

コロンビア川の保護 および他の環境課題



PNNL は、ハンフォード・サイト浄化後管理の指針となる戦略の開発を支援している。

科学的解決策と戦略的提携によって ハンフォード・サイトの浄化と閉鎖が加速。

ジョン・ラフェミナ (John LaFemina)

政府機関と主要関係者が、着実に増大する必要性と厳しい予算制約の間でバランスをとるなかで、環境浄化への科学技術の応用は非常に重要である。パシフィック・ノースウエスト国立研究所 (PNNL) は、大学および産業界と提携してさまざまな科学・工学的能力を活用し、新たな知見から、米エネルギー省 (DOE) のハンフォード施設全体の浄化のためのコスト、時間、およびリスクを低減する解決策を導いている。

ハンフォードの課題

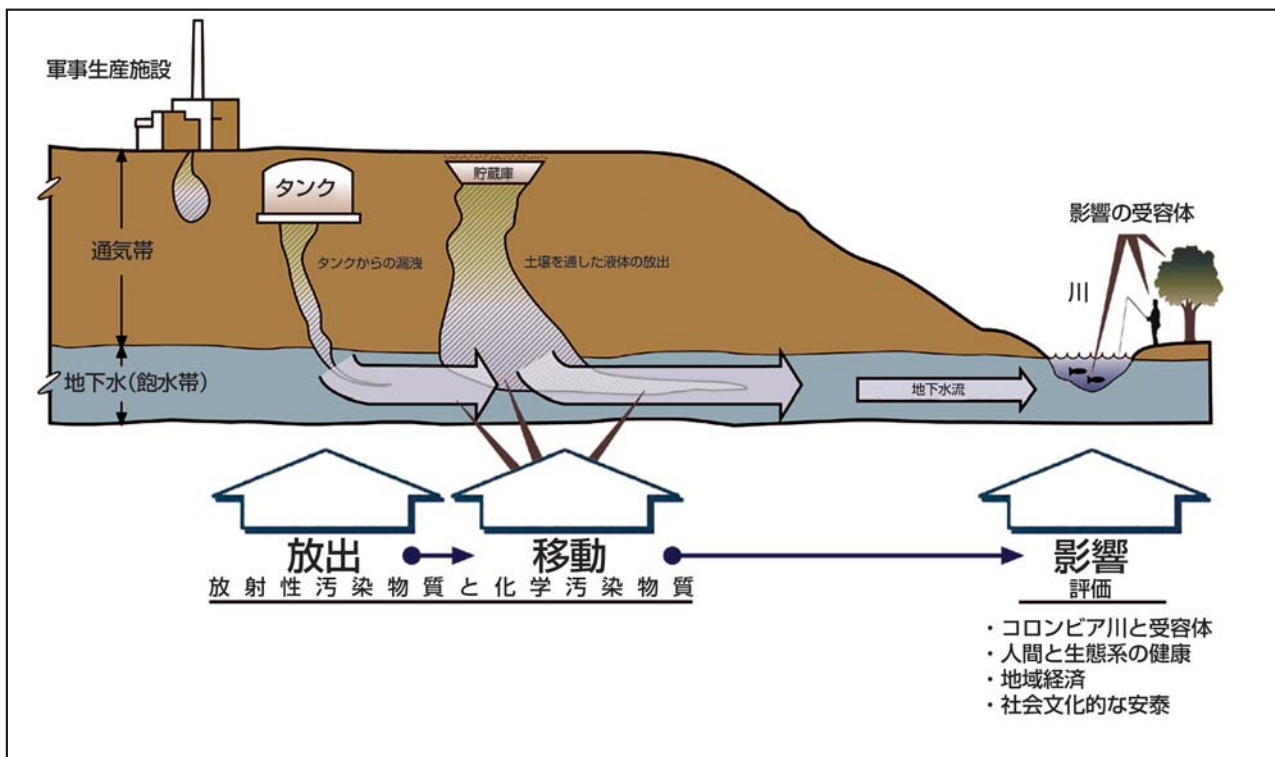
ハンフォード・サイトは、DOE にとって最大かつ最難の浄化課題である。同サイトには、膨大な量の埋設された固形放射性廃棄物と有害廃棄物、汚染された土壌、地下水、および構造物、さらには大きな地下タンクに貯蔵された何百万ガロンもの高放射能廃棄物がある。ハンフォードには、リッチランド

