

- ・ 関係資機材および運搬用車両の準備
- ・ 各種記録の準備など

なお、原子炉建屋内の線量調査のモックアップ試験では、現場と類似した実設備である5号機原子炉建屋を利用することができたため、より本番に近い試験条件を設定し、試験中に発生した課題を解決してから本番に望むことで、ミッションの成功に大きく寄与したと考えられる。

5.4.4.2 ロボットの運用（ミッション当日）

ミッション当日の運用の流れを順を追って説明する。

まず、ミッションを行う直前にはTBM-KYを実施する。関係者は免震重要棟に集まり、計画した作業内容、体制、手順、注意点、役割分担、線量情報等に変更がないか、また、安全のポイント等を再確認する。

続いて放射線防護上必要な装備（タイベック、全面マスク、ゴム手袋、安全靴等）や安全上必要な装備（クールベスト、安全帯等）の着用、および線量計を携帯し、ロボット保管場所に移動する。ここではバッテリー取り付け等の資機材の最終準備を行い、必要な資機材を運搬用車両に積み込み、現場に運搬する。

現場に到着したら、放射線管理員は作業員の行動予定範囲の放射線量を計測し、作業員の放射線管理を行う。

操作箇所は、ロボットのアクセスルートや遠隔操作距離を考慮し、可能な限り放射線量の低い場所に設定する。なお、原子炉建屋内の線量調査の場合は、隣接する他の建屋の線量の低い室内もしくは建屋から数十メートル離れた屋外の線量の低い箇所に停車した放射線遮蔽車内やワゴン車内から操作を行った。

ロボットの遠隔操作は、指揮者、操作者、記録者、撮影者、機材運搬者、連絡者など役割分担された複数名の協働作業となる。指揮者が出す操作指示に基づき操作者がロボットを操縦し、ミッションの達成を目指す。なお、通信が途絶えてしまうとロボットが帰還できなくなることから、無線通信のロボットの場合は無線強度、有線通信のロボットは有線ケーブルの取り回しに特に注意して操縦を行った。

ミッション完了後は、現場を速やかに撤収する。帰還したロボットは放射能汚染が懸念されるため放射線量を計測し、以降の作業における作業員の被曝に注意する。

ロボット保管場所に戻ったら、ロボットの被曝線量の確認、ロボットの外観目視点検および各種採取データの出力などを行う。

免震重要棟では、作業員の被曝線量の確認、関係各所への報告、採取データの確認、広報対応資料の作成などを行う。

5.4.4.3 ロボットの保守

発電所事故復旧対応に適用されたロボットの保守の機会としては、発電所構内への搬入後、操作訓練前後、モックアップ試験前後、ミッション前後、トラブル対応時、懸案事項改良時などが考えられる。しかしながら、発電所構内での保守には以下のような課題がある。

- ・ 全面マスク、ゴム手袋等の放射線防護のための装備を装着した状態での作業となるため、細かな部品の取り扱いや繊細な力加減が必要な調整作業は難しく、作業効率が悪い。
- ・ 放射能汚染したロボットをメンテナンスする場合は、作業員がロボットに接近する必要があるため、被曝が問題となる。
- ・ 発電所構内には放射能汚染したロボットを除染し、整備する適切なメンテナンススペースがない。

なお、クローラ型遠隔調査ロボットの場合は主にクローラが汚染しているため、クローラを除染するか、または短時間で着脱できるようにすることで、メンテナンス中の作業員の被曝を低減できる。

今後、適用されるロボットには、極力メンテナンスフリーとするか、除染しやすくするか、短時間でのアセンブリ交換を可能にするなどの工夫を期待したい。

5.4.5 廃炉に向けたロボット開発

Development of Robots for Nuclear Decommissioning

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた中長期ロードマップでは、以下の3期のプロセスが計画されている。

第1期：使用済燃料プール内の燃料取り出しが開始されるまでの期間（2年以内）

第2期：燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間（10年以内）

第3期：廃止措置終了までの期間（30～40年後）

原子力委員会東京電力福島第一原子力発電所中長期措置検討専門部会では、この極めて困難な課題をいかに解決し、ミッションを達成するかを検討が行われた。特に必要となる研究開発の実施においては、以下の2点が明記されている。

