

燃料交換と炉内レーザーピーニング施工の並行化 -定検短縮を実現する炉内保全への取り組み-

Study on availability of laser peening during refueling work
- Preventive maintenance to shorten outage period-

株式会社 東芝	安達 弘幸	Hiroyuki ADACHI
株式会社 東芝	山本 智	Satoshi YAMAMOTO Member
株式会社 東芝	山賀 悟	Satoru YAMAGA
株式会社 東芝	上原 拓也	Takuya UEHARA

Laser peening is a surface enhancement process that introduces compressive residual stress on materials by irradiating laser pulses under aqueous environment. The process utilizes the impulsive effect of high-pressure plasma generated by ablative interaction of each laser pulse. It is very beneficial to shorten outage period if laser peening is available during refueling work. It is confirmed that laser peening can be available in the situation by experiment and analysis. This report describes detail of these experiment and analysis.

Keywords: BWR, PWR, Preventive maintenance, Stress corrosion cracking (SCC), Laser peening

1. 緒言

原子力発電所の稼働率向上などの観点から、定期検査の作業ステップを改善あるいは合理化し、定期検査に要する期間を短縮することが望まれている[1]。

沸騰水型原子炉（BWR）における現在の定期検査の工程を見ると、はじめに燃料の移動や交換に要する時間があり、原子炉内部に関わる作業はこの作業の完了を待って行われている。特に、原子炉内機器の大規模な保全工事では、より多くの燃料を炉外に取り出す必要があり、この時間も含めて定検期間が長くなる傾向にある。

したがって、この燃料移動、交換中に炉内機器に対する保全や点検作業が並行して実施できれば、定期検査期間の大幅な短縮が期待できる。

東芝では、この期待に応えるべく、レーザーを利用した独自の炉内保全技術を、燃料移動、交換中に適用するための検討を行った。

ここでは、燃料の移動や交換作業と並行して炉内構造物に対してレーザーピーニングを施工する場合に、炉内核計装系に与える影響や、高線量雰囲気におけるピーニング装置の健全性について確認した結果を紹介する。

連絡先：安達弘幸，〒235-8523 神奈川県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 原子力機器設計部 容器・構造設計担当，電話：045-770-2165，e-mail:hiroyuki2.adachi@toshiba.co.jp

2. 燃料交換作業と並行したレーザーピーニング施工の実現に向けた課題

燃料の移動や交換作業と並行して炉内構造物に対してレーザーピーニングを施工する場合、燃料が炉内に装荷された状態でのピーニング作業となること、および、燃料交換機が稼働している中での作業となるため狭隘部での作業となること、から以下の項目について検討する必要がある。

- 1) 狭隘部での作業を可能とするために、レーザーピーニングシステムを小型化する必要がある。
- 2) 高線量環境雰囲気においてレーザーピーニングシステムの動作が正常に行えることを確認する必要がある。
- 3) レーザパルス照射により、炉内核計装系にプラント管理に影響を及ぼすような信号ノイズが生じないことを確認する必要がある。

3. レーザーピーニング装置の小型化

レーザーを短パルス化し、ピーク出力密度を高めて金属材料表面に照射すると、材料の表面に高圧のプラズマが発生する（Fig. 1）。この圧力により材料のごく表面がわずかに塑性変形して周囲に伸展しようとするが、材料内部の未変形部分の拘束により実際には変形できないため、材料表面に高い圧縮残留応力が形成される[2][3][4][5]。

典型的な条件下ではステンレス鋼，ニッケル基合金などの材料によらず深さ1 mm程度まで圧縮応力を形成できることが確認されている。600系ニッケル基合金に対する応力改善の結果の例を Fig. 2 に示す[6]。

また，これまでに，レーザピーニング施工が材料に対して悪影響を及ぼさないこと，炉内構造物表面に微小なき裂がある部位へ施工しても，き裂を進展させるような影響はないことが確認されている。

