

# 回折現象をもちいた直方体の光軸方向厚みの計測について

金 井 徳 兼\*

## Measurment of constant thickness of volumetric bodies using diffraction

Norikane KANAI

### Abstract

The influence of thickness of obstacles on the diffraction is studied experimentally. The effects of constant thickness of an obstacle are found in the fringe spacing and intensity of the interference pattern produced by the secondary waves originating from the sides of the sample. It is found that thickness of samples can be measured using the interference pattern appearing in the shadow region of ones without contacting.

### 1. はじめに

3次元形状計測は加工技術の進歩にともない、最近特に需要が高まりつつある。<sup>1)</sup>

これらの方法は機械的な接触を用いた計測法が主流であったが、最近ではレーザ光を利用した非接触的な計測法が注目がされている。光を用いた計測法はビーム光走査によるポイント計測と平面波、球面波照射による面計測に大別され、高速計測の可能性から後者の方法が今後中心となると考えられる。レーザ光をもちいた面計測方法の中では、干渉回折現象をもちいたホログラフィ法が代表的である。物体表面での回折波と直接光との合成によるパターンより3次元情報を得るが、光学的なフィルムの点から考えると必ずしも容易な取り扱いとは考えにくい。

我々は、フレネル回折光学系による2次元的遮光体の回折像について再度実験的に研究してきた。その中でも幾何光学的陰影部に生じる強度の弱いパターンは直接光の影響を無視することによりヤングらが提唱した境界回折波の相互干渉によって説明することができる<sup>2)</sup>。この実験において必ずしも厚みが無視できない3次元的物体によっても鮮明な回折像を容易に観測することができる。また、理論的な研究では波動光学の近似的な解として幾何光学をもちい3次元効果を取り扱う例<sup>3)</sup>があるが、工業上への応用にはいたっていない。

本報告では球面波回折光学系を用いて3次元的物体の光軸方向への均一な厚みとの回折像との関係を実験的に考察し、回折像の3次元形状計測への応用について議論する。

---

\*電気工学科

## 2. 実験試料と方法

光軸方向への遮光体の均一な厚みの増加と回折像の変化を実験的に調べることにする。実験では光軸に垂直は幅  $D$ 、光軸方向への厚み  $T$  の金属製両端エッジ (Fig. 1 参照) を用い、 $T$  を増加することによる回折パターン強度あるいは縞間隔の変化を計測する。試料の大きさとしては工業上の精密部品の大きさである  $1\text{ mm}$  から数  $10\text{ mm}$  の範囲とした。実験の経験上、境界部の微細な凹凸は回折波の波面を乱すことが明らかなため、境界および側面の仕上げ精度が優れた JIS-0 級のゲージブロックを切断研磨等して用いることにした。

