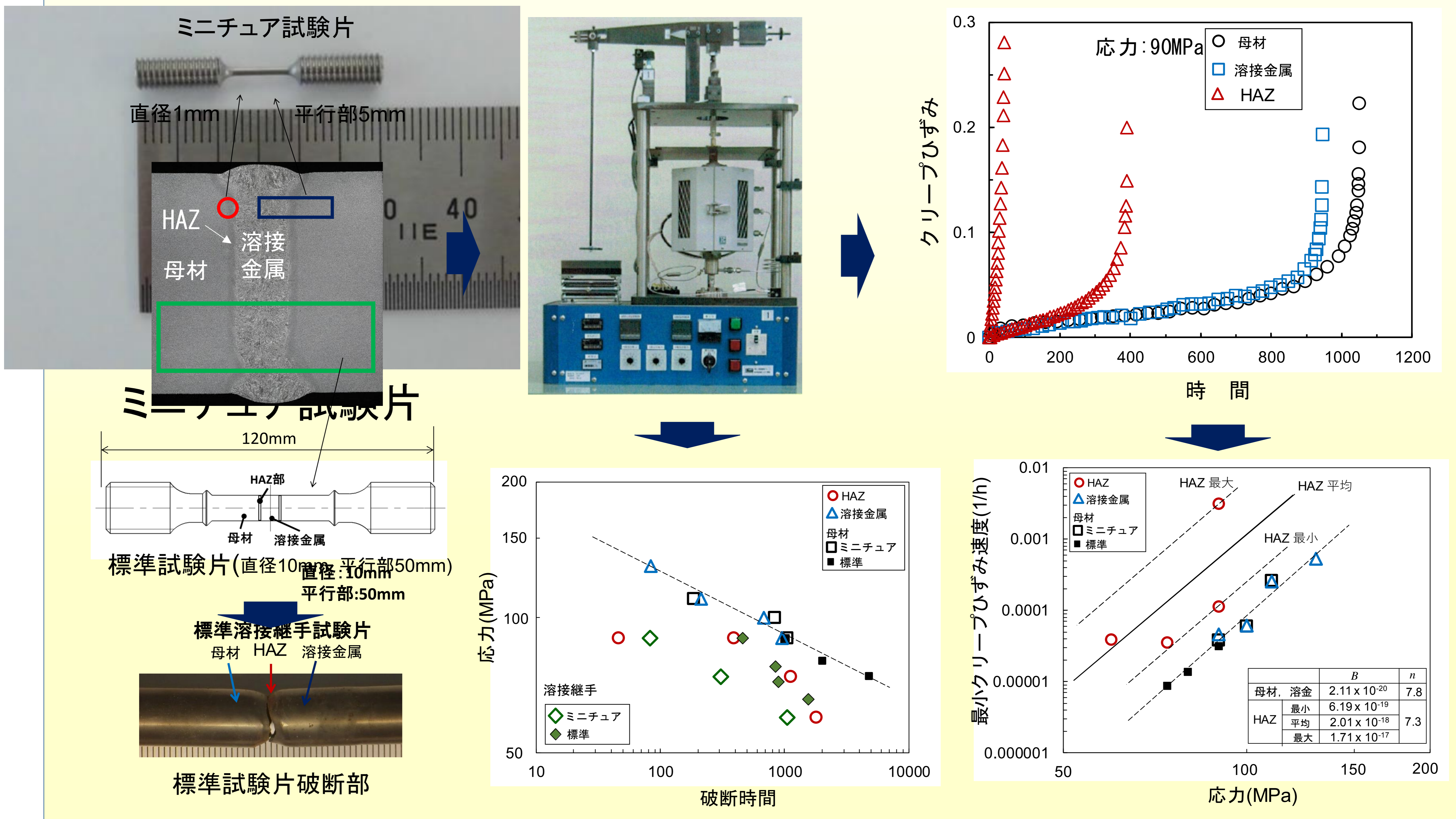
緒方 隆志, 瀧野 日出雄, 仁志 和彦, 原 祥太郎, 菅 洋志

研究の必要性

火力発電所のボイラー配管には改良9Cr-1Mo鋼が使用されている。同鋼溶接部の熱影響部細粒域(HAZ)でクリープ損傷が優先して進行することが知られている。使用中の配管の信頼性を維持するためには、溶接部のクリープ損傷の進行を精度よく予測する手法の開発が必要不可欠である。

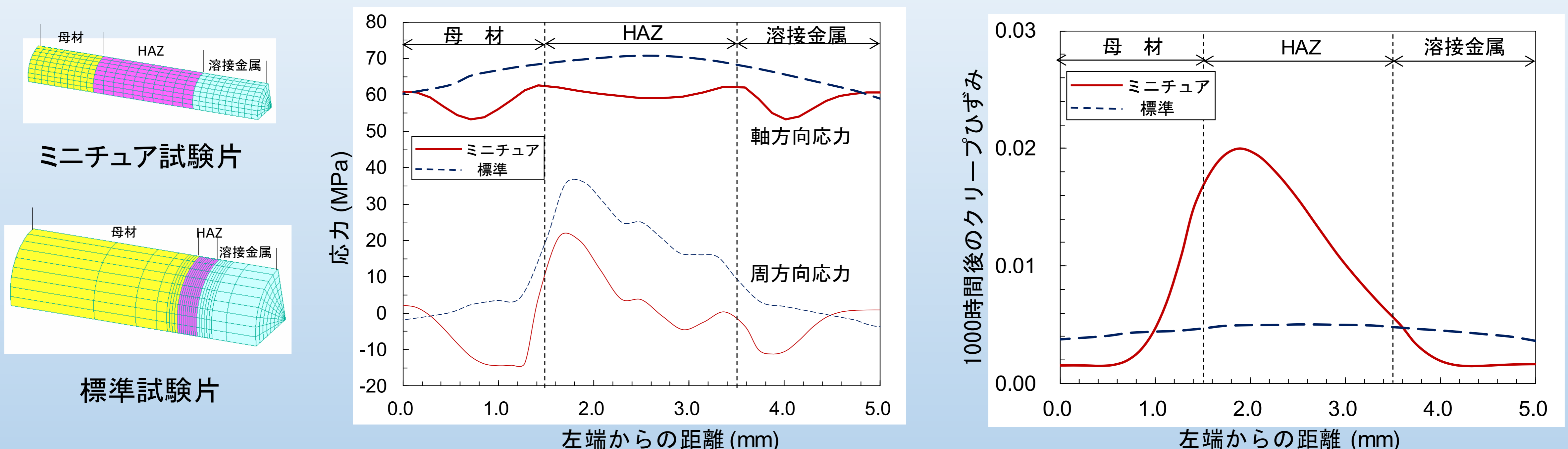
主な成果1

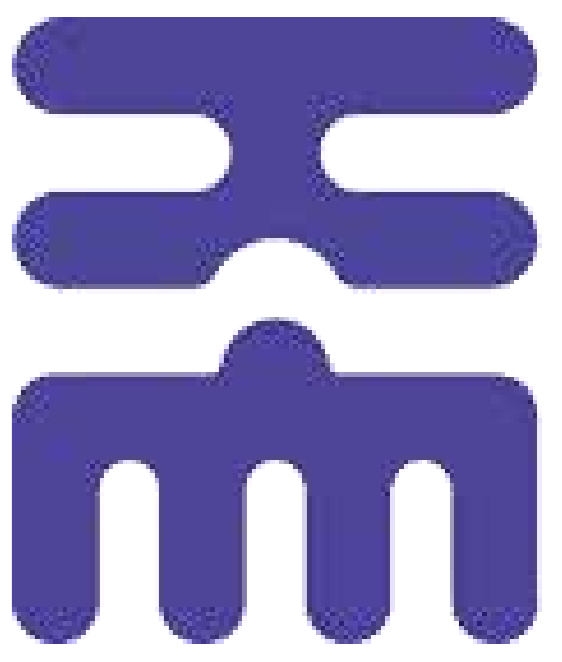
- MAG溶接継手のからミニチュア試験片を切出し、アルゴン雰囲気中でクリープ試験を実施した。
- 母材および溶接金属に比べHAZのクリープ変形速度が速く、ばらつきが認められた。
- 標準溶接継手試験片に比べミニチュア溶接継手試験片は、短時間でType IV(HAZ)破断した。



主な成果2

- ミニチュア試験片で得られたクリープ特性を用いて、溶接継手の3次元有限要素解析を実施した。
- HAZでは軸方向応力に加え周方向応力も発生し多軸応力状態となることが明らかとなった。
- ミニチュア試験片HAZのクリープひずみ速度が標準試験片HAZに比べて速いことが、短時間で破断した要因であることが示唆された。





Ni基合金HR6Wのクリープ損傷過程の解明

千葉工業大学大学院 工学研究科 機械サイエンス専攻

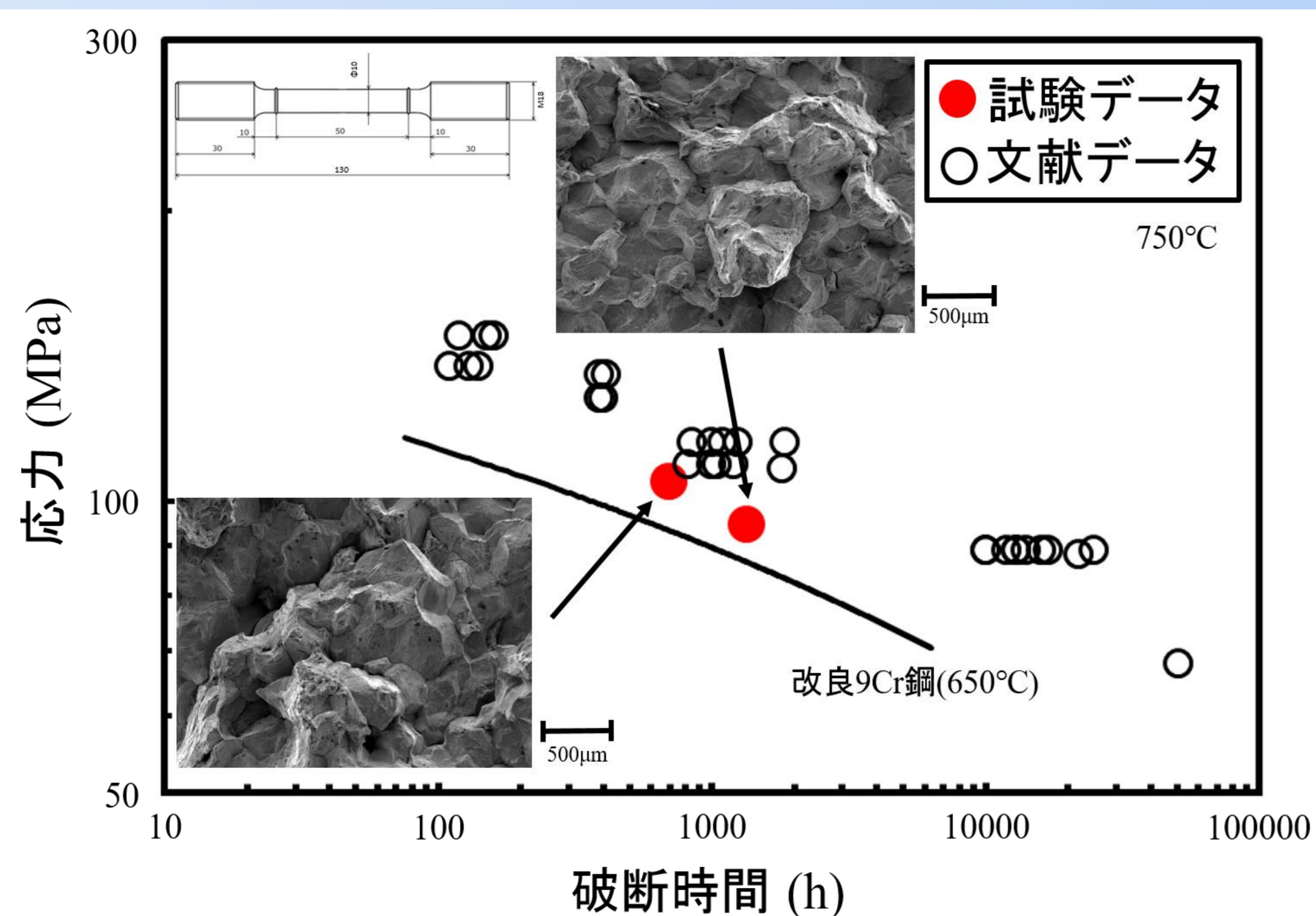
宮本 健太, 緒方 隆志, 原 祥太郎

研究の必要性

先進超々臨界圧(A-USC)プラントの配管等の高温機器では、使用中のクリープ損傷の進行によるき裂の発生が懸念される。機器の使用における信頼性維持のため、クリープ条件下での損傷過程を明らかにし、それに基づく評価法の開発が必要不可欠である。

主な成果1

中実丸棒試験片(直径10mm, 標点距離50mm)を用いて、温度750°Cでクリープ破断試験を実施した。HR6WはUSC材料の改良9Cr鋼より高いクリープ強度を示し、クリープ破面は粒界破面を呈していた。

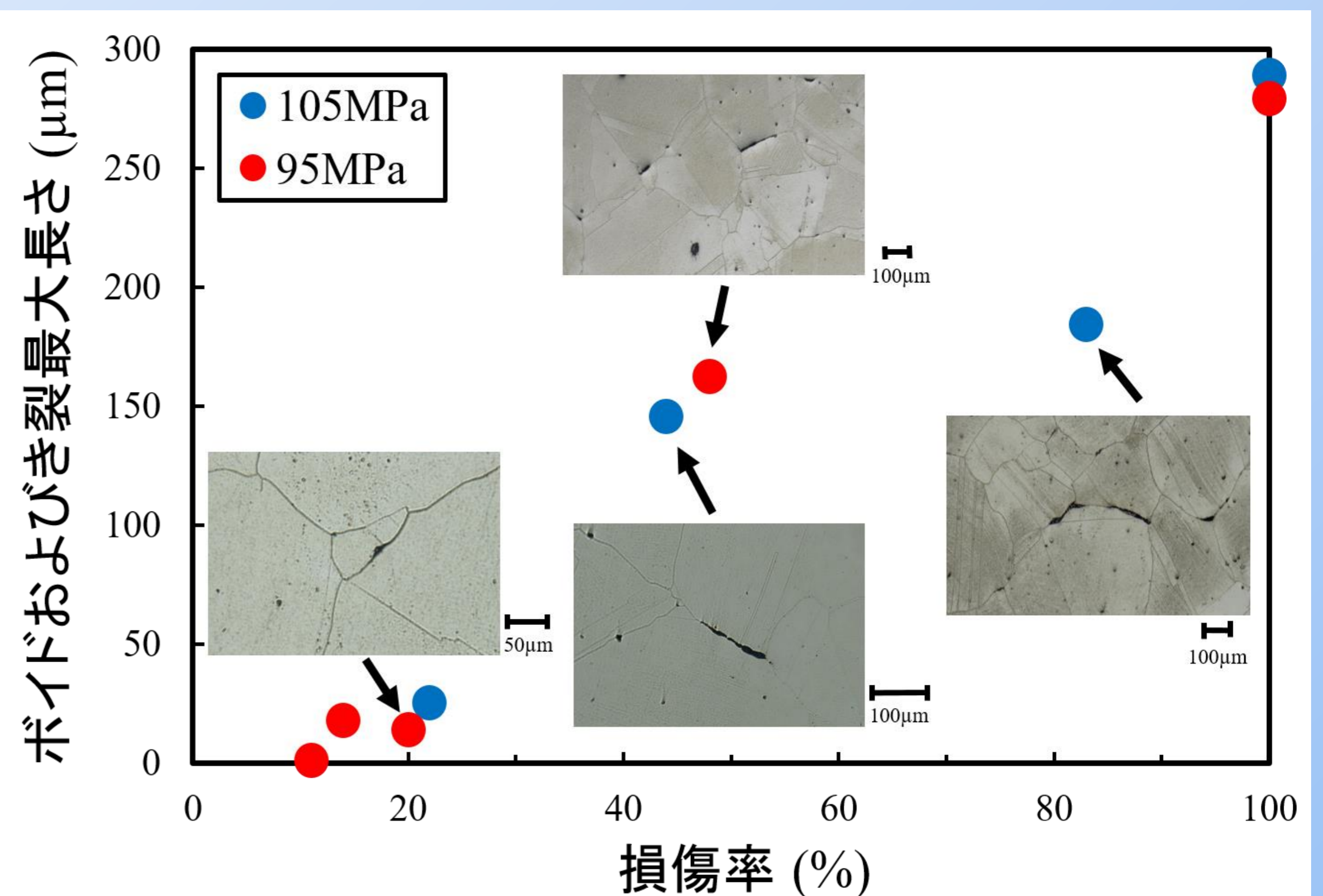


HR6Wのクリープ破断特性

主な成果2

クリープ損傷を与えたHR6Wの縦断面を光学顕微鏡により、観察した。

損傷により発生したボイドが、寿命末期までに1結晶粒界長さ程度まで成長し破断に至ったことが示唆された。

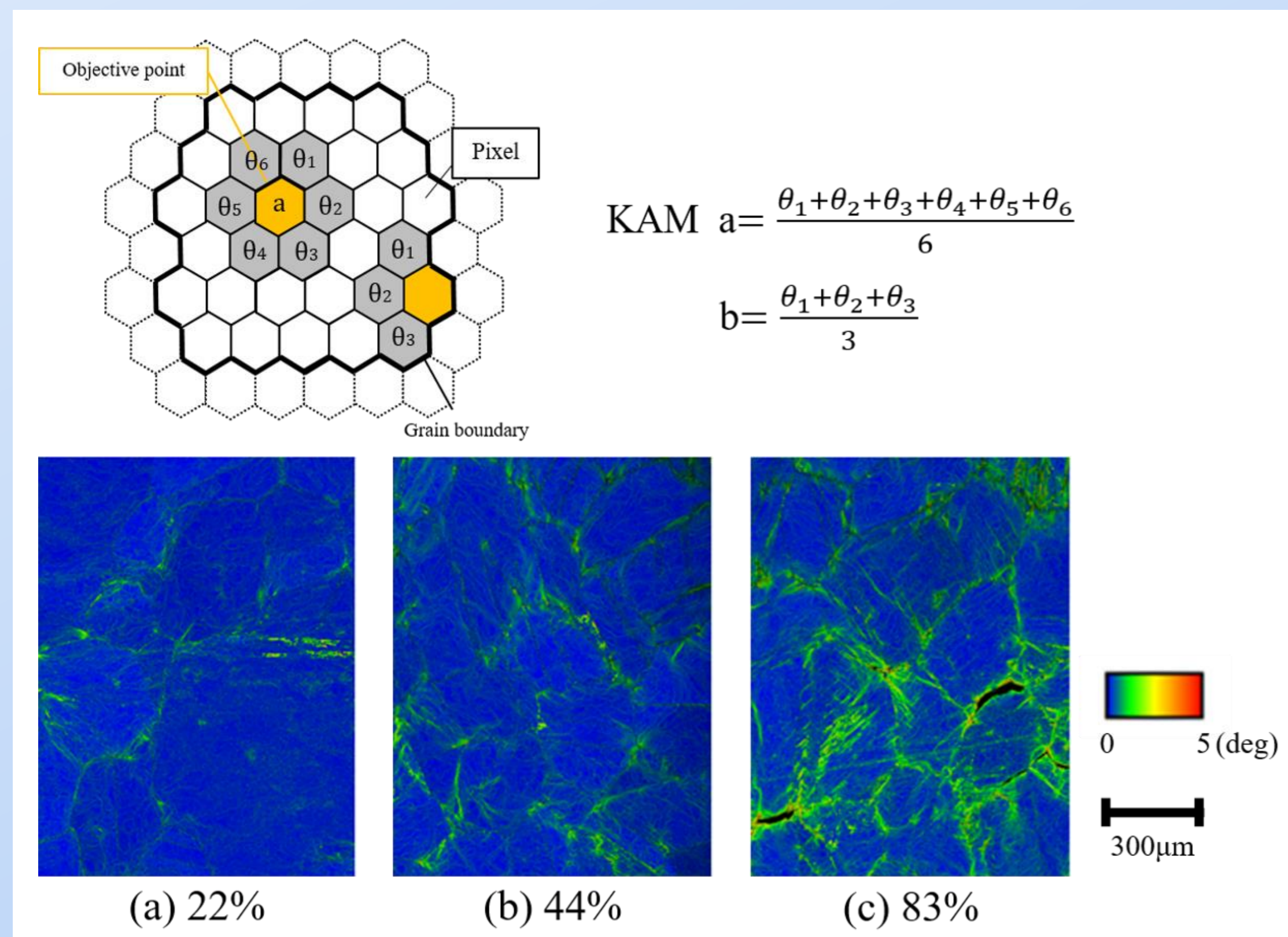


ボイド観察および最大長さとクリープ損傷率の関係

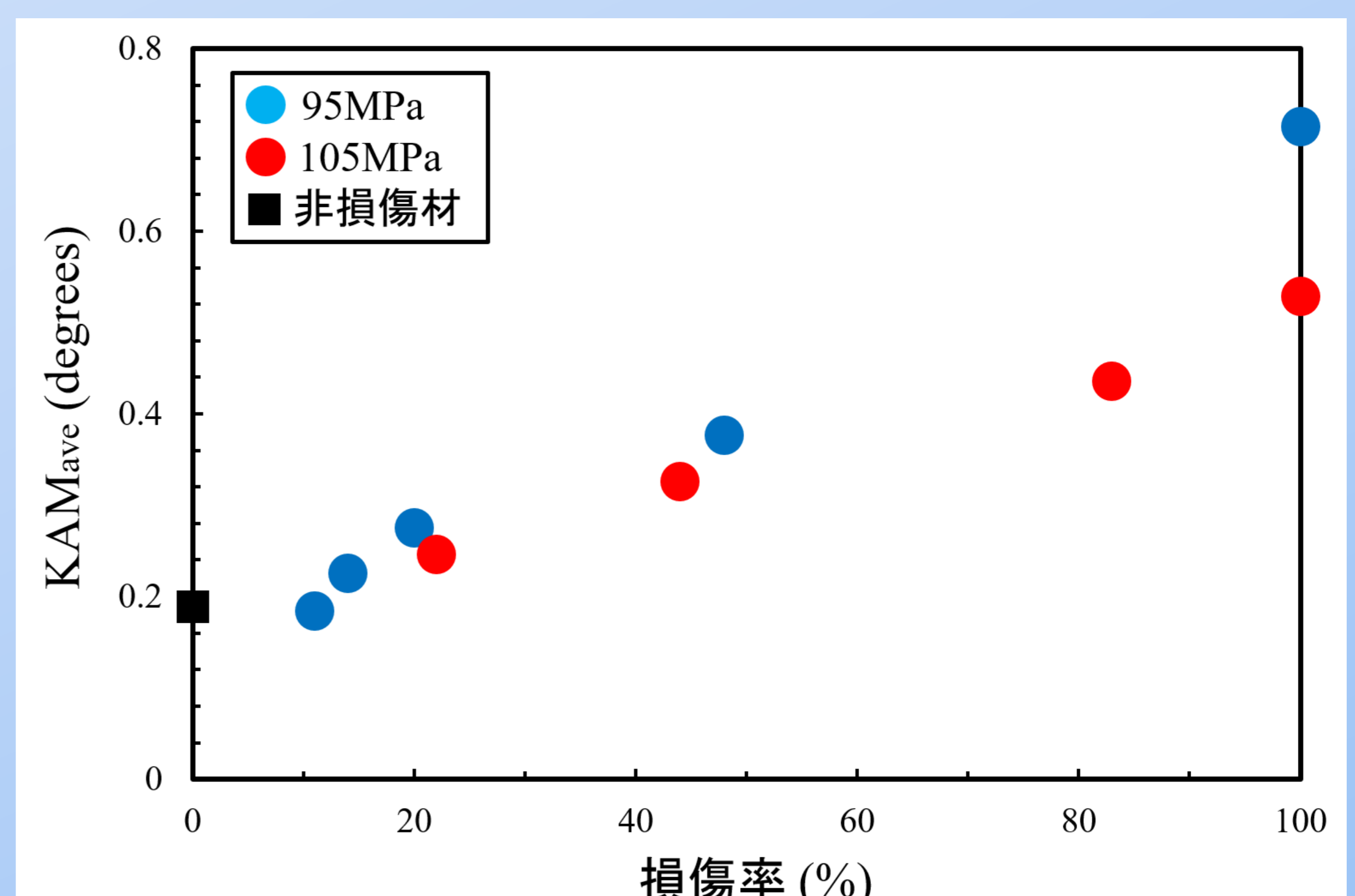
主な成果3

電子線後方散乱回折(EBSD)法を用いて、クリープ損傷材の結晶方位の測定を行った。

損傷の進行に伴う粒界付近を中心とした局所的方位差KAMの上昇、損傷の進行に伴うKAM_{ave}の上昇が確認され、クリープ条件下での損傷を結晶方位と関連付けることができた。



EBSD法によるKAMマップ



KAM_{ave}とクリープ損傷率の関係



耐熱金属材料における疲労強度と加工面性状の関係

千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科

前田悠士郎、チャン・バン・タン、瀧野日出雄、緒方隆志

1 はじめに

火力発電プラントで使用されているタービンローターや蒸気加減弁等、高温高圧下で使用される機械の疲労寿命を精度よく予測する手法の開発に取り組んでいる。

そこで本研究は、耐熱金属材料「CrMoV鋼とSUS304」について、加工条件と表面粗さおよび表面硬化層深さとの関係を明らかにする。次に、表面粗さの疲労強度への影響を評価する。以上の結果を踏まえて、高い疲労強度を有する高温高圧鋼部品を製造するための切削条件を明らかにすることを目指す。

2 供試材および試験片

表1. 加工条件

試験片記号	CrMoV鋼	K	L	M
	SUS304	SA	SB	SC
切削速度 [m/min]				40
送りS [mm/rev]	0.08		0.12	0.16
切込み [mm]				0.3

