

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 乙 第 号	氏 名	兒嶋 佑太
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 泰岡 顕治
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 村松 眞由
		慶應義塾大学教授	博士（工学）・TeknD 深淵 康二
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 大宮 正毅
(論文審査の要旨) 学士（工学）、修士（工学）兒嶋佑太君の学位請求論文は「有限要素解析および赤外線応力測定による炭素繊維強化プラスチック構造物内の欠陥推定手法の開発」と題し、7章から構成されている。 赤外線応力測定は熱弾性効果を利用した非破壊検査手法であり、材料が繰り返し荷重を受ける際に生じる温度変動を赤外線カメラで計測し、Kelvinの熱弾性理論を用いて表面主応力和分布を可視化する手法である。この手法は、応力集中箇所を捉えることにより、力学特性を考慮しながら疲労寿命評価を行うことができる。赤外線サーモグラフィでは、欠陥がもたらす熱的な異常を示すのに対し、赤外線応力測定は、欠陥が試験体にもたらす応力集中や応力分布の変化を可視化することができる。しかしながら、得られる結果は表面主応力和分布であり、欠陥位置や形状の推定には試験技術者の技量を要するという課題がある。 本論文では、有限要素解析および赤外線応力測定によって得られる表面主応力和分布を活用し、炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic; CFRP）構造物内部の欠陥情報を機械学習により3次元的に推定する手法を開発している。 第1章では本論文の背景および目的、構成を、第2章では本論文で用いている有限要素解析、赤外線応力測定、非定常熱伝導解析、および機械学習について説明している。 第3章では、赤外線応力測定とFEAから得られる応力分布の整合性を物理的に検証するために、熱弾性理論に基づき構造解析と非定常熱伝導解析を組み合わせた検討を行っている。その結果、熱伝導の影響を考慮しないFEAと赤外線応力測定結果との整合性は、欠陥位置や計測面と距離に依存することを明らかにしている。この知見に基づき、以降は、熱伝導を考慮する必要のない条件を対象として、機械学習による欠陥推定を行っている。 第4章では、FEAによって得られる応力分布を入力とし、畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network; CNN）によりCFRP内部の3次元的な欠陥情報を推定する手法を提案している。ここでは、多様な欠陥パターンに基づき、シミュレーションデータセットを用いてモデルを学習し、CNNが応力分布の微細な変化を捉え、欠陥の位置や深さ、形状を高精度に推定可能であることを実証している。 第5章では、実験データの取得が困難であるという制約を踏まえ、転移学習の枠組みを導入している。シミュレーションデータによる事前学習を行ったCNNモデルを、赤外線応力測定から得られた少量の実験データでファインチューニングすることで、限られた実験情報においても高精度な欠陥推定が可能であることを確認している。 第6章では、より実用に近い複雑形状構造物への展開として、CFRP製義足を対象とした欠陥推定を試みている。メッシュベースの非ユークリッド構造を考慮するため、グラフニューラルネットワーク（Graph Neural Network; GNN）を導入し、3次元応力分布をもとに欠陥の3次元情報を推定している。また、実験で得られる2次元応力分布をGNN入力用の3次元応力分布へ変換するため、主成分分析・CNN・マルチレイヤーパーセプトロンを組み合わせた次元変換モデルを構築し、シミュレーションと実験を接続する手法の拡張性を示している。 最後に第7章で研究全体に関する結論を述べている。 以上要するに、本論文の著者は、FEA、赤外線応力測定および機械学習を組み合わせた非破壊欠陥推定の枠組みを確立した。このような信頼性の高い欠陥推定および構造健全性評価を可能とする新たな非破壊検査技術は工学分野への応用が期待できる。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。		