

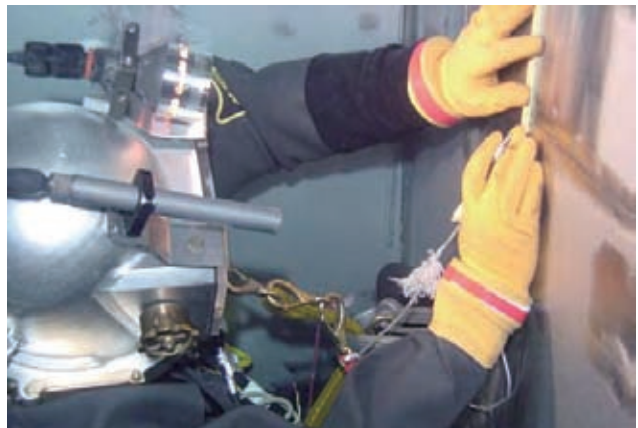
ダイバー工法の原子力発電所 定期検査業務への適用

放射性汚染水環境下で活躍する IHI のダイバー工法

ダイバー工法は、放射性汚染水環境下の多種・多様な作業を、熟練したダイバーが行うことにより、作業用足場の設置が不要になるとともに、水中での水遮へい効果を生かし、安全性向上、作業の合理化、効率化、被ばく低減に寄与する工法である。



水中での超音波板厚計測



水中寸法計測・罫書作業

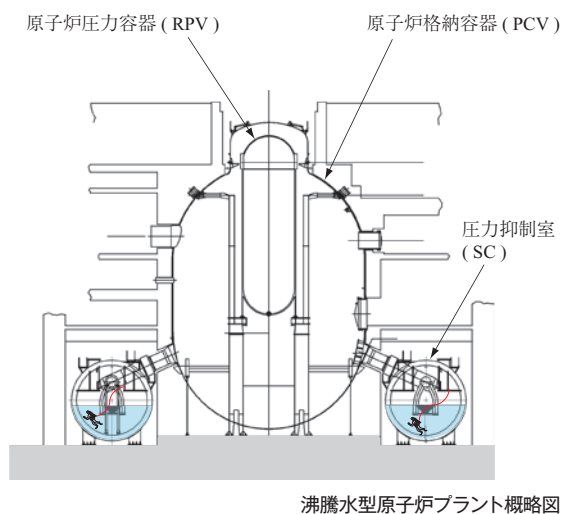
ダイバー工法

川の護岸工事や海洋土木工事は、水面より上での作業以外に水面下で機材や装置の設置、点検、修理作業などがある。水中での作業が困難な場合は、水や海水を排水した環境で工事を行うが、水中で工事を行う場合は、水中ロボットを使用したり、ダイバーが水中に潜ったりして作業する。このダイバーが水中で作業する方法をダイバー工法という。ダイバー工法やロボット工法は、排水作業を行わないために排水費用や工事時間が短縮できる利点がある。

近年、ダイバーが着用するドライスーツのシール性能が大幅に改善され、環境の悪い水中でもダイバー工法の利用が拡大してきている。さらに、このドライスーツを着用して原子力発電所設備の水中での検査や

補修などにも適用が広がってきている。

IHI は、ダイバー工法を原子力発電所の定期検査業務、特に原子炉格納容器の圧力抑制室 (SC: Suppression Chamber) の水没部に対して、SC 内の水を抜かずに水中で塗膜点検・補修を行う目的で開発を行ってきた。SC 内の水は放射性物質で汚染されており、完全密閉されたドライスーツを着用した熟練ダイバーが潜水して作業を行う。ダイバー工法の特長は放射線環境下での作業を、水中で行うことにより、水が遮へいとなって被ばく低減が図れるとともに、完全密閉型のドライスーツを着用することによって放射性物質の体内への取り込みを防止できることである。また、被ばくの低減のみならず、水没部の水を抜いて行う従来の気中工法と比較すると、墜落、転倒、熱中症などのリスクが低く、作業安全性のメリットがあり、