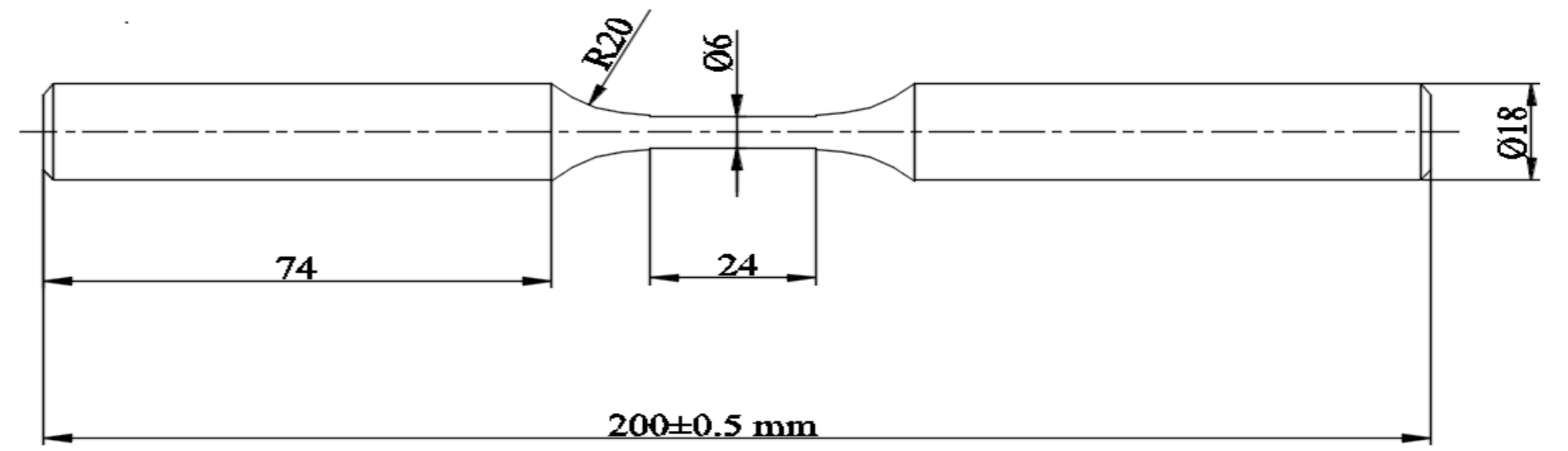


図1: 疲労試験片形状

3 表面硬化層の観察

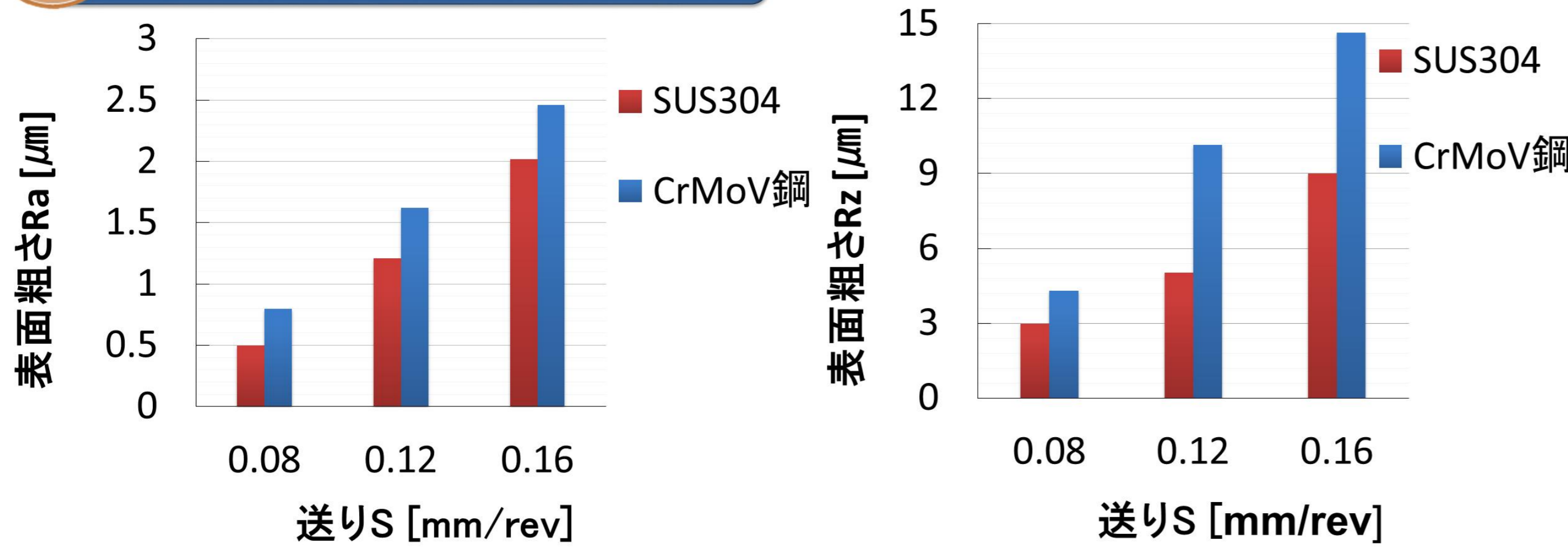
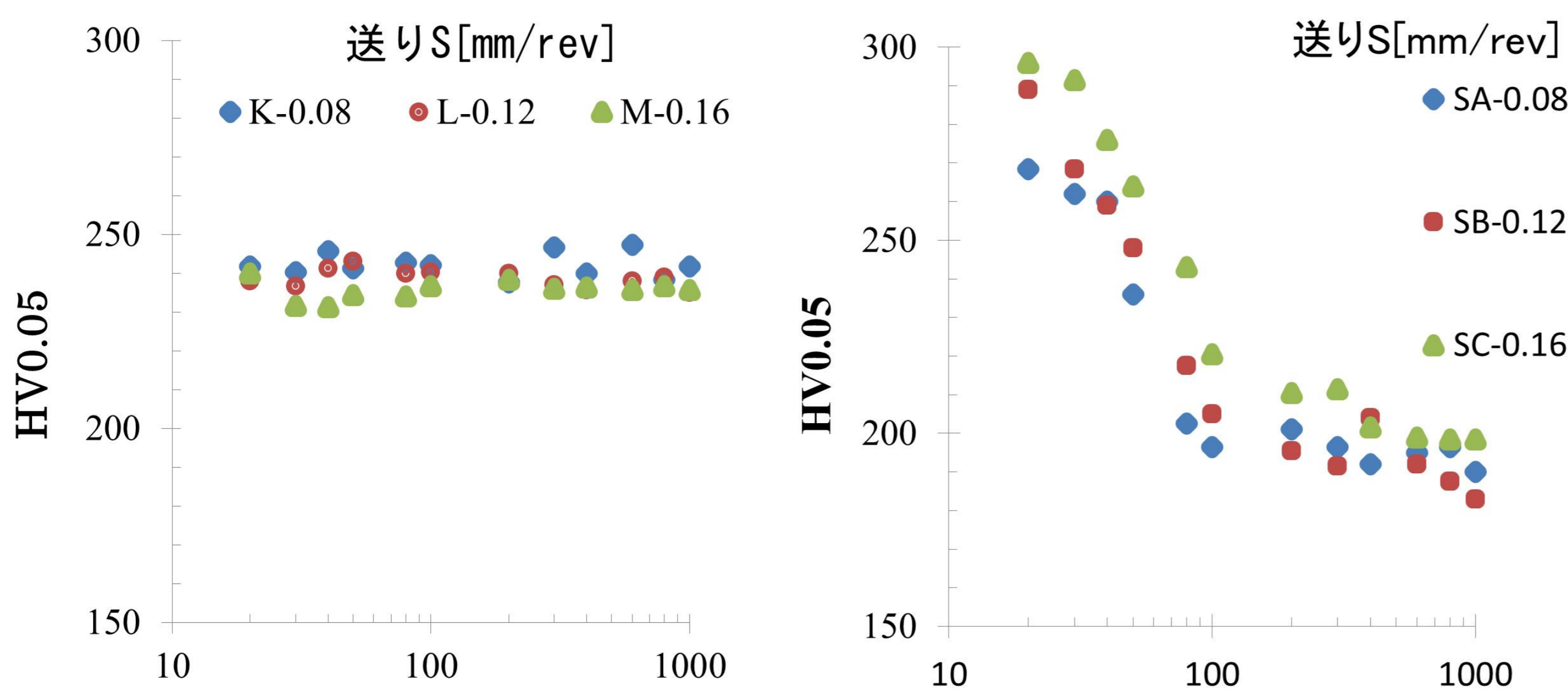


図2: 表面粗さ測定結果



外径表面からの距離 [μm]

外径表面からの距離 [μm]

図3.1: ビッカース硬さ測定結果(CrMoV)

図3.2: ビッカース硬さ測定結果(SUS304)

図3.1より、CrMoVは硬化層が発生していなかった。図3.2よりSUS304は硬化層が発生しているが、それぞれ硬化層深さに違いは見られなかった。図2と図3.1、図3.2から表面粗さが異なり硬化層深さが同じ試料を製作できた。

4 疲労強度実験方法

試験装置:

試験機容量 ±5000kgf、繰返し速度 0.001~50Hz

試験条件:

試験温度: 室温、試験応力振幅: 200~450MPa

最大繰返し数: 10⁶回 試験速度: 15Hz

試験材質: CrMoV鋼 SUS304

5 疲労強度試験結果

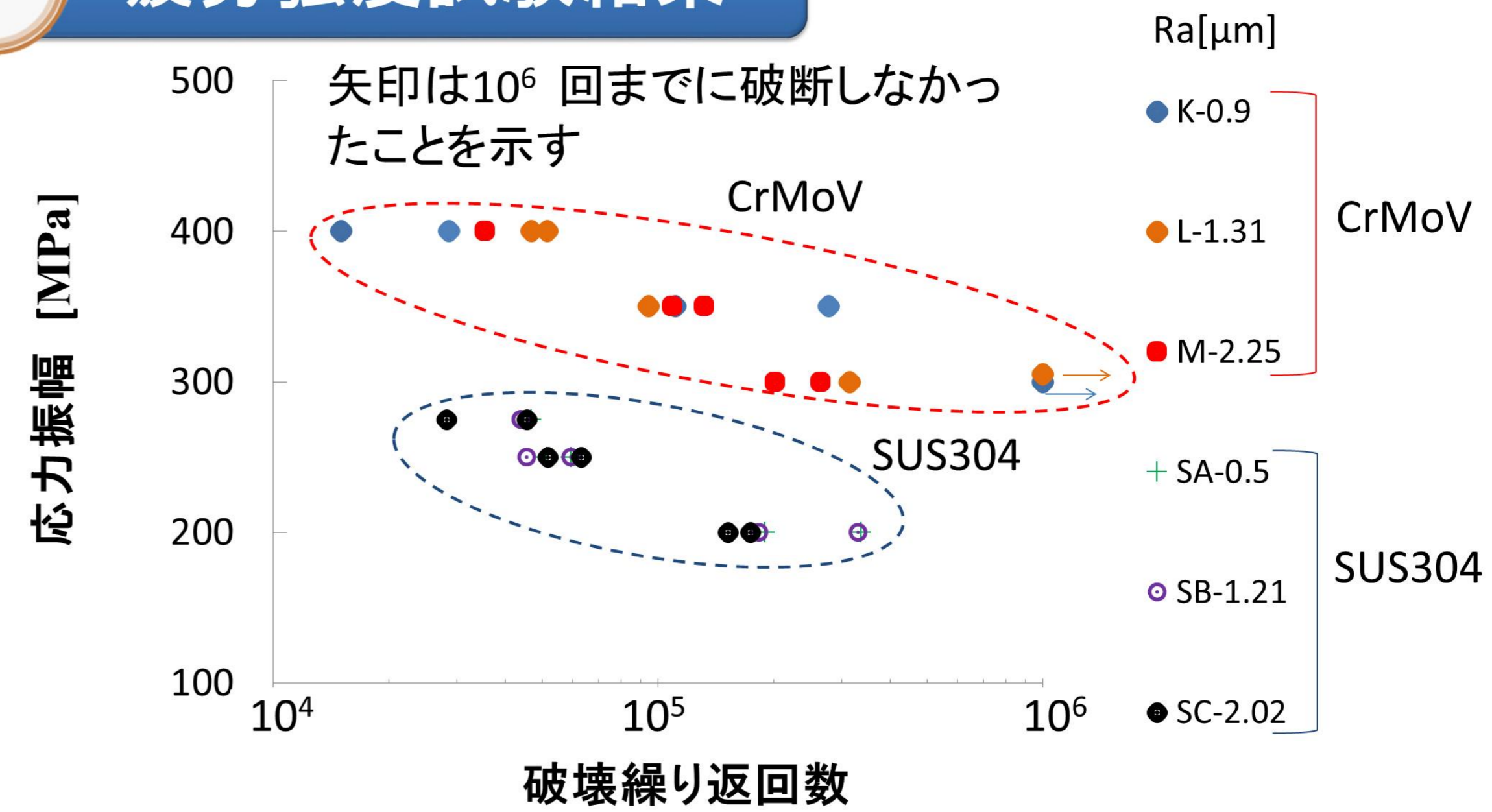


図4. 疲労試験結果(CrMoV)

CrMoV、SUS304ともに応力振幅が小さいほど、疲労寿命は試験片の表面粗さの影響を受けやすい傾向がある。

破壊面観察

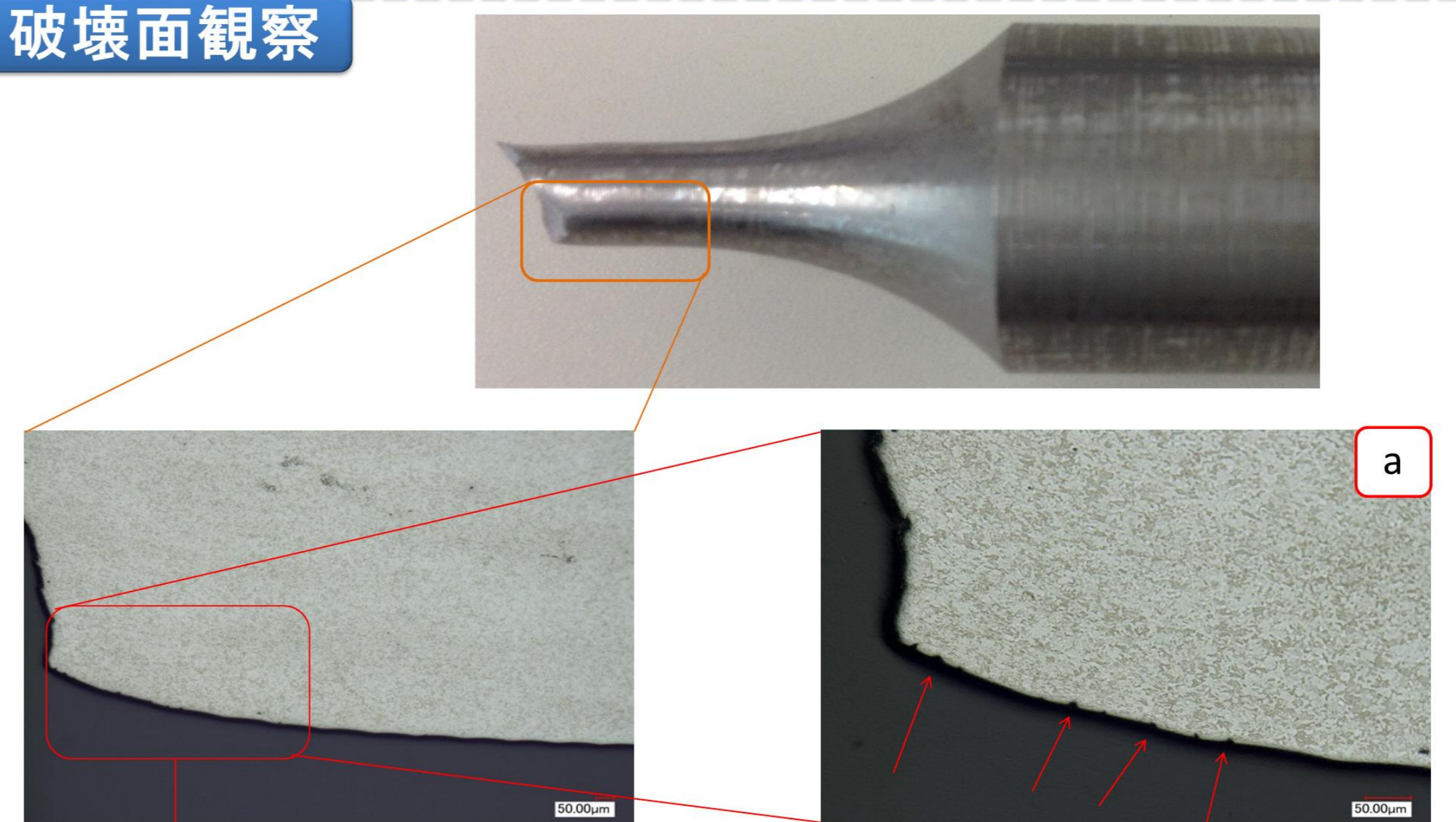


図5. 縦軸断面き裂発生観察(CrMoV鋼L31-400MPa)

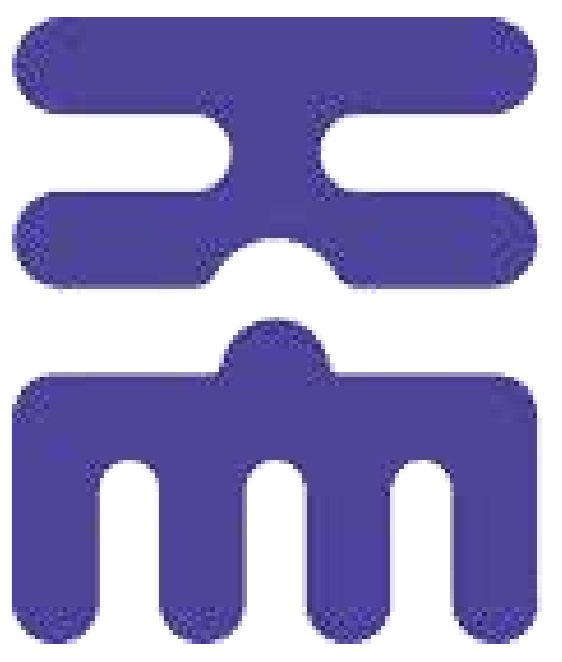
破断面付近の外径にき裂が多くみられる。

6 まとめ

これまでの結果は以下に示す。

- (1) 硬化層深さが同じで表面粗さの異なる試験片の製作ができた。
- (2) 試験応力が小さい場合、疲労寿命は試験片の表面粗さの影響を受けやすい傾向にある。

今後は、表面粗さが同じで硬化層深さが異なる試料の製作ができるか検討する。



原子スケール解析に基づく高温クリープ変形解析

千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科

原 祥太郎, 辻村 寿貴, 菅 洋志, 緒方 隆志

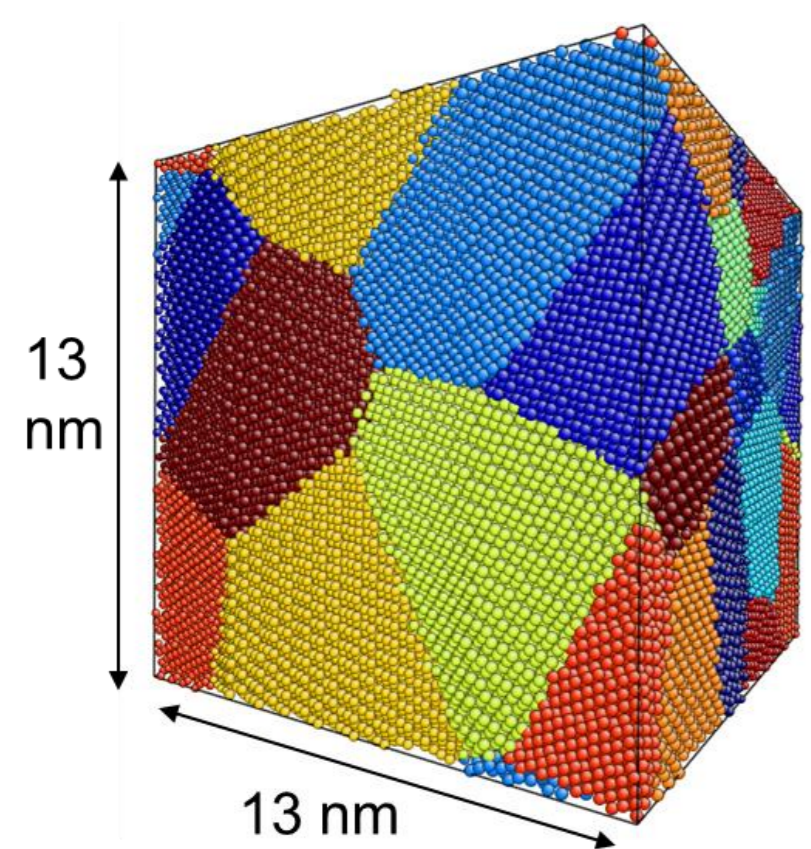
研究の必要性

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・ボイド成長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。

