

製紙業界向け外観品質検査装置

Appearance Quality Inspection System for Paper Making Industry

池田 孝之 IKEDA Takayuki JFE 電制 エンジニアリング本部 主査 (課長)

要旨

JFE 電制では、製紙工場の仕上げライン向けに画像処理技術を用いた外観品質検査装置を開発した。本装置は、積層された紙の積層面への紙粉の付着、紙の折れや飛び出し・不揃いを検出するものである。テクスチャー解析を応用した紙粉付着量の定量化、カメラと照明の適切な配置による折れの検出、光切断法を適用し 0.5 mm の紙の飛び出しを検出する技術を開発し、これまで目視に頼っていた検査を自動化することが可能となった。本装置は、印刷用紙を製造するライン向けに 2 台、コピー用紙を製造するライン向けに 4 台が納入されている。

Abstract:

JFE Electrical & Control Systems has developed an appearance quality inspection monitoring device with optical image sensors of the flat sheet for the finishing line of a paper mill. The monitoring device detects defects on the edge of laminated paper, such as adhered paper particle, paper folding and abnormal alignment. Quantification of adhesion amount of paper dust by texture analysis method has been introduced. By the appropriate position of placement of cameras and lighting, detection of paper folding with high accuracy has been achieved. Detecting the abnormal alignment of paper of 0.5 mm was developed by optical cutting method. By introducing these technologies, automation of visual inspection has become possible to replace the conventional visual inspection. Two monitors have already been installed and are in operation in a paper mill company for folio sheeting line; in addition another four monitoring devices with the same technology are being used for plain paper copier.

1. はじめに

JFE 電制では、発足以来エンジニアリング事業の 1 つとして、JFE スチールの各工場や製鉄以外の業界向けに「寸法」、「形状」、「欠陥の有無」などの品質関連センサーのソリューションビジネスを展開している。その中で王子製紙株式会社と共同で、製紙業仕上げライン向けに外観品質検査装置を開発した。この装置は、印刷所向け用紙やコピー用紙のように積層された紙山の「紙粉」、「折れ」および「飛び出し・不揃い」を検出するものである。これらは重要な品質管理項目であるが、自動で高精度に検出する技術がなく全数をオペレータが目視チェックを行っていた。当社では、画像処理技術を駆使し、これらの異常を検出する技術を開発し実用化した。以下に今回開発した紙山の外観品質検査装置¹⁾の概要について紹介する。

2. 開発の背景

2.1 仕上げライン

ここで、仕上げラインについて、概要を簡単に紹介する。コイル状に巻かれた用紙を、通常は 5 枚重ねにしてスリッ

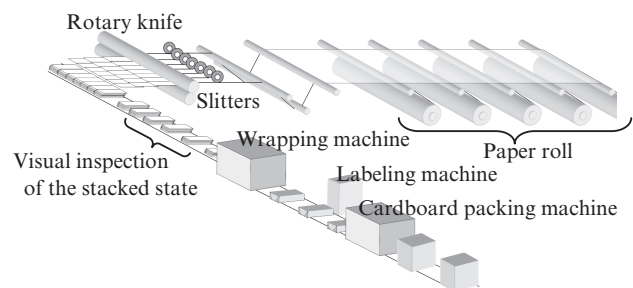


図 1 コピー用紙仕上げラインのレイアウト

Fig. 1 Layout of finishing line for plain paper copier

ターおよびロータリーナイフで所定サイズに裁断し積層を行なう。本プロセスで発生する切断面の毛羽立ち・紙粉の付着、紙の折れおよび積層時の飛び出し・不揃いを目視で検査した後、各紙山を包装して出荷する。図 1 はコピー用紙の仕上げラインのレイアウトを示したものである。

2.2 検査対象材

製紙工場ではさまざまな性質の紙が製造されている。これら进行分类すると「情報用紙」、「印刷用紙」、「板紙」、「新聞用紙」、「家庭紙 (ティッシュ、トイレットペーパー)」、「特殊紙」がある。本装置の検査対象は、以下に示す情報用紙、印刷用紙、板紙である。これらはひとつのラインで混在して

2014 年 8 月 31 日受付

生産されることはない。また、坪量は面積 1 m^2 あたりの用紙の重さをあらわしたもので、紙の取引において使用される一般的な単位である。坪量の数字を 850 で除すと、およそその紙の厚み (mm) を求めることができる。その他、情報用紙の紙山のことをリーム、印刷用紙・板紙の紙山をスキッドと呼んでいる。

