

タービン余寿命の非破壊診断技術

工学院大学 工学部 機械システム工学科
准教授 小川 雅

本技術の背景

- 火力発電用ガスタービン
発電効率向上のため、より高温・高負荷での使用が求められる。
- 定期点検の課題
定期点検でき裂を検出しているが、き裂発生から破断までの時間が短い。
定期検査直後にき裂が発生したら、次の検査まで持たない。

き裂発生前に余寿命を予測したい

従来の余寿命診断技術とその問題点

- 硬さ試験や表面観察
表面の一部しかわからない。
- 実機の一部をすくい取って試験を実施
すくい取った部分しかわからない。
- 数値シミュレーション
実機の温度分布がわからないため、推定精度が低い。



タービン翼

実測値に基づいて内部のダメージを非破壊評価したい

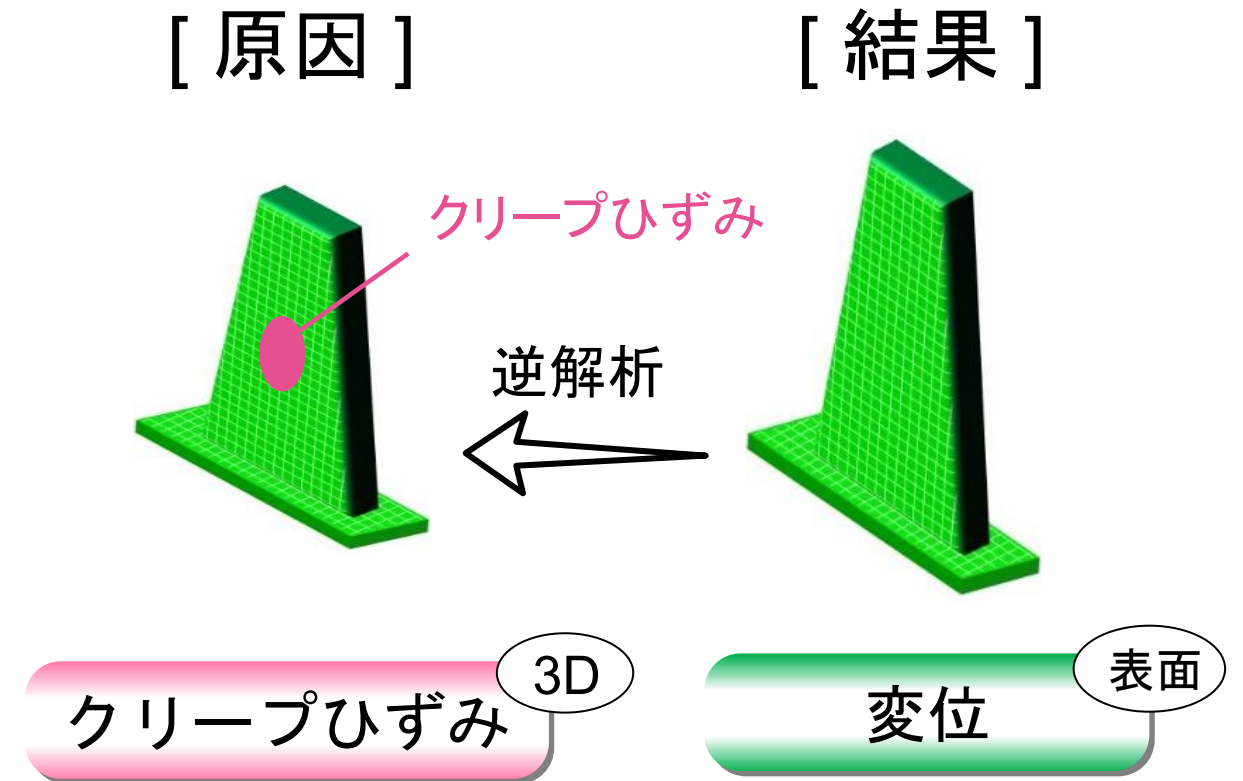
本技術と従来技術との比較

	非破壊	3次元	実測に基づく
破壊手法	×	○	○
硬さ試験や表面観察 一部をすくい出して試験	○	×	○
数値シミュレーション	○	○	×
本技術	○	○	○

本技術：表面変位から内部のひずみを推定

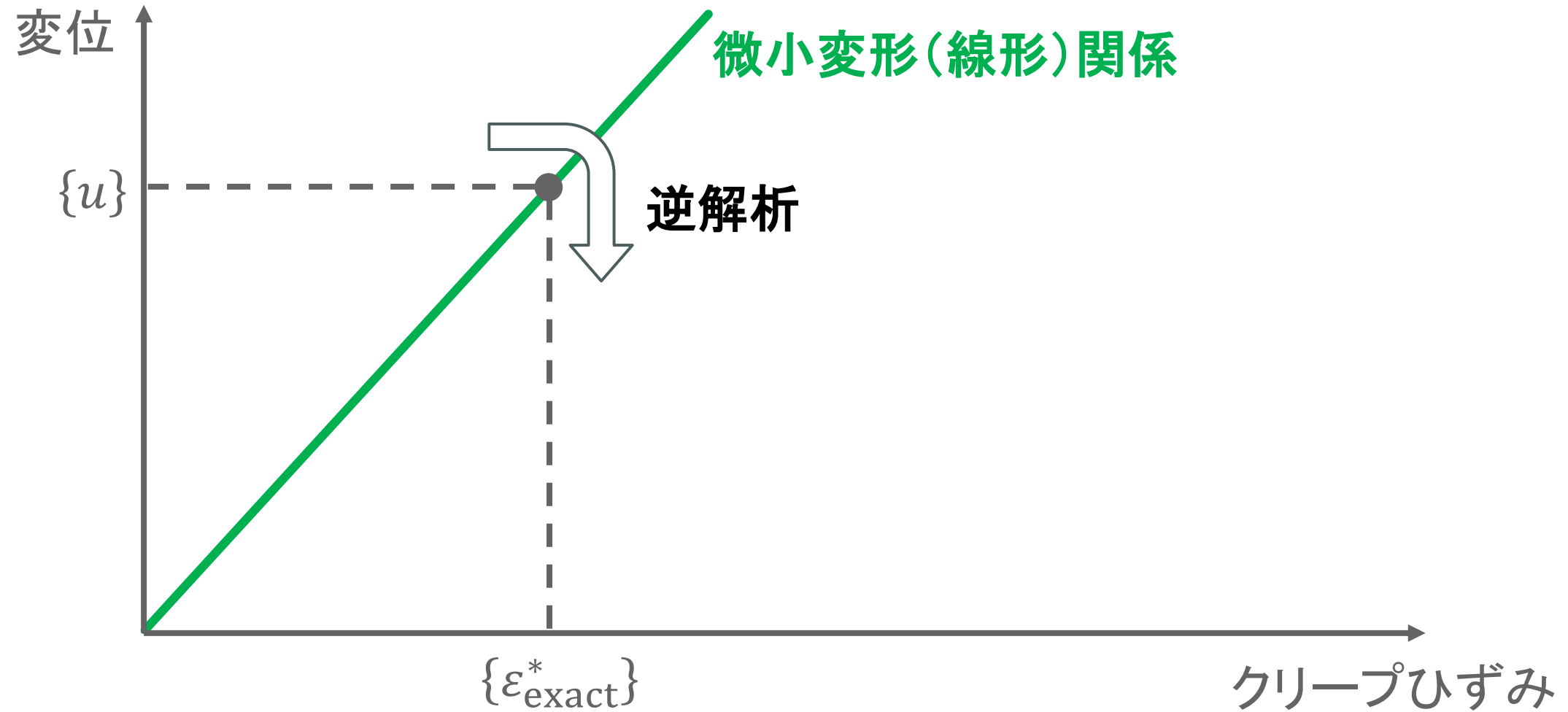
本技術の特徴

- タービンの温度分布不要
 - 室温での変位から内部を推定
 - 高温での複雑な現象は不明でよい
- パラメータは少なくてよい
 - ヤング率、ポアソン比、寸法
(すべて室温の値)
- 計算量が少ない
 - 弾性計算のみ



