

# 課題情報シート

テーマ名 :	配管検査ロボットの開発				
担当指導員名 :	原 圭吾、藤原 亮	実施年度 :	25 年度		
施設名 :	中国職業能力開発大学校				
課程名 :	応用課程	訓練科名 :	生産システム技術系		
課題の区分 :	開発課題実習	学生数 :	4	時間 :	54 単位 (972h)

## 課題制作・開発のポイント

### 【開発（制作）のポイント】

倉敷市水島地域は国内屈指のコンビナート地帯です。コンビナートは化学反応によって製品を生み出すため、多数の配管が使用されています。そのため設備を維持するためには経年劣化に伴う配管の割れや腐食の検査が絶対条件となります。しかし現在の配管検査では、作業者が有線接続の検査装置を用い、搭載されたセンサで配管の状態を確認しています。しかしこの手法では、長期の検査期間と多額の費用が必要となってしまいます。さらに検査場所は危険を伴い、作業者の負担が大きいことが課題となっています。そこで岡山県と地元企業、中国能開大が一体となりロボット技術に関するプロジェクト（岡山RTB研究会）が立ち上がりました。そこから出された技術課題をもとに、配管検査のロボット化と遠隔操作技術の確立を目的として開発に取り組みました。

この開発においては、垂直に立てられた配管表面を上下方向だけでなく、回転方向にも走行する必要があるため、駆動機構にはオムニホイールを用いました。また遠隔で操作するために、無線 LAN による制御技術を用いました。

【学生数の内訳】 機構設計および機械加工：2名、電子回路設計製作：1名  
制御プログラム：1名

### 【訓練（指導）のポイント】

これまでにない新しい駆動機構を生み出すために創造的開発技法で習得したブレインストーミングなどの発想法を活用しました。また研究論文等の文献を検索し、学生自身に課題の位置づけや研究状況を調査させました。実際の指導場面では学生一人ひとりのモチベーションを高めるために、個々人に対しテーマを与え目標を明確化しました。開発の前提となる技術および知識は専門課程、応用課程で学んだことがベースとなるために、指導員側は出来るだけ前面に立たないようにし、学生自身が自ら積極的に課題に取り組めるよう、最低限の助言程度を与えるのみとしました。指導員側では、学生の進捗状況と目標管理のために、学生に対し、週間報告書を作成させました。

## 課題に関する問い合わせ先

施設名 : 中国職業能力開発大学校  
住所 : 〒710-0251 岡山県倉敷市玉島長尾 1242-1  
電話番号 : 086-526-0321 (代表)  
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/okayama/college/>

課題制作・開発の「予稿」および「テーマ設定シート」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

# 配管検査ロボットの開発

中国職業能力開発大学校 生産機械システム技術科 ○○ ○○ ○○ ○○  
生産電子システム技術科 ○○ ○○ ○○ ○○

## 1. 緒言

倉敷市水島地域は国内屈指のコンビナート地帯である。コンビナートでは化学反応によって製品を生み出すため、多数の配管が使用されている。そのため設備を健全に維持するためには経年劣化に伴う配管の割れや腐食の検査が必要となる。現在の配管検査では、作業者が有線接続の検査装置を用い、センサで配管の状態を確認している。しかしこの手法では、長期の検査期間と多額の費用が必要となる。また検査場所は危険を伴い、作業者の負担が極めて大きい。そこで我々は昨年度から配管の保守・検査を遠隔にかつ安全に行えるように、配管上を自由に移動できる検査ロボットを開発している<sup>[1]</sup>。

## 2. 従来技術と昨年度の結果

実際の現場で使用されている検査装置を図1に示す。検査装置は配管を2つのアームで挟み、ベルトの摩擦力で配管上を走行する。検査装置上部の円弧状ホルダにセンサを取り付け、一走行当たり半周分(180deg)を検査する。この装置の課題は①装置全体の質量が大きい②ケーブル質量が大きい③全周の検査が1度でできない。これらを解決するため、昨年度、我々は配管を自在に移動できる駆動機構を提案し、ロボットの開発をスタートした。その結果、①傾斜角度10deg以上を走行できない②位置情報を確認できない③遠隔制御が不安定という3つの課題があげられた。

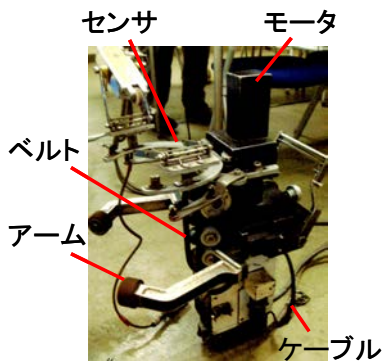


図1 有線式配管検査装置の外観

## 3. 今年度の設計指針および機構構成

我々は昨年度に示された3つの課題を解決するためロボットを一から再設計し、軽量で遠隔操作可能な配管検査ロボットを開発することとした。

配管を自在に上下移動できる駆動機構としてオムニホイールを採用した。オムニホイールとは回転軸上の動きと、円周上に設けられた樽の回転を組み合わせ、これらのコンビネーションにより移動の自由度を向上させた駆動輪である。昨年度は配管とホイール等支持点の配置をロボットの中心軸(走行する配管の中心)に対し図2(a)に示すように4か所とした。しかし走行姿勢が不安定となる問題が発生した。そこで図2(b)に示すように3つのオムニホイールで支持するように変更した(図2(b)参照)。

