

仮設足場を不要とする化学プラント 配管外面腐食診断システム開発（第2報）

鴨志田 武* 青木 邦知* 中川 健司* 小泉 洋人**
(株)日立エンジニアリング・アット・サービス 三菱化学(株) 筑波大学
千葉工業大学 共立エンジニアリング(株) (株)三友製作所

1. はじめに

鹿島コンビナートを始めとする日本の化学コンビナートは建設後約40年が経過し、高経年化／老朽化が進展する中でアジアを中心とする海外コンビナートとの競争力が激化しており設備の保全・維持管理がコンビナートの生き残りをかけた大きな課題となっている。特に鹿島地区においては外洋に面しているため瀬戸内海地域に比較し海塩粒子量が多く腐食量は4倍と厳しい環境条件となっている。設備管理の中でも配管類の保温材下の外面腐食（Corrosion Under InsulationでCUIと略す）では、高所の配管に対して仮設足場を設置し保温材を撤去した上で目視検査を行っている。配管の全面検査の必要性が求められる中で、この仮設足場設置が多大な費用負担となっており仮設足場なしで保温材を剥がさずにCUIを検査できる技術開発が求められている。

2. 目的

本研究開発では、これらの問題を解決するため、腐食と因果関係の深い水分に着目し保温材を外さずに配管保温材中の水分を計測する中性子水分計¹⁾の開発を行ってきた。この水分計を搭載し、遠隔操作で高所配管にアクセスし外面腐食の危険領域をスクリーニング検査ができる配管外面腐食診断システムの開発をH20年度より開発を進めている。昨年度は高所配管にアクセスするための基本仕様を決定し設計製作を行った²⁾。

本年度は、配管アクセスのために必要となる配管形状を計測し目的とする位置へのアーム位置制御プログラムを作成し、その後、単体試験、組合せ試験、屋外での動作試験及びシステム全体の評価を行ったので報告する。

3. 研究内容

3.1 配管位置姿勢の検出と制御法

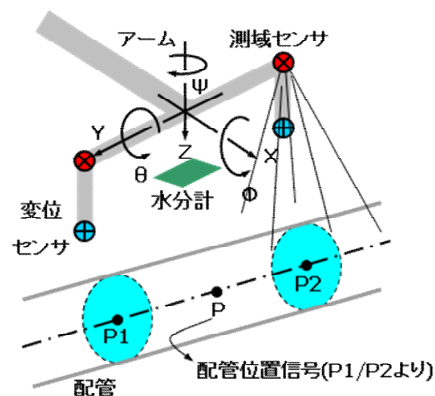
大型ロボットアームと検査対象配管との相対位置・姿勢検出手法について以下に示す。

配管位置の検出には測域センサ（図1）を2個使用した。図2の様にロボットアーム手先の両端に測域センサをそれぞれ下向きに設置した。

使用した測域センサのスペックは計測距離30m、角度範囲270°、計測精度30mmであり、正反射の強いステンレス板金に対しても計測位置誤差が少ないことを実験により確認している。



図1 測域センサ
(北陽電機製, UTM-30LX)



手動操作が困難な配管近傍
からのセットを自動化
検査処理速度の大幅向上

図2 配管位置検出用センサと
対象配管の幾何相関

測域センサデータから図2中のP1, P2の座標を検出し、それらの位置情報からアーム手先と検査対象となる配管との相対的な位置・姿勢の座標($x, y, z, \phi, \theta, \psi$)が求まる。この6自由度について、目標座標と現在位置との差分がゼロになるよう各軸を制御すれば、中性子水分計を配管の真上に正しく設置することができる。

測域センサによる配管中心座標の計測精度は±30mm程度であり、中性子水分計の設置には若干精度が不足している。この精度不足を補うために、図3に示すレーザ変位センサによる位置補正を併用した。距離計測

精度は 1mm である。変位センサの設置位置については図 2 に、また、位置補正の概念図を図 4 に示す。

計算処理の流れを図 5 に示す。測域センサ、レーザ変位センサ等はアーム先端制御部に接続されており、マイコン、ボックス PC によりセンサデータ取得、配管・姿勢計算処理が実行される。配管位置情報は LAN



