

微分画像解析による高精度成形品外観検査

High-Accuracy Molded Component Appearance Inspection by Differential Image Analysis

上ミ 弘高* ・ 前田 尚伸* ・ 太田 篤宏** ・ 白澤 満*
Hiroataka Uemi Hisanobu Maeda Atsuhiro Ota Mitsuru Shirasawa

成形品の外観検査において、表面に付着したごみと異物混入、クラックとを高精度に識別できる画像処理方法として、欠陥部分のコントラストに着目して微分強度値による検出を二段階で行い付着したごみと異物混入を識別するとともに、微分勾配値の連続性に着目して付着したごみとクラックとを識別する技術を開発した。これにより、従来の画像処理による自動外観検査では困難であった表面に付着したごみと欠陥との識別を可能とし、いわゆる「無駄はね」を減らし歩留の向上を実現した。実際に本手法を当社の埋込み配線器具の生産ラインに適用しその有効性を確認した。

In the appearance inspection of molded components, a technology for accurately identifying surface contamination and internal foreign objects or cracks in the objects has been developed. The process involves identifying surface contamination and foreign objects through two-stage detection based on differential intensity values of the contrast in defect regions, and distinguishing contamination from cracks by inspecting the continuity of differential gradient values. This new technology enables the separation of surface contamination and internal defects, which is difficult with the automated appearance inspection based on the previous image processing, and improves productivity by reducing "wasted rejections". The production line for building power distribution products incorporating the newly developed system has proved the effectiveness of the technology.

1. ま え が き

これまでの外観検査は、生産ラインの各工程において主に作業者が行っていた。短時間の作業であれば人間の高度な視力や認識能力で信頼性の高い検査が可能であるが、長時間の作業になると集中できなくなり安定した検査が難しいという問題があり、外観検査の自動化が進められてきている。自動化に使用する画像処理装置は、当初、カメラやパーソナルコンピュータの性能が低く簡単な二値画像処理を行うものであったが、機材の高機能・高性能化に伴い、高い空間分解能の画像に対してより複雑な処理を行うことができるようになってきている。筆者らも、さまざまな対象に対して外観検査の自動化を行い、省人化とともに品質の安定化を実現してきた^{1), 2)}。しかし、依然として人の目による外観検査能力には及ばない部分があるため、判断が難しいものは安全側として不良と判定させるため「無駄はね」が発生し、歩留を下げの原因になっていた。また近年、外観検査工程には不良品を市場に流出させないという基本機

能のほかに、不良要因を細かく分析して上流の工程にフィードバックするという、不良の発生を減らすための情報発信の役割も求められている³⁾。このような不良要因を分析し、不良の発生を減らすためには、外観検査工程において欠陥の精緻な識別が課題となる。

筆者らは、この欠陥の識別例として、検査のあとで除去可能な表面に付着したごみと、異物混入、クラックとを識別する方法を開発した。高精度の画像処理法による付着したごみと異物混入の識別は、欠陥部分のコントラストの違いに着目して微分強度値による検出を二段階で行い、また付着したごみとクラックとの識別は、微分勾配値の連続性の違いにより行う。これらの方法を用いて当社の生産ラインに適用し有効性を確認したので、以下にその開発内容について述べる。

* 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

** 情報機器事業本部 情報機器ものづくり・購買センター Manufacturing & Procurement Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

2. 欠陥の識別方法

2.1 ごみと異物混入

2.1.1 欠陥の特徴

成形品欠陥の種類（図1）と画像の特徴を以下に示す。

- (1) ごみ：成形品表面に付着したものをいう。この輪郭は鮮明で微分強度値が連続して高い。
- (2) 異物混入：成形品内に混入した異物が表面から視認できるものをいう。この欠陥の輪郭は成形樹脂を介して撮像されるため不鮮明になり、微分強度値が連続して低い。
- (3) 異物部分混入：混入した異物の一部が成形品から露出したものをいう。この欠陥の輪郭は鮮明・不鮮明部分が混在するため、微分強度値が大きく変化する。

