

腐食減肉深さや亀裂深さ計測に有効な光3次元計測法

Effective three-dimensional measurement method to measure area and depth of corrosion and crack
鏡板表面の腐食減肉の供用適性評価、平板切りこみ深さの解析事例

株式会社セイコーウェーブ 新村 稔

はじめに

高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準(KHK/PAJ/JPCA S 0851(2022))が、2022年4月1日に改正され、経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室が定める「認定完成検査実施者及び認定保安検査実施者の認定について(内規)」において、石油連盟(PAJ)、石油化学工業協会(JPCA)及び高圧ガス保安協会(KHK)が共同規格として制定した「高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準(KHK/PAJ/JPCA S 0851(2022))」が引用された。具体的には、付属書^[1]において、日本溶接協会の定める規格である WES2820 が圧力設備における腐食減肉箇所の供用安全性評価規格(供用適性評価規格)のひとつとして取り上げられた。本稿では、WES2820 規格の定める「詳細厚さ測定」手順に則り、腐食減肉箇所の精密な減肉データを得、供用適性評価した事例と、微細亀裂箇所の亀裂深さを精密に計測した事例を紹介する。

1. 半球型鏡板表面に生じた腐食計測・評価事例

本稿を執筆するにあたり、図1のハンディースキャナー、および図2のマイクロスキャナーを利用した。各々の性能は表1の通りである。



図1 ハンディースキャナー



図2 マイクロスキャナー

項目	ハンディースキャナー	マイクロスキャナー
平面分解能	0.5mm	0.05mm
深さ分解能	0.05mm	0.005mm
1ショット計測面積	270mm x 150mm	12mm x 12mm
再現可能な色	白黒	フルカラー

表1 スキャナー仕様

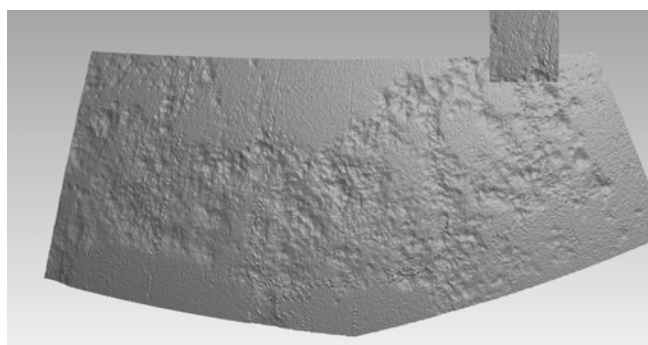


図3 鏡板表面腐食の三次元計測データ
(PC画面のスクリーンショット)

図3は半球型鏡板の外部表面に発生した腐食を、図1の装置で計測した事例である。半球型鏡板の内径は1,100ミリメートル、設計肉厚は12ミリメートル、計測部位寸法は、横方向約350ミリメートル、縦方向約180ミリメートルである。図4は3D解析ソフトウェア^[2]を用い、図3の計測データに基づき生成した基準面との差分を示したカラーマップである。図5はカラーマップのカラーバーと、検出された最大減肉深さ値、およびそれぞれの深さの出現割合%を示したものである。このデータでは、最大減肉深さ値は-2.24ミリメートル、-1ミリメートルより深い領域の割合は $2.48\% + 0.56\% + 0.06\% = 3.1\%$ であることが読み取れる。