図 3 レーザ変位センサ
(キーエンス製, LB-01)

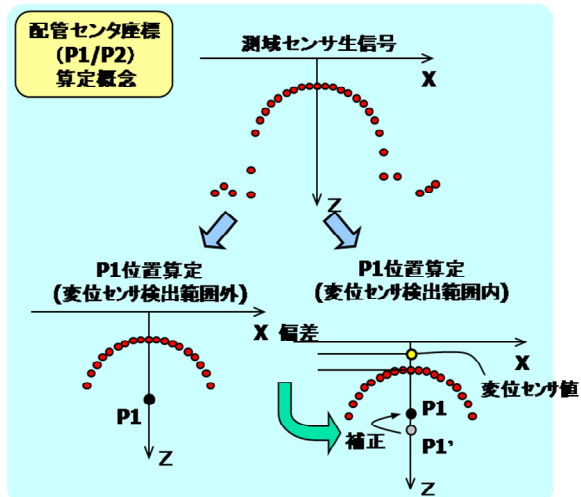


図 4 測域センサデータからの配管中心座標算出
とレーザ変位センサによる補正

を經由してアーム操作計算機に転送され、目標座標と現在位置からロボットアームの各軸操作量が決定されて、PLC に制御指令を発行する。

この際、レーザ変位センサの計測レンジが短いため、アーム位置制御は 2 段階で実施している。第 1 段階は測域センサデータのみを利用した粗々設置 (100mm 程度)、第 2 段階では変位センサにより補正された位置情報に基づく詳細設置 (30mm 程度) となっている。

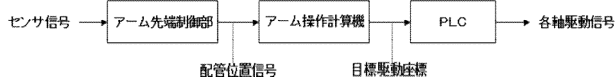


図 5 配管位置計算処理の流れ

以上の処理により、配管からの目標距離 30mm に対して、±2mm 程度の位置制御精度が実現可能になった。

3.2 システム試験 (単体及び組合せ試験)

試作した装置及びソフトウェアは、試験初期におい

てサブシステム単位にて動作確認及び要素試験を行い、順次、サブシステムを組合せた試験へと移行し、最終的な全体システムの試験は以下の 3 項目で実施した。

1) レール方式総合試験

屋内にてレール方式での一連の作業ステップを確認する。

2) 自走方式総合試験

屋内にて自走方式の自走計測の作業ステップについて確認する。

3) 屋外動作試験

屋外稼動に関する知見を得る。

4. 評価試験結果と考察

4.1 レール方式総合試験

試験計画に従ってシステム構成及び条件設定し対象作業ステップの動作を確認した。

試験は、屋内にて高所作業車のデッキ上にレール方式で組合せた装置を積載した状態より開始した (図 6)。開始後のシステムの動作は以下の通りであり計画のレール方式動作が実現できることを確認した。尚、本試験は、配管ラックの開口寸法条件は、厳しい条件である高さ 1000mm の条件にて実施した。また、配管へのアクセス姿勢として水平配管上部と下部及び垂直配管の 3 ケースを実施した。



図 6 レール方式のアーム伸張状況



図 7 レール方式の垂直配管へのセット状況

4.2 自走方式総合試験

システム構成及び条件設定を行い対象作業ステップの動作を確認した。



図 8 自走方式での水分計測状況

試験は、屋内にて保温材下模擬水分を模擬した満水模擬配管に自走ロボットを取付けた状態から開始し自走計測処理部分の作業ステップを確認した。開始後のシステムの動作は計画の自走方式における計測処理が実現できることを確認した。自走しての測定例を図 9 に示すように保温材中の水分計測が可能である。尚、自走ロボットによる計測姿勢としては水平配管の上部計測と下部計測の 2 ケースで実施した。

