原子力市民委員会特別レポート 1

100年以上 隔離保管後の「後始末」

改訂版 2017

写真：福島第一原発 3 号機（2015 年 12 月 7 日）

福島事故「後始末」の対案プロジェクトチーム

原子力市民委員会 www.ccnejapan.com

原子力市民委員会へのご支援のお願い

原子力市民委員会は、高木仁三郎市民科学基金（http://www.takagifund.org ）の特別支援事業として設立されました。

会議の開催、調査活動、公開フォーラムなどの実施、報告書の刊行などの活動経費は、みなさまからのご寄付に頼っています。

ぜひ、原子力市民委員会の活動を支えて下さるようお願いいたします。

（なお、寄付金は税控除の対象となります）

１）郵便振替口座：００１６０－４－７５８９７２ **加 入 者 名 ：原子力市民委員会** ▼振込用紙には「寄付」とお書きください。
２）銀行口座：ゆうちょ銀行　〇一九（ゼロイチキュウ）店 **当座　０７５８９７２** **口 座 名：原子力市民委員会** ▼email@ccnejapan.com あるいは FAX（03-3358-7064）にて、 お名前・ご住所等をお知らせください。
３）クレジットカードでのご寄付 http://www.ccnejapan.com/?page_id=1329 よりご利用いただけます。

原子力市民委員会事務局
〒160-0003　東京都新宿区四谷本塩町 4-15 新井ビル 3F
（高木仁三郎市民科学基金内）
TEL/FAX：03-3358-7064
E-Mail：email@ccnejapan.com
ＷＥＢ：http://www.ccnejapan.com

目次

まえがき……3
1．信用を失った事故現場の安定性……3
2．「中長期ロードマップ」の信用失墜……3
3．解決すべき問題と手法……4
4．Case 3「半永久保管方式」の追加……4
1 提案の主旨……5
2 大工程……7
2.1 当面行う作業……7
2.2 隔離保管のための作業……9
2.3 100～200 年経過後の作業……10
3 現行作業の問題点……10
4 検討過程の説明……10
4.1 「中長期ロードマップ」の進捗状況……10
4.2 作業工程の対案……11
4.3 工程表：人員・被ばく量・設備・費用……11
4.4 実績費用表……11
4.5 労働者被ばく量実績……11
5 検討結果……15
6 隔離保管中の安全性について……16
6.1 臨界の回避……16
6.2 地震・津波対策……16
6.3 1・2 号機排気筒の養生……17
7 デブリの状態について……18
8 結論――リスク最小の選択を……18

図表

(*印の表は巻末添付)

図 1　放射能減衰 7

図 2　崩壊熱減衰 7

図 3　大型タンクの実績例 8

図 4　デブリ冷却システムのフローシート 9

図 5　外構シールドのイメージ図 9

表 1　人員・労働者被ばく量・費用に関する期間別集計比較表 12

表 2-1*　作業工程：対案その 1 19

表 2-2*　作業工程：対案その 2 20

表 3 *　工程表：人員・被ばく量・設備・費用 21

表 4　福島第一「後始末」費用（実績として判明しているもの） 13

表 5　年度別累計労働者被ばく線量分布表 14

表 6-1　「中長期ロードマップ」の集計 15

表 6-2　ケース 1：100 年間隔離保管のケースの集計 15

表 6-3　ケース 2：200 年間隔離保管のケースの集計 16

表 6-4　ケース 3：半永久保管方式の集計（300 年後までの集計） 16

図 6　排気筒のトラワイヤー 17

表 7　デブリの重量 18

100 年以上隔離保管後の「後始末」改訂版 2017

福島事故「後始末」の対策プロジェクトチーム

まえがき

1．信用を失った事故現場の安定性

福島第一原発事故直後 11 市町村約 8 万 1 千人に出されていた避難指示がじょじょに解除されてきたが、2017 年 3 月 31 日と 4 月 1 日をもって、原発地元の 4 町も含め、対象区域の約 7 割の地域で解除された。残る帰還困難区域の対象人口は 2.4 万人であり、これまでに 5 万 7 千人の避難指示が解除されたことになる[1]。しかし、実際に帰還した人たちの割合は平均 10％台である。その理由の第一は、空間線量率 20mSv/y という基準があまりに高すぎるという健康不安であるが、それに劣らず挙げられるのは、「事故現場が不安定な状態であって、何かの拍子に再び放射能の大量放出が発生して、再度緊急避難の事態が発生するのではないか」という不安である。地元の人たちにとって、寒冷期に夜を徹して長時間避難を強いられた過酷な経験が心の傷になっているのである。

2．「中長期ロードマップ」の信用失墜

事故炉の後始末作業工程を記載した政府・東電の「中長期ロードマップ」は、30～40 年を期限として後始末作業を終えるとしている。その作業の主たる課題は、汚染水対策、使用済み燃料プール内の燃料取り出しおよびデブリ取り出しである。そして、その後に続く問題として、取り出した高線量のデブリの保管問題が残っている。汚染水については、2017 年に入ってから凍土壁とサブドレン運用の効果により発生量はかなり抑制されてきたものの、いまだに最終的な解決への目処は立っておらず、トリチウム未処理水は溜まる一方である。

デブリ取り出しは、後始末作業の目玉である。いまだ不明の溶融デブリの形状と所在を確かめることはもっとも高い関心事であり、カメラ付きロボットの開発が進められて来た。そして、2017 年 2 月の 2 号機格納容器内作業用足場へのロボット挿入によって計測された放射線量は、作業用レール上で最大 80Sv/h と推定され、格納容器内への接近の困難さが予想以上のものであることを改めて認識させられる結果となった[2]。

---

[1] 「原発避難　今春3.2万人解除」『朝日新聞』2017年2月28日

[2] 当初（2017年2月9日）、東京電力はこの位置での推定線量率を650Sv/h（ロボットが撮影した映像の放射線ノイズからの推計）と発表し、さらに2月16日の追加調査で「サソリ型ロボット」が同一地点で放射線を実測した結果、210Sv/hであったことが発表された。だが、その後の検証で、それぞれ80Sv/hと70Sv/hに修正された（2017年7月27日、IRIDと東電による共同発表資料「2号機原子炉格納容器内部調査 —— 線量率確認結果について」http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2017/07/20170728_2.pdf ）。いずれにせよ、容易に近づける値ではない。

その意味では、ここ数年の間に方針決定を行う予定であった「中長期ロードマップ」に記載された主要項目の見通しが困難になり、30～40 年という期限も実質的には実行不可能であることが明らかになったといえよう。このことは、このロードマップ策定時期からすでに当事者たちが予想していて、工程表のグラフの至る所に「判断ポイント」（“HP”と記載した赤い円）を記載していたことである。

しかしながら、留保条件をこのように婉曲に伏せてきたことは、一般社会に無用な混乱の種をまいている。2016 年 7 月 13 日に、原子力損害賠償・廃炉等支援機構が「東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2016」を発表し、燃料デブリの取り出しの方法の選択肢として「石棺方式」も検討対象として記載したところ、地元福島県知事や双葉郡の自治体首長らが猛反発し、「石棺方式」という言葉を削除するように迫った。その結果、同支援機構理事長がその言葉を削除することを約束した。この地元首長たちの意図はともかく、当事者側がロードマップ策定時から、事故の実態と後始末作業の困難さを過小表示しようとした結果が露呈したことがこの騒動の意味である。当然、政府・東電は、希望的観測を排して、現在の「中長期ロードマップ」に代わる客観的かつ合理的な「後始末」計画を策定する責務がある。

３．解決すべき問題と手法

解決すべき問題は、汚染水対策、使用済み燃料の取り出し、デブリの取り出し、デブリの最終処分、1・2 号機排気筒の倒壊対策などである。

現在の政府・東電の姿勢は、大局的な視野で、最終的な形態に至るまでを見通した長期の実現可能な計画を提示して総合的な合理性を追求する姿勢に欠けている。たとえば、汚染水対策については、いずれは「ドライアップ」して、汚染水によるデブリ冷却状態を切り上げなければならないことを認識しながら、その全体像を描いて発表することをしていない。この目先の期限表示は、地元の地域復興計画においても重要な前提条件をなすとともに、事故現場内での日常作業の計画をも不合理なものにしている。すなわち、毎日 6 千人の作業者を高い被ばく線量下で、不効率な短時間労働に駆り立てるという弊害を生んでいる。

４．Case 3「半永久保管方式」の追加

本レポートは、2015 年 6 月に発表したものであるが、2 年間の経過を踏まえて、疎漏のあった部分に加筆して、改訂版として発行する。

併せて、去る 2 月に判明した高放射線測定値を勘案して、Case 3 を新たに記載する。このような高放射線環境においては、200 年経過後であろうともデブリ取り出しのために格納容器に近接して作業することがきわめて困難なことが予想され、無理に取り出さずに半永久的に保管していく選択肢も具体的に検討しておく必要がある。