気中への汚染物質の拡散防止にも寄与する工法である。さらに、ダイバーは浮力を利用することで、気中工法に必要な仮設足場の設置・撤去などの付帯作業が省略でき、工期短縮とコスト低減に寄与できる。

ダイバー工法の代表例

SC のメンテナンス

従来、SC のメンテナンスは、10年に1回の目安で全面再塗装を行い、SC 水没部の防食を図ってきた。全面再塗装は、SC 内の水を全て抜いたうえで塗装損傷部を補修塗装するため、広範囲に足場を設置する必要がある。多くの場合、広範囲の足場を利用してSCの全ての塗装を除去し、再塗装を行う工法であり、長期間の工期と高額費用を要するが、広範囲の補修塗装には適している工法である。

ダイバーによる水中点検・補修塗装は、定期的に水中点検を実施することにより、塗装の損傷が広範囲となる前に、塗装損傷部のみ水中補修塗料を用いて補修塗装を行う工法であり、必要最小限のメンテナンスを行うことができる。全面再塗装からダイバー工法へ変更することで、定期検査の工期短縮を実現することが

	全面再塗装	ダイバー工法
工期	120日	20～30日
人工	約10倍	1
被ばく線量 (mSv・人・日)	200～500 mSv	8～20 mSv

SC 防食メンテナンス工法の比較表

できる。定期検査期間の短縮は原子力発電所の稼働率の向上に寄与できる。

水没部の設備点検

ダイバー工法の特長の一つは、遠隔操作などのロボット工法とは異なり、あらかじめ装置開発などの準備期間を必要とせず、ほとんどの場合、水没部の緊急な工事に対応できることである。

最近の事例としては、地震後の SC 水没部の設備点検や各種槽の水没部の点検をダイバー工法により実施した。

さらに、ダイバーは次の作業を行うことができる。

① 除染作業

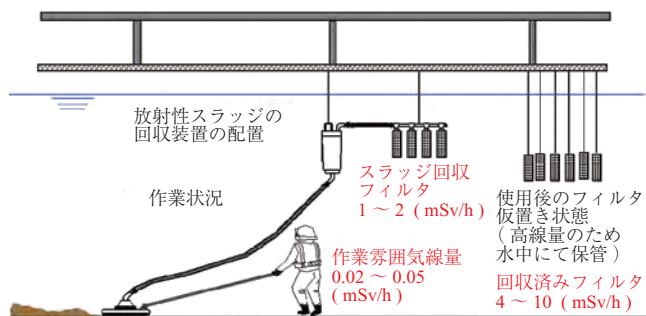
水中掃除機を用いて放射性スラッジ（放射性鉄分など）を水中で吸引回収する。ダイバーは、スラッジから離れて作業することと水遮へい効果により、ほとんど被ばくせずに放射性スラッジの回収が可能である。

② ジェット洗浄

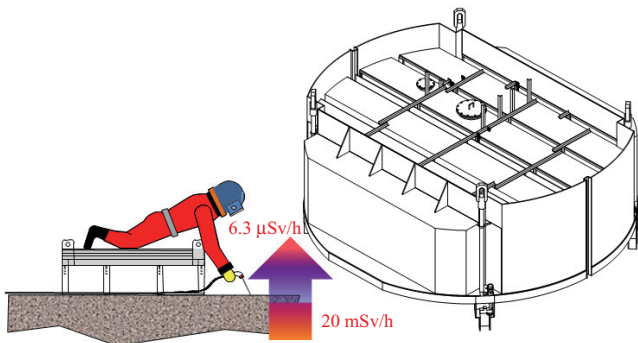
ダイバーが、水中で水ジェット洗浄機を使用し、冷却水の取水口についているろ過用金属フィルタなどの構造物のジェット洗浄を行い、構造物に付着した浮遊性の汚染物や堆積物を除去、回収することができる。遠隔ロボットでは難しい狭い部のジェット洗浄も可能であり、スラッジを取り除いた状態で、検査員として認定されたダイバーが目視検査を行うことも可能である。