合金ナノ多結晶体の高温変形解析

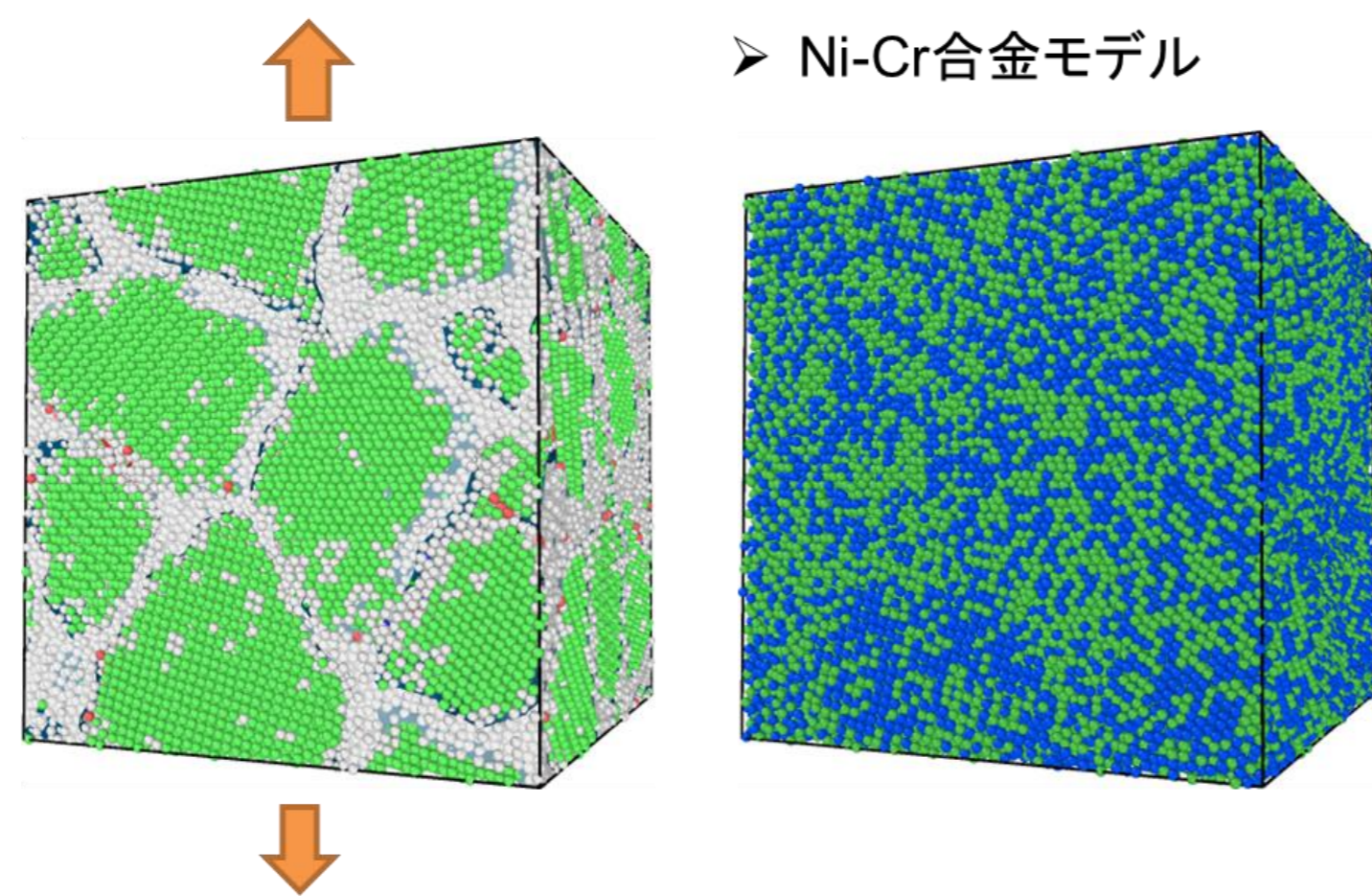
分子動力学解析モデル概要

➢ Niナノ多結晶モデル



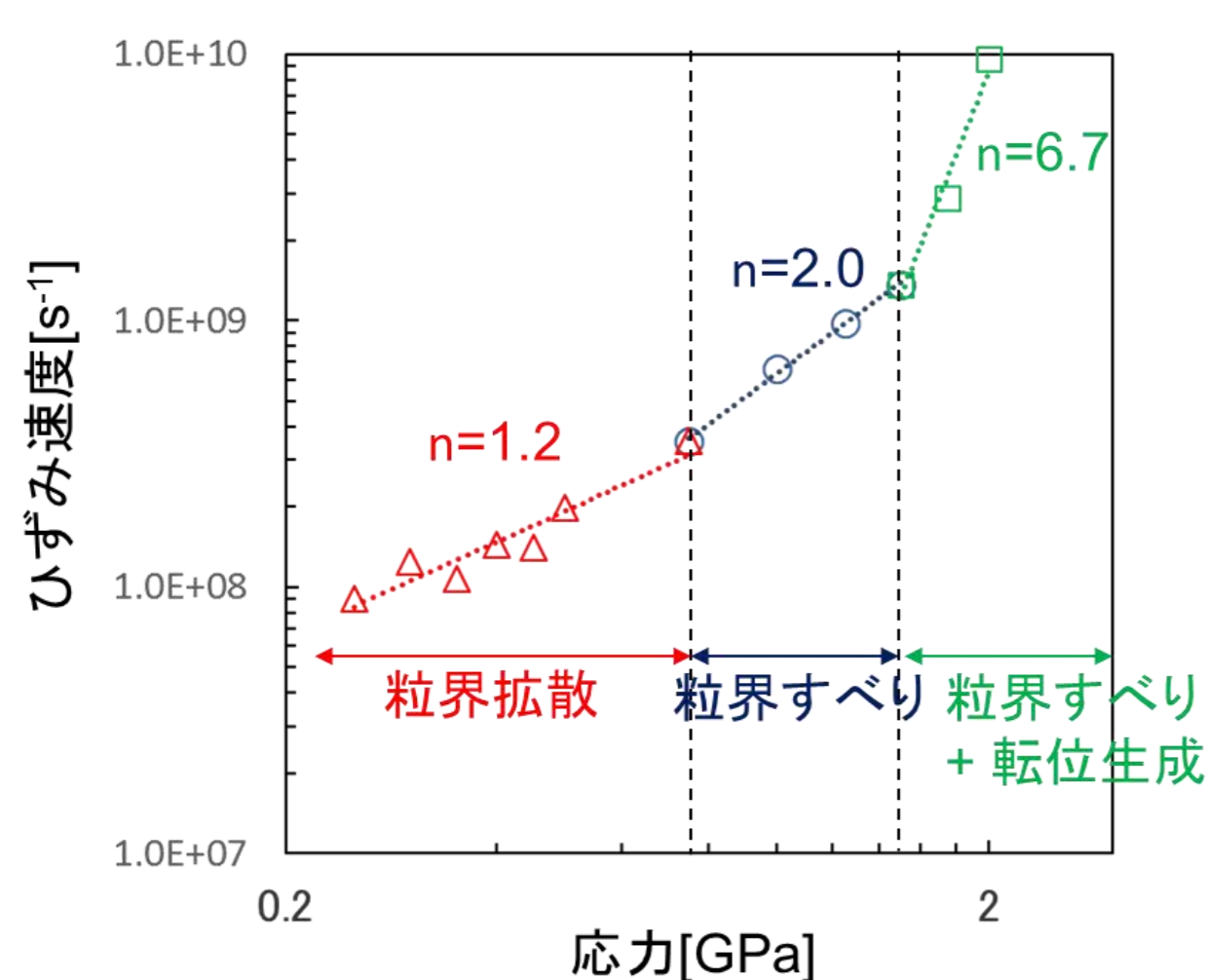
- ポロノイ多結晶体(ランダム配向)
- 結晶粒数: 13
- 周期境界条件

➢ Ni-Fe合金モデル
➢ Ni-Cr合金モデル



- LAMMPSコード
- EAMポテンシャル
- 温度: 1073 K
- 応力: 0.25 ~ 2 GPaで一定

Niナノ多結晶体の変形メカニズムの遷移



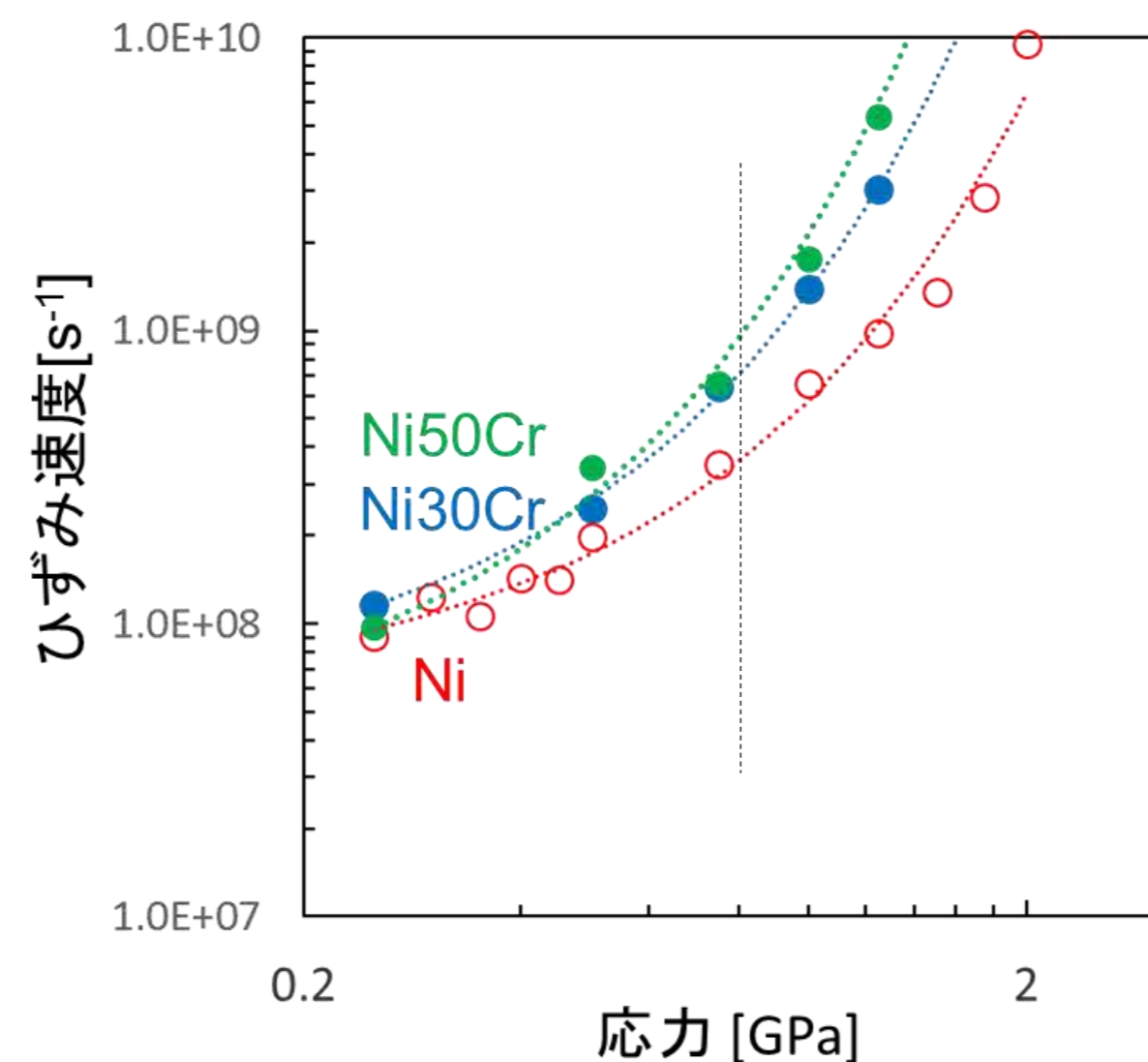
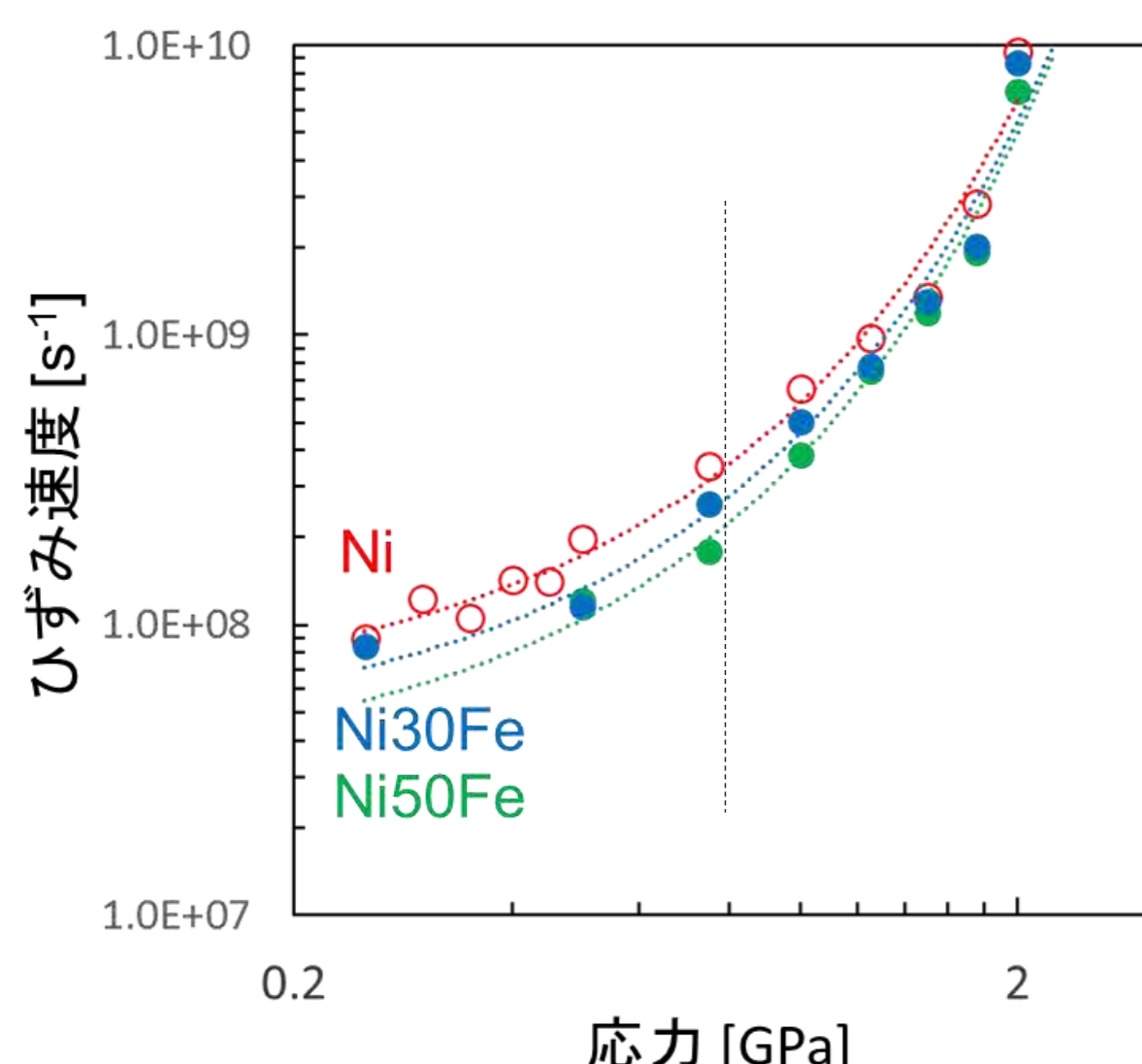
$$\dot{\epsilon} = A \left(\frac{1}{d} \right)^p \sigma^n \exp \left(- \frac{\Delta Q}{k_B T} \right)$$

T: 温度 σ : 応力 d: 結晶粒径
n: 応力指数 p: 結晶粒径指数

添加材の効果

Ni-Fe合金

Ni-Cr合金



- ✓ Fe添加によりひずみ速度低下
- ✓ Fe添加量にも依存

- ✓ Cr添加によりひずみ速度増加
- ✓ Cr添加量にも依存

低応力領域 ✓ 変形速度は拡散係数の大小と一致

$$D(\text{Cr}) > D(\text{Ni}) > D(\text{Fe})$$

- 高応力領域 ✓ Fe添加で応力指数が上昇
- ✓ Cr添加で応力指数が上昇

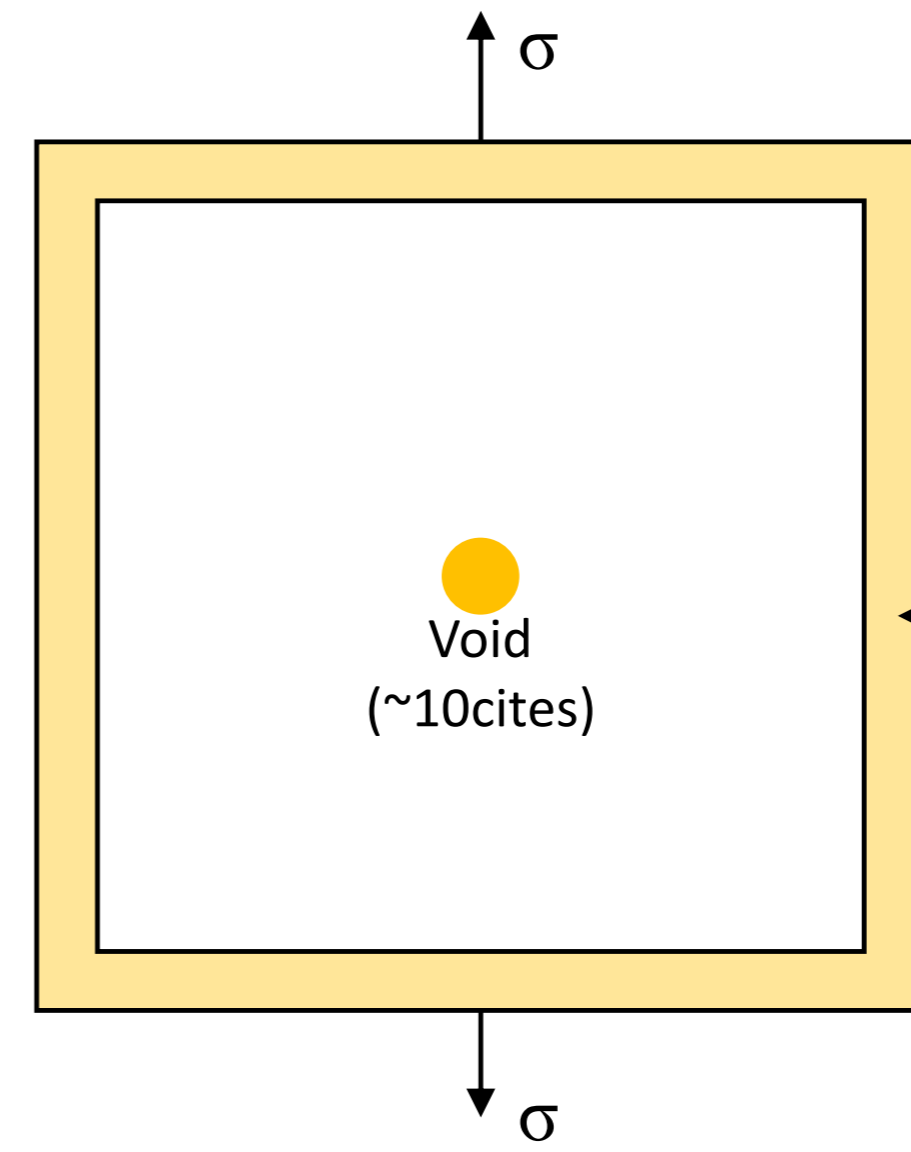
添加材により不安定積層欠陥エネルギー(すべり変形のしやすさ)が変化

拡散型分子動力学法によるボイド成長解析

拡散型分子動力学法概要

有限温度での原子の熱ゆらぎ効果を粗視化し、固体内拡散に伴う物質移動といった長時間スケールの現象を追跡可能とする方法

バルクCu中のボイド成長解析モデル



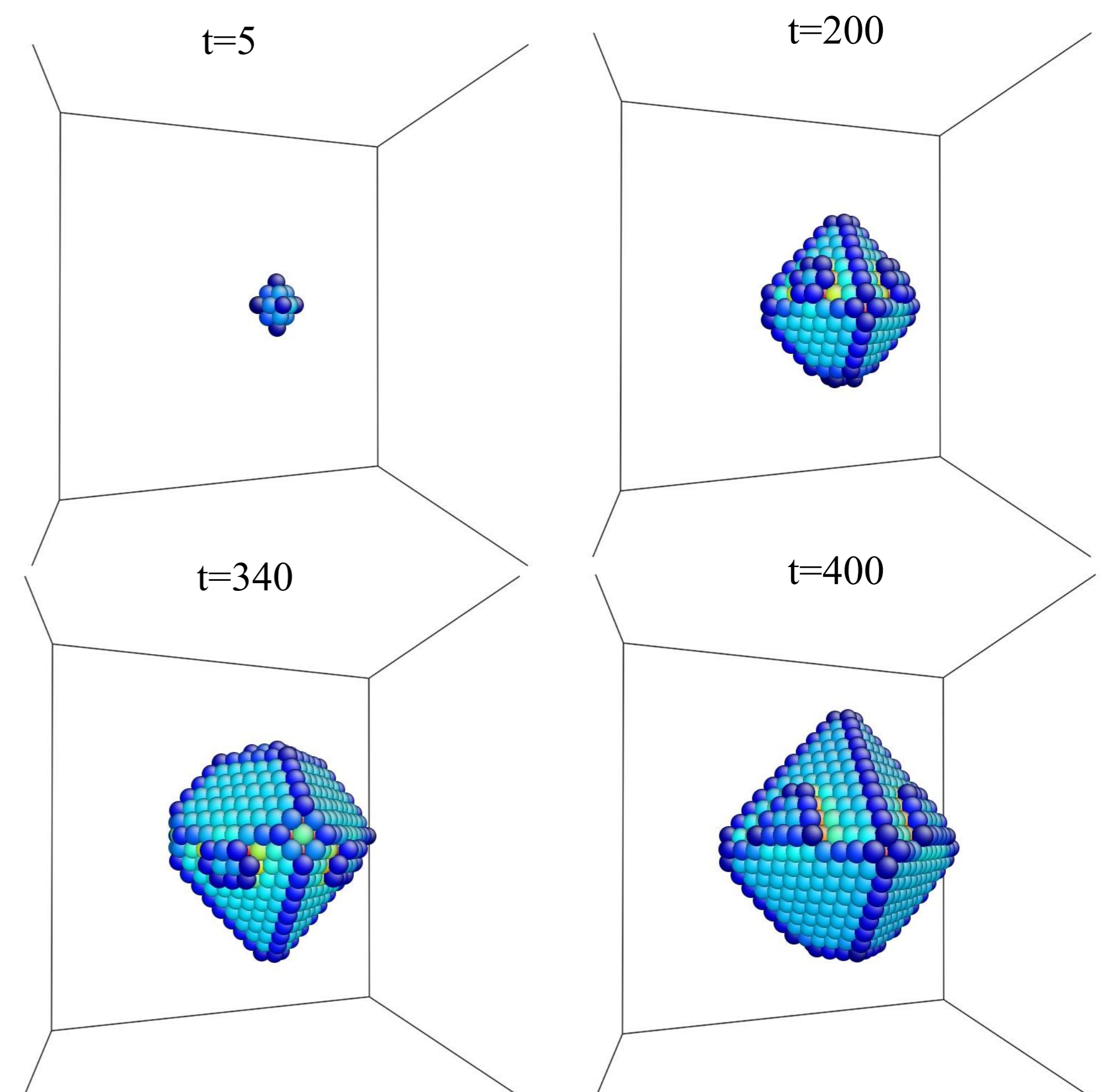
8.4 nm × 8.4 nm × 8.4 nm

T= 900K

σ : 単軸引張り

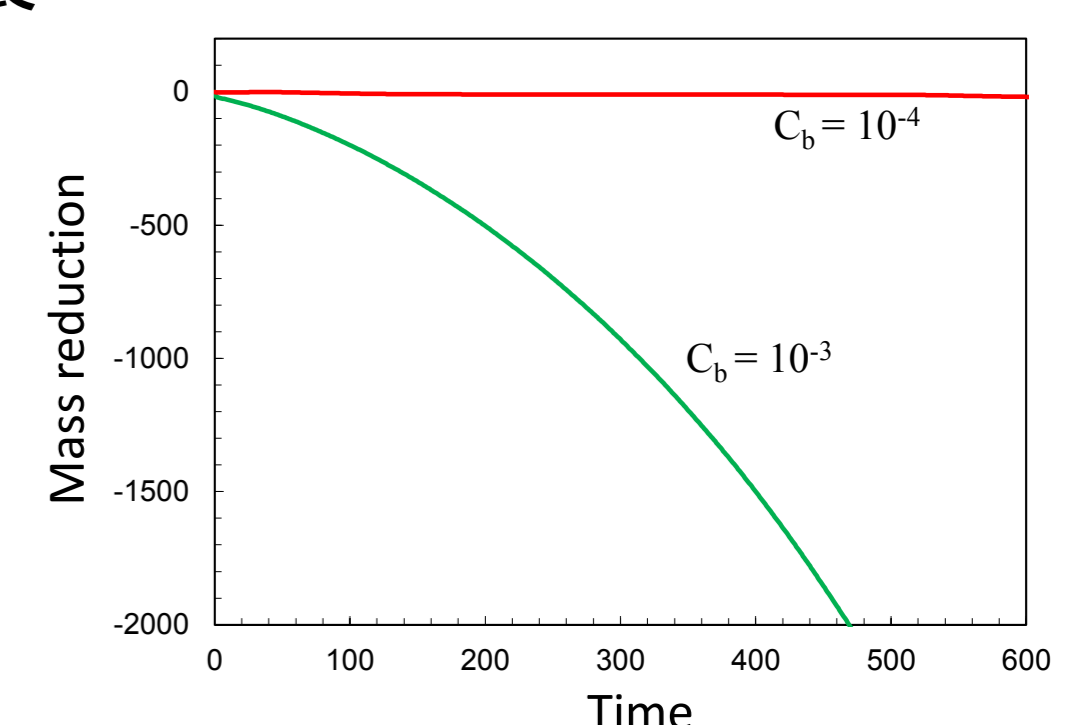
μ 一定の境界条件 (開放系) $\mu(C_b, T, \sigma)$

$C_b = 10^{-3}$ $\sigma = 5.6$ GPa



- ✓ C_b が平衡濃度程度ではボイドは収縮
- ✓ {111}面上のレイヤー・バイ・レイヤー成長
- ✓ 応力集中部から成長が開始
- ✓ 原子の流れの方向は異方的
- ✓ ボイド全体形状には異方性なし
- ✓ 転位生成機構は観測されず (σ : 5.6 GPa)

空孔量の時間変化





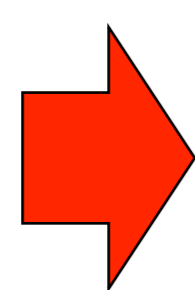
電子顕微鏡観察下におけるNi超合金ワイヤーの引張試験装置の開発

千葉工業大学 石毛大智, 池田一貴, 天神 皓, 小出圭祐, 菅 洋志

研究背景・目的

従来の方法

試料の応力負荷試験後に、電子顕微鏡などで解析



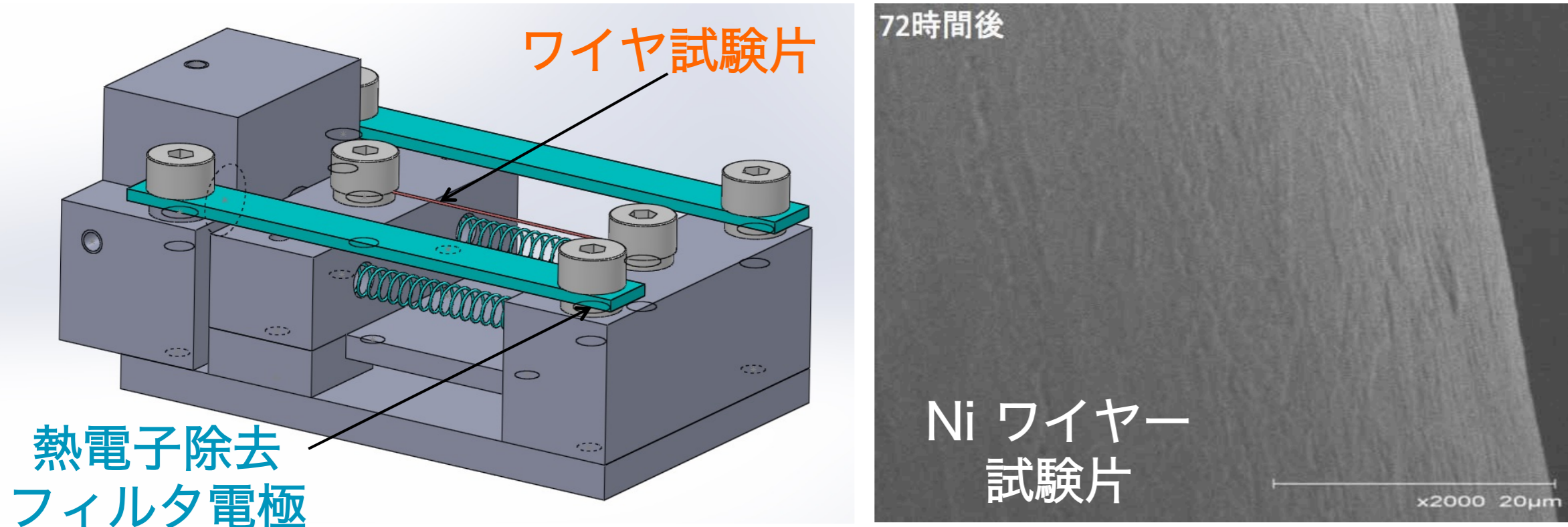
本研究

電子顕微鏡内でその場観察を行い、試料の特性評価

エネルギー・航空運輸機械の信頼性を高める上で、インコネルやハステロイなどの超耐熱合金の部材の損傷・制御技術は重要な研究課題である。損傷・制御技術のためには、ナノスケール損傷の評価技術が必要となるが、従来の試験方法では試料破断面を顕微鏡などの分析装置を用いて解析するため、破壊の進行を直接観察することができなかった。そこで、電子顕微鏡の組織観察と同時に応力負荷試験を行い、金属材料の微細組織の変形過程を捉えることを目指し、走査型電子顕微鏡 (SEM) 内での引張試験装置試作のための要素技術を開発する。

