

光ディスク用対物レンズの温度特性測定機の開発

Development of Measurement System for Temperature Dependence of Plastic Objective Lenses.

夏野 靖 幸

Natsuno, Yasuyuki

We have developed the new optical measurement system of plastic aspheric objective lenses in high temperature environment.

This optical measurement system consists of a newly developed temperature controller and an interferometer.

By using this system, we can precisely measure optical characteristics of objective lenses in high temperature environment without air turbulence.

1 はじめに

1984年に世界で初めて当社が開発、量産に成功したコンパクトディスク（CD）用非球面プラスチックレンズは、非常に高性能、高品質であると共にガラスレンズに比べ安価で提供できること等から、現在ではCDのみならず、ミニディスク（MD）やデジタルビデオディスク（DVD）など、あらゆる光ディスク分野で利用されている。しかし、これら適用分野の拡大に伴い、対物レンズに対し更なる高精度、高品質化の要求が強くなってきている。

プラスチックレンズの環境変化による性能変化の改善もその一つで、特に温度変化によるレンズの性能変化（温度特性）は極めて重要な要因である。

今まではこの温度特性を測定する手段がなく、シミュレーションによる評価であったが、今回レンズ単品の温度特性の測定機開発に成功したので紹介する。

2 温度特性

一般にプラスチックは温度により屈折率が変化する特性を持っており、光ディスク用プラスチックレンズの場合は主に球面収差の変化として現れる。

この収差変化は従来、問題になるレベルではなかったためシミュレーション評価でも十分であったが、市場要求に答えるため、シミュレーションの実験検証とレンズ単品の温度特性を保証していく事が必要となり温度特性測定機の開発が必至となった。

以下にその詳細を説明する。

3 測定機開発

光ディスク用プラスチックレンズの測定には、自社で開発、製作した干渉計と縮解析装置を使用しており、非常に高精度かつ高速である。しかし、環境の影響を受けやすく、空気の揺らぎや床の振動で測定不能となつてし

まうため、温湿度の管理された振動の無い室内で使用している。

従って、干渉計全体を温度制御することは困難であるため、本装置ではプラスチックレンズ部のみに温度制御する方法を選択した。

以下 Fig.1 に本測定機の構成を示す。

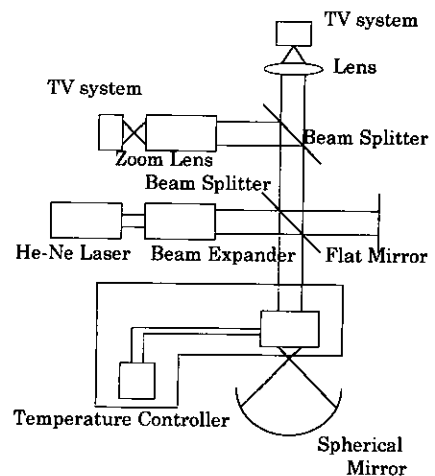


Fig.1 Experimental Set-up

3.1 仕様

(1) 温度制御範囲

プラスチックレンズ部のみの温度制御方式とする。また、干渉計に熱が伝わらない構造とする。

(2) 温度制御精度

温度変化による球面収差変化量の最も大きい製品で約 $0.002 \lambda / ^\circ\text{C}$ （シミュレーション値）また、干渉計の測定ばらつきは約 0.005λ （標準偏差）である。そこで温度制御誤差による収差変動を測定ばらつき以下とするため、温度制御精度は $\pm 1^\circ\text{C}$ 以下とする。

(3) 温度制御方法

温度制御の方法として一般的に ①水又は油温調方式 ②空気温調方式 ③ヒーター温調方式がある。そ

それぞれの方式をFig.2に、特徴をTable 1に示す。

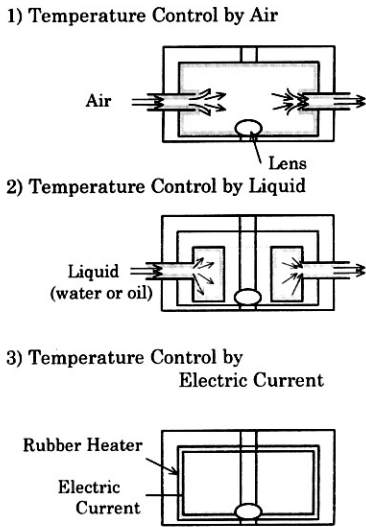


Fig.2 Temperature Control Methods

Table 1 Characteristics of Temperature Control Methods

温調方式	メリット	デメリット
1) 空気温調	測定温度範囲が広い。 温度分布を持ちにくい。	温調機が大きい。 空気の擾乱がある。
2) 水温調	空気の擾乱がない。 金型でのノウハウがある。	温調機が大きい。 振動する可能性がある。
3) ヒーター温調	空気の擾乱がない。 機構が比較的簡単である。 小型化しやすい。	測定温度範囲は高温のみ。

