

## 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

Test Using ROV and Lifter for Recovery Waste of HASWS Wet Waste

佐野 恭平 爲田 惟斗 阿久澤 禎 加藤 颯真  
高野 祐吾 秋山 和樹

Kyohei SANO, Yuito TAMETA, Tadashi AKUZAWA, Soma KATO  
Yugo TAKANO and Kazuki AKIYAMA

核燃料サイクル工学研究所  
再処理廃止措置技術開発センター  
環境保全部

Waste Management Department  
TRP Decommissioning Center  
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

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 研究開発推進部 科学技術情報課  
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto: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, Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

## 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

日本原子力研究開発機構  
核燃料サイクル工学研究所  
再処理廃止措置技術開発センター 環境保全部

佐野 恭平、爲田 惟斗、阿久澤 禎、加藤 颯真、高野 祐吾\*、秋山 和樹

(2024 年 10 月 23 日受理)

東海再処理施設の高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS) は、再処理工程から発生した高放射性固体廃棄物を貯蔵する施設であり、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おり、乾式セル (予備貯蔵庫及び汚染機器類貯蔵庫) では分析試料のサンプリングを行った際の廃ジャグ等を収納した分析廃棄物用容器を貯蔵している。

東海再処理施設の廃止措置に向け、HASWS は廃棄物の取出し設備を有していないため、取出し設備の検討を進めており、ハル貯蔵庫においては、英国の廃止措置において使用実績がある水中作業用小型ロボット (水中 ROV) と、海洋分野にて海底に沈んだ物品の浮上げや運搬に用いられている水中リフタを活用した湿式貯蔵廃棄物の取出し方法を検討している。

水中 ROV と水中リフタの機能を組み合わせた取出し方法の成立性を確認するために、水中 ROV と水中リフタ各々に要求する機能を確認する「単体試験」、水中 ROV と水中リフタを組み合わせて水中で廃棄物を移動する「組合せ試験」、ハル貯蔵庫を模擬した環境にて廃棄物の回収を行う「総合試験」の順に、より実環境に近づけていくステップで廃棄物の取出しに向けた試験を実施した。

本試験により、廃棄物の取出しに必要となる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、廃棄物の開口部下までの移動、移動した廃棄物への回収吊具の取付けの各作業を一連で行うことができ、水中 ROV と水中リフタを用いた湿式貯蔵廃棄物の取出し方法の成立性を確認した。

## **Test Using ROV and Lifter for Recovery Waste of HASWS Wet Waste**

Kyohei SANO, Yuito TAMETA, Tadashi AKUZAWA, Soma KATO  
Yugo TAKANO\* and Kazuki AKIYAMA

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

(Received October 23, 2024)

High Active Solid Waste Storage Facility (HASWS) at the Tokai Reprocessing Plant (TRP) is a facility for storing highly radioactive solid waste generated from the reprocessing operation. Wet cells in HASWS store hull cans that contain fuel cladding tubes (hull) and fuel end pieces remained after the spent nuclear fuel shearing and dissolving, as well as used filters and contaminated equipment. Dry cells in HASWS store analytical waste containers that contain waste jugs and the other waste generated from analytical operation of samples in TRP.

Since HASWS does not have waste recovery equipment from the cells, it is considered that recovery equipment to be installed. In the wet cells, methods of recovery wet-stored waste are being considered that utilize a ROV, which has been used in decommissioning in the UK, and a lifter, which is used in the marine industry to float and transport items sinking to the bottom of the sea.

To confirm the feasibility of the recovery method that combines the functions of the ROV and the lifter, tests for removing waste were conducted in steps that came closer to the real environment: a "unit test" to confirm the functions required of each of the ROV and the lifter, a "combination test" to combine the ROV and the lifter to move waste underwater, and a "comprehensive test" to retrieve waste in an environment simulating the hull storage facility.

Through this test, the ROV and the lifter were able to perform a series of tasks required to recovery waste - cutting the wires attached to the waste, attaching a lifter to the waste, moving the waste to under the opening, and attaching the recovery device to the moved waste - in series, confirming the feasibility of the method for recovery wet-stored waste using the ROV and the lifter.

---

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
1.1	高放射性固体廃棄物貯蔵庫の概要	1
1.2	HASWS 貯蔵状態改善に向けた取組み	2
1.3	湿式貯蔵廃棄物の取出し方法・機能について	3
2	取出し装置の調査、取出し方法の検討	4
2.1	取出し装置の調査、検討経緯	4
2.2	水中 ROV と水中リフタを用いた湿式貯蔵廃棄物の取出し方法	4
2.3	取出し方法の成立性確認に向けた試験	7
3	試験設備	8
4	試験資機材	9
5	水中 ROV 単体試験	17
5.1	試験目的	17
5.2	試験方法	17
5.3	試験結果	20
6	水中リフタ（吊具式）単体試験	24
6.1	試験目的	24
6.2	試験方法	24
6.3	試験結果	24
7	水中リフタ（グラブ式）単体試験	26
7.1	試験目的	26
7.2	試験方法	26
7.2.1	気中での試験	26
7.2.2	水中での試験	27
7.3	試験結果	28
7.3.1	気中での試験	28
7.3.2	水中での試験	30
8	水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験	32
8.1	試験目的	32
8.2	試験方法	32
8.3	試験結果	34
9	水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験	40
9.1	試験目的	40
9.2	試験方法	40
9.3	試験結果	41
10	総合試験	45
10.1	試験目的	45
10.2	試験方法	45

10.3 試験結果	46
11 水中 ROV の不調事象	48
12 装置について考慮すべき事項	51
13 まとめ	53
謝辞	53
参考文献	54
付録-1 各貯蔵庫・貯蔵廃棄物の概要及び貯蔵実績	55
付録-2 HASWS からの廃棄物取出しに係る検討経緯及び HASWS プロジェクト概要	62
付録-3 水中 ROV による作業の所要時間	68

## Contents

1 Introduction .....	1
1.1 Overview of the HASWS facility .....	1
1.2 Initiatives to improve storage conditions at HASWS .....	2
1.3 Wet storage waste recovery method and function .....	3
2 Research into recovery equipment and methods .....	4
2.1 Investigation and consideration of the recovery equipment .....	4
2.2 Wet storage waste recovery method using ROV and lifter .....	4
2.3 Testing to confirm feasibility of recovery method .....	7
3 Test facility .....	8
4 Test equipment .....	9
5 ROV unit test .....	17
5.1 Test purpose .....	17
5.2 Test method .....	17
5.3 Test result .....	20
6 Lifter (hook) unit test .....	24
6.1 Test purpose .....	24
6.2 Test method .....	24
6.3 Test result .....	24
7 Lifter (grab) unit test .....	26
7.1 Test purpose .....	26
7.2 Test method .....	26
7.2.1 Test in air .....	26
7.2.2 Test in water .....	27
7.3 Test result .....	28
7.3.1 Test result in air .....	28
7.3.2 Test result in water .....	30
8 Combination test of ROV and lifter (hook) .....	32
8.1 Test purpose .....	32
8.2 Test method .....	32
8.3 Test result .....	34
9 Combination test of ROV and lifter (grab) .....	40
9.1 Test purpose .....	40
9.2 Test method .....	40
9.3 Test result .....	41
10 Comprehensive Exam .....	45
10.1 Test purpose .....	45
10.2 Test method .....	45

10.3 Test result-----	46
11 Malfunction of ROV -----	48
12 Equipment considerations -----	51
13 Conclusion-----	53
Acknowledgements -----	53
References -----	54
Appendix-1 Overview of each repository and stored waste, and storage record -----	55
Appendix-2 Review process for waste recovery from HASWS and HASWS project overview	62
Appendix-3 Time required for operation ROV -----	68



表リスト

表 1	ワイヤの切断パターン分け	17
表 2	回収吊具の取付けパターン分け	19
表 3	水中リフタ（グラブ式）単体試験パターン分け	27
表 4	水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験パターン分け	33
表 5	水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験時の様子	35
表 6	水中リフタ（吊具式）の取付け方法	36
表 7	水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験パターン分け	41
表 8	試験期間中に確認した水中 ROV の不調事象	49
表 A1-1	ハル貯蔵庫に貯蔵している廃棄物種類及び個数	59
表 A1-2	ハル缶内容物の内訳	60
表 A1-3	分析廃棄物用容器の貯蔵個数	60
表 A3-1	総合試験の所要時間	68

図リスト

図 1	HASWS 概要図	2
図 2	水中 ROV と水中リフタを用いた湿式貯蔵廃棄物の取出し方法	6
図 3	水中 ROV と水中リフタを用いた試験のステップ	7
図 4	モックアップ設備	8
図 5	水中 ROV	9
図 6	水中リフタ（吊具式）	10
図 7	種々の形状の水中リフタ	10
図 8	水中リフタ（グラブ式）	11
図 9	巻上機	12
図 10	バスケット	12
図 11	セル内俯瞰用カメラ	13
図 12	移動式カメラ	13
図 13	ハル缶	14
図 14	ハル缶姿勢模擬架台	14
図 15	ワイヤ	15
図 16	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）	15
図 17	汚染機器類（模擬 PC-1 ポンプ・模擬スターラ・観察装置）	16
図 18	ワイヤの切断概要図	17
図 19	回収吊具の取付け概要図	18
図 20	ワイヤの切断の様子（水中 ROV のセカンドカメラの映像）	20
図 21	切断したワイヤ	21

図 22	ワイヤを把持した上で切断する操作	21
図 23	回収吊具の取付けの様子（水中 ROV のメインカメラの映像）	22
図 24	回収吊具の把持時の様子（水中 ROV のメインカメラの映像）	22
図 25	回収吊具の取付け時における前傾・後傾操作の活用	23
図 26	ハル缶蓋取っ手部の角度	23
図 27	水中リフタ（吊具式）単体試験概要図	24
図 28	ハル缶の浮上げ・浮下げの様子	25
図 29	種々の形状の水中リフタによる浮上げ高さの比較	25
図 30	気中での水中リフタ（グラブ式）単体試験	26
図 31	水中での水中リフタ（グラブ式）単体試験概要図	28
図 32	ハル缶を把持して持ち上げた際の様子	29
図 33	フィルタ類、汚染機器類を抱え込んで把持した際の様子	29
図 34	フィルタ類、汚染機器類を摘んで把持した際の様子	30
図 35	パルスフィルタへのグラブの爪先の噛みこみ	31
図 36	水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験概要図	32
図 37	ハル缶の移動状況の観察	37
図 38	ハル缶の移動中にケーブル類が絡まる事象	37
図 39	水中リフタが折れ曲がり、排気ができなくなる事象（セル内俯瞰用カメラの映像）	38
図 40	水中リフタ（吊具式）の取外し概要図	39
図 41	水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験概要図	40
図 42	斜め下向きのハル缶への水中リフタ（グラブ式）の取付け（移動式カメラの映像）	42
図 43	横向きのハル缶への水中リフタ（グラブ式）の取付け（移動式カメラの映像）	43
図 44	ケーブル類が他の廃棄物に引っ掛かる事象（移動式カメラの映像）	43
図 45	水中リフタ（グラブ式）の取付け時の状況	44
図 46	総合試験概要図	45
図 47	総合試験時の廃棄物の配置状況	46
図 48	水中 ROV のパワーモジュール	49
図 49	水中 ROV 内部とスラスタ交換作業の様子	50
図 50	水中 ROV について考慮すべき事項	51
図 51	水中リフタについて考慮すべき事項	52
図 A1-1	ハル缶概要図	56
図 A1-2	フィルタ類（シャフトを含む）概要図	57
図 A1-3	汚染機器類概要図	58
図 A1-4	分析廃棄物用容器概要図	59
図 A1-5	ハル缶投入方法の概要	60
図 A1-6	フィルタ類、汚染機器類投入方法の概要	61
図 A1-7	分析廃棄物用容器投入方法の概要	61

図 A2-1	HWTF 処理プロセスフロー	63
図 A2-2	水中ロボットと筏を用いた取出し方法概念図	64
図 A2-3	HASWS プロジェクトのスクープ	65
図 A2-4	1 台のアーム型装置による取出し方法の概念	66
図 A2-5	2 台のアーム型装置による取出し方法の概念	66
図 A2-6	HASWS プロジェクトの概略フロー	67

This is a blank page.

## 1 はじめに

### 1.1 高放射性固体廃棄物貯蔵庫の概要

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。）は、再処理工程から発生する高放射性固体廃棄物を貯蔵することを目的とした施設であり、1977年に竣工した。HASWSは、湿式セルであるハル貯蔵庫2基、乾式セルである予備貯蔵庫1基と汚染機器類貯蔵庫7基を有しており、ハル貯蔵庫は、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）、予備貯蔵庫及び汚染機器類貯蔵庫は、分析試料のサンプリングを行った際の廃ジャグ、分析用器具等を収納した分析廃棄物用容器を貯蔵している。HASWSの概要を図1に示す。

ハル貯蔵庫では、廃棄物を収納したカスクを貯蔵庫上部の開口部（ハル貯蔵庫上部には、ハル缶投入用の開口部と、フィルタ類及び汚染機器類投入用の開口部が計2箇所設けられている。）に設置し、廃棄物をワイヤで貯蔵庫内に吊り降ろした後（ハル缶の場合は蓋取っ手部、フィルタ類及び汚染機器類の場合はシャフト部にワイヤが取り付けられている。）、ワイヤを切断することで廃棄物を貯蔵庫内に配置する方法で投入し、ジルカロイ火災防火の観点から貯蔵庫内をプール水で満たし、貯蔵を行っている。そのため、ハル貯蔵庫内で、廃棄物には吊り降ろすためのワイヤが付属し、様々な貯蔵姿勢となっている。

予備貯蔵庫及び汚染機器類貯蔵庫では、廃棄物を収納したカスクを貯蔵庫上部の開口部（予備貯蔵庫及び汚染機器類貯蔵庫上部には、分析廃棄物用容器投入用の開口部が1箇所設けられている。）に設置し、カスクを反転させることにより自然落下で廃棄物を貯蔵庫内に配置する方法で投入し、乾式にて貯蔵を行っている。そのため、予備貯蔵庫及び汚染機器類貯蔵庫内で、廃棄物は様々な貯蔵姿勢となっている<sup>1)2)</sup>。

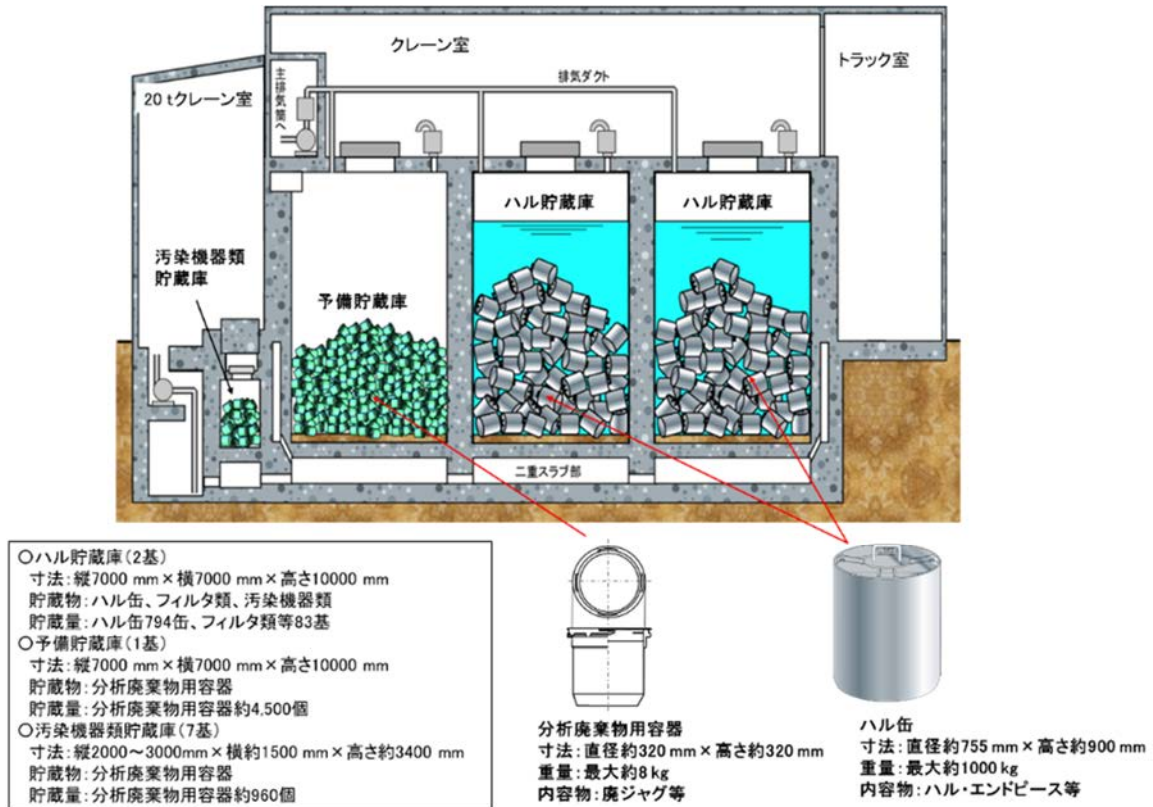


図 1 HASWS 概要図

## 1.2 HASWS 貯蔵状態改善に向けた取組み

1980年より、HASWSの貯蔵満杯時期の延命及び日本原燃株式会社への運転経験等の反映を目的に、HASWSで貯蔵している廃棄物を、新たに設計・建設するハル等廃棄物処理技術開発施設（以下「HWTF」という。）において分別した後に圧縮し、廃棄体化処理を実施し、処分する計画（以下「HWTF計画」という。）を開始した<sup>3) 4)</sup>。

当該計画の中で、HASWSは廃棄物の貯蔵を目的とした施設であり、廃棄物を取り出すための設備を有していないことから、取出し設備の検討を優先して進めてきた。

取出し設備は、各セルから全ての廃棄物を取り出すことを目的に検討を実施しており、水中環境及び重量物である湿式セルからの取出し設備の検討を進めている。

また、HWTFで処理した廃棄体は地層処分相当の処分場に搬出し処分することとしており、現時点で処分場の受入基準は具体化しておらず、廃棄体が処分条件を満足しなかった場合、再び廃棄体化処理を行うこととなり、結果的にコストが増大することとなるため、HWTF計画は、フェーズIとフェーズIIに分け検討を進めている。フェーズIでは、取出し装置の製作、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の建設、取り出した廃棄物やHWTF-2で処理した廃棄体の貯蔵設備及び廃棄物の減容に向けた分析廃棄物の前処理（分別・細断）設備を有したHWTF-1の建設を行った後、HASWSから全ての廃棄物を取り出し、廃棄物取出し後のHASWSの除染及び密閉管理（モスボール化）までを行う。フェーズIIではHWTF本体施設（HWTF-2）の建設及び廃棄体化処理を、廃棄体化の処分条件などの状況を勘案しながら進める計画である。

### 1.3 湿式貯蔵廃棄物の取出し方法・機能について

廃棄物の取出し方式は、貯蔵庫上部の開口部（ハル貯蔵庫の場合 2 箇所）を活用し取り出す方式と貯蔵庫天井部を全撤去し取り出す方式がある。貯蔵庫天井部を撤去した場合、貯蔵庫直上のクレーン室との境界がなくなり、クレーン室と貯蔵庫が同区域となるため、クレーン室全体を覆うセルの設置が必要になる。追加でセルの設置をした場合、建家の改造範囲が広がること、汚染範囲が拡大すること等を踏まえ、貯蔵庫上部の開口部を活用し取り出す方式で検討を進めている<sup>5)</sup>。

貯蔵庫上部の開口部を活用し取り出す方式において、取出し装置には、廃棄物を移動する際にワイヤが他の廃棄物と干渉し移動の妨げになることを防ぐため、①様々な姿勢の廃棄物に付属するワイヤを切断する機能、②様々な姿勢の廃棄物を破損させることなく廃棄物を吊上げ可能な位置に移動する機能、③様々な姿勢の廃棄物へ回収吊具の取付けを行う機能、④廃棄物を貯蔵庫内から吊上げて、回収及び移送を行う機能が求められる。

本稿では、湿式廃棄物の取出し装置に要求する機能を基に実施した取出し装置の調査及びモックアップ試験等について報告する。

## 2 取出し装置の調査、取出し方法の検討

### 2.1 取出し装置の調査、検討経緯

国内外の廃止措置の状況を踏まえ、2017年度より廃棄物の取出し装置に必要な機能の整理を基に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の調査・検討を実施した。

調査を行う中で、英国セラフィールドの First Generation Magnox Storage Pond 等の廃止措置にて、水中作業用小型ロボット（Remotely Operated Vehicle（以下「水中 ROV」という。)) に油圧の切断治具や電動の把持治具等作業の目的に合わせた治具を装備し、廃棄物の切断や廃棄物回収容器への吊具の取付け等に使用している実績があることを確認した<sup>6)</sup>。

水中 ROV の取出し装置としての HASWS への適用の可能性を検討するため、2018年度から2020年度まで英国国立原子力研究所（以下「NNL」という。）と水中 ROV の仕様調査や機能確認を進めてきた。具体的には、2018年度に英国の廃止措置で使用実績があり、ハル貯蔵庫上部にある既存の開口部から投入可能な大きさでワイヤの切断や回収吊具の取付けが可能な水中 ROV を選定した。2019年度及び2020年度に NNL のモックアップ設備にて、種々のハル缶姿勢を模擬し、水中 ROV にてハル缶に付属するワイヤの切断やハル缶への回収吊具の取付け等の機能確認を行った。機能確認結果より、水中 ROV はハル缶の取出しに必要な廃棄物に付属するワイヤの切断や廃棄物への回収吊具の取付け等の作業が行えることを確認できたことから、取出し装置として利用できる見込みを得た。

また、水中 ROV では重量物のハンドリングができないため、2019年度に水中の姿勢調整や移動を行う汎用技術の調査を行い、水中 ROV を補助する治具として、海底からの物品の引上げ・運搬に用いられている水中リフタを選定した。水中リフタは、浮き部と吊具部から構成されており、取っ手部に玉掛け作業用の回収吊具を取り付け可能なハル缶を移動する際は、吊具部を回収吊具とした水中リフタ（以下「水中リフタ（吊具式）」という。）を、それ以外の廃棄物を移動する際は、吊具部を対象の廃棄物を直接把持するグラブとした水中リフタ（以下「水中リフタ（グラブ式）」という。）を用いることとしている。

廃棄物を貯蔵庫内から吊り上げて、回収及び新規貯蔵施設へ移送する装置については、既存カスクをベースとした装置（以下「廃棄物吊上げ・移送装置」という。）を用いることとし、検討を進めている。

