

探傷画像逆解析手法の開発に係る分析ツール整備 仕様書

1. 一般仕様

1.1. 件名

「探傷画像逆解析手法の開発に係る分析ツール整備」

1.2. 目的及び概要

本仕様書は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）安全研究センター経年劣化研究グループの発注作業について記述するものである。原子力機構では、非破壊試験技術の高度化に向けて、機械学習を活用し、探傷画像データ等から欠陥の位置や大きさを逆解析で推定する分析ツールの整備を進めている。本作業では、この分析ツールの整備を行う。

1.3. 契約範囲

1.3.1. 契約範囲内

- 1) 分析ツールの整備
- 2) 報告書の作成

1.3.2. 契約範囲外

- 1.3.1 記載の契約範囲内に記載なきもの

1.4. 納期

令和 8 年 2 月 27 日（金）

1.5. 納入場所及び納入条件

1.5.1. 納入場所

茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究センター 経年劣化研究グループ

1.5.2. 納入条件

持込渡し

1.6. 検収条件

1.5 に示す納入場所に納入後、員数検査、外観検査及び 1.7 に定める提出物の合格をもって検収とする。

1.7. 提出物

1.7.1. 提出図書等

- | | |
|-------------------------|---------|
| (1) 作業報告書 | 納入時 3 部 |
| (2) (1)及び分析ツールを格納した電子媒体 | 〃 1 式 |
| (3) その他機構が必要とする書類 | 詳細は別途協議 |

1.7.2. 提出場所

原子力科学研究所 安全研究棟 西 319 号室

1.7.3. 報告書

報告書はワードプロセッサ (MS Word) 形式、A4 サイズを原則とし、図表等は A3 サイズの折込も可とする。

1.8. 貸与品

- ・ 設計書
- ・ 分析ツールのプロトタイプ
- ・ 以下を含む教師データ 1 式
 - 非破壊試験の対象構造物の情報 (形状、寸法、材料)
 - 非破壊試験の対象欠陥の情報 (欠陥の位置・寸法・形状)
 - 非破壊試験に関する情報 (超音波屈折角、探傷画像のコンターの範囲)
 - 欠陥の探傷画像

1.9. 品質管理

作業に当たっては、すべての工程において、以下の事項等について十分な品質管理を行うこととする。

- ・ 管理体制
- ・ 設計監理
- ・ 工程管理
- ・ 記録の保管

1.10. 安全管理

- ・ 作業計画に際し綿密かつ無理のない工程を組み、材料、労働安全対策等の準備を行い、作業の安全確保を最優先としつつ、迅速な進捗を図るものとする。また、作業遂行上既設物の保護及び第三者への損害防止にも留意し、必要な措置を講ずるとともに、火災その他の事故防止に努めるものとする。
- ・ 作業現場の安全衛生管理は、受注者の責任において自主的に行うこと。

1.11. 機密保持

受注者及び作業担当者は、本作業に関する情報を第 3 者に漏らしてはならない。

1.12. グリーン購入法の推進

- (1) 本契約において、グリーン購入法 (国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律) に適用する環境物品 (事務用品、OA 機器等) が発生する場合は、これを採用するものとする。
- (2) 本仕様に定める提出図書 (納入印刷物) については、グリーン購入法の基本方

針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.13. 協議

本作業を円滑に遂行するため、必要に応じて協議・打合せを実施するものとする。この協議・打合せの主要な内容は議事録として、打合せ後の2週間以内に提出すること。また、本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、原子力機構と協議の上、その決定に従うものとする。

1.14. 特記事項

1.14.1. 成果物の帰属等

この業務により作成された目的物に係わる著作権その他この目的物の使用、収益及び処分（複製、翻訳、翻案、変更、譲渡 貸与及び二次的著作物の利用を含む）に関する一切の権利は原子力機構に帰属するものとする。

1.15. 検査員

検査員

- (1) 一般検査 管財担当課長
- (2) 技術検査 経年劣化研究グループ員

2. 技術仕様

2.1 分析ツールの整備

機械学習を活用し、超音波探傷試験等の非破壊検査によって得られる探傷画像から亀裂などの欠陥の位置や寸法を推定する分析ツールを整備する。ツール整備は、原子力機構が貸与する設計書に基づき実施することとし、プロトタイプ開発において抽出された課題に対応すること。整備した分析ツールによる欠陥位置や寸法の推定精度については、原子力機構と協議の上、許容値を設定することとする。

2.1.1 開発環境

分析ツールの開発に当たっては、Microsoft Windows 11 で動作するようにすること。開発言語は、Python 3 とし、使用するライブラリ等の詳細については状況や必要に応じて適宜選択すること。

2.1.2 入力データ

原子力機構が貸与する以下の教師データを入力として使用する。

- ✓ 非破壊試験の対象構造物の情報（配管形状、寸法、材料）
- ✓ 非破壊試験に関する情報（超音波屈折角、超音波探傷画像のコンターの範囲）
- ✓ 探傷関連画像：
 - ・ 欠陥情報が描画されていない解析モデル画像
 - ・ 欠陥情報が描画されていない超音波探傷画像
 - ・ 欠陥情報が描画された解析モデル画像（学習における目的変数）

