

# ガラス表面上の欠陥の識別システムの検討

小 山 洋 太<sup>\*1</sup>

藤 田 寿 広<sup>\*2</sup>

阿 閉 義 政<sup>\*3</sup>

## 【要 旨】

本研究では、光学材料の平板ガラスを検討対象とし、欠陥（キズ等）を塵埃と識別するための補助システムの開発について検証した。結果、2つのアプローチについて定性的な有効性を確認した。

## 1 はじめに

光学材料等に使用されるガラスについては、加工時において発生する表面上の微小な傷や孔などの欠陥を職人による目視検査で進めている事例がある。ただ検査対象の中には基板など平板形状であるが数量が多いものもあり、人的リソースを要する課題がある。

このような検査においては、職人による目視検査の前捌きや漏れのチェックとして検査装置を援用することも多くあり、光学像で確認する手法が考えられるが、欠陥とは異なる表面に載った塵埃を識別する必要がある。この際クリーンルーム内で検査を行うことも方策の1つだが、製造ラインのスペーサやコスト面の制約などにより、クリーンルーム外で欠陥と塵埃の識別が求められることも多くある。

そこで本研究では、照明や撮像系を検討することにより、光学像から欠陥と塵埃を識別する手法について検討した。

## 2 検証対象

今回、検証の対象としたものは、図1のようなガラスの平板である。上図がガラスの全体像であり、下図が同顕微鏡像である。

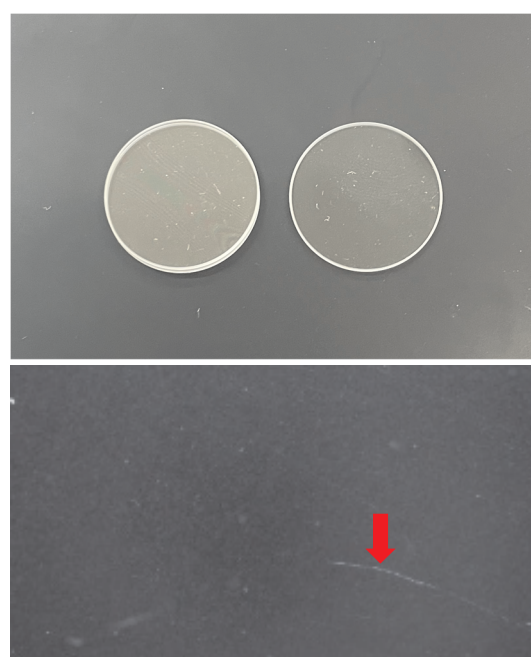


図1 ガラス平板（上）と欠陥（下）

例えば、下図の赤矢印で示した箇所が人為的に作成したキズ部分である。なお下図の顕微鏡像や検証時の撮像にはMicroLinks Technology 社製のUSBマイクروسコープ「UM22」を使用した。

## 3 検証1

### 3. 1 撮像系とコンセプト

検証1の撮像系の概要を図2に示す。

検証1では、カメラを少し斜めに傾けており、焦点位置が水平方向でずれることになる。このため、撮像対象（ガラス）を横移動させて連続的に

\*1 応用技術課 主任研究員

\*2 応用技術課 副主査

\*3 企画連携課 副主査

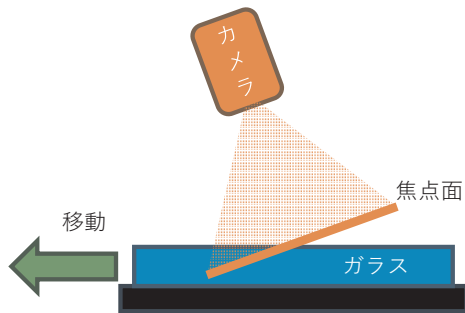


図2 検証1の撮像系

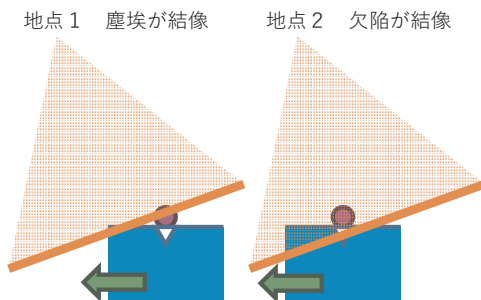


図3 深度により結像位置が異なる例

撮像すれば移動位置に合わせて結像状態が変わる。これを追跡することで、欠陥と塵埃との識別を試みるコンセプトである。具体的には図3の状況であり、図中左へ対象が動いていく中で、ガラス表面に乗る塵埃は早い段階で結像する。他方で、欠陥はガラス表面より下部に散乱域があるため結像位置が深く、結果、移動に関して遅いところで結像する。この差を用いることで欠陥か塵埃か識別することを試みた。

