

化学プラント劣化診断技術の研究

— 配管検査用自走装置の開発 —

佐川 克雄* 小泉 洋人* 青木 邦知*

1. はじめに

国内の石油化学プラントは、年間生産量エチレン換算で 760 万トン、年間生産額 8 兆 3000 億円と大きく成熟した産業となっている。これらのプラントは建設後 30 年以上経過しており、総じて補修等のメンテナンス時期にさしかかっている。

設備の劣化のなかで最も懸念されているのは配管・反応塔の外面腐食であるが、この検査は目視が主流であり、外装の解体や仮設足場の設置などに多額の費用がかかっている。

現状の方法では効率的に広範囲の検査が行えず、配管や反応塔の腐食による可燃性内容物の漏出などが発生しており、効率的な検査技術が求められている。

この課題を解決するには、従来からの仮設足場を設置して行う人手による検査を自動化することが重要である。

そのためには、保温材上から内部の配管・反応塔外面を検査できる腐食センシング技術と、センサを搭載して高所の配管・反応塔にアクセスする検査ロボット技術が必要である。

2. 目的

保温材上から内部の配管・反応塔外面を検査できる腐食センサについて、地域新生コンソーシアム研究開発事業 (HES, 三菱化学 他) 「中性子利用による保温材下の塔及び配管の表面錆検査装置開発」を行っているところである。

本研究では平成 18 年度と 19 年度の 2 年間で、主に検査ロボット開発の基礎研究として、配管および反応塔外面を自走する装置について基礎的な技術開発を行う。

また、共同開発中の中性子センサ以外の腐食センシング技術について確認実験を行う。

ここで得られる基礎的な検査ロボット技術は、計画中の「化学プラント配管表面検査用の遠隔・自動走査ロボットの開発」(外部資金による産学官共同研究開発)に展開する。

今年度は、配管を自走する装置の基礎技術を得るために配管自走装置の試作開発を行い、また一般的なセンサによる腐食の検出実験を行った。

3. 配管自走装置の開発

今年度は検査ロボット開発の基礎研究として、最も単純な横引き配管を対象に、これを自走する装置の試作を行った。試作した装置の概要は次のとおりである。

- ・ 移動対象：裸配管 100A (直管) を対象
- ・ 回避性能：配管架台 (図 1 の黒い配管を載せている黄色い台) を乗越えて移動可能

- ・ 積載重量：20kg の重量物を搭載
- ・ 位置計測：配管軸方向の移動距離を測定
- ・ 遠隔操作：ジョイスティックによる手動操作
- ・ 自動運転：配管架台を自動的に回避しながら移動する
- ・ 搭載センサ：CCD カメラによって配管表面を観察

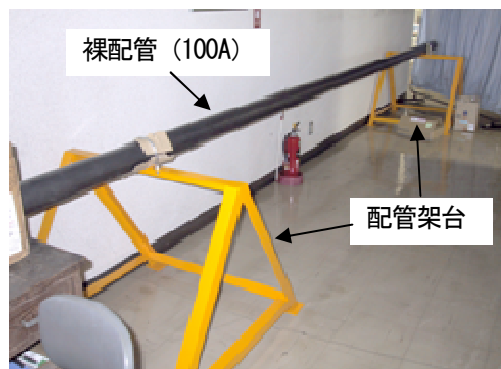


図 1 裸配管 (100A) と配管架台

3.1 装置の構造

試作した配管自走装置は図 2 のような構造をしており、走行輪を持つアームにより配管にぶら下がり、制御装置の入った箱を支えている。アームは 4 組あり、架台を越えるときには、架台に差し掛かったアームが開き、残りの 3 組でぶら下がることにより、回避することができる構造となっている。