このような議論が広く行われるよすがとなれば幸いである。

1　提案の主旨

福島第一原発事故後のサイト内の「後始末」作業は、政府・東京電力が策定した「中長期ロードマップ」（最新版は 2015 年 6 月 12 日付第 3 回改訂版）[3] に基づいて行われている。しかし、事故後 6 年を経た現在も大きな進展は見られず、試行錯誤の状態である。この事故処理作業は、スリーマイル島やチェルノブイリの事故事例とは基本的に異なり、複雑な開発項目を必要とし、かつ、遂行過程で方針を再検討するという意思表示もされている（「中長期ロードマップ」に記入された多数の「判断ポイント」）。

この事業には、すでに多額の国費がつぎ込まれており、今後の廃炉費用の増大も見込まれ、その負担をどのように行うかが大きな政治問題になっている。けれども、費用の全貌や長期の労働管理をどうするかといった事業方針は十分に議論が尽くされていない。業務遂行の意思決定は政府の廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議でなされ、実務は東京電力内の「廃炉カンパニー」で、研究開発は国際廃炉研究開発機構（IRID）を中心になされている。しかし、業務そのものが前例のないものであって、従来の原発関連事業者の専門領域からかけ離れた技術課題も少なくない。より広く国民的な英知を集めてなされることが望ましい。IRID による「技術提案募集」は数回なされているが、そのテーマ設定は既定の「中長期ロードマップ」に掲げられている項目の実施方法に限られていて、方針自体についてのオープンな議論はなされていない。もっとも大切なのは、既存の技術に基づいた確実な長期計画を策定することである。現状計画は多くの未知の開発技術をあてにしていて、すでに目標の遷延を余儀なくされている。ひとまず、希望的な仮定を排して堅実で合理的な工程を立てるべきである。また、市民の側からも積極的に案を提出することが望まれる[4]。

優先事項として考えるべき重点項目には、次の 3 点が挙げられる[5]。

（1）環境への放射性物質放出を最小にする。

（2）被ばく労働量を最小にする。

（3）「後始末」作業の総費用（国民負担）を最小にする。

現行の政府・東京電力の「中長期ロードマップ」は、工事期間短縮に重点を置き、1 日も早く事故サイトを更地にすることを目指していると推測される。他方で、被ばく労働量の見積もりも総費用の見積もりも最終段階までカバーしていない。また、工事期間を最長 30～40 年と計画しているが、もともと非現実的であった。電力業界では、事故を起こさずに廃炉処分する原子炉でも 30 年程度の廃炉期間が設定されている[6]。したがって、核燃料が溶融して格納容器底部に落下し、強い放射線が作業環境に放出されている

---

[3] 「東京電力（株）福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/20160317.pdf　　本レポート執筆後、第4回改訂版が2017年9月に発表されたが、本稿の主張に変更を要する内容は認められなかった。

[4] 基本方針に関する外部からの提案として筆者が目にしたものは次の諸論である。佐藤暁「イチエフの廃炉はどうすれば可能か」『世界』臨時増刊「イチエフ・クライシス」、2014年1月；佐藤暁「石棺にして未来に託す」『福島第一原発観光地化計画』ゲンロン、2013年、p.89；小出裕章「福島第一原発は石棺で閉じ込めるしかない」2015年4月25日、日本外国特派員協会記者会見（Videonews.com、http://youtu.be/DrLFNQpsv_g）

[5] 原子力市民委員会2014『原発ゼロ社会への道 —— 市民がつくる脱原子力政策大綱』第3章（p.99）および同2015『核廃棄物管理・処分政策のあり方』第1章に述べる基本原則（pp.9-10）を参照。

[6] 近年廃炉を決定した以下の原発の廃炉工事予定期間は次の通りである。美浜1・2号機：16～45年度、玄海1号機：16～43年度、浜岡1・2号機：09～36年度。『朝日新聞』2016年2月13日
さらに、東海再処理施設の廃止計画は70年を見込んでいる。「東海再処理施設の廃止に向けた計画等について」日本原子力研究開発機構、2017年1月11日

事故炉の後始末が 30～40 年で終了するという計画そのものが無理であった。格段に放射線が強い事故炉の後始末においては、放射線が自然減衰する時間を味方にして、炉心の取り出しは一定期間の隔離保管後に行うことが、上記の三つの重点項目を目指す上でももっとも順当な方策である。

本稿では、原子炉建屋内のデブリ取り出しおよび設備の撤去を行うまでの隔離管理期間を設けることを提案する。その案としては、次の３ケースを考える。

ケース１：　100 年間隔離保管後にデブリを取り出し、更地にする。
ケース２：　200 年間隔離保管後にデブリを取り出し、更地にする。
ケース３：　デブリを取り出さず、半永久的に隔離保管する。

これらのケースについて、総被ばく量と総費用を試算する。作業環境の放射線レベルは 100 年後には現在（メルトダウン６年後）のおおよそ 1/16 倍になり、200 年後には約 1/65 倍になる。
何百年も後の未来世代に負の遺産を託することについて、世代間倫理の立場から反対論があるが、最短期間を目指す現行ロードマップは無理を承知で策定しているものであり、かつ高線量下での被ばく労働を大量に強いるために現世代のもっとも立場の弱い人々の人格権を著しく侵害するものと言わざるをえず、けっして倫理的に勝るものではない。

現在の事故現場において作業を妨げているのは、高い放射能に加えて、燃料溶融デブリの冷却のために水循環システムを維持していることで、日々の汚染水の増大を招いていることである。放射能は百年単位の時間をかけて減衰を待てば、無理な除染労働力や被ばく交代要員を注ぎ込まなくても、安定した労働環境に近づく。一方、溶融燃料デブリの崩壊熱はすでに空冷もしくは自然換気で冷却が可能なレベルにまで減少している。

現在もっとも困難なのは溶融デブリの取り出しで、ロボット開発も手探り状態であり、多大な費用と被ばく労働を要する業務である。2017 年２月 16 日の２号機格納容器内に挿入したサソリ型ロボットによる放射線測定は、そのことを改めて認識させた[7]。また、作業中に新たな放射性物質を放出してしまうリスクも少なくない。そこで、このデブリの取り出しを当面行わず、汚染水対策と使用済み燃料プール中の燃料取り出しのみを今後約 10 年かけて行い、大気および水質への環境汚染が発生しないような処置を施した上で、100～200 年間隔離保管を行うことを提案する[8]。その隔離保管後も取り出しが困難な場合は、半永久的にそのまま保管する。本レポートでは、最終処理はデブリの取り出しと地上部分の解体撤去を行う場合は、その期間をケース１では 30 年間、ケース２では 20 年間と仮定して、被ばく労働量と工事費用の合計を概算し比較する。

使用済み燃料の放射線量と崩壊熱の減衰を図１および図２に示す[9]。

---

[7] 「実測210シーベルト　廃炉阻む」『朝日新聞』2017年2月19日
[8] 佐藤暁「石棺にして未来に託す」（前掲）
[9] National Research Council, A study of the isolation system for geologic disposal of radioactive wastes, National Academy Press, 1983, pp.29-30. http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0330/ML033040264.pdf

