

# ピンホール検出器における斜め孔検出方法の開発

Development of Diagonal Hole Detection Method in Pinhole Detector

令和4年5月

東洋鋼板株式会社

# ピンホール検出器における斜め孔検出方法の開発

馬場崎陵<sup>\*1</sup>・三宅勝也<sup>\*2</sup>・今重 薫<sup>\*3</sup>

Development of Diagonal Hole Detection Method in Pinhole Detector

Ryo BABASAKI, Katsunari MIYAKE, Kaoru IMASHIGE

**Synopsis** : Pinhole detector is a device that detects minute holes that penetrate in the thickness direction of the target. The causes of pinholes are falling off of non-metallic inclusion and cracking during cold-rolling. As a general inspection method, the target is irradiated with light to detect the transmitted light from the hole, but in the case of a diagonal hole, the transmitted light is less than that of a vertical hole, and it may not be detected. Therefore, we have developed a detector that can detect diagonal hole and improved the detection capability. The developed pinhole detector uses two linear Fresnel lenses to focus the LED light in one place. By making the light at the same angle as the diagonal hole, the amount of transmitted light can be increased. In addition to this, by using an optical fiber that can propagate only the light incident from a predetermined angle, it is possible to reduce the influence of light other than transmitted light that reduces the S/N ratio.

**Key Words** : pinhole detector; pinhole; diagonal hole; lens; optical fiber; minute non-metallic inclusion

## 1. 緒言

ピンホール検出器とは、被検査対象（以下、本報では冷間圧延鋼板を例にとる）の厚み方向に貫通した直径数十マイクロメートル程の微小な欠陥（以下、ピンホールと称する）を検出することを目的とした装置である。鋼板にピンホールが発生する原因としては、材料中の介在物の冷間圧延による脱落やひび割れ等があり、ピンホールの直径も板厚や介在物の大きさで様々である<sup>1)</sup>。ピンホールを検出するための手法として、鋼板に光を照射し、孔からの透過光を受光器でとらえて、ピンホールを検出する方法を用いているが、ピンホールは、必ずしも鋼板表面から垂直に貫通しているとは限らず、傾斜して貫通しているもの（以下、斜め孔ピンホールと称する）が稀に発生する。これらは、垂直に貫通しているピンホールに比べて透過光量が弱く、角度が大きい場合には光が透過できず、検出できない可能性がある。

本報では、ピンホール検出器の概要および、開発したピンホール検出器における斜め孔の検出方法について報告する。

## 2. 従来型ピンホール検出器の検出原理と課題

### 1) ピンホール検出器の検出原理

ピンホール検出器は、鋼板に光を照射する投光器と、光検出素子を有する受光器から構成されている。ピンホールが存在する場合、投光器から照射した光は受光器側に透過する。この透過した光量に応じて検出素子からの出力が変化し<sup>2)</sup>、出力が判定しきい値を超えた時にピンホールと判定している。ピンホールからの非常に微弱な光を検出しているため、設備近傍に設置された照明や、鋼板端部より回り込む投光器の光の影響（以下、外乱光と称する）は可能な限り小さくすることが求められる。透過光(Signal)と外乱光(Noise)の比を高くとることが

\*1 下松事業所 エンジニアリング部 計装グループ 計装第1チーム

\*2 下松事業所 エンジニアリング部 部長

\*3 元 下松事業所 エンジニアリング部 計装グループ

できれば、受光器の光に対する感度を高くし、より小さなピンホールを検出することが可能となる。

## 2) 検出方法における課題

ピンホールは必ずしも鋼板表面から垂直に貫通するとは限らず、傾斜して貫通するものも存在する。同じ光束の照射光が、垂直および角度  $\theta$  で斜めからピンホールに入射した場合、受光器上では、斜行入射光量は垂直入射光量の  $\cos \theta$  倍となる。つまり、斜め孔ピンホールを透過する光はピンホールの傾斜角が大きいほど小さくなり、検出が困難になる。また、投光器 (LED) は通常、鋼板に対して垂直に設置されるため、照射された垂直光または拡散光は斜め孔ピンホールからは反射ないし拡散した光が透過するため、さらに微弱な光となり、検出が難しい。

