

短管内面検査装置

Short Pipe Inner Surface Inspection Equipment



浅川 淳哉

Junya Asakawa

ロボティクス事業部
東日本センター
苫小牧ロボティクスグループ

ロボティクス事業部は、ロボティクスを手段として人手不足の解消や安全性向上など、お客様の多様なニーズを実現することで社会に貢献する事を使命と位置付けている。苫小牧ロボティクスグループでは①ロボットシステムインテグレーターとしての製品提供の他、②技術開発チームで行っている客先困り事（潜在ニーズ）に対する自動化検証や自社製品開発のための先行技術検討・検証等の商品創出活動を行っている。本稿では、その活動取組みの1つとして、従来技術では実現が困難であった円筒短管材の多品種ワークに対して、高速かつ高品質を実現する「短管内面検査装置」について紹介する。

The mission of the Robotics Division is to contribute to society by using robotics to meet the diverse needs of customers, such as reducing labor shortages and improving safety. The Tomakomai Robotics Group is engaged in the following product creation activities: (1) Provision of our products as a robot system integrator, (2) review and verification, conducted by the technology development team, of prior technologies for automation verification of customer problems (that represent potential needs) and in-house product development.

In this paper, as one of our activities, we introduce a high speed and high quality "short pipe inner surface inspection equipment" for a wide variety of short cylindrical pipe workpieces, which has been difficult to achieve with conventional technology.

1. はじめに

苦小牧ロボティクスグループは苦小牧市近郊の自動車製造業を中心に、自動化／省力化を提供してきたグループで、ロボットを手段とし高度化した製品を提供するため、マテリアルハンドリングの他、溶接・バリ取り等の加工や画像検査(2D・3D)、人協働型ロボットでの製品作りにも取り組んでいる。

当グループの特色として、製品提供の他、技術開発チームを置き客先困り事に対する自動化検証や、自社製品開発のための先行技術検討・検証作業を行っている。工場には試験専用の開発ルームがあり、6軸垂直多関節／パラレルリンク／協働ロボット等を多数常設しており、シミュレーション後の実機検証をタイムリーに実施している。本稿では、これら商品創出活動の取り組みの一つである「短管内面検査装置」についての検証結果を紹介する。

2. 短管内面検査装置とは

当グループでは、円筒形ワークの内面異物や傷の自動検査の相談(現状は目視検査)が複数のユーザーから有り、鋼管端部・金属カップリング・樹脂管・射出成型品等の内面検査にも展開可能と判断し、検査の自動化検討をスタートした。

まず、最初に類似対象材での従来技術と方式を調査した結果、下記の様な特徴である事が分かった。

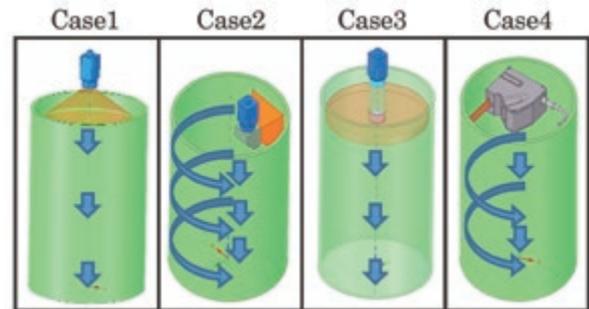


図1: 従来方式イメージ図

表1: 各Caseの特徴

Case1 エリアカメラ 垂直挿入撮像	①1方向から検査用カメラを挿入し広角で撮影。 ②機器構成がシンプル。 ③ワーク径が変化した場合解像度・ピント調整に課題。(ワーク径変化時の精度に課題)
Case2 エリアカメラ 側面撮像	①直角ミラーによる側面視での撮影。 ②機器構成がシンプル。 ③カメラまたはワークの回転が必要。 ④検査範囲が狭く検査時間が長い。(検査範囲・時間に課題)
Case3 ボアスコープ 円錐ミラーでの側面視撮像	①小径穴に検査用カメラを挿入可能。 ②撮像範囲が狭く検査時間が長い。 ③ワーク径が変化した場合解像度・ピント調整の対応不可。(検査時間・ワーク径変化時の精度に課題)
Case4 レーザー 変位センサーでのスキャンニング	①高い検査精度。 ②検査ヘッドが大きくφ300mm以下のワークに適用困難。 ③小型ミラーを使用した場合スキャン時間が長い。