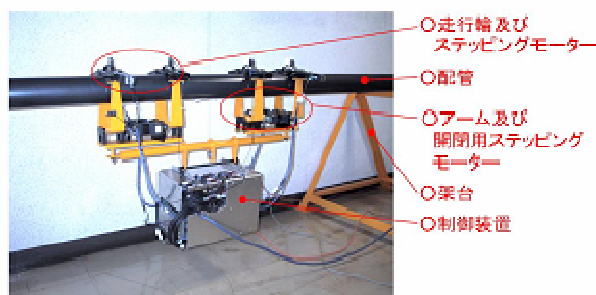


図 2 試作した配管自走装置

駆動輪は先頭アームと最後尾アームにあり、ステッピングモータによって駆動することで走行する。装置の位置は、ステッピングモータの入力パルス数をカウントすることで計測している。

アームの開閉はそれぞれに取付けられた、ハーモニックドライブ付きのステッピングモータによって開閉する。近接センサによってアームの開閉状態を確認し、アーム開動作時は、ステッピングモータの入力パルス数をカウントすることでアームの開度を制御している。

アーム開閉用のステッピングモータに取付けられて

いるハーモニックドライブの減速比は1/100であり、アーム軸に付いているギヤ比 1/1.67 と合わせると最終減速比は0.006である。これによって、2組のアームだけで装置を配管に保持できる十分なトルクを発生できる。

3.2 装置のシステム構成

配管自走装置のシステム構成を図3に示す。制御装置のほとんどは本体に付属しているが、遠隔操作の為にインターフェースとしてノートパソコン及びジョイスティックを使用している。また、図4に示されるようにカメラにより取得した画像の処理もパソコン側で行っているが、装置の走行に関する部分は制御装置内のマイコン(PSoC)で処理している。

PSoCは日本サイプレス社から販売されているマイコンで、開発者がAD変換器、DA変換器、オペアンプ、PWM出力モジュール、カウンタ等を自由に実装できる点が特長である。

パソコン側の遠隔操作プログラムは画像処理部、コントローラ通信部から構成されており、C++言語(Visual C++)で作成した。自走装置本体のマイコン制御プログラムはPSoC用の開発ソフトウェア(PSoC Designer)を用いC言語で作成した。

ノートPCと自走装置本体のコントローラであるマイコンは、パラレル通信線で接続されており、ノートPCから自走装置本体への操作指令信号と、自走装置本体からノートPCへの動作状態情報を双方向に通信している。

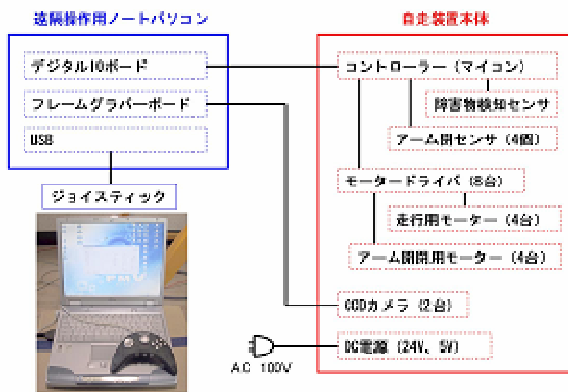


図3 配管自走装置のシステム構成

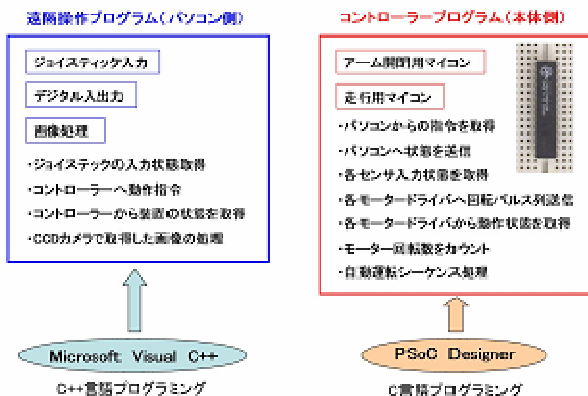


図4 制御プログラムの概要

3.3 試作機の動作試験

試作した装置で模擬的に用意した配管と架台を使って動作試験を行った。試験では架台の少し手前から装置を前進動作させ、先頭アームから順に開閉および前進動作を繰り返し、架台を完全に乗り越えて少し前進したところで、停止、その後バックしてもう一度架台を乗り越え、元の位置に戻るといった動作をマイコン制御で自動的に行わせた。

