

# 石油パイプライン検査診断技術

## Inspection and Assessment Technology for Oil Pipelines

近藤 宗孝 KONDO Munetaka JFE エンジニアリング エネルギーエンジニアリング事業部 パイプラインシステム技術部 副部長  
小林 基 KOBAYASHI Motoi JFE エンジニアリング エネルギーエンジニアリング事業部 制御技術部 副部長  
中野 稔陽 NAKANO Naruhi JFE エンジニアリング エネルギーエンジニアリング事業部 パイプラインシステム技術部 副課長

### 要旨

パイプラインのメンテナンスの一環として、検査ピグによるパイプライン検査診断技術がある。検査ピグはパイプライン内を流体とともに走行し、パイプライン内外面に発生している腐食、変形などさまざまな欠陥の検査を行うことが可能である。検査ピグによる検査法は、パイプラインの従来検査法と比較して、長距離でかつ埋設されている部分の多いパイプラインの状態を全線にわたり検査、把握するのに有効な手段である。本稿では、検査ピグのうち、主に超音波ピグの計測原理、構成、データ解析、データ表示、腐食の評価診断、バイダイ検査方法について述べる。

### Abstract:

Inline inspection pigs have been used to inspect and assess oil and gas pipelines. Inspection pig runs through the pipeline with fluid to inspect defects such as internal and external corrosion and deformation. One of the characteristics is easily to inspect long and buried pipelines. This paper describes ultrasonic pig technologies including principle, vehicles, data analysis, data presentation, corrosion assessment and bi-directional inspection method.

## 1. はじめに

パイプラインは大量の石油、ガスを経済的かつ安全に輸送するための優れた手段であり、一度敷設されたパイプラインは数十年の長期間にわたって使用される。パイプラインにとってその安全性の確保は最も重要な課題であり、計画、設計、施工、運転操作、保守などにわたり厳しい法規制のもとで各種の安全性確保の対策が実施されている。しかし、現実にはパイプラインの健全性を脅かすさまざまな要因がある。例をあげれば、パイプの内外面に発生する腐食、変形、地震などによる敷設位置の横ずれ、沈下などである。これらを放置しておくと、漏洩事故、環境汚染、生産性の低下など重大な事態に発展する恐れがある。このため、パイプラインを定期的に検査診断し、その健全性の確認を行うことはパイプライン管理者の重要な任務である。

このニーズに対応してパイプライン検査診断技術が開発され、成果を上げている。ここではこれら検査診断技術のうち、主に超音波ピグによる検査診断技術について紹介する。

## 2. パイプライン検査方法

### 2.1 従来の検査

パイプラインの大半は地下に埋設されており、特に市街地では道路下に敷設されている。また、海洋や河川、運河では海底や川床下に埋設されている場合が多い。パイプラインの検査を実施するにあたって、このような敷設形態に起因するアクセス上の制約が障害となって、容易には検査できないという課題がある。

そのような制約の下、従来から行われてきた検査方法としては、地中埋設パイプラインの場合は場所を限定した掘削調査、また、海底の1m以上の径を有する大径パイプラインであれば人による入管調査などがある。

掘削調査の場合、パイプ外面からX線、超音波などにより内外面の状況を検査するが、限られた場所での抜き取り検査であるため、全線の状況を正確に把握することはできない。入管調査の場合、事前に管内を空にし、その後作業員が入管して内面検査を行い、欠陥箇所があれば補修するという手順となる。この場合、長期間パイプラインの運転を止めなければならない。また、内面状態を目視確認し、腐食部をデプスゲージなどで計測するため、検査結果にはばらつきが出やすいという課題もある。さらに、外面検査に

