

# 超音波連続板厚測定による設備管理

Plant management which utilized ultrasonic continuous measurement system

旭化成エンジニアリング株式会社 田村 孝市 Koichi TAMURA  
芳賀 啓之 Hiroyuki HAGA  
松尾 祐次 Yuji MATSUO

## Abstract

In plant management, aged facilities have been serious problem. Especially, carbon steel causes many accidents on the problem of corrosion. we have managed remaining life time to a use limit, based on the thickness by ultrasonic measurement result in the fixed point. However, most accidents have generated because of the failure to notice localized metal decrease. The authors have developed a continuous thickness measurement system utilizing ultrasonic waves which scans metal loss in tank, and pressure vessel, piping, etc. In this report, the inspection system and application for plant management are briefly shown.

**Keywords:** Aged facilities, carbon steel, Corrosion, Ultrasonic, Continuous thickness measurement

## 1. 緒言

国内の産業設備の多くは建設後 40 年以上を経過し、設備の老朽化対策が課題となっている。経年設備の最近の漏洩事故<sup>1)</sup>の主なものは、腐食等による構成材料の劣化である。中でも、炭素鋼設備の腐食減肉は、平均的な腐食速度は低くとも、局部的に数倍大きな速度で進行する場合がある。また、炭素鋼が使用される設備は膨大である。特に、目視検査が不可能な部位で発生した腐食部位の特定と残存厚さ(腐食深さ)を管理下におくことは極めて難しい。

このような背景から、著者らは、タンクや反応器等の静止機器や配管に発生する腐食部を超音波により高速に全面検査する装置を開発、実用化し設備管理に有効に活用している。本報では、全面検査技術の概要と活用事例について簡単に紹介する。

## 2. 高速タンク底板全面検査技術

屋外貯蔵タンクでは、底板の裏面腐食が目視困難である。タンクの底板は、従来から消防法に規定される内部点検において 100~1000mm 間隔等の離散的な超音波肉厚測定を行い、腐食速度と残存厚さの管理をおこなってきた。しかし、離散測定の間隔は、漏洩の原因となる局部腐食の大きさより遥かに大きく、経年的に腐食が顕在化するタンクについては危険部位を見逃す可能性が極めて高いという問題があった。これを解消するため、筆者らは 1999 年からタンク底板の裏面腐食検出を目的とした高速全面検査技術として超音波連続板厚測定装置を実用化した。

### 2.1. タンク底部全面検査装置の概要

全面検査装置の外観を Fig. 1 に示す。装置は測定部、PC、探傷器、アンプで構成される。

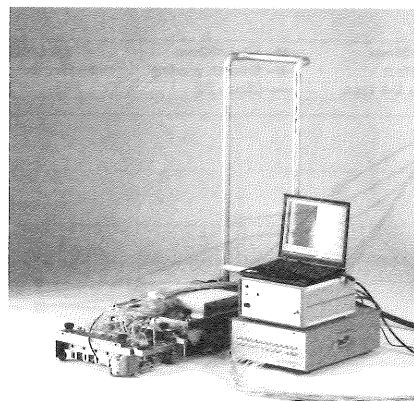


Fig.1 High Speed Inspection System for Tank Bottom Plate (B-Map)

Fig. 2 は測定部に搭載する超音波探触子の配置模式図を示す。二振動子垂直探触子と渦流センサー(図示しない。)を千鳥状 2 列に搭載し、前列の探触子間の不感帯を後列の探触子が追って測定することで、コーティング上から 300mm の幅を洩れなく連続的に板厚測定する。(この測定法を連続測定と呼ぶ。)

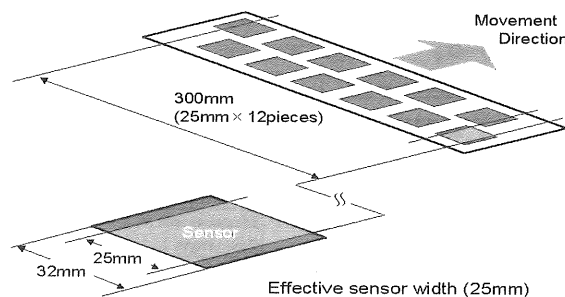


Fig.2 whole surface method (Arrangement of ultrasonic sensors)