2.1.3 出力データ

整備する分析ツールの出力として、以下の情報を推定できるようにすること。

- ✓ 欠陥情報が描画された解析モデル画像（推定結果）
- ✓ 欠陥の位置（上記画像から算出）を表す数値情報
- ✓ 欠陥の寸法（上記画像から算出）を表す数値情報

2.1.4 機能要件

本ツールが備えるべき機能要件は、以下の通りである。なお、詳細については、原子力機構が貸与する設計書を参照すること。

2.1.4.1 教師データの前処理機能

- ✓ 文字列・数値データ及び画像データで構成される教師データに対して、必要な前処理を実施し、学習モデルに適した形式に変換する。
- ✓ 文字列・数値データの前処理方法：
 - ・ 決まったフォーマットの一覧表シートを持つ Excel ファイルとしてユーザーが事前に用意しておき、それを読み込む。
 - ・ データ内容をチェック（欠損値、異常値を発見）し、ユーザーにフィードバック。
 - ・ 配管形状や材料の文字列データは、エンコーディングを適用。
 - ・ 必要に応じて正規化・標準化を適用。

- ・
- ✓ 画像データの前処理方法：
 - ・ 画像のリサイズ： 学習モデルの入力サイズに適合させるため。
 - ・ コンター範囲に基づくグレースケール化及び正規化。
 - ・ ノイズ除去： 超音波探傷画像の上部模様の除外を選択的に実施。
 - ・ ポートする画像形式： .tif, .tiff, .png, .jpeg, .jpg, .bmp。

2.1.4.2 学習モデル作成機能

- ✓ 数値データと画像データを入力とし画像データを出力する、マルチモーダル（数値＋画像の入力）かつ画像生成可能な学習モデルのアーキテクチャ（学習の仕組み・構造）とする。
- ✓ 学習モデルへの入力データ：
 - ・ 対象構造物情報及び試験情報の数値（前処理済み。文字列データはエンコーディングにより数値化済み）
 - ・ 欠陥情報が描画されていない解析モデル画像（前処理済み）
 - ・ 欠陥情報が描画されていない超音波探傷画像（前処理済み）
 - ・ 欠陥情報が描画された解析モデル画像（前処理済み。学習における目的変数）
 - ・ 画像特徴量（前処理時に抽出した統計情報等）
- ✓ 学習モデルからの出力データ：
 - ・ 欠陥情報が描画された解析モデル画像（推定結果）
- ✓ 適応力： データの多様性や複雑性に対応できる柔軟性を有する。
- ✓ 解釈可能性： 出力結果を理解しやすく、必要に応じて結果を説明できる。
- ✓ スケーラビリティ： データの増加に対してスケーラブルに対応できる。
- ✓ 学習されたモデルはローカルに保存する。（欠陥推定の際はロードして使用）

2.1.4.3 作成した学習モデルの評価機能

- ✓ 前処理済みの教師データをランダムに学習データ、検証データ、テストデータに分割し、検証データ及びテストデータを使用して作成した学習モデルを定量的に評価する。
- ✓ 評価指標：
 - ・ 学習モデルのアーキテクチャ（学習の仕組み・構造）に基づいて適切な評価指標を選定し、数値出力及び図示する。
 - ・ 学習の収束状況、過学習傾向、推定精度の確認をできるようにする。
- ✓ 学習モデルの作成と一体となって実装する。（学習データで学習し、検証及びテストデータで評価する一連の処理）

2.1.4.4 作成済み学習モデルでの欠陥推定機能

- ✓ ローカルに保存した学習済みモデルを用いて、新規の入力データ（推定用データ）から欠陥情報が描画された解析モデル画像を生成する。
- ✓ その出力データである生成画像のピクセル情報を使用して、欠陥の位置及び寸法を算出する。
- ✓ 単独又は複数の入力データに対応する。（入力データが複数の場合は、対応する出力データも複数）
- ✓ 推定機能は、学習モデルの作成及び評価とは独立して実装する。

2.1.5 プロトタイプの問題

分析ツールの整備に当たっては、以下に示すプロトタイプ開発において確認された課題に対応すること。

- ✓ 課題 1：欠陥領域のセグメンテーション精度が低い。IoU や Dice 係数が極めて低く、推定マスクが実際と重ならない場合がある。
- ✓ 課題 2： 欠陥サイズ（面積）推定の誤差が大きい。推定された欠陥の面積が実際と大きく乖離する場合がある。
- ✓ 課題 3： 位置推定の精度が低い。推定された欠陥の重心やバウンディングボックスが実際と大きくずれる場合がある。
- ✓ 課題 4： 推定信頼度が 50%前後に集中し、分類判断が曖昧。推定結果の信頼度が閾値付近に集中し、欠陥有無の判断が曖昧である。
- ✓ 課題 5： 細長い・微細な欠陥の検出感度が低い。細長い形状や微細な欠陥が検出困難である。
- ✓ 課題 6： 推定画像のノイズが推定精度に悪影響を与える。微細なノイズが推定画像に含まれることでモデル推定の精度が低下する可能性がある。

2.2 報告書の作成

開発したツールの設計内容、環境構築方法、実行方法を報告書としてまとめる。

以上