

# ガス配管管台周り検査技術の開発

## Development of Inspection Method of Piping Around Saddle Shape Support

飯塚 幸理 IIZUKA Yukinori JFE スチール スチール研究所 計測制御研究部 主任研究員 (副部長)・博士 (工学)  
渋谷 清文 SHIBUYA Kiyofumi JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区) エネルギー部エネルギー技術室 主任部員(課長)  
中道 悟 NAKAMICHI Satoru JFE スチール 西日本製鉄所(倉敷地区) エネルギー部エネルギー技術室 主任部員(副課長)

### 要旨

副生ガスを輸送するガス配管の健全性を確保することは製鉄所の安定稼働のみならず災害防止の上でも非常に重要である。ガス配管は鞍状の管台で支えられているが、この管台部上の配管外面腐食は容易には検査できないことから、外部から非破壊的に診断可能な超音波検査技術を開発した。さらに、配管内面の孔食状況を簡便かつ精密に診断可能なアレイ型超音波厚さ計も開発した。

### Abstract:

To secure of soundness of gas piping which transports by-product gas is very important not only stable operation of steel works but also accident prevention. JFE Steel has developed an ultrasonic non-destructive testing method for inspecting outer surface area of piping on saddle shape support where easy inspection is impossible. Additionally, a corrosion diagnostic apparatus using an ultrasonic array probe that enables easy and precise inspection of inner pitting conditions of piping has been developed.

## 1. はじめに

一貫製鉄所の建設から 30 年以上が経過し、老朽化にともなう設備のメンテナンスが重要な課題となっている。高炉・コークス炉・転炉などからの副生ガスを輸送するガス配管も建設から長年経過しているものが多く、ガス漏れなどの事故が起きると大きな災害につながる可能性のある保全上重要な設備であるため、定期的な点検と老朽更新が進められている。JFE スチールでは、架空配管の劣化診断が可能な検査技術「Scan-WALKER<sup>®</sup>」<sup>1,2)</sup>を開発し実用に供しているが、さらに、従来点検に労力を有していた管台部周りの検査技術も開発した。

本報告では、管台で覆われた部分の配管腐食を外部から診断可能な超音波検査技術、および配管内面の孔食状況を簡便に精度良く診断可能なアレイ型超音波厚さ計について紹介する。

## 2. 管台部配管検査技術

### 2.1 開発の背景

製鉄所のガス配管は直径およそ 600 mm ~ 4 400 mm、肉厚 6 mm ~ 10 mm 程度の大径鋼管であり、**図 1** に示される

鞍状の管台上に設置されている。配管と管台との間は隙間があり、雨水が浸入するため、配管の外面側には面状の腐食が経年的に進行する。この部分は管台に隠れているため、目視でチェックすることができず、超音波厚さ計のような非破壊検査技術もその部位にアクセスすることが困難である。このため、管台外部から容易に診断可能な検査技術が望まれていた。

管台部の配管腐食を検査する従来技術としては、線状の梁の上に乗っている小径配管を対象として、円周方向ガイド波<sup>3)</sup>、表面波<sup>4)</sup>、γ線<sup>5)</sup>などの手法が石油化学・ガス分野で適用されているが、鞍状の管台で腐食範囲が面状となる製鉄所大型ガス配管に適した検査技術はこれまで報告されていない。そこで、製鉄所の大型ガス配管管台部に適用可能な検査技術の開発に取り組んだ。

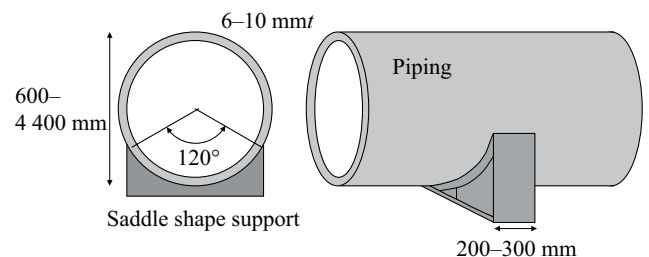


図 1 ガス配管管台部の模式

Fig. 1 Schematic illustration of saddle shape support for gas piping

## 2.2 開発技術

### 2.2.1 測定原理

管台部の配管腐食が面状であることを考慮し、管台の外側から超音波探傷を用いて周方向にスキャンを行って検査する方法を採用することとした。

開発した技術を図2に示す。本手法は斜角探傷の反射法と透過法を組み合わせている点に特徴がある。この構成をとることにより、以下の効果を得ている。

#### (1) 透過法による粗判定および貫通穴判定

透過法のエコー高さは、途中経路の減肉による散乱の影響を受けるため、エコー高さの大小から腐食程度の粗判定が可能である。また、途中に貫通穴があると透過波が遮られてエコー消失となるため、貫通穴の判定も可能である。透過法による測定データ例を図3上