①、②は常温以下の温度制御も可能であるが、干渉計は空気の揺らぎや振動を嫌う事と、低温時の特性については高温時の実験検証から推定することができるため、③のヒーター温調方式を採用した。

3.2 構成

本装置の断面図を Fig.3 に示す。

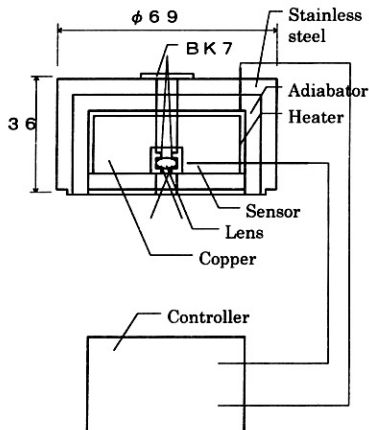


Fig.3 Cross section of Experimental Set-up

(1) 本体

本体部の温度分布を小さくするために熱伝導率の良い無酸素銅を使用し、可能な限り小型にした。

また、小型化により干渉計の改造を一切することなく温度特性の測定を可能とした。

熱伝導率： $400\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

外径：φ45 mm 高さ：20 mm

(2) ヒーター

本装置用に新開発したシリコンラバーヒーターを用いた。また、本体部が温度分布を持たないように本体全面をヒーターで覆う形状とした。

温度調節範囲：常温～260℃

(3) 温度センサー

温度センサーは使用実績のある熱電対を採用した。また小型である本装置に合うよう、形状を新開発した。

熱電対：T-101 (改良)

TYPE T (JIS/ICE)

許容差：±0.5℃

(4) 温調機

制御精度を±1℃以下とするには、外乱による温度変化を±1℃以下とする必要がある。

温度制御方法としてPID制御方式 (Proportion, Integral, Differentiation) が一般的に知られているが、この方式は、設定値変更に対する応答が良くなるよう設定すると外乱に対する応答が不安定になりやすい。また逆に、外乱に対する応答が良くなるよう設定すると設定値変更に対する応答が不安定になりやすい。つまり、この方式は外乱と設定値変更の両立が難しいため、一定温度で制御するには安定するが、本装置の様に温度を変更しながら測定するには不向きである。

そこで、今回はブリリアントPID制御方式を採用した。この方式は、外乱に対する応答設定と、設定値変更に対する応答を個別に設定できるため、従来のPID制御方式では不可能であった外乱に対する応答と設定値変更に対する応答の両立が可能である。

Fig.4にPID制御とブリリアントPID制御の温度安定性を示す。

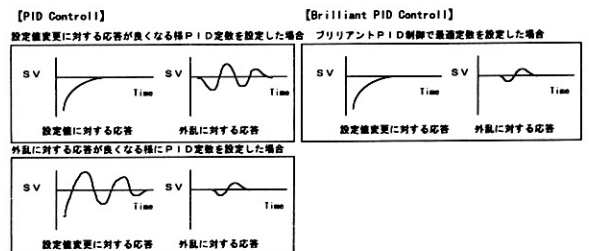


Fig.4

4 検証実験

光ディスク用レンズの測定は透過波面を用い数値解析しているため、レンズ内部に温度センサーを埋め込む事はできない。そこで、本装置ではレンズから若干離れた所での温度制御方法を選択した。

検証実験としてレンズ温度の確認を行う。

(1) サンプル

以下の3種類を用いた。

- サンプルA : $f = 3.9 \text{ mm}$ N.A. = 0.45 (耐湿アクリル)
- サンプルB : $f = 3.9 \text{ mm}$ N.A. = 0.45 (耐熱アクリル)
- サンプルC : $f = 3.4 \text{ mm}$ N.A. = 0.51 (環状オレフィン)