各方式でそれぞれ優位性はあるものの、対象ワーク径の制限(概ねφ150mm以下)、精度(分解能)と検査時間の課題、光学系の段替え・交換の必然性、検査長の制限(200mm程度)等の仕様制約があり、我々が商品化を目指す装置の仕様範囲には適合しなかったため独自方式の検査装置の開発を目指した。

- ④有害な異物対象のサイズ(0.5mm×0.5mm)が検出可能なこと
- ⑤レンズ・ミラー等の光学系が交換レスであること
- ⑥安価であること

試験対象ワークとしては、ニーズの中から内面ねじを有するカップリングを対象とした。

対象ねじ形状は図2の様な三角ねじ・台形ねじ・ノコ歯ねじ・フランク角がマイナスとなるテーパねじ・ウェッジねじを選定。フランク角がマイナスのねじは、ねじ面から鉛直に見た場合死角があり検査漏れが発生し易い条件の形状であることから、これらの仕様での検査が達成可能であれば、他の単純形状ワークの内面検査も達成可能と考え代表試験対象材とした。

▶2.1 開発目標

開発目標としては、汎用製品と差別化を図るため、以下の6点を目標仕様と定めた。

- ①最大径:φ300mm、ワーク長:400mmの検査が可能なこと
- ②人間による目視検査・汎用機器の検査能力を上回ること(10～15sec)
- ③内面の全周検査が可能なこと

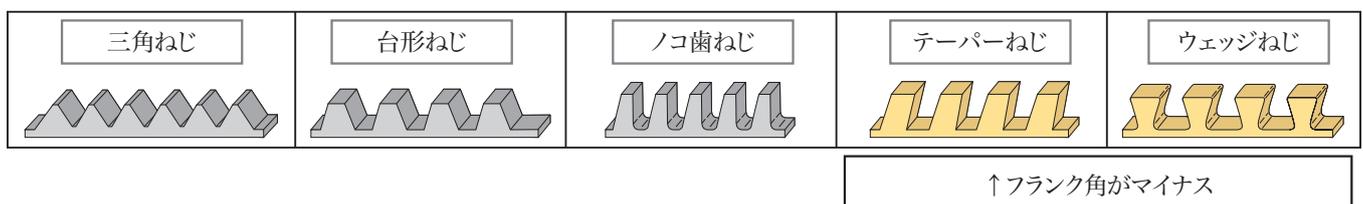


図2: 代表ねじ形状

▶2.2 開発の取り組み

開発ステップ1 【撮像方式の決定】

事前の方式検討でレーザー光切断、ラインカメラ、エリアカメラの3方式の仕様を比較検討した結果、以下の理由から面で検査範囲を捉えるエリアカメラ方式を採用した。

- ①1回の撮像範囲が他方式より広域である
 - ②システムとしてシンプル
 - ③一般汎用品で安価
 - ④レンズマウント・通信方式が多数ある
- (表2 参照)

※1 WDとは:レンズ面から被写体までの距離

表2: 撮像方式の比較

項目 \ 方式	レーザー光切断	ラインカメラ	エリアカメラ
本体サイズ	×(大)	○(小)	○(小)
ワーキングディスタンス ※1(以下WD)	△(カメラ管外)	△(カメラ管外)	○(短)
検査エリア撮像	×(死角あり)	×(死角あり)	○(死角レス)
画像取得速度	○(高速)	○(高速)	○(高速)
多品種対応	△(光学ユニット交換)	△(光学ユニット交換)	○(交換レス)
光学システム構成	△(複雑)	△(複雑)	○(シンプル)
価格	×(高価)	×(高価)	○(安価)
通信速度	○(高速)	○(高速)	○(高速)
総合評価	△	△	◎

開発ステップ2 【レンズの選定】

レンズの選定には複数の検討要素があり、全ての仕様条件を満たす必要があった。(表3-1,2,3項 参照)

光学系の検討として汎用的な広角レンズを使用してもレンズ筐体が大きく、WDも長くなり、適用ワーク径は200mm以上になってしまうことから広角撮影可能な円周魚眼レンズを候補とした。

魚眼レンズは180°以上の画角を持つものが多く、WDも短く近接撮影が可能である。(図3 参照)

円周魚眼レンズを選定した理由はもう1点あり、ワークに近接し超広角で撮像した場合、浅い角度で周辺部を見る事が可能となり、ワークのねじ側面やフランク角がマイナスのねじの検査に非常に有効となった。図4の拡大図でのこの歯ねじのトップ・ボトム・サイド全てが撮影されている事が分かる。