運転事務所と河川保護事務所という2つの DOE 現地事務所がある。両事務所の目標は、2035年までにサイト浄化を完了して、長期管理に移行することである。

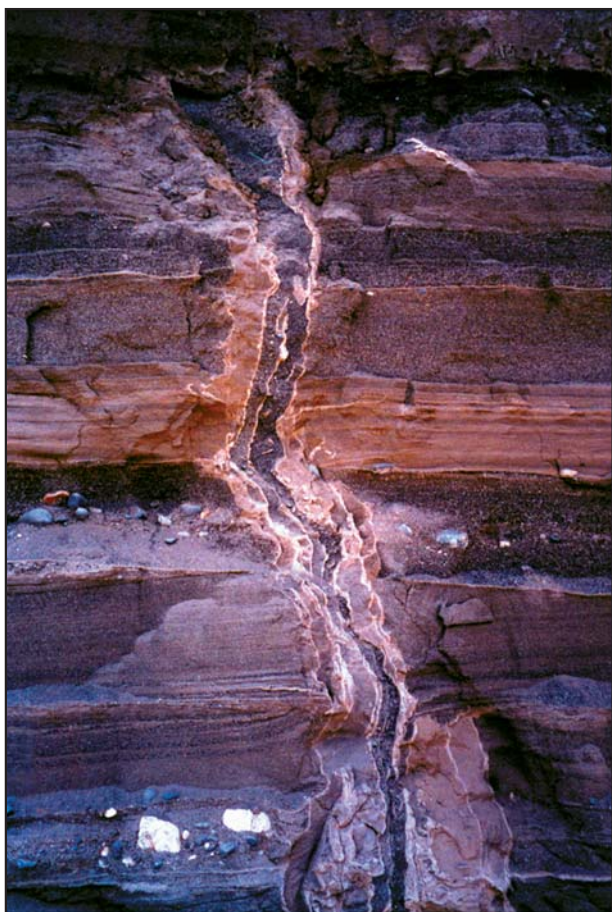
ハンフォードの浄化には3つの指針がある。すなわち、コロンビア川を保護し、中央台地 (Central Plateau) を統合的な廃棄物管理施設に転換し、将来に備えることである。いずれも同時に、作業員、公衆、および環境の安全を保証する必要がある。

コロンビア川の保護

コロンビア川は国宝であり、米太平洋岸北西地区の経済的動脈である。DOE と、PNNL を含む DOE 請負業者は、ハンフォードにおける核物質製造の悪影響から同川を護るために、多くの措置を講じてきた。PNNL は今日、地表と地下水の間の通気帯にある汚染物質への対処を含む、いくつかのコロンビア川防護プロジェクトに貢献している。



システム評価能力（SAC）は、汚染源に残留する汚染物質がコロンビア川のような特定の環境に移行することの累積効果をモデル化し、ハンフォード・サイトの浄化に関する決定に科学的根拠を与えることに役立つ。



汚染物質の移行を支配する地球化学的条件を理解するために、PNNLの科学者は、地下水の移動に影響を与える碎屑岩脈などの地質学的特徴を調べている。

汚染物質の追跡

フルーア・ハンフォード社が管理する地下水防護計画は、汚染物質が土壌・地下水経路中を移動して最終的に川に入るリスクが現在または将来あるような、汚染された地下水プルームと廃棄物サイトの浄化について責任を持つ。PNNLは、DOEおよびフルーア社と協力して、2つの根幹的な地下水防護計画を主導している。すなわち、複数の研究所による科学技術活動と、システム評価能力(SAC)と呼ばれる一連の新しい地下評価ツールの開発・応用である。

科学技術活動、SAC、および他のツールを併用することによって、ハンフォード・サイト下位の通気帯および地下水中の汚染物質のインベントリー、分布、および移動に関する知識を制約する不確実性とデータギャップを克服しつつある。また、そのようなツールは、汚染物質の移行を大幅に抑える方法を明らかにするうえで役に立つ。

SACは、リスクに基づく浄化に関する決定のための科学的根拠をDOEに提供するうえで不可欠であり、さまざまなレベルでの技術評価に使われる。これには、ハンフォード・サイトの汚染物質に関連する影響とリスクの総合評価が含まれる。SACは、ハンフォードに由来する汚染物質が長期・累積的にコロンビア川と米太平洋岸北西地区に与える影響を判断する一助となる。SACは、ハンフォード・サイトの浄化優先順序と予想される最終状態に合わせて、人間、生態環境、社会文化、および経済的健全

性の要因を考慮する。

複数の研究所の科学技術活動によって、通気帯中の複雑な堆積層における不飽和水の流れに関する理解が深まり、セシウム、ストロンチウム、およびウラン汚染物質の反応化学に関する新しいモデルが作成された。このモデルは、将来の移行について科学的根拠のある予測を行うために、中央台地と河川回廊地帯の地下水プルームに適用されている。また研究者は、コロンビア川に排出される汚染された地下水が及ぼしうる生物学的効果を評価している。