### 2.2 水中 ROV と水中リフタを用いた湿式貯蔵廃棄物の取出し方法

上記の検討状況を踏まえ、図 2 に示す水中 ROV と水中リフタによる取出し方法を策定した。

〔蓋取っ手が見える状態で貯蔵されているハル缶を取り出す場合〕

- ① 対象の廃棄物を移動する際に廃棄物に付属するワイヤが他の廃棄物と干渉することを防ぐため、水中 ROV に装備した切断治具でワイヤを切断する。
- ② 水中リフタ（吊具式）を水中 ROV に装備した把持治具で把持し、対象のハル缶まで移動し、ハル缶の蓋取っ手部に取り付ける。
- ③ 水中リフタ（吊具式）に空気を供給しハル缶を浮き上げ、浮き上げたハル缶を水中 ROV で開口部下まで移動する。



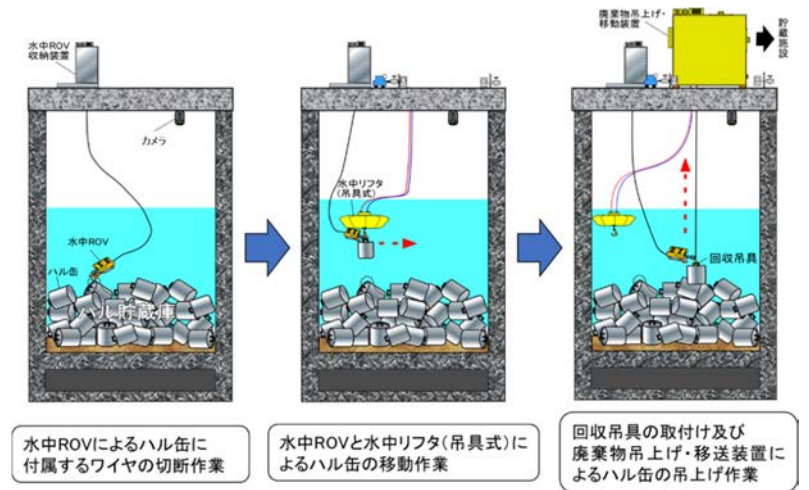
- ④ 水中リフタ（吊具式）内の空気を排気しハル缶を浮き下げ、水中 ROV でハル缶から水中リフタ（吊具式）を取り外す。
- ⑤ 開口部上に設置した廃棄物吊上げ・移送装置からワイヤを介して吊具を吊り降ろし、水中 ROV で吊具をハル缶に取り付け、廃棄物吊上げ・移送装置内にハル缶を吊り上げる。

〔蓋取っ手部が見えない状態で貯蔵されているハル缶を取り出す場合〕

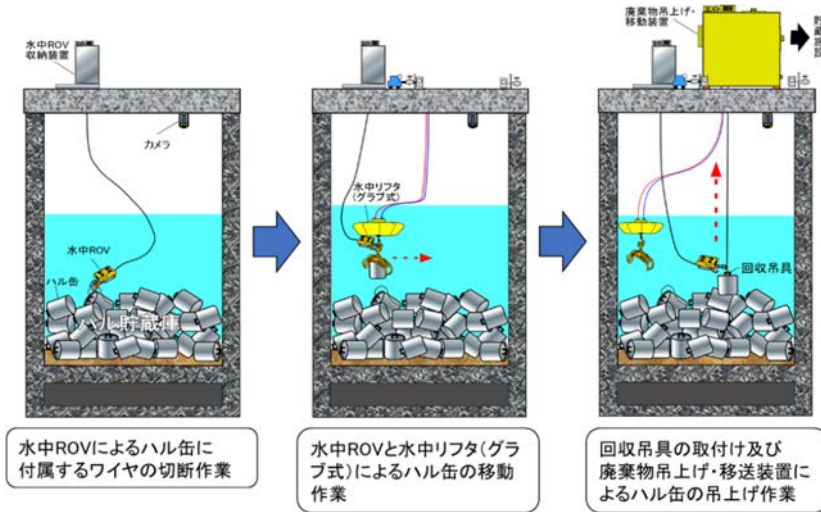
- ① ハル缶に付属するワイヤを水中 ROV に装備した切断治具で切断する。
- ② 水中リフタ（グラブ式）を水中 ROV に装備した把持治具で掴みながら対象のハル缶まで移動し、ハル缶を把持する。
- ③ 水中リフタ（グラブ式）に空気を供給しハル缶を浮き上げ、浮き上げたハル缶を水中 ROV で開口部下まで移動する。
- ④ 水中リフタ（吊具式）内の空気を排気しハル缶を浮き下げ、ハル缶を解放する。
- ⑤ 廃棄物吊上げ・移送装置からワイヤを介して吊具を吊り降ろし、水中 ROV で吊具をハル缶に取り付け、廃棄物吊上げ・移送装置内にハル缶を吊り上げる。

〔フィルタ類・汚染機器類を取り出す場合〕

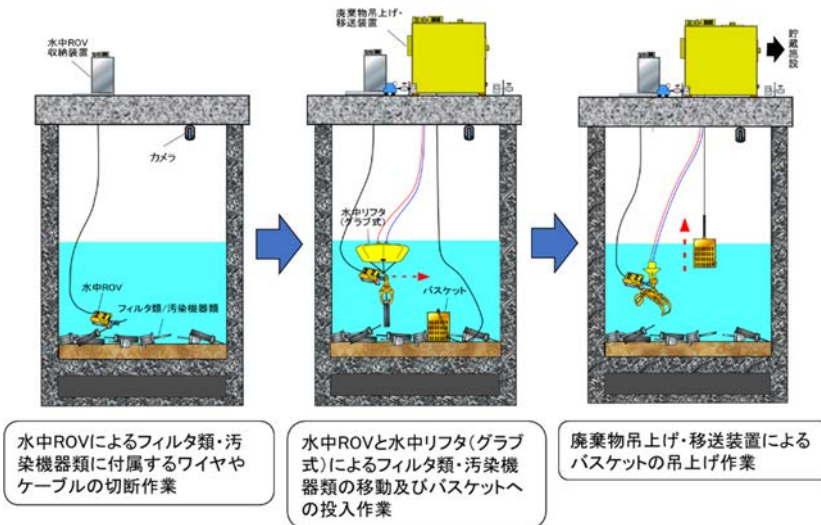
- ① フィルタ類等に付属するワイヤを水中 ROV に装備した切断治具で切断する。
- ② 水中リフタ（グラブ式）を水中 ROV に装備した把持治具で掴みながら対象のフィルタ類等まで移動し、フィルタ類等を把持する。
- ③ 水中リフタ（グラブ式）に空気を供給しフィルタ類等を浮き上げ、浮き上げたフィルタ類等を水中 ROV で開口部下まで移動する。
- ④ 廃棄物吊上げ・移送装置からワイヤを介してバスケットを吊り降ろし、フィルタ類等をバスケット内に投入する。
- ⑤ 廃棄物吊上げ・移送装置内にフィルタ類等を収納したバスケットを吊り上げる。



〔蓋取っ手が見える状態で貯蔵されているハル缶を取り出す場合〕



〔蓋取っ手が見えない状態で貯蔵されているハル缶を取り出す場合〕



〔フィルタ類・汚染機器類を取り出す場合〕

図 2 水中 ROV と水中リフタを用いた湿式貯蔵廃棄物の取だし方法

### 2.3 取出し方法の成立性確認に向けた試験

上記の取出し方法の成立性を確認するため、2022年度から2023年度にかけて、核燃料サイクル工学研究所実規模開発試験室にて、HASWS 湿式貯蔵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を実施した。

水中 ROV、水中リフタを用いた廃棄物の取出し方法は、水中 ROV に要求する機能（廃棄物に付属するワイヤを切断する機能、廃棄物に回収吊具を取り付ける機能）と、水中リフタに要求する機能（廃棄物の把持・浮上げ・浮下げを行う機能）を複合させながら廃棄物の取出しを行うことから、試験は、図 3 に示すように、水中 ROV と水中リフタ各々に要求する機能を確認する「単体試験」、水中 ROV と水中リフタに要求する機能を組み合わせて水中で廃棄物を移動する「組合せ試験」、ハル貯蔵庫を模擬した環境にて廃棄物の回収を行う「総合試験」の順に、より実環境に近づけていくステップで実施した。

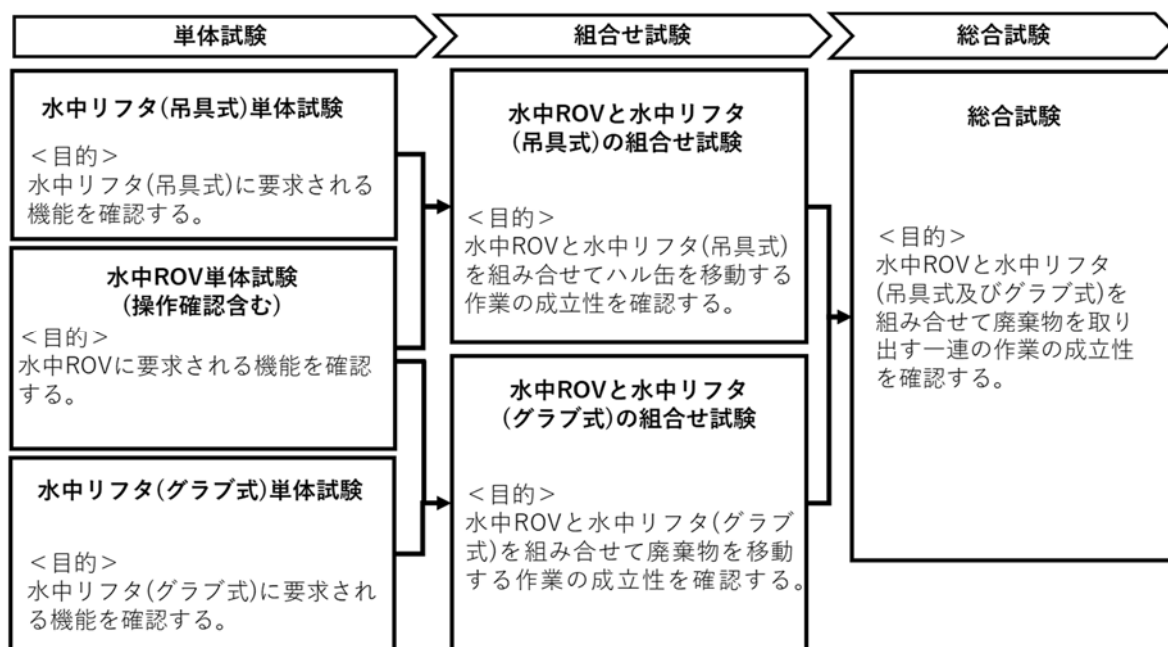


図 3 水中 ROV と水中リフタを用いた試験のステップ

### 3 試験設備

本試験は、実規模開発試験室内に設置しているモックアップ設備にて実施した。モックアップ設備の外観を図 4 に示す。モックアップ設備は HASWS のハル貯蔵庫を模擬した設備であり、モックアップ設備の寸法は、ハル貯蔵庫と同程度の寸法として、縦約 6400 mm×横約 6400 mm×高さ約 7700 mm である。モックアップ設備上部には模擬ハル缶投入口と模擬フィルタ投入口を設置している。なお、試験ではハル貯蔵庫と同様にモックアップ設備内に工業用水を張り実施した。

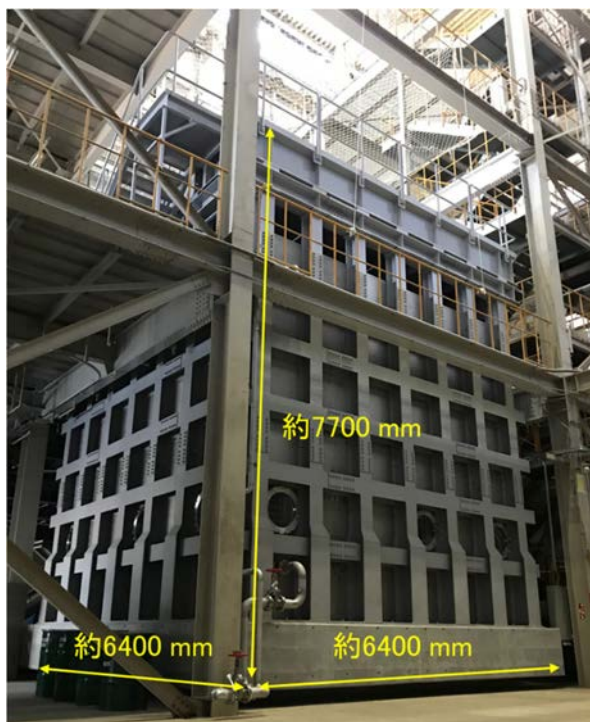


図 4 モックアップ設備

## 4 試験資機材

### ① 水中 ROV [単体試験、組合せ試験、総合試験で使用]

水中 ROV は、NNL の知見及び NNL-日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）との協力にて得た実績に基づき、米国 VideoRay 製の水中 ROV (DEFENDER) に、英国 James Fisher Nuclear (以下「JFN」という。) にて、把持治具及び切断治具を搭載したものをを用いた。水中 ROV を図 5 に示す。

水中 ROV は、把持治具、切断治具の他、機体前方を確認するメインカメラ 1 基、切断治具近傍を確認するセカンドカメラ 1 基、LED ライト 2 基、スラスト (機体の移動や姿勢制御を行う機器) 7 基を搭載しており、水中 ROV 上下部とセカンドカメラ近傍には浮力調整のための浮きを取り付けている。メインカメラについて、画角は  $80^{\circ}$  で  $\pm 85^{\circ}$  のチルト機能が搭載されており、パン・ズーム機能は搭載されていない。セカンドカメラについて、画角は  $90^{\circ}$  でパン・チルト・ズーム機能は搭載されていない。把持治具は電動駆動で把持力が約 196 N、切断治具は油圧駆動で切断力が約 260 kN、ライトの照度は 5760 lm である。

また、水中 ROV 後方からは 6 本のケーブル (機体給電・通信用、セカンドカメラ給電・通信用、把持治具伸縮用、切断治具伸縮用、切断治具油圧入用、切断治具油圧出用) が延び、それらを一纏めにしている。

なお、水中 ROV が各方向に移動する際に対象物を押す力 (以下「推進力」という。) は、前進：約 265 N、後進：約 150 N、左右横行：約 78 N、上昇：約 225 N、下降：約 127 N であり、英国の廃止措置において吊具の取付けや燃料ピンの回収等の同類の作業に用いている水中 ROV の推進力を参考に選定した。

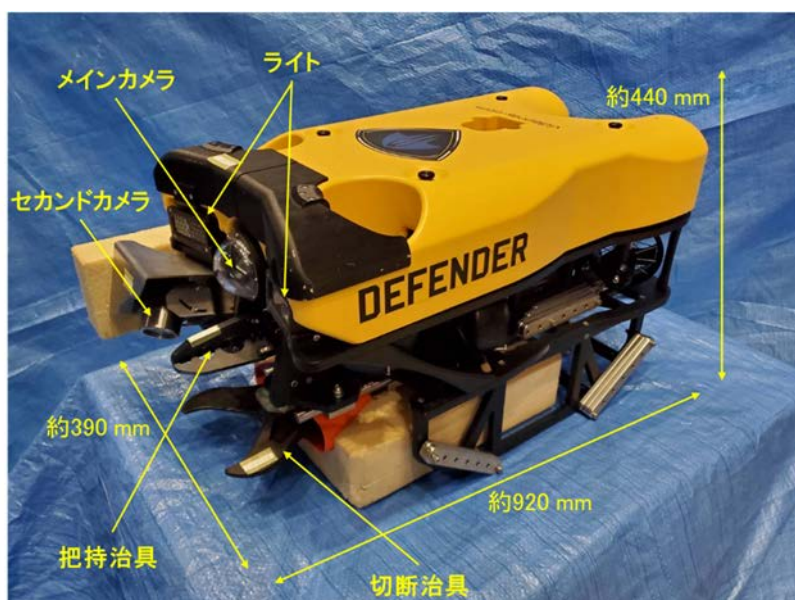


図 5 水中 ROV

② 水中リフタ（吊具式）〔単体試験、組合せ試験、総合試験で使用〕

水中リフタ（吊具式）は、水中リフタ（Subsalve 製、EFB-2000）※と回収吊具（大洋製器工業製、EHK-1.25）をスリングで接続したものをを用いた。水中リフタ（吊具式）を図 6 に示す。水中リフタについて、寸法が縦約 1400 mm×横約 1500 mm×厚み約 10 mm（真空時）、材質が高強度ナイロン、上部に給排気用ホースを 1 本取り付けており、約 1000 kg のハル缶及び約 0.6 kg の回収吊具を浮力が発生する水中で浮き上げることを考慮し仕様荷重が 1000 kg である。回収吊具について、寸法が縦約 130 mm×横約 90 mm×厚み約 18 mm、材質が合金鋼、約 1000 kg のハル缶を浮力が発生する水中で浮き上げることを考慮し仕様荷重が約 1250 kg である。また、回収吊具は、吊り上げ時の落下防止及び水中 ROV によるハル缶蓋取っ手部からの取外しを考慮し、Φ約 80 mm のリング・ワイヤを介して開閉する外れ止めを設けた。水中リフタと回収吊具は、水中 ROV が回収吊具にアクセスするためのスペースを考慮し、1 m のスリング 3 本、0.5 m のスリング 1 本で接続した。

※水中リフタの形状は、水中リフタ（吊具式）単体試験の結果を踏まえて、図 7 に示す気球型、円筒型、まくら型の中からまくら型を選定している。

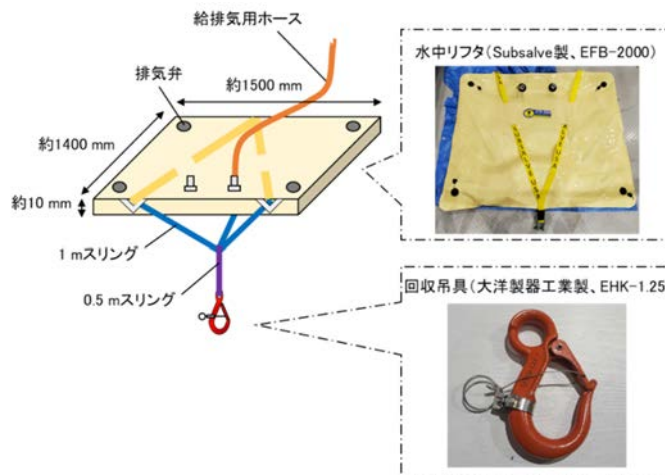


図 6 水中リフタ（吊具式）



図 7 種々の形状の水中リフタ

③ 水中リフタ（グラブ式）〔単体試験、組合せ試験、総合試験で使用〕

水中リフタ（グラブ式）は、水中リフタ（Subsalve 製、EFB-2000）とグラブ（intermercato 製、TG16-50）をナイロンスリングで接続したものをを用いた。水中リフタ（グラブ式）を図 8 に示す。グラブについて、寸法が縦約 590 mm×横約 900 mm×幅約 280 mm、重量が約 50 kg である。グラブには、油圧出用のホース 1 本と油圧入用のホース 1 本の計 2 本のホースを取り付けてそれらを一纏めにし、グラブ本体には浮力を調整するために浮きを取り付けた。また、グラブの駆動油圧は 0 MPa から把持時にハル缶を変形させない最大圧力 20 MPa の間で調整し、把持力を変更することが可能である。水中リフタとグラブは、水中 ROV がグラブにアクセスするスペースを考慮し、1.5 m のスリング 3 本と 0.25 m のスリング 1 本で接続した。

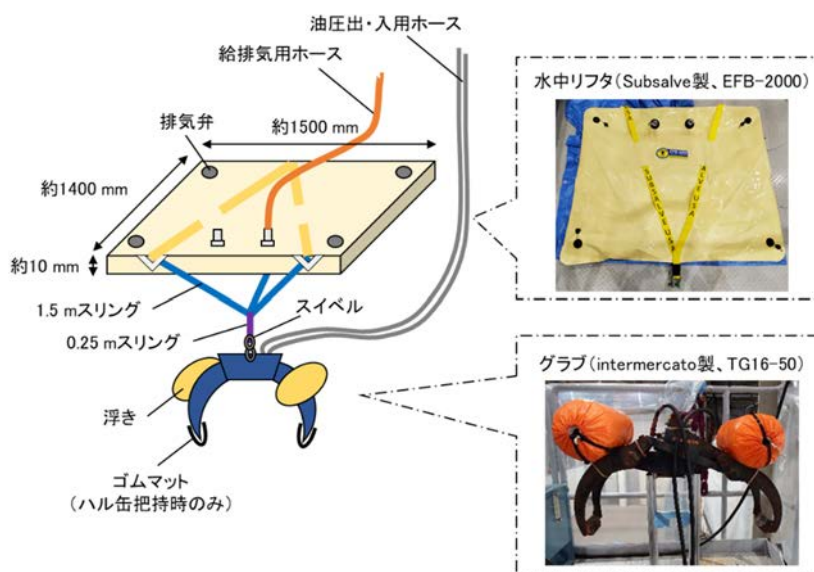


図 8 水中リフタ（グラブ式）

④ 巻上機〔総合試験で使用〕

総合試験では、廃棄物吊上げ・移送装置の代替としてモックアップ設備内から開口部上まで廃棄物を吊上げ可能な巻上機を用いた。巻上機を図 9 に示す。巻上機は寸法が縦約 2200 mm×横約 2000 mm×高さ約 3000 mm、重量約 2070 kg である。また、ウインチの仕様荷重は東海再処理施設で用いられている既存カスクを参考に 2000 kg、巻上げ速度は 1 m/min であり、ワイヤロープの直径は 12 mm（構成 7×19、SUS304 製）である。



図 9 巻上機

⑤ バスケット [総合試験で使用]

総合試験では、開口部下まで移動したフィルタ類、汚染機器類をモックアップ設備上部まで吊り上げるための治具として、開口部下まで移動したフィルタ類等を収納可能な大きさで、バスケットごと吊上げ可能な折り畳み式のバスケットを試作して用いた。試作したバスケットを図 10 に示す。寸法は縦約 1000 mm×横約 1000 mm×高さ約 1200 mm、重量は約 100 kg であり、着底・吊上げに合わせてバスケットの開閉が可能な構造とした。



図 10 バスケット

⑥ セル内俯瞰用カメラ [単体試験、組合せ試験、総合試験で使用]

