

令和元年5月31日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14878

研究課題名(和文) 光ファイバセンサと逆推定ニューラルネットワークを用いた航空機主翼の揚力分布同定

研究課題名(英文) Load distribution identification for aircraft main wing based on optical fiber sensing technique and neural network approach

研究代表者

和田 大地 (Wada, Daichi)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・研究開発員

研究者番号：10770480

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では航空機主翼表面のひずみ分布を測定し、ひずみ分布情報から揚力分布を同定する技術を構築した。ひずみ分布測定には分布型光ファイバセンシング技術を適用し、揚力同定には逆推定ニューラルネットワーク(NN)を適用した。数値解析により本手法の妥当性を示した。従来の有限要素法による逆解析と本手法の性能・特徴比較も示した。風洞試験による技術実証も行った。光ファイバセンサを搭載した多舵面を有する翼模型を構築し、リアルタイムで揚力分布を同定出来る適用性、およびその精度を定量的に示した。当初の研究の狙いに加え、揚力と共に迎角を同定出来ることも実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究ではニューラルネットワークを用いることで、ひずみ計測誤差による荷重同定の不安定性が解消されることを示せた。これは従来の逆解析法の宿命的な欠点を克服することを示している。航空機への適用性・実用性が極めて高く、工学的にも非常に有益な知見となったと考える。本技術の特色は、任意の分布形状を持った荷重を同定できる点である。従来旅客機への技術レトロフィットに加え、同定された揚力に基づいて操舵する揚力制御型無人機などの新型航空機開発も後押しする。ヘリブレード、風力発電ブレードにかかる空力荷重同定や、船体への波浪荷重同定など、他分野にとっても汎用的かつ先進的な意義を持つ。

研究成果の概要(英文)：This study developed a technique to identify lift load distributions on main wings of aircraft. An optical fiber distributed sensing technique measures strain distributions. The lift loads are calculated by using the strain distributions through neural networks. We have validated our technique through numerical simulations. We compared the technique with a conventional inverse analysis technique. We have also conducted wind tunnel tests for experimental demonstrations. We built a wing model with multiple flaps and optical fiber sensors. We conducted lift load identification in real-time, and showed the performance in the sense of accuracy. In addition, we successfully identified the angle of attack.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：揚力同定 逆解析 機械学習 光ファイバセンシング

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近い将来の航空機設計・製造・運用に向けて、構造モニタリング技術の開発と適用が望まれている。センサを神経網のように機体に張りめぐらせ、突発的なイベント（突風・ハードランディングなど）を受けた機体の異常検知を自動的に行ったり、機体に必要なメンテナンススケジュールの最適化を行ったりする技術である。これらは“損傷検知”などの、構造物の健全性を監視する技術(Health Monitoring)である。

これに加え、昨今では、Health Monitoring と対を成す「実働状態監視(Usage Monitoring)」技術が不可欠とみられている。構造物にかかる負荷 (Usage : 荷重や応力) をモニタリングしていれば、起こってしまった損傷の検知だけではなく、疲労状態の把握やこれから起こる損傷の予測 (Damage Prognosis) が可能となる。将来、いつの時点においてどのような損傷が生じるかを予測することにより、メンテナンススケジュールの最適化へ繋がる。また実働荷重の実測データが得られれば、設計荷重や安全余裕の適正化、損傷許容設計へのフィードバックが可能となる。

航空機の「実働状態監視」について、特に重要となる監視対象の一つが主翼にかかる揚力である。主翼は機体重量を支えるための大きな負荷を受け持つ。また突風などによる予測不能・異常な荷重をしばしば受け、失速一墜落などの致命的なイベントの起点となりうる。揚力分布をリアルタイムで監視できていれば、突風等による過大荷重を受けた際に、地上検査の必要性判断を着陸前に下すことができる。あるいは操舵へフィードバックすることで過大荷重を回避し翼損傷を予防したり、飛行安定性を向上したりできる。これらは従来の航空機にない機能であり、安全性・信頼性の革新的な向上に寄与する。

現状の技術ではリアルタイムの揚力分布計測には困難が伴う。高速な直接観測が困難な揚力分布は、直接観測可能なひずみ情報に演算を施して同定するアプローチが有効だが、“翼表面のひずみ計測を行う技術”と“ひずみ情報から揚力を推定する技術”において実装性・精度・ロバストさの課題がある。

2. 研究の目的

本研究では、航空機主翼にかかる翼揚力分布をリアルタイムで同定する技術を開発する。実装性の高い最先端の光ファイバセンシング技術とニューラルネットワークを活用した同定演算手法を統合する。センシング誤差を加味した機械学習を行うことで高い実機適用性を達成する。

3. 研究の方法

ひずみから荷重の同定を行う数値解析プラットフォームを構築する。有限要素解析と各種行列演算を統合的に処理する数値解析アプローチと、機械学習による逆推定演算を行うアプローチの双方を構築する。これを用いてシミュレーションを行い、従来の有限要素法による逆解析と機械学習を用いた荷重同定の性能・特徴比較を行う。