③ 各種切断

プラズマアーク、セイバーソー、放電加工機などを用いた各種切断を水中でダイバーが操作し、構造物の切断を行う。水遮へいと鉛遮へいを併用することで、高線量の構造物の解体作業を行うことが可能である。



ダイバー除染作業



高線量構造物の切断

④ 水中溶接

配管サポートなどの構造物を取り付ける水中溶接など、溶接資格を有するダイバーが水中溶接を行うことが可能である。

⑤ 異物の確認・回収

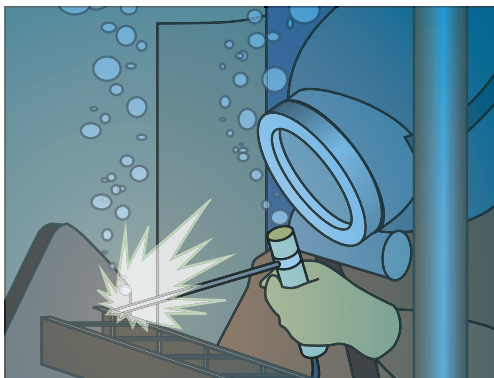
通常、SC 水没部の異物は、防水型 CCD 水中 TV カメラによって確認し、回収装置などを利用して実施する。ダイバー工法の場合は異物の確認と回収を同時に実施することが可能であり、水中 TV カメラで確認できない狭い部、構造物の裏などで確認が困難な部位についても対応可能である。

⑥ 水中補修塗装

原子力プラント向けの水中補修塗料を開発しており、水中補修塗装が可能である。なお、この塗料は、炉水喪失事象などの設計基準事故でも塗膜がはがれないことを確認したものである。