(1) 情報用紙

日常で使用するコピー用紙のことで、サイズは B5, A4, B4, A3 などがある。積層枚数は 250 枚, 500 枚, 1 000 枚があり、坪量は $64\text{ g/m}^2 \sim 68\text{ g/m}^2$ 程度である。情報用紙の仕上げラインでは最高 140 リーム/分で生産される。

(2) 印刷用紙

グラビア印刷・書籍などに使用される紙で、紙の厚み、表面の仕上げ、コーティングなどにより、さまざまな種類がある。サイズは A 列本判 ($625\text{ mm} \times 880\text{ mm}$)・四六判 ($788\text{ mm} \times 1\,091\text{ mm}$)・ハترون判 ($900\text{ mm} \times 1\,200\text{ mm}$) などがあり、坪量は $64\text{ g/m}^2 \sim 465\text{ g/m}^2$ 、積層高さは最大で $1\,700\text{ mm}$ 程度まで積み上げられ、最大 $1\,800\text{ kg}$ になる。1 ライン当たり約 30 スキッド/時間で生産されている。

(3) 板紙

主にダンボールの原紙、紙器用紙あるいは建材原紙として使用される。坪量は 210 g/m^2 以上、積層高さは最大で $1\,200\text{ mm}$ 程度である。仕上げラインでの時間当たりの生産量は、印刷用紙とほぼ同じである。

3. 検出方法

3.1 紙粉検査

紙粉は、スリッターやロータリーナイフの刃の状態により発生する。紙粉が印刷機内で脱落し版胴などに付着すると、インクの抜けが発生し大量の印刷不良を引き起こすことから、仕上げラインでの重要な品質管理項目となっている。従来はオペレータが目視で付着量の多少を判断する官能評価であった。

本検査装置では、積層面に付着している紙粉を顕著化するために照明の光軸と検査対象面のなす角度を 30° 以下となるように配置している。またカメラは、検査対象面に正対するように配置し、視野 $65\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ を 0.1 mm の分解能で撮影している。写真 1 に紙粉が付着していない面を、写真 2 に細かな糸状の毛羽立ちの面を、また写真 3 に大きな球状の粒の付着を示す。毛羽立ちと粒付着の評価は、別々のアルゴリズムで評価し、評価値に重み付けを行なって合算し、総合評価値を求めている。

3.1.1 毛羽立ちの評価

毛羽立ちは小さく細長い形状のため、それぞれを背景から正確に抽出することは困難である。そこで毛羽立ちが広域



写真 1 正常な積層面

Photo 1 Normal lamination plane

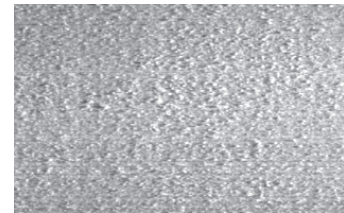


写真 2 毛羽立ちが存在する積層面

Photo 2 Fluffing

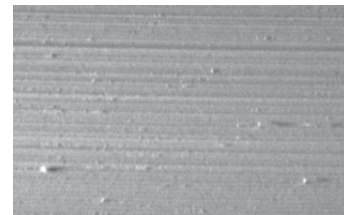


写真 3 粒が存在する積層面

Photo 3 Adhesion of paper particles

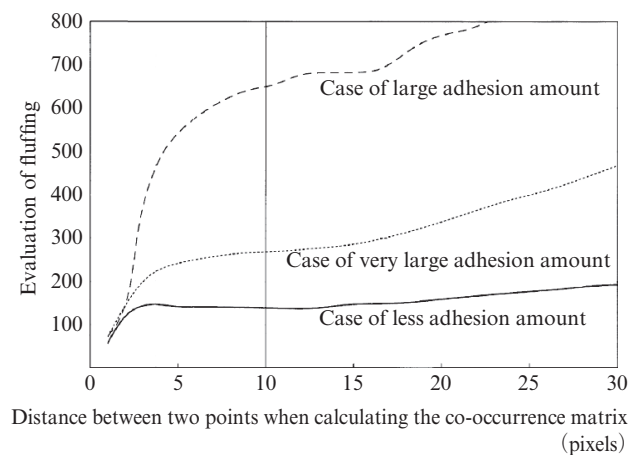


図 2 毛羽立ちの評価値

Fig. 2 Evaluation of fluffing

に分布することで生じる模様を、テクスチャー解析により評価するようにした。画像中に設定した検査範囲の i 点と一定変位 $\delta = (r, \theta)$ だけ離れた j 点の輝度値 B_i, B_j から同時生起行列を作成し、以下の式を用いて評価している²⁾。式中の $P\delta(B_i, B_j)$ は、検査範囲内で δ だけ離れた 2 点の輝度値の