しかし、斜め孔ピンホールでも、Fig.1 の A に示すとおり、貫通した孔の方向が鋼板の幅方向、すなわち投光器および受光器の長手と平行である場合には、傾斜角にもよるが検出が可能である。これは投光器の発光面が鋼板幅よりも広く、光は放射上に広がることから、ピンホールのある箇所照射される光は発光幅の積分となり、様々な角度の光と光量を有するためである。検出素子も幅方向に並べられるため、光を検出することが可能である。しかし、Fig.1 の B に示すように鋼板の幅方向に対して垂直である場合には、貫通方向と照射された光の向

きが同一直線になりやすく、透過した光が受光器に入らない場合は検出することが出来ない。検出可能な面を大きくすればこの問題は解決するが、同時に外乱光を受ける可能性のあるエリアを増やすことにもなり、一概に検出能力が上がるとは限らない。そこで、斜め孔ピンホールを透過した光を、受光器まで導くことが可能となる仕組みの開発を行った。

## 3. 斜め孔検出方法の開発および検出能力向上の検討

### 1) 斜め孔検出可能な光学設計の検討

斜め孔ピンホールが検出困難である要因は第2章で述べたが、主となる要因は投光器から照射した光がピンホールを透過し、受光器に至るまでの光が拡散光のみで同一直線上に少ないためである。そこで、レンズを用いて光を屈折させ、斜め孔ピンホールを透過可能なベクトルの光を鋼板へ照射する方法の検討を行った。

レンズは入射した光を屈折させる性質がある。この性質を利用して斜め孔の角度と同じになるよう光を屈折させることで、斜め孔ピンホールをダイレクトに透過し、検出可能な光量を確保できると考えた。また、透過した光を受光器に入射させるための方法として、光ファイバーを採用した。光ファイバーは開口数により、伝搬可能な入射角の光が限定される。この性質から、検出した

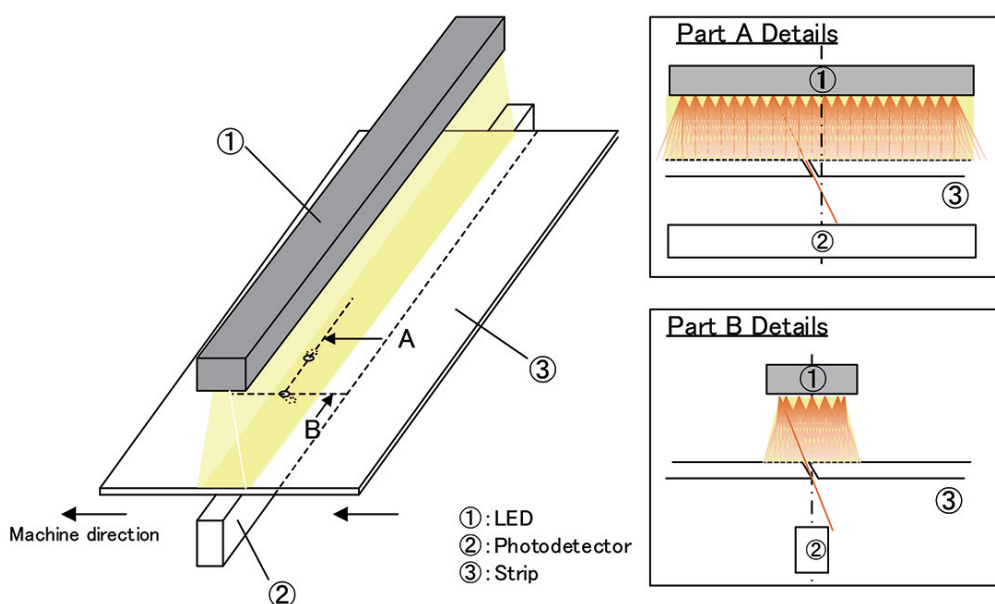
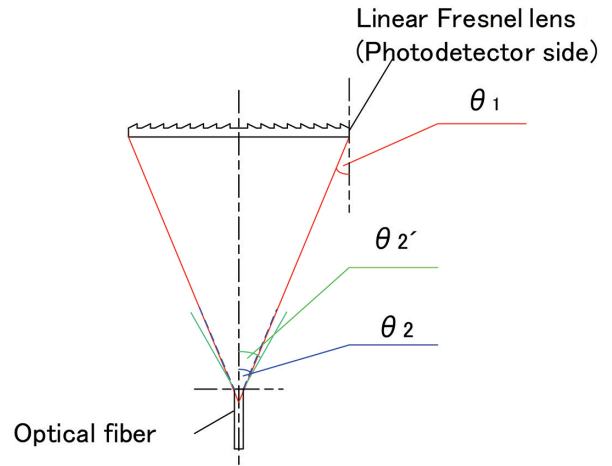


