

審査の結果の要旨

氏名 伊藤 悠 策

修士（工学）伊藤悠策 提出の論文は、「埋め込み光ファイバセンサを用いた複合材成形モニタリングおよびモデリングに関する研究」と題し、7章よりなる。

先進複合材料は、成形・製造過程において、複合材内部は温度変化、樹脂の化学反応および治具等による拘束等、様々な要因によって複雑なひずみ状態となり、それらのひずみが成形後の強度や材料特性に影響を与えることが懸念されている。また成形後の残留変形は、強度を大きく低下させる要因である。以上のことから、航空機等の構造信頼性を確保する上で、複合材構造物の成形時品質保証技術の確立が非常に重要な課題となっている。一方、光ファイバセンサの発展は著しく、ファイバに沿ったひずみ・温度のセンチメートルオーダーの分布計測も可能となってきている。本研究では、成形時の内部ひずみ状態を計測するために、分布型光ファイバセンサを用いたリアルタイム成形モニタリング手法を提案し、また得られた計測結果を成形モデリング手法によって検証することで、大型および複雑な複合材構造に適用可能な成形モニタリング技術の提案と実証を行うことを目的としている。

第1章は「序論」であり、研究の背景についてまとめ、複合材成形に関する従来研究の課題を総括し、本研究の目的と論文構成について述べている。

第2章は「計測原理」であり、分布型光ファイバセンサシステムの概要と計測原理を述べるとともに、複合材成形に用いる際の留意点について述べている。

第3章は「分布型光ファイバセンサを用いた成形モニタリング」であり、分布型光ファイバセンサを用いて、複合材成形時の内部状態がリアルタイムに計測可能であることを検証している。成形後の品質に大きな影響を与える硬化収縮ひずみおよび熱収縮ひずみを各々リアルタイムに把握できることを実証するとともに、昇温速度の違いによって材料内部には硬化収縮の開始時期および材料の硬化収縮ひずみ量に違いが見られることを示している。これら実験結果は、複合材と埋め込まれた光ファイバを模擬した有限要素解析による数値解析結果とも良く一致している。また、面内温度分布を有する平板を用いて、成形ひずみの面内ひずみ分布をリアルタイムに計測できることを示している。

第4章は「温度ひずみ切り分け手法を用いた成形モニタリング」であり、ひずみ・温度を切り分けて同時に分布計測できる、光ファイバハイブリッド分布計測システムを、複合材の成形モニタリングに適用している。まず、ひずみ・温度同時分布計測に必要なパラメータを測定する基礎実験を行い、計測精度に関する検討を行っている。次に、面内に均一な温度分布を持つ平板と面内温度分布を持つ平板の両方について、複合材の成形モニタリング中のひずみ・温度同時分布計測を行い、別途に多点ひずみ、温度計測が行えるFBGセンサおよび熱電対によって得られた結果と比較することで、分布モニタリングシステムの精度や信頼性について検討を行っている。

第5章は「厚板における硬化過程のひずみ分布の計測と解析」であり、厚板における板厚方向温度分布が硬化収縮過程の複雑なひずみ分布に及ぼす影響を評価している。板厚方向の昇温速度および保持温度に分布がある場合には、厚板面内ではひずみ履歴がほとんど均一であるが、板

厚方向においては、面内には同じ位置であっても硬化収縮タイミングの相違や硬化過程の最終的な収縮ひずみ量に分布が生じることが示された。また、既存の弾性体成形モデル、及び、提案した粘弾性成形モデルを用いて、実験で得られた収縮ひずみ分布を詳細に解析した。その結果、硬化収縮過程における内部ひずみ状態を詳細に解析するためには粘弾性モデルを用いることが必要であり、その有効性を明らかにしている。

第6章は「厚板における冷却過程のひずみ分布の計測と解析」であり、前章と同じく、厚板試験片の板厚方向温度分布を生じさせ、冷却過程における収縮ひずみの計測を行っている。その結果、熱収縮ひずみに分布が生じることが明らかにするとともに、試験板厚方向に繊維含有率も分布することにより試験片板厚方向に熱膨張係数が分布することを明らかにした。これらのデータをもとに板厚方向の温度および炭素繊維含有率を変化させた有限要素解析を行った結果、温度分布と炭素繊維含有率分布の両方を加味することで精度良く厚板内部のひずみ状態を解析できること、及び、成形後に見られる試験片の残留変形も板厚方向の温度分布と炭素繊維含有率分布により生じていることを明らかにしている。

第7章は「結論」であり、本研究で得られた結論をまとめ、今後の展望と課題を示している。

以上本論文では、複合材成形時の内部ひずみ状態を計測するための分布型光ファイバセンサを用いたリアルタイム成形モニタリング手法を提案し、実験的に有効性を明らかにするとともに、実験により明らかになった諸因子を考慮した成形解析モデルを用いて計測結果を説明できることを示している。本研究は、今後、より大型および複雑な実用的な複合材構造に適用可能な成形モニタリング技術としての活用が期待される。これらの研究成果は軽量航空宇宙複合材構造の成形・製造科学、複合材料工学、非破壊評価工学の新しい発展に大いに寄与する有益な知見を与えている。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。