

## 審査の結果の要旨

氏名 長沼 環

本論文は「ガラス粒子分散エポキシ光学複合材料の開発」と題し、光透過性を持つガラス粒子分散エポキシ複合材料の光特性に及ぼす構成素材の影響を調べ、高光透過性を持つ複合材料製造の指針を示したものであり、全7章より構成されている。

第1章は序論であり、光透過機能を持つ複合材料の従来の研究を整理し、複合材料の光透過性に及ぼす材料内部での散乱要因を詳細に検討した。特に、粒子寸法が入射光波長より十分大きな幾何光学領域で光透過率の高い材料を得るために従来から明らかになっている事実と種々の条件を整理した。その結果をもとに、本論文の研究の必要性と位置付けを述べている。

第2章では、本論文を通して用いるガラス粒子分散エポキシ複合材料の複合化プロセスを決定した。平均粒径が 26～85  $\mu\text{m}$  の不規則形状ガラス粒子分散エポキシ複合材料を種々のプロセス条件で作製し、マトリックス中でガラス粒子が凝集せずに均一に分散し、本論文中で用いる複合材料を得るための最適プロセス条件を決定した。

第3章では、光と複合材料中に含まれる散乱源の相互作用を調べるために、複合材料にレーザー光を入射し、入射方向に対して垂直と平行方向に空間的に広がる散乱の様子を 298～352 K の温度範囲で直接観察した。さらに、これらの透過光における空間的広がりを定量的に測定した。その結果から、透過光の空間的広がりに及ぼす光散乱要因として、粒子体積率、粒子寸法、素材間の屈折率差の影響を定量的に求め、熱・残留応力による屈折率差の影響を実証した。これらの結果を総合的に考察することにより、透過光の空間的広がりを抑え光透過率を高めるためには、熱・残留応力による屈折率差の影響を考慮すべきであることを明らかにした。

第4章では、複合材料を構成するガラス粒子とエポキシマトリックス間の屈折率差を波長や温度により変化させたときの光透過率を詳しく調べた。このとき、入射光の波長を 400～800 nm とし、298～373 K に試料の温度を上昇させ、素材間の屈折率差を  $-0.02$ ～ $+0.005$  と変化させた。その結果を熱・残留応力の影響を受けない粒子分散溶液の光透過率と比較することにより、複合材料内の熱・残留応力による等価屈折率変化は  $10^{-3}$  オーダーであることを明らかにし、それをもとに、複合材料の光透過率を最大にするためには、熱・残留応力による屈折率変化を考慮し、複合化後に屈折率差がゼロとなる素材を選択することが素材選択の指針であることを示した。さらに、球状粒子

による熱応力の局所屈折率変化の影響や残留応力の影響を考慮した素材選択の最適条件についての指針を明らかにした。

第5章では、粒子分散オプティカル複合材料の光透過率に及ぼす粒子寸法、粒子体積率の影響を調べた。この章では、粒子体積率の効果を明らかにするために不規則形状ガラス粒子をエポキシマトリックス中に体積率 0.01～40 vol%の広い範囲で変化させた複合材料を用いた。複合材料単位体積中に含まれる全ての粒子の表面積の和を示す相対総表面積 $\langle S \rangle$ を導入することにより、粒子体積率と粒子寸法が光透過率に与える影響を統一的に解釈できることを実験的に示した。この結果より、複合材料の光透過率をさらに大きくするためには、 $\langle S \rangle$ を小さくするように粒子寸法を大きく、球状に近い形状の粒子を選択することが粒子形態選択の指針であることを明らかにした。また、幾何光学領域である粒径数十マイクロメートルオーダーの粒子を用いると光透過率を最も大きくできることを明らかにした。さらに、得られた粒子分散複合材料の光透過率の波長依存性における測定値を説明可能である光透過率の実験式を求めた。

第6章は第5章までに得られた素材選択の指針及び粒子形態の指針を検証している。最適な球状ガラス粒子を用いた複合材料を第2章で決定した方法で作製し、波長領域 400～800 nm での光透過率を調べた。粒子体積率は実用的な観点から 10～40 vol%とした複合材料を用いている。最適な素材選択を行った場合には粒子体積率が 10 vol%で波長 400 nm においてマトリックス単体の光透過率の 80%近い直線透過率を持つ粒子分散オプティカル複合材料を作製することに成功している。

第7章は総括であり、本論文の結果を総括している。

以上を要するに、本論文ではガラス粒子分散エポキシ複合材料の光透過率に及ぼす光散乱要因の影響を調べることにより、大きな光透過率をもつ粒子分散オプティカル複合材料を作製するための指針を示したものであり、複合材料工学に関する学問分野の進歩発展に寄与するところがおおきい。

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。