

要旨

光造形法において、中空・オーバーハング形状を加工する場合、スライスピッチと樹脂の単位硬化形状の深さが異なることが、面の精度に悪影響を与える。本研究では、この問題を解決するため、三次元オフセット処理によりSTLデータを修正する方法を提案する。

1. はじめに

光造形法は、光硬化性樹脂を立体の断面形状に硬化させた硬化層を積層することによって、三次元オブジェクトを造形する。造形プロセスにおいて、スライスピッチと樹脂の硬化形状の深さが異なるため、中空・オーバーハング形状において、造形物の精度に悪影響を与えることがある。本研究では、この問題を解決するため、樹脂の単位硬化形状を考慮した三次元オフセット処理法の必要性を指摘し、STLデータにおける三次元オフセット処理法を提案する。

2. 光造形法オフセットの問題点

光造形法の硬化層の積層プロセスは、一層前の硬化層をスライスピッチだけ液体の光硬化性樹脂の中に沈め、レーザを照射して次の層を硬化させる。この作業を繰り返すことにより、三次元オブジェクトの造形が可能となる。この際、スライスピッチよりもレーザによる硬化深さが大きくなるため、中空形状やオーバーハング形状を加工しようとする場合、単位硬化形状の下部が、要求形状からはみ出して余計に硬化する過硬化部が生成されてしまう(図1)。

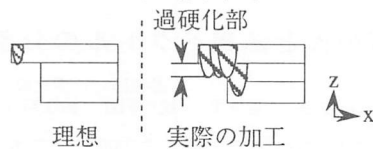


図1. スライスピッチと硬化深さ

従来行われてきた、スライスデータに対する、硬化ラインの幅の半径分内側にオフセットする補正[1]では、上記の過硬化部をなくすことは出来ない(図2)。そこで、本研究では、過硬化部の生成を防ぐため、三次元的な単位硬化形状を考慮し、オフセット面を生成することによってSTLデータを修正する方法を提案する。

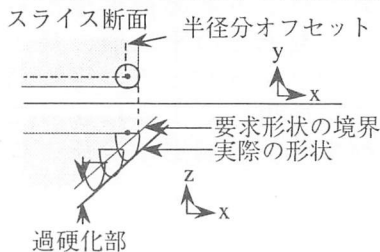


図2. 従来の方法

3. 三次元オフセット法

本研究で提案する三次元オフセット処理の概念は、過硬化部が生成されないよう、要求形状の境界に内接

する単位硬化形状を考え、その参照点の集合をオフセット面とするものである(図3)。樹脂の単位硬化形状は、使用する紫外線レーザによって異なる。現在は、He-CdレーザとArレーザが一般的に使用されており、これらのレーザによる硬化形状に対応可能なことが必要である。そこで、本研究では種々の単位硬化形状に対応可能な方法である、逆オフセット法を適用する。

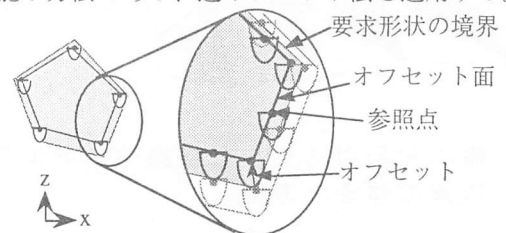


図3. 三次元オフセット処理の概念

4. STLデータにおける三次元オフセット処理

4.1. 逆オフセット法

逆オフセット法[2]は、3軸NCフライス加工において、種々の工具形状に対してオフセット面を導出する手法である。逆オフセット法は、(1)点の加工におけるオフセット面はその点における逆向き工具形状であり、(2)面のオフセット面は面を構成する点のオフセット面の包絡面であることを基にしている。したがって、光造形法においては、STLデータに対して、境界面に逆向き硬化形状を鉛直に立て、それらの包絡面を求めることによってオフセット面を生成することができる(図4)。

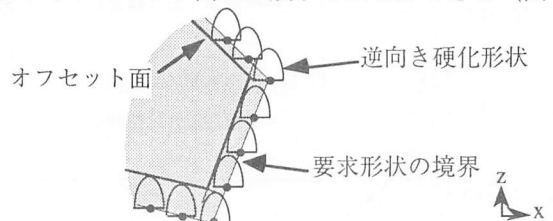


図4. 逆オフセット処理

4.2. 単位硬化形状モデル

本報では、単位硬化形状モデルとして単一波長発振であるHe-Cdレーザの場合について述べる[3]。三次元空間において樹脂液面をxy平面とする。光軸はz軸方向にあり、レーザはx軸上を速度V(mm/s)で走査するものとする。時刻tにおけるxy平面でのビーム半径w(mm)の gaussianビームのパワー密度分布は(1)式となる。

$$I(x, y) = I_0 \cdot \exp\left[-\frac{2}{w^2} \{x^2 + y^2\}\right] \quad (\text{mW/mm}^2) \quad (1)$$

走査後のxy平面におけるエネルギー密度分布は(2)式と

なる。

$$\begin{aligned}
 F(x, y) &= \int_{-\infty}^{\infty} I(x-Vt, y) dt \\
 &= I_0 \cdot \exp\left[-\frac{2y^2}{w^2}\right] \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \frac{w}{V} \\
 &= u_0 \cdot \exp\left[-\frac{2y^2}{w^2}\right] \quad (\text{mJ/mm}^2) \quad (2)
 \end{aligned}$$

