

# 多機能レーザ溶接ヘッドの開発 (第1報)

## — 水中レーザ溶接の基本特性評価 —

Development of Multifunction Laser Welding Head (1)  
- Evaluation of Under Water Laser Welding with Multifunction Laser Welding Head -

|         |       |                  |            |
|---------|-------|------------------|------------|
| 株式会社 東芝 | 河野 渉  | Wataru KONO      | Non Member |
|         | 千田 格  | Itaru CHIDA      | Non Member |
|         | 三浦 崇広 | Takahiro MIURA   | Non Member |
|         | 依田 正樹 | Masaki YODA      | Non Member |
|         | 牧野 吉延 | Yoshinobu MAKINO | Non Member |
|         | 日野 武久 | Takehisa HINO    | Non Member |

Multifunction laser welding head has been developed. The head is able to perform not only underwater laser welding as repair, but also laser peening as preventive maintenance and laser ultrasonic testing as inspection. Laser transmission test with multifunction laser welding head and optical fiber was carried out. The result showed that laser power needed for welding was transmitted without any damage to them. Under water laser welding onto EDM slits with this welding head was carried out. EDM slits were sealed by deposited weld metal. It was confirmed that Multifunction laser welding head was applied to under water laser welding.

**Keywords:** Preventive maintenance, Repair, Under water laser welding, Clad weld, Seal weld

### 1. 緒言

国内の原子力運転プラントは、運転開始後 30 年に達するものが増えてきており、高稼働率での安全で安定な運転を行うためには炉内構造物の応力腐食割れ (SCC: Stress Corrosion Cracking) への対策が重要となってくる。東芝は、SCC に対する補修工法として水中レーザ溶接技術[1][2]、予防保全工法としてレーザピーニング[3]、並びに検査工法としてレーザ超音波探傷技術[4]をそれぞれ開発し、実用化を進めてきた[5]。水中レーザ溶接を炉内構造物に対して適用する場合、溶接面の前処理、溶接、溶接後検査、応力改善処理の一連のプロセスが必要となるが、これらは基本的にすべて別々の装置とならざるを得ない。そこで、開発したプロセスがすべてレーザ光を用いていることに着目し、一つの施工ヘッドで検査・溶接補修・予防保全を可能とする多機能レーザ溶接ヘッドを開発した。

本稿では、SCC に対する予防保全及び補修技術に適

用可能な水中レーザ溶接技術について、基本的なプロセスの原理と特徴、ならびに今回開発した多機能レーザ溶接ヘッドを用いた光伝送試験と水中封止溶接試験結果について紹介する。

### 2. 水中レーザ溶接の原理と特徴

水中レーザ溶接は Fig.1 に示すように、シールドガス (Ar) を溶接施工部に供給することによって、局所的に空洞を形成して、その空洞内でレーザ溶接を行う方法である。溶接部に耐食性に優れた溶接ワイヤを供給することによってクラッド層を形成し、SCC の発生を防止することが可能となる。また、炉内構造物等に発生したき裂の表面にクラッド層を形成して、き裂を封止することによって、炉水環境から隔離してき裂の進展を防止することができる。Fig.2 に水中クラッド溶接とき裂封止溶接の外観及び断面マクロ観察の一例を示す。いずれも、溶接欠陥等は認められず、水中であっても健全な溶接が行われることが確認できる。

連絡先:河野 渉、〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町 2-4、株式会社東芝、電話: 045-510-6676  
e-mail:wataru.kono@toshiba.co.jp

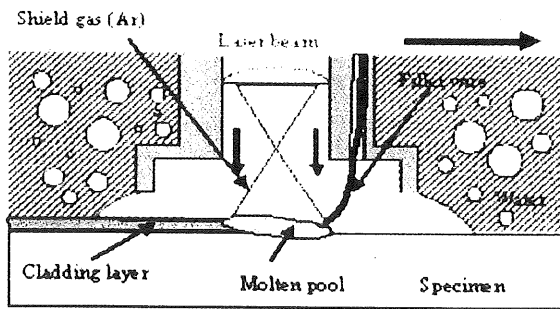


Fig.1 Schematic of underwater laser welding

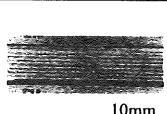



|           | Bead appearance   | Cross-sectional macrograph  |
|-----------|---|---|
| Clad weld |  |  |
| Seal weld |  |  |