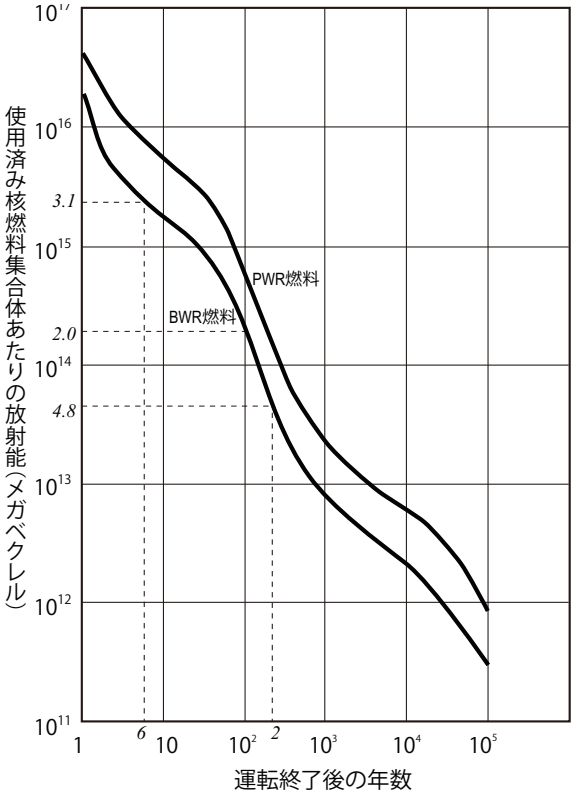

図１　放射能減衰

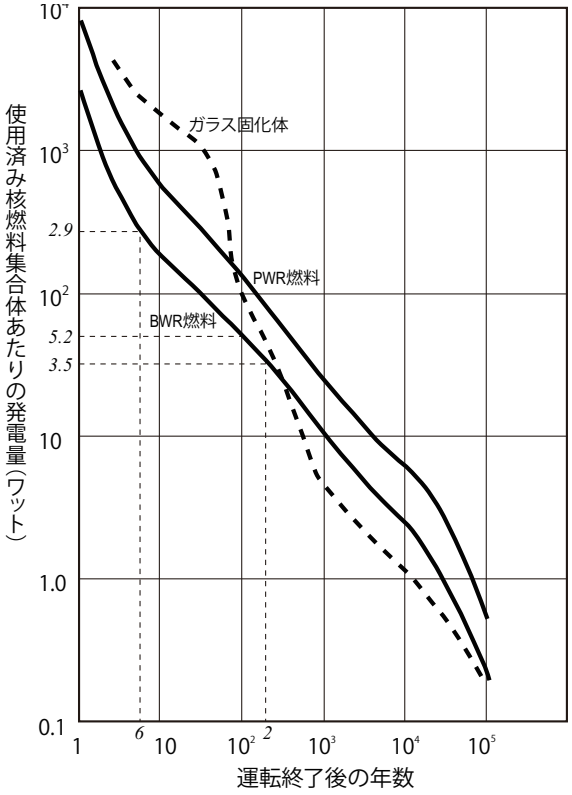

図２　崩壊熱減衰

2　大工程

2.1　当面行う作業

当面行う作業の主たる項目は次のとおりである。

2.1.1　使用済み燃料プール内燃料取り出し

これは、大地震再来の場合のリスクを避けるために、規定方針通り行うこととする。ただし、建屋内の被ばく作業環境が依然として高線量なので、作業時期は若干遅らせる。政府・東電の「中長期ロードマップ」第３回改訂版（2015 年）でも、燃料取り出し開始時期を次のように若干遅らせている。

１号機：　2017 年度下半期　→　2020 年度下半期
２号機：　2020 年度上半期　→　2020 年度（上半期または下半期）
３号機：　2015 年度上半期　→　2017 年度下半期

2.1.2　トリチウム水保管用大型タンクの建設

トリチウム水は、人体に有害であり、直ちに海上放出することは許されない。半減期は 12.3 年であり、10 サイクル（123 年）程度の保管を行うものとする。これにより、トリチウムの放射能量は 1/1000 に減衰する。現在、国家石油備蓄基地で使用している 10 万トン級の大型タンクは、適切に腐食対策を

とればその程度の寿命が期待できる。具体的には、十分な厚みの樹脂塗装を施して、20 年に一度程度の間隔で開放点検を行う[10]。その際は、トリチウム水を他のタンクに移送して空にし、タンク内面を洗浄してから開放点検を行えば、作業被ばくを最小限にできる。タンク 10 基の建設コストは約 300 億円と予想する。図 3 に大型タンクの実績例を示す。

図 3　大型タンクの実績例[12]

政府の「トリチウム水タスクフォース」がまとめた報告書は、5 ケースの処理方法について比較検討しているが、いずれのケースも短期間のうちに処理することをめざしており、費用は 1 千億円を超えている。これらの案は、被ばくの面からも費用の面からも再考の余地があると考える[11]。また、被ばく労働の悪影響が限定されるならば、次項で提案するコンクリート工事に利用することも可能であろう。

2.1.3　デブリ冷却の空冷化

デブリの発熱量は、現状でも空冷化が可能なレベルになっている。現行の汚染水循環冷却を止めれば、地下水流入による汚染水処理の負荷増大を停止できる[13]。格納容器内に空気を循環させてデブリを冷却するシステムを設置する。その後、汚染水循環冷却を停止して、現在原子炉建屋およびタービン建屋に滞留している汚染水を汲み出す。そのことによって、原子炉建屋およびタービン建屋はドライな環境を達成できる。デブリ空冷システムの稼働期間は 10 年程度で、途中から自然循環で十分冷却可能になることが期待される。

図 4 に、デブリ空冷システムのフローシートを示す。格納容器内の空気を循環し、それを熱交換器で間接冷却する。循環系内は負圧として、格納容器の漏えい部では外部から空気が流入するようにし、その系内の空気はフィルターでろ過した上で、余剰量を排気筒から排出する。

2.1.4　地表フェーシングと側溝

前項の建屋内への地下水流入対策を確実にし、また、地表の放射能汚染物質が地下に浸透して汚染水となって海上流出することを防ぐために、すでに地表が汚染されているタンクエリアおよびその下流にあたる地域の地表をフェーシング（舗装）し、雨水の浸透を防ぐ。その上で、貯水ピットで汚染が無いことを確かめた上で海上へ排出できるようにする。この作業は 10m盤エリアと他工事による干渉エリアを除く計画エリアの 100％が完了した（2016 年 3 月）[14]。

---

[10] ガラスフレークビニルエステル樹脂塗装など。「塗装ガイドブック」日本ペイント、ｐ.9
https://www.nipponpaint.co.jp/biz1/large/pdf/civicp.pdf
[11] 「トリチウム水タスクフォース報告書」2016年6月
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committtee/tritium_tusk/pdf/160603_01.pdf
[12] むつ小川原石油備蓄株式会社HPより　http://www.moos.co.jp/activity/equipment.html
[13] 前掲『原発ゼロ社会への道』2-4-1（p.91）参照。
[14] 大沢高志「原子力発電所事故後の廃炉への取組と汚染水対策」日本学術会議学術フォーラム、2016年6月23日、ｐ.16　http://janet-dr.com/01_home_calendaer/201604/20160423book.pdf

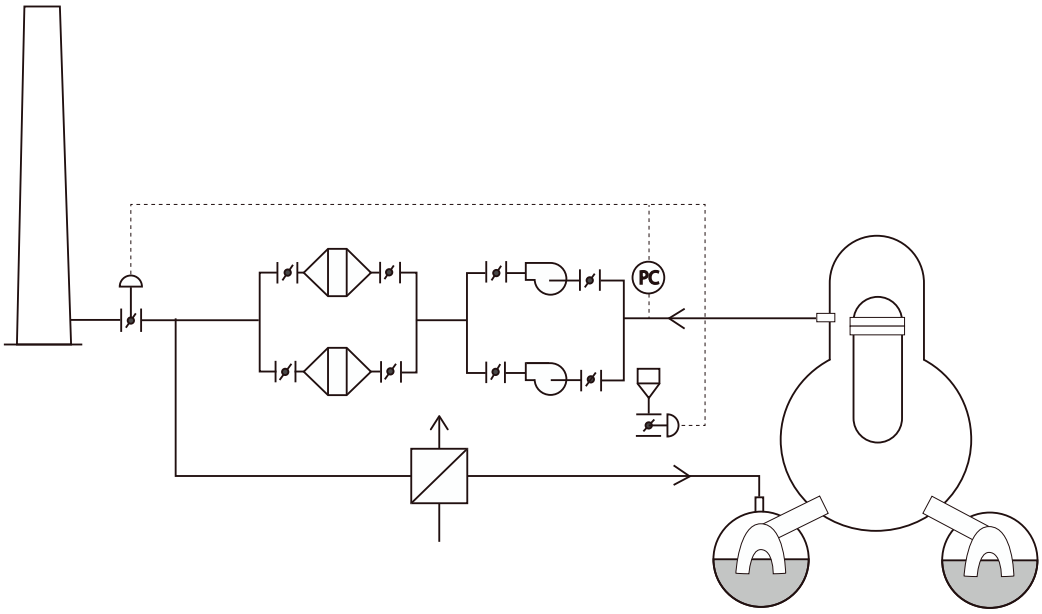

図４　デブリ空冷システムのフローシート

2.2　隔離保管のための作業

2.2.1　タービン建屋・制御室撤去

タービン建屋、中央制御室、連絡通路など、原子炉建屋以外の建屋の地上部分を撤去する。連絡配管等は、原子炉建屋の外壁位置で切断し、開口部をシールする。結果として、直方体の原子炉建屋だけを残す。

2.2.2　原子炉建屋外構シールド

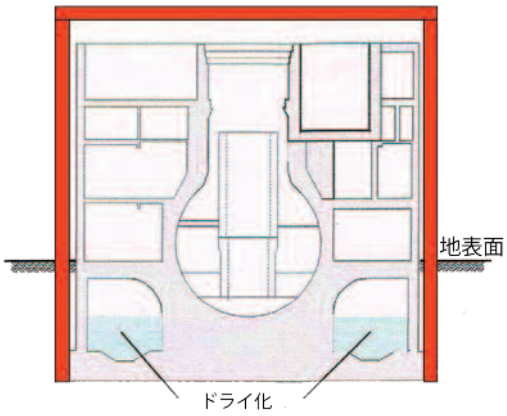

図５　外構シールドのイメージ図

原子炉建屋の外側にもう一重の壁と屋根を構成する外構シールド（鉄筋コンクリート製）を建設する。目的は、原子炉建屋から放射能が漏出するのをできる限り抑制することにある。換気システムによりシールド内を負圧に保ち、HEPA フィルターと水封式フィルターを設ける。もちろん、地震および津波に十分耐える構造とする。かつ、200 年以上の間保つことができるように、メンテナンスが容易な構造にする。機能上は、空冷用ダクトの出入り口と、定期的に状態をモニタリングするために出入り口を設ける。地下部分は、既設原子炉建屋の基礎コンクリートの上部または側面に接続して、地下水の流入を防ぐ。コンクリートの寿命については、6.2 に記載する。

