

# 配管内を自在に走行する検査ロボット

新日本非破壊検査株式会社

代表取締役社長 中山 安正

福岡県工業技術センター 機械電子研究所

所長 赤尾 哲之

新日本非破壊検査(株) メカトロニクス部 和田 秀樹

新日本非破壊検査(株) メカトロニクス部 百合本 淳

新日本非破壊検査(株) メカトロニクス部 永田 宗誠

福岡県工業技術センター 機械電子研究所 奥村 克博

福岡県工業技術センター 機械電子研究所 渡邊 恭弘

## はじめに

火力・原子力発電プラントや石油・化学プラント等の多くは、建設から30年以上経過したのも少なくなく、配管設備の劣化が問題となっている。このような中、2004年の関西電力美浜発電所の配管破損事故をきっかけに、同様の配管を抱える発電設備はもとより、各種プラントにおいても配管検査のあり方や重要性が見直されており、配管の劣化診断および健全性評価を行うための検査ニーズが急増している。しかし、プラントの安全性の確保を目的とし、検査頻度や検査箇所を増やすことは費用の増加を招き、また、検査中のプラント停止による稼働率の低下に繋がるという経済的な問題を生み出す結果となっている。そのため、安価で迅速に安全性を評価可能な配管検査手法の開発が強く求められている。

そこで、配管の効率的な点検を目的とし、人が簡単に点検できない配管なども高い精度で低コストの検査を可能とする配管検査ロボットの開発を行い、実用化した。

## 開発のねらい

現在、一般的な検査手法として配管の構造や用途により決定される測定点を、管の外側から超音波で厚さを測定する手法や、管内にファイバースコープを挿入した観察方法などが実施されている。しかしながら局所的な腐食や減肉の見落としや詳細な形態把握が困難とされることなど、外側からの超音波検査では限界があるうえ、検査のための保温材の解体や足場架設などの関連作業に加え危険環境下での作業など安全面、コスト面でも課題を抱えている。

一方、これらの配管点検を効率化することを目的に配管内を走行する検査ロボットの開発が行われてきた。しかしこれらのロボットの多くは配管円周方向に3または4方向で車輪を押し付ける構造で、配管サイズに特化したロボットであり、適用できる配管サイズは限定的であり経済性に欠けていた。

そこで、新日本非破壊検査(株)では、幅広い配管サイズに適用し、配管内の長距離移動が可能で、配管内部の状態を細部にわたって観察する

遠隔操作型検査ロボットを開発した。また、開発した検査ロボットを活用した検査サービスにより従来の点検手法において必要とされる関連作業を削減し、高精度の点検を実施することで配管検査の経済性の課題を克服した。

