

日本アルミニウム協会賞 令和3年度技術賞受賞

冷間圧延板上の超軽勾配凸欠陥の検出技術*

藤森 崇起**

Technology of Detecting Micro-Convex Defects on the Cold-Rolled Aluminum Strips*

Takayuki Fujimori**

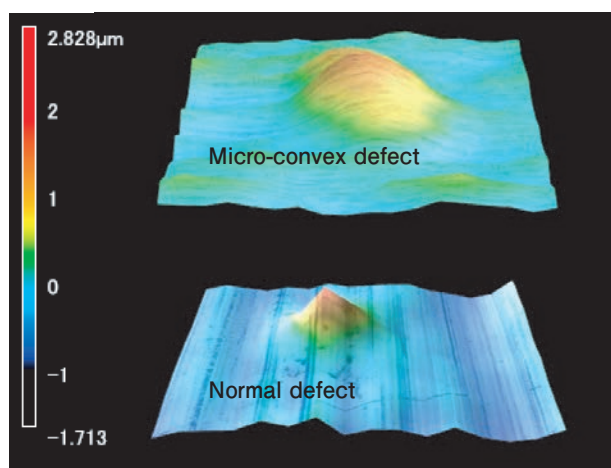
1. はじめに

アルミ冷間圧延板の表面品質に対する要求は益々高まっており、高さ $1\mu\text{m}$ 程度かつ直径 1.0mm 以上の緩やかな勾配をもつ凸部を欠陥として検出することが要求されている。このような欠陥はその勾配が緩やかゆえに通常の照明で陰影を形成することが難しく、既存の表面検査機での検出は困難である。また、冷間圧延板に形成される欠陥は圧延ロールの表面欠陥に起因したものが大半であり、これらは圧延ロール回転周期で発生する。ゆえに冷間圧延板の表面検査においては、最低でも圧延ロール周長の2倍以上かつ板幅全域、概

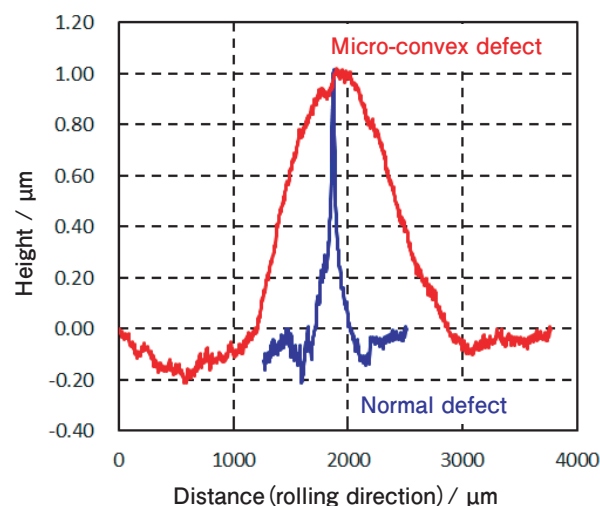
ね長さ 4m ×幅 2m という大面積を高速に検査することが求められる。このような検査要件では、精密形状計測を得意とするレーザーマイクロスコープなどを適用することもできない。この課題を解決するため、CMOSエリアカメラとLED偏照明を用いた超軽勾配凸欠陥の高速検出技術開発に取り組んだ。

2. 超軽勾配凸欠陥の特徴

今回の検出対象とする超軽勾配凸欠陥および、比較のため勾配が標準的な表面欠陥（以後、通常欠陥）を市販のレーザーマイクロスコープで観察した一例をFig. 1



(a) Overview of the defects



(b) Example of cross-sectional shape

Fig. 1 Visualization results of micro-convex defects and normal defects using a laser microscope.

* 本稿は、アルミニウム、29, No.115 (2022), 11-14に掲載。

This paper has been published in the Aluminum, 29, No.115 (2022), 11-14.

