

HASWS貯蔵廃棄物の取出しに向けた水中ROV等の 操作性向上に係るデータの取得

Data Acquisition Related to Improving Operability of ROVs
for the Retrieval of HASWS Stored Waste

爲田 惟斗 佐野 恭平 高野 祐吾 山本 昌彦
中崎 和寿 秋山 和樹

Yuito TAMETA, Kyohei SANO, Yugo TAKANO, Masahiko YAMAMOTO
Katsutoshi NAKAZAKI and Kazuki AKIYAMA

核燃料サイクル工学研究所
TRP廃止措置技術開発部

TRP Decommissioning Technology Development Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

May 2026

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所 プロモーション・オフィス 科学技術情報課
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section, Promotion Office, Nuclear Science Research Institute, Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

HASWS 貯蔵廃棄物の取出しに向けた水中 ROV 等の操作性向上に係るデータの取得

日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所
TRP 廃止措置技術開発部

爲田 惟斗、佐野 恭平、高野 祐吾*、山本 昌彦、中崎 和寿、秋山 和樹

(2026 年 2 月 27 日受理)

東海再処理施設の高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS) では、再処理工程から発生した高放射性固体廃棄物を貯蔵しており、HASWS を構成する設備のうち、湿式セル (ハル貯蔵庫) では使用済燃料をせん断・溶解して残った燃料被覆管 (ハル)・燃料端末部 (エンドピース) 等を収納したハル缶、使用済みのフィルタ類・汚染機器類を貯蔵している。

HASWS に貯蔵している廃棄物の取出しに向け、英国の廃止措置において使用実績がある水中 ROV と、海洋分野において海底に沈んだ物品の浮上げや運搬に用いられる水中リフタを活用することを検討しており、2022 年度及び 2023 年度にモックアップ試験を実施し、水中 ROV と水中リフタによる廃棄物の取出し方法の成立性を確認した。

本報告では、より安全かつ確実な廃棄物の取出しに向けて、水中 ROV 付属ケーブル、廃棄物把持用グラブ、水中 ROV 取扱い用回収吊具、水中リフタ、水中 ROV 操作用カメラそれぞれについて改善を施し、操作性向上に係るデータを取得した。

水中 ROV 付属ケーブルについては、ケーブル後方に浮きを装着し、水中 ROV にかかるケーブルの重量負荷を軽減することで前傾操作がし易くなり、水中 ROV の姿勢安定性が向上した。廃棄物把持用グラブについては、水中リフタ (グラブ式) に用いるグラブの爪先端に治具を取り付け、ハル缶の直径に対する爪先端の接触位置の深さを約 60% に増強することで、ハル缶の把持安定性が向上した。水中 ROV 取扱い用回収吊具については、水中リフタ (吊具式) の回収吊具リングの大きさを従前の $\phi 8 \text{ cm}$ から $\phi 15 \text{ cm}$ に変更することで、リングの把持に要する時間の短縮が図られ、回収吊具へのアクセス性が向上した。水中リフタについては、内部構造を変更した水中リフタ (チューブ内蔵型、気室分割型) を用いることで、微細な空気量の調整や、浮き部が折れ曲がることによる空気の流路の閉塞が改善され、水中リフタの給排気の安定性が向上した。水中 ROV 操作用カメラについては、セル内の低照度環境下において、廃棄物取出し作業を俯瞰する水中 ROV 操作用カメラ近傍にライトを追加で設置することにより、セル内の照度が確保されケーブル類の視認性の向上が図られた。

核燃料サイクル工学研究所：〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 33

* 株式会社 E&E テクノサービス

**Data Acquisition Related to Improving Operability of ROVs
for the Retrieval of HASWS Stored Waste**

Yuito TAMETA, Kyohei SANO, Yugo TAKANO*,
Masahiko YAMAMOTO, Katsutoshi NAKAZAKI and Kazuki AKIYAMA

TRP Decommissioning Technology Development Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 27, 2026)

At the High Active Solid Waste Storage (HASWS) of Tokai Reprocessing Plant, high active solid waste generated from the reprocessing process is stored. In the wet cell, hull cans containing fuel cladding tubes (hulls) and end pieces are stored, along with used filters and contaminated equipment.

It is being considered that utilizes a small underwater remotely operated vehicle (ROV) along with a lifter for recovering and transporting objects from the seafloor for the retrieval of the waste stored in the HASWS. Mock-up tests were conducted in FY2022 and FY2023 to verify the feasibility of retrieving waste using the ROV and the lifter.

In this study, to achieve safer and more reliable waste retrieval, improvements were made to each component, including the ROV cable, waste gripping grab, lifting hook, lifter, and ROV monitoring camera, and data were collected to evaluate operational performance.

For the ROV cable, attaching a float to the rear section of the ROV cable to reduce its weight facilitated forward-tilt operation and improved the ROV's attitude stability during wire-cutting. For the waste gripping grab, attaching a jig to the tips of the grab of the lifter (grab-type) enhanced the gripping stability of the hull can. For the lifting hook, setting the ring diameter of the lifter (hook-type) to 15 cm shortened the time required for grasping and improved accessibility to the hook. For the lifter, using lifters with modified internal structures enabled fine air-volume adjustment and reduced blockage of air passages, thereby improving the stability of air supply and exhaust. For the ROV monitoring camera, adding a light near the ROV monitoring camera in a dark environment ensured sufficient cell illumination and enhanced cable visibility.

Keywords: Tokai Reprocessing Plant, High Active Solid Waste Storage Facility, ROV, Lifter

* E&E Techno Service Co., Ltd.

目次

1	はじめに	1
2	操作性向上に係るデータの取得の進め方	2
3	各種装置の操作性向上に係るデータの取得	3
3.1	水中 ROV 付属ケーブルの浮力調整による姿勢の安定性の向上	3
3.1.1	目的	3
3.1.2	確認方法	3
3.1.3	確認結果	6
3.1.4	考察	8
3.2	廃棄物把持用グラブの把持安定性の向上	8
3.2.1	目的	8
3.2.2	確認方法	8
3.2.3	確認結果	9
3.2.4	考察	10
3.3	水中 ROV 取扱い用回収吊具へのアクセス性の向上	10
3.3.1	目的	10
3.3.2	確認方法	11
3.3.3	確認結果	12
3.3.4	考察	13
3.4	水中リフタの給排気の安定性の向上	14
3.4.1	目的	14
3.4.2	確認方法	15
3.4.2.1	予備試験	15
3.4.2.2	性能確認試験	16
3.4.3	確認結果及び考察	17
3.4.3.1	予備試験	17
3.4.3.2	性能確認試験	18
4	総合確認による操作性向上に係るデータの取得	21
4.1	目的	21
4.2	確認方法	21
4.3	確認結果	22
4.4	考察	25
5	まとめ	26
	参考文献	27

Contents

1 Introduction	1
2 Approach for collecting data for improving operability	2
3 Data acquisition related to improving operability of each device	3
3.1 Enhancing the postural stability of the ROV by adjusting the float of cable	3
3.1.1 Purpose	3
3.1.2 Method	3
3.1.3 Result	6
3.1.4 Discussion	8
3.2 Enhancing gripping stability of the grab for waste handling	8
3.2.1 Purpose	8
3.2.2 Method	8
3.2.3 Result	9
3.2.4 Discussion	10
3.3 Enhancing accessibility to the hook for ROV operation	10
3.3.1 Purpose	10
3.3.2 Method	11
3.3.3 Result	12
3.3.4 Discussion	13
3.4 Enhancing stability of air supply and exhaust in the lifter	14
3.4.1 Purpose	14
3.4.2 Method	15
3.4.2.1 Preliminary test	15
3.4.2.2 Performance test	16
3.4.3 Result	17
3.4.3.1 Preliminary test	17
3.4.3.2 Performance test	18
4 Data acquisition related to improving operability through integrated verification	21
4.1 Purpose	21
4.2 Method	21
4.3 Result	22
4.4 Discussion	25
5 Conclusion	26
References	27

1 はじめに

東海再処理施設の高放射性固体廃棄物貯蔵庫（High Active Solid Waste Storage Facility（以下「HASWS」という。）では、再処理工程から発生した高放射性固体廃棄物を貯蔵しており、HASWSを構成する設備のうち、湿式セル（ハル貯蔵庫）では使用済燃料をせん断・溶解して残った燃料被覆管（ハル）・燃料端末部（エンドピース）等を収納したハル缶、使用済燃料の溶解液から不溶解残渣を分離するために用いたフィルタ類（パルスフィルタ・スワーフフィルタ・溶媒フィルタ）・汚染機器類（PC-1 ポンプ・スターラ・観察装置）を貯蔵している。

HASWSは貯蔵を目的として設計・建設された施設であり、廃棄物を取り出すための設備を有していない。そのため、国内外の原子力施設の廃止措置で使用されている技術や原子力分野以外での取出し技術を調査し、英国における廃止措置において使用実績がある水中 ROV（Remotely Operated Vehicle）と、海洋分野において海底に沈んだ物品の浮上げや運搬に用いられる水中リフタを活用して、HASWSに貯蔵している廃棄物を取り出すことを検討している。

本検討については、2022年度及び2023年度に水中 ROV と水中リフタ（吊具式/グラブ式）による廃棄物の取出し方法の成立性を確認するモックアップ試験（以下「モックアップ試験」という。）を実施した。その結果、廃棄物の取出しに必要となる、水中 ROV による廃棄物に付属するワイヤの切断、水中リフタ（吊具式/グラブ式）による廃棄物の浮上げ、水中 ROV による浮き上げた廃棄物の各貯蔵位置から開口部下までの移動、水中リフタ（吊具式/グラブ式）による廃棄物の浮下げ等の各作業が一連で行えることを確認した¹⁾。

一方、より安全かつ確実な廃棄物の取出しに向けては、以下の項目について改善を施すことで、取出し作業の操作性向上が期待できることを確認した。

- (1) 水中 ROV 付属ケーブルの浮力調整による姿勢の安定性の向上
- (2) 廃棄物把持用グラブの把持安定性の向上
- (3) 水中 ROV 取扱い用回収吊具へのアクセス性の向上
- (4) 水中リフタの給排気の安定性の向上
- (5) 水中 ROV 操作用カメラの視認性の向上

本報告では、上記の(1)～(5)の各項目について改善を実施し、操作性向上に係るデータを取得した。

2 操作性向上に係るデータの取得の進め方

モックアップ試験より抽出した (1) ~ (5) の改善項目について、操作性向上に係るデータ取得の進め方を検討した。

廃棄物の取出し作業は、廃棄物に付属するワイヤの切断、廃棄物への水中リフタの取付け、廃棄物の浮上げ、浮き上げた廃棄物の移動、廃棄物の浮下げ、廃棄物からの水中リフタの取外し、廃棄物への回収吊具の取付けの各ステップから成る。

(1) ~ (4) は、取出し作業に用いる各種装置に対する改善であり、はじめにこれらの改善を実施し、取出し作業の各ステップの操作性向上について確認した。また、(5) は、取出し作業を行う環境に対する改善であり、(1) ~ (4) の改善ののち実施し、取出し作業全体の操作性向上について確認した。操作性向上に係るデータ取得のステップを図 1 に示す。