モックアップ設備内に投入した水中 ROV、水中リフタ、廃棄物の位置を客観視できるように、モックアップ設備上部のフィルタ投入口端にセル内俯瞰用カメラとして市販のカメラ（塚本無線製、WTW-RAR902HAW）を設置した。セル内俯瞰用カメラを図 11 に示す。寸法は幅約 115 mm×高さ約 170 mm×長さ約 315 mm、重量は約 1.4 kg である。画角は 86° であり、パン・チルト・ズーム機能や照明機能は搭載されていない。





図 11 セル内俯瞰用カメラ

⑦ 移動式カメラ〔組合せ試験、総合試験で使用〕

水中リフタ（グラブ式）を用いる試験では、水中 ROV に搭載したカメラ及びセル内俯瞰用カメラではグラブの爪の向きや廃棄物へのグラブの爪のかかり具合を観察できないため、水中リフタ（グラブ式）の取付け状況を観察することを目的に、移動式カメラとして市販の水中ドローン（CHASING 製、GLADIUS MINI S）を用いた。移動式カメラを図 12 に示す。寸法は縦約 65 mm×横約 70 mm×高さ約 70 mm、重量は約 0.3 kg である。本機はバッテリー駆動であり、カメラ 1 基、ライト 2 基、スラスタ 4 基を搭載している。なお、カメラの画角は 150° であり、パン・チルト・ズーム機能は搭載されていない。ライトの照度は 2400 lm である。



図 12 移動式カメラ

⑧ ハル缶〔単体試験、組合せ試験、総合試験で使用〕

ハル缶は、HASWS ハル貯蔵庫内に貯蔵しているものと同仕様のものを用いた。ハル缶を図 13 に示す。寸法は直径約 755 mm×高さ約 900 mm である。重量はハル缶内部を工業用水で満たして約 450 kg とした。



図 13 ハル缶

⑨ ハル缶姿勢模擬架台〔単体試験で使用〕

水中 ROV にてハル缶に付属するワイヤを切断する操作やハル缶蓋取っ手部に吊具を取り付ける操作を確認するため、ハル缶蓋を取り付けてハル缶の姿勢を模擬できる架台（以下「ハル缶姿勢模擬架台」という。）を用いた。ハル缶姿勢模擬架台を図 14 に示す。ハル缶姿勢模擬架台の寸法は縦約 1500 mm × 横約 1500 mm × 高さ約 2100 mm である。ハル缶の姿勢は斜め上向き 1 箇所、横向き 2 箇所、斜め下向き 1 箇所の計 4 箇所を模擬することができ、ハル缶蓋は回転させて取っ手部の角度を変えることが可能である。

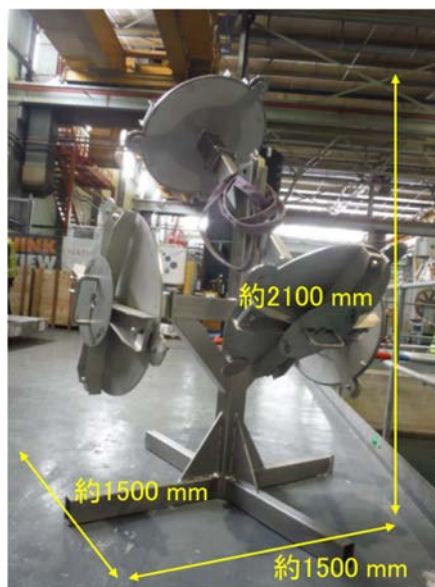


図 14 ハル缶姿勢模擬架台

⑩ ワイヤ〔単体試験、総合試験で使用〕

ハル缶に付属するワイヤは、ハル貯蔵庫内に貯蔵しているハル缶に取り付けられているものと同仕様のものとして、直径が 10 mm（構成 7×19、SUS304 製）のワイヤを用いた。ワイヤを図 15 に示す。



図 15 ワイヤ

⑪ 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）〔単体試験、組合せ試験、総合試験で使用〕

フィルタ類 3 種は、ハル貯蔵庫内に貯蔵しているものと同仕様のものを用いた。フィルタ類 3 種の仕様を図 16 に示す。

<p><b>パルスフィルタ</b>            寸法: 直径約270 mm ×            高さ約1080 mm            重量: 約65 kg            用途: 再処理の抽出工程で            使用</p>	<p><b>スワーフフィルタ</b>            寸法: 直径約210 mm ×            高さ約670 mm            重量: 約30 kg            用途: 再処理の抽出工程で            使用</p>	<p><b>溶媒フィルタ</b>            寸法: 直径約350 mm ×            高さ約1400 mm            重量: 約180 kg            用途: 再処理の抽出工程で            使用</p>

図 16 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）

⑫ 汚染機器類（模擬 PC-1 ポンプ・模擬スターラ・観察装置）〔単体試験、組合せ試験、総合試験で使用〕

汚染機器類 3 種のうち、PC-1 ポンプ、スターラは、ハル貯蔵庫内に貯蔵しているものを模擬して単管パイプ等で製作したものを用いた。観察装置は、ハル貯蔵庫内に貯蔵しているものと同仕様のものを用いた。汚染機器類 3 種の仕様を図 17 に示す。

		
<p>模擬PC-1ポンプ(単管パイプ等を用いて製作)          寸法:直径約275 mm×高さ約1120 mm          重量:約115 kg          用途:再処理の抽出工程で使用</p>	<p>模擬スターラ(単管パイプ等を用いて製作)          寸法:直径約145 mm×高さ約890 mm          重量:約35 kg          用途:再処理の抽出工程で使用</p>	<p>観察装置          寸法:縦約530 mm×横約810 mm×高さ約370 mm          重量:約30 kg          用途:ハル貯蔵庫内の観察作業で使用</p>

図 17 汚染機器類 (模擬 PC-1 ポンプ・模擬スターラ・観察装置)

## 5 水中 ROV 単体試験

### 5.1 試験目的

本試験では、水中 ROV に要求する機能（廃棄物に付属するワイヤを切断する機能、廃棄物に回収吊具を取り付ける機能）を確認することを目的とした。

### 5.2 試験方法

〔廃棄物に付属するワイヤの切断〕

モックアップ設備内にワイヤを取り付けたハル缶及びハル缶姿勢模擬架台を設置し、水中 ROV でワイヤを切断する操作を行った。ハル缶は、姿勢により水中 ROV のワイヤへのアクセスの方法が異なると想定したため、正立、斜め上向き、横向き、斜め下向きの 4 パターンの姿勢を設定した。ハル缶蓋取っ手部の角度は、角度を変えてもワイヤの位置は大きく変化せず、切断操作に影響を及ぼさないと想定したため、0°（モックアップ設備床面に対してハル缶蓋取っ手が水平）の 1 パターンを設定した。ワイヤの切断の概要を図 18 に、パターン分けを表 1 に示す。

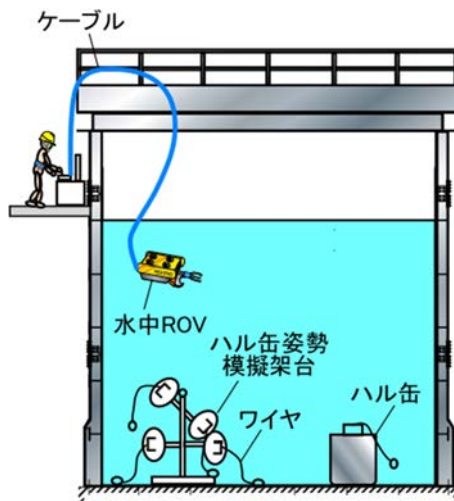


図 18 ワイヤの切断概要図

表 1 ワイヤの切断パターン分け

ハル缶の姿勢	ハル缶蓋取っ手部の角度	概要図
正立	—	正立
斜め上向き	0°	斜め上向き
横向き	0°	横向き
斜め下向き	0°	斜め下向き

## 〔回収吊具の取付け〕

ハル缶投入口からスリングを介して吊り降ろした回収吊具を水中 ROV で把持し、モックアップ設備内に設置したハル缶及びハル缶姿勢模擬架台に取り付ける操作を行った。ハル缶は、姿勢により水中 ROV のワイヤへのアクセスの方法が異なると想定したため、正立、斜め上向き、横向き、斜め下向きの 4 パターンの姿勢を設定した。ハル缶蓋取っ手部の角度は、角度を変えることで、ハル缶をハル貯蔵庫内に吊り降ろして投入する際に使用した吊具（以下「既存吊具」という。）の位置が変化し、取付け操作に影響を及ぼすと想定したため、0°、45°、90°の 3 パターンを設定した。回収吊具の取付けの概要を図 19 に、パターン分けを表 2 に示す。

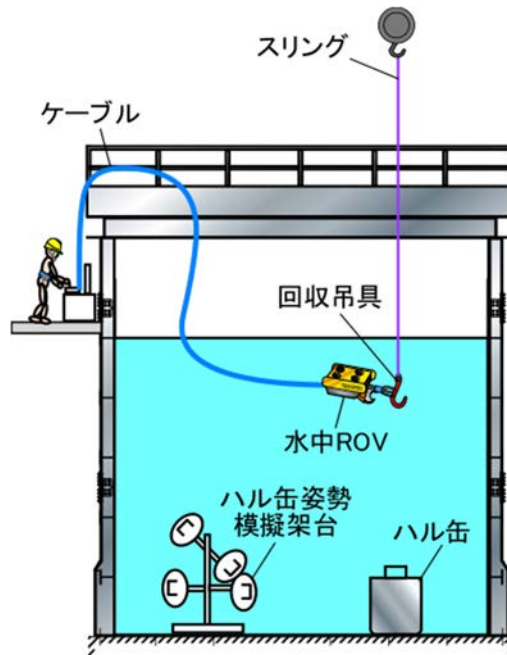

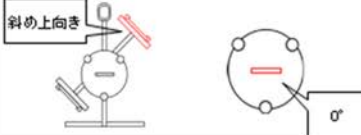
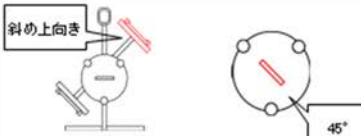
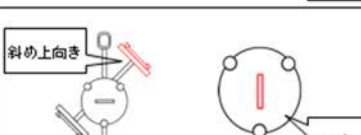
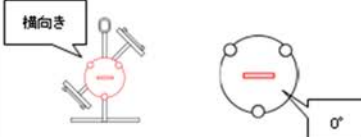
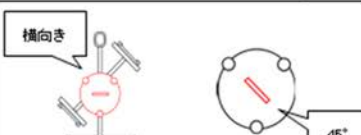

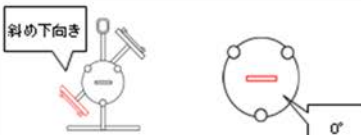
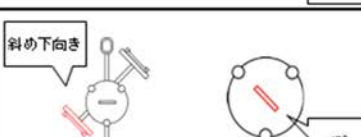
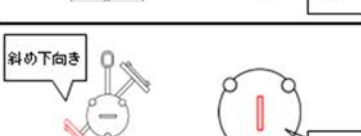


図 19 回収吊具の取付け概要図

表 2 回収吊具の取付けパターン分け

ハル缶の姿勢	ハル缶蓋取っ手部の角度	概要図
正立	—	
斜め上向き	0°	
	45°	
	90°	
横向き	0°	
	45°	
	90°	
斜め下向き	0°	
	45°	
	90°	

### 5.3 試験結果

#### [ワイヤの切断]

いずれのパターンにおいても、水中 ROV で、ハル缶及びハル缶姿勢模擬架台に取り付けたワイヤを切断できることを確認した。なお、水中 ROV の切断治具の切断力は約 260 kN であり、ハル缶に付属するワイヤを切断するには十分な切断力であることを確認した<sup>7)</sup>。

なお、当該ワイヤの破断力は約 70 kN である<sup>8)</sup>。

ワイヤを切断する際、切断治具の根元では爪の開閉 1 回でワイヤを切断することができたが、先端では切断する力がワイヤに伝わりづらく、5 回程度爪を開閉させる必要があり、ワイヤの切断面がぼつれ、素線が周囲に散乱することを確認した。散乱した素線は、水中 ROV のスラストに巻き込みプロペラを傷つける恐れや、水中リフタの浮き部を傷つける恐れがあることから、ワイヤは切断治具の根元で切断する必要があることを確認した。ワイヤの切断の様子を図 20 に、切断したワイヤを図 21 に示す。

横向きまたは斜め下向きの姿勢の場合、水中 ROV がハル缶蓋に干渉せず、ワイヤを切断治具の根元まで引き込み切断することが容易であった。一方、正立または斜め上向きの姿勢の場合、水中 ROV 下部の浮きブロックがハル缶蓋に干渉し、ワイヤを切断しにくい事象を確認した。そのため、正立または斜め上向きのハル缶に付属するワイヤを切断治具の根元まで引き込み切断するには、図 22 に示すように、水中 ROV を前傾させ、把持治具でワイヤを把持し切断治具までワイヤを引き込んだ上で切断する操作が有効であった。

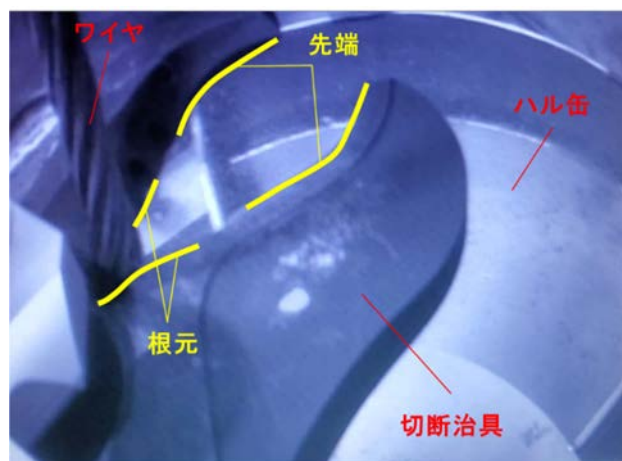


図 20 ワイヤの切断の様子（水中 ROV のセカンドカメラの映像）





図 21 切断したワイヤ

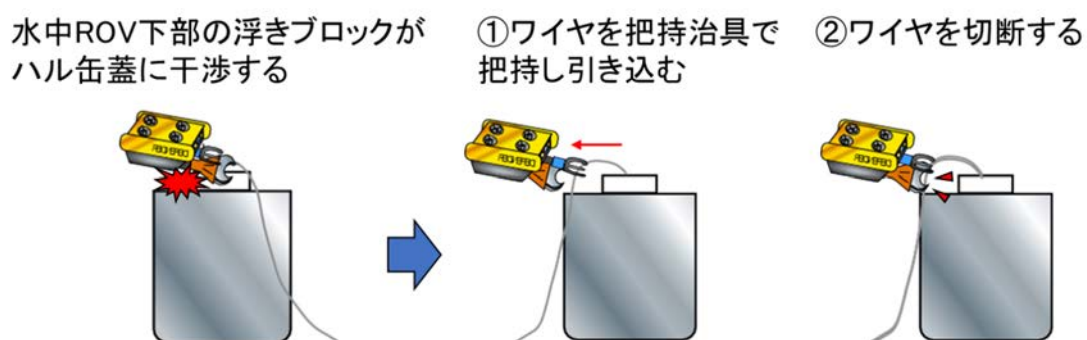


図 22 ワイヤを把持した上で切断する操作

〔回収吊具の取付け〕

いずれのパターンにおいても、水中 ROV で、ハル缶及びハル缶姿勢模擬架台に回収吊具を取り付けできることを確認した。図 23 に回収吊具の取付けの様子を示す。

水中 ROV の把持治具で回収吊具を把持した際、そのままの状態では回収吊具の先端がメインカメラの死角に位置するため、把持治具を 45°から 90°程度回転させ、回収吊具の先端をメインカメラから確認できるようにすることで、取付け操作をスムーズに行うことができた。回収吊具把持時の様子を図 24 に示す。

ハル缶の姿勢に対する操作性については、ハル缶が横向きの姿勢の場合、ハル缶蓋に水中 ROV がアクセスする際に干渉するものがないため、取付け操作が容易であった。一方、正立または斜め上向きの姿勢の場合、ハル缶蓋に水中 ROV 下部の浮きブロックが干渉し、また、斜め下向きの姿勢の場合、ハル缶蓋に水中 ROV 上部の浮きブロック（兼カバー）が干渉するため、回収吊具を取り付けにくい事象を確認した。そのため、取付け操作をよりスムーズに行うためには、正立または斜め上向きのハル缶に対しては水中 ROV 前方を下げる前傾動作、斜め下向きのハル缶に対しては水中 ROV 後方を下げる後傾動作が有効であった。図 25 に前傾・後傾操作の活用の概要を示す。

ハル缶蓋取っ手部の角度について、ハル缶蓋取っ手角度 0°では、既存吊具が取っ手部の中央に位置しているケースが多く、回収吊具が既存吊具に干渉し、取付けに時間を要した。一方、ハル缶蓋取っ手角度 45°または 90°では、既存吊具が取っ手部の片側に寄っているケースが多く、取っ手部上方に回収吊具を取り付けることができるスペースが大きく空き、取付け時に回収吊具が既存吊具に干渉しにくくなることを確認した。なお、ハル缶取っ手角度 0°の場合において、回収吊具の取付けがあまりに困難であれば、把持治具で既存吊具を押して取っ手部の端に寄せることで、回収吊具を取り付けられるスペースを空けられることを確認した。ハル缶蓋取っ手部の角度の概要を図 26 に示す。



図 23 回収吊具の取付けの様子（水中 ROV のメインカメラの映像）

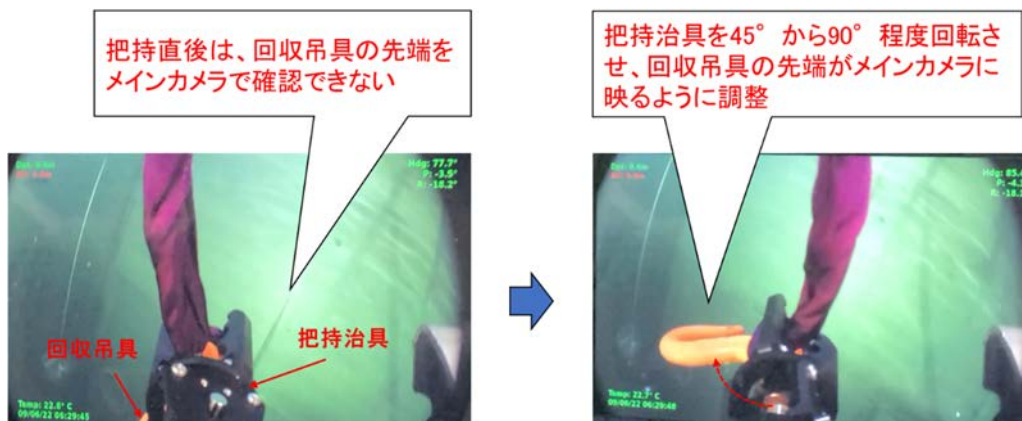
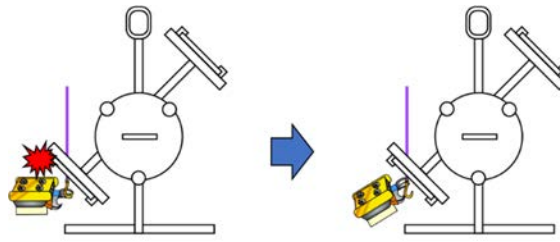
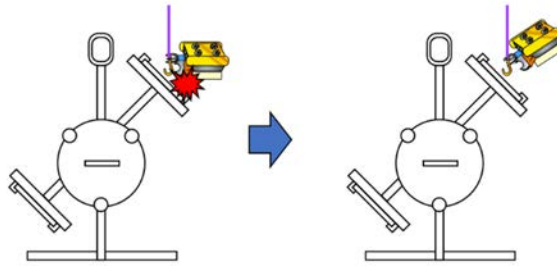


図 24 回収吊具の把持時の様子（水中 ROV のメインカメラの映像）



〔斜め上向きハル缶に回収吊具を取り付ける場合〕



〔斜め下向きハル缶に回収吊具を取り付ける場合〕

図 25 回収吊具の取付け時における前傾・後傾操作の活用

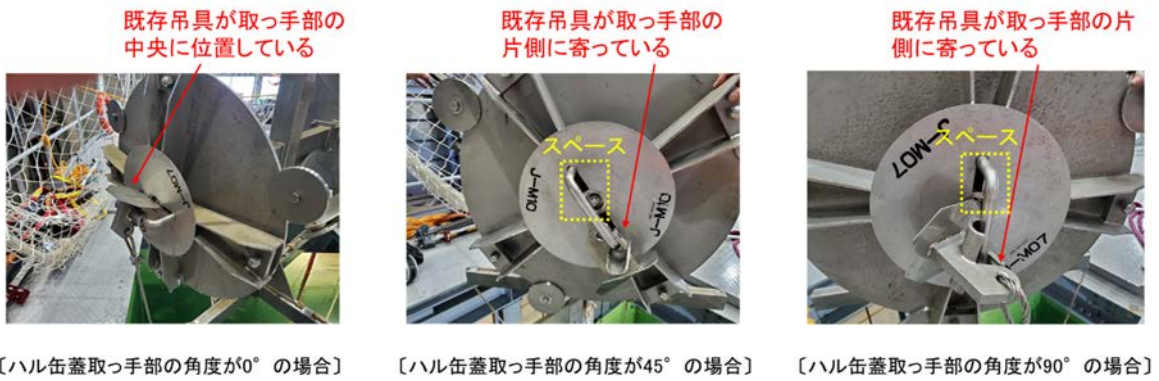


図 26 ハル缶蓋取っ手部の角度

## 6 水中リフタ（吊具式）単体試験

### 6.1 試験目的

本試験では、水中リフタ（吊具式）によりハル缶を浮き上げられるか確認することを目的とした。水中リフタは、市販品の中から、ハル貯蔵庫上部のハル缶投入用の開口部から投入可能な寸法であること、仕様荷重が 1000 kg 以上であることを考慮し、下部が開放された気球型、水中リフタ内にプール水が入る恐れがない密閉式の円筒型及びまくら型の水中リフタを試験に供し、形状による作業性の違いを確認した。