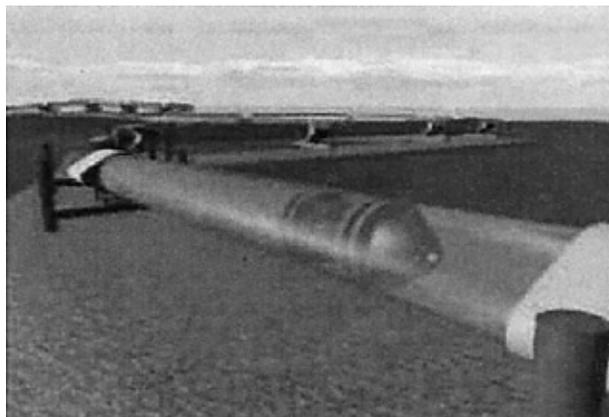


Fig.1 Pig running in the pipeline

は適していない。

これらのことから、従来の検査方法では、パイプライン全線にわたる内外面の検査が難しく、そのため欠陥の進行状況を定量的、定期的に監視し、早めに必要な対策を講じる予防保全を行うことが難しかった。

## 2.2 検査ピグによる検査診断方法

### 2.2.1 ピグ検査の特徴

従来の検査方法の課題を補う方法として、検査ピグによるパイプラインの検査診断が実施され、成果を上げている。検査ピグはパイプライン内を流体とともに走行し、パイプライン内外面に発生している腐食、変形、変位などさまざまな欠陥の検査を行うことが可能である。長距離でかつ地中や海底に敷設されている部分が多いパイプラインの状態を全線にわたり検査、把握するために、検査ピグはきわめて有効な手法である。Fig. 1 に検査ピグの走行イメージを示す<sup>1)</sup>。

### 2.2.2 JFE エンジニアリングの取り組み

検査ピグという概念は、1965年にアメリカで具体化された。JFE エンジニアリングでは、1979年から検査ピグの自社開発に着手し、超音波を用いた検査ピグを世界で初めて実用化して<sup>2)</sup>、1988年に最初の実ライン検査を実施した。以降、腐食計測、変形計測、線形計測、内面観察など10種類の検査ピグを開発、設計、製作し、それらのピグを使用して、パイプライン検査の実施まで一貫した取り組みを行っている国内唯一の会社である。国内のみではなく海外においても多数のパイプラインで検査診断の実績を積み重ねており<sup>3,4)</sup>、現在までに検査を行ったパイプラインの総延長は、およそ13000 kmにおよぶ。

## 3. 検査ピグの種類と特徴

検査ピグの種類として、腐食検査、変形検査、割れ検査、温度・圧力検査、漏洩位置検査、内面観察などを目的としたものがあるが、ここでは日本国内で適用されている代表

的な腐食検査、変形検査および内面観察の三種類の検査ピグについて簡単に説明する。

### 3.1 腐食検査ピグ

パイプラインの内面および外面の腐食を検査するピグで、超音波ピグや漏洩磁束ピグなど、検出原理の違いにより数種類のピグが実用化されている。超音波ピグは複数の超音波センサによってパイプライン全線の内径および残肉厚を計測するピグで、主として液体パイプラインの検査に適用される。漏洩磁束ピグは磁気センサによって腐食部分からの漏れ磁束を計測するピグで、ガスパイプラインおよび液体パイプラインの検査に適用される<sup>5)</sup>。

### 3.2 変形検査ピグ

第三者によるパイプライン近傍の工事でのバックホーなどの建設機械による外部からの損傷、地盤沈下にもなうパイプラインの沈下やさらにその際にパイプ下部の岩石などによりパイプラインは変形を生ずることがある。これらのパイプラインの変形を検査するものが変形検査ピグで、ピグの胴体からパイプ内壁に向けて傘の骨のように複数のアームを伸ばし、アームの倒れ量からパイプの変形を計測するものである。

### 3.3 ビデオカメラピグ

ビデオカメラを搭載し、管内状況を撮影しながら、走行するピグである。ピグからパイプラインの外までケーブルで映像を伝送するタイプと、ピグ内に搭載したビデオレコーダに録画するタイプがある<sup>6)</sup>。ケーブル付きの場合は、検査距離は短いですが、リアルタイムで管内状況を観察でき、内面腐食があれば、光切断法で腐食深さを計測することもできる。