重量は制御装置の箱(8kg)及び自走装置本体(22kg)でおよそ30kgであり、これに重り20kgを積載した。実験の結果、自走装置が架台を乗り越えて所定の動作を正常に行うことができることが確認できた。前進・後退動作の速度は3段階に設定でき、最高速度は約60mm/秒である。

実験中、アーム開によってバランスが崩れ、先頭アームと最後尾アームにある駆動輪に装置重量がかからない状態になると駆動輪がスリップしてしまう現象が確認できた。この対策として駆動輪以外のアームを少し開くことで、常に駆動輪に荷重を掛けることにより、スリップを起こさないようにバランスの制御を行った。

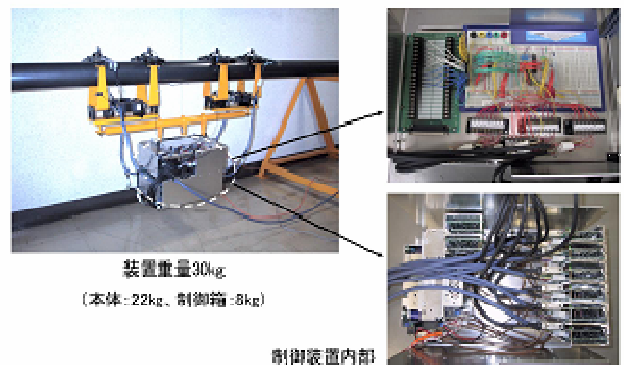


図5 動作試験

3.4 装置の今後の改善点

今回試作した配管自走装置について、今後次のような改善を図りたい。

- ・ 制御箱の軽量小型化→モータのドライバレス化
- ・ 走行安定性の向上→アームの側面にガイドローラを付ける
- ・ 遠隔操作信号線の簡略化→シリアル通信化および無線化
- ・ 電源線の除去→充電バッテリー(リチウムポリマー電池等)の採用
- ・ 確実な位置測定方法の検討→駆動輪の滑りによらない確実な位置検出

4. 腐食センシング技術の確認

腐食箇所を捉えるための方法として、さまざまなセンシング技術が考えられるが、一般に行われている画像による検査と形状による検査に使用される、CCDカメラ及びレーザー変位計を用いて、模擬腐食の検出実験を行った。

4.1 CCDカメラによる配管表面の検査

制御装置の入った箱の上に CCD カメラを 2 台取り付け、配管の下部に模擬異常箇所を作り、これを画像処理により検出する実験を行った。その結果、図6に示されるように処理前の画像では見えにくい異常箇所が画像処理（ROI 設定+雑音画像除去+2 値化）により明確に捉えられている。

照明条件を常に一定にするなど課題を克服すれば、屋外においてカメラによる撮影で異常を検出できる。

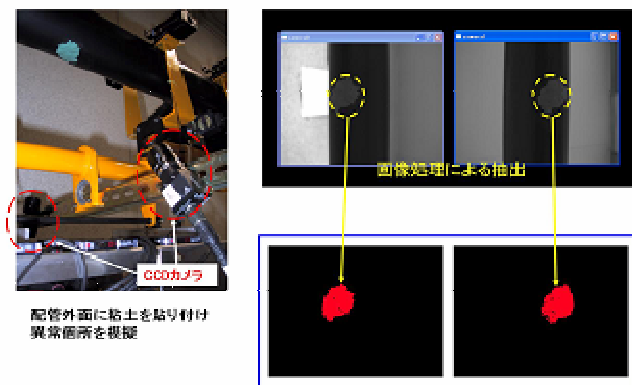


図6 CCDカメラによる配管表面の検査

4.2 レーザー変位計による配管表面の測定実験

レーザー変位計により、配管表面の形状を測定する実験を行った。実験は図7のように配管を回転台の上に乗せて回転させ、設置した変位計により、配管表面までの距離を測定することで、その凹凸を測定した。