### 6.2 試験方法

モックアップ設備内に水中リフタ（吊具式）を取り付けたハル缶を配置し、水中リフタの給排気を行い、ハル缶の浮上げ・浮下げを実施した。ハル缶は、ハル貯蔵庫内の観察映像を基に、水中 ROV で水中リフタ（吊具式）の取付けが可能な正立、斜め上向き、横向き、斜め下向きの 4 パターンの姿勢を設定した。また、水中リフタの形状を変えた際の操作性を確認するため、気球型、円筒型、まくら型の水中リフタでハル缶を浮き上げ、浮上げ高さ（浮き上げたハル缶の底面からモックアップ設備底面までの距離）を測定した。水中リフタ（吊具式）単体試験の概要を図 27 に示す。

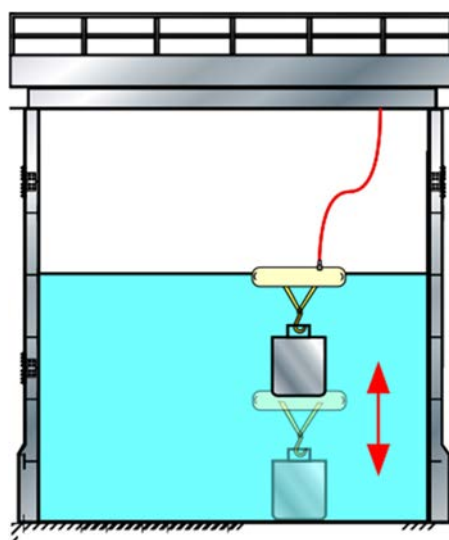


図 27 水中リフタ（吊具式）単体試験概要図

### 6.3 試験結果

いずれのパターンにおいても、水中にて水中リフタ（吊具式）を用いてハル缶の浮上げ・浮下げが実施できることを確認した。ハル缶の浮上げ・浮下げ時の様子を図 28 に示す。

浮上げ高さは、図 29 に示すように、まくら型（横向きで使用）＞まくら型（縦向きで使用）＞円筒型＞気球型の順に高いことを確認した。これは、廃棄物を浮き上げる際に必要な空気量を給気した際、気球型は主に縦方向に膨らむのに対し、まくら型（横向きで使用）は、主に横方向に膨

らむためである。ハル貯蔵庫での取出し作業を想定すると、移動するハル缶の周辺には他の廃棄物が貯蔵されており、浮上げ高さが高いほど他の廃棄物に干渉せず移動できること、水中リフタを膨らませる際に横方向には干渉するものがないことから、水中リフタの形状はまくら型が適している見込みを得た<sup>9)</sup>。このことから、水中リフタ（吊具式）及び水中リフタ（グラブ式）にはまくら型的水中リフタを用いて以降の試験を実施した。

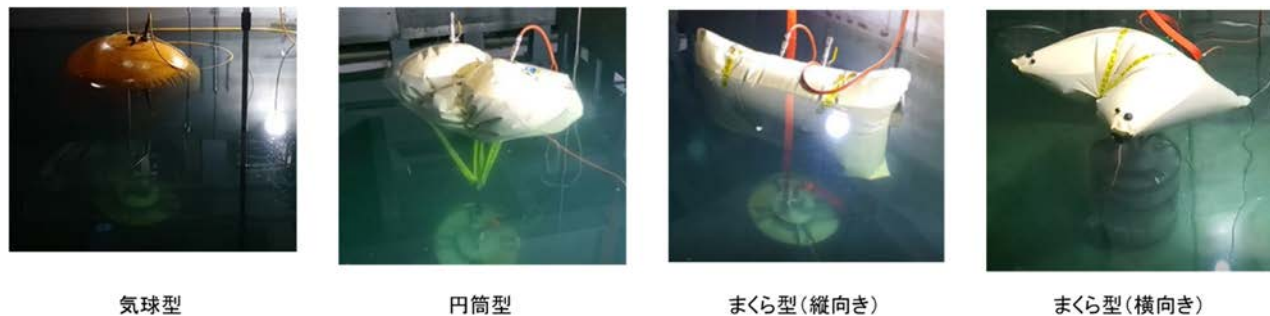


図 28 ハル缶の浮上げ・浮下げの様子

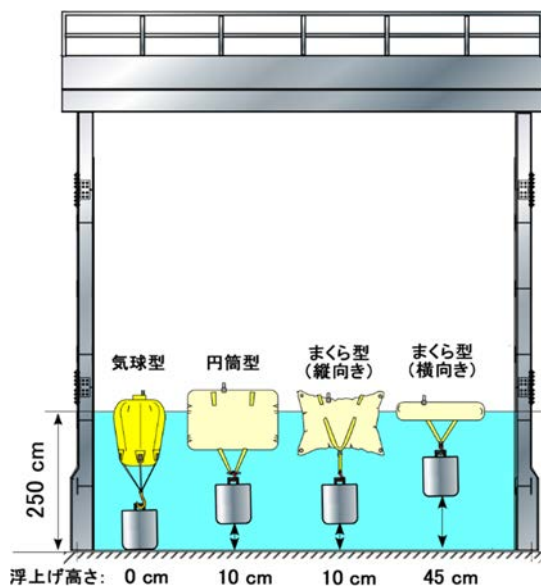


図 29 種々の形状の水中リフタによる浮上げ高さの比較

## 7 水中リフタ（グラブ式）単体試験

### 7.1 試験目的

本試験では、水中リフタ（グラブ式）により廃棄物（ハル缶、フィルタ類、汚染機器類）を浮き上げられるか確認することを目的とした。

### 7.2 試験方法

#### 7.2.1 気中での試験

気中において、水中リフタ（グラブ式）に用いるグラブで、廃棄物（ハル缶、フィルタ類、汚染機器類）を把持して持ち上げる操作を行った。ハル缶は、ハル貯蔵庫内の観察映像を基に、水中 ROV で水中リフタ（吊具式）の取付けが不可能な姿勢として横向き、斜め下向き、反転の 3 パターンの姿勢を設定し、横向きのハル缶については、その形状から胴部、蓋部底部の 2 パターンの把持方法を設定した。フィルタ類、汚染機器類は、ハル貯蔵庫内の観察映像を基に、横向き、斜め向きの 2 パターンの姿勢を設定した。また、グラブの駆動油圧を 0 MPa から主要材質が SUS304 であるハル缶を変形させない最大圧力 20 MPa の間で 5 MPa ずつ上げて把持操作を行い、破損させることなく持ち上げられる駆動油圧を確認した。気中での水中リフタ（グラブ式）単体試験の状況を図 30 に、パターン分けを表 3 に示す。

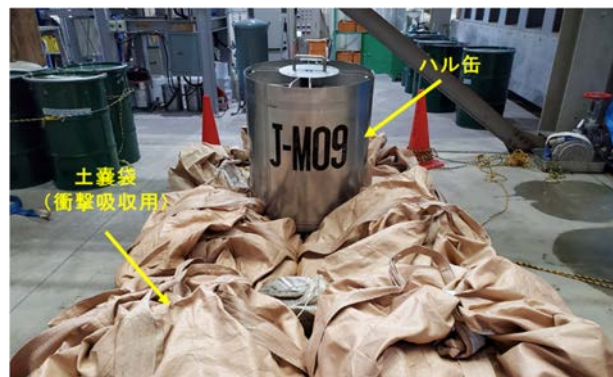


図 30 気中での水中リフタ（グラブ式）単体試験

表 3 水中リフタ（グラブ式）単体試験パターン分け

パターンNo.	廃棄物の種類		廃棄物の姿勢	把持方法	補足図
1	ハル缶		反転	—	
2			斜め下向き	—	
3			横向き	胴部	
4			横向き	蓋部底部	
5	フィルタ類	パルスフィルタ	横向き	—	—
6			斜め向き	—	—
7		スワーフフィルタ	横向き	—	—
8			斜め向き	—	—
9		溶媒フィルタ	横向き	—	—
10			斜め向き	—	—
11	汚染機器類	PC-1ポンプ	横向き	—	—
12			斜め向き	—	—
13		スターラ	横向き	—	—
14			斜め向き	—	—
15		観察装置	横向き	—	—
16			斜め向き	—	—

### 7.2.2 水中での試験

水中において、水中リフタ（グラブ式）で、モックアップ設備内に配置した廃棄物（ハル缶、フィルタ類、汚染機器類）を把持して浮き上げる操作を行った。パターン分けは気中と同様とし、ハル缶は、横向き、斜め下向き、反転の3パターンの姿勢を設定し、横向きのハル缶については、胴部、蓋部底部の2パターンの把持方法を設定した。また、フィルタ類、汚染機器類は、横向き、斜め向きの2パターンの姿勢を設定した。なお、気中での試験にて、グラブの駆動油圧はハル缶を把持する際は15 MPa、フィルタ類、汚染機器類を把持する際は5 MPaが適切であることを確認したため、水中での試験においてもグラブの駆動用圧はハル缶を把持する際は15 MPa、フィルタ類、汚染機器類を把持する際は5 MPaに設定した。水中での水中リフタ（グラブ式）単体試験の概要を図31に、パターン分けを表3に示す。

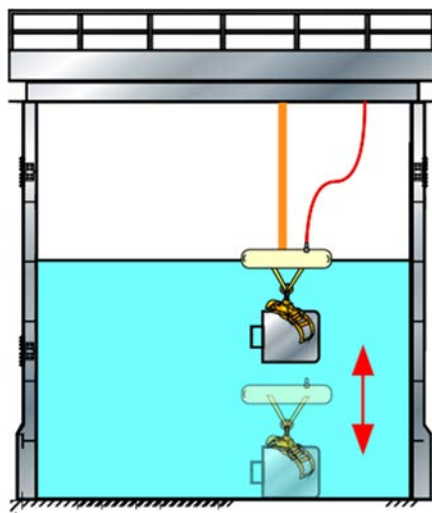


図 31 水中での水中リフタ（グラブ式）単体試験概要図

## 7.3 試験結果

### 7.3.1 気中での試験

いずれのパターンにおいても、水中リフタ（グラブ式）に用いるグラブで、廃棄物（ハル缶、フィルタ類、汚染機器類）を把持して持ち上げられることを確認した。

[ハル缶を把持して持ち上げた際の気付き事項]

- ① 横向きハル缶の胴部を把持して地切りした際、底部寄り（蓋部寄り）を把持すると蓋部の重さにより、地切りする際に蓋部が下側に傾いたため、横向きで安定して持ち上げるためには、胴部真ん中から蓋部寄りにかけて把持した方が良いことを確認した。また、斜め下向きハル缶を把持して地切りした際、蓋部の重さによりグラブ内でハル缶の姿勢が反転する事象が見られたものの、持ち上げられることを確認した。各姿勢のハル缶をグラブで把持して持ち上げた際の様子を図 32 に示す。
- ② グラブの駆動油圧について、5、10 MPa ではハル缶が滑り把持して持ち上げることが困難であり、15、20 MPa ではハル缶を破損させることなく把持して持ち上げられることを確認した。このことを踏まえ、グラブの駆動油圧は、万一にハル缶を損傷させることがないように、ハル缶を把持して持ち上げられる最低限の値として 15 MPa に設定した。
- ③ グラブでハル缶を把持して地切りした際、グラブ内でハル缶の姿勢がずれることを確認した。グラブの駆動油圧を 20 MPa としても同様の結果であったことから、グラブの爪を延長してハル缶を下側から支えられるようにする、グラブの爪をよりハル缶に沿う形状としてグラブとハル缶の接触面積を増やす等の改良を施すことで、より安定してハル缶を把持して持ち上げることが可能になると考えられる。





図 32 ハル缶を把持して持ち上げた際の様子

〔フィルタ類、汚染機器類を把持して持ち上げた際の気付き事項〕

- ① グラブでフィルタ類、汚染機器類を抱え込んで把持することで、安定して持ち上げられることを確認した。また、地切りした際、グラブ内で廃棄物の姿勢がずれる事象が見られたものの、両側の爪で摘んで把持することでも持ち上げられることを確認した。フィルタ類、汚染機器類を抱え込んで把持した際の様子を図 33 に、摘んで把持した際の様子を図 34 に示す。
- ② フィルタ類、汚染機器類は、ハル缶より重量が軽く、グラブの駆動油圧は 5 MPa で持ち上げることができ、なおかつ焼結材料であるフィルタ類のエLEMENT部を破損させることもなかった。



図 33 フィルタ類、汚染機器類を抱え込んで把持した際の様子



図 34 フィルタ類、汚染機器類を掴んで把持した際の様子

### 7.3.2 水中での試験

いずれのパターンにおいても、水中リフタ（グラブ式）で、廃棄物（ハル缶、フィルタ類、汚染機器類）を把持して持ち上げられることを確認した。

[ハル缶を把持して浮き上げた際の気付き事項]

- ① 気中での試験と同様、横向きのハルの胴部や斜め向きのハル缶を把持して地切りした際、グラブ内でハル缶の姿勢がずれることを確認したため、グラブとハル缶の接触面積を増やすよう、ハル缶の円周に沿ったグラブ形状かつグラブの爪の長さを長くすることで、より安定してハル缶を把持して持ち上げることが可能になると考えられる。

[フィルタ類、汚染機器類を把持して浮き上げた際の気付き事項]

- ① 図 35 に示すように、パルスフィルタのフィルタエレメント部の間にグラブの爪先が噛みこみ、爪を開いてもパルスフィルタを離すことができない事象を確認した。フィルタ類、汚染機器類を把持する際は、グラブの爪先の位置をフィルタエレメントの間に当たらないように慎重に調整し、フィルタエレメント部を抱え込んで把持する方法やフィルタヘッド部を把持する方法で把持して浮き下げられることを確認した。

なお、グラブの爪先がフィルタエレメント部の間に噛みこんだ際は、複数回グラブの開閉操作を行い取外しを行った。



図 35 パルスフィルタへのグラブの爪先の噛みこみ

〔その他、試験時の気付き事項〕

- ① フィルタ類の一つである溶媒フィルタは、その構造から内部に水が入りこみ、モックアップ設備外に搬出する際に溶媒フィルタ内部から水が多量に流れ出た。ハル貯蔵庫での取出し作業時にも同様の事象が考えられるため、集水や水切りを考慮して取出しを行う必要がある。
- ② 水中リフタ（グラブ式）の位置を調整して廃棄物を把持する際、セル内俯瞰用カメラからではグラブの爪の向きや廃棄物へのグラブの爪のかかり具合を観察することができないため、水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）を組み合わせる場合、水中 ROV で水中リフタ（グラブ式）の位置を調整しつつ、グラブの爪の向きや廃棄物へのグラブの爪のかかり具合を客観視する必要があることが示唆された。そのため、水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験及び総合試験ではモックアップ設備内に移動式カメラを投入した。

## 8 水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験

### 8.1 試験目的

本試験では、水中 ROV と水中リフタ（吊具式）を用いて、蓋取っ手部が見える状態で貯蔵されているハル缶を移動する作業の成立性を確認することを目的とした。

### 8.2 試験方法

モックアップ設備内にハル缶を単独で配置し、水中 ROV と水中リフタ（吊具式）でハル缶を配置位置から開口部下まで移動した。ハル缶は、ハル貯蔵庫内の観察映像を基に、水中 ROV で水中リフタ（吊具式）の取付けが可能な姿勢として、正立、斜め上向き、横向き、斜め下向きの 4 パターンの姿勢を設定し、正立以外の姿勢のハル缶については、ハル缶蓋部の向きを開口部向き、壁向きの 2 パターン設定した。また、ハル缶の配置位置は開口部下、壁付近、角付近の 3 パターン、水深は約 2.5 m と約 5 m の 2 パターンを設定した。このことから、本試験は計 42 パターンの条件で実施した。なお、水中リフタ（吊具式）の回収吊具にはリング式の回収吊具とレバー式の回収吊具を用いた。水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験の概要を図 36 に、パターン分けを表 4 に示す。

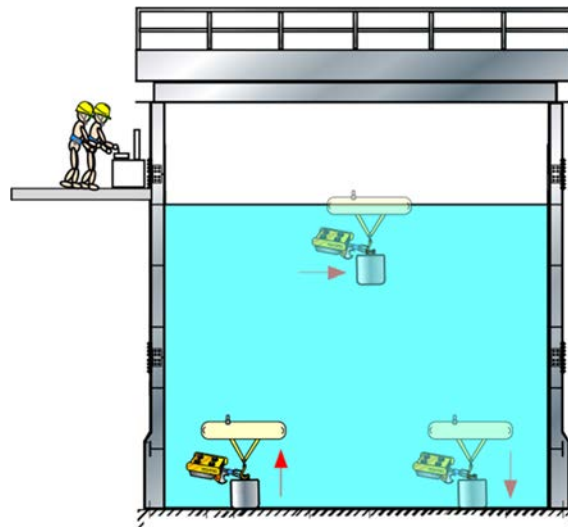


図 36 水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験概要図

表 4 水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験パターン分け

パターンNo.	ハル缶の姿勢	ハル缶蓋部の向き	ハル缶の配置位置	水深
1	正立	—	開口部下	5 m
2			壁付近	
3			角付近	
4	斜め上向き	開口部向き	開口部下	
5			壁付近	
6			角付近	
7		壁向き	開口部下	
8			壁付近	
9			角付近	
10	横向き	開口部向き	開口部下	
11			壁付近	
12			角付近	
13		壁向き	開口部下	
14			壁付近	
15			角付近	
16	斜め下向き	開口部向き	開口部下	
17			壁付近	
18			角付近	
19		壁向き	開口部下	
20			壁付近	
21			角付近	
22	正立	—	開口部下	2.5 m
23			壁付近	
24			角付近	
25	斜め上向き	開口部向き	開口部下	
26			壁付近	
27			角付近	
28		壁向き	開口部下	
29			壁付近	
30			角付近	
31	横向き	開口部向き	開口部下	
32			壁付近	
33			角付近	
34		壁向き	開口部下	
35			壁付近	
36			角付近	
37	斜め下向き	開口部向き	開口部下	
38			壁付近	
39			角付近	
40		壁向き	開口部下	
41			壁付近	
42			角付近	

### 8.3 試験結果

いずれのパターンにおいても、水中 ROV と水中リフタ（吊具式）を用いて、水中リフタ（吊具式）の取付け、廃棄物の移動、水中リフタ（吊具式）の取外しの順に作業を行い、ハル缶を配置位置から開口部下まで移動できることを確認した。ハル缶を移動する際の様子を表 5 に示す。

〔水中リフタ（吊具式）の取付け時の気付き事項〕

- ① 水中 ROV の前進動作で水中リフタ（吊具式）の吊具部をハル缶取っ手部に押し当てる方法で、確実に取付け操作が行えることを確認した。表 6 に水中リフタ（吊具式）の取付け方法の比較を示す。
- ② 水中 ROV で水中リフタ（吊具式）を把持し水中に引き込んで対象の廃棄物まで移動させる際、水中リフタ（吊具式）に働く浮力が水中 ROV の下降の推進力（約 127 N）を下回るように、水中リフタ内の空気量を約 4 L に調整する必要があることを確認した。しかし、水中リフタの膨らみ方が一定ではなく、この空気量はばらつきが大きいため、水中 ROV で水中リフタを移動させる際の空気量を判断し易くするためには、水中リフタが均一に膨らむように改善する必要があることを確認した。
- ③ 水中 ROV の作業スペースが限られるほど、水中リフタ（吊具式）の取付け操作は難しくなった。試験方法にてパターンを振った 4 つの要素（ハル缶の姿勢・ハル缶蓋部の向き・ハル缶の配置位置・水深）について、ハル缶蓋部の向き > 水深 > ハル缶の姿勢 > ハル缶の配置位置の順で水中 ROV の作業スペースへの影響が大きくなり、ハル缶蓋部の向き：壁向き、水深：約 2.5 m、ハル缶姿勢：斜め下向き、ハル缶の配置位置：角付近としたときに、水中リフタ（吊具式）の取付け操作が最も難しくなることを確認した。

表 5 水中 ROV と水中リフタ（吊具式）の組合せ試験時の様子



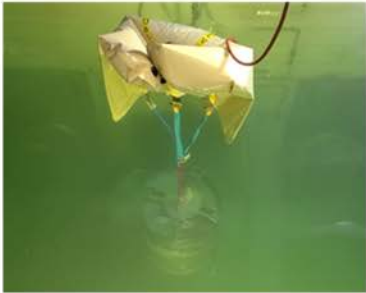



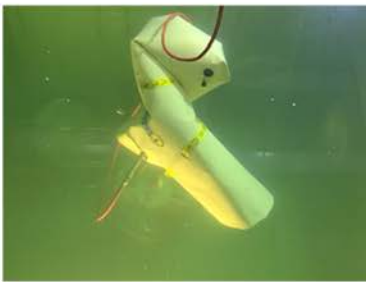

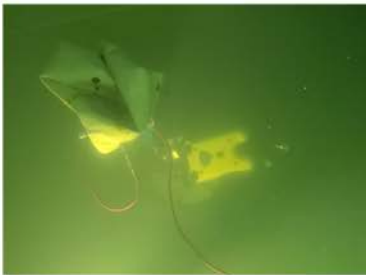

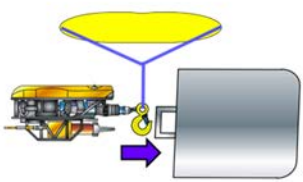
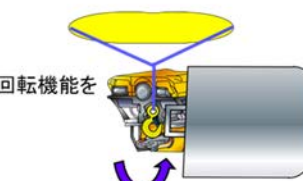
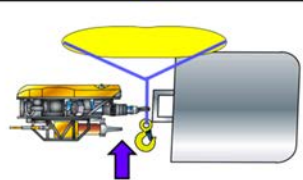
		セル内俯瞰用カメラの映像	水中ROVのメインカメラの映像
ハル缶の移動	水中リフタ（吊具式）の取付け		
	ハル缶の浮上げ		
	浮き上げたハル缶の移動		
	ハル缶の浮下げ		
	水中リフタ（吊具式）の取外し		

表 6 水中リフタ（吊具式）の取付け方法

取付け方法	結果	主な理由
<p>①水中ROVの前進機能を利用して取り付ける方法</p> 	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水中ROVは前進のみの比較的容易な操作となる</li> <li>・吊具の先端部とハル缶蓋取っ手部の距離を水中ROVのカメラから把握できる</li> </ul>
<p>②水中ROVの把持治具の回転機能を利用して取り付ける方法</p> 	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水中ROVが一定の位置に留まるのが難しい</li> <li>・吊具の先端部を水中ROVのカメラから把握しにくい</li> </ul>
<p>③水中ROVの昇降機能を利用して取り付ける方法</p> 	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>・昇降機能では外れ止めを開く力が吊具にかからない</li> <li>・昇降時、吊具の先端部とハル缶蓋取っ手部の距離を水中ROVのカメラから把握しにくい</li> </ul>

