

# 東京電力福島第一原子力発電所事故の現況

## — 極めて長期にわたる廃止措置 —

経済産業委員会調査室 なわた やすみつ  
縄田 康光

### 1. はじめに

我が国原子力史上、未曾有の大事故となった東京電力福島第一原子力発電所事故の発生から1年余が経過した。2011年12月16日、原子力災害対策本部（本部長：内閣総理大臣）は、原子炉は「冷温停止状態」となり事故自体は収束に至ったと判断されるとし、「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<sup>1</sup>」（以下「工程表」という。）のステップ2の完了が宣言された<sup>2</sup>。また、東京電力福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」という。）の1号機から4号機は、2012年4月19日に電気事業法第9条に基づき法的には「廃止」となった<sup>3</sup>。

しかし、現状の福島第一原発は、冷温停止状態に至ったとは言え、循環注水冷却等の応急的な措置により維持されているのが現状であり、溶融した燃料の状態が不明確である等、様々な課題を抱えている。また、1号機から4号機の最終的な廃止措置には30年ないし40年を要するとされており、破損した原子炉格納容器の修理、溶融した燃料の取り出し等、極めて困難かつ長期にわたる作業となることが予想される。

本稿では、福島第一原発事故の現況について概観するとともに、廃止措置に向けた今後の取組について触れることとしたい。

### 2. 「ステップ2」完了宣言までの過程

#### (1) 2011年12月の「ステップ2」完了宣言

2011年4月17日に公表された「工程表」は、「ステップ1」（公表後3か月程度）で放射線量が着実に減少傾向となっていること、「ステップ2」（ステップ1完了後3～6か月程度）で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ことを目標としており、原子炉の冷却については、ステップ1で安定的に冷却できていること、ステップ2で原子炉を「冷温停止状態」とすること等を目標としている。「冷温停止状態」とは、①原子炉圧力容器底部の温度がおおむね100℃以下になっていること、②原子炉格納容器からの放射性物質の放出を管理し、追加的放出による公衆の被ばく線量を大幅に抑制していること、と定義している。ステップ1については2011年7月に達成されている。

12月16日のステップ2完了宣言は、①原子炉圧力容器底部温度は、12月15日時点で1号

<sup>1</sup> 2011年4月12日の菅内閣総理大臣（当時）の指示に基づき、東京電力が4月17日に公表した。

<sup>2</sup> 2011年12月16日内閣総理大臣記者会見。

<sup>3</sup> 電気事業法第9条第1項による電気工作物の「重要な変更」には、廃止も含まれる。福島第一原発1～4号機の廃止により、国内の商業用原子炉数は54基から50基となる。

機38℃、2号機68℃、3号機64℃であり、100℃以下で安定しており<sup>4</sup>、原子炉格納容器内温度も1号機40℃、2号機68℃、3号機58℃と同様に100℃以下で安定していること、②原子炉格納容器からの放射性物質の放出による敷地境界における被ばく線量は0.1ミリシーベルト/年と<sup>5</sup>、目標とする1ミリシーベルト/年を下回っていること、③循環注水冷却システムの中期的安全が確保されていること等、「冷温停止状態」の達成を受けて行われたものである。

## (2) 完了宣言に至る過程

次に、「ステップ2」完了宣言に至る過程について触れることとしたい。

### ①循環注水冷却

5月17日に公表された工程表の改訂版（「東京電力福島第一原子力発電所・事故収束に向けた道筋」の進捗状況について）において、2号機のみならず1号機においても原子炉格納容器からの冷却水の漏えいが判明し、3号機においても同様のリスクがあることから、当初考えられていた、燃料域上部まで原子炉格納容器を水で満たす「水棺」（冠水作業）を当面断念し、建屋等に滞留する汚染水を処理して原子炉注水のために再利用する「循環注水冷却」に移行することとなった<sup>6</sup>。

これは、原子炉建屋からタービン建屋に流入してくる汚染水を、油分離装置、セシウム吸着装置（米キュリオン社製）、除染装置（仏アレバ社製）、淡水化装置（塩分処理施設）を通じて処理し、処理水の貯蔵タンクから給水系を通じて注水し、燃料の冷却を行うというものである。6月17日に水処理設備の本格運転が開始されたが、18日には運転が停止するなどトラブルが相次いだ<sup>7</sup>。さらに6月27日には、水処理設備で処理した水を利用した1・