** 株式会社 UACJ R&D センター 第二研究部

Research Development II, Research & Development Division, UACJ Corporation

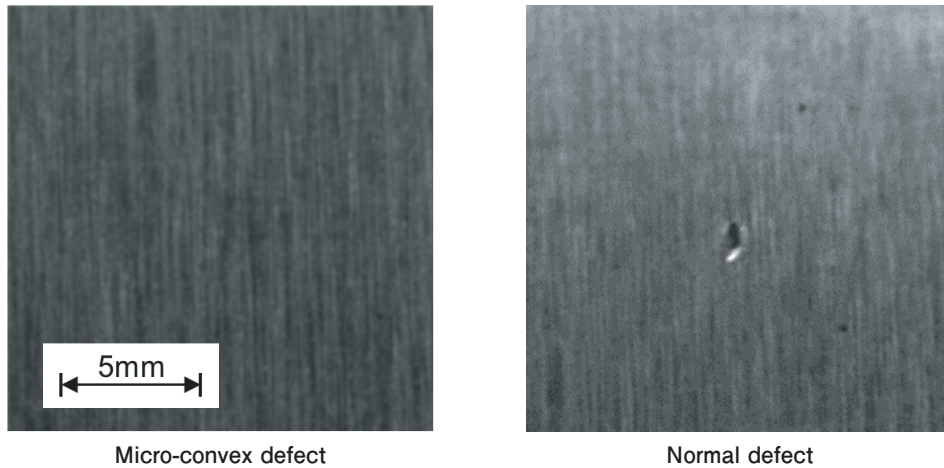


Fig. 2 Acquisition image comparison in general imaging method of micro-convex defects and normal defects.

に示す。両者ともに欠陥の高さはおよそ $1\mu\text{m}$ と同レベルである一方で、通常欠陥はその直径が約 0.5mm 、超軽勾配凸欠陥はその直径が約 2mm となっており、勾配が両者で大きく異なることが目視と数値の両面からわかる。また、両者の表面を一般的なマシンビジョン用LEDバー照明およびエリアカメラで撮影したものをFig. 2に示す。通常欠陥は明瞭に欠陥部が描写されているが、超軽勾配凸欠陥は全く可視化されていないことがわかる。これは、先述のとおり対象の欠陥が緩やかに勾配した形態であるため、通常の照明環境では欠陥部の陰影を画像上に描写することが困難なことに起因する。

3. 超軽勾配凸欠陥の検出技術概要

3.1 画像取得方法

前述のとおり、超軽勾配凸欠陥は緩やかな勾配をもつことが特徴であり、一般的な画像取得方法での可視化は難しい。そこで、本検討ではFig. 3に示すようにLED縞照明を用いた画像取得を試みた（カメラは一般的なマシンビジョン向けモノクロCMOSエリアカメ

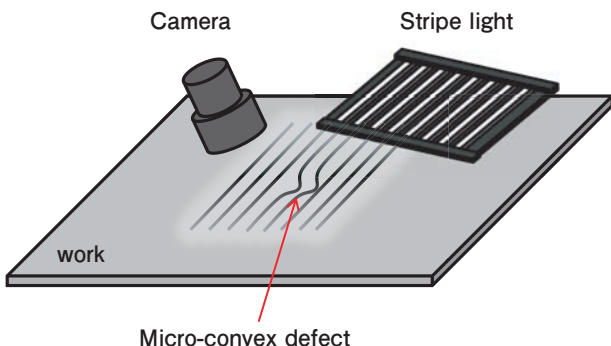


Fig. 3 Image acquisition method using stripe light.