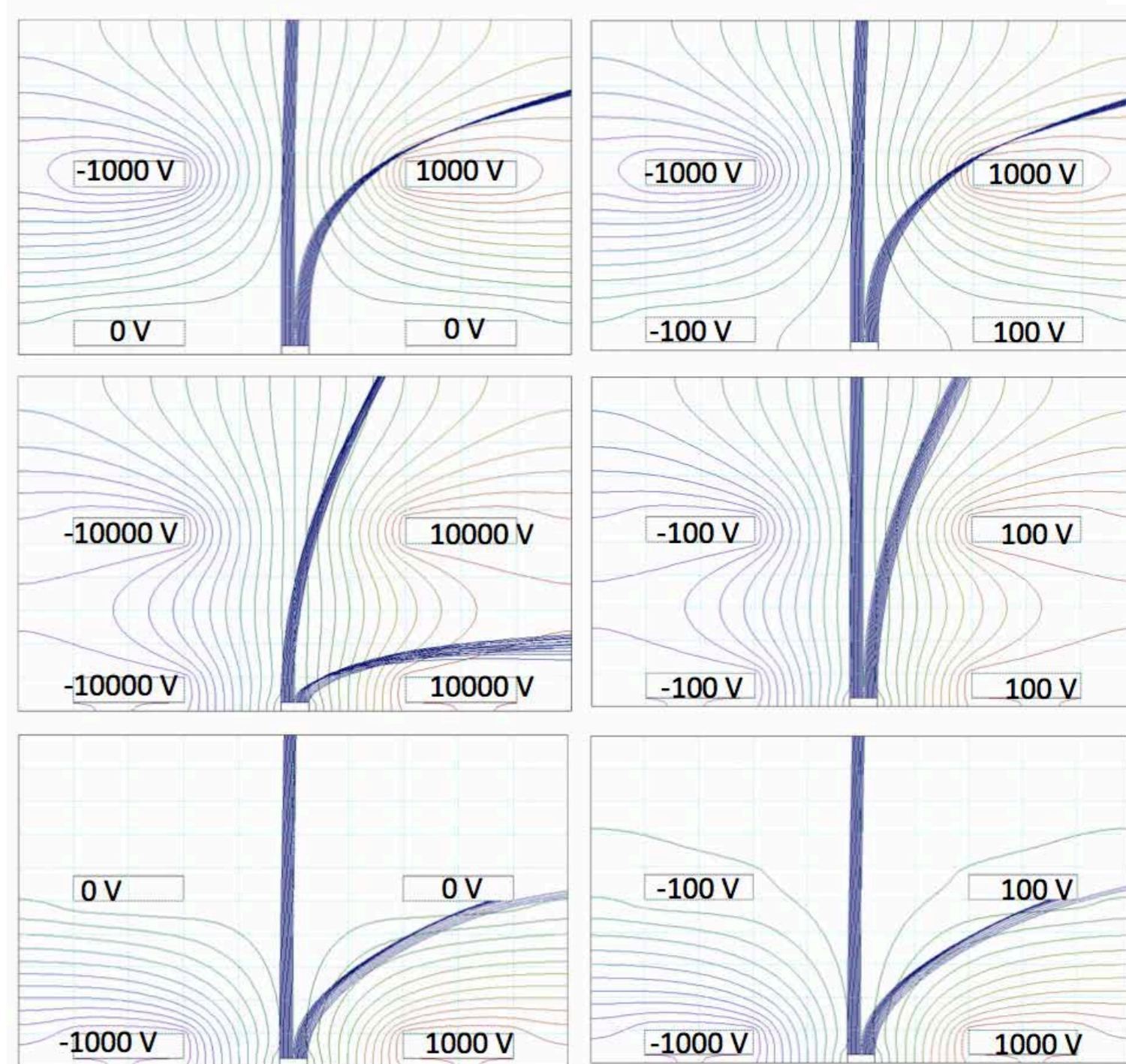
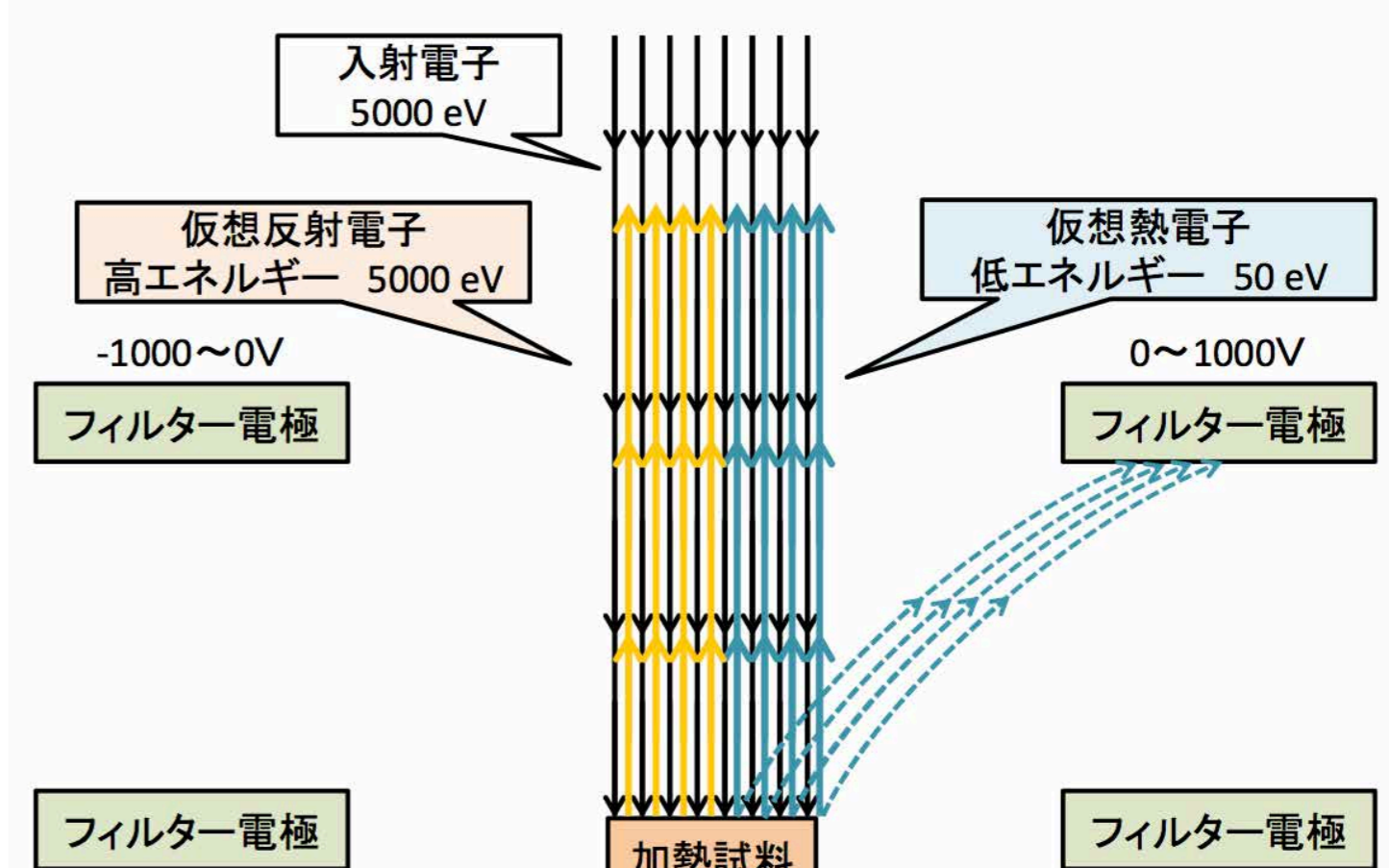
試作装置の評価

SEM内でクリープ変形を行い、同時に試験片表面の微細構造を観察するための小型観察装置を開発した。コイルバネを用いた小型機構で、試験片に一定荷重を長時間与えることが可能である。ワイヤー試験片に通電することで試験片を加熱する。ワイヤー試験片の熱容量は少ないため、装置の温度上昇は起こらず、熱ドリフトを低減でき、72時間でも視野ズレなく、同一の微細な箇所をSEMで観察できた。温度はワイヤー試験片の電気抵抗から計測する。



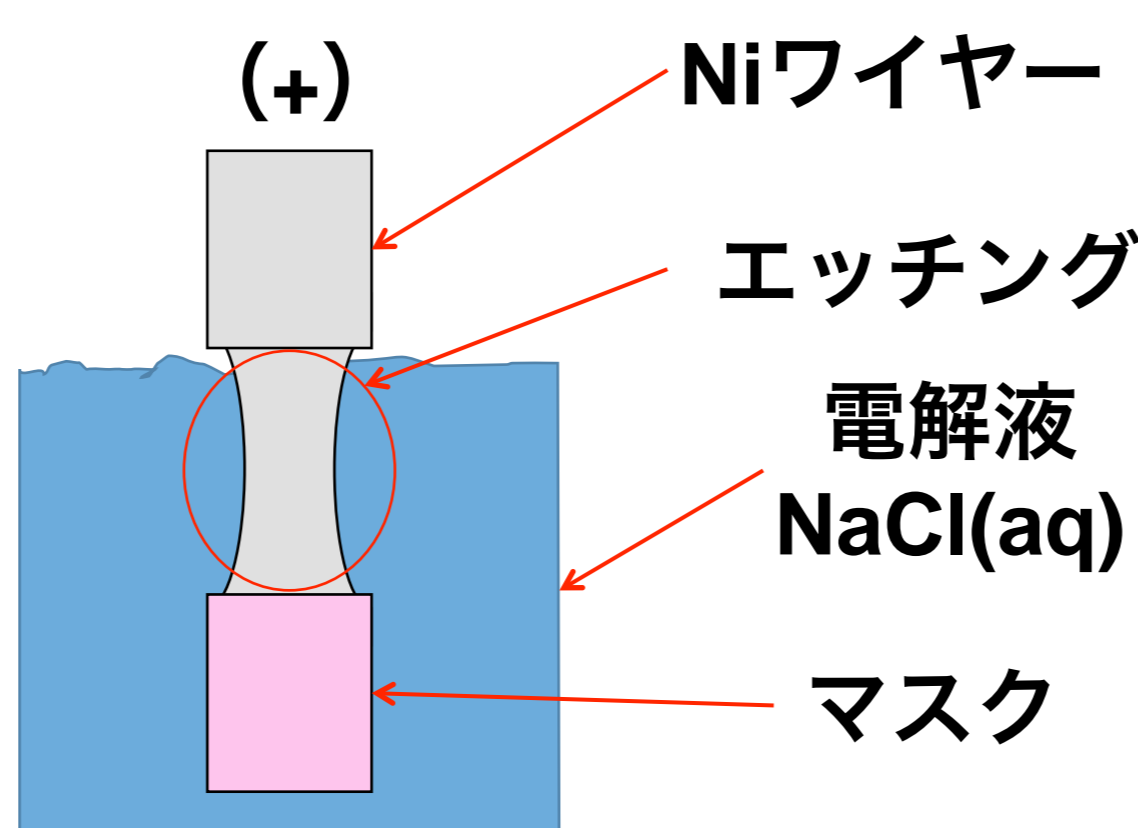
熱電子除去フィルタ

加熱試料から熱電子が発生しノイズとなる。試料付近にフィルタ電極を配置し、電極に与える印可電圧、および配置箇所によって、熱電子除去効果がどのように変わるかを有限要素法によるシミュレーションで検証した。4つの電極を配置することで、熱電子をSEM検出器から十分に除去できることがわかった。

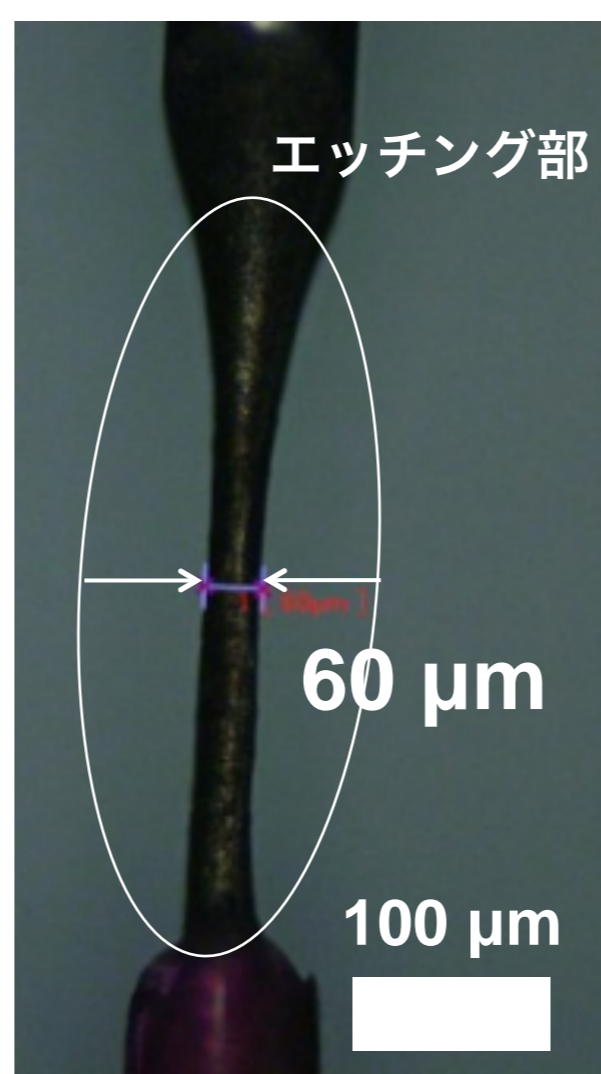
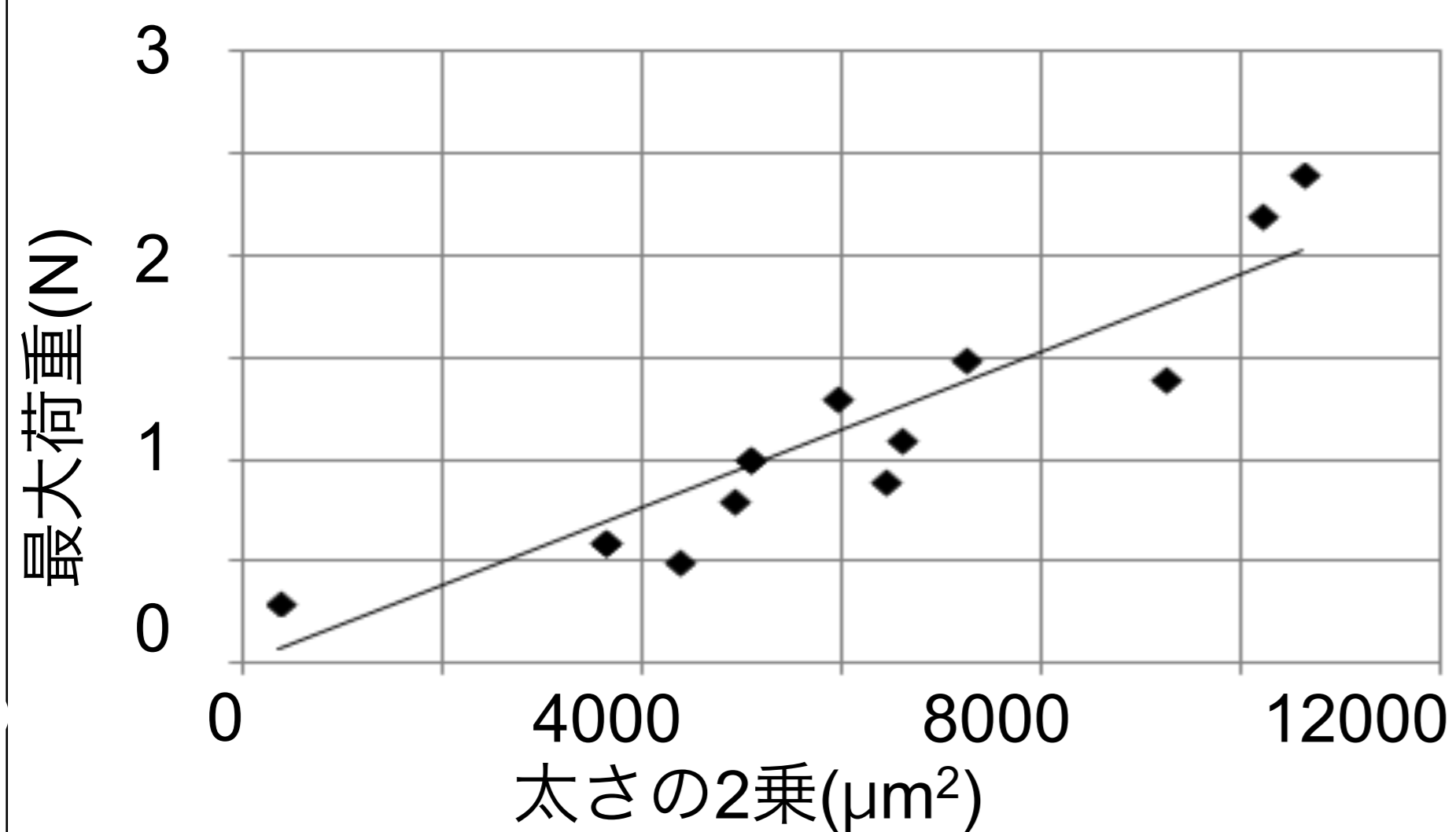


SEM内観察用試験片作製法

電子顕微鏡の視野内で破断させるため、Niワイヤーの一部を電解研磨した。樹脂でマスクした直径0.2 mmのNiワイヤーを電解液の中で1分30秒～3分研磨した。研磨後の中央部分のくびれは40～100 μmとなった。このNiワイヤーで引張試験を行ったところ、最大荷重は中央部分の太さの2乗に比例しており、円形の試料が作製されていると考えられる。



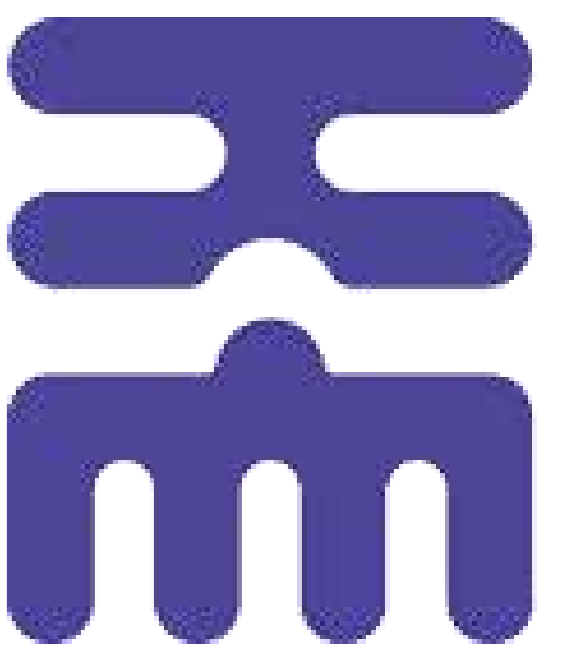
Niワイヤー電解研磨法模式図



まとめ

SEM in-Situクリープ試験装置のための要素技術について研究を行った。

- ・ジュール熱加熱機能を備えた引張試作装置を製作し、直径 0.2 mmのNiワイヤーに一定荷重を与え、72時間表面観察できることを確認した。
- ・熱電子と反射電子を分離するフィルタを考案し、効果をシミュレーションで明らかにした。
- ・ワイヤ試験片の破断箇所を制御するため、電解研磨を用いた試験片作製法を考案した。



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

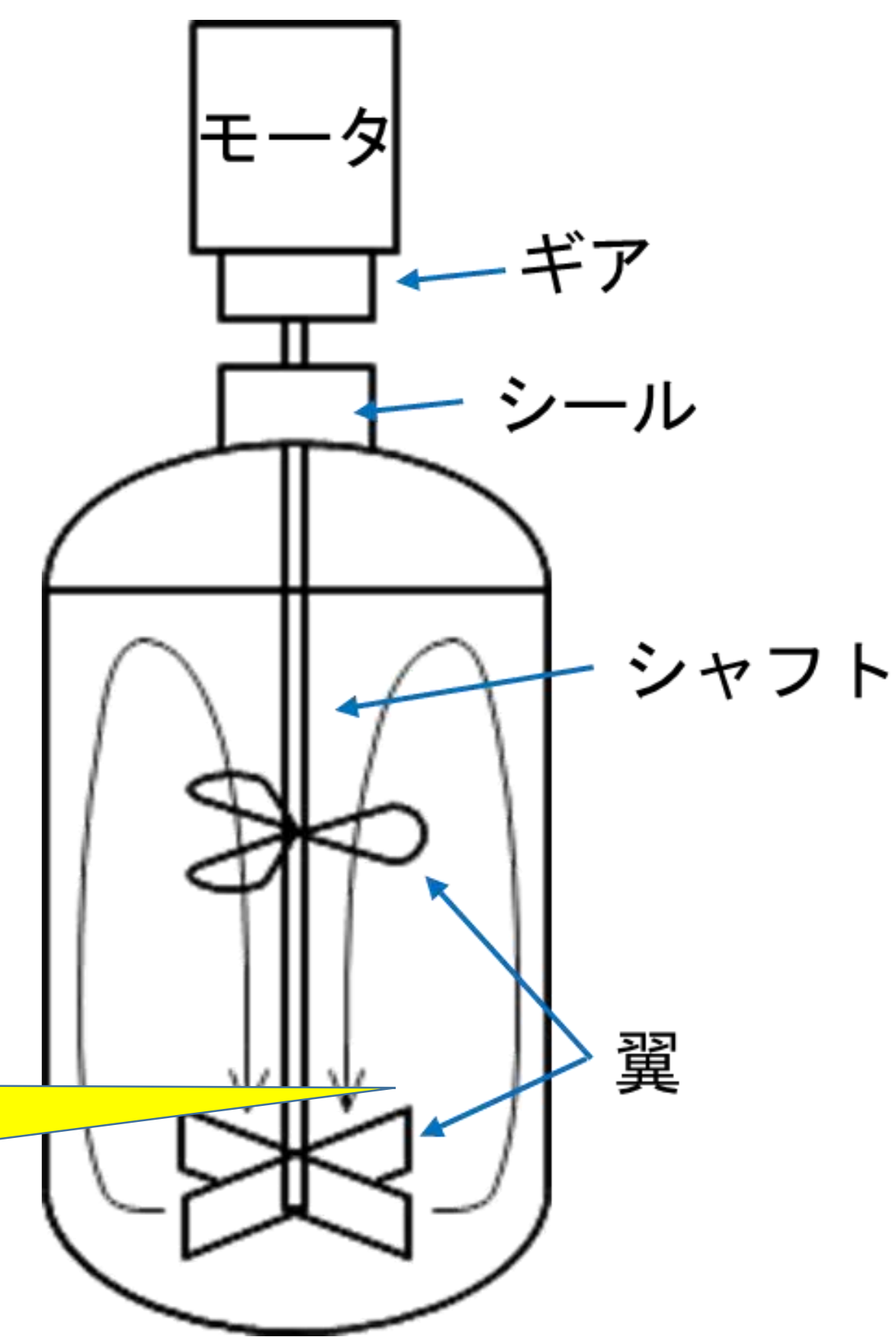
仁志和彦・緒方隆志・瀧野日出雄

研究の目的

回転式の攪拌装置は、エネルギー、石油化学、材料製造等の工業プラントにおいて液体や粉粒体の攪拌混合を目的として汎用される装置である。同装置においては攪拌混合対象の流体の流動状態の変動に伴いシャフトやシールに大きな負荷がかかる場合がある。近年の混合促進の目的で提案されている非対称攪拌や非定常攪拌は、さらに大きな負荷の発生が予想される。

しかし、これら攪拌操作に伴う材料力学的な負荷に関する定量的検討は極めて少ない。

強度設計、疲労寿命を見誤った設計は
爆発事故等の重大事故にもつながる。
(攪拌翼がタンクを突き破る、可燃有毒ガスの漏洩)