連絡先: 田村孝市 〒108-0075

住所: 東京都港区港南 4-1-8 リバーサイド品川ビル 13

電話: 03-5462-4607

## 2.2. タンク底部検査事例

Fig. 3 は、連続測定で得られたタンク底部の腐食減肉分布の代表例であり、腐食減肉量は青、緑、黄、赤の順に大きい。本タンクの例では、従来腐食が激しいと言われていた側板近傍のアニユラ板よりも中方側の底板で局所的に腐食が進行している。筆者らは約 10 年間で多数のタンク底部の連続測定を実施した結果、裏面腐食の進展特性は広範囲に及ぶ鋼材面積の中で様々であり、基礎仕様や構造面から最大腐食部位を推定し寿命評価や補修等の保全対応をとる事は極めて難しいことを実感した。

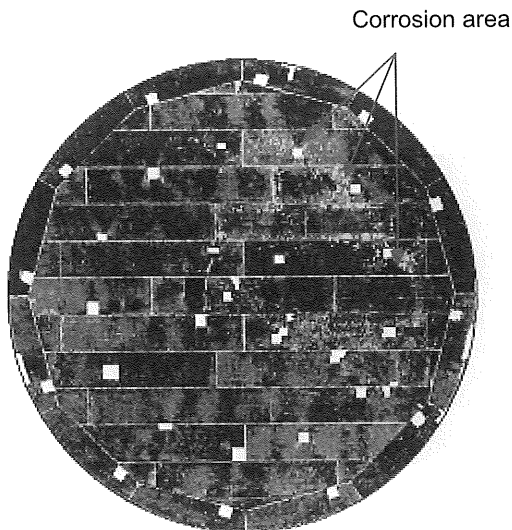


Fig.3 Thickness distribution of tank bottom plate

更に、筆者らは、従来の離散的な測定方法で管理をしてきたタンク底部の残寿命を再評価することを目的として、連続測定データの最大腐食量と従来の定点管理法による最大腐食量について統計的な分析をおこなった。連続測定のデータ群から、タンク中央を始点に 50mm、100mm、1,000mm 間隔で格子状に抽出したいわゆる離散板厚データ群から掌握される見かけ上の最大腐食深さ(離散的板厚データの最小値に対応する値)と全面検査により得られる実最大腐食深さを比較した。Fig. 4 は、常温近傍で使用された 25 基のタンク底部の最大腐食量について整理した結果を示す。仮想的に測定間隔を大きくすると、連続測定(全面検査)で得られる実最大腐食深さとの相関が悪くなる。Fig. 4 において最小自乗法で求めた各測定間隔の傾きは、連続測定で得られる実最深さを 1 としたときの、各測定間隔で計測される平均的な最大深さの比率を表す。Fig. 5 は、この比率を実最大深さの推定確度と称して測定間隔毎にプロットしたものである。測定間隔が大きくなるに従い、実最大深さの推定確度は低下する。これはタンク底部の裏面腐食が局所的であればある程低下する。推定確度は、測定間隔 300mm 以上では大きく変化しておらず、1000mm 間隔では推定確度が 1/3 程度になることが分かった。すなわち、1m 程度の間隔で板

厚を計測したタンクの場合、平均して 3 倍程度の腐食が存在する可能性があることを意味し、従来の定点測定法で評価したタンクについては、最大腐食量(または腐食率)や保全計画を見直すことが可能である。また、経年化とともに腐食が局部的に進行するタンクでは、腐食部位と腐食量が明確に表される連続測定による全面検査は漏洩防止とコストミニマムの保全対応を実現する有効な手段と考える。