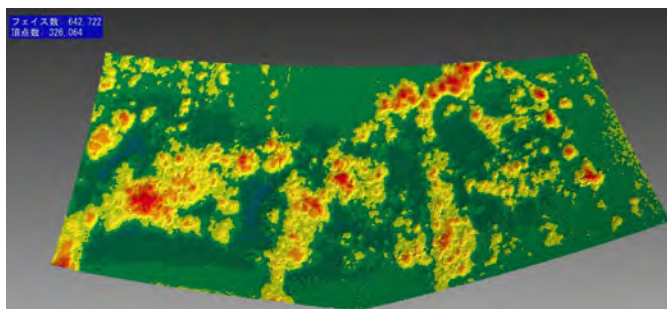


図4 鏡板表面腐食深さの解析結果

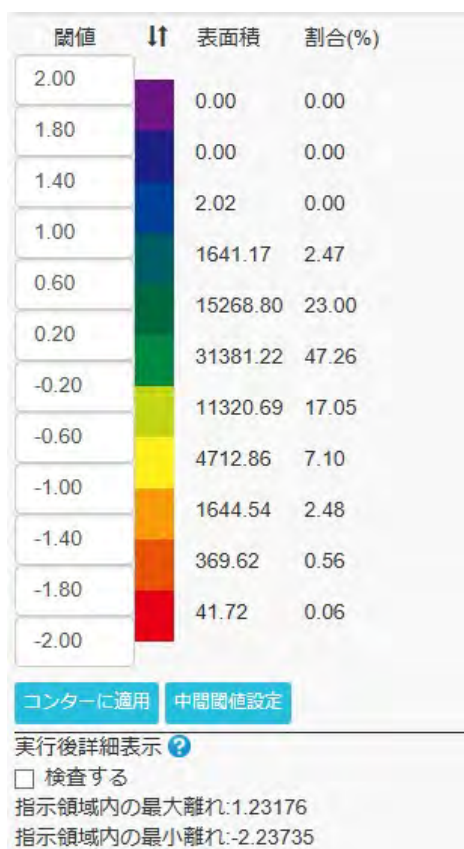


図5 解析結果に適用したカラーバー

WES の供用適性評価規格に基づいた評価を実施するには、詳細計測法に基づいた減肉深さを示すマトリクスデータが必要となる。図6は任意の格子サイズ(この事例では5ミリメートル)内の最大値を取り出して、図4と同じカラーバー図5を適用した図である。格子サイズは容器の設計肉厚の2倍以下にすることが求められているので注意が必要である。図7は図6の値(減肉深さ値)をCSV形式で出力したものに、エクセルのカラー表示を与えたものである。このデータをWES2820に基づいたソフトウェア¹³⁾に読み込み、容器の仕様データを入力することで供用適性評価を

実行することができる。

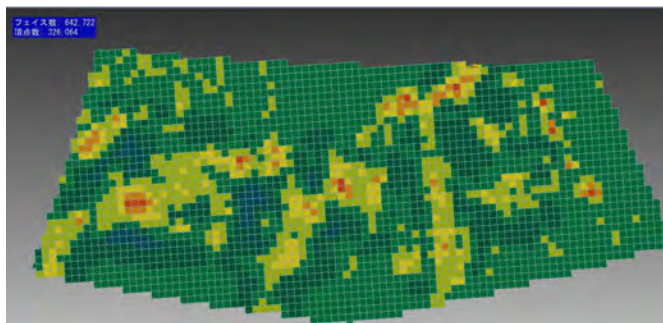


図6 鏡板表面腐食深さのヒートマップ
(5ミリメートル格子の中の最深値)

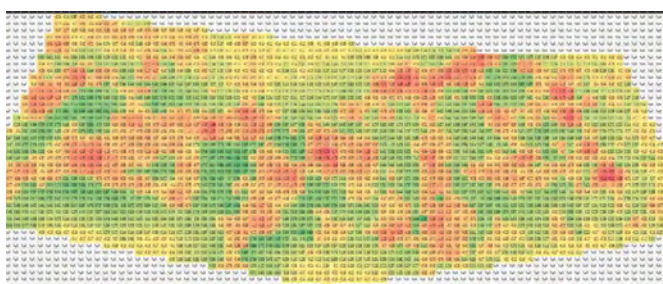


図7 鏡板表面腐食深さ値のマトリクス表示
(5ミリメートル格子の中の最深値をCSV形式で表示)

