

フレキシブル銅張積層板の高速・高精度外観検査法

High-Speed High-Accuracy Visual Inspection Method for Flexible Copper-Clad Laminated Board

藤本 隆博* ・ 宮崎 智太郎* ・ 吉田 謙治* ・ 杭ノ瀬 正治* ・ 森 正至**
Takahiro Fujimoto Tomotaro Miyazaki Kenji Yoshida Masaji Kuinose Tadashi Mori

フレキシブル銅張積層板の外観検査において、検査照明の入射光軸に対する反射光軸からカメラの光軸をシフトさせることで多種欠点の同時検出が可能な光学系構成、2種類の閾値による欠点の高精度な面積算出法、複数のDSPによる並列分散処理方法とソフトウェアによる高速処理法を考案し、0.05 mm²の微小凹凸、深さ2 μmのきず、微小なラミネートしわ、低コントラストの変色などの欠点を検出できる画像処理検査技術を開発した。これらの技術を用いて開発した検査装置は、銅箔の振動抑制により検査の安定化を図ることで従来目視で行われていた検査工程を自動化し、フレキシブル銅張積層板の外観品質保証において高い信頼性を実現している。

In the visual inspection of flexible copper-clad laminated board, image processing inspection technology has been developed by using an optical system capable of simultaneously detecting a variety of defects. The defect detection is made possible by shifting the optical axis of the camera from the reflection light axis of the incident light from the inspection light source, high-accuracy area calculation method of defects by using two threshold values combined with the parallel distributed processing method with multiple DSPs and a software-based high-speed processing method.

The developed technology is capable of detecting defects such as microscopic surface irregularities of 0.05 mm², a fault of 2 μm in depth, delicate lamination wrinkles, change of color in low contrast etc. The inspection equipment employing the developed technology can automate the conventional human visual inspection process by suppressing copper foil vibration and stabilizing the inspection data, thereby achieving a high level of reliability in the appearance quality assurance of flexible copper-clad laminated board.

1. ま え が き

フレキシブル銅張積層板（図1）は、携帯電話や液晶基板などの微細な回路パターンに使用されており、数μmの微小な欠点でも重大なトラブルにつながる。そのため、製造工程において信頼性の高い検査による高品質が要求されているが、従来の目視検査では検査員間により品質や生産性が安定しないなどの問題点があり、これらを解決するために外観検査機を開発を行う。

この目視検査を代替する外観検査機を開発するためには次の技術課題が考えられる。

- (1) 多種欠点を同時検出できる最適な光学系構成の開発
- (2) 欠点面積を高精度に算出する画像処理技術の開発
- (3) 複数のDSPによる並列分散処理方法による高速検査

方法の開発

これらの技術を搭載する検査機の開発においては、フレ

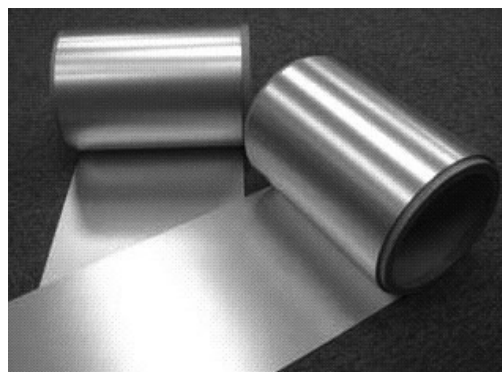


図1 フレキシブル銅張積層板「FELIOS」

* 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

** 電子材料本部 機能材料開発事業部 Advanced Materials Division, Electronic Materials Business Unit

キシブル銅張積層板の搬送中に発生する検査面の微小な上下振動を抑制する機構も搭載することにより、信頼性の高い検査を実現している。

また、検査結果情報を活用してSPC^{*1)}管理を行うことで、高信頼な外観品質保証体制を確立したので以下に説明する。

2. フレキシブル銅張積層板の検査

2.1 製造工程の概要

図2にフレキシブル銅張積層板の製造工程を示す。ラミネート工程では、絶縁フィルムを銅箔で挟み込み、ラミネータによりラミネートする。この工程では、ラミネートしわ、銅箔素材に付着していた異物や工程上の異物による打痕やきず、染み、変色などの外観欠点が発生する可能性がある。ラミネート後は筒に巻き付け、製品として検査工程に移動する。この工程では、筒に巻かれた製品を別の筒に巻移しながら検査する。