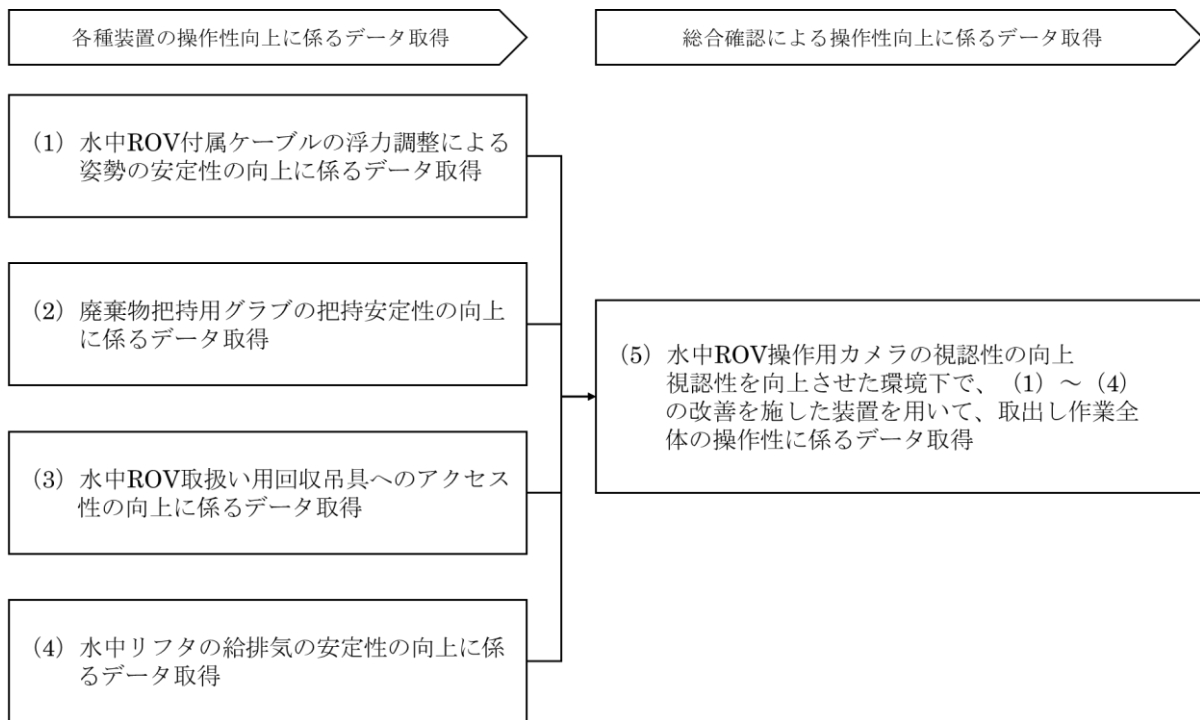


図 1 操作性向上に係るデータ取得のステップ

3 各種装置の操作性向上に係るデータの取得

3.1 水中 ROV 付属ケーブルの浮力調整による姿勢の安定性の向上

3.1.1 目的

モックアップ試験時、水中 ROV でハル缶に付属するワイヤを切断する際に水中 ROV 付属ケーブルの重量により、図 2 (a) に示すように水中 ROV 後方が下方方向に引っ張られ、水中 ROV の前傾姿勢の維持が不安定となり、水中 ROV 前方の下部とハル缶の縁部が干渉する事象を確認した。そこで、水中 ROV の前傾姿勢の維持が容易となるように、図 2 (b) に示すように水中 ROV 付属ケーブルに浮きを装着し重量負荷を軽減する改善を行い、水中 ROV の姿勢の安定性の向上に係るデータを取得した²⁾。

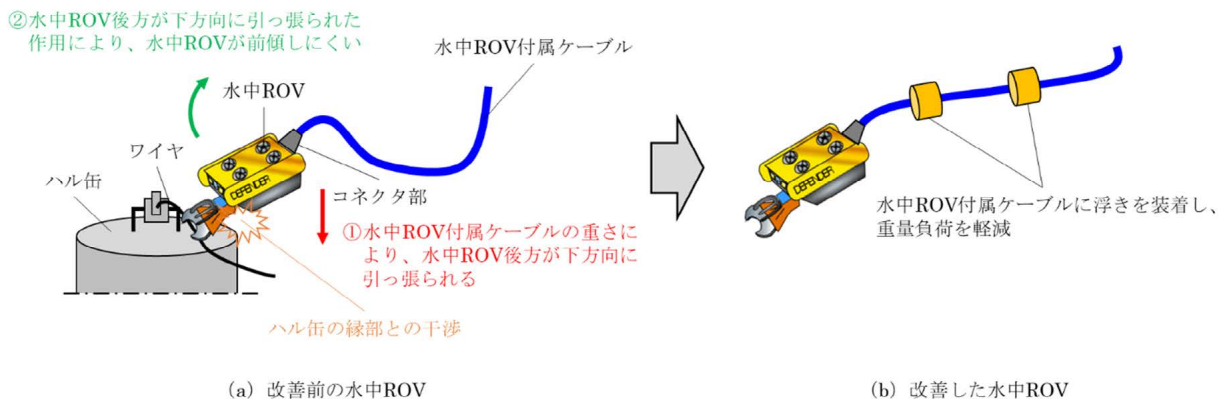


図 2 水中 ROV 付属ケーブルに関する改善

3.1.2 確認方法

モックアップ試験で使用した水中 ROV(米国 VideoRay 水中 ROV DEFENDER に英国 James Fisher Nuclear にて把持治具及び切断治具を搭載したもの) の付属ケーブルに、浮き (インターコムマリン TWE10) を装着した。浮きを装着した水中 ROV 付属ケーブルを図 3 に示す。

水中 ROV 付属ケーブルの重量は、ケーブル部が約 1 kg/m、水中 ROV 本体とケーブルの接続部 (以下「コネクタ部」という。) が約 2 kg である。また、使用した浮き 1 個当たりに働く浮力は、9.8 N である。これらを踏まえて、前傾姿勢を活用してハル缶に付属するワイヤを切断する際に、水中 ROV 本体及び水中 ROV 付属ケーブルに働く自重を、浮きの浮力で相殺し中性浮力に近づけることを想定し、浮きの装着パターンを表 1 に示す 3 パターンに設定した。3 パターンにおいて、廃棄物に付属するワイヤを切断する操作及び廃棄物に水中リフタを取り付ける操作を各 3 回実施し、水中 ROV の姿勢の安定性を確認した。

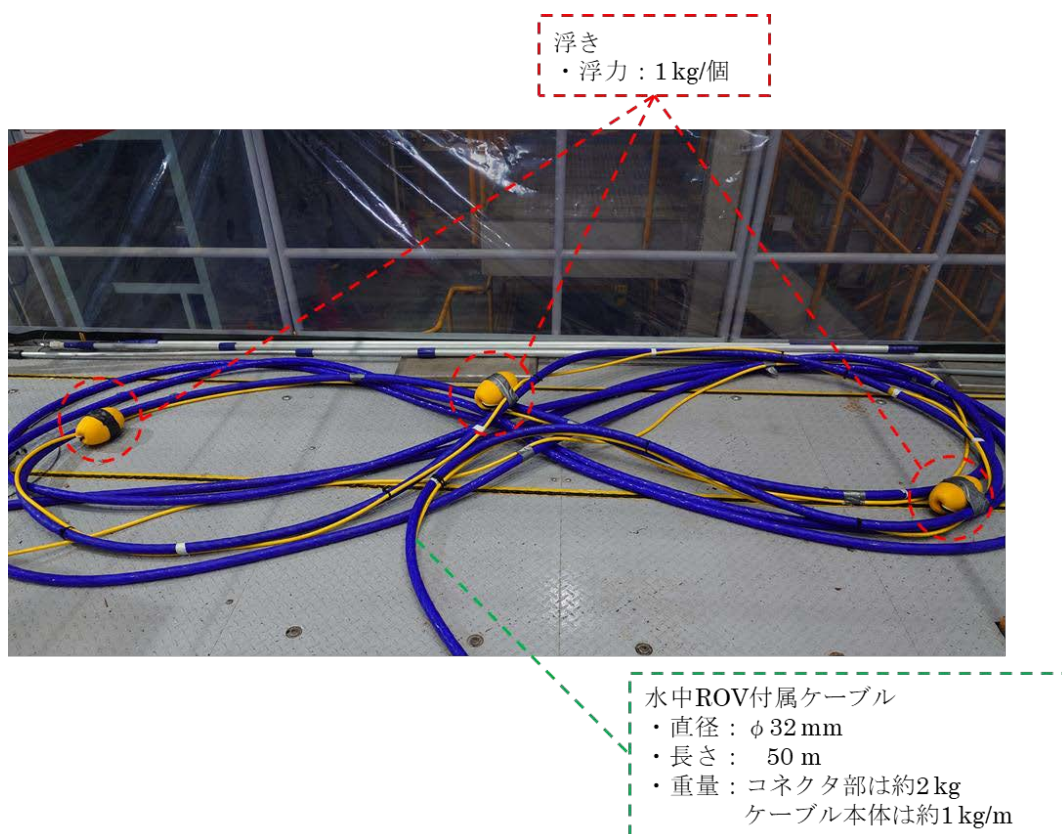
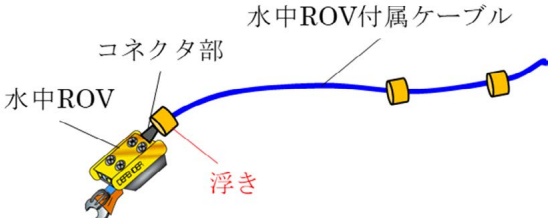
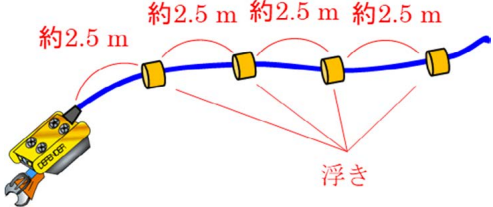
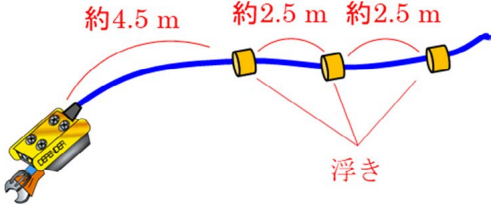
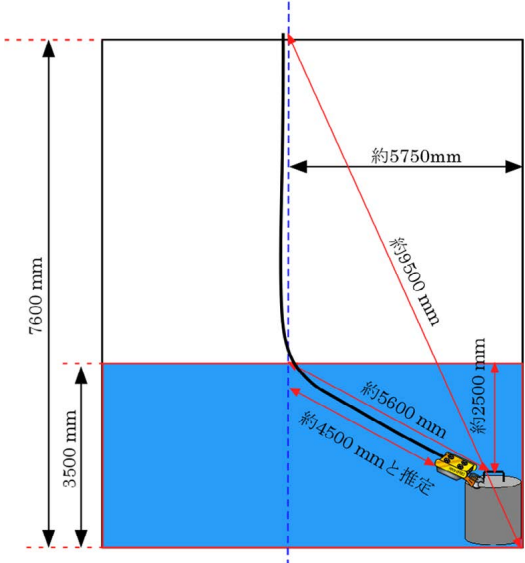


