

ロッドパッキンの外観検査技術の開発

Development of Visual Inspection Technology for Rod Packing

中西洋輔・工藤賢司
Yosuke NAKANISHI・Kenji KUDO

要 旨

自動車のショックアブソーバに使用されるロッドパッキンは、内部に充填されている油やガスの封止だけでなく、内周にグリスを保持しピストンロッドの摺動の補助等の役割を担う重要部品である。KYBでは、この部品の外観に発生する欠陥を市販の検査装置を利用して全数検査を実施している、しかし複雑な形状と多様な欠陥モードに対し十分な性能を有しているとは言えず、目視検査を併用することにより品質を保証している。

今回、従来の検査装置に関する課題を解決するために、新たな外観検査技術を開発した。その概要は、垂直方向と斜め方向から画像撮影を行うことと、各種欠陥モードの特徴を捉えた検査アルゴリズムを考案したことである。この開発により、部品全面にわたって漏れなく欠陥の検査ができるようになり、品質保証度向上を実現した。

Abstract

Rod packings used in automobile shock absorbers are an important part which not only seals in the oil or gas filling the inside of the shock, but also plays other roles such as assisting sliding of the piston rod by holding grease onto the inner circumference of the cylinder. At KYB, 100% inspection is carried out using commercial inspection equipment to check for defects in the appearance of these parts. However, performance is not really adequate for complex shapes and diverse defect modes, and quality is ensured by also carrying out visual inspection.

A new appearance inspection technology was recently developed to resolve issues relating to the previous inspection equipment. Basically, the new system performs imaging from both a perpendicular and oblique direction, and an inspection algorithm was devised taking into account the distinctive features of each type of defect mode. The developed technology enables inspection for defects in all products, without any omissions, and the result is improved quality assurance.

1 緒言

対象部品であるロッドパッキンは、図1に示す当社の主要製品であるショックアブソーバに、図2のように組み込まれる部品である。

当社では固定費低減と品質保証精度向上の両立を目的として、検査の自動化に取り組んでおり、ロッドパッキンに対しても市販の検査装置を利用して外観検査の自動化を図っている。しかし、市販の検査装置では、内周部の欠陥検査に対応できないことに

加えて、部品の特性上、素材に発生する濃淡差に対応できないため、誤検出が増加する恐れがあるなどの問題がある。従来の検査装置では対応が難しく、検査の信頼性を維持・向上していくことが困難な状況にある。

そこで、光学系の構成から画像処理までをロバスト性^{註1)}の高い仕様で作り込み、前記の問題を解消可能な外観検査技術を開発した。

本報では、開発した画像処理アルゴリズムの代表的な事例並びに開発した検査技術を適用した検査装

置を中心に解説する。

注1) 外的要因による変化を内部で阻止する仕組みや性質。



図1 ショックアブソーバ

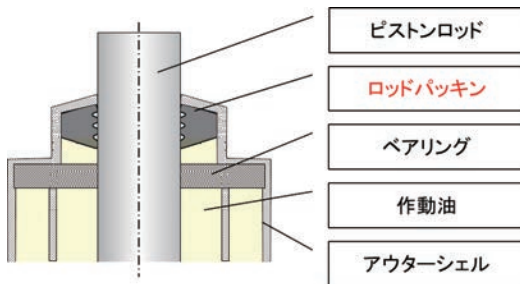


図2 取り付け概要図

2 検査対象部位

図3に部品の検査対象部位を示す。特徴として、検査項目が9か所28項目と多岐にわたっていること、様々欠陥モードが存在し、かつ発生個所が予測できないこと、部品が黒色であるため欠陥の検出が難しいこと等がある。従来の検査装置では、設備の構成上①～④の部位のみを検査し、残りの部位は目視検査にて対応していた。今回は、①～⑨の全ての検査部位および全ての欠陥モードを対象とする。

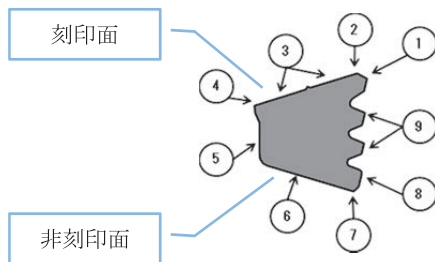


図3 検査対象部位 (断面図)