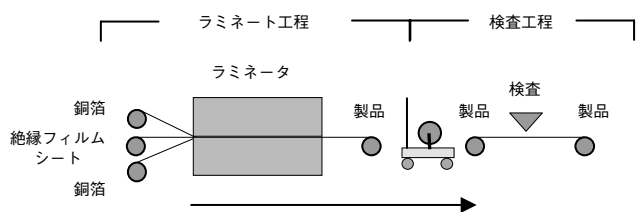


図2 フレキシブル銅積層板の製造工程概略

2.2 目視検査の問題点

この検査工程で検出される外観欠点には図3に示すものがあり、凹凸系と濃淡系に大別できる。

凹凸系欠点には、面積0.05 mm²程度の微小な打痕、深さ2 μm程度のきずのほか、筋状のなだらかな段差であることから検査時は製品にテンションが掛かり段差が消えてしまう折れがある。また濃淡系欠点には、銅箔素材表面に付着侵食したほこりやさび、工程中に付着した汚れなどがあり、いずれも良品部との濃淡差が少ない変色である。

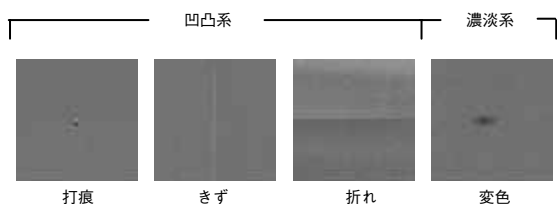


図3 外観欠点例

これらの目視検査では、検査員間で①着座位置や検査面に照射する光の位置による検出能力の微妙なばらつき、②欠点検出精度の微妙なばらつき、③欠点検出量による検査所要時間の変動などがあり、検査品質や生産性の安定化が問題となっている。

3. 技術課題解決の方策

そこで筆者らは、これらの問題を踏まえ、先に述べた技術課題を解決するための方策を考案したので以下に述べる。

3.1 多種欠点を同時検出する光学系の開発

従来、欠点の形状や大きさにより異なった光学系を使用しており、そのため検出する欠点種類が多くなると複数の光学系が必要であった。

たとえば凹凸系の欠点の場合、図3に示す打痕のような円形状ときずなどの筋形状の欠点検出には異なる光学系を使用していた。

開発した光学系は、照明の照射位置に対してカメラの視野位置をシフトした構成となっており、欠点の陰影を撮像することにより、一つの光学系で複数の微小な欠点を検出するものである(図4)。

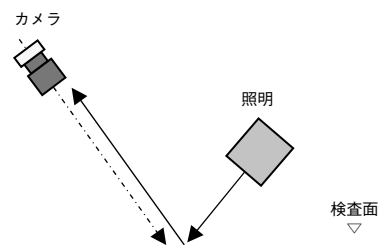


図4 開発品の光学配置

従来からある照射位置と視野位置が同じ場合では、欠点部分に照射された光がほぼそのまま反射され、その光量値が良品部と同等となるため、コントラストが低く欠点検出が困難となる(図5(a))。

これに対して考案した光学系では、照射位置と視野位置をシフトすることで欠点の直前位置に照射された光により陰影が生じ、欠点部分のコントラストを高くすることができ、検出を容易にしている(図5(b))。

