

# デコミッショニング技報

Journal of **RANDEC**

No. **51**  
2015

## 巻頭言

日本の核燃料サイクルフロントエンドの歴史と技術の継承

## 技術報告

「ふげん」の廃止措置の現状

福島第一原子力発電所の廃炉に向けてのアトックスの取り組み

東芝の福島第一原子力発電所の環境改善活動と技術開発

# RANDEC

**RANDECは、原子力バックエンドの確立に向けた技術の調査・研究及び普及・啓蒙活動等の下記の公益目的事業を行っています。**

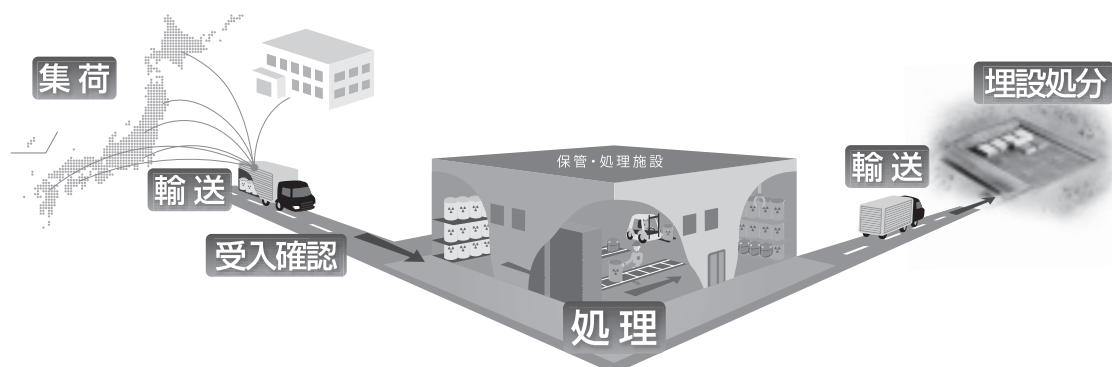
国内の研究施設等廃棄物の集荷・保管処理事業の確立

デコミッショニング及び放射性廃棄物処理処分に係わる調査・研究

福島県及び関東一円の環境回復に関する技術開発

原子力バックエンドに係わる研究成果の普及

これらの事業を通し、わが国の科学技術及びエネルギー事業の振興に寄与しています。



# デコミッショニング技報

第51号 (2015年4月)

## 目次

### 巻頭言

日本の核燃料サイクルフロントエンドの歴史と技術の継承 .....	1
	米川 茂

### 技術報告

「ふげん」の廃止措置の現状 .....	2
	北村高一、忽那秀樹、松嵜 聡、香田有哉、岩井紘基
福島第一原子力発電所の廃炉に向けてのアトックスの取り組み .....	11
	河野秀紀、浦 広幸、鈴木康之、佐藤伸弥、中村賢司 中村直哉、毛利文昭、平井計仁、小林峰人、松隈 勇
東芝の福島第一原子力発電所の環境改善活動と技術開発 .....	24
	酒井仁志、金田雅之、藤畑健二、佐藤光吉、林 弘忠 篠田敏彦、齊藤真拡、高倉恵太、大柿信人、佐藤勝彦 矢板由美、相川徹郎、畠山 誠、加藤貴来、寺井藤雄

# Journal of RANDEC

No. 51 Apr. 2015

## CONTENTS

### Technical Report

Decommissioning activities in FUGEN .....	2
Koichi KITAMURA, Hideki KUTSUNA, Akira MATSUSHIMA, Yuya KODA, Hiroki IWAI	
Activities of ATOX for the decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station .....	11
Hidenori KAWANO, Hiroyuki URA, Yasuyuki SUZUKI, Shinya SATO, Kenji NAKAMURA, Naoya NAKAMURA, Fumiaki MOHRI, Keiji HIRAI, Minehito KOBAYASHI, Isamu MATSUGUMA	
Environmental improvement activities and technical development in TOSHIBA for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station .....	24
Hitoshi SAKAI, Masayuki KANEDA, Kenji FUJIHATA, Mitsuyoshi SATO, Hirotada HAYASHI, Toshihiko SHINODA, Masahiro SAITO, Keita TAKAKURA, Nobuhito OGAKI, Katsuhiko SATO, Yumi YAITA, Tetsuro AIKAWA, Makoto HATAKEYAMA, Takaki KATO, Fujio TERAJ	

**Decommissioning activities in FUGEN**

Koichi KITAMURA, Hideki KUTSUNA,  
Akira MATSUSHIMA, Yuya KODA, Hiroki IWAI  
J. RANDEC, No. 51 (Apr. 2015), page2 ~ 10, 9  
Figures, 2 Tables

FUGEN Decommissioning Engineering Center (hereinafter called as “FUGEN”), JAEA obtained the approval of the decommissioning program for the prototype Advanced Thermal Reactor on February, 2008. FUGEN has been carrying out decommissioning works based on its decommissioning program since then. In the initial stage, the dismantling works were launched in turbine system whose contamination was relatively low level and their various data have been accumulating. And the draining heavy water, tritium decontamination and transferring of heavy water were carried out safely and reasonably. The preparation for introducing the clearance system, and the research and development works for the reactor core dismantling have been progressed steadily as well. Meanwhile, FUGEN has affiliations with local industries and universities for collaboration research, and has exchanged the decommissioning information with domestic and overseas organizations continuously.

**Activities of ATOX for the decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station**

Hidenori KAWANO, Hiroyuki URA,  
Yasuyuki SUZUKI, Shinya SATO,  
Kenji NAKAMURA, Naoya NAKAMURA,  
Fumiaki MOHRI, Keiji HIRAI,  
Minehito KOBAYASHI, Isamu MATSUGUMA  
J. RANDEC, No. 51 (Apr. 2015), page11 ~ 23, 27  
Figures, 3 Tables

Various measures and challenges are taken according to the Mid-and-Long-Term Roadmap toward the

decommissioning to TEPCO’s Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. As a matter of special importance, technologies of dose reduction and measurement/investigation under high dose and high contamination are required. In this report, analysis method for dose reduction planning, remote technologies for measurement and decontamination developed by ATOX are introduced.

**Environmental improvement activities and technical development in TOSHIBA for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station**

Hitoshi SAKAI, Masayuki KANEDA,  
Kenji FUJIHATA, Mitsuyoshi SATO,  
Hirotada HAYASHI, Toshihiko SHINODA,  
Masahiro SAITO, Keita TAKAKURA,  
Nobuhito OGAKI, Katsuhiko SATO,  
Yumi YAITA, Tetsuro AIKAWA,  
Makoto HATAKEYAMA, Takaki KATO,  
Fujio TERAI

J. RANDEC, No. 51 (Apr. 2015), page24 ~ 32, 24  
Figures

TOSHIBA CORPORATION has been continued environmental improvement activities during about 4 years, after the accident, through the decontamination work and national project “Development of remote decontamination technology for reactor buildings (of TEPCO’s Fukushima Daiichi Nuclear Power Station).”

This report describes the remote decontamination vehicle which is developed by the national project, the remote decontamination vehicle which is used actual plant and support technologies for decontamination works. In addition, it is shown about the contamination conditions of the reactor buildings which is gradually appeared by these activities.



## 日本の核燃料サイクルフロントエンドの歴史と技術の継承



日本原燃株式会社 取締役 常務執行役員 濃縮事業部長  
米川 茂

日本の核燃料サイクルフロントエンドは、1955年（昭和30年）11月12日の夕刻に、岡山県と鳥取県の県境に位置する人形峠でガイガーカウンターが鳴り、ウラン鉱床の露頭が発見されたことで始まった。その後、原子燃料公社 人形峠鉱業所（現・日本原子力研究開発機構 人形峠環境技術センター）では、ウランの採掘および製錬法の開発が行われ、約86,000 tの鉱石を処理し約84 t（人形峠以外での採掘分を含む）のウランを生産したが、埋蔵量が多くないことが分かり採掘は終了した。

フロントエンドの次の工程は、原子炉で必要とされる濃度までウランを濃縮することである。日本で遠心分離法の研究が始まったのは、1959年に理化学研究所で1号機的设计・試作を開始した時期からである。その後、10年余り基礎研究が行われ、1969年に遠心分離法および他の同位体分離法であるガス拡散法でのウラン濃縮試験に成功した。この結果を受け、原子力委員会で技術評価が実施され、1972年ナショナルプロジェクトとして遠心分離法を指定した。

動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所（現・日本原子力研究開発機構）では遠心分離機の開発が実施され、数年毎に性能が向上した新機種が開発された。また、1979年からは、動力炉・核燃料開発事業団 人形峠事業所（現・日本原子力研究開発機構）で、遠心分離機を多数台連結して数回の濃縮作業を行い、原子炉に使用するウラン濃縮度を得るためのカスケードと呼ばれるシステム試験を開始した。

これらの成果を受けて、1985年に日本原燃産業株式会社（現・日本原燃株式会社）が設立され、1992年から2010年まで第5世代の遠心分離機を用いて運転を行い、約1300 tUの製品ウランを生産した。2000年には、ウラン濃縮技術開発部門も日本原子力研究開発機構から日本原燃株式会社に移転され、2012年から第8世代の新型遠心分離機による生産運転を開始しており、今後、順次遠心分離機の更新を行っていく計画となっている。

ウラン濃縮技術開発の特徴として、1960年ごろから、海外からの情報が全く入らなくなり、国産の自主技術開発として実施せざるを得なかったことである。1972年に遠心分離法がナショナルプロジェクトに指定された時から約40年が経っているが、この間の経緯はまさに自主技術開発の歴史そのものである。遠心分離機の開発過程を振り返ると、人の遺伝子が古代の生物からの遺伝子をほとんど持っている上に成り立っているように、これまで実践して来た先輩たちの膨大な技術改良の積み重ねの上に遠心分離機が設計されていることを実感させられる。

ウラン濃縮事業で言う技術力とは、遠心分離機の自主技術開発力、量産製造技術力および運転制御技術力が上げられる。三つの技術力の継承には、継続していくことが必要不可欠の条件である。さらに、60年前に国内のウラン鉱床を必死になって探した方々が持っていた情熱と、言うまでもなく福島事故の教訓を踏まえた上でのことではあるが、日本のエネルギーセキュリティを確保するという気概を持って取り組むことが、いまこそ必要と思う。

## 「ふげん」の廃止措置の現状

北村 高一\*、忽那 秀樹\*、松嵜 聡\*、香田 有哉\*、岩井 紘基\*

### *Decommissioning activities in FUGEN*

Koichi KITAMURA\*, Hideki KUTSUNA\*, Akira MATSUSHIMA\*,  
Yuya KODA\*, Hiroki IWAI\*

日本原子力研究開発機構 原子炉廃止措置研究開発センターでは、平成20年2月に新型転換炉原型炉施設（重水減速沸騰水冷却圧力管型炉：以下「ふげん」という）の廃止措置計画の認可を受け、それ以来、廃止措置作業に精力的に取り組んできている。放射能レベルが比較的低い施設の解体として、タービン設備の解体撤去工事を進め、様々なデータを蓄積してきているほか、重水抜き出し及びトリチウム除去並びに重水の搬出等を安全かつ合理的に実施してきている。また、クリアランス制度の運用準備や原子炉本体の解体工法等の研究開発も同時に進めている。廃止措置を実施しながら、地元産業界や地元大学との共同研究等の連携に努めているほか、国内外の関係機関とも情報交換を継続的に実施している。

FUGEN Decommissioning Engineering Center (hereinafter called as “FUGEN”), JAEA obtained the approval of the decommissioning program for the prototype Advanced Thermal Reactor on February, 2008. FUGEN has been carrying out decommissioning works based on its decommissioning program since then. In the initial stage, the dismantling works were launched in turbine system whose contamination was relatively low level and their various data have been accumulating. And the draining heavy water, tritium decontamination and transferring of heavy water were carried out safely and reasonably. The preparation for introducing the clearance system, and the research and development works for the reactor core dismantling have been progressed steadily as well. Meanwhile, FUGEN has affiliations with local industries and universities for collaboration research, and has exchanged the decommissioning information with domestic and overseas organizations continuously.

#### 1. はじめに

「ふげん」は、熱出力557 MW、電気出力165 MWの重水減速沸騰軽水冷却圧力管型炉で、昭和54年3月に運転を開始し、平成15年3月に運転を終了した。この間の設備利用率は約62%であり、昭和63年6月には「ふげん」の使用済燃料より回収し

たPuを燃料の一部として運転を行い、核燃料サイクルの輪を完結させている。運転終了後、廃止措置の準備として、炉心燃料（全224体）の取り出し、系統化学除染の実施、原子炉冷却材の抜き出し、制御棒（全49体）の取り出し等を行った。その後、原子炉等規制法の改正を受けて平成18年11月7日に廃止措置計画認可申請を行い、国の審査

\*：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 原子炉廃止措置研究開発センター (FUGEN Decommissioning Engineering Center, JAEA)



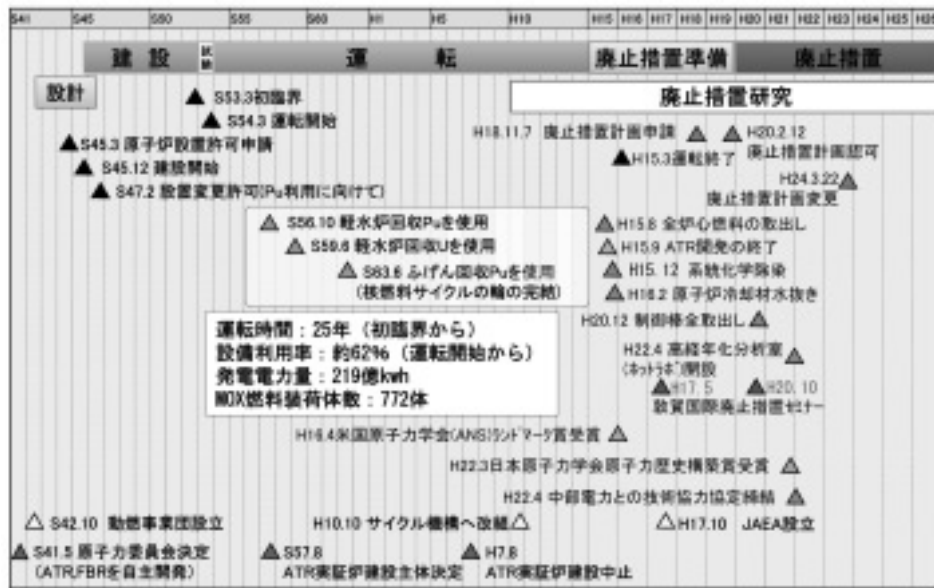


Fig. 1 History of FUGEN

を経て平成20年2月12日に認可された。これを受けて、事務所名を原子炉廃止措置研究開発センターに変更し、新しい組織体制で廃止措置業務を実施してきている。

「ふげん」のこれまでの歩みをFig. 1に示す。

現在、施設内には使用済燃料466体を貯蔵していることから、使用済燃料の安全な貯蔵に係る設備機能（プール水冷却・浄化系等）の維持管理を行いながら、トリチウムの除去等の汚染除去工事やタービン設備の解体撤去工事、将来に向けた原子炉本体の解体工法の開発・研究を精力的に進めている。