図3 浮きを装着した水中ROV付属ケーブル

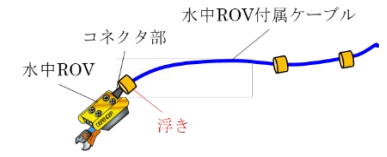


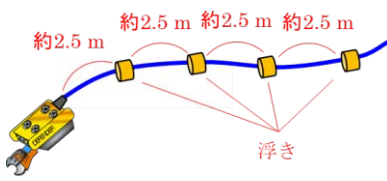
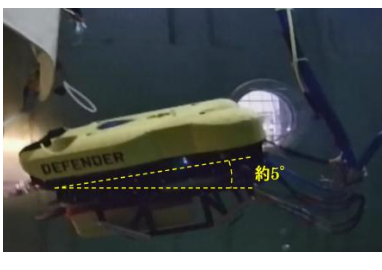

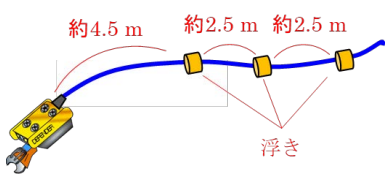


表 1 水中 ROV 付属ケーブルへの浮きの装着パターン (全 3 パターン)

装着パターン	設定理由
<p>① コネクタ部のみに浮きを 1 個装着</p> 	<p>コネクタ部に浮きを 1 個装着して水中 ROV 付属ケーブルの重量を均一にすることで水中 ROV の姿勢安定性の向上を図る。</p>
<p>② 水中 ROV 付属ケーブル全般に約 2.5 m 間隔で浮きを装着</p> 	<p>水中 ROV 付属ケーブルに等間隔で浮きを取り付け、付属ケーブル全般を中性浮力に近づけることで水中 ROV の姿勢安定性の向上を図る。</p>
<p>③ 水中 ROV 付属ケーブルの後方 (水中 ROV から約 4.5 m 以降) に約 2.5 m 間隔で浮きを装着</p> 	<p>試験において水中 ROV の自由度を大きくするためには、「水中 ROV から約 4.5 m 分のケーブルのたわみが必要※」であることを踏まえ、浮きを装着して水中 ROV 付属ケーブルの後方 (水中 ROV から約 4.5 m 以降) のみを中性浮力に近づけることで水中 ROV の姿勢安定性の向上を図る。</p>  <p>※モックアップ設備において、水中ROV 投入口から最も遠い位置 (北西角部) に正立ハル缶を配置した場合、水中ROV 付属ケーブルは最短で約4500 mm が水中にあると想定</p>

3.1.3 確認結果

表 2 に各パターンにおける静止時及び前傾操作時の水中 ROV の状態を示す。

表 2 静止時及び前傾操作時の水中 ROV の状態

装着パターン	静止時の水中 ROV の状態※1	前傾操作時の水中 ROV の状態※2
<p>①</p> 		
<p>②</p> 		
<p>③</p> 		

※1 機体に対して特別な制御を行わず、水中に制止している状態

※2 機体の前後にある垂直移動用スラスタの回転数を制御し、水中 ROV 前方を傾けている状態

【パターン①の結果】

- ・ 浮きの浮力が水中 ROV に作用し、水中 ROV を静止させた状態で約 10° の前傾姿勢を維持した。
- ・ 浮きを装着したことで水中 ROV 付属ケーブルの重量が軽減され、水中 ROV の前傾操作が容易になった反面、水中 ROV を前傾させたのち水平状態に復帰させる操作が難しくなった。
- ・ コネクタ部の浮きの浮力により水中 ROV が常に前傾姿勢のため、水中 ROV の上昇制御、垂直方向の位置の維持が困難であった。
- ・ ワイヤの切断に要した時間は約 24 分（3 回の操作の平均値）であり、2023 年度に実施した総合試験時のワイヤ切断に要した時間（約 15 分）を上回り、改善の効果が見られなかった。

【パターン②の結果】

- ・ 浮きの浮力が水中 ROV に作用し、水中 ROV を静止させた状態で約 5° の前傾姿勢を維持した。
- ・ 浮きを装着したことで水中 ROV 付属ケーブルの重量が軽減され、水中 ROV の前傾操作が容易になった。
- ・ 水中 ROV を水平状態に復帰させる操作は改善前と同様に可能であった。
- ・ 水中 ROV の上昇制御、垂直方向の位置の維持は改善前と同様に可能であった。
- ・ ワイヤの切断に要した時間は約 9 分（3 回の操作の平均値）であり、2023 年度に実施した総合試験時のワイヤ切断に要した時間（約 15 分）を下回り、改善の効果が見られた。

【パターン③の結果】

- ・ 浮きの浮力が水中 ROV には作用せず、水中 ROV を静止させた状態で 0°（水平）の姿勢を維持した。
- ・ 浮きを装着したことで水中 ROV 付属ケーブルの重量が軽減され、水中 ROV の前傾操作が容易になった。
- ・ 水中 ROV を水平状態に復帰させる操作は改善前と同様に可能であった。
- ・ 水中 ROV の上昇制御、垂直方向の位置の維持は改善前と同様に可能であった。
- ・ ワイヤの切断に要した時間は約 9 分（3 回の操作の平均値）であり、2023 年度に実施した総合試験時のワイヤ切断に要した時間（約 15 分）を下回り、改善の効果が見られた。

図 4 に示すとおり、パターン①～③のいずれも浮きの浮力により水中 ROV 付属ケーブルの重量負荷が軽減され、前傾操作時に角度が付けやすくなり、水中 ROV 前方の下部と、ハル缶の縁部が干渉することなくワイヤの切断操作が可能であることを確認した。

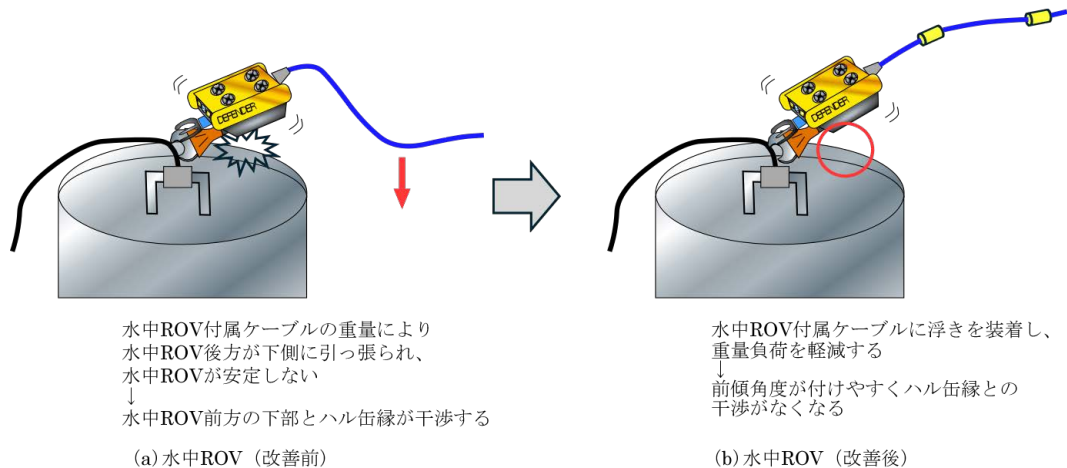


図 4 ハル缶に付属するワイヤ切断操作

ただし、パターン①（コネクタ部に浮きを 1 個装着したパターン）は水中 ROV を水平状態に復帰する操作、上昇制御、垂直方向の位置の維持が難しく、改善前と比較して操作性が悪化した。

パターン②（水中 ROV 付属ケーブル全般に約 2.5 m 間隔で浮きを装着したパターン）及びパターン③（水中 ROV 付属ケーブルの後方（水中 ROV から約 4.5 m 以降）に約 2.5 m 間隔で浮きを装着したパターン）を比較した場合、水中 ROV の前傾操作は②が優位、水中 ROV の上昇制御及び垂直方向の位置の維持は、水中 ROV の自由度が大きい③が優位であった。そこで、後述する総合確認においては、②及び③のパターンを用いて比較検討を行うこととした。

3.1.4 考察

水中 ROV 付属ケーブルの重量（ケーブル部：約 1 kg/m、コネクタ部：約 2 kg）を考慮し、ケーブルの各位置に浮き（浮力：約 1 kg/個）を装着し中性浮力に近づけたことで、水中 ROV にかかるケーブルの重量が軽減され、前傾操作がし易くなったと考えられる。

3.2 廃棄物把持用グラブの把持安定性の向上

3.2.1 目的

モックアップ試験にて、水中リフタ（グラブ式）でハル缶を把持して地切りする際、図 5 (a) に示すように、グラブ内でハル缶の姿勢がずれる事象を確認した³⁾。そこで、安定してハル缶を把持できるように、図 5 (b) に示すように、グラブの爪先端に治具を取り付けて拡張する改善を行い、グラブの把持の安定性の向上に係るデータを取得した²⁾。

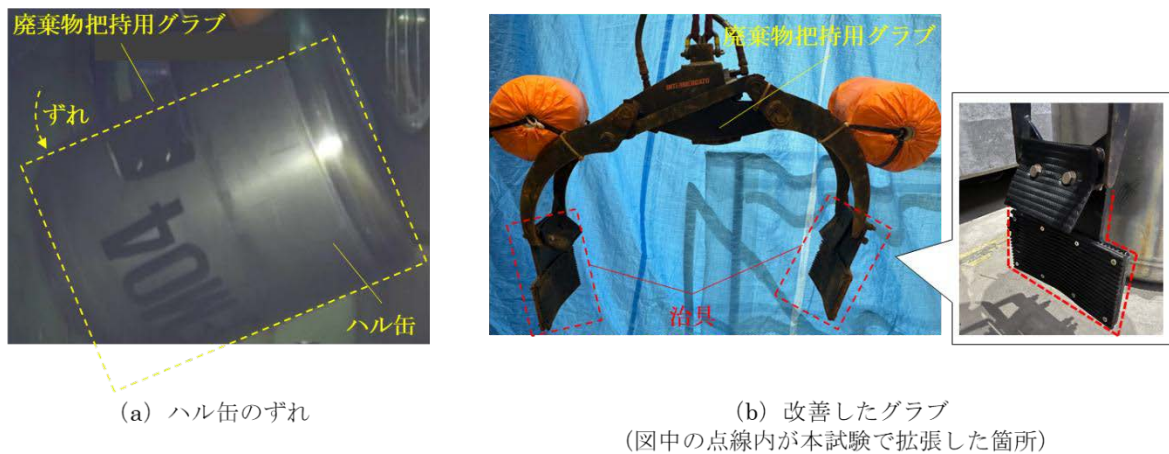


図 5 廃棄物把持用グラブに関する改善

3.2.2 確認方法

モックアップ試験で使用した水中リフタ（グラブ式）の爪先端に、縦約 30 cm×横約 30 cm×厚み約 1 cm、重量約 5 kg の鋼製の治具を取り付けた。モックアップ試験で用いた改善前のグラブは、図 6 (a) の破線に示すように、ハル缶の直径（755 mm）に対する爪先端の接触位置の深さが約 44%であった。一般的に、グラブに似たロボットハンドで球形状の対象物を把持する場合、ハンドと対象物の摩擦係数、モーメント等を踏まえると、爪先端の接触位置の深さを対象物の半径以上とすることで安定して把持できる⁴⁾。これを参考に、グラブに上記治具を取り付け、図 6 (b) の破線に示すように、ハル缶の直径に対する爪先端の接触位置の深さを約 60%に増強し、モックアップ設備内に配置したハル缶を把持して浮き上げる操作を行い、グラブ内でハル缶の姿