Fig.1 Schematic view of light path through the strip

い斜め孔から透過した光の角度  $+5^\circ$  を伝搬可能な開口数の光ファイバーを使用することで、外乱光は伝搬せず、透過光のみが受光器に届くようになり S/N 比を向上させることが可能となる。

Fig.2 に使用する光ファイバーの開口数と透過光の関係を示す。また Fig.3 にレンズおよび光ファイバーを使用した装置構成を示す。鋼板と光源との間に、光ファイバー端面に焦点を結ぶようレンズを配置している。これにより、光源の光軸から広がる光を再び光軸に接近するように収束させている。光ファイバーにおける入射側は 1 本ずつ 1 列に並べられており、出射側は Fig.4 に示すように端面を揃えて筒状に束ねられている。入射側で受けたピンホールからの透過光は光ファイバー内部を伝搬（全反射）し出射側の端面から受光器に照射される。伝搬可能な範囲外から入射した光は、端面まで伝搬されず、



- $\theta_1$  : Maximum refraction angle refracted by the lens
- $\theta_2$  : Maximum angle at which incident light can propagate
- $\theta_2'$  : Add  $5^\circ$  to Maximum angle that can be propagated

Fig.2 Relationship between numerical aperture and transmitted light angle

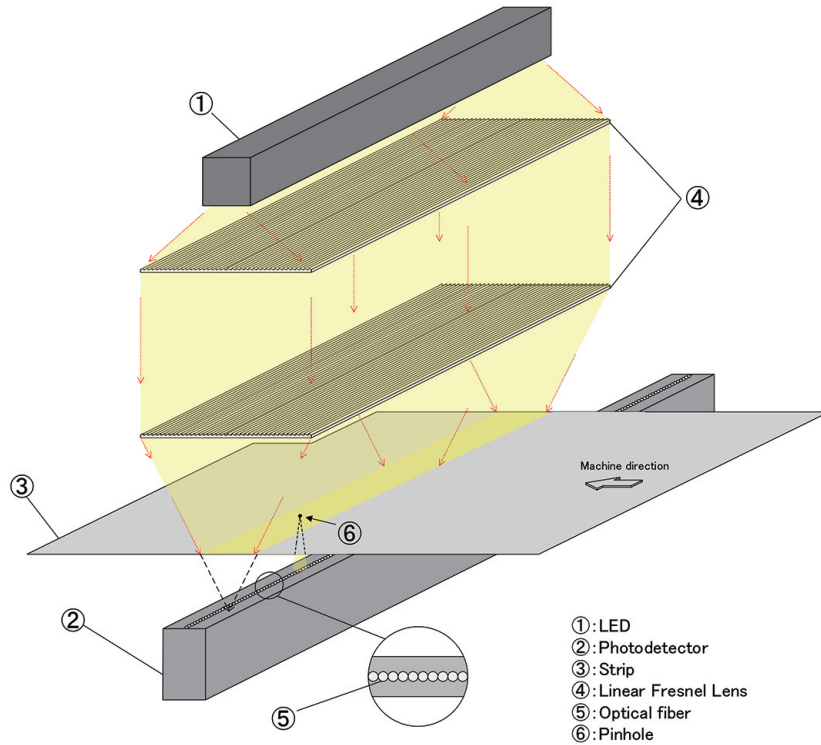


Fig.3 Detector configuration using linear Fresnel lenses and optical fiber

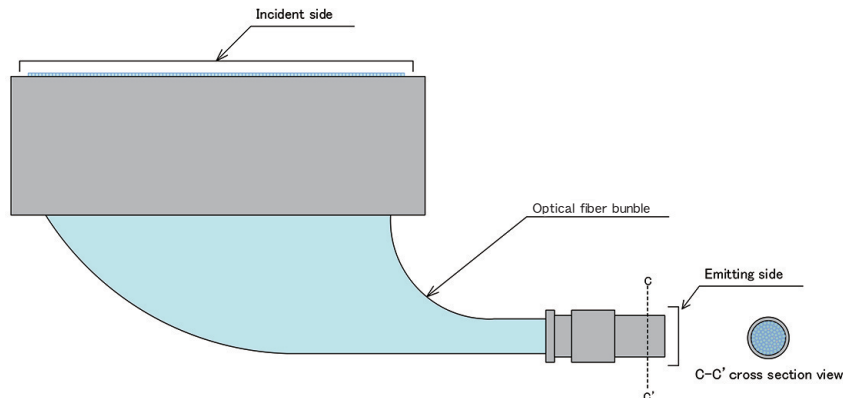


Fig.4 Schematic view of optical fiber unit

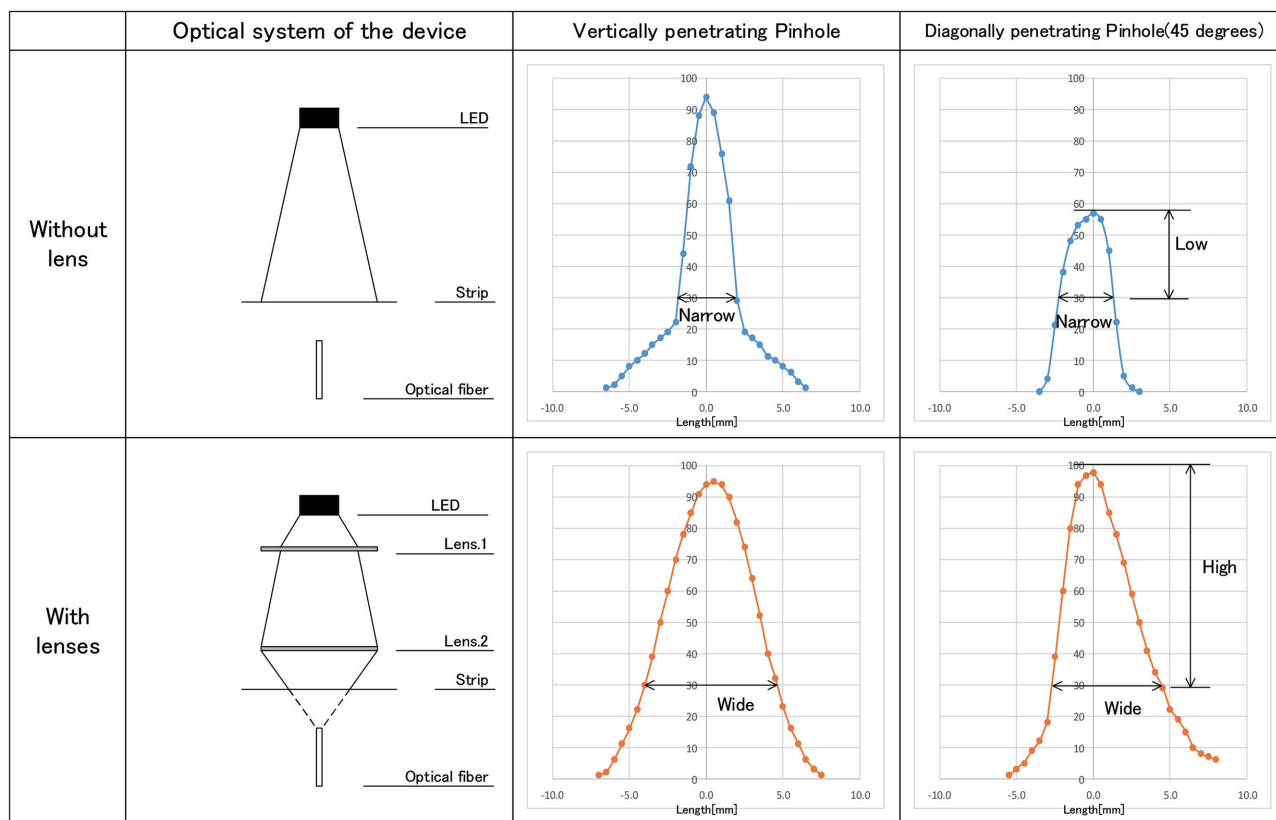
放射光として伝搬経路の途中で光ファイバー外周より放出される。これらの組み合わせにより、従来使用していたピンホール検出器では、特殊な遮光材を用いて受光面周囲を覆わなければならなかったが、開発したピンホール検出器ではそれらを使用せず、さらにより微小な孔に対しても検出感度を得ることが可能となった。