## 2. 「ふげん」の廃止措置計画<sup>1),2),3),4)</sup>

「ふげん」の廃止措置は、①安全の確保、②既存

技術の徹底利用による合理的な廃止措置、③発生廃棄物の低減など環境への負荷軽減、④情報公開の推進、⑤地域社会の理解と支援が得られる事業の推進を基本方針としている。

廃止措置の基本スケジュールは、Fig. 2に示すとおり、使用済燃料搬出期間、原子炉周辺設備解体撤去期間、原子炉本体解体撤去期間、建屋解体期間の4工程に区分し、建屋解体完了は平成45年度としている。

「ふげん」は、減速材に重水を使用していること及び炉心構造が複雑であることが特徴であり、固有技術の開発・研究を進めつつ、既存技術の改良・高度化を図りながら廃止措置を進めている。廃止措置を進めるための主要技術をFig. 3に示す。

また、施設の残存放射エネルギーは、「ふげん」の特徴を踏まえて運転期間から幅広い調査を実施し<sup>5)</sup>、

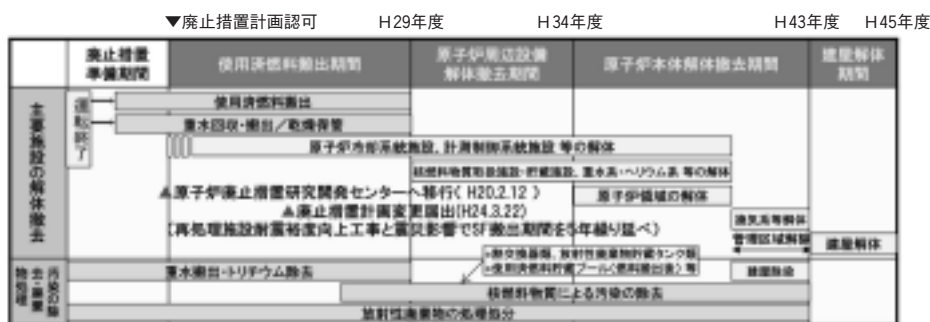


Fig. 2 Basic schedule of decommissioning in FUGEN

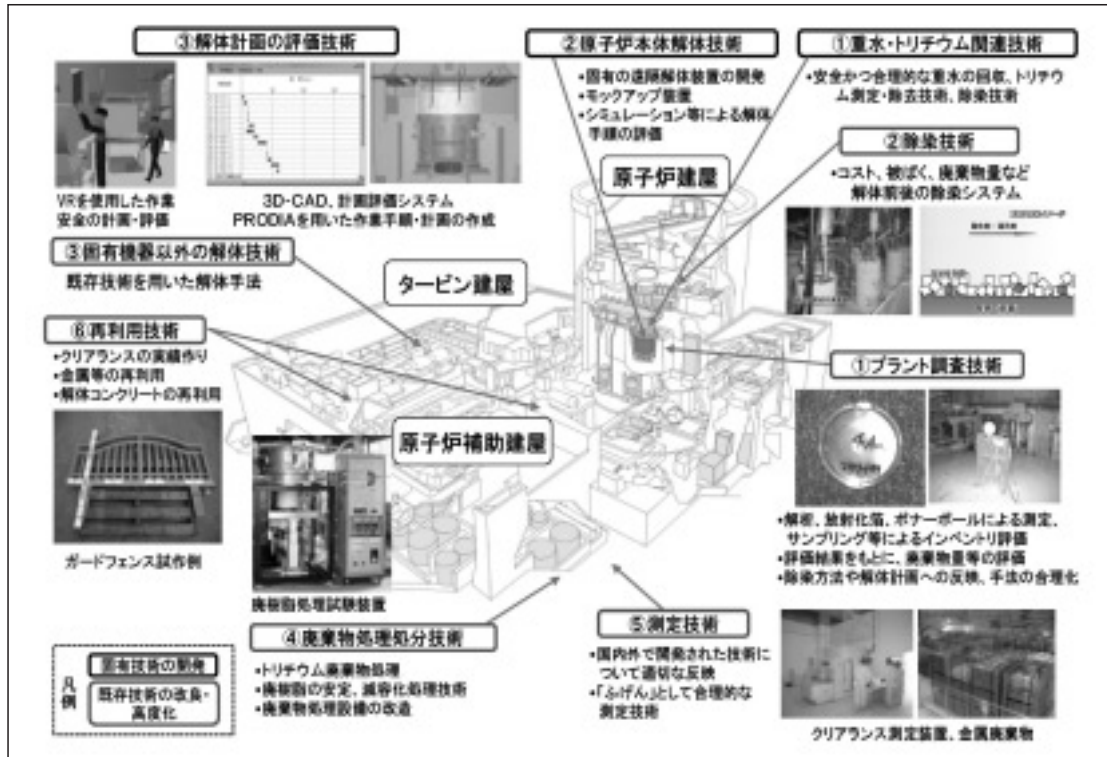


Fig. 3 Major technologies for decommissioning in FUGEN

廃止措置の実施に伴い発生する廃棄物量や解体作業に伴う被ばく線量を評価している。廃棄物量の総量約36万tのうち約5万tを放射性廃棄物と試算

しており (Table 1)、後述するようにクリアランス制度を運用することによって、放射性廃棄物を最終的に約1万tとする計画である。

Table 1 Amount of waste arising decommissioning in FUGEN

放射能レベル区分		汚染分布 図の凡例	発生量 (単位:t)
低レベル放 射性廃棄物	放射能レベルの比較的 高いもの(レベル1)		約500
	放射能レベルの比較的 低いもの(レベル2)		約4,400
	放射能レベルの極めて 低いもの(レベル3)		約45,500
放射性物質として扱う必要のないもの			約600
合計			約50,800
放射性廃棄物でない廃棄物 (管理区域外からの発生分を含む)			約141,000
(*) 汚染のない地下の建屋、構造物、事務所、倉庫等			約170,000
総計			約361,800

(\*) 廃止措置計画書記載対象外

- 推定発生量は、十 t 単位で切り上げ、合計値については、百 t 単位で切り上げた値である。(端数処理のため合計値が一致しないことがある)
- 放射能レベル区分毎の物量は、除染を考慮していないレベル区分で集計したものである。(今後の除染等により各レベルの数量は変わりうる)

### 3. 廃止措置の進捗

「ふげん」は、現在使用済燃料搬出期間にあり、トリチウム汚染の除去工事や汚染レベルの低いタービン設備から解体撤去工事に着手し、廃止措置作業の知見・経験を蓄積するとともに、クリアランス制度運用への準備を精力的に進めている。

#### (1) 汚染の除去工事の状況

「ふげん」は、減速材に重水を使用していることから、原子炉運転中に放射化され重水中にトリチウムが生成されている。そのため、汚染の除去工

事として、解体撤去前の重水抜き出し及びトリチウム除去の作業を行う必要がある。

通常のドレンラインの操作により系統から重水を抜き出した後、弁底部分や配管等の溜まり部分の残留重水を穿孔や開放により回収する。

その後、当該部分を隔離し、専用のトリチウム除去装置を用いて、トリチウムを除去する手順としている。トリチウム除去の方法としては通気乾燥及び真空乾燥があり (Fig. 4)、対象設備の状況に応じて使い分けており、トリチウム除去を行いながら最適な条件を調査し、改善を図っている<sup>3),4),6)</sup>。

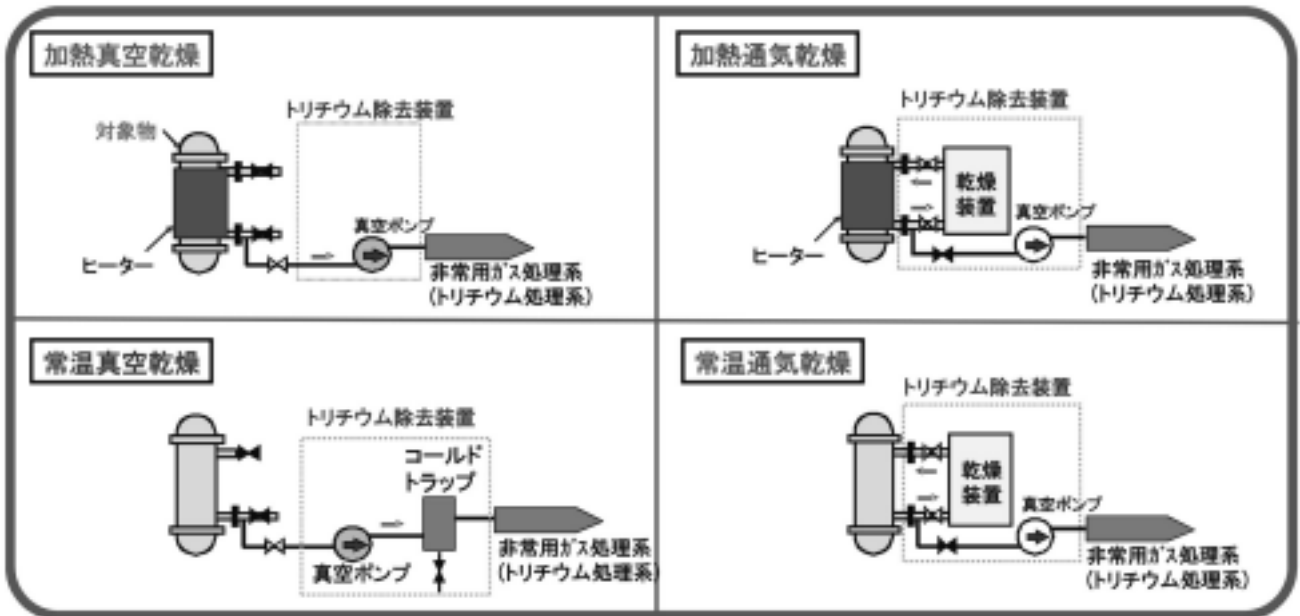


Fig. 4 Tritium removal technology

これらの作業は、重水・ヘリウム系の各系統・設備毎に行われ、トリチウム除去後の系統を開放した状態で、周辺の作業エリア内のトリチウム濃度が防護具着用基準以下となり、専用防護具の着用を必要としない作業環境を順次達成してきている。

既に、約270 tの重水を回収し、施設外への搬出作業を平成26年に完了した。

#### (2) 解体撤去工事の状況

使用済燃料搬出期間においては、施設内に使用済燃料を貯蔵していることから、それらに係る

る施設の機能に影響を与えない範囲で、放射能レベルの比較的低い施設・設備の解体撤去工事を行うこととし、タービン設備の解体撤去工事を実施してきている。

解体に当たっては、既存の切断工法の適用性評価に係るデータや、作業項目毎の人工数、被ばく線量、廃棄物発生量等の作業管理に係る解体実績データを収集・蓄積して、これらの管理データを予測評価できるシステムの検証、高度化に活用し、今後実施する原子炉周辺設備、原子炉本体の解体作業計画立案等への反映を図っている<sup>7)</sup>。解体データの収集・蓄積についてFig. 5に示す。

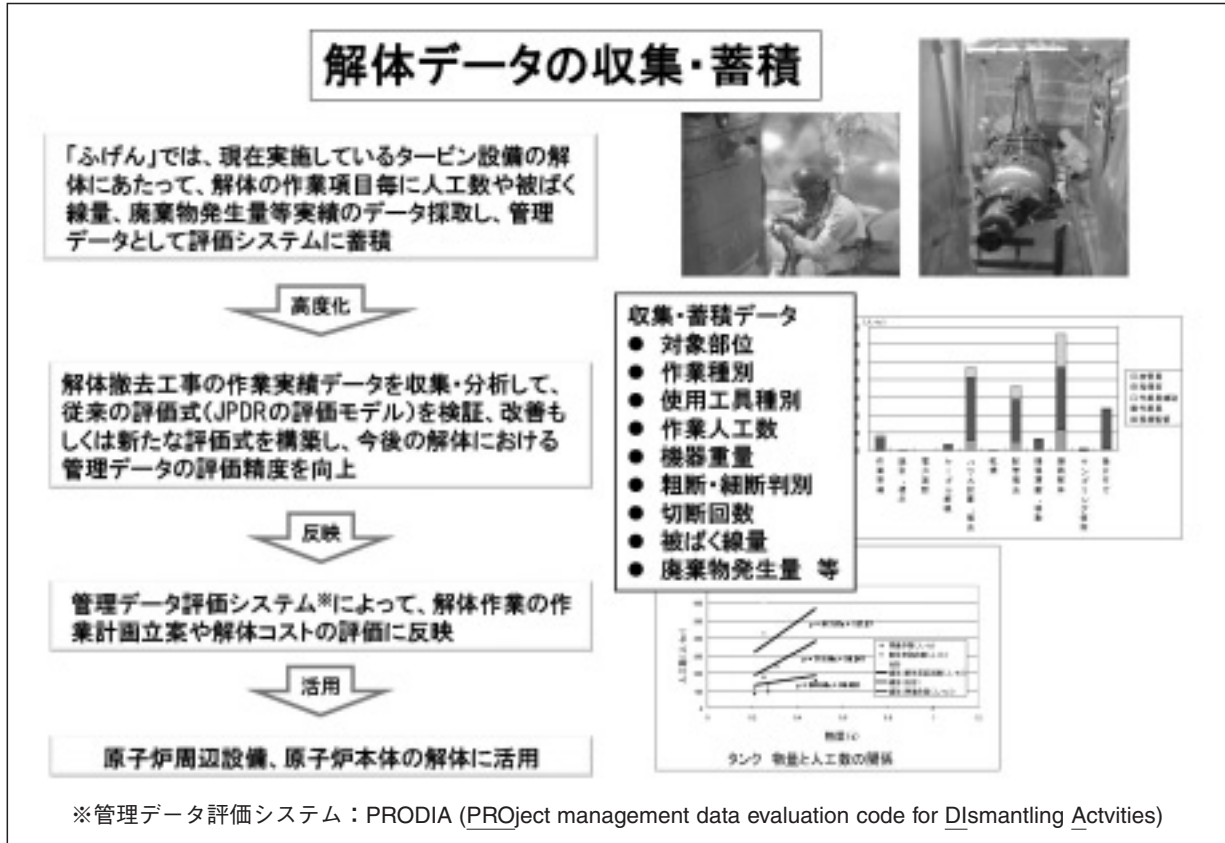


Fig. 5 Accumulating and utilization of dismantling data

また、内包する放射性物質の漏洩防止を確実に  
 行うための作業手順や、供用中設備を解体できる  
 設備に安全に移行するための手続きを確立すると  
 ともに、先行炉の情報を採り入れつつ、安全かつ  
 合理的な解体作業方法の確立に努めている。

