

荒井 正行 研究室

工学部 機械工学科 教授
あらい まさゆき
荒井 正行 先生



荒井研究室メンバー（ゼミ旅行）

機械や構造物を安心・安全に使用するために、 材料の破壊挙動を数値解析で予測する

機械や構造物は設計・製造して終わりではなく、使い続けられることが重要だ。長期間使用を続けることで機械は劣化し、最終的には破壊に至る。機械が故障や停止する原因の多くはこうした材料の破壊による。発電プラントなどのように、停止によって大きな損害が発生するものもある。

こうした事態を回避するために、機械に使用されている材料が時々刻々変化する状態を把握し、将来どのようなリスクが潜んでいるか予知する必要がある。荒井研究室では、材料の変形と破壊挙動に関して数値解析し、機械や構造物の安全と安心を提供するための情報発信を行っている。その研究成果は多くの電力会社や重機械メーカー、自動車メーカーなどに幅広く実装されている。

破壊はどのように発生するのか

材料を数値解析するには、対象のスケール的な捉え方でいくつかのアプローチがある。力を加えると変形する連続体というスケールで材料を捉え、メッシュで規則的に分割して解析する有限要素法（FEM）を始めとして、より細かくメッシュレスの粒子として捉え材料の組織を模擬して変形から破壊までをシミュレーションできるペリダイナミクス、さらに原子レベルで生じている劣化状態を解析する第一原理解析などがある。

「材料の劣化は原子レベルのミクロで生じ、これが大きく広がっていくので、さまざまなスケールの情報を統一的に取り扱っていくのが当研究室の特徴であ

る」と、荒井先生は説明する。

産業大国である日本では、破壊に関する研究はかなり昔から行われていたが、コンピュータ以前では数値解析は難しく、実験中心であった。また、機械を実際に破壊して調べることはできないため、小さなサンプルで材料試験するしかなかった。しかし最近、情報分野の急速な進展に伴ってデジタルツインの技術が登場したことで、巨大な工業製品を丸ごとコンピュータに構築し、数値解析できるようになった。

例えば発電プラントの構造物にセンサーを取り付けてセンシングし、時々刻々変化する状態をコンピュータに取り込んで数値解析し、それに基づいて将来予測をすることが可能になった。解析後1週間や1か月後に、再びセンサーから得られた情報との違いを確認することを繰り返すことで計算精度を高めていける。

こうしたデジタルツインによる機械・構造物のメンテナンスに多くの企業が取り組んでおり、欧米を中心に法定点検をデジタル管理に移行しようという動きがある。

「企業では従来行っていたメンテナンスのための法定検査を取り止めようとしている。プラントを一旦停めると何億円という巨大なロスが発生するため、デジタル情報管理によるメンテナンスは必須である」（荒井先生）

劣化やき裂のタイミングと位置を予測する

さらに、荒井研究室では劣化やき裂がいつ頃、どの部分に発生するかを予測する逆解析についても取り組

んでいる。

「これまでに発電用ガスタービンを対象として東京電力と、蒸気タービンを対象としてNEDOと連携してデジタルツインによる機械構造物のヘルスマonitoringシステムの開発に取り組んだ。研究室内に非常に小さなプラント設備を作り、センサーを取り付けて機械要素がどのように劣化するのか調べてきた。実際にはき裂が発生するには長い時間がかかる。このため、かなり加速した試験を行い、センサー情報に基づいて開発したソフトウェアの動作を検証した。これにより、いつ頃どんなふうに壊れるのかかなり正確に予測できるようになった」(荒井先生)

き裂が複数の部位で発生する場合、その位置推定は難しくなるが、これまでの逆解析とは別のアプローチとして荒井研究室が開発しているのが、バイオミメティクス(生物模倣技術)を利用したカッコー最適化手法だ。鳥(カッコー)は種の保存のためにいろいろな場所に卵を産みつける。