勢がずれる事象の有無を確認した。ハル缶は、HASWS の貯蔵状態を模擬し、横向きあるいは斜め向きで配置した。

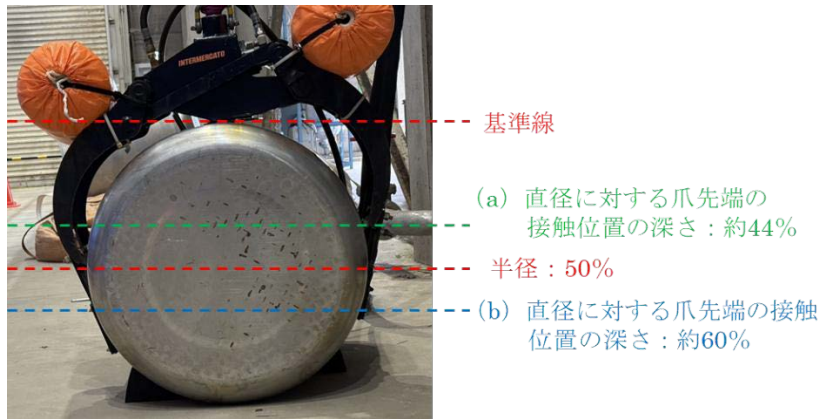


図6 ハル缶の直径と爪先端の接触位置の関係

3.2.3 確認結果

治具を取り付けたグラブを用いて、横向きあるいは斜め向きのハル缶を3点（グラブの両爪先端の2点、グラブの開口部の頂点）で把持し、グラブ内でハル缶の姿勢がずれることなく把持して浮き上げられることを確認した。ハル缶を把持して浮き上げる様子を図7に示す。また、各配置位置から開口部下まで、姿勢のずれや落下が無くハル缶を移動できることを併せて確認した。



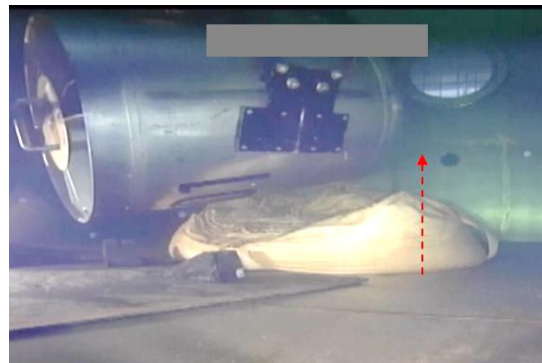
横向きのハル缶の把持



横向きのハル缶の浮上げ



斜め向きのハル缶の把持



斜め向きのハル缶の浮上げ

図7 ハル缶を把持して浮き上げる様子

以上より、治具を取り付けてグラブの爪先端を改善したことにより、ハル缶の把持の安定性が図られることを確認した。

3.2.4 考察

グラブで円柱状の対象物を3点で安定して把持するためには、①十分な把持圧力を有すること、②グラブの先端位置を対象物の半径（50%）以上とすることが重要なファクタとなる。①グラブの把持圧力については、過去に実施したアーム型装置の設計²⁾を参考に15 MPaに設定しており、ハル缶を破損させることなく把持できる値を満足している。

一方、2023年度の試験で使用したグラブは、先端位置がハル缶直上から約44%の深さでありハル缶の半径以下であったため、グラブ内でハル缶の姿勢がずれる事象を確認した。今回、当該グラブの爪先端に治具を取り付け、グラブの先端位置がハル缶直上から約60%の深さとなるよう拡張したことにより、②のグラブの先端位置を対象物の半径以上にすることが可能となり、安定して把持するための①、②のファクタを満足し、横向き及び斜め向きで配置したハル缶でも安定して把持できるようになったと推測する。

3.3 水中 ROV 取扱い用回収吊具へのアクセス性の向上

3.3.1 目的

モックアップ試験にて、図8のように水中 ROV で水中リフタ（吊具式）をハル缶から取り外す際、水中リフタ（吊具式）の回収吊具の外れ止めの開閉機構を操作するためのリングに対して、水中 ROV がピンポイントでアクセスする必要があるため、水中 ROV の位置を微調節するため、アクセスに時間を要した。そこで、図9に示すように、リングの大きさを水中 ROV で操作し易い大きさに変更する改善を行い、アクセス性の向上に係るデータを取得した²⁾。

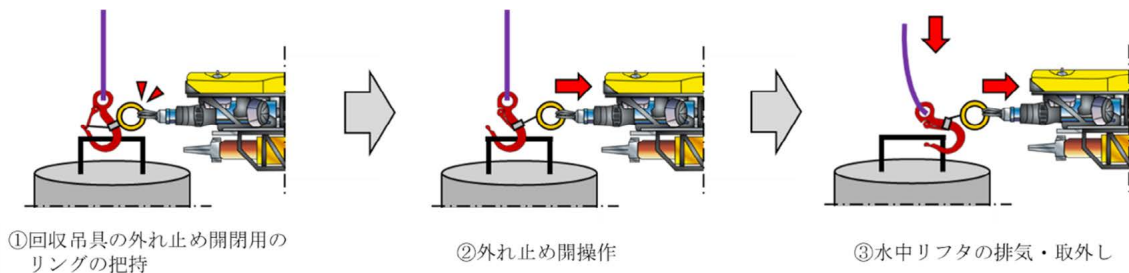


図8 ハル缶からの水中リフタ（吊具式）の取外し

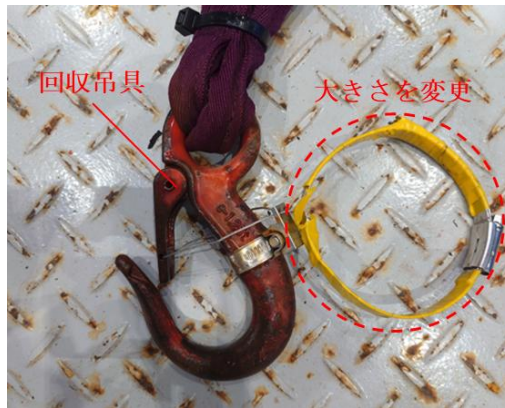
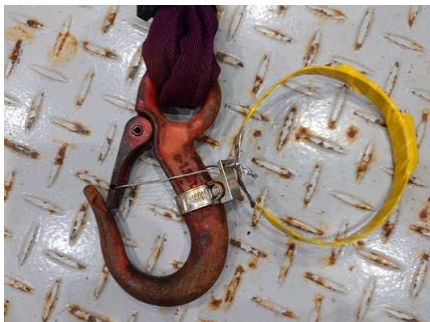


図9 水中 ROV 取扱い用回収吊具に関する改善

3.3.2 確認方法

モックアップ試験で使用した水中リフタ（吊具式）の回収吊具のリングの大きさは $\phi 8\text{ cm}$ であった。このことを基準に、リングの大きさは $\phi 9\text{ cm}$ 、 $\phi 11\text{ cm}$ 、 $\phi 13\text{ cm}$ 、 $\phi 15\text{ cm}$ 、 $\phi 17\text{ cm}$ の5パターンを設定した。図10にリングの大きさを変更した回収吊具を示す。それぞれのパターンにおいて、水中 ROV を用いて、モックアップ設備内に正立姿勢で配置したハル缶から水中リフタ（吊具式）を取り外す操作を3回行い、ハル缶に取り付けられた水中リフタ（吊具式）のリングを把持するまでの時間を確認した。図11に本試験の概要を示す。



リングの大きさが $\phi 9\text{ cm}$ の場合



リングの大きさが $\phi 17\text{ cm}$ の場合

図10 リングの大きさを変更した回収吊具

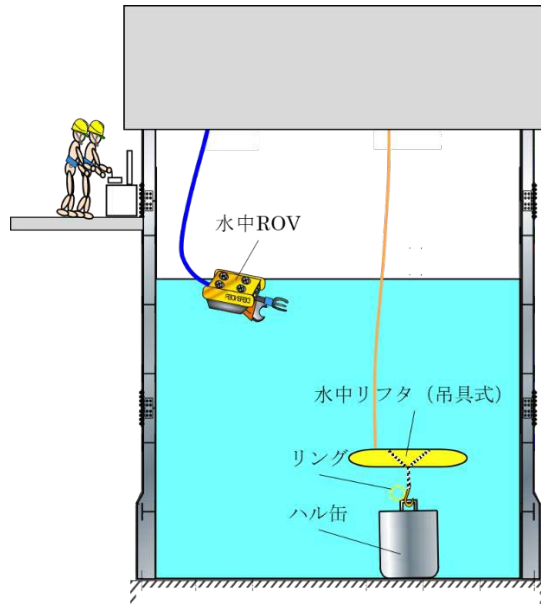


図 11 リングの把持操作の概要図

3.3.3 確認結果

リングの把持に要した時間を表 3 に示す。リングの把持に要した時間（平均）は、 $\phi 9\text{ cm}$ と $\phi 11\text{ cm}$ では約 10 分、 $\phi 13\text{ cm}$ では約 7 分、 $\phi 15\text{ cm}$ と $\phi 17\text{ cm}$ では約 1 分であった。

表 3 水中リフタ（吊具式）の取外しに要した時間

リングの大きさ	試行回数	リングの把持に要した時間	リングの把持に要した時間 (平均)
$\phi 9\text{ cm}$	1	12 分	10 分
	2	10 分	
	3	9 分	
$\phi 11\text{ cm}$	1	10 分	10 分
	2	8 分	
	3	13 分	
$\phi 13\text{ cm}$	1	9 分	7 分
	2	6 分	
	3	7 分	
$\phi 15\text{ cm}$	1	1 分	1 分
	2	2 分	
	3	1 分	
$\phi 17\text{ cm}$	1	1 分	1 分
	2	1 分	
	3	2 分	