## 4. パイプライン検査手順

検査ピグを使用したパイプラインの一般的な検査手順を示す<sup>7)</sup>。

### 4.1 検査計画

検査工事を円滑に遂行し、かつ期待した成果を得るために、検査仕様に基づいて事前に十分計画を練る。

### 4.2 仮設工事

検査ピグを走行させるには、ピグをパイプラインに装填および発射するランチャー、受け取りおよび取り出しを行うレーバ、走行用の流体圧送装置（ポンプ）などが必要となる。Fig. 2 にランチャーおよびレーバ廻りの配管の例を示す。これらはパイプラインにピグを走行させることを想定して当初からパイプラインの設備の一部として設置

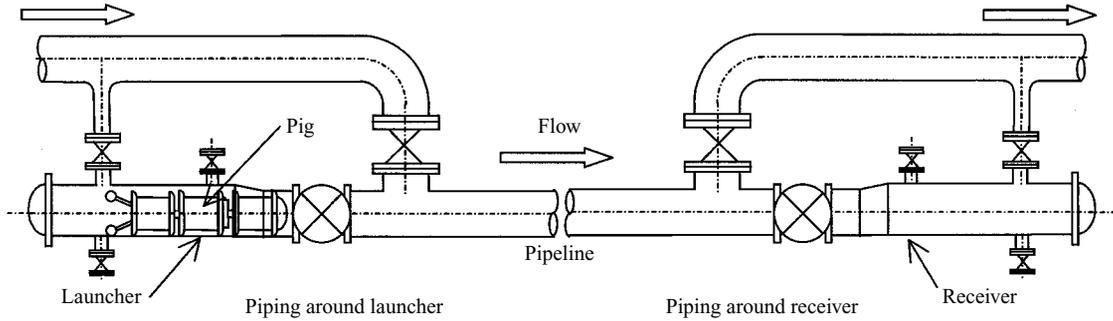
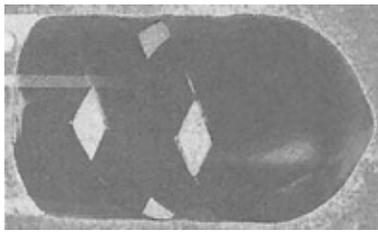
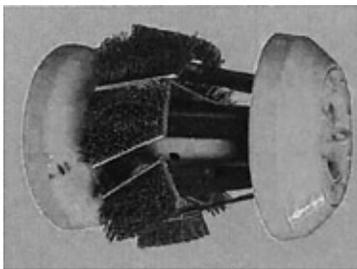


Fig. 2 Piping around launcher and receiver



Polyurethane pig



Brush cleaning pig

Photo 1 Cleaning pigs

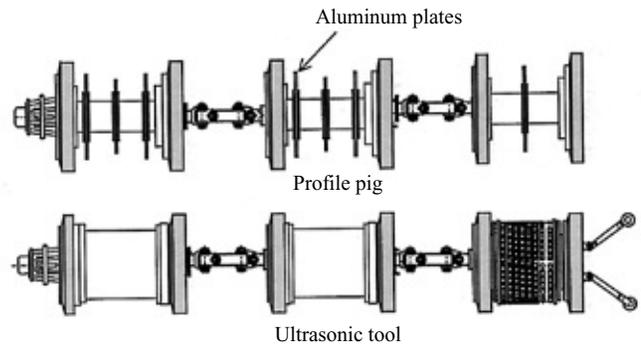


Fig. 3 Profile pig and ultrasonic tool

されている場合もあるが、設置されていない場合には、仮設設備の設置を行う。

### 4.3 クリーニングピグ工事

一般に、パイプライン内には鏽、スラッジなどの汚れ、パイプライン建設時に残された異物などが存在する。これらを事前に極力排出しておく必要がある。そのためクリーニングピグによる管内クリーニングを行う。**Photo 1**にクリーニングピグの例を示す。

### 4.4 プロファイルピグ工事

クリーニング終了後、検査ピグがパイプライン内を通過できるかどうか確認するために、プロファイルピグを走行させる。プロファイルピグの胴体にアルミプレートを付けて走行させ、アルミプレートの損傷の有無から検査ピグの通過性を確認する。**Fig. 3**に超音波ピグとプロファイルピグの例を示す。