3 外観検査方式

外観検査において撮影方法および撮影装置の選定は、欠陥の持つ特徴量^{注2)}のSN比を大きくするために特に重要である¹⁾。図4に、部品の形状・表面状態・欠陥モード等を考慮して決定した外観検査方式の概

要を示す。部品の刻印面と非刻印面に発生する欠陥を漏れなく抽出するために、画像撮影は垂直方向と斜め方向から実施する。

垂直方向の検査では、部品を刻印面・非刻印面の2方向から撮影を行い、検査を実施する。部品には金型汚れの転写、洗浄液の残渣など、検査の際に誤検出につながる恐れのある様々な要因がある。この問題に対し、照明の波長を長くすることと拡散光の照射が可能となる面発光照明を採用することにより、ノイズを低減し欠陥の持つ特徴量を高SN比で撮影することに成功した。図5に今回採用した赤色面発光照明を示す。部品に対して照明の照射面積を可能な限り大きく確保するため、中央の開口部寸法を部品寸法に合わせ極力小さくした。また、円形のワークに対して均等に光を照射するためには、円形状の照明が適している。市販の面発光照明は通常、四角

刻印面_垂直方向検査	刻印面_斜め方向検査
非刻印面_垂直方向検査	非刻印面_斜め方向検査

図4 外観検査工程概要

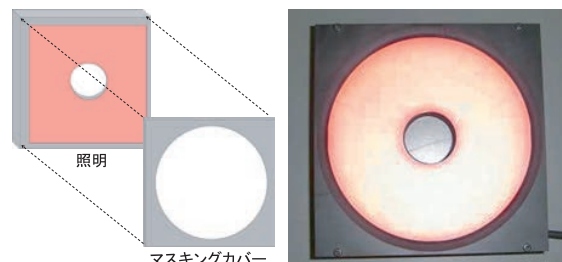


図5 赤色面発光照明

形をしているため、黒色のマスキングカバーを被せ、円形状の照射を安価に実現した。このカバーは、部品への照明以外の外乱光の入射を防ぐ役目も果たしている。

斜め方向の撮影では、部品を自転させ、回転中に15回の画像を撮影することにより、部品の内周と外周に発生する欠陥の検査を実施する。また、図4に示すように、刻印面と非刻印面で機器構成が異なっている。これは、部品の形状やその検査する部位によって、使用機器ならびにその取付け位置を決定しているためである。

注2) 画像の色、輝度、輪郭、固有値、固有ベクトル、形状、数など対象の特徴を表す物性値。

4 垂直方向の検査技術

4.1 検査アルゴリズム

検査アルゴリズムには、撮影した欠陥を確実に検出することに加え、サイクルタイムの中で検査を完了させることが求められる。この両方の要求を満足するために、新たに空間フィルタ^{注3)}を用いた差分処理^{注4)}により、部品表面の濃淡変化を平滑化するアルゴリズムを開発した。この手法を用いることにより欠陥のSN比が大きくなり、その結果、欠陥の見逃しを抑え、検査能力の向上につなげることが可能となる。

図6中赤丸で示すロッドパッキンの欠陥を例にして、開発したアルゴリズムについて解説する。

注3) 対象画素とその周辺画素の輝度値を使用して、注目画素の輝度値を変換する処理に用いるフィルタの総称。

注4) 2枚の画像において対応する画素同士の輝度差を取る処理。



図6 検出対象例

4.2 座標変換による部品の展開

最初に、撮影した画像の座標を変換することによ

り、円形の部品を矩形に展開する。図7は座標変換後の画像である。この変換により空間フィルタが適用しやすくなり、計算時間の大幅な短縮とプログラムの簡素化が可能となる²⁾。

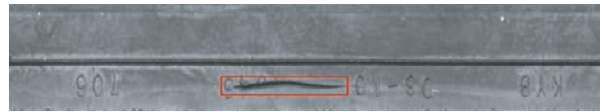


図7 座標変換後の画像

4.3 差分処理による欠陥の強調

次に欠陥のSN比を大きくするため、差分処理を活用して、欠陥部の強調と欠陥部以外の濃淡変化を平滑化する処理を行う³⁾。処理の手順を以下に説明する。

①刻印領域の濃淡変化の平滑化(図8)