Lambert-Beerの法則により、 α を樹脂の吸収係数とすると、樹脂内部の深さ $d(\text{mm})$ におけるエネルギー密度は(3)式となる。

$$F(x, y, d) = u_0 \cdot T \cdot \exp\left[-\frac{2y^2}{w^2}\right] \cdot \exp(-\alpha d) \quad (\text{mJ/mm}^2) \quad (3)$$

臨界硬化エネルギー密度を $u_g(\text{J/mm}^2)$ とするときの液面からの硬化物境界の深さは(4)式となる。

$$\begin{aligned}
 z_g &= -\frac{1}{a} \left[\ln\left(\frac{u_0 \cdot T}{u_g}\right) - \left(\frac{2y^2}{w^2}\right) \right] \\
 &= -\frac{2}{aw^2} y^2 + \frac{1}{a} \ln\left(\frac{u_0 \cdot T}{u_g}\right) \quad (\text{mm}) \quad (4)
 \end{aligned}$$

これより、硬化物の輪郭に相当する、液面からの硬化物境界の深さは y に関する2次曲線となる。本研究では、任意の方向についての硬化形状の影響を考えると、直線の硬化形状の yz 平面での断面の、 z 軸回りの回転体、すなわち放物線の対称軸回りの回転体を硬化形状とする。

4.3. オフセット面導出法

STLデータに逆オフセット処理を行うと、個々の三角形パッチ同士の接続部分で、オフセット面が二次曲面となる場合があり、直接、三角形ベースのデータを生成することは困難である。そこで、オフセット面の導出には、ボクセルによって分割された空間を考える。図5に示すように単位硬化形状との重なり具合によって硬化形状の境界：1、内部：-1、外部：0の値を割り当てるものとする。さらに以下の考え方で、オフセット面を導出する。まず、全てのボクセルの値を0に初期化する。要求面上において逆向き硬化形状を走査させ、全ての位置について、表1に示す演算規則に従ってボクセルの値を更新する。走査後に値が1であるボクセルの集合をオフセット面とする（図6）。

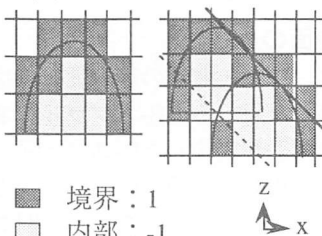


図5.境界判定法

組み合わせ	値
1, 1	1
1, 0	1
-1, 0	-1
1, -1	-1
-1, -1	-1

表1.演算規則表

4.4. 修正STLデータ生成法

ボクセルデータを三角形ベースのデータに変換するため、マーチングキューブアルゴリズム[4]を用いる。このアルゴリズムは、隣接する8個のボクセルの中心

点を頂点とするセルを考え（図7）、セルに属するボクセル値の組み合わせにより、三角形近似の表面を生成する。一つのセルのボクセル値の組み合わせは14通りとなる。さらに、ボクセル値1とボクセル値0のボクセルの中心点を結ぶ辺と、生成される面とが交差することから、それぞれの場合について生成される三角形平面導出できる（図8）。従って、ボクセル値の組み合わせを上記の14種類と比較することにより、三角形ベースのデータを生成することができる。

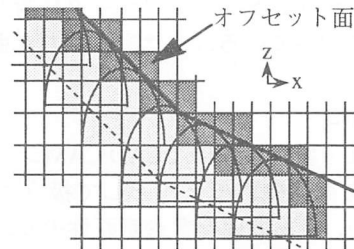


図6.オフセット面の導出

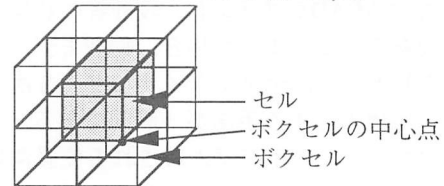


図7.ボクセルの中心点からなるセル

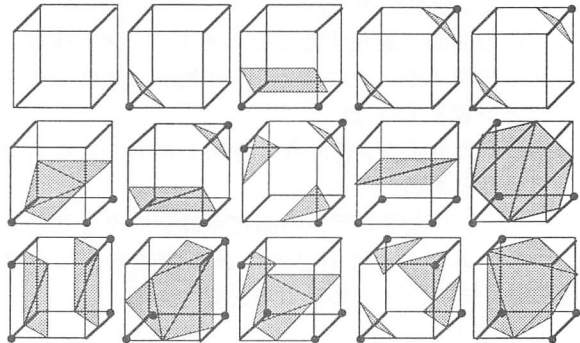


図8.生成される三角形平面

5. 結論

本研究では以下のことを行った。

- (1)光造形法において、樹脂の単位硬化形状を考慮した三次元オフセット処理の必要性を指摘した。
- (2)逆オフセット法を適用し、STLデータにおける三次元オフセット処理法を提案した。

参考文献

- [1]Paul F. Jacobs編著, Thomas H. Pnag・嶋田洋訳: "高速三次元成型の基礎", 日経BPセンター, 1993
- [2]近藤司, 岸浪建史, 斎藤勝政: "逆オフセット法を基にした形状加工処理", 精密工学会誌 Vol.54, No.5, 1988
- [3]植原弘之, 小島真一, 五十嵐悟, 斎藤勝政: "光造形法の立体形成機構に関する研究(第1報)ー硬化単位形状の検討ー", 精密工学会誌 Vol.61, No.1, 1995
- [4]William E. Lorenson, Harvey E. Cline: "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", Computer Graphics, Vol.21, No.4, 1987