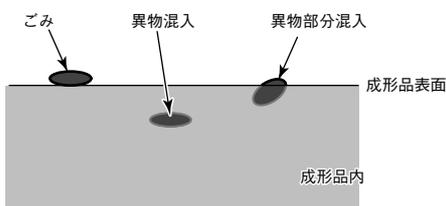


図1 成形品欠陥の種類

図2から図4に、これらの欠陥の特徴を各種の尺度で示す。

2.1.2 識別方法

従来は一つの微分閾値で欠陥を判定していたため、ごみ、異物混入、および異物部分混入の識別が困難であった。そこで筆者らは異物部分混入の微分強度変化に着目し、二つの微分閾値を用いて欠陥を高精度に識別する方法を開発した。まず特徴抽出により、ごみ、異物混入、および異物部分混入となる欠陥候補画像を抽出する。欠陥候補画像が抽出された場合、微分閾値を二つ用いて識別を行う。二つの閾値のうち高い側の微分閾値では、ごみと異物部分混入は輪郭のエッジが抽出されるが、異物混入は輪郭のエッジが抽出されない。なお、ここで用いるエッジ抽出処理とは、微分処理後にある一定以上の微分値をもつ稜線エッジを抽出する処理である。したがって、異物混入と他の欠陥識別ができる。その様子を図5に示す。また、ごみと比べて異物部分混入では、低い微分強度値をもつ成形品内混入部のエッジは抽出されないため、輪郭のエッジが途切れた状態になる。次に低い側の微分閾値を用いることで、高い側の微分閾値では抽出できない成形品内混入部の輪郭エッジを追加抽出できる。微分閾値によって、ごみの抽出エッジ長さは変化しないが（図6）、異物部分混入の抽出エッジ長さは変化する（図7）。その結果、ごみと異物部分混入は、高い側の微分閾値と低い側の微分閾値で抽出されたエッジ長さの変化率を比較することで、欠陥識別ができる。以上の開発した検査方法をまとめて図8の検査フローに示す。

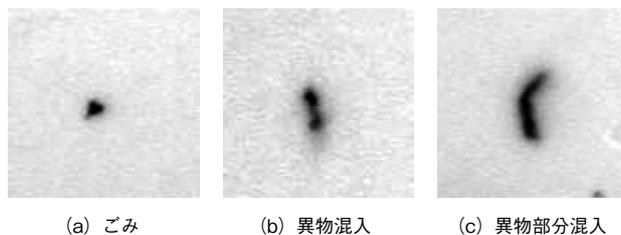


図2 欠陥の濃淡画像

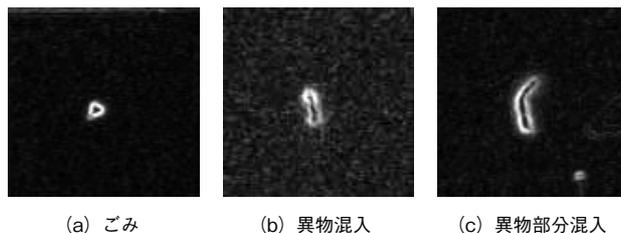


図3 欠陥の微分画像

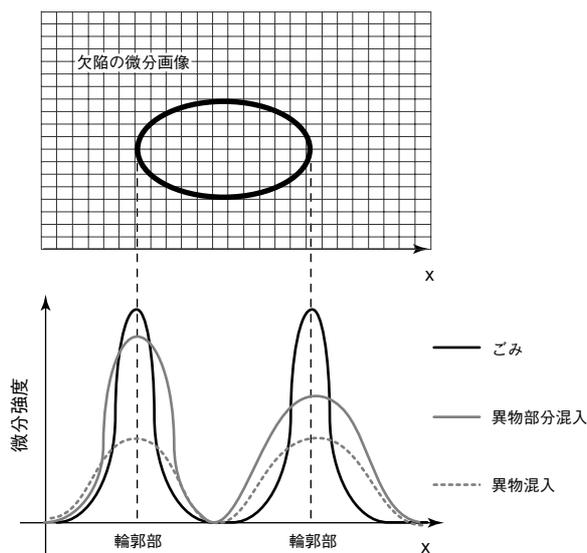


図4 欠陥の微分強度分布

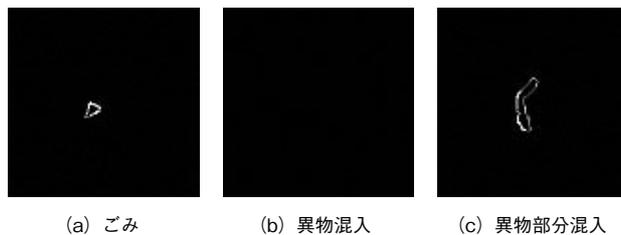
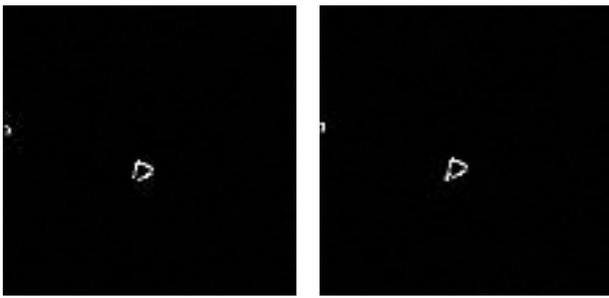