リングの大きさをφ9～13 cmとした場合、水中 ROV でリングを把持しようとしても、水中 ROV 下部とハル缶の縁が干渉した。このため、図 12 (a) に示すように、前傾操作を活用しつつリングを把持する必要があり、把持に時間を要した。一方、リングの大きさをφ15 cm 以上とした場合、図 12 (b) に示すように、リングを把持する際に水中 ROV の前傾操作が不要となり、アクセス性が向上し、作業時間を大幅に短縮できることを確認した。ただし、リングの大きさをφ17 cm とした場合、図 12 (c) に示すように、ハル缶への水中リフタ（吊具式）の取付けを行うために水中 ROV で回収吊具を把持した際、リングが水中 ROV 前面のパーツ（切断治具）と干渉し、回収吊具を把持した状態で把持治具を回転させる操作性が低下することを確認した。以上より、リングを大きくすることで作業時間を短縮できること、リングの大きさをφ17 cm とした場合にはリングが水中 ROV 前面のパーツ（切断治具）と干渉することから、当該回収吊具に対するリングの大きさをφ15 cm とすることで、アクセス性の向上が図られることを確認した。



(a) φ9～13 cm のリングの 把持 (b) φ15 cm のリングの把持 (c) φ17 cm のリングの把持

図 12 水中 ROV による回収吊具のリングの把持

3.3.4 考察

ハル缶の半径が約 38 cm であること、水中 ROV の把持治具を最大まで伸ばした際の長さが約 23 cm（把持治具爪部：約 8 cm＋把持治具伸縮部：約 15 cm）であることを踏まえ、回収吊具のリングの大きさをφ15 cm 以上とした場合、図 13 (a) に示すように、前傾操作をせずとも水中 ROV でリングを把持することが可能となり、アクセス性が向上したと推測する。一方、回収吊具のリングの大きさをφ15 cm より大きくすると、図 13 (b) に示すように、回収吊具を把持治具爪部で把持した際に、リングの大きさが把持治具伸縮部の長さを超えるため、水中 ROV 前面のパーツ（切断治具）に干渉したと推測する。

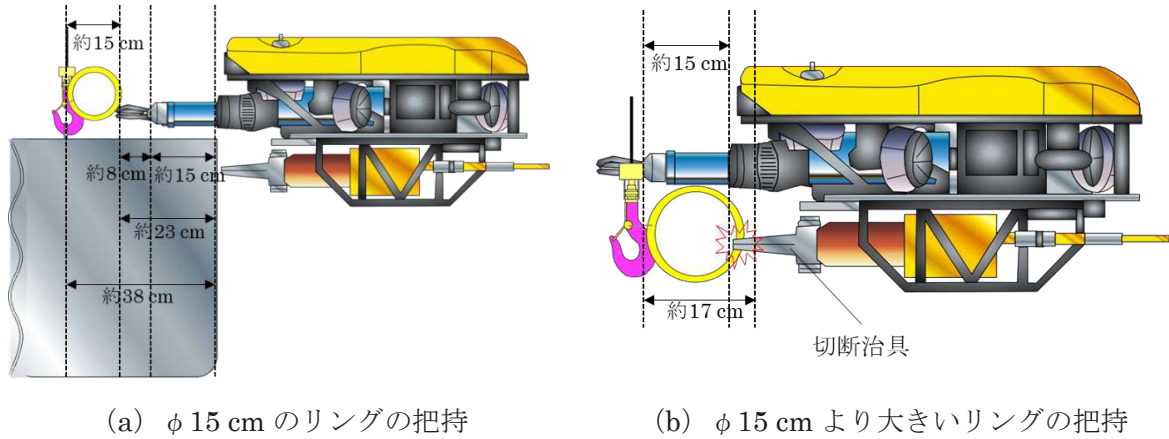


図 13 リングと水中 ROV の位置関係

3.4 水中リフタの給排気の安定性の向上

3.4.1 目的

モックアップ試験時、水中 ROV で水中リフタをハル缶に取り付ける際、水中リフタ内の空気量を微調整できず、水中 ROV で誘導できる浮力となっていることを外観から判断する必要があった。また、水中リフタ内の空気を排気し開口部下でハル缶を浮き下げる際、水中リフタの浮き部が折れ曲がり、給排気口周辺の空気の流路が塞がれ、排気ができずハル缶を浮き下げることができない事象を確認した。水中リフタの給排気が容易となるように、内部構造を変更した 2 種類の水中リフタ（チューブ内蔵型、気室分割型）を用意し、水中リフタの給排気の安定性の向上に係るデータを取得した。改善した水中リフタを表 4 に示す。

表 4 改善したリフタ（チューブ内蔵型、気室分割型）

種類	チューブ内蔵型	気室分割型	参考：従来型
外形			
特徴	浮き部に延びたシリコンチューブを通して吸排気が可能	浮き部の気室を分割し、各気室への給排気が可能	空気量を微調整できない、空気の流路が塞がれ排気が困難となる事象が見られた
重量	約15 kg	約23 kg	約25 kg
寸法 (最大膨張時)	Φ1280 mm×H940 mm	Φ1280 mm×H940 mm	H1400 mm×W1500 mm
材質	PVCターポリン	PVCターポリン	高強度ナイロン

3.4.2 確認方法

試験は、予備試験として水中リフタへの給気量の把握試験と、水中リフタの誘導に必要な引張力の測定試験を実施したのち、性能確認試験として水中 ROV による誘導試験と重量調整したハル缶の浮上げ・浮下げ試験を実施した。予備試験は、水中 ROV や水中リフタに過剰な負荷がかかることを防止するため、水中リフタを誘導する際に必要となる力をあらかじめ把握すること、水中リフタが破損・空気漏れ等なく膨らむことを確認することを目的に実施した。その結果を踏まえて、性能確認試験にて、水中リフタ内の空気量の微調整の可否や、ハル缶の浮上げ・浮下げの操作性を確認し、従来使用してきた水中リフタと比較し改善の有効性を確認した。

3.4.2.1 予備試験

▶ 水中リフタへの給気量の把握

気中にて、水中リフタ（チューブ内蔵型、気室分割型）を最大まで膨らませ、破損や空気漏れが無いことを確認するとともに、内部の空気量を確認した。水中リフタへの給排気は、コンプレッサまたは真空ポンプから給排気用ホースを介して行い、空気量はホース途中に設置した流量計（オーバル FLM30-10PD0）により計測した。

▶ 水中リフタの誘導に必要な引張力の測定

水中 ROV によるハル缶への水中リフタの取付けに際しては、水中リフタ内の空気量を調整し、水中 ROV で制御可能な浮力とする必要がある。その後、水面に浮き上がった水中リフタを水中 ROV で引き込み下降させる操作を行う。本試験では、水中リフタ内の空気量をパラメータとし、水中 ROV の推進力（下降約 6.5 kg）に相当する空気量を確認した。具体的には、モックアップ設備内に投入した水中リフタを、作業員が張力計を介してロープで引っ張り、引張力を測定した。水中リフタ内の空気量の調整と引張力の測定を、引張力が 6.5 kg を超過するまで繰り返した。本試験の概要を図 14 に示す。

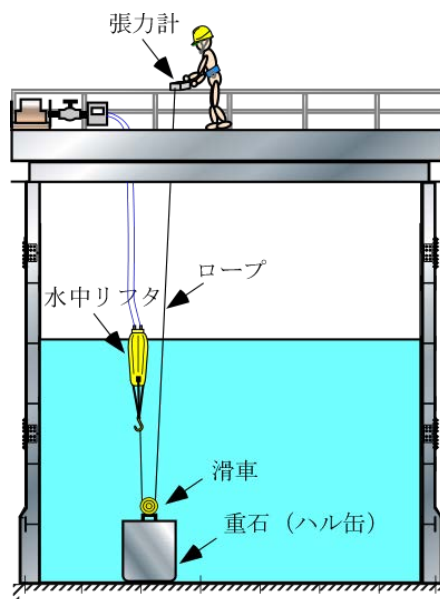


図 14 引張力の測定試験の概要図

3.4.2.2 性能確認試験

➤ 水中 ROV による誘導試験

水中 ROV で水中リフタを水中に引き込んで下降させる操作の可否を確認した。モックアップ設備内に水中リフタを投入し水面に浮き上げ、水中 ROV で水中リフタを把持し下降させた。水中リフタ内の空気量を調整し、下降させる操作を繰り返した。本試験の概要を図 15 に示す。

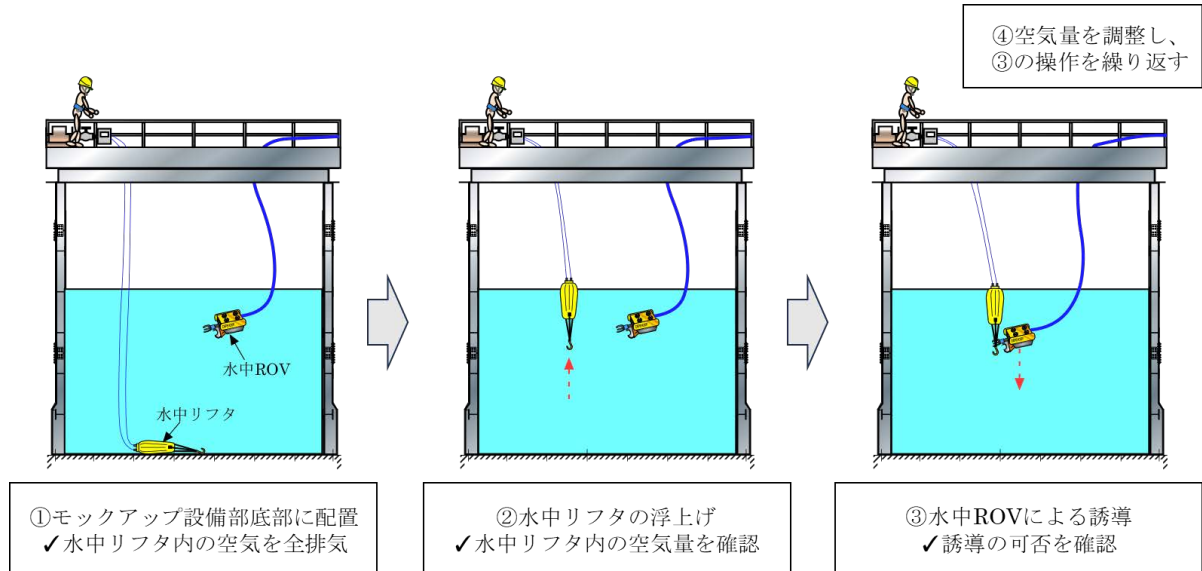


図 15 水中 ROV による誘導試験の概要図

➤ 重量調整したハル缶の浮上げ・浮下げ試験

ハル貯蔵庫内に貯蔵しているハル缶の最小・平均・最大重量を模擬し、約 465 kg・約 780 kg・約 920 kg に重量を調整したハル缶を水中リフタで浮き上げたのち浮き下げ、操作の可否及び給排気量を確認した。本試験の概要を図 16 に示す。