## 2) 検出レベルの比較

Fig.5 に当社で従来使用していたピンホール検出器と、今回新たに設計した検出器で同一のピンホールサンプル板を用いて測定を行った結果を示す。レンズを使用していない従来のピンホール検出器では、垂直孔ピンホールからの透過光に対して非常にシャープに検出素子の出力が増加しており、ピンホールを検出する時間は短い。また斜め孔ピンホールに対しては、垂直孔ピンホールに比

べて半分程度の出力に留まっている。

一方でレンズを使用して光ファイバーの入射面をレンズの焦点位置に配置すると、検出器が検出するピンホールの透過光による立ち上がりはレンズのない場合よりも緩やかになり、検出時間は長くなる。また斜め孔ピンホールに対しても垂直孔ピンホールと同等の出力を得ることができている。このようにレンズの使用により、従来に比べ斜め孔ピンホールにおける検出素子からの出力を大きくとることが可能であり、垂直孔ピンホールに関しても透過光を検出可能な幅が大きくなることが確認された。検出する時間が長くなったことにより、鋼板の移動速度によって従来では検出できないピンホールでも、新たに開発した検出器を用いることで検出可能となることが期待される。



※ Since the sample used for measurement has a large hole, the detection value is high even without lens.

Fig.5 Comparison of detection levels using optical fiber

## 4. 結 言

本報では、新規に検討したピンホール検出器の斜め孔ピンホールの検出方法について紹介した。レンズおよび光ファイバーを使用することで、照射光が斜め孔ピンホールを透過出来るようになり、ピンホール透過光以外の外乱光の影響を低減できるため、安定した検出能力を得ることが可能となった。また、外乱光の影響を低減できたことにより、従来では検出できなかった、より小さな径のピンホールを検出可能になるため、さらなる検出能力向上の検討を行う。

### 引用文献

- 1) 岡本博, 佐々木宗男, 山崎篤, 堂本靖博: 東洋鋼鉄, 33(2002), 17-22.
- 2) 浜松ホトニクス株式会社: 光電子増倍管—その基礎と応用—, 第4版(2017).