

## 特別寄稿

# 廃炉技術開発に向けた中長期ロードマップと研究拠点整備

(独)日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門  
福島廃炉技術安全研究所 所長

河村 弘

### 1. 東京電力福島第一原子力発電所の現状

東京電力福島第一原子力発電所（以下、1F と称す）は、図 1-1 に示すように東京の北北東約 220km 離れた福島県の太平洋岸のほぼ中央、双葉郡の大熊町と双葉町にまたがって立地しており、その敷地面積は約 350 万 m<sup>2</sup> である。

東北地方太平洋沖地震（以下、東日本大震災と称す）が発生した 2011 年 3 月 11 日時点で、1F で運転中であった原子炉は 1～3 号機であり、4～6 号機は点検のため、停止中であった。運転中の 1～3 号機は同日 14 時 46 分に発生した地震を感知し、直ちに制御棒が自動挿入され、緊急停止した。一方、地震により 1F への送変電設備が損傷したため、全外部交流電源を喪失した。外部交流電源が喪失したことに伴い、非常用ディーゼル発電機が直ちに起動したものの、約 1 時間

後に襲来した約 15m の津波（最大想定津波は 5.7m）により非常用ディーゼル発電機も作動不能に陥り、全交流電源喪失状態となった。このため、原子炉を冷却するための送水ポンプの稼働ができなくなり、原子炉は冷却不能状態となった。冷却できなくなったことから崩壊熱により原子炉内の水が蒸発、高温状態となり、原子炉圧力容器内でジルコニウム－水反応により水素が発生した。この水素が原子炉圧力容器底部の損傷部から格納容器、格納容器貫通部から原子炉建屋へと漏洩し、原子炉建屋上部等で水素爆発を発生させ、放射性物質の外部への流出につながった。

放射性物質の外部への流出に起因する空間線量率の分布を航空機モニタリングにより測定した結果（H23.4.29 及び H25.9.28 換算）を図 1-2 に示す。どちらも 1F の北西方向に 19.0 μSv/h 以上の空間線量率の

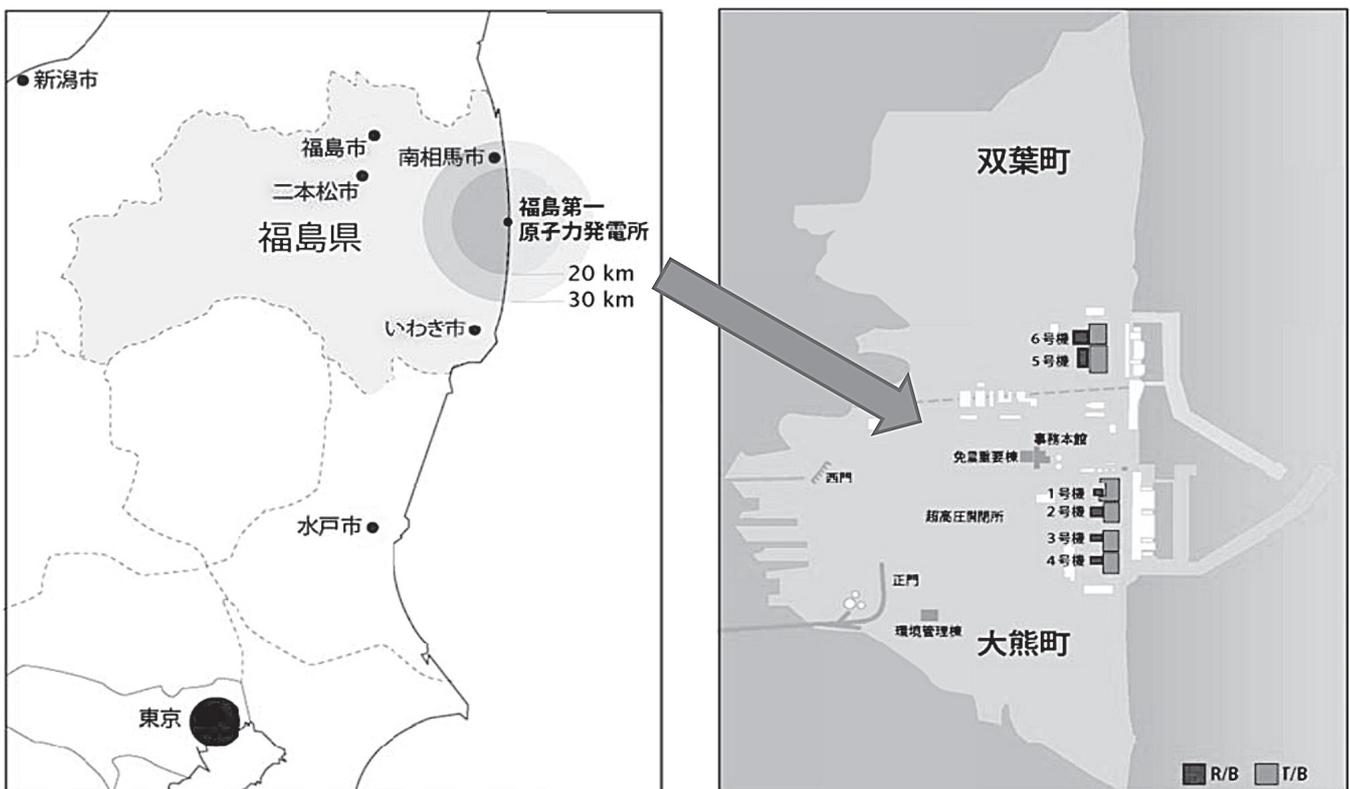
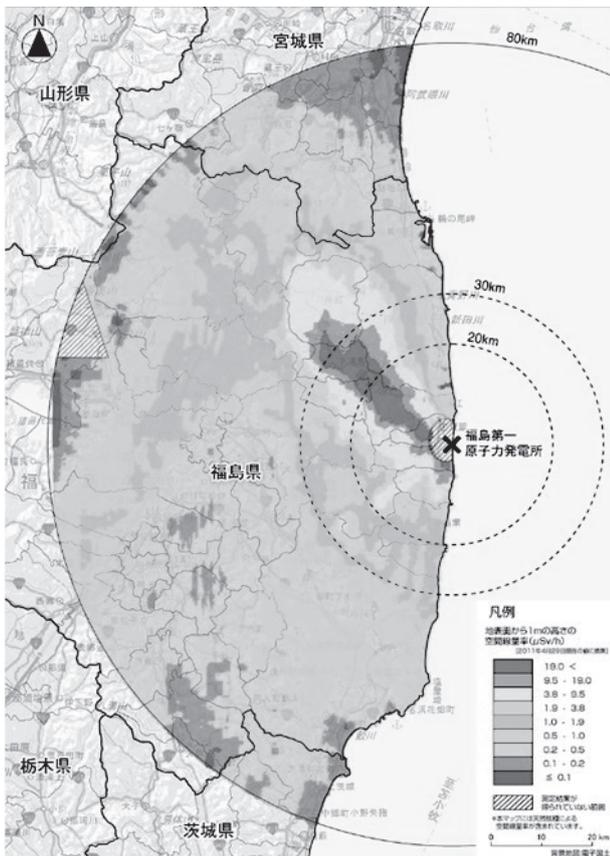
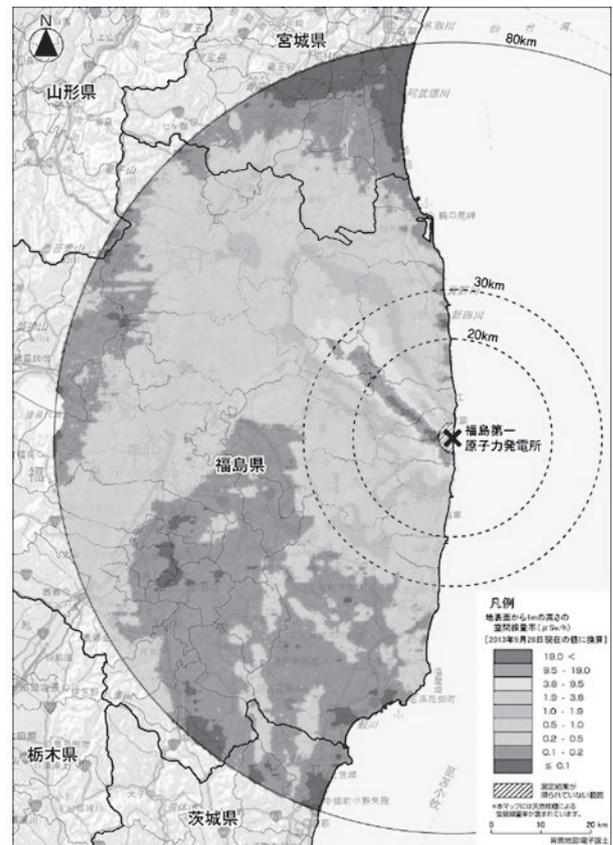