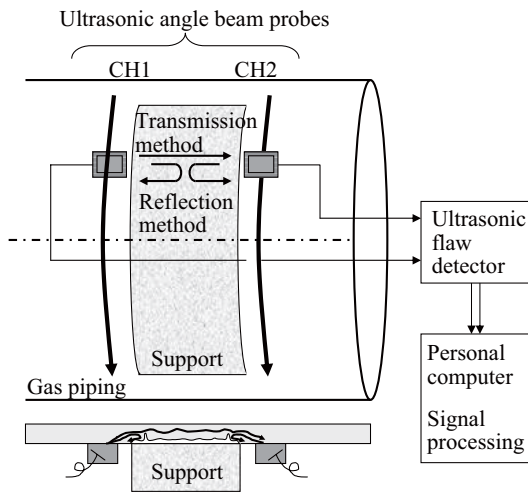


図2 管台部配管検査技術

Fig. 2 Inspection method for piping on saddle shape support

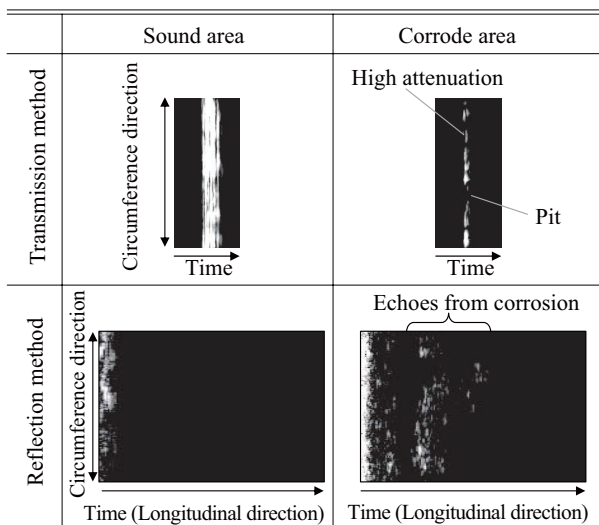


図3 開発技術の出力画像例

Fig. 3 Output images of the developed method

段に示す。

#### (2) 反射法による腐食マッピング、孔食深さ推定

反射法のエコーの時間方向は管台の奥行き方向に相当するため、探触子を周方向にスキャンさせた時のBスコープ像は管台部の腐食状態を面状にマッピングした画像となる。これにより透過法では判断困難な孔食の位置と深さを推定することができる。反射法による測定データ例を図3下段に示す。

#### (3) 透過法による反射法の距離振幅補正

透過法のエコー高さは途中経路の散乱による減衰の情報であるため、これに基づいて反射法の距離振幅補正を行うようにした。これにより、反射法での孔食の深さ推定精度を向上することができる。

### 2.2.2 実用装置の構成

開発した実用装置の外観を写真1に示す。

本装置は、管台を挟んで対向させた2個の超音波探触子とそれらを周方向に走査するスキャン機構、超音波探傷器、スキャンコントローラなどで構成される。

探触子のスキャン機構については、現場での取り扱い性を考慮し、磁石で吸着させたレールに沿ってモーターを内蔵したスキャンユニットを走行させる方式を採用した。透過法と反射法を同時に行うため、スキャンユニットにはエンコーダーを内蔵し、2個の探触子の周方向位置を合わせながらスキャンできるようにした。

超音波探傷器は塗膜および腐食による減衰を考慮してバースト波型の超音波探傷器を採用し、さらにパーソナルコンピュータに取り込んだ後の信号に対して、同期加算平均処理と相関処理を施して電気ノイズを低減するようにした。