Fig.2 Bead appearance and cross-sectional macrograph of under water laser welding

水中レーザー溶接は低入熱溶接が可能で、施工中の被ばくを低減できる工法であり、炉水を抜かずに施工できる効率的な溶接方法である。よって、水中レーザー溶接は原子炉の定期検査中の限られた期間で炉内構造物等の保全/補修溶接を行う上で非常に有効な工法である。

### 3. 多機能レーザー溶接ヘッドの開発

#### 3.1 ヘッド開発

多機能レーザー溶接ヘッドは東芝がこれまでに開発してきたレーザーピーニング、レーザー超音波探傷技術と水中レーザー溶接を伝送系も含めて一つの溶接ヘッドで施工可能としたものである。

一般的にレーザー加工は Fig.3 に示すように、パルス幅とパワー密度によって分類することが可能であり、レーザーピーニングやレーザー超音波探傷技術は短パルスで高パワー密度を必要とする。一方、レーザー溶接の場合長パルス又は連続波でパワー密度は比較的低い。しかし、平均出力は kW 級の出力を必要とすることが多く、

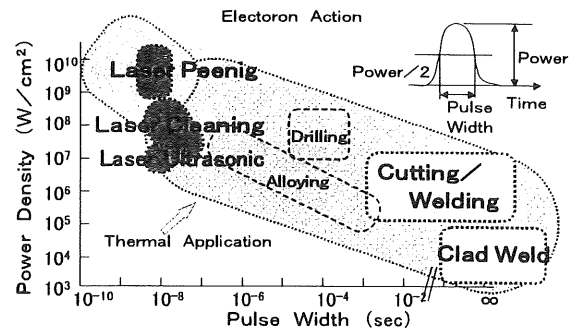


Fig.3 Classification of laser application

炭酸ガスレーザー、Nd : YAG レーザ及びファイバレーザーが使用される。また、レーザーピーニングとレーザー超音波探傷では Nd : YAG レーザの第 2 高調波を使用しており、波長は 532nm であるのに対して、水中レーザー溶接は大出力のファイバレーザーを用いており、その波長は 1060nm である。今回開発した多機能レーザー溶接ヘッドは、以上のような異なる特性を有するレーザーを用いる各アプリケーションを一つのヘッドで適用可能とした。

Fig.4 に多機能レーザー溶接ヘッドの外観を示す。ヘッドは光学系、シールドカバー、フィラーワイヤチップ、レーザー超音波検査ユニットから構成されている。また、シールドカバー内に溶接時は Ar ガスを、レーザーピーニング時には水を供給するためのノズルが設けられている。ヘッドサイズは高さ約 85mm、幅約 85mm、奥行き約 45mm で非常にコンパクトであり、炉内での狭隙部へのアクセスが可能な大きさに設計されている。

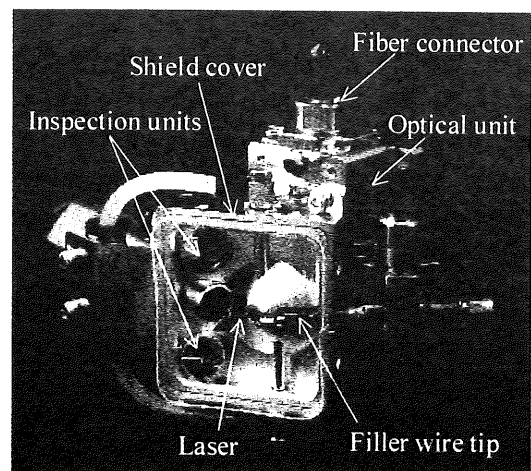


Fig.4 Multifunction laser welding head

### 3.2 光伝送試験

多機能レーザ溶接ヘッドと光ファイバ伝送系に溶接に必要なレーザ出力が伝送可能であることを確認するため、光伝送試験を実施した。Fig.5 に試験時の装置構成を示す。レーザはレンズで集光されてファイバに入射され、2本のファイバで伝送された後、多機能レーザ溶接ヘッドから出射される。出射されたレーザをパワープローブに照射して、その出力を測定する。入射レーザの出力を変化させて、溶接ヘッドがから出射される出力を測定した結果を Fig.6 に示す。光ファイバ及び溶接ヘッドでの伝送ロス率は約 18% であり、異常な出力低下は認められなかった。また、2000W 近い出力を伝送しても溶接ヘッド及び伝送系に損傷は認められず、溶接に必要なレーザ出力を伝送可能であることが確認できた。

