



タンク底部コーティング上からの溶接線検査装置の開発について

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構
備蓄企画部 担当審議役 土田 智彦

1. 目的・経緯

独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構（以下、JOGMEC）は、国の委託を受けて、我が国への石油の供給が不足する事態及び我が国における災害の発生により国内の特定の地域への石油の供給が不足する事態に備えて国が備蓄する国家備蓄石油、及び全国10箇所の国家石油備蓄基地（以下「国備基地」）の統合管理を行っている。

（JOGMEC ホームページ）https://www.jogmec.go.jp/library/stockpiling_oil_065.html

全国10基地には、特定屋外貯蔵タンクが総数193基あり、その維持管理費は基地操業経費の中で大きな割合を占めている。JOGMECでは国の委託を受けて、タンク維持管理費低減のため新技術等を取り入れた調査研究を実施してきている。

国備基地の特定屋外貯蔵タンクの底部には、ガラスフレークコーティングが施工されており、磁粉探傷試験（以下、MT）又は浸透探傷試験（以下、PT）によるタンク底部の溶接部検査のために、検査前にはコーティングの剥離、検査後にはコーティングを再塗装する必要があり工期・費用を要している。コーティング上からの溶接部検査が可能となれば、コーティングの剥離・再塗装が不要となり、タンク開放期間の短縮、施工費の削減等が見込まれる。

JOGMECは、このような背景の下、コーティング上からの溶接部検査手法としてフェーズドアレイ超音波探傷（以下、PA探傷）法について平成21年度から検討を開始し、平成30年度まで検証データを積み重ねた。

平成28年度から平成30年度には、消防庁に設置された「屋外貯蔵タンクの検査技術の高度化に係る調査検討会」（以下、消防庁検討会）において、JOGMECが積み重ねた検証データを基に調査検討が進められた。消防庁検討会の結論として、PA探傷法は原理的にコーティング上からの溶接欠陥を検出できるものであることを確認できた一方、実運用に供するにあたっては、以下の5つの課題をクリアすることが示された。

- ① 実タンクにおける検証データの不足
- ② 底板に裏面腐食がある場合の検出性能の検討
- ③ 傾きのある欠陥の検出性能の検討
- ④ 実用機の製作とその客観的な性能確認
- ⑤ 検査実施者の技能確保等の課題

※消防庁ホームページ 平成31年3月29日付け報道発表参照

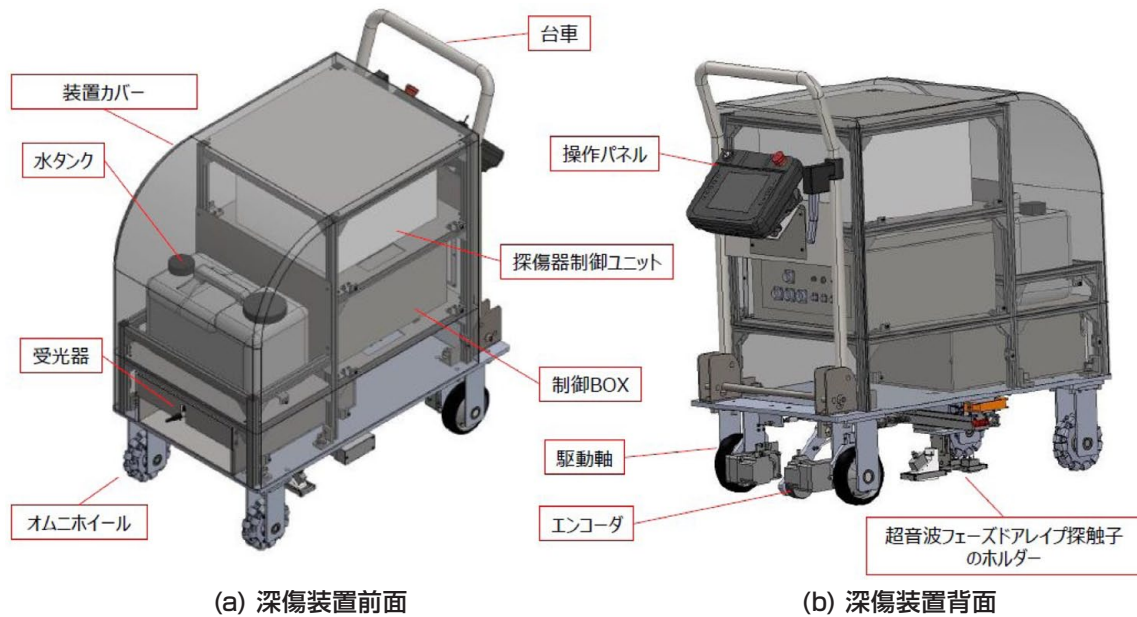
<https://www.fdma.go.jp/pressrelease/houdou/items/okugaitannku.pdf>