表3: レンズ・カメラ選定の要素

	目標仕様
1	少ないWDで大きな視野(カメラ台数削減、最小径φ160mm対応)
2	管内で側面視可能なサイズのカメラ・レンズ(最小径φ160mm対応)
3	深い被写界深度(ねじ山トップ・ボトムを明瞭に撮影)
4	高速撮像・高速画像転送(サイクルタイム短縮)
5	0.5mm×0.5mmの異物検出可能な解像度

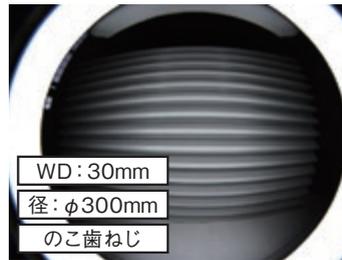


図3: 円周魚眼レンズ画像

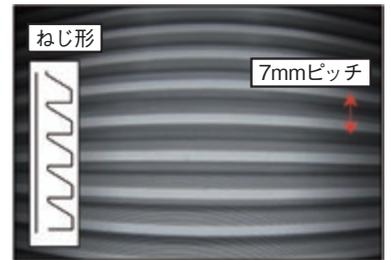


図4: 撮影のこの歯ねじ拡大図

開発ステップ3 【カメラの選定】

カメラの選定には、高速で高解像度の条件が必須であり、(表3-4,5項 参照)

高速移動撮影に強いグローバルシャッター方式で高解像度・高速シャッターを搭載し、小型魚眼レンズを取り付ける事が可能で薄型の筐体およびデータ転送速度が350MB/sと高速で汎用的なUSB3.1 Vision準拠品を選定した。

開発ステップ4 【カメラ配置および機械機構の検討】

①カメラ配置の検討

サイクルタイムの短縮およびコスト面から、往路復路でそれぞれ内周の約1/2の面積を撮像する事でカメラ台数を全周分の半分の5台とし、1往復での検査により時間短縮とコスト削減を達成した。(図5 参照)

②機械機構部の検討

自動段替えのため拡張機構でカメラ位置の移動が可能で、最小径φ160mmに5台のカメラを挿入するためカメラ設置干渉を避ける必要から各ロッドに上下千鳥に取り付けた。

(図6 参照)

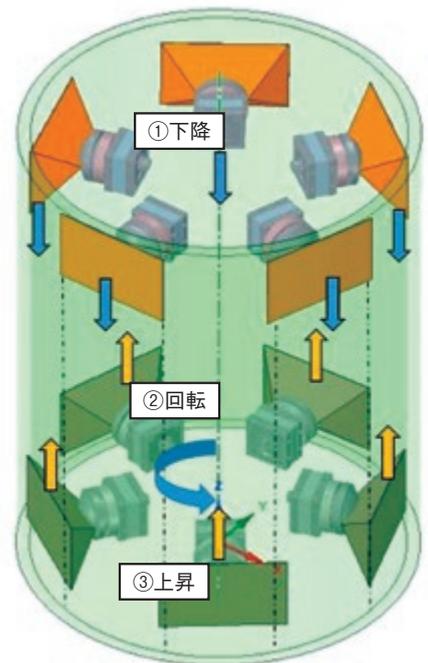


図5: カメラ配置・動作

開発ステップ5【画像検査部の検討】

ねじ部全面検査を高速で処理するためには、「画像撮像⇒画像転送」と「画像取出⇒画像の前処理⇒判定」をそれぞれ独立し非同期で処理する必要があり、更にカメラ5台で並列処理可能なシステムを採用した。また画像処理エリアを限定することで20msでの撮像・転送および速やかに判定も行え撮像終了後1s

以内に判定結果を出力可能という大幅短縮化の目途が立った。これらの仕様によりワーク長400mmの場合、往復移動中に撮影・検査を実施し、検査開始～判定出力まで5.0secという短時間で内面全周検査を行える計画となった。(図7 参照)

画像処理検出試験ではφ300mmワークのねじ側面にある0.5mm×0.5mmの異物検出も達成した。(図8 参照)