### 滞留水の処理施設（左より油分離装置、セシウム吸着装置、除染装置、塩分処理施設）



（出所）「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ステップ2完了報告書」（原子力災害対策本部 政府・東京電力統合対策室）

<sup>4</sup> 2012年5月16日11時の压力容器底部温度は、1号機30.6～31.7℃、2号機48.7～50.0℃、3号機43.9～59.5℃となっている（複数の計器による測定値）。

<sup>5</sup> これまでに既に放出された放射性物質の影響を除く。

<sup>6</sup> 「長期化する福島第一原子力発電所事故」『立法と調査』No. 317(2011.6)22-23頁参照。

<sup>7</sup> セシウム吸着装置の表面線量率が交換基準を超えるレベルに上がったため。また、6月21日には除染装置のポンプが一時停止した。

2・3号機の循環注水冷却運転が開始されたものの、当初は故障と稼働率の低さに悩まされた。その後稼働率が上昇し、さらに8月19日に第二セシウム吸着装置(東芝製「サリー」)も稼働し、循環注水冷却はおおむね順調に稼働している<sup>8</sup>。

## ②燃料プールの冷却

事故発生時の福島第一原発には、各号機の燃料プール及び共用プールに多数の使用済燃料が収容されており、外部電源の喪失と水位の低下により使用済燃料の冷却が困難となり、燃料が破損・溶融することが懸念されていた。5号機、6号機の燃料プールは、3月19日に残留熱除去系海水ポンプによる冷却を開始したが、1号機から4号機の燃料プールは水を冷却する機能を失っており、水位を保つために、消防車両やコンクリートポンプ車等による注水が繰り返し行われた(図表1参照)。その後、5月31日の2号機燃料プールを始めとして、空冷式の熱交換器の設置による循環冷却への移行が進み、12月15日時点では、1～4号機の燃料プールの温度は15℃～22℃と低下した。

図表1 燃料プールの状態

号機	事故発生時の収容燃料数	車両・ポンプ等による注水累積量(2011.8.12現在)	循環冷却等への移行(2011年)
1号機	392体(うち新燃料100体)	約578 t	8月10日循環冷却開始
2号機	615体(うち新燃料28体)	最大約1,122 t	5月31日循環冷却開始
3号機	566体(うち新燃料52体)	約6,167.5 t	6月30日循環冷却開始
4号機	1,535体(うち新燃料204体)	約6,242 t	7月31日循環冷却開始
5号機	994体(うち新燃料48体)		3月20日冷温停止
6号機	940体(うち新燃料64体)		3月20日冷温停止
共用プール	6,375体(各号機プールにて19か月以上貯蔵)	約130t	3月24日冷却ポンプを外部電源により起動

(出所) 「原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書」、東京電力資料等より作成

## ③放射性物質の飛散抑制

ステップ1に引き続きステップ2においても大きな課題であった放射性物質の飛散抑制については、飛散防止剤の散布、瓦礫の撤去、1号機原子炉建屋カバーの設置等の措置が講じられた。

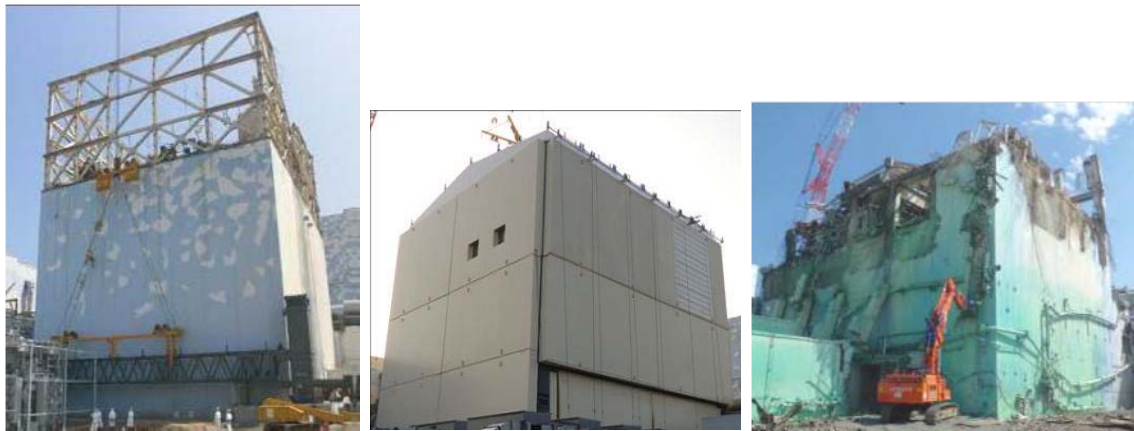
飛散防止剤については、6月28日までに、計約110万リットルの飛散防止剤が、発電所構内約40万㎡、建物周り約16万㎡に散布された。瓦礫の撤去については、12月16日までに約29,000㎡を回収し、そのうち約6,000㎡をコンテナに収容したほか、9月には、水素爆発で破損した3号機、4号機の原子炉建屋上部の瓦礫撤去が開始された<sup>9</sup>。

