

# 水中レーザ溶接装置の開発

## Development of Underwater Laser Beam Welding Equipment

(株)東芝	徳永 泰明	Yasuaki TOKUNAGA	Non-Member
(株)東芝	千田 格	Itaru CHIDA	Non-Member
(株)東芝	椎原 克典	Katsunori SHIHARA	Non-Member
(株)東芝	田村 雅貴	Masataka TAMURA	Non-Member
(株)東芝	福田 健	Takeshi FUKUDA	Non-Member
(株)東芝	前原 剛	Takeshi MAEHARA	Non-Member
(株)東芝	依田 正樹	Masaki YODA	Non-Member

Toshiba has developed various laser-based maintenance and repair technologies and already applied to nuclear power plants. Laser beam welding technology has been developed as an SCC countermeasure for aged components in PWRs and BWRs. This technology can also be used underwater by blowing shielding gas for creating a local dry area. This welding equipment has damage detecting function of optical elements such as windows and optical fiber cables, and the laser beam spot position and diameter can be adjusted. These designs have improved safety and welding quality. In this report, the outline of the underwater laser beam welding for Reactor Coolant System nozzles of PWRs are presented, especially focused on the device configurations.

**Keywords:** Underwater Laser Beam Welding, PWR

### 1. はじめに

近年、国内外の経年化 PWR プラントの冷却材出入口 (RCS) 管台異材溶接継手部には、応力腐食割れ (SCC) の発生が確認されており、当該部位の予防保全・補修溶接の必要性が高まっている。

東芝は、これまでにレーザを用いた原子炉内構造物向けのさまざまな予防保全、補修技術を開発し、国内の加圧水型原子炉 (PWR) 及び沸騰水型原子炉 (BWR) プラントに適用してきた。上記 RCS 管台の予防保全、補修に対応するものとして、東芝は Fig.1 に示すような、水中で施工可能な、レーザを用いた溶接工法を開発した[1] [2] [3]。シールドガス (Ar) を供給することで、溶接施工部に局所的な空洞を形成する。その空洞内で、レーザ光を照射しながらフィラーワイヤを供給することで溶接する。本工法では、炉水を抜く必要が無く遠隔で施工が可能なため、工期短縮、被ばく低減の点でメリットがある。

本研究では、PWR の RCS 管台を対象とした、水中レーザ溶接による予防保全、補修技術開発の中で、特に装置の構成を中心に報告する。

連絡先: 徳永泰明、〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町8  
(株) 東芝、電話 : 045-770-2307、  
E-mail: yasuaki.tokunaga@toshiba.co.jp

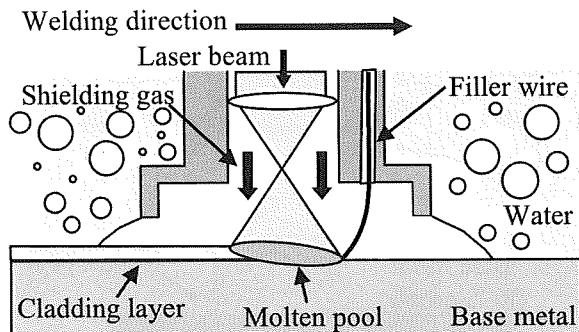


Fig.1 Schematic of underwater laser beam welding

### 2. レーザ溶接ヘッド光学系構成

レーザ溶接ヘッドの概観図を Fig.2 に示す。レーザ発振器からレーザビーム (波長 1070nm) を出力し、光ファイバケーブルを伝送させてレーザ溶接ヘッド内へ入射している。ミラーで反射してレーザビームの方向を変え、レンズで集光させて管台へ照射する。溶接品質の管理上、フィラーワイヤに対するレーザビームのスポット位置と径が重要である。そこで、上記のミラー方向とレンズ位置を変えることで、スポット位置と径を調整しできている。

