

協働ロボットによる検査作業省力化の研究

Research to save labor in visual inspection by a collaborative robot

電子・機械技術部 ロボット・制御科 吉田英一 近野裕太 根本大輝 菊地悠介

製造現場へのロボット導入及び協働ロボットによる作業の省力化を目指し、検査作業の省力化に取り組んだ。今年度はラインスキャンカメラや照明等の光学機器を設置し、曲面形状で光沢がある金属部品を検査対象にした外観検査作業の実験環境を構築した。また、光学機器の配置等の調整を行い、高解像度の画像を取得して画像処理により部品表面の傷等の欠陥検査が可能か実験を行った。

Key words: 協働ロボット、省力化、外観検査、画像処理

1. 緒言

近年、少子高齢化や生産年齢人口の減少に伴う人手不足が進行しており、本県においても生産年齢人口は減少傾向にある。このような課題の解決策として、製造現場へのロボット導入及びロボットによる作業の自動化・省力化を進める動きが活発になっており、当所でも県内企業へのロボット導入や活用に関する技術支援を行っている。

本研究では協働ロボットによる検査作業の省力化を目標とする。欠陥検査の一つに検査対象部品(ワーク)表面の傷の有無を調べる外観検査がある。部品の表面に細かい傷や打痕等があると、見た目が悪いばかりではなく、後工程で問題が発生することがある。そのため、次の工程に進む前に、これらの欠陥を発見することが重要になる。外観検査は従来目視による検査が行われることが多く、全数検査の場合、検査員の手間やコストが増大する。また、個人差による精度のばらつきやヒューマンエラーが発生しやすく、作業の省力化・効率化が望まれている。

円柱形状の金属部品のように、光沢があり曲面を持つ部品の目視検査は、検査員の熟練を要することが多く、長時間集中した検査が必要で疲労に伴う見落としが発生するという課題がある。

そこで、本研究では協働ロボットを活用した画像処理外観検査システムを構築し、検査作業の省力化を目指す。今年度はカメラ、照明等の光学機器を導入し、画像取得や画像処理の実験を実施した内容を報告する。

2. 検査作業の省力化

部品の外観検査には目視による検査方法と、画像取込用カメラとコンピュータで画像処理を行う方法がある。基板上に配置された小型電子部品をエリアカメラで撮影し、画像処理により自動で検査するシステムは広く一般的に使用されているが、曲面形状で光沢がある金属部品の検査にエリアカメラの画像処理システムをそのまま適用させてもうまくいかない。そのため、

いまだに目視による部品検査が主流になっている現場も少なくない¹⁾。

そこで、本研究では図1に示すように協働ロボットによる検査対象物(ワーク)の外観検査作業を省力化するシステムの構築を目標として、今年度はラインスキャンカメラや照明機器を導入して検査作業の実験環境を構築し、曲面形状で光沢のある金属部品の撮像と画像処理の実験を行った。

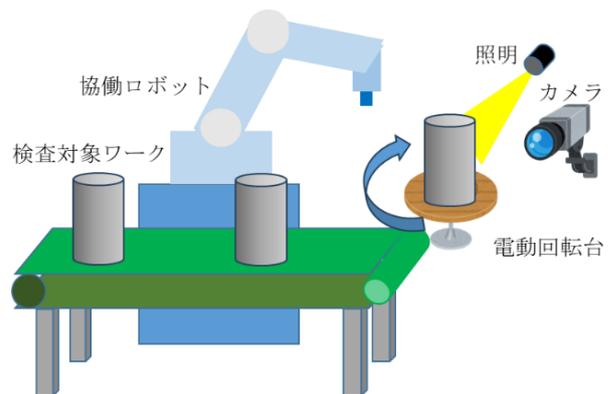


図1 協働ロボットによる検査作業の省力化

3. 実験

3. 1. 検査作業の環境構築

県内企業の生産現場へのロボット導入及びロボットによる作業の自動化・省力化の技術支援を行うため、当所では産業用ロボット(RV-20F-D、三菱電機製)、協働ロボット(UR10e、ユニバーサルロボット製)、自律搬送車(S-CART-V100、ニデックドライブテクノロジー製)、3Dロボットビジョン(RB-1200、キーエンス製)などを整備したロボット・テストベッドを所有している。ロボット・テストベッドの外観を図2に示す。