また、水素爆発により損傷し、上部が開放された状態になっている1号機原子炉建屋について、放射性物質の飛散を防ぐため、ポリエステル繊維製の建屋カバーと排気設備(フィ

<sup>8</sup> ただし、2011年12月4日に、淡水化装置において放射性物質を含む水の漏えいが生じるなど、水の漏えいが複数回生じている。

<sup>9</sup> 3号機建屋上部：9月10日開始、4号機建屋上部：9月21日開始。

左より、1号機原子炉建屋カバーの設置工事、1号機原子炉建屋カバー取り付け完了後、瓦礫の撤去作業が進む3号機建屋



(出所)「ステップ2完了報告書」

ルタ付き)の設置工事が行われ<sup>10</sup>、10月28日に完成した。さらに、格納容器ガス管理システムにおいてもフィルタによる放射性物質の除去が行われた<sup>11</sup>。

#### 福島第一原発から環境への放射性物質の放出量について

福島第一原発から環境に放出された放射性物質の放出量については、複数の試算がなされている。原子力安全・保安院は、2011年4月12日に暫定評価を「レベル7」に引き上げた際、原子力安全・保安院と原子力安全委員会が推定した放射性物質の放出量を公表しており、ヨウ素131等価で37万テラベクレル(原子力安全・保安院試算)ないし63万テラベクレル(原子力安全委員会試算)となっている。さらに原子力安全・保安院は2011年6月6日に再度推計を公表しているが、これによるとヨウ素131が約16万テラベクレル、セシウム137が約1.5万テラベクレルであり<sup>12</sup>、ヨウ素換算値では約77万テラベクレルとなる(図表2参照)。その大半は2号機からの放出となっている。

図表2 原子力安全・保安院による放射性物質の放出量試算(2011年6月6日)

(単位:ベクレル)

	1号機	2号機	3号機	合計
セシウム137(Cs-137)	$5.9 \times 10^{14}$	$1.4 \times 10^{16}$	$7.1 \times 10^{14}$	$1.5 \times 10^{16}$
ヨウ素131(I-131)	$1.2 \times 10^{16}$	$1.4 \times 10^{17}$	$7.0 \times 10^{15}$	$1.6 \times 10^{17}$

(出所)原子力安全・保安院資料

<sup>10</sup> フィルタにより放射性物質の放出の90%以上を低減できるとしている。

<sup>11</sup> 水素爆発防止策として、格納容器内への窒素ガス封入が行われているが(1号機:4月7日開始、2号機:6月28日開始、3号機:7月14日開始)、格納容器ガス管理システムは、格納容器への窒素充填量と同程度のガス量を抽出し、フィルタを通じて放出している。

<sup>12</sup> そのほかにセシウム134、テルル127m等、多種類の放射性物質が放出されている。

#### ④放射性物質放出量の大幅な減少

燃料の安定的冷却、放射性物質の飛散抑制等の努力により、1～3号機原子炉格納容器からの放射性物質の放出量（セシウム134、137の合計）は、3月15日時点で約800兆ベクレル/時であったのに対し、11月26日から12月6日の期間で0.6億ベクレル/時に減少し、さらに2012年3月28日の時点で0.1億ベクレル/時と、3月15日時点の8,000万分の1にまで減少している。

### 3. 当面の課題

冷温停止状態を達成したものの、福島第一原発は当面に限っても多くの課題を抱えている。その中で、増加し続ける滞留水の問題と余震・津波対策について触れることとする。

#### (1) 増加し続ける滞留水

循環注水冷却に伴い処理された滞留水は、2012年4月24日時点で30万 $\text{m}^3$ を超えており、14万 $\text{m}^3$ を上回る滞留水が各種タンクに貯蔵されている(図表3参照)。タンクの増設を繰り返すことにより対処しているが、滞留水の増加は続いている。これは、建屋内への地下水の流入が続いていることによるものであり、タンクの設置にも限界があること、滞留水処理施設により除染された水とは言え<sup>13</sup>、海への処理水の放出には批判が予想されることか

