CGHを用いた非球面形状測定干渉計*

玄間隆志**

Interferometer for Testing Aspheric Surfaces with Computer-generated Holograms /
Takashi GEMMA

Key words : aspheric surface, aspheric optical element, computer-generated hologram (CGH), electron-beam writing, interferometer, interferogram, phase shifting interferometry

1. はじめに

非球面光学素子は、製品の高付加価値化、差別化を実現すべく、小型・軽量・低価格・高性能・高機能などを目的として急速にその利用が拡大してきている。用途としては、スチルカメラ、ビデオカメラ、光ディスク、コンパクトディスク、投射型テレビ、赤外線機器、眼鏡レンズ、医用光学機器、望遠鏡、X線顕微鏡、コンデンサレンズ、ファインダレンズなど多岐にわたっている。製造方法からみると、従来からの研削型、量産向きのモールド型、近年急速に精度が向上した切削型・研削型、ガラス面にプラスチックをのせた複合型などに分類される。

面形状への要求精度は用途により様々である。図1に上記の光学系に用いられている非球面レンズの形状精度を示す。実用化されているレンズの中では光ディスク、コンパクトディスクのピックアップヘッド対物レンズが最も高い精度を有している。

今までに多くの非球面形状測定機が開発されているが、測定方法を大別すると三次元測定法と干渉法に分けられる。前者は絶対形状が求まるので加工へのフィードバックが可能であり、自動加工現場からのニーズが強いが、基本的に断面測定であるため全面を測定しようとする測定時間は長くなる。後者は光学的性能評価という立場から見て従来からの平面、球面の評価と同一性があり、非接触で全面の形状精度を瞬時に確認できるため広く一般に受け入れ

られやすい。CGHを用いる干渉法は、干渉法のなかでも現在のところ最も精度が高く実用的な方法である。本稿では当社の開発した干渉計 HI-2 を例にして、CGHを用いた非球面測定の原理について述べることにする。

2. CGH (計算機ホログラム)¹⁾

ホログラムは物体波と参照波の干渉じまを記録したものである。このホログラムに参照波と同じ再生波を入射すると物体波が再生される。このことは、再生波が物体波に変換されたことを意味している。つまり、ホログラムは波面の変換機能を有しているわけである。物体波と参照波が与えられれば、その2つの波面

図1 非球面光学素子の形状精度

* 原稿受付 平成2年7月31日

** 正会員 (株)トプコン (東京都板橋区蓮沼町75-1)

の形成する干渉じまを計算し、その干渉じまを人工的に描くことができる。このようにして作製したホログラムを CGH (Computer-Generated Hologram, 計算機ホログラム) と呼ぶ。CGH を用いれば、ある波面を別の任意の波面に変換することが可能になる。

3. CGH を用いた非球面形状測定

干渉法による形状測定は、精度の高い参照面（干渉原器）に対し被検面がどれくらい変位しているかを、それぞれの面から反射した光を干渉させ、発生した干渉じまから求めるものである。非球面を測定するには非球面の参照面が必要となるが、精度の高い参照非球面の製作は非常に難しい。そこで、製作の比較的容易な球面を参照面とすることを考える。この場合には、参照球面から反射した光は球面波であり、被検非球面から反射した光は非球面波となる。このため、これらの光をそのまま干渉させたときに得られる干渉じまはこれら 2 つの波面の差に応じた非常に細かいものになり、測定は不可能となる。しかし被検非球面の設計値がわかっているならば、この非球面波を球面波に変換する CGH を製作することができる。被検非球面から反射してきた非球面波をこの CGH を通すことで球面波に変換したものと参照球面から反射してきた球面波との間で生じる干渉じまは、球面波同志の粗い干渉じまとなり、一般の干渉計による球面の測定と同様な、いわゆる null-test が実現される。

4. CGH の作製

CGH は測定の基準パターンとなるものであり、その要求精度は非常に厳しい。しかも、そのパターンは微細なものであり、作製には高度な技術が要求される。

従来、CGH はプロッタで描画した拡大パターンを写真縮小することにより作製されていた。しかし、この方法ではプロッタの描画精度や縮小撮影用のレンズの収差などの影響で精度に限界があった。このため余り細かいパターンは作製できず、測定可能な非球面量は数十 λ (λ は干渉計の光源波長 $0.6328 \mu\text{m}$) に限られていた。当社では電子線描画によるダイレクトな CGH の作製を試み、従来の十倍以上の非球面量に相当するミクロンオーダーのパターンまで高精度に作製することを可能にした。