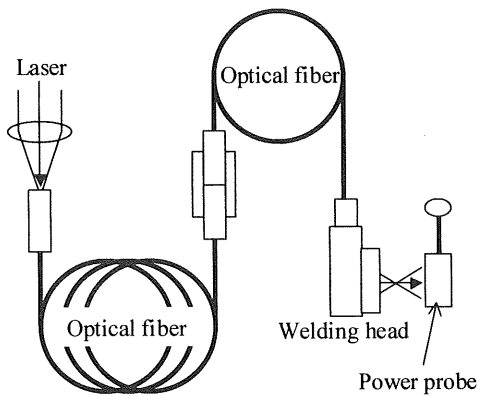


Fig.5 Experimental setup for laser transmission test

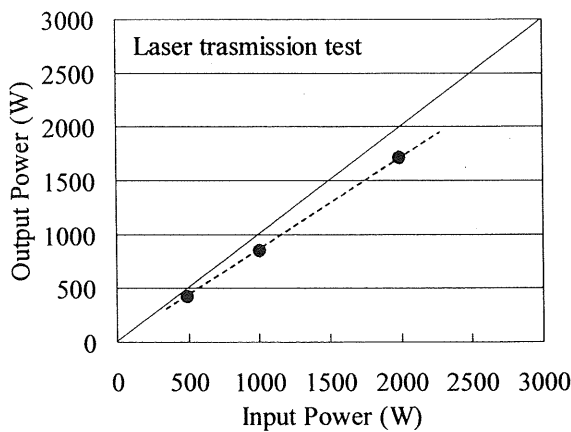


Fig.6 Results of laser power measurement

### 3.3 水中レーザ溶接試験

水中レーザ溶接時は Fig.7 に示すように、シールドカバー内に Ar ガスを供給して、局所的な気相空間を形成し、その中でデフォーカスビームを照射して溶接を行う。また、溶接方向前方から溶接ワイヤを供給して溶着させる。Fig.8 に水中レーザ溶接装置の構成を示す。レーザ発振器から出射されたレーザをファイバに入射して伝送した後、多機能レーザ溶接ヘッドを介して試験体に照射される。そして、試験体を NC 加工機で移動させて溶接を行う。1 パス溶接完了後、次の位置へ移動して次のパスを溶接し、この動作を繰り返すことで一定面積の溶接部を形成する。

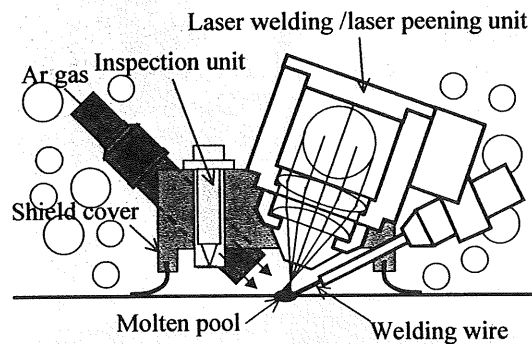


Fig.7 Schematic of under water laser welding with multifunction laser welding head

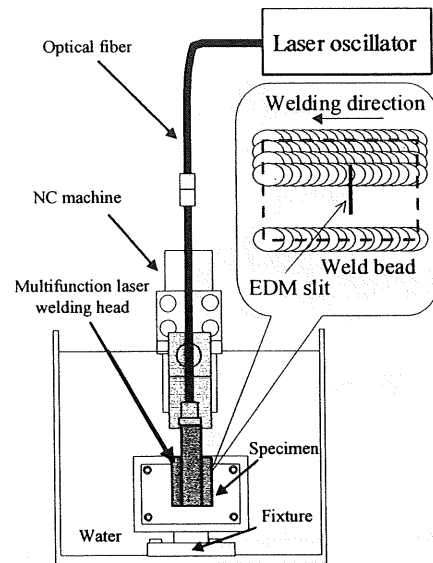


Fig.8 Experimental setup for under water laser welding with multifunction laser welding head