〔廃棄物の移動時の気付き事項〕

- ① 横向きや斜め向きのハル缶を浮き上げる際、浮き上げた拍子にハル缶が左右に振れ、モックアップ設備壁面に衝突することを懸念していたものの、ハル缶は、水中リフタに空気を給気するにつれて一度正立になり、その後浮き上がるという挙動を示したことから、ハル缶が左右に振れる事象は見られなかった。これは、本試験ではハル缶の内部が水で均一であり、ハル缶にかかる重力と浮力が同一線上になるように、水中リフタ（吊具式）の回収吊具の位置がハル缶蓋取っ手部上で移動したのち、浮き上がったためと推測する。
- ② 水中リフタ（吊具式）で浮き上げたハル缶は水中 ROV の前後進、左右横行いずれの動作でも移動させることが可能であった。
- ③ ハル缶の移動中、図 37 に示すように、水中 ROV のカメラの視界の多くは水中リフタ（吊具式）のスリングで妨げられてしまうため、セル内俯瞰用カメラでハル缶の移動状況（モックアップ設備内におけるハル缶の位置や水中 ROV の進行方向）を確認することが有効であった。
- ④ ハル缶の移動中、水中 ROV に付属するケーブルと水中リフタに付属するホースが互いに絡まる事象を確認した。また、水中 ROV のセカンドカメラ近傍にはセカンドカメラのガードや浮きを取り付けてられており凹凸が多いため、図 38 に示すように、セカンドカメラ近傍に水中リフタに付属するホースが引っ掛かる事象を確認した。ハル缶を移動する前に、あらかじめケーブル類の位置を把握し、絡まらないように移動ルートを選定する他、水中 ROV のカメラの機能や取付け位置を見直し死角となる位置を減らすことが有効と考えられる。
- ⑤ 水中リフタ内の空気を排気しハル缶を開口部下で着底させる際、図 39 に示すように、水中リフタが折れ曲がり、給排気口周辺の空気の通り道が塞がれることで、排気ができなくなる事象を確認した。試験時は、水中リフタ内に空気を供給して形を整えた上で再度水中リフタ内



の空気を排気することでハル缶を着底させたが、水中リフタを排気に適した構造とすることで、廃棄物の浮下げをスムーズに行うことができると考えられる。

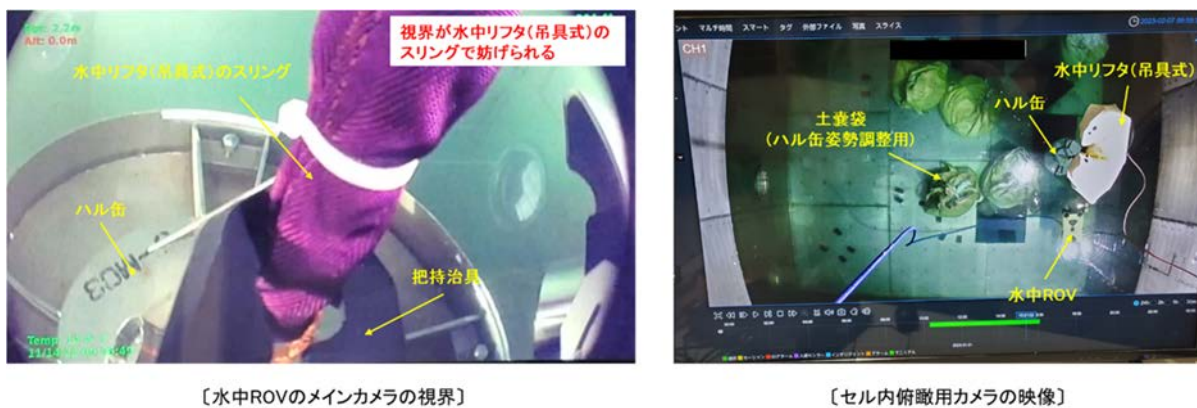


図 37 ハル缶の移動状況の観察

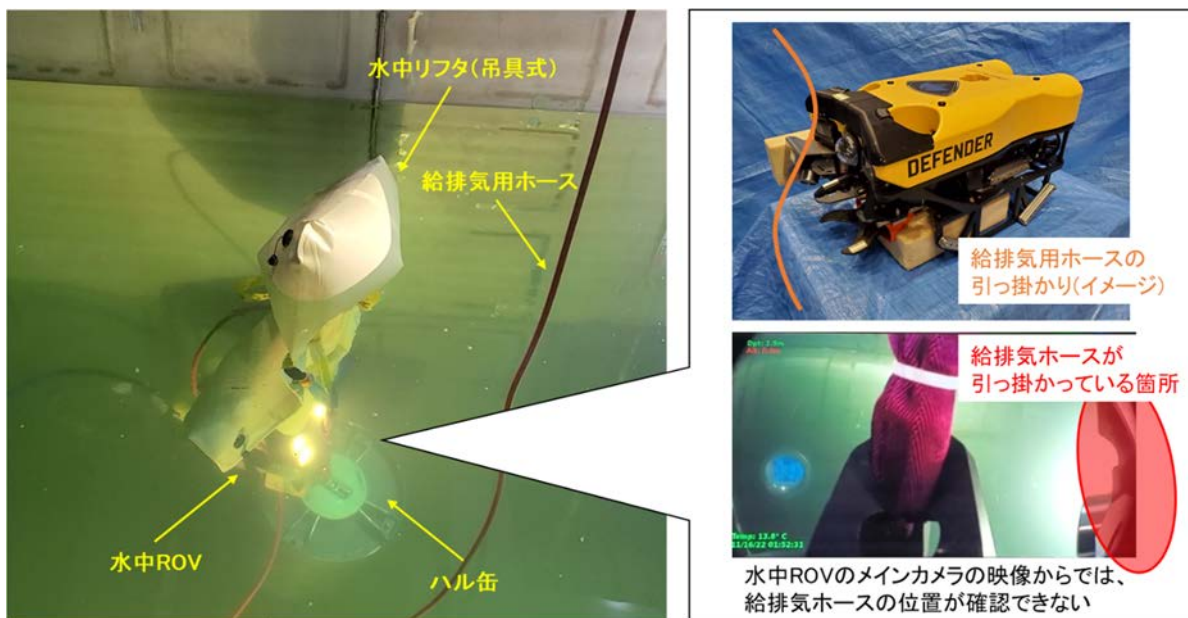


図 38 ハル缶の移動中にケーブル類が絡まる事象

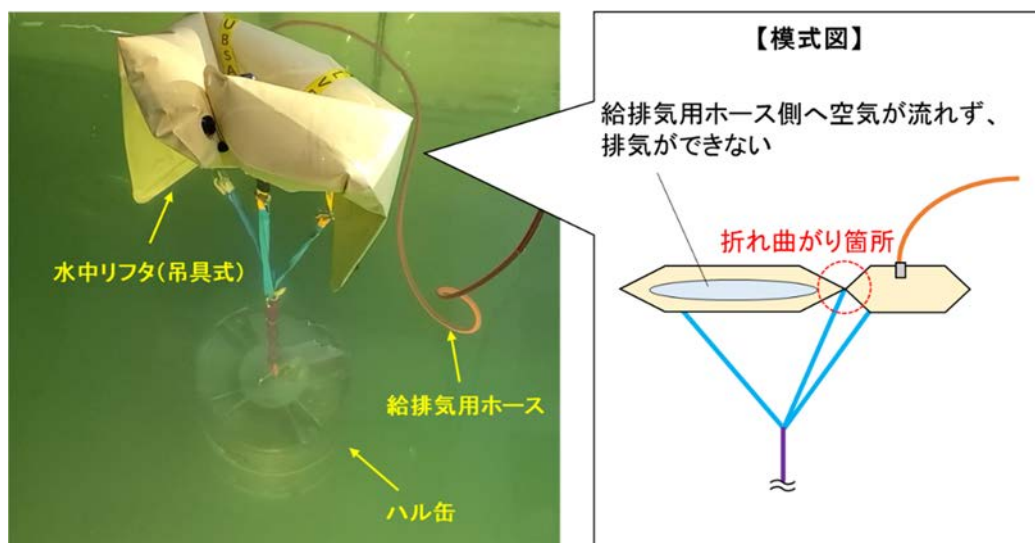


図 39 水中リフタが折れ曲がり、排気ができなくなる事象（セル内俯瞰用カメラの映像）

[水中リフタ（吊具式）の取外し時の気付き事項]

- ① 水中リフタ（吊具式）の回収吊具について、水中 ROV でリングを把持して引っ張ることで外れ止めを解除する仕組みとすることにより、水中 ROV にてハル缶蓋取っ手部から水中リフタ（吊具式）を遠隔で取り外せることを確認した。なお、取外しは、水中 ROV で回収吊具のリングを把持して後方に引きながら外れ止めを開ける動作と、水中リフタの空気を排気して吊具にかかる浮力を弱める操作を組み合わせる必要があることを確認した。一方で、レバー式の回収吊具は、水中 ROV の操作が複雑であり、取外しが困難であることを確認した。水中リフタ（吊具式）の取外しの概要を図 40 に示す。
- ② 回収吊具のリングはΦ約 80 mm としたが、水中 ROV で回収吊具のリングにピンポイントでアクセスし把持する操作は難易度が高いことを確認したため、リングの径を調整することでより水中リフタ（吊具式）の取外し操作をスムーズに行うことができると考えられる。

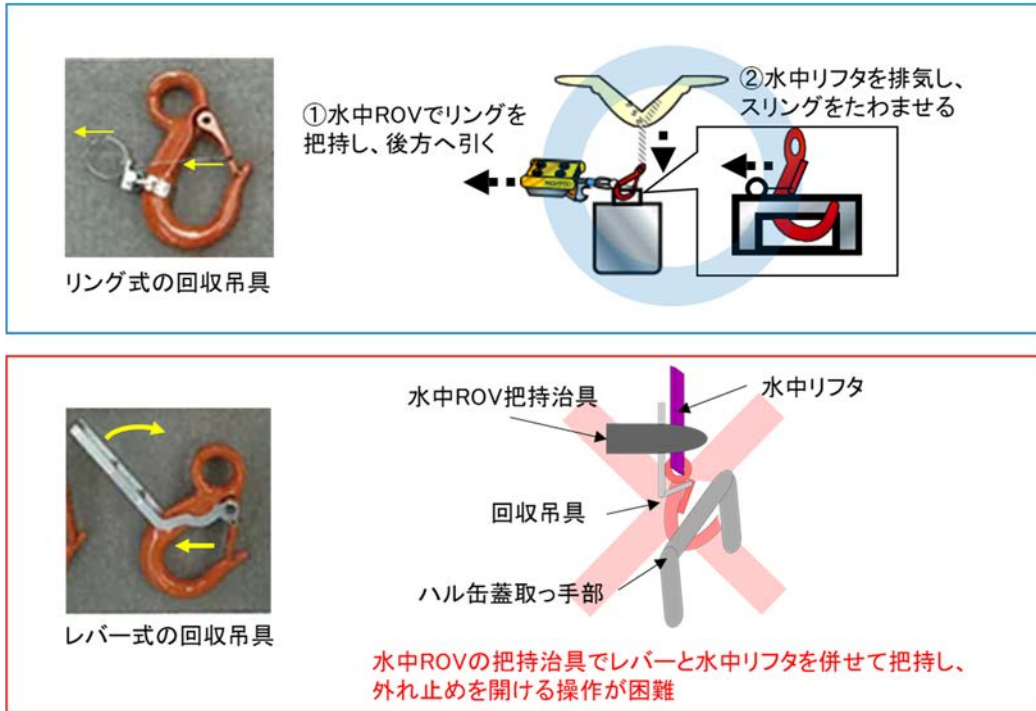


図 40 水中リフタ（吊具式）の取外し概要図

## 9 水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験

### 9.1 試験目的

本試験では、水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）を用いて、蓋取っ手部が見えない状態で貯蔵されているハル缶、フィルタ類、汚染機器類を移動する作業の成立性を確認することを目的とした。

### 9.2 試験方法

水中 ROV がアクセスしにくいと想定するモックアップ設備角部に各廃棄物を単独で配置し、水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）で廃棄物を配置位置から開口部下まで移動した。ハル缶は、ハル貯蔵庫内の観察映像を基に、水中 ROV で水中リフタ（吊具式）の取付けが不可能な姿勢として横向き、斜め下向き、反転の 3 パターンの姿勢を設定し、横向きのハル缶については、その形状から胴部、蓋部底部の 2 パターンの把持方法を設定した。また、フィルタ類、汚染機器類は、ハル貯蔵庫内の観察映像を基に、横向き、斜め向きの 2 パターンの姿勢を設定した。このことから、本試験は計 16 パターンの条件で実施した。なお、水中 ROV を用いて水中リフタ（グラブ式）を廃棄物に取り付ける様子は、モックアップ設備内に投入した移動式カメラにより観察した。水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験の概要を図 41 に、パターン分けを表 7 に示す。

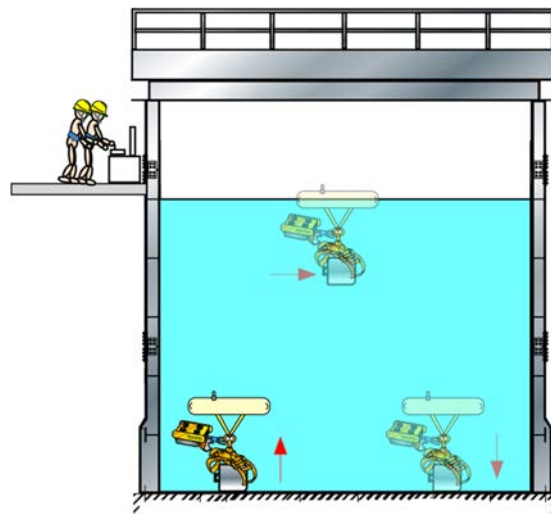


図 41 水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験概要図

表 7 水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）の組合せ試験パターン分け

パターンNo.	廃棄物の種類		廃棄物の姿勢	把持方法	補足図
1	ハル缶		反転	—	
2			斜め下向き	—	
3			横向き	胸部	
4			横向き	蓋部底部	
5	フィルタ類	パルスフィルタ	横向き	—	—
6			斜め向き	—	—
7		スワーフフィルタ	横向き	—	—
8			斜め向き	—	—
9	溶媒フィルタ	横向き	—	—	
10		斜め向き	—	—	
11	汚染機器類	PC-1ポンプ	横向き	—	—
12			斜め向き	—	—
13		スターラ	横向き	—	—
14			斜め向き	—	—
15		観察装置	横向き	—	—
16			斜め向き	—	—

### 9.3 試験結果

いずれのパターンにおいても、水中 ROV と水中リフタ（グラブ式）を用いて、水中リフタ（グラブ式）の取付け、廃棄物の移動の順に作業を行い、蓋取っ手部が見えない状態で貯蔵されているハル缶、フィルタ類、汚染機器類を配置位置から開口部下まで移動できることを確認した<sup>10)11)</sup>。

〔水中リフタ（グラブ式）の取付け時の気付き事項〕

- ① 水中 ROV で水中リフタ（グラブ式）を把持して回収対象の廃棄物まで移動する際、グラブにより近い箇所を把持した方が、水中リフタ（グラブ式）を回転させて向きを調整し易いことを確認した。グラブに近い箇所を把持して移動することで、水中 ROV の旋回力が伝わり易くなり、水中 ROV の動作に水中リフタ（グラブ式）が追従したと考える。なお、グラブの旋回機能がなくとも、水中 ROV の旋回動作により、水中リフタとグラブを一体で旋回可能であるこ

とを確認した。

- ② 斜め下向きハル缶に水中リフタ（グラブ式）を取り付ける際、胴部中心や蓋部寄りでは、グラブの爪がハル缶の円筒軸より上側に位置し、グラブを閉じるに従い爪がハル缶の表面を滑り把持できないため、底部寄りでグラブの爪をハル缶の円筒軸より下側に位置させて把持する必要があることを確認した。なお、底部寄りの位置で把持して浮き上げたハル缶は、単体試験時と同様、蓋部の重さにより回転し反転姿勢となることを確認した。斜め下向きハル缶に水中リフタ（グラブ式）を取り付ける際の様子を図 42 に示す。
- ③ 横向きのハル缶について、胴部と蓋部底部いずれにおいても水中 ROV で移動した水中リフタ（グラブ式）を取り付けられることを確認したものの、ハル缶の高さが約 900 mm に対してグラブの爪の最大開き幅が約 930 mm でありクリアランスが狭く微細な位置調整が必要となることを確認した。横向きのハル缶に水中リフタ（グラブ式）を取り付ける際の様子を図 43 に示す。
- ④ フィルタ類、汚染機器類に水中リフタ（グラブ式）を取り付ける際、単体試験時と同様、グラブで廃棄物を抱え込んで把持することで、最も安定して浮き上げられることを確認した。



図 42 斜め下向きハル缶への水中リフタ（グラブ式）の取付け（移動式カメラの映像）

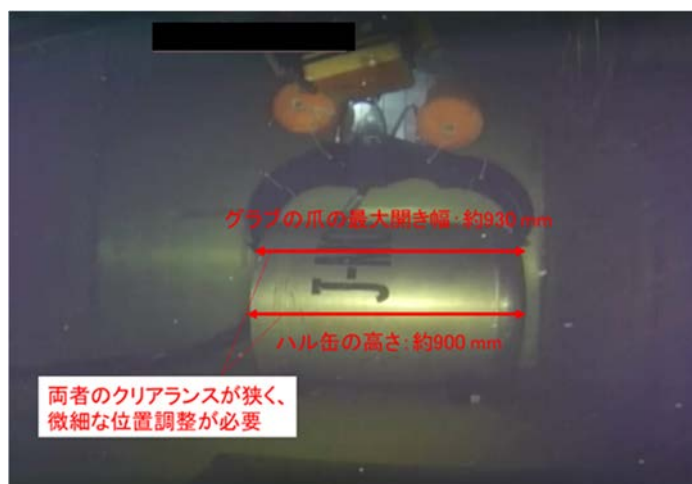


図 43 横向きのハル缶への水中リフタ（グラブ式）の取付け（移動式カメラの映像）

〔廃棄物の移動時の気付き事項〕

- ① 水中リフタ（グラブ式）で浮き上げた廃棄物を開口部下まで移動する際、図 44 に示すように、水中リフタ（グラブ式）に付属するホースがモックアップ設備内に配置した他の廃棄物に引っ掛かり移動が妨げられる事象や、水中リフタ（グラブ式）に付属するホースが開口部下で着底した廃棄物の下敷きになる事象を確認した。試験では、モックアップ設備上部から作業員がホースの巻取り及び送出しを行うこと、再度廃棄物を浮き上げてホースを避けたのち着底させることで対応したものの、ハル貯蔵庫での取出し作業においては、作業員が任意のタイミングでケーブル類（水中 ROV に付属するケーブル、水中リフタに付属するホース、移動式カメラに付属するケーブル）の巻取り及び送出しが行えるシステムを構築することで、作業員の汚染や被ばくを低減しつつ、よりスムーズに操作を行うことができると考えられる。



図 44 ケーブル類が他の廃棄物に引っ掛かる事象（移動式カメラの映像）

〔その他、試験時の気付き事項〕

- ① 水中 ROV のカメラやセル内俯瞰用カメラからではグラブの爪の向きや廃棄物へのグラブの爪のかかり具合を観察することができないため、水中 ROV で回収対象の廃棄物に水中リフタ（グラブ式）を取り付ける際には、移動式カメラで取付けの状況を客観視する必要があることを確認した。図 45 に水中リフタ（グラブ式）取付け時のセル内俯瞰用カメラ及び移動式カ

メラの映像を示す。なお、移動式カメラを投入したことにより、移動式カメラの付属するケーブルが水中 ROV や他のケーブル類に絡まる確率が高まったため、水中リフタ（吊具式）の取付けと比較し、より慎重に操作を行う必要があった。



図 45 水中リフタ（Grab式）の取付け時の状況



## 10 総合試験

### 10.1 試験目的

本試験では、ハル貯蔵庫内を模擬した環境において、水中 ROV、水中リフタ（吊具式またはグラブ式）、廃棄物吊上げ・移送装置（巻上機）を用いて、廃棄物（ハル缶、フィルタ類、汚染機器類）を回収する一連の作業の成立性を確認することを目的とした。

### 10.2 試験方法

水中 ROV がアクセスしにくいと想定するモックアップ設備角部に廃棄物をハル貯蔵庫内の貯蔵状態を模擬して配置し、廃棄物の状態に合わせて水中リフタ（吊具式）と水中リフタ（グラブ式）を使い分けながら、水中リフタ及び水中 ROV で廃棄物を配置位置から開口部下まで移動したのち、廃棄物吊上げ・移送装置（巻上機）から吊り降ろした回収吊具を廃棄物に取り付けた。回収対象の廃棄物は、水中リフタ（吊具式）を用いて移動する横向き・斜め上向きのハル缶各 1 缶、水中リフタ（グラブ式）を用いて移動する横向き・斜め下向き・反転のハル缶各 1 缶、フィルタ類（溶媒フィルタ）1 基、汚染機器類（PC-1 ポンプ）1 基の 7 パターンとした。さらに、これらの廃棄物について、周囲の環境が取出し作業に及ぼす影響を確認するために、懸濁なしで明所の環境下、懸濁ありで暗所の環境下の 2 パターンで回収作業を行った。このことから、本試験は計 14 パターンの条件で実施した。なお、暗所の環境下は、モックアップ設備四方の隙間を暗幕で囲い設備内に光が差し込まないようにし、懸濁は、水中 ROV のカメラにメッシュシート（目開き 263 μm）を張り操作者の視界を妨げることで模擬した。総合試験の概要を図 46 に、廃棄物の配置状況を図 47 に示す。