CGH は図 2 に示す工程により作製される。非球面から反射してきた物体波面と参照球面から反射してきた参照波面をそれぞれ設計値を用いて光線追跡し、CGH 面上での波面を求める。CGH にはいくつかの

図 2 ホログラム原器作成方法

図 3 ホログラム原器描画フォーマット

タイプがあるが¹⁾、我々は干渉じま型を選択したため、これらの波面の差を表す関数を CGH 面上で各画素ごとに展開し、干渉計の光源波長を単位として 2 値化したものが CGH のパターンデータとなる。このデータを電子線描画することにより、クロムのバイナリーパターンからなる振幅型の CGH が作製される。画素サイズは $2.5 \mu\text{m}$ 角であり、最大空間周波数は 200 本/mm となる。基板のサイズは 5 インチ、描画領域は最大 62.25 mm 角とした。温度変化の影響を抑えるため、基板には低膨張ガラスを用いている。

5. 干渉計光学系

図 4 に示すように光学系はフィゾー型を基本としている。フィゾー型干渉計では参照面と被検面は直接向かい合っており、参照波面と被検面からの物体波面がほとんど共通の光路を通るため他の干渉計に比べて振動などの外乱に強い。ホログラムを使わない状態では

図4 光学系概略図

一般のフィゾー型干渉計として平面や球面を測定できる。

ホログラムは被検面と共役な位置に置かれることが望ましい。このため被検面が凹面の場合と凸面の場合のそれぞれに対応する共役位置にホログラムホルダを設置し、しかもホログラムの位置を光軸方向に移動できるようにした。光軸方向の位置決め分解能は $0.5 \mu\text{m}$ である。また光軸に垂直な方向には、ホログラム上に書かれたアライメントマークを位置センサで読み取るにより $\pm 10 \mu\text{m}$ 以内に設置することができる。

ホログラムの設置が終わると次は被検面の設置である。この工程は一般の干渉計と同様に、干渉じまを観察しながら行うことができる。CGH には、参照面から反射してきた参照波面と、非球面から反射してきた物体波面の両方が入射するため多数の回折波が生じる。これらのうち、参照波面の 0 次回折波と物体波面の 1 次回折波のみが空間フィルタを通過し、干渉じまを形成する。我々は測定可能な非球面量を増やすことを目的に、物体波面と参照波面が同軸にあるインライントイプを選択した。図 5 に本干渉計で測定可能な非球面の範囲を示す。

こうして得られた干渉じまは被検面の形状誤差と設置誤差を合わせたものとなるため、設置誤差の影響を

図5 測定可能な非球面量 (近似球面からのずれが半径の 4 乗に比例する非球面を想定して算出)

取り除くことが重要になる。本干渉計では新たなアルゴリズムの考案により、干渉じまを数本以内にまで追い込めば、位置決め誤差の影響を $\lambda/100$ (PV 値) 以下に抑えられるようになった²⁾³⁾。

ホログラムに描かれているのは干渉計光学系の設計値から計算したパターンであるため、実際の干渉計が設計値と異なる配置をしていたり、ひずみをもっていたりすると、それらがすべて測定精度に影響する。このため干渉計を構成する光学部品の加工、組立精度は一般の干渉計に比べて非常に厳しいものとなった。主要光学部品の透過波面精度は $\lambda/10$ (PV 値) である。

本干渉計ではフリンジスキヤニング法により干渉じまを解析しており、光量むらやビジビリティによらず安定な測定ができる。繰返し精度は約 $\lambda/1000$ (RMS 値) である。

球面デフォーカス法による評価の結果、本干渉計の測定精度は PV 値 $\lambda/10$ ($0.06 \mu\text{m}$)、RMS 値 $\lambda/50$ ($0.01 \mu\text{m}$) と市販の干渉計による球面の測定精度と同等であることが確認された。

測定時間は非球面の場合で 1~3 分である。

図6 HI-2 外観

図7 測定例

図6にHI-2の外観写真を示す。

6. 測定例

図7に測定例を示す。測定サンプルは射出成形用の金型である。この金型は超精密CNC旋盤で切削加工されたものであるが、加工時の取付けひずみにより非対称な形状誤差をもっていることが3Dプロット表示からわかる。ところが、この測定結果の45°おきの断