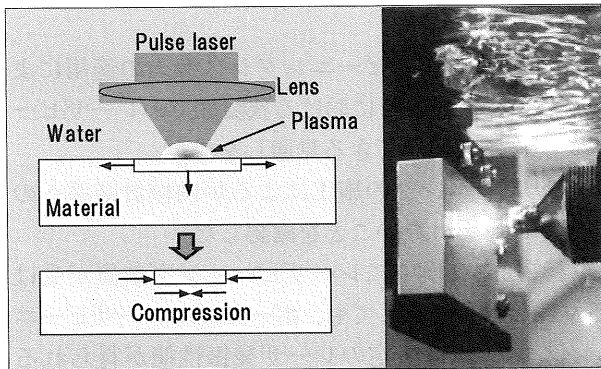


Fig. 1 Basic process of laser peening

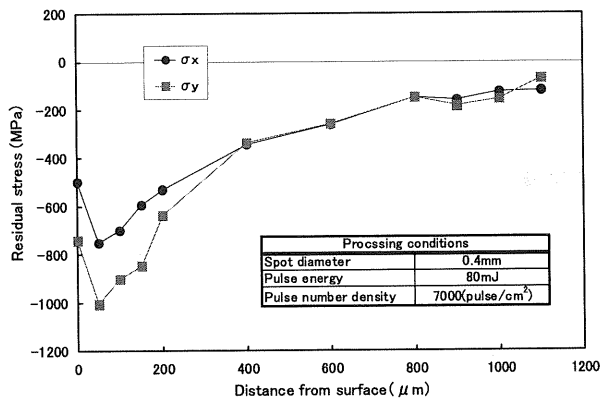


Fig. 2 Residual stress depth distribution for Inconel 600.

昨今，原子炉内に投入可能な水密構造であることを特徴とする小型レーザ発振器を用いたレーザピーニングシステムが開発された。本レーザピーニングシステムは以下のような特長を有する。

- 1) 発振器から施工部までの空間伝送方式とすることにより焦点裕度を広く取れる。
- 2) 空間モードが良いため照射距離や照射スポット形状の設定に自由度が高い（照射プロセスの改善が可能）。
- 3) 小規模の工事から複数台同時施工による大規模工事まで柔軟に対応できる。

- 4) オペレーションフロア上に設置する設備を小型化でき，省スペースと準備時間短縮が図れる。

レンズから照射点までの距離が長く取れ，またレンズが照射ヘッド内で動くことにより焦点調整ができるため，炉内構造物との干渉を回避し易いなど施工時の裕度が大きく向上する。更に，レーザビーム供給の制限がなくなったことから，従来は2系統までしかできなかった同時施工が，4箇所でも可能となった。

BWR 炉底部をターゲットにしたポータブルレーザピーニングシステムの概念図を Fig. 3 に示す。

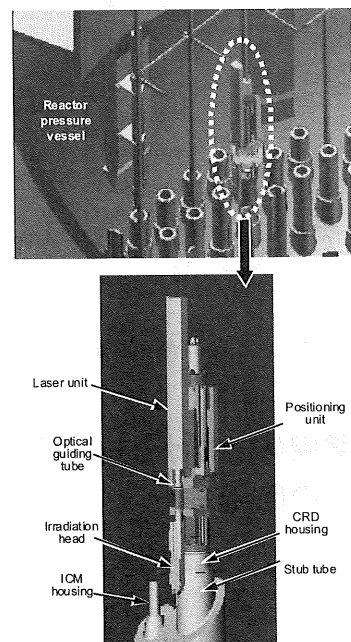


Fig. 3 Portable laser peening system

4. 炉内核計装系に与えるレーザピーニングの影響についての確認

燃料交換や移動中に，炉内に燃料がある状態でレーザピーニングを施工した際に，発生するノイズが炉内核計装系に与える影響の有無について確認する必要がある。すなわち，レーザピーニングを施工することにより，炉内核計装系が検出するノイズの程度が原子炉の状態を監視する上で問題にならないレベルであることが重要である。そこで，東芝の原子炉压力容器模擬タンクに実機とほぼ同等な仕様であるレーザピーニング装置，起動領域モニタ検出器およびドライチューブを設置し，実機と同じ型式であるケーブル，プリアンプおよび起動領域モニタ監視ユニットを用いて，レー