図 1-1 東京電力福島第一原子力発電所の位置<sup>[1]</sup>



第1次航空機モニタリングの空間線量率の測定結果  
(H23.4.29 換算)



第7次航空機モニタリングの空間線量率の測定結果  
(H25.9.28 換算)

図1-2 1Fを中心とした空間線量率<sup>[2]</sup>

高い地域が見られるが、H25.9.28の方が全体的に空間線量率が低下していることがわかる。

また、現在1Fの原子炉建屋には、山側からの地下水が1日当たり約400m<sup>3</sup>が流入している。さらに原子炉を冷却するために1日当たり320m<sup>3</sup>の冷却水を原子炉建屋に注入していることから、約800m<sup>3</sup>の汚染水が処理されている。汚染水は、セシウム吸着装置により大部分のセシウムが除去された後、淡水化装置により塩分が除去された処理水と塩分が濃縮された汚染水に分離され、処理水は冷却水として再利用されている。汚染水についてはタンクに貯蔵されている。

## 2. 廃炉技術開発の概要

2011年3月11日に起きた東日本大震災に伴い発生した1Fの事故に係る緊急事態応急対策を推進するため、原子力災害対策本部会議（本部長：内閣総理大臣）が、原子力災害対策特別措置法（平成11年法律第156号）に基づき設置された。同会議の下に1Fの廃炉・汚染水問題の根本的な解決に向けて、政府が総力をあげて取り組むため、廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議

（議長：内閣官房長官）が設置された。さらに、この下に廃炉・汚染水問題について、現地での情報共有や連携強化等を図る廃炉・汚染水対策現地調整会議（議長：経済産業大臣）、廃炉・汚染水対策の方針の検討・中長期ロードマップ<sup>[3]</sup>の進捗管理等を行う廃炉・汚染水対策チーム会合（チーム長：経済産業大臣）、汚染水処理について、これまでの対策を総点検し、問題を根本的に解決する方策や、漏えい事故への対処を検討する汚染水処理対策委員会（委員長：有識者）が設置された。

原子力機構は、技術研究組合国際廃炉研究開発機構と連携しつつ、これらの会議体に施設整備計画や研究開発計画の提示・報告を行いながら、施設整備や研究開発を進めている。以下に原子力機構で行っている研究開発の例を述べるとともに、4節では施設の整備について述べる。

### (1) 炉内状況の推定

燃料デブリ取り出しに向けて、原子炉内の状況を把握することが必要であり、様々な手法を用いた炉内計

測と解析コードを組み合わせ、炉内状況を調査している。シビアアクシデント総合解析コード MELCOR を用い、福島第一原子力発電所 1 号機から 3 号機のプラント内における燃料分布の解析を行い、压力容器から落下した  $UO_2$  燃料の重量割合を評価した結果を表 2-1 に示す。同表は、炉心の多くが損傷・溶融し、原子炉容器の下部ヘッド上あるいは格納容器内に落下している可能性が高いことを示している。

表 2-1 压力容器から落下した  $UO_2$  の重量割合評価結果<sup>[4]</sup>

|      | JAEA | 東電   |
|------|------|------|
| 1 号機 | 100% | 100% |
| 2 号機 | 70%  | 57%  |
| 3 号機 | 64%  | 63%  |

落下した溶融物が、どのように移行して下部ヘッドの底に蓄積するのかについて解析的に調べるために、炉内を簡略模擬した体系で予測した結果を図 2-1 に示す。同図では左から順に燃料が溶融する様子を示しており、白く表示されているものが溶融物で、炉心支持板に落下した溶融物の一部が制御棒案内管の内部に流れていくことがわかる。また、溶融物の一部は、案内管のオリフィスから外部に流出し、下部ヘッドに蓄積していく様子が見てとれる。

図 2-2 では、炉心にある燃料の 10% が下部ヘッド上に堆積した場合についての熱流動・構造連成解析を実施し、压力容器下部ヘッドへの熱影響や破損モードに関して検討した結果の例を図 2-2 に示す。この結果

から、制御棒案内管での熱伝導（熱の逃げ）が大きい場合はクリープ変形による破損が下部ヘッド上部のスタブチューブの付け根部で、小さい場合は溶融破損が下部ヘッド中央部近傍のスタブチューブ上部と制御棒案内管の境界部で起こりやすいことがわかる。

