

短期定検のための保全・検査技術

Maintenance and Inspection Technologies for Shorter Outage

株式会社 東芝 湯口 康弘 Yasuhiro YUGUCHI Member
株式会社 東芝 安達 弘幸 Hiroyuki ADACHI
株式会社 東芝 佐藤 美徳 Yoshinori SATOH
Westinghouse Electric Company Steve EVERETT
Westinghouse Electric Company Kevin FOLEY

A newly developed in-vessel visual inspection (IVVI) device designed to improve the quality of visual inspection in Boiling Water Reactors (BWRs) while providing significant critical path savings during refueling outages. And Super Resolution Visual Testing (VT) system enhances the inspection image resolution. The system assists the examiners under the condition of relatively faster scanning speed and longer work distance. The effectiveness of the time saving was qualified by the resolution testing with VT-1 characters.

Keywords: In-Vessel Visual Inspection, Delivery Tool, Image Processing

1. 緒言

プラント稼働率向上のため、定期検査の工期短縮が求められている。一方で、原子力発電プラントにおける応力腐食割れ事象 (SCC) の損傷事例の発生及び維持規格、新検査制度の導入に伴い、プラントの保全、補修、検査に係わる負荷は高まっている。これら必要となる保守作業を確実に、短時間で遂行するためには、クリチカル作業を分析し、①連続作業でしか実現できない最小の作業単位と、②それ以外の非クリチカルでも実施できる作業に分割する必要がある。そして、これらの作業は、クリチカル作業を優先して、それ以外の作業を相互に干渉しないよう並行作業を計画することが重要となる。また、これらの分割された個々の作業を短縮するのも極めて重要な取り組みである。

そこで、本発表では、沸騰水型原子炉(BWR)向けの炉内作業の並行作業化の取り組みとして、Westinghouse社で独自に開発され、これまで米国で Fig. 1 に示すようなジェットポンプ、炉心スプレイ (CS) 配管といった原子炉圧力容器(RPV)内部の炉内構造物の目視検査 (VT) に適用されてきた燃料交換中目視検査装置を示すとともに、同様に、VT の各プロセスにおける検査員による判定を助け、時間短縮を図ると共に、映像記録の保存、保管された映像の分析に活用できる超解像度目視検査システムを報告する。

2. 燃料交換中目視検査装置

欧米においては、炉内点検などの炉内保全工事は、定期検査工程の短縮のため、燃料交換等の炉内作業と並行で行われている。この燃料交換中目視検査装置は、Double Up Inspection Tool™あるいはDUIT™の名称で、米国Westinghouse社でBWR向けに開発されたものである。本節では、この装置の特徴、効果、適用実績を報告する。

2.1 特徴

この装置は、検査対象部位をジェットポンプ、CS配管、給水スパージャといった圧力容器内面近傍に据付けられた炉内構造物及びシュラウド上部胴内側のCSスパージャとして、シュラウド上に仮設されたレールに沿って全周走行する台車部とマスト式マニピュレータで構成されている。炉内に装置を設置後、附属の監視カメラによる作業監視の下、完全遠隔操作で目視検査を実施することができる。(Fig. 1 参照)

このため、炉内設置後の操作は、必ずしも炉上部に作業員が立つ必要なく、数名の操作員で装置を操縦し、VTを行う。また、レールを使用することによって、シュラウド超音波探傷装置などの別の炉内点検及び炉内作業と並行して作業を行うことができる。

連絡先:湯口康弘、〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町 8、
株式会社 東芝 磯子エンジニアリングセンター、電話:
045-770-2165、e-mail: yasuhiro.yuguchi@toshiba.co.jp

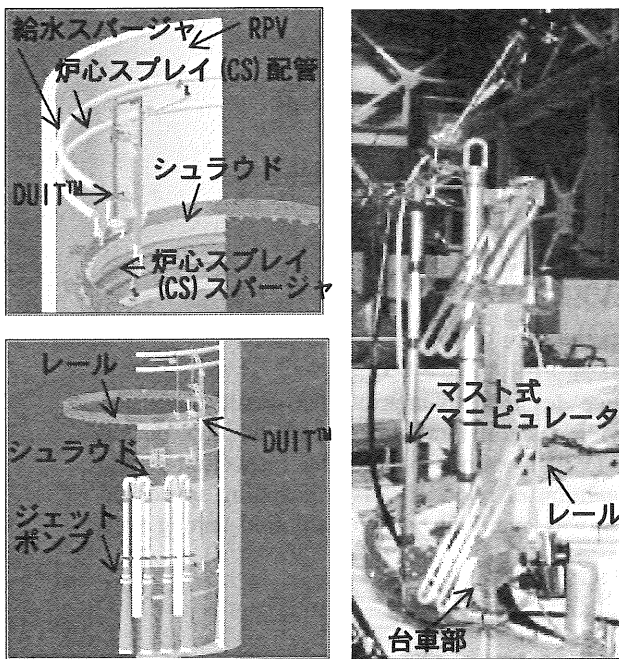


Fig. 1 DUIT™ tool.