部品には刻印文字があり、この刻印文字が欠陥と重なると誤検出の原因となる。そこで矩形に展開した画像に対して、刻印文字をより不鮮明にするための処理を実施する。一般的に刻印文字が鮮明に撮影できれば、刻印文字自体を認識し消し込む手法が採用できる、しかし今回の部品は刻印文字が不鮮明であり、このような方法が利用できない。そこで不鮮明な刻印文字を含む刻印領域を特定し、その領域に空間フィルタを適用して、画像を平滑化する。図8の赤四角部が処理後の刻印部である。この処理により、刻印文字がより一層不鮮明となり刻印文字のSN比が小さくなる。

②領域分割(図9)

発生する欠陥の種類が様々あるため、欠陥の種類に応じた空間フィルタを適用することが欠陥検出には重要となる。部品の部位により発生する欠陥の種類が異なるため、図9に示すように、部品を緑線で挟まれた6つの領域に分割し、その領域毎に適用する空間フィルタを変更する。領域を分割することにより欠陥の特徴量に応じた空間フィルタを適用しやすくする。

③空間フィルタによる欠陥の濃淡変化の平滑化(図10)

欠陥の特徴に応じた複数の空間フィルタを用い、欠陥の濃淡変化を滑らかにする。図10にメディアンフィルタ^{注5)}を施した画像を示す。横方向の長い欠陥に対して、縦方向のメディアンフィルタを施すことにより、欠陥の濃淡変化を滑らかにすることができる。図10の赤四角部が滑らかにされた欠陥部である。

注5) 注目画素に対して、その画素を含むある領域内の全画素の輝度値の中央値を出力するフィルタ。

④差分による欠陥の強調(図11)

図8の画像から図10の画像を差分することにより、部品表面の濃淡変化を滑らかにする。欠陥部の輝度が周囲に対して大きくなり、欠陥が強調された画像を得ることができる。

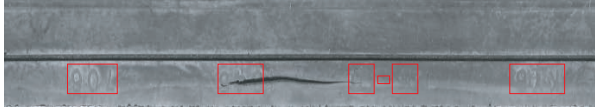


図8 刻印領域の平滑化

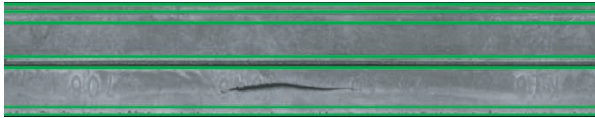


図9 領域分割



図10 フィルタによる平滑化

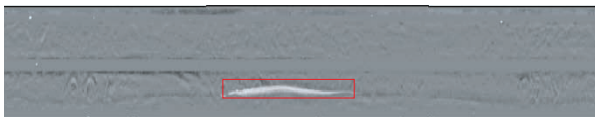


図11 差分による欠陥の強調画像

4.4 2値化^{注6)}による欠陥検出

図11の画像を再度、円形に変換することにより図12の画像を得る。この画像に対し、2値化処理により欠陥候補領域を抽出する。抽出した欠陥候補領域から各種の特徴量に基づいた判定を行い、欠陥を検出する。欠陥領域を赤色で示す、図12のように刻印文字等のノイズに影響されことなく、欠陥領域のみが検出されていることがわかる。

注6) 濃淡のある画像をある閾値を用いて2階調に変換する処理。



図12 2値化処理による検出結果

5 斜め方向の検査技術

5.1 検査アルゴリズム

斜め方向では15枚の画像撮影を行うため、垂直方向と比較して撮影時間を要する。したがって、サイクルタイム内で検査を完了するための方策が必要となる。また垂直方向と同様、撮影した欠陥を確実に検出する方策も必要となる。そこで、ランク処理^{注7)}を用いて、撮影した複数枚の画像を1枚の画像に統合する。その統合した画像へ差分処理を適用することで、処理時間の短縮と部品表面の濃淡変化を平滑化するアルゴリズムを開発した。図13に撮影の概要と検査領域を示す。赤斜線で示した部位が検査領域である。

注7) 各画素の輝度値を利用して、画素を昇順や降順に並び替える処理。

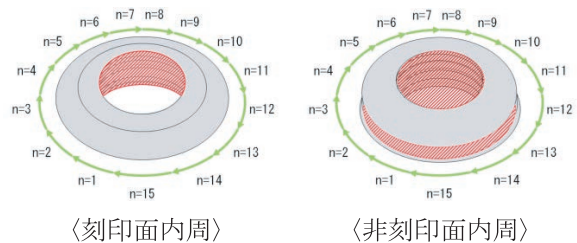


図13 斜め方向検査領域

5.2 ランク処理を用いた欠陥画像の結合

図14にランク処理を用いた欠陥の結合処理の概要を示す。ランク処理を実施することにより、複数枚の画像に撮影される明るい欠陥あるいは暗い欠陥を、それぞれ1枚の画像へ結合することができる。その結合された画像にのみ処理を実施すればよくなり、結果として処理時間を短縮することが可能となる。

