

未来社会創造事業 探索加速型
「持続可能な社会の実現」領域
終了報告書(探索研究期間)

令和3年度 研究開発終了報告書

令和2年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：長野 方星]

[所属 名古屋大学 大学院工学研究科研究科・教授]

[研究開発課題名：熱伝搬挙動の高感度計測に基づくマイクロ劣化評価]

実施期間：令和2年11月1日～令和4年3月31日

§ 1. 研究実施体制

(1)「長野」グループ(名古屋大学)

- ① 研究開発代表者: 長野 方星 (名古屋学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・装置開発
 - ・シミュレーション

(2)「長野」グループ(名古屋大学)

- ① 主たる共同研究者: 山中 淳彦 (名古屋学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・試料製作
 - ・樹脂特性評価

(3)「長野」グループ(名古屋大学)

- ③ 主たる共同研究者: 入澤 寿平 (名古屋学大学院工学研究科、助教)
- ④ 研究項目
 - ・試料製作
 - ・フラグメンテーション特性評価

§ 2. 研究実施の概要

本研究開発は、複合材料の分子スケールの疲労・劣化が「熱伝搬挙動の変化」に現れることに着目し、独自のミクロスケール赤外動的計測手法による熱物性の高分解能・高感度計測に基づくミクロな疲労・劣化評価手法を提案する。初期の繊維の損傷、繊維/樹脂間の界面剥離、トランスバースクラック、層間剥離、樹脂劣化に伴う熱物性（熱拡散率、界面熱抵抗、比熱）変化を高分解能、高感度で非接触で計測するためのミクロスケール赤外計測システムを構築し、複合材料の面内熱拡散率分布、厚さ方向熱拡散率を計測することで各疲労・劣化モードと熱物性値の微小変化との関係を明らかにし、熱伝搬挙動による非破壊・非接触なミクロスケール疲労・劣化評価手法を確立する。探索加速型実施期間においては、研究代表者の独自技術であるロックインサーモグラフィ式周期加熱システムの高感度化を図り、令和元年度採択者より提供された樹脂試料、熱硬化性炭素系複合材料（ $\pm 45^\circ$ 積層材および $0/90^\circ$ 積層材）に種々の疲労を段階的に与えた試料に対して、熱物性測定を行い、疲労と熱拡散率の変化の関係を調べた。

まず比較的大きな負荷および変形を与えたポリアミド樹脂（PA6）、複合材料に対して本測定の有効性検証を行った。PA6 に対しては、5%~20%の変位を付加した試料を準備し、熱拡散率と比熱測定を行った。熱拡散率に関しては、引張ひずみ増大に伴い最大 15%の熱拡散率低下が確認された。また、比熱に関しては引張ひずみ増大に伴い最大で 50%の増大が確認された。これらの変化はボイド生成に伴う熱伝搬の阻害や、自由体積の増加により分子の自由度が増大しているためと考えられる。次に、 $\pm 45^\circ$ 積層複合材料に対しては、強度の 30%、50%の最大荷重を 10^5 回負荷した試料を準備し、面内および厚さ方向の熱拡散率を評価した。その結果、負荷荷重増大に伴う繊維配向角の変化が熱拡散率に現れる傾向や、樹脂でのクラック発生に伴う熱拡散率低下など顕著な変化が確認され、本手法の有効性が明らかとなっ

た。

次に比較的小さな負荷を与えた 0/90°積層複合材に対して面内方向熱拡散率測定，厚み方向熱拡散率測定を行った。破断荷重の 50%の負荷を 0~10⁶ 回与えた熱硬化性 CFRP 試料（共通サンプル 1），クラック進展荷重の 50%の負荷を 0~10⁵ 回与えた熱可塑性 CFRP 試料（共通サンプル 2），クラック進展荷重の 80%の負荷を 0~10⁵ 回与えた熱硬化性 CFRP 試料（共通サンプル 3）について測定を行った。面内方向熱拡散率については，サイクル数増大による絶対値の減少は確認できなかった。これは補強用に取り付けている最外層（0°層）の繊維方向の熱伝導が熱拡散の 90%を占めており，本来損傷が生じている内部 90°層の熱拡散率の変化が明確に検知できなかったのが要因である。厚さ方向の熱拡散率については，サイクル数増大に伴う，熱拡散率分布の増大や局所的な低下を確認した。これは局所的なボイドやマイクロクラックの発生，進展によるものと考えられる。また，ミクロスケールにおける厚さ方向熱拡散率測定においては，負荷サイクル数の増大に伴い 5~15%の熱拡散率低下が確認された。これにより，従来の顕微鏡等で確認できない疲労に対しても熱拡散率の変化で評価可能であり，本提案の有効性を示すことができた。また，疲労劣化が熱拡散率だけではなく比熱にも影響している可能性があるため，非破壊，非接触で比熱分布を計測する手法を新たに考案し，共通サンプル 2 に対して適用したところ，負荷サイクル数増大に伴う比熱の増大傾向が確認された。