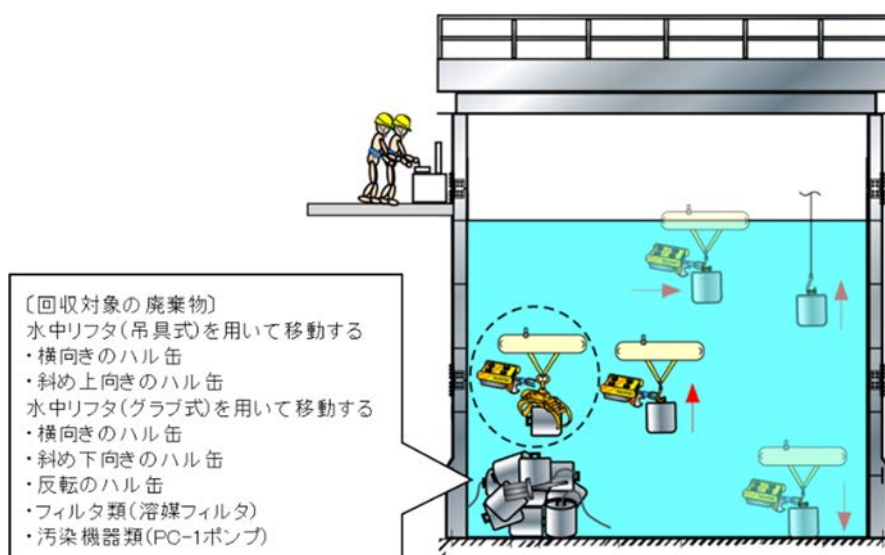


図 46 総合試験概要図



図 47 総合試験時の廃棄物の配置状況

### 10.3 試験結果

いずれのパターンにおいても、水中 ROV、水中リフタ（吊具式またはグラブ式）、廃棄物吊上げ・移送装置（巻上機）を用いて、ワイヤの切断、水中リフタの取付け、廃棄物の移動、回収吊具の取付けの順に一連の作業を行い、種々の姿勢・位置の廃棄物（ハル缶・フィルタ類・汚染機器類）を回収できることを確認した<sup>12)</sup>。

〔ワイヤの切断時の気付き事項〕

- ① 廃棄物が密集した環境下において、他の廃棄物が干渉し水中 ROV の切断治具をワイヤに近づけにくい場合は、把持治具でワイヤを把持し切断治具までワイヤを引き込んだ上で切断する操作が有効であった。ハル缶に付属するワイヤが長く残ると、回収時にワイヤが開口部に干渉する可能性があることから、ハル缶蓋取っ手部に近い位置でワイヤを切断する必要がある。そのため、ハル缶が密集した環境においては、一度ワイヤを見える位置で切断し、開口部下に移動した後、ハル缶蓋取っ手部に近い位置で再びワイヤを切断するといった操作が有効であることを確認した。
- ② ワイヤを切断するために水中 ROV を前傾させる際、水中 ROV に付属するケーブルの重さにより水中 ROV 後方が下方向に引っ張られ、前傾しにくいことを確認したため、ケーブルの浮力を調整することにより前傾姿勢での作業の操作性が向上すると考えられる。

〔水中リフタの取付け時の気付き事項〕

- ① 廃棄物が密集した環境下において、組合せ試験時と同様に、水中リフタ（吊具式）は、水中 ROV で前進しながら吊具部をハル缶蓋取っ手部に押し当てることで確実に取付けが行えることを確認した。また、水中リフタ（グラブ式）は、廃棄物直上で廃棄物の向きに合わせて水中 ROV の旋回動作でグラブを旋回させ、下降して位置を調整することで確実に取付けが行えることを確認した。
- ② 廃棄物が密集した環境下において、水中リフタ（グラブ式）のグラブの開閉動作を利用して、周囲の廃棄物を若干移動し、回収対象の廃棄物周りにグラブの爪を入れて把持できることを

確認した。

- ③ 取付けに要する時間の差を考慮し、水中リフタ（吊具式）を優先して利用し、水中リフタ（吊具式）を取り付けられない廃棄物に対しては水中リフタ（グラブ式）を利用することで全ての廃棄物を移動できることを確認した。
- ④ 単体試験時と同様に、水中リフタ（グラブ式）でハル缶を把持して地切りする際、グラブ内でハル缶の姿勢がずれる事象が見られたものの、浮き上げられることを確認した。

〔廃棄物の移動時の気付き事項〕

- ① ハル貯蔵庫内を模擬した懸濁ありで暗所の環境下では、水中 ROV のカメラにて対象物を遠方から視認しにくくなり、対象物の形状や向きを明確に把握するためには、水中 ROV が対象物に対して約 40 cm 以内の距離まで近づく必要があった。また、水中 ROV 本体や移動式カメラ本体は搭載したライトの光によりセル内俯瞰用カメラからの位置把握でできたものの、光源のないケーブル類（水中 ROV に付属するケーブル、水中リフタに付属するホース、移動式カメラに付属するケーブル）はセル内俯瞰用カメラからの位置把握が容易ではなく、ケーブル類の絡まりを防止するため水中 ROV を慎重に操作する必要があった。

〔回収吊具の取付け時の気付き事項〕

- ① 開口部下まで移動したハル缶について、廃棄物吊上げ・移送装置（巻上機）のワイヤロープの先端に取り付けた回収吊具を水中 ROV でハル缶蓋取っ手部に取付け可能であることを確認した。
- ② また、回収吊具を取り付けることができないフィルタ類、汚染機器類については、試作のバスケットに収納可能であることを確認した。

## 11 水中 ROV の不調事象

水中 ROV について、試験期間中、スラストの不調が 3 回、パワーモジュール（上流側から受電し、カメラ・ライト・スラスト等に必要な電源レベルに変換するモジュール）の不調が 2 回発生した。水中 ROV の不調事象を表 8 に示す。また、不調事象を踏まえて確認した事項を以下に示す。

- ① スラスト、パワーモジュールいずれにおいても予備品と交換することで水中 ROV を復旧することができた。
- ② パワーモジュールを交換するまでに、予備品の調達を含めて最大約 140 日を要した。
- ③ 不調が発生したパワーモジュールについて、国内電子機器メーカーに原因調査を依頼したところ、防水を目的にパワーモジュール内部を満たしている透明な樹脂が、基盤に直接張り付けられており、樹脂を剥がそうとすると基盤ごと剥がれてしまうことから、基盤の調査及び原因特定が困難との回答を得た。なお、国内においては、パワーモジュールに類似した部品（水中で使用することを考慮し、樹脂埋めされている電子部品）は、樹脂が基盤に直接貼り付けられておらず基盤の調査が可能であるケースが多いとのことであった。パワーモジュールについて図 48 に示す。
- ④ スラスト等の交換作業は、部品の付替えのみの作業であり、放射線環境下であっても実施可能であることを確認した。ただし、当該水中 ROV 内部は、部品付属ケーブルが入り組んで配線されており、ケーブルの抜き取りや配置に時間を要した。水中 ROV 内部とスラスト交換作業の様子を図 49 に示す。
- ⑤ パワーモジュールの不調に伴う水中 ROV の回収においては、水中 ROV 付属ケーブルを引っ張り水中 ROV を開口部下まで移動し、コネクタ部を損傷させないように水中 ROV に玉掛けしてモックアップ設備上部まで吊り上げて回収した。

表 8 試験期間中に確認した水中 ROV の不調事象

事象	スラスタの不調①	パワーモジュールの不調①	スラスタの不調②	パワーモジュールの不調②	スラスタの不調③
発生日	2022年7月12日	2022年9月13日	2022年11月2日	2023年8月25日	2024年1月15日
内容	スラスタ7基のうち1基が作動不良。	水中ROVとコントローラの通信が途絶え、水中ROVが動作不良。	操作画面にてスラスタ7基のうち1基について、異常警告が表示。	スラスタ・ライトとコントローラの通信が途絶え、水中ROVが動作不良。	操作画面にてスラスタ7基のうち1基について、異常警告が表示。
対応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該スラスタの外観点検を実施し、内蔵オイル(スラスタの動きを潤滑するための微量のオイル)の漏れが原因(初期不良)と推定。</li> <li>・2022年8月1日、JFN技術者指導の下、当該スラスタを予備品と交換(ハードウェアの交換及びプログラミング設定)し、復旧。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コントローラ自体は正常に起動すること、ケーブルの外観や導通に異常がないことから、水中ROV本体側の問題と推定。</li> <li>・水中ROV本体を点検し、各種デバイス(スラスタ、ライト等)の外観や導通に異常がないため、これらのデバイスを接続しているパワーモジュールが原因と推定。</li> <li>・パワーモジュールを無償で入手し、2022年11月1日に当該部品の交換作業を行い復旧。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該スラスタの外観点検を実施し、内蔵オイルの漏れが原因と推定。</li> <li>・2022年11月2日、当該スラスタを予備品と交換(ハードウェアの交換及びプログラミング設定)し、復旧。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コントローラ自体は正常に起動すること、ケーブルの外観や導通に異常がないことから、水中ROV本体側の問題と推定。</li> <li>・水中ROV本体を点検し、各種デバイス(スラスタ、ライト等)の外観や導通に異常がないため、これらのデバイスを接続しているパワーモジュールが原因と推定。</li> <li>・パワーモジュールの調達に係る手続きを進め、2024年1月15日に当該部品の交換作業を行い、復旧。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該スラスタの外観点検を実施し、オイル漏れはなく、コネクタの接触不良等が原因と推定。</li> <li>・2024年1月15日、当該スラスタを予備品と交換(ハードウェアの交換及びプログラミング設定)し、復旧。</li> </ul>
復旧期間	約20日	約60日	約1日	約140日	約1日



パワーモジュール外観



浸水防止のため、基盤に直接樹脂が貼り付けられている

パワーモジュール内部

図 48 水中 ROV のパワーモジュール



## 12 装置について考慮すべき事項

試験を通して抽出した水中 ROV について考慮すべき事項を図 50 に、水中リフタについて考慮すべき事項を図 51 に纏める。

### [水中 ROV]

- ① 水中 ROV を前傾させて廃棄物に付属するワイヤの切断や廃棄物への回収吊具の取付けを行うため、付属ケーブルの重さにより水中 ROV 後方が下側に引っ張られ前傾しにくいことから、ケーブルの浮力を調整することで姿勢調整の操作性向上が期待できる。
- ② 当該水中 ROV は、前方にメインカメラ（水平・垂直視野 80 度、垂直チルト±85 度）、右前方にセカンドカメラ（水平・垂直視野 90 度）を搭載している。現状のカメラの位置・機能では水中 ROV の側面や後方を確認できないため、カメラの取付け位置や機能を見直し死角を減らすことで、水中リフタ付属ホースの位置を的確に把握でき、水中 ROV への水中リフタ付属ホースの絡まり防止が期待できる。
- ③ 水中 ROV がセル内で動作しなくなった場合を考慮し、付属ケーブルまたは補助治具で水中 ROV を回収する対策が有効である。
- ④ 放射線環境下での部品の交換作業を考慮し、水中 ROV 内部における部品付属ケーブルの配線を工夫し、ゴム手袋等を装備した状態でも交換し易い構造とすることが有効である。

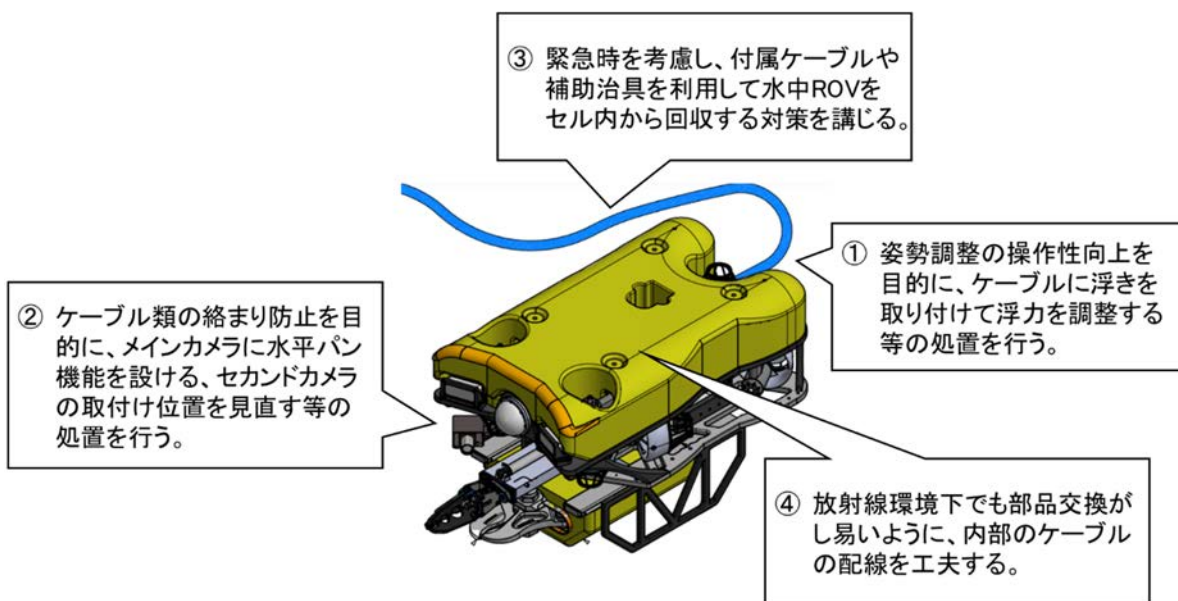


図 50 水中 ROV について考慮すべき事項

### [水中リフタ]

- ① 水中リフタ（グラブ式）のグラブについて、グラブの爪を延長してハル缶を下側から支えられるようにする、グラブの爪をよりハル缶に沿う形状としてグラブとハル缶の接触面積を増やす等の改良を施すことで、より安定してハル缶を把持して浮き上げることが可能となり、操作性向上が期待できる。

- ② 市販の水中リフタは内部の空気をスムーズに排気することは考慮されていないことから、浮き部を排気に適した構造（分割構造やノズル構造等）とすることで、廃棄物の浮下げの操作性向上が期待できる。
- ③ 水中リフタ（吊具式）の吊具部として用いた回収吊具の外れ止め開閉用リングについて、吊具部を把持する際に水中 ROV に干渉せず、なおかつ水中リフタ（吊具式）を取り外す際に水中 ROV の把持治具で把持し易い大きさに調整することで、水中リフタ（吊具式）の取外しの操作性向上が期待できる。

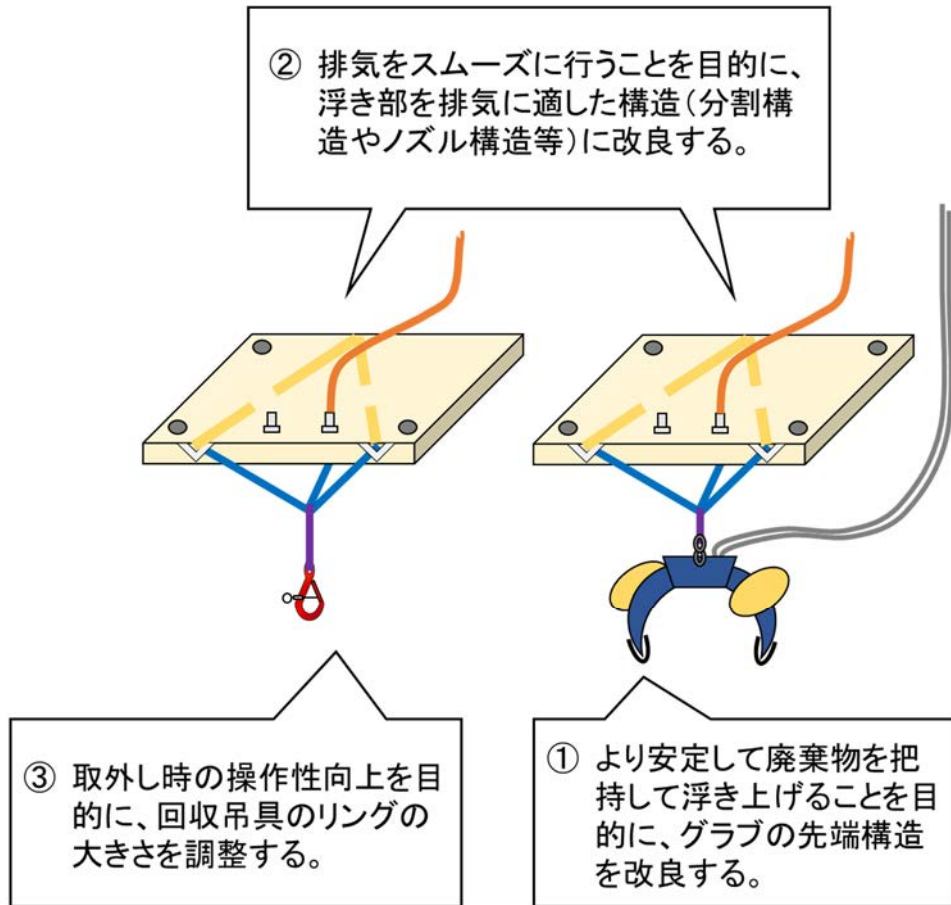


図 51 水中リフタについて考慮すべき事項



## 13 まとめ

HASWS ハル貯蔵庫内の湿式貯蔵廃棄物の取出しに向けて、水中 ROV と水中リフタを用いた取出し方法を検討している。

2022 年度から 2023 年度にかけて、水中 ROV と水中リフタを用いた試験を実施し、水中 ROV、水中リフタ（吊具式またはグラブ式）、廃棄物吊上げ・移送装置（巻上機）を用いて、ハル貯蔵庫内を模擬して配置した種々の廃棄物を開口部下まで移動し、回収吊具を取り付ける一連の作業の成立性を確認した。

一方、本試験に用いた水中リフタ（吊具式）や水中リフタ（グラブ式）等は汎用品を組み合わせたものであり、今後、HASWS の使用用途に適した仕様に改良する必要がある。また、本試験を通じて、水中 ROV 付属ケーブル、水中リフタ（グラブ式）のグラブ等について改善を図ることで操作性向上が期待できることを確認したため、より安全かつ確実な湿式貯蔵廃棄物の取出しに向けて、水中 ROV 及び水中リフタ、作業環境の改善を図った上で操作性向上に向けたデータを取得し、水中 ROV、水中リフタの改良機の製作に反映する計画である。

## 謝辞

本件に係る水中 ROV の調達、不調時の対応等にご協力いただきました丸紅ユティリティ・サービス株式会社の方々に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 小松征彦, 和田本章, 浅尾真人, HASWS 貯蔵廃棄物取出技術調査, JNC TJ8420 2000-003, 2000, pp.2-11.
- 2) 伊藤賢志, 佐野恭平, 爲田惟斗, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物の取出しに関する検討について (1)HASWS 及び取出し装置に係る検討概要, 日本原子力学会 2023 秋の大会要旨集, 2023, 1F01p.
- 3) 間野正, 塩月正雄, ハル・ハードウェアの管理(仮訳), PNC TN9510 86-002, 1986, 83p.
- 4) Kojima,H., Kurakata,K., Safety evaluation for hull waste treatment process in JNC, MN'02 Conference, February 24-28, 2002,pp.1-2.
- 5) 小松征彦, 和田本章, 浅尾真人, HASWS 貯蔵廃棄物取出技術調査, JNC TJ8420 2000-003, 2000, 99p.
- 6) Simon,P., Wayne,J., Ian,C., Eleanor,C., Submersible ROV's pioneer decommissioning of a legacy nuclear fuel storage pond-15368, QM2015 Conference, March 15-19,2015, pp.1-3.
- 7) 佐野恭平, 爲田惟斗, 伊藤賢志, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物の取出しに関する検討について (2)水中作業用小型ロボット(水中 ROV)に係る検討について, 日本原子力学会 2023 秋の大会要旨集, 2023, 1F02.
- 8) 日本産業規格, JIS G3557:2016, 一般用ステンレス鋼ワイヤロープ.
- 9) 爲田惟斗, 佐野恭平, 伊藤賢志, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物の取出しに関する検討について (3)水中リフタに係る検討について, 日本原子力学会 2023 秋の大会要旨集, 2023, 1F03.
- 10) 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)からの廃棄物の取出しに関する検討について (4)水中 ROV と水中リフタ(Grab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, 1L05.
- 11) 阿久澤禎, 爲田惟斗, 佐野恭平, 秋山和樹, 東海再処理施設 高放射性固体廃棄物貯蔵庫 (HASWS)からの廃棄物の取出しに関する検討について (5)水中 ROV と水中リフタ(Grab式)の組合せ試験(フィルタ類等), 日本原子力学会 2024 秋の大会要旨集, 2024, 1L06.
- 12) 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)からの廃棄物の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, 1L07.