音響接触媒質については、本装置では水を用いることと

Ultrasonic probe Magnet Rail

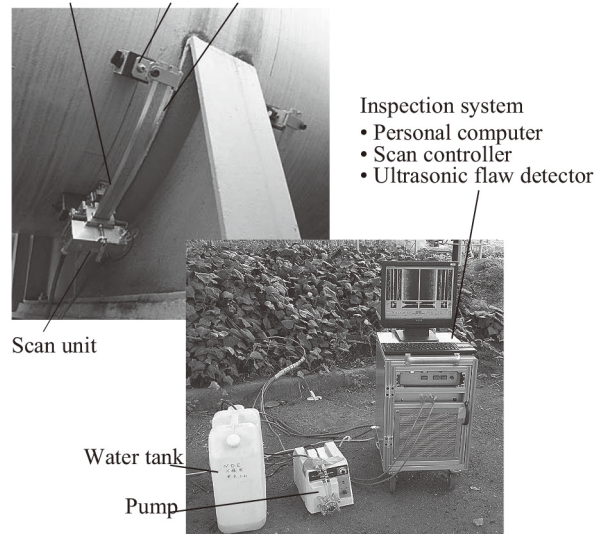


写真1 検査装置の外観

Photo 1 View of the inspection system

し、ポンプによってホースを介してスキャンユニットまで供給するようにした。

### 2.2.3 感度校正方法

本技術により精度が高い測定を行うためには、探傷感度を適正に調整する必要がある。このため以下の感度校正方法を開発した<sup>9)</sup>。

- (1) 機差：超音波探触子や超音波探傷器の機差は感度変化の原因となる。これについては、通常の超音波探傷法と同様、標準試験片を用いて感度校正を行う。
- (2) 透過損失：被検材が被検材に入射する際、塗膜や表面粗さによって減衰するため、これによる感度低下を補正する必要がある。V透過法により対比試験片と被検査材健全部との感度差を測定して感度補正を施す。
- (3) 拡散損失：超音波ビームの拡散は、反射法において距離減衰の要因となる。拡散は理論計算が可能なので、理論計算結果を基に距離振幅補正を施す。
- (4) 散乱損失：腐食による超音波散乱は距離減衰の大きな原因となる。これに対しては、被検査材の健全部と腐食部との透過エコー感度差に基づいて減衰定数を求め、距離振幅補正を施す。

### 2.3 測定例

老朽更新により撤去した配管の管台位置から採取したサンプル（呼び径：1400A，元厚：6mm）を実験室で測定した例を図4に示す。

まず、(a)は腐食がほとんどない部位に人工疵を設けたものである。同図より、反射法のBスコープ像は人工疵の位置と対応しており、管台部のマッピングが可能であることが確認できる。また、人工疵の部分では透過法の信号が消失しており、これは穴あきを検知可能であることを示している。

次に、(b)は2mm～3mmの深さの面状腐食があるサンプルである。透過法の信号は(a)と比べると大きく低下しており、腐食の影響が顕著に現れている。反射法による腐食マッピング結果はサンプルの腐食状況とおおむね一致していることが分かる。