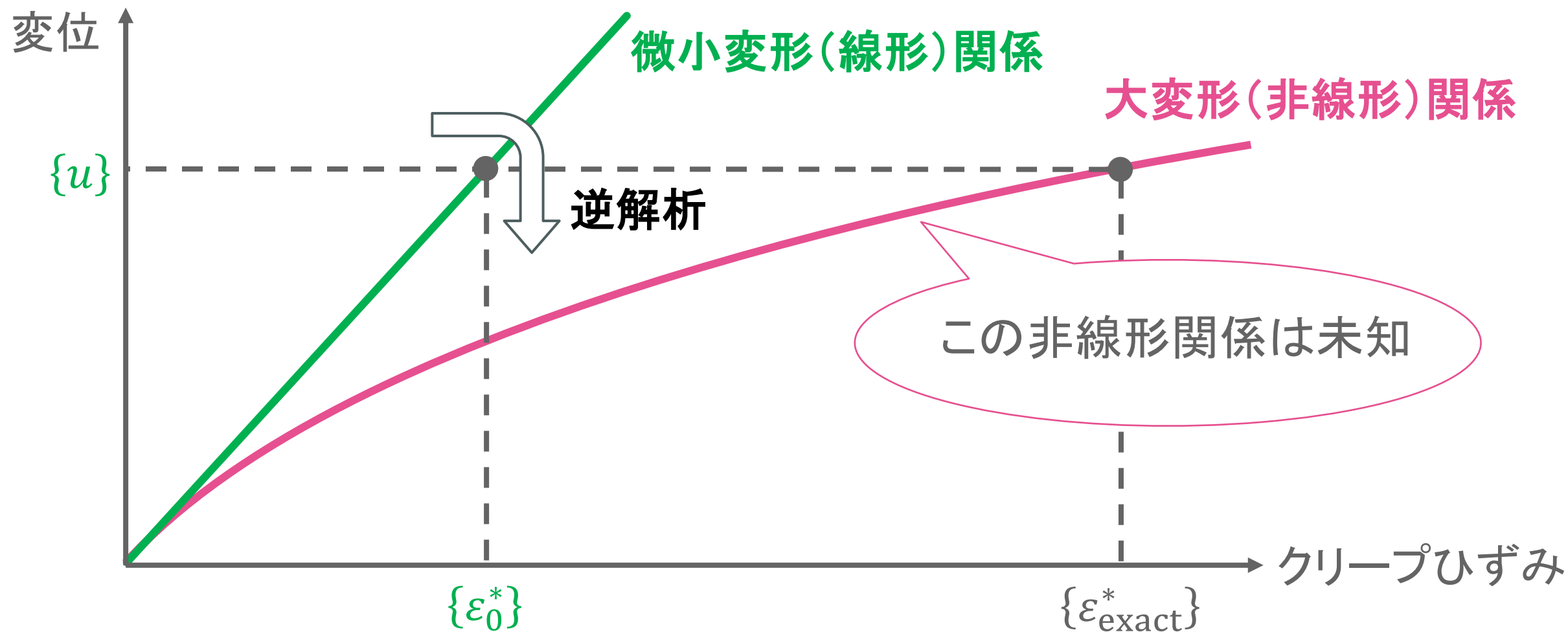
変位はDIC（デジタル画像相関法）や
レーザー変位計により非破壊に計測

本技術の基本原則



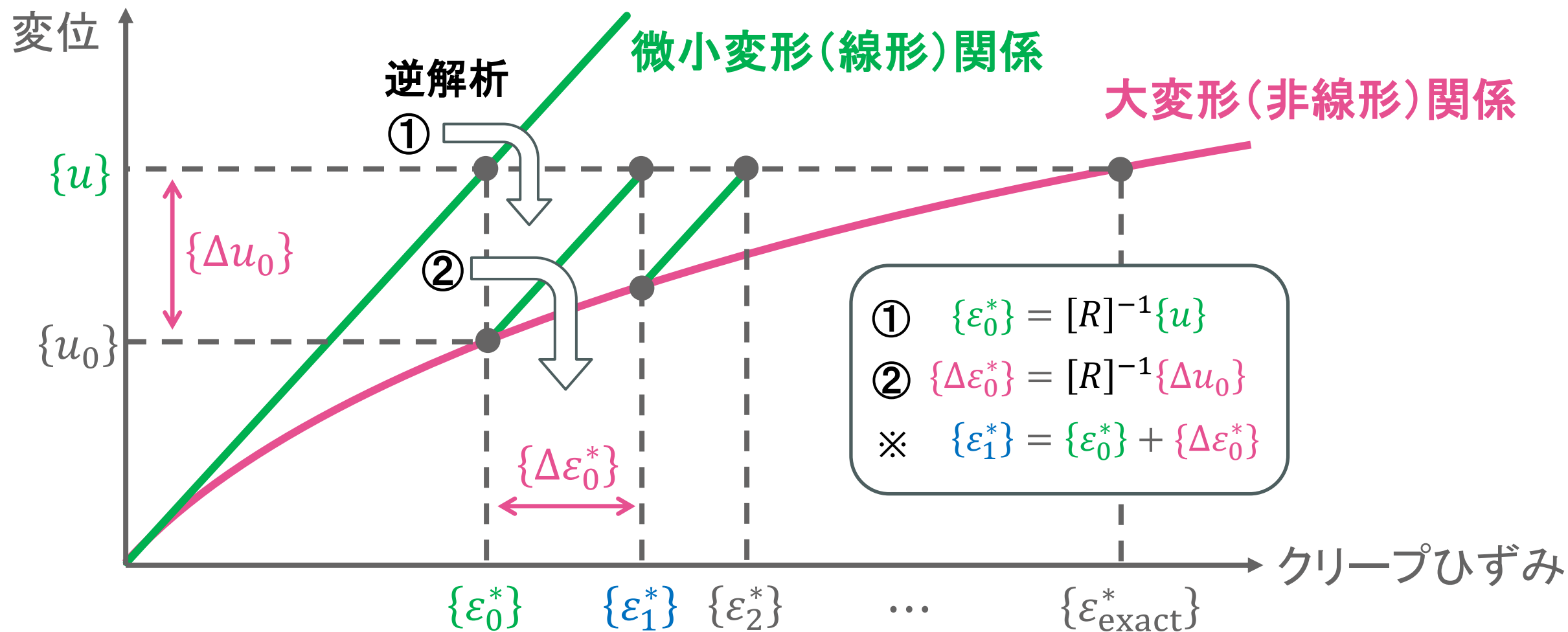
表面変位から内部のひずみを逆解析

クリープひずみが多い場合



比較的大きなクリープひずみが生じると推定精度が低下

非線形逆解析手法



クリープひずみが大きくても反復計算で推定できる