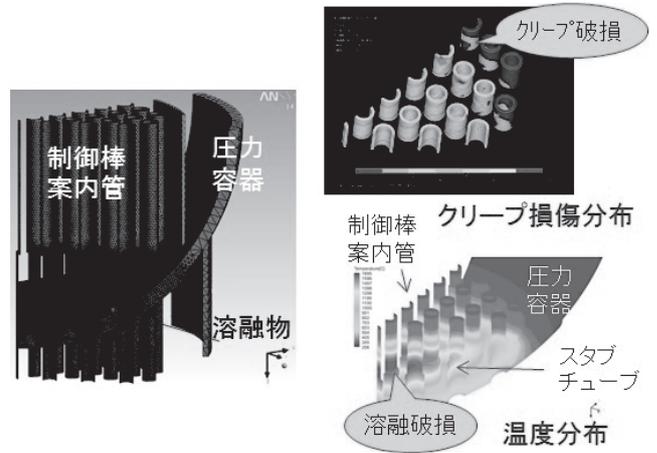


図 2-2 压力容器下部ヘッドの熱流動・構造連成解析の一例<sup>[6]</sup>

## (2) BWR 炉心下部を模擬した燃料溶融試験

解析コードによる推定を進める一方、BWR の下部を部分的に実物大に模擬した試験装置を製作し、模擬物質やウランと金属の溶融物を落下させ、溶融物の移行挙動を調べることを検討している。1979 年に起きた TMI 事故以降、PWR を対象とした試験は各国で多く実施されているが、BWR を対象とした試験研究は比較的少ないことから、この試験を実施することにより BWR のシビアアクシデントの現象把握がより深まり、廃止措置に必要な炉内状況の推定などが大きく進捗するものと考えている。

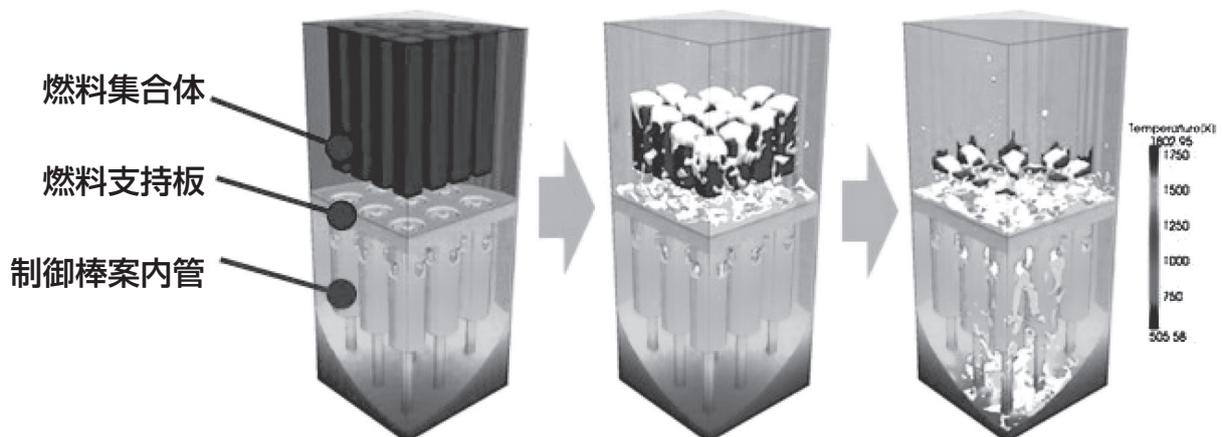


図 2-1 燃料溶融シミュレーション結果の例<sup>[5]</sup>

### (3) 燃料デブリ特性の推定

原子炉内に存在する燃料デブリや溶融炉心-コンクリート反応生（MCCI生成物）をどのように取り扱うかは廃止措置等における重要な課題の1つである。図2-3に示すように、これらは取出し後、ある程度の期間保管された後、最終処分されると想定しているが、取出し、一時保管、処置の各段階において、工法・工具等の開発、臨界安全管理等の技術開発が必要になり、これらの技術開発で必要となる、デブリの密度・硬さ、熱伝導率、最小臨界量等のデータの取得を進めている。まず、機構で保管しているTMIデブリや模擬デブリを用いた試験で一部データを取得している。

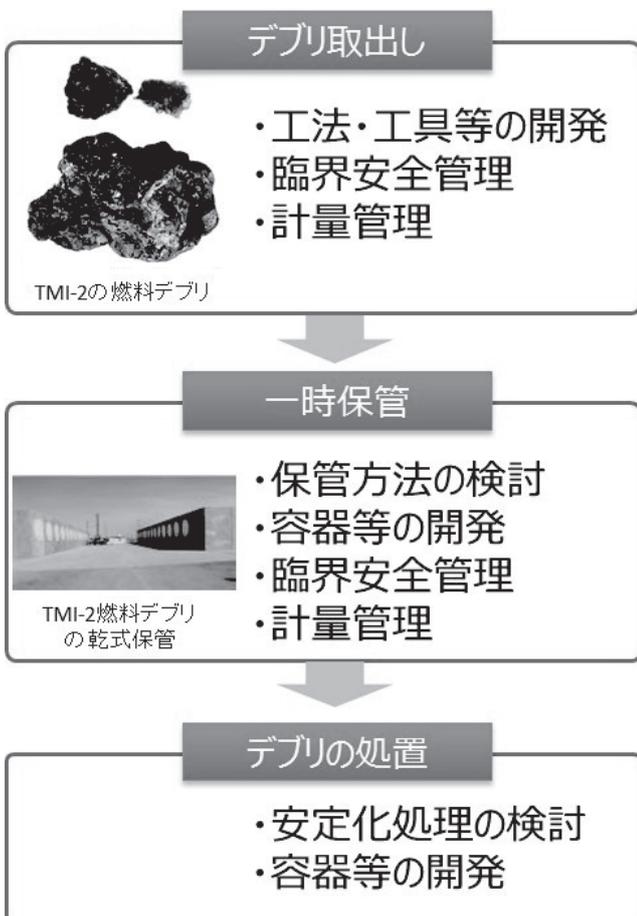


図2-3 デブリ処置までの流れ<sup>[4]</sup>

### (4) 臨界管理技術の開発

事故を起こした原子炉の圧力容器内、格納容器内には様々な燃料デブリの存在が予想される。また、燃焼度が低く、比較的残留濃縮度が高い状態で残存している可能性もある。このような燃料デブリを水中で砕いて取り出す場合の臨界になり得る量を試算した結果を表2-2に示す。その結果、12GWD/tの燃焼度で、FPがある場合、約2トン程度のウラン量で臨界になりう

る可能性があることがわかった。これは燃料デブリの全体量に比べて小さく、臨界防止のためには、燃料デブリの局所的な性状に注意して、慎重な管理が必要であることがわかった。

表2-2 溶融燃料とコンクリートの反応生成物の臨界量の推定<sup>[7]</sup>

| 組成                        | 臨界量(kgU) | 集合体数 |
|---------------------------|----------|------|
| UO <sub>2</sub> (濃縮度5wt%) | ~400     | <3   |
| 12GWD/t (FPなし)            | ~800     | <5   |
| 12GWD/t (FPあり)            | ~2000    | <12  |