図8は供用適性評価ソフトウェア¹³⁾にて、評価対象となる鏡板の形状・材質・運転条件等を入力する画面である。図9は図7で表示されている腐食減肉深さデータをCSV形式ファイルで読み込み、評価を実行した画面である。この事例では、全面減肉法(詳細厚さ測定法)において、「供用可能」との診断結果を得られた。もし全面減肉法で「供用不可」となった場合、次の評価段階である「局部減肉法」に移り、図9下段の軸方向CTP(Critical Thickness Profile)、および、周方向CTPを利用して、残存肉厚データを利用した評価方法を行う。またこのソフトウェアでは将来腐食代を入れた評価も可能である。つまり年間の腐食進行速度を把握している場合、あと何年で検査をすべきか、その周期を具体的に把握することが可能である。

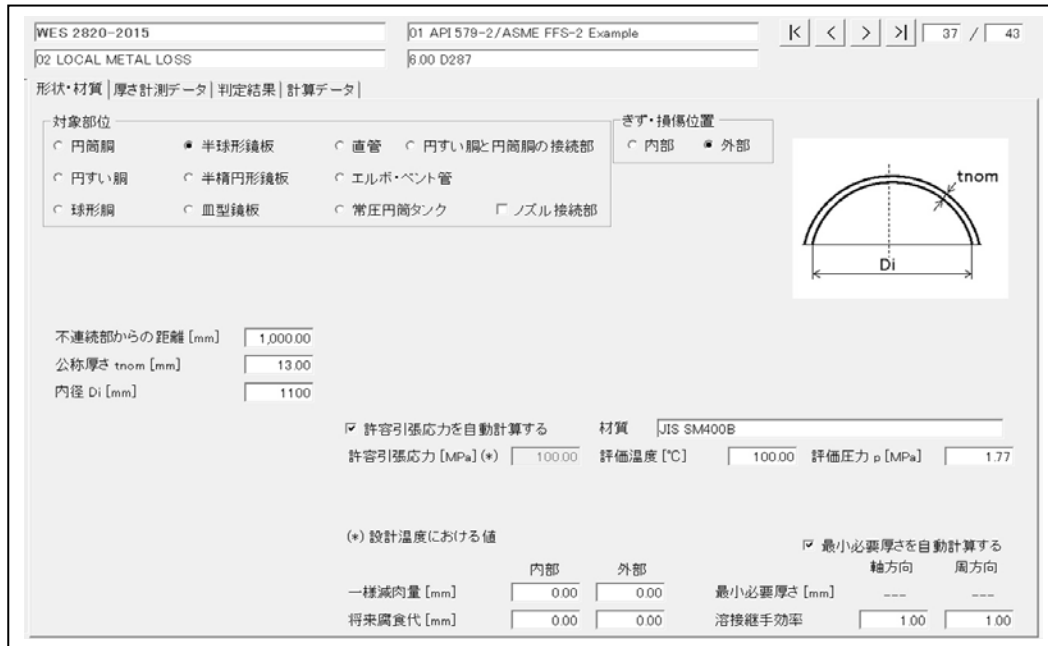


図8 供用適性評価ソフトウェアに、対象形状情報と運転条件を入力

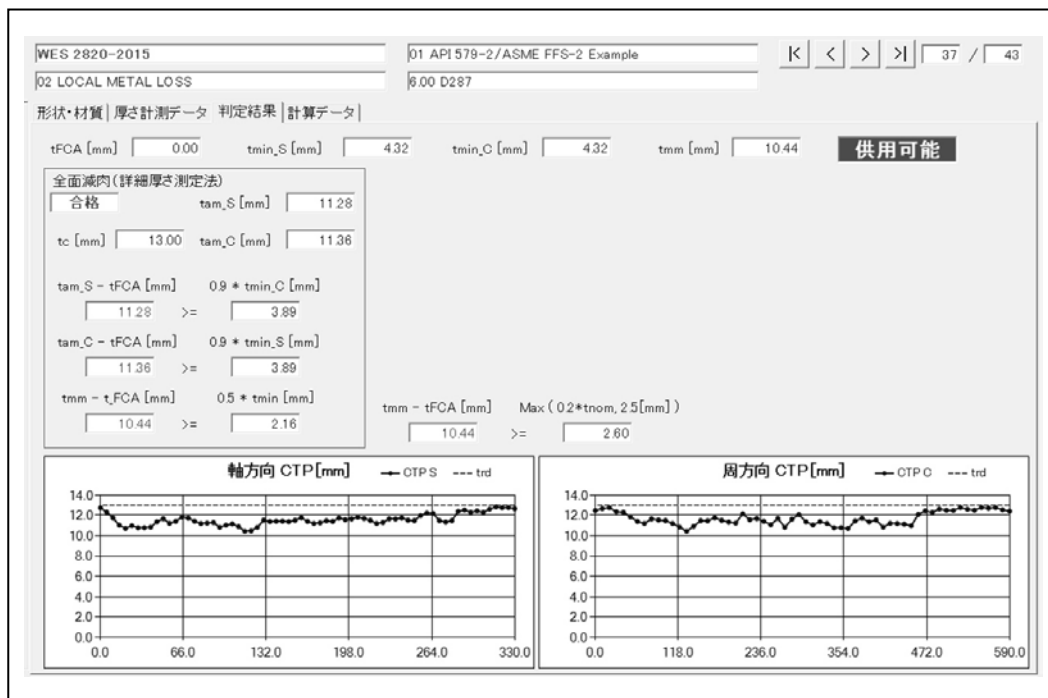


図9 供用適性評価結果

2. 亀裂(切れ込み)計測事例