上記の数値的妥当性検証に加え、実験的実証を行う。光ファイバセンサを搭載した主翼モデルを製作し、風洞試験により本揚力分布同定技術の実証を行う。

4. 研究成果

初年度の研究により、PC・ソフトウェア環境の整備と演算コードの実装を行い、ひずみから荷重の逆推定を行う数値解析プラットフォームを構築できた。これを用いてシミュレーションを行い、従来の有限要素法による逆解析と機械学習を用いた荷重同定の性能・特徴比較を行った。誤差を含んだひずみ分布センシング情報に基づき、平板に作用する荷重分布の同定を行った数値解析結果を図1に示す。有限要素解析に加え、打ち切り特異値分解 (TSVD) による解の安定化を行った同定結果 (図1 : 中) に比べ、機械学習による同定結果 (図1 : 右) では高い精度を有していることがわかる。図2は様々な負荷荷重分布を加えたときの同定誤差傾向を示す。機械学習を活用した同定手法は高い精度と共に、ひずみセンシング誤差に対するロバストさも有することが確認できた。本研究による手法の妥当性・有効性が示された。

ニューラルネットワークを用いることでひずみ計測誤差による不安定性が解消されることを示せたが、これは従来の逆解析法の宿命的な欠点を克服することを示しており、学術的に高い価値のある成果である。工学的にも非常に有益な知見となったと考える。

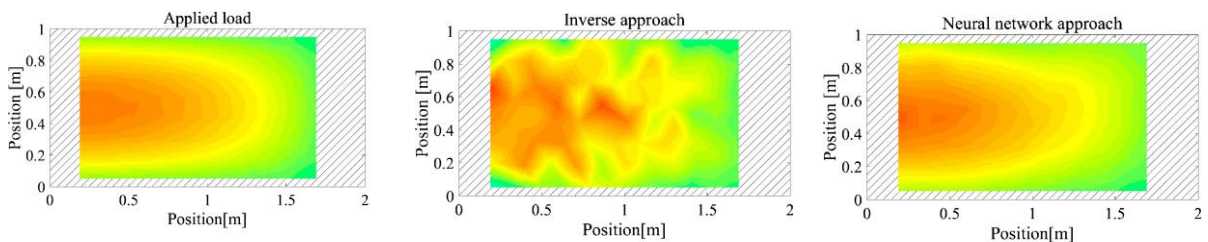


図1 数値解析による荷重同定結果の例 (左：平板に与えた荷重分布 (真値)、中：有限要素解析と打ち切り特異値分解による逆同定結果、右：機械学習による同定結果)

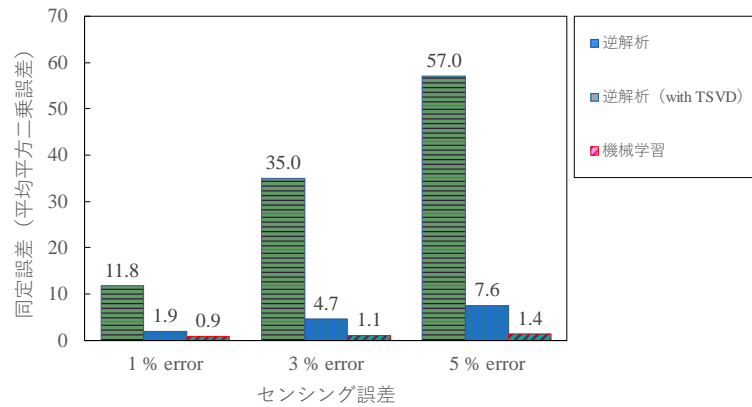


図2 手法ごとのセンシング誤差と揚力分布同定誤差の関係

次年度（最終年度）に光ファイバセンサを搭載した多舵面を有する翼模型を構築した。多舵面の制御により揚力分布を調整でき、揚力分布同定技術の効果を独創的な形で示せる。

複数回の風洞試験を行い、光ファイバセンシングを活用した揚力分布同定技術の実証に成功した。その様子、同定結果の概観を図3に示す。スパン方向に8個設置された舵面を駆動し、その時に観測される60点のひずみ情報を元に、ニューラルネットワークを活用した演算を施すことで、リアルタイムで揚力分布と迎角を同定している。図4では横軸に真値、縦軸に同定結果をプロットした。揚力分布は標準偏差0.6N、迎角は標準偏差0.4度の精度で同定出来ることが実証された。

試験においては、実環境で不可避となる温度変化の問題も克服し、リアルタイムで揚力分布を同定出来る適用性、およびその精度を定量的に示すことが出来た。また当初の研究の狙いに加え、揚力と共に迎角を同定出来ることも実証出来た。観測情報と同定情報の間の（空力・構造的）相互作用に基づき、機械学習を用いたパラメータ同定を行った。