燃料:コンクリート体積=1:7、コンクリート中の水分のみ考慮

### (5) 放射性廃棄物の処理・処分の研究

1Fサイトで発生した廃棄物に関しては、性状に関する情報が現時点では限定的であることから、安全側に仮定した性状を基に保管、廃棄体化、処分の検討を進めつつ、段階的に全体の評価の精度を高めることを考えている。性状把握については、放射性廃棄物の処分の安全性評価に重要となる核種の分析をするため、現地でのサンプリングを行うとともに、核種組成、物理特性、化学組成等の評価を進めていく。

長期保管については、水の放射線分解により発生する水素の安全評価等を実施し、総合的な安全性の評価及び安全性を更に向上させるための対策案の検討を実施する。廃棄体化については、幅広に廃棄体化技術を調査した上で、ガラス固化のようなオーソドックスな廃棄体化技術に加え、ジオポリマー等の新規技術に関する基礎試験結果を基に技術の絞り込みを実施していく。

処分に関しても、わが国でこれまで検討されてきた既存処分概念に加えて、海外の処分概念等を幅広く調査・整理した上で、安全性・経済性等の視点から福島事故で発生した放射性廃棄物に適した処分概念の検討を実施する。

## 3. 中長期ロードマップ

1Fについては事故発生後、政府及び東京電力は、「東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋 当面の取組ロードマップ」をとりまとめ、これに基づいて事故の早期収束に向けた取組を進めてきた。2011年7月には、上記ロードマップにおけるステップ1の目標である「放射線量が着実に減少傾向にある」状況の達成、同年12月には、ステップ2の目標である「放射性物質の放出が管理され、放射線量

が大幅に抑えられている」状況を達成した。

中長期の取組みについては、2011年8月の原子力委員会に設置された「東京電力（株）福島第一原子力発電所における中長期措置検討専門部会」により、1Fの1～4号機の廃止措置に係る技術課題や研究開発項目の整理が行われ、「燃料デブリ取出し開始までの期間は10年以内を目標。廃止措置がすべて終了するまでは30年以上の期間を要するものと推定される」との整理が行われた。2011年11月には、経済産業大臣及び原発事故収束・再発防止担当大臣より、廃止措置等に向けた中長期ロードマップを策定するよう、東京電力、資源エネルギー庁及び原子力安全・保安院（当時）に対して指示が出され、2011年12月21日に原子力災害本部政府・東京電力中長期対策会議において中長期ロードマップの初版を決定した。

その後、ステップ2完了以降も漏水などのトラブルが発生していた状況を受けて東京電力は、原子力安全・保安院（当時）の指示を受け、中長期的な信頼性向上のために優先的に取り組むべき事項についての具体的な計画（以下「信頼性向上計画」という）を策定し、2012年7月25日には、原子力安全・保安院（当時）から評価結果が公表された。これを受け、2012年7月30日、信頼性向上計画や、それまでの取組みの進

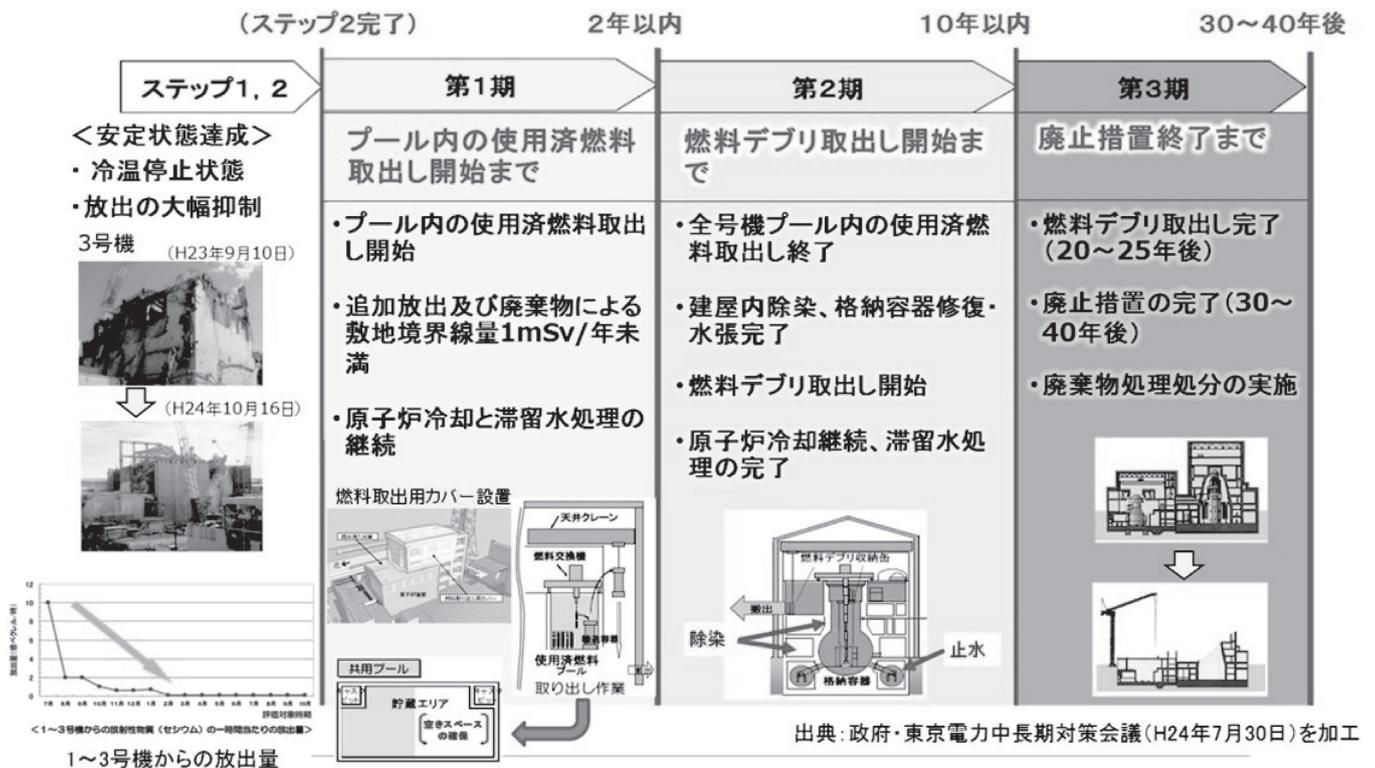
捗状況を反映して中長期ロードマップの改訂が行われた。

さらに、2013年2月8日、原子力災害対策本部において、燃料デブリ取出し等に向けた研究開発体制の強化を図るとともに、現場の作業と研究開発の進捗管理を一体的に進めていく体制を構築することを目的として、1F廃炉対策推進会議（以下「廃炉対策推進会議」と称す）が設置された。これに伴い、政府・東京電力中長期対策会議は廃止された。第1回廃炉対策推進会議が2013年3月7日に開催され、燃料デブリ取出しのスケジュール前倒しなど検討を進め、同年6月中を目途に「改訂版ロードマップ」を取りまとめるよう、議長である茂木経済産業大臣から指示された。これを受け、中長期ロードマップの改訂版がとりまとめられ、廃炉対策推進会議で6月27日に決定された<sup>[3]</sup>。中長期ロードマップの主要スケジュールを図3-1に示す。