組み合わせが (B_i, B_j) となる確率を表している。

$$\text{Evaluation of fluffing} = \sum_i \sum_j (B_i - B_j)^2 \cdot P_\theta(B_i, B_j)$$

積層面では個々の紙の平均輝度がばらつき、またうねりが発生している。そこで $\theta=0^\circ \pm 25^\circ$ 距離 r の画素輝度値をすべて求め、2点在同一紙上に存在する場合は輝度差が少ないという仮定から j 点を推定している。図2にサンプルに対する計算値とオペレータの評価を示す。距離 r を大きくするとうねりへの追従が困難となり、また照明の不均一の影響を受け評価値が大きくなる。現状は $r=10$ 画素で計算している。

3.1.2 粒の評価

画像中で輝度値が急激に上昇している部分を抽出し、その明るい部分に対し、照明の設置方向と反対側に影で暗くなった部分がペアで存在する場合に、明るい部分が粒であると認識するようにしている。評価は明るい部分の面積値を用いている。写真4に粒の抽出例を示す。抽出結果画像において抽出箇所が粒によって異なっているが、これは該当画素の輝度値等から判断した粒の確からしさを示している。

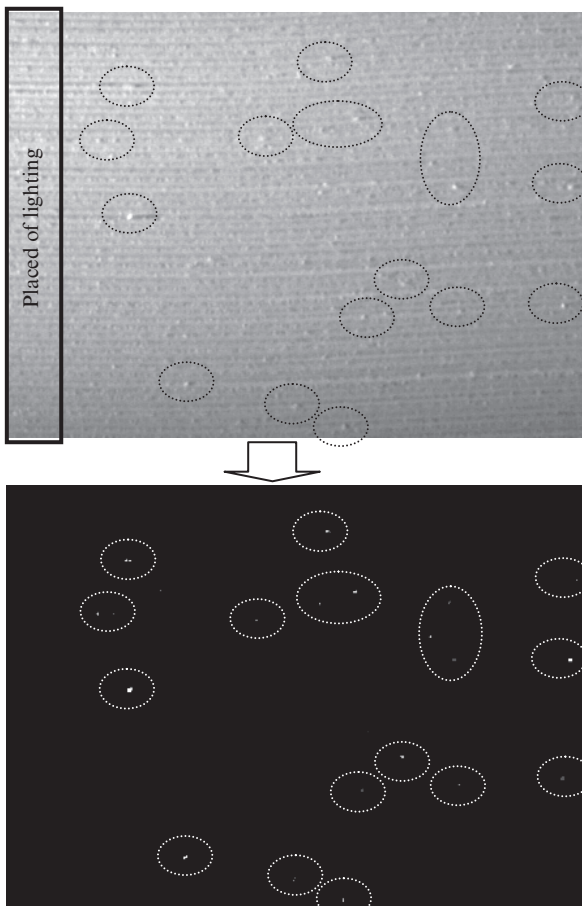


写真4 紙粉の撮影画像と粒の抽出処理結果
Photo 4 Extraction results of paper particles

3.2 折れ検査

折れは、仕上げラインの機械的な動作に異常があった場合に発生する。折れた用紙は印刷機の破損の原因となるため、最も重要な管理項目である。これまで折れを自動で検出する技術は確立されておらず、オペレータの目視に頼っていた。

3.2.1 折れの検出方法

積層面は照明光を拡散反射するが、折れ部では紙の平面が積層面に現れ強い照明光の反射作用を起こし、折れが周囲よりも明るく撮影される。また折れの左右では紙が浮き上がっているため暗く撮影される。画像処理では、「周囲よりも暗い—周囲よりも明るい」のペアを探し出すことで折れを検出している。本方式は折れを光の反射作用の差で検出しているため、印刷用紙の下の方に自重で押し潰された折れがあっても安定した検出が可能である。図3にカメラと照明の配置を、写真5に情報紙の折れの検出例を示す。