図15は対象部品の欠陥の撮影状況であり、欠陥が複数枚の画像に撮影されている。15枚の画像の間で同一座標にある画素に対してランク処理を適用し、輝度値に基づき昇順で並び替えを行う。最も輝度が大きい画素のみで構成された画像 $G_{(rank=15)}$ が図16であり、明るい欠陥が結合されていることがわかる。

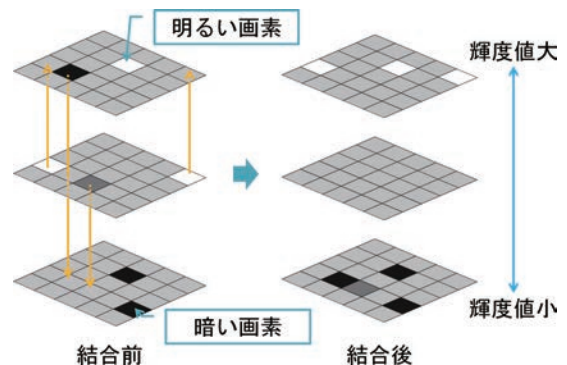


図14 ランク処理を用いた欠陥画像の結合

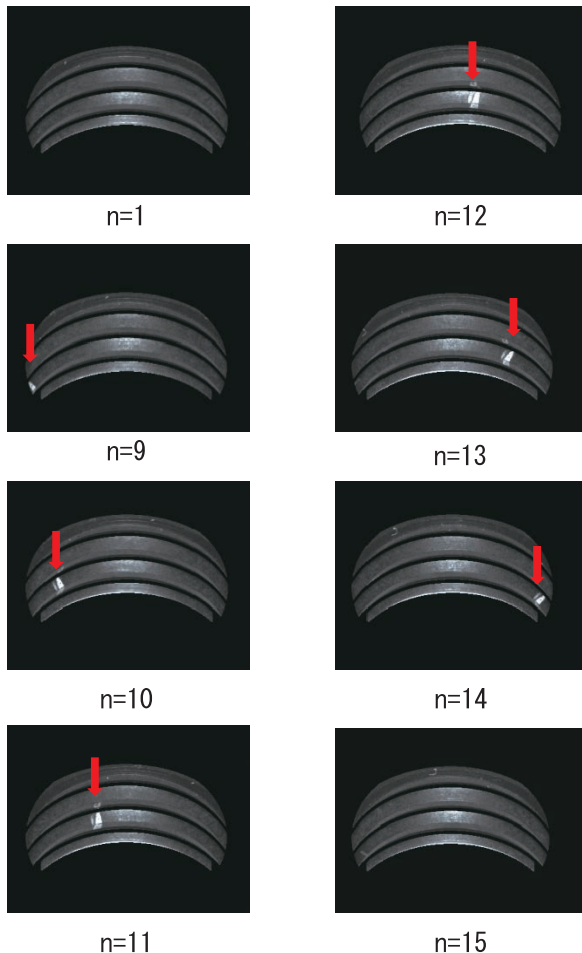


図15 連続して撮影した画像（一部抜粋）



図16 最も輝度が高い画素のみで構成された画像

5.3 差分処理による欠陥の強調

垂直方向と同様、差分処理により部品の濃淡変化を平滑化し、欠陥のSN比を大きくする。欠陥およびノイズ等の映りこみ状況に応じて、適切なランクの画像を用いて処理を行う。 $G_{(rank=15)}$ と $G_{(rank=13)}$ の画像を用いて、差分した結果を図17に示す。部品の濃淡変化が平滑化され、欠陥が強調された画像を得ることができる。

5.4 2値化による欠陥検出処理

図17に対して2値化処理を施すと図18となる。しかし欠陥部以外にハレーション^{注8)}領域が現れ、誤検出する恐れがある領域を赤色で示す。

ハレーションによる誤検出を防ぐため、 $G_{(rank=14)}$ （2番目に明るい画素で構成された画像）に対して2値化処理を施し（図19）、図18との差分処理を行うと、図20に示すようにノイズ等のない欠陥部分のみが抽出された画像を得ることができる。