これまでの作業で発生した解体撤去物量は、金

属、コンクリート、保温材を合わせて約980 tであ  
 り、これらは主建屋内にフェンス等で区画を設け  
 適切に保管管理している。解体撤去工事の実績及  
 び進捗をそれぞれTable 2、Fig. 6に、解体撤去工  
 事の一例をFig. 7に示す。

Table 2 Actual data of dismantled components 単位 ( t )

年度	主な解体設備	金属	コンクリート	保温材	合計
H20	・第3、4給水加熱器 ・主蒸気管	222	18	19	259
H21	・第5給水加熱器	37	6	2	45
H22	・復水器-周辺機器	156	5	8	169
H23	・復水器-周辺機器	175	1	2	178
H24	・復水器-周辺機器 ・タービン補機冷却水機器	96	8	1	105
H25	・復水器-周辺機器	134	0	0	134
H26	・復水器-周辺機器	55	35	0	89
合計*	—	676	73	33	982

※データは平成27年2月末現在

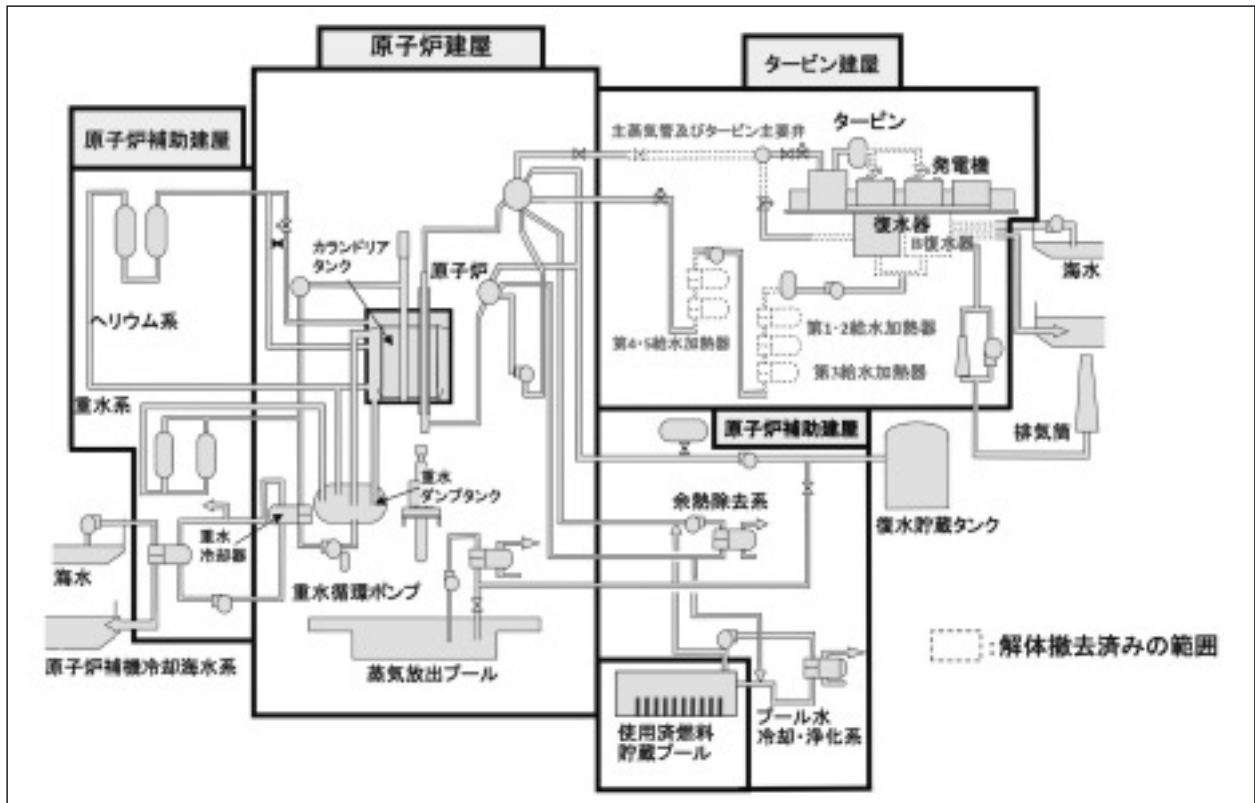


Fig. 6 Progress of dismantling work in turbine facility



Fig. 7 Examples of dismantling performance in condenser

(3) クリアランス制度の運用準備状況

「ふげん」から発生する解体撤去物等のうち放射能レベルの極めて低いもの（レベル3）となる約4万tの金属とコンクリートについては、クリアランス制度の運用により再利用もしくは産業廃棄物として処分する計画である。

これまでに、放射能濃度評価方法の検討のため

の汚染状況調査やクリアランスモニタの導入・整備を行ったほか、除染のためにウェットブラスト除染装置を導入して除染効果や処理量の確認を行う<sup>8)</sup>等、クリアランス制度運用への準備を進めており<sup>9)</sup>、平成27年2月にクリアランス認可申請を行った（Fig. 8）。



Fig. 8 Preparation for clearance system

4. 技術開発

「ふげん」の廃止措置に係る主な技術開発のうち、原子炉本体解体に関して解体工法選定のための調査・検討を行ってきた。

原子炉本体の解体は水中で行う計画であることから、水中切断工法として機械的及び熱的な切断工法について試験・検討を実施し知見を蓄積している。これまでにアブレイブウォータージェット切断技術<sup>10)</sup>やプラズマアーク切断技術の適用性を評価する試験調査を実施してきたが、近年は

レーザ切断についても、その切断幅の狭さや切断速度の速さ等の性能に着目して最適パラメータを取得する等の研究開発を進めている<sup>11)</sup>。

今後の試験計画としては、引き続き最適パラメータの検証を行うほか、原子炉と同様な狭隘な場所で切断が可能となる小型切断ヘッドの開発や切断状況の確認を確実にするためのモニタリング技術や粉塵挙動の評価等の開発を行い、実証試験を経て原子炉領域の解体着手へと移行していく予定である（Fig. 9）。



Fig. 9 Study for reactor core dismantling

## 5. 外部との連携等

地域連携協力への取組みとしては、福井県の「エネルギー研究開発拠点化計画」の施策の一環として、県内企業との連携を更に強化し、県内企業の原子力産業への参入を支援していくことを目的として「技術課題解決促進事業」（原子力機構が抱える技術課題等を解決に結びつける事を目的に予め実用化への成立性を見極める事業）を展開しているほか、地元大学との共同研究や地元産業界を対象にした「廃止措置専門講座」への協力等を行っている。

また、「経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）：原子力施設の廃止措置に関する技術情報交換会議」への参加や英国原子力廃止措置機関（NDA）等との協定に基づく技術者派遣により海外機関との廃止措置に係る情報交換を継続的に行っているほか、文部科学省の原子力交流制度等における近隣アジア諸国からの研究者の受入れ・講師派遣等の国際協力も推進している。

## 6. まとめ

「ふげん」は、既存の技術の改良・高度化や固有技術の開発を行いながら着実に廃止措置を進め、汚染の除去や施設解体に係る経験・知見を蓄積してきている。また、廃棄物低減に努めるべくクリアランス制度の運用のための準備や、将来の原子炉本体解体を見据えた開発・研究を計画的に進めている。今後増加してくる軽水炉の廃止措置にこれらの経験・知見や成果を活用していただけるよう、「ふげん」の廃止措置業務を安全かつ合理的に遂行していく。

## 参考文献

- 1) Y. Morishita, “Basic Policy Decommissioning of Nuclear Power Plant and the Decommissioning of Fugen,” p211-217, ISAMPE2008論文集.
- 2) K. Sano, et al. “Decommissioning Program for ATR-FUGEN Nuclear Power Station,” P16P1218, 16PBNC, Aomori, Japan, 2008.

- 3) M. Tezuka, et al., “Decommissioning Program of FUGEN and Current Activities,” Paper9197, Global2009, Paris, France.
- 4) K. Kitamura, et al., “Technology Development for Decommissioning in Fugen and Current Status,” ICEM2009-16108, ICEM’09/DECOM’09, Liverpool, UK.
- 5) 北村、他、“「ふげん」廃止措置のための残存放射エネルギーの評価”, 放射線(特集—第19回放射線夏の学校)、Vol.34, No.1, 53～63, 2008.
- 6) A. Matsushima, et al., “Tritium removal test for Decommissioning of FUGEN,” TRITIUM2010, Nara, Japan.
- 7) 窪田、香田、他、“ふげん発電所の機器撤去に係る人工数評価式-3復水器等の撤去の解体工程”、JAEA-Technology 2014-022.
- 8) 浜田、他、“クリアランスのためのウェットブラスト除染性能確認試験”、デコミッショニング技報、第45号 (2012年3月).
- 9) H. Kutsuna and M Izumi, “The Preparation for the Clearance System and its Operational Issues in FUGEN,” WM2014 Conference, March 2-6, 2014, Phoenix, Arizona, USA.
- 10) 中村、他、“「ふげん」原子炉本体解体に向けたAWJ切断技術の適用試験”、デコミッショニング技報、第38号 (2008年11月).
- 11) H. Iwai, et al., “The Study on Application of Laser Technology for the Reactor Core Dismantling,” LANE’13, Yokohama, Japan.



## 福島第一原子力発電所の廃炉に向けてのアトックスの取り組み

河野 秀紀\*、浦 広幸\*、鈴木 康之\*、佐藤 伸弥\*、中村 賢司\*  
中村 直哉\*、毛利 文昭\*、平井 計仁\*、小林 峰人\*、松隈 勇\*

### *Activities of ATOX for the decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station*

Hidenori KAWANO, Hiroyuki URA, Yasuyuki SUZUKI, Shinya SATO, Kenji NAKAMURA  
Naoya NAKAMURA, Fumiaki MOHRI, Keiji HIRAI, Minehito KOBAYASHI, Isamu MATSUGUMA

東京電力福島第一原子力発電所では、国の定めた廃炉に向けてのロードマップに基づき、困難な環境条件のもと国内外の技術を結集して様々な作業が進められている。特に、高線量・高汚染の環境下における線量低減や種々の測定・調査が必要とされている。本報告では、アトックスが行った線量低減計画策定のための線量解析技術、遠隔技術による除染、調査技術について紹介する。

Various measures and challenges are taken according to the Mid-and-Long-Term Roadmap toward the decommissioning to TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. As a matter of special importance, technologies of dose reduction and measurement/investigation under high dose and high contamination are required. In this report, analysis method for dose reduction planning, remote technologies for measurement and decontamination developed by ATOX are introduced.

#### 1. はじめに

東京電力第一原子力発電所の廃炉作業は、停止前から周到に計画され進められる通常の原子力施設の廃止措置と比べて、廃炉の現場は爆発・損壊し、高汚染・高線量環境が多く、かつ緊急性を求められるなど条件は大きく異なる。そのため、廃炉を進めていくに当たって要求される技術は、従来の廃止措置で要求されるものとは大きく異なり、新たに開発を必要とする。

アトックスは福島第一原子力発電所の事故直後より、福島復興を最優先事項として、福島第一原子力発電所の廃炉に必要な技術を開発しつつ汚染

水処理装置の運転、除染、調査等の作業に取り組むとともに、国の廃炉に向けたロードマップにしたがって進められている事業にも取り組んできた。本報告では、廃炉を進めていくに当たって、特に、線量低減に係わる遠隔除染技術と遠隔調査技術に関してアトックスが開発した技術について紹介する。

#### 2. 原子炉建屋内の線量低減に向けた線量解析\*\*

福島第一原子力発電所の1号機、2号機及び3号機の燃料デブリ取り出しに向けて、格納容器破損箇所の調査や補修作業、爆発損傷階での使用済み燃料取り出しカバーの設置作業等を行う作業

\*：(株)アトックス 技術開発センター (Engineering Research & Development Center, ATOX Co., Ltd.)