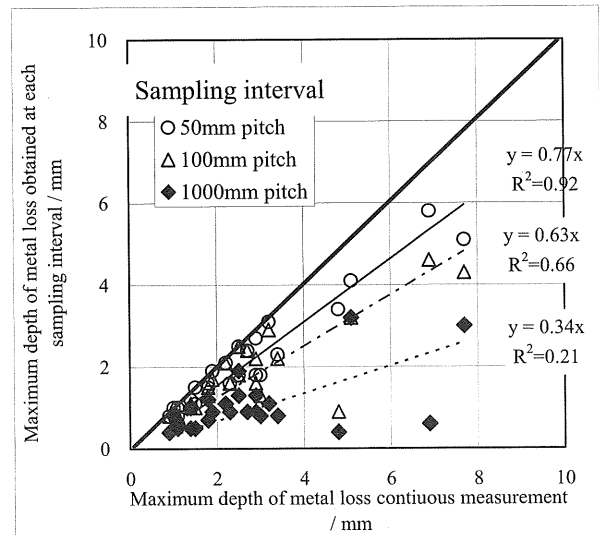


Fig.4 Maximum depth of metal loss and measurement sampling interval

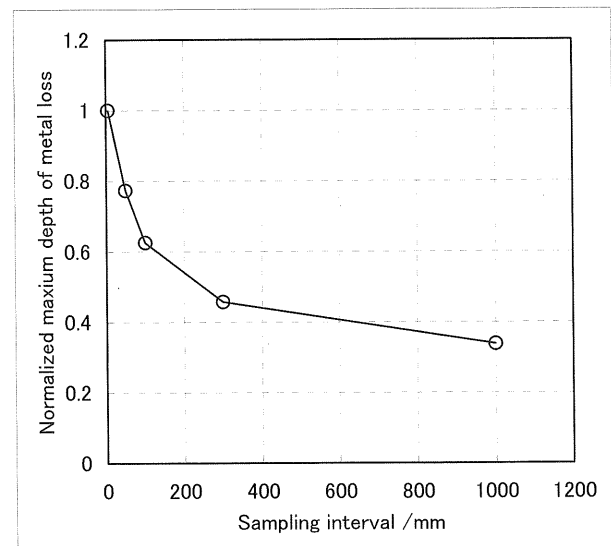


Fig.5 Variation of normalized maximum depth of metal loss at each sampling interval

## 3. 容器の高速全面検査技術

圧力容器や塔などは、外部の断熱材や外套、内部のライニングなどで、本体の腐食が目視不可能な場合が多い他、高压容器など耐圧性能が要求される設備は、経年劣化による局所的な腐食の見逃しが起きますと重大事故に発展する可能性がある。これに対応して 2.1 項の連続測定技術を応用し、圧力容器他、一般静止機器の全面検査装置を開発し実用化した。

### 3.1 装置の概要

検査装置の外観を Fig.6 に示す。本装置は、自走式測定ユニット、探傷器および PC とコントローラ、制御機で構成される。全面検査の測定原理は概ねタンク底板の装置と同様で、自走式の測定ユニット内に有効幅 10mm の超音波探触子 12 個を千鳥状に配置し、1 回の走査で、幅 120mm の面を洩れなく全面検査できるように設計した。

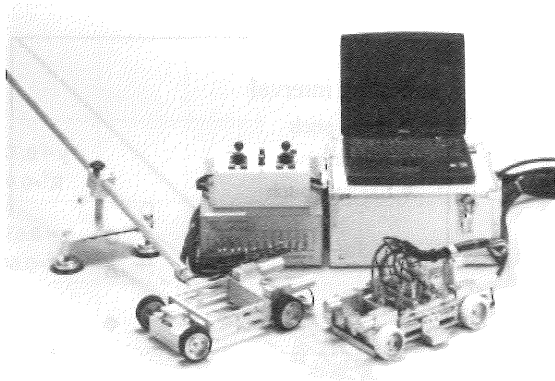


Fig.6 High Speed Inspection System for vessel (S-Map)

Fig. 7 は外套付圧力容器の外部腐食検査の模式図を示す。本体の内面側から胴部と下鏡部を自走させ本体外面側の腐食検出を目的とした検査を行う。測定ユニットには、DC モータによる駆動装置、測定ユニットの裏面には永久磁石を備え、容器の壁面（曲率面）に吸着し、手元コントローラで遠隔から自走による連続測定が可能である。装置は最大 15m の範囲を移動可能で、高所における検査でも検査足場を必要としない。

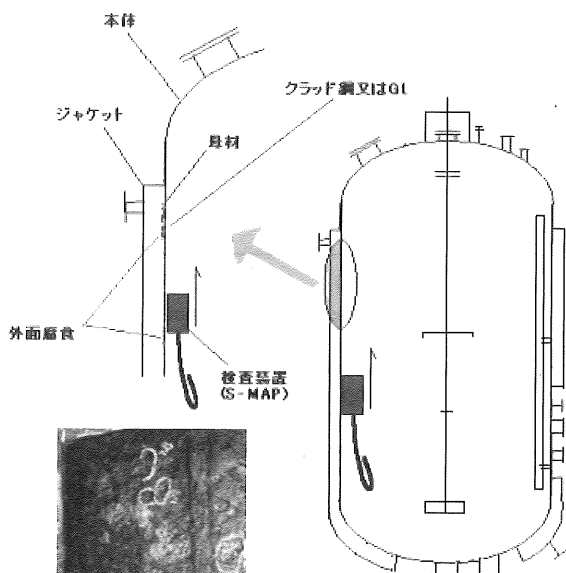


Fig.7 Measurement method of external corrosion in jacketed pressure vessel

### 3.2 圧力容器の検査事例

温度制御等のために容器本体に外套を備え、通水しているような圧力容器では、本体外部の局部腐食の顕在化が懸念される。Fig. 8 及び Fig. 9 は圧力容器の胴および下鏡部の測定結果の一例である。腐食は、胴板の上部や鏡板の非常に限定された部分で、局部的に発生している。腐食の深さや速度に基づいて、圧力容器における必要肉厚を下回る部位や時期を高い信頼性で予想できる。すなわち、既に必要肉厚を割り込んでいる部位の要因分析、また、期開放予定前に割り込むと予想される部位を特定し、部分的な補修や予防的な補強をおこなうことで、高い信頼性で合理的に設備の延命対応が図れる。