今年度の本研究では、

- ・ 各種攪拌翼の回転開始時の過大トルク発生メカニズムの解明
- ・ 安全設計のための過大トルクの定量的取得、推算手法の確立

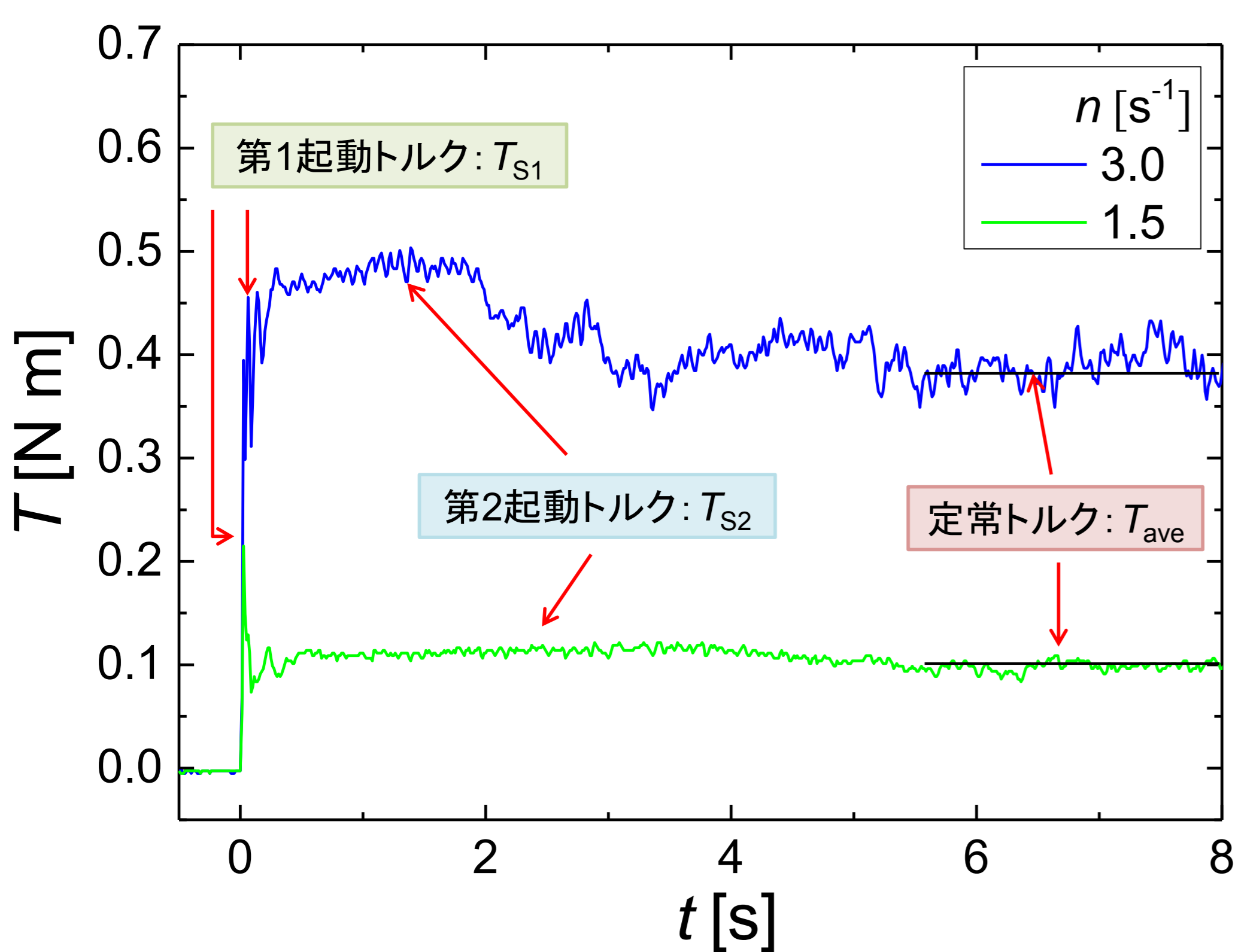


図 過大トルク派生の状況

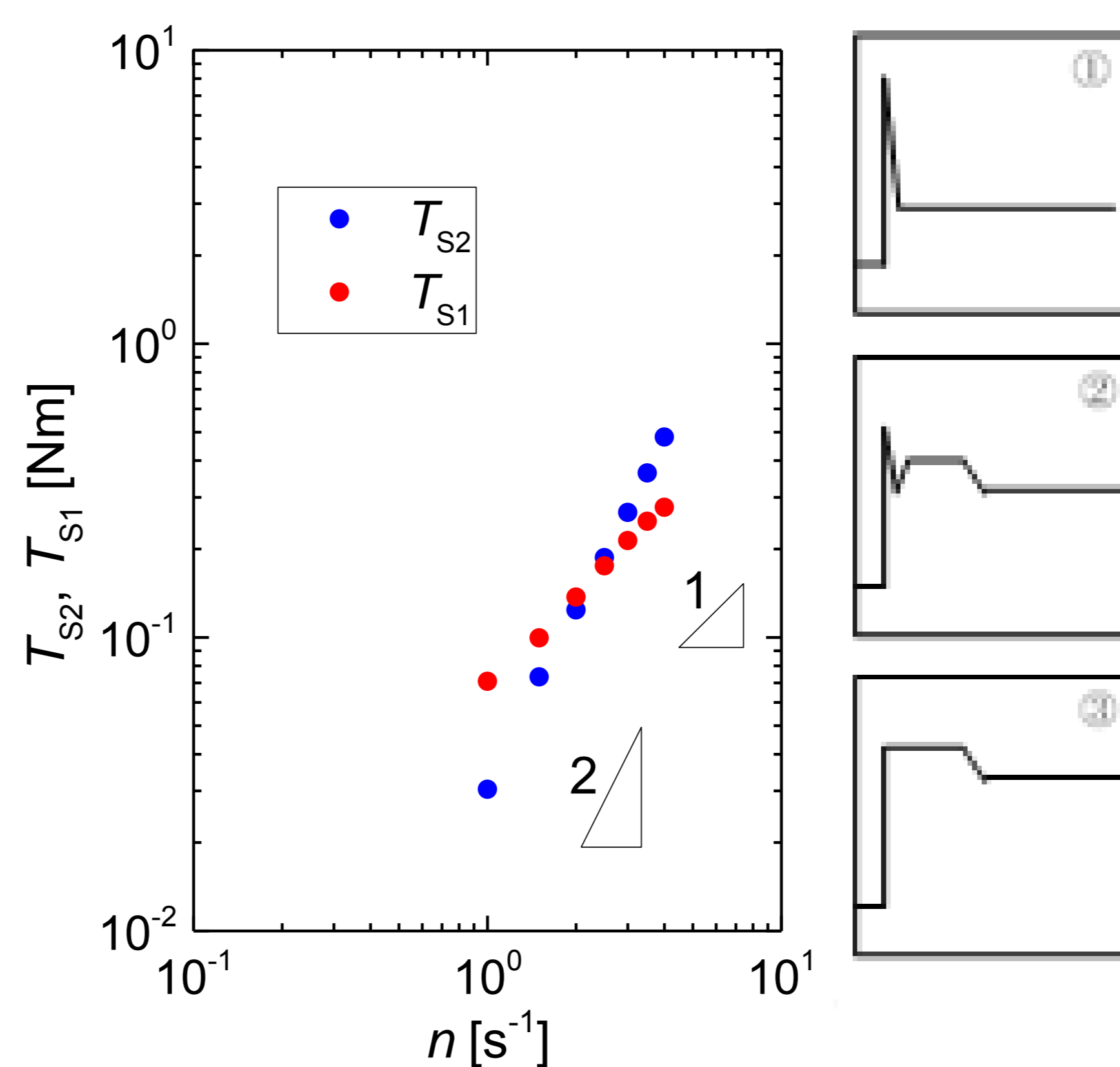


図 過大トルクの定量的整理

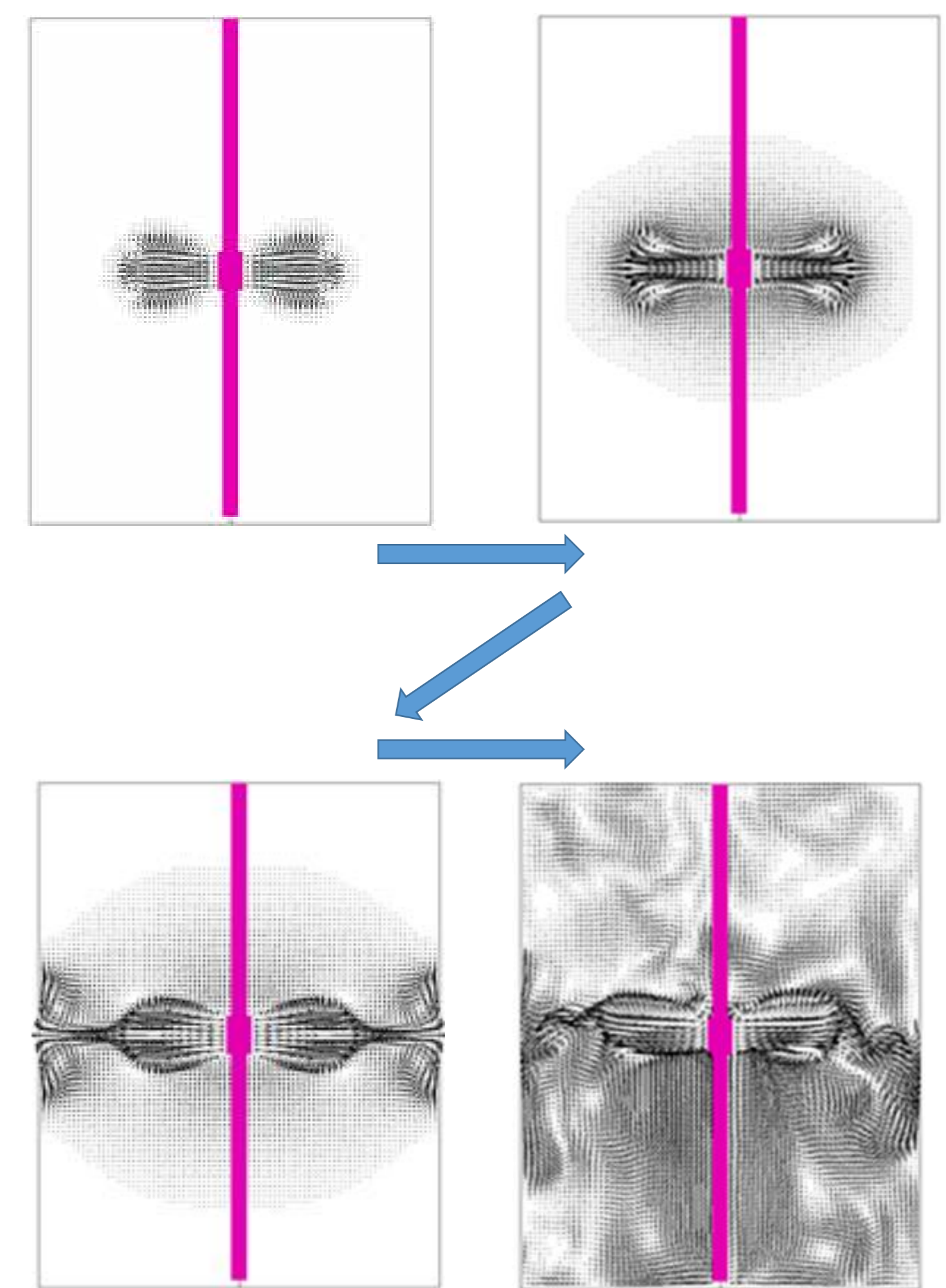


図 過大トルク発生メカニズム (トルクと流動状態)

過大トルクの推算式

$$\text{第1過大トルク } T_{s1} = 0.98 \times 10^{-6} \rho \alpha$$

$$\text{第2過大トルク } T_{s2} = 0.82 b n_p n$$

これからの課題

- ・ 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
- ・ 切り返し操作を想定した疲労寿命評価

「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2「高分子基複合材料のマルチスケール損傷 評価手法の 開発とその構造ヘルスマモニタリングへの応用」

未接着部を有するCFRP積層はりの インパルスハンマ加振実験モーダル解析による振動特性評価

金子 洋介(千葉工大), 鈴木 浩治, 秋田 剛, 長瀬 亮

研究背景

本研究の背景 — 損傷検出・非破壊検査

- 炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastic; CFRP)
- CFRP積層構造の優れた機械的特性
 - 高比強度・高比剛性・高いエネルギー吸収能・耐疲労特性
- さらなる用途拡大(車両・機体の大幅な軽量化)
 - 大衆自動車・航空機機体・スポーツレジャー...
- 積層構造特有の損傷様式
 - 層内樹脂割れ(Transverse Matrix Crack)
 - 層間はく離(Interlaminar Delamination)
 - 繊維破断(Fiber Breakage)
- CFRP積層材の損傷検出・非破壊検査
 - 超音波探傷・軟X線透過観察・AE/ラム波...
 - 目視・コインタッピング(メカカル・インピーダンス法)
 - 高精度・高コスト手法と低精度・低コスト手法の間を埋める新手法
 - マクロな動特性変化の検出+デジタル化詳細モデル解析(ハイブリッド法)



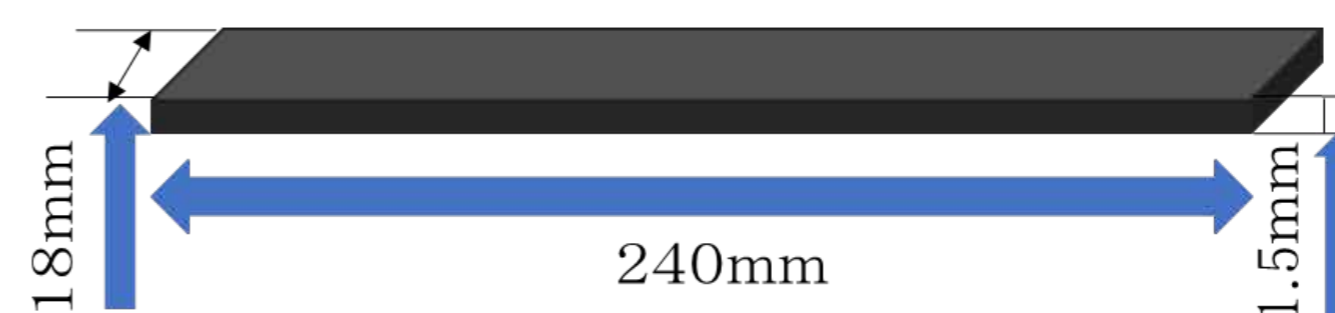
出展: 日経ものづくり2014年10月号

目的

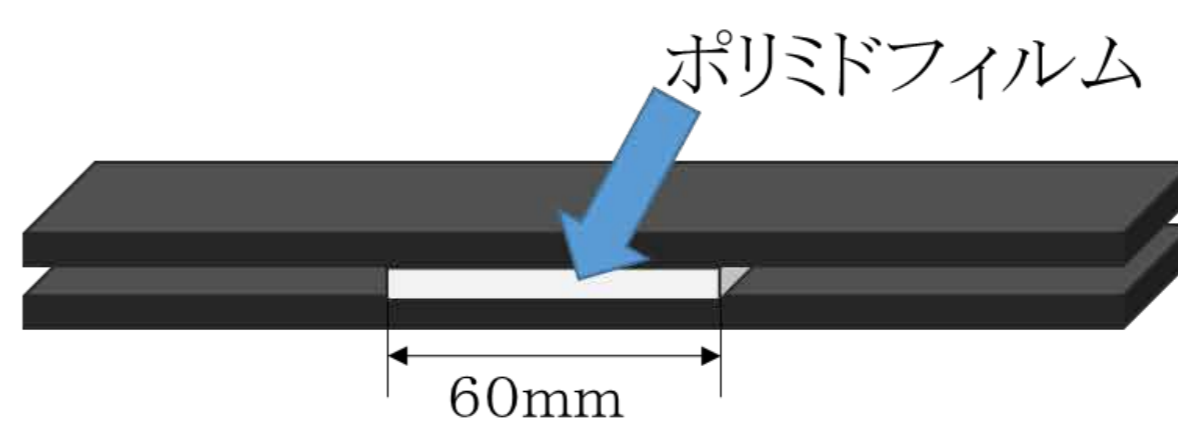
本研究では, CFRP積層はりに, 未接着部を導入し, インパルスハンマ加振実験モーダル解析によりその固有振動数および損失係数がどのように変化するかを調べる. 将来的には何ならかの逆解析手法を考案して, 未接着部の位置や程度を同定することを目指す.

供試体

試験片



材料:三菱レイヨンパイロフィル
TR350C150S
積層構成:0° 12ply
成形条件:80°C20分0.6Mpa
130°C150分0.6Mpa

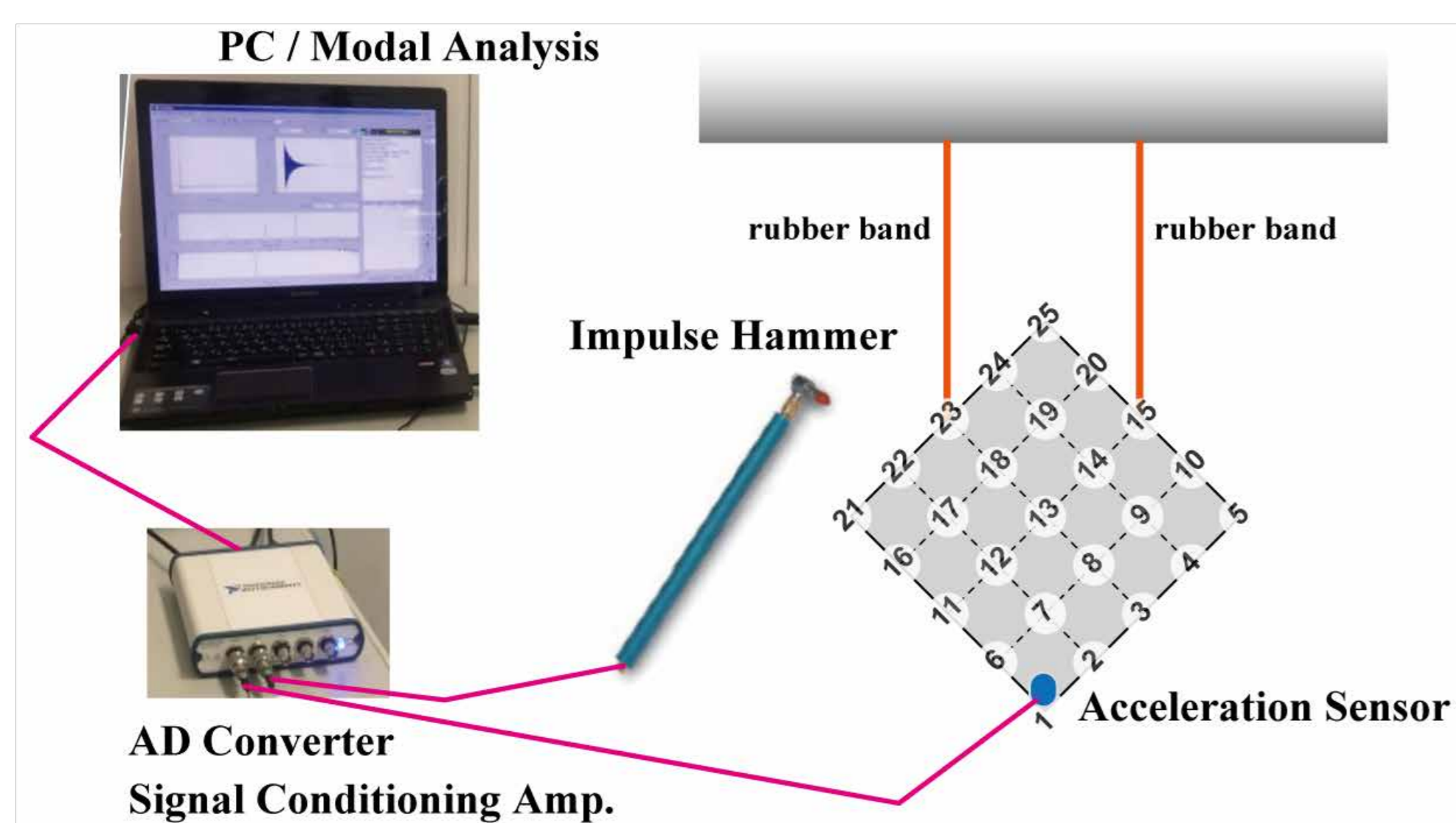


ポリミドフィルムの幅が120mm, 180mmの試験片を製作し加振試験を実施

- 接着剤
アラハダイト2000
- ポリミドフィルム
提供:チャレンジ
東レ・デュポン
株式会社
品名:カプトン

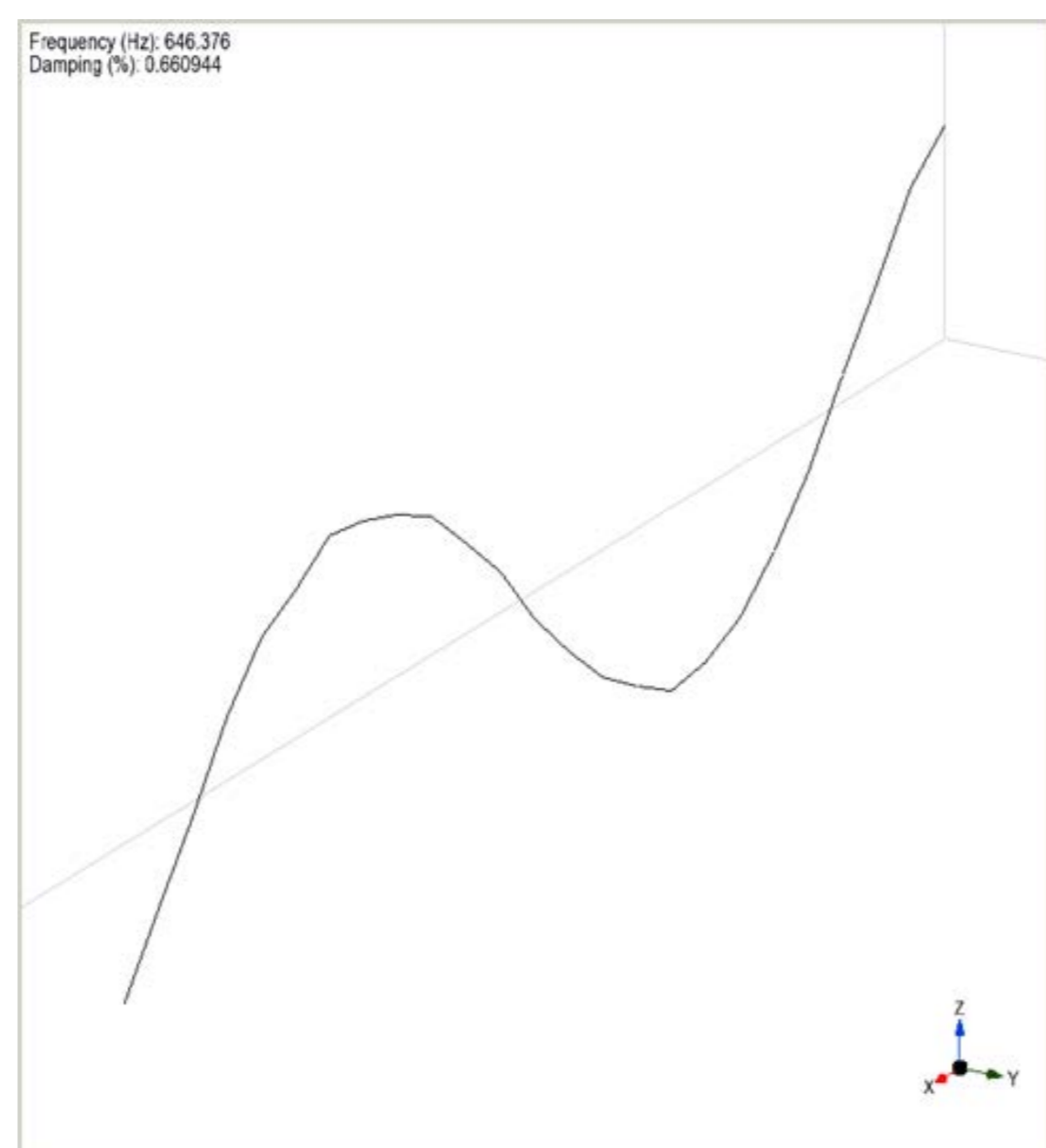
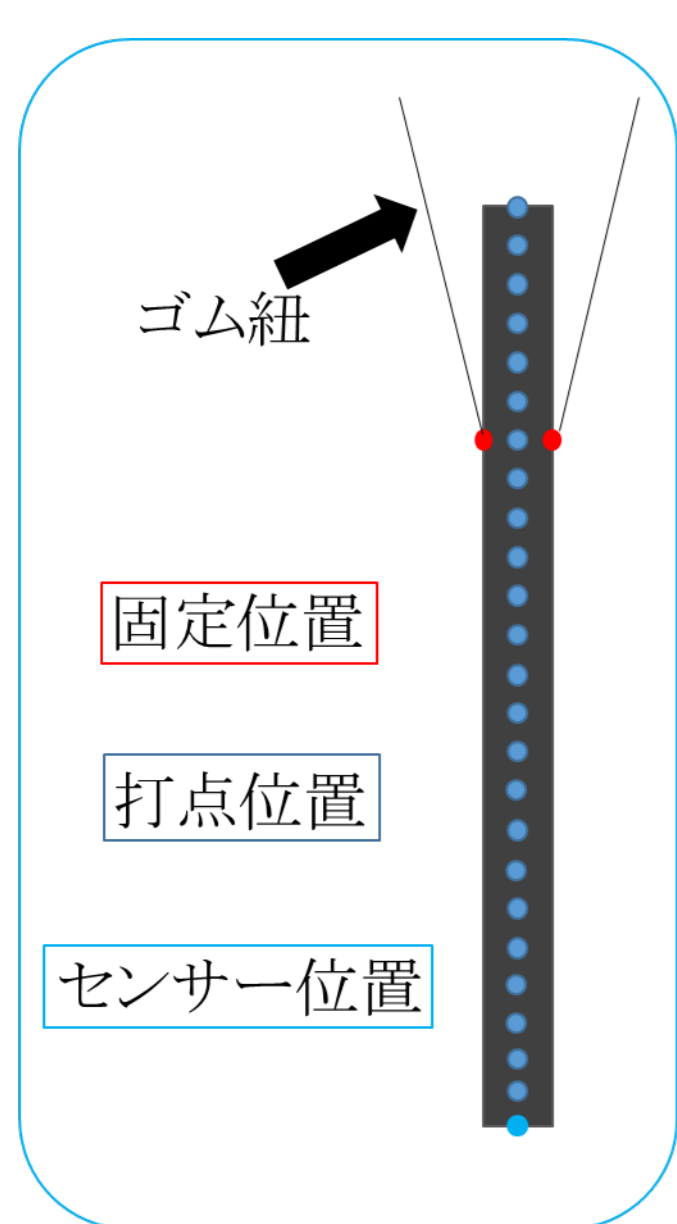
測定方法

インパルスハンマ加振 実験モーダル解析



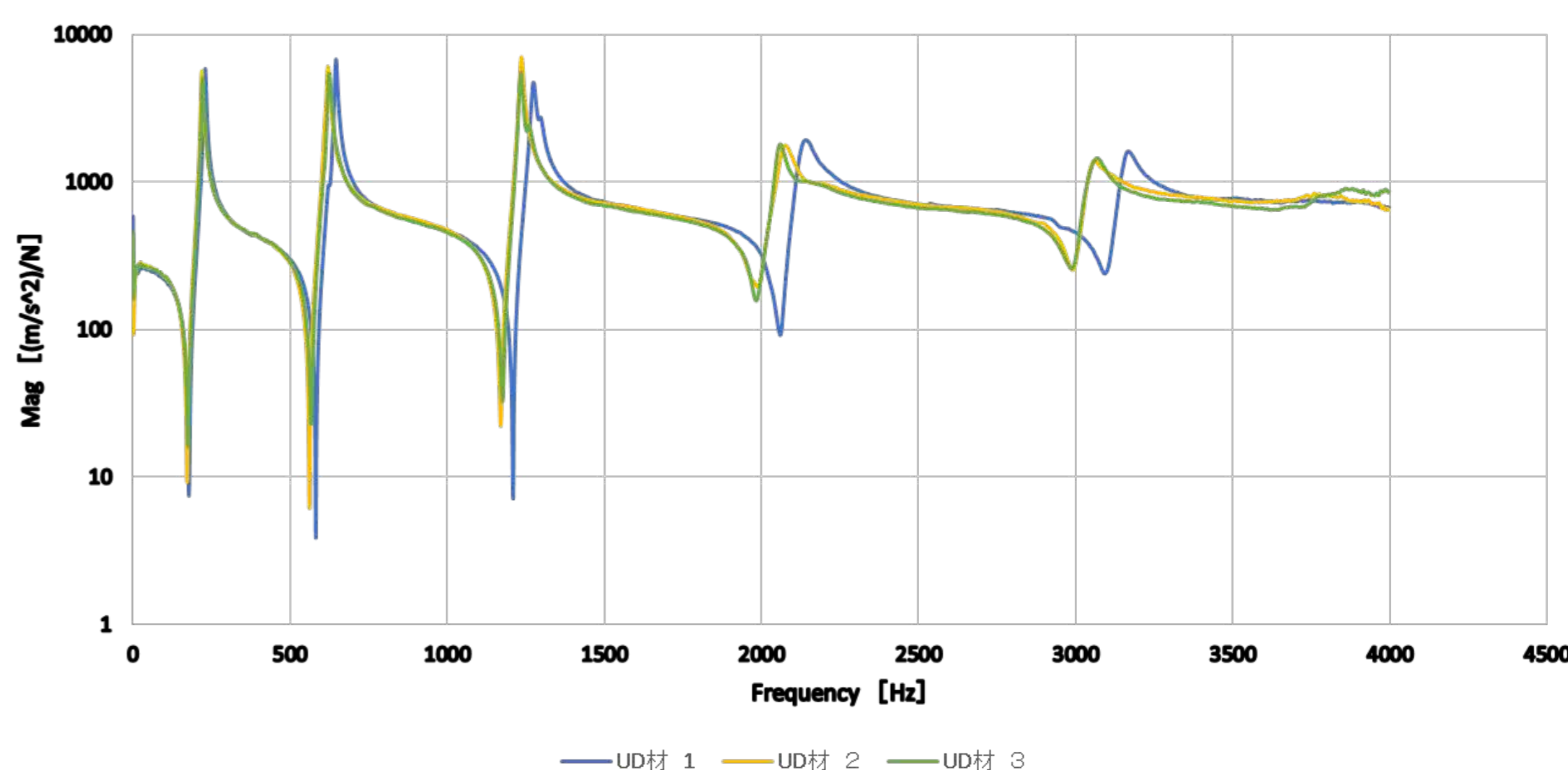
Frequency Response Function

$$\begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_{25} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \cdots & H_{1,25} \\ H_{21} & H_{22} & \cdots & H_{2,25} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{25,1} & H_{25,2} & \cdots & H_{25,25} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_{25} \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{cases} \text{Natural Frequencies} \\ \text{Damping Ratios} \\ \text{Modal Shapes} \end{cases}$$