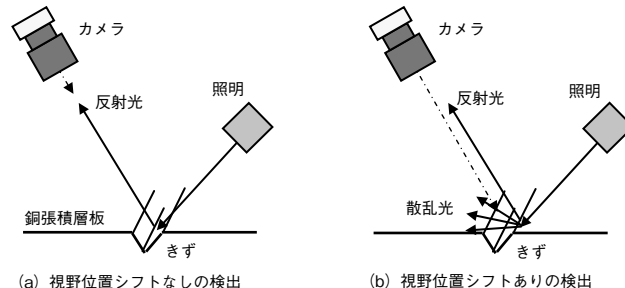


図5 視野位置シフトの効果

3.2 欠点別した高精度な面積算出方法

製品の検査規格として欠点種類とその面積に応じて単位長さ間に含まれる欠点数を規定しているため、判定には正確な面積値の算出が必要である。

3.2.1 画像処理フロー

図6に面積値算出フローを示す。微分演算処理部で欠点候補をその抽出画素数の大きい順に並び替え、欠点候補抽出部で抽出された欠点候補の画素数があらかじめ定められた設定値未満の場合は次項で述べる高精度面積算出方法を適用し、それ以上の場合は欠点種類に関係なく抽出された画素数を基にそれぞれ面積算出を行う。

このような処理とすることで、ある画素数以上での欠点候補は面積算出を高精度に行う必要がなくなり、処理の高速化が可能となっている。

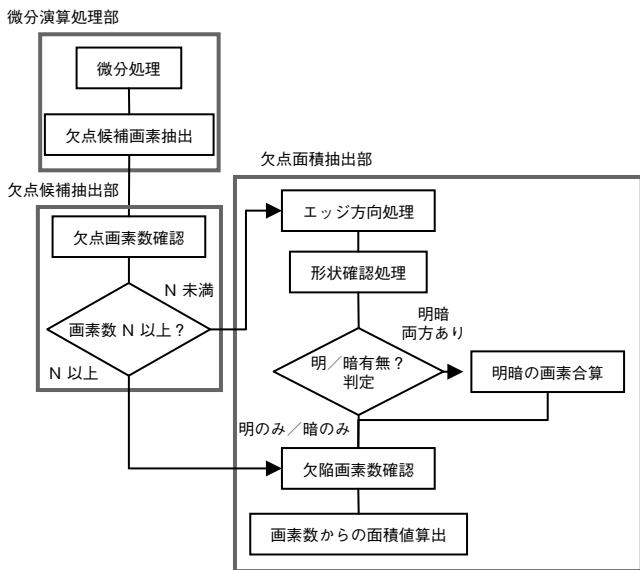


図6 面積値算出フロー

3.2.2 高精度面積算出方法

一般的な欠点候補の面積値の算出方法では、2値化された画像から抽出された画素数にカメラ分解能を掛け合わせた数値を面積値としている。しかし、図7に示す欠点候補の場合は明部分と暗部分で構成されており、どちらかに閾値を合わせた面積値となるため、正しく面積値の算出ができない²⁾。

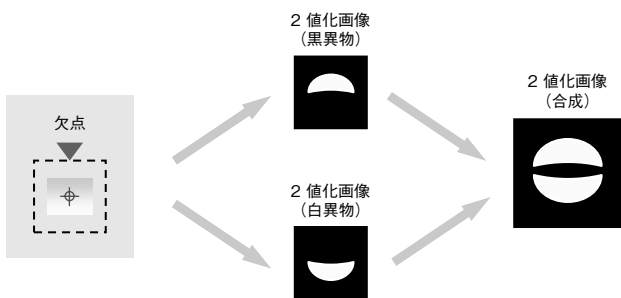


図7 明暗混在する欠点の面積算出処理(打痕欠点)

一方、考案した算出方法では、エッジ抽出後のエッジ延長処理により閉領域を抽出し、光量分布から明部分と暗部

分が混在しているか否かの前処理判断を行っている。そして図7に示す明部分と暗部分が混在する欠点候補の場合には、明部抽出閾値以上の部分を明部分、暗部抽出閾値以下の部分を暗部分として抽出し、それぞれの画素数合計により面積値の算出を行っている。また、図8に示す明部分と暗部分が混在しない欠点候補の場合には、閉領域内の画素数から面積値の算出を行っている。