2.3　100～200 年経過後の作業

取り出しが可能な場合（ケース１および２）、燃料デブリを取り出し、キャスクに入れて、乾式保管庫に収納する。この作業は、1・2・3 号機について行う。半永久的に取り出しを行わないで保管するケースも検討した（ケース３）。

3　現行作業の問題点

現在、福島第一構内で働いている人々は、東電社員 1000 人、協力会社以下の作業員が 5000 人と報じられている[15]。しかしながら、その多くは、事故当初から行われていた汚染水対策と作業環境を整えるための除染作業に従事している。そして、現場労働者の多くは実働 1 日 2 時間程度であるという[16]。その結果、月間の現場退域人数（被ばく線量が年間許容限界に達したので職場を離れる作業員）が毎月平均 450 人いる[17]。このような労働環境では熟練労働者の動員が困難であり、非能率な作業環境に多数の非熟練労働者を被ばく労働者として動員する結果になっている。そのため、作業効率においても作業結果の品質においても低調であることを免れず、何よりも非人道的である。そして、５千人規模の現場作業を管理することは、周到な作業計画を立案できる現場でも容易ではなく、格段に強力なマネジメント機能が必要であるが、前例のない事故現場でこのような人員規模の事業を適切に実行することはきわめて困難である。2014 年度に現場作業員を倍増したが、この時期に労働災害が多発していることが端的にその状況と符合している。むやみに「後始末」を急ぐことが作業員の「無駄遣い」となっていると考えられる。

なお、スリーマイル島事故後 10 年間（デブリ取り出しまで）の現場人員は、1 日当たり約 1000 人で推移し、電力会社とコントラクター（元請）以下の作業員とがほぼ半々であった[18]。

また、東電事故現場での現状は環境への放射性物質放出について総量規制もなく、成り行き任せになっている。本レポートが提案するような長期隔離保管の方針に変更すれば、放出管理も格段に容易となるであろう。

4　検討過程の説明

4.1　「中長期ロードマップ」の進捗状況

2013 年 6 月策定の「中長期ロードマップ」に対して、2015 年 6 月の第 3 回改訂版で変更されたのは次の諸点である。

---

[15] 「廃炉・汚染水対策の概要」経産省廃炉・汚染水対策チーム会合／事務局会議、2017年4月27日、ｐ.8
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2017/04/2-00-01.pdf
[16] 池田実氏からの聞き取りによる。同氏自身も非正規労働契約によって福島第一構内の労働に従事して、『福島原発作業員の記』八月書館、2016年を著した。
[17] 「原発作業員の被ばく　昨年末までに4.6万人」『朝日新聞』2016年3月9日
[18] JAERI-M 93-111「TMI-2の事故調査・復旧に関する成果と教訓」、1993年、p.28

(1)滞留水処理計画の内、汚染水タンク増設がボルト締め仮設仕様のものから、溶接構造タンクに変更が計画された。しかし、その作業は被ばく労働の負荷が大きすぎるために、2015 年末の段階で、約 10％を更新した段階で停止していた[19]。その後ペースを落として更新中である。

(2)海洋汚染拡大防止計画の内、凍土壁新設および地表フェーシングの項目が追加された。

(3) 4 号機使用済み燃料プールの燃料は予定通り 2014 年度に取り出しが完了した。

4.2　作業工程の対案

巻末に添付した表２（表 2-1 および 2-2）は、当提案書の「作業工程の対案」を示す。主要項目は次の諸点である。

(1)原子炉の冷却を空冷にする。当初は冷却空気を強制循環するが、途中から自然循環で可能となる見込みである。

(2)滞留水処理のために大型タンクを建設し、運用する。トリチウム水を 100 年以上保管する。

(3)原子炉建屋には外構シールドを建設し、100 年単位の隔離保管を行う。

4.3　工程表：人員・被ばく量・設備・費用

巻末に添付した表３は、政府・東京電力の「中長期ロードマップ」による場合と当「対案」による場合との費用と労働者被ばく量の概算推計値を算出する過程を示すものである。

それを元に、各期間の小計をまとめて「期間別集計」をしたものが表 1 である。

4.4　実績費用表

表 4 は、東京電力の決算書[20] と会計検査院の報告書[21] をもとに 2014 年度までの実績として判明した福島第一原発の「後始末」費用をまとめたものである。なお、決算書をもとに考察を加えた大島・除本の論考も参照した[22]。

注目すべき点は、政府官庁からの支出（§2 および §3）の合計が、2013 年度および 2014 年度においてそれぞれ 1000 億円強であることである。そこで、表３においては、「中長期ロードマップ」の各年度の支援組織の費用を 1000 億円とした。

4.5　労働者被ばく量実績

表 5 は、福島第一原発サイトでの労働者総被ばく量の 2011 年度から 2016 年度までの実績データである。

---

[19] 「ボルト締め型タンクの解体の苦労」『東京新聞』2015年12月28日

[20] 東京電力決算書、2011年度、2012年度、2013年度

[21] 会計検査院「東京電力株式会社に係る原子力損害の賠償に関する国の支援等の実施状況に関する会計検査の結果について」、2015年3月

[22] 大島堅一・除本理史「福島原発事故のコストと国民・電力消費者への負担転嫁の拡大」『経営研究』65(2): pp69-98.

表１　人員・労働者被ばく量・費用に関する期間別集計比較表

番号	作業項目	2011～2015 年度	2016～2051 年度	2052～2110 or 2052～2210 年度小計	取出し作業	外構シールドで保管	合計	備考
				(100 年後 or 200 年後まで)	(100 年後から 30 年) (200 年後から 20 年)	(100 年間の試算)		
A	**政府・東電「中長期ロードマップ」**							
1	人員 (人)							
1)	東電現場人員	5,000	36,000				41,000	
2)	協力会社＋作業員	27,000	180,000				207,000	
3)	支援組織	5,000	36,000				41,000	
	小計	37,000	252,000				289,000	
2	現場労働者被ばく量							
1)	新規入構者数 (人)	88,400	519,850				608,250	
2)	平均被ばく量 (mSv)	6.8	2.6				3.2	
3)	総被ばく量 (人・Sv)	602	1329				1,931	
3	費用 (億円)							
1)	人件費：東電＋協力会社	10,560	68,970				79,530	
	人件費：支援組織	1,650	11,880				13,530	
2)	関連費用：東電	20,885	144,000				164,885	
	関連費用：支援組織	5,000	36,000				41,000	
	小計：東電＋協力会社	31,445	212,970				244,415	
	小計：支援組織	6,650	47,880				54,530	
		38,095	260,850				298,945	総計(40 年間)
B	**ケース１（100 年間隔離保管）**							
1	人員 (人)							
1)	東電現場人員	5,000	14,400	2,900	15,000		37,300	
2)	協力会社＋作業員	27,000	42,800	5,800	30,000		105,600	
3)	支援組織	5,000	14,400	2,900	15,000		37,300	
	小計	37,000	71,600	11,600	60,000		180,200	
2	現場労働者被ばく量							
1)	新規入構者数 (人)	88,400	83,650	5,800	30,000		207,850	
2)	平均被ばく量 (mSv)	6.8	2.4	1.0	1.5		4.1	
3)	総被ばく量 (人・Sv)	602	198	6	45		851	
3	費用 (億円)							
1)	人件費：東電+協力会社	10,560	18,876	2,871	14,850		47,157	
	人件費：支援組織	1,650	4,752	957	4,950		12,309	
2)	関連費用：東電	20,885	38,133	5,756	30,000		94,775	
	関連費用：支援組織	5,000	14,400	2,900	15,000		37,300	
	小計：東電+協力会社	31,445	57,009	8,627	44,850		141,932	
	小計：支援組織	6,650	19,152	3,857	19,950		49,609	
		38,095	76,161	12,484	64,800		191,541	総計（130 年間）
C	**ケース２（200 年間隔離保管）**							
1	人員 (人)							
1)	東電現場人員	5,000	14,400	7,900	10,000		37,300	
2)	協力会社+作業員	27,000	42,800	15,800	20,000		105,600	
3)	支援組織	5,000	14,400	7,900	10,000		37,300	
	小計	37,000	71,600	31,600	40,000		180,200	
2	現場労働者被ばく量							
1)	新規入構者数 (人)	88,400	83,650	15,800	20,000		207,850	
2)	平均被ばく量 (mSv)	6.8	2.4	1.0	1.5		4.1	
3)	総被ばく量 (人・Sv)	602	198	16	30		846	
3	費用 (億円)							
1)	人件費：東電+協力会社	10,560	18,876	7,821	9,900		47,157	
	人件費：支援組織	1,650	4,752	2,607	3,300		12,309	
2)	関連費用：東電	20,885	38,133	15,681	20,000		94,699	
	関連費用：支援組織	5,000	14,400	7,900	10,000		37,300	
	小計：東電+協力会社	31,445	57,009	23,502	29,900		141,856	
	小計：支援組織	6,650	19,152	10,507	13,300		49,609	
		38,095	76,161	34,009	43,200		191,465	総計（220 年間）
D	**ケース３（半永久保管）**							
1	人員 (人)							
1)	東電現場人員	5,000	14,400	7,900		5,000	32,300	
2)	協力会社+作業員	27,000	42,800	15,800		10,000	95,600	
3)	支援組織	5,000	14,400	7,900		5,000	32,300	
	小計	37,000	71,600	31,600		20,000	160,200	
2	現場労働者被ばく量							
1)	新規入構者数 (人)	88,400	83,650	15,800		1,000	188,850	
2)	平均被ばく量 (mSv)	6.8	2.4	1.0		1.0	4.3	300 年後までの累計
3)	総被ばく量 (人・Sv)	602	198	16		1	817	
3	費用 (億円)							
1)	人件費：東電+協力会社	10,560	18,876	7,821		4,950	42,207	
	人件費：支援組織	1,650	4,752	2,607		1,650	10,659	
2)	関連費用：東電	20,885	38,133	15,681		9,925	84,624	
	関連費用：支援組織	5,000	14,400	7,900		5,000	32,300	
	小計：東電+協力会社	31,445	57,009	23,502		14,875	126,831	
	小計：支援組織	6,650	19,152	10,507		6,650	42,959	
		38,095	76,161	34,009		21,525	169,790	総計

