

水中レーザクラッド溶接工法に関するガイドライン

Guideline on Underwater Laser Beam Clad Welding for preventive maintenance

株式会社 東芝	末園 暢一	Nobuichi SUEZONO
株式会社 東芝	元良 裕一	Yuuichi MOTORA
東京電力株式会社	坂下 彰浩	Akihiro SAKASHITA Member
東京電力株式会社	岡田 亮兵	Ryohei OKADA

JANTI Guideline on underwater laser beam clad welding for preventive maintenance against SCC was published. This paper introduces the summary of that guideline. Underwater laser beam welding has good advantages for the repair and mitigation work for operating nuclear plants' reactor internals. Since it does not need to drain the water from RPV, preparation before the work can be very concise, and dose rate that workers suffer can be controlled in very low level. And heat input during the welding procedure is almost 1/10 of conventional welding such as TIG welding. It is also better feature for the welding on the irradiated structures. Guideline on seal welding by ULBW was already published more than 2 years ago. For the next step, it is expected to discuss and publish the next Guideline on ULBW for the application on structural parts in near future.

Keywords: JANTI Guideline, ULBW, mitigation, SCC

1. はじめに

国内の原子力運転プラントの安全・安定運転を確保するために、炉内構造物等の健全性を確認、保証することは重要な課題である。この重要な課題への取組の一つとして、(社)日本原子力技術協会(以下、「原技協」と記す)炉内構造物点検評価ガイドライン検討会(以下、「ガイドライン検討会」と記す)は、損傷発生の可能性のある構造物について、点検・評価・予防保全工法・補修工法等に関するガイドラインを策定してきている。その内容は順次、学協会規格へ導入され、実プラント運用の基礎となっている。また、規格化前の時期においても、使用者が必要に応じて規制当局の了解のもとに、実プラントに関する評価根拠として用いられる場合もある。予防保全工法、補修工法に関するガイドラインは、新しい保全技術を主な対象とし、ガイドライン検討会で、国内の専門家による技術的審議を経て発行される。予防保全工法ガイドラインとして、昨年度、「水中レーザクラッド溶接工法」(JANTI-VIP-07)^[1]が発行された。以下にその概要を紹介する。

連絡先:末園 暢一、〒235-8523 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8 株式会社東芝 横浜事業所 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: 045-770-2152、
e-mail:nobuichi.suezono@toshiba.co.jp

2. 水中レーザ溶接工法概要

水中レーザ溶接は、図-2. 1に示す様に、施工対象部位に局部的にシールドガス(アルゴン)を吹付け、レーザ照射光路から周囲の水を排除する気中環境を作って施工する。施工の段取りや事前準備は、炉水を抜く必要が無く簡便である。また、作業員の被ばくも低く抑えられる。TIG溶接を適用する場合に比べて溶接施工ヘッドは小型化でき、また、溶接時の入熱が小さいため、狭隘な部位への施工や、運転中に照射を受けた炉内材料への溶接方法として有利である。本技術を用い、炉内機器に発生した応力腐食割れ(SCC)を封止して補修する技術については、既に補修工法ガイドライン「封止溶接工法」(JANTI-VIP-01)^[2]として発行されている。今回、SCC感受性を持つ既存の材料表面に、水中レーザ溶接を適用して耐SCC性に優れた溶接材料でクラッド溶接を行い、SCCに対する予防保全とする際のガイドラインを発行した。

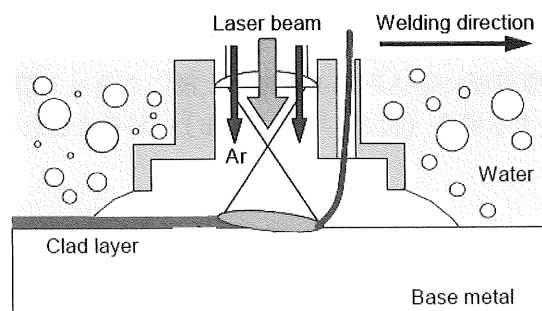


図-2. 1 水中レーザ溶接の原理^[3]