注8) 強い光の当たった部分の周りが白くぼやける現象。

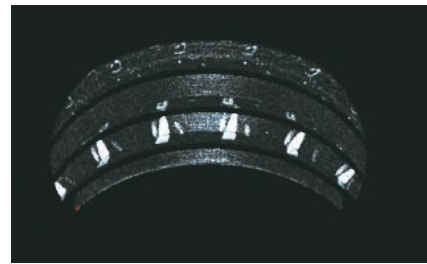


図17 差分処理により強調された欠陥

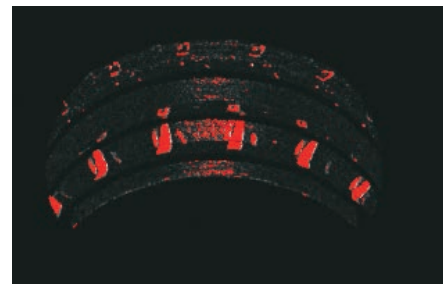


図18 欠陥候補領域



図19 $G_{(rank=14)}$ の画像から得られたハレーション領域



図20 欠陥検出結果

6 検査設備の概要

前項までに解説した技術を製造現場にて活用するために、開発技術を実装した検査設備を製作した。図21が設備全体の概観である。設備は右から部品投入部、外観検査部、部品排出部の構成となっており、ホッパに蓄えた部品により約1時間の無人運転が可能である。検査結果を表示するモニタを備え、画像の撮影状態やOK・NGの確認等ができる。また設備全体をカバーで覆い、画像処理を実施する上でノイズの要因となる埃等の侵入防止、外乱光の遮光、安全対策を施している。

外観検査部の機器レイアウトを図22に示す。インデックス搬送装置により部品の搬送を行いながら、4つの検査ステーションで各検査を行う。

搬送装置の途中に反転機構を設置し、検査途中で刻印面から非刻印面への反転を行う。また、OK品・NG品の混入がないよう、区別して排出する機構を備えている。

検査設備の中で、特徴的な機構を紹介する。

(1) 検査ジグとその回転機構 (図23)

検査ジグは部品形状と画像処理への影響を考慮し、樹脂と金属を組合せた構成とした。また、斜め方向検査時の部品回転には、ステッピングモータを採用し間欠回転を実施している。

(2) 反転機構 (図24)