#### 4. 研究拠点整備

##### (1) 整備主体決定の経緯

福島廃炉技術安全研究所<sup>[8]</sup>は、1Fの廃止措置に向けた研究開発を遂行するために2013年4月1日に発足した。福島廃炉技術安全研究所で取り組まれる課題は、原子炉からの燃料デブリの取出し準備に係る技術



ステップ1:「放射線量が着実に減少傾向にある」状況を達成(H23年7月19日)

ステップ2:「放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられている」状況を達成(H23年12月16日)

図3-1 中長期ロードマップの主要スケジュール<sup>[3]</sup>

開発と、1Fの廃止措置に伴って発生する放射性廃棄物の処理・処分に必要な技術の開発の2つに大別される。この2つの技術開発を行う施設として中長期ロードマップでは「遠隔操作機器・装置の開発実証施設」(以下、「モックアップ試験施設」と称す)と「放射性物質の分析・研究施設」(以下、「分析・研究施設」と称す)が計画されており<sup>10)</sup>、福島廃炉技術安全研究所が両施設の整備を実施しているところである。図4-1に示すようにモックアップ試験施設は福島県楢葉町に、分析・研究施設は同大熊町に建設する。

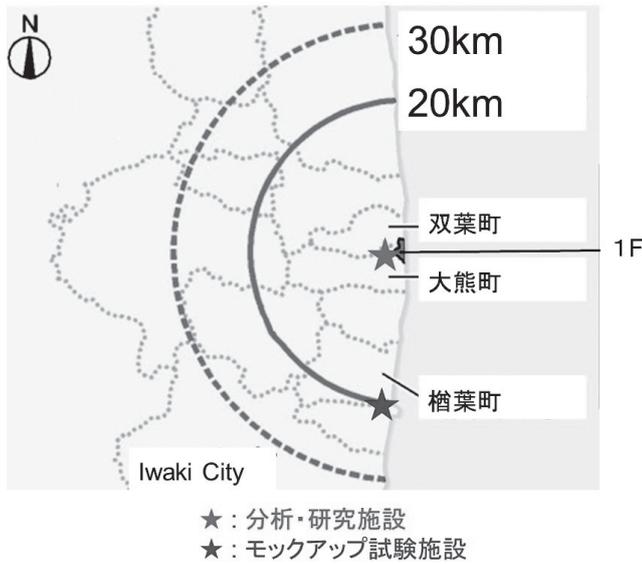


図4-1 施設建設地

(2) 遠隔操作機器・装置の開発・実証試験施設<sup>11)</sup>

燃料デブリの取出し準備に関しては、1) 現場状況の調査、2) 除染及び3) 原子炉格納容器下部(以下、PCV)の漏洩箇所の止水のために、遠隔操作機器(ロボット)の開発が必要となる。なお、実際の燃料デブリの取出し作業に際しては、作業者が立ち入れない場所もあることから、上記以外の遠隔操作機器の開発も必要となる。

これらの技術を開発するための施設としてモックアップ試験施設を福島県楢葉町に整備する(一部平成26年8月契約、平成27年度末までに竣工予定)。モックアップ試験施設は、研究管理棟(4階建てで35m×25m×20m)と試験棟(1階建てで60m×80m×40m)から構成される。図4-2に示すように建屋は敷地内法面に平行する形で上段敷地に研究管理棟を、下段敷地に試験棟を配置、外周に構内道路と法面に歩行者用階段を設ける。試験体の組立て・試験・解体のスムーズな搬入を考慮して、試験棟両側(東西)には、試験体資材の搬入エリアと解体エリアを配置する。また、試験棟北側には、将来、増築可能なスペースを確保する。入構門2箇所を配置し、主に上段入構門は人及び一般車両の入構を、下段入構門は大型トレーラ等の資材搬入車両の入構のために使用する。