Fig.9 に示すように水中溶接は横向き姿勢で実施した。レーザ加工点出力は 1100W、溶接速度は 40cm/min とし、溶接ワイヤにはインコネル 82 を使用した。母材には SUS316L 平板材を使用した。き裂を模擬したスリットを放電加工で施した。スリットの大きさは幅 0.3 ~ 0.4mm、長さ 10mm、深さ 3mm である。このスリット上に多パス施工を行い、封止溶接を水中で実施した。

溶接方向に対して、異なる方向のスリットの封止溶接試験結果を Fig.10 に示す。溶接部の外観は金属光沢を呈しており、十分なシールドが形成されていたと考

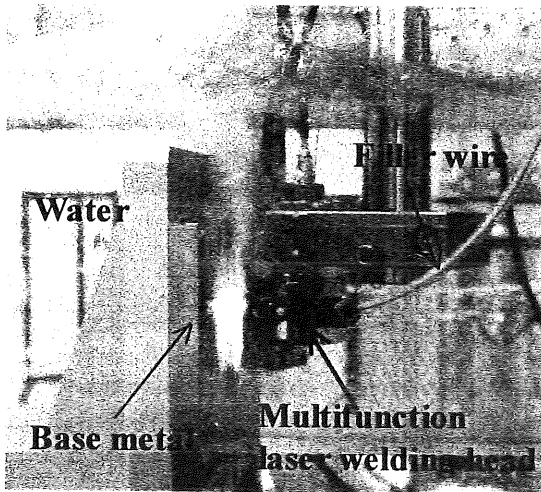


Fig.9 Under water laser welding with multifunction laser welding head

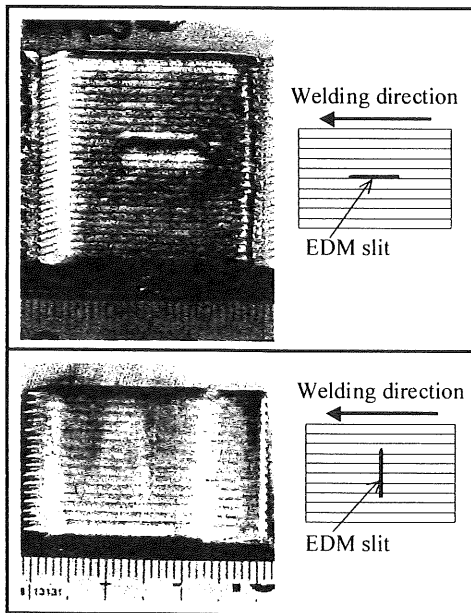


Fig.10 Appearance of under water seal weld with multifunction laser welding head

えられる。また、いずれのスリットに対しても溶着金属で封止されており、良好な封止溶接が可能であった。溶接中の溶接ヘッドの温度上昇は約 10℃であり、溶接部からの反射光による異常な温度上昇は認められなかった。これは水中での水冷効果が十分に利いていたためと考えられる。

#### 4. 結言

水中レーザ溶接を炉内構造物に対して適用する際に、一つの施工ヘッドで検査・溶接補修・予防保全を可能とする多機能レーザ溶接ヘッドを開発した。本溶接ヘッドを用いた光伝送試験では溶接に必要なレーザ出力を伝送可能であることを確認した。さらに、水中封止溶接試験では 2 方向の模擬き裂に対して良好な封止溶接が可能であることを確認した。

以上の結果より、本ヘッドにおいて基本的な水中溶接性を確認することができた。今後は、遠隔作業ロボットへの融合を進め、様々な形状で構成されている炉内構造物を対象として、検査から補修・保全まで対応可能なシステム開発を進めていく。

#### 参考文献

- [1] M. Tamura, et al., Development of Underwater Laser Cladding and Underwater Laser Seal Welding Techniques for Reactor Components, Proceedings of 13th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE13-50141
- [2] 金澤ら、「水中レーザ溶接技術」、東芝レビュー、p.36-39、Vol.60、No.10 (2005).
- [3] Y. Sano et al., Residual Stress Improvement in Metal Surface by Underwater Laser Irradiation, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 121, 432(1997)
- [4] M. Ochiai, et al., Laser-ultrasonic study of micro crack sizing and its application to nuclear reactor internals, 保全学誌, 4(4), pp.41 (2006)
- [5] 佐伯綾一他, レーザを応用した炉内保全技術とその PWR への適用, 日本保全学会第 2 回学術講演会要旨集, p.191