3. 予防保全工法ガイドライン [水中レーザークラッド溶接工法] の概要

3. 1 目的と適用範囲

運転開始後の沸騰水型原子力発電所（BWR）及び加圧水型原子力発電所（PWR）の原子炉機器を構成する高ニッケル合金（ニッケルクロム鉄合金）及びオーステナイト系ステンレス鋼の部材（母材、溶接金属）に水中レーザービーム溶接により耐SCC性に優れた溶加材によるクラッド層を形成することにより、被施工面におけるSCC発生を予防する保全方法の要領を示すものである。オーステナイト系ステンレス鋼被施工面に対しては、溶加材はオーステナイト系ステンレス鋼もしくはニッケルクロム鉄合金を、また、ニッケルクロム鉄合金被施工面に対しては、ニッケルクロム鉄合金溶加材を想定している。具体的な施工対象部位候補として、BWRの炉心シュラウド、制御棒駆動機構（CRD）ハウジング、CRDスタブチューブ、中性子計装ハウジング、シュラウドサポート等、また、PWRの原子炉圧力容器（RV）冷却材出入口管台、炉内核計装筒管台等、の溶接部やその近傍を想定している。（図-3. 1. 1）

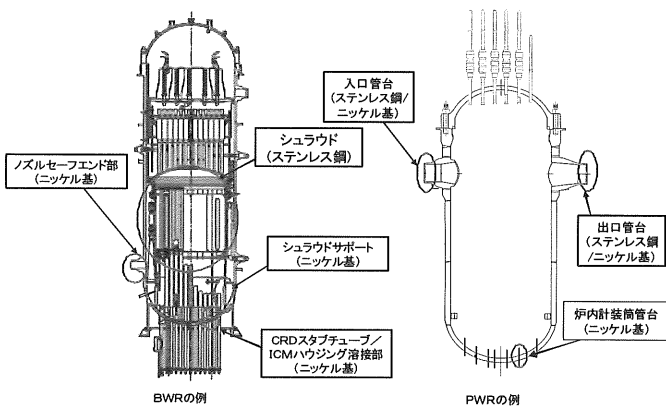


図-3. 1. 1 水中レーザークラッド溶接対象部位例 [3]

3. 2 工法の概要

水中レーザービーム溶接により、耐SCC性に優れた溶加材によるクラッド層を形成する場合、部材表面に直接クラッド溶接を施工する場合（図3. 2. 1（a））と、原表面に追込み加工を施した後にクラッド溶接を施工する場合（図3. 2. 1（b））が考えられる。

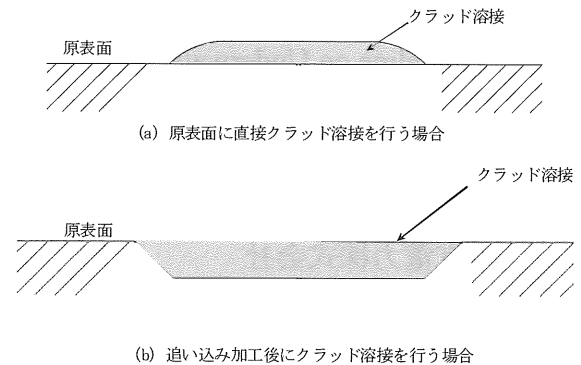


図-3. 2. 1 水中レーザークラッド溶接工法概要

レーザービーム溶接工法は、既に発電用原子力設備規格 溶接規格^[4]（JSME S NB1、以下、「JSME 溶接規格」と記す）で規定されている。本ガイドラインの対象である工法は、施工対象部位に部分気中環境を作り、水中で施工する場合を対象であるが、管理は、気中施工を対象に溶接規格に規定されているレーザービーム溶接の施工管理項目、施工管理条件と基本的に同様である。本溶接施工法において、加熱源はレーザー光であり、水深による圧力の影響は受けにくく、クラッド層形成への影響は無い。