\*\* 平成24年度経済産業省資源エネルギー庁発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金公募事業「総合的線量低減計画の策定」で得られた成果である。

員、並びにそれに先立つ除染等の線量低減作業を行う作業員の被ばく低減を目的として、除染、遮蔽、撤去等の様々な線量低減策を組み合わせた総合的線量低減計画の検討を行った。その検討プロセスをFig. 1に示す。

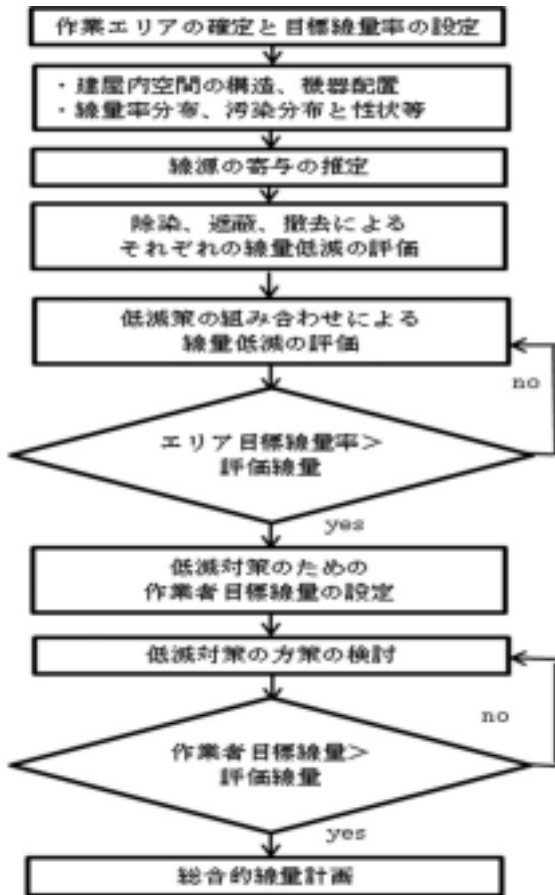


Fig. 1 Planning flow of integrated dose reduction for accidental nuclear reactor buildings

(1) 原子炉建屋内の汚染源評価の概要

本検討の第一ステップとして、原子炉建屋内で測定された線量率を基に床面、壁面、天井面等の汚染源による線量率測定箇所での線量寄与を解析した。対象箇所は、1号機、2号機及び3号機の原子炉建屋1階並びに2号機原子炉建屋5階のオペレーティング・フロア階（以下「オペフロ階」という）である。

(2) 1号機、2号機及び3号機原子炉建屋1階の床面線量寄与の評価

1階部分では、ロボットに搭載された線量計に

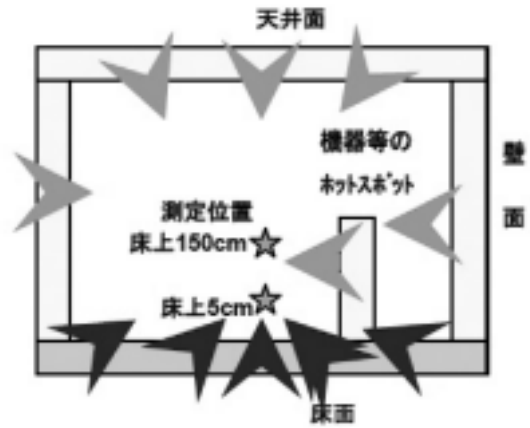


Fig. 2 Image of dose contribution from floor contamination and other place contamination

よって床上5cm及び150cmの線量率が測定された。この2点の高さにおける、床面及びその他の汚染源からの線量率比をパラメータとして与えることにより、床上150cmでの線量率をFig. 2に示すように床面とそれ以外の汚染源からの線量寄与として評価した。

さらに、ガンマカメラによる代表点での床面と壁・天井面での相対値で得られた汚染密度から推定した線量寄与、及びホットスポットからの線量寄与を評価することにより、2号機1階での床上150cm線量率における線量寄与を評価した。その結果をFig. 3に示す。床面の線量寄与は高々30%程度であり、その他の寄与、特に壁・天井面での汚染源及びホットスポット以外の寄与が大きいことが分かった。

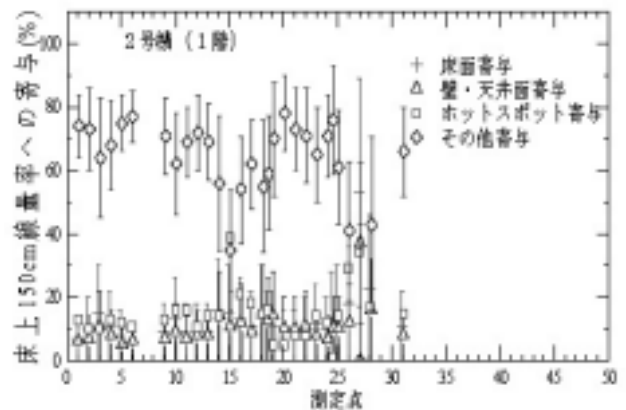


Fig. 3 Contribution fractions of various place contaminations in 1-st floor of Unit 2 reactor building

原子炉建屋内の汚染物質は、Fig. 4に示すように蒸気あるいは水素爆発によって建屋全体に拡散しているものと考えられ、限定的な汚染であるホットスポットを除けば、ほぼ一様に汚染していると考えられる。特に、ダクト、配管及びケーブルトレイの表面もしくは内部に内蔵しているものと推察された。平成26年度に実施された国のプロジェクト「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」では、1号機及び2号機の1階の高所部並びに機器表面での被ばく線量計による測定の結果、床上4 mから6 m付近で線量率が高いことが分かった。

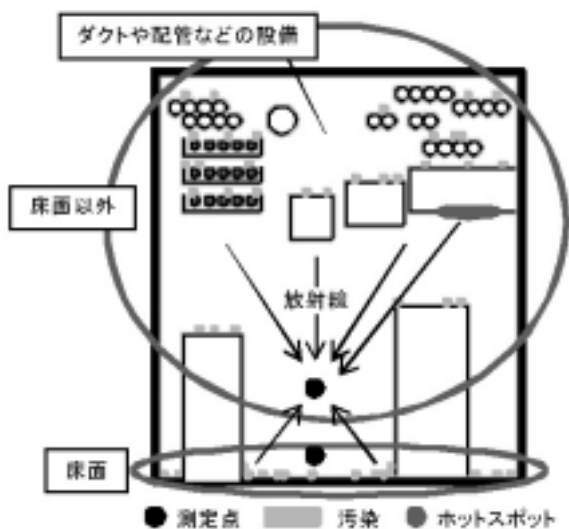


Fig. 4 Contribution image of contamination conditions in reactor buildings

### (3) 2号機原子炉建屋5階の線源分布の評価

5階部分では、ロボットに搭載された線量計で床上1 mの線量率のみが測定されている。オペフロ階の内部には、1階に比べて機器・構造物が少ない。このため、床面、壁面及び天井面を主な線源として、QAD-CGGP2Rを用いて線量率分布を解析した。床面の汚染の程度は実測値<sup>1)</sup>から推定し、床面の汚染密度はウェルプラグ上を含めて4領域で設定した。

解析結果はおおむね実測値と一致したが、原子炉建屋北側や燃料交換機周辺の計算値は実測値よりも小さい値となった。これらの箇所には、燃料交換機等の構造物に付着した汚染源が影響しているためと考えられる。

### (4) 線量低減計画の検討

線量低減は除染、遮蔽、線源撤去の技術を用いることとし、「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」で開発される遠隔除染装置や技術カタログに掲載された除染装置、撤去作業に必要な重機、遮蔽設備等の様々な線量低減策を検討した。この際、線量低減のための作業員の被ばくを低減するため遠隔操作を基本とした。作業エリアごとに効果的な線量低減策を組み合わせ、目標とする線量率を達成できる範囲、さらに、除染等の機器の開発により低減可能な範囲等を検討するとともに具体的な線量低減工事計画を検討した。

## 3. 小型遠隔除染装置“RACCOON”の開発

福島第一原子力発電所の原子炉建屋内は放射線量が非常に高いため、遠隔操作で床面を除染する小型除染装置を開発した。

### (1) 開発要件

本装置の開発にあたり、当社の放射能汚染環境下における作業知見や現場作業員の要望等を基に、以下の開発要件を抽出した。

- ・原子炉建屋1階全域（約50 m四方）の床面除染を行うため、操作エリアから除染作業エリアまで100 m以上の遠隔操作を可能とすること
- ・二次汚染を防ぐため、除染廃液を回収し、100 m以上の移送、排出ができること
- ・装置を小型かつ軽量とし、人手による搬入出を可能とすること
- ・現場の汚染状況に合わせた除染ができること
- ・装置内部への汚染蓄積をできるだけ少なくすること
- ・原子炉建屋内でホース・ケーブルを円滑に牽引できること

### (2) RACCOONの開発

上記の要件を踏まえて、小型遠隔除染装置“RACCOON”を開発した。RACCOONの外観をFig. 5に示す。本装置は、除染ユニット、中継ユニット及びホース・ケーブル牽引台車から構成され、100 m以上離れた場所からの遠隔操作が可能である。



Fig. 5 Remote control compact decontamination robot, "RACCOON"

高圧水により床面を除染し、廃液は同時に除染ユニット及び中継ユニットに取り付けたエジェクタによって回収、移送される。エジェクタは内部構造がシンプルで、汚染が蓄積しにくく、高圧水の供給のみで廃液の回収、移送を行うことができるため、故障のリスクが低い。

また、現場を想定し、装置の設置、解体、ホース・ケーブルの接続、遠隔操作、狭隘部の除染等のモックアップトレーニングを重ね、現場での円滑な運用を目指した。モックアップトレーニングの様子をFig. 6に示す。

RACCOONは、2013年11月に福島第一原子力発電所の2号機に導入され、原子炉建屋1階の除染を開始した。原発事故後、遠隔装置による建屋内

の除染は本装置が初めてである。

### (3) RACCOON IIの開発

RACCOONの除染作業における経験と現場運用のノウハウを反映させ、さらなる改良を加えたRACCOON IIを開発した。本装置はRACCOON同様、除染ユニット、中継ユニット及びホース・ケーブル牽引台車から構成される。RACCOON IIの外観をFig. 7に、除染作業時の水の移送系統をFig. 8に、主な仕様をTable 1にそれぞれ示す。

#### (a) 除染ユニット

除染ユニットは除染ヘッドと走行ユニットから構成される。除染ヘッドをFig. 9に示す。

除染ヘッドは、固着性汚染を除去する「ブラシ



ヘッド交換

ホース・ケーブル接続

Fig. 6 Mock-up training for RACCOON operation

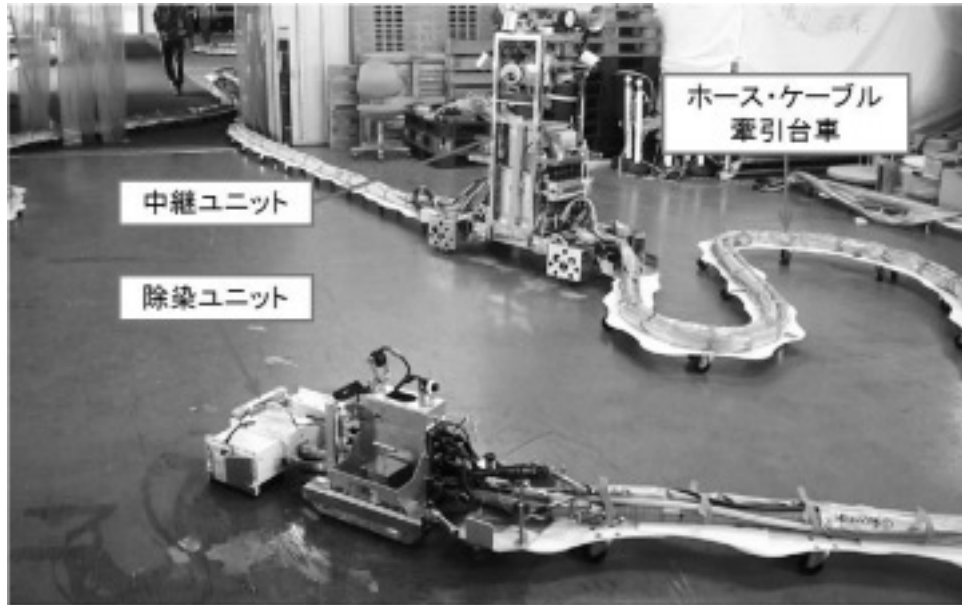


Fig. 7 Improved decontamination robot, “RACCOON II”

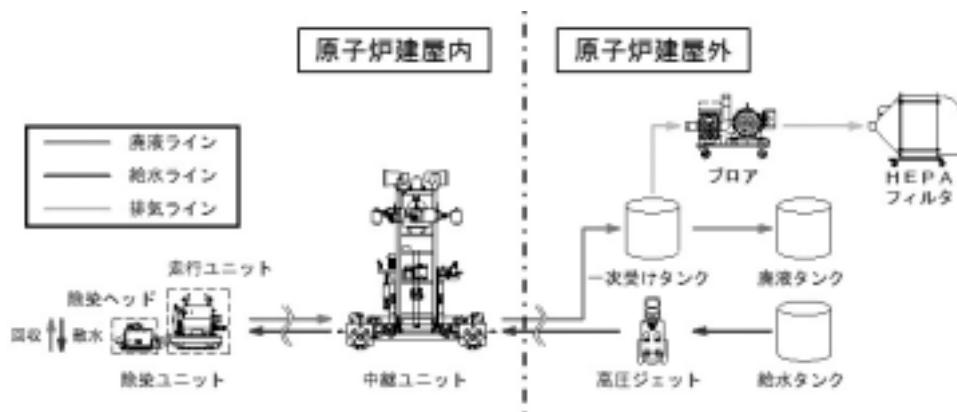


Fig. 8 Water transfer system in decontamination work (RACCOON II)

Table 1 Specifications of decontamination robot, RACCOON II

		項目	仕様
除染ユニット	外形寸法	走行ユニット	W462×L533×H438 mm
		ブラシヘッド装着時	W470×L859×H438 mm
		ジェットヘッド装着時	W462×L1,028×H438 mm
		散水・回収ヘッド装着時	W462×L814×H438 mm
		押しわけヘッド装着時	W462×L718×H438 mm
		質量	約57 kg
		散水流量	最大17 L/min
		走行速度	0～10 m/min
		カメラ	水中カメラ (LED照明付)
	中継ユニット		外形寸法
		質量	約160 kg
		カメラ	ネットワークカメラ
		走行速度	10 m/min
		照明	LED投光器 (前方・後方用)

ヘッド」、遊離性汚染を除去する「ジェットヘッド」、高さ5m以下の壁等を散水除染し、廃液を回収する「散水・回収ヘッド」、建屋内に散乱した瓦礫等を押しのける「押しのけヘッド」の4種類とし、床面等の放射性物質の汚染状況に応じてヘッドを使い分けられるよう、ヘッドはピンで固定されている。



Fig. 9 Replaceable head tools of RACCOON II

また、装置が小型であるため、低い位置にある配管の下や既設の盤の隙間等の狭隘部の除染も可能である。さらに、軽量であるため、故障や不測の事態が発生した際に人手で装置を容易に搬出できる。本装置はすべて防水性の機器で構成されているため、除染作業終了後に装置の洗浄や拭き取りによる除染が可能である。

本装置では、廃液の回収移送方式をエジェクタからブロアに変更した。ブロアを使用することで、水の使用量を抑えられる上、ブロアを建屋外に設置できるため監視が容易であり、各ユニットのさらなる省スペース化にも繋がった。

廃液と同時に回収した空気は、ブロア後方に設置したHEPAフィルタを通して排気し、外部への二次汚染の拡大防止を図った。

また、LAN回線を利用した遠隔操作を可能とし、操作者の被ばくの低減を図った。さらに、除染ヘッドに持ち上げ機構を追加し、段差の乗り越えを可能とした。

RACCOON IIは、2014年8月に福島第一原子力

発電所の3号機に導入され、原子炉建屋1階の除染を開始した。

(b) 中継ユニット

本ユニットの役割は除染作業のサポートである。ネットワークカメラでの周辺監視や、走行部のメカナムホイールの前後左右斜め方向への動きによるホース・ケーブルのコントロールと牽引補助を行う。