図5 欠陥候補のエッジ抽出（高い側の微分閾値）

2.2 クラックとごみの識別方法

2.2.1 欠陥の特徴

成形品の構造からクラックの発生場所は特定され、その



(a) 高い側の微分閾値 (b) 低い側の微分閾値

図6 ごみのエッジ抽出と変化



(a) 高い側の微分閾値 (b) 低い側の微分閾値

図7 異物部分混入のエッジ抽出と変化

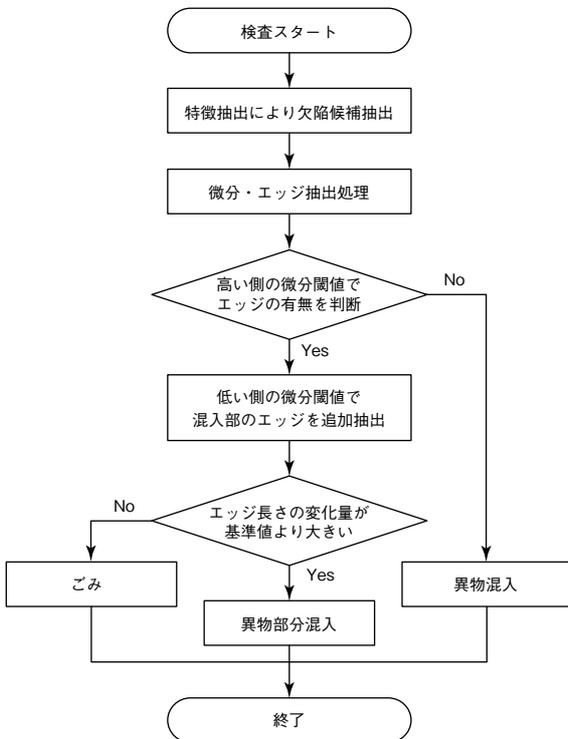
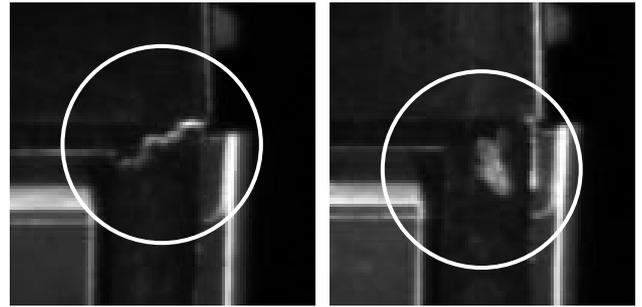