本手法により、飛行状態を自律的に認識出来る“知的な翼”の実現性が示されたと考える。

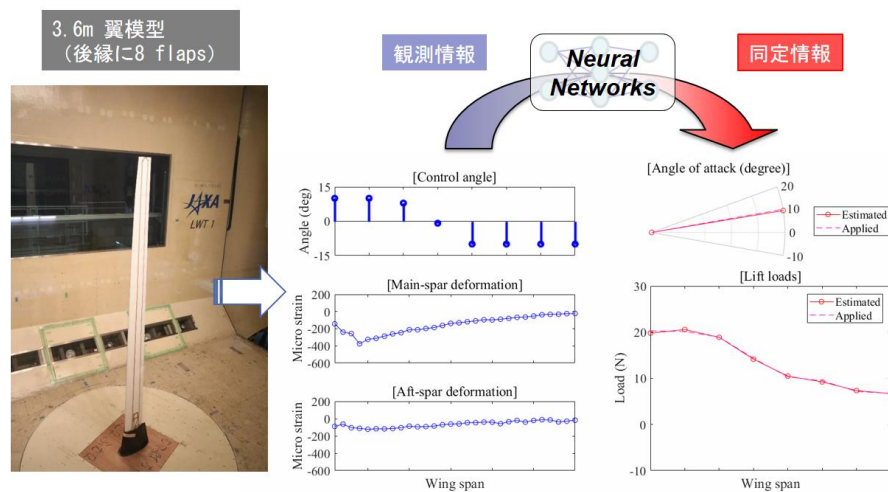


図3 風洞試験結果の概観

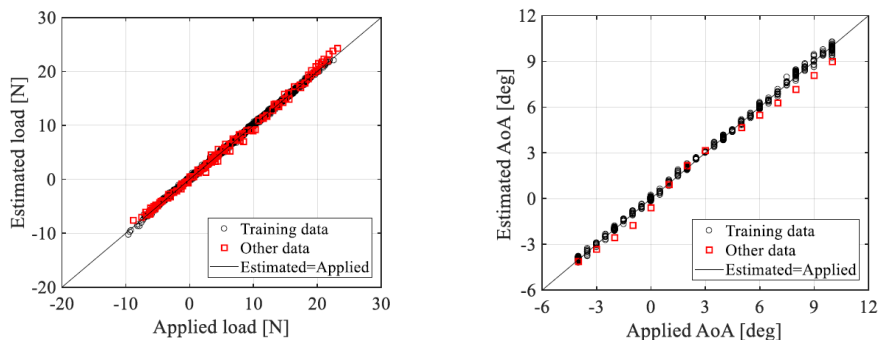


図4 風洞試験における同定結果（左：揚力分布同定、右：迎角同定）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ① D. Wada, Y. Sugimoto, H. Murayama, H. Igawa and T. Nakamura, Investigation of inverse analysis approach and neural network approach for distributed load identification using distributed strains, Trans. Jpn. Soc. Aeronaut. Space Soc., 査読有, vol.62, No.3, 2019, pp. 151-161

〔学会発表〕（計 10 件）

- ① M. Tamayama, M. Maki, D. Wada, Wind tunnel tests of load control technology applied to a high aspect ratio wing, The 18th International Symposium on Aerospace Technology & Manufacturing Process, 2018
- ② D. Wada, Distributed optical fiber sensing technique and its monitoring data processing for aircraft structure, The Sensors & Actuators Congress, 2018
- ③ 和田大地、玉山雅人、光ファイバセンサによるひずみ分布計測と機械学習を用いた揚力分布同定技術の風洞試験実証、第 60 回構造強度に関する講演会、2018
- ④ M. Tamayama, M. Maki, D. Wada, Lift distribution control for realization of high aspect ratio wings, International Conference in Nonlinear Problems in Aviation and Aerospace World Congress, 2018
- ⑤ D. Wada, M. Tamayama and M. Maki, Strain distribution monitoring for a high-aspect-ratio wing in a wind-tunnel test by using optical frequency domain reflectometry and a long-length FBG, The 7th Asia-Pacific Optical Sensors Conference, 2018
- ⑥ 和田大地、分布型光ファイバセンシングシステムを活用した航空機の構造モニタリング技術について、2018 年電子情報通信学会総合大会、2018
- ⑦ 玉山雅人、牧緑、和田大地、複数舵面角度分布により変化する高アスペクト比翼に作用する空気力の実験的把握、第 27 回 交通・物流部門大会、2018
- ⑧ 玉山雅人、牧緑、和田大地、複数舵面を有する高アスペクト比航空機翼の風洞試験、第 26 回 交通・物流部門大会、2017
- ⑨ 玉山雅人、牧緑、和田大地、葛西時雄、有菌仁、武田真一、原栄一、荷重制御翼模型風洞試験の紹介、第 55 回飛行機シンポジウム、2017
- ⑩ 和田大地、杉本洋平、光ファイバセンサによる高密度ひずみ計測と機械学習を用いた揚力分布同定技術の検討、第 59 回構造強度に関する講演会、2017

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：杉本洋平、Patricia Fernandez、葛西時雄、村山英晶、井川寛隆

ローマ字氏名：Yohei Sugimoto, Patricia Fernandez, Tokio Kasai, Hideaki Murayama, Hirotaka Igawa

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。