本手法の推定精度の更なる向上へ

- タービンに発生するクリープひずみは引張のみ
- 解を引張成分のみに限定し、推定精度を向上したい
- 従来の反復計算では解の存在範囲を限定できない



タービン翼

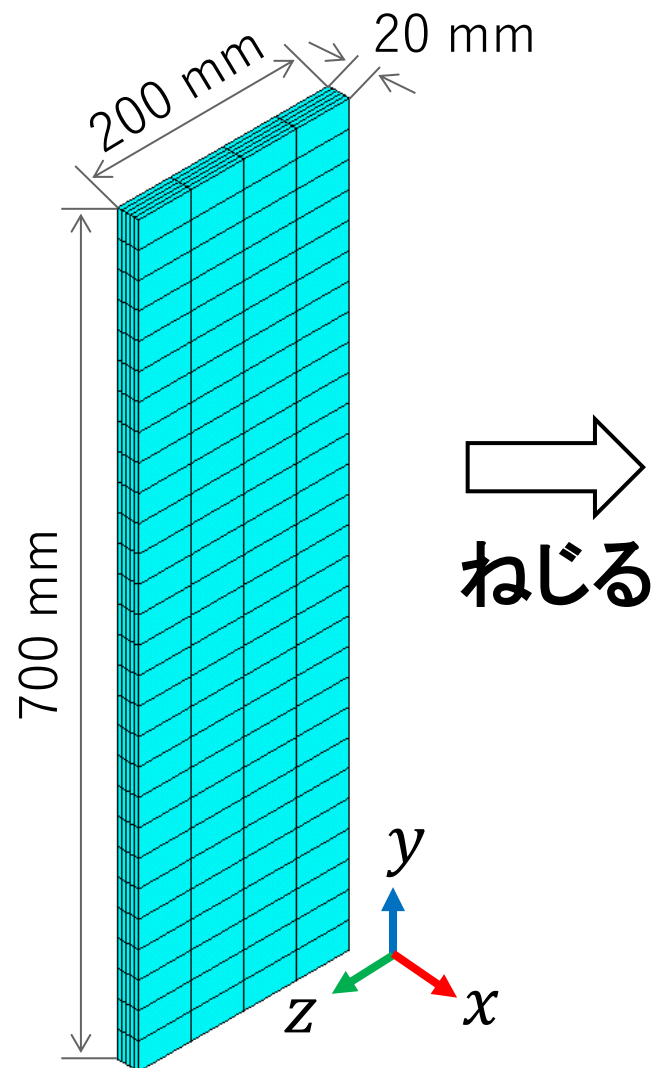
反復計算手法を改善した

本技術に関する知的財産権

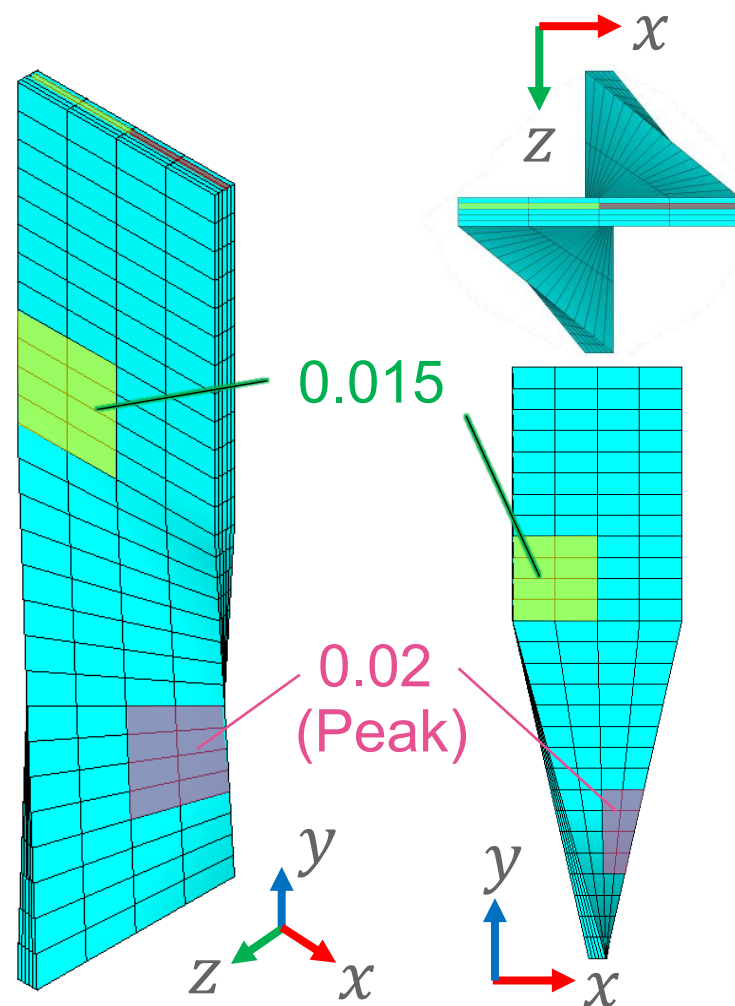
- 発明の名称： 情報処理システム、
情報処理プログラム及び推定方法
- 出願番号： 特願2025-145641
- 出願人： 学校法人工学院大学
- 発明者： 小川 雅、森田 悠誠

本手法の推定精度をさらに向上させることに成功

数値解析モデル



5層の平板モデル



正解クリープひずみ分布

FEモデルの条件

材料	ニッケル基合金
ヤング率	207 [MPa]
ポアソン比	0.3
節点数	3131
要素数	560

下側半分を90°ねじった

数値解析結果(計測誤差なし)