(2) 測定方法

レンズ中心部に穴を明け、そこに温度センサーを埋めこみレンズの温度をモニターする。

次に温調機の設定を10℃ずつ上昇させていき、レンズ温度を測定し相関を求めた。測定配置をFig.5に示す。

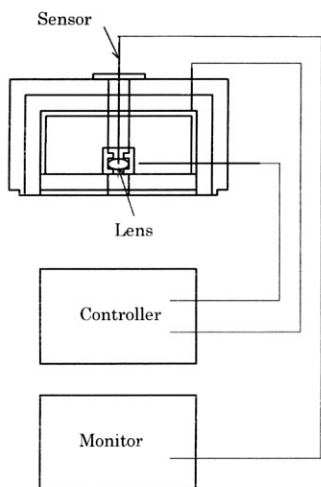


Fig. 5 Experimental Set-up

測定結果をTable 2、Fig.6に示す。

Table 2 Setting Temperature VS. Lens Temperature

Sample A (n=5)		
Controller Temp. (°C)	Lens Temperature	
	Ave. (°C)	Std. (°C)
30	29.1	0.35
40	37.6	0.32
50	46.3	0.24
60	55.1	0.29
70	64.0	0.33

Sample B		
Controller Temp. (°C)	Lens Temperature	
	Ave. (°C)	Std. (°C)
30	29.0	0.21
40	37.9	0.26
50	46.5	0.26
60	55.2	0.15
70	64.1	0.04
80	73.2	0.15
90	82.2	0.14

Sample C		
Controller Temp. (°C)	Lens Temperature	
	Ave. (°C)	Std. (°C)
30	28.8	0.10
40	37.5	0.07
50	46.0	0.12
60	54.9	0.10
70	63.6	0.22
80	72.6	0.19
90	81.7	0.26

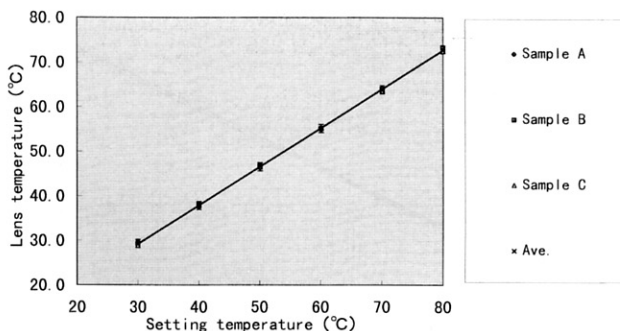


Fig.6 Setting Temperature VS. Lens Temperature

標準偏差は最大で0.35℃なので目標温調精度±1℃は達成している。

また、レンズ温度と制御温度の相関は勾配に差はあるがFig.6に示すように直線性は良好である。よって勾配を考慮すれば本装置は温度制御できていると判断できる。

5 測定結果

本装置を用い各種レンズの温度特性の測定を行い、シミュレーションの実験検証を行った。

5.1 ガラスレンズの測定

ガラスレンズは温度による屈折率変化量がプラスチックに比べ非常に小さい事が知られている(プラスチックの約1/40)。そこで、ガラスレンズの温度下での波面収差(W.F.E.)を測定し、本装置が干渉計などに影響を及ぼしていないか確認した。