3.2.2 折れの検出動作

図3のカメラ・照明の配置では折れIは検出可能だが、折れIIは強い反射光がカメラ側に戻らないため、検出できない。このため、検査面が広い印刷用紙では、図3の向きに

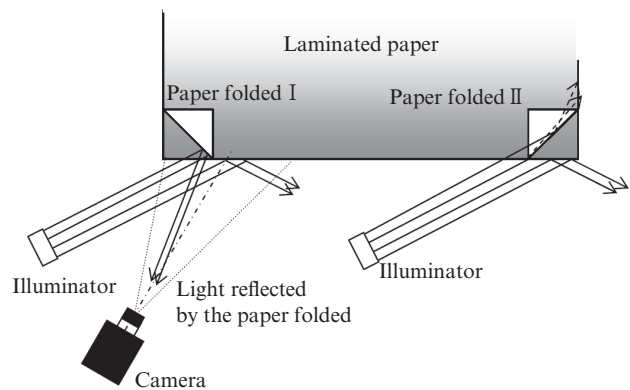


図3 折れの検出方法

Fig. 3 Detection method of paper folded



写真5 折れの撮影画像
Photo 5 Captured image of paper folded

カメラと照明をセットして全面を検査した後、折れⅡの検出用にカメラ・照明の角度を変更して、再度全面を検査するようにしている。情報用紙向けの検査装置では、カメラを検査面に正体させて、折れⅠ用の照明と折れⅡ用の照明を高速に切り替えて撮影することで対応している。

カメラ分解能は0.1 mm/画素とし、印刷用紙向け検査装置ではスキッドの高さ1700 mmに対応するため、4096画素ラインカメラを片面当たり6台並べて撮影している。情報用紙向け検査装置では、140万画素エリアカメラを片面当たり1台設置している。

3.3 飛び出し・不揃い検査

1枚から数枚程度が1 mm以上積層面から出ている状態を飛び出し、数十枚以上が纏まって出ている状態を段差という。また、1 mm以下の紙の出入りが広範囲に連続しているものを不揃いと言う。飛び出し・段差は、コンベア搬送中に後工程でガイドなどに引っ掛かるなどのライントラブルの原因となるため、早期に発見・対処する必要がある。不揃いは見栄えの問題があり、やはり対処が必要である。従来、飛び出し・段差の検出は反射型の光電センサーで行なっていたが、飛び出しの最小検出サイズが5.0 mmと性能上不

分であった。また不揃いは検出できないため、オペレータの官能評価で対応していた。

3.3.1 飛び出し・不揃いの検出方法

積層紙の飛び出し・不揃いの検出は、光切断法で行なっている(図4)。レーザマーカを下向きに40°、カメラを下向きに30°で設置し画像を得るため、紙が出ている部分で影となってレーザ軌跡が途切れているのをカメラで捉えることができる。レーザ軌跡が途切れたすぐ上に、紙が出ている部分があると判断している。

検出プログラムでは、レーザ軌跡の状態から、飛び出し・段差・不揃い・うねりを識別・定量化し、それぞれで異常を出力する閾値を設定している。また、紙の出入りの最小検出サイズは0.5 mmとしている。

3.3.2 飛び出し・不揃いの検出動作

コピー用紙の検査では、スリッターで裁断したスリット面とロータリーナイフで裁断したナイフ面の2面にレーザを照射している。これを対角の2つのコーナー部で実施し200万画素エリアカメラで分解能0.1 mm/画素で撮影している。印刷用紙では1回で高さ方向のすべての情報を得ることができないため、レーザマーカと2048画素ラインカメラを同時に昇降させて連続的に撮影している。カメラ分解能は幅・上下方向とも約0.09 mm/画素で最小検出サイズを0.5 mmとしている。写真6に印刷用紙の不揃いと段差の例を示す。