ザピーニングの施工が炉内核計装系に与える影響の評価を行った (Fig. 4)。試験の結果、レーザーピーニングを施工しても発生するノイズは極めて小さく、施工した場合と施工しない場合において検出されるノイズ信号のレベルに有意な差異は確認されなかった。これにより、レーザーピーニングの施工による原子炉の状態監視機能への影響はないことを確認した。

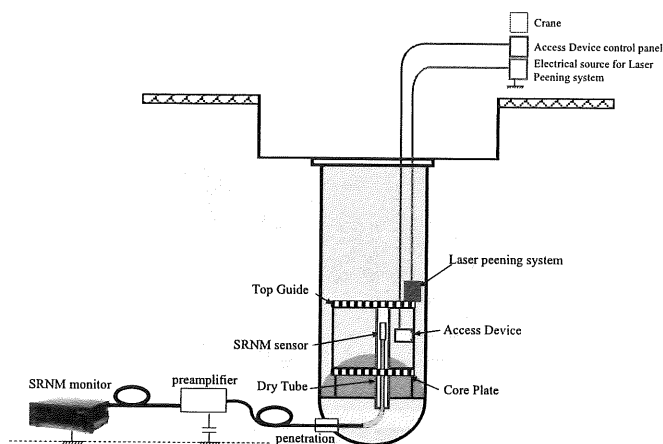


Fig. 4 Overview of Mock up facility

5. 高線量雰囲気におけるレーザーピーニングシステムの健全性

炉内に燃料が装荷されているような高線量雰囲気において、ポータブルレーザーピーニングシステムを使用する場合、水中にレーザー発振器が設置されるため、 γ 線（線量率）が装置に与える影響が懸念される。そこで、施工中の炉内の状況において、ポータブルレーザーピーニングシステムの設置を計画している位置の γ 線線量率を解析により求めるとともに、その条件下におけるレーザー発振器の耐放射線性能を試験により評価した。

γ 線線量率の解析から、ポータブルレーザーピーニングシステムを設置する計画の位置における線量率は10Gy/h程度であった。この値に基づき、 γ 線照射施設において線量率10Gy/hおよび20Gy/hの条件で実機レーザー発振器による発振試験を行った結果、想定される積算線量において、レーザー出力の低下等、 γ 線照射によるレーザー発振器の性能への影響は現れなかった。

6. 結言

- 1) ポータブルレーザーピーニングシステムの適用により、燃料交換作業時における狭隘部でのレーザーピーニング施工を実現できる見通しを得た。
- 2) レーザーピーニングの施工による炉内核計装系へのノイズの影響はないことを確認した。
- 3) 燃料移動や交換中にレーザーピーニング装置が受ける γ 線照射を考慮しても、ポータブルレーザーピーニングシステムは所定のレーザー発振性能が得られることを確認した。
- 4) 1), 2), 3)より、燃料交換や移動中、炉内に燃料がある状態においても、炉内構造物に対するレーザーピーニング工法が成立する見通しを得た。

参考文献

- [1] 原子力委員会, 平成21年版 原子力白書 (平成21年3月).
- [2] 山本哲夫, 他, 保全学, 38, Vol.3 (ISSN 1348-7795, 2004)
- [3] Y. Sano et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 121, 432 (1997).
- [4] 佐野雄二, 他, 日本原子力学会誌, 42, 567 (2000).
- [5] 佐野雄二, 他, 溶接技術, 平成17年5月号.
- [6] 小畑稔, 他, 日本材料学会第53期学術講演会論文集, 51, (2004)