実験系として Fig. 2 に示す He-Ne レーザによるフレネル回折光学系をもちい、回折パターン強度は光プローブと光電管をもちて計測した。

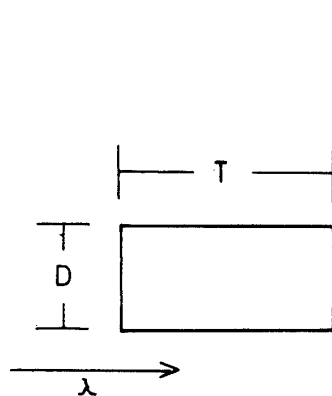


Fig. 1 実験試料の概略

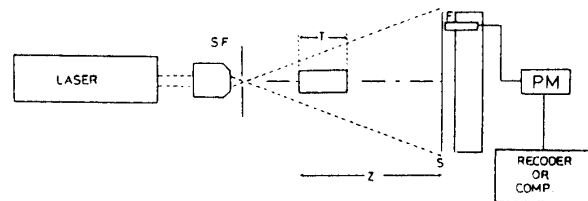


Fig. 2 実験配置図

SF: 空間フィルター, F: フォーカス, 移動ステージ

PM: 光電管

## 3. 実験結果と解析

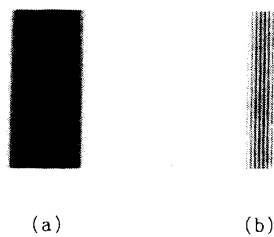


Fig. 3 厚み  $9\text{ mm}$  の試料による回折像

(a) 直接光部 (b) 幾何光学的陰影部

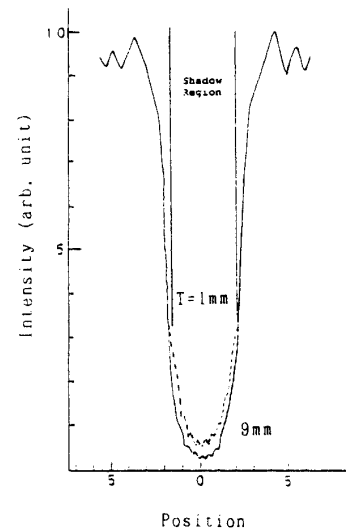


Fig. 4 回折像の強度分布

Fig. 3 は厚み  $9\text{ mm}$  のブロックによる回折像である。この結果より厚みの無視できない 3 次元物体においても直接光および幾何光学的陰影の両領域に回折パターンを形成することがわかる。直方体の光軸方向への厚みとパターン強度を計測した結果を Fig. 4 に示す。厚みの増加にともない直接光の領域に形成される回折パターンはほとんど変化はみられない。しかしながら、幾何光学的陰影部に生じるパターンは全体的な強度が低下し、コントラストも減少する傾向が観測される。そこで厚みの回折像への影響として幾何光学的陰影部に形成されるパターンにのみに注目することにした。Fig. 5 は幾何光学的陰影部に生じるパターンの隣接する間隔  $\Delta x$  と光軸方向へ

の厚み $T$ との関係を示したものである。厚みが増加することによってパターンの間隔が直線的に減少する傾向がある。

実験において厚みの効果が観測された幾何光学的陰影部のパターンは、直接光の影響を無視することにより2次元的な物体では境界を波源とする2次波の相互干渉によって説明することができる。近似的なモデルでは陰影部のパターンの隣接する間隔 $\Delta X$ は

$$\Delta X \sim \frac{\lambda}{D}$$

で得られる。ここで、 $Z$ は2次波源とスクリーンとの距離である。上式をもちいて幾何光学的陰影部で観測されたパターン間隔より2次波源の位置 $Z_e$ を計算し、実験条件であるスクリーンと光源に近い試料端との距離 $Z = 165\text{mm}$ より得られる $\Delta Z = Z - Z_e$ と厚みとの関係をFig. 6に示す。この結果より2次元的な近似を用いいると遮光体の厚みの分だけ効果的に作用する2次波源がスクリーン側に移動する傾向が示される。すなわち、計測の基準点を定めることにより陰影部に形成されるパターンの間隔より一軸照射によって厚みの情報を得ることが可能である。

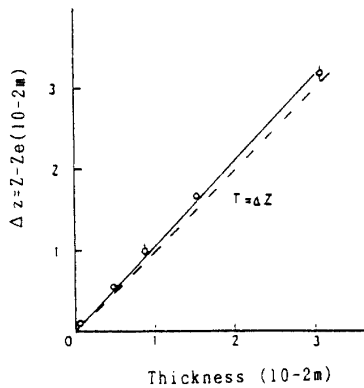


Fig. 6 干渉パターンの間隔より求められた  
2次波源の位置

陰影部に形成されるパターンの平均的なVisibilityを

$$V \equiv \frac{1}{n} \sum \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

と定義し厚みとの関係をFig. 7に示す。厚みの増加にともない曲線的にコントラストが低下する。スリットの実験からコントラストの減少は一般的に次の原因によるものと考えられる<sup>4)</sup>。

(1) 2次波源のコヒーレンスの低下、(2) 光源強度の低下、(3) バックグラウンド光の増加があげられる。ヤングらの考えによると境界を波源とする2次波は一種の反射光として取り扱われている<sup>5)</sup>。そこで試料側面の垂直反射成分を計測し2次波源に寄与する強度を考察すると、Fig. 8に示すように光軸方向への厚みが増加する