ラを使用)。このLED縞照明は明暗の周期が正弦波特性をもつよう設計されているため、取得画像には板表面と照明との距離に応じた縞模様が形成される。つまり、対象の板表面が完全に平坦な場合は一定周期の完全に平行な縞模様が描写されるが、板表面に形状変化があった場合、その部分の縞模様は湾曲して描写される。よって、今回の検出対象である超軽勾配凸欠陥においても欠陥部の縞模様が湾曲した画像が得られると期待できる。Fig. 4に実際にLED縞照明を用いて取得した画像を示す。画像中央部が超軽勾配凸欠陥の存在箇所であるが、対応する箇所の縞模様が期待どおり湾曲していることがわかる。

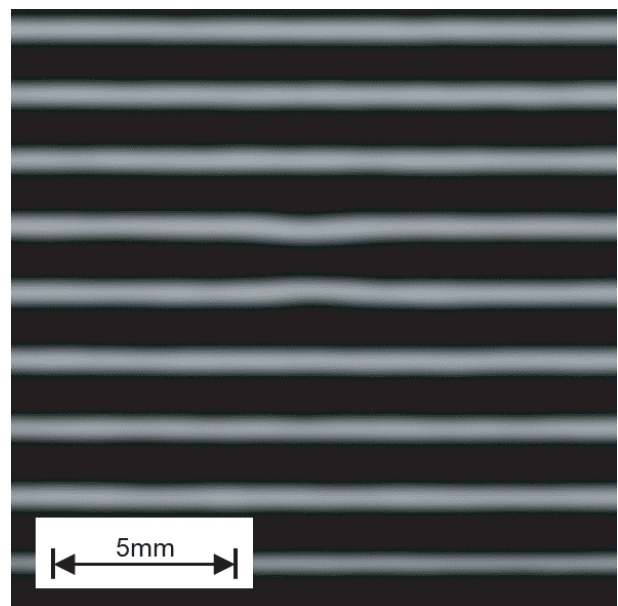


Fig. 4 Acquired image using stripe light.

3.2 画像処理方法

Fig. 4に示す画像から、縞模様の湾曲部のみを検出する画像処理ができれば、超軽勾配凸欠陥が検出可能となる。縞照明を利用する場合、一般的には良品で得られる縞パターン画像を予め準備しておき、被検体から取得した画像との差分から異常部を検出する方法があるが、冷間圧延板はその場所毎に固有の板形状を保有しているため、事前に準備した良品画像との差分比較は必ずしも適用できない。また、別の手法として位相シフト法のように縞の位相を変化させた複数枚の同一視野画像から異常部を検出する方法もあるが、大面積を検査するには膨大な画像が必要となり、検査速度の観点からも不適である。そこで、今回は一枚の取得画像から直接良品画像を予測生成し、両者の差分から欠陥部を検出することを試みた。Fig. 5に今回考案した画像処理プロセスの全体像を示す。(a)は取得まま画像であるが、これを二次元フーリエ変換によって周波数成分として表現したものが(b)のパワースペクトルであり、縦方向に横縞成分、横方向に縦縞成分が表現されている。縞照明はカメラに対して横縞を照射するように配置しているため、板表面に欠陥が存在しない場合、取得画像を形成する周波数は横縞の低周波成分が支配的となる一方で、欠陥部は縞模様の歪みとして表現されるため、斜めや縦方向の高周波成分として表現される。そこで、(c)に示すように横縞成分は低～中周波、縦縞成分は低周波のみを残存させる楕円形の周波数フ

ィルターを設計し、取得画像にこのフィルターを適用することで、板表面に欠陥が存在しなかった場合に得られたと考えられる良品画像を予測生成することを試みた。(d)は周波数フィルターによって生成した予測良品画像であるが、画像中央部の湾曲が無くなり、超軽勾配凸欠陥が存在しなかった場合に得られると考えられる縞パターンが得られていることがわかる。この予測良品画像と取得画像を差分後、二値化処理した画像が(e)に示す検出結果であり、取得画像のうち縞模様が湾曲した部位が漏れなく検出できていることがわかる(上からそれぞれ被検体画像中の縞模様の凹部(明部が欠けた部分)、凸部(明部が突出した部分)、凸部、凹部に対応)。