JOGMECでは、これらの課題を解決するため、経済産業省資源エネルギー庁の委託事業として、平成31年度から令和3年度の3か年で、「タンク開放検査の合理化に関する調査（コーティング上からの溶接線検査）」を実施した。委託先である危険物保安技術協会（以下、KHK）に、コーティング上からの溶接線検査に係る検討委員会（以下、検討委員会）を設置し、三原 毅先生（現 島根大学材料エネルギー学部 学部長）を座長として審議し、令和4年3月に報告書をまとめ、令和4年9月にKHKホームページに公開した。

<http://www.khk-syoubou.or.jp/guide/research2021.html>

JOGMECは、当該報告書をもって、コーティング上からの溶接線検査のためのPA探傷法を消防庁に提案し、消防庁より執務資料（令和4年9月2日付け消防危第195号。以下、令和4年消防危第195号）が発出され、PA探傷法は保安検査において付帯条件付きで、MT又はPTと同等と見なし差支えないとされた。

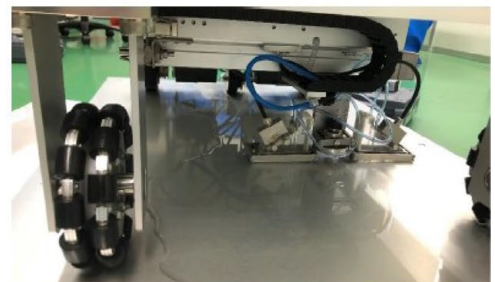
本稿では、消防庁委員会にて示された5つの課題及び調査過程で抽出された課題（「⑥SN比に関する検討」）について、検討結果の概要と今後の成果の活用について紹介する。



(a) カバー無し



(b) カバー有り



(c) 超音波フェーズドアレイ探触子ホルダー

図1 PA探傷装置の外観機器構成図及び写真

2. 課題に対する検討結果

(1) 実タンクにおける検証データの不足

ア. 実タンク特有の外乱要因の影響

実タンクにおける検証データを取得し、実運用における測定条件を整理した。また、溶接線開先に沿った内部きずと考えられる指示を確認した。

イ. 具体的な実績

令和3年11月8日～19日の間、むつ小川原国家石油備蓄基地（以下、むつ基地）において、実タンク特有の外乱要因の影響について確認し、適用における条件について整理した。また、検証した溶接線長75m程度（15m×5本）において、4箇所で指示を確認した。いずれの指示も溶接の開先に沿った深さ6mm～8mm程度の位置で確認された。4箇所のうち1箇所についてMTを実施したところ、指示は確認されなかった。

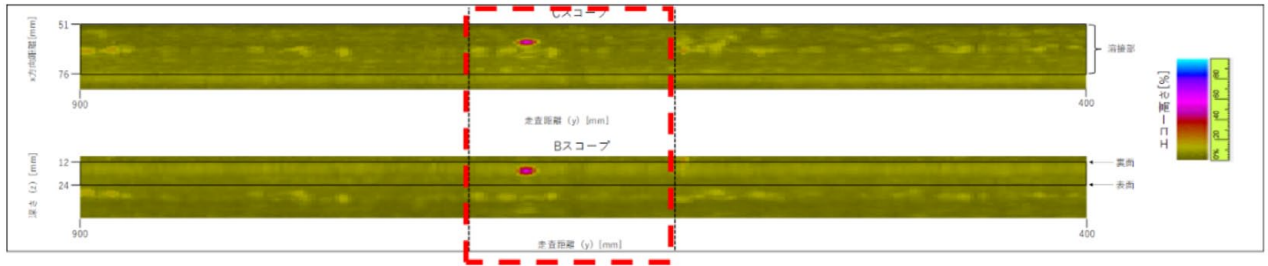


図2 むつ基地での自動探傷コンター図 (Cスコープ、Bスコープ)