表４　福島第一「後始末」費用（実績として判明しているもの）

番号	費目	内容	2011 年度 2012 年 3 月決算		2012 年度 2013 年 3 月決算		2013 年度 2014 年 3 月決算		2014 年度 2015 年 3 月決算		2015 年度 2016 年 3 月決算		備考
			条件	金額（億円）	条件	金額（億円）	条件	金額（億円）	条件	金額（億円）	条件	金額（億円）	
§1	**東京電力決算書記載の項目**												
	東日本大震災による損失												
a	福島第一原発の事故収束・廃止による損失			4262		4829		4400					
b	福島第一原発 1～4 号機の廃止費用又は損失のうち加工中等核燃料の処理費用			2070		48		50					
c	原子炉の安全な冷温停止状態を維持する費用又は損失			2118		1737		1207					
d	火力発電所の復旧費用又は損失			497		98		45					
e	その他			833		44		15					
	小計(a～e)			9780		6756		5717					
	内、「後始末」費用合計（a+c+e）			**7213**		**6610**		**5622**	**不詳**	**6000***	**不詳**	**6000***	*仮定
f	その他の項目	福島第一 7・8 号増設中止に伴う損失		393									
§2	**政府官庁**												以下、会計検査院による
a	国の財政措置			20		870		772		231			小計：1892 億円 図表 3-87
b	委託事業による研究開発費			1		7		28		17			小計：53 億円 図表 3-88
c	補助事業による研究開発費					9		2		37			小計：48 億円 図表 3-89
d	基金設置							214					小計：214 億円 p.173
	小計			**21**		**886**		**1016**		**285**			
§3	**研究設備の整備および事業**												
a	廃炉作業関連→JAEA	遠隔操作機器 放射線分析								850			p.177
b	汚染水対策実証事業→東電、ほか	凍土壁 ALPS								469			図表 3-92
	小計									**1319**			
§4	**間接費、その他**												不詳
	人材育成												
	学術機関への研究費、ほか												
	管理費用												

表 5　年度別累計労働者被ばく線量分布表

（集計期間：平成 23 年 3 月 11 日～平成 28 年 3 月 31 日）

被ばくレベル（mSv）		2011 年度	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度	2016 年度
250 超え（人）	東電社員	6	0	0	0	0	0
	協力企業	0	0	0	0	0	0
	計	6	0	0	0	0	0
200 超え～250 以下（人）	東電社員	1	0	0	0	0	0
	協力企業	2	0	0	0	0	0
	計	3	0	0	0	0	0
150 超え～200 以下（人）	東電社員	26	0	0	0	0	0
	協力企業	2	0	0	0	0	0
	計	28	0	0	0	0	0
100 超え～150 以下（人）	東電社員	117	0	0	0	0	0
	協力企業	20	0	0	0	0	0
	計	137	0	0	0	0	0
75 超え～100 以下（人）	東電社員	186	0	0	0	0	0
	協力企業	65	0	0	0	0	0
	計	251	0	0	0	0	0
50 超え～75 以下（人）	東電社員	257	1	0	0	0	0
	協力企業	261	0	0	0	0	0
	計	518	1	0	0	0	0
20 超え～50 以下（人）	東電社員	630	62	31	11	6	0
	協力企業	2660	675	629	996	592	210
	計	3290	737	660	1007	598	210
10 超え～20 以下（人）	東電社員	491	129	95	60	52	20
	協力企業	2896	2000	2067	2598	1947	1140
	計	3387	2129	2162	2658	1999	1160
5 超え～10 以下（人）	東電社員	377	266	195	158	108	89
	協力企業	2556	1875	1897	2775	2247	1386
	計	2933	2141	2092	2933	2355	1475
1 超え～5 以下（人）	東電社員	589	579	670	637	533	401
	協力企業	4625	3327	3739	5314	5114	4361
	計	5214	3906	4409	5951	5647	4762
1 以下（人）	東電社員	735	589	701	822	998	1168
	協力企業	4633	4239	4722	7359	6599	7077
	計	5368	4828	5423	8181	7597	8245
被ばく者計（人）	東電社員	3415	1626	1692	1688	1697	1678
	協力企業	17720	12116	13054	19042	16499	14174
	計	21135	13742	14746	20730	18196	15852
最大被ばく線量(mSv)	東電社員	678.8	54.1	41.9	29.5	24	14.75
	協力企業	238.42	43.3	41.4	39.85	43.2	38.83
	計	678.8	54.1	41.9	39.85	43.2	38.83
平均被ばく線量(mSv)	東電社員	25.15	4.49	3.24	2.3	1.85	1.25
	協力企業	10.06	5.9	5.51	5.29	4.52	3.07
	計	12.5	5.74	5.25	5.04	4.27	2.87
総被ばく線量（人･Sv）※	東電社員	85.9	7.3	5.5	3.9	3.1	2.1
	協力企業	178.3	71.5	71.9	100.7	74.6	43.5
	計	264.2	78.9	77.4	104.5	77.7	45.5
						総被ばく線量累計	648.2

東京電力プレスリリース 2017 年 4 月 30 日
福島第一原子力発電所作業者の被ばく線量の評価状況について
年度別累計線量分布表（年度別外部線量分布表、年度別内部線量分布表）

5　検討結果

上記の表１が示す概算結果を摘記すると、次の表のようになる。ここでは、政府・東電案も私たちの対案も、2011 年度～2015 年度の発生分は、政府・東京電力「中長期ロードマップ」の既定方針通り行われるものとして、その間の費用は同一とする。そして、2016 年度以降を「中長期ロードマップ」の計画による場合（表 6-1）と、2 ケースの「対案」による場合を試算したものである（表 6-2 と 6-3）。違いは、2016 年度以降にあり、両「対案」においては、現場労働者の被ばく総量が半分以下になり、費用は 2/3 程度になる見込みである。また、ケース３として、デブリを取り出さず、半永久的に保管する場合は、300 年後までの費用と被ばく量を表 6-4 に記載した。

もとより、いずれの案も歴史上前例のない問題に取り組むものであって、大きな困難に立ち向かうことを前提にしてのことである。この提案の趣旨は、現行の「中長期ロードマップ」に対して、経済面のみならず環境面および作業被ばく量の面でも負担の少ない合理的に実現可能な計画案を提示することにある[23]。この種の議論は寡聞にして見かけなかったが、最近、日本経済研究センターから同種の試算が発表され、表 6-1 のプロジェクト総費用 30 兆円に相当する金額が 32 兆円と算出された。ほぼ一致する見積金額であったことは興味深い[24]。なお、下記の表では有効数字 2 桁に丸めた。

表 6-1　「中長期ロードマップ」の集計

	2011～2015 年度まで発生分	2016～終了まで発生分	合計
プロジェクト終了時期	——		40 年後
現場累計労働者数	32,000 人・年	220,000 人・年	250,000 人・年
支援組織労働者数	5,000 人・年	36,000 人・年	41,000 人・年
現場労働者被ばく総量	600 人・Sv	1,300 人・Sv	1,900 人・Sv
プロジェクト費用総計	3.8 兆円	26 兆円	30 兆円