このように、透過法と反射法を組み合わせることで周方向スキャンのBスコープ表示を行うことにより、腐食面の外部から、腐食の状態を把握できるようになった。

図5は、反射法のデータからエコー高さを読み取り、実

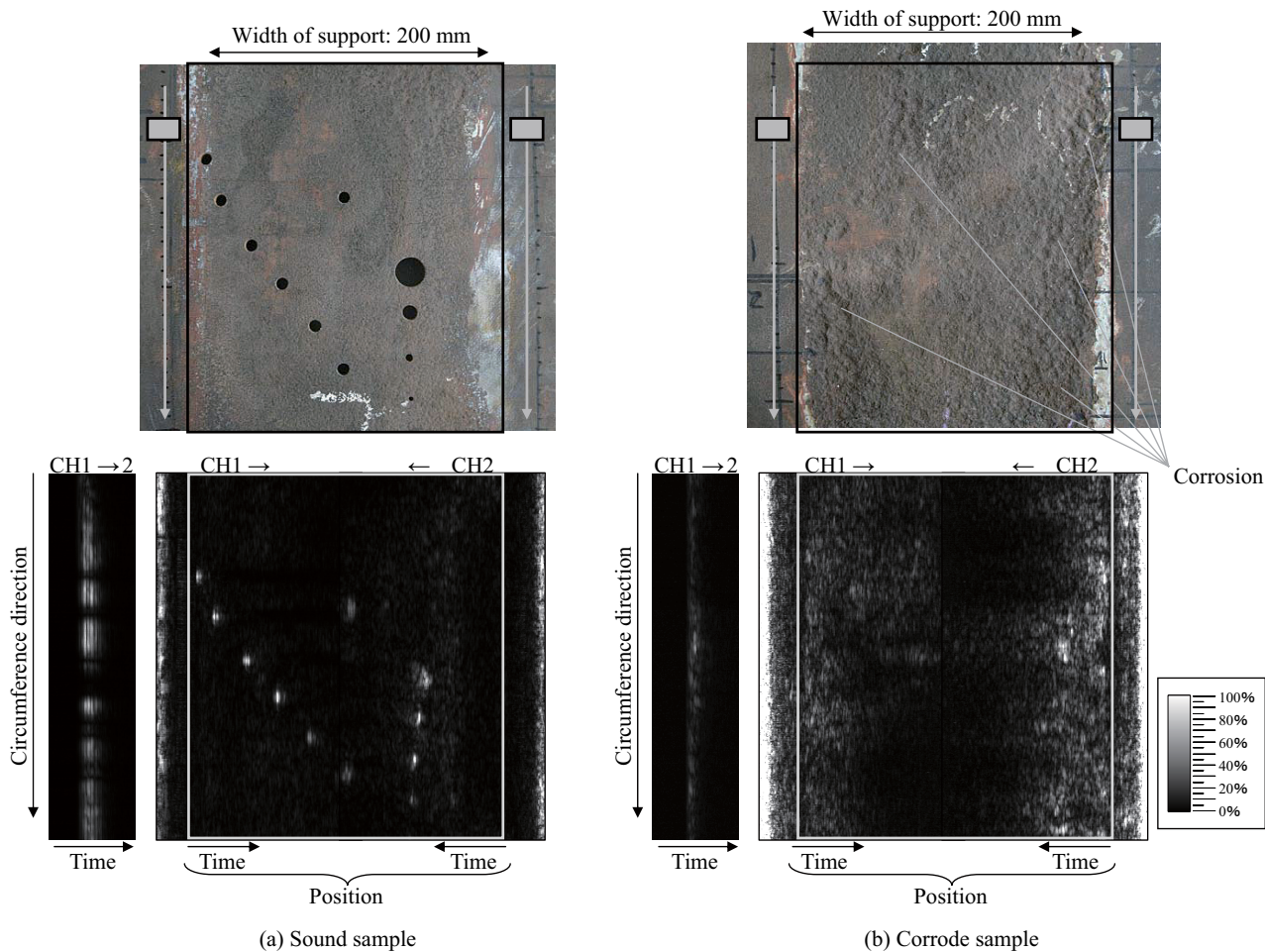


図4 サンプルテスト結果

Fig. 4 Sample test results of the inspection system

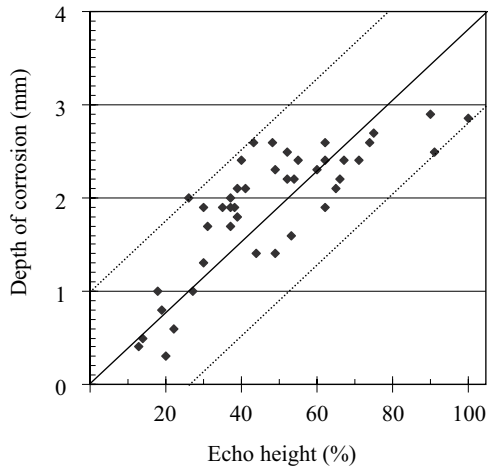


図5 腐食深さとエコー高さの対比

Fig. 5 Comparison between depth of corrosion and echo height

際の腐食深さと対比した結果である。エコー高さのばらつきは±1 mmの範囲であり、補修の要否判断に適用可能な性能が得られた。

図6に老朽更新が予定されていた休止中配管（呼び径：

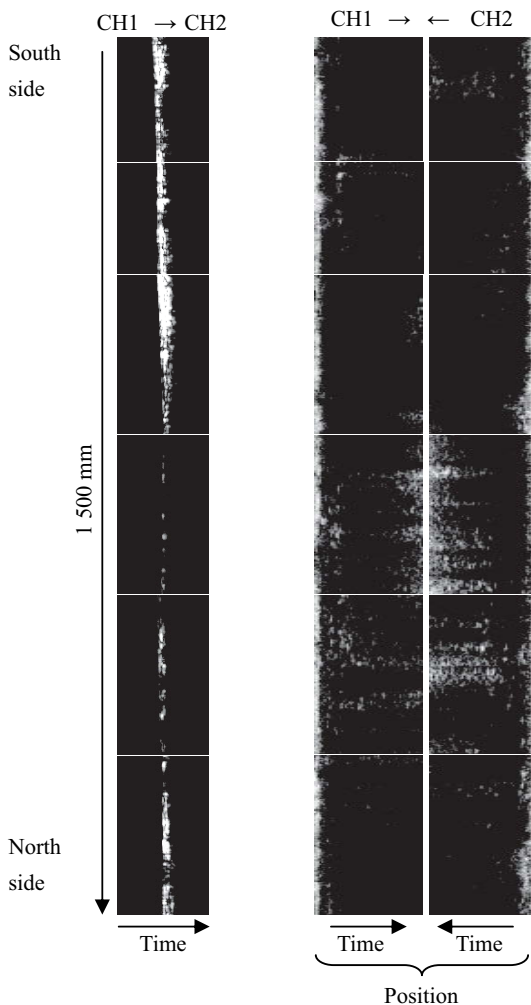


図6 フィールドテスト結果例

Fig. 6 Example of field test

1400A, 元厚：6 mm) に行ったフィールド試験結果の測定例を示す。管台の中央より北側の位置で透過法の信号が低下し、反射法の指示が増えていることから、北側の腐食が激しいことが分かる。これは配管と管台の隙間に侵入した雨水が乾きにくいと思われる。更新撤去後に切り出して調査した結果、測定結果から推定された腐食状況と同様であることを確認した。

