解 説

建屋内遠隔除染技術の開発

Development of Remote Control Technology for Decontamination

浅 間 一* *東京大学
Hajime Asama* *The University of Tokyo

1. は じ め に

2011 年 3 月に，東日本大震災の地震および津波によって発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故においては，圧力容器，格納容器，原子炉建屋というバウンダリーがすべて損傷し，大量の汚染物質が外部に放出された．原子炉建屋内や周辺は，人の活動を制限する高線量の場所が存在する．

人の安全を確保するため，同発電所の廃炉措置において，様々なロボット技術の導入が求められ，これまでに多くのロボットや遠隔操作機器が活用されている [1]．しかし，原子炉建屋などの建屋内での作業は極めて複雑で，すべての作業を遠隔操作で行うことは困難である．作業員の建屋へのアクセス性を向上させるために，作業エリアを除染することが急務となっている．とりわけ，事故が発生した原子炉建屋内は放射線量が高く，作業員の被曝を低減させる上でも，遠隔操作機器を用いた除染が不可欠となっている．本稿では，これまでに開発・導入された，あるいは開発中の遠隔除染機器について解説する．

2. 建屋内除染への取り組み

福島第一原子力発電所の事故後，平成 23 年 7 月 2 日に米国 iRobot 社製の Warrior に掃除機を取り付け，3 号機原子炉建屋の床面等の清掃を行い，環境線量の低減が図られたが（**図 1**），大きな効果は得られなかった．

並行して，本格的な遠隔除染方法の検討が始められた．除染には様々な方法が存在する．除染すべき作業エリアと汚染の程度に応じて，適切な除染方法を選択する必要がある．「建屋内の遠隔除染技術の開発」の技術カタログ [3] の公募で，活用可能な技術調査が行われた．汚染状態の推定・調査／汚染経路の推定，汚染の種類の分類が行われ（**表 1**），提案された除染技術が**図 2** のように整理された [4]．

原稿受付 2013 年 12 月 24 日
キーワード：Remote Control, Decontamination, Teleoperation, Robot Technology, Decommission, Nuclear Power Plants
*〒 113–8656 文京区本郷 7–3–1
*Bunkyo–ku, Tokyo

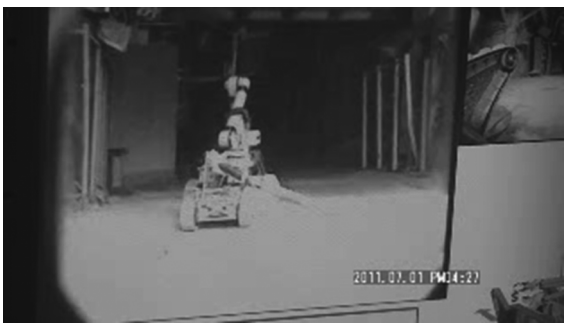


図 1 Warrior による原子炉建屋内除染の様子 [2]

表 1 汚染の種類の分析 [4]

	飛散した汚染の降り積もり	汚染蒸気にばく露	滞留水に浸漬
表面塗装あり	エポキシ塗装されているコンクリート床面に、コンクリート破砕屑が降り積もり	エポキシ塗装されているコンクリート床面が、汚染蒸気や凝縮水に接触しその後乾燥	エポキシ塗装されているコンクリート床面に、滞留水が接触しその後乾燥
表面塗装無し（コンクリート面）	無垢のコンクリート床面に、コンクリート破砕屑が降り積もり	無垢のコンクリート床面が、汚染蒸気や凝縮水に接触しその後乾燥	無垢のコンクリート床面に、滞留水が接触しその後乾燥

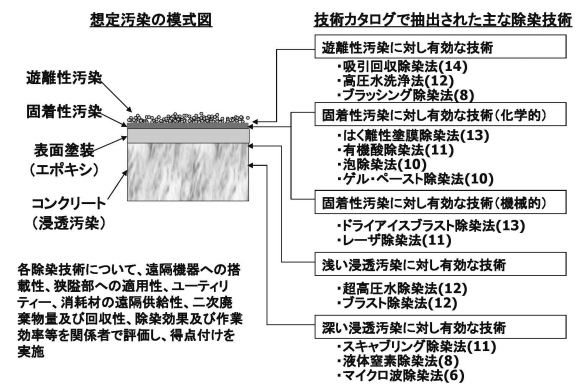


図 2 技術カタログで提案された除染技術 [4]（括弧内は，提案件数）

3. 国プロによる遠隔除染装置の開発

資源エネルギー庁では，平成 23 年度から発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金および基盤整備委託費な

どによって，原子炉建屋内の除染作業などの研究開発が進められている．実施者は，プラントメーカ 3 社（日立 GE ニュークリア・エナジー，東芝，三菱重工業）である．このなかで，上記検討に基づき原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発が進められ，高圧水ジェット洗浄装置（**図 3**），ドライアイスブラスト除染装置（**図 4**），ブラスト除染装置（**図 5**）などが開発された．いずれも，モックアップ試験を終えて現場投入に向けて改良中である．