図8 検査フロー

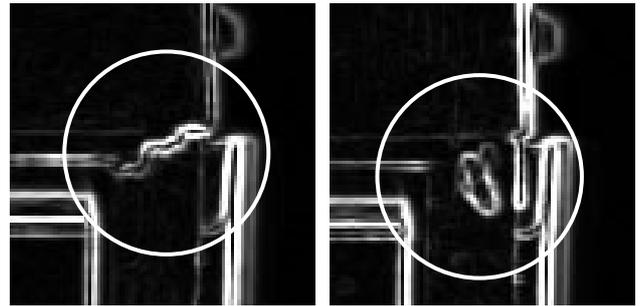
特徴は次のようになる。

- (1) 起点と方向は決まっている。
- (2) 長さは発生する方向に対してごみより長い。



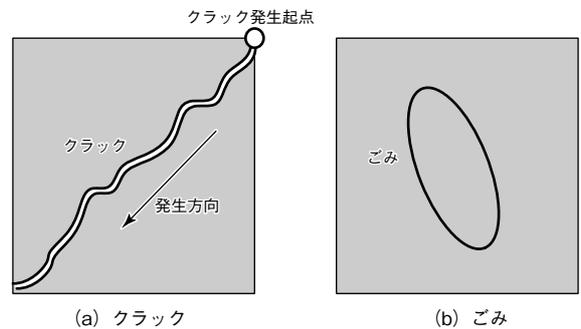
(a) クラック (b) ごみ

図9 欠陥候補の濃淡画像



(a) クラック (b) ごみ

図10 欠陥候補の微分画像



(a) クラック (b) ごみ

図11 クラックとごみの特徴

図9, 図10, 図11にこれらの特徴を示す。

2.2.2 識別方法

微分値総和からクラックを検出する従来方式では、同じ微分値を示すごみと識別が不可能であるため、作業員による欠陥の分別が必要となっていた。本開発では、欠陥の特徴からクラックの起点から発生方向への欠陥画素の連続性を利用することで、クラックとごみとを識別している。

まず、検査領域周辺に検査スタートポイント（以下、SPと記す）を設定する。ここでSPは、クラック発生の起点と一致させる必要がある。次にSPを始点として、検査領域内にクラック検出に必要な幅を有するクラック検査エリアを設定する。クラック検査エリアはクラックの発生方向を検出するために、SPを中心として90°回転走査する。この様子を図12に示す。クラック検査エリアの回転走査

と同時にエリア内をラスタ走査し、指定した微分閾値以上の欠陥候補画素を抽出する。抽出された欠陥候補画素がクラックの発生方向と直交する微分勾配をもつならば欠陥画素としてカウントし、その画素の微分値を累積する。クラック検査エリアの回転と上記処理を繰り返し、欠陥画素の総数とその画素における微分値の総和を求める。クラックでは、クラック検査エリアの回転走査角がクラック発生方向と一致した場合には、指定した微分勾配値が連続して

抽出されるため、微分値の総和が大きくなる。一方、ごみでは指定した微分勾配値の連続性が小さいため、微分値の総和が小さくなる。欠陥検査の様子を図13に示す。このように検出した欠陥画素の総数と算出した微分値総和からクラックとごみを識別でき、この検査フローを図14に示す。

以上の欠陥識別技術の開発により、従来まで識別が困難であった外観検査工程での欠陥識別が可能となり、ごみが付着した成形品を他の欠陥と分別し、後工程でごみを除去して良品とすることで、歩留の向上を実現した。

3. 画像処理システム

本稿で使用する画像処理装置は、複数の画像処理ボード群と、検査画像とその結果を表示するパーソナルコンピュータから構成されている(図15)。パーソナルコンピュータには、自社開発のビジュアルプログラミング環境ソフトウェアを搭載している。その特徴は、ソフトウェアの専門知識がなくても、フローチャートを作成するだけで、検査プログラムを簡単に作成できることである。