### 3.2 有効性検証

図4は撮像対象を移動させて取得した動画の2つのフレームを切り出したものである。

上下の図において赤矢印に示した像は同一の箇所であるが撮像対象の移動（画角内での場所の変化）により、結像状態が異なっていることが確認できる。

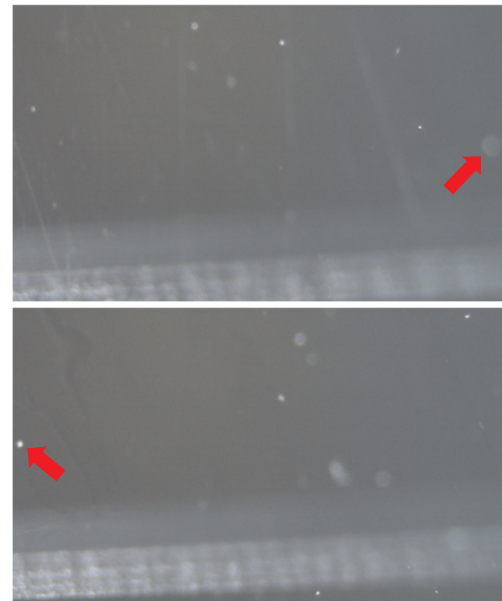


図4 撮像動画のフレーム例  
(上：フレームイン時、下：フレームアウト時)

この動画データより以下の所作により新たなデータを再構成する。

- (1) 注目する像（注目箇所）を決める。
- (2) 移動速度と画角の範囲から、注目箇所が各フレームにて、どの画素位置にいるかを計算する。
- (3) (2)の画素位置データだけを各フレームから取り出し、順に並べる。

このような画像は kymograph と言われ、上記の所作の概略を図5に示す。また、図4の赤矢印の画素について動画データから作成した kymograph を図6に示す。

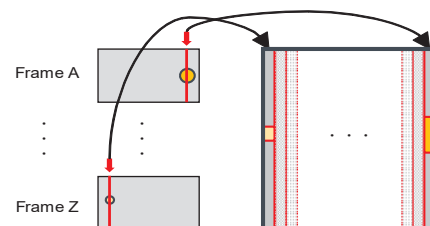


図5 kymographの作成の概略図

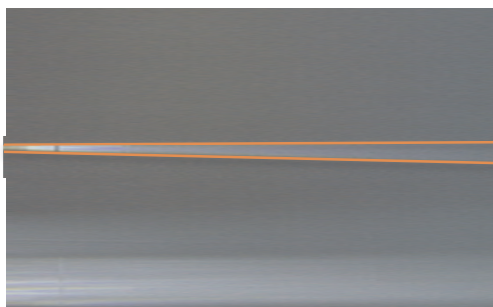


図6 図4赤矢印位置の kymograph

図6には画像の輝度に沿って赤い補助線を導入しているが、この箇所では左側で結像する彗星のような kymograph が得られる。これはフレームアウト時に注目箇所が結像している様子を表しており、この箇所は撮像対象上の深い位置にいることが読み取れる。

他方で、図7は別の箇所に注目して動画からフレームを抜粋したものである。この対象では画角右側で結像が良く、左側ではぼけており図4の対象とは結像状況が異なる。

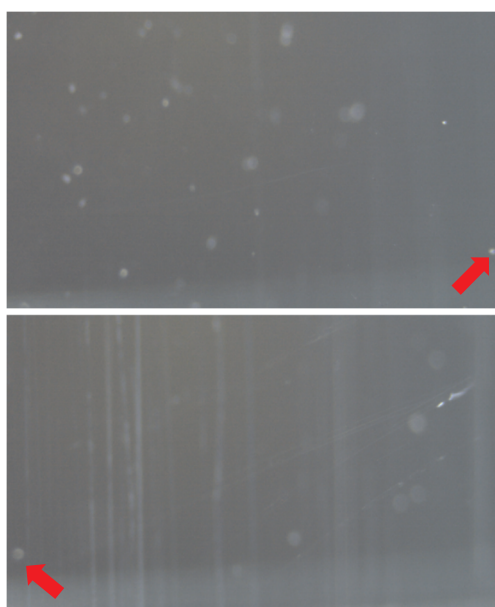


図7 撮像動画の異なるフレーム例  
(上：フレームイン時、下：フレームアウト時)