本ガイドラインで対象とする水中レーザークラッド溶接は、SCC予防保全を目的としており、母材および溶加材の材質、溶接時の成分希釈を考慮した上で、クラッド層表面を耐SCC性を満足する化学成分とすることが重要であり、溶接施工法確認における確認項目となる。

図3. 2. 1（b）に示す、原表面を追込み加工してクラッド溶接を行う場合に関し、本ガイドラインは、

- ・ 追込み加工が、構造健全性を確保するのに必要な強度部材の領域に至る事が無いこと、
- ・ フェライト鋼に接合された高ニッケル合金（ニッケルクロム鉄合金）またはオーステナイト系ステンレス鋼の部材（母材、溶接金属）に適用する場合には、既設の溶接部の厚さが、水中レーザークラッド溶接時の熱影響をフェライト鋼に与えない厚さ以上に確保されていること

を条件とし、この範囲に限ることとした。これを超える場合については、それらの技術評価を終えた段階で別途ガイドラインを策定する方針とした。

図3. 2. 2に、水中レーザクラッド溶接の施工ステップを示す。

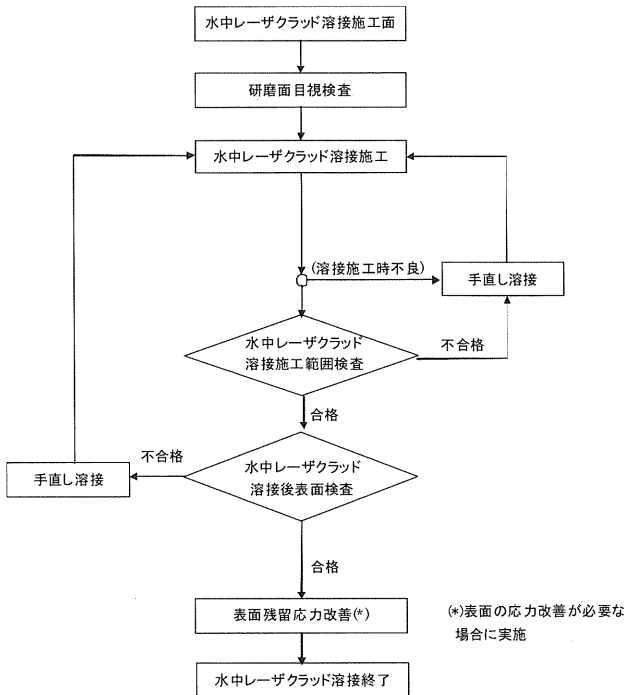


図-3. 2. 2 水中レーザクラッド溶接施工ステップ^[1]

3. 3 工法適用に対する要求事項

水中レーザクラッド溶接工法に関する要求事項として、以下を規定した。

- 溶接施工法、溶接士の管理は J S M E 溶接規格^[4]のレーザビーム溶接に準拠して溶接施工法確認試験、溶接士資格管理を行う。
- 工場において、水中レーザクラッド溶接適用部位を模擬した試験体および専用の溶接装置を用いて各溶接士を事前に訓練する。
- 水中レーザクラッド溶接部について溶接施工前、溶接施工後に表面検査を行う。
- 溶接施工対象面の検査、溶接条件、目的とする対象範囲を包絡する施工範囲、溶接時の材料成分希釈を考慮し、クラッド溶接後耐 S C C 性を確保する材料成分を満足する積層数、手直し溶接実施要領と記録の作成保管に関し、水中レーザクラッド溶接施工管理要領に定め、これに従い実施すること。

ガイドラインに規定した水中レーザクラッド溶接施工法として確認すべき事項（基本支配因子）を、表-3. 3. 1に示す。

表-3. 3. 1 水中レーザクラッド溶接確認項目^[1]

