

トールボット干渉計を用いた 大口径ガラス基盤の透過波面計測

宇都宮大学 オプティクス教育研究センター

コーディネータ/客員 小野明

教授 早崎芳夫

教授 谷田貝豊彦

特任教授 武田光夫

1. 研究背景

■ ガラス基盤の製造

・用途

カメラフィルター, 太陽電池パネル, スマートフォンパネル



<http://www.sharp.co.jp/>

・脈理, 泡, 基盤厚さの検査

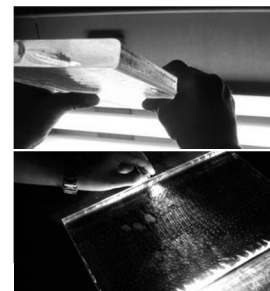
サンプリング

目視, マイクロメータ ← 熟練者

定量化検査

大口径基盤の計測

On-siteで使用

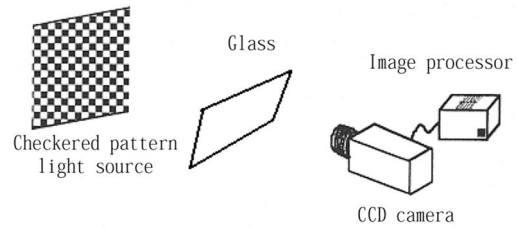


<http://www.dainan-op.co.jp/>

従来技術 その1 目視検査



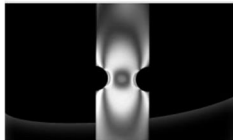
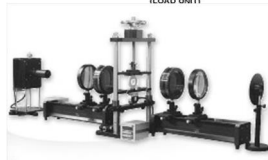
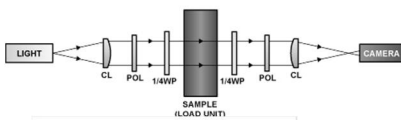
偏光応用目視検査装置
ネオアーク社



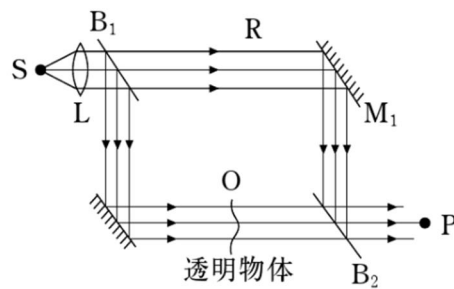
自動車窓ガラス目視検査

問題点 簡便ではあるが、定量化できない
感度にバラツキが出る

従来技術 その2 波動光学的方法



光弾性装置
(株)溝尻光学



(a) マッハ・ツェンダー干渉計

谷田貝センター長 光の百科事典より

問題点: 光学系が大型で生産ラインで使いづらい。

2. 目的

生産ラインで使えるように小型で堅牢で定量的な歪検査機を開発する。

■このために単純な光学的手法を採用した。

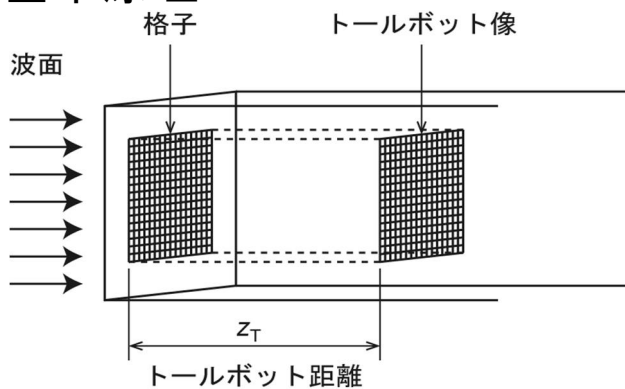
- ・大口径基盤の計測
- 発散・収斂光
- トールボット法
- 反射系軸外し光学系