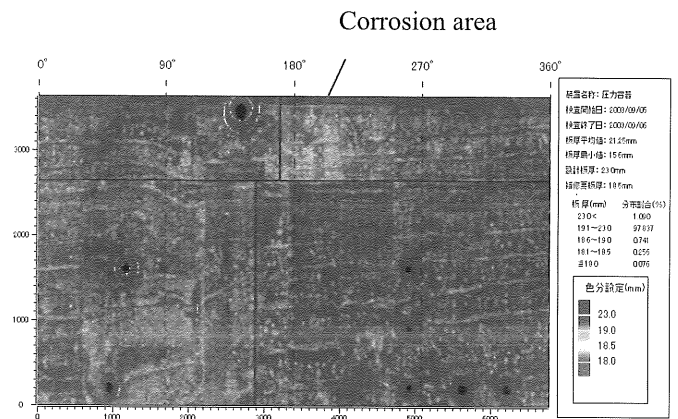


Fig.8 Results of shell plate thickness measurement

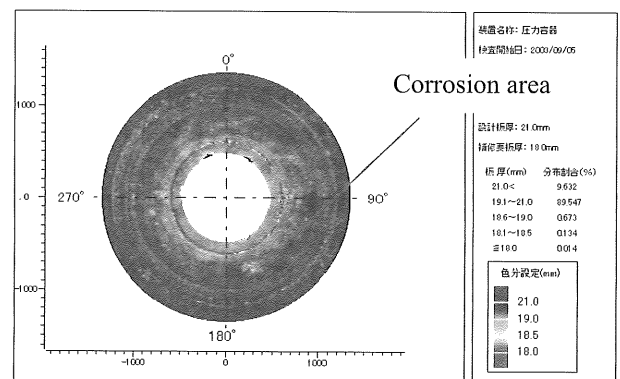


Fig.9 Results of bottom formed head plate thickness measurement

### 4. 配管の全面検査技術

最近の設備事故の多くは配管からの漏洩事故であり、その原因の殆どが腐食である。<sup>1)</sup> 配管設備は、多数の流体が様々な運転条件下（圧力、温度）で扱われている。更に、減肉が発生する部位は構造的にも様々である。配管の内面側減肉の管理の基本は、配管系と言われる同一の劣化現象が発生しうる環境と材料の組合せ毎に配管ラインを区分し、各ラインの最大腐食量と腐食速度から寿命を予測し、適切な周期で保全アクション（検査や補修）をとることである。内面腐食は、外から目視が困難であることから、非破壊的な手法で劣化状態を効率的よく定量的

に把握したい。従来は、腐食の発生し易いと想定した代表部を定点とする肉厚測定にて管理されている。しかし、配管は、対象範囲が膨大であり、腐食の激しい部分を確実に代表部としているかを検証することは難しい場合が多い。一方、内面側からの腐食は、内面流体の性状に依存し、高流速部や滞留部、凝縮部等の特異箇所で激しくなる場合があることもよく知られている<sup>4)</sup>。そこで、筆者らは、こうした特異箇所の中で最も対象数の多い直管とエルボの全面検査を目的とした連続測定装置を開発した。

#### 4.1. 装置の概要

検査装置の外観を Fig. 10 に示す。装置は超音波探傷器、ノート PC、超音波探触子及びそれを走査するガイドリング等の測定機構から構成される。厚さ測定は、超音波探触子を 180 度の角度で設置したガイドリングを回転させながら、ガイドリングをガイドレールに沿わせて軸方向に移動する動作の中で配管全面の肉厚を測定する。対象とする配管は、現状は管の呼び径で 4B~12B である。更に大きいサイズについても対応を検討中である。