試験棟には、原子炉格納容器下部の漏洩箇所の補修・止水技術の実証試験、1F建屋内での調査・除染等のために必要な遠隔操作機器の開発実証試験を実施する

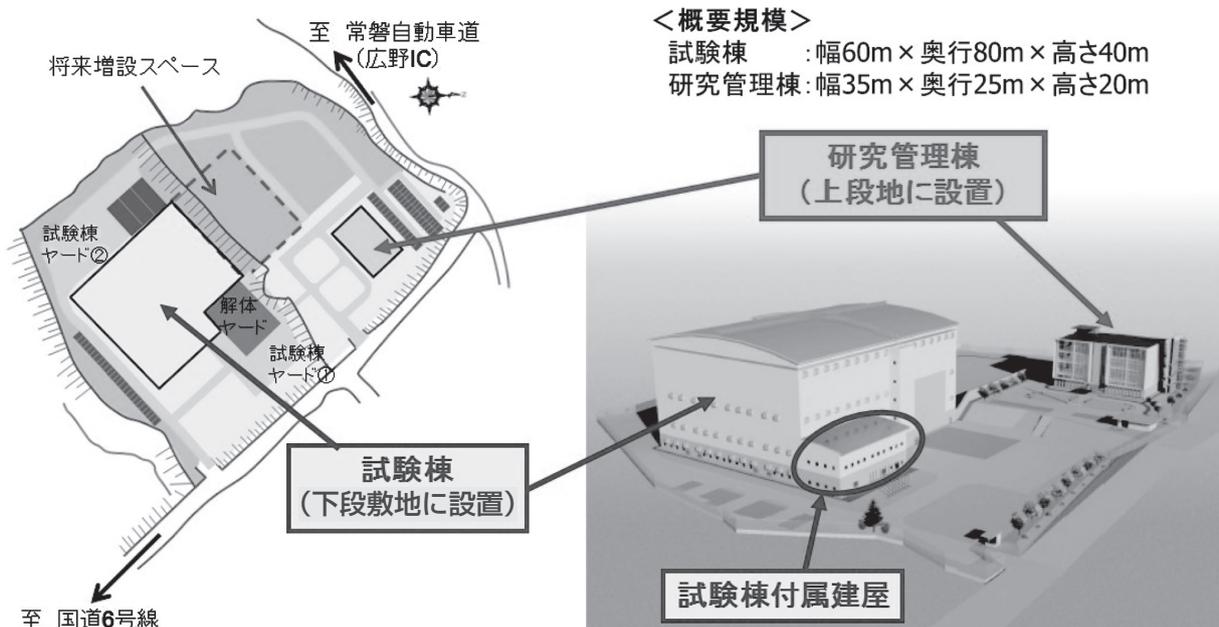


図4-2 モックアップ試験施設<sup>11)</sup>

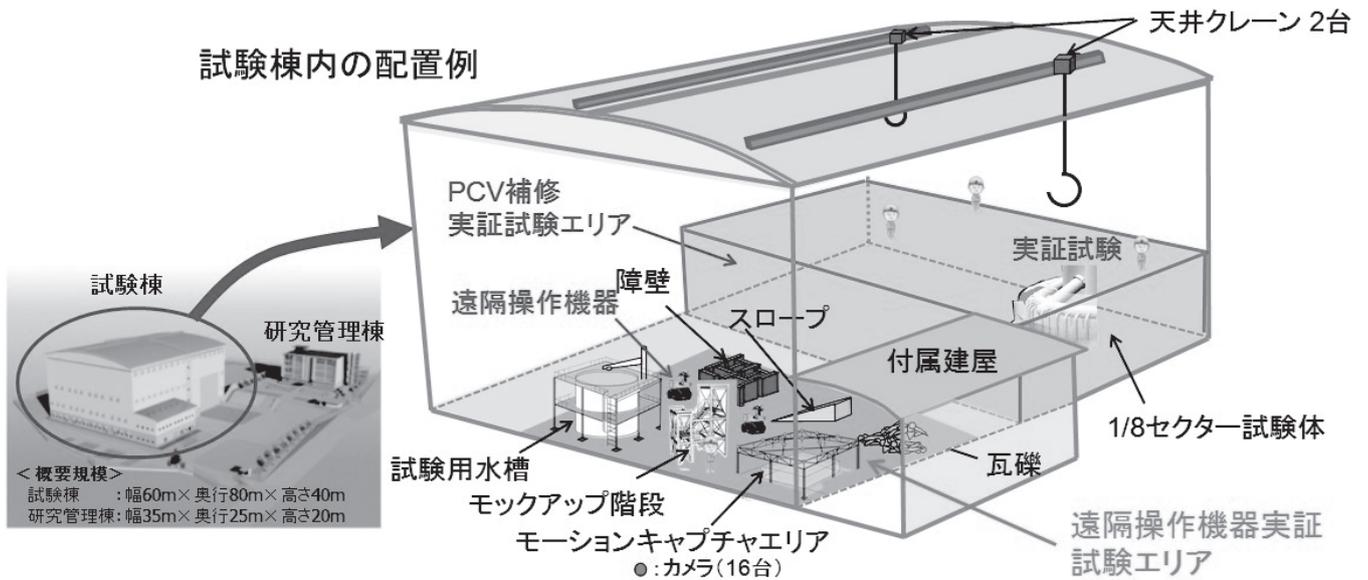


図 4-3 試験棟内の配置例<sup>[11]</sup>

ための各種試験設備が設置される。図 4-3 にその配置案を示す。このような試験を実施するため、試験棟には自由な試験設備を組める揚重設備、大型構造物を搬入設置できる搬入口・搬入経路・床強度・固定設備、性能実証に必要な空間サイズ（有効平面・有効高さ）、実証試験に必要な動力・照明・空調・通信・給排水・各種機器設備、人が行き来できるキャットウォーク・昇降設備等を整備する。

研究管理棟には、図 4-4 に示すように 1F の現場環境・作業を模擬可能な最新の没入型のバーチャルリアリティシステムの開発・導入を計画している。バーチャルリアリティシステムを活用することにより、「仮想現実空間の中で計画した作業を実施することによる、

作業方法・手順等の適切性の確認」及び「容易に立ち入れない現場での作業を仮想現実空間で体験することによる、作業員の教育及び遠隔操作機器の操作訓練の実施」が可能となる。

また、遠隔操作機器の開発にあたり、機器を製作する前に機能を確認し、開発を効率化するロボットシミュレータについても、他の研究機関と協力しながら開発・導入する予定である。ロボットシミュレータの開発・導入にあたっては、開発者毎に異なるロボットシミュレータの統一化を図るため、産総研で開発している汎用ロボットシミュレータソフトウェアをベースに開発する。ロボットシミュレータの構成案を図 4-5 に示す。