新しい地下水処理法の開発

PNNL は、DOE のハンフォード地下水評価プロジェクトの管理者として、ハンフォード・サイト全体におけるサイト特有の地下水品質を統合的に評価している。このプロジェクトは、環境規制および他の規制義務の順守を確認するうえで中心的な役割を果たす。同プロジェクトは、地下環境の傾向を調査・解明し、環境品質のベースラインを確立し、新しいまたは既存の環境品質問題を指摘および定量評価する。

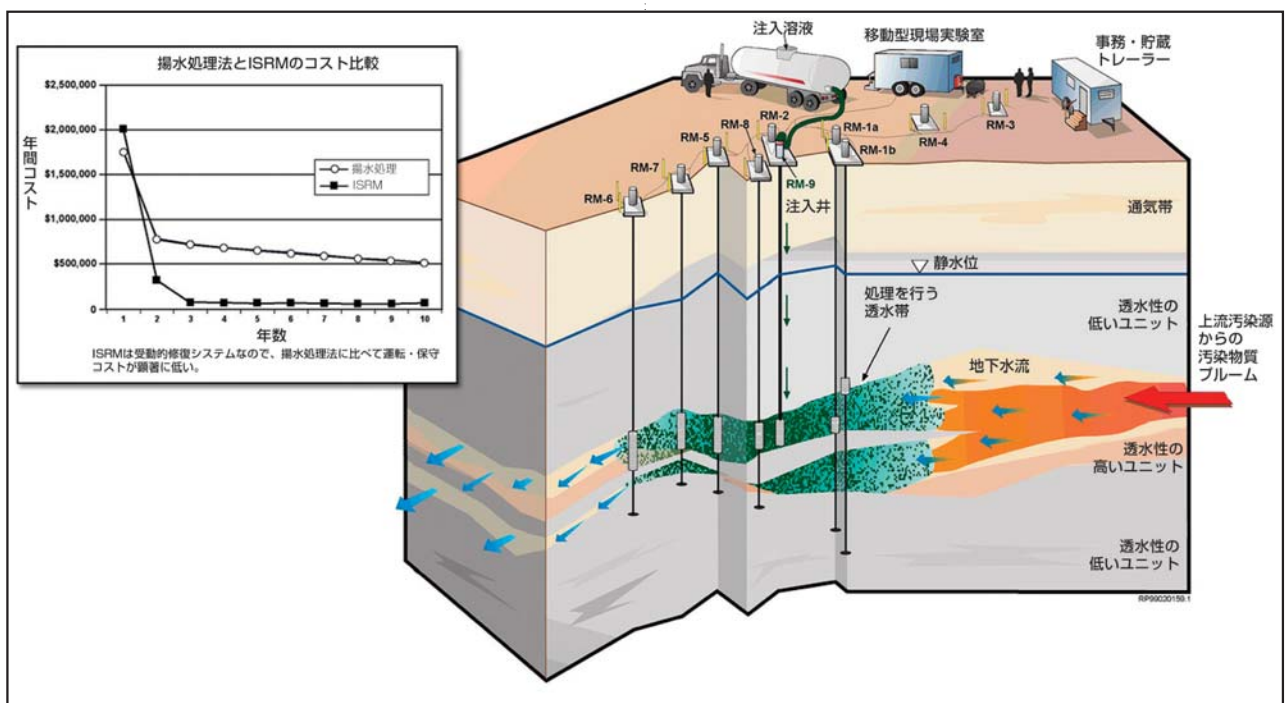
また PNNL は、土壌と地下水の修復のための効果的かつ経済的な処理法を開発している。そのような技術は、従来の揚水処理修復システムに対する代替案となる。例えば、賞を受賞した原位置酸化還元操作 (ISRM) 技術は、川に到達する前に汚染物質を安定化または無毒化するための受動的システムである。ISRM 法は、その有効性、安全性、および低い保守コストから、先進的な浄化技術のモデルとして認められた。

地下科学の進歩

汚染物質の移行をめぐる不確実性から、環境浄化を支援する新しい研究が必要なが示された。PNNL は、自ら主導する DOE の環境研究所コンソーシアムと協力して、地下科学計画と、地下の基本プロセスを理解するための統合的な地下科学技術活動に取り組んでいる。これには、汚染物質の移行をもたらす複合的な化学・地質・生物学的プロセスを、いかに定量的に特徴づけて監視するかが含まれる。