### 3. 幅領域厚さ診断技術

#### 3.1 開発の背景

管台部の検査に際して、配管内面の腐食状況をあらかじめ把握しておくことは、校正や診断の精度をより高めるために有用である。また、管台部に限らず、手探傷で簡便に配管内面の腐食状況を確認したい場合も多い。

簡便な測定方法として超音波厚さ計が一般的に用いられる。しかし、内面の腐食形態が孔食の場合、通常の超音波厚さ計では孔食形状に対してエコーが弱くなるため計測エラーとなるケースが多い。さらに、内面孔食の形状や分布が判らないため、その最小厚さ計測に手間がかかることや計測値の代表性が低いという問題があった。

そこで、数十ミリメートル幅の領域の内面孔食状況を手探傷により簡便に精密診断可能なポータブル式のアレイ型超音波厚さ計を開発した。

#### 3.2 開発技術

##### 3.2.1 測定原理

数十ミリメートル幅を効率的に漏れなく検査するため、リニアアレイ超音波探触子を厚さ計に応用することとした。リニアアレイ超音波探触子は、図7に示したように、微細な振動子を数十素子配列させた探触子である。送受信に使用

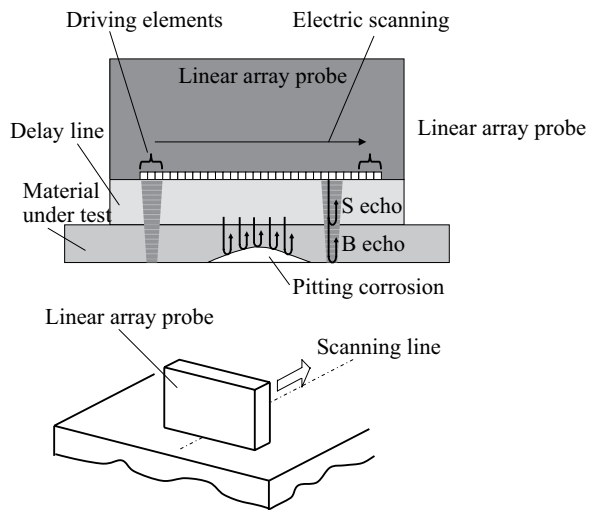


図7 孔食診断用アレイ型超音波厚さ計

Fig. 7 Corrosion diagnostic apparatus using linear array probe

する素子は電氣的に自由に切り替えることができるため、探触子幅の範囲内を高速にスキャンすることができる。実時間で断面画像に相当するBスコープ像も得られるので、孔食の形状や分布を見ながら最小厚さを確実に計測することができる。