図10は、カッターナイフで切れ込みを入れた部位を図2のマイクロスキャナーで計測し、生成された3Dデータを画面に表示したものである。3Dデータのメッシュ長さ(点群の点間距離)は、表1スキャナー仕様にある通り、0.05ミリメートル前後である。

図1、図2のどちらの装置も構造化光を投射し、そ

れが対象物に投影されてひずんだ画像を、装置内蔵のカメラで複数枚撮影し、行列演算をすることで対象物の三次元座標を得る。その方式は大きな分類では三角測量に該当するため、その三角形の底辺の長さに対象物の大きさは相関関係を持っている。つまり、対象物が小さい場合、三角形の底辺も短くする必要があるのである。図1の装置は、15センチメートル、図2の装置は数センチメートルである。

図2の装置が1回のスキャン操作で計測できる範囲は12ミリメートル四方だが、いったん計測ソフトウェアを取り続けることが可能となり、10センチメートルを超える長さの亀裂でも連続して計測することが可能である。

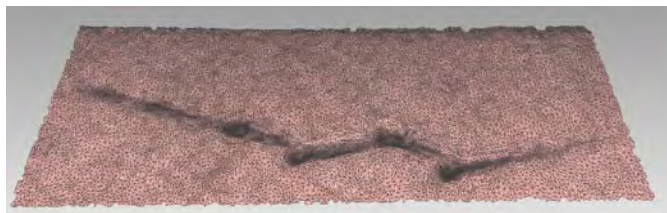


図10 亀裂(切れ込み)の3D 計測データ

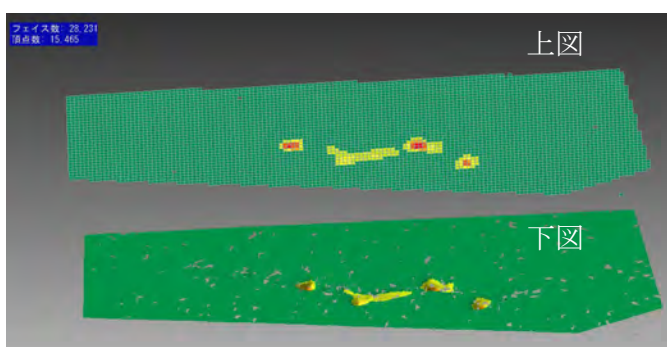


図11 亀裂深さのヒートマップ(上図:格子サイズ0.2mm)と深さのカラーマップ(下図)