表 6-2　ケース１：100 年間隔離保管のケースの集計

	2011～2015 年度まで発生分	2016～2110 年度まで発生分	2111～2140 年度（デブリ取出し 30 年）	合計
プロジェクト終了時期	——			130 年後
現場累計労働者数	32,000 人・年	66,000 人・年	45,000 人・年	140,000 人・年
支援組織労働者数	5,000 人・年	17,000 人・年	15,000 人・年	37,000 人・年
現場労働者被ばく総量	600 人・Sv	200 人・Sv	45 人・Sv	850 人・Sv
プロジェクト費用総計	3.8 兆円	8.9 兆円	6.5 兆円	19 兆円

[23] なお、情報公開が限られている中で、入手可能であった情報の範囲内での検討とせざるをえなかったことを付記しておく。
[24] 公益社団法人日本経済研究センター「福島第一原発事故の国民負担」2017年3月7日
http://www.jcer.or.jp/policy/concept2050.html

表 6-3　ケース２：200 年間隔離保管のケースの集計

	2011～2015 年度まで発生分	2016～2210 年度まで発生分	2211～2230 年度（デブリ取出し 20 年）	合計
プロジェクト終了時期	——			220 年後
現場累計労働者数	32,000 人・年	81,000 人・年	30,000 人・年	140,000 人・年
支援組織労働者数	5,000 人・年	22,000 人・年	10,000 人・年	37,000 人・年
現場労働者被ばく総量	600 人・Sv	210 人・Sv	30 人・Sv	850 人・Sv
プロジェクト費用総計	3.8 兆円	11 兆円	4.3 兆円	19 兆円

表 6-4　ケース３：半永久保管方式（デブリを取り出さず半永久的に外構シールドを維持）の集計（300 年後までの集計）

	2011～2015 年度まで発生分	2016～2210 年度まで発生分	2211～2310 年度（100 年間の保管負担を表示）	合計
プロジェクト終了時期	——			半永久的保管
現場累計労働者数	32,000 人・年	81,000 人・年	15,000 人・年	130,000 人・年
支援組織労働者数	5,000 人・年	22,000 人・年	5,000 人・年	32,000 人・年
現場労働者被ばく総量	600 人・Sv	210 人・Sv	1 人・Sv	810 人・Sv
プロジェクト費用総計	3.8 兆円	11 兆円	2 兆円	17 兆円

6　隔離保管中の安全性について

デブリを空冷化して隔離保管中にデブリが臨界に達するような事故が起こり得ないか、という点について補足説明をする。

6.1　臨界の回避

現状の燃料デブリの分散状態において臨界は発生していないと考えられる。現行の水冷方式を空冷方式（2.1.3）に改めて乾式保管の環境にすれば臨界防止はより一層確実になる[25]。

6.2　地震・津波対策

外構シールドとして、現在の原子炉建屋の外壁および屋根に平行に 2m程度の隙間を設けて箱型の鉄筋コンクリート製の外壁および屋根を建設することを提案している（2.2.2）。既設建屋ともステー（つなぎ材）を設けて、強度を増やし、耐震性および対津波衝撃強度を十分に持たせる。隙間を設けるのは、メンテナンスや、原子炉設備の現状調査や、空冷管理などの作業が保管中にも必要だからである。

鉄筋コンクリートの寿命は一般に 100 年以下といわれてきたが、現在ゼネコン各社は 200 年に耐える

[25] JAEA燃料サイクル安全研究ユニット　臨界安全研究グループ「福島第一原子力発電所燃料デブリ臨界管理に資する基礎臨界データ整備に向けて」
http://www.jaea.go.jp/04/anzen/archives_seikahoukoku/h26/H26PosterCritical.pdf

コンクリート施工法を開発して実用化している[26]。したがって、長期安定性を確保することが可能である。

6.3　1・2 号機排気筒の養生

1・2 号機排気筒は事故時のベントの結果、筒身内部が高濃度の放射能で汚染されている。高さは 120 mあって、その中ほど、60m 付近で、筒身の倒壊を防止するトラス構造材が接合部で破断している。その強度計算結果によれば、弾性限界に対する検定比が 0.98、全塑性モーメントに対しては裕度が 1.3 倍である[27]。東電は今後解体に使う大型クレーンを製作して 2019 年度中（つまり、2020 年 3 月）までに解体を終えるとの計画を原子力規制委員会の検討会で明らかにした[28]。計算では基準地震動（Ss）が 600Gal の地震に対して耐えるとしているが、残存部材の劣化が十分に把握できているとは考えられず、今後 2 年半の間に強い地震などが襲来した場合、中央で切断して倒壊する危険がないとは言えない。もし、筒身が原子炉建屋の上に崩落すると建屋が強い放射能に汚染して、現在の「後始末」作業を大幅に遅らせる結果となる。しかも、筒身は強い放射能を帯びているので近寄って工事をすることはできない。

最小限の対策として、崩落するときに建屋側に落下しないように、排気筒頂部と陸側高台を結ぶトラワイヤーを張り渡すことが必要と考える。

トラワイヤーを通す方法としては、初めの道糸を放射線が強い高所の構造部材に通すことが困難に思われるが、最近はドローンが容易に使えるので、これによるのが良いと考える。

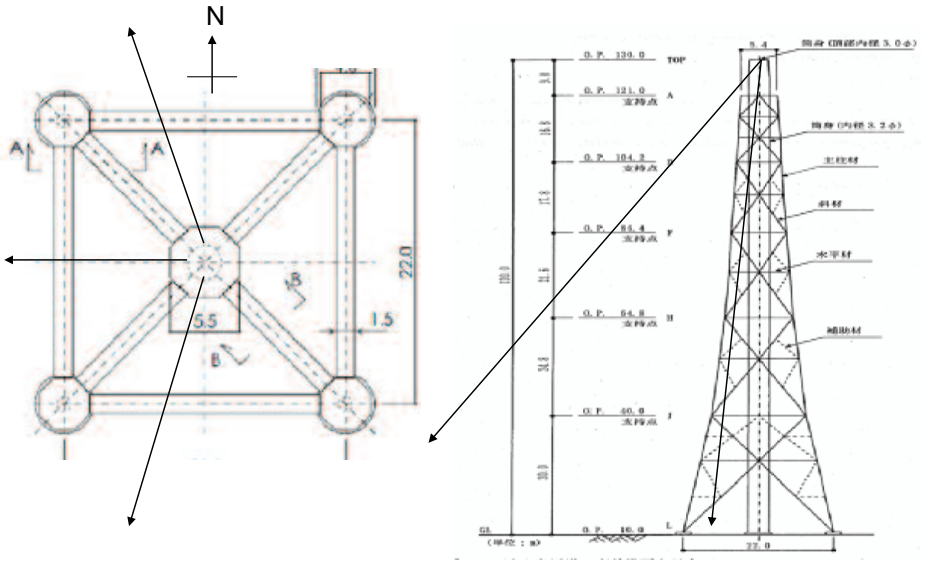

図 6　排気筒のトラワイヤー

[26] 鹿島建設「長寿命コンクリートEIEN」http://www.kajima.co.jp/tech/c_harbor/material/index.html#!body_03
柳橋邦生「超高耐久性コンクリート」『コンクリート工学』Vol.49 No.5 （2011年）、p.122
https://www.jstage.jst.go.jp/article/coj/49/5/49_5_5_122/_pdf
[27] 「福島第一原子力発電所1・2号機排気筒の部材損傷に対する耐震安全性評価について」2013年10月7日、p.15 http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_131007_06-j.pdf
[28] 「福島第一原発、1・2号機の排気筒上部を解体へ　18年度から」『日本経済新聞』2016年4月25日

7　デブリの状態について

2016 年 10 月に、国際廃炉研究開発機構（IRID）は、ミュオン測定に基づくデブリの状態を発表した。それによると、燃料デブリは核燃料集合体の材料ばかりではなく、周囲の鋼材やコンクリートと一体になって、重量で約 2 倍に膨れ上がっていることが判明した（表 7）[29]。このことは、燃料取り出しの困難が中長期ロードマップ策定時の想定より、はるかに大きくなったことを意味する。

表 7　デブリの重量

	重量			燃料デブリの構成物と割合		
	燃料のみ	燃料集合体	燃料デブリ	核燃料	ステンレス鋼	コンクリート
1 号機	69 ton	124 ton	279 ton	30%	30%	40%
2 号機	94 ton	169 ton	237 ton	70%		30%
3 号機	94 ton	169 ton	364 ton	30%	30%	40%
合計	257 ton	462 ton	880 ton			

8　結論 —— リスク最小の選択を

この特別レポートの初版（2015 年）は、すでに実施中の政府・東電の「中長期ロードマップ」の方針を踏襲したうえで、その作業の無理なところを修正し、時間的にも可能な期間に修正するという考え方で提案した。したがって、どの程度の時間を待てば、デブリ取り出しができるか、ということが主要関心事であった。そして、政府・東電がデブリ取り出しを急ぐ理由の一つは、現在の場所に保管していることが、たとえば新たな地震に襲われた場合に再度放射能を飛散するのではないかという恐れに起因するものであった。