この計画では、データ収集・監視能力を強化し、リスクに基づく浄化に関する決定に技術的基盤を提供することを目指すとともに、汚染物質の結末と時空間的な輸送を根拠をもって予測・シミュレートする能力に直接影響するような問題に取り組む。その他の目的として、現行のプロセスより迅速かつ安価に適用できる微生物や鉄鉱物のような革新的な修復技術を開発し、新しいシミュレーション・数値モデル、予測能力、データの視覚化のような、規制当局と利害関係者に結果を伝えるための使いやすい計算ツールを確立することが挙げられる。

地下科学計画によって、ハンフォード・サイトにおける汚染物質の移行を支配する地球化学的条件の理解が大幅に深まった。この知識は、修復技術を選択し、処理を行うサイトの優先順序を決めるうえで貴重である。例えば、この計画によって、ハンフォードのタンクの下にあるセシウムなどの一部の放射性核種は、現存の位置から移行しないので、以前考えられていたより環境リスクの緊急度が低いことがわかった。



原位置酸化還元操作 (ISRM) は、汚染された地下水および土壌の浄化のための実証済みの技術である。



廃棄物処理プラントで容器ピットの壁型枠を施工する作業員。このピットにタンク廃棄物を受け入れることになる。主請負業者である BNI 社を支援する業務には、技術審査とプロセス検証の指導が含まれる（写真は BNI 社の厚意による）。

中央台地の転換

浄化活動では、ハンフォードの中央台地を、最新技術を用いた廃棄物管理施設として長期的に機能させる準備をしている。中心となる課題は、地下タンク177体に貯蔵された高放射性廃棄物の調整・処理・処分と、さまざまな形態の核物質の管理である。

タンク廃棄物処分の支援

PNNL は、ハンフォード・タンク浄化作業の立案と管理について DOE の河川保護事務所に技術支援を提供している。また、その作業の実施について、主請負業者である CH2M ヒル・ハンフォード・グループ社およびベクテル・ナショナル社（BNI 社）と、いくつかの下請業者にも技術支援を提供している。

CH2M ヒル社は、廃棄物貯蔵、廃棄物処理プラントへの廃棄物の搬送、およびタンク密閉を含むタンク場運転の主請負業者である。BNI 社は、57億ドルの処理プラントの設計、建設、および運転開始を管理する。PNNL は、DOE とその請負業者を支援するために、下記のような科学、技術、および管理に関する解決策を提供する。

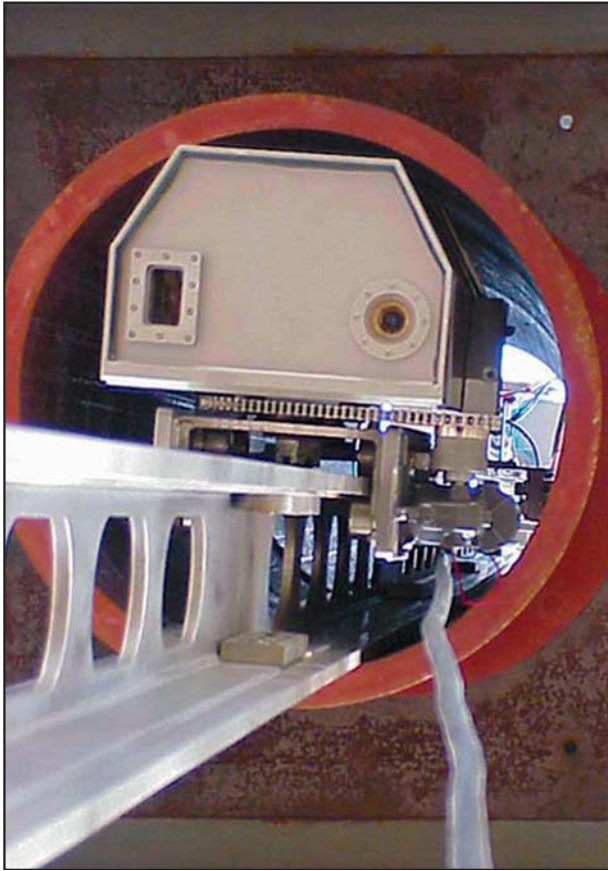
回収を促進しつつ廃棄物を安全に貯蔵する。
 廃棄物処理機能を稼働させる。
 タンクを密封し、固化された廃棄物を処分する。

複雑な問題の解決

ハンフォードのタンク内の複雑な廃棄物は、特殊な問題を呈する。PNNL は、効率を高めて浄化コストを下げるという DOE の要求に対応しつつ、廃棄物問題について戦略的な科学の進歩と的を絞った技術的解決策を提供している。