## 付録-1 各貯蔵庫・貯蔵廃棄物の概要及び貯蔵実績

## 1 各貯蔵庫の概要

## (1) ハル貯蔵庫

ハル貯蔵庫は 2 基あり、寸法は縦 7 m×横 7 m×高さ 10 m で、床面及び壁面にステンレス (SUS304L) のライニング (厚さ: 床 4 mm、壁 3 mm) を施し、天井に耐薬品性を考慮したエポキシ系の塗装を施している。

ハル貯蔵庫の天井には、ハル缶投入用角型ハッチ (縦 1110 mm×横 1550 mm) とフィルタ投入用丸型ハッチ (φ700 mm) を設置しており、床面に緩衝用の砂を高さ約 0.6 m まで敷いている。

## (2) 予備貯蔵庫

予備貯蔵庫は 1 基あり、寸法はハル貯蔵庫と同じ縦 7 m×横 7 m×高さ 10 m で、床面には炭素鋼(SS41) のドリフトレイ (縦 7 m×横 7 m×高さ 0.3 m、厚さ 4.5 mm) を設置している。壁面に耐薬品性を考慮したエポキシ系の塗装を施している。

予備貯蔵庫の天井には、分析廃棄物用容器投入用ハッチ (縦 1110 mm×横 1550 mm) を設置しており、床面には緩衝用の砂を高さ約 0.6 m まで敷いている。

## (3) 汚染機器類貯蔵庫

汚染機器類貯蔵庫は、縦 2 m×横 1.5 m×高さ 3.4 m のものが 5 基、縦 2.7 m×横 1.5 m×高さ 3.4 m のものが 1 基、縦 3 m×横 1.5 m×高さ 3.4 m のものが 1 基あり、計 7 基を設置している。床面、壁面、天井に耐薬品性を考慮したエポキシ系の塗装を施している。

汚染機器類貯蔵庫の天井には、分析廃棄物用容器投入用ハッチ (縦 460 mm×横 580 mm) を設置しており、床面には緩衝用の砂を高さ約 0.6m まで敷いている。

## 2. 貯蔵廃棄物の概要

## (1) ハル缶

ハル缶は胴部と蓋部で構成される。ハル缶の仕様及び内容物を以下に示す。また、ハル缶概要図を図 A1-1 に示す。

## a. 胴部

- ・寸法: φ 755 mm×高さ 900 mm
- ・容量: 約 350 L
- ・材質: ステンレス (SUS304)

## b. 蓋部

- ・寸法: φ 750 mm×高さ 178 mm
- ・材質: ステンレス (SUS304)
- ・ゴムパッキン: ネオプレン

## c. 重量

- ・内容物及び注入した水を含むハル缶の総重量は、約 360 kg～約 1000 kg (空重量: 約 130 kg)

であり、平均で約 670 kg である。

d. 内容物

- ・ハル缶には、ハル・エンドピース、雑固体廃棄物（ウエス、マニピュレータブーツ、ホース、チェンブロック、クレーンフック等）を収納しており、ジルカロイ火災防止の観点から水を注入（平均約 280 L）している。

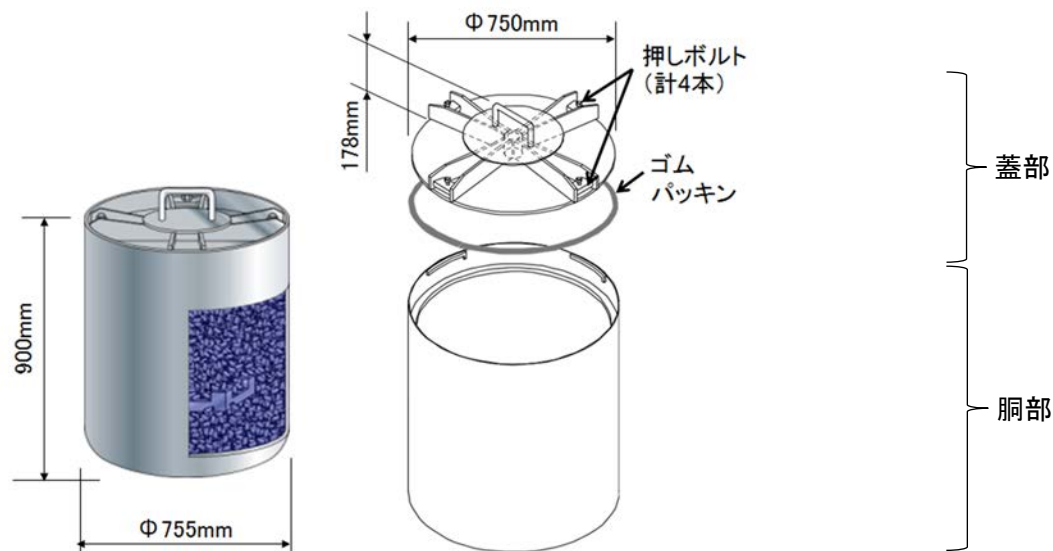


図 A1-1 ハル缶概要図

(2) フィルタ類

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各フィルタには、フィルタ交換時にハンドリングするためにシャフトが取り付けられている。各フィルタの仕様について以下に示す。また、フィルタ概要図を図 A1-2 に示す。

a. パルスフィルタ

- ・寸法：φ 360 mm×長さ約 1850 mm（シャフトを含む）
- ・材質：ステンレス（SUS316L）（フィルタエレメント）
- ・重量：約 72 kg（シャフトを含む）

b. スワーフフィルタ

- ・寸法：φ 340 mm×長さ約 1300 mm（シャフトを含む）
- ・材質：ステンレス（SUS304L）（フィルタエレメント）
- ・重量：約 36 kg（シャフトを含む）

c. 溶媒フィルタ

- ・寸法：φ 680 mm×長さ約 2060 mm（シャフトを含む）
- ・材質：ステンレス（SUS316L）（フィルタカートリッジ）、ステンレス（SUS304L）（胴体部）
- ・重量：約 195 kg（シャフトを含む）

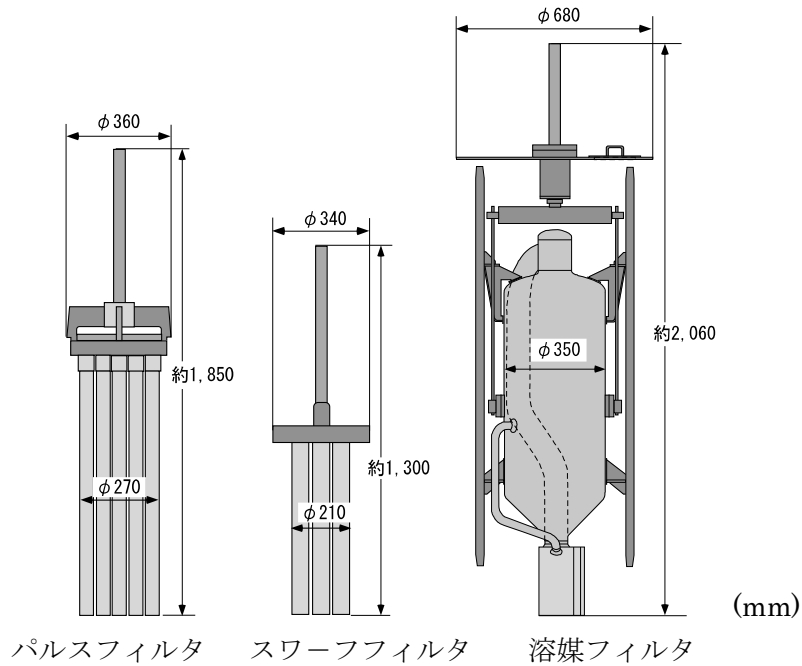


図 A1-2 フィルタ類（シャフトを含む）概要図

### (3) 汚染機器類

汚染機器類には、スターラ、PC-1 ポンプの他、貯蔵庫の点検に使用した観察装置がある。PC-1 ポンプには、シャフトが取り付けられている。汚染機器類の仕様について以下に示す。また、汚染機器類概要図を図 A1-3 に示す。

#### a. スターラ

- ・寸法：(最大)  $\phi 185 \text{ mm} \times$ 長さ約 890 mm
- ・重量：(最大) 約 38 kg

#### b. PC-1 ポンプ

- ・寸法：327 mm  $\times$ 長さ約 1120 mm (シャフトを含む)
- ・重量：約 120 kg (シャフトを含む)

#### c. 観察装置

- ・寸法：(最大) 縦 530 mm  $\times$ 横 813 mm  $\times$ 高さ 378 mm
- ・重量：(最大) 約 33 kg (制御ケーブルを含む)
- ・制御ケーブル長さ：約 10 m

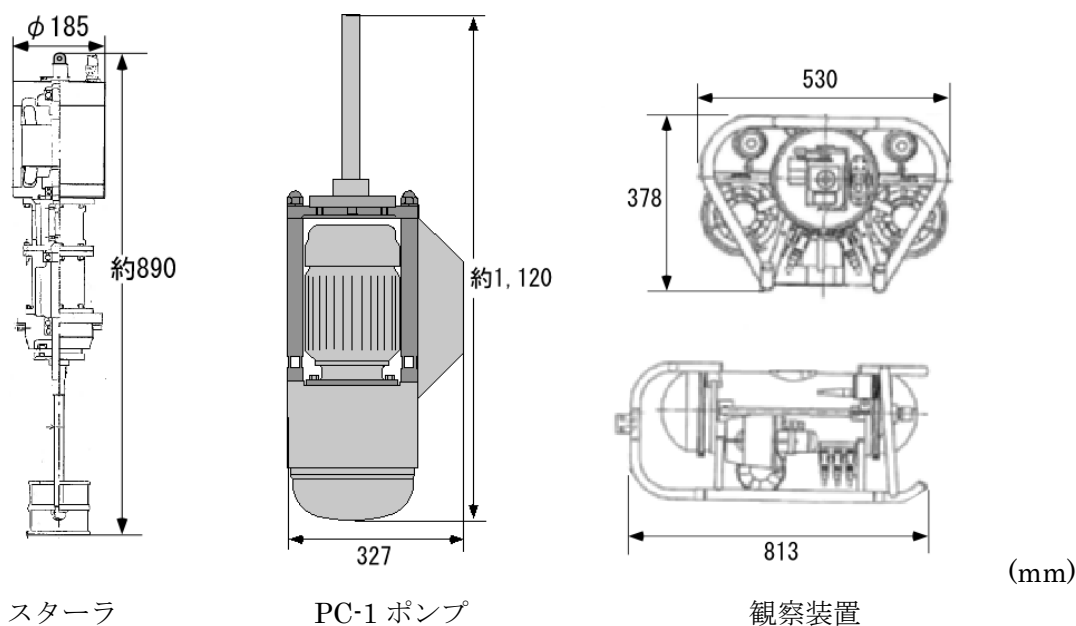


図 A1-3 汚染機器類概要図

#### (4) 分析廃棄物用容器

分析廃棄物用容器は容器本体と蓋で構成される。分析廃棄物用容器の仕様及び内容物について以下に示す。また、分析廃棄物用容器概要図を図 A1-4 に示す。

分析廃棄物用容器の仕様及び内容物について以下に示す。

##### a. 容器本体

- ・寸法：φ 320.5 mm×高さ 318 mm
- ・容量：20 L
- ・材質：ポリエチレン
- ・リップシール：ウレタンゴム

##### b. 蓋

- ・寸法：φ 270 mm×高さ 37 mm
- ・材質：ポリエチレン

##### c. 重量

- ・内容物を収納した分析廃棄物用容器の総重量は、約 4.5 kg～約 8.0 kg（空重量：約 3.5 kg）である。

##### d. 内容物

- ・分析廃棄物用容器には、廃ジャグ（ポリエチレン）、カートリッジ（ポリエチレン）、ゴムキャップ（クロロプレンゴム）、その他の分析用器材（フィルタ、ポンプ、ケーブル等のガラス、金属類等）を収納している。
- ・廃ジャグ、カートリッジ、ゴムキャップは、あらかじめ水で洗浄したのち、ビニール袋（酢酸ビニル）に詰めて分析廃棄物用容器に収納している。その他の分析用器材はそのままの状態に収納している。

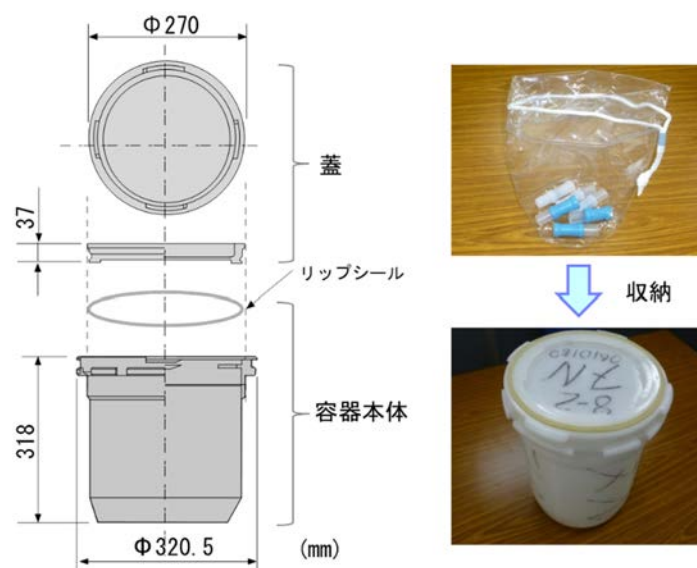


図 A1-4 分析廃棄物用容器概要図

### 3. 貯蔵実績

ハル貯蔵庫への投入は、1977年より開始し1994年で終了した。予備貯蔵庫への投入は、1982年より開始し現在も継続して行っている。また、汚染機器類貯蔵庫への投入は、1977年より開始し1985年で終了した。

ハル貯蔵庫には、ハル缶、フィルタ類、汚染機器類を、予備貯蔵庫及び汚染機器類貯蔵庫には分析廃棄物用容器をそれぞれ貯蔵している。

ハル貯蔵庫に貯蔵している廃棄物種類及び個数を表 A1-1 に、ハル缶の内容物の内訳を表 A1-2 に、予備貯蔵庫及び汚染機器類貯蔵庫に貯蔵している分析廃棄物用容器の個数を表 A1-3 に示す。

表 A1-1 ハル貯蔵庫に貯蔵している廃棄物種類及び個数

種 類		個 数		
		ハル貯蔵庫		合 計
		R031	R032	
ハル缶		384	410	794
フィルタ類	パルスフィルタ	5	26	56
	スワーフフィルタ	3	18	
	溶媒フィルタ	0	4	
汚染機器類	スターラ	11	2	27
	PC-1 ポンプ	0	1	
	観察装置	8	5	

(2024年8月現在)

表 A1-2 ハル缶内容物の内訳

内容物	ハル貯蔵庫		合計
	R031	R032	
ハル・エンドピースのみ	110	85	195
ハル・エンドピースと 雑固体廃棄物の混合	239	187	426
雑固体廃棄物のみ	35	138	173

(2024年8月現在)

表 A1-3 分析廃棄物用容器の貯蔵個数

種類	個数								合計
	予備貯蔵庫 R030	汚染機器類貯蔵庫						合計	
		R040	R041	R042	R043	R044	R045		
分析廃棄物用容器	4626	0	14	175	179	197	197	198	5586

(2024年8月現在)

#### 4. 廃棄物の投入方法

##### (1) ハル缶、フィルタ類、汚染機器類

HASWS に搬入したカスクをハル貯蔵庫のハッチにセットした後、廃棄物をワイヤで貯蔵庫に吊り降ろし、ワイヤを切断することによって貯蔵庫に投入する。ハル缶の投入方法の概要を図 A1-5 に示す。また、フィルタ類、汚染機器類の投入方法の概要を図 A1-6 に示す。

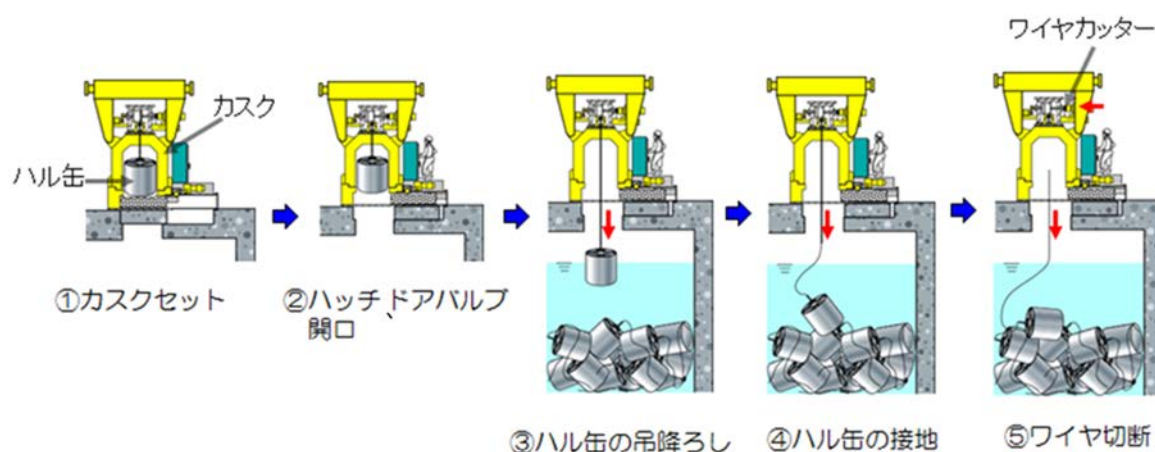


図 A1-5 ハル缶投入方法の概要



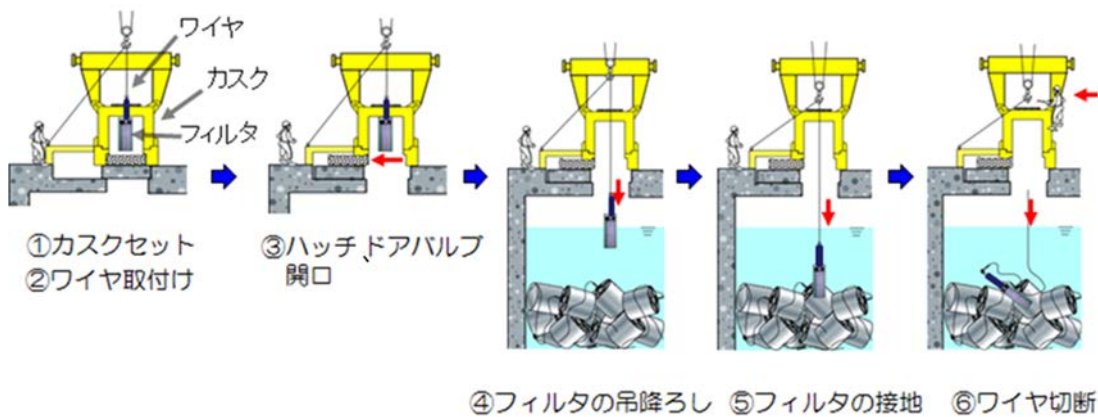


図 A1-6 フィルタ類、汚染機器類投入方法の概要

(2) 分析廃棄物用容器

HASWS に搬入したカスクを予備貯蔵庫、汚染機器類貯蔵庫のハッチに設置した反転装置にセットし、カスクを反転させハッチ及びカスク扉を開けた後、分析廃棄物用容器をカスクに固定している止め金具を緩めることによって、分析廃棄物用容器を自然落下で貯蔵庫に投入する。分析廃棄物用容器投入方法の概要を図 A1-7 に示す。

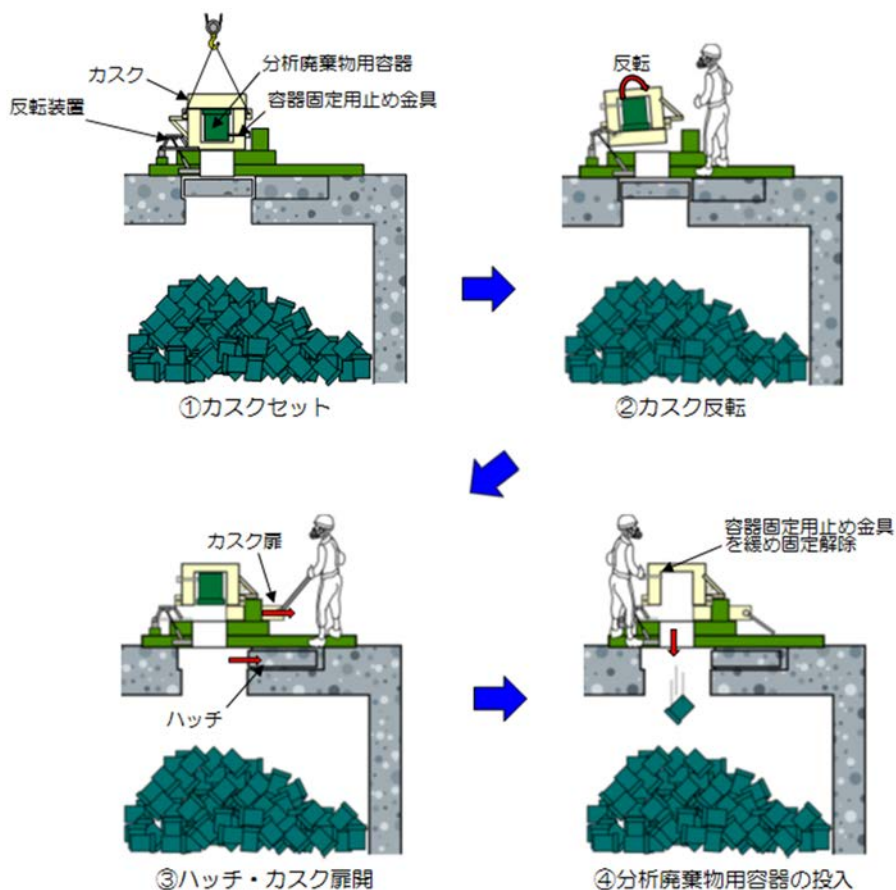


図 A1-7 分析廃棄物用容器投入方法の概要

## 付録-2 HASWS からの廃棄物取出しに係る検討経緯及び HASWS プロジェクト概要

## 1. 検討開始からアスファルト固化処理施設火災爆発事故による凍結までの経緯

HASWS は、1971 年 10 月に建設を開始し、1972 年 8 月に竣工した。また、上屋は、1976 年 8 月に増設を開始し、1977 年 4 月に竣工した。

なお、耐震重要度分類は、各貯蔵庫は A 類で、その他のクレーン室等は B 類である。

1980 年より、HASWS の貯蔵満杯時期の延命及び日本原燃株式会社への運転経験等の反映を目的に、HASWS から取り出した廃棄物を、新たに設計・建設するハル等廃棄物処理技術開発施設 (HWTF) において分別・廃棄体化処理を実施し、処分する計画 (HWTF 計画) を開始し、HWTF 計画の一環として取出し設備の検討も進めてきた。

HWTF 計画では、1981 年度から 1990 年度にかけて HIP (熱間等方圧加圧) 法<sup>\*</sup>によるハル・エンドピース等の処理技術開発を実施した。1990 年度末に HIP 法による処理施設の検討を実施したものの、HIP 処理における問題 (異物混入による固化体形成への影響、酸化被膜の厚薄による接合部への影響及びホットセル内高圧ガス保安検査対応の困難等) 及び将来的な処分への対応の問題 (廃棄体が不明確) から廃棄体の如何によらず柔軟に対応できる薄層圧縮法 (ハルの軽圧縮減容) に改め、1991 年度から 1994 年度にかけプロセス設計・技術確証を行った。その後、1994 年度に海外からの返還ハル等廃棄物の動向及びより減容効果が高い高圧縮法 (ハル・エンドピース、FBR 構造材等の高圧縮減容) に改め直しプロセス設計・技術確証を行い、1997 年度までに詳細設計 (Ⅱ) を実施したものの、1997 年 3 月に発生したアスファルト固化処理施設火災爆発事故の影響により業務を凍結した。

※数百～2000℃の高温と数十～200 MPa の等方的な圧力を被処理体に同時に加えて処理する方法

HWTF の設計において、HWTF では、廃棄物の性状によって①ハル・エンドピース②ハル缶に注入した水③可燃性廃棄物④不燃性廃棄物に分別し処理することとしており、対象廃棄物ごとの処理方針は以下の通り。

## ① ハル・エンドピース

ハル缶を開梱後、ハル・エンドピースとそれ以外の廃棄物に分別する。分別したハル・エンドピースは、圧縮容器に収納し、不活性ガス (N<sub>2</sub>) で置換した乾燥機内で乾燥する。その後、圧縮容器ごと圧縮処理し圧縮体とした後、キャニスタに収納・封入する。

## ② ハル缶に注入した水

ハル缶に注入した水 (処理工程から発生する廃水含む) は、蒸発濃縮設備で処理した後、濃縮液はセメント混練し凝縮液は既存の廃液処理施設に移送する。

## ③ 可燃性廃棄物

キムタオルや塩ビシート、分析廃棄物用容器の細断片、分析廃材等の可燃性廃棄物は焼却炉で焼却処理し、焼却灰はセメント混練する。

## ④ 不燃性廃棄物

ハル缶やその他の不燃性廃棄物は、細断後に容器に収納しモルタル充填する。

これら①～④の処理を実施するために、HWTFには以下の8つの設備の設置を考えている。HWTF

の概略フローを図 A2-1 に示す。

- 1). 分別・切断・細断設備
- 2). 圧縮処理設備
- 3). キャニスタ充填処理設備
- 4). 蒸発濃縮設備
- 5). 焼却設備
- 6). セメント混練処理設備
- 7). モルタル充填処理設備
- 8). 廃棄体保管設備