2.2 効果

本装置を導入することにより、以下の効果を得ることができる。

- ・クリチカル時間を2~4日削減することができる。
- ・高品質の点検映像を提供することができる。
- ・設置後の操作の人工を削減することができる。
- ・他の炉内作業に干渉せずに並行作業が容易である。

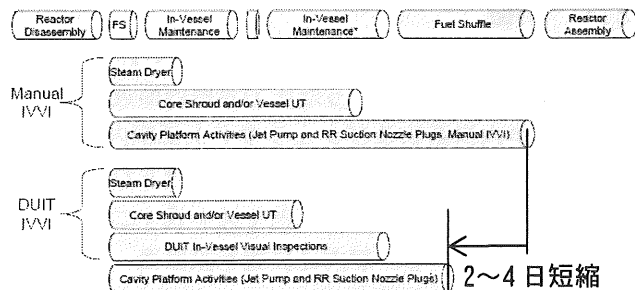


Fig. 2 Effectiveness of DUIT™

2.3 適用実績

本装置は、米国内の800 MWe級及び1,100 MWe級BWRのジェットポンプ、CS配管、給水スパーージャの目視点検に適用された実績を有する。以下に、各々のBWRプラントでの従来型のマニュアル操作による目視点検での想定時間に対する時間削減効果を示す。

Table 1 Field Experience

NPP Site	Year	Critical Time Saving
Brunswick	2004	66 hours
Brunswick	2006	72 hours
Nine Mile Point	2006	60 hours
Brunswick	2007	Off Critical
Columbia	2007	Off Critical
Brunswick	2008	Off Critical

3. 超解像度目視検査システム

維持規格に基づいて、多くの炉内構造物で遠隔操作によるVTが適用されている。ところが、インディケーションの判定のためには、カメラを接近させる、カメラの方向を変更する、カメラを静止させるという操作が求められ、インディケーションの判定を含め、作業時間に大きな影響を与えていた。本節では、この超解像度目視検査システム（超解像度VT）の原理と試験結果に基づく導入効果を報告する。

3.1 原理

超解像度は、元画像の解像度を超える画像を生成する画像処理である。つまり、動画像中の複数フレームのみを利用し、それ以外の情報の追加及び画像の加工を行わず、画像の解像度を向上させるものである。

まず、カメラの揺れや移動に伴い動画中の各フレーム画像に相対的な位置の変位が生じるが、これを一画素以下の分解能で計測する。次に、Fig.3に示すように、原画像の画素分解能以上の超解像度グリッド上に再配置する。そして、その超解像度グリッド上に再配置した複数フレームの輝度の重複から、細分化された画素毎の輝度に対して統計処理を行って、より空間分解能が高い静止画を生成する。

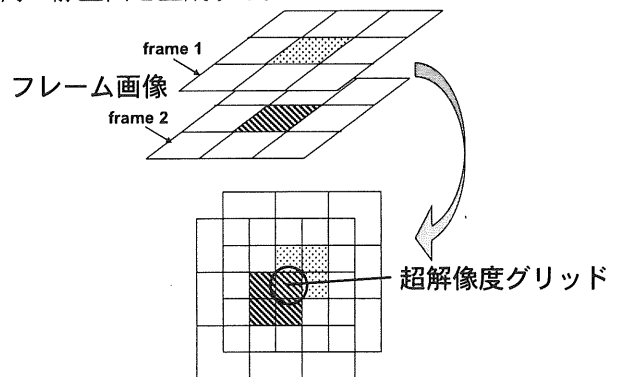


Fig. 3 Principal of Super Resolution

3.2 試験方法

超解像度 VT の適用効果を明らかにするため、本システムを用いた場合の性能評価試験を行った。試験は、Fig.4 に示す構成で行われ、38 万画素アナログ CCD カメラ、8mm 固定焦点レンズが用いられた。

ASME Sec. XI の目視試験方法の規定のうち VT-1 試験では、1.1 mm 高さの小文字のアルファベットに対する視認性が求められている[2]。この試験方法に従って、撮影距離 (WD) とカメラの走査速度が視認性に与える影響を定量的に評価した。この試験での効果の定量化の指標として、試験者が正しく判読した文字数の割合 (可読率) を評価した。まず、カメラ距離 (WD) の影響を評価するため、対象面からカメラのレンズ表面までの距離を 75mm~200mm の範囲で 3 名の試験員による可読率の測定試験を行った。また、カメラの動作速度の影響を調査するため、XY ステージにて被試験体を一定速度で走行させたときの可読率も同様に評価した。