イ. 実きずに対するPA探傷法の検出性

PA探傷法で実きずが検出されることを確認した。

(ア) 具体的な実績

- a. 平成29年度において、実きずを有する試験片を用いて、PA探傷法の実きずの検出性について周波数2.25MHzより優位である5MHzにおいて、試験片中の全ての表面割れ(2個)を検出した。
- b. 令和3年度において、実タンクの検証ではMTで検出可能な表層のきず指示が確認されなかったため、実きずを有する試験片を用いて、検出性を確認した。平成29年度と同様に周波数2.25MHzの条件で全ての表面割れ(8個)を検出した。
- c. 安全側の評価となることが確認されたシミュレーションにおいて、長さ4mm、深さ2mmの実きずを模したきずが検出可能であることを確認した。

(2) 底板の裏面腐食に対する探傷性能の検討

ア. 実タンク特有の外乱要因の影響

実タンクにおいて、裏面腐食の他に表面形状(内面減肉、塗膜の凹凸)、塗膜の膨れ等による影響について、カップリングチェック(透過方式)で確認した結果、エコーの低下を確認した。よって、裏面腐食以外の探傷性能への影響を考慮して、基準レベルが維持できるようにカップリングチェック機能を有することが必要であることを確認した。

(3) 傾ききずの検討

ア. 鉛直方向の傾き

対象とする角度範囲は、消防庁検討会報告書に基づき溶接開先に沿った傾き0~32.5deg.とした。その角度範囲内にある長さ4mm、深さ2mmの表層ノッチきずは検出可能であった。

イ. 水平方向の傾き

全方向を検出対象とすることは実運用上困難であった。よって、以下の付帯条件を設けることにより、溶接線方向の表面きずを対象とする効果的、効率的な溶接部検査について提案した。

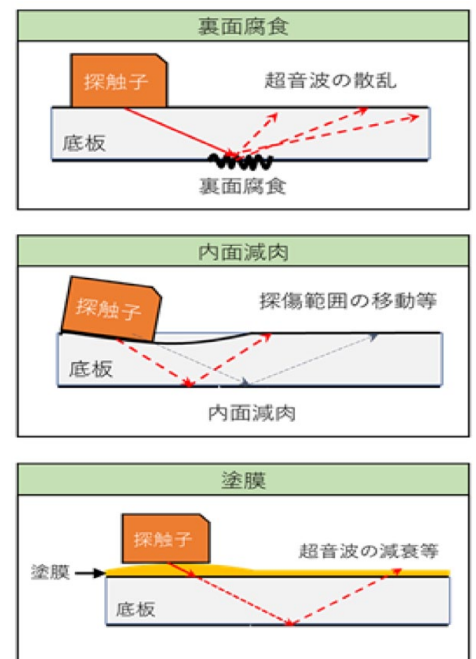


図3 実タンク特有の外乱要因例

適用する付帯条件

PA探傷法を適用する条件は、次に掲げるものとする。

1. 継手及び継手近傍の母材

- (1) 溶接施工方法確認試験で確認された方法で施工されたアニュラ板及び3交点を除く同板厚の突合せ継手であること。
- (2) (1)の接手を補修した場合は適切に管理されて施工されていること。

- (3) 過去に実施した開放点検のうち、MTを適用した直近の開放点検においては、当該試験が底部溶接線の全線に実施されていること。
- (4) 検出性能が確認された範囲の板厚及び継手形状を有すること。
2. コーティング
- (1) 溶接線近傍のコーティングが健全であること。
- (2) 性能が確認された膜厚の範囲内であること。
3. タンク
- (1) 特定屋外貯蔵タンクに構造上の影響を与える有害な変形がないこと。供用期間中に当該タンクの地域で震度6弱以上の地震の情報を得た場合は特に注意すること。
- (2) 年間の受入回数（空満の繰り返し回数）等からタンクの疲労度を整理する。
- (3) 底板全面に対して連続板厚測定を実施すること。
4. 検出する方向
- (1) 溶接線方向の欠陥を対象とする。ただし、次の要件を満足すること。
- ア. WES2805に基づく溶接欠陥の疲労亀裂進展性評価を行い、溶接線に直交する方向の欠陥が亀裂進展に対して、十分な余裕度を持つことを確認し、安全性を担保すること。
- イ. 応力腐食割れの発生要因の一つである腐食環境を排除するため、2(1)を満足すること。また、PA探傷法を適用する開放検査において、1(1)の接手を除く底部溶接継手で溶接線に直交する方向又は斜め方向の割れがないこと。

(4) 実用機としての製作やその客観的な性能確認（第三者機関の評価等）

ア. 実用機としての製作や性能確認

検証結果に基づいて探傷装置を製作し、図4の探触子基本配置において、探傷範囲内では長さ4mm、深さ2mmのきずを検出可能であることを確認した。また、適切な基準感度を設定した自動探傷は手動探傷と同等の探傷性能を有することを確認した。