搬送装置からの部品取出しと受け渡し姿勢の動作には、リンク機構を応用した。これにより、コンパクト、高速動作、高信頼性を実現した。

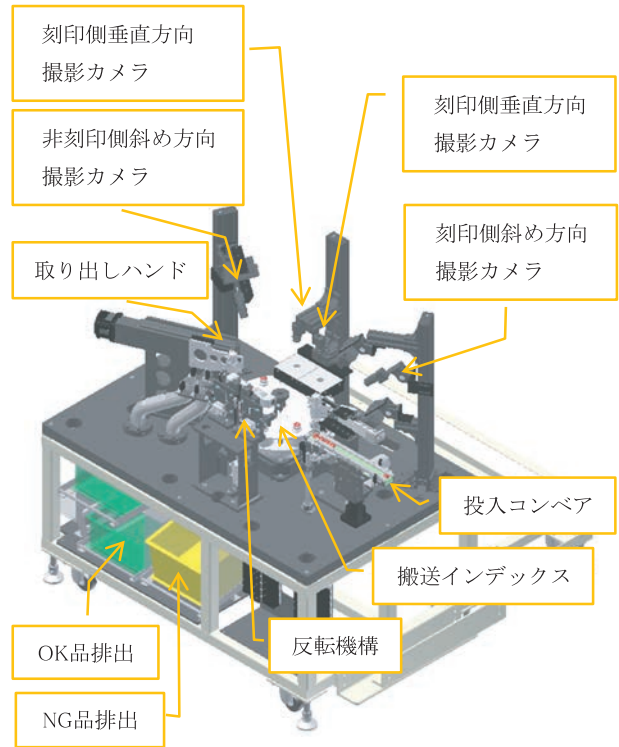


図22 外観検査部機器レイアウト

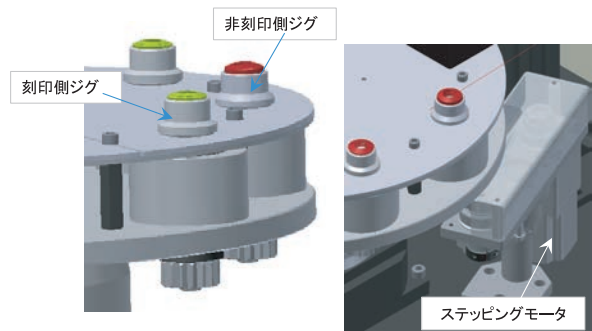


図23 検査ジグと回転機構

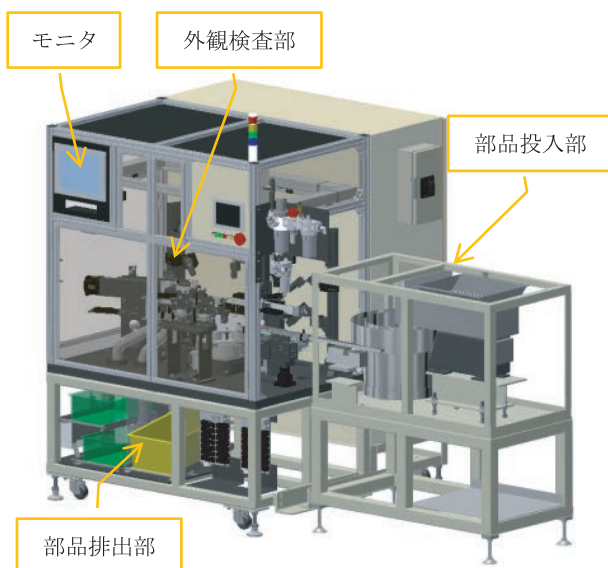


図21 検査設備全体図

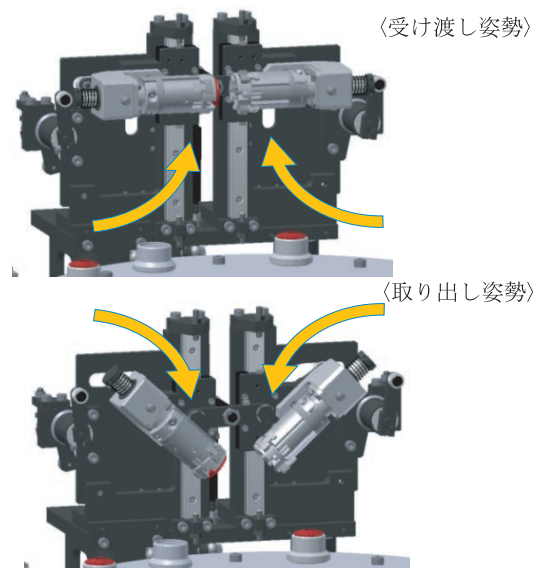


図24 反転機構

7 開発結果

- ①部品全面に発生し得る各種の欠陥モードを捉えるために、ワークを自転、反転させて垂直方向と斜め方向から撮影する方法を考案した。この方案により、従来の検査装置では対応できなかった検査ができるようになり、品質保証精度の向上を図ることができた。
- ②空間フィルタを用いた差分処理により、部品表面の濃淡変化を平滑化する処理方法を開発した。この手法は欠陥を高SN比で捉えることのできる、汎用性の高い手法である。

8 結言

これまで市販の検査装置では品質保証面で十分とは言えず、目視検査を併用していた外観検査に対し、部品の表面状態や形状等を考慮した検査装置の採用と外乱に強いロバストな処理方法を組合せた新たな

画像検査システムを構築した。

新たな検査技術の開発と併せ、生産工程の改善や品質の維持方法、工程能力と品質保証の要求に合致した検査基準の決定、検査装置の維持管理方法の決定についても活動を展開した。これらの活動は、外観検査技術を生産現場で維持・活用していくためには非常に重要である。今後の技術開発においても、必ず実践していく。

最後にこれまでの開発、導入に多大な支援をいただいた、関係各位に対して深く感謝をいたします。

参考文献

- 1) 増村茂樹：マシンビジョンライティング基礎編，日本インダストリアルイメージング協会，2010年。
- 2) MVTec Software GmbH：画像処理アルゴリズムと実践アプリケーション，株式会社LINX，2008年。
- 3) デジタル画像処理編集委員会：デジタル画像処理，CG-ARTS協会，2012年。

著者



中西 洋輔

2011年入社。技術本部生産技術研究所第二研究室。画像処理技術の開発に従事。



工藤 賢司

2011年入社。技術本部工機センター設計室。社内生産設備の設計に従事。