溶接施工部からの光をダイクロイックミラーで反射し、

フィルタを通してカメラへ入れることで、溶接施工部の観察が可能であり、溶接前の位置調整や溶接中の状態を確認することができる。

一般的に、溶接中にはスパッタなどの異物が発生する可能性がある。仮にそれらがウインドウといった光学部品の表面に付着すると、レーザビームに対する光学部品の吸収率が上昇する。すると、レーザ溶接ヘッド出口でのレーザ出力低下や光学機器の焼損の原因となり、さらには溶接欠陥の原因となりうる。そこで、カメラの前に移動式のレンズを挿入して焦点位置を変え、保護窓ガラスやダイクロイックミラーといった光学部品の表面を観察できるようにした。そうすることで、光学部品の表面に付着した異物を検知して、溶接欠陥が発生する前に対処することが可能となる。

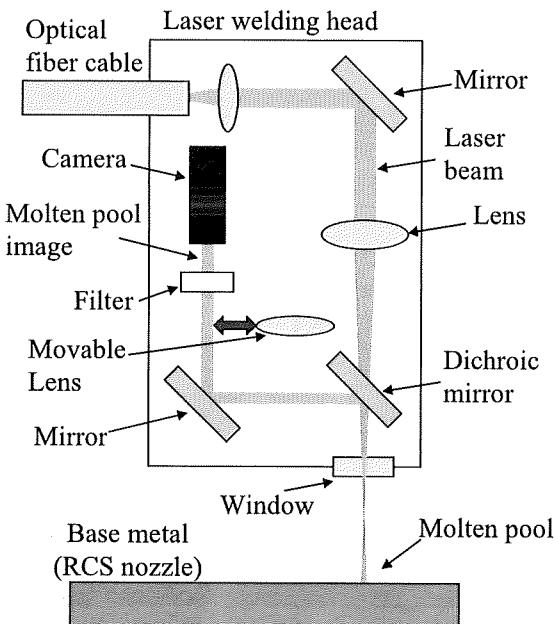


Fig.2 Arrangement of optical elements in welding head

### 3. 水中レーザ溶接装置

PWR の RCS 管台向けの水中レーザ溶接システムの構成を Fig.3 に、水中レーザ溶接装置の外観を Fig.4 に示す。

150m と 50m の 2 本の光ファイバケーブルと、2 つの中継器を介して溶接装置とレーザ発振器を接続しており、発振器から 200m 離れた位置で溶接施工が可能である。中継器には、光ファイバケーブルの破損を検知する機能を持たせてあり、高出力のレーザビームが漏れ出さないような安全設計となっている。

溶接装置は、回転しながらレーザ光を射出し、管台内面全周を溶接できる。

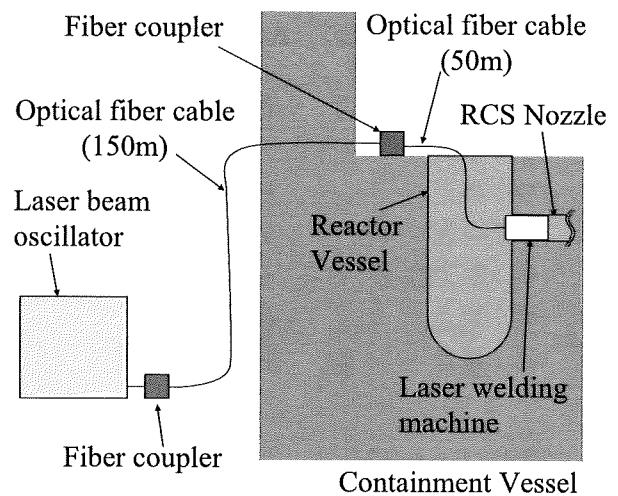


Fig.3 System configuration of underwater laser beam welding for PWR RCS nozzle

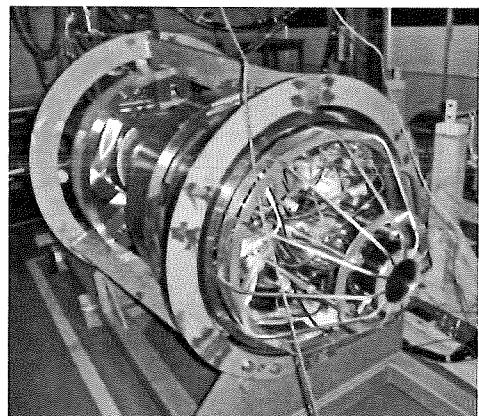


Fig.4 Appearance of laser welding machine

レーザ発振器を放射線管理区域に設置する必要が無いので、オペフロ占有スペース低減、工程短縮、放射線管理の観点でメリットがある。また、光ファイバケーブルを 2 本に分けることで、原子炉容器へ入れる 50m の防水光ファイバケーブルを管理区域外から引き回す必要がなくなるため、光ファイバケーブルを破損して防水性を損なうリスクを低減している。