面図を重ねて表示すると、+45°方向を除く残り3つの断面図はほぼ重なってしまう。この結果は、断面測定による非球面形状測定においては出来るだけ多くの断面を測定しなくてはならないことと共に、全面を同時に測定できる干渉法の優位性をも示しているといえる。

表1 HI-2 仕様・性能

光源	He-Ne レーザ (波長 0.6328 μm , 出力 2 mW)
有効光束径	100 mm
測定対象	非球面, 平面, 球面 平面, 球面はホログラム原器を用いずに測定可能
測定精度	PV 値 $\lambda/10$ (0.06 μm) RMS 値 $\lambda/50$ (0.01 μm)
干渉じま解析	フリンジスキヤニング法
空間分解能	256×240 画素
出力	PV 値, RMS 値 3D プロット, 等高線図, 断面図, Zernike 収差係数など
アライメント	ホログラム原器アライメント 被検物アライメント (スポット合致方式, リニアスケール付属)
大きさ	1595×1095×1080 mm (干渉計本体のみ)
重量	約 1.2 t (干渉計本体のみ)
使用環境	温度 23±1°C 湿度 60% 以下

7. ま と め

HI-2 の仕様一覧表を表1に示す。

CGH を用いた干渉法は、波面の変換機能というホログラムの特徴を用いた測定法である。原理自体はよく知られていたこの方法が、近年再び脚光を浴びている理由としては、非球面光学素子の急速な利用拡大と共に電子線描画技術の発達があげられる。本干渉法は測定する非球面ごとに CGH を作製しなければならないものの現在のところ最も高精度な干渉法であり、電子線描画装置やレーザ描画装置の更なる発展により今後より広く利用されていくものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 谷田貝豊彦, 斎藤弘義: 計算機ホログラムとその応用, 精密機械, 47, 12 (1981) 1541.
- 2) 玄間隆志: 計算機ホログラムを用いた非球面形状測定機, 光学技術コンタクト, 27, 5 (1989) 285.
- 3) T. Gemma, M. Hideshima, M. Taya and N. Watanabe: Interferometer for Testing Aspheric Surfaces with Electron-beam Computer-generated Holograms, SPIE Proc., 1332, (To be published).

工技院, ASIC ソフト開発着手

工業技術院は平成2年度から ASIC (特定用途別 IC) のコンパイラおよびシミュレータなどのソフトウェア開発に着手する。日本電信電話 (NTT) が開発した拡張階層仕様記述言語 HSL-FX を基に, NDL/I と呼ぶ標準言語を5年計画で開発, すでに日本電子工業振興協会に設置されている LSI 設計用記述言語標準化委員会 (委員長・相磯秀夫氏) で言語仕様も固まっており, 委員会に参加している LSI (大規模集積回路) メーカー, CAD ベンダーから資金を募り, 総額5億円規模で進める。同省では標準化により CAD の発展, 設計データの流通・情報交換が促進され, チップ産業の発展に寄与するものと期待している。

従来, LSI の仕様はメーカー側で提供し, ユーザは最終製品に合った LSI を選択購入し, 自社製品に組み込むのが一般的である。しかし, ユーザからメーカーに発注する特定用途 IC である ASIC の需要が拡大するにつれ, ユーザ自ら LSI を設計する手法と環境が求められるようになってきた。

今回の計画は, 各メーカーによる独自のインタフェースの構築が重複開発のムダ, 設計仕様の情報交換の壁とな

るため, LSI 設計の効率化をねらった言語の標準化を目指しているためである。現段階では2年度中に処理系, 3年度にコンパイラデータ管理, 4年度にシミュレータの開発を行う段取りで, その後, 6年度までに言語のバージョンアップ, 改良版のリリースを終える。

LSI の設計言語はその記述レベルで5段階に分かれている。今回対象となるのは機能・論理/接続レベルである。海外では仕様レベルを対象とする米国 DOD (国防総省) の VHDL, 論理/接続レベルを対象とするテキサスインスツルメント, モトローラなどの米国半導体メーカーによる EDIF の2種類で標準化が進展, UDL/I ではこれらのすきまをねらっている。

委員会にはインテルジャパンや日本モトローラなどの海外メーカー, エス・シーハイテクセンター, メンター・グラフィックスジャパンなどの海外 CAD ベンダーを含め, 国内コンピュータメーカー23社が参加している。開発に当たっての委員参加企業の出資は, メインフレームメーカーが3000万円, LSI メーカーが1000万円, CAD ベンダーが300万~500万円程度を予定している。

(服部 敏夫)