■ワンショット画像だけで定量解析できる。

- ・定量化, On-site計測(ワンショット定量化計測)
- 2次元回折格子
- フーリエ変換法

■簡単に自己校正がおこなえる。

3. 基本原理



$$z_T = N \frac{2d^2}{\lambda}$$

d : 格子間隔

λ : 波長

N : 次数(整数)

トールボット像光強度

$$|u(x, y; z_T)|^2 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_n A_m^* v_{n,m}(x, y; z_T) e^{[2\pi i(n-m)f_0 x]}$$

$$f_0 = \frac{z_0}{(z_0 - z_T)d} \quad v_{n,m}(x, y; z_T) = \exp \left\{ \frac{-2\pi i(n-m)z_T}{d} \left[\frac{\partial W}{\partial x} - \frac{\lambda(n+m)z_T}{d} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right] \right\}$$

フーリエ変換

$$U(f, y; z_T) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_n A_m^* V_{n,m}[f - (n - m)f_0, y; z_T]$$

フィルタリング, 逆フーリエ変換

$$\begin{aligned} q(x, y; z_T) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n A_{n-1}^* v_{n,n-1}(x, y; z_T) \\ &= \frac{1}{\pi} \cos\left(\frac{\pi \lambda z_T^2}{d^2} \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right) \exp\left(\frac{-2\pi i z_T}{d} \frac{\partial W}{\partial x}\right) \end{aligned}$$

波面の微分値

$$\text{Im}\{\log[q(x, y; z_T)]\} = \underline{\underline{-\frac{2\pi z_T}{d} \frac{\partial W(x, y; z_T)}{\partial x}}}$$

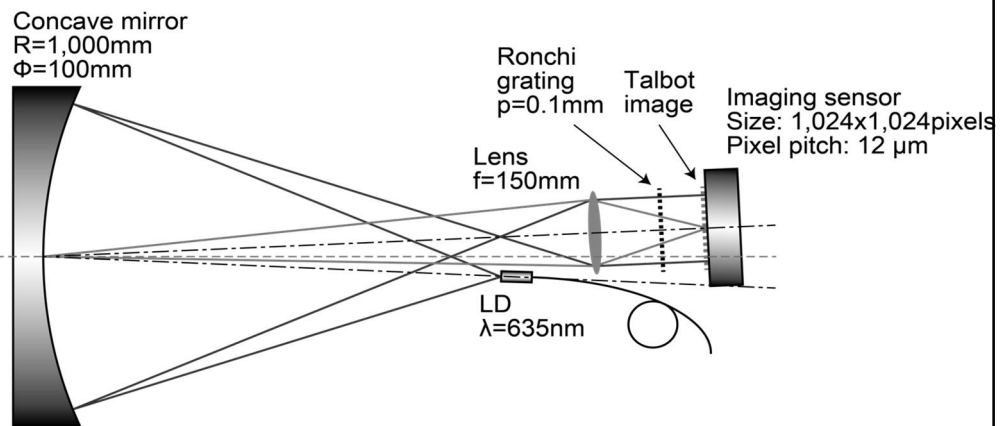
波面の計算 (微分波面の積分処理)

$$W(x_j, y) = \frac{p}{2} \sum_{j=0}^i \left[\frac{\partial W(x_{j-1}, y)}{\partial x} + \frac{\partial W(x_j, y)}{\partial x} \right]$$