図8 図7赤矢印位置の kymograph

実際、この対象について kymograph を作成した結果が図8であり、結像状態の補助線を引くと画角内でくびれを持つような線が引ける。

これは図7とは対照的にフレームイン時に注目箇所が結像している様子を表しており、この箇所は撮像対象上の浅い位置にいることが読み取れる。

以上のとおり、撮像した動画から注目する画素の kymograph を作成し、その補助線の様態から画素の深度を推察することで欠陥か塵埃かを識別することの可能性について、定性的ではあるが、確認することができた。

## 4 検証2

### 4. 1 撮像系とコンセプト

次に検証2の撮像系の概要を図9に示す。

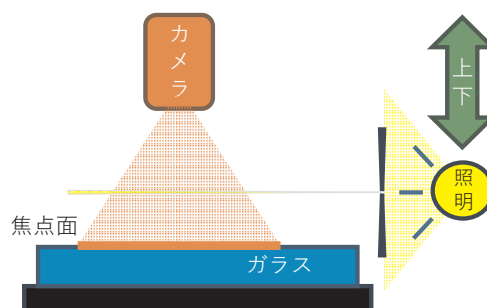


図9 検証2の撮像系 (スリット横照明)

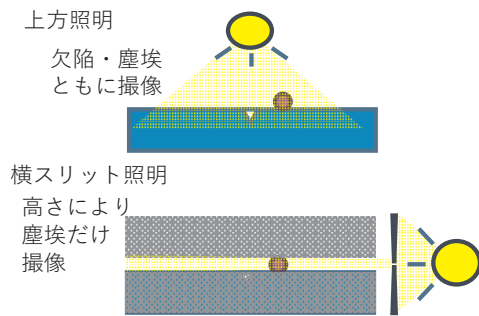


図10 照明方向で結像体異なる例

ここではカメラは撮影対象に対して傾かせず水平配置し、位置によって意図的に焦点を変えていない。ただし、通常の上部から光源による撮像撮像の他に照明を横に配し、スリットを通過させて得る線状光源の照明を準備した上、スリットを上下させることで線状光源の高さを変えられるようにしている。

この高さ可変のスリット照明を用いると図10に示すように、ある高さだけを照らすことが可能となり、高さによって映る結像対象を変えることができる。この撮像結果と通常の上部光源による撮像との差分にて欠陥と塵埃を識別することを試みた。

#### 4.2 有効性検証

図11は対象を上方照明で撮像した結果であり、いくつかの点像が見られる。一方、図12は横スリット照明でスリットを上下させ、塵埃だけが映っている位置に調整した撮像結果である。なお、ここでは判じやすいようにコントラストを調整している。この図12の赤丸で示すように、いくつか点像が見えるが、図11の全ての点像が映ってはおらず、映っていない像が欠陥である可能性が高いと考えられる。

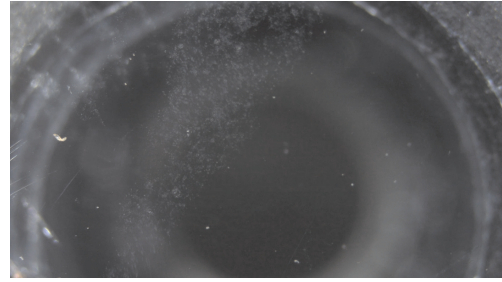
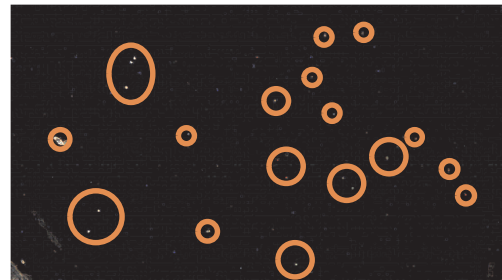


図11 上方照明による像

図12 横スリット照明による像  
(コントラスト調整)

#### 5 まとめ

本研究では、ガラス基板上の欠陥と塵埃を撮像系により識別する手法を検証した。検証の結果、カメラに傾きを導入し焦点が異なる位置を移動させると得られる kymograph と、照明方向の差分から像を分類する2種類について、有効性があると示唆される場所であった。

今後、両者について実際の生産現場でのサンプルでの検証を進めるとともに、照明の角度依存や偏光の影響など、異なる手法・コンセプトの検討も進めることとする。

#### (謝辞)

本研究において、株式会社大興製作所の皆様には研究テーマへの助言や実際の検査現場や検査対象にかかる情報についてご協力を賜りましたこと、感謝いたします。