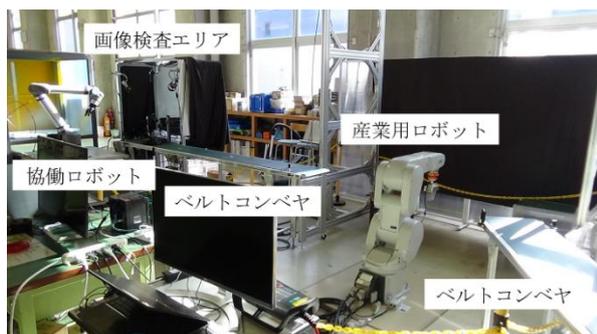


図2 ロボット・テストベッド

実験では、ロボット・テストベッドの画像検査エリアの作業台にラインスキャンカメラ、照明などの光学機器や、ワークを回転させて撮影するための電動回転台（ろくろ）、協働ロボットを図3のように配置して外観検査作業の実験環境を構築した。画像処理によるワークの外観検査を行うために、作業台にカメラスタンドを置いてラインスキャンカメラ及び照明を設置し、最適な設置位置の検証を行った。

協働ロボットによる検査作業工程の省力化を実現するため、次の（１）～（４）の工程を想定した。

- （１）ベルトコンベヤで搬送された検査対象ワークを協働ロボットでピックアップ
- （２）ピックアップしたワークを回転台まで搬送
- （３）ワークを回転させながらワーク表面の画像取得
- （４）画像処理で外観検査し、検査結果を判定

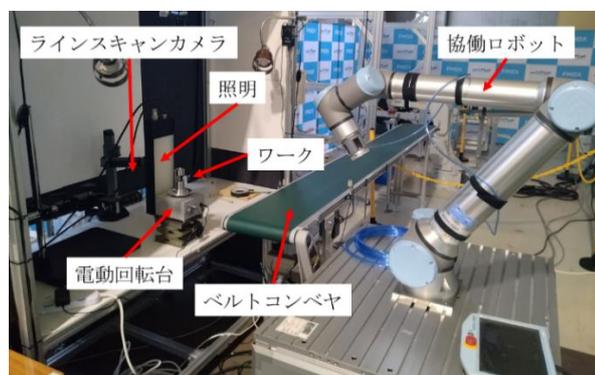


図3 外観検査の実験環境

3. 2. ラインスキャンカメラによる外観検査実験

3. 2. 1. 画像撮像実験

ラインスキャンカメラは対象物を1ライン毎に撮像するカメラで、対象物を回転（または移動）させながら撮像し、1ライン毎の画像をつなぎ合わせて1枚の展開画像を生成する。連続で撮像が可能のため、エリアスキャンカメラでは撮影が難しい円柱状のものや、1回の撮影で収まりきれない長いシート状の対象物の撮像に向いている。また、照明についても、エリアスキャンカメラでは照明をエリア全体に均一に当てるのが難しいが、ラインスキャンカメラの場合、照明を

1ラインだけ均一に当てれば、明暗ムラの少ない画像を取得することができるというメリットがある。

画像処理に適した解像度の高い画像を得るため、カメラ、照明などの光学機器の配置や撮像条件を検討した。実験では光学機器、電動回転台、ワークを配置して撮像実験を行った。