### 3.2.2 実用装置の構成

この装置では現場での作業性を考慮して、リニアアレイ探触子を配管表面に垂直に做って容易にマニュアル走査可能なセンサヘッドを新規に開発した。

探傷器は一般的なアレイ超音波探傷器が適用可能であり、市販のポータブル装置を採用した。孔食の検出に適した超音波ビーム制御を設定し、測定結果はBスコープ表示するようにした。

### 3.3 測定例

クレータ状の孔食を模擬した人工欠陥サンプルを測定した例を図8上段に示す。

Bスコープ画像から、孔食がクレータ状であり、残厚が約3mm強であることが分かる。図8の下段は型取りゲージを用いてスケッチした人工欠陥の断面形状であり、本測定装置から推定された断面形状とほぼ等しいことが確認された。

図9は、深さをさまざまに変えたサンプルを用いて、型取りゲージから求めた残厚と本アレイ型超音波厚さ計から求めた残厚とを比較した結果である。両者の差は0.2mm以内であり、本アレイ型超音波厚さ計が十分な測定精度を持つことが確認された。

## 4. おわりに

すでに開発済みの腐食診断装置「Scan-WALKER®」による架空配管診断に加えて、これまで検査が難しかった管台上の配管腐食を外部から非開放非破壊で容易に診断可能な超音波検査技術と、手探傷で簡便に精度良く配管内面の孔食状況を診断可能なアレイ型超音波厚さ計を開発した。これらの技術は製鉄所各種配管設備の診断、補修へ活用が進められている。

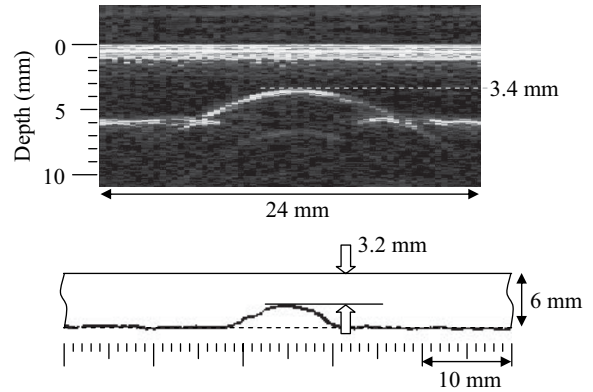


図8 人工欠陥のBスコープ像  
Fig. 8 B-scope image of an artificial defect

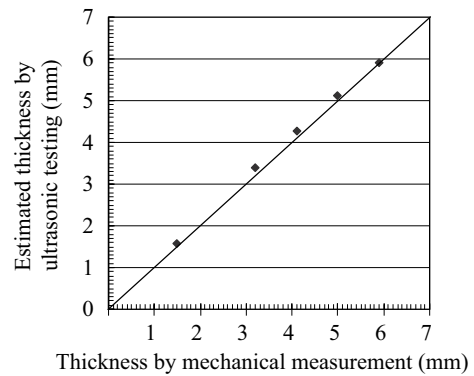


図9 残厚の超音波測定と機械的測定との対比  
Fig. 9 Comparison between mechanical measurement and the ultrasonic testing

#### 参考文献

- 1) 植上武克ほか. 設備の健全性評価技術—架空配管・埋設配管の診断—. JFE 技報, 2006, no. 11, p. 23-28.
- 2) 配管腐食診断装置「Scan-WALKER®」. JFE 技報, 2011, no. 27, p. 54-55.
- 3) 永溝久志ほか. 配管架台接触部の腐食診断技術. 検査技術, 1999-01, p. 13-17.
- 4) 広田信明ほか. 配管架台接触部の超音波による腐食検査法. 非破壊検査, 2001, vol. 50, no. 6, p. 368-373.
- 5) 河野大志ほか. 危険物配管の架台接触部における腐食診断. 配管技術, 2005-10, p. 25-29.
- 6) 飯塚幸理. ガス配管管台腐食検査技術. 日本鉄鋼協会第 83 回設備技術部会. 設備 83-共-4, 2010-11.



飯塚 幸理



渋谷 清文



中道 悟