図8 明暗混在しない欠点の面積算出処理(変色欠点)

3.3 ハードウェアとソフトウェアによる高速検査方法

目視検査の代替となる外観検査機を導入するに際し、安定した高精度な検査を効率良く運用する必要がある。この課題を解決するためのハードウェアとソフトウェアについて以下に述べる。

3.3.1 ハードウェアによる高速画像処理

従来は画像撮込み、演算処理、結果出力を直列処理しており、高速検査への対応には制御するCPUの負担が大きくなり、検査速度を上げることが不可能であった¹⁾。

開発した画像処理システムは、複数のDSPを用いて画像撮込みおよび画像処理を並列分散処理することにより高速処理を実現している。

この検査機では、図9に示すように、カメラ1台と2枚の処理ボードから成る基本構成を複数並べ、その上位にメインCPUを配置するシステムを採用しており、以下にそれぞれの役割を説明する。

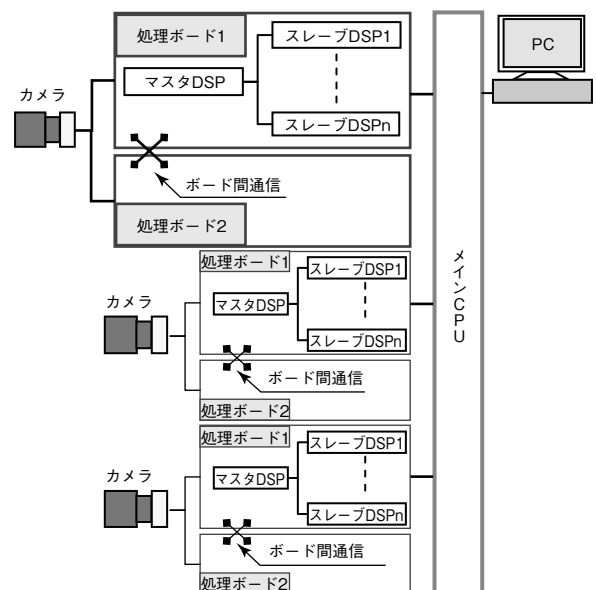


図9 画像処理システムの構成

メイン CPU は、各処理ボードで処理された結果を定期的に吸い上げ、マンマシンインタフェイス用の検査結果表示処理や検査情報の管理処理などのリアルタイム性の低い処理を担っている。

処理ボードは、一つのマスタ DSP と複数のスレーブ DSP から構成される。マスタ DSP は、処理ボードの動作状態を処理ボード間で通信させて両者の同期制御を行っている。またこれは、スレーブ DSP に対して画像の撮込指令や検査結果の吸上げなど、画像処理に関する処理ボード内の制御を行っている。一方スレーブ DSP は、マスタ DSP からの画像撮込指令によりあらかじめ割り当てられた複数ラインの画像を撮り込み、その画像に対して画像処理を実行している。