また、集音マイクとスピーカによって、緊急時に建屋内に入城した作業員と操作員との通話が可能である。

(c) ホース・ケーブル牽引台車

除染装置には動力ケーブルのほかに給水・排水用のホースを接続する必要があるが、それらを牽引しながら建屋内を走行しなければならないため、床面との摩擦や壁角部等への引掛りによって除染作業を困難にしていた。

そこで、側面に湾曲を持たせたプレートを連結した本台車にホース・ケーブルを積載し、原子炉建屋内の壁角部や干渉物及び床面との抵抗の低減を図った。これにより、建屋内を円滑に走行することが可能となり、作業範囲の拡大と装置への負荷低減に繋がった。

(d) 装置の操作

除染ユニットと中継ユニットはFig. 10のように、各操作員がカメラ映像を確認しながらジョイスティックで操作を行い、操作員同士が連携して遠隔除染作業を進めた。

また、Fig. 11のタッチパネル盤によって遠隔で水やエアの系統を切り替え、床面除染、排水ホー



Fig. 10 Decontaminating operation with RACCOON II

ス内の洗浄、水抜き等を行うことができるため、作業員の被ばく低減に繋がった。さらに、作業ボタンを選択するだけで、水やエアの系統の切り替えが自動的に行われるため、操作員の誤操作を防ぐことができる。

(e) LAN回線による遠隔操作

福島第一原子力発電所の3号機は2号機と比較して全体の放射線量が高く、作業員の被ばくが懸念された。そこで、発電所構内のLAN回線を利用し、放射線量が低く防護装置が必要ない免震重要棟からの遠隔操作を可能とした (Fig. 12)。それにより、作業員の被ばく低減を図るだけでなく、作業性の向上や作業員の負担軽減に繋がった。

4. タンク内底部洗浄装置の開発

福島第一原子力発電所構内に設置されている鋼製円筒縦型地上タンクにおいては、フランジタンク底板からの水の漏えいを防止するために補修装置を用いた作業が計画されており、その作業に先立って、タンク底部に堆積した沈殿物を除去する必要がある。そのため、遠隔操作でタンク底部の沈殿物を除去するための底部洗浄装置を開発した。

(1) 開発要件

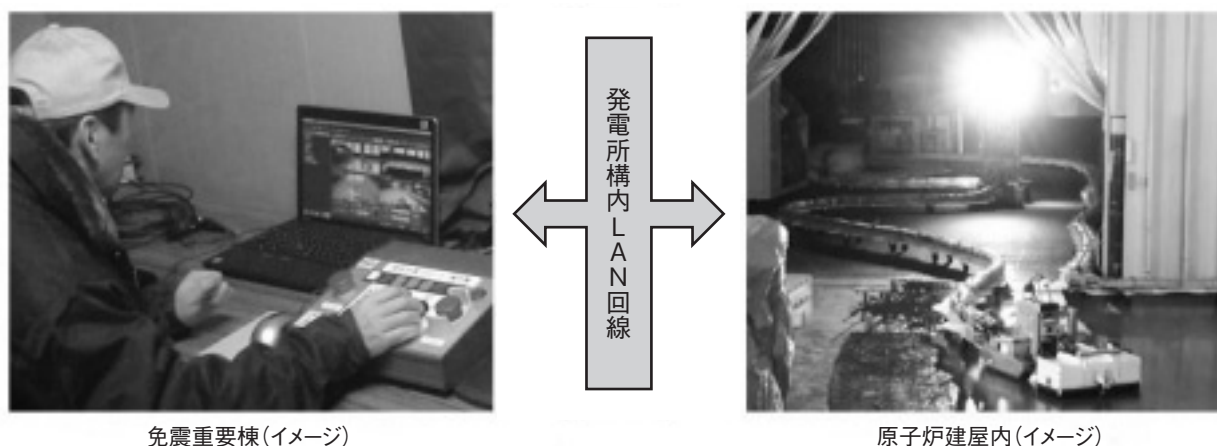
底部洗浄装置の開発にあたり、客先の要望、当社の水中における作業の知見や現場担当者の意見等を組み入れ、開発要件を抽出した。



除染作業選択モード画面

系統確認画面

Fig. 11 Touch-screen of RACCOON II



免震重要棟(イメージ)

原子炉建屋内(イメージ)

Fig. 12 Communication system of RACCOON II with in-plant LAN

- ・タンク底部の水中で作業が行えること
- ・ダイヤフラムポンプにより、底部に堆積した沈殿物の吸引が行えること
- ・タンクフランジ面に比較的弱く付着した沈殿物の除去が行えること
- ・タンク底部フランジ面及び梁を乗り越えられること
- ・装置の小型軽量化により、人手でタンク内への挿入が行えること
- ・タンク内でホース・ケーブルを円滑に牽引できること

(2) 底部洗浄装置の概要

底部洗浄装置は走行部、吸引部、洗浄部及びカメラ部で構成され、有線ケーブルで接続されたコントローラによって操作を行う。

タンク底部に堆積した沈殿物を、吸引部の吸引ノズルより吸引し、ダイヤフラムポンプを介して別タンクへ移送する。底部洗浄装置の外観をFig. 13に、コントローラの外観をFig. 14に、主な仕様をTable 2にそれぞれ示す。

(a) 走行部

フランジ面及び梁の乗り越えを考慮し、走破性が高いクローラ方式とし、クローラベルトのアタッチメントには、ホース・ケーブルの牽引力を向上させるために、マグネットを搭載した。また、駆動モータをハウジング構造とし、0.2 MPa (水深20 mを想定) の耐圧試験を行った。

(b) 吸引部

タンク底部の凹凸に追従する吸引ノズルを搭載し、エア駆動のロータリアクチュエータにより、ノズルの底部への押し付け力を調整するとともに、梁等の乗り越えに支障がない範囲まで上昇する構造とした。

(c) 洗浄部

広範囲でタンクフランジ面に弱く付着した沈殿物を吹き飛ばすために、広範囲、均一に水の散布が行えるスプレーノズル (スプレー角65°) を搭載した。洗浄水の供給は、別途配置された水中ポンプによって行う。

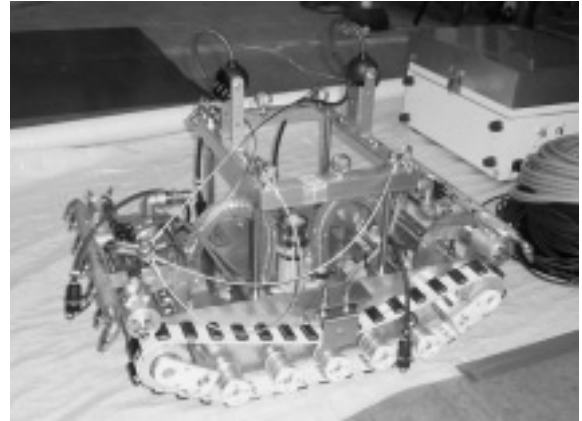
(d) カメラ部

沈殿物の除去状況及びタンク内での装置の位置状況を把握するため、広範囲な画角をもつ照明付

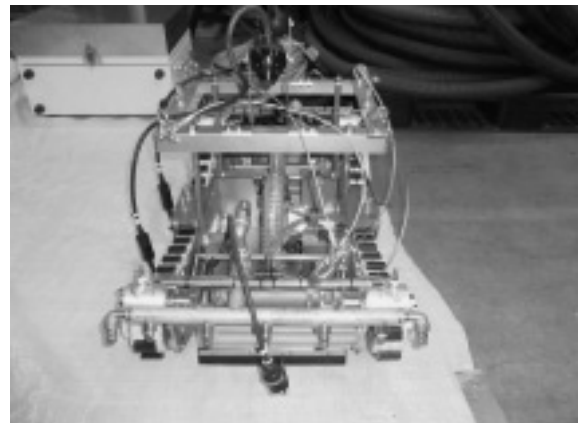
小型水中カメラを搭載した。

(e) コントローラ

装置のカメラからの映像が映し出されるモニター、走行運動 (前・後、旋回) を制御するジョイスティック、非常停止ボタン等を搭載した。



装置側面



装置正面

Fig. 13 Tank bottom cleaning device



Fig. 14 Controller of cleaning device



Table 2 Specifications of tank bottom cleaning system

	項目	仕様
底部洗淨装置	外形寸法	W432×L730×H462 mm
	質量	約32 kg
	走行速度	約 3 m/min
	乗り越え高さ	最大100 mm
	洗淨幅 (散水幅)	420 mm 前後 2 箇所
	吸引部	吸引幅 240 mm 前後 2 箇所 ロータリアクチュエータ(エア駆動) により上下に作動
	吸引流量	約200 L/min ※ポンプの性能により変動
	異物通過径	最大 5 mm
	駆動モータ	DCモータ (DC24V、90W) 前後 2 箇所 ケーブル長 40 m
	カメラ	有効画素数38万画素 (カラー) 使用水深 50 m以下 前後 2 箇所
照明	上記カメラに搭載 LED12灯	
コントローラ	外形寸法	W500×L430×H300 mm
	質量	約24 kg
	モニター	12インチ カラー液晶
	使用電源	AC100V ケーブル長 20 m

(3) 確認試験

装置の性能確認試験の結果は以下のとおりである。

(a) 走行

ホース・ケーブルを接続した状態で段差100 mmの乗り越え試験を行い、これを乗り越えられることを確認した。試験風景を Fig. 15 に示す。

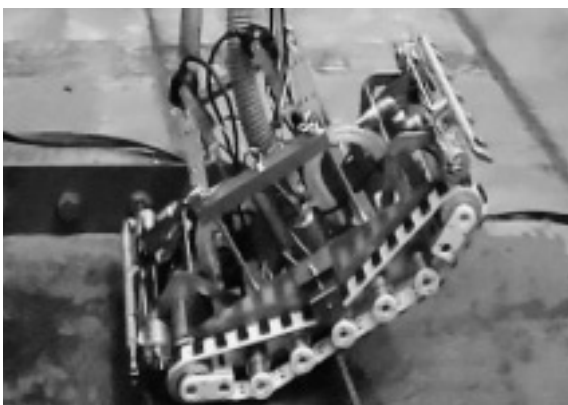


Fig. 15 Travel motion test of cleaning device



吸引前



吸引後

Fig. 16 Suction test of cleaning device



ノズルの性能確認



沈殿物の吹き飛ばし

Fig. 17 Cleaning test of cleaning device

(b) 吸引

模擬沈殿物（見掛密度：820 g/L、平均粒径：0.6～0.7 mm）を用いて吸引試験を行い、これを吸引できることを確認した。試験風景を Fig. 16 に示す。

(c) 洗淨

上記 (b) と同様の模擬沈殿物を用いて吹き飛ばし試験を行い、これを吹き飛ばせることを確認した。試験風景を Fig. 17 に示す。

(d) 総合機能

上記 (a)～(c) の試験を約 6 m の水中にて実施し、(a)～(c) と同様の結果が得られることを確認した。試験風景を Fig. 18 に示す。

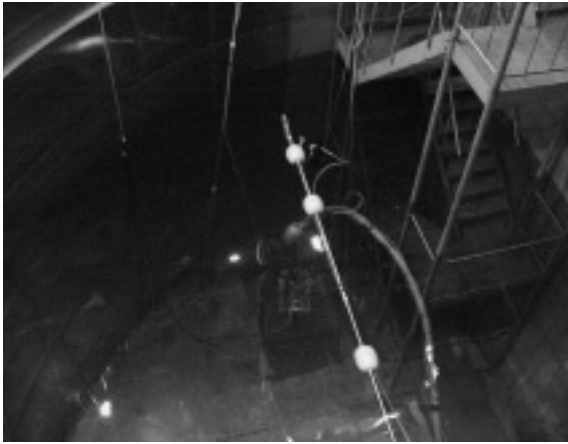


Fig. 18 Integrated performance test of cleaning device

5. 円筒容器内水位測定のための遠隔技術の開発\*

原子炉格納容器内のサプレッションチェンバー（以下、S/C）の漏えい箇所を探索するためには、当該箇所の水位を外部より測定しておくことが有効な手段の一つである。このため、探触子の遠隔操作技術を含む測定技術の開発を行った。

(1) 開発概要

(a) 要素技術の検討

水位を検出するための方法として超音波探傷技術を採用し、水浸探傷法によって鋼板界面反射波の違いを多重反射波で比較する「多重反射法」と、

垂直法によって水中構造物のエコー有無から水位を得る「直接計測法」の2つを選択した。

超音波探触子を搭載するロボットの走行技術は、S/C鋼板が磁性体である炭素鋼を使用していることから、機構が単純で信頼性の高い永久磁石（マグネットクローラ）による磁力吸着走行を選択した。

作業員が近づくことができないS/Cにおいて、遠隔操作による計測で仕様の位置検出精度を確保するため、ロボットに搭載した角度計からロボットの姿勢を検知して高さ位置に換算する手法と、レーザー照射による位置検出手法を採用した。

測定装置のS/Cへのアクセス方法として、1階床面を穿孔して、1階から地下のS/Cへの測定装置搬入をすべて遠隔操作で実施する方法を検討した。

(b) 実証試験機的设计製作

水位や水中構造物の位置を直接計測する定位型と、多重反射波を面で捉える走査型の2種類の装置に対して、測定装置をS/C近傍まで移動させるための搬入装置を含め、遠隔操作が可能な仕様で設計製作を行った。

Fig. 19に示すように、搬入装置システムを原子炉建屋1階に設置し、φ350 mmの開口部よりS/C壁面へロボットを搭載した搬入装置をアクセスする方法を採用した。

(c) 定位型水位測定装置

マグネットクローラによって走行し、中央部の垂直探触子をS/C壁面に押し付けて水位等を計

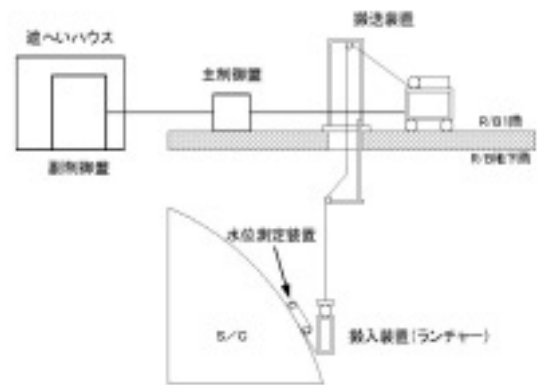


Fig. 19 Detection system of water level inside suppression chambers

\* 経済産業省資源エネルギー庁平成24年度発電用原子炉等事故対応関連技術基盤整備事業「円筒容器内水位測定のための遠隔基盤技術の開発」で得られた成果である。

測する。装置前後に配した角度計により、S/C円周上のどの位置にいるかを角度で検知する (Fig. 20)。

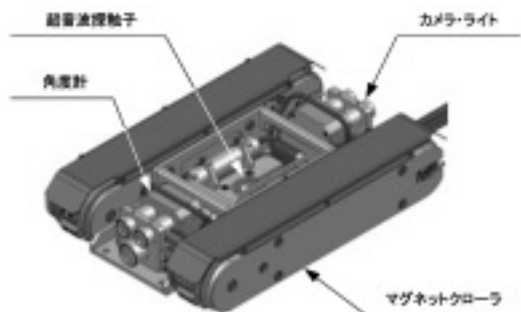


Fig. 20 Fixed probe type water level detection device

(d) 走査型水位測定装置

水浸型探触子を装置の前後左右方向に移動させることができるもので、プローブ内に水を供給しながら反射波を捉え、画像処理によって色分け表示することで、水位を明確に図示する (Fig. 21)。