4. 小型検証機による冷間圧延板の模擬検査

冷間圧延板に形成される欠陥は圧延ロールに起因したものが大半であるため、ロール回転周期と欠陥の発生周期は原則一致する。また、周期的でない欠陥のほとんどは、段取りやハンドリング時にコイル外周部に意図せず付与される扱い疵など、製品部分には存在しない欠陥であるため、実際の検査では周期的に発生する欠陥のみを検出することが求められる。そこで、実際の検査を想定し、周期的な欠陥を検出するための小型検証機を製作し、模擬検査を実施した。小型検証機はFig. 6に示すように既設プロセスの一部に対して、

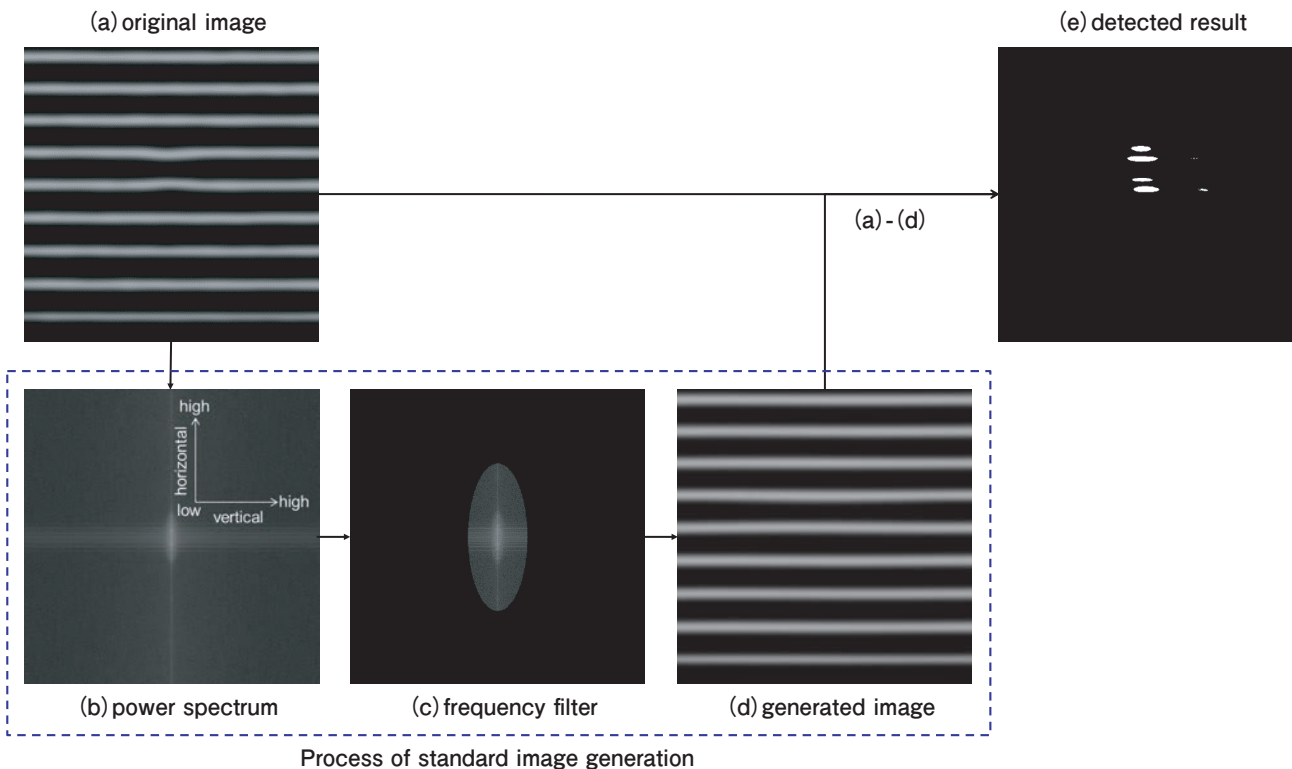


Fig. 5 Overview of the image processing.