項目	確認項目*	備考
溶接方法	LB(式)溶接 (水中クラッド溶接)	溶接区分として、「LB(式)溶接(水中クラッド溶接)」という定義を設ける。(水中での施工を対象とする)
母材	○	適用する母材を規定する。
溶接棒	-	対象外
溶接金属	-	対象外
予熱	行わない	
溶接後熱処理	行わない	クラッド溶接時の溶接熱影響がフェライト鋼に及ばないようにするため、フェライト鋼に接合された既設の溶接部の厚さが 4mm 以上確保されていることを適用条件とする。
シールドガス	○	シールドガスの種類を規定する。
裏面からのガス保護	行わない	
溶加材	○	溶加材の区分を規定する。
ウェルドインサート	使用しない	
フラックス	-	対象外
心線	-	対象外
溶接機	○	レーザの種類を規定する。
層数	多層	
母材の厚さ	制限なし	
ノズル	-	対象外
レーザ出力	○	適正施工条件範囲を規定する。
溶接速度	○	適正施工条件範囲を規定する。
ワイヤ供給速度	○	適正施工条件範囲を規定する。
ビーム	○	ビーム発振方法を規定する。
オシレーション	行わない	
溶接姿勢	○	溶接姿勢を規定する。
水深	○	最大水深を規定する。
揺動	-	対象外
あて金	-	対象外
リガメントの幅	-	対象外

* : ○の項目を確認、規定する。

4. おわりに

原技協ガイドライン検討会での審議を経て、水中レーザビーム溶接を S C C 予防保全のためのクラッド溶接施工に適用する際のガイドラインが発行され、その概要を紹介した。水中レーザ溶接は、施工前の段取準備が簡素であり、炉水を保持したままで施工を行うことから、作業員被ばくを低く抑えることができる。溶接入熱も T I G 溶接の約 1 / 1 0 程度に抑えられ、原子力運転プラントに適用する利点大きい工法である。今後のプラント高経年化に対応し、広く適用を目指していきたい。先行して発行された補修工法ガイドライン「封止溶接工法」^[2]において、水中レーザ溶接を封止溶接に適用する際の要領が規定されている。今後、強度部材の補修への適用を対象として、バ

ウンダリ部材を構成する低合金鋼近傍への施工時に溶接時の入熱により材料的な劣化を招かないためのテンパービード工法の実用化等を含め、検討すべき技術課題への対応を行い、ガイドライン化や、実機プラントの補修に向けても準備を推進していく計画である。(図4. 1参照)

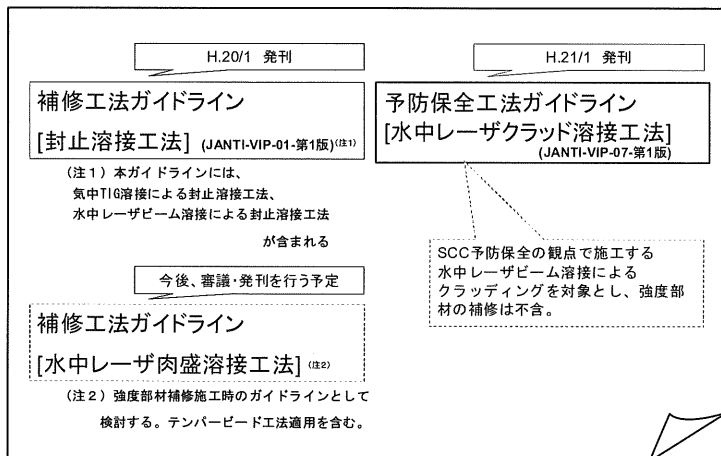


図-4. 1 水中レーザー溶接工法に関するガイドライン

参考文献

- [1] (社)日本原子力技術協会 予防保全工法ガイドライン [水中レーザークラッド溶接工法] (JANTI-VIP-07-第1版)
- [2] (社)日本原子力技術協会 補修工法ガイドライン [封止溶接工法] (JANTI-VIP-01-第1版)
- [3] 末園暢一「運転プラント炉内保全技術の紹介」、保全学 Vol.8, No.4, (2009)
- [4] (社)日本機械学会「発電用原子力設備規格 溶接規格(2007年版)」、JSME S NB1-2007