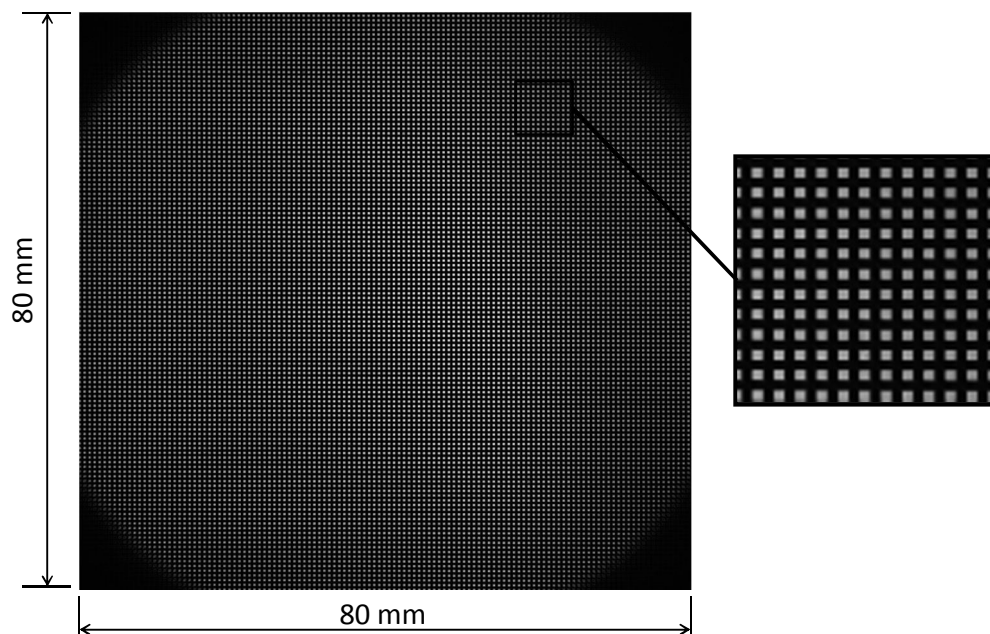
p : イメージセンサ画素ピッチ

4. 実験装置

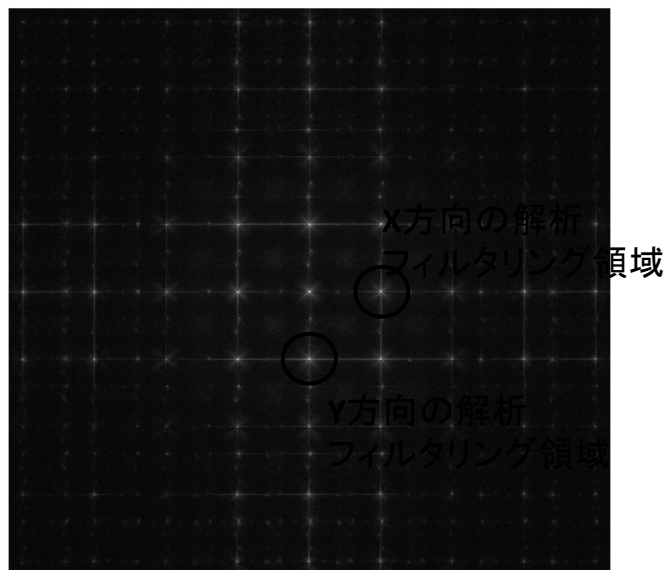
■ 反射系軸外シタルボット干渉計測装置



■ 取得トールボット像

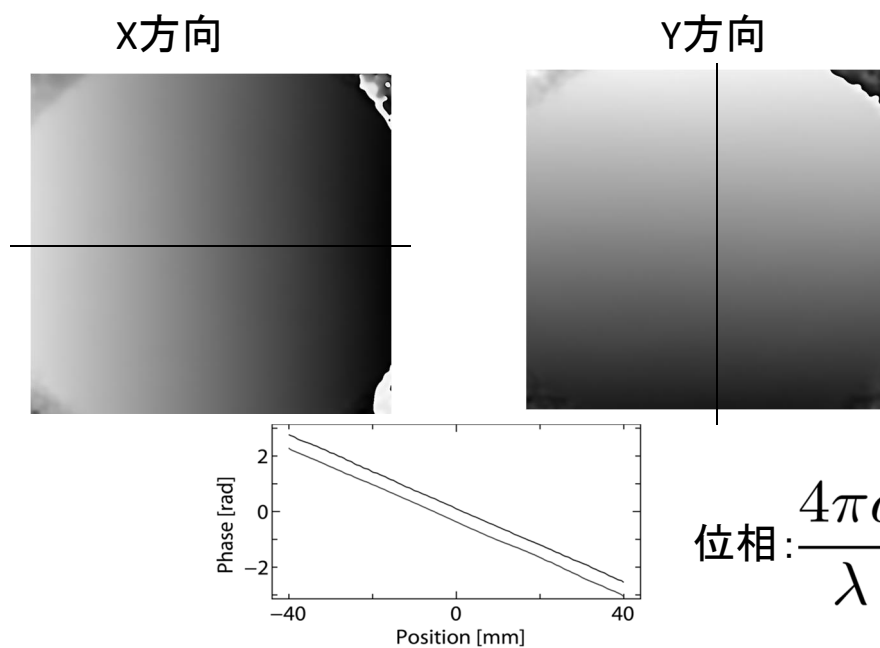


■ターレット像のフーリエ変換



11

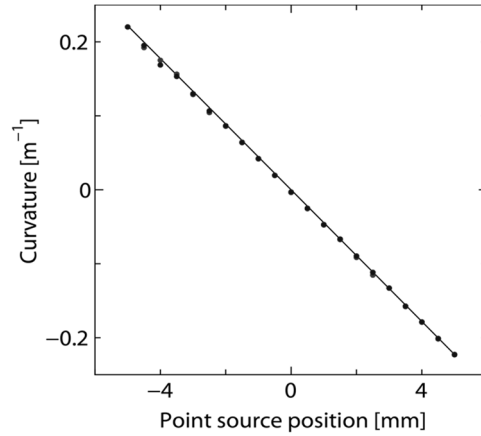
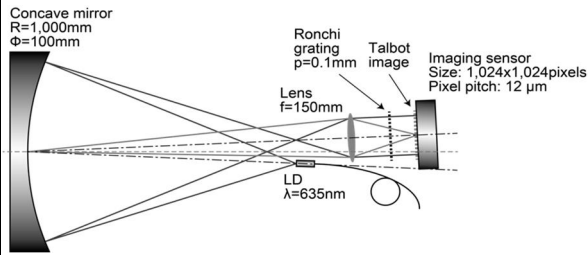
■球面波の位相画像(微分値)



12

5. 実験結果