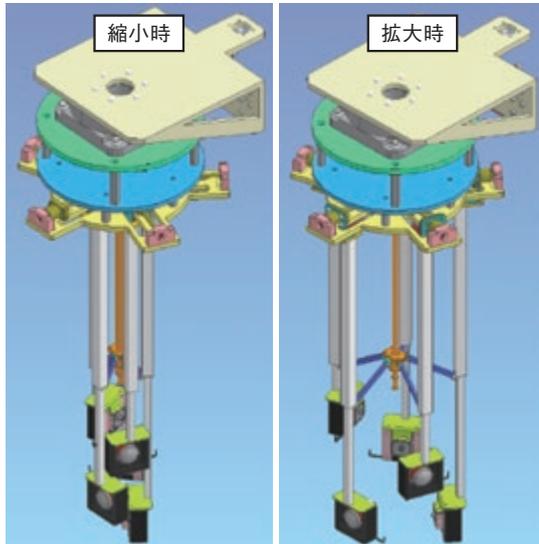


図6: カメラユニット部計画図

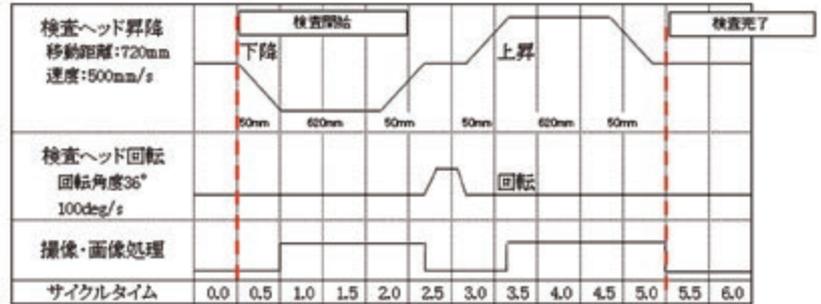


図7: サイクルタイム計画

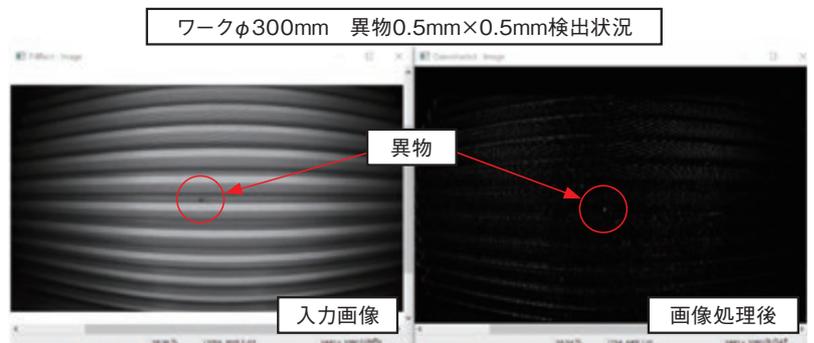


図8: 画像処理異物検出試験

▶2.3 開発結果・残課題

ステップ4までの開発により以下の目標仕様を試験用ワークで達成する事が出来たが、プロト機を製作し検査装置としての必要な性能実証を行う予定である。

表4: 達成状況 (試験用ワーク)

	目標仕様	開発結果	備考
1	ワーク径 最大φ300mm対応	φ160mm～φ300mm達成	カメラ台数サイクルタイム条件によってφ300以上対応可能
2	ワーク長400mm対応	ワーク長400mm達成	検査ヘッド部カスタマイズにより400mm以上対応可能
3	検査時間10sec以下	400mm全周検査 5.0sec達成	
4	内面全周検査	微小ピッチ撮影により死角レスで全周検査達成	
5	0.5mm×0.5mmの異物検出	0.5mm×0.5mmの異物検出達成	
6	光学系の交換えレス	φ160mm～φ300mm達成	
7	安価	汎用機器使用により安価化達成	

※表は代表ワークでの検証結果であり、条件により記載以上の対応も可

機械系の動作・剛性・精度確認、管内に5台のカメラ挿入時の照明乱反射影響、様々なワーク表面に対する検出パラメーターの確認、カメラ5台の同時画像判定試験によるシステムの検証などの技術確認・性能実証を行い、2022年中旬の商品化を目指している。本装置は内面検査で開発しているが、カメラ配置・拡縮機構の変更により、外周検査にも適用が可能である。ロボットのエンドエフェクタに取付けて使用するなど、ユーザー毎にカスタマイズも可能であるため今後適用拡大を推進していく。(特許出願中)

3. おわりに

検査装置の他に検査のためのワーク前後搬送装置も、検査内容・レイアウトに合わせ各種ご提案させていただきます。

お客様の中で「短管内面異物検査装置」に関する、ご相談があればご連絡ください。

お問い合わせ先

ロボティクス事業部

本社 企画管理部 営業グループ

TEL 03-6860-6627

西日本センター

TEL 079-237-5377

東日本センター 名古屋ロボティクスグループ

TEL 052-604-4164

東日本センター 苫小牧ロボティクスグループ

TEL 0144-57-0177