



1968年（左）と2002年（右）のセラフィールド。過去30年間の開発の程度を示す。

セラフィールドの修復

新しい戦略

ニール・D・ボールドウィン（Neil D. Baldwin）

セラフィールドは、英国で最大かつ最も複雑な原子力サイトであり、産業規模の2つの再処理工場を含む200を超える施設が稼働している。同サイトでは、過去の原子力運転の「遺産」について立案・対処することが、常に活動の一部であった。しかし、原子力デコミッション機構（NDA）の下で同サイトを民生原子力債務に組み入れると政府が決定したことにより、サイト修復が新たに重視されている。原子力債務の規模と、国の財源から修復に支出される割合を考慮すると、修復が調整されていることと、支出に見合った価値があることを実証する必要があるのは明らかである。英原子燃料会社（BNFL）は、セラフィールド・サイトのために統合的かつ重点的な戦略を開発するために、サイト修復チームを結成した。

歴史の概観

軍用計画

初期の要求事項は、原子炉および関連施設におい

て軍用計画のためにプルトニウムを抽出することであった。セラフィールド・サイトでは、1951年に最初の原子炉が運転され、翌年に2番目の原子炉が運転された。いずれも空冷式で、アルミニウムで被覆された天然ウランを燃料とした。これに関連して、冷却および開缶用の池、一次分離プラント、プルトニウム・ウラン最終処理施設、および必要な廃棄物管理施設が建設され、稼働した。燃料被覆を含む固体の中レベル廃棄物（ILW）は、地上の乾式サイロに貯蔵され、高放射能液は、発生状態のまま貯蔵された。

民生計画

1956年に、セラフィールドで最初のマグノックス型民生発電所（コールダーホール発電所）の運転が開始した。同発電所の原子炉4基とその姉妹発電所であるチャペルクロス発電所からの燃料は、既存のプラントで再処理された。英国では、1950年代終わりから1960年代初めにかけて、マグノックス炉計画によって原子力発電設備容量が大幅に増えた。1964年までに、燃料受け取りおよび開缶用の新しい池、



新しいマグノックス専用再処理工場、および拡充された廃棄物管理施設が稼働し始めた。燃料被覆と他の固体 ILW は、充水サイロに貯蔵された。高放射能液は、蒸発後に、冷却された二重殻ステンレス鋼タンクに貯蔵された。

1970年代後半に、民生原子炉計画は酸化物燃料に移行し、英国の改良型ガス炉（AGR）酸化物燃料と外国の顧客の燃料を再処理するために、酸化物燃料再処理工場（THORP）を新たに建設する決定がなされた。マグノックスおよび AGR 燃料のための新しい池が、酸化物燃料用の新しい池とともに1980年代に建設された。THORP は、1994年に運転を開始した。

廃棄物管理

1980年代に、いくつかの新しい液体廃棄物処理プラントが稼働し始めた。その結果、再処理速度が速まり、使用済燃料がずっと増えたにもかかわらず排出液による環境影響が大幅に低減した。

英国で深地層処分の政策が浮上したことを受け、BNFL は1980年代半ばに、現行の操業で発生する固体 ILW をセメント固化することを決めた。これに伴い、マグノックス封入プラント、廃棄物封入プラント、および廃棄物生産封入プラントが運転を開始した。高放射能液については、ガラス固化が選択され、1990年代初めに最初の2つのガラス固化ライン

が稼働し始めた。現在、第3のラインが稼働を開始しつつある。

これらの新しいプラントによって、固化ガラス容器2,500体と ILW が封入されたドラム缶2万6,000本が首尾よく製造された。

修復課題

稼働中施設

セラフィールド・サイトは、面積約2平方マイル（5.18平方キロメートル）程度であるが、現在1,000軒以上の建屋があり、相互に連結した複雑な製品・廃棄物経路システムが存在する。1980年代半ば以来、デコミッション活動はセラフィールドにおける重要な要素になっているが、同サイトにはまだ200以上の稼働中施設が残されている。初期に建設された稼働中施設は「分離区域」にまとめられており、そこでは既存の廃棄物処理施設がいくつかのプラントのために利用され、相互連結が複雑になっている。より新しいプラントは、「島サイト」に建設されることが多くなった。