■ 球面波の曲率定量化計測



計測精度: $\sigma = 0.0031 \text{ [m}^{-1}\text{]}$

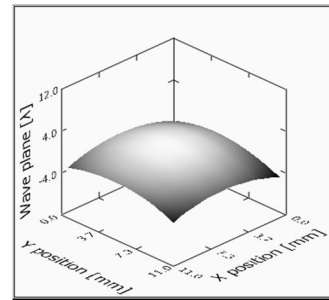
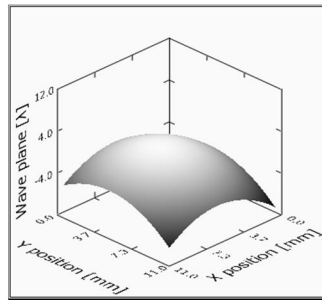
13

■ 波面(積分値)

理論値との最小二乗誤差:
0.027λ

曲率半径 -4.49 m

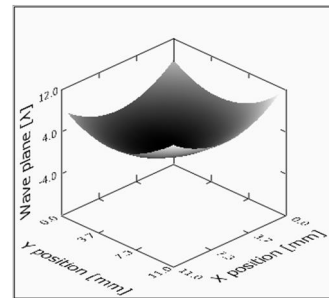
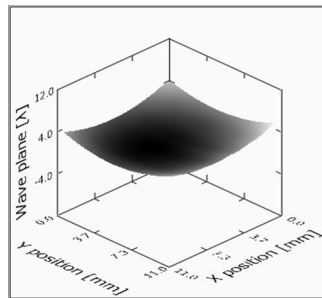
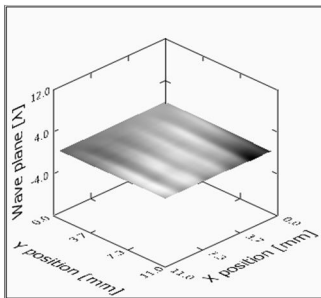
-8.99 m