- ・ 国が責任を持って、必要な研究開発を進める
- ・ 国内外の叢智を結集して、中長期の事故収束にあたる

現在ではこの方針に基づき、廃炉に向けた中長期措置のロボットや遠隔操作機器の開発が進められている。

5.4.5.1 政府・東京電力中長期対策会議

上記の原子力委員会の方針に基づき、上記ロードマップの進捗管理を行うために、政府と東京電力株式会社は、中長期対策会議の中に研究開発推進本部を設置するとともに、運営会議でその研究開発の進捗の確認等を行っている。ここでは、経済産業省資源エネルギー庁の発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金（5.0億円）および基盤整備委託費（15.0億円）によって、原子炉建屋内の除染作業、原子炉建屋・格納容器からの漏えい箇所の調査、格納容器内部状況調査、原子炉建屋漏えい箇所止水・格納容器下部補修作業、圧力容器／格納容器の腐食に対する長期健全性評価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・エナジー株式会社、株式会社東芝、三菱重工業株式会社）である。

プラントメーカ3社は、国内外の叡智を結集してこれらの開発を行うべく、除染技術、格納容器漏洩箇所点検、格納容器補修技術、格納容器内部調査技術など、具体的な技術ニーズを明示し、適用可能な技術を公募によって調査し、技術カタログとしてまとめた。国内外のベンダーを対象として、

- 1) 建屋除染に関する技術及び除染システムを搭載遠隔操作に関連する技術
- 2) 遠隔操作等の走行機器や計測機器に関連する技術

に関する公募を行い、395件の技術を技術カタログに収録した。

プラントメーカ3社は、現在、この技術カタログに基づき、各開発項目ごとに公募を行うなどして、国内外の有用な技術を調達しながら、開発を進めている。

5.4.5.2 遠隔技術タスクフォース

上記の政府・東京電力中長期対策会議の研究開発推進本部では、各ミッションごとに個別の研究開発が進められているが、ロボットや遠隔操作機器は、非常に困難なミッションに適用することが求められており、また複数のプロジェクトで共通的に用いられることから、研究開発推進本部の中の横断的な組織として、遠隔技術タスクフォースが設置された。ここでは、様々なニーズに対し、ロボット技術(RT: Robot Technology)をどのように活用し、ミッションを達成するかを検討し、ソリューションを提案したり、一つのアプローチが失敗したことも想定し、そのバックアッププランを提案するなど、各プロジェクトに助言を与える役割を負っている。

これまでに、上記で述べたような機器開発の検討に加

え、原子炉建屋屋上階調査やサブプレッションチェンバーの漏えい箇所の調査、サブプレッションチェンバー内の水位計測などのミッションに対し、それを遂行するための遠隔操作システムの検討などを行った。具体的には、小型飛行船、小型無人ヘリ、懸垂機構、水中遊泳ロボットなどを活用した調査システムや、様々な計測手法の検討を行った。

中長期措置においては、上記のミッションは遅からず遂行することとなるため、本タスクフォースでの議論に基づき、技術開発を開始することが検討されている。

5.4.5.3 NEDO災害対応無人化システム

経済産業省産業機械課とNEDOは、平成23年度第三次補正予算で災害対応共通基盤技術として、災害対応無人化システムプロジェクトを開始した（10.0億円）。開発項目は以下の通りである。

- (1) 作業移動機構の開発
 - a) 小型高踏破性遠隔移動装置の開発
 - b) 通信技術の開発
 - c) 遠隔操作ヒューマンインタフェースの開発
 - d) 狭隘部遠隔重量物荷揚／作業台車の開発
 - e) 重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車の開発
- (2) 計測・作業要素技術の開発
 - f) 大気中・水中モニタリング／ハンドリングデバイス等の開発・改良
 - i) 大気中モニタリングデバイス／水中モニタリングデバイス
 - ii) 汚染状況マッピング技術
 - iii) ハンドリングデバイス技術
- (3) 災害対策用作業アシストロボットの開発
 - g) 作業アシストロボットの開発

これは、原発事故対応を目的としたプロジェクトではないが、ここで開発されている技術は、福島原発事故の中長期措置にも適用可能な技術であり、実際、活用が大きいと期待されている。図5.4.15に開発されている様々な機器やシステムの概念図を示す。

