

# [B14]レーザ加工における樹脂の光学特性値測定

知能機械工学科 山田研究室

0214105 吉川直人

## 1. 緒言

樹脂製品は、完成品が出来るまでの間に様々な加工が行われ、最終的には数種類の部品の複合体となる場合が多い。その際、樹脂部品間の接合は不可欠であるが、近年レーザを用いた樹脂溶着技術が注目を浴びている。レーザ溶着の原理は、レーザ光の発振波長に対して透過性の高い部材(透過材)と吸収性の高い部材(吸収材)を重ね合わせ、透過材側からレーザを照射して両樹脂の接触面を溶融させることで、冷却後の高い接合強度と見た目が非常に良好な接合を実現している。しかし、透過材の結晶性が高い場合や、機械的特性を向上させるための補強材が添加されている場合、透過材内でレーザ光が散乱するため、適用できる透過材の部材厚さに制限が生じる。また、接触面の僅かな隙間(10 $\mu$ m程度)がある場合は、温度の不均一性により気泡が生じやすく、接合強度の低下や表面性の悪化となる。上記の現象を理解し、問題解決をするための有効な手段として、樹脂内の光の伝播の様子と温度分布を解析することが考えられる。しかし、現在行われている伝熱解析は、透過材が散乱のない透明樹脂である場合に限定されている。

以上の背景により、本研究では光伝播と伝熱を組み合わせた解析を目的とした。その際、光伝播を解析するときに樹脂材料の光学特性値が必要となる。そのため先ず、未知の樹脂材料についての光学測定値測定法を提言し、その測定結果について述べる。

## 2. 光学特性値測定法

樹脂内での光の伝播を理解する上で、基本となる光学特性値は、吸収係数 $\mu_a$ 、散乱係数 $\mu_s$ 、異方散乱パラメータ $g$ 、屈折率 $n$ である。 $g$ は単一散乱時の光の散乱パターンの異方性を表す値である。

モンテカルロ法によって上記の光学特性値から全透過率 $T$ 、全反射率 $R$ 、非散乱透過率(平行光透過率) $T_t$ を求めることが出来るが、逆に測定した $T$ 、 $R$ 、 $T_t$ からモンテカルロ法を用いて間接的に光学特性値を求める手法を逆

モンテカルロ法という。本研究では分光光度計(UV-3150)及び積分球(ISR-3100,島津製作所)を用いることにより、 $T$ 、 $R$ 、 $T_t$ を測定し、また任意の $\mu_a$ 、 $\mu_s$ 、 $g$ に対してモンテカルロシミュレーションを行うことで、 $T$ 、 $R$ 、 $T_t$ を求め、測定値と一致させることで、測定試料の $\mu_a$ 、 $\mu_s$ 、 $g$ を決定した。

## 3. 測定結果と考察

### 3.1 測定試料の選択

樹脂内の散乱の要因として、樹脂自体の結晶性によるものと添加される補強材によるものとがある。結晶性を散乱因子とした場合、結晶化度により融点を始め熱伝導率、密度などの物性値が変化し、また溶融に伴い可逆的に結晶が消失するため、伝熱解析時に取り扱いが難しくなる。非晶性樹脂に補強材を添加させた場合、溶融に伴う物性値の変化が小さく、解析面で有利となる。本研究では、非晶性透明樹脂であるポリカーボネート(PC)に散乱体としてガラスファイバー(GF)を混入させたものを測定対象とした。測定試料としては、GFが含まれていないPC(PC GF0%と記載する)とその中にGFを10%と30%混入させたもの(PCGF10%、PCGF30%)の3パターンの樹脂ペレットを用意し、直径22mm×厚さ1mmの円板試料を射出成形により作製した。測定時には各試料を3枚ずつ用意し、GFの配向性を考慮して光照射箇所を移動させた測定も行い、各測定値とも計6箇所の測定値の平均とした。

### 3.2 屈折率測定

波長 $\lambda = 808\text{nm}$ におけるPCの屈折率 $n$ は分光エリストメトリー法により $\lambda = 350\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ における $n$ の波長分散を測定し、式(1)のCauchyの分散式で近似したところ、係数 $A = 1.5495$ 、 $B = 4.055 \times 10^{-3}$ 、 $C = 1.403 \times 10^{-3}$ となり、 $n = 1.56$ と算出された。式(1)の $\lambda$ の単位は( $\mu\text{m}$ )である。

$$n = A + B / \lambda^2 + C / \lambda^4 \quad (1)$$

### 4.3 逆モンテカルロ法による測定と考察

波長808nmでの $T$ 、 $R$ 、 $T_t$ の測定結果を図2に示す。PC

GF0%は  $T$  と  $R$  の和が、99.9%であるため吸収はなく、また  $T$ 、 $T_t$  がほぼ一致しているため散乱もないと考え、 $\mu_a$ 、 $\mu_s$  が共に0であるとした。GF0%とGF10%で  $R$  が変化していない原因は、散乱の増加による、空気 - 試料表面の境界面における裏面正反射光の減少と拡散反射光の増加がほぼ一致したからであると考えられる。GF30%において  $T_t$  は13%に減少して強く散乱しているが、 $T$  は73%と高い値を維持しており、樹脂溶着を行う場合、60%の散乱透過光がどの程度の影響を及ぼしているのか知る必要があることを示した。