図表3 滞留水の処理状況、貯蔵量

年月日	2011.6.28	7.26	8.30	9.27	10.25	11.29	
累積処理量	7,230 $\text{m}^3$	29,120 $\text{m}^3$	66,980 $\text{m}^3$	105,190 $\text{m}^3$	140,020 $\text{m}^3$	175,140 $\text{m}^3$	
貯蔵量	濃縮塩水受タンク	3,613 $\text{m}^3$	16,563 $\text{m}^3$	32,961 $\text{m}^3$	53,297 $\text{m}^3$	80,157 $\text{m}^3$	
	淡水受タンク	2,208 $\text{m}^3$	1,242 $\text{m}^3$	4,704 $\text{m}^3$	8,370 $\text{m}^3$	11,637 $\text{m}^3$	
	濃縮廃液貯槽	-	-	2,084 $\text{m}^3$	2,473 $\text{m}^3$	3,037 $\text{m}^3$	4,910 $\text{m}^3$
年月日	12.27	2012.1.24	2.28	3.27	4.24	2012.4.24現在の貯蔵容量	
累積処理量	192,110 $\text{m}^3$	215,220 $\text{m}^3$	253,990 $\text{m}^3$	277,210 $\text{m}^3$	308,620 $\text{m}^3$		
貯蔵量	濃縮塩水受タンク	86,408 $\text{m}^3$	94,031 $\text{m}^3$	107,196 $\text{m}^3$	114,104 $\text{m}^3$	128,960 $\text{m}^3$	138,200 $\text{m}^3$
	淡水受タンク	9,924 $\text{m}^3$	6,421 $\text{m}^3$	7,490 $\text{m}^3$	7,409 $\text{m}^3$	8,956 $\text{m}^3$	25,100 $\text{m}^3$
	濃縮廃液貯槽	5,452 $\text{m}^3$	5,457 $\text{m}^3$	5,468 $\text{m}^3$	5,473 $\text{m}^3$	5,472 $\text{m}^3$	9,500 $\text{m}^3$

(出所)東京電力資料より作成

#### 滞留水の貯蔵タンク(左：濃縮塩水用、右：濃縮廃液用)



(出所)「ステップ2完了報告書」

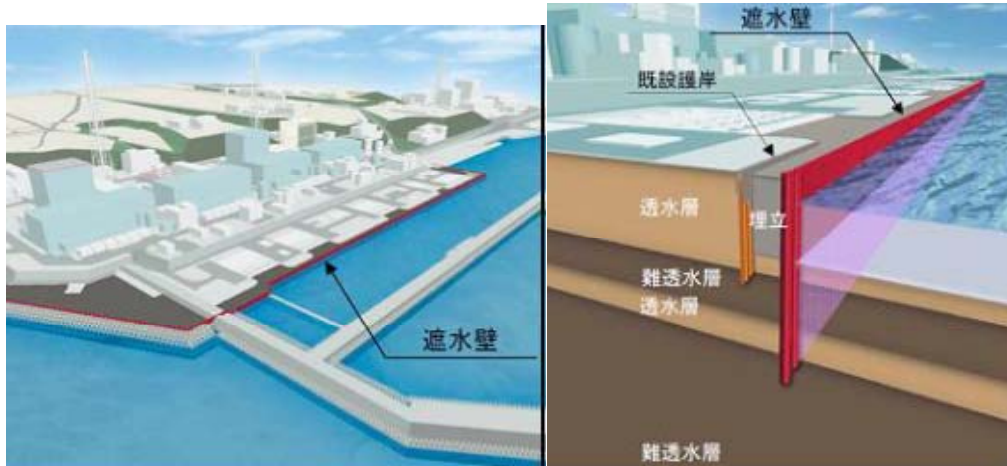
<sup>13</sup> セシウムの濃度は、キュリオン-アレバ装置により $10^6$ 分の1(8月9日実績)、キュリオン装置単独で $6 \times 10^3$ 分の1(11月29日実績)、サリー装置により $5 \times 10^5$ 分の1(11月29日実績)となる。



ら<sup>14</sup>、滞留水の抑制が課題となっている。

対応策としては、タービン建屋周囲のピット(井戸)のサブドレン<sup>15</sup>を浄化し汲み上げることにより、地下水位を低下させ、建屋への侵入を防止することが予定されている。また、汚染水が地下水に漏えいした場合の海洋への流出防止策として、1～4号機の護岸前面に遮水壁を設置する工事が2011年10月から始まっており、2014年度半ばまでに完成する予定である。