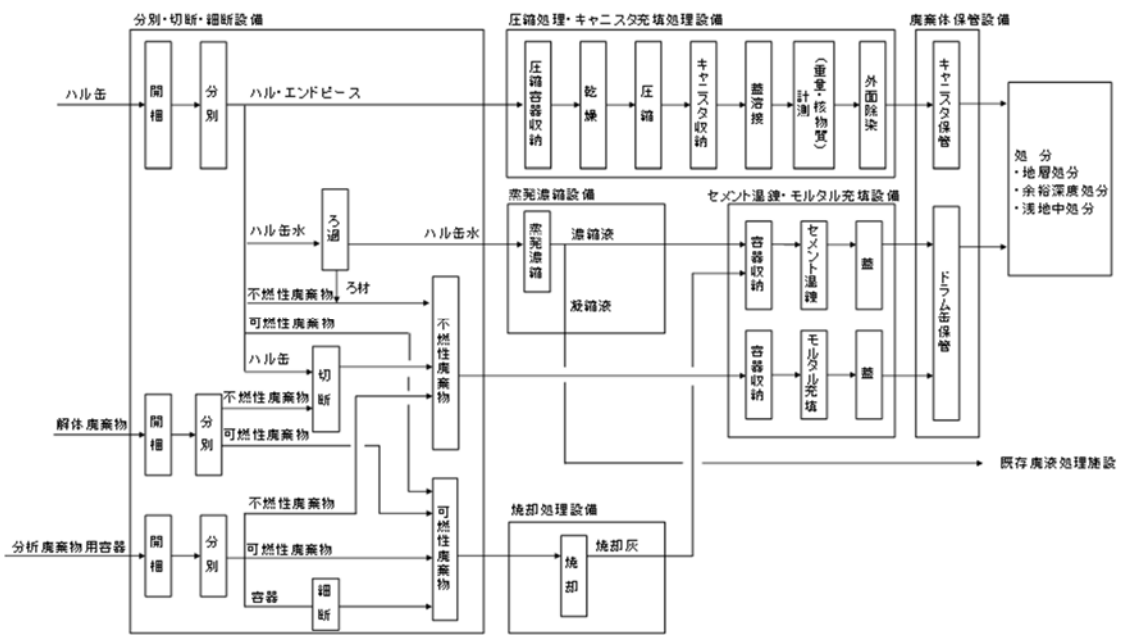


図 A2-1 HWTF 処理プロセスフロー

HWTF 計画の一環として進めていた取出し設備に係る検討は、1988 年度より各種取出し技術の調査及び概念研究等を実施した。1992 年度から 1994 年度にかけ水中ロボット方式（既設建家を利用し、図 A2-2 に示す水中ロボットと筏による取出し方式）による取出し方法の調査・概略検討を行い、設備を設置する上での既設建家の耐荷重及び建家換気能力を踏まえた汚染拡大の可能性から本方式を断念し、1995 年度に既設建家全体を覆う構造の取出し建家による取出し方法の概念検討を行った。1996 年度には、取出し建家の建設費用が高価であること等により、再度技術調査を行い、既設建家を利用し、テレスコピックアームによる取出し方法を選定し、概念検討を行い、1998 年度に行った設計研究にて技術的な成立性を見通しを得た後にアスファルト固化処理施設火災爆発事故の影響により凍結した。

その後、廃棄体の処分方針が明確でないこと、HASWS、2HASWS（第二高放射性固体廃棄物貯蔵施設）の貯蔵裕度に余裕があることから、1999 年度、HWTF 計画を中断した。

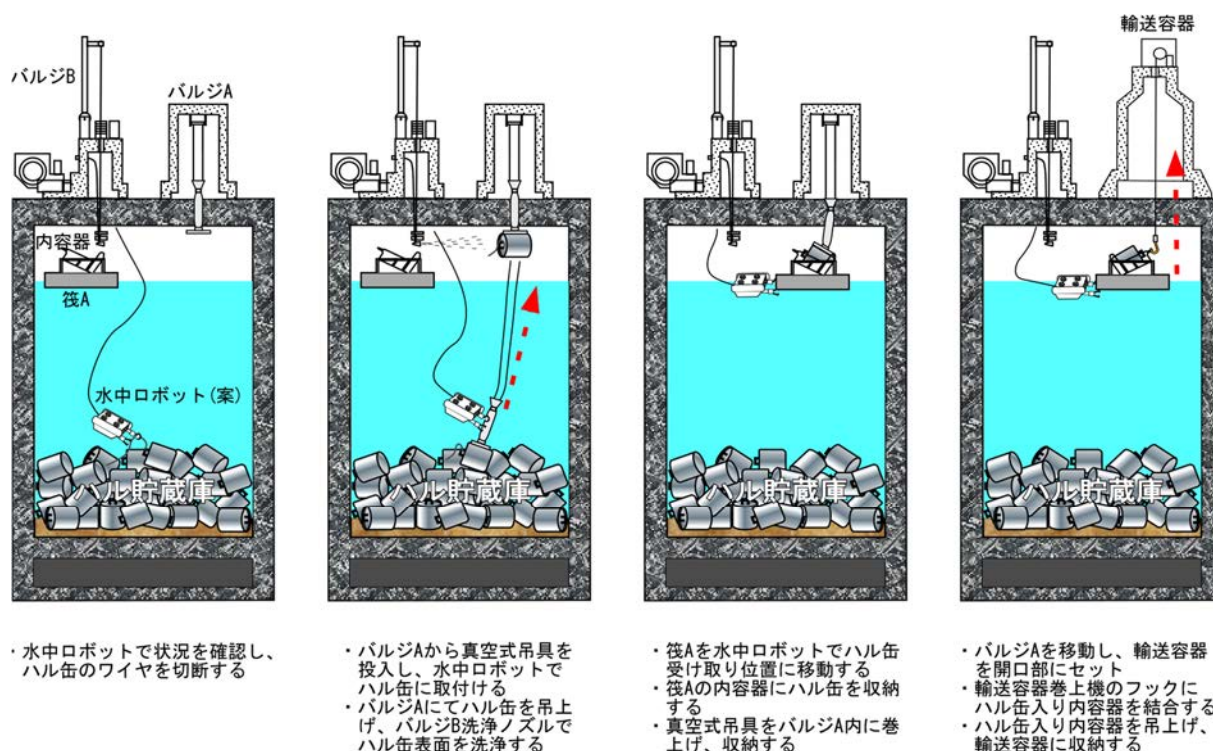


図 A2-2 水中ロボットと筏を用いた取出し方法概念図

## 2. 東日本大震災を受けての検討再開から現在までの経緯

2011年の東日本大震災以後、JAEAとして福島第一原子力発電所の復興に向けた取り組みが重要項目となり、デブリ取出し・回収に向けた課題解決に際し、考慮すべき核燃料物質等 (TRU 等) や配慮すべき安全対策が類似している HASWS の湿式セルを活用することとし、2013年度より HWTF 計画を再開した。

HWTF 計画の再開の際、HWTF で処理した廃棄物は地層処分場等の処分場に搬出し処分することとしており、廃棄物が処分条件を満足しなかった場合、再び廃棄体化処理を行うこととなり、結果的にコストが増大することとなるため、HWTF の処理プロセスの検討及び設備設計は、地層処分及び余裕深度処分事業等と平仄を合わせ処分場の処分条件を反映した上で実施することとした。

しかし、HWTF は、処分場の操業開始時期等を考慮すると建設時期が 2040 年前後となることから、早期に HASWS の課題を解決するため、HWTF 計画を HASWS プロジェクトフェーズ I と HASWS プロジェクトフェーズ II に分け、フェーズ I では、HASWS からの全ての廃棄物の取出し (装置製作、取出し建家の建設含む)、取り出した廃棄物・廃棄体 (HWTF-2 で処理した廃棄体) の貯蔵設備及び廃棄物の減容に向けた分析廃棄物の前処理 (分別・細断) 設備を有した HWTF-1 の建設、廃棄物取出し後の HASWS の除染及び密閉管理 (モスボール化) までを、フェーズ II では HWTF 本体施設 (HWTF-2) の建設及び廃棄体化処理を、廃棄体化に係る課題解決の状況を勘案しながら進めることとした。HASWS プロジェクトの範囲を図 A2-3 に示す。

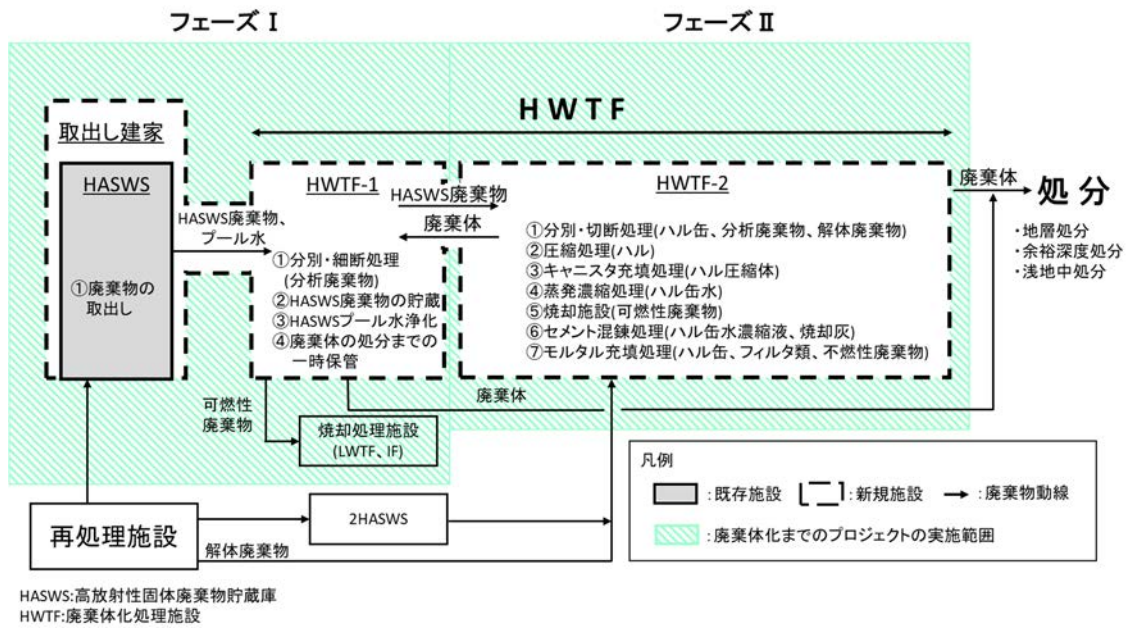


図 A2-3 HASWS プロジェクトのスケープ

(1) フェーズ I の範囲

HWTF-1 では、分析廃棄物用容器の前処理設備、廃棄物の貯蔵設備、HASWS プール水の浄化設備、廃棄体化までの一時保管設備を設ける。

分析廃棄物用容器を対象とした前処理設備は、分析廃棄物用容器を開梱し、内容物の分別、容器の細断を行うことにより、廃棄物の減容が図られ、HWTF-1 の貯蔵スペースが縮小できることから、HWTF-1 に設置する。

また、HWTF-1 の廃棄物貯蔵設備は、施設の有効利用の観点から、HWTF-2 で作製した廃棄体の保管スペースとして利活用できるよう考慮した設計とする。

なお、ハル缶に関しては、ハル・エンドピース、水、不燃性廃棄物、可燃性廃棄物が混在した状態で収納されており、内容物を処理するために開梱した場合、HWTF 全体と同様の各種処理設備が必要となることから、開梱設備は設置しない。解体廃棄物も、対象廃棄物の物量等を具体化できていない状況であり、処理能力等を想定できないことから、解体廃棄物に係る設備は設置しない。

取出し設備に係る検討において、2013 年度に既存設備を活用した取出し方法として、テレスコピックに多関節アームを取付けた装置（アーム型装置）1 台にて廃棄物を取り出すことを検討した。図 A2-4 に 1 台のアーム型装置による取出し方法の概念を示す。アーム型装置による取出し方法の検討を進める中で、2014 年度に 1 台のアーム型装置による取出し方法では、廃棄物に付属するワイヤの切断や廃棄物の移動、回収吊具の取付け等の各作業に合わせアームの先端部を付け替える必要があり、取出し効率等に課題があることを確認した。そのため、廃棄物に付属するワイヤの切断やハル缶への吊具の取付け等の軽作業を行うアーム型装置と廃棄物移動の重作業を行うアーム型装置の 2 台のアーム型装置による取出し方法を検討することとした。図 A2-5 に 2 台のアーム型装置による取出し方法の概念を示す。

その後、2018年度までに2台のアーム型装置の設計を行い、基本的な仕様・構造を選定したものの、耐久性や保守性等に課題があることを確認したため、水中ROVと水中リフタによる取出し方法を軸に検討を進めている。

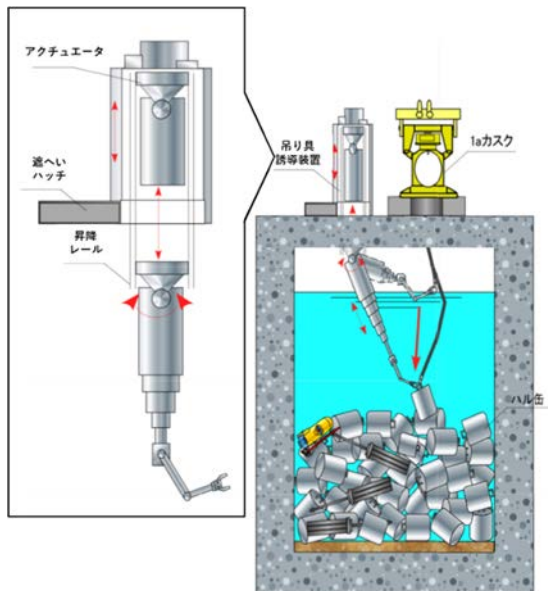


図 A2-4 1台のアーム型装置による取出し方法の概念

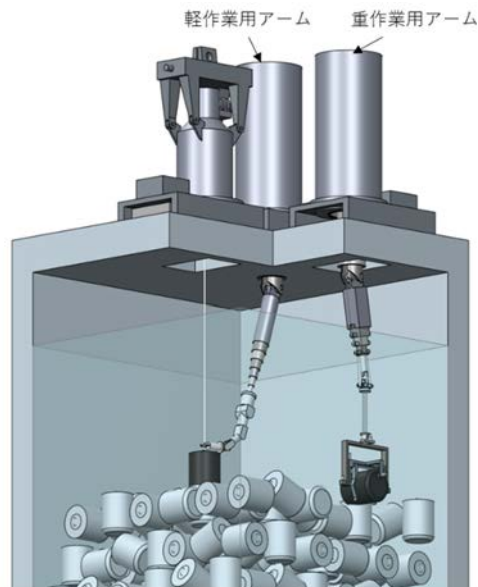


図 A2-5 2台のアーム型装置による取出し方法の概念

(2) フェーズ II の範囲

HWTF-2では、HWTF-1で設置しなかった設備を設置する。HWTF-2の設計・建設は、処分場の処分条件を満足する廃棄体処理設備となるよう、高放射性固体廃棄物（ハル・エンドピース、雑固体廃棄物等）の地層処分及び余裕深度処分事業等と平仄を合わせて進める。

HASWSプロジェクトの概略フローを図 A2-6 に示す。

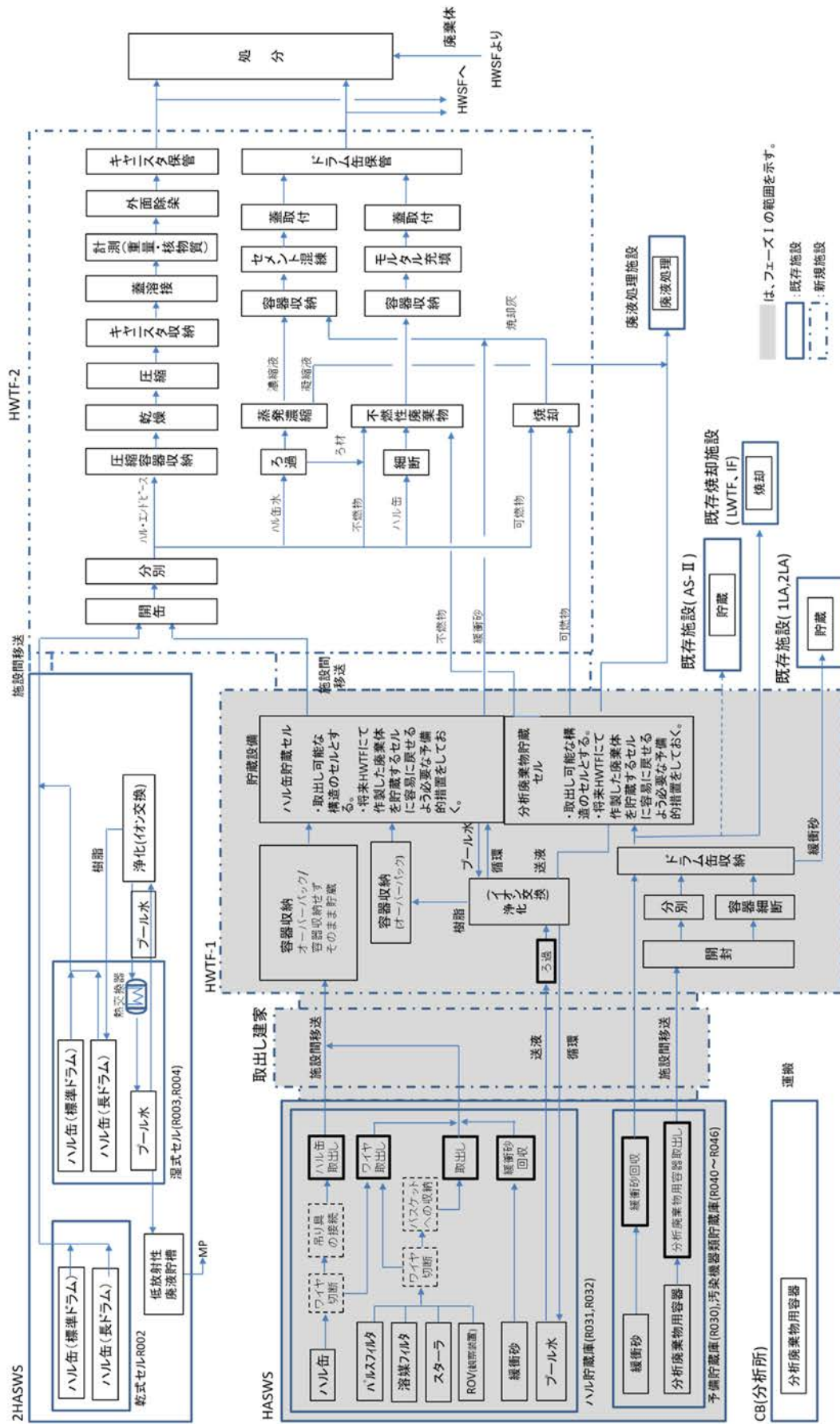


図 A2-6 HASWS プロジェクトの概略フロー

付録-3 水中 ROV による作業の所要時間

廃棄物を回収する一連の作業の所要時間を把握するため、総合試験にて、ワイヤの切断、水中リフタの取付け、廃棄物の移動、回収吊具の取付けの所要時間を計測した。

総合試験では、回収対象の廃棄物を、水中リフタ（吊具式）を用いて移動する横向き・斜め上向きのハル缶各 1 缶、水中リフタ（グラブ式）を用いて移動する横向き・斜め下向き・反転のハル缶各 1 缶、フィルタ類（溶媒フィルタ）1 基、汚染機器類（PC-1 ポンプ）1 基の 7 パターンとし、それぞれの廃棄物について、懸濁なしで明所の環境下、懸濁ありで暗所の環境下で回収作業を行った（計 14 パターン）。ワイヤの切断から回収吊具の取付けまでの一連の作業は概ね約 2 時間（ワイヤの切断：約 15 分、水中リフタの取付け：吊具式が約 30 分でグラブ式が約 60 分、廃棄物の移動：約 20 分、回収吊具の取付け：約 25 分）で実施できることを確認した。総合試験の所要時間を表 A3-1 に示す。

表 A3-1 総合試験の所要時間

パターンNo.	対象の廃棄物	周囲の環境	所要時間(分)				
			ワイヤの切断	水中リフタの取付け	廃棄物の移動	回収吊具の取付け	一連の作業
1	横向きのハル缶	懸濁なしで明所	13	35(吊具式使用)	35	18(回収吊具使用)	101
2	斜め上向きのハル缶	懸濁なしで明所	10	23(吊具式使用)	24	15(回収吊具使用)	72
3	横向きのハル缶	懸濁なしで明所	8	59(グラブ式使用)	20	28(回収吊具使用)	115
4	斜め下向きのハル缶	懸濁なしで明所	27	45(グラブ式使用)	18	19(回収吊具使用)	109
5	反転したハル缶	懸濁なしで明所	14	39(グラブ式使用)	12	17(回収吊具使用)	82
6	溶媒フィルタ	懸濁なしで明所	—	57(グラブ式使用)	15	36(バスケット使用)	108
7	PC-1ポンプ	懸濁なしで明所	—	64(グラブ式使用)	17	32(バスケット使用)	113
8	横向きのハル缶	懸濁ありで暗所	7	28(吊具式使用)	26	15(回収吊具使用)	76
9	斜め上向きのハル缶	懸濁ありで暗所	14	32(吊具式使用)	30	23(回収吊具使用)	99
10	横向きのハル缶	懸濁ありで暗所	10	62(グラブ式使用)	18	29(回収吊具使用)	119
11	斜め下向きのハル缶	懸濁ありで暗所	18	51(グラブ式使用)	22	23(回収吊具使用)	114
12	反転したハル缶	懸濁ありで暗所	24	40(グラブ式使用)	17	25(回収吊具使用)	106
13	溶媒フィルタ	懸濁ありで暗所	—	62(グラブ式使用)	13	28(バスケット使用)	103
14	PC-1ポンプ	懸濁ありで暗所	—	71(グラブ式使用)	18	35(バスケット使用)	124