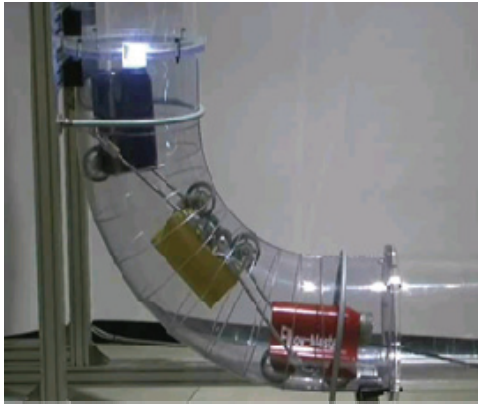


図1 検査ロボットの外観

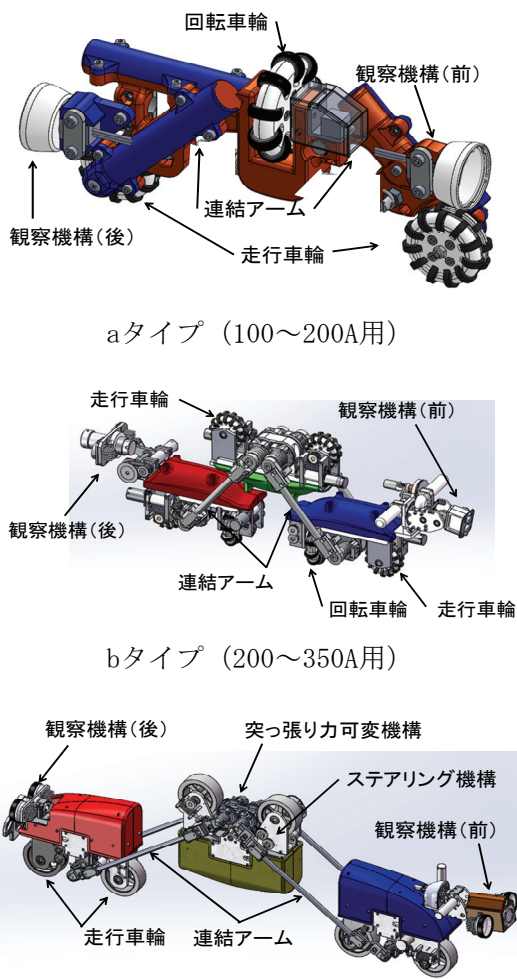


図2 ロボット機構の概要

## 装置の概要

図1に配管サイズ350～700A用装置のエルボを通過状態の写真を示す。また図2に3タイプのロボット機構の概要を示す。

いずれのロボットも配管内で車体を「へ」の字状に突っ張る走行機構をベースとし、前後に観察機構を搭載した検査ロボットである。

## 技術上の特徴

### <突っ張り機構>

図3に突っ張り機構の原理を示す。連結アームはバネの力により、アームが閉じる方向に力が働く構造となっている。ロボットを配管に挿入するためには、アームを開いて挿入する必要があり、配管内ではアームの閉じる力は、車輪を配管内に押し付ける力となる。これによりロボットの姿勢は安定し、車輪の摩擦力を大きくし垂直部の走行も可能としている。また突っ張り機構により、適度な押しつけ力を維持しながら配管径の変化にも対応し、レジャーサや多少の段差などにも通過させることができる。

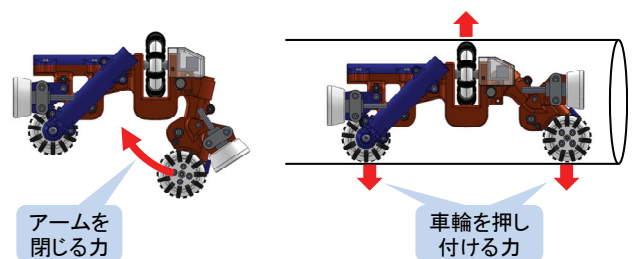


図3 突っ張り機構の原理

### <走行機構>

走行機構はaとbタイプでは形状と車輪数は異なるものの、オムニホイールを用いた走行輪と

回転輪の駆動により、cタイプはステアリング機構による車輪の操舵により、配管内を自在に走行することが出来る。また図4に示す様にT字管では台車を90°回転させることで分岐部を通過することも可能としている。

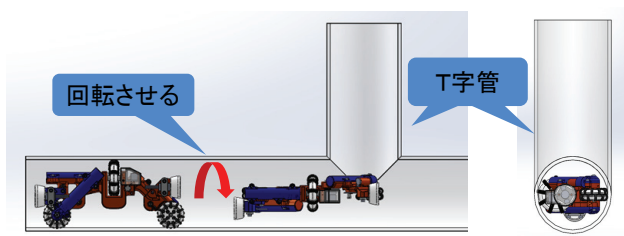
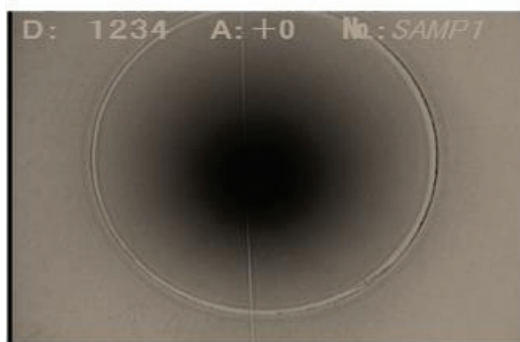


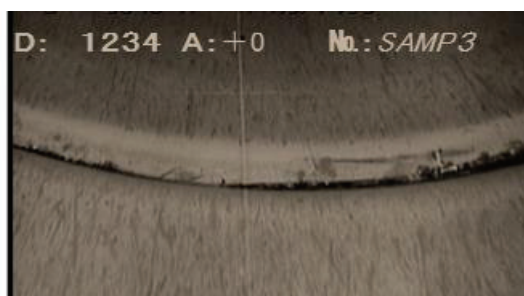
図4 T字管通過

### <観察機構>

観察機構は照明用LEDと小型カメラにより構成され、ロボットの前・後に搭載されて、配管の内部の状態を目視により検査する機能を持つと共に、走行操作のためのモニターの役割も担っている。特に前方観察機構は詳細な点検を可能とするために、カメラ自体の上・下動作や円周