⑦ 重量物の設置工事

バルーン（浮き）の設置もしくは気中作業員との作業協力により、水中で大型のろ過用金属フィルタ（約 0.6 t）など大型構造物の取り換え工事が可能である。



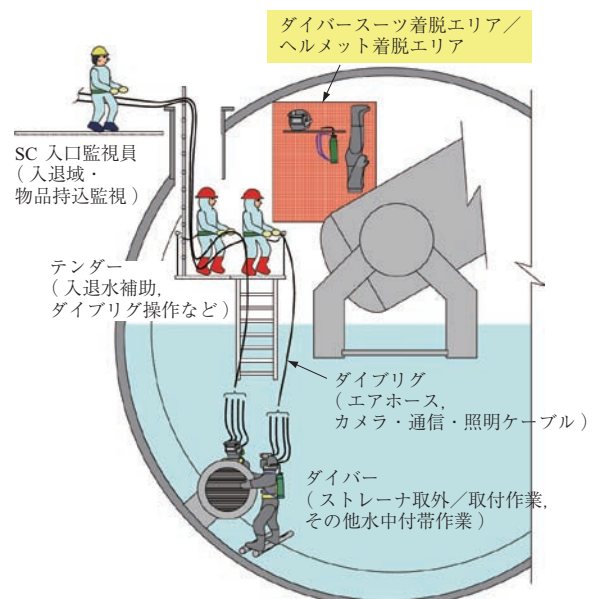
水中溶接



DBA 試験実施後の塗装試験片



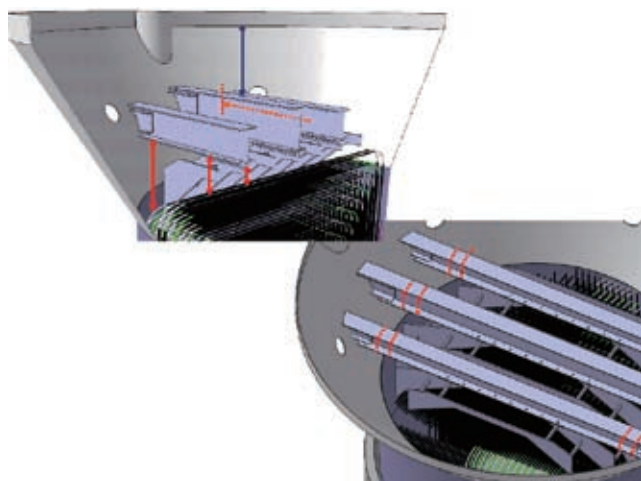
水中補修塗装



ストレーナ取り換え工事

新たな展開

日本で実施された原子力発電所の原子炉を廃炉にする廃止措置工事は、旧日本原子力研究所の原子力発電試験炉（JPDR：Japan Power Demonstration Reactor）と日本原子力発電株式会社が運営していた日本初の商業用黒鉛炉東海1号の2プラントの実績しかない。アメリカおよびヨーロッパでは運転プラント、研究炉および軍事施設などの廃止措置をすでに多数経験している。国際原子力機関（IAEA：International Atomic Energy Agency）などのレポートにも記載があるが、炉内構造物などの高線量の解体工事では遠隔ロボットでの解体作業であっても、遠隔ロボットの故障時対応など非定常作業で、ダイバーによるバックアップが必要との認識がすでに一般的となっている。昨年、アメリカの発電所（加圧水型原子炉 PWR：Pressurized Water Reactor）の蒸気発生器（SG：Steam Generator）取り換え工事において、撤去した SG の部分解体を、ダイバーによって実施した。この作業は高線量の構造物の切断作業にダイバー工法を適用したものであり、アメリカにおいてもすでにダイバー工法が廃止措置に有効であることが認知されている。IHI は、独自にダイバー工法を開発し、10 年ほど前から SC 水没部の水中工事を行ってきたが、アメリカでの実績を有する会社との関係も有しており、今後の国内廃止措置においては解体計画の初期から、積極的に国内外の良好な実績を反映していく計画である。



水中切断箇所

廃止措置へ向けて

廃止措置では、遠隔操作ロボットを用いた遠隔作業と作業員が行う直接作業との合理的な組み合わせが必要である。例えば、複雑な形状を有する高線量の気水分離器、蒸気乾燥器など、炉内構造物を解体するにあたっては、遠隔操作ロボット作業とダイバー作業を組み合わせた工法が有効である。遠隔操作ロボットがアクセス困難な箇所の切断や、ロボットの設置・撤去作業におけるサポート、監視用カメラ設置、放射線サーベイなど、さまざまな付帯作業を、ダイバーが担うことにより効率的な作業が可能となる。

① 廃止措置への具体的取組み

国内の廃止措置中または、計画中の発電用原子力プラントについて、炉内構造物の気水分離器と蒸気乾燥器などの構造物を定期検査中に保管している水槽（DS ピット）で、遠隔操作ロボットとダイバーを組み合わせた水中解体の採用を計画している。

また、廃棄する SC を汚染水処理タンクとして活用するため、SC 水中で隔壁板を水中溶接する工法も計画しており一部の工法は特許として申請済みである。

② 国内 PWR 発電所の SG 部分解体工事

昨年、アメリカの PWR 発電所において、既設 SG の部分解体を行っている例もあり、同工法の国内展開を目指す。

IHI では、水中ダイバー工法を 10 年ほど前から実機に適用して実績を積み重ねてきた。これまでの経験を活かし、今後は、SC のメンテナンスに代表される、水没部のメンテナンス工事だけでなく、廃炉措置関連工事に必要な水中切断装置、治具などの周辺技術の開発を行い、廃止措置工事へ参画し、社会に貢献していきたい。

問い合わせ先

株式会社 IHI

原子力セクター 原子力保守技術部

電話（045）759-2692

URL：www.ihico.jp/