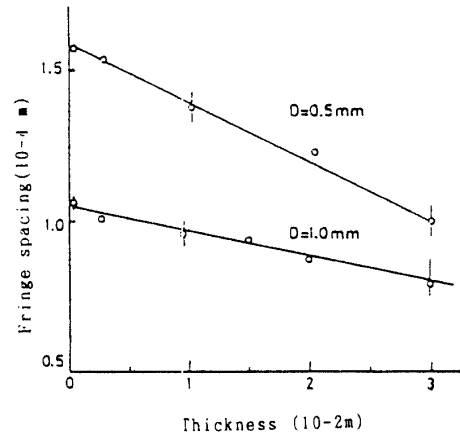


Fig. 5 厚みを関数とするパターン間隔

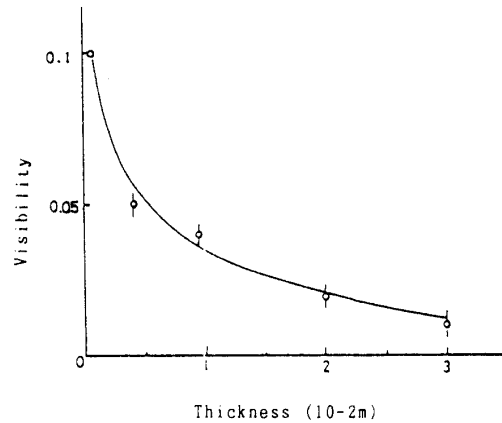


Fig. 7 厚みとVisibilityとの関係

ことにより終端部の光強度に違いが生じている。2次元的なモデルからの考察では効果的にパターンの形成に寄与する2次波源は試料前面に移動する傾向を考慮す

れば前面終端部の光強度がパターンのコントラストを決定すると考えらる。また、2次元的なモデルによると1点から発生した2次波のパターンへの寄与を考えているが、実際には側面全体からの寄与があるため側面面積の増加により反射成分の総和が増加し全体としてバックグラウンド光が増加すると考えられる。このことより、測定対象試料の光沢あるいは面の反射等の表面条件が計測精度向上と関係すると考えられる。

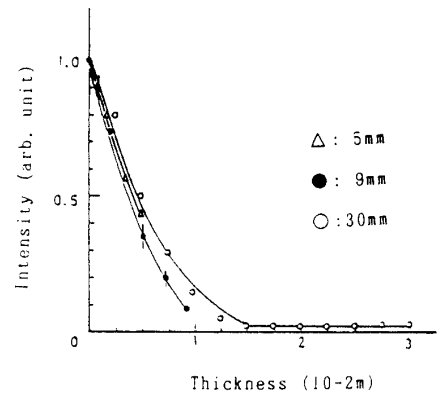


Fig.8 厚みの増加と試料側面垂直反射成分

#### 4. まとめ

金属直方体の光軸方向への均一な厚みの増加と回折像への影響を調べ、回折パターンをもちいた厚み計測について検討した。その結果、厚みの増加にともない幾何光学的陰影部に生じるパターンに影響が観測され、その隣接するパターン間隔の変化分より厚みを計測することが可能である。また、厚みの増加によりVisibilityが減少することや、直方体の側面の反射の大小が陰影部のパターン強度に影響を及ぼすことから、面全体からの広い意味でのバックグラウンドが増加し、ノイズ的にパターンに寄与した結果であると考えられる。

今後は、より微細な試料の計測への応用や測定精度と表面の仕上げとの関係について研究していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 古澤 徹編著：光3次元計測 新技術コミュニケーション
- 2) H.Ito and N.Kanai: Jpn.J.Appl.Phys. 27(1988) L426.
- 3) Y.V.Chugui and B.E.Krivenkov: J.Opt.Soc.Am.A 6(1989) 617.
- 4) E.Hecht: Optics (ADDISON-WESLEY Publishing Company) 2nd ed., Chap.12, p519.
- 5) M.Born and E.Wolf: Principles of Optics (Pergamon Press) 6nd ed., Chap.8, p449.

(平成6年11月19日受理)