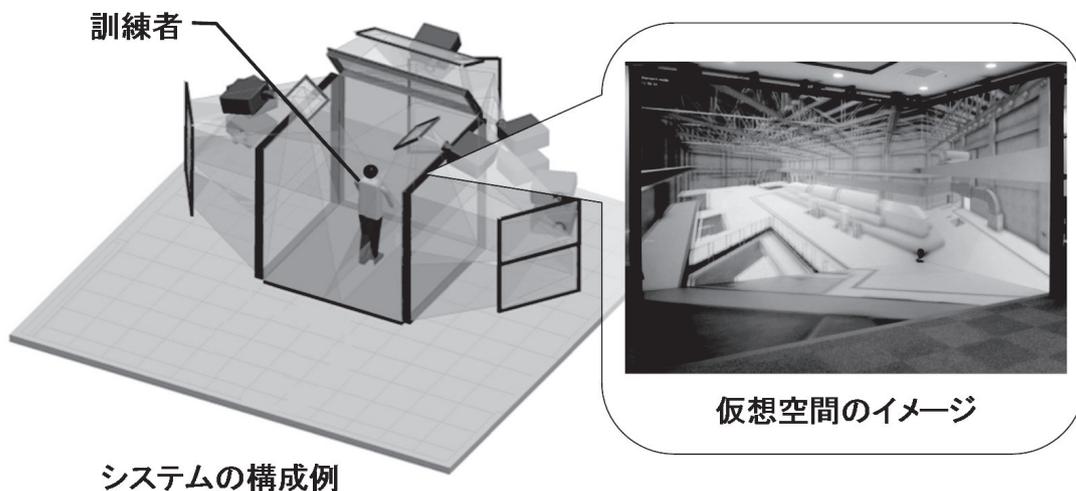


図 4-4 バーチャルリアリティシステム<sup>[11]</sup>

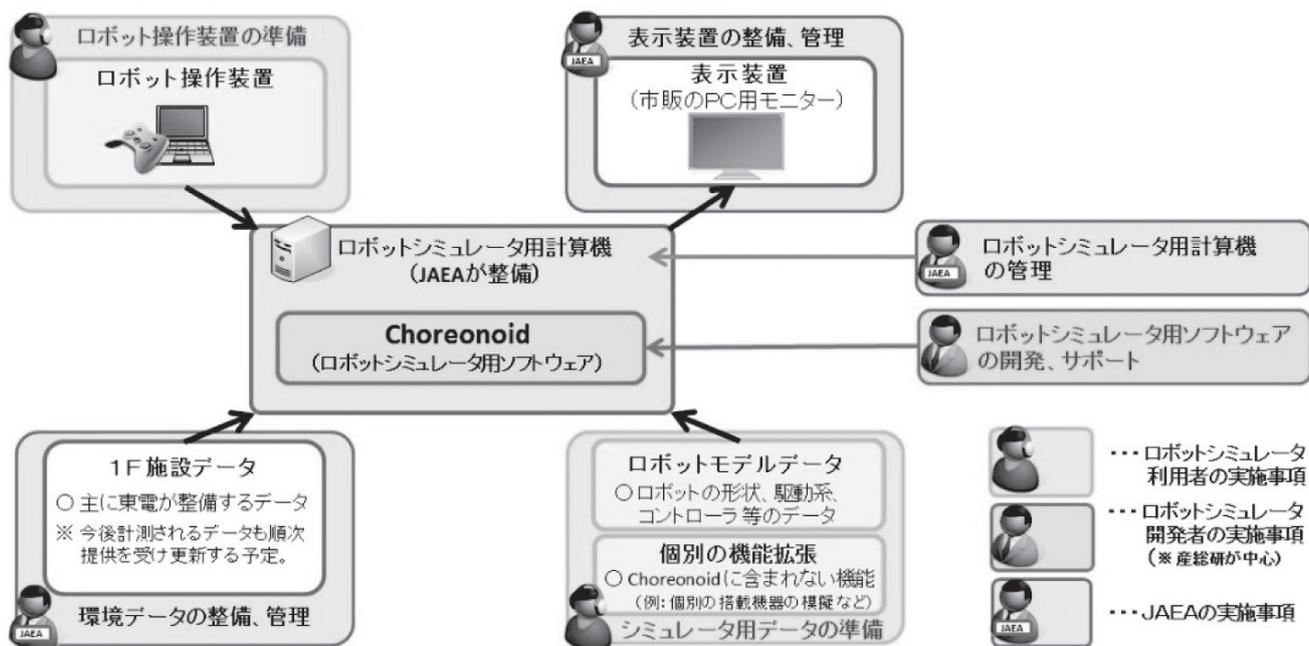


図 4-5 ロボットシミュレータの構成<sup>[11]</sup>

モックアップ試験施設の利用拡大については、本施設にしかない機能を整備すること、1F の環境を模擬した試験ができること、ロボットの標準化された性能評価・認証の場の構築等について継続的に検討していくことが必要である。特に災害対応ロボットの世界共通認証制度が構築できれば、ロボットやロボット操作者の能力レベルが明らかになり、世界との競争力を高めるための指標が明確化されるとともに、一般生活環境へのロボットの普及にも貢献できる。そのために、世界共通認証制度の構築へ向けての国際協力を進めているところである。また、モックアップ試験施設の隣接地に企業や廃止措置研究を行う拠点大学を集結、産官学が有機的に連携しあえる環境を構築することが利用拡大に向けて必要である。

### (3) 放射性物質の分析・研究施設<sup>[12]</sup>

放射性廃棄物の処理・処分に関しては、放射性廃棄物の性状（放射性核種の濃度や物理特性の評価等）の分析・評価や放射性廃棄物保管中の安全性の評価、放射性廃棄物の廃棄体化のための試験（放射性廃棄物を処分できる形態にするための実証試験）、処分の安全性を評価する技術等が必要となる。福島廃炉技術安全研究所では、これらの技術開発を行うための施設として、大熊町の 1F 隣接地に分析・研究施設の整備を進めている。同施設は、「低・中放射線量のガレキ類、汚染水二次廃棄物等を扱う第 1 期整備施設」及び「高放射線量の汚染水二次廃棄物、燃料デブリ等を扱う第 2 期整備施設」から構成され、各々 2018 年度及び 2020 年度の運用開始を目指している。分析・研究施設に設置する装置・設備の例を図 4-6 に示す。また、同施設を整備するにあたっては、以下の事項に留意している。

#### ① 分析に係るルーチン業務と研究開発の同時実施

○開発された成果に基づき行う、ガレキ等の放射性物質の定常的なルーチン分析と、新たな分析手法等の改良・開発のために行う研究開発を同時に実施できること。

#### ② 多様な試験への柔軟性

○試験機器の交換を前提とした多目的セル及び多様な試料を取り扱えるハンドリング設備の設置を検討する。

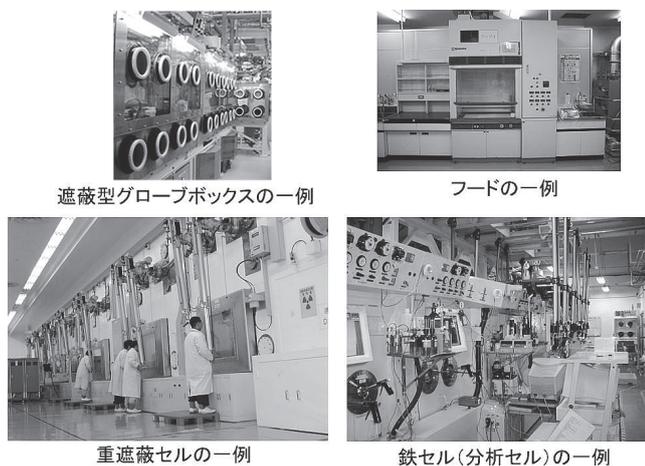


図 4-6 分析・研究施設内に設置する装置・設備の例

- 現在想定される研究開発ニーズの他、新たな研究開発のためにも対応可能な工夫を行う。
  - 特殊薬剤を取り扱えるセル構造の採用、多種類の試験機器を1つのセルに一括して設置するのではなく、小型のセルを複数設置することにより、試験機器の交換を容易にするモジュラー型セルを導入すること等も検討する。
- ③確実な試験の実施
- データの再現性に加え、作業員の習熟度による違いが生じないように、分析操作の自動化範囲の拡大を図る。
- ④高稼働率の達成
- セル等は容易に除染が行えるよう工夫を行うことにより、定期点検期間を短縮し、高稼働率を可能とする。
  - 故障した機器の交換簡便化のため、モジュラー型セルの採用についても検討する。

- ⑤迅速かつ信頼性の高い測定・評価
- 非破壊検査の導入による迅速な測定及び測定・評価の自動化を基本とし、長時間に亘る試験・分析に対しては電源の多重化により、試験が中断されないように環境整備を行う。
  - 振動等の影響のない配置計画、除染によるバックグラウンド低減等により、分析機器の設置環境を最適化し、分析機器の測定精度を確保できる、信頼性の高い測定・評価システムを構築する。
- ⑥施設利用
- 廃止措置の加速を最優先にしつつ、JAEAの「施設供用制度」のもとで、国内外の研究者等が利用しやすい施設運営を目指す。
  - 整備にあたっては、関連する研究者のみならず、幅広い専門分野の研究者が知見を持ち寄り、研究開発が実施できる体制（例えば、大学共同利用システム）の構築、国際共同研究や海外人材の受入れ、地域との共生等についても提案する。