進行中のタンク廃棄物浄化において、低放射能廃棄物（LAW）と超ウラン元素（TRU）プロセス廃棄物を含む、ハンフォードにある各種の廃棄物を処分する技術の評価が重要である。PNNL は、タンク廃棄物の浄化を速めるための補助的なプロセス技術を特定・開発しようとする CH2M ヒル社に、重要な支援を提供している。PNNL の専門分野は、タンクの化学的性質、安全性、および分離・固定化と、廃棄物の性能・処分などにわたる。

LAWおよびTRUプロセス廃棄物を含むハンフォードの廃棄物の処分を可能にするために、さまざまな技術が評価されている。PNNLは、補助的なLAW固化技術によって作成された廃棄物を評価するための戦略の開発を主導している。その後、ハンフォード廃棄物処理プラントで製造される LAW 固化ガラ



DOE の高レベル放射性廃棄物サイトにおけるタンクの密閉を速めるための技術支援の一環として、ニューヨーク州のウエストバレー実証プロジェクトにおいてタンク 8D-2 にベータ・ガンマ検出器が配備された。

その長期性能を評価・定量化するために、PNNL が開発した科学的手法が適用される。

これに関連する作業として、PNNL は、AMEC アース・アンド・エンパイロメンタル社の LAW パルクガラス固化プロセスのために、新しいガラス調合物を開発している。PNNL は、実際の廃棄物と模擬廃棄物を用いたベンチスケール試験において、新しいガラス固化体を作成し、その性能を評価している。さらに、模擬廃棄物を用いたフルスケール・プロセス試験で最善の調合物を使用し、フルスケール機器を用いて製造された物質の性能を評価している。

また PNNL は、特定のタンクからの TRU 廃棄物を、後に廃棄物隔離パイロットプラントで処分するために移送・封入する装置の開発について、CH2M ヒル社を支援している。PNNL は、実際の廃棄物の詳細な物性試験を行い、その物理的挙動および化学組成と符合する一連の非放射性模擬物質を開発した。この模

擬物質は、プロセス機器の開発と試験で使用される予定である。

PNNL は BNI 社のために、やはり模擬および実際の放射性廃棄物試料を用いて、プロセス・フローチャートの検証を行っている。また、複雑なタンク廃棄物が、ガラス固化の前と最中に混合・処理される際の挙動を調べている。この活動によって、重要なデータと、ガラス固化システムがどのように機能するかという見通しが得られるので、廃棄物処理を開始する前に変更を行うことができる。

また PNNL は、BNI 社と協力して、廃棄物処理プラントにある約40体のタンクの内容物を混合するために使用されるパルスジェット・ミキサーなどの、プラントの重要機器の性能を実証・評価している。

最後に PNNL は、地下モデリング、リスク、および意思決定科学に関する能力によって、タンク密封・処分のリスクおよび決定の統合的分析と、ハンフォード・サイト浄化任務全体にわたる廃棄物処分関連の最終決定を支援している。

核物質の管理

ハンフォード・サイトの核物質インベントリーは、プルトニウム含有物質、使用済燃料、セシウムとストロンチウムのカプセル、および他の形態の特殊核物質からなる。フルーア・ハンフォード社は、使用済燃料、核物質安定化、施設処分、および廃棄物管理について、同サイトの運転を管理する。PNNL は、フルーア社および他の請負業者との正式な合意を通じて、核物質処分プロジェクトに直接的な技術支援を提供している。



PNNL の研究者は、30年を超える経験に基づいて、ガラス製品の品質を保ちつつ、従来より処理量が顕著に多く廃棄物比率が高い、新しい廃棄物ガラス調合物を開発している。



低放射能廃棄物のバルクガラス固化プロセスを試験するために、37立方ヤード（28.3立方メートル）の耐火物内張りロールオフ・ボックスが用意された。

PNNL が持つ遠隔操作技術、放射化学の専門知識、および放射性廃棄物のインベントリーと挙動に関する理解は、現地の請負業者と DOE にとって貴重な資源である。PNNL は、外部の科学技術コミュニティとの交流を図り、技術的なベースラインを確認し、サイト閉鎖に関する決定を支援するための科学データを提供している。

核物質管理に関する課題のなかには、作業員の被

ばくを最小化し、保障措置、輸送、および検証に関する要件を満たすような、安全かつ経済的なプロセスの必要性がある。ハンフォードにおける核物質処分の加速に関して、PNNL には次のような役割がある。