5.4.5.4 東京電力株式会社や各プラントメーカ独自による開発

これまでに述べた機器開発は、いずれも国の補助金や委託費で進められているものであるが、これとは別個に東京電力株式会社が直接ディベロッパーに開発を依頼して、導入を進めているシステムや、各プラントメーカなどが独自の予算で開発しているシステムなどがある。前者の例としては、QuinceやRosemaryなどの千葉工業大学

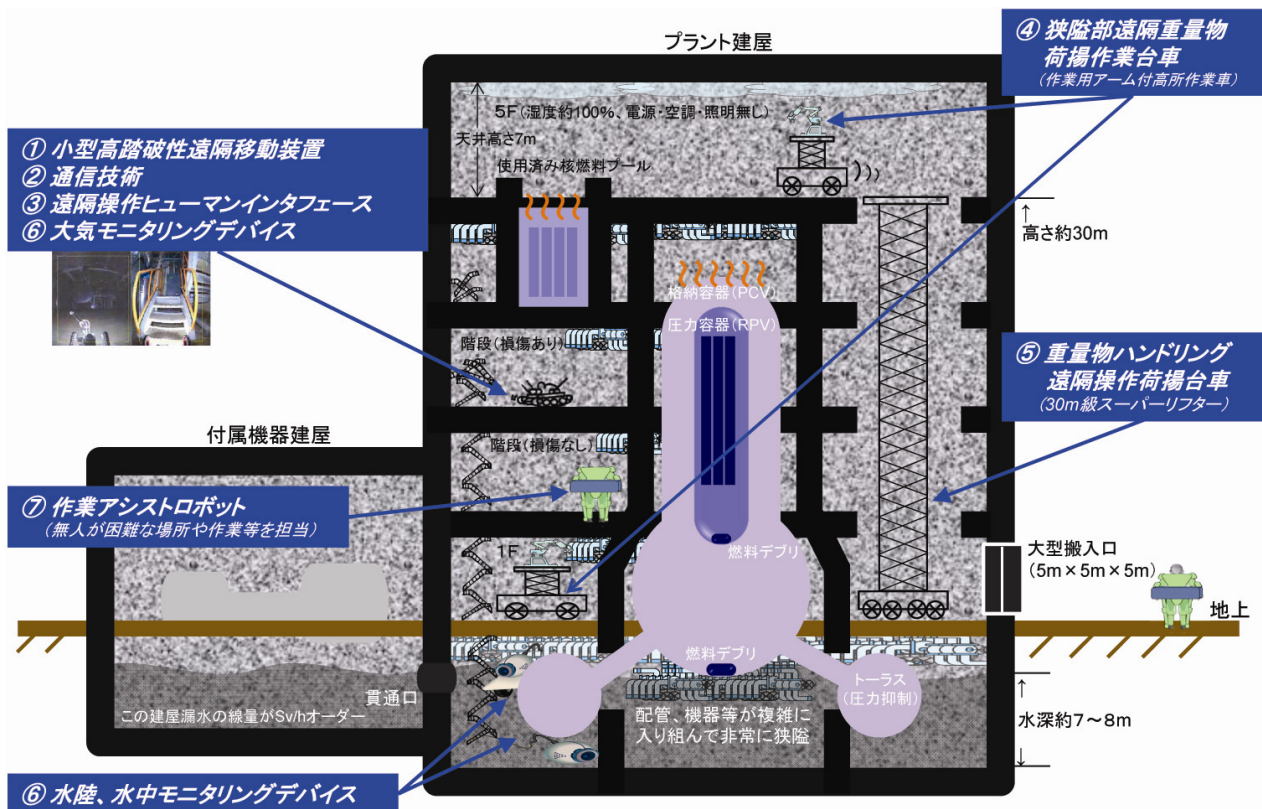


図-5.4.15 NEDO災害対応無人化システムで開発されている機器やシステムの概念図

Fig-5.4.15 Outline of equipments and systems developed by NEDO

などが開発を行ったロボットや、トピー工業が開発を行ったSurvey Runnerなどが挙げられる。いずれも原子炉建屋内の調査に用いられている。また、後者の例としては、東芝が開発した、4足歩行ロボットと小型走行車がある。これはトラス室のベント管の調査用として用いられた。さらに、三菱電機特機システムは、FRIGO-MAを開発した。これは、格納容器ガス管理システムのダクトの状況調査に使用される予定である。