操業廃棄物

今日までに、セラフィールドで5万メトリックトンを超える燃料が再処理されている。現行の操業で発生する廃棄物は、発生のとど処理されているが、

過去の操業による遺産はかなりの量があり、それには以下が含まれる。

およそ1,500立方メートルの濃縮された高放射能液（総放射能は1.03E+09 キュリーを超える）。この廃棄物の特性は十分に調査されており、未処理分は、既存のガラス固化施設で処理されつつある。

乾式サイロに貯蔵された約1,500立方メートルの中間固形廃棄物。主としてアルミニウムおよびマグノックス燃料被覆、切屑、黒鉛、および他の雑多な廃棄物からなる。一般に、この廃棄物は良好な状態に保たれている。しかし、一部の廃棄物の劣化による火災の危険性を極力抑えるために、アルゴン不活性化法が最近導入された。記録は断片的で、あてにならない。

充水サイロに貯蔵された1万立方メートル近くのマグノックス燃料被覆の切屑を中心とする廃棄物（他の雑多な固形物質を含む）。初期の区画では、容量を管理するためにマグノックス燃料被覆の制御的な腐食が促進された。その後の区画では、腐食速度を抑えるために、冷却と水への腐食薬注入が行われた。水素発生の可能性に対処するために、処理能力の高い非常用窒素パーズ装置が据え付けられた。廃棄物のインベントリーはだいたいわかっているが、状態にばらつきがあるので、試料採取からは示唆的な情報のみが得られる。