### 遮水壁の設置計画



(出所)「ステップ2完了報告書」

### (2) 余震、津波への備え

依然として大規模な余震の可能性があることから、耐震性の確保、津波への備えが課題となっている。2011年5月28日から8月26日にかけて1号機から6号機の原子炉建屋の耐震安全性の評価が行われ<sup>16</sup>、補強工事なしでも耐震安全性は確保されたとされた。

最多の燃料体を収容し(図表1参照)、冷却水の喪失が懸念されていた4号機プールについては、2011年4月の「工程表」に耐震補強(プール底部に支持構造物を設置)が盛り込まれ、7月30日までに鋼製支柱及びコンクリート壁の設置が行われた。

津波対策としては、5月18日から6月30日にかけて、仮設防潮堤の設置が行われた。これにより、最大でO. P. (小名浜地方の平均潮位)+14.2mの高さが確保された<sup>17</sup>。東京電力は、2012年4月27日に開催された原子力安全・保安院(以下「保安院」という。)の「地震・津波に関する意見聴取会(津波関係、第1回)」において、沖合の海洋プレートが海溝に滑り込む領域で起こる「アウターライズ地震」(マグニチュード8.6を想定<sup>18</sup>)に

<sup>14</sup> 「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」においては「海洋への放出は、関係省庁の了解無くしては行わないものとする。」とされている。

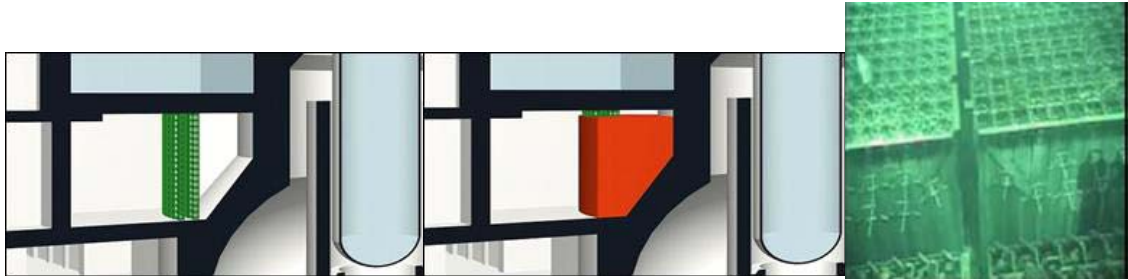
<sup>15</sup> サブドレンとは、ピットに流入してくる地下水のことをいう。建屋内の汚染水の流出を防ぐため、タービン建屋の水位はサブドレンの水位より低くなるよう管理されている。

<sup>16</sup> 1・4号機は5月28日、3号機は7月13日に、2・5・6号機は8月26日に評価が行われた。

<sup>17</sup> 敷地高さ：O. P. +10m。仮設防潮堤高さ：2.4m～4.2m。

<sup>18</sup> 日本海溝での既往の最大のアウターライズ地震は1933年の昭和三陸地震(マグニチュード8.4)であるとし

#### 4号機燃料プールの耐震補強（左：鋼製支柱の設置、中：コンクリート壁の設置）及び 4号機燃料プール内の状況



（出所）「ステップ2完了報告書」

#### 仮設防潮堤



（出所）東京電力資料

より生じる津波の解析結果を示している。

これによると、①発電所港湾内から敷地への遡上は確認されないが、敷地南東側から1～4号機敷地内への遡上が確認される<sup>19</sup>、②仮設防潮堤をモデル化して解析すると、防潮堤外側の水位は最大でO. P+14.13mであり、仮設防潮堤の最大O. P+14.2mの高さにより敷地への浸水を防ぐことが可能である等としている。また、想定を超える津波が来襲した場合にも、非常用高台炉注水ポンプ及び専用のディーゼル発電機（O. P+35m）、消防車（O. P+36.9m）、コンクリートポンプ車（O. P+38.3m）等の対策により、原子炉や使用済燃料プールの冷却を維持できるとしている。

これらの余震・津波対策が十分なものであるか、更なる議論と国民への丁寧な説明が求められよう。

つつ、1611年の慶長三陸地震（マグニチュード8.6）がアウトラーイズ地震である可能性の指摘もあることから、マグニチュード8.6の地震を想定し、福島県沖から茨城県沖にかけての波源を想定した。