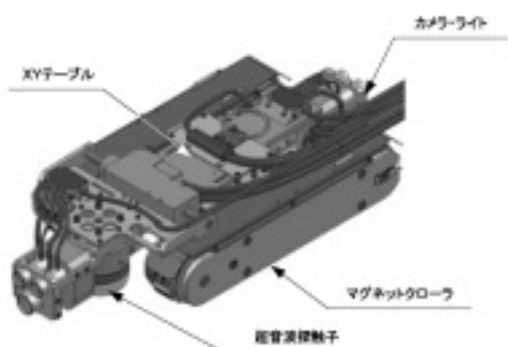


Fig. 21 Scanning probe type water level detection device

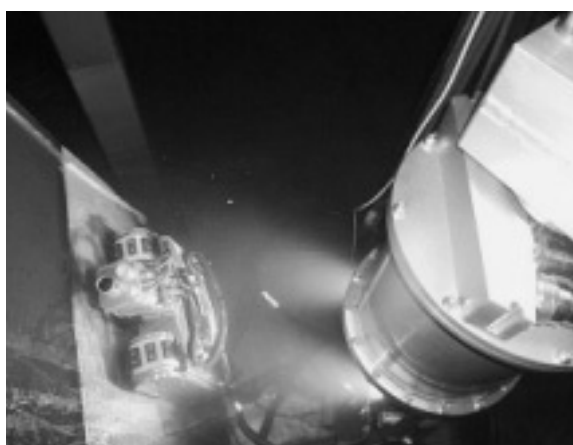


Fig. 22 Mock-up test of detection device

(2) 実証試験

S/Cの実寸法を模擬したモックアップを用いて、実証試験のシミュレーションを実施した (Fig. 22)。

2号機における実証試験では、多重反射法で荒れてしまったS/C鋼板面で正確に波形を捉えることができず、水位判定シナリオに従い、直接計測法で水中構造物を捉える方法でデータを採取した (Fig. 23)。そのときの計測結果の一部を Fig. 24 に示す。



Fig. 23 Field test of detection device at unit 2

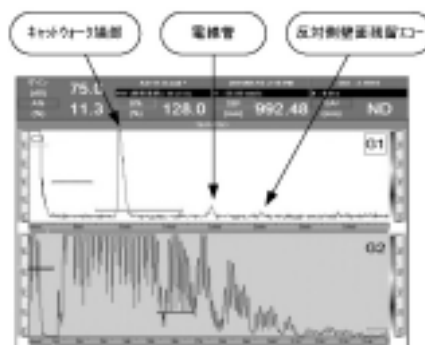


Fig. 24 Result of water level detection by direct measuring method

6. 自律制御ヘリコプタを利用した線量率調査

事故収束のための調査や作業では、対象建屋のごく近傍の屋外の線量低減が必要である。しかし、瓦礫等が散乱したままで、線量率等の状況把握ができていない場所も多く、地上の線量率を高めている線源箇所の特特定ができていないのが現状である。

この調査は、地上線量率の寄与調査・解析と瓦礫等のホットスポットの特定・線源強度及び物量の調査・解析により、効率的な線量低減工事計画の立案に資することを目的とする。

(1) 調査概要

線量率の寄与、ホットスポット特定のための解析には、水平方向、高度位置の異なる数多くの線量率データが必要となるが、高線量率、構造、障害物等により人が容易に立ち入れない場所が多数存在する。そこでアクセス性に優れた自律制御ヘリコプタを使用し、線量率と映像データの取得を行うことで、調査における被ばく量低減と効率化に繋げる。

地表面の汚染密度及び1 m高さでの線量率マッピングに必要となる調査の流れを Fig. 25 に示す。



Fig. 25 Implementation flow for dose rate measurement

(2) 自律制御ヘリコプタの概要

本調査に用いる機体は、あらかじめプログラミングされた経路を周囲環境の変化に応じて自律制御で航行する Mini Surveyor ((株) 自律制御システム研究所製) を使用した。Mini Surveyor の外観を Fig. 26 に、基本仕様を Table 3 に示す。

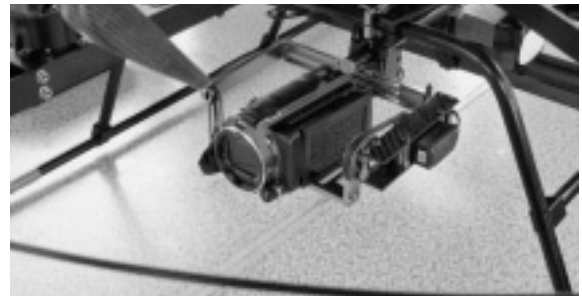


Fig. 26 Mini Surveyor used to measure dose rate

Table 3 Basic specifications of Mini Surveyor, MS-06A

項目	仕様
基本機体	Mini Surveyor, MS-06LA
ローター数	6 個
寸法	全幅 約1,150×全高510 mm
重量	約 5 kg (バッテリー除く)
連続飛行時間	約10分
ペイロード	約 5 kg
電源	リチウムポリマバッテリー (LiPo)

線量率と映像データの取得のため、自律制御ヘリコプタに搭載した機器を Fig. 27 に示す。



ビデオカメラ



放射線測定器 (GM サーベイメータ)

Fig. 27 Option for measurement with Mini Surveyor

オンボードPCで線量データと位置情報(緯度・経度・高度)を集約し、USBメモリに記録することでマッピングのための基礎データを収集する。

(3) 線量解析手法

(a) 線量測定法

無人ヘリコプタはペイロードが小さいため、軽量のGMサーベイメータを採用した。高感度で短時間での測定が可能であり、バッテリー式の無人ヘリコプタによる遠隔測定に適している特徴があ

る。核種の同定はできないが、事前に地表付近での $\gamma$ 線スペクトル測定結果を参考にすることで対応可能である。

#### (b) 地表汚染密度の評価

上空の線量率には、広い範囲の汚染源の影響がある。あらかじめ計算により二次元メッシュ面の汚染源の汚染密度と線量率の関係を評価しておけば、実測した線量率を再現する汚染密度を逆算可能である。

## 7. まとめ

### (1) 原子炉建屋内の線量低減に向けた線量解析

作業者の被ばくを低減するため、除染、遮蔽、線源撤去の技術を用いて、作業エリアごとに効果的な線量低減策を組み合わせ、目標とする線量率を達成できる範囲、さらに、今後の除染等の機器開発により低減可能な範囲等を検討するとともに、具体的な線量低減工事計画を検討した。

### (2) 小型遠隔除染装置“RACCOON”の開発

原発事故直後より、原子炉建屋内の線量低減に向けて遠隔除染装置の開発に取り組み、小型遠隔除染装置RACCOONを開発し、福島第一2号機原子炉建屋1階の除染作業を実施した。

さらにRACCOONをベースに改良を加え、発電所構内のLAN回線を利用した遠隔操作を可能とし、ユニットの走破性を向上させたRACCOON IIを開発し、福島第一3号機原子炉建屋1階の除染作業を開始した。

今後は、RACCOON及びRACCOON IIの現場作業経験を活かし、さらに安定した作業が可能な装置へと改良を行う。

また、建屋上層階や地下階の除染を目指し、装置のアクセスや水、電気等のユーティリティの取り回しの検討を進める。

### (3) タンク内底部洗浄装置の開発

底部洗浄装置の開発により、開発当初に設定した要件をすべて満足し、タンク内底部に蓄積した

沈殿物の除去が可能であることを確認した。

今後は、機器の作業実績を基に、客先の要望及び現場作業員の意見を的確に把握し、より現場作業に適した装置の開発を進めていく。

### (4) 円筒容器内水位測定のための遠隔技術の開発

原子炉格納容器内のサプレッションチェンバーでの実証試験において、直接計測法で2号機S/C反対側壁面及び水中構造物の反射エコー消失位置を、水位として記録した。水位記録とトラス室(S/C外側)水位が3日間の計測期間中に常に連動して推移していることが確認された。

### (5) 自律制御ヘリコプタを利用した線量率調査

自律制御ヘリコプタを利用した線量率調査手法を確立することで、現在は詳細な現状把握ができていない排気筒(高さ約100 m、根元部は大線量)の線量・外観調査や、屋外の定期的、系統的な線量率サーベイ(タンクエリア、廃棄物貯蔵エリア、瓦礫撤去後の線量率変化の確認等)を実現させることが期待される。

## 8. おわりに

福島第一原子力発電所の廃炉に向けて、今後とも現場では高汚染・高放射線という厳しい環境条件、よりアクセスの困難な場所における遠隔技術による線量低減技術、調査技術が必要とされることが予想される。今後とも、アトックスは、現場のニーズに応える技術開発に積極的に取り組んでいく予定である。これら福島第一原子力発電所の廃炉で開発した技術は、原子力発電所等の計画的な廃止措置の実施に当たって必要な技術に応用できると考えられる。

## 参考文献

- 1) 東京電力株式会社、「福島第一原子力発電所2号機 原子炉建屋内調査結果(3階～5階)(平成24年6月13日実施)」、<http://photo.tepco.co.jp/date/2012/201206-j/120614-01j.html>.

## 東芝の福島第一原子力発電所の環境改善活動と技術開発

酒井 仁志\*、金田 雅之\*、藤畑 健二\*、佐藤 光吉\*、林 弘忠\*、篠田 敏彦\*、  
齊藤 真拡\*、高倉 恵太\*、大柿 信人\*、佐藤 勝彦\*\*、矢板 由美\*\*、相川 徹郎\*\*、  
畠山 誠\*、加藤 貴来\*、寺井 藤雄\*\*\*

### *Environmental improvement activities and technical development in TOSHIBA for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station*

Hitoshi SAKAI, Masayuki KANEDA, Kenji FUJIHATA, Mitsuyoshi SATO, Hirotada HAYASHI,  
Toshihiko SHINODA, Masahiro SAITO, Keita TAKAKURA, Nobuhito OGAKI, Katsuhiko SATO,  
Yumi YAITA, Tetsuro AIKAWA, Makoto HATAKEYAMA, Takaki KATO, Fujio TERAI

株式会社 東芝は、震災以降4年間にわたり、除染工事や国のプロジェクト「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」を通して、東京電力福島第一原子力発電所の建屋内の環境改善活動を行ってきた。

本報告では、これらの活動を通して開発した装置、使用した装置、工事を効率的に行うためのサポート技術について紹介する。また、これらの活動を通して、明らかになりつつある現場の汚染状況についてもあわせて紹介する。

TOSHIBA CORPORATION has been continued environmental improvement activities during about 4 years, after the accident, through the decontamination work and national project “Development of remote decontamination technology for reactor buildings (of TEPCO’s Fukushima Daiichi Nuclear Power Station).”

This report describes the remote decontamination vehicle which is developed by the national project, the remote decontamination vehicle which is used actual plant and support technologies for decontamination works. In addition, it is shown about the contamination conditions of the reactor buildings which is gradually appeared by these activities.

#### 1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所（以下、「福島第一原子力発電所」）の1機～3号機の原子炉建屋

は、事故により高度に汚染された。福島第一原子力発電所の廃止措置に関連する種々の作業を実施していくうえでは、建屋内の作業環境を改善していくことが重要である。本稿では、東芝が事故後

\* : 株式会社 東芝 磯子エンジニアリングセンター  
(Isogo Nuclear Engineering Center, TOSHIBA CORPORATION)

\*\* : 株式会社 東芝 電力・社会システム技術開発センター  
(Power and Industrial Systems R&D Center, TOSHIBA CORPORATION)

\*\*\* : 株式会社 東芝 生産技術センター  
(Corporate Manufacturing Engineering Center, TOSHIBA CORPORATION)

\*1 : この成果は、経済産業省/発電用原子炉等廃炉・安全技術開発費補助金により得られたものです。

約4年間で実施してきたサイトの環境改善活動とそれに関する技術開発について紹介する。また、環境改善活動にあたって、プラントの汚染状況と汚染状況に適した除染技術の検討についてもあわせて紹介する。

## 2. 福島第一原子力発電所の汚染状況<sup>\*1</sup>

福島第一原子力発電所1～3号機の原子炉建屋内への汚染移行経路を事故の経緯から推定した(Fig. 1)。1～3号機では、地震に伴う津波の影響により電源と炉心冷却機能が喪失し、炉内及び燃料プールの温度が上昇(Fig. 1②)、圧力的に脆弱な部位から蒸気や水素が漏洩し建屋内に拡散した。2号機ではこれに汚染が随伴した(Fig. 1③)と想定している。1号機と3号機では、水素爆発が発生し原子炉建屋上部が破損したため、放射性物質を含むコンクリート粉が建屋内に堆積していると考えられる(Fig. 1④)。さらに、各号機ともに原子炉建屋、タービン建屋の地下には汚染水が滞留している状況である。

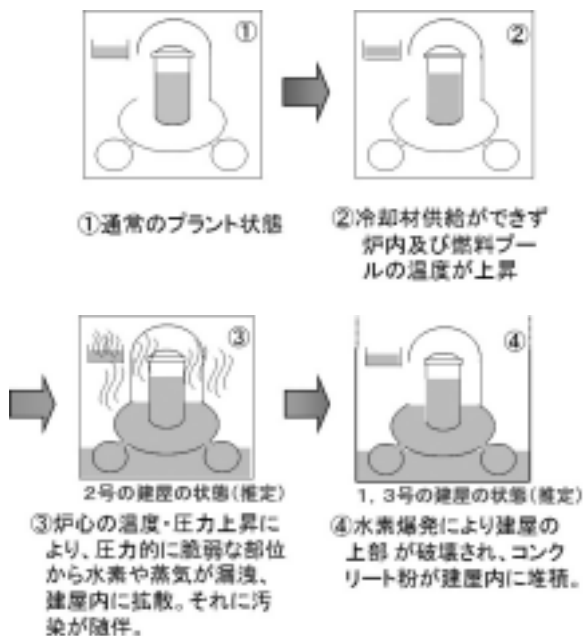


Fig. 1 Presumption of contamination moving route in reactor building

これらの状況から、汚染の主要な分類として、「遊離汚染」、「汚染蒸気ばく露による固着・浸透汚染」の3種類が想定され(Fig. 2)、これにコンクリート表面のエポキシ塗装「あり」、「なし」の2パターンを考慮した計6つの汚染形態が想定される。