最初の2つの操業池とそれに関連する装備品に、おそらく1,000立方メートルほどのスラッジ（主として腐食燃料に由来）と多量の燃料破片が残存する。

かなりの容量の使用済み溶媒と中程度のレベルの放射能濃縮物。

16の貯蔵所におけるドラム缶と木箱中に貯蔵されたかなりの容量のプルトニウム汚染廃棄物。

多数の微量な廃棄物ストリーム（臭化亜鉛、鉛、廃油、木材など）

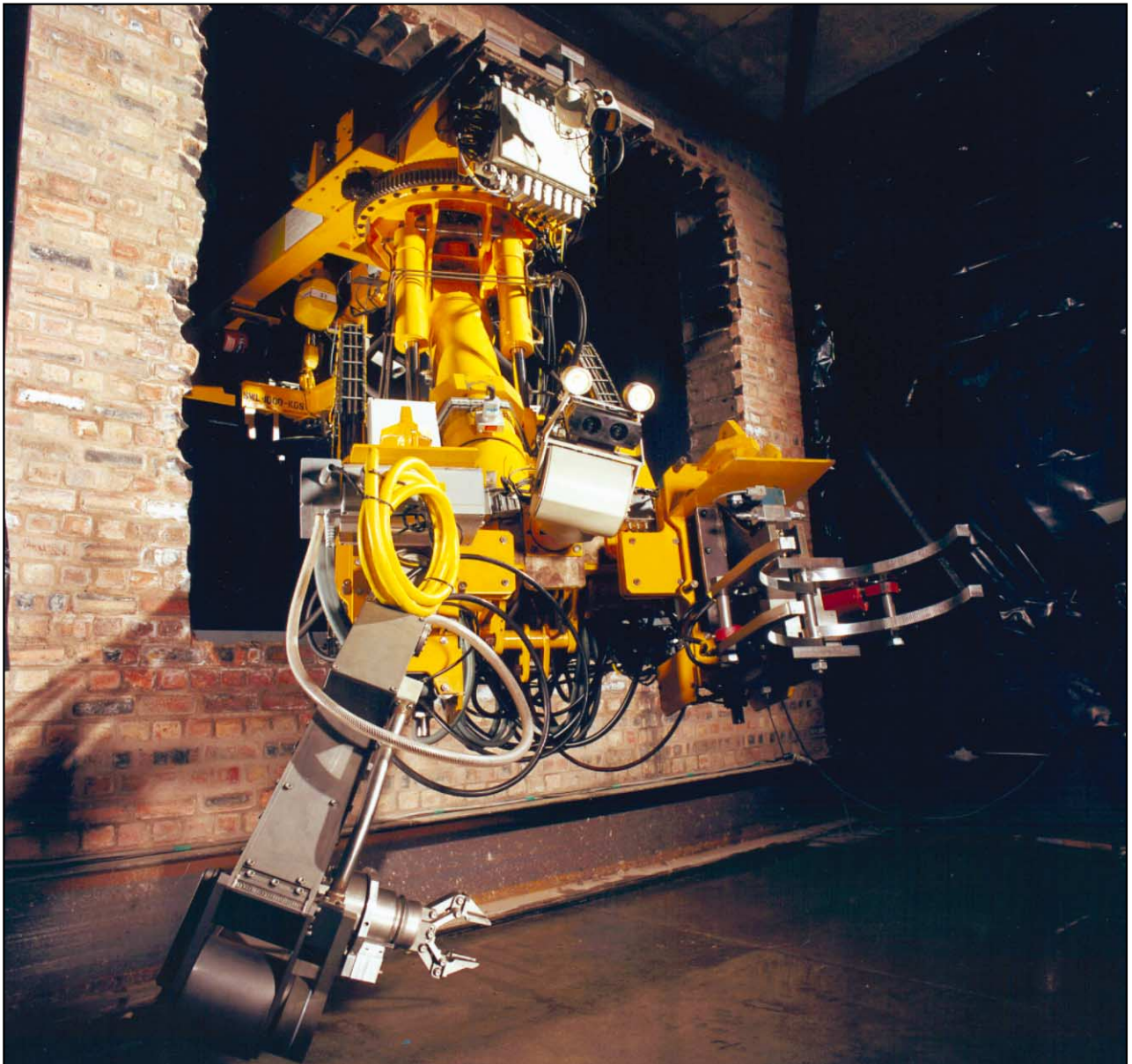
今日までの進展

浄化戦略

デコミッションング作業は、運転後の浄化から、初期デコミッションングを経て、解体および取り壊しへと段階的に行われた。この作業によって発生するILWに対する当初の戦略は、深地層処分場で処分する前の貯蔵期間をできるだけ短くするように、廃棄物を回収・処理することであった。



建設初期段階の綿状沈澱物回収施設。一部の初期貯蔵タンクから綿状沈澱物とスラッジを回収するために建設されているこのプラントは、近い将来に運転を開始する予定である。



セラフィールド・サイトのセシウム回収施設を廃止するために使用されているロボット。

デコミッションング

セラフィールド・サイトにおけるデコミッションングは、1980年代後半に始められた。25を超える施設がすでに廃止され、さらに24施設が現在廃止されつつある。サイトの広さに限りがあり、実施された実験計画が多かったため、現行の作業を進めるため

に古い施設の多くが改造または再利用された。また、同サイトは複雑であり、相互作用と相互依存性から現行作業に妨害が生じる恐れがある。したがって、遠隔および手作業による減容技術など、デコミッションングの立案および作業について幅広い専門技術が開発された。

廃止済みの施設	現在廃止中の施設
U/Pu 混合酸化物製造のための共沈プラント	最初の再処理工場
濃縮ウラン回収プラント	セシウム抽出プラント
トリチウム生産プラント	プルトニウム最終処理プラント
2つのプルトニウム最終処理ライン	高速炉用混合酸化物燃料プラント
再処理パイロット・プラント	さまざまな研究開発施設
溶媒回収プラント	
ネプツニウム・プラント	
さまざまな研究開発施設	