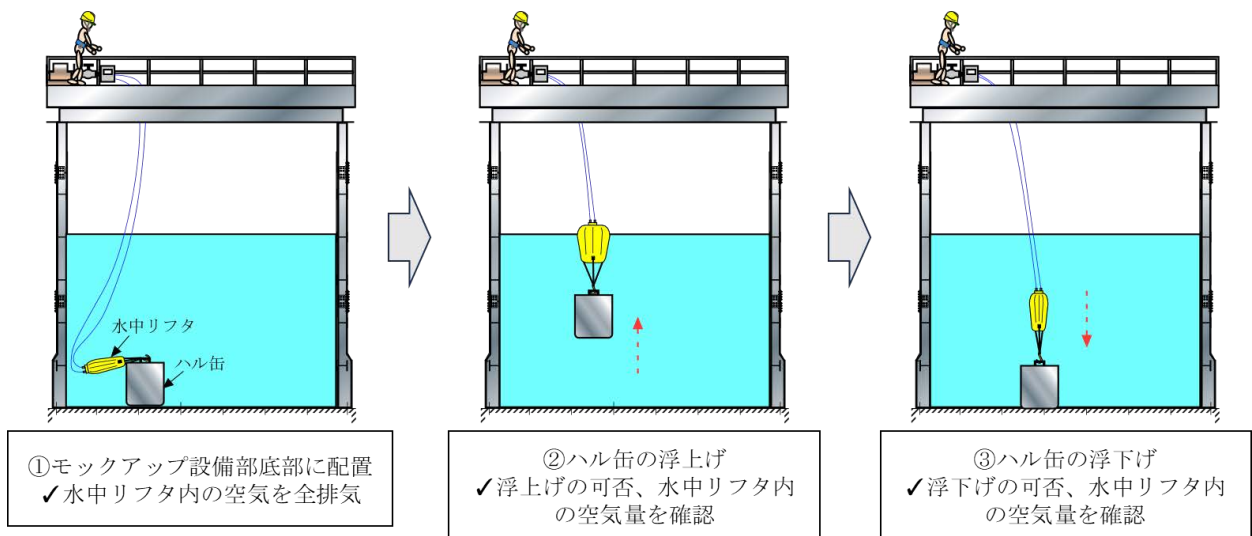


図 16 重量調整したハル缶の浮上げ・浮下げ試験の概要図

3.4.3 確認結果及び考察

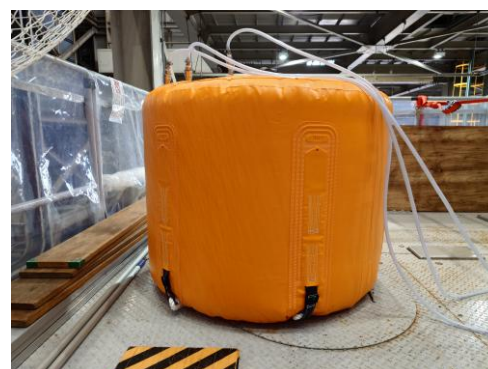
3.4.3.1 予備試験

▶ 水中リフタへの給気量の把握

チューブ内蔵型、気室分割型いずれの水中リフタも、破損や空気漏れがなく膨らむことを確認した。最大まで膨らませた際の空気量はチューブ内蔵型が 1250 L、気室分割型が 1060 L であった（チューブ内蔵型、気室分割型ともに寸法から算出した理論値は 1210 L）。膨らませた水中リフタを図 17 に示す。チューブ内蔵型は、水中リフタを構成する PVC ターポリンが一般に 10～30%の伸び率を有することから、浮き部が伸びたことで理論値より多い空気量となったと推測する。一方、気室分割型は、内部に気室を区切る仕切りが設けられていることから、仕切りにより膨張が抑えられたことで理論値より少ない空気量となったと推測する。



チューブ内蔵型



気室分割型

図 17 チューブ内蔵型及び気室分割型の最大給気量の把握

▶ 水中リフタの誘導に必要な引張力の測定

水中リフタ内の空気量と測定した引張力の関係を図 18 に示す。チューブ内蔵型、気室分割型ともに水中リフタ内の空気量と引張力は直線関係を示し、チューブ内蔵型は空気量を 6～9 L、気室分割型は空気量を 5～6 L の範囲で調整することで、引張力が水中 ROV の推進力（約 6.5 kg）を下回り、誘導が可能となる見込みを得た。気室分割型については、中心の気室のみに給気する方法と各気室に同時に給気する方法を試行したが、給気の方法は空気量と引張力の相関に影響を及ぼさなかった。なお、従来使用してきた水中リフタは、浮き部が均一に膨らまず、空気量と引張力の相関は見られなかった。

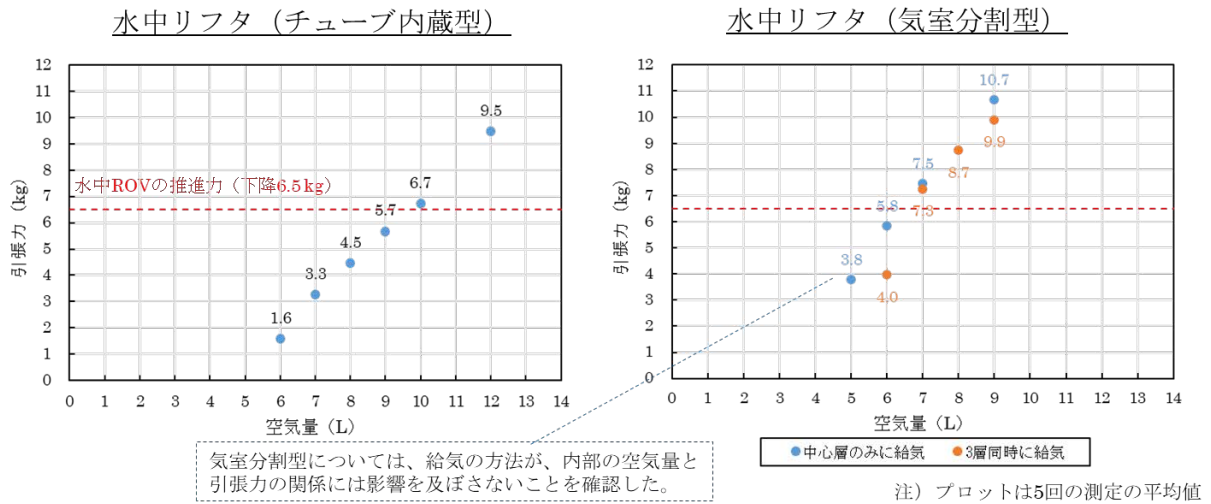


図 18 水中リフタ内の空気量と引張力の関係

3.4.3.2 性能確認試験

➤ 水中 ROV による誘導試験

水中リフタ内の空気量と水中 ROV による誘導の可否の関係を表 5 に示す。チューブ内蔵型は空気量 6~7 L、気室分割型は 5~6 L の範囲に調整することで水中 ROV による誘導が可能であり、水中リフタの誘導に必要な引張力の測定試験結果と概ね一致することを確認した。

また、チューブ内蔵型と気室分割型は、水中 ROV で誘導可能な空気量に 1 L 刻みで調整可能かつ給排気の操作に再現性があることを確認した。

表5 水中リフタ内の空気量と水中ROVによる誘導の可否の関係

チューブ内蔵型					
操作	水中リフタが水面に 浮くまで給気	→ 1 L給気	→ 1 L給気	→ 1 L排気	→ 1 L排気
空気量 (L)	6	7	8	7	6
水中ROVによる誘導 (下降)の可否	○	△	×	△	○
気室分割型					
操作	水中リフタが水面に 浮くまで給気	→ 1 L給気	→ 1 L給気	→ 1 L排気	→ 1 L排気
空気量 (L)	5	6	7	6	5
水中ROVによる誘導 (下降)の可否	○	△	×	△	○
参考：従来型					
操作	水中リフタが水面に 浮くまで給気	→ 1 L排気	→ 1 L給気	→ 再度水面に 浮くよう1L給気	→ 1 L排気
空気量 (L)	5 ^{※1}	4 ^{※2}	5	6 ^{※2}	5
水中ROVによる誘導 (下降)の可否	△	○	水中リフタが 自然下降	○	水中リフタが 自然下降

※1 浮き部が均一に膨らまず、5Lで浮き上がらなかったと推測 ※2 給排気量に整合がなく調整が困難

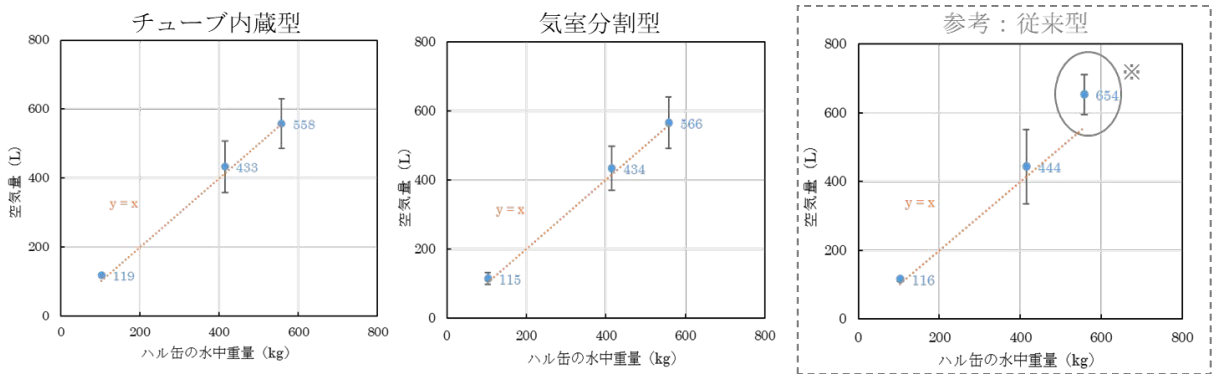
【凡例：水中ROVによる誘導の可否】

○	△	×
<p>水中ROVに余力を持って水中リフタを下降させることができる。水中ROVの姿勢は水平であり、ハル缶への取付け操作への影響が少ない。</p>	<p>水中ROVに余力がなく、水中ROVの姿勢も崩れるため、ハル缶への取付け操作にも影響がある。</p>	<p>水中リフタに働く浮力が大きすぎて、水中ROVで下降させる（水中に引き込む）ことができない。</p>

➤ 重量調整したハル缶の浮上げ・浮下げ試験

ハル缶を浮き上げた際のハル缶の重量と水中リフタ内の空気量の関係を図 19 に示す。ハル缶の重量は、気中での重量（約 465 kg・約 780 kg・約 920 kg）からハル缶の体積分に相当する水の重量（約 362 kg）を差し引き、水中での重量（約 103 kg・約 418 kg・約 558 kg）に換算した。チューブ内蔵型と気室分割型は、重量調整したハル缶を、概ね理論上の空気量で垂直に浮き上げることが可能であった。また、ハル缶の浮上げに必要な空気量の不確かさが小さい傾向が見られた。ハル缶の重量が増加するに伴い、空気量の不確かさが大きくなるのは、水中リフタが膨らむにつれて上部と下部での圧力差が大きくなったためと推測する。