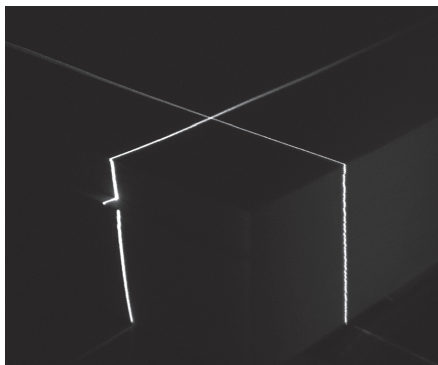
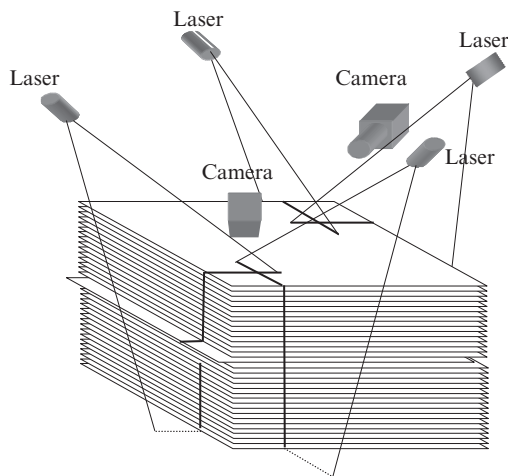


図4 飛び出しの検出方法と撮影画像

Fig. 4 Detection method abnormal aligned and captured image

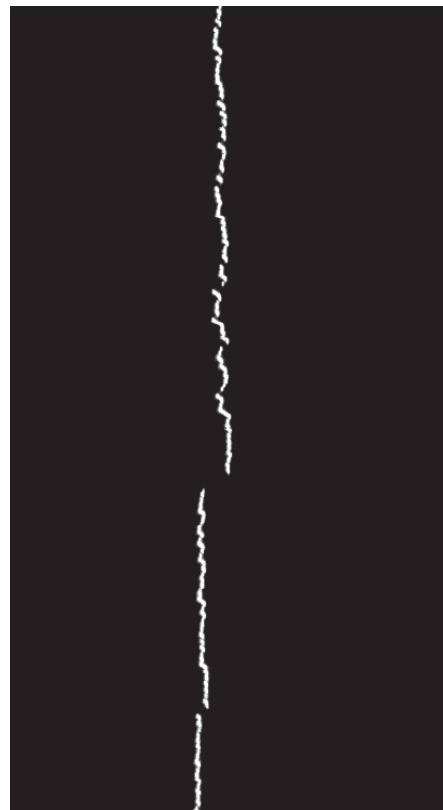


写真6 不揃い、段差の撮影画像

Photo 6 Captured image of small abnormal aligned and lumps

4. 検査装置

4.1 情報用紙向け外観品質検査装置

図5に情報用紙向けの検査装置で検査する箇所を、写真7に検査装置の外観を示す。これらの検査を行なうために、以下の機器をコンベア流れ方向で800mmの中に収めている。

(1) 紙粉検査

- ・Front側 Knife：30万画素エリアカメラ+LED照明1台
- ・Back側 Knife：30万画素エリアカメラ+LED照明1台
- ・Slitter 1：30万画素エリアカメラ+LED照明1台
- ・Slitter 2：30万画素エリアカメラ+LED照明1台