プルトニウムと使用済燃料の安定化プロセスの開発。

乾燥作業の最適化を容易にする安全基盤を確認するための、燃料挙動の研究とウランの化学的評価の支援。

ヘリウムガス純度分析の実施。

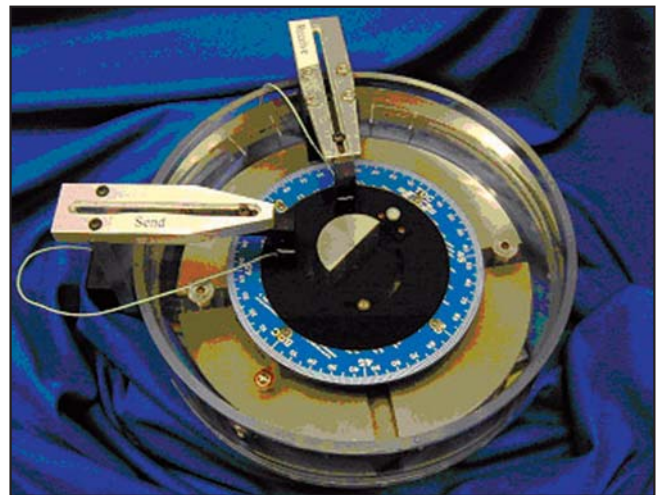
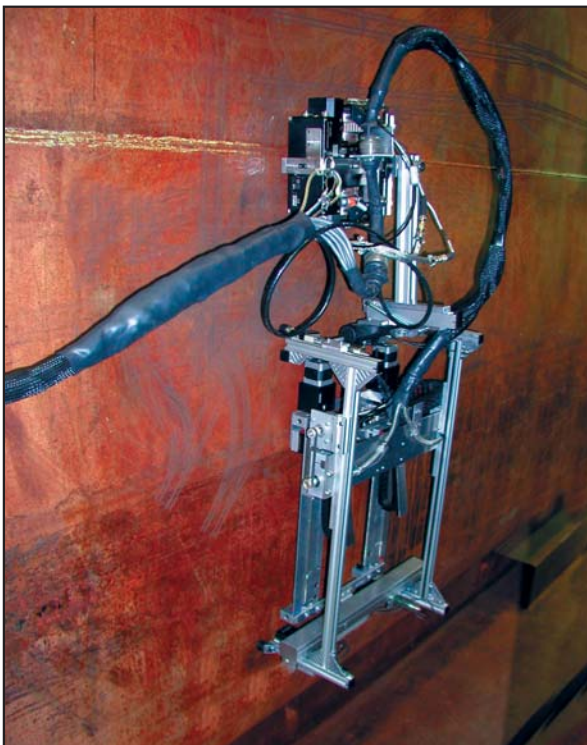
フルーア社との協力による、スラッジの封入・貯蔵のための安全パラメータの特定と定義。

長期管理の準備

PNNL は、ハンフォード浄化提携者の重要な一員として、今後も同サイトで本質的な役割を果たし続ける。

対話の開始

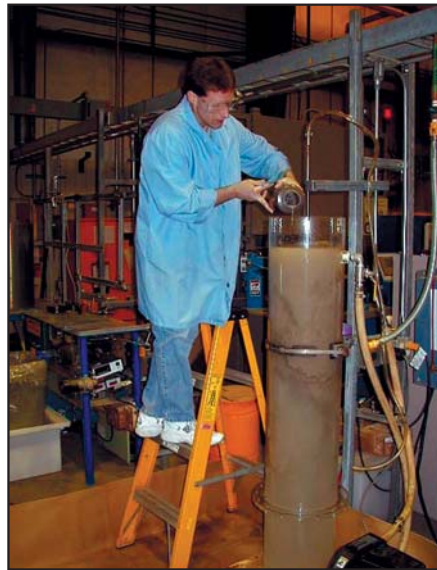
PNNL は、原子核プロセス、環境、および人の健康に関する広範な知識により、浄化について革新的な決定を行ううえで必要な技術分析を提供できる。また PNNL は、DOE、規制当局、請負業者、ワシントン州、およびハンフォードの利害関係者の中で協力関係を確立するうえで、DOE の浄化課題・制



新しいセンサーと自動技術によって、廃棄物特性とタンクの完全性に関する重要なデータが得られる。左： PNNL は、放射性廃棄物の粒子サイズと粘性を調べるインライン型センサーを開発するために、複数機関の研究者からなるチームを統率している。右： この遠隔操作非破壊検査システムの試作品は、先進的な非破壊評価技術を統合した磁気クローラーであり、ハンフォードの二重殻タンク壁のひび割れを検出するのに用いる。