<sup>19</sup> 対策（仮設防潮堤）なしとした上での解析。

## 4. 「廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」

### (1) 「ロードマップ」の策定

2011年12月21日、政府・東京電力中長期対策会議において<sup>20</sup>、「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」(以下「ロードマップ」という。)及びその実施管理体制が決定された。

これは、経済産業大臣及び原発事故収束・再発防止担当大臣の指示により<sup>21</sup>、米国スリーマイル島原子力発電所2号機(以下「TMI-2」という。)の事例等を踏まえ、東京電力、資源エネルギー庁、保安院が協同して策定したものである<sup>22</sup>。

ロードマップは、プラントの安定状態の維持・継続、発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止、使用済燃料プールからの燃料取り出し、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器からの燃料デブリの取り出し等、ステップ2完了後の課題について具体的計画を定めている。

#### TMI-2の燃料デブリ取り出しについて

1979年3月に炉心溶融を伴う事故が発生したTMI-2は、炉心溶融が発生したという点において、また長期にわたる作業の末、燃料デブリ<sup>23</sup>の取り出しに成功したという点において、福島第一事故の参考となる事例である。

TMI-2における、燃料デブリ取り出しに向けたプログラムは1979年8月に始まり、6年間にわたる除染等の作業の後、1985年から1990年にかけて燃料デブリの取り出しが行われた。燃料と燃料を支えていた周辺の部材を合わせて約150トンがアイダホ国立原子力研究所に送られ、現在も保管されている。燃料の取り出しは、原子炉に水深約12メートルの水を張り、遠隔操作により行われ、当時の最新のロボット工学が活用された。プログラムに要した費用は約10億ドルであり、当時発電所を保有していたGPU社、保険等により支払われた。現在も、TMI-2の廃炉は完全に終了しておらず、1号機の運転認可期間が終了する2034年から1号機と併せて行う予定である<sup>24</sup>。

TMI-2の事例は、炉心溶融が生じていたこと、原子炉建屋内に高濃度の汚染水が滞留していたこと等の点で福島第一事故と類似している。しかし、TMI-2事故の場合、燃料デブリの大半は原子炉圧力容器内に留まっており、原子炉圧力容器、原子炉格納容器は基本的に健全であったのに対し、福島第一事故の場合、①炉心溶融により燃料の相当部分が原子炉圧力容器から落下し、原子炉格納容器内に堆積していると考えられること、②水素爆発により建屋等が損傷しており、また原子炉格納容器に漏えい箇所が生じていること、③1～3号機において炉心溶融が生じており、事故の規模が大きいこと、④78年12月に営業運転を開始したばかりで、使用済燃料がプール内に保管されていなかったTMI-2に比べ、多くの使用済燃料がプール内にあり、取り出しに向けた作業が必要であること、等の違いがある。福島第一原発1号機から4号機の廃止措置は、TMI-2と比較しても極めて困難な作業になるものと予想される。

<sup>20</sup> 政府・東京電力中長期対策会議は、ステップ2の完了に伴い設置された。同会議は、経済産業大臣と原発事故収束・再発防止担当大臣が共同議長を、東京電力社長等が副議長を務める。なお、これに伴い、政府・東京電力統合対策室は廃止された。

<sup>21</sup> 2011年11月9日に指示が行われ、①福島第一原発1～4号機の廃止措置終了までの合理的かつ具体的な工程の策定、②事故収束及び廃止措置のための研究開発計画の策定、③循環注水冷却システムなど設備の信頼性向上と建屋内に滞留する高レベル放射性汚染水の速やかな処理等を内容としている。

<sup>22</sup> また、2011年8月、原子力委員会に「東京電力(株)福島第一原子力発電所中長期措置検討専門部会」が設置され、同年12月に「検討結果」を公表している。「検討結果」では、燃料デブリの取り出し開始までの期間は10年以内を目標とし、廃止措置が全て終了するまでは30年以上の期間を要すると推定している。

<sup>23</sup> 燃料と被覆管等が溶融し再固化したもの。

<sup>24</sup> 平成23年度重要事項調査議員団(第一班)報告書([http://www.sangiin.go.jp/japanese/kokusai\\_kankei/jyuyoujikou/h23/pdf/h231houkoku.pdf](http://www.sangiin.go.jp/japanese/kokusai_kankei/jyuyoujikou/h23/pdf/h231houkoku.pdf))参照。