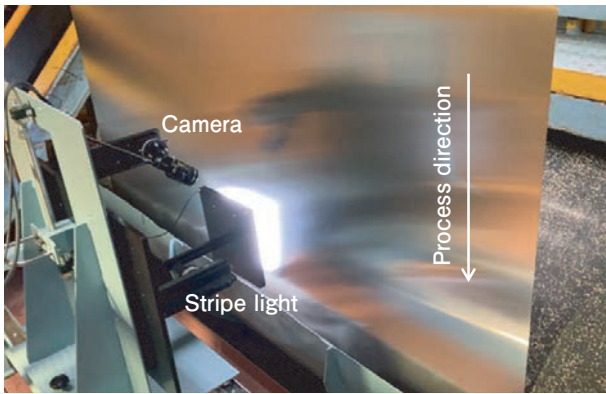


Fig. 6 Test equipment using developed technology.

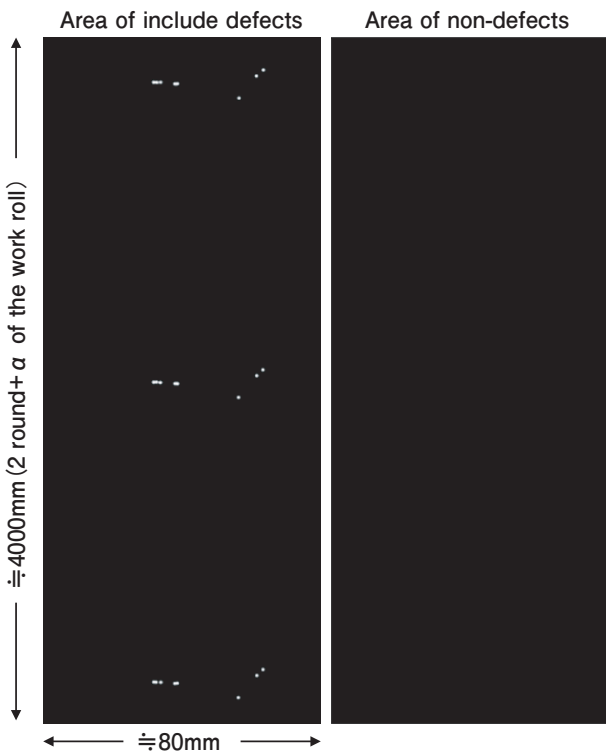


Fig. 7 Result of defects detection using by developed technology.

幅方向に可動可能なLMガイド上に前述のカメラと縞照明を設置し、任意の幅位置における板表面画像を連

続取得可能なものとした。模擬検査で使用したコイルは欠陥発生位置を把握済みのテスト用コイルとし、欠陥の存在する幅位置、および欠陥の存在しない幅位置でそれぞれ圧延ロール2周分+ α の画像を取得した。画像処理においては、検出した欠陥のうち、圧延ロール回転周期で存在するもののみを残存させる処理を追加した。Fig. 7に検査結果を示す。欠陥の存在する幅位置においては適切に周期欠陥を検出しつつ、欠陥の無い幅位置においては誤検出もないことから、開発技術およびそれを用いた模擬検査装置の優れた欠陥検出能力が示されたといえる。

5. おわりに

冷間圧延板に存在する超軽勾配凸欠陥の検出技術として、CMOSエリアカメラとLED縞照明を用いた画像取得および、取得画像から良品画像を予測生成する方法を提案し、模擬テストにおいても優れた検出能力が示された。一方で本技術は一般的なCMOSエリアカメラを使用していることもあり、1ユニット(1カメラ+1照明)あたりの有効視野サイズはおよそ80mm程度である。冷間圧延板は製品によっては板幅が2000mmを超えることもあるため、1ユニットで実際の検査を実施することは現実的とはいえない。現在はこの問題を解決するため、ユニット数およびその運転制御の最適化を検討しており、本技術の実プロセスにおける戦力化を進めている。



藤森 崇起 (Takayuki Fujimori)
(株)UACJ R&D センター 第二研究部