セラフィールド・ドライバック・プラントと、その背後にある封入プラント。

廃棄物回収

遺産廃棄物の問題に取り組むために、広範な作業がすでに行われている。今日までに実施されたプロジェクトを以下に記す。

初期沈殿池

初期沈殿池は、池パージ水を排水する前に、同伴する固体を沈殿させるために使用した小さな池である。この池は、200立方メートルを超えるスラッジで完全に埋め尽くされていた。スラッジの再流動化と圧送のための遠隔機器が据え付けられ、スラッジはすでに最新のステンレス鋼製貯蔵槽に移されている。

湿式サイロ区画19～22

この最新区画内の切屑は、妥当な状態にあり、信頼できる記録があるので、湿式サイロからの廃棄物回収を試験するために使用された。パルク切屑回収

機器が据え付けられ、回収された切屑はマグノックス封入プラントに移送された。

マグノックス池スラッジ回収

1970年代半ばに再処理が中断したため、マグノックス貯蔵池における腐食速度が顕著に増加した。この問題への対策の1つとして、池内の1つの入り江に意図的にスラッジを蓄積させた。このスラッジを固定化して最新の貯蔵所に圧送するプロジェクトが始められたが、かなりのスラッジの回収がまだ完了していない。全体の需要を満たすには、スラッジ処理能力をサイト内に増設する必要がある。

初期サイト池

初期サイト池の大幅な改修が完了した。初期の酸化物燃料再処理作戦によって、この池に貯蔵された酸化物燃料外殻は回収され、より適切な貯蔵所に移送された。

既存の戦略への圧力

サイト修復戦略の開発には、多数の要因が影響した。

国の廃棄物政策

国内政策として、固体 ILW は深地層処分場に設置することになっている。しかし、処分場の場所と開業予定時期は未確定である。場所が特定されていない状況では、処分場の受容基準は必然的に保守的になる。遺産物質の課題を勘案すると、この基準を満たすのは非常に難しく、かなりの時間を要すると思われる。

安全性の正当化

安全論拠の方法論は、主として新規プラントの開発に重点が置かれてきた。提案されるあらゆるプロセスについて、影響が及ぶ期間（一般に何十年も先まで）にわたって、非常に高いレベルの信頼性を実証することが要求された。このような方法論は、遺産廃棄物に取り組む作業にも適用された。しかし、新規プラントの場合に比べて、廃棄物を回収・処理するための安全論拠の堅牢性を同じ水準に揃えるの

は、データの制約、記録の質、物質の条件などのために、より困難な場合が多い。また、新規プラントのための方法論では、「何もしない」という暗黙的なオプションがあるなかで、運転の「正味利益」に的を絞るが、遺産プラントの場合、これは現実的ではない。

プラントの条件

当初の戦略では、既存施設の状態は、予想される廃棄物回収の時間尺度において許容できると思われた。しかし、最終処分が可能になる時期がさらに先送りになったため、追加処理の必要性が増し、それと同時に既存の構造物が安全に機能しなければならない期間が長くなった。したがって、プラントがより長く存在できるようにするため、またゆくゆくは廃棄物回収作業を支援するために、プラント改良の必要性が生じた。

リスク低減に重点

以前の戦略では、最終処分に向けた廃棄物処理法を開発するプロジェクトを続ける間、プラントとその構成要素を許容できる条件に保つことに重点が置かれた。時間尺度が長くなった現在、最終解決策（処分）が複数の段階をとる場合であっても、リスクを早期に減らすことに顕著な便益があるとの認識がある。このことは、後述の暫定的な安全貯蔵（ISS）の概念につながる。

戦略の開発

組織

英政府は2001年秋に、英国のほとんどの民生原子力債務の管理方式を変更する意向を発表した。新設されるNDAは、英国原子力公社の諸サイト、BNFLのセラフィールドおよびカペンハースト・サイト、およびマグノックス発電所に関連する資産と債務の所有者となり、国家戦略の開発に責任を持つ。NDAを代行してサイトを管理するために、管理・運転請負業者が指名される。NDAは、サイト戦略の所有者となるが、実際には請負業者が戦略を開発することが予想される。これらの変更を実施するための法案がすでに発表されており、2003年の議会会期に法案が成立し、2004年または2005年にNDAが創設される運びが予想される。