「遊離汚染」、「汚染蒸気ばく露による固着・浸透汚染」の3種類が想定され(Fig. 2)、これにコンクリート表面のエポキシ塗装「あり」、「なし」の2パターンを考慮した計6つの汚染形態が想定される。

飛散した汚染の降り積もり(遊離)	汚染蒸気にはく露(固着・浸透)	滞留水に浸漬(固着・浸透)
エポキシ塗装されているコンクリート表面に、コンクリート破砕物が降り積もり	エポキシ塗装されているコンクリート表面に、汚染蒸気や滞留水に凝結しその後経過	エポキシ塗装されているコンクリート表面に、滞留水が凝結しその後経過

Fig. 2 Classification of contamination in reactor building

これまでに実施した原子炉建屋の汚染状況調査結果では、1階部分の線量率は数百mSv/hレベルであり、3号機、2号機、1号機の順で線量率が高かった。主要な核種はCs-137、Cs-134であり、一部から極微量ながらAg-110m、Sb-125が検出された。また、エポキシ塗装部の汚染は、表面に堆積した遊離汚染と、固着汚染であり、エポキシ塗装内部及びエポキシ塗装下のコンクリート内部への浸透汚染は見られなかった。また、床上5cm、150cmの線量率測定値等から雰囲気線量率への寄与を評価した結果、床面からの寄与は20%程度、壁・天井やホットスポットからの寄与は10%程度であるのに対し、高所エリアのダクト、ケーブルトレイ、配管、サポート等からと推定される寄与は70%程度と大きかった。このことから、高所エリアの配管やダクト、ケーブルトレイにおける汚染蒸気による付着放射性物質、放射性物質を含むダストの蓄積、または配管、ダクト内部に存在する放射性物質からの寄与などが、主要な線源として想定される<sup>1)</sup>。

## 3. 除染技術の検討<sup>\*1</sup>

プラントの汚染状況の推定結果や調査結果を踏まえて、それに適した除染技術を適用していく必要がある。国のプロジェクト「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」においては、国内外への公募の結果集まった除染技術について、どのような汚染に有効かという視点で分類した。抽出された技術に加えて、遠隔機器への搭載性や狭隘部への適用性といった観点で関係者による評価を行い、各汚染形態に対して適用可能と考えられる除染技術

を分類した (Fig. 3)。「超高压水除染法」、「ドライアイスブラスト除染法」、「吸引・ブラスト除染法」を選定し、装置を開発することを決定した。東芝は、このうち「ドライアイスブラスト除染法」の開発を進めることとした。

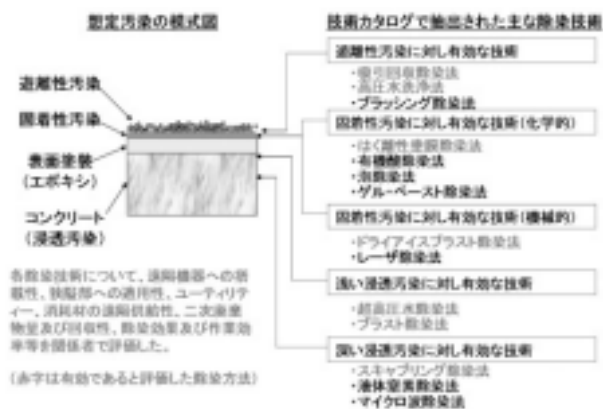


Fig. 3 Classification of decontamination technologies

ドライアイスブラスト除染はドライアイスの粒子を噴射して除染する技術である。ドライアイスの粒子が衝突した際の衝撃力とドライアイス粒子が衝突時に直ちに昇華する際の膨張力により除染するものである。航空機の塗装剥離を目的として開発された技術であり、塗装、油の除去に有効である。一方、金属母材の表面を研削するほどの衝撃力はなく、汚染が塗装表面に限定されている場合は有効である。また、スキマ部の汚染除去にも有効である。除染後のブラスト材は昇華してしまうため、ブラスト材に起因する二次廃棄物は発生しない。工具類の除染や発電所床面、壁面の塗装剥離に使用した例がある。一般産業においては、航空機、戦闘機の塗装剥離、鋳造工場の金型清掃等に使用されている。

ドライアイスブラスト除染は、通常は数mmの円筒形の粒子を用いるが、今回は以下の観点から、ブロック状のドライアイスを用いてシャベット状で用いる方法で開発を進めることとした。Fig. 4にペレット状ドライアイスとブロック状ドライアイスを示す。また、Fig. 5に模擬汚染を用いた除染結果を示す。ペレット状ドライアイスを用いた場合は、エポキシ塗装を剥離でき、コンクリート表面が、暴露される。一方、ブロック

状のドライアイスを用いる場合は、エポキシ塗装は残した状態で、表面の模擬汚染(青色水性塗料)を除去することができる。

- ・エポキシ塗装が健全な箇所は、エポキシ塗装を剥離せず、汚染のコンクリートへの再汚染を防止するのが良いと判断した。
- ・ブロック状のドライアイスを用いる装置のほうが、寸法が小さく、遠隔装置への搭載に有利と判断した。

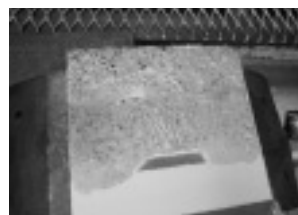


ペレット状ドライアイス

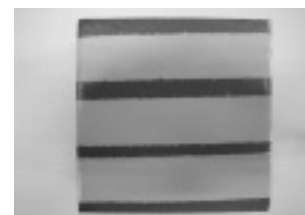


ブロック状ドライアイス

Fig. 4 Dry ice (pellet and block)



ペレット状ドライアイスを用いた場合



ブロック状ドライアイスを用いた場合

Fig. 5 Decontamination condition of simulated contamination sample

#### 4. 環境改善活動の概要

福島第一原子力発電所の環境改善の活動は、主に、現地における除染工事と国のプロジェクト「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」における技術開発に大別できる。Fig. 6に環境改善活動の内容と概略スケジュールを示す。

##### (1) 2号機原子炉建屋1階除染工事

2号機は、原子炉建屋の水素爆発がなく、長期にわたって建屋内の湿度が高い状態であった。これは、原子炉上部から漏れ出した蒸気が、建屋内に充満したものと想定された。原子炉上部から漏れ出した蒸気は、汚染を随伴して建屋内を拡散したと想定され、床面、壁面、天井、機器表面等に



年度	2011	2012	2013	2014	2015
除染工事					
2号機原子炉建屋1階除染工事					
3号機原子炉建屋1階除染工事					
3号機原子炉建屋オペフロ除染工事					
国プロ「原子炉建屋内の遠隔除染装置の開発」	フェーズ1		フェーズ2		フェーズ3

Fig. 6 Outline of environmental improvement activities

汚染が付着し、その後、乾燥した状態であり、固着性汚染が主体であると考えられる。また、事故時に停止していた空調系のダクト内にも蒸気が侵入し、拡散経路のひとつになったと想定される。さらに、事故時に機器上面等に堆積していたほこり等にも汚染が付着し、遊離性の汚染として存在していると考えられる。このような状況において、除染工事としては、床面の散水ブラシ洗浄、壁面低所の散水洗浄、中所機器のふき取り、吸引等を実施した。これにより、当初原子炉建屋1階通路部の線量率が約7～30 mSv/h程度であったものが、全般的に低減し、約3～10 mSv/h程度となった。さらに、線量率を低減すべく、ダクト内の除染や撤去を検討中である。

### (2) 3号機原子炉建屋1階除染工事

3号機は、原子炉建屋の上部が水素爆発により飛散したが、水素爆発前は、2号機と同様に建屋内が蒸気で充満した状態であったと推定される。その後、水素爆発により、汚染したコンクリート片やコンクリート粉が原子炉建屋内に飛散した。除染工事としては、床面に堆積している小瓦礫の回収、粉じんの回収、床面の散水ブラシ洗浄、壁面低所の散水洗浄を継続実施中である。また、中所機器のふき取り、吸引等を実施した。今後は、国のプロジェクトにおいて開発中の高所除染装置を用いた除染を計画している。

### (3) 3号機原子炉建屋オペフロ除染工事

3号機オペフロは、事故数日後の水素爆発により、天井、壁面がほぼ崩壊し、これらが瓦礫となってオペフロ上に散乱し、堆積した。また、瓦礫の下の床面も健全ではなかった。このような状況に対し、西側のヤードに設置した大型クレーン

により、瓦礫撤去が行われ、引き続き超高压水による研り除染を継続実施中である。

### (4) 国のプロジェクト「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」\*1

国のプロジェクトは、現場の汚染状況調査、遠隔除染装置の開発を行ってきている。現場の汚染状況調査としては、フェーズ1で1～3号機の原子炉建屋1階、フェーズ2で1～3号機の上部階、2号機オペフロ、フェーズ3でタービン建屋地下階の調査を行った。

遠隔除染装置の開発では、低所除染装置をフェーズ1で製作し、フェーズ2で実機実証試験を実施した。現在、高所除染装置の工場での実証試験を実施中である。

## 5. 遠隔除染装置の開発、実機適用

前述のとおり、福島第一原子力発電所の汚染の状態や汚染機器が多岐にわたることから種々の装置を開発、実機適用してきている。

### (1) 高压水はつり装置

3号機の原子炉建屋1階は、事故直後に、原子炉建屋上部（5階（オペフロ）部分）が、水素爆発により、瓦礫で覆われた状態となった。瓦礫撤去後、Fig. 7に示す高压水はつり装置で、床面除染を実施中である。除染後は鉄板しゃへい体を設置し、燃料取り出し装置が設置される予定である。

高压水はつり装置は、約250 MPaの超高压水でコンクリート表面1 cmをはつり、同時に吸引回収

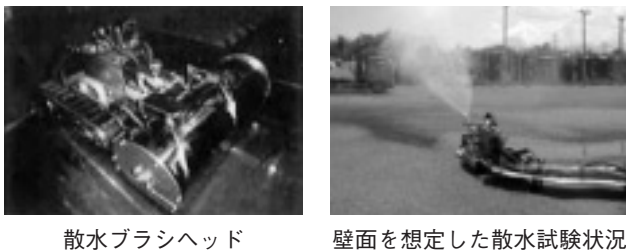


Fig. 7 High-pressure water chipping apparatus

も行う。クレーンで吊り上げてオペフロに設置後は、自動でノズルが装置下部の枠内を動いて装置下部のはつり除染を行う。操作は免震重要棟のリモート室より遠隔無で行います。1回約15㎡を2時間程度で除染可能である。冬季は、気温が氷点下になる場合もあり、凍結防止のためのヒータを取り付けて対応している。また、オペフロ床面が想定以上に凸凹でノズル下に隙間が生じるため、はつりくずが回収しきれない場合もあり、繰り返し実施することで対応している。

(2) 小型遠隔除染装置 (ラクーン)

小型遠隔除染装置 (ラクーン) は、(株)アトックスが開発した装置で、(株)東芝と共同で、2号機原子炉建屋1階通路部で使用後、改良機を3号機原子炉建屋1階通路部で使用している。装置は、除染ユニットと中継ユニットとで構成されており、その間を約20 mのホースで接続している。除染ユニット先端のヘッドを交換することで、床面の散水ブラシ洗浄、ジェット洗浄、約6 m程度の高さまで散水洗浄が可能である。床面の除染廃水も自身で吸引回収できること、小型で機動力があることから、原子炉建屋床面、壁面低所除染工事の中心的な役割を担っている (Fig. 8)。



散水ブラシヘッド

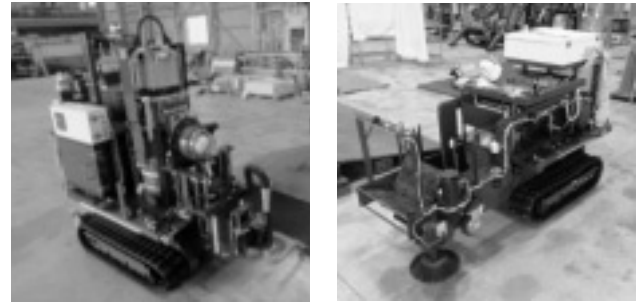
壁面を想定した散水試験状況

Fig. 8 Remote control compact decontamination robot (RAC-COON)

(3) 残存瓦礫回収装置

3号機の原子炉建屋1階は、水素爆発があったことから、その際に飛散したコンクリート片や粉じんが原子炉建屋1階通路部にも堆積していた。このため、前述の小型遠隔除染装置 (ラクーン) の適用に先立って、コンクリート片や粉じんの回収が必要となった。Fig. 9に建屋内の残存瓦礫回収装置を示す。写真左が小瓦礫掻き取り装置で、掻き取り羽で200 mm以下の瓦礫を回収容器に回

収する。写真右が粉じん吸引装置で固体だけでなく水やヘドロも吸引回収できる。両方の装置ともにバッテリー駆動で、免震重要棟のリモート室より遠隔で操作する。また、回収容器はともに別の遠隔装置で搬出する。免震重要棟のリモート室からの遠隔操作の状況をFig. 10に示す。



小瓦礫掻き取り装置

粉じん吸引装置

Fig. 9 Remaining debris collection vehicle



Fig. 10 Situation of remote operation in seismic isolation building

(4) 中所除染装置

中所部除染装置をFig. 11およびFig. 12に示す。

Fig. 11は2号機原子炉建屋1階通路部で使用した装置で、東京電力所有の小型重機 (ハスクバーナDXR-140) のアーム先端に伸縮アームを取り付け、拭き取りや吸引ができる構造とした。拭き取りの場合には伸縮アーム先端に拭き取り用のモップを接続、吸引の場合には、吸引回収装置を後段の台車に搭載し、伸縮アームの先端に取り付けた吸引口とホースで接続して実施した。