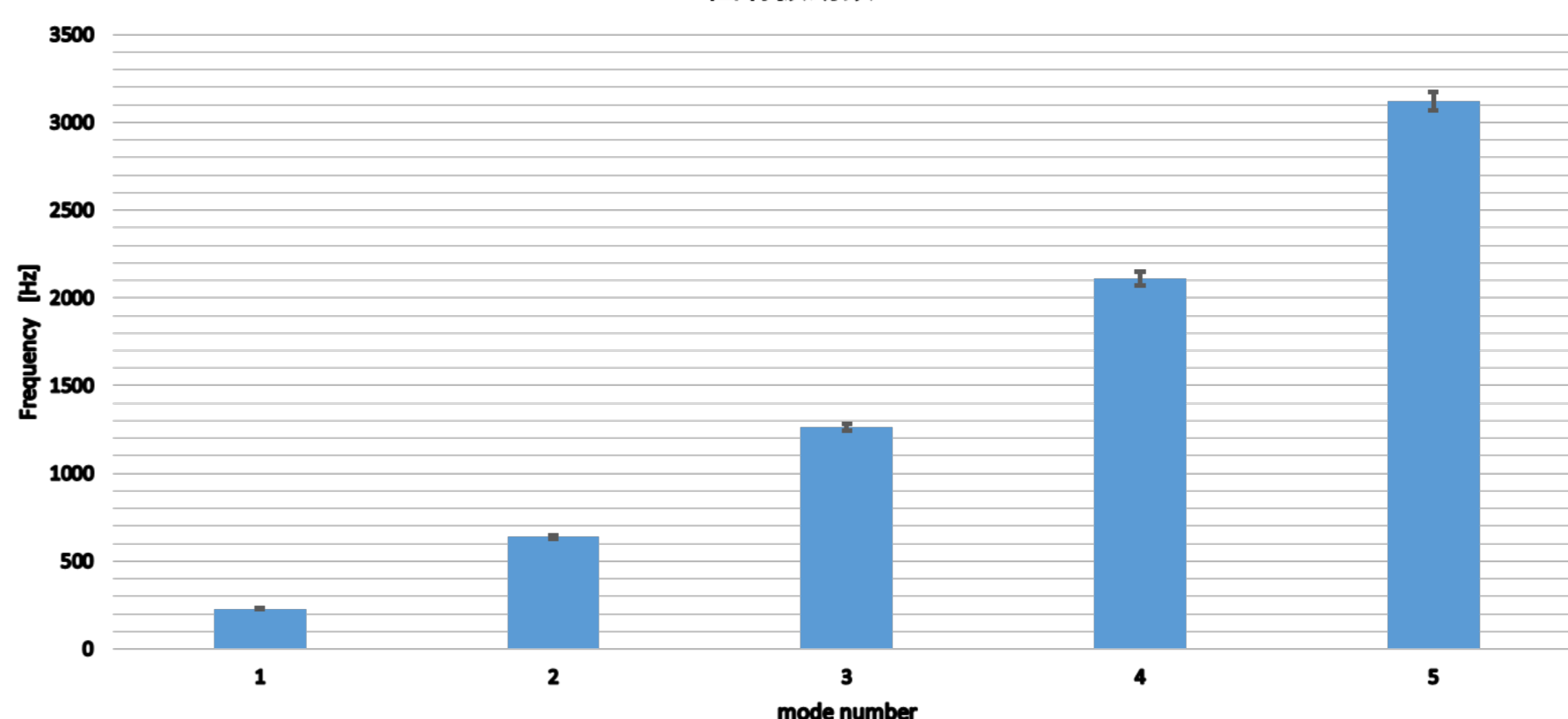


結果及び考察

周波数応答関数



固有振動数



「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2「高分子基複合材料のマルチスケール損傷 評価手法の 開発とその構造ヘルスマモニタリングへの応用」

トランスヴァースクラックを有するCFRP直交対称積層材の 中央加振法による機械インピーダンス測定

高石 竜矢(千葉工大), 松田 卓也, 鈴木 浩治, 塚田護公, 金原 勲(金沢工大), 齊藤 博嗣

研究背景

CFRP(炭素繊維強化プラスチック)

・プラスチックを母材, 炭素繊維を強化材として機械特性を強化した複合積層材料

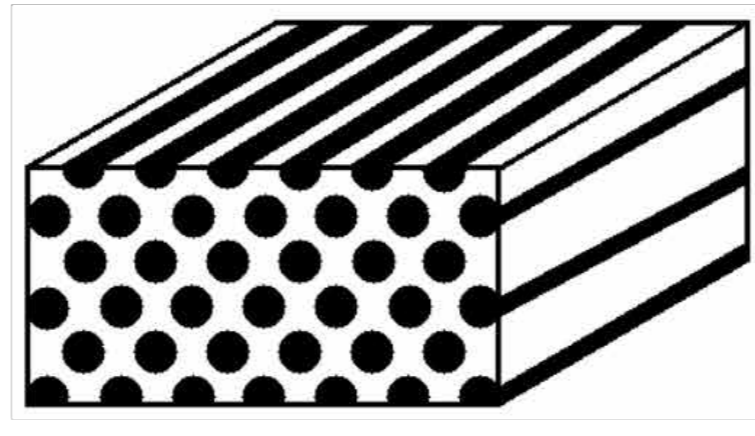
スポーツ分野(ゴルフシャフト, 釣り竿)

産業分野(航空機, 自動車)
建設分野(耐震補強)へ

CFRPの需要が高まっている

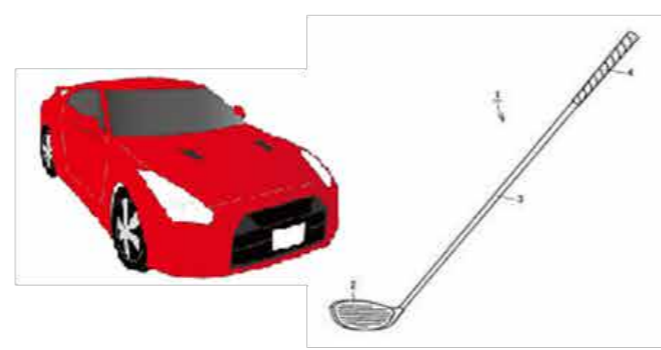
層間剥離, 層内樹脂割れによる強度の低下がなく, 安心かつ安全に製品を使用したい...

非破壊検査の重要性が高い
(例:超音波, 赤外線, 加振)



● ...炭素繊維
○ ...樹脂

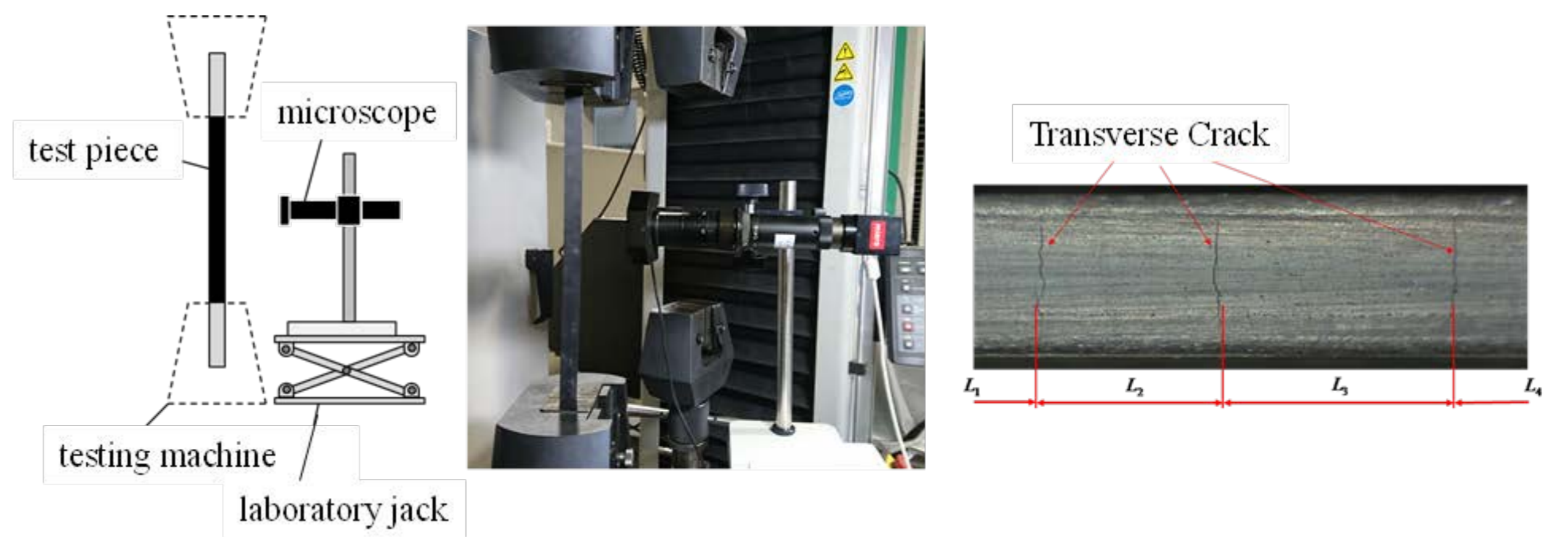
Fig.1 CFRP全体図



目的

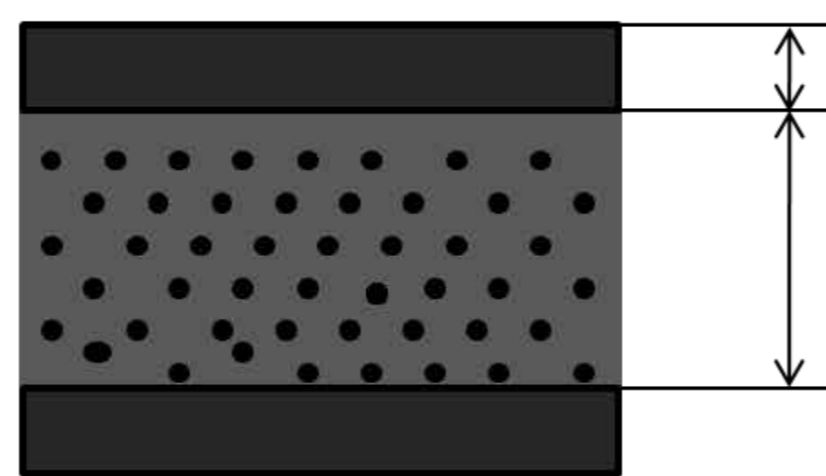
本研究では, CFRP直交対称積層材に, 損傷形態の中でも初期の損傷とされる層内樹脂割れ損傷を導入することにより, その固有振動数および損失係数がどのように変化するかを調べ, その結果からCFRP積層構造の損傷状態をある程度定量的に推定する方法の提案を最終的な目標とし, 本報では, 特に, 損傷導入前と損傷導入後の積層材に対して中央加振法による機械インピーダンス測定を行い考察する。

損傷導入方法

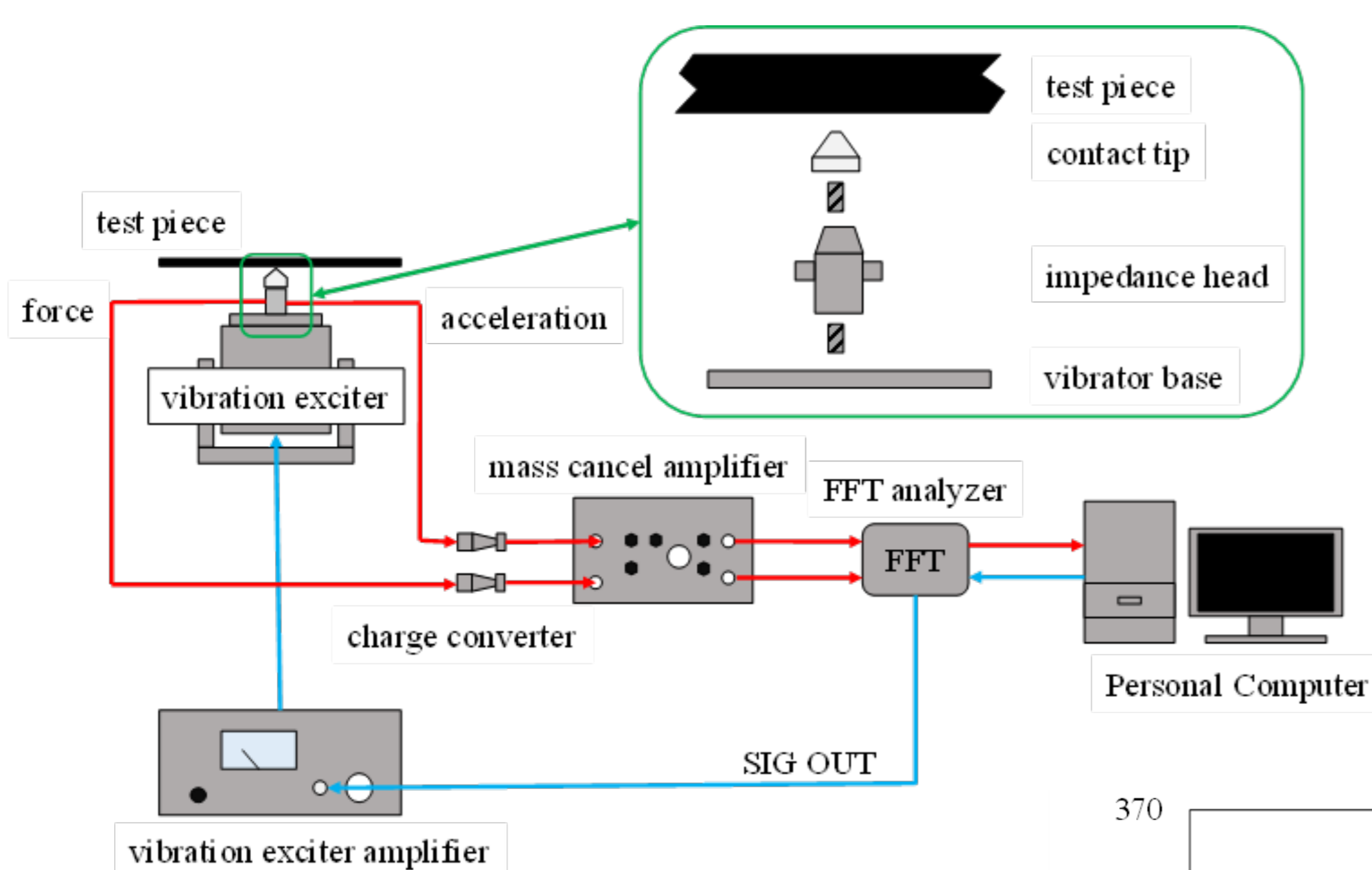


供試体

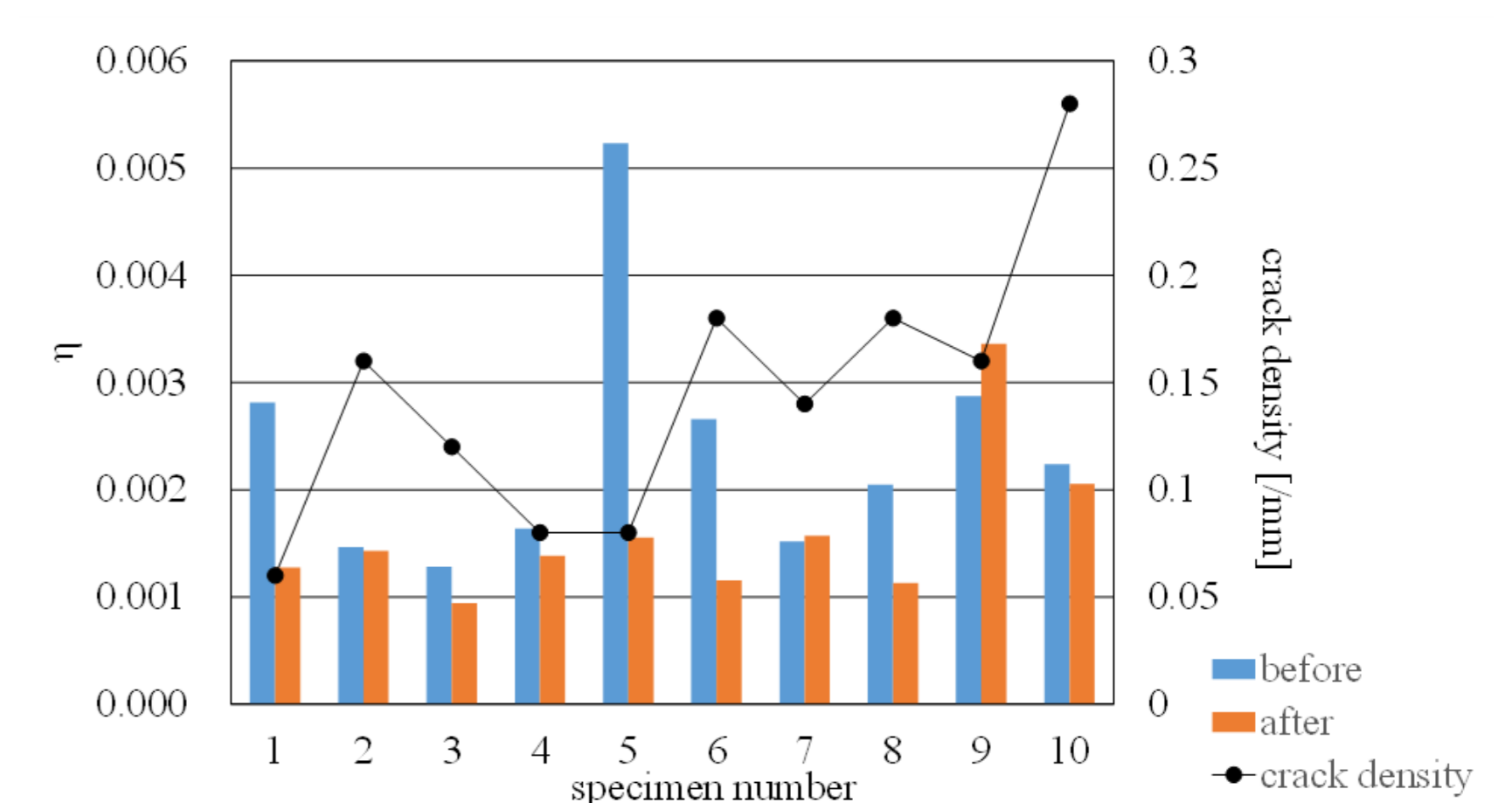
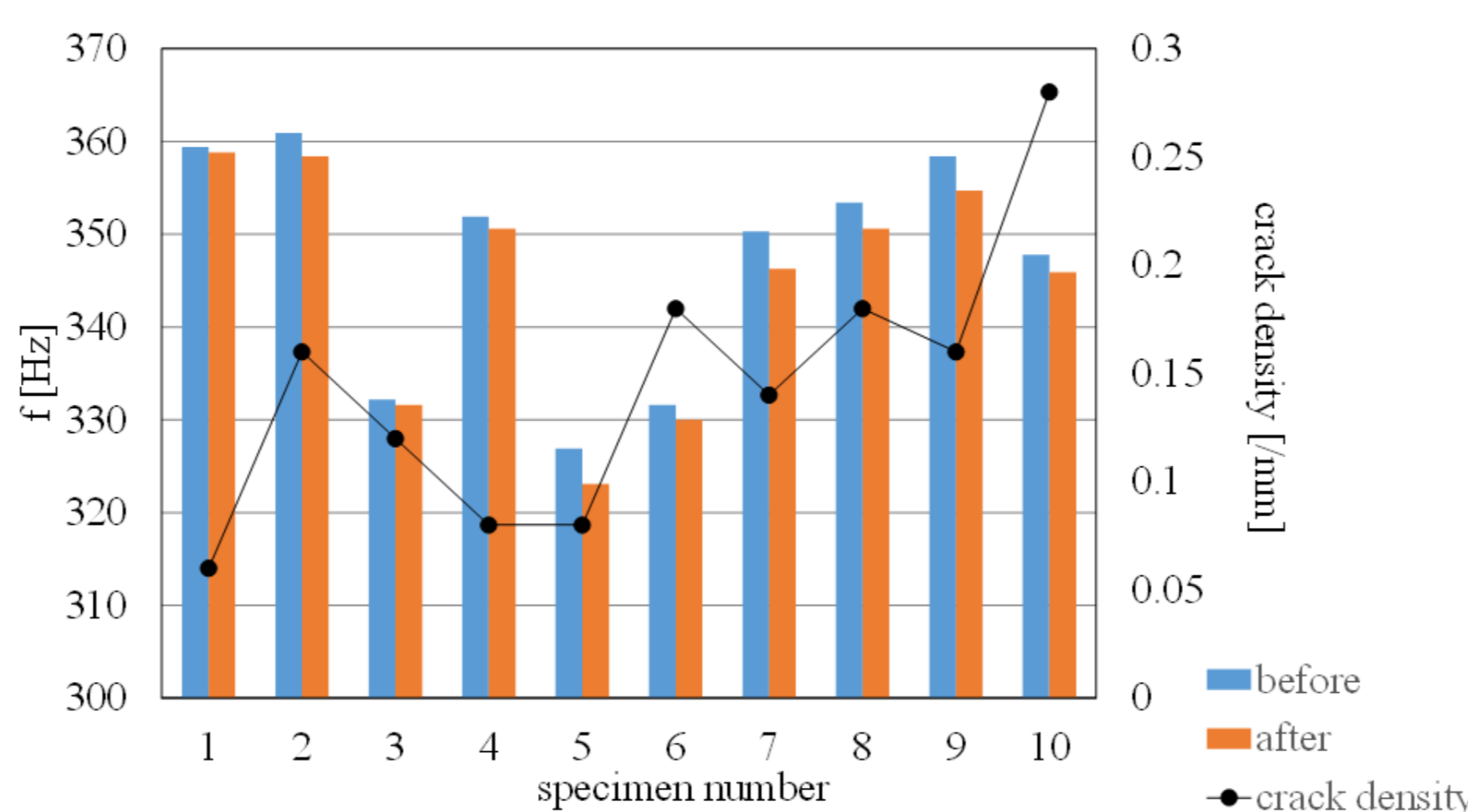
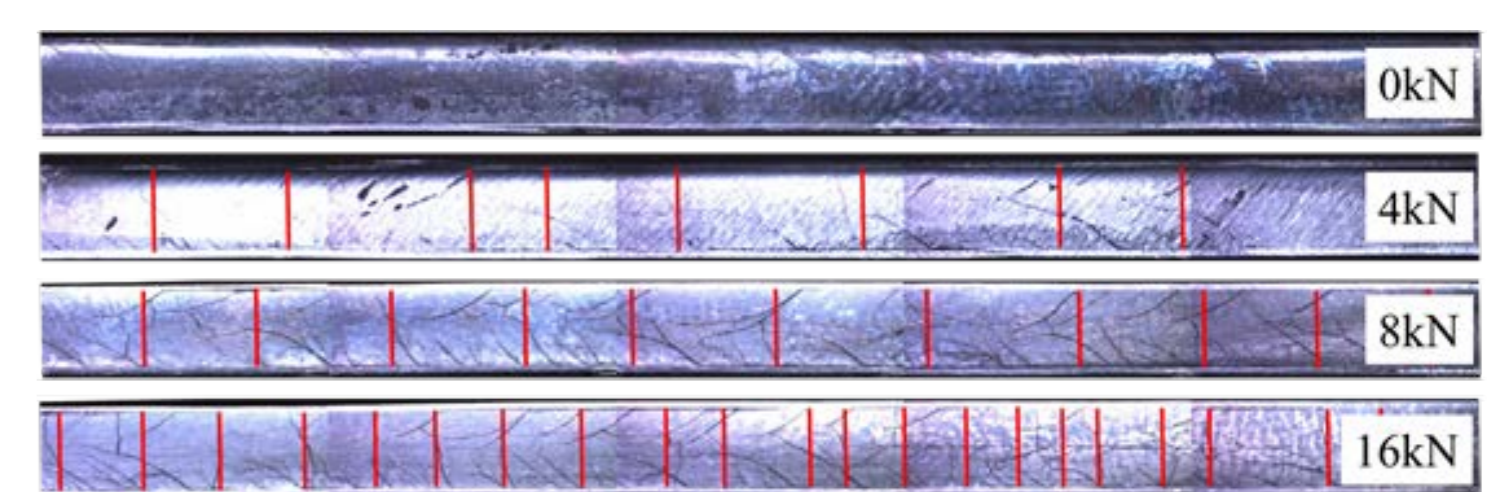
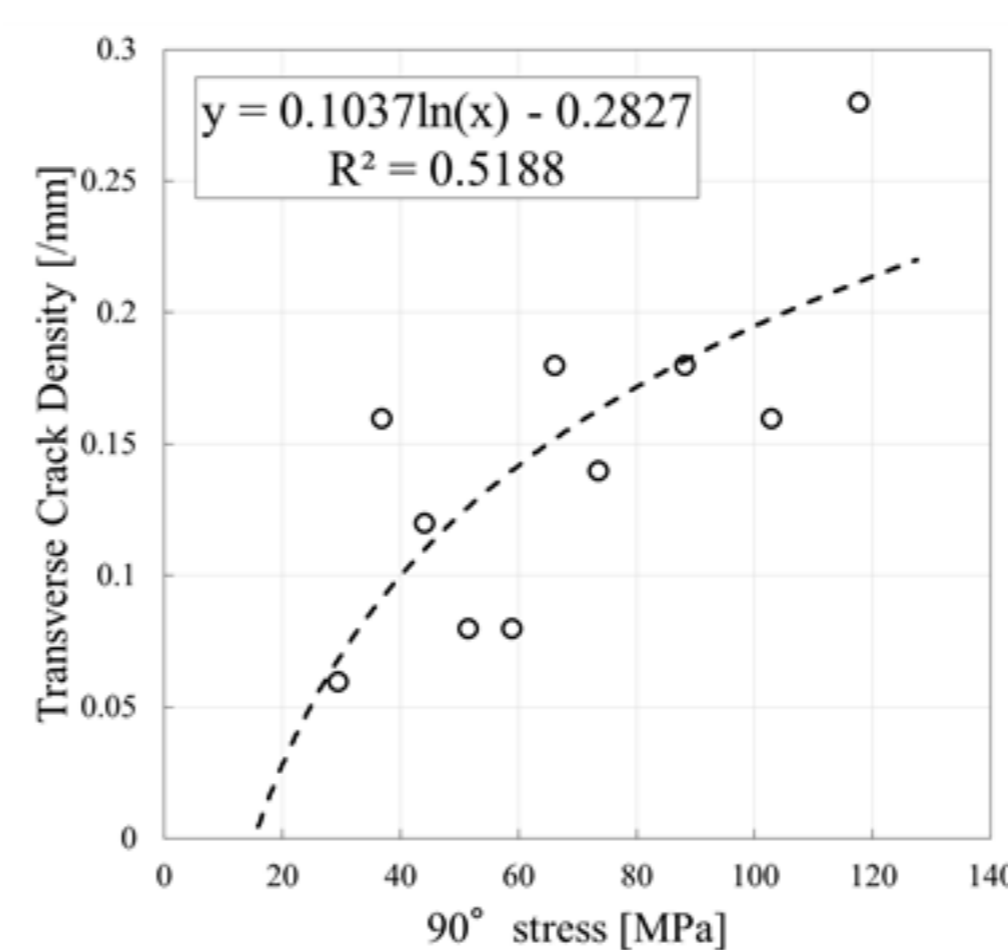
- $[0_4]$, $[90_4]$, $[0/90_2/0]$, $[0/90_4/0]$, $[0/90_6/0]$, $[0/90_8/0]$ の計7種類
- プリプレグ: PYROFIL #380 三菱レーヨン
- 一方向強化材のため, オフアックス負荷により層内樹脂割れが発生。