∞

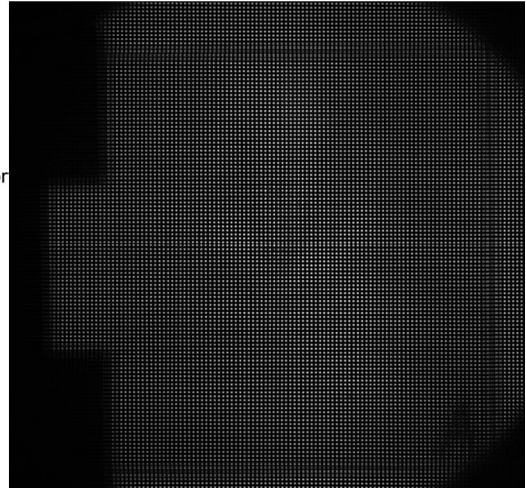
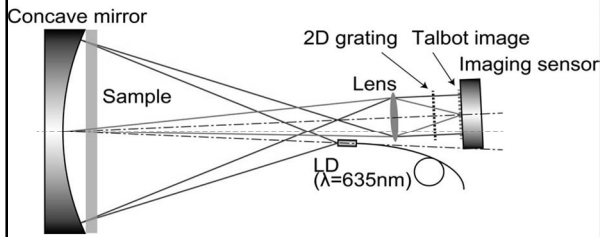
+8.99 m

+4.49 m



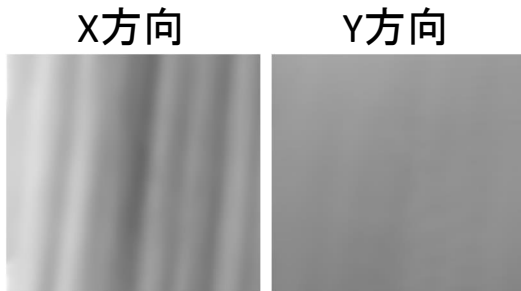
14

■ サンプル計測1 ーテンパックス材ー

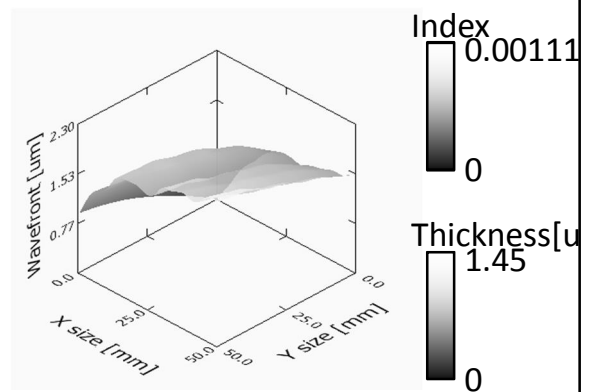


15

■ 微分値

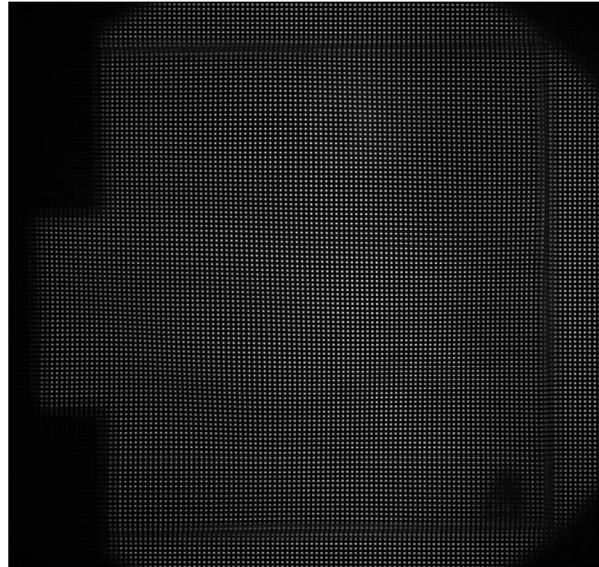


■ 波面(積分値)