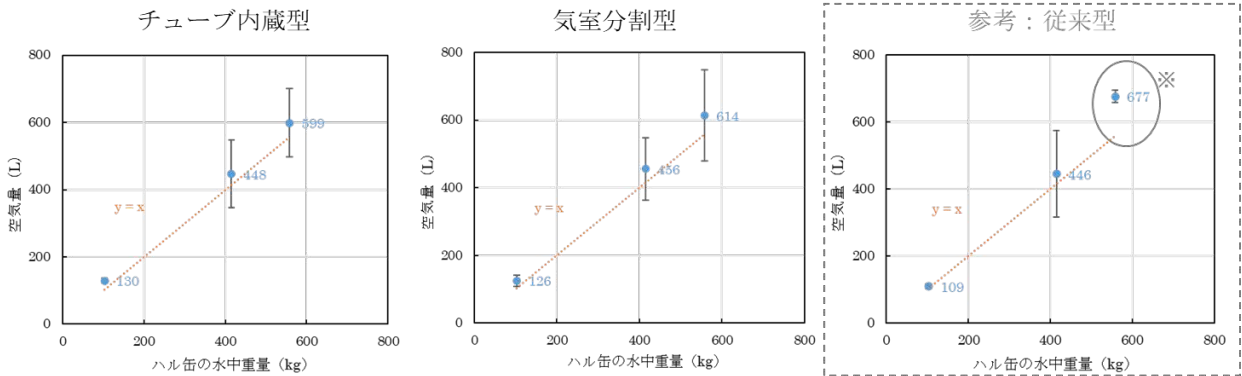
ハル缶を浮き下げた際のハル缶の重量と水中リフタ内の空気量の関係を図 20 に示す。浮上げと同様、チューブ内蔵型と気室分割型は、重量調整したハル缶を、概ね理論上の空気量で垂直に浮き下げることが可能であった。ハル缶の重量が増加するに伴い、空気量の不確かさが大きくなるのは、水中リフタが膨らむにつれて上部が水面上に露出し、排気バランスが変動したためと推測する。従来型の水中リフタは、ハル缶の浮下げを行う過程で、空気の流路が塞がれ排気が困難となる事象を確認したことに対し、改善した水中リフタは排気が困難となる事象が一度も見られなかった。



注) 青のプロットが測定値 (3回の測定の平均値)、橙が理論線、エラーバーは標準偏差 (2σ) を示す。

※従来型はハル缶の重量を支えるベルトが水中リフタの胴部を通っており、ハル缶の重量によって胴部が締め付けられて、注入した空気量に対する有効膨張体積が減少し、測定値と理論値の乖離が大きくなったと推測した。

図 19 浮上げにおけるハル缶の重量と水中リフタ内の空気量の関係



注) 青のプロットが測定値 (3回の測定の平均値)、橙が理論線、エラーバーは標準偏差 (2σ) を示す。

※従来型はハル缶の重量を支えるベルトが水中リフタの胴部を通っており、ハル缶の重量によって胴部が締め付けられて、注入した空気量に対する有効膨張体積が減少し、測定値と理論値の乖離が大きくなったと推測した。

図 20 浮下げにおけるハル缶の重量と水中リフタ内の空気量の関係

4 総合確認による操作性向上に係るデータの取得

4.1 目的

湿式セル内のような低照度の作業環境においては、水中 ROV 操作用カメラ（セル内を俯瞰し、水中 ROV の位置等を監視するためのカメラ）から水中 ROV 付属ケーブルの位置が把握できないため、水中 ROV の操作者は付属ケーブルの位置や水中リフタのホースの位置等をイメージする必要や、水中 ROV の向きを変えるたびに付属ケーブルの位置を確認する必要があり、操作が容易ではないことを確認した⁵⁾。そこで、図 21 に示すように、(1) 水中 ROV 付属ケーブルの浮力調整による姿勢の安定性の向上、(2) 廃棄物把持用グラブの把持安定性の向上、(3) 水中 ROV 取扱い用回収吊具へのアクセス性の向上、(4) 水中リフタの給排気の安定性の向上にて改善した各種装置を用いて、開口部に新たに光源（ライト）を設置する改善及びケーブル類を蛍光仕様に変更する改善を施した環境下で、取出しに係る一連の操作（廃棄物に付属するワイヤの切断、廃棄物への水中リフタの取付け・移動、廃棄物への回収吊具の取付け）を行い、視認性の向上に係るデータを取得した⁶⁾。

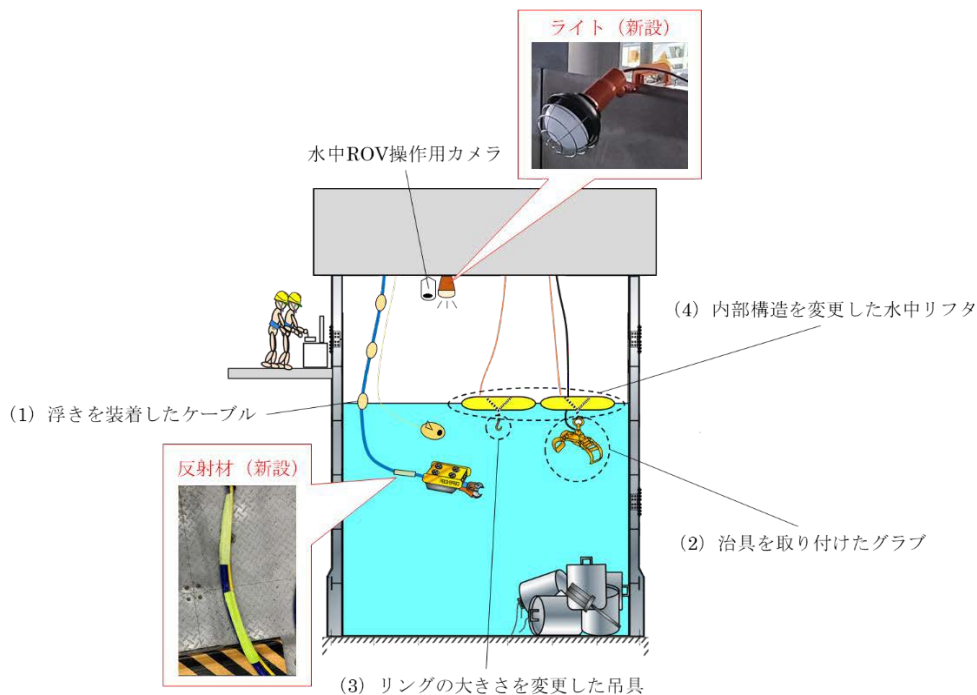


図 21 総合確認の概要図

4.2 確認方法

モックアップ試験時と同様に、水中 ROV 操作用カメラ（塚本無線、WTW-RAR902HAW）をモックアップ設備上部の開口部端に設置した。そのうえで、水中 ROV 操作用カメラの近傍に光束 5,500 lm のライト（アイリスオーヤマ、LWT-5500CK）を設置するとともに、水中 ROV 付属ケーブルに反射材（日東エルマテリアル、JC-D-50-5、JD-E-50-5）を貼付した。なお、ライトの明るさは、過去の湿式セル内観察に使用したライトの明るさを参考に選定した。

試験は、各種装置の確認結果をもとに改善を行った水中 ROV、水中リフタ（吊具式）、水中リフタ（グラブ式）を用いて、HASWS の貯蔵状態を模擬して山積み配置した廃棄物に対して、廃棄物の取出しに係る一連の作業（廃棄物に付属するワイヤの切断、廃棄物の各貯蔵位置から開口部下までの移動、廃棄物への回収吊具の取付け）を計 5 回実施した。

なお、水中 ROV の付属ケーブルは、パターン②（水中 ROV 付属ケーブル全般に約 2.5 m 間隔で浮きを装着したパターン）及びパターン③（水中 ROV 付属ケーブルの後方（水中 ROV から約 4.5 m 以降）に約 2.5 m 間隔で浮きを装着したパターン）の 2 通りで実施した。

また、湿式セル内のプール水中には、水垢やセル底面に敷設した緩衝砂等に由来すると推測する浮遊物が存在しており、より実環境に近い条件で操作を行うため、模擬浮遊物として、粒径 0.4-1.6 mm の鹿島珪砂（東都礦産）を浮遊物の推定量（13.6 kg/270 m³）と同量投入した。図 22 に示すように、湿式セル内のプール水における浮遊物と、モックアップ設備内のプール水の模擬浮遊物について、浮遊状況が同等であることを映像にて確認し試験を実施した。

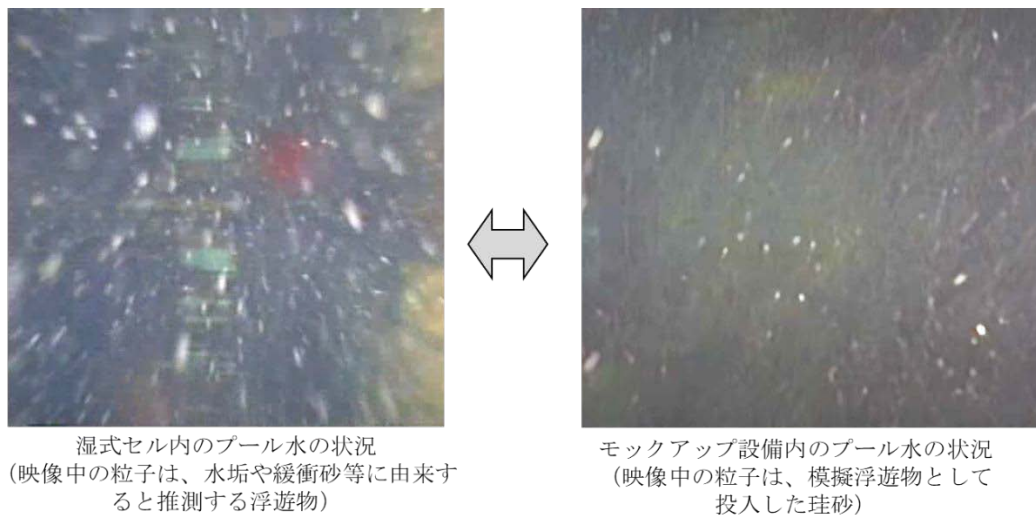


図 22 湿式セル内観察時及び本操作時のプール水の比較

4.3 確認結果

【水中 ROV 操作用カメラの視認性の向上の確認結果】

図 23 (a) 及び (b) にライト設置前後の水中 ROV 操作用カメラの映像を示す。ライトを水中 ROV 操作用カメラ近傍に追加で設置したことにより、セル内の照度が確保され、ケーブル類の位置を把握し易くなった。なお、照度計を用いてセル内の照度を測定したところ、ライト設置前の照度は約 0 lx、ライト設置後の照度は約 30 lx であった。モックアップ試験時は、水中 ROV 操作用カメラによるケーブル類の位置の把握が困難であったが、ライトを追加設置しセル内の照度を確保することにより、水中 ROV 操作用カメラからケーブル類を確認することができ、視認性の向上が図られることを確認した。

図 23 (c) 及び (d) にライト設置前後の反射材の状況を示す。水中 ROV 付属ケーブルに反射材を貼付して蛍光仕様としても、暗所かつ水中では反射材の効果が得られず、視認性の向上には繋がらなかった。



図 23 ライト設置前後における水中 ROV 操作用カメラの映像及び反射材の比較

【総合確認結果】

(水中 ROV の付属ケーブル)