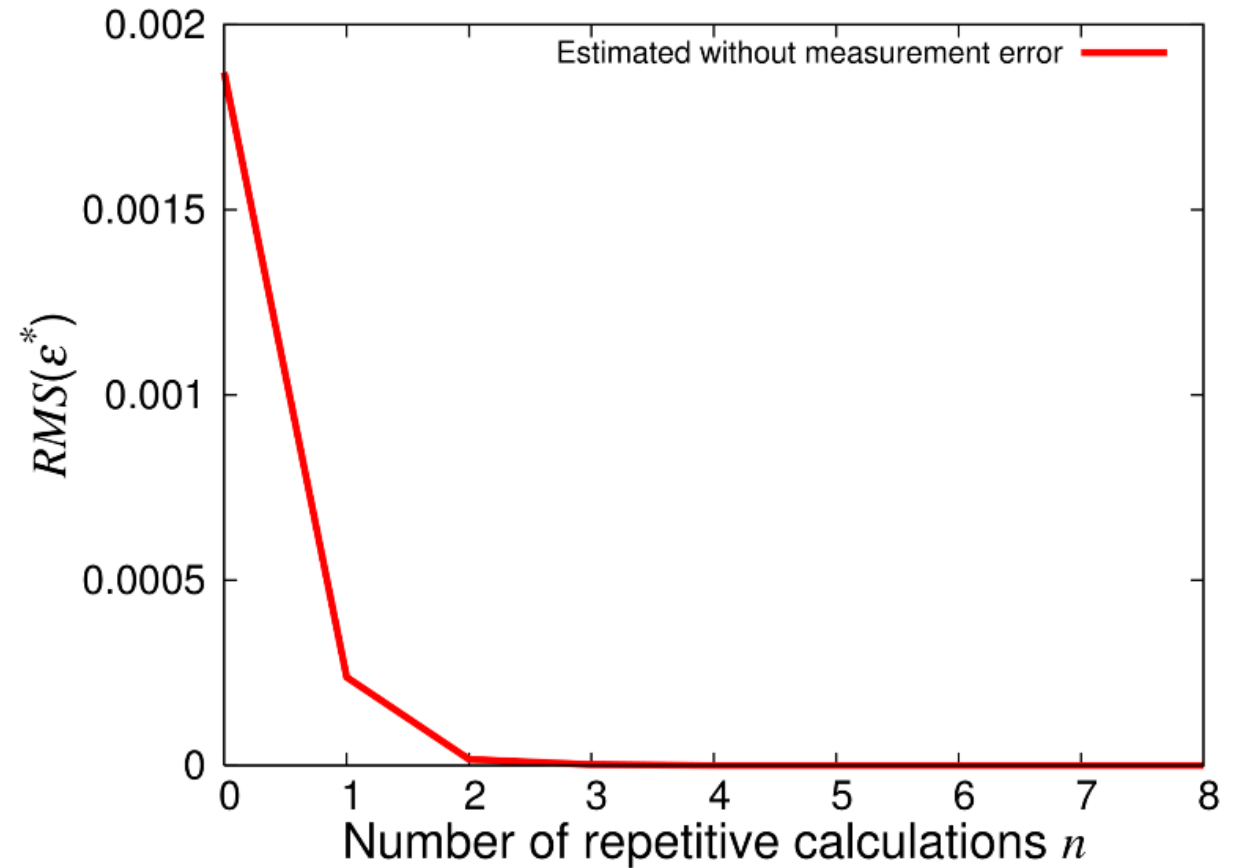
- 二乗平均平方根誤差を算出し、
本手法の推定精度を評価した

$$RMS(\varepsilon^*) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_{i_Exact}^* - \varepsilon_{i_Estimated}^*)^2}{N}}$$