中央加振法による機械インピーダンス測定



結果及び考察



結論

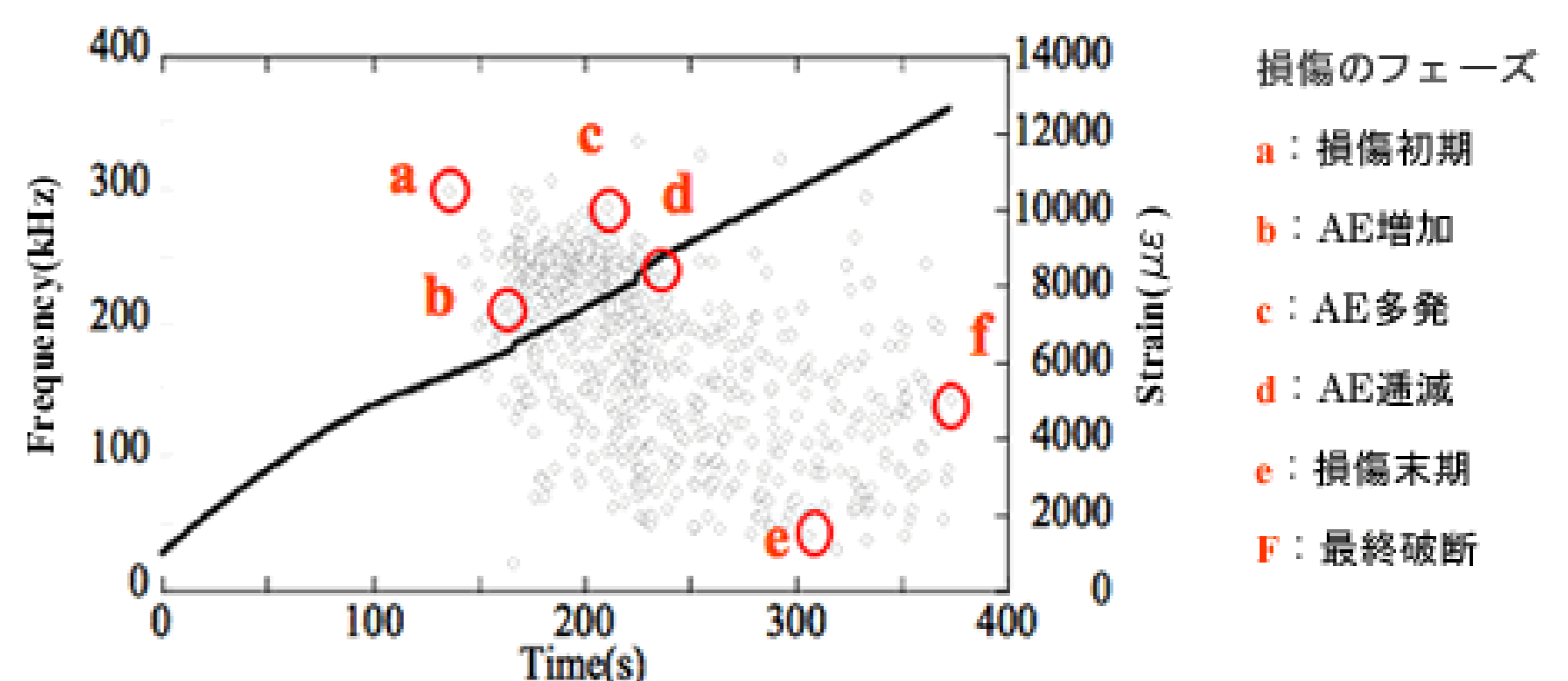
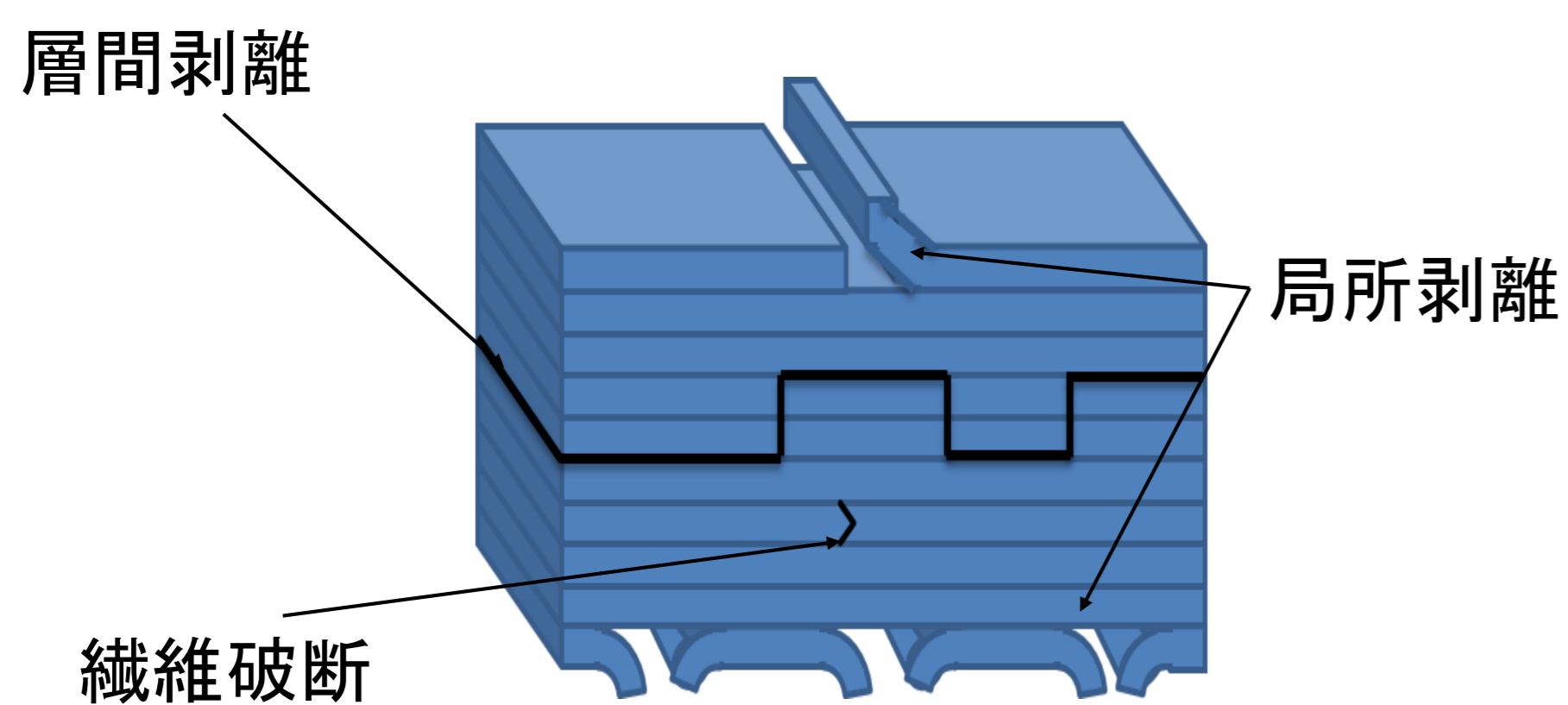
本研究では, CFRP直交対称積層材の供試体に対して, 引張負荷による層内樹脂割れ損傷の導入を行い, 損傷導入前と導入後について中央加振法を適用して機械インピーダンスを測定した. その結果, 引張負荷時の側面観察からき裂密度の変化を見出すことができた. また, 中央加振法によりCFRP積層材の固有振動数, 機械インピーダンスを測定し, 機械インピーダンス法により損失係数を算出することができた. さらに, 損傷後には損傷前よりも固有振動数が低下することも分かった. 今後, 供試体の状態や測定条件, 測定環境などのわずかなずれをなくすことで新たな規則性を見出したいと考える。



炭素繊維複合材料の 光ヘルスマonitoring方法の開発

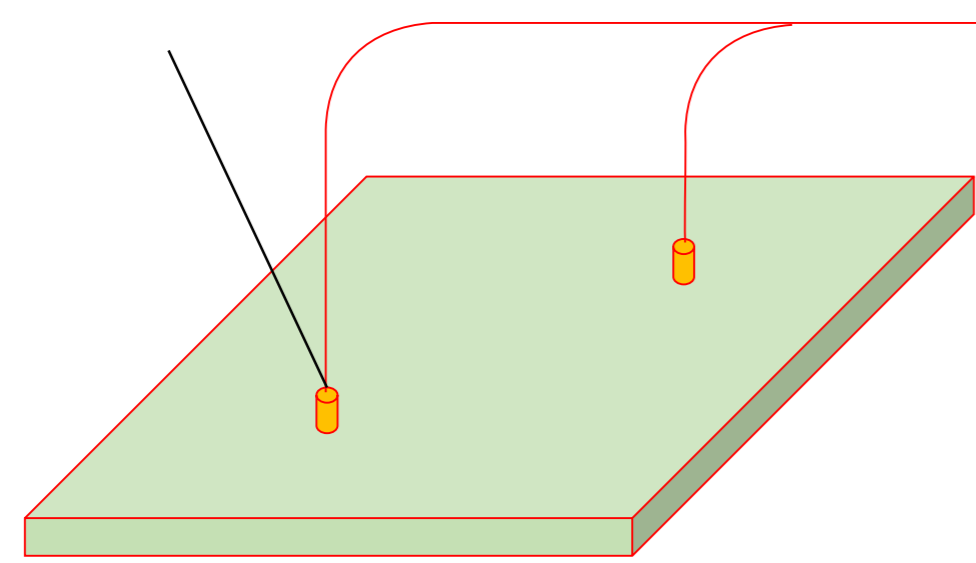
工学専攻
松田 健太郎 長瀬 亮

研究背景



影山和郎, 松尾剛, 明松圭昭, 村山英昌, 大沢勇, 金井誠, 鴨沢深. "CFRP疑似等方積層材の引張り荷重過程で放出されるAEの周波数特性" 日本複合材料学会 2005年度研究発表会要旨集, 2005, 東京, pp. 69-70

ファイバセンサ



光ファイバセンサによる
超音波信号の常時監視

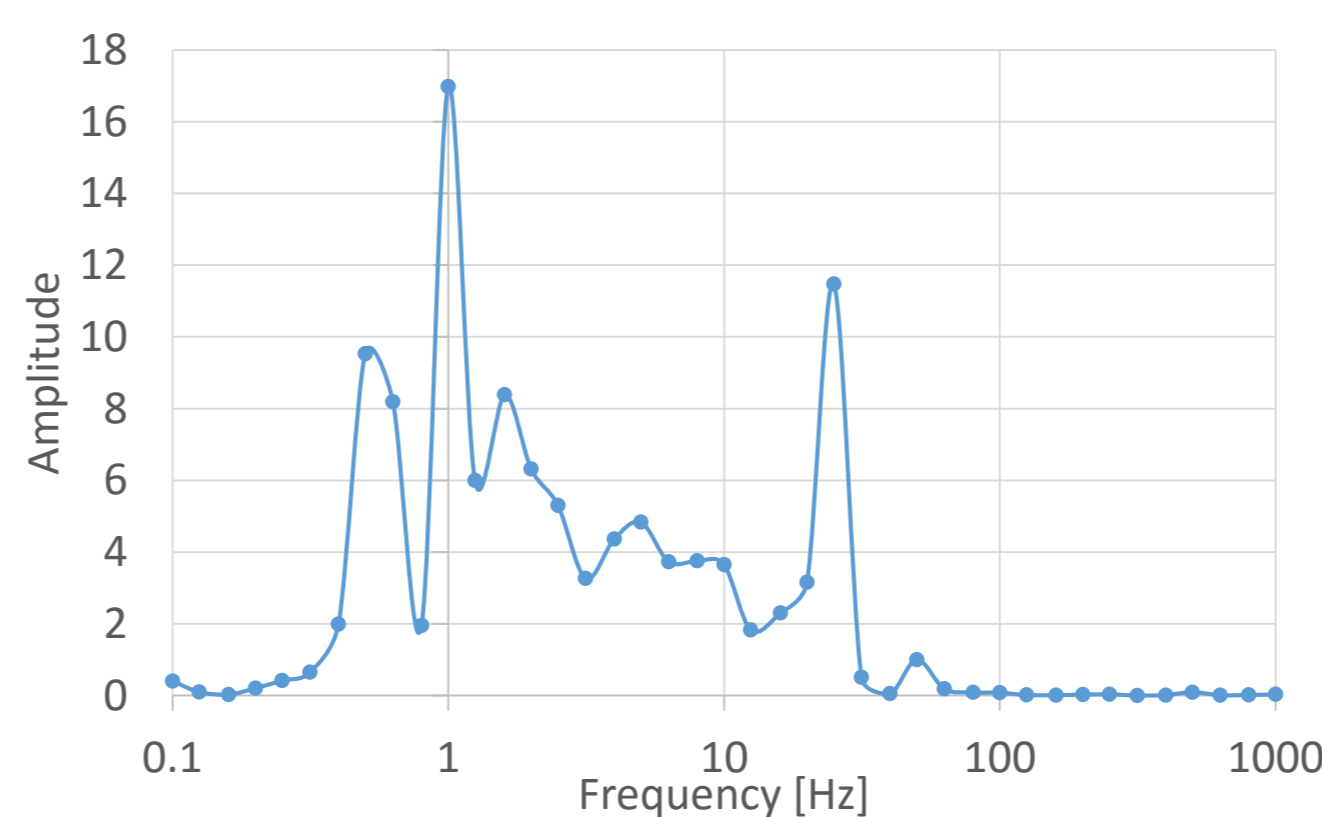
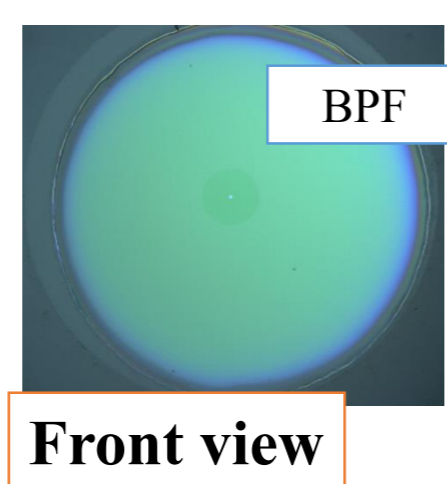
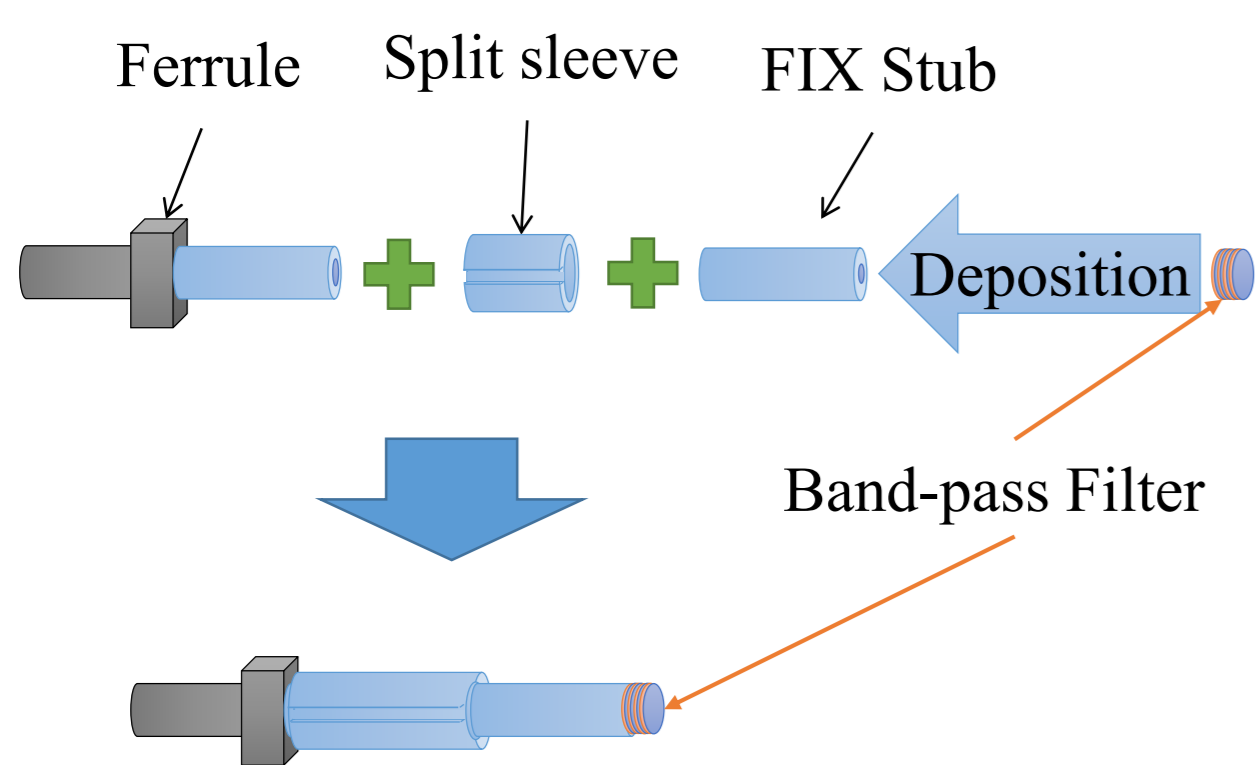
研究目的

炭素繊維複合材料の経済的な劣化診断
- 光ファイバセンサを用いて炭素繊維複合材料に損傷が発生した瞬間(損傷フェーズa)の微小な振動(AE)を検出

光ファイバセンサを用いた音響信号測定

Pigtail type BOF sensor

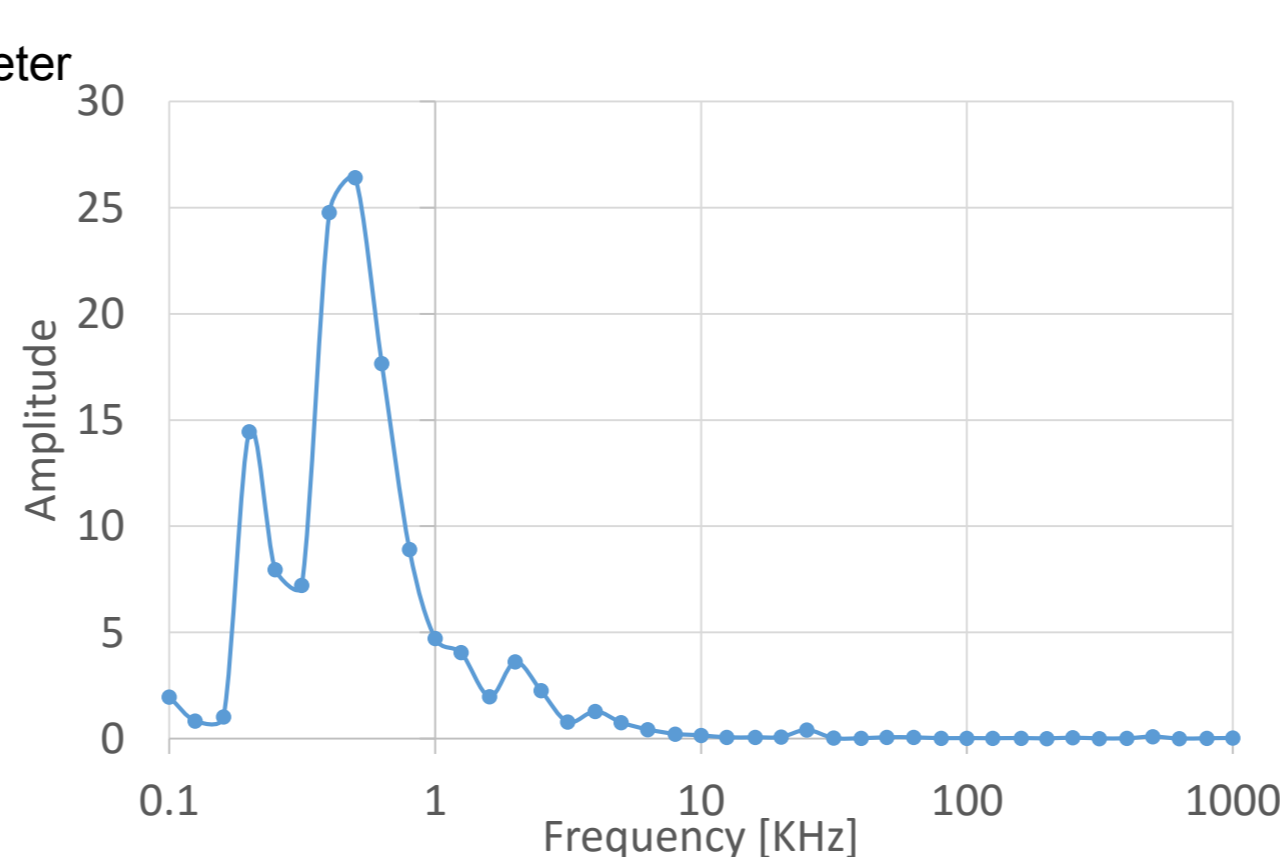
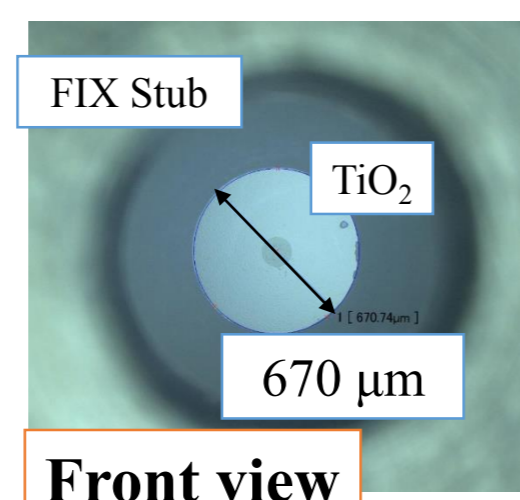
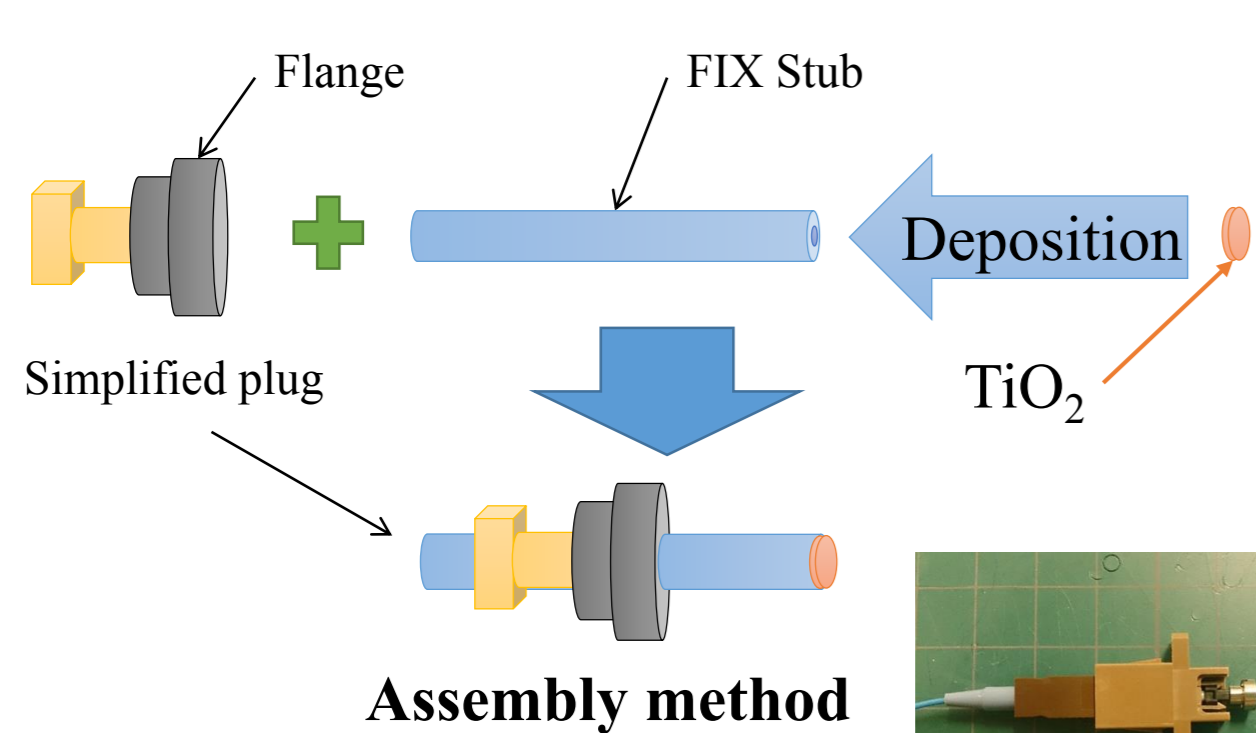
BOF: Band-pass filter on fiber end



0.1 ~ 30 KHzまで測定可能

MU-SR type FFPI sensor

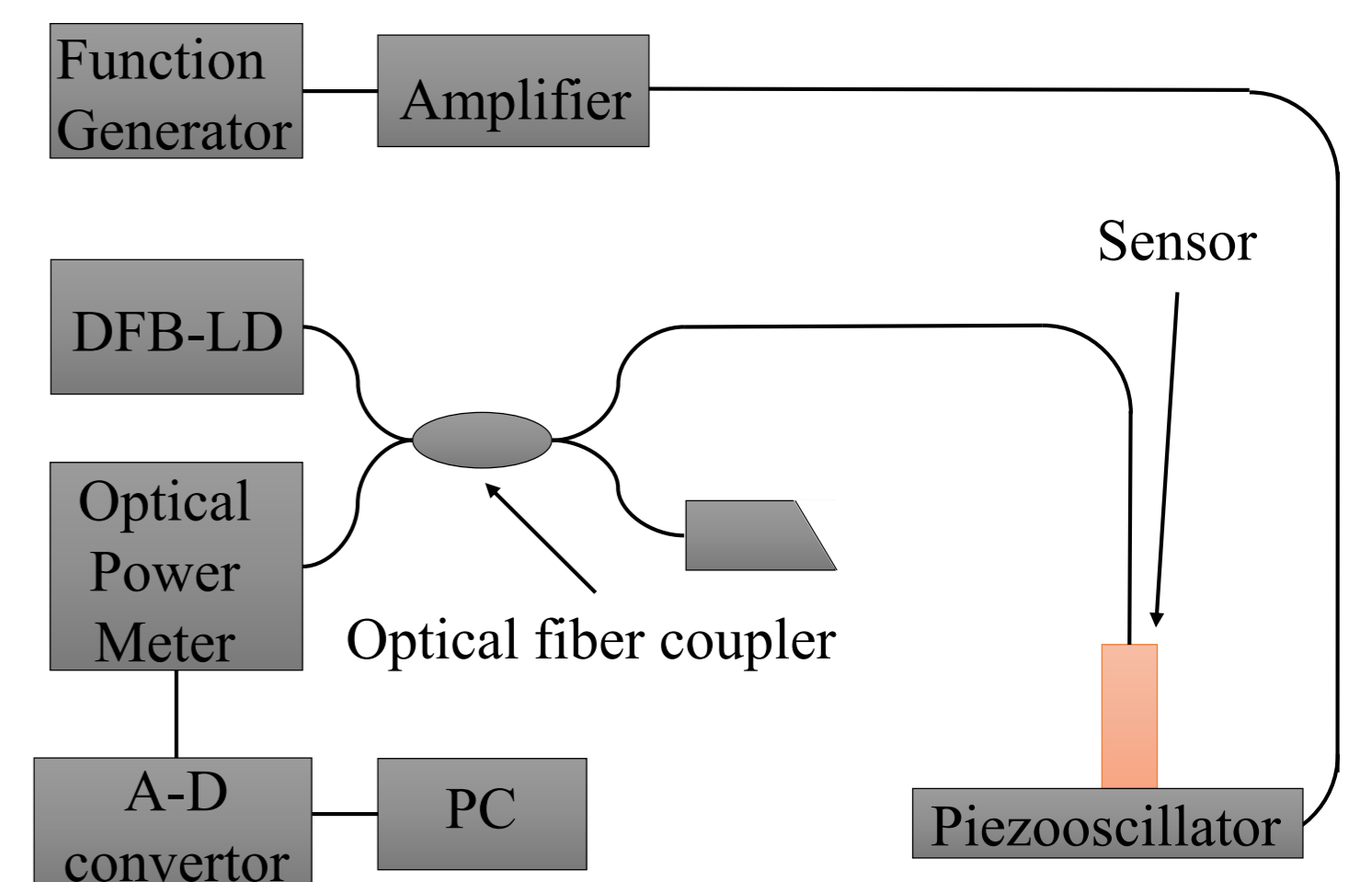
FFPI: Fiber Fabry-Perot interferometer



0.1 ~ 4 KHzまで測定可能

IEICE 機構デバイス研究会(2017年8月、弘前)発表予定

測定系



今後の予定

Pigtail type BOF sensor

- 30kHz以上の領域の感度を確認

MU-SR type FFPI sensor

- 膜厚の最適値の検証
- 薄膜の材質変更の検証



ひずみ計測による構造モデルの逐次データ同化 - 複合材料構造ヘルスマニタリングへの適用に向けて -

秋田剛, 鈴岡拓也(千葉工業大学)