事故後 6 年を経過した今日に立ってみると、デブリの崩壊熱はいずれの号機でも 100kW を十分に下回っており、水冷を空冷に切り替えても危険はなく、外構シールドを築いて地下水との縁切りをすれば新たな汚染水増加を止めることができる。したがって、200 年以上の安定した隔離保管状況を作ることができる。

しかし、その時点でデブリを取り出すことが適切かと考えると、格納容器内で 80Sv/h という極めて高い放射線推計値などから、200 年経過後であっても容易に近づけない放射線環境が続いていることも予想される。となると、その時点まで安定した保管を続けたものを改めて取り出すことに果たして格段の利点があるだろうかとの疑問がわいてくる。むしろ、そのまま静置した方が安全ではないか。また、以降の費用も 100 年間で 2 兆円（年間 200 億円）程度である（表 6-4）。

リスク最小の選択として、筆者らは、ケース 3 で示したように半永久的に外構シールドを維持することを提唱する。

[29] 剱田裕史「国際廃炉研究開発機構における研究開発の状況について」2016年10月20日、ｐ.14
http://www.irid.or.jp/_pdf/161020RADIEX.pdf

表2-1　作業工程：対案その１
　　１～４号機のプラントの安定状態維持・継続に向けた作業工程

Rev.4 2017/7/28

番号　作業項目	第1期			第2期								第3期・第4期		第5期	備考
	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	～2031年	～2110年 or ～2210年	～2140年 or ～2230年	
A　対案											(10年後)	(20年後)	(100年後)or(200年後)		
0　マイルストーン	使用済み燃料プール内の燃料取り出しが開始されるまで														
1　原子炉の冷却															
1)　原子炉冷温停止状態の維持・監視	→	→	→	→	→										注水継続
2)　格納容器内の部分的観察	→	→	→												
3)　循環注水冷却															
タービン建屋から取水	→	→	→	→	→										切り替え時期は運転
4)　空冷						→	→	→	→	→	→				しつつ判断
5)　建屋内換気												→	→		
2　滞留水処理															
1)　現行処理施設による滞留水処理	→	→													
2)　信頼性を向上させた施設による処理			→	→	→	→	→								
3)　循環ライン縮小による滞留水処理								→	→	→					
4)　サブドレン復旧			→	→	→										
5)　地下水バイパス工事			→	→	→	→									
6)　地下水流入量低減(滞留水減少)						→	→	→							
7)　ALPS(多核種除去設備)設置		→	→	→	→	→									
8)　機内貯留水の浄化		→	→	→	→	→	→	→							
9)　小容量汚染水タンク(ボルト締め)増設	→	→	→												
小容量汚染水タンク(溶接)増設				→	→	→									トリチウム水は123年
10)　大型タンク建設・運用						→	→	→	→	→	→	→	→		後まで保管
3　海洋汚染拡大防止															
1)　遮水壁の構築	→	→	→	→											
凍土壁			→	→	→										
地表フェーシング・側溝設置				→	→	→	→								
2)　シルトフェンス追加設置		→													
3)　取水路前面エリアの海底土の被覆	→	→													
4)　海水循環浄化	→	→	→	→	→										
5)　航路・泊地エリアの浚渫土砂の被覆			→	→	→										
6)　地下水及び海水のモニタリング	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
4　放射性廃棄物管理及び敷地境界の放射線量低減															
4-1　ガレキ															
1)　遮蔽等による保管ガレキ等の線量低減	→	→													
2)　安定保管			→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
4-2　水処理二次廃棄物															
1)　遮蔽等による二次廃棄物の線量低減	→	→													
2)　安定保管			→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
4-3　気体・液体廃棄物															
1)　格納容器ガス管理システム設置	→	→													
2)　陸域・海域のモニタリング	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→		
5　敷地内除染															
1)　発電所敷地内除染	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→				
B　作業条件															
1　デブリ発熱量			120kW(年度末)							40kW(年度末)		10kW(100年)、7kW(200年)			
2　放射能比率			1(年度末)							0.4(年度末)		0.04(100年)　0.01(200年)			

表2-2　作業工程：対案その２
使用済み燃料プールからの燃料取り出し作業工程

Rev.4 2017/07/28

番号　　作業項目		第1期		第2期							第3期・第4期		第5期	備考
	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	～2031年	～2110年 or ～2210年	～2140年 or ～2230年	
A　対案											（10年後）	（20年後）	（100年後）or（200年後）		
0　マイルストーン	使用済み燃料プール内の燃料取り出しが開始されるまで			▽ 使用済み燃料の再処理・保管方法決定											
1　1～4号機使用済み燃料プール															
1）　プール循環冷却	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→					
2）　1号機準備工事・ガレキ撤去・取出設備			→	→	→	→	→	→	→	→	→				
3）　1号機燃料取り出し											→	→	（22年度）		
4）　2号機準備・改造・取出設備				→	→	→	→	→	→	→					
5）　2号機燃料取り出し										→	→				
6）　3号機ガレキ撤去・取出設備	→	→	→	→	→	→	→	→							
7）　3号機燃料取り出し								→	→	→					
8）　4号機ガレキ撤去・カバー	→	→	→	→											
9）　4号機燃料取り出し				→	→										
2　共用プール															
1）　港湾復旧	→	→	→	→											
2）　取り出した燃料集合体の貯蔵				→	→	→	→	→	→	→	→	→			
3）　キャスク製造・搬入	→	→	→	→											
4）　共用プール復旧	→	→													
5）　共用プール燃料取り出し・設備改造		→	→	→											
3　原子炉建屋隔離管理															
1）　タービン建屋・制御室撤去												→			
2）　原子炉建屋周辺整地												→			
3）　建屋外構建設												→			
4）　モニタリング													→	→	
5）　メンテナンス													→	→	
4　固体廃棄物の保管管理・処理・処分															
1）　固体廃棄物の保管管理・処理・処分：計画	→	→	→	→	→	→	→								
遮蔽等による保管ガレキの線量低減	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→			
遮蔽等による保管水廃棄物の線量低減	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→			
水処理二次廃棄物の計画・実施	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→			
2）　原子炉施設の廃止：計画、設備設計															
廃止措置工事実施													→	→	
5　研究開発拠点の整備															
1）　放射性物質分析・研究施設の設置・運用			→	→	→	→	→	→	→	→	→	→			

表 3　工程表：人員・被ばく量・設備・費用
福島第一原子力発電所の廃炉費用計算資料

Rev.2 2017/11/16

番号　作業項目	第1期			第2−1期		1～2−1期計	第2−2期					
（年度）	2011	2012	2013	2014	2015		2016	2017	2018	2019	2020	2021
												（10年後）
A 政府・東電「ロードマップ」												
1　人員　（人）												
1）東電現場人員	1000	1000	1000	1000	1000	5000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2）協力会社＋作業員	5000	5000	5000	6000	6000	27000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
3)～4)支援組織小計（推定）	1000	1000	1000	1000	1000	5000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
小計	7000	7000	7000	8000	8000	37000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
2　現場労働者被ばく量												
1）新規入構者数　（千人）	21.1	13.7	14.7	20.7	18.2	88.4	15.9	16	16	16	16	16
2）平均被ばく量　（mSv）	12.5	5.74	5.25	5.04	4.27		2.87	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
3）総被ばく量　（人・Sv）	264	79	77	104	78	602	45	45	45	45	45	45
3　主要設備												
1）水処理設備												
2）汚染水タンク（小容量）												
3）水冷循環設備												
4）凍土壁・遮水壁・フェーシング												
5）使用済み燃料取り出し設備												
6）燃料取り出し設備・ロボット												
7）固体廃棄物処理設備												
8）設備撤去												
4　費用　（億円）												
1）人件費：東電+コントラクタ	1980	1980	1980	2310	2310	10560	2310	2310	2310	2310	2310	2310
人件費：支援組織	330	330	330	330	330	1650	330	330	330	330	330	330
2）関連費用：東電	5233	4630	3642	3690	3690	20885	4000	4000	4000	4000	4000	4000
関連費用：支援組織	1000	1000	1000	1000	1000	5000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
小計：東電+コントラクタ	7213	6610	5622	6000	6000	31445	6310	6310	6310	6310	6310	6310
小計：支援組織	1330	1330	1330	1330	1330	6650	1330	1330	1330	1330	1330	1330
						38095						
B 対 案												
1　人員												
1）東電現場人員	1000	1000	1000	1000	1000	5000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2）協力会社+作業員	5000	5000	5000	6000	6000	27000	6000	3000	3000	3000	3000	3000
3）支援組織	1000	1000	1000	1000	1000	5000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
小計	7000	7000	7000	8000	8000	37000	8000	5000	5000	5000	5000	5000
2　現場労働者被ばく量												
1）新規入構者数　（千人）	21.1	13.7	14.7	20.7	18.2	88.4	15.9	10	10	8	8	8
2）平均被ばく量　（mSv）	12.5	5.74	5.25	5.04	4.27		2.87	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
3）総被ばく量　（人・Sv）	264	79	77	104	78	602	45	25	25	20	20	20
3　主要設備												
1）水処理設備												
2）汚染水タンク（大容量）												
3）空冷設備												
4）フェーシング・側溝												
5）周辺建屋撤去・原子炉建屋外構												
4　費用　（億円）												
1）人件費：東電+協力会社	1980	1980	1980	2310	2310	10560	2310	1320	1320	1320	1320	1320
人件費：支援組織	330	330	330	330	330	1650	330	330	330	330	330	330
2）関連費用：東電	5233	4630	3642	3690	3690	20885	4000	2286	2286	2286	2286	2286
関連費用：支援組織	1000	1000	1000	1000	1000	5000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
小計：東電+協力会社	7213	6610	5622	6000	6000	31445	6310	3606	3606	3606	3606	3606
小計：支援組織	1330	1330	1330	1330	1330	6650	1330	1330	1330	1330	1330	1330
						38095						