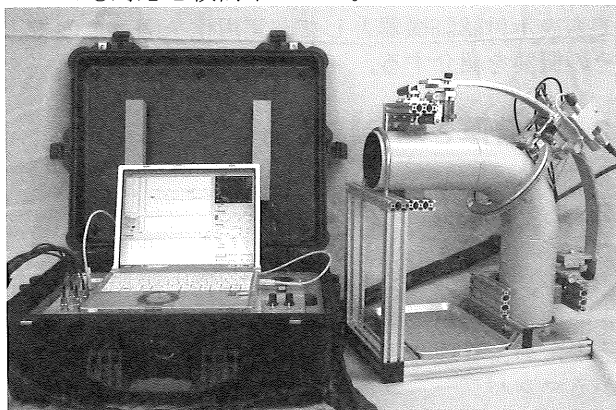


Fig.10 High Speed Inspection System for piping (L-Map)

#### 4.2. 配管の検査事例

従来から定点肉厚測定で管理し若干の内面腐食減肉が想定された配管系の水平エルボ部で、開発した検査装置により連続測定を実施した。Fig. 11 は測定状況、Fig. 12 はその測定結果を示す。減肉範囲は鉛直下側よりエルボの背側に外れた部分であり、残肉厚は 5.5mm であった。一方、当該部位の従来の定点測定は、配管周囲 4 方向の 4 点で管理しており、検査直近の定点測定では、下側が最も薄く 8.3mm であった。従来からこの系では、残渣が溜まる部分での腐食が経験されており、下側に注目した測定を実施していた。しかし、残渣が流れによりエルボの背側寄ったためと推定するが、最大腐食部は下側ではなかった。また、腐食の激しい部分は、面的な腐食の中に局部的な減肉として進行しており、この部分を確実に定点管理することは難しいことが想定される。こうした事例からも、材料と環境及び運転条件などから腐食が想定できる配管系は、特に連続測定の適用効果が高いと言える。

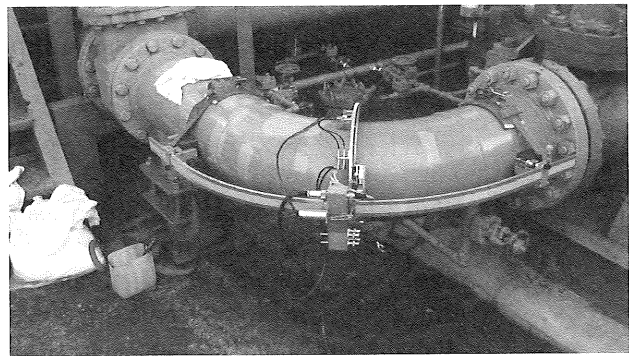


Fig.11 Measurement of the 10 inch elbow pipe

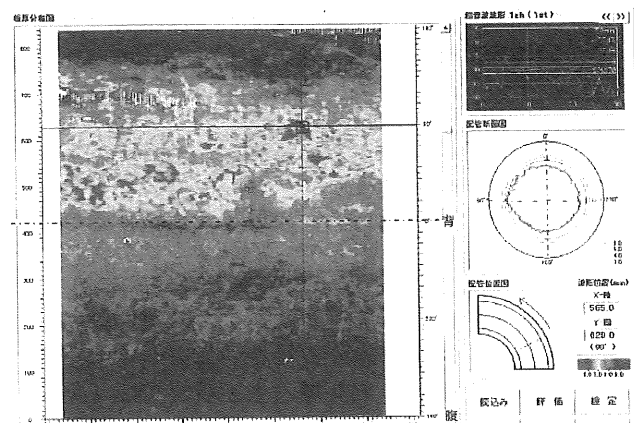


Fig.12 Results of thickness measurement in piping

#### 5. 結言

- 1) 開発した超音波連続測定装置で、タンク底部や容器の外表面、配管内面などの目視困難な部位の肉厚定量的に面測定できることを示した。
- 2) 超音波連続測定により、炭素鋼設備の腐食減肉は、経年化とともに局部的に劣化が進行する可能性がある事を示した。

#### 謝辞

本装置は、旭化成ケミカルズ（株）と新日本非破壊検査（株）との共同開発の成果をまとめたものである。

#### 参考文献

- 1) 高圧ガス保安協会、最新の高圧ガス事故集計表(平成 10 年 又は平成 17 年~平成 21 年 6 月)
- 2) 消防庁 平成 18 年版消防白書等
- 3) 田村、芳賀、辻他：石油タンク底板裏面腐食の確率統計的性質（第一報）、圧力技術、Vol. 46, No1. pp18-25(2008)
- 4) (社) 石油学会：石油学会規格 配管維持規格、石油学会、JPI-8S-1-2004、附属書 A、(2004)
- 5) 芳賀、松尾、中川、富高、西村、田村、花口：配管の超音波連続肉厚測定装置の開発、非破壊検査、Vol. 59, No. 4, pp189-193 (2010)