

## 審査の結果の要旨

氏名 松村 功德

可視光を通す材料を複合化し、光学特性を犠牲にせず他の特性を付与したオプティカル複合材料は、単体材料では得られない材料特性の組み合わせを持つ材料として期待されている。現在、実用的に十分な光透過率を持つ複合材料は得られているが、散乱されずに材料中を透過する光を反映する「透明性」に対する評価が十分でないという新たな問題が生じている。本論文はオプティカル複合材料の透明性を定量的に評価するため新たな手法を提案したものであり、全7章からなる。

第1章は序論であり、オプティカル複合材料の研究分野で透明性の評価手法を確立することが新たな材料開発には必要であることを、従来の研究成果をもとに明らかにし、本論文の目的を明確にするとともに、オプティカル複合材料で求められている透明性評価への期待を述べている。

第2章では、複合材料中での光散乱の観察と透過率測定を通して複合材料の透明性評価の必要性を実験的に示した。まず、複合材料の透明性低下の原因を明らかにするために、論文全体で用いるガラス粒子分散エポキシ複合材料の製造方法を決定した。マトリックスとの屈折率差が  $10^{-2}$  オーダーで直径  $1.6 \mu\text{m}$  の球状ガラス粒子を体積率 0.012 までの範囲で変化させて複合材料を製作した。複合材料を台紙に直接置いた場合、エポキシ単体、複合材料ともに文字が明瞭に読み取れるが、複合材料を台紙から離すと複合材料では文字がぼやけて見えることを示した。この現象は複合材料中で光は空間的な広がりを伴って進むために生じることをレーザー照射による複合材料中を伝播する光の様子や透過光のパターンを観察することにより示した。従来から透過率の評価に用いられている全透過率と直線透過率の結果を、観察した複合材料中の光散乱をもとに考察し、透明性評価には透過光量よりも材料中での散乱過程を知る必要があるという結論を得た。

第3章では、複合材料中での光散乱挙動を知るために、材料中での光散乱シミュレーションを行った。Maxwell 方程式に基づく時間領域有限要素法を用い、円形断面を持つ繊維状材料が複合化された二次元モデルを用い、材料中の局所的な光の振幅・位相分布を求めた。複合材料中を進む光は繊維に散乱され、局所的な振幅と位相の乱れが生じることを明らかにした。また、繊維に散乱された光は特定の方向に高い振幅を示し、別の繊維に散乱されると散乱光の方向が変化することも明らかにした。これらの結果より、複合材料中の光散乱は繊維の数や分布により光の経路と位相の変化を生じ、光は時間的に一様でない時間的な広がりの現象が生じることを確認した。

第4章では、ピコ秒パルスを利用した光経路の評価手法を述べた。ピコ秒パルスを用いた安定性の良い光経路検出手法を考案した。半値幅が  $40 \text{ ps}$  の半導体パルスレーザーを複合材料に照射し、サンプリング型ストリークカメラを用いて透過パルス波形の測定を行った。複合材料を透過した光は粒子体積率の増加に伴い強度が低下するとともにパルス波形の変化が生じた。波形変化の指標として、透過波形のピーク強度  $\langle I \rangle$  と、規格化半値幅  $\langle \Delta t \rangle_{\text{FWHM}}$  を導入し、材料中を散乱

されずに直進した光は $\langle I \rangle$ を用いて定量的に評価でき、散乱の大小は $\langle \Delta t \rangle_{FWHM}$ が指標として利用できることを示した。

第5章では、空間分解型ピコ秒パルス法による光経路の定量的評価を行った。まず、時間的な広がりや空間的な広がりを同時に計測する手法として、空間分解型ピコ秒パルス法を提案した。第4章で用いたピコ秒パルス法にアパーチャーを加え、直線的に透過する光 $I^A(t)$ と広がって透過する光 $I^B(t)$ を分離して求めた。複合材料を透過した光では、 $I_A(t)$ が低下し、 $I^B(t)$ が増加した。また、透過パルス光の $I^A(t)$ はピーク位置がほぼ一定であるのに対し、 $I^B(t)$ は粒子体積率の増加に伴って数10 psのピーク位置の遅れがみられた。これらの結果から、材料中で広がりを生じた光は散乱の増加に伴い試料厚さのオーダーで経路が増加していることを定量的に明らかにした。

第6章では、複合材料を透過した光の位相変化を測定した。干渉計を時間的に変動させる手法を開発し、複合材料に平面波としたHe-Neレーザーを入射させ、透過光の位相を求めた。複合材料を透過した波面は、光軸部分が遅れた不均一なカップ型形状を示し、粒子体積率が大きくなるとカップの凸部が大きくなり、波形中央部分と周辺部分の位相差が波長オーダーで増加することを明らかにした。また、この位相分布が材料中での光散乱に起因していることを示した。透過波面位相分布測定法により、従来は困難であったオプティカル複合材料中の光散乱による位相変化の分布を評価できることを初めて示した。

第7章は総括であり、本論文の結果をまとめている。要するに、本論文は、ガラス粒子分散オプティカル複合材料中で生じる光散乱を従来とは異なる新たな手法を持って明らかにし、その手法を透明性の評価に利用する有効性を実験的に検証したものである。

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。