### 4. 溶接装置検証試験

PWR の RCS 管台の溶接施工部の形状を模擬した低合金鋼から成る試験片（内径  $\phi 700\text{mm}$  の円筒形状に、深さ 4mm の溝加工）に対して、溶接装置を用いて水中レーザ溶接の検証試験を行った。なお、溶加材は 690 系合金を使用した。Fig.5 に管台内面施工部の外観を、Fig.6 に溶接部の断面マクロ観察結果を、Fig.7 に Fig.6 の A 部の断面

ミクロ観察結果を示す。溶接ビードは光沢面を呈し、表面に有害な欠陥は認められず、浸透探傷試験でも有意な指示模様なかった。また、溶接部の内部にも有害な欠陥は認められず、健全な溶接であることが確認できた。

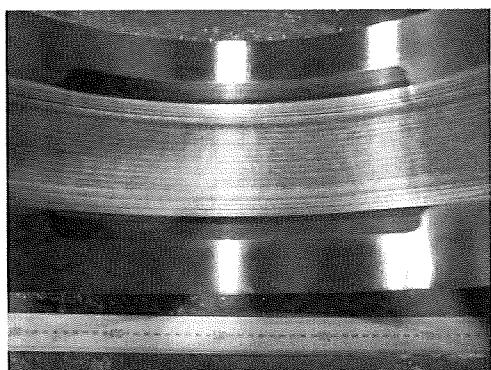


Fig.5 Weld bead on inner surface of test nozzle

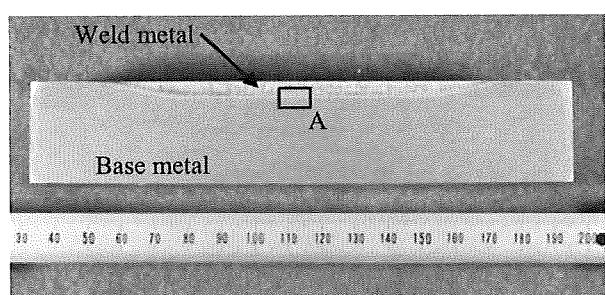


Fig.6 Cross-sectional observation of test nozzle

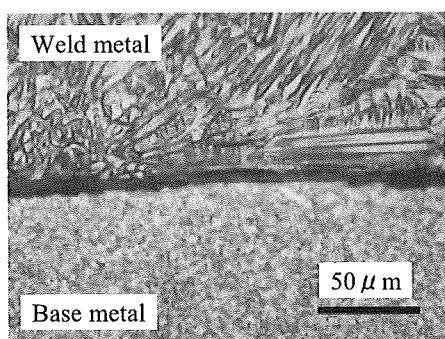


Fig.7 Microstructure of the area "A" in Fig.6

## 5. まとめ

PWR の RCS 管台予防保全、補修について、溶接品質を確保できるように、レーザビームの位置とスポット径を調整する機能、光学部品観察機能を持った溶接ヘッドを開発した。また、工期、コスト、被ばく線量の点でメリットの大きい水中レーザ溶接のシステムを構築した。

PWR 実機管台を模擬した試験片に対して溶接施工試験を行い、健全な溶接施工が可能であることを確認した。

## 参考文献

- [1] M. Tamura, et al, "Development of Underwater Laser Cladding and Underwater Laser Seal Welding Technique for Reactor Components", ICONE13-50141, Beijing, China, 2005
- [2] 福田他, “水中レーザによるテンパービード溶接技術の開発”, 日本保全学会 第7回学術講演会、静岡、2010
- [3] 千田他, “原子力プラント向けレーザ溶接技術に関する研究”, 第16回動力・エネルギー技術シンポジウム、大阪、2011

(平成 23 年 8 月 12 日)