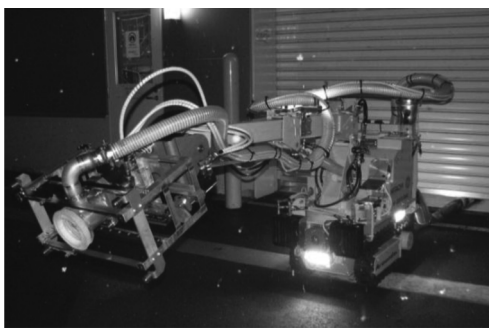


図 3　高圧水洗浄除染装置
（日立 GE ニュークリア・エナジー提供）

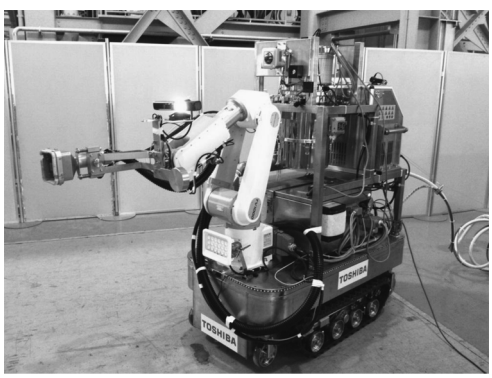


図 4　ドライアイスブラスト除染装置
（東芝提供）

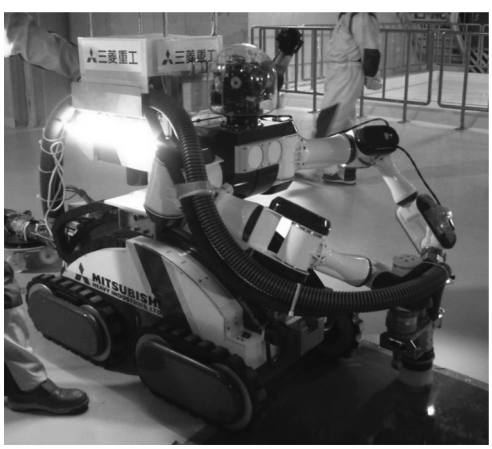


図 5　ブラスト・吸引回収除染装置
（三菱重工業提供）

4.　個別に開発されている遠隔除染装置

平成 25 年 11 月 22 日から，Pentek 社製除染機器が，線量が高く，空中からのアクセスが可能な 3 号機のオペレーションフロアの除染に使用されている．Moose と呼ばれる共通プラットフォームに作業機器（排土用ブレードを有するドーザ，吸引バキューム，はつり作業用スキャブラ）を装備したものが開発され，12 月までに，3 割程度の線量低減をドーザにより達成した．運用時には，**図 6** に示すように，作業機器との間に，通信（有線）・電源ケーブルおよび吸引ホースを中継する装置をクレーンで吊り上げ，その中継装置の下で作業機器を移動させながら除染を行う．

平成 25 年 11 月 28 日からは，ATOX 社が開発した遠隔操作床面除染装置（**図 7**）によって，2 号機原子炉建屋 1 階の除染作業が行われている．この装置は，走行ユニットと



図 6　Pentek 社製除染作業機器（下）と中継装置（上）

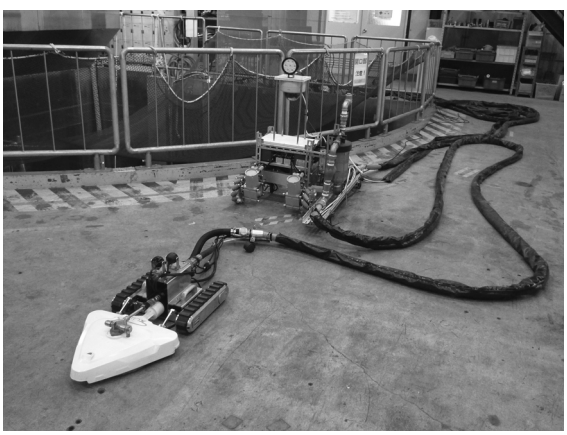


図 7　ATOX 社製遠隔除染装置（走行ユニットと中継ユニット）[5]

中継ユニットから構成される．走行ユニットは，床面に高圧水を供給して除染すると同時に，ヘッド内で排水を吸引する機能を有している．先端部分はジェットヘッド／ブラシヘッドに換装することが可能になっている．中継ユニットは，走行ユニットの給水・排水吸引のためのホースや信号・電源ケーブルの中継用移動台車となっている．

5. お わ り に

本稿では，東京電力福島第一発電所の事故現場において，これまでに開発・導入された，あるいは開発中の遠隔除染機器について紹介した．中長期ロードマップでは，廃炉までに30〜40年かかるとされており[6]，今後も廃炉に向け，さらに多くの遠隔除染機器の開発・導入が求められる．

廃炉の作業が長期化すれば，機器・装置・建造物の劣化などが生じ，リスクが増加するのみならず，不測の事態に対する対応もさらに必要となることが想定される．一刻も早く廃炉を達成すべく努力する必要がある．

本原稿を執筆するにあたり，東京電力（株）田中勤氏をはじめ，多くの方に情報提供などでご協力をいただいた．この場を借りてお礼を申し上げる．

参 考 文 献

[1] 淺間一：“福島原子力発電所の事故対応および廃炉のための遠隔操作・ロボット技術”，日本原子力学会誌 ATOMO Σ，vol.56, no.5, 2014.（掲載予定）
[2] http://photo.tepco.co.jp/date/2011/201107-j/110702-01j.html
[3] http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20120626_01.html
[4] http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/121203/20121203_02f.pdf
[5] http://photo.tepco.co.jp/_1212/131127-02j.html
[6] http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/conference-j.html



淺間 一（Hajime Asama）

1984年3月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了．1986年9月理化学研究所化学工学研究室研究員補．同研究所研究員，副主任研究員を経て，2002年11月東京大学人工物工学研究センター教授．2009年11月同大学大学院工学系研究科教授．日本機械学会フェロー．工学博士（東京大学）．（日本ロボット学会正会員・フェロー）