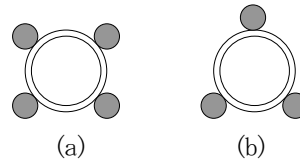


図2 駆動輪の支持形式

強い摩擦力を得るために、オムニホイールのサイズアップを図るとともに配管の軸方向に対し上下2段構成とし、上下走行用に2組と回転走行用に1組を配置した(図3(a)参照)。

ロボット本体は図3(b)に示すように半割り状の分割構造とした。配管を挟み込み、本体全体の弾性力を利用して、配管に対する強い締め付け力を得ている。完成したロボットの外観を図4に示す。

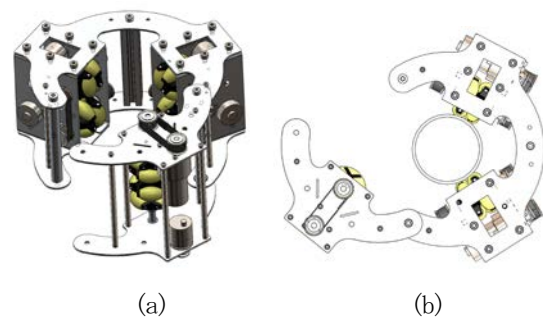


図3 本体構造

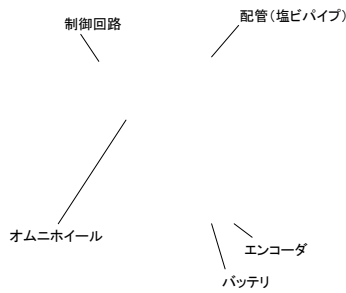


図4 配管検査ロボットの外観

### 3. 制御システム構成

ロボットの制御システム構成を図5に示す。ロボット本体にはRaspberry Pi®と呼ばれるシングルボードコンピュータ(以下SBCと略)を搭載している。

ロボットを実際に操作するには、地上に設置したパソコン(以下PCと略)から無線LANによりSBCへコマンドを送信する。SBCにはCCDカメラが接続されており、検査状況は常に地上のPCで確認することができる。また上下位置を検出するためエンコーダを取り付け、地上のPCでロボットの現在位置を確認することができる。

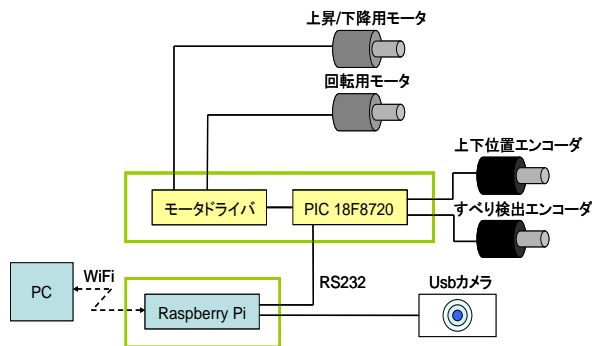


図5 制御構成図

ロボットが回転運動を行った際に下方へずれが発生したため、図6に示すようにすべり検出用エンコーダを取り付けた。このエンコーダから得られるすべり量 $e_n$ を用い、式(1)のPID演算により現在位置を保持するようにフィードバック制御を実行させた。

$$M_{Vn} = M_{Vn-1} + \Delta M_{Vn} \dots (1)$$

$$\Delta M_{Vn} = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d((e_n - e_{n-1}) - (e_{n-1} - e_{n-2})) \dots (2)$$

$M_{Vn}, M_{Vn-1}$ : 今回, 前回操作量  $\Delta M_{Vn}$ : 今回操作量

$e_n, e_{n-1}, e_{n-2}$ : 今回, 前回, 前々回の偏差

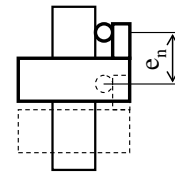


図6 すべり検出エンコーダ

## 4. 走行実験と結果

### 4.1 実験方法

ロボットの基本性能を確認するために、走行実験を行った。実験方法は外径 $\phi 76$ の塩ビパイプ(JIS K 6741 VP70)を0degから10degずつ90degまで傾け、その時のロボットの移動速度を求めた。

### 4.2 実験結果

実験結果を図7に示す。上昇時平均速度は64.1mm/sec、下降時平均速度は109.2mm/secとなった。パイプを垂直に立てた状態でも支障を来す滑りは発生せず上下移動が可能であった。図7の破線は昨年度の結果を示している。今年度の結果と比較してロボットの大幅な走行性能向上が確認できた。