### 4.5 検査ピグ工事

クリーニングピグ、プロファイルピグで検査ピグ走行に

問題ないことが確認された後、検査ピグを走行させる。検査ピグ走行終了後、ピグ内に搭載されたデータレコーダから検査データを回収し、良好なデータの取得を確認して現地走行を終了する。

### 4.6 仮設復旧工事

検査ピグ走行のために、ランチャー、レシーバなどの仮設工事を実施した場合は、仮設を撤去し、復旧する。必要に応じて、復旧後、耐圧・気密試験を行う。

### 4.7 データ解析・報告書

検査ピグが取得したパイプラインのデータを解析し、報告書を作成する。腐食検査ピグの場合は、腐食の位置、大きさ、深さ、評価診断結果などが報告される。変形検査ピグの場合は、変形の位置、大きさ、高さ、評価診断結果などが報告される。

## 5. 超音波ピグ概要

超音波ピグは、主に石油、燃料油などの液体パイプラインの腐食検査に適用される。液体パイプラインに限定される理由は、超音波が気中から鋼中へは伝播しないという特性を持つことによる。超音波ピグは、パイプの肉厚を直接計測するので高精度の検査を行える利点があり、肉厚計測精度は $\pm 0.4$  mmを実現している。腐食の発生場所についても、至近の円周溶接部からの距離で $\pm 100$  mm以内、円周

方向  $\pm 10^\circ$  以内という高精度で特定可能である。詳細かつ正確な腐食データが得られるためパイプラインの維持管理に最適な方法であり、結果的にコストパフォーマンスの良い検査方法である。漏洩磁束ピグは腐食による減肉体積に応じた信号を検出するので、腐食の大きさや深さを直接計測する超音波ピグより精度は劣る。

### 5.1 計測原理

超音波ピグは、超音波センサとパイプ内面との距離およびパイプの残肉厚を計測する。これらの計測結果から内外

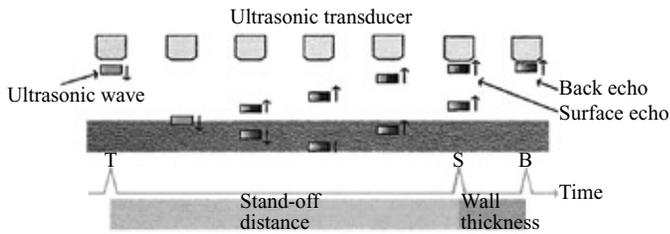


Fig.4 Principle of ultrasonic tool

面腐食および変形を検出し、それらを区別することが可能である。Fig. 4 に超音波ピグの計測原理を示す。

### 5.2 超音波ピグの構成

超音波ピグの基本的な構成は、超音波ピグ本体、超音波センサ、コントローラ、データレコーダ、バッテリーなどからなる。

#### (1) 検査ピグ本体

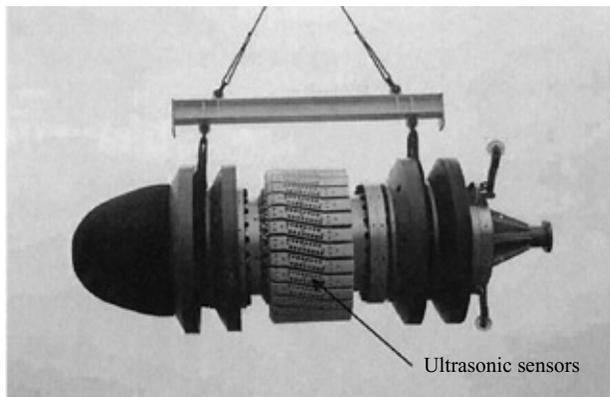
超音波ピグは、圧力容器に計測機器を搭載し、パイプラインの径に応じて1から数両の編成になっている。パイプラインの曲がり部は、最小曲率 1.5 DR まで通過可能である。Photo 2 に超音波ピグの例を示す。