1. 研究背景

1 複合材の構造ヘルスマニタリング手順

- ① 計測・検出
 - 非運用時
 - ・ 目視による検査, X線による検査, 超音波診断, etc.
 - 運用時
 - ・ 振動計測, ひずみ計測, etc.
- ② システム同定・診断
 - システム表現
 - ・ パラメトリック, ノンパラメトリック
 - ・ 時間領域, 周波数領域
 - 運用形態
 - ・ 一括処理, 逐次処理
- ③ 補修

2 本研究のターゲット

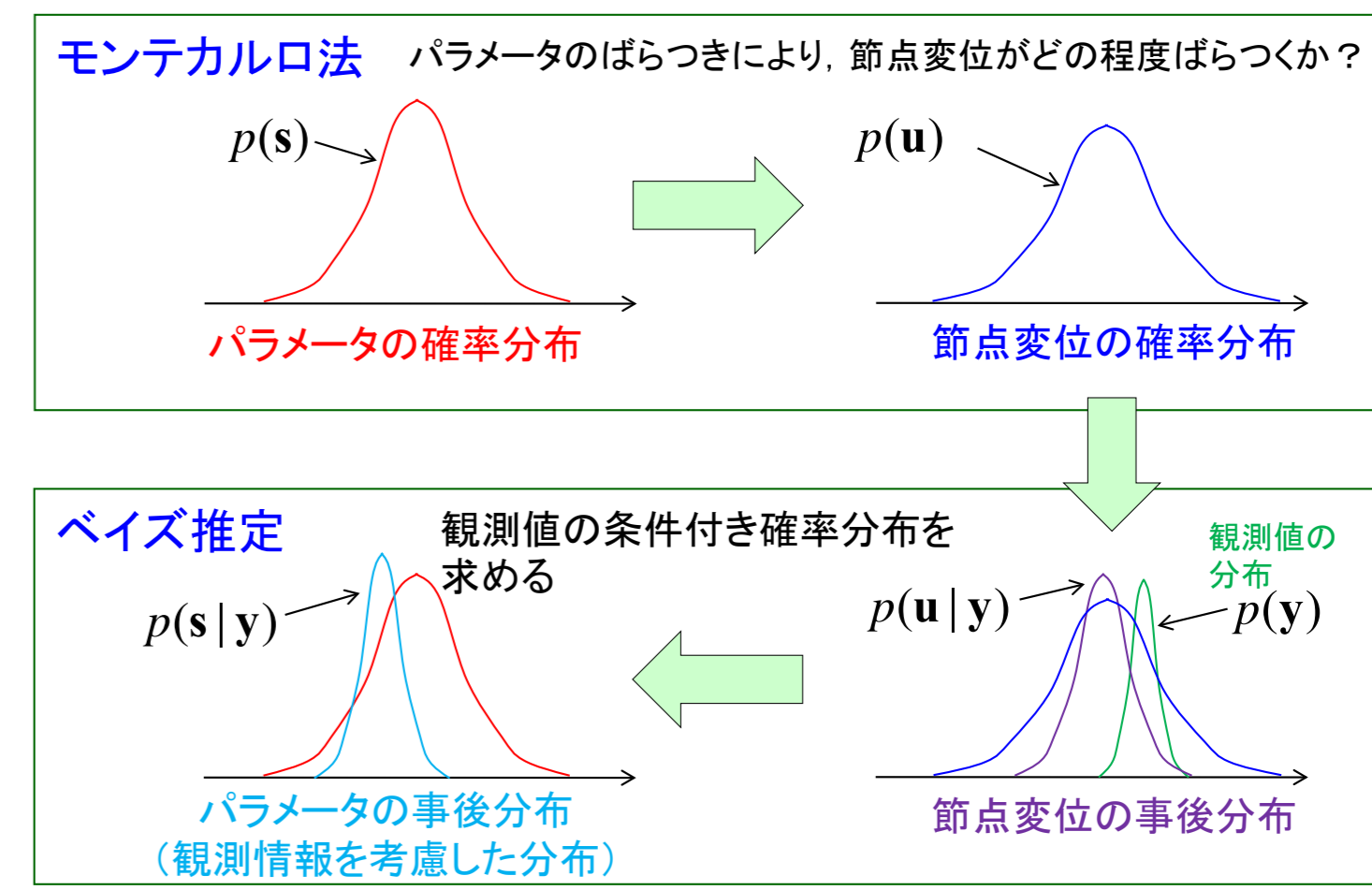
- ① 計測・検出
 - 運用時
 - ・ ひずみ計測
 - ② システム同定・診断
 - システム表現
 - ・ パラメトリック
 - 運用形態
 - ・ 逐次処理
- FBGセンサー等の多点ひずみ同時計測を使った逐次システム同定法について検討!
- 逐次データ同化の適用

2. 逐次データ同化の非線形FEMへの適用

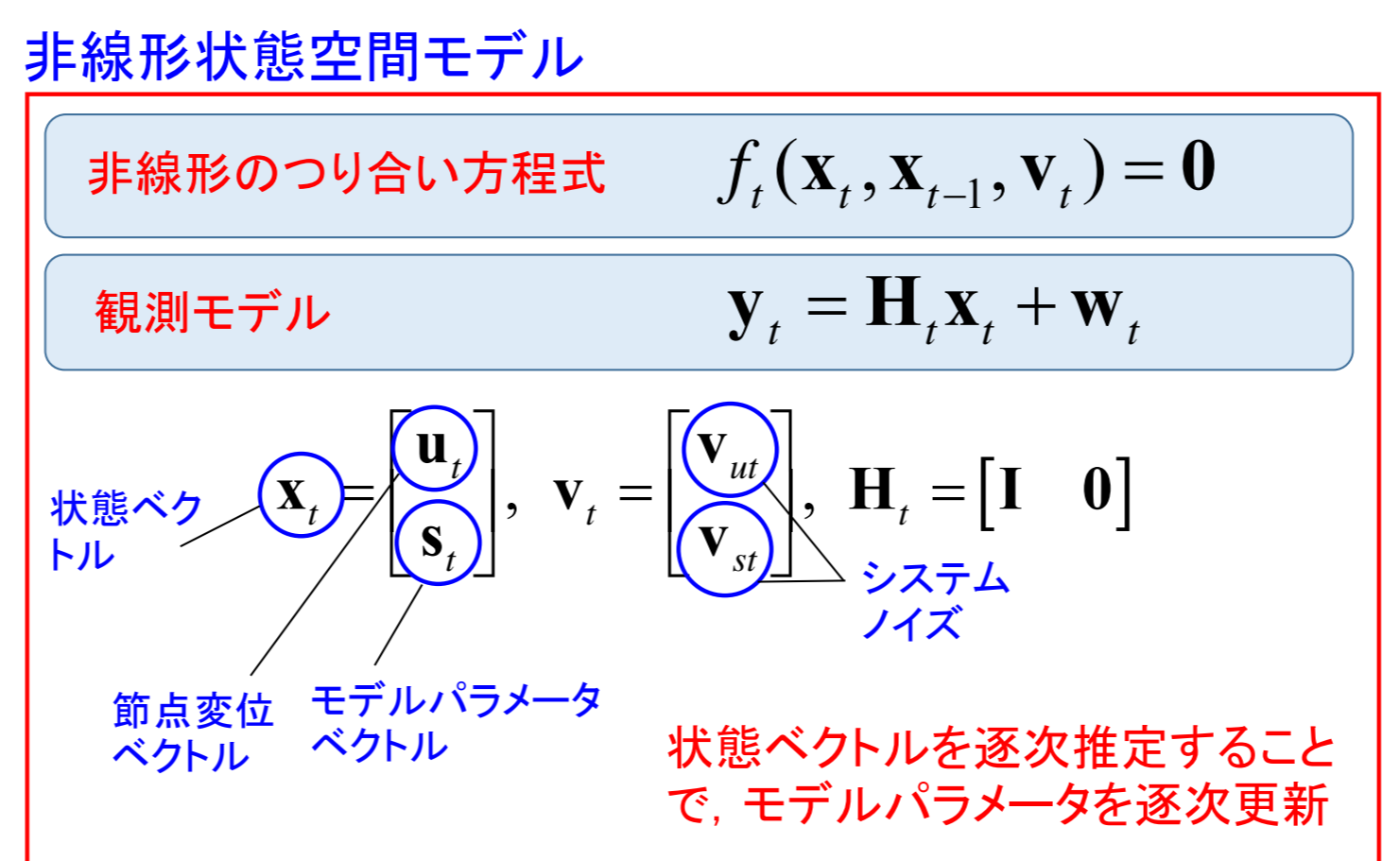
5 逐次データ同化法

- ・ 古典的方法
 - カルマンフィルタ.....線形問題, ホワイトガウシアンノイズ
 - 拡張カルマンフィルタ.....弱非線形問題
 - ・ 状態空間表示できる低次元の物理モデルが対象!
- ・ 計算統計学的方法 本研究で適用
 - アンサンブルカルマンフィルタ.....任意の非線形問題
 - 粒子フィルタ.....任意の非線形問題, 任意の確率分布
 - ・ 状態遷移を計算できれば良く, 線形化も不要
 - ・ 熱・構造・流体などの複雑で大規模な非線形数値シミュレーションモデルを物理モデルとして採用可能

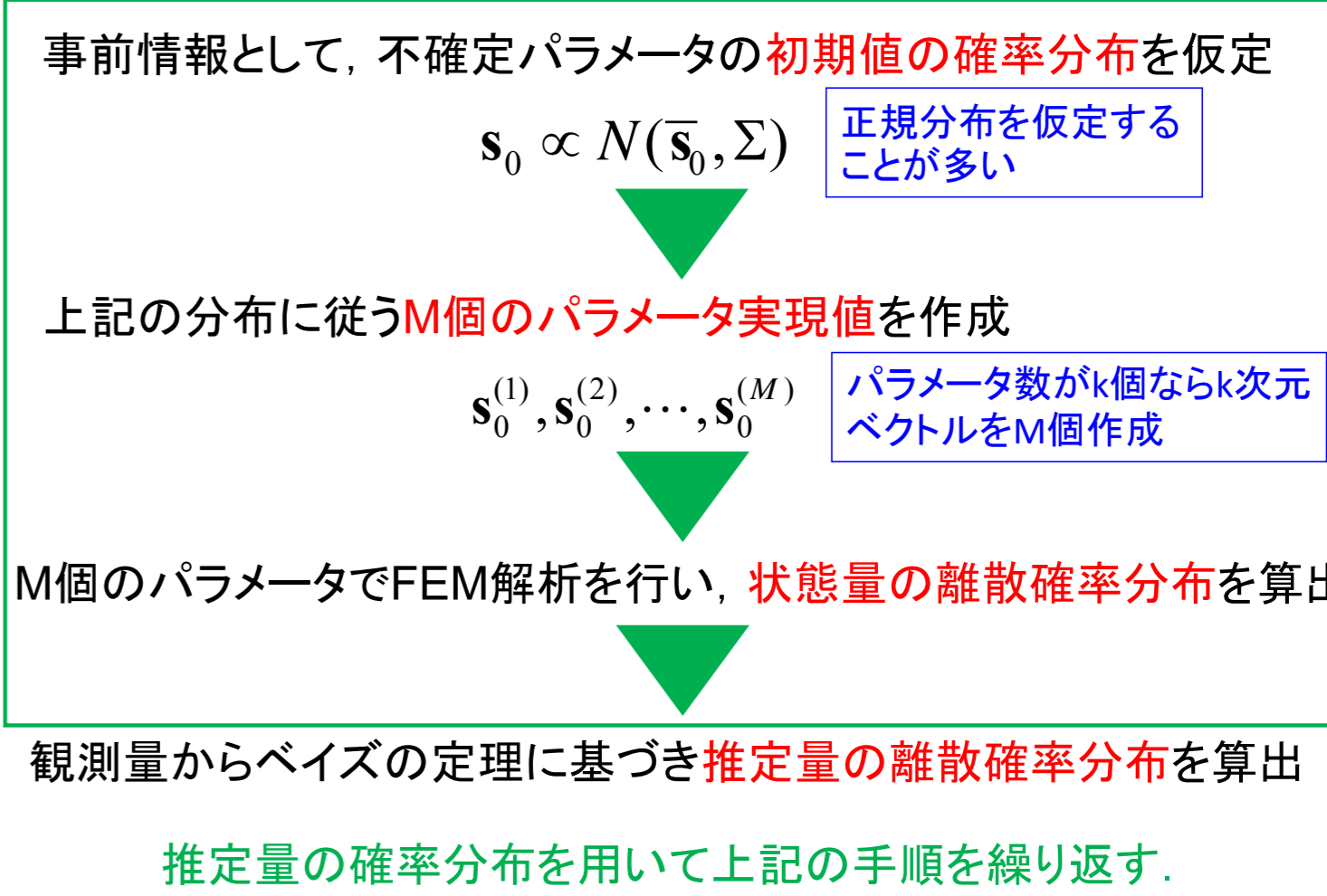
7 データ同化における確率分布の評価



6 非線形FEMにおける逐次データ同化法



8 データ同化における状態量推定

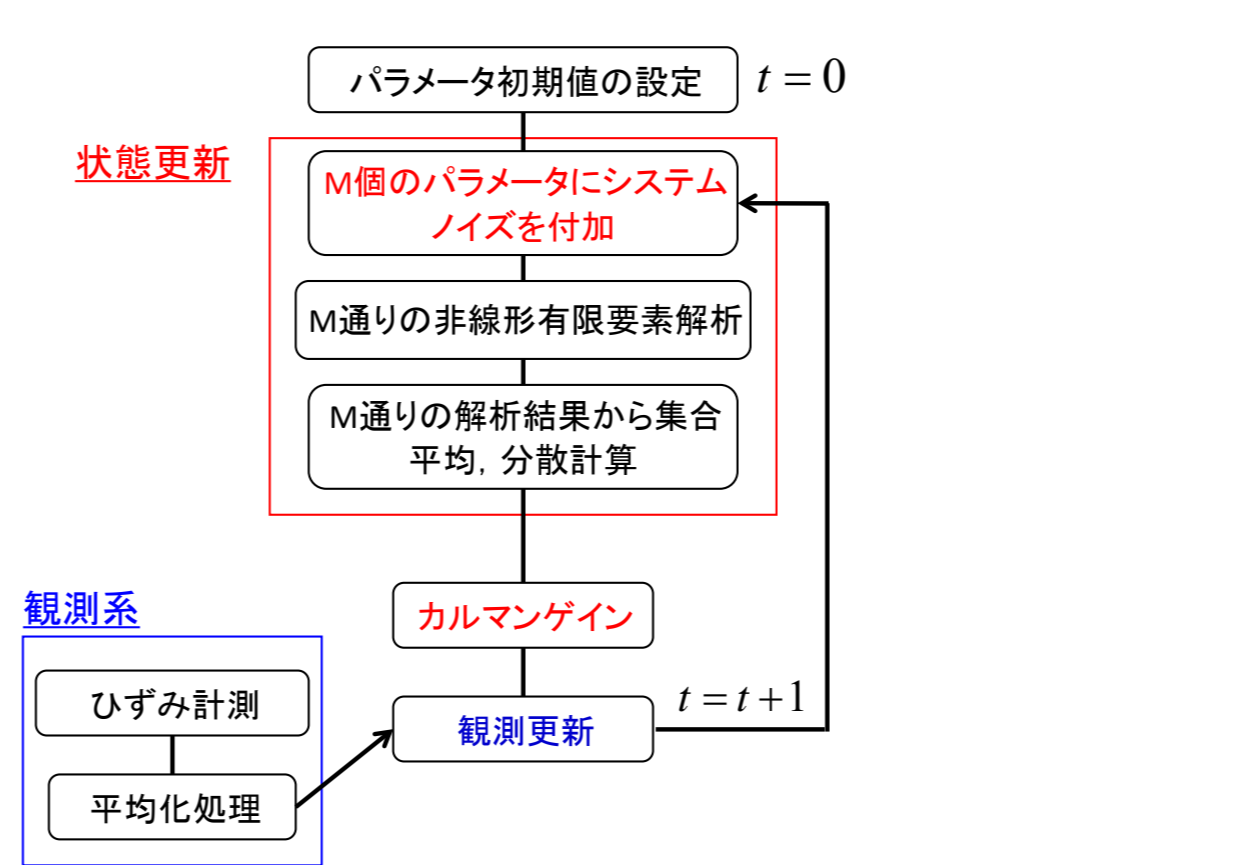


3 データ同化の適用について

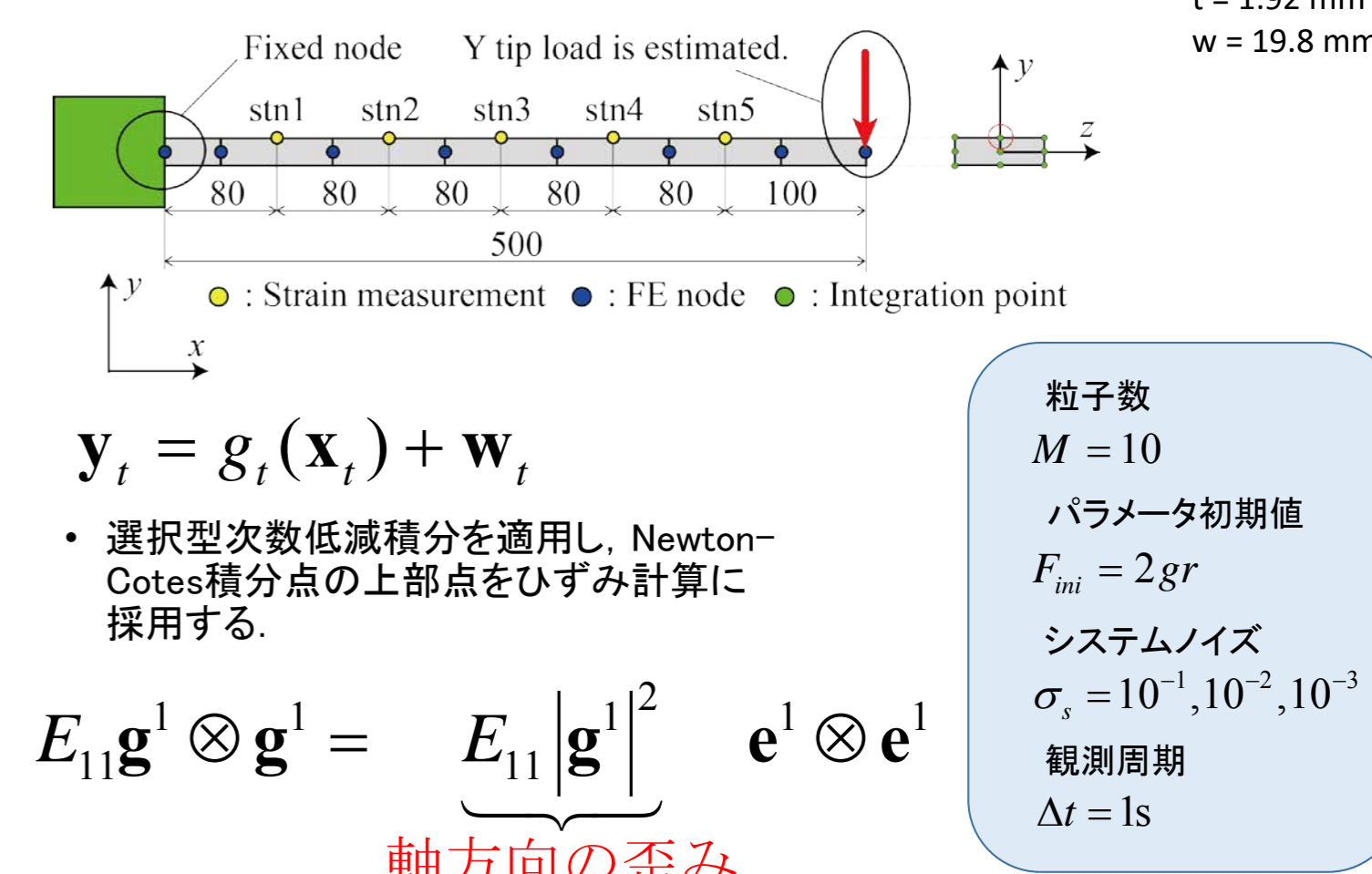
- 現状の数値シミュレーション(決定論的アプローチ)
- ・ ノミナルの数学モデルに基づく予測計算
 - 予測精度を向上させるためには, 測定データを用いたオフラインでのモデル修正が必要となる.
 - 「現在までの測定データをもとに高精度モデルを作成して温度と変形の予測をしたい」という場合, 大きな手間がかかる.
 - 計算結果の統計的な信頼性評価が困難である.
- データ同化手法の適用(統計論的アプローチ)
- 数値計算と統計的推定のシームレスな結合
 - モデル修正や統計的な評価の自動化が可能
 - 大規模計算(熱解析・構造解析)との組み合わせが可能

3. ひずみ計測によるデータ同化: 数値実験

9 データ同化手順(EnKF)



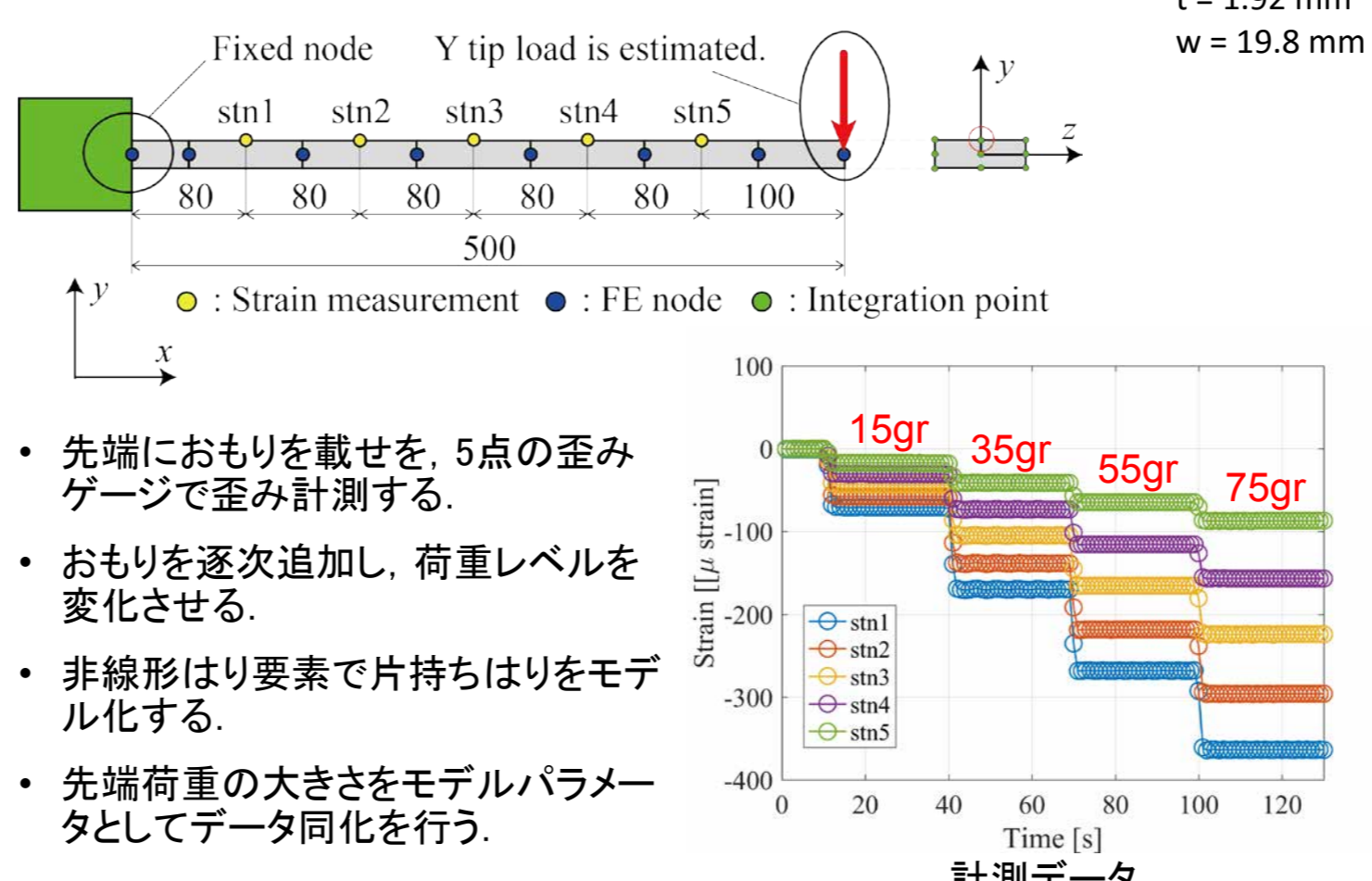
11 FEMにおけるひずみの評価



4 どのように使うか?

- ・ 非線形有限要素法の構造モデルを用いたシステム同定に適用
 - ・ 非線形有限要素解析モデルを利用した, パラメトリックな構造ヘルスマニタリングの構築
 - ・ データ同化で求められる同定結果の統計量を使って, 異常診断の高度化
 - ・ データ同化では逐次推定が可能のため, 運用時での異常診断システムの構築
- ・ FBGセンサー等のひずみ計測システムの組み込み
 - ・ データ同化では各種センサー入力を容易に組み込み可能
 - センサー配置の提案, 必要精度の見積もり等

10 検証実験



12 推定結果