水中 ROV 付属ケーブルについて、パターン②及びパターン③での廃棄物に水中リフタを取り付ける際の位置調整の比較を図 24 及び表 6 に示す。位置調整を、パターン②では平均して 3 回、パターン③では平均して 1 回実施する必要がある、パターン③でよりスムーズにハル缶に水中リフタを取り付けることが可能であった。

パターン②は、水中 ROV を水平状態に復帰する操作、上昇制御、垂直方向の位置の維持は改善前と同様に可能であるものの、貯蔵状態を模擬した廃棄物が密集した環境において、回収対象の廃棄物に水中リフタを取り付ける動作に必要な水中リフタの微細な位置調整が改善前と比較して行いにくく、時間を要することを確認した。

パターン③は、水中 ROV を水平状態に復帰する操作、上昇制御、垂直方向の位置の維持のほか、貯蔵状態を模擬した廃棄物が密集した環境において、回収対象の廃棄物に水中リフタを取り付ける動作に必要な水中リフタの微細な位置調整が改善前と同様に行えることを確認した。

以上より、パターン③を採用することで、前傾操作が容易となり水中 ROV の姿勢の安定性の向上が図られることを確認した。

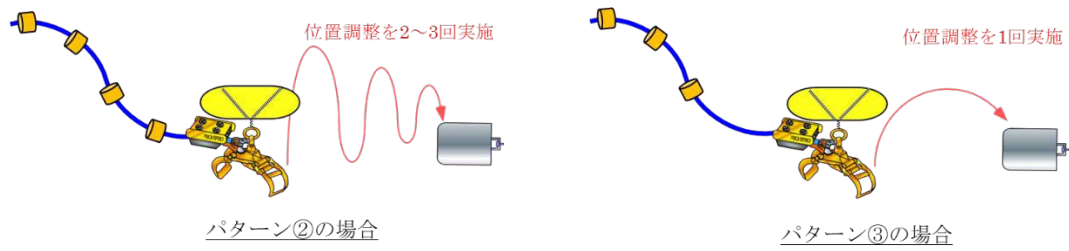


図 24 廃棄物に水中リフトを取り付ける際の位置調整の比較

表 6 パターン②及びパターン③における位置調整の回数比較

パターン	位置調整*の回数			
	n=1	n=2	n=3	平均
②水中 ROV 付属ケーブル 全般に浮きを装着	2	3	3	3
③水中 ROV 付属ケーブルの 後方に浮きを装着	1	1	1	1

※水中 ROV で水中リフトの垂直方向の位置を調整する操作であり、上昇・下降の一往復を 1 回とカウント。

(廃棄物把持用グラブ)

グラブの爪先端を拡張したことにより、HASWS の貯蔵状態を模擬した廃棄物が密集した環境において作業性に懸念があったものの、廃棄物同士の隙間にグラブの爪先端を挿入し、ハル缶を 3 点で抱え込んで把持できることを確認した。

(水中 ROV 取扱い用回収吊具)

貯蔵状態を模擬した環境においても、当該回収吊具のリングに対するアクセス性の向上が図られていることを確認した。

(水中リフト)

水中リフトを対象の廃棄物に取り付ける過程において、改善した水中リフトは給排気用ホースの本数が増えており（従来型：1 本、チューブ内蔵型：2 本、気室分割型：3 本）、ケーブルが絡まり、取付けに時間を要する懸念があったものの、ホースを結束バンドで約 1 m 間隔で束ねる処置を行うことで、ホースの分散を防ぐことができ、ハル缶の位置・姿勢に依らず従来型と同等の時間で取付け操作が行えることを確認した。

また、水中リフトで浮き上げた廃棄物を移動する過程において、チューブ内蔵型、気室分割型ともに排気が困難となる事象は見られなかった。従来型の場合、排気が困難となった際には、一度給気し空気の流路を確保したうえで再び排気を行う必要があったものの、改善した水中リフトはこのような操作が不要となったため、ハル缶の移動に要する時間の短縮が図られた。また、給排気ホースを束ねる処置を行ったことで、水中 ROV 操作用カメラからケーブル類を監視し、廃棄

物の移動時においてもホースの絡まりを防止することが可能であった。

なお、水中リフタを廃棄物から取り外す過程において、チューブ内蔵型、気室分割型ともに従来の水中リフタと同様に取外し操作が可能であった。

4.4 考察

【水中 ROV 操作用カメラの視認性の向上の確認結果】

光束 5,500 lm のライトを開口部近傍に設置し、セル内の照度を確保（改善前：約 0 lx→改善後：約 30 lx）することで、モックアップ設備の全域にわたり角部までケーブル類を視認できたことから、HASWS の実環境においても、セル開口部付近に同等の性能を有するライトを設置し、セル内の照度を確保することは、ケーブル類の視認に有効と推測する。

蛍光仕様の反射材は、水中で光が散乱・吸収して弱まること、水中 ROV 操作用カメラからの水面までの距離（約 3.5 m）があることから反射材の効果が得られず、視認できなかったと推測する。

【総合確認結果】

（水中 ROV の付属ケーブル）

パターン②とパターン③における水中 ROV 及び水中 ROV 付属ケーブルに働く浮力の関係を図 25 に示す。パターン②のように、水中 ROV に近い位置に浮きを装着すると、浮きの浮力が水中 ROV に働き、水中 ROV の中性浮力が崩れ、垂直方向の位置の調整が難しくなると推測する。一方、パターン③のように、ケーブルの後方に浮きを装着し、水中 ROV の自由度を大きくすると、ケーブルの重量が軽減され、かつ浮きの浮力が水中 ROV には作用せず、水中 ROV の中性浮力が保たれ微細な位置調整に影響が生じなかったものと推測する。

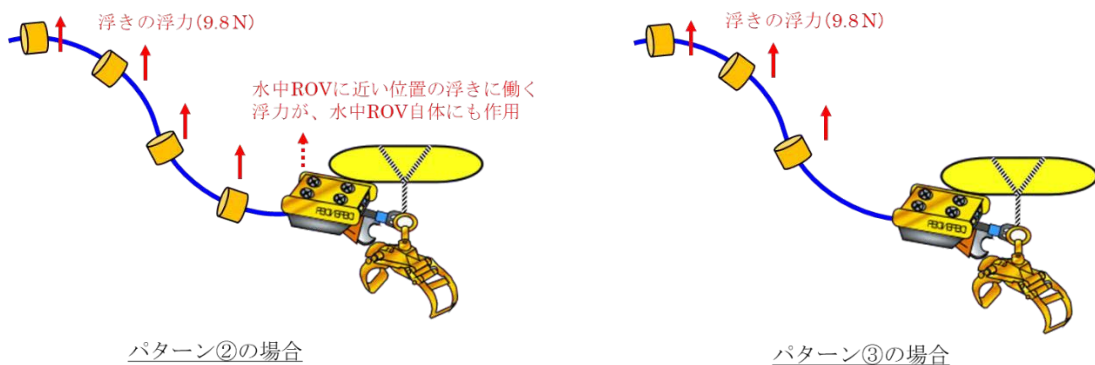


図 25 水中 ROV 及び水中 ROV 付属ケーブルに働く浮力の関係

5 まとめ

HASWS 貯蔵廃棄物のより安全かつ確実な取出しに向けて、水中 ROV 付属ケーブル、廃棄物把持用グラブ、水中 ROV 取扱い用回収吊具、水中リフタ、水中 ROV 操作用カメラについて改善を施したうえで操作性向上に係るデータを取得し、以下の結果を得た。

- ▶ 水中 ROV 付属ケーブル後方（水中 ROV から約 4.5 m 以降の位置）に浮きを装着することで、水中 ROV にかかるケーブルの重量が軽減されて前傾操作がし易くなり、かつ浮きの浮力が水中 ROV には作用せず、水中 ROV の中性浮力が保たれ微細な位置調整に影響が生じなかったため、水中 ROV の姿勢安定性の向上が図られた。
- ▶ 水中リフタ（グラブ式）に用いたグラブについて、グラブの駆動油圧を 15 MPa に設定し、かつグラブの先端位置をハル缶直上から約 60%の深さとしたことで、ハル缶の把持安定性の向上が図られた。
- ▶ 水中 ROV でハル缶から回収吊具を取り外す際、リングを大きくするにつれて作業時間を短縮できること、リングの大きさを $\phi 17$ cm とした場合、リングが水中 ROV 前面のパーツ（切断治具）と干渉することから、当該回収吊具に対するリングの大きさを $\phi 15$ cm とすることで、アクセス性の向上が図られた。
- ▶ 内部構造を変更した 2 種類の水中リフタ（チューブ内蔵型、気室分割型）は、微細な空気量の調整や、重量調整したハル缶の理論上の空気量での浮上げ・浮下げが可能であり、かつ浮き部が折れ曲がることによる空気の流路の閉塞も見られないことから、水中リフタへの給排気の安定性が図られた。
- ▶ 水中 ROV 操作用カメラ近傍にライトを追加で設置しセル内の照度を確保することで、ケーブル類を視認することが可能となり、視認性の向上が図られた。

水中 ROV 等を用いた廃棄物の取出し方法の成立性を確認するモックアップ試験にて、5 項目について取出し装置等の改善が必要であることを確認し、それぞれ所要の改善を施すことで、取出し装置の操作性が向上することを確認した。本結果は、水中 ROV や水中リフタの実機設計・製作、取出し作業を行うための付帯設備の配置に反映する計画である。また、取出し装置を用いた廃棄物の取出し作業が実施できる設備・作業環境を有した取出し建家及び取り出した廃棄物を貯蔵する施設の設計・建設に向けた検討を進め、早期の廃棄物取出し作業の開始を目指す。

参考文献

- 1) 佐野恭平, 爲田惟斗, 阿久澤禎, 加藤颯真, 高野祐吾, 秋山和樹: HASWS 湿式廃棄物の取出しに向けた水中 ROV と水中リフタを用いた試験, JAEA-Technology 2024-018, (2025), 68p.
- 2) 爲田惟斗, 佐野恭平, 山本昌彦, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物取出しに関する検討について (7)水中 ROV 付属ケーブル、廃棄物把持用グラブ、水中 ROV 取扱い用回収吊具の改善, 日本原子力学会 2025 秋の大会要旨集, 2025, 2C19p
- 3) 爲田惟斗, 佐野恭平, 阿久澤禎, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物取出しに関する検討について (4)水中 ROV と水中リフタ(グラブ式)の組合せ試験(ハル缶), 日本原子力学会 2024 秋の大会要旨集, 2024, 1L05p
- 4) 原田研介, 辻徳生, 他, 接触面を考慮したソフトフィンガ型把持の安定性評価, 計測自動制御学会論文集 Vol.51 No.2 2015, p.84
- 5) 佐野恭平, 爲田惟斗, 阿久澤禎, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物取出しに関する検討について (6)水中 ROV と水中リフタを用いた総合試験, 日本原子力学会 2024 秋の大会要旨集, 2024, 1L07p
- 6) 佐野恭平, 爲田惟斗, 山本昌彦, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物取出しに関する検討について (8)改善した作業環境及び水中 ROV 付属ケーブル等を用いた総合確認試験, 日本原子力学会 2025 秋の大会要旨集, 2025, 2C20p

This is a blank page.