16

■ サンプル計測2 ー白板ガラスー



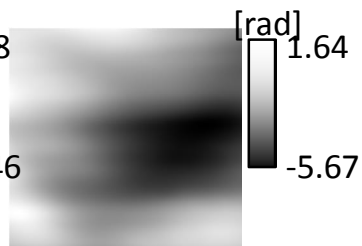
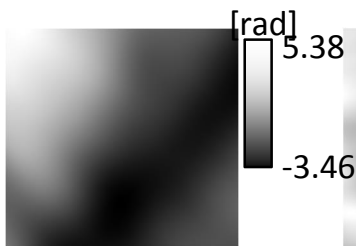
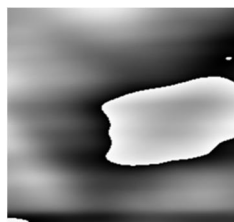
17

■ 微分値

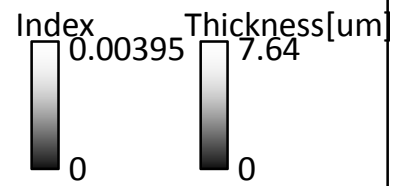
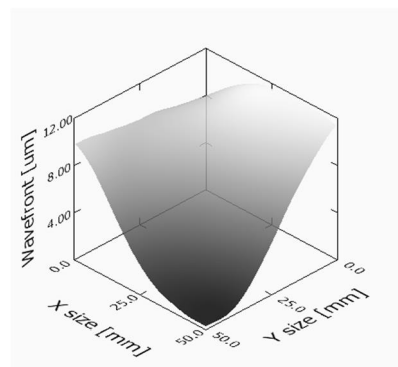
X方向



Y方向



■ 波面(積分値)



18

新技術の特徴・従来技術との比較

- “ 従来技術にも種々の歪み測定方法はある。しかし、一枚の画像を撮るだけで高精度な測定が行える方法は見当たらない。
- “ 従来の各種方法は構造が複雑で外乱に弱い。今回開発した方法は床面振動や、大気揺らぎ、温度変動等に影響を受け難い。ロバスト性が高い。
- “ 構造が簡単なので他方法に比べ安価である。
- “ 広い面積の検査をワンショットで行える。

19

想定される用途

- “ 透明ガラス板、プラスチック板材の歪み検査
- “ 現在は目視検査を行っているが、目の疲労の問題、検査員毎のばらつき等の問題から自動化が望ましい。
- “ 本技術では定量データが得られるので、前工程にフィードバックして不良品低減化が行える。
- “ 様々な分野で高精度歪み測定器として活用できる

想定される業界

- “ 利用者・対象
電子デバイス製造工場における透明窓材検査工程
ガラス板、透明プラスチック板の製造工場、検査工程
- 市場規模 不明

20

実用化に向けた課題

- “ 現在、実験室レベルでは期待された結果が得られている。今後プロトタイプを製作し、実用化評価を行う必要がある。
- “ プロトタイプ開発費用が確保されていない。

21

企業への期待

- “ 的確な応用先が見つからない。どのようなニーズがあるか情報を知りたい。
- “ そのニーズに合わせたプロトタイプを開発する必要がある。

22

本技術に関する知的財産権

- ” 発明の名称 : 透過波面計測装置及び透過波面計測方法
- ” 出願番号 : 特願2013-174970
- ” 出願人 : 宇都宮大学
- ” 発明者 : 喜入朋宏, 武田光夫,
谷田貝豊彦, 小野明

23

お問い合わせ先

宇都宮大学

コーディネーター 小野明

TEL 028-689 - 7078

FAX 028-689 - 7075

e-mail akira-ono@cc.utsunomiya-u.ac.jp

24