(2) 折れ検査（折れI，IIに対応）

- ・Front側：140万画素エリアカメラ+LED照明2台
- ・Back側：140万画素エリアカメラ+LED照明2台

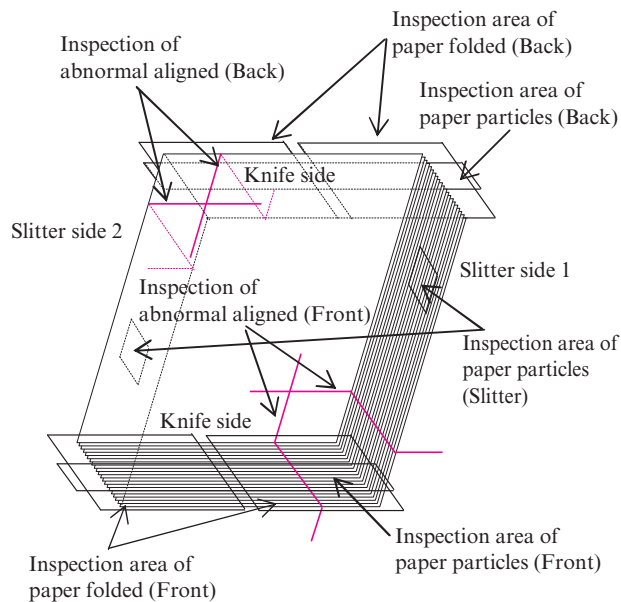


図5 情報用紙の検査箇所

Fig. 5 Inspection points for plain paper copier

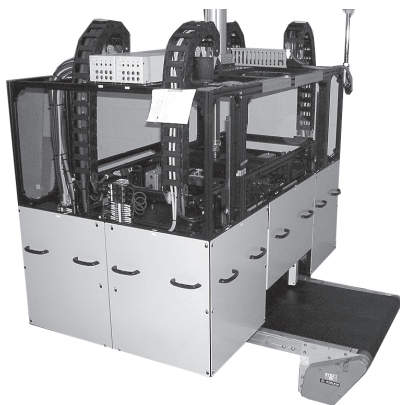


写真7 情報用紙向け外観品質検査装置

Photo 7 Appearance quality inspection system for plain paper copier

(3) 飛び出し検査

- ・Front側：200万画素エリアカメラ+レーザマーカ2台
 - ・Back側：200万画素エリアカメラ+レーザマーカ2台
- 各々の検査を行なうタイミングで他の検査の照明が干渉しないように、リームの動きをコンペアモータに取り付けたエンコーダで綿密なトラッキングを行ないタイミングの調整を行なっている。これにより、最大3個のリームが常時装置内に存在する140リーム/分の処理でも、照明の干渉がなく検査が行なわれる。