5.4.5.5 今後の開発について

前述のように、福島原発の廃炉に向けた中長期措置は、30~40年かかると考えられており、今後も、作業員が入ることが困難な環境で様々な作業が求められている。それを実施するためのロボットや遠隔操作機器の開発、導入は継続的に行う必要がある。原子炉建屋の内部の環境は非常に複雑で、ミッションを遠隔から行うことは容易ではない。ロボット本体の性能のみならず、電源や通信システム、耐放射線、頑健性・信頼性を考慮して、システムを設計・構築する必要がある。

経済産業省資源エネルギー庁は、発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費および補助金を平成25年度も予算要求として計上しており、これが認められれば、

継続して原子力発電所の廃炉に向けた遠隔操作機器・装置等の技術開発が行われることになる。

技術カタログについては、今後も継続的な保守・さらなる充実化を図る必要がある。現在のカタログに含まれていないより広範囲な技術、研究開発中ではあるが非常に有望な技術、要素技術以外のシステムインテグレーション技術、これまでの活用したロボットや機器の実績や評価、などもカタログとしてデータベース化、アーカイブ化し、広く活用できるようにすることが望ましい。そのためには、技術カタログの充実化・運用は、今後学協会の協力も得ながら、外部組織で行うことを検討することが有効であろう。

また、資源エネルギー庁が計画している、開発されたロボットや機器の実証試験やオペレータの訓練を行うためのモックアップ施設の構築、総務省が行っているホワイトスペースなどの無線インフラの活用、総合的な省庁連携、さらには産学官連携による研究開発、人材育成などが重要になる。

さらに、福島原発の廃炉に向けた研究開発が、今後起こり得る原子力災害に対する備えにつなげることも重要である。電気事業者連合会が構築を進めている原子力緊急自体支援組織との連携を図ることも肝要である。

参考文献

- 1) Kawatsuma, S., et al, “JAEA Robotics’ Emergency Response to FUKUSHIMA-DAIICHI Accident - Summary and Lessons Learned -”, *Proceedings of the 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics* (2012), pp.19-21.
- 2) 岡田尚, 中井宏二, 五十嵐幸, 川妻伸二, “遠隔操作技術に関わる福島第一原子力発電所事故対応 (2) ロボットコントロール車の開発”, 日本原子力学会「2012年春の年会」(2012), E10.
- 3) 三村竜二, 金山文彦, 岡田尚, 川妻伸二, “遠隔操作技術に関わる福島第一原子力発電所事故対応 (3) ガンマ線可視化計測装置搭載偵察プラットフォームの開発”, 日本原子力学会「2012年春の年会」(2012), E11.
- 4) Kawatsuma, S., et al, “Emergency response by robots to Fukushima-Daiichi accident : Summary and lessons learned”, *Industrial Robot : The international journal of industrial and service robotics*, vol. 39, No. 5 (2012), pp.428-435.
- 5) 田所諭, “閉鎖空間内高速走行探査群ロボット”, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 10 (2009), pp.1107-1110.
- 6) 田所諭, 被災建造物内移動RTシステムについて, ロボット(2010), pp.14-17, 日本ロボット工業会.
- 7) Rohmer, E., Yoshida, T., Ohno, K., Nagatani, K., Tadokoro, S., Koyanagi, E., “Quince: A collaborative mobile robotic platform for rescue robot research and development”, *Proceedings of International Conference on Advanced Mechatronics* (2010), pp.225-230.
- 8) Nagatani, K., Kiribayashi, S., Okada, Y., Yoshida, K., Tadokoro, S., Nishimura, T., Yoshida, T., Koyanagi, E., Fukushima, M., Kawatsuma, S., “Emergency response to the nuclear accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants using mobile rescue robots”, *Journal of Field Robotics*, Vol. 30, Iss. 1 (2003), pp.44-63.
- 9) <http://www.tepco.co.jp> (参照日2012年11月15日).
- 10) 原子力委員会福島第一原子力発電所中長期措置検討専門部会：東京電力株式会社福島第一原子力発電所における中長期措置に関する検討結果, (2011).