3.3.2 ソフトウェアによる内部処理の高速化

マスタ DSP は、図 10 に示すようにスレーブ DSP1 からスレーブ DSPn に対して順番に画像撮込指令を行う。

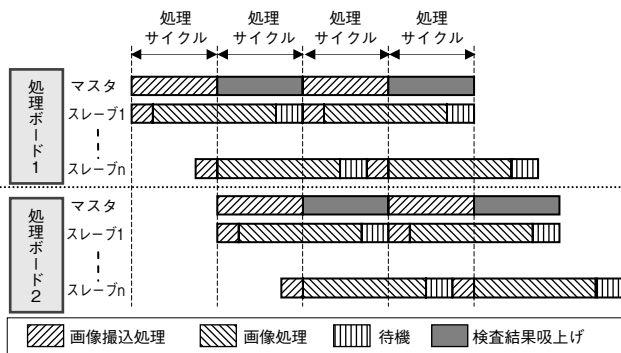


図 10 DSP 内部処理概略図

処理ボード 1 のスレーブ DSP1 は、マスタ DSP からの画像撮込指令に従って画像撮込処理を行う。その後、撮り込んだ画像に対して画像処理を実行する。以降、マスタ DSP はスレーブ DSPn まで順次画像撮込みの指令を行う。スレーブ DSPn の画像撮込完了時点で、マスタ DSP は処理ボード 2 のマスタ DSP にボード間通信で画像撮込処理の移譲指令を出し、処理ボード 2 が画像撮込み処理を実行している間に並列して処理ボード 1 は撮込画像に対しての画像処理を実行している。このように、処理ボードの 1 と 2 が交互に画像撮込みおよび画像処理を行っていくことで、高速な画像処理を実現している。

4. 外観検査装置

前章で述べた技術を用い、ロール状の製品を巻き移しながら行う外観検査において、開発した外観検査機はねらいの検査精度を実現している (図 11)。

以下に安定した検査の実現と製品の品質保証のために盛り込んでいる技術と機能について説明する。



図 11 外観検査機

4.1 搬送時の振動対策

フレキシブル銅張積層板が巻移中に微小な振動が発生することで、検査画像に図 12 (a) に示すような縞模様が発生し、正確な検査が行えない場合がある。

この振動を抑えるにはフレキシブル銅張積層板の裏面から検査位置にバックアップロールを押し当てる方法が考えられるが、微小な打痕などの凹凸系欠点が延ばされて検出がより困難になってしまうため、検査位置に何も接触させずに振動を抑える方法の開発が必要である。



(a) 振動対策前の検査画像 (b) 振動対策後の検査画像

図 12 検査画像

4.1.1 振動抑制装置

ロール状のフレキシブル銅張積層板を巻移しながら検査を行っているが、このときには図 13 (a) に示すように短周期で上下方向の微小な振動が発生する。

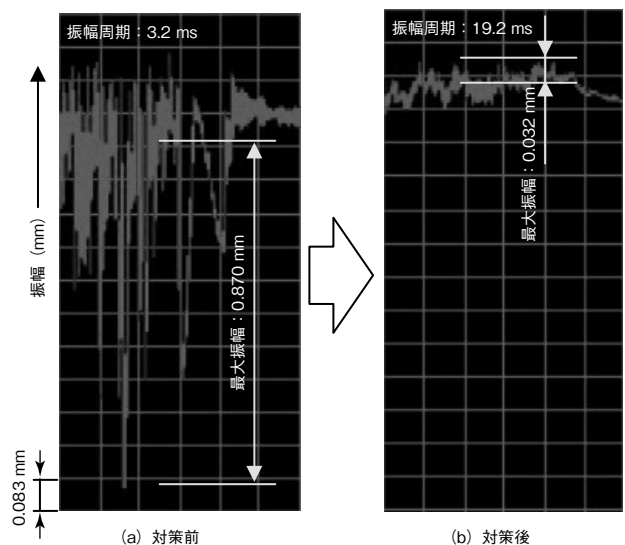


図 13 銅箔の振動

この振動により、撮像時にワークとカメラの間隔が変動して画像がぼやけ、微小欠点の見逃しや過検出などの原因となる。

この振動を抑制するため、図14に示すように銅箔端面の裏面に対して振動吸収ユニットで支持されたローラを接触させ、振動を吸収する装置を取り付けている。

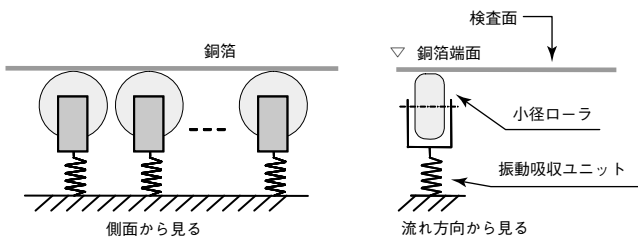


図14 振動抑制ユニット概略図

これにより、図13(b)に示すように検査に影響を与えないレベルまで振動を抑制でき、図12(b)のように検査品質の安定化を実現している。

4.1.2 検査情報管理と活用

製品の外観検査結果は工程管理と品質管理に重要な情報であり、本検査機では、図15に示すように製品上に発生した欠点の種別、位置、サイズの欠点情報や欠点画像および欠点の発生位置を示す欠点マップを出力し、それらの情報の管理と記録をリアルタイムに実施している。