ワークには、高さ約100[mm]、直径約40[mm]の円筒形の金属部品を使用した。画像取得と画像処理には、(株)キーエンス製4096画素白黒ラインスキャンカメラ(CA-HL04MX)、25[mm]焦点レンズ(CA-LHE25)、LumiTrax照明(CA-DZW30X)、カメラや照明を制御した撮像や画像処理の機能を持つ画像処理装置(XG-X2900)を使用した。

画像処理に関連する機器の構成は表1のとおり。

表1 機器構成

構成	型番	主な仕様
ラインスキャンカメラ（白黒）	CA-HL04MX	CMOS 撮像素子 4096(H) × 16384(L)
レンズ	CA-LHE25	焦点距離 25[mm]
照明	CA-DZW30X	LumiTrax 正反射 モード用照明 照射幅 324[mm]
画像処理装置	XG-X2900	エリアカメラ、 ラインスキャンカメラ対応 画像処理用 DSP 内蔵

作業台のラインスキャンカメラはワークの長手方向1ラインを撮像するように設置した。検査対象ワークを電動回転台に置き、時計回りに約120[rpm]の速度で回転させて撮像した。

3. 2. 2. 画像処理実験

ラインスキャンカメラで取得したワーク表面の展開画像に対して画像処理を行い、円柱形の金属ワーク表面の傷や打痕等の欠陥検出が可能か検証した。ラインスキャンカメラと部分点灯照明を使うことで、1回撮影するだけでノーマル画像の他、正反射画像、拡散反射画像、光沢比画像、形状画像を取得可能となっている²⁾。

今回使用した画像処理装置は金属製品や樹脂部品の欠陥検査に用いられ、対象物表面に発生した傷などの欠陥を検出可能である。また、カメラと高速な部分点灯照明による撮像機能を搭載しており、金属だけでなく、食品用パッケージや布の表面の欠陥も検出できる。この照明を使い、複数方向から光を当てた複数枚の画像を解析することで、周囲のノイズの影響を受けずに

対象物の凹凸や模様を解析できる³⁾。

4. 結果

4. 1. ラインスキャンカメラによる外観検査実験

4. 1. 1. 画像撮像実験結果

図4にラインスキャンカメラで撮影した円柱形の金属部品のノーマル画像を示す。今回のカメラ設置状況では、画像の左側がワークの底部、右側がワークの上部画像となっている。

ワークが1回転したことが分かりやすいように目印として星型のシールを貼り付け、ライン数とラインスキャン間隔の時間を調整することで1回転分の画像データを生成するようにした。

生成された画像はピントの合ったコントラストのはっきりした高解像度で、傷や打痕などの欠陥が判別できる画像が取得できた。しかし、ワークの上下で画像にコントラストの差が見られた。これはワーク表面に対して均一に照明光が当たっていないことが原因であると考えられるため、照明の設置位置や照射強度の微調整が必要である。

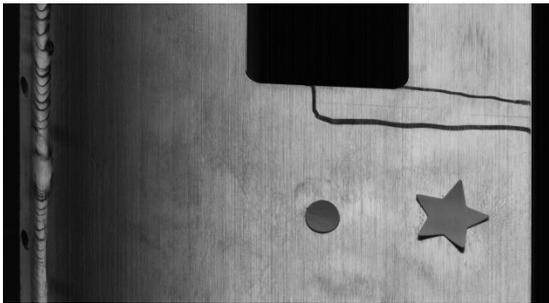


図4 撮像結果（ノーマル画像）

4. 1. 2. 画像処理結果

ワーク表面には周方向に細い筋状の加工傷があり、今回検出する欠陥は加工傷と直交した線状の傷である。そこで、加工傷をできるだけ目立たなくして、欠陥の傷を浮かび上がらせる画像処理方法について検討した。

使用した画像処理装置には傷検査のための濃淡プロブという画像処理機能を搭載している。プロブとは小さい塊のことで、同じ濃度を持った画素の集合体を検出し、傷の有無を検出する。また、安定した傷検査ができるように検査前に検査内容に適した画像に加工する前処理フィルタ機能が搭載されている。そこで、取得画像の特定領域を指定した後、線欠陥抽出フィルタを試した。図5に線欠陥抽出フィルタの処理結果を示す。