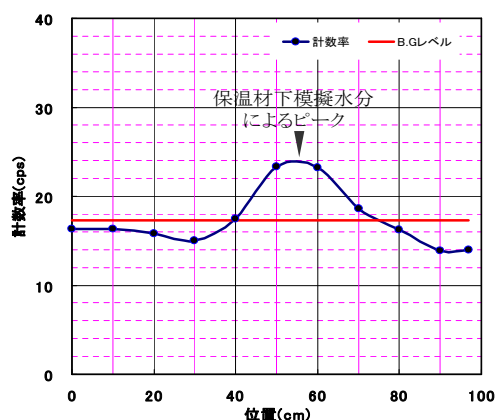


図 9 自走方式での水分計測結果例

次に高所作業車と組合せて自走ロボットを配管に取付ける動作についての自走方式総合試験を行った。



図 10 自走方式の初期状況



図 11 自走方式の自走部切離し状況

操作試験手順は以下のとおりで行った。

- 1) アーム用操作端末にてカメラ、位置表示等のモニタ状態を監視しながらアームの伸縮軸、ロール軸、ピッチ軸、ヨー軸を手動操作し中性子水分計がセット対象配管面と大凡対向するようにセットする（目安は離隔距離で 1m 以内程度）。
- 2) アーム用操作端末の自動画面で自動制御可能範囲を検知していることを表示で確認し、自走ロボットのセット動作を自動で行う。
- 3) アーム用操作端末にてカメラ、位置表示等のモニタ状態を監視しながらアーム先端の直動軸を操作し自走ロボットを配管にセットする。
- 4) 自走用操作端末を操作し、自走ロボットの R ガイドをホールド状態とする。
- 5) アーム用操作端末を操作しクランプ軸のクランプ状態を解除する。
- 6) 先端直動軸を予め指定したアーム待機状態位置まで移動。
- 7) 走行クローラを動作させ自走ロボットを移動。
- 8) 自走用操作端末を操作し、自走ロボットを初期位置に復帰させる。また、アーム用操作端末にてカメラモニタ監視し連結可能な位置に調整する。
- 9) アーム用操作端末を操作しクランプ軸をクランプ状態とした。この時点でアームと自走ロボットが再連結した。

この一連の試験において高所作業車、大型ロボットアームを用いて配管にアクセスし自走部の脱着及び回収が可能であることを実証できた。

4.3 屋外動作試験

試験計画に従ってシステム構成及び条件設定し屋外での動作を確認した。本試験時の地上の平均風速（北風）は 3~4m/s、気温は 3.4℃であった。本試験により以下の項目について確認できた。

- 1) 高所作業車のデッキ上に装置を積載した状態での車両走行ができた。運行速度は 30km/h 以下に抑えたが、更に、ブレーキング、コーナリングは十分に慎重に行う必要がある。
- 2) 高所作業車のデッキ上に装置を積載した状態で高所作業車の最大地上高さである 19.7m まで上げられ

ることを確認した。

- 3) 19.7m の高さでの高所作業車のモーメントは、ブームを最も起こした状態で 86% 程度。この状態からブームを傾けると安全機能が動作し 100% で自動停止した。高所作業車の作業範囲図と変わらない状態で停止しており、アームを伸張していない状態での可動範囲は作業範囲と同程度である。
- 4) 3) の状態からブームの起伏を起こしモーメント 89% 程度とした後、ブームを縮めて 13.2m 高さとしたがモーメントは 89% 程度のままで想定通り殆ど変化なかった。
- 5) 4) の状態でカウンタウェイト及びアームの伸張動作を行った。この際にもモーメントは 89%～90% と大きな変化は見受けられない。
- 6) アーム先端の揺れ状況を把握するため (5) のアーム伸張状態で、アーム先端部と地上間の距離変動を測域センサ信号の時間変化で確認した結果を図 13 に示す。生信号は約 25ms 周期のデータの集合であり、大きく変動している (100mm-p 程度)。但し、本信号には、測域センサ自体のバラツキ、測域センサ取付けアームの振動に伴う変化等のアーム本体の揺れとは異なる高周波数成分が含まれている。このため生信号の移動平均をとりアーム本体先端の揺れを推定することとした。移動平均値は図 13 に示す通りであり、この結果よりアーム本体先端の揺れは少ないと推定する。また、本揺れの要因は室内で殆ど揺れが無い状況から判断し風力による影響が支配的なものと考えられる。