測定結果をFig.7に示す。

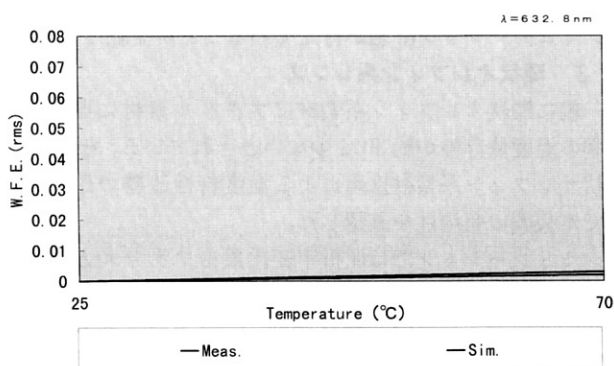


Fig.7 The measurement results of Glass Lens

収差変化が少なくシミュレーションと一致しているため本装置はレンズ以外の個所に影響を及ぼしていない事が確認できた。

5.2 アクリル系レンズの測定

アクリル系素材を用いたレンズについてシミュレーションの実験検証を行った。

測定サンプルはサンプルAとサンプルBを用いた。結果をそれぞれFig.8、9に示す。

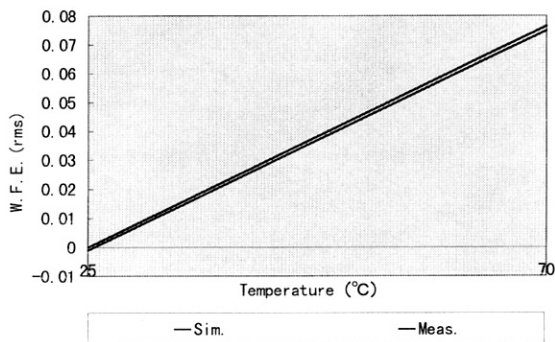


Fig.8 The measurement results of Sample A

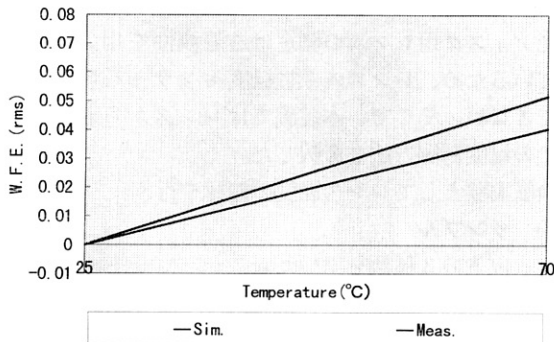


Fig.10 The measurement results of Sample C

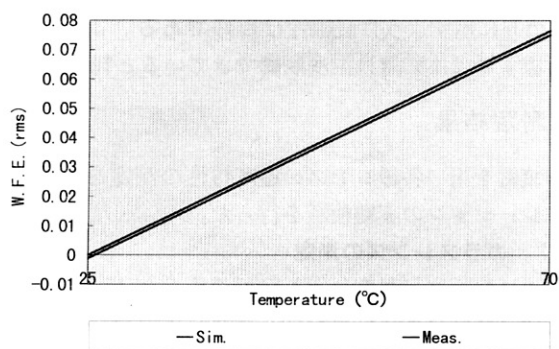


Fig.9 The measurement results of Sample B

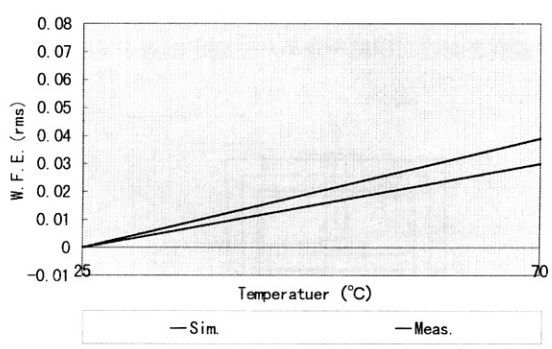


Fig.11 The measurement results of Sample D

いずれのレンズもシミュレーションと良く一致している。この結果アクリル系素材の温度特性に関しては正確なシミュレーション評価が行えていることが立証できた。

5.3 環状オレフィン系レンズ

一般に環状オレフィン系素材はアクリル素材に比べ屈折率の温度依存性が約30%少ないとされている。そこで、環状オレフィン系素材採用による温度特性改善の確認実験で本装置の有用性を確認した。

シミュレーションでは屈折率変化量をアクリルと同一とし本装置での測定結果と比較を行った。

測定サンプルには同一素材でN.A.の異なるサンプルCとサンプルD $f = 3.15$ N.A. = 0.45 (環状オレフィン)の2種を用いた。

結果を Fig.10、Fig.11 に示す。

収差変化量はいずれのレンズについてもシミュレーションに比べ約20%少なく素材の特性とほぼ一致することが確認できた。つまり、本装置にて素材変更による温度特性改善を立証することができた。

6 結 び

本測定機の開発により、シミュレーションの実験検証が行え、レンズ単品の温度特性の保証も行える事が確認できた。

また、今後の課題としては、測定機では測定時間の短縮、素材としては温度特性改善の糸口を見つけるといったことがあげられる。特に温度特性を改善する手段を本装置を活用して開発することで、従来温度特性が問題でプラスチックレンズが使用されなかった分野においても、今後プラスチックレンズが使用されるように取り組んでいきたい。