修復を必要とするすべての原子力サイトのなかで、商業的再処理が進行中で、多量の遺産廃棄物があるセラフィールドは、群を抜いて複雑である。BNFLは2002年6月に、セラフィールド・サイト修復のための完全に統合された戦略を開発することを任務とするサイト修復チームを結成した。

また政府は、原子力遺産への対処は、サイト運転者だけではなく国家の問題でもあることを、提案書のなかで明らかにした。そのため、規制当局を含むすべての利害関係者は、この問題の解決策を見いだすために積極的に関与している。

暫定的な安全貯蔵（ISS）

英国は、他の一部の国とは異なり、低レベル廃棄物のための処分施設しか備えていない。永久処分場が存在せず、サイトが選定された場合にどのような基準が適用されるか不確かなので、サイトにおける危険性を早期に低減するために実際の手順を踏む必要があるのは明らかである。BNFLは、廃棄物を一般に100年に及ぶ期間にわたって主として受動的な形態で安全な貯蔵所に定置できるように、廃棄物を処理する原則を導き出した。ISSのための廃棄体は、処分基準を満たすべきであり、可能であれば追加の処理を除外すべきではない。しかし、遺産廃棄物が現在含まれる往々にして老朽化した関連施設において、製造される最終形態と危険性の初期低減との間で、合理的なバランスをとるべきである。ISSの原則は、規制当局と協議されてきた。現在は、廃棄体の種類ごとに特定の提案を行う方向に進んでいる。

建屋の最終状態

廃棄物処分施設が存在しないなかで、既存の稼働中建屋の実際的な最終状態を検討する必要もある。残存する構造物の危険性と、廃棄物経路および利用可能な資源との間でバランスをとるような、建屋の暫定的な安全状態の概念も開発されることが予想される。プルトニウム施設などの一部のプラントでは、取り壊しに至る完全なデコミッションングが当然の方法として残るかもしれないが、空になった廃棄物サイロなど他の施設では、構造物の状態を、長期的な監視・保守の頻度を減らせるようにするのがより合理的かもしれない。

安全論拠

修復プロジェクトの多くは、何もしないオプションが存在しないことと、廃棄物の完全な特性調査がほとんど不可能であることを勘案し、安全論拠の作成における重点を変える必要がある。非常に重要な1つの側面は、「リスクのある時間」の概念である。すなわち、廃棄物の回収・処理活動は時間的に限られ、その後に危険性が顕著に低減するという認識である。

戦略の開発

前述の原則を採用したうえで、既存の計画を改良

し、特に危険を早期に低減するためのオプションを明らかにするために、ILW 戦略の基本的な見直しが現在順調に進められている。ISS の原則を廃棄物に適用すると、処分基準を達成しようとする場合に比べ、計画が顕著に減り、危険が早期に低減すると期待される。セラフィールド・サイトのさまざまな側面の管理に関連して、40を超える戦略があるが、サイトの目的に沿って最良の成果を上げるために、このすべての戦略を十分に見直す必要がある。新たな重点を反映した、サイト全体のライフサイクル・ベースライン計画が作成された。BNFL は、主要な利害関係者の信頼と支援を維持するために、十分に監査できる構造化された戦略開発プロセスを用いた。これには、独立の同業専門家審査が含まれる。

大規模プロジェクト

セラフィールドの修復は、刺激的な大規模プロジェクトである。サイト修復チームの結成は、サイトにおける危険をできるだけ早期に低減するための調整・統合された戦略を開発しようとする BNFL の意気込みを示している。同サイトのためのライフサイクル・ベースライン計画は、同サイトの修復に関連するすべての問題を初めて包括したものであり、新しい NDA の作業に青写真を提供するものである。

ニール・D・ボールドウィン氏は、セラフィールドにおける BNFL のサイト修復責任者である。