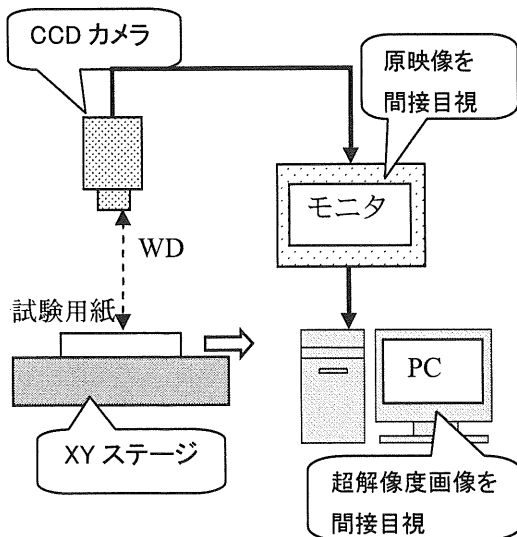


Fig.4 Test configuration

3.3 試験結果

Fig.5 に超解像度処理前後の映像と Fig.6 及び Fig.7 に各々撮影距離と視認性の試験結果、走査速度と視認性の試験結果を示す。この結果から、カメラ距離が離れても、あるいは、カメラの相対速度が比較的大きくても、従来の VT 画像と比較して、視認性の低下を抑制できることが分かった。

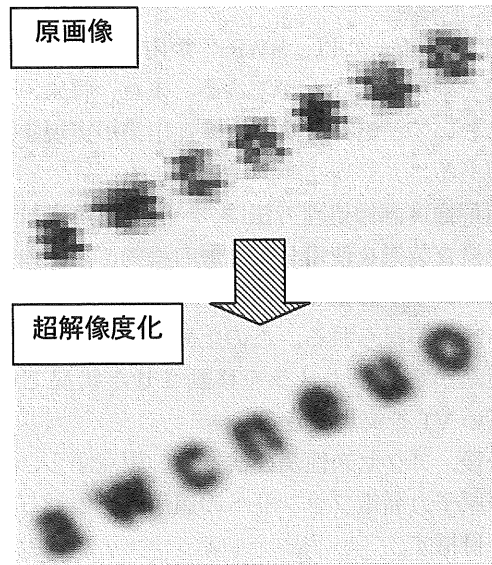


Fig.5 Super Resolution of VT-1 Characters

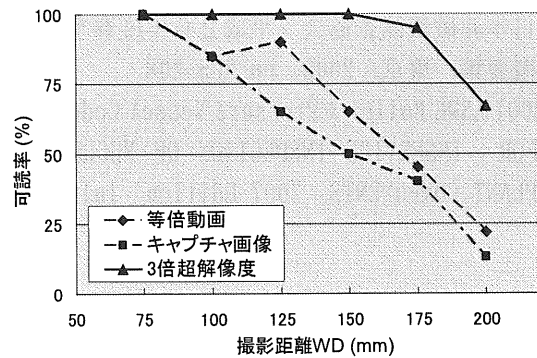


Fig.6 Super Resolution of VT-1 Characters (Scanning Speed: 10 mm/s)

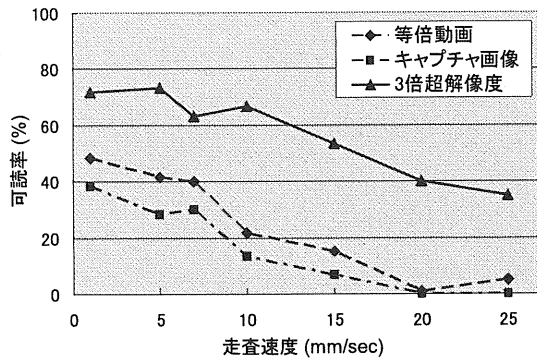


Fig.7 Super Resolution of VT-1 Characters (Work Distance: 20 mm)

4. 結言

- 1) DUITTM ツールは、BWR の炉内構造物の VT 作業時間を削減することができる。また、将来、日本国内において、燃料交換中の検査作業が実現する可能性がある。
- 2) 超解像度画像処理方法は、一般に使用されている目視検査装置を使用して、炉内流動、装置の操作によるカメラが静止しない状況下において、解像度が高い映像が得られる。このため、従来の VT よりも遠距離から及びカメラを移動させた状況でも品質の高い VT を実現できる。
- 3) 今後、アクセス性及び検査性の観点から、日本国内の原子力発電プラントへの適用性を検討し、実用化を目指す。

参考文献

- [1] 佐藤美徳 他, “超解像度を用いた炉内目視検査”, 日本非破壊検査協会 平成20年度春季大会講演概要集、東京、2008、pp. 205-208.
- [2] 2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code XI RULES FOR INSERVICE INSPECTION OF NUCLEAR POWER PLANT COMPONENTS, 2007 Edition, July 1, 2007

Double Up Inspection ToolTM 及び DUITTM は米国 Westinghouse Electric Company の登録商標である。