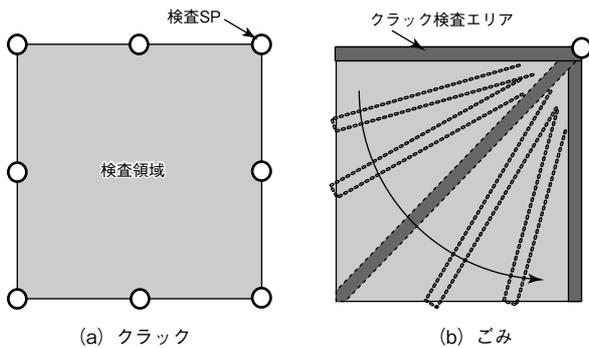


図12 検査領域と走査方法

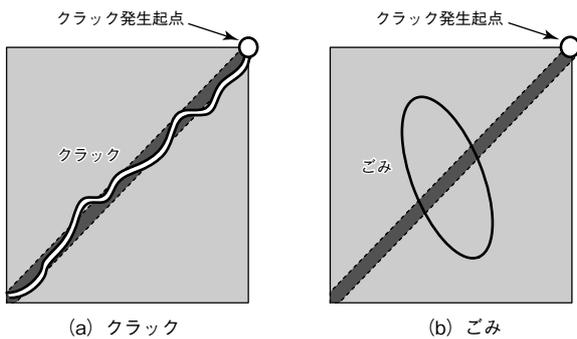


図13 欠陥検出方法

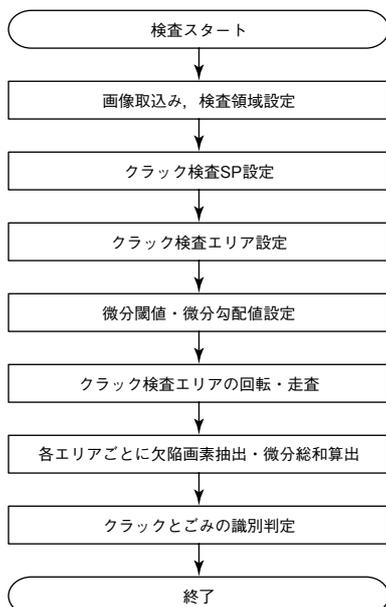


図14 検査フロー



図15 画像処理装置

画像処理ハードウェアは、パーソナルコンピュータで作成された検査プログラムを受け取るだけで検査が実行可能となる。また、検査対象に最適な検査アルゴリズムおよびパラメータの調整に役立つ機能として、次のものが付加されている。

- (1) 各ボードからイーサネットインタフェースを經由してパーソナルコンピュータのハードディスクに検査画像を大量に保存できるリアルタイム画像保存機能。
- (2) 保存された画像の検査判定および欠陥要因が一览できる画像解析機能(図16)。
- (3) 自動検査中でも転送された画像を使って最適検査パラ



図16 画像解析機能

メータが調整できる機能。

前記(2)の画像解析機能は、不良判定された大量の画像から欠陥の発生傾向が容易に確認できるため、生産工程の品質管理に有効である。また、本システムは操作性に優れているので、検査システムの立上げ期間の大幅な短縮を図ることができる。

4. 適用例

開発した成形品外観検査システムは、検査対象の表面に発生する微小な傷、欠け、クラック、成形品の変形、異物混入、ごみ付着などを検出するために、複数の高解像度カメラとLED照明との組合せによる光学系で構成されている。図17に成形品外観検査システムの外観を、図18にシステム構成を、図19に各検査ステージで撮像された画像を示す。

ワークは、成形、ばり除去、組立工程を経て外観検査システムまでコンベヤで搬送される。ばり除去工程で発生する成形粉、およびワークの搬送時のほこりが成形品表面に



図17 成形品外観検査システム外観

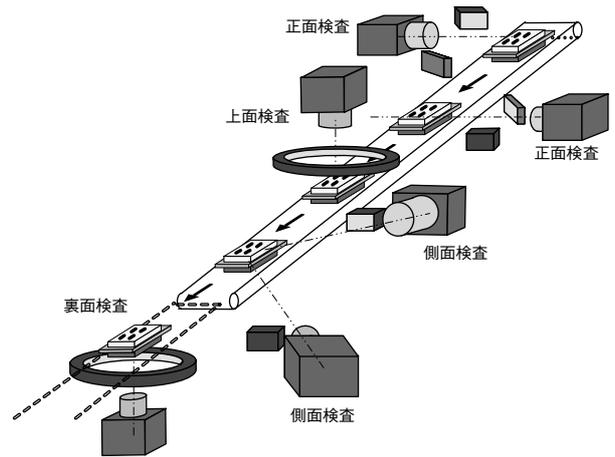
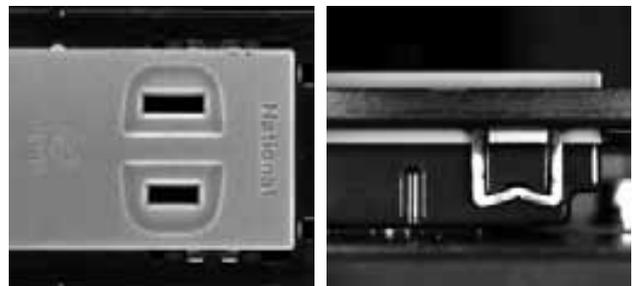
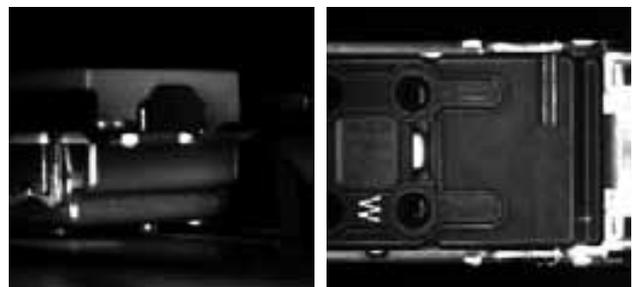