## (2) ロードマップの概要

ロードマップは、①**第1期**（「ステップ2」完了から使用済燃料プール内の燃料取り出し開始まで（目標：ステップ2完了後2年以内））、②**第2期**（第1期終了から燃料デブリ取り出し開始まで（目標：ステップ2完了後10年以内））<sup>25</sup>、③**第3期**（第2期終了から廃止措置終了まで（目標：ステップ2完了後30～40年後））に期間を区分している（図表4参照）。

図表4 「中長期ロードマップ」の概要

第1期	第2期	第3期
ステップ2完了後2年以内 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	ステップ2完了後10年以内 燃料デブリ取り出しが開始されるまでの期間	ステップ2完了後30～40年後 廃止措置終了までの期間
<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料プール内の燃料の取り出し開始（4号機、2年以内）</li> <li>発電所全体からの追加的放出及び事故後に発生した放射性廃棄物（水処理二次廃棄物、ガレキ等）による放射線の影響を低減し、これらによる敷地境界における実効線量1mSv/年未満とする</li> <li>原子炉冷却、滞留水処理の安定的継続、信頼性向上</li> <li>燃料デブリ取り出しに向けた研究開発及び除染作業に着手</li> <li>放射性廃棄物処理・処分に向けた研究開発に着手</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全号機の使用済燃料プール内の燃料の取り出しの完了</li> <li>建屋内の除染、格納容器の修復及び水張り等、燃料デブリ取り出しの準備を完了し、燃料デブリ取り出し開始（10年以内目標）</li> <li>原子炉冷却の安定的な継続</li> <li>滞留水処理の完了</li> <li>放射性廃棄物処理・処分に向けた研究開発の継続、原子炉施設の解体に向けた研究開発に着手</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料デブリの取り出し完了（20～25年後）</li> <li>廃止措置の完了（30～40年後）</li> <li>放射性廃棄物の処理・処分の実施</li> </ul>

(出所)原子力災害対策本部資料

**第1期**においては、ステップ2完了から2年以内に4号機燃料プールからの燃料取り出し開始を目標としている<sup>26</sup>。既に4月には、燃料取扱設備の支持、燃料取り出し作業に伴い発生する放射性物質の飛散・拡散抑制を目的とした、燃料取り出し用カバーの設置工事が開始されている<sup>27</sup>。また、2012年度内を目標に、発電所全体からの追加的放出及び敷地内に保管する事故後に発生した放射性廃棄物（水処理二次廃棄物、ガレキ等）による敷地境界における実効線量を年間1ミリシーベルト未満にするとしている<sup>28</sup>。

循環注水冷却については、配管等の一部材質強化・耐震性向上等、信頼性向上に向けた措置を講じるとしており、滞留水処理については、放射性物質の濃度を一層低くできる多核種除去設備を2012年内に導入するとしている。さらに、4kmに及ぶ循環ラインの縮小を基本とした配管等の漏えいリスク低減対策を実施していくとしている。

**第2期**においては、全号機の使用済燃料プール内の燃料取り出しを完了するとともに、燃料デブリ取り出しに係る作業が行われる<sup>29</sup>。燃料デブリ取り出しは、①原子炉建屋内除染、②原子炉格納容器漏えい箇所調査、③原子炉建屋止水／原子炉格納容器の下部補修、

<sup>25</sup> 第2期については、さらに2013年末(ステップ2終了後2年後)から2021年末(ステップ2終了後10年)までの8年間を、2～3年の幅で(前)、(中)、(後)に区分している。

<sup>26</sup> 3号機燃料プールについてもステップ2完了から3年程度後、1、2号機については第2期(中)に、それぞれ燃料取り出しの開始を目指している。

<sup>27</sup> カバー内には燃料取扱機やクレーンが設置される。また、排気フィルタユニットも併せて設置され、燃料取り出し作業に伴う放射性物質の大気内への放出を抑制することとなっている。

<sup>28</sup> 2011年11月時点で、敷地境界における年間被ばく線量の最大値は約11ミリシーベルトと評価されている。

<sup>29</sup> 原子炉建屋内除染等、第1期に開始予定の作業もある。

④原子炉格納容器部分水張り<sup>30</sup>、⑤原子炉格納容器内部調査・サンプリング<sup>31</sup>、⑥原子炉格納容器上部補修、⑦原子炉格納容器／原子炉圧力容器水張り<sup>32</sup>、⑧圧力容器内部の調査・サンプリング、⑨燃料デブリの取り出し開始というステップを経ることになる。