図11は図4で利用した3D 解析ソフトウェア¹²⁾を使い、亀裂(切り込み)深さを0.2ミリメートル格子内の最大深さ(基準面からの離隔距離)に応じて色付けしたものの(ヒートマップ:図11の上図)と、点群単位で基準面との離隔距離をカラーで表現したカラーマップ(図11の下図)である。この時の基準面は、計測したデータのうち切り込みなどの変化の激しい特徴点を除外し、かつ計測データ面との距離が最小になるように最小二乗法を使って導かれた平面である。

図12は図11に適用したカラーバーである。このカラーバーは計測データと基準面との離隔距離の最大値(プラス側(盛り上がり)最大値)と最小値(マイナス側(深さ)最小値)を解析ソフトウェアが検出し、その範囲を10分割し、各範囲に入る格子面積とその割合を表示している。また、指定領域内の最小離れ(深さ方向の最大値)の検出値は0.846ミリメートルであることがわかる。

事例で示すようにマイクロスキャナーは、0.1ミリメ

が対象物の特徴量を検出すると、連続して3D 画像一ト以下以下の亀裂の検出に有効であり、その適用分野は以下に示す以外にも多数考えられる。

<マイクロスキャナー適用分野>

- コンクリート構造物のヘアクラック計測
- 溶接部の亀裂(表面に達している場合)
- ボイラーチューブの劣化
- タービンブレードの亀裂、等

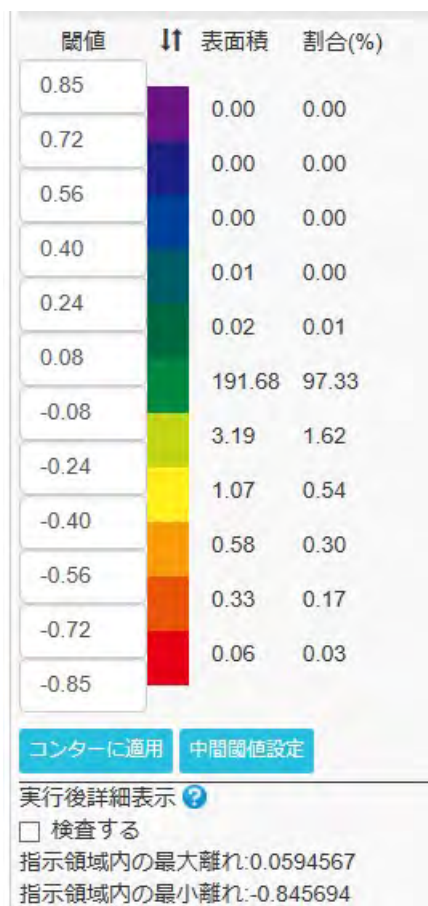


図12 解析結果に適用したカラーバー

最後に

本稿では、従来、腐食減肉深さを詳細に把握することが困難であった、鏡板のような形状でも、詳細に腐食減肉深さを数値化し、供用適性評価が可能であることを示した。また、ヘアクラックのような微小な損傷を精密に計測することが可能な装置の計測事例を紹介した。

これらの装置と解析システムが生産プラントや社

会インフラの安全性を高める保守業務に広く活用されることを期待している。

参考資料

- [1] KHK ウェブページ掲載文書へのリンク：
[16fuzokusho5B.pdf \(khk.or.jp\)](https://www.khk.or.jp/16fuzokusho5B.pdf)
- [2] UEL(株)社製 POLYGONALmeister へのリンク：www.biprogy-uel.co.jp/polygon/
- [3] (株)IMC 社製 uni-Fitness へのリンク：
www.jmuc.co.jp/imc/services/itsystem_uni_2.html