番号　作業項目	第3期																													
（年度）	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051
A 政府・東電「ロードマップ」																														
1　人員　（人）																														
1）東電現場人員	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2）協力会社＋作業員	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	5000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
3)～4)支援組織小計（推定）	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
小計	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	7000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
2　現場労働者被ばく量																														
1）新規入構者数　（千人）	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
2）平均被ばく量　（mSv）	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
3）総被ばく量　（人・Sv）	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3　主要設備																														
1）水処理設備																														
2）汚染水タンク（小容量）																														
3）水冷循環設備																														
4）凍土壁・遮水壁・フェーシング																														
5）使用済み燃料取り出し設備																														
6）燃料取り出し設備・ロボット																														
7）固体廃棄物処理設備																														
8）設備撤去																														
4　費用　（億円）																														
1）人件費：東電+コントラクタ	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	2310	1980	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320	1320
人件費：支援組織	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330
2）関連費用：東電	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
関連費用：支援組織	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
小計：東電+コントラクタ	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	6310	5980	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320	5320
小計：支援組織	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330	1330
B 対 案																														
1　人員																														
1）東電現場人員	1000	1000	500	500	500	500	500	500	500	500	500	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2）協力会社+作業員	3000	2000	2000	2000	2000	2000	1000	1000	1000	1000	1000	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
3）支援組織	1000	1000	500	500	500	500	500	500	500	500	500	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
小計	5000	4000	3000	3000	3000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
2　現場労働者被ばく量																														
1）新規入構者数　（千人）	6	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2）平均被ばく量　（mSv）	2	2	2	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
3）総被ばく量　（人・Sv）	12	8	4	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
3　主要設備																														
1）水処理設備																														
2）汚染水タンク（大容量）																														
3）空冷設備																														
4）フェーシング・側溝																														
5）周辺建屋撤去・原子炉建屋外構																														
4　費用　（億円）																														
1）人件費：東電+協力会社	1320	990	825	825	825	825	495	495	495	495	495	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
人件費：支援組織	330	330	165	165	165	165	165	165	165	165	165	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
2）関連費用：東電	2286	1714	1429	1429	1429	1429	857	857	857	857	857	171	171	171	171	200	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
関連費用：支援組織	1000	1000	500	500	500	500	500	500	500	500	500	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
小計：東電+協力会社	3606	2704	2254	2254	2254	2254	1352	1352	1352	1352	1352	270	270	270	270	299	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399
小計：支援組織	1330	1330	665	665	665	665	665	665	665	665	665	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133	133

番号　作業項目	2−2～3期計	1～3期 小計	第4期（100年後） 2052～2110	小計	第4期（200年後） 2052～2210	小計	第5期（100年後取出） 2111～2140	小計	第5期（200年後取出） 2211～2230	小計	第5期（300年後保管） 2211～2310	小計	合計（100年）	合計（200年）	合計（300年）	備考
	（40年後）															
A 政府・東電「ロードマップ」																
1　人員　（人）																
1）東電現場人員	36000	41000												41000		注1
2）協力会社＋作業員	180000	207000												207000		
3)～4)支援組織小計（推定）	36000	41000												41000		注2
小計	252000	289000												289000		
2　現場労働者被ばく量																
1）新規入構者数　（千人）	519.85	608.25												608		
2）平均被ばく量　（mSv）														3.2		
3）総被ばく量　（人・Sv）	1329.49	1931												1931		
3　主要設備																
1）水処理設備																
2）汚染水タンク（小容量）																
3）水冷循環設備																
4）凍土壁・遮水壁・フェーシング																
5）使用済み燃料取り出し設備																
6）燃料取り出し設備・ロボット																
7）固体廃棄物処理設備																
8）設備撤去																
4　費用　（億円）																
1）人件費：東電+コントラクタ	68970	79530														
人件費：支援組織	11880	13530												93060		注3
2）関連費用：東電	144000	164885														
関連費用：支援組織	36000	41000												205885		
小計：東電+コントラクタ	212970	244415														
小計：支援組織	47880	54530												298945		総計
B 対 案																
1　人員																
1）東電現場人員	14400	19400	50×58年	2900	50×158年	7900	500×30年	15000	500×20年	10000	50×100年	5000	37300	37300	32300	
2）協力会社+作業員	42800	69800	100×58年	5800	100×158年	15800	1000×30年	30000	1000×20年	20000	100×100年	10000	105600	105600	95600	
3）支援組織	14400	19400	50×58年	2900	50×158年	7900	500×30年	15000	500×20年	10000	50×100年	5000	37300	37300	32300	
小計	71600	108600		11600		31600		60000		40000		20000	180200	180200	160200	
2　現場労働者被ばく量																
1）新規入構者数　（千人）	83.65	172	0.1千人×58年	5.8	0.1千人×158年	15.8	1千人×30年	30	1千人×20年	20	10人×100年	1	208	208	189	
2）平均被ばく量　（mSv）				1		1		1.5		1.5		1	4.1	4.1	4.3	
3）総被ばく量　（人・Sv）	198.19	800		6		16		45		30		1	851	846	817	
3　主要設備																
1）水処理設備																
2）汚染水タンク（大容量）																
3）空冷設備																
4）フェーシング・側溝																
5）周辺建屋撤去・原子炉建屋外構																
4　費用　（億円）																
1）人件費：東電+協力会社	18876	29436		2871		7821		14850		9900		4950	47157	47157	42207	注3
人件費：支援組織	4752	6402		957		2607		4950		3300		1650	12309	12309	10659	
2）関連費用：東電	38133.3	59018		5756		15681		30000		20000		9925	94775	94699	84624	注4
関連費用：支援組織	14400	19400		2900		7900		15000		10000		5000	37300	37300	32300	
小計：東電+協力会社	57009.3	88454		8627		23502		44850		29900		14875	141932	141856	126831	
小計：支援組織	19152	25802		3857		10507		19950		13300		6650	49609	49609	42959	
	76161	114256		12484		34009		64800		43200		21525	191541	191465	169790	総計

注　1.　スリーマイル島事故の後処理に際しては、燃料デブリ取り出し終了までの 10 年間（1979 年～ 1988 年）、現場要員の合計は約 1000 人であり、電力会社とコントラクタ（協力会社）の人員がほぼ半分ずつであった。
JAERI-M　93-111「TMI-2 の事故調査・復旧に関する成果と教訓」日本原子力研究所、1993 年、p.28

2.　支援組織とは、官庁、IRID のような支援機関、地方自治体、大学、研究機関などを指す。

3.　人件費単価は、10 万円 / 人・日 x 330 日＝3300 万円 / 人・年とする。雇用・作業・旅費・宿泊費などにかかわる管理経費を含む。

4.　2016 年度までは、現行費用と同じとし、2017 年度以降は人数比例とする。

原子力市民委員会特別レポート 1

100 年以上隔離保管後の「後始末」　改訂版 2017

作成：原子力市民委員会
福島事故「後始末」の対案プロジェクトチーム
執筆：筒井哲郎
執筆協力：川井康郎、長谷川泰司
資料協力：大島堅一
検討：原子力市民委員会原子力規制部会、同福島原発事故部会、ほか
編集：細川弘明
DTP・作図：佐久間淳子
表紙写真：国会エネルギー調査会（準備会）提供
2015 年 6 月 8 日　初版発行
2017 年 11 月 11 日　改訂版発行

原子力市民委員会
〒160-0003 東京都新宿区四谷本塩町 4-15
新井ビル 3 階（高木仁三郎市民科学基金内）
TEL/FAX　03-3358-7064
E メール　email@ccnejapan.com
ウェブサイト　http://www.ccnejapan.com
Twitter　https://twitter.com/ccnejp
Facebook　https://www.facebook.com/ccnejapan

頒価 500 円　ISBN978-4-9907828-4-9