図18 成形品外観検査システム構成



(a) 上面検査

(b) 正面検査



(c) 側面検査

(d) 裏面検査

図19 検査画像例

付着する場合がある。成形品表面に付着したごみは外観検査システムに投入する前に、ブラッシングやエア噴射による除去を行っているが、付着力の強いごみは除去できないことがある。従来の外観検査システムでは、成形品表面に付着したごみと成形品内に混入した異物やクラックとの識別ができなため、自動外観検査工程後に作業員による再検査で欠陥の識別・分別を行っていた。

4.1 埋込み「ダブルコンセント」への適用

外観検査の対象は、「ダブルコンセント」の本体部である(図20)。これには成形工程において、他品種の成形材料やごみが成形品内に混入する場合がある(異物混入)。また、その表面は壁から露出した状態で設置されるため、

表面に発生する異物混入は外観検査時にとくに重要視される欠陥である。そこで、開発した識別方法を適用することにより、成形品表面に付着したごみと成形品内に混入した異物との識別が可能となり、歩留の大幅な向上を実現している。

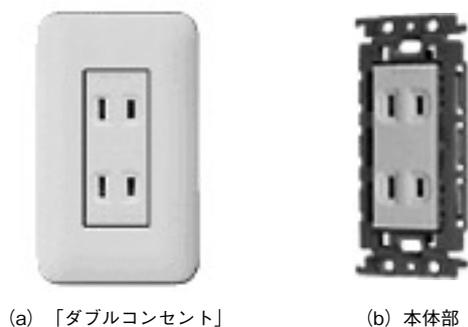


図20 「ダブルコンセント」

4.2 埋込み「ワイドスイッチ」への適用

外観検査の対象は、「ワイドスイッチ」の内部に組み込まれているスイッチ部分である（図21）。スイッチの成形品部は、カバー、ボディー、押しボタンから構成される。成形品欠陥の一つであるクラックは成形品の組立工程でカバーとボディーを嵌合する際、ストレスによりカバーのかしめ部で発生する。かしめ部はカバーとボディーを組み合わせるうえで重要な部位であり、外観検査時にクラックはとくに重要視されている欠陥である。そこで、開発した識別方法を適用することにより、かしめ部に発生したクラックと成形品表面に付着したごみの識別が可能となり、歩留の大幅な向上を実現した。

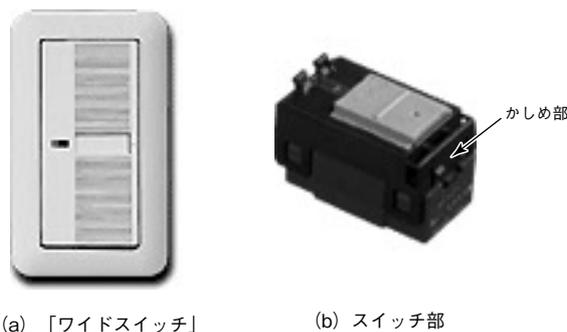


図21 「ワイドスイッチ」

5. あとがき

成形品の外観検査において、表面に付着したごみと異物混入、クラックとを高精度に識別できる画像処理方法として、欠陥部分のコントラストに着目して微分強度値による検出を二段階で行い付着したごみと異物混入を識別するとともに、微分勾配値の連続性に着目して付着したごみとクラックとを識別する技術を開発した。これにより、従来の画像処理による自動外観検査では困難であった表面に付着したごみと欠陥との識別を可能とし、いわゆる「無駄はね」を減らし歩留の向上を実現した。実際に本手法を当社の埋込み配線器具の生産ラインに適用しその有効性を確認した。

今後、より高精度な欠陥検出方法やより正確な欠陥の識別方法を開発し、品質の向上、生産性の向上を進め、とくに立体形状品の欠陥検査においては、3次元計測による直接立体形状品として検査する方法の開発に注力したい。

*参考文献

- 1) 井上 敏範, 白澤 満: 自動化における検査技術, 自動化技術, Vol. 30, No. 4, p. 41-46 (1998)
- 2) 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
- 3) 鷲見 和彦, 金子 俊一: マシンビジョン技術の実利用, IEEJ Trans. EIS, Vol. 124, No. 3, p. 598-605 (2004)

◆執筆者紹介



上ミ 弘高
生産技術研究所



前田 尚伸
生産技術研究所



太田 篤宏
情報機器事業本部



白澤 満
生産技術研究所