また、B5からA3までのサイズに対応するため、これらの機器を電動シリンダーを用いて一括で移動させる機構を搭載している。

4.2 印刷用紙向け外観品質検査装置

図6に印刷用紙向けの検査装置で検査する箇所を、写真8、写真9に印刷用紙向け外観品質検査装置を示す。搭載されている機器は、以下のとおりである。

(1) 紙粉検査

検査箇所：Knife side2面，Slitter side2面
各面あたり30万画素エリアカメラ1台+LED照明1台

(2) 折れ検査（折れI，IIに対応）

検査箇所：Slitter side2面
各面あたり4096画素ラインカメラ6台+LED照明2セット

(3) 飛び出し検査

検査箇所：対角コーナー2箇所
1箇所あたり2048画素ラインカメラ1台+レーザマーカ2台

検査面が大きいので全項目の検査を行なうためにカメラが18台あり、これを処理するためのパソコンが8台構成と

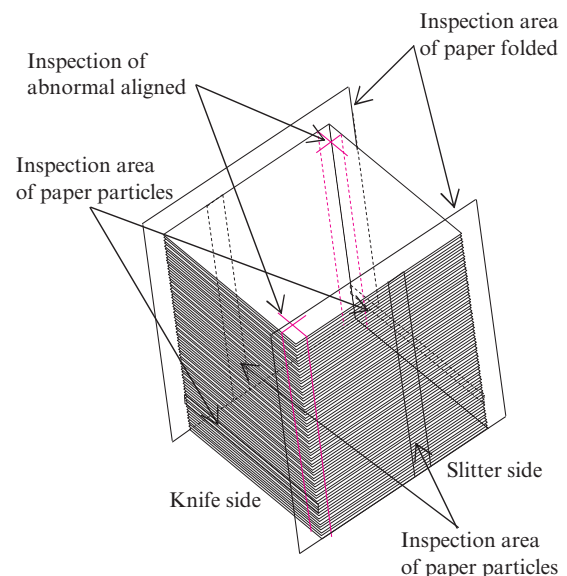


図6 印刷用紙の検査箇所

Fig. 6 Inspection points for folio sheeting line

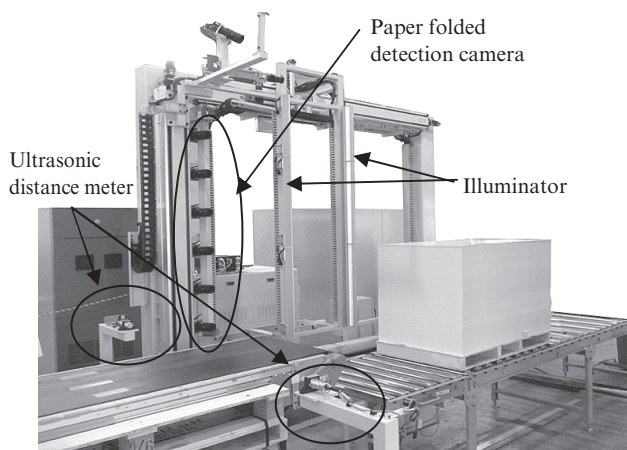


写真 8 印刷用紙向け外観品質検査装置

Photo 8 Appearance quality inspection system for folio sheeting line

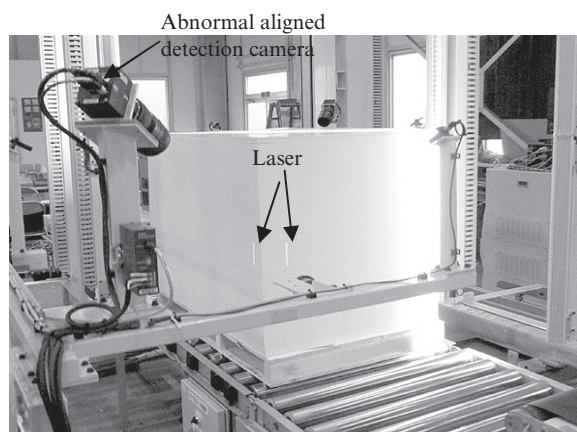


写真 9 印刷用紙向け外観品質検査装置—飛び出し検査

Photo 9 Appearance quality inspection system for folio sheeting line—Detection abnormal aligned

なっている。また、印刷用紙はさまざまなサイズがあるため、装置の上流位置に超音波距離計を設置しスキッドの端面位置を計測し、各カメラと照明をサーボモータで位置決めしている。

これらの検査で異常があった場合は、後工程の所定位置でスキッドを停止させ警報出力を行なう。この時、スキッドの「どの位置」に「どのような異常」があったかを画像付きで提示する判定カードをプリントアウトする。オペレータは、このカードを見ながら、異常の状態を確認するようになっている。本装置の処理時間は、紙山のコンペア拘束時間が45秒から90秒、撮影してから結果を出力するまでに15秒から30秒である。

5. おわりに

本報は、製紙業の仕上げライン向け外観品質検査装置の検査方法と検査装置の構造について紹介した。以下に主な

内容を示す。

- (1) 積層された切断面の紙粉の判定方法について説明した。面は毛羽立ちと粒付着の2つの状態が存在し、毛羽立ちはテクスチャー解析を応用し定量化を行ない、粒は照明の当たり方の特徴を利用して背景からの抽出を行なった。
- (2) 積層した面の折れの検出方法について説明した。積層された切断面と折れにより紙の平面が積層面に現れた状態で、照明光の反射作用が異なることを利用し、折れ部が周囲に比べ明るく撮影されるカメラ・照明の配置を示した。これにより、印刷用紙のように大きな荷重が掛かった状態での1枚折れの検出が可能となった。
- (3) 積層した面の飛び出し・不揃いを、光切断法を用いて紙の出入りを0.5mmの感度で検出する方法を示した。
- (4) 積層された情報紙および印刷用紙に対して、紙粉・折れ・飛び出し・不揃いの各検査を行なう検査装置について紹介した。

本装置は情報用紙仕上げライン向けに2007年から順次4台が、また印刷用紙の仕上げライン向けには2009年より2台が納入され順調に稼働しており、品質向上およびオペレータの操業効率改善に大きく寄与している³⁾。なお、本開発は、製紙会社を主たる会員とする紙パルプ技術協会殿より、技術開発・研究開発により顕著な成果を収め紙パルプ業界に貢献した企業として、2014年に第42回佐々木賞を王子製紙株式会社殿と共同で受賞した。

JFE電制では、画像処理・レーザなどの計測技術をコアとしたソリューションにより、今後も操業や品質改善に寄与する装置の開発に努力していく所存である。

本装置の開発・導入に貴重な助言を頂いた王子製紙株式会社殿、王子エンジニアリング株式会社殿、日南王子紙業株式会社殿、米子王子紙業株式会社殿に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 池田孝之. 平判外観品質検査装置の紹介. 紙パルプ技術協会誌. 2013, vol. 67, no. 3, p. 291-294.
- 2) 太田徹志, 村上拓彦, 加藤佐剛, ほか. 同時生起行列から得られるテクスチャー情報に対する最適ピクセル間距離の検討. 九州森林研究. 2006-03, no. 59.
- 3) 内田雅己. 小判紙山外観検査装置の導入経験. 紙パルプ年次大会講演. 2014-10, 計装セッション A-2.



池田 孝之