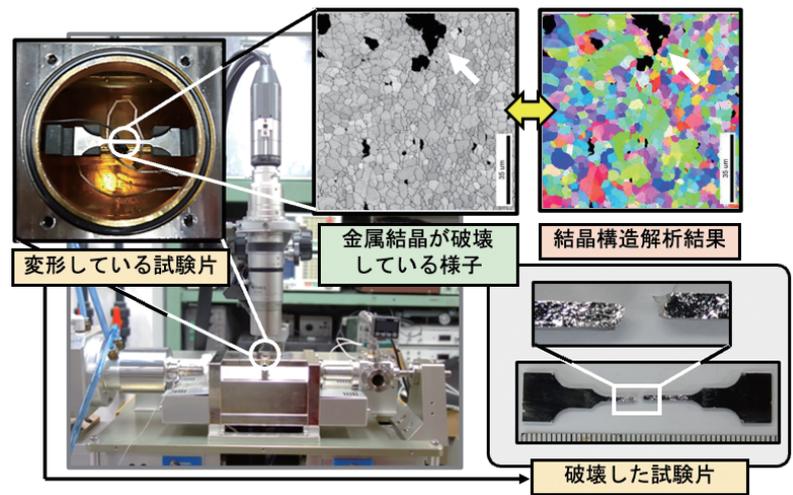
卵が孵化したところからカッコーは飛び立ち、生存に適した場所でまた産卵をするが、生存に適していない場所ではそれ以上生存範囲は広がらない。こうした生物の習性を利用し、下位空間のデータから、き裂が発生している部位を予測するのがカッコー最適化手法だ。

新しい修復方法を開発する

また、き裂が発生した部位を形状回復する技術の開発にも取り組んでいる。従来、企業では壊れた部品を丸ごと入れ替えていた。荒井研究室では、き裂が発生した部分を削り取り、そこに金属3Dプリンターで金属粉末を溶かし込んで、歯の詰め物のように形状回復を行う方法を考案している。

造形出力やスピードによって、積層し終えた後に熱を受けて変形が生じるため、部品を形状回復する前に事前にどのような造形条件にすべきか決定しておく必要がある。このために荒井研究室では、金属3Dプリンターの積層造形を数値シミュレーションできる技術も開発した。

荒井研究室ではこのように、破壊を解析により正確に将来予測するとともに、今あるものを大切に使うためのツールも作り、破壊発生から元の形に戻すところまでの幅広い研究開発を展開している。



耐熱材料に生じた変形・損傷・破壊過程のその場観察

自主性を最大限に重んじる課題発見

荒井研究室には現在、博士課程2名、修士課程9名、学部生8名が在籍する。

修士2年の益井海斗さんの研究テーマは「熱波と弾性波を利用した材料内の欠陥推定法の開発」だ。温度差が生じるとその高低差に応じて熱が瞬間的に移動するというフーリエの法則があるが、実際にはそこにタイムラグが存在する。このタイムラグを考慮できるようにフーリエの法則を修正した。これにより、瞬間加熱による熱波の発生を模擬できるようになり、副次的に生じた弾性波も同時に解析することで、破壊が生じるポイントを多面的に推定していこうという研究だ。

「最初計算だけではうまく傾向が掴めず、先生から仮説と検証のプロセスをしっかりと繰り返すのが大事だとアドバイスを受け、かなりクリティカルな答えを出せた」と、益井さんは語る。

修士1年の武者拓馬さんが取り組んでいるのは「多軸応力計測のための応力発光体センサーの開発」だ。物体に外から力を加えたときに、どういう力が内部にかかるのかを調べるため、力が加わると発光する物質を塗布し、力の大きさとその方向を同時に計測できるセンサーを光造形3Dプリンターを使って開発している。

「3年生の夏に荒井研究室で何日か研究体験を経験させてもらい、とても面白かった。3Dプリンターへの興味もあってダイナミックに活用しているこの研究室を選んだ」と武者さんは振り返る。

研究テーマの課題発見にも学生の自主性が最大限重視されている。最初に荒井先生と個人面接を行い、そこで学生の興味・関心を探っていくのだという。

狐塚 淳(インプレス・デジタル・バリュース)