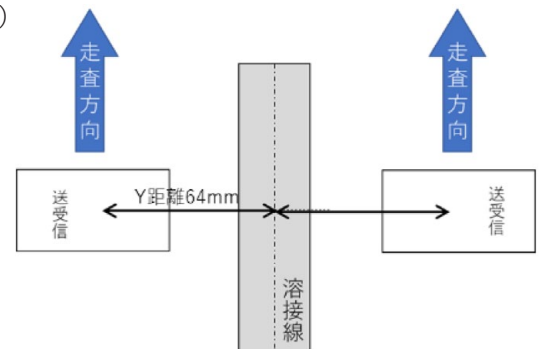


図4 探触子基本配置

イ. 探傷装置の客観的な性能確認

探傷装置として必要な要求性能や運用方法案についてまとめた。

(KHKホームページに公表 <http://www.khk-syoubou.or.jp/guide/research2021.html>)

なお、超音波探傷法によるコーティング上からの溶接部検査で用いる超音波探傷装置に要求される性能を担保するためには、タンクの全体構造、溶接施工、各種検査等に関する高度な専門技術が必要となることから、タンクについて高度な知見を有する第三者機関を活用することが望ましいと考えられる。

(5) PA探傷装置を用いた溶接部探傷実施者の技能レベルの確保

ア. 求められる技能レベル

PA探傷法を用いた溶接部検査の作業者においては、以下を満足する必要がある。

- ・JIS Z 2305「非破壊試験技術者」に記載されているUTのレベル2相当以上の資格を有していること。
- ・特定屋外貯蔵タンクの構造や溶接部のきずの発生状態、腐食発生実態、コーティング等に関する知識

(6) SN比に関する検討

2基の実タンクを対象に溶接線近傍の塗膜厚さを調査した結果、コーティング補修部では厚い傾向が確認され、PA探傷の際には、装置性能で確認された範囲内の塗膜厚さであるか事前に調査することが望ましいことが分かった。な

お、確認された最大塗膜厚さは1.8mm程度であった。

実タンクでの自動探傷を想定して、塗膜厚さ2mmの試験片を用いてSN比について検証した結果、概ね探傷可能であることが確認された。

3. 判定基準

検討委員会において、消防庁から示された判定基準は、現行の底部溶接部検査の基準と同様に「長さ4mm以下の実きずを検出可能であること」であった。令和3年度の検証において、長さ6mm、深さ3mmのノッチきずでY距離（溶接線中心と入射点間距離）64mmにおいて校正した条件では、きずのアスペクト比を同じとした長さ4mm、深さ2mmのきずが検出可能であり、求められる要求性能を満足していると考えられる。

4. おわりに

原子力発電機器や航空機から始まり、鉄鋼、火力発電機器、橋梁の一部等で工業利用されているPA探傷技術を、特定屋外貯蔵タンク底部溶接線の検査に適用可能となったことは非常に意義深いことと考える。

ここに至るまでには、検討項目の整理、室内実験、シミュレーションによるデータ積上げ、PA探傷装置の改造、及び実タンクでの実証試験などを実施し、これらの結果に基づき、検出性能に係る課題に対する回答を示した。また、検証結果や他の規格等を参考にPA探傷法によるコーティング上からの溶接部検査の適用に必要な付帯条件や要求性能等を検討し、検査制度に係る課題に対する回答を示すことができた。

JOGMECは、これにより、コーティング上からの溶接線検査のためのPA探傷法を消防庁に提案し、その結果、消防庁による令和4年消防危第195号の発出に至り、長年の調査検討の成果を消防庁通知に集約させることが出来た。

このような成果が得られたことは、三原先生をはじめとする貴重な意見を頂いた検討会委員各位、各種調整頂いたKHK事務局のご尽力によるところが大きく、深く感謝申し上げます。

JOGMECでは、現在、令和4年消防危第195号にて認められたPA探傷装置の性能確認方法として、KHKの性能評価を取得すべく申請準備中である。PA探傷装置の性能評価を取得した後は、国備基地の原油タンクの保安検査に適用し、検査データを蓄積して新技術の普及・情報発信に努めていきたい。

注) 本調査は、平成31年度から令和3年度の3か年の経済産業省資源エネルギー庁の委託事業として「タンク開放検査の合理化に関する調査（コーティング上からの溶接線検査）」において実施したものである。