燃料デブリの取り出しに当たっては、TMI-2の事例等を参考に工法や装置の開発が行われるが、高線量の状態の中、破損した原子炉格納容器等を補修し、水を張った上で、燃料デブリを取り出すという極めて困難な作業となる。燃料デブリの状態も現時点では不明確であり、今後の調査が待たれる（別枠コラム「福島第一原発の炉心状態の推定について」参照）。また、第2期においては、タービン建屋及び原子炉建屋地下の滞留水処理の完了が予定されている<sup>33</sup>。

第3期においては、10～15年をかけて燃料デブリ取り出しが行われた後（ステップ2終了後20～25年後の取り出し完了を想定）、15年程度かけて原子炉施設の解体を行うことになる<sup>34</sup>。

### 福島第一原発の炉心状態の推定について

事故発生時に運転中だった福島第一原発の1号機から3号機には1,496体の燃料が装荷されていた<sup>35</sup>。福島第一原発1号機から4号機の廃止措置に当たっては、溶融・落下したと推測される燃料の位置・状態の確認が不可欠であり、今後の調査が待たれるところである。

炉心溶融を起こした福島第一原発1～3号機の炉心損傷状態をシミュレーション等を用い推定するため、経済産業省の主催により、専門家による会合（東京電力福島第一原子力発電所1～3号機の炉心損傷状況の推定に関する技術ワークショップ）が2011年11月に開催されている。同ワークショップにおいて、東京電力は、1号機から3号機の原子炉格納容器損傷状態の推定として、解析から得られた最大の値を保守的に仮定し、①1号機において100%、2号機において57%、3号機において63%の燃料が原子炉圧力容器底部より下方に落下したと仮定、②その場合、原子炉格納容器底部における堆積デブリの厚さは、1号機は0.81m、2号機、3号機は燃料が流下する経路（計装管貫通部か制御棒駆動装置（CRD）貫通部分か）により、それぞれ0.2～0.4m（2号機）、0.31～0.53m（3号機）、③格納容器底部のコンクリート部分の浸食深さは1号機は0.65m、2号機は0.07～0.12m、3号機は0.13～0.20mと推定している（図表5参照）。最大の浸食を生じる1号機においても、原子炉格納容器鋼板までの最短距離（1.02m）に達しておらず、浸食は格納容器内にとどまるとしている。

図表5 燃料の落下状況の推定

	1号機	2号機	3号機
落下した燃料の割合	100%	57%	63%
格納容器に堆積した燃料デブリの厚さ	0.81m	0.2m/0.4m	0.31m/0.53m
格納容器コンクリート床の浸食の深さ	0.65m	0.07m/0.12m	0.13m/0.2m

（出所）「東京電力福島第一原子力発電所1～3号機の炉心損傷状況の推定に関する技術ワークショップ」資料

<sup>30</sup> 格納容器下部の補修・止水後、格納容器下部の水張りをを行う。

<sup>31</sup> 格納容器内の調査・サンプリングを行い、燃料デブリの分布、性状等を把握する。

<sup>32</sup> 水張りの後、原子炉格納容器及び原子炉圧力容器の上蓋の開放が行われる。上蓋開放の作業開始までに、原子炉建屋コンテナ等の設置が行われる。

<sup>33</sup> 第1期においてサブドレンの浄化と汲み上げ（注15参照）を行い、第2期において原子炉建屋とタービン建屋間の止水、格納容器の漏えい箇所の止水等を実施した上で、滞留水を処理する。

<sup>34</sup> 炉心に燃料デブリがない4号機から解体が開始される。

<sup>35</sup> 1号機：燃料400体、2号機：燃料548体、3号機：548体（うちMOX燃料32体）

現時点では、福島第一原発1～4号機の原子炉施設解体終了まで、ステップ2完了から30～40年を要する見込みである。

### (3) 極めて長期にわたる廃止措置

福島第一原発事故は、冷温停止状態を達成したとは言え、原子炉の継続的冷却、漏えい防止を含めた滞留水処理の安定的継続に引き続き努力を要する状態が続いている。また、各号機燃料プールにある燃料の取り出しも急務である。さらに、ロードマップについても、原子炉格納容器の破損状況や燃料デブリの状態など現場の状況や、各種遠隔作業に必要な装置等の開発状況により作業ステップが見直される可能性もある。炉心が熔融した3基の原子炉も含めた廃止措置という、世界的にも例がない作業はまだ緒に就いたばかりであり、その進捗は予断を許さないものがある。