図 12 屋外動作状況(デッキ高さ 4.5m)

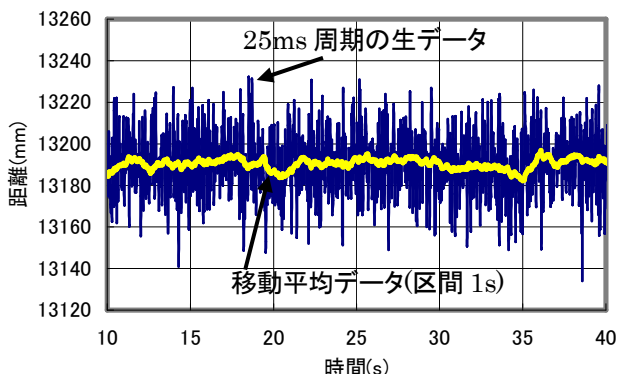


図 13 アーム先端の変動状況確認結果

4.4 制御性能

本システムでは、レール方式で中性子水分計を配管にセットする際は自動動作を可能とし作業時間の短縮を図っている。自走ロボットを配管にランディングさせる直前の位置までのセットについても同様である。

表 1 制御性確認結果

項 目		結 果
①	制御開始状態	位置：0.3～1m 程度(配管表面から中性子水分計底面間距離) 状態：配管と中性子水分計は不平行(±15 度以内程度) (監視カメラ等により手動で実現できる位置及び状態)
②	目標位置	レール方式 30mm, 自走方式 70mm (配管表面から中性子水分計底面間距離)
③	制御時間	1 分以内
④	アライメント精度	±2mm 以内 (2 つの変位センサ位置と配管表面間距離で評価)

本自動制御機能について、レール方式総合試験の 3 ケース及び自走方式総合試験 2 の 2 ケースにて確認した結果を表 1 に示す。

遠隔でのアライメント計算無しに監視カメラを頼りとした手動操作での位置決めは、多様な姿勢と多軸構造を勘案すると十分に慎重な操作が必要となりオペレータにかかる負担は過大となることから現実的には不可能と考える。本システムの制御機能を採用することで遠隔セット(リセット)が効率的に可能となりシステム全体の成立性及び効果に大きく寄与できると考える。また、実用化するにはセットする際の信頼性(安全性)が特に重要となる。現状の制御システムでも測域センサ自体の信号ばらつきに対する処置、精度不足を補うための変位センサの併用、検出配管位置の 2 次元リアルタイム標示等を行っている。また、測域センサと変位センサとを冗長性をもたせて衝突防止機能を設けることも可能なシステムとなっている。

5. まとめ

仮設足場なしで保温材を剥がさずに高所配管の CUI の一次スクリーニングが可能な化学プラント配管外面腐食診断システムを設計試作し、個々に試作開発された大型ロボット式アーム、検出器搭載配管自走ロボット及び遠隔操作ステーションの各装置を用いて遠隔操作ステーション内に構築した操作システムの試験評価を行った結果以下の成果を得た。

- 1) 計画時に策定した診断作業フローの対応したソフトウェアの制作、組込み及び機能化が出来た。
- 2) アーム位置制御に関する部分ではシステム単体試験

を挿みながら試作開発し機能化することができた。

- 3) 大型ロボット式アーム，検出器搭載配管自走ロボット等の新規に試作した装置と高所作業車，中性子水分計も含めて総合試験を実施し，全体システムの調整，改良等を図りながら当初計画した機能等が実現できることを確認できた。
- 4) 処理性能の評価を実施し処理性能はレール式と自走式の組合せで 100m/日程度の評価結果が得られた。

6. 今後の課題

今後の実用化にあたっては，現状のシステムをベースに更なる安全機能の充実や環境因子（太陽光の影響や風力による振れの影響等）に対する影響評価が望まれる他，実フィールドでの実証試験評価も必要である。

参考文献

- 1) 中性子水分計の開発 日本保全学会予稿集(2008)
- 2) 茨城県工業技術センター研究報告 Vol37, 1