## 5. 地域との共生<sup>[3,13]</sup>

### (1) モックアップ試験施設

「災害対応ロボット産業集積支援事業」<sup>[14]</sup>の一環として福島県中小企業が行う、1Fの廃止措置等に利用可能な災害対応ロボットの開発を支援する。ロボットの実証試験は、モックアップ試験室を活用することで、同施設のロボット開発拠点化を進めるとともに、地域

経済活性化へ貢献も図る。

### (2) 分析・研究施設

- ①がん治療用ラジオアイソトープ ( $^{90}\text{Y}$ ) の国産化<sup>[13]</sup>
- $^{90}\text{Sr}$ が $\beta$ 壊変して得られる $^{90}\text{Y}$ はがん治療に利用することができる。 $^{90}\text{Y}$ を用いたがん治療とは、B細胞リンパ腫細胞上にあるCD20というタンパクを認識する抗体に、 $\beta$ 線を放出するイットリウム ( $^{90}\text{Y}$ ) を結合させ (イットリウム (Y-90) 標識ゼヴァリン)、リンパ腫細胞に放射線を集中的に照射して死滅させる新治療法である (図5-1)。

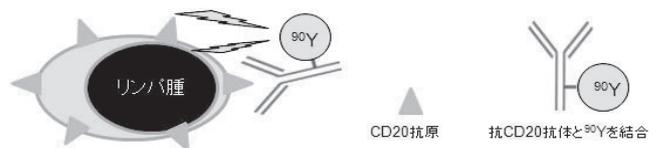


図5-1  $^{90}\text{Y}$ を用いたがん治療の概要<sup>[13]</sup>

一方、1Fの廃止措置を加速するためには、汚染水からの放射性物質の除去が必要不可欠であり、汚染水中には多量の $^{90}\text{Sr}$ が含まれている。汚染水から $^{90}\text{Sr}$ を除去した吸着塔は二次廃棄物となるが、ここから $^{90}\text{Sr}$ を回収してがん治療に利用できれば、廃棄物の有効活用及び廃棄物低減につながる。

## 6. 廃炉に関する拠点大学の構築

中長期ロードマップでは、「中長期的な視点で人材確保・育成していくことが重要であり、政府の強力な人材育成推進体制の下、大学等の教育・研究機関、JAEA及び民間が連携して人材育成を実施していくことが必要」と述べられている。中長期的な視点からは、福島第一原子力発電所関連の遠隔技術開発や原子力緊急時等のための人材育成だけでなく、高専・大学生、研究者・技術者が幅広く集い、教育や研究等に活用できる工夫が必要となる。そのためには、地元教育機関等と連携し、教育・人材育成の場としてのモックアップ試験施設等の活用や研究員等の受け入れ、人材の相互派遣等を行った上で、高専・大学等と連携した中長期的に持続可能な人材育成システム及び研究活動を支援するシステム<sup>[16]</sup>の構築が必要である。さらに、幅広い分野の研究者、技術者が集まり、より良い成果を出していくためには、研究開発環境だけでなく、生活インフラの整備等の生活環境の整備も重要である。

## 7. まとめ

中長期ロードマップを念頭に置いて、研究開発拠点施設の整備を進めるにあたり、モックアップ試験施設については、利用ニーズに沿って施設が具備すべき機能等の整理を行い、実施設計/建設工事を遅滞なく進める。

分析・研究施設については、概念検討をもとに施設の機能・規模、許可取得方策等を整理し、詳細設計につなげ、早期整備完了を目指す。

国内外の英知を結集するための方策（大学共同利用システム等）の具体化、利用技術開発による試験機能向上等により、国内外からの利用促進を図り、もって魅力的な国際的研究開発拠点<sup>[16]</sup>を確立する。

今後整備する施設利用を通じた「地域産業の創生」への貢献も視野に入れて事業を進める。

## 謝辞

本資料を作成するにあたり、(独)日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 福島廃炉技術安全研究所の加瀬健氏、大岡誠氏、長尾美春氏及び有井祥夫氏に助力をいただいた。ここに謝意を表す。

## <参考文献>

- [1] 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、国会事故調 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 報告書、平成 24 年 6 月 28 日
- [2] 原子力規制委員会 放射線モニタリング情報 東京電力福島第一原子力発電所周辺の航空機モニタリング (<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/362/list-1.html>)
- [3] 原子力災害対策本部 東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議、東京電力(株)福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ、平成 25 年 6 月 27 日

- [4] 独立行政法人日本原子力研究開発機構 第 5 回経営顧問会議 資料 5-5 福島第一原子力発電所事故への対応状況、平成 25 年 12 月 19 日
- [5] S. Yamashita, K. Takase, H. Yoshida, Development of numerical simulation method for relocation behavior of molten materials in nuclear reactors: Analysis of relocation behavior for molten materials with a simulated decay heat, Proceedings of International Conference of Nuclear Engineering (ICONE22), ICONE22-30972, 2014
- [6] 加治ら、事故時の压力容器下部ヘッダの破損挙動評価に関する検討 (3) 下部ヘッダの破損評価解析 (その 1)、日本原子力学会 2014 年春の年会予稿集、N48 (2014-3)
- [7] Kazuhiko Izawa, Yuriko Uchida, Kiyoshi Ohkubo, Masayoshi Totsuka, Hiroki Sono and Kotaro Tonoike, "Infinite multiplication factor of low-enriched UO<sub>2</sub>-concrete system," Journal of Nuclear Science and Technology, vol.49 (11), pp.1043-1047 (2012)
- [8] 河村弘、「未来へげんき」、No.30 (平成 25 年) 8-9
- [9] 第 1 回東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議、資料 3-2 (別添)、平成 25 年 3 月 7 日
- [10] 福島廃炉技術安全研究所 施設運営・利用委員会 モックアップ試験施設専門部会、平成 25 年度活動報告書 (平成 26 年 3 月 11 日)
- [11] 河村弘、浜通りから切り拓く原子力災害対応ロボットの開発拠点構想、第 30 回産学官交流のつどい、平成 26 年 7 月 7 日
- [12] 放射性物質の分析・研究に係る技術調査に関する委員会、活動報告書 (平成 26 年 2 月 27 日)
- [13] 福島・国際研究産業都市 (イノベーション・コースト) 構想研究会報告書、平成 26 年 6 月 23 日
- [14] 福島県災害対応ロボット産業集積支援事業募集要項、平成 26 年 6 月
- [15] 九州大学大学院医学研究院、臨床放射線科学分野ホームページ、核医学治療
- [16] 文部科学省、東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン、平成 26 年 6 月 20 日

(冶金 昭和 52 年卒)