N : 未知パラメータの数

このRMSの値が小さければ、
推定精度が高い

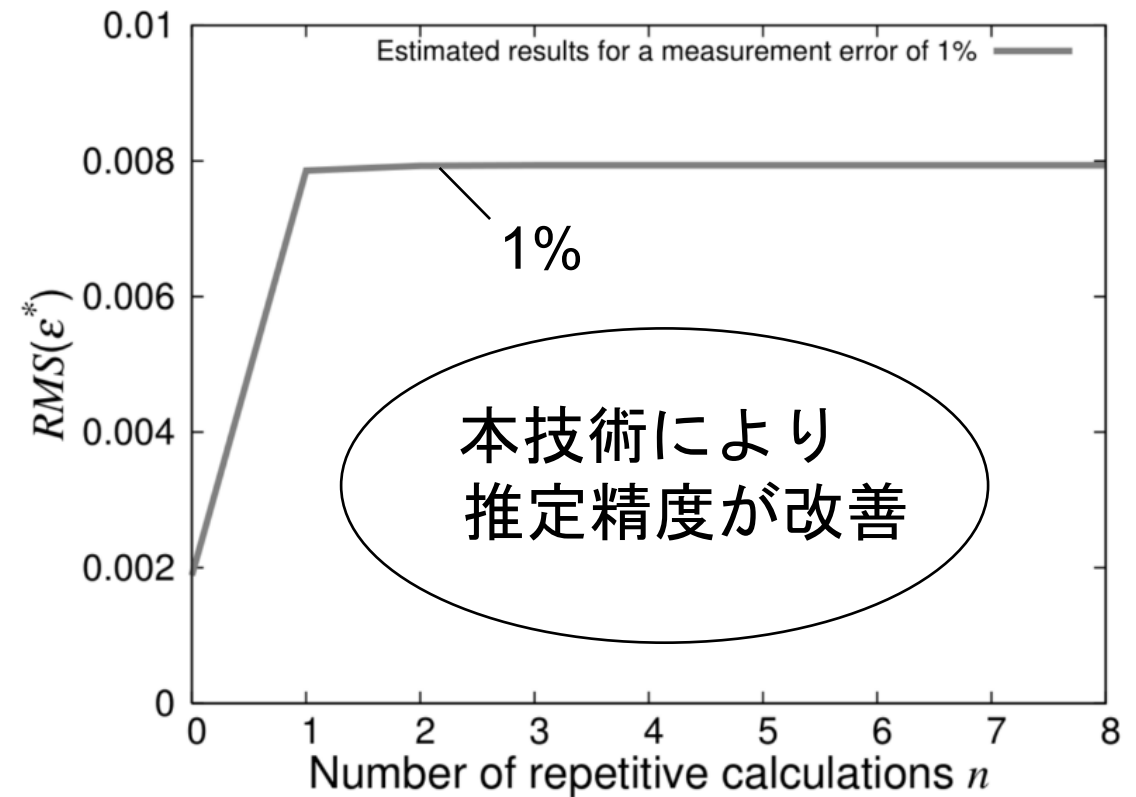
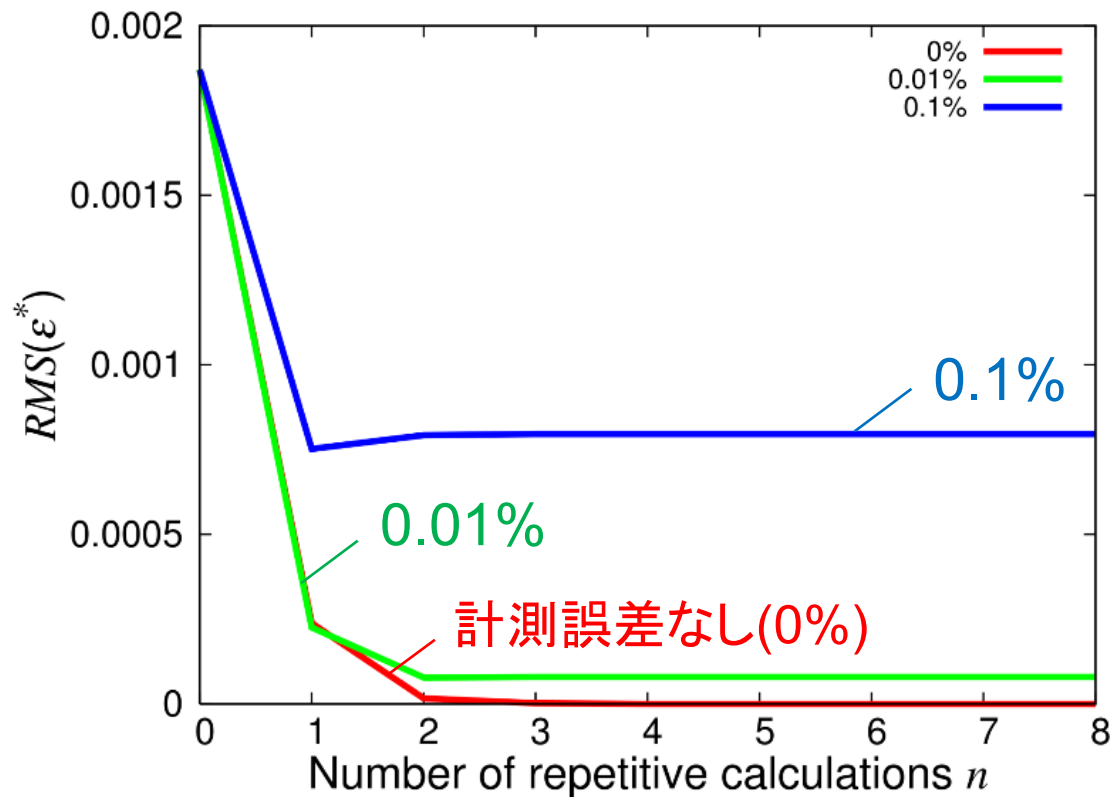
計測誤差がない場合には、
正解の値に収束した