逆モンテカルロ法による測定結果を図2に示す。散乱体であるGFは  $g = 0.91 \pm 0.01$  と強い前方散乱の結果が得られた。 $\mu_a$  の測定結果に関しては、GFには吸収はないため、この結果は妥当なものであるといえる。また、散乱体の増加に対して  $\mu_s$  がほぼ比例的に増加していることが確認できた。

図3と図4は、逆モンテカルロ法の計算途中の結果である。図3の散乱の弱いGF10%は、 $n$  を0.02変化させただけで計算結果が大きく変化することがわかる。これは弱散乱試料に対しては試料表面反射率の影響が強く表れ、その表面反射率が  $n$  と関係していることが原因である。同様に弱散乱体の光学特性値の測定は、様々な測定値の小さな変化に敏感に反応することが明らかとなった。

## 5 結言

試料の全透過率、全反射率、非散乱透過率、屈折率を測定することにより、光の伝播を解析するために必要な光学特性値である吸収係数、散乱係数、異方散乱パラメータを測定する手法を提案した。

散乱体の増加により散乱係数はほぼ比例的に増加していることが確認できた。

今後は、散乱、吸収が共にある試料についての検討も進めていきたい。

## 6 参考文献

- [1] 山田幸生・高橋ゆかり：「医学・生物学における光と生体組織の相互作用および光のイメージング」：機械技術研究所所内報 Vol.49 1995, No.1
- [2] 間下友加里：「爪の光学特性値測定」：平成15年度電気通信大学卒業論文 (2004)
- [3] Lihong Wang, Ph. D. Steven L. Jacques, Ph. D.: "Monte Carlo Modeling of Light Transport in Multi-layered Tissues in Standard C", Laser Biology Research Laboratory, University of Texas M. D. Anderson Cancer Center (1992)

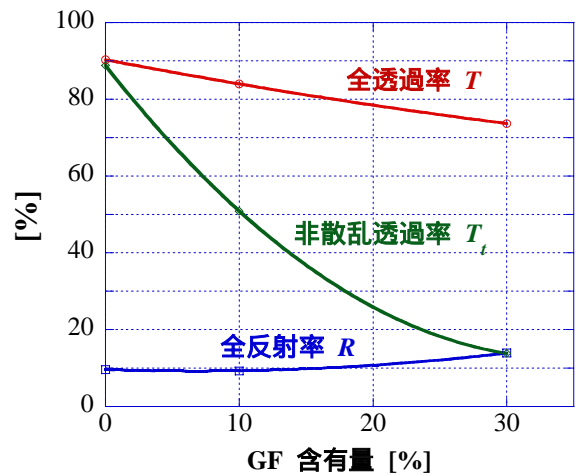


図1 分光光度計，積分球による測定結果

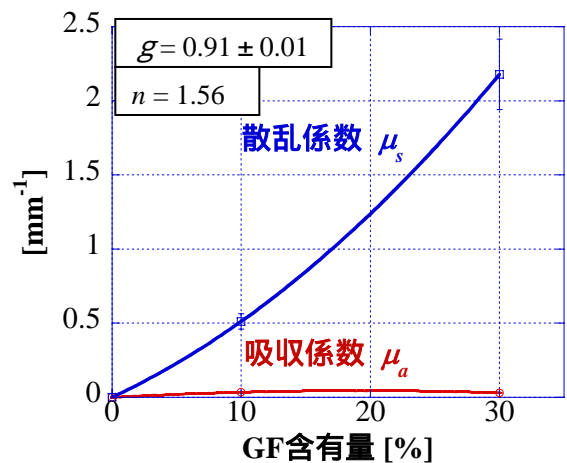


図2 光学特性値測定結果

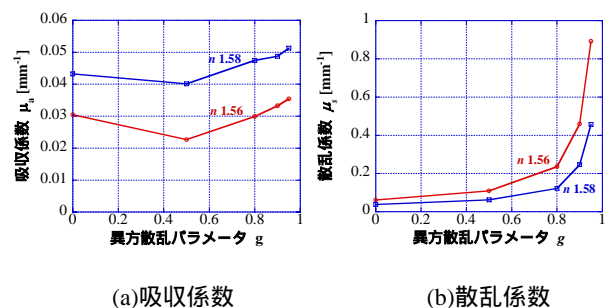


図3 屈折率の違いによる  $\mu_a$ 、 $\mu_s$  の変化 (PCGF10%)

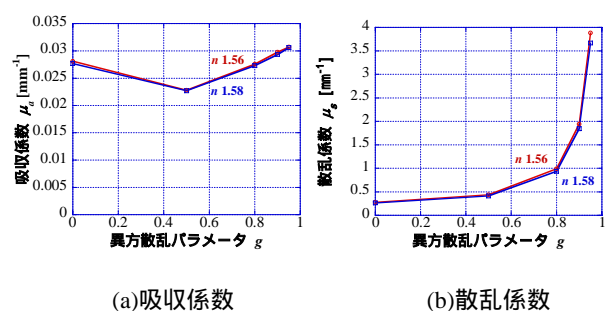


図4 屈折率の違いによる  $\mu_a$ 、 $\mu_s$  の変化 (PCGF30%)