また、欠点マップにより欠点の発生状況をリアルタイムに見える化することで、オペレータは設備起因による周期的な欠点の発生や銅箔素材の局所的な欠点発生が確認でき、工程改善の基礎データとして活用できる。

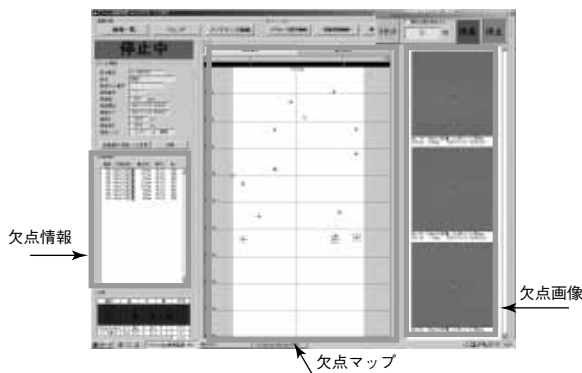


図15 検査メイン画面

さらに、検査により得られた欠点情報（欠点位置、欠点面積値、欠点画像などのデータ）を品質記録とし、合否判定やSPC管理ができる。

品質記録には、製品ごとに生産条件や検査条件、各工程で確認された製品状態や欠点発生状態などがあり、トレーサビリティ管理にも利用される。また、欠点発生状態は、外観検査で収集した欠点情報を用いて記録される。

SPC管理では、欠点情報を用いて欠点種別や位置・大きさなどの情報を分析し、傾向管理することで製造工程改善、不良品未然防止、品質レベルの改善を行う。具体的には、銅箔等原材料起因の微小欠点を検出し、波及範囲を最小限に抑え、現象の原材料メーカーへのフィードバック、改善対策を迅速に行うことである。

5. あとがき

フレキシブル銅張積層板の外観検査において、検査照明の入射光軸に対する反射光軸からカメラの光軸をシフトさせることで多種欠点の同時検出が可能な光学系構成、2種類の閾値による欠点の高精度な面積算出法、複数のDSPによる並列分散処理方法とソフトウェアによる高速処理法を考案し、 0.05 mm^2 の微小凹凸、深さ $2 \mu\text{m}$ のきず、微小なラミネートしわ、低コントラストの変色などの欠点を検出できる画像処理検査技術を開発した。これらの技術を用いて開発した検査装置は、銅箔の振動抑制により検査の安定化を図ることで従来目視で行われていた検査工程を自動化し、フレキシブル銅張積層板の外観品質保証において高い信頼性を実現した。

今後、高信頼性・高精度・高速の外観検査を実現する技術開発を進め、他の金属製シート材や非透過系のシート製品などに検査対象物を広げて行く予定である。

●注

* 1) SPC (Statistical Process Control) : 製造工程における品質のばらつきを統計的に管理する方法

*参考文献

- 1) 結城 康之, 笹田 勝弘, 畑澤 新治, 白澤 満: 高速高精度外観検査システム, 松下電工技報, Vol. 53, No. 2, p. 75-80 (2005)
- 2) 上ミ 弘高, 前田 尚伸, 太田 篤宏, 白澤 満: 微分画像解析により高精度成形外観検査, 松下電工技報, Vol. 55, No. 2, p. 40-45 (2007)

◆執筆者紹介



藤本 隆博
生産技術研究所



宮崎 智太郎
生産技術研究所



吉田 謙治
生産技術研究所



杭ノ瀬 正治
生産技術研究所
1種情報処理技術者



森 正至
機能材料開発事業部