線欠陥抽出フィルタのパラメータを適切に設定することで、加工傷を除去して欠陥の傷のみを抽出できた。

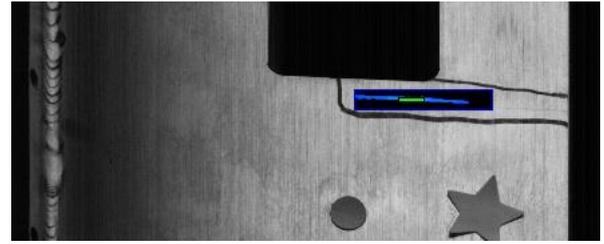


図5 線欠陥抽出フィルタの処理結果

5. 考察

本研究では協働ロボットによる外観検査作業の省力化を実現するため、今年度は光学機器を導入して画像処理による検査環境を構築した。

今年度はロボットが把持できる小型ワークを想定して電動回転台を使った検査環境を構築し、光学機器や協働ロボットを配置した。光学機器を適切に配置することで、光沢のある曲面形状のワークでも画像処理に適した高解像度の画像を取得できることが分かった。しかし、中小企業では多品種少量生産の部品を扱うことが多いことから、ワークのサイズが多少変わっても簡単な配置変更（または配置変更無し）で使用できることが求められる。電動回転台を使わず、図6のように協働ロボットに把持させたまま検査させれば多少のワークサイズ変更には対応できると思われるが、精密なロボット制御によりワークをカメラ焦点の位置に合わせられるかが課題となる。

協働ロボットによりワークを検査エリアまで搬送する際、ワークサイズによりティーチングしなおす手間が省けるようにティーチングレスでのロボット制御にも対応していくことも課題と思われる。

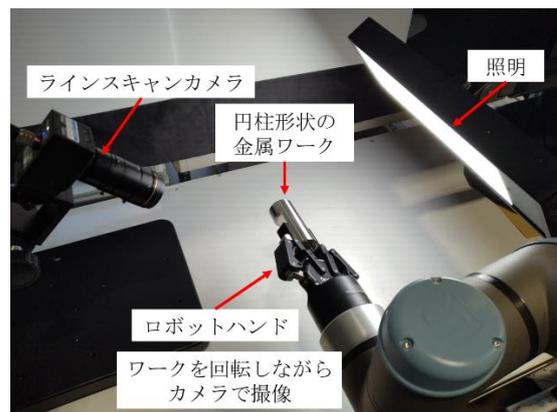


図6 協働ロボットにワークを把持させた検査手法

6. 結言

協働ロボットを活用して外観検査作業の省力化を行うため、今年度はラインスキャンカメラや照明等の光学機器と画像処理装置を導入し、ロボット・テストベ

ッドに外観検査作業の実験環境を整えた。撮像された画像を確認しながらカメラや照明の配置変更を行い、適当な撮像条件を見つけて高解像度の画像を取得することができた。また、生成された画像を使って画像処理を行い、ワーク表面の傷や打痕等の欠陥を検出しやすくするための処理を検証した。

今後は傷検査に最適なコントラストのはっきりした画像を生成するための撮像条件の検討や、傷検査に適した画像処理手法の検討を行うとともに協働ロボットとの連携システムを構築して実験や検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 窪田直樹 他. 金属部品の外観検査システムの研究開発. 岐阜県情報技術研究所研究報告, 第 18 号, pp.9~14.
- 2) “ラインスキャンカメラ”. 株式会社キーエンス.
https://www.keyence.co.jp/products/vision/vision-sys/line_scan/. (参照 2025-2-14).
- 3) “画像処理.com”. 株式会社キーエンス.
<https://www.keyence.co.jp/ss/products/vision/visionbasics/>. (参照 2025-2-14).