

インクジェット型AMにおける積層界面の光学的性質

Optical properties of stacked interface in inkjet type AM

山崎 淳¹, 古宇田 光¹, 松本 宗久², 菊地 健一³

Jun YAMAZAKI, Hikaru KOUTA, Munehisa MATSUMOTO and Kenichi KIKUCHI

¹東京大学, ²高エネルギー加速器研究機構, ³丸紅情報システムズ株式会社

The University of Tokyo, High Energy Accelerator Research Organization, MARUBENI INFORMATION SYSTEMS CO., LTD.

【Extended Abstract】

1.背景・研究手法

インクジェット型のAM(Additive Manufacturing;一般的には3D printerと呼ばれる)を使い透明樹脂材で3D造形すると、積層面に対して垂直軸に3D造形品を見た場合には透明に見える反面(図.1 左上図),積層面に直交する他の二面に垂直な方向から3D造形品を見た場合、曇って見える現象が起こることが一般的に知られている(図.1 右上図). この現象のため、透明樹脂内部の構造体が鮮明に見えないので、3D造形品の視覚的な表現が大きく制限されてしまうという問題が発生している. この現象を回避する3D造形方法として、3D造形品をAMの積層基板平面から傾けて行う方法がある^{1),2)}. 例えば立方体の3D造形品をこの基板から、水平垂直軸にそれぞれ45度傾けて積層させると各面に対して垂直に見た場合、透明樹脂内部の構造体が鮮明に見えることは、既に報告済みである(図.1 下図)²⁾.

この曇り現象について光学原理に基づいて調べたので本発表で報告する. この現象の支配的な原因を調べるために、He-Neレーザとセナルモン光学系を基本構成として、回折現象、複屈折(光弾性)、スネルの法則・フレネルの公式を使い透過・多重反射などの効果を調べた. その結果、この現象は屈折率差による多重反射が支配的であるとわかった. 次に屈折現象に焦点を当てた光学測定を行った. 具体的には、エリプソメトリ^{3),4)}による屈折率測定、2D複屈折画像測定を行い、あわせてスネルの法則、フレネルの公式⁴⁾をもとに実体顕微鏡観察による光路の画像を取得し解析を行った. その結果、3D造形時にバルクと界面の屈折率に差が生じて起こる多重反射が、曇りの主な原因であることがわかった. そのほか回折現象もあるが、界面と光軸のなす角を大きくした場合、この効果も視覚的には影響されないことがわかった(図.1 下図, 図.2 下図).

測定から得られた積層界面の光学的性質を理論的に検証するために、回折現象、フレネル公式と光散乱⁵⁾を取り入れた光線行列解析における光学シミュレーションを行った. 光線行列解析は、シンプレクティック条件を満たす行列を利用しているために、光路追跡において誤差の増大を回避することができる. その結果、界面の多重反射を再現できたとともに、3D造形品を透過したレーザー光の分布は、ビームスポットとその周辺に光散乱に起因するレーザー光の分布を再現することができた(図3).

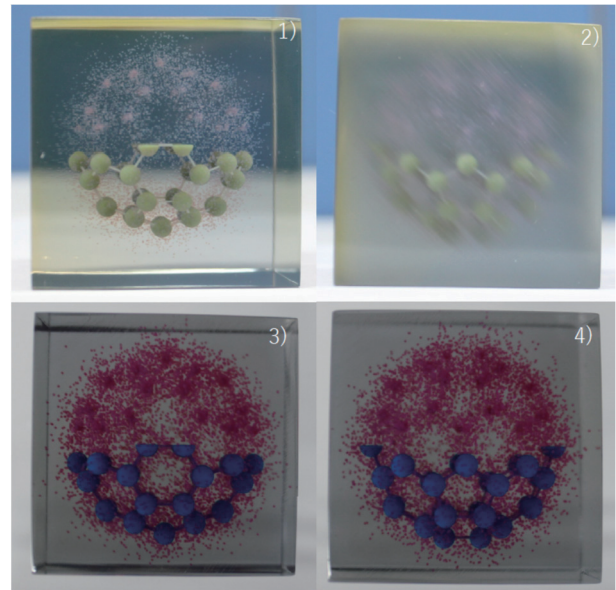


図1. フラーレン(C_{60})の3D造形品²⁾. 上: フラーレン分子構造の電子雲モデル(従来型). 1)は積層方向から見た図で、反対側がはっきり見える. 2)は積層方向に垂直な平面から見た図であり、光の多重反射により白濁して見える. 下図: フラーレン分子電子雲モデル(改良版). どの面の垂直方向から見ても鮮明に内部が見えるように3Dプリントを行った. 3)は、積層方向から見た3Dプリント図である. 4)は、3Dプリントの側面図である.