約検討チーム（C3T）を支援した。

その結果、障害と制約の理解と、そのような制約をいかに克服して、人の健康と環境を防護しつつより迅速な浄化を実現するかに重点を置いた対話が始められた。C3Tの作業によって、順守に基づく規制以外に、ハンフォード・サイト浄化計画についてすべての当事者が協議して合意した計画表を作成できた。



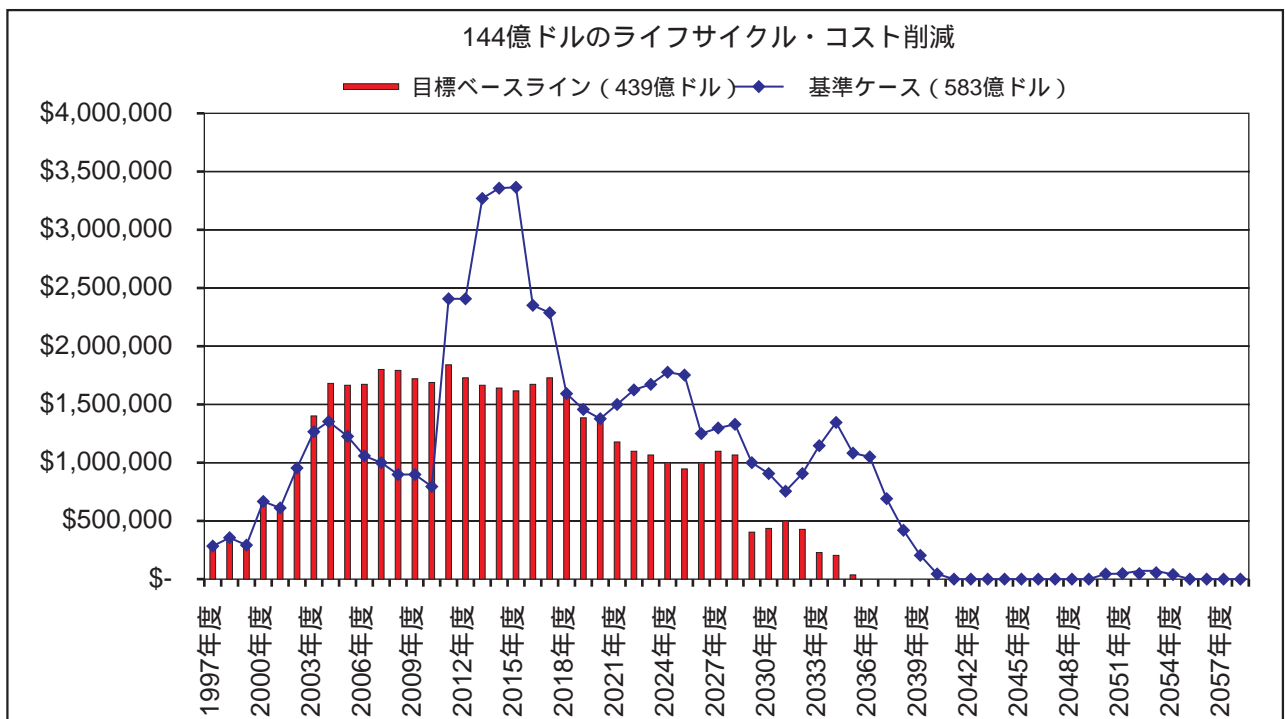
将来のリスクの管理

PNNL は、ハンフォードで数々の環境アセスメントを行うとともに、公衆を有害および放射性物質から護るための閉じ込めと防護策を支援する研究を行っている。下記項目の開発は、ハンフォード・サイトの将来のリスクを管理することを意図するものである。

廃棄物を定位置に隔離するための覆い。
地下水と、地表と地下水間の不飽和帯における汚染物質の移行を抑制するための地下反応障壁。

PNNL によるフルーア・ハンフォード社の支援には、K 東溜め池からのスラッジを大口径コンテナに貯蔵するための安全パラメータを確立するうえで必要な、スラッジの沈殿・分離試験が含まれる。

汚染物質の移行、減衰、および環境毒性を監視するセンサー。
環境中の汚染物質の結末と輸送に関する基礎研究。
環境と廃棄物の監視計画のためのリスクに基づく方法論。
新しい環境・廃棄物監視技術。
シミュレーションとリスク予測のための先進的な計算ツール。