- 図の出典: M. Ogawa et al., 7th International ECCC Creep & Fracture Conference (ECCC 2026), (2026), P025.

数値解析結果(計測誤差あり)

正解変位の0.01%, 0.1%, 1%の標準偏差に従う乱数を計測誤差として加えた。



繰り返し計算によりクリープひずみの推定値は収束した

- 図の出典: M. Ogawa et al., 7th International ECCC Creep & Fracture Conference (ECCC 2026), (2026), P025.

想定される用途

- 火力発電用タービン動翼（3, 4段目）の余寿命予測
- ジェットエンジンのタービン翼のクリープひずみ評価
- 地震後のプラント配管系の塑性ひずみの非破壊評価
⇒ 再稼働の可否を迅速に判断

あらゆる非弾性ひずみをその表面変位から推定可能

実用化に向けた課題

- 現在、数値解析により、本手法の原理の有効性を示すことができる。
- 実用化に向け、より多くのクリープひずみの未知数を推定できるようにする。
- 実機に発生するクリープひずみの最大値とその場所を20%以内の誤差で推定できるようにすることが目標。

実用化に向け、企業と一緒に取り組みたい

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組み
基礎研究	▪ 手法の原理の検証が完了	
現在	▪ 比較的未知数を多くした場合について、数値解析により本手法の有効性を評価	
1年後	▪ 非線形逆解析手法と輪郭情報を用いた手法とを融合 ▪ 計測誤差を考慮した場合の推定精度の検証	
3年後	▪ クリープシミュレーション結果に対する推定精度の評価 ▪ 変位計測方法の確立	NEDOの助成事業へ申請
5年後	▪ 実機に対する実証実験の実施	試験サービスの実現

企業への期待

- 表面変位から比較的多くのクリープひずみの未知数を推定できるようにするところまでは、こちらで開発可能。
- 下記の企業との共同研究を希望
 - － タービンの余寿命予測を必要とする企業
 - － FEMによりタービンのクリープ解析を実施している企業
 - － レーザ変位計やDICなどを利用した変位計測に強みのある企業
- 実機の条件に近い数値解析により本手法の有効性を評価し、また実翼に対する実証実験が課題。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は高温下での複雑なクリープ現象を再現しなくてよく、室温下で内部のクリープひずみを非破壊評価する唯一の方法。
- 変位計測のみであるため、現実的に導入可能。
- タービンのクリープ解析結果があれば、本手法の推定精度を示すことができる。技術指導も対応可能。

本学の学生にとっても人気のある研究テーマ

産学連携の経歴

- 2026年- T社と共同研究模索中
- 2025年-2027年 JST科学研究費助成事業に採択
- 2024年-2025年 I社の技術指導実施（現在、共同研究相談中）
- 2022年-2024年 JST科学研究費助成事業に採択
- 2019年-2021年 E社と共同研究実施
- 2017年-2019年 JST科学研究費助成事業に採択
- 2016年 M社と共同研究実施
- 2015年 E社と共同研究実施 など

お問い合わせ先

工学院大学
研究推進部 研究企画課

T E L 03-3340 - 3440
e-mail sangaku@sc.kogakuin.ac.jp