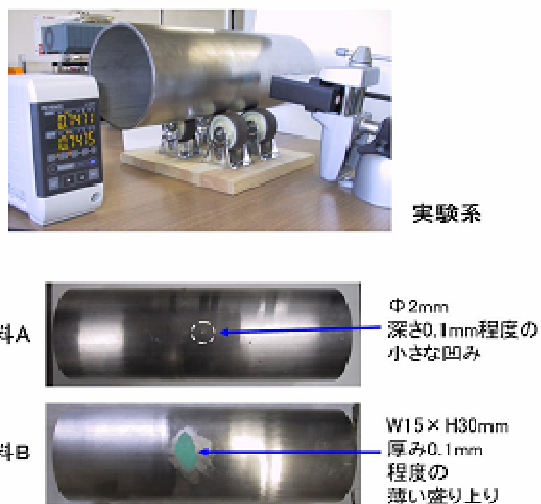


図7 レーザー変位計による測定

試料Aは、ステンレス配管の表面にφ2mm、深さ0.1mm程度の小さな凹みを作ったサンプルであり、試料Bは幅15mm×長さ30mm、厚み0.1mm程度の盛り上がりを作ったサンプルである。

レーザー変位計でそれぞれの試料の外周を計測した結果を図8及び図9に示す。図中の上段のグラフは横軸に配管周方向の位置、縦軸にレーザー変位計から配管表面までの距離を表す。また、図中の下段のグラフは上段

のデータをフーリエ変換し、低周波成分をカットしたデータをプロットしたものである。

図に示すように生データでは、配管の回転による位置の変化の方が大きく小さな凹凸量を検出することが難しい。生データにハイパスフィルタを掛けることにより、容易に小さな凹凸を検出できることを確認できた。

振動を抑えて配管周方向にレーザー変位計を回転移動できれば、配管自走装置に搭載したレーザー変位計で、微小な凹凸を検出できる。

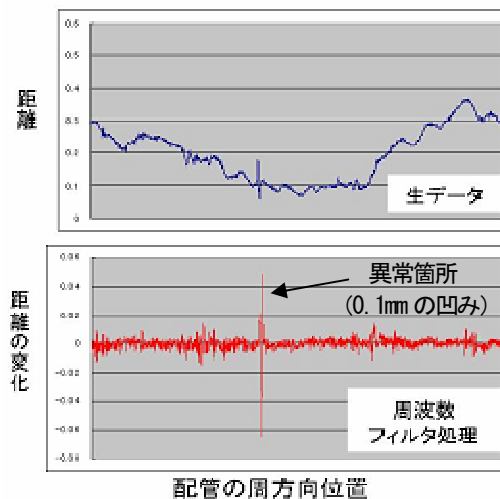


図8 試料Aの測定結果

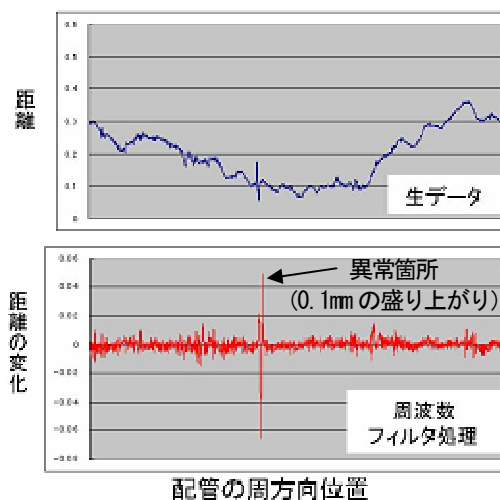


図9 試料Bの測定結果

5. まとめ

今回の研究により、以下の成果を得ることができた。

- ・ 検査ロボット開発の基礎研究として、横引き配管を自走する装置の試作を行い、基礎技術を得ることができた。
- ・ 腐食センシング技術の確認として、CCDカメラとレーザー変位計による配管腐食箇所の検出実験を行い、適用できることを確認できた。

引き続き19年度は、反応塔外面を自走する装置について基礎技術を得るための塔外面自走装置の試作開発と、常設型腐食センサの調査を行う。