#### (2) 超音波センサ

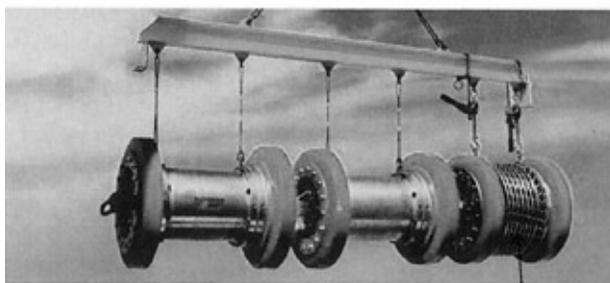
超音波センサは、円周上に配列されている。超音波板厚計測の原理により、超音波センサとパイプ内面との距離およびパイプの残肉厚を計測する。

#### (3) コントローラ

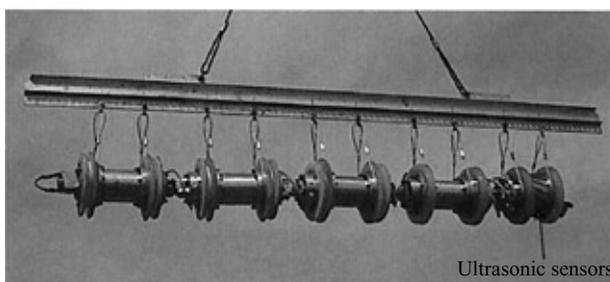
コントローラは、ピグ内搭載機器の動作を制御する



Single vehicle

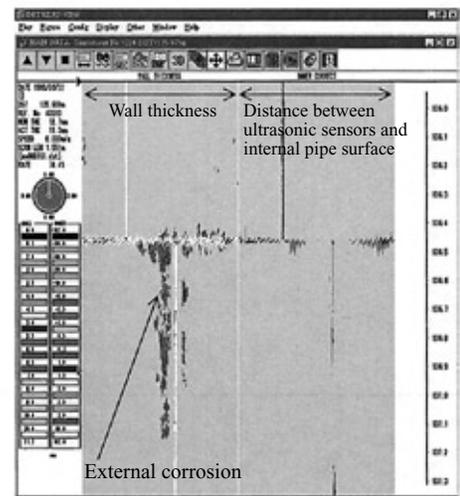


Three vehicles Ultrasonic sensors

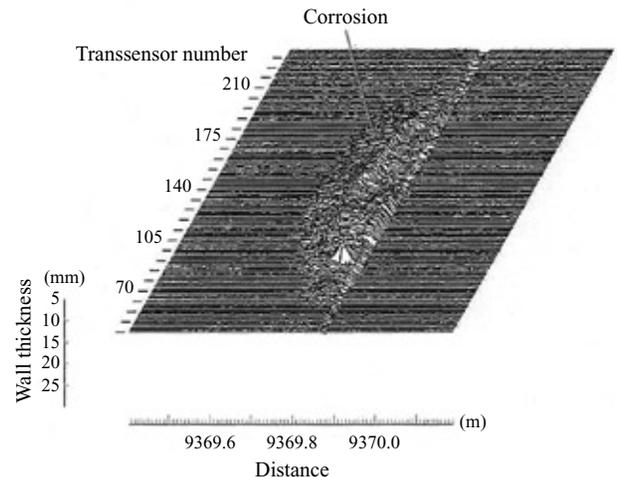


Five vehicles Ultrasonic sensors

Photo 2 Ultra sonic tools



Color plan view



3 Dimensional view

Fig.5 Data of ultrasonic tool

コンピュータである。

(4) データレコーダ

すべての計測データは、ピグ内に搭載されたデータレコーダに記録される。

(5) 電源

超音波ピグ内のすべての計測器は、同じくピグ内に搭載された電池で駆動される。

### 5.3 計測データの解析

検査ピグ走行終了後、データレコーダに記録されたデータを取り出し、データ解析を行う。

データ解析には、コンピュータを使用し、膨大な計測データの処理、人為的なミスの排除を可能にしている。さらに、人間による最終評価を行った上で、解析結果を確定する。

溶接線、バンド、ティー、バルブなどのパイプライン上のイベントも抽出され、腐食とともに報告される。

### 5.4 データ表示

膨大な量の計測データと解析結果を見やすく表示するため、専用のデータ表示ソフトが開発されている。Fig. 5 にデータ表示例を示す。

### 5.5 腐食の評価・診断

計測データから腐食を抽出して報告するだけでなく、さらに一歩進んで腐食の評価・診断を行うことが可能である。超音波ピグは腐食部の形状を詳細かつ正確に計測できることから、信頼性の高い評価診断結果が得られる。