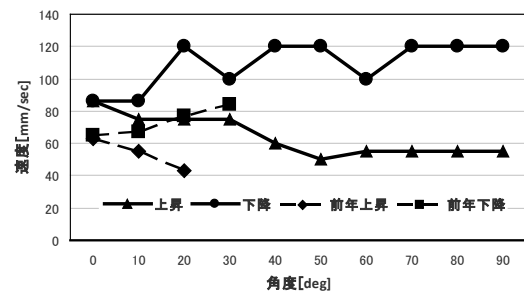


図7 走行実験結果

## 5. 考察と成果

実験結果より次の成果を得ることができた。

- (1)垂直状態での上下および回転移動が確認できた。
- (2)PCを用いた遠隔操作とカメラ画像の転送を確認できた。
- (3)精度の高いすべり検出アルゴリズムを確立することができた。

## 6. まとめ

開発を通じてものづくりの意義や重要性を身にしみて感じる事ができた。この経験を今後活かしていきたいと思う。

参考文献

- [1] 日比生、梶迫、大村、仁王頭、向井、延広、”全方向配管表面検査ロボットの開発”, 2013年度開発課題予稿集, pp.15-16

## 科名：生産システム技術系

教科の科目		実習テーマ名	
精密機器設計製作課題実習（生産機械システム技術科） 電子装置設計製作課題実習（生産電子システム技術科） （開発課題実習）		配管検査ロボットの開発	
担当教員		担当学生	
生産機械システム技術科	生産機械	生産機械	
生産電子システム技術科	生産電子	生産電子	
課題実習の技能・技術習得目標			
配管検査ロボットの開発を通して「ものづくり」全工程を行うことにより複合した技能・技術及びその活用能力（応用力，創造的能力，問題解決能力，管理的能力等）を習得すると共に他科との合同開発による，幅広い技術・知識の習得を目的とする。具体的には，解析を主体とした製品設計技術や板金・切削加工技術，計測制御技術を複合的に活用した製品製造技術，製品設計製造情報のドキュメント作成及び管理技術などの習得を目標とし，更なる技術・知識の向上を目指している。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
<p>岡山県、特に倉敷地域は水島コンビナートに代表されるような、プラントメーカーが多数存在している。一方設備の保守メンテナンスには多大な労力と莫大なコストが必要となっている。このような中、岡山県と中国能開大が中心となって、県内企業8社が設備プラントを対象にロボット研究会を立ち上げ、ロボット技術を使った保守メンテナンスの自動化の検討を始めている。ここでの第一目標はプラントに多数ある配管を遠隔で診断できるロボット技術が挙げられた。このような背景のもと、我々は遠隔操作技術および配管を、自律走行可能なロボットを提案し、開発課題を通じて具体化することで、新たなロボット技術を開発することを目標とした。本課題においてはメカトロニクスを中心とした、新しい技術開発が必要であり、また地域からも強く求められている技術であるために、開発課題として設定することが望ましいと考えられた。また作業量や開発内容は学生自身がこれまで学んだ技術を十分に活かせるものであり、興味をもって取り組むことのできる課題であると判断した。H25年度は前年の試作機の改善点を取り入れた設計とし、実用化に向けたロボットとして完成させることを目標とする。</p>			
実習テーマの特徴・概要			
<p>本テーマは生産系2科の専門性を十分に発揮できるものである。内容的にはロボットの機構だけでなく、遠隔操作など様々な技術が必要とされ、開発テーマとして必要な要素を満たしています。ロボットの自律化を実現するためにマイコン駆動として、コードレスで操作できるものとします（従来機はリモコン+動力・信号ケーブル付きのため大型）。</p> <p>新技術を提案するために、岡山 RTB 研究会参加の8社の企業に対しても随時情報を提供し、実用化を目標に開発をすすめます。運用方法においては、学生のグループのリーダーを中心に学生自身が自ら考え、チャレンジできるよう指導いたします。また開発過程に応じ、指導員からの確認や助言を盛り込み、進捗状況の確認だけでなく、コスト意識を持てるように指導いたします。発表会は製品をアピールする機会と捉え、十分な準備を行います。最後にまとめとしての報告書を作成します。</p>			
No	取組目標		
①	3DCAD を使用した機構設計技術と各種加工技術および計測制御技術により改良版配管検査ロボットを完成させます。		
②	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。		
③	課題を解決するために必要な情報を収集し、分析・評価して合理的な手順や方法を提案します。		
④	装置を設計製作する際、理論と現場の技能・技術を複合して取り組みます。		
⑤	知識・技能・技術を有機的に結合し、テクニカルスキルを確実に身につけます。		
⑥	グループメンバーの意見に耳を傾け、課題解決に向けた目的や目標及び手順や方法について共通の認識を持ちます。		
⑦	課題装置を設計製作する際に品質、コスト及び納期をバランス良く調和させます。		
⑧	企画力・開発技法・設計製作・製品評価・品質管理など技術者としての総合力の発揮を目指して取り組みます。		
⑨	図や表を効率的に利用した分かり易い報告書や発表会予稿原稿を作成し、発表会では制限時間内に伝えたい内容を説明します。		