Fig. 12は3号機で使用した中所除染装置 (リバイ) です。2号機で使用したハスクバーナDXR-140より一回り大きなハスクバーナDXR-250をベースとして、前面に7軸のアームを2台取り



Fig. 11 Middle higher part decontamination equipment (husqvarna)

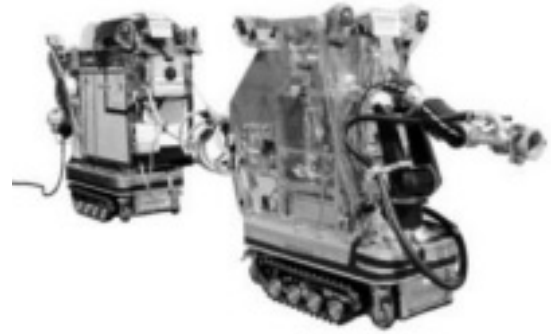


Fig. 13 Lower part dry ice blast decontamination vehicle



Fig. 12 Middle higher part decontamination equipment (dual-arm vehicle)

付けたものである。

2号機で使用したハスクバーナーと同様に、拭き取り、吸引ができる他、後段に後述するドライアイスブラスト除染装置を接続して使用することや、簡単な撤去作業ができることを考慮した。

(5) 国のプロジェクトで開発した装置\*1

Fig. 13に低所用ドライアイスブラスト除染装置を示す。「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」において開発した装置である。

低所用ドライアイスブラスト除染装置は、ドライアイス噴射時の衝撃と昇華時の膨張により、汚染を効率的に除去し、二次廃棄物発生量が少ないことを特徴としている。除染装置、回収装置、コンプレッサ、除染ノズル及び操作アームを2台のクローラ台車上に搭載した装置構成により、2014年4月に2号機原子炉建屋に試験的に投入し、60%の汚染を低減することができた。

## 6. 環境改善活動効率化のためのサポート技術

福島第一原子力発電所1～3号機の建屋内は、依然として線量が高いことから、線量低減に関連する作業を行ううえで、種々のサポート技術を検討、実用化を図っている。これらのサポート技術は、3Dのレーザースキャンデータとそれに基づいて作成した3D CADデータをベースとして実施している。3Dデータの活用状況、計画をFig. 14に示す。

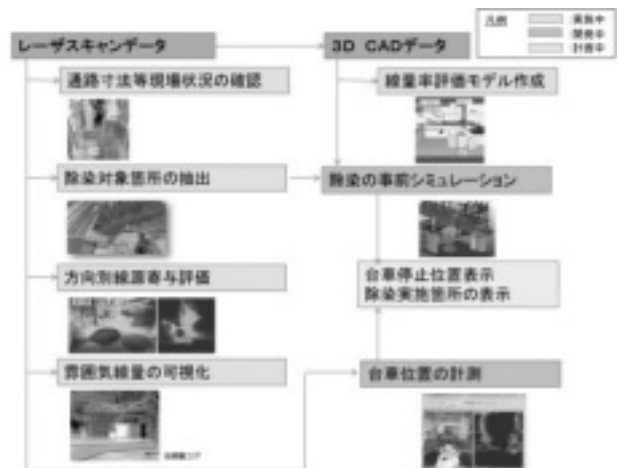


Fig. 14 Application situation and plan of 3D data

### (1) レーザースキャンデータの採取

福島第一原子力発電所2号機と3号機の原子炉建屋1階通路部および地下階(トラス室)のレーザースキャンデータの採取を行った。遠隔操作の小型走行台車にレーザー装置を搭載し、採取した。採取したレーザースキャンデータの例を

Fig. 15に示す。図は写真のように見えるが、点群のデータであり、それぞれの点が、X, Y, Zの位置情報をもっていることから、点と点の間の距離を確認することができる。



Fig. 15 Sample of laser scanning data

### (2) 通路寸法等現場状況の確認

原子炉建屋内は非常に線量が高く、作業員が、現場確認を行うことは、時間的な制約が大きい。また、照明がなく暗いことも現場確認の障害となっている。このため、レーザースキャンデータにより、遠隔装置の通行幅の確認、作業における干渉物等の確認を行うことで、実際に作業員による現場調査を軽減している (Fig. 16)。

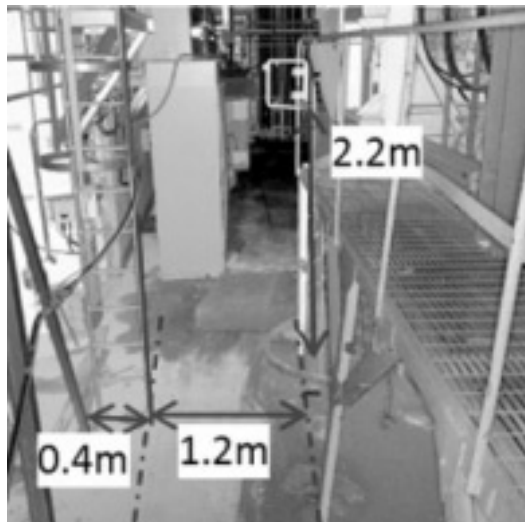


Fig. 16 Sample of dimension confirmation

### (3) 除染対象箇所の抽出

前記の現場確認と同様に、レーザースキャンデータにより、あらかじめ除染の対象箇所を抽出したうえで、当該箇所の除染計画立案に有効に使うことができる。

### (4) 方向別線源寄与評価

レーザースキャンデータと $\gamma$ カメラを用いることで、レーザースキャンデータ上に放射線量の強度分析を表示することができる。また、同一箇所において、方向別に採取した $\gamma$ カメラデータを利用することで、当該箇所の線量率に対する方向別の線源寄与を評価することができる。方向別の線源の寄与を評価した例をFig. 17に示す。

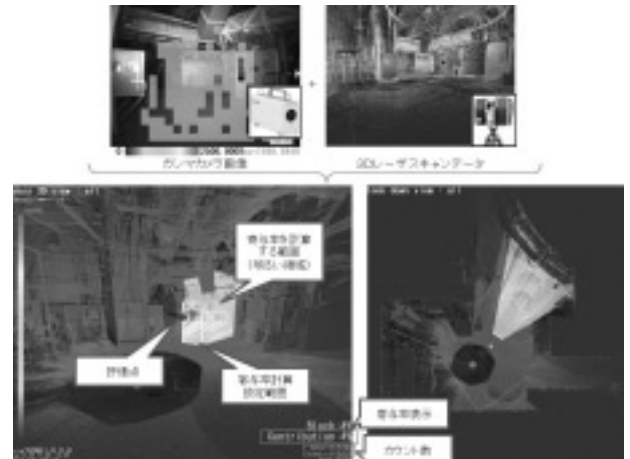


Fig. 17 Sample of direction dose contribution estimation

この評価結果を用いることで、除染の対象となる線源の所在の参考とするとともに、遮へい計画にも活用することができる。

### (5) 雰囲気線量の可視化

除染等の作業により環境が改善された後、雰囲気線量を測定して雰囲気線量マップを作成する。

この雰囲気線量マップをレーザースキャンデータと合成すれば、作業エリアの線量分布を容易に把握出来る様に可視化できる。

この様に実際の作業場所が正確に表現されているレーザースキャンデータと組合せて分布を確認する事で作業員への線量低減の意識づけや低線量エリアへの退避・誘導を効果的に行うことが可能になる (Fig. 18およびFig. 19)。

### (6) 線量率評価モデル作成<sup>\*1</sup>

レーザースキャンデータを3D CADデータに変換することで、その適用の用途は増える。Fig. 20は2号機原子炉建屋1階北西エリアをレーザース

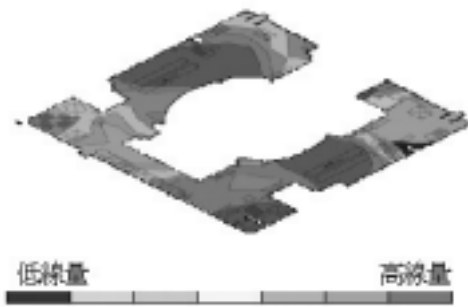


Fig. 18 Air dose map

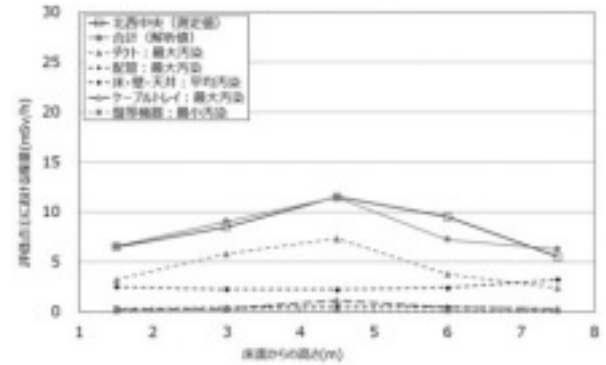


Fig. 21 Comparison between measurement and estimation data

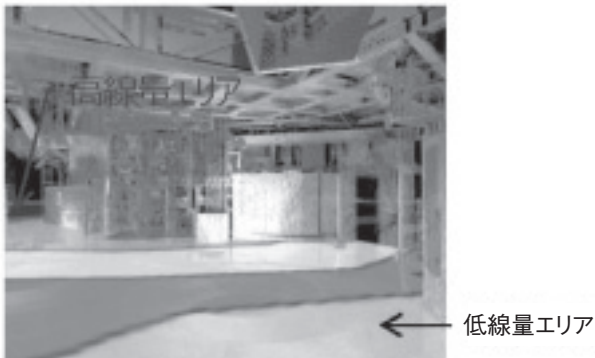


Fig. 19 Composition of dose map and scanning data

キャンデータからCADデータにしたものであり、これを線量率の評価モデルに使用した例である。各機器の表面に任意の表面汚染を設定することで、任意の評価点の線量率を評価するモデルを作成することができる。図は、北西エリアの中央付近を高さ方向に評価点①を設定した例である。

Fig. 21は評価点①における解析値を測定値に



Fig. 20 Sample of radiation estimation model

あわせるように各機器の表面汚染実測値の範囲で設定したものである。この評価結果を基に、どの機器を除染、遮へい、撤去すれば、評価点①の線量率がどのようになるかという評価をすることが可能となる。

#### (7) 除染の事前シミュレーション<sup>\*1</sup>

点群データから変換した3D CADデータ上に、除染装置のCADデータを任意に配置し、実際の除染時の台車走行や除染作業の動作をシミュレーションすることができる。これにより、作業の干渉確認を事前に行うことができる。Fig. 22に除染の事前シミュレーションの概要を示す。

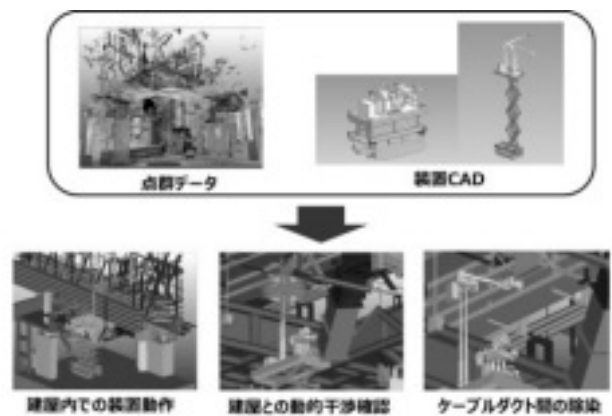


Fig. 22 Outline of pre-decontamination simulation

#### (8) 台車位置の計測<sup>\*1</sup>

除染作業中あるいは除染作業場所までの台車の走行中に台車自身がどの位置にいるかは、台車あるいは監視装置のカメラ画像により把握するのが

現状である。これは、オペレータの習熟度への依存が大きく、オペレータの習熟度に依存しない方法を検討した。台車位置計測の方法をFig. 23に示す。あらかじめ取得したレーザースキャンデータ(写像画像)と台車に搭載したカメラ画像の特徴点を比較し、同一画像であると判断することで、カメラ画像のカメラ位置(X, Y, Z)をレーザースキャンデータの位置情報から評価する方法である。

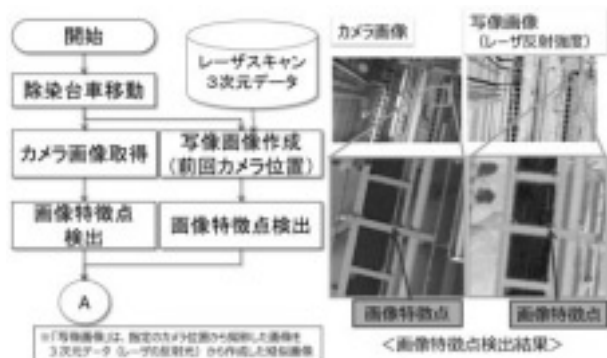


Fig. 23 Vehicle position detection method

この方法を用いて、実際に台車の現在位置をレーザースキャンデータ上に表示した例をFig. 24に示す。

#### (9) 今後の計画

台車位置の計測や除染の事前シミュレーションができるようになれば、引き続き除染対象毎の台車の停止位置表示、除染実施箇所、未実施箇所の区別等に繋げていきたいと考えている。



Fig. 24 Vehicle position display during running

#### 7. おわりに

東芝は、今後も福島第一原子力発電所の環境改善に努め、廃止措置を推進していく所存である。

#### 8. 謝辞

本稿の作成にあたり、東京電力(株) 殿、国際廃炉研究機構(IRID) 殿、(株) アトックス殿の協力を頂きました。ここに感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 行則 茂、木下博文、姉川弘明、“線量低減・除染に関する研究の現状と課題”、原子力学会誌、Vol. 56, No. 8, 17 (2014).

# RANDEC

Radwaste and Decommissioning Center

RANDEC contributes to establishment of generic nuclear energy backend technology in Japan. The following works are currently intensively involved:

**The establishment of business work of consignment, store and process of radwaste from domestic research, industrial facilities etc. for disposal.**

---

**The research and development of nuclear facility decommissioning technology and radwaste treatment as well as disposal.**

---

**The study on decontamination and environmental restoration of ground in Fukushima and Kanto area.**

---

**The dissemination and enlightenment of backend research and development results, and training.**

RANDEC works for advancement of science and technology, and sustainable environmental cleanliness.

© デコミッションング技報 第51号

発行日 : 平成27年4月30日

編集・発行者 : 公益財団法人  
原子力バックエンド推進センター

〒319-1107  
茨城県那珂郡東海村豊白一丁目3-37  
Tel. 029-283-3010  
Fax. 029-287-0022

URL : <http://www.randec.or.jp>

E-mail : [decomi@randec.or.jp](mailto:decomi@randec.or.jp)