(1) 遠距離焦点カメラ



(2) 画像近距離焦点カメラ

図5 点検画像

方向回転の機構を設け、観察方向や角度を変えて詳細な点検が出来る機能を持たせている。またcタイプは光学式のズームや焦点調整が遠隔操作で制御できるカメラを搭載し、被写体までの距離に関わらず詳細な点検画像を得ることが出来る。一方、a、bタイプでは形状の制約から固定焦点式の超小型カメラを2台搭載し、遠・近距離に焦点を設定して図5に示す様な二画像から点検を行っている。また、これらの観察画像には検査位置などの計測情報も表示されると共に、HDDに全て保存される。これによりオフラインでの確認や、以降の点検における進展調査などにも役立てることができる。

### <操作支援>

ロボットに搭載されたカメラの画像だけでロボットの姿勢を認識することは困難である。そこで、オペレータの操作を支援するため、ロボットに搭載されたセンサ信号から配管内でのロボットの姿勢を推定してPC画面にグラフィック表示している。図6に操作支援ソフト画面の表示ウィンドウを示す。このように実際には見ることのできないロボット姿勢を可視化することで、オペレータの操作を援助している。

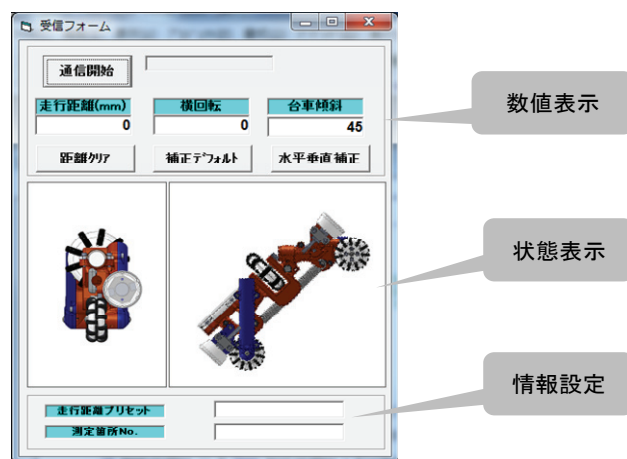


図6 操作支援表示

## <装置性能>

表1に開発した3タイプの検査ロボットの性能表を示す。

表1 検査ロボット性能表

項目	aタイプ	bタイプ	cタイプ
サイズ	100～200A	200～350A	350～700A
曲り	角度 $\leq 90^\circ$ 、半径 $\geq 1.5DR$		
走行制御	前進/後退/回転/ら旋		
最大速度	2.4 m/分	2.6 m/分	5.0 m/分
最大距離	30 m	50 m	100 m
形状*	<100A>	<200A>	<350A>
高さ*	100	200	350
長さ	210	600	1160
幅	70	135	170
重量	0.53 kg	4.3 kg	10.9 kg

(\* : <>内のサイズに挿入した場合の寸法)

## 実用上の効果

発電や石油・化学、鉄鋼などのプラントの配管設備は膨大な量を占め、生産にも大きく関係している。また、これらの配管は使用時間の経過と共に劣化し損傷していく。そこで定期的に点検し損傷の初期段階で適切な補修を実施すれば、維持管理コストを低減し長寿命化が可能となることが知られている。

一方、今回開発した検査ロボットは配管内部を移動しながら検査を実施することで、掘削や足場の架設など、検査のための準備作業を削減し、内部から損傷状況を正確に把握できることで、適切な補修も可能とした。このことから本検査ロボットを活用した点検サービスの実施により、配管設備の維持管理コストが低減可能となり、プラント設備の長寿命化と生産能力の維持に貢献するなど経済的な効果は大きいと考えられる。

また、本検査ロボットは、その性能、耐久性

や操作性などから、厳しい検査基準で小さな損傷を見つけ出し、重大事故の発生を防止している原子力発電設備の配管点検にも多く使用されており、検査性能、経済性のみならず、点検作業員の被曝低減など作業員の負担低減にも大きく貢献している。

## 知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許 第5145505号

名称：対向面間の走行装置

概要：配管内を走行する対向面間の走行装置

② 日本国実用新案 第3180975号

名称：走行装置

概要：ステアリング機構を備えることなく、

配管の円周方向に旋回可能な装置

## むすび

本装置により人が容易に入ることの出来ない配管の内部から点検が可能となり、従来の点検方法では推定の域を超えることが出来なかった配管内部の状況を詳細に観察することができる様になり、配管の効果的なメンテナンスを可能とした。しかしながら、さらなる効率化を考えた場合、目に見えない初期の損傷の検出も必要と成ることから、超音波検査など他の検査手法の搭載についても検討しなければならないと考えている。