## 6. バイダイ検査法

JFE エンジニアリングの超音波ピグの大きな特長の一つは、双方向に走行できることである。この特性をいかし、原油荷揚げ用海底パイプラインなどで海底にランチャーやレシーバを設けるのが困難な場合に、陸上からピグを発射し、海底で停止させ、陸側に逆送するという「バイダイ検査法」の技術を確立し、実施してきている<sup>8)</sup>。Fig. 6 にバイダイ検査方式のイメージを示す。

当社では、これまで国内外で十数件のバイダイ検査実績がある。これらの実績を通じて、さらなる技術の改善、ノウハウの蓄積に努めている。

バイダイ検査法の特徴は下記のとおりである。

- (1) 海側のランチャーが不要なため海洋作業が軽微で、短い工期の検査が可能である。
- (2) 海洋での仮設作業がほとんどないため、パイプ内に残存した原油の流出などの海洋汚染リスクが最小限で環境に優しい。
- (3) パイプ内の流体を抜かずに検査が可能である。

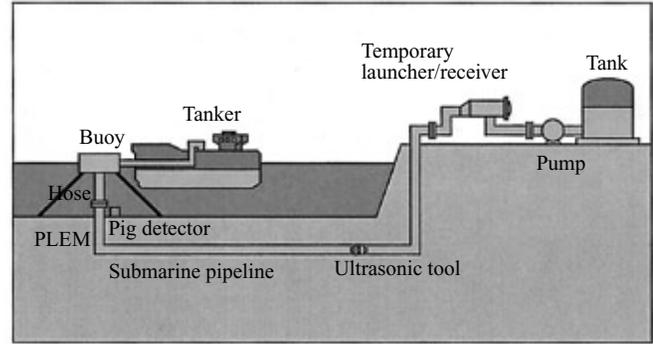


Fig. 6 Bi-directional inspection method

## 7. おわりに

検査ピグによるパイプラインの検査診断技術について紹介した。検査ピグによるパイプラインの検査診断は、徐々に拡大し定着した技術となってきている。

当社としても、1988年の初の実ライン検査以来培ってきた技術をさらに飛躍させるとともに、今後は、パイプラインの種々の制約によりこれまで検査ピグの適用が難しかったラインへの展開に向けた技術開発や、腐食検査、変形検査などの結果を総合的に評価することによるパイプラインの健全性評価技術の高度化を進め、パイプラインの維持管理にこれまで以上に貢献していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) The Cutting Edge. Alyeska Pipeline Service Company.
- 2) 山田義洋ほか. パイプライン管内探査装置 (第2報). 日本鋼管技報. no. 111. 1986. p. 53-59.
- 3) Kondo, M. "Ultrasonic inspection tool run on TAPS." The NACE Annual Conf. and Corrosion Show. 1991-03-11-15.
- 4) 小林基ほか. NKK 超音波式パイプライン検査ピグ. NKK 技報. no. 161. 1998-03. p. 44-47.
- 5) 萩尾彰ほか. 配管系診断技術の開発と適用 (1). NKK 技報. no. 124. 1988. p. 33-41.
- 6) 管内検査用カメラピグ. 日本鋼管技報. no. 102. 1984. p. 123-126.
- 7) 近藤宗孝. パイプライン検査用診断技術. 配管技術. vol. 47, no. 14. 2005-12. p. 36-40.
- 8) Sugaya, N. et al. "Experience with ultrasonic pigging (Bi-directional traveling system)." The 1990 Pipeline Pigging and Inspection Conf. Houston, Texas, 1990-02-19-20.



近藤 宗孝



小林 基



中野 稔陽