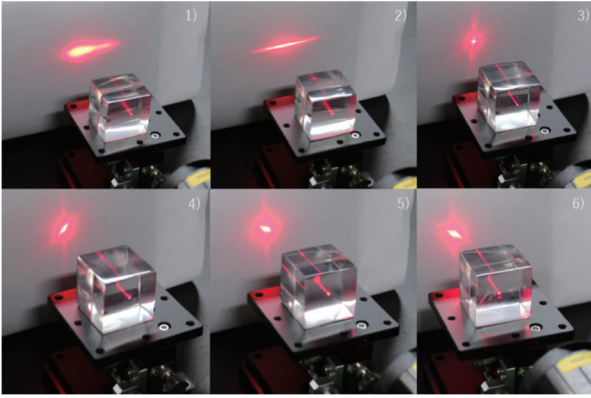


図 2. 透明樹脂の3D造形品にレーザー光が透過した後の像。透明樹脂の3D造形品にレーザー光をあてて透過光の像を示す。1)-3)が平行モデル,4)-6)が傾斜モデル。1)X軸(プリンタヘッド移動方向)からレーザー光をあてた透過光の像。2)Y軸((プリンタヘッドのローラー軸方向)からレーザー光をあてた透過光の像。3)Z軸(積層軸)からレーザー光をあてた透過光の像。4)-6)各面に垂直にレーザー光をあてた透過光の像。

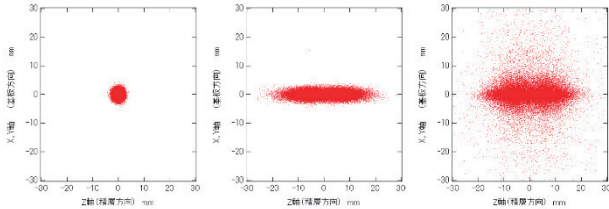


図 3. 透明樹脂の3D造形品にレーザー光が透過した後の光学シミュレーションの像。光線行列,フレネル公式と光散乱の効果を入れたシミュレーション結果を示す。左が初期分布図。真中図が $1\mu\text{m}$ の散乱体(散乱体数 \times 散乱長 $=1.6\mu\text{m}$)を仮定した透過光の像。右図が $1\mu\text{m}$ の散乱体(散乱体数 \times 散乱長 $=1600\mu\text{m}$)を仮定した透過光の像。サンプルの厚さ,端面とスクリーンまでの距離(Drift)はそれぞれ 30mm とした。

2. 結論

本報告の結論として,インクジェット型 AM で3D造形した積層界面と光軸のなす角が大きいほど,バルク・界面の屈折率差による多重反射の影響を避けることができた。また,散乱,複屈折,回折現象などの効果は,透過した光の像をゆがめるほどではなかった。

3. 謝辞

本技術は,文部科学省 HPCI 戦略プログラム分野 2「新物質・エネルギー創成」,ポスト「京」重点課題(7)「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成」,「元素戦略プロジェクト<拠点形成型>基盤的計算機シミュレーション手法の検討」の研究活動の一環として得られた成果である。

参考文献

- 1) J.Yamazaki et.al, Patent application number, Special application 2018-544973(JP) [in Japanese], 16/341,028(US), 11201903186V(SG).
- 2) J.Yamazaki and H.Kouta, “Visualization of physical quantities in space using Additive Manufacturing and future application of Voxel-based 3D Data Format FAV”, Journal of the Imaging Society of Japan, Imaging Today 240, vol.58 No.4, 397-405, 2019.
- 3) Toshiyasu Tadokoro, “Spectroscopic Ellipsometry : Fundamentals and Applications”, Journal of the Imaging Society of Japan, Imaging Today 193, vol.50 No.5, 439-447, 2019.
- 4) Max Born, Emil Wolf, et al, “Principles of Optics 7th”, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- 5) Takamitsu Okumura et al, “Highly-efficient backlight for liquid crystal display having no optical films”, APPLIED PHYSICS LETTERS. vol.83, 2515, 2003.