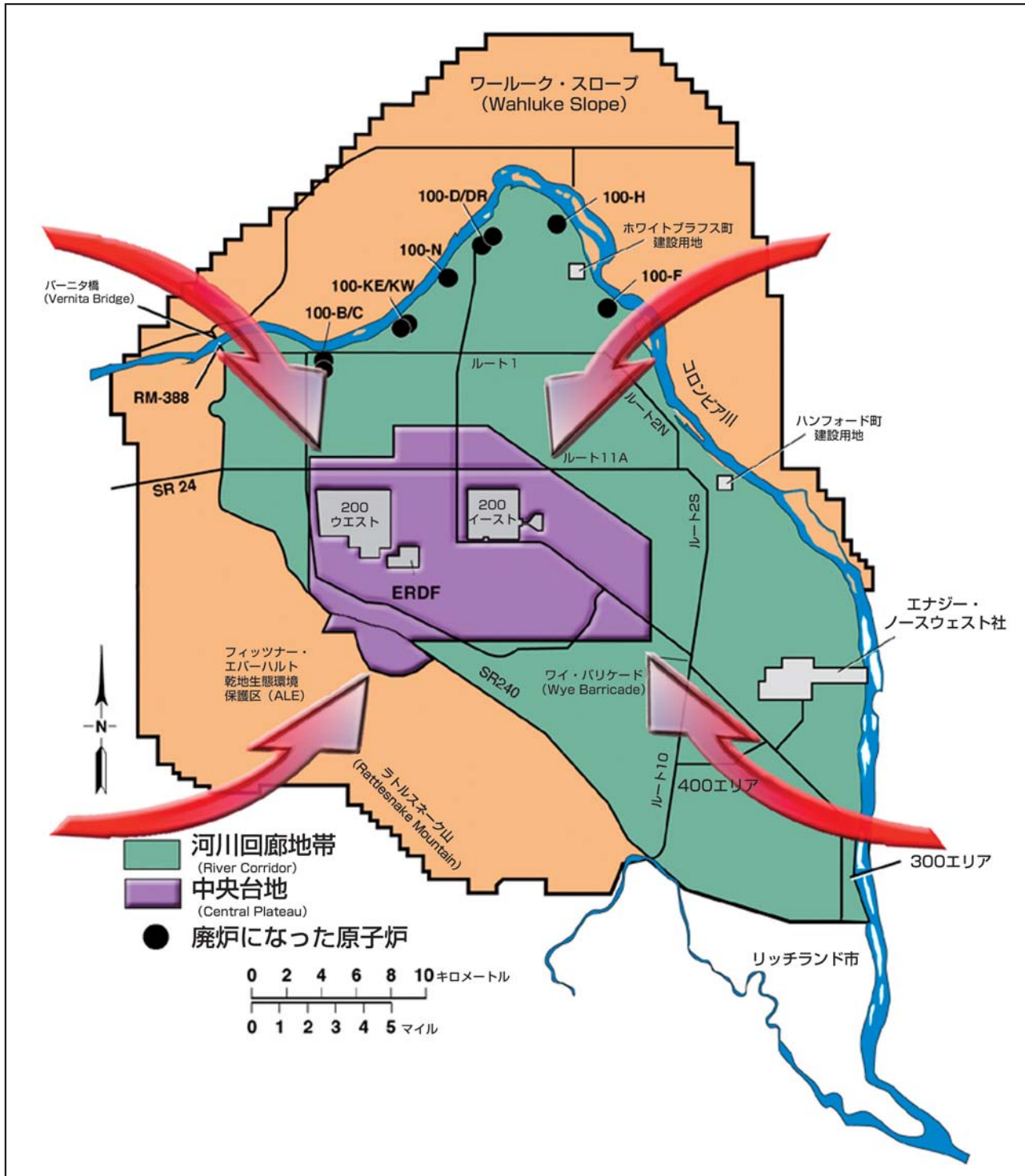
PNNL は、浄化の手法と技術の諸案を分析できるような、ライフサイクル・コスト・モデルを開発した。これによって河川保護事務所は、144億ドルのライフサイクル・コストの節減を予測した。本図は、河川防護プロジェクトの当初の浄化案（点）と加速された浄化案（棒）のベースライン・コストを比較したものである。

情報を得たうえでの決定を実現

兵器施設サイトの浄化後に汚染が残留することから、DOEは、長期的にサイト管理と資源防護計画を続けることになる。PNNLは、DOEリッチランド運転事務所の立案文書である「ハンフォード長期管理計画：サイトの統合的な長期計画」の作成を支援している。また、DOE本部による国家長期管理

計画の立案を支援している。

PNNLは、長期的な環境監視、生態系の監視、文化的資源管理、およびリスク評価に関する経験により、資源管理、公衆の安全、包括的な土地利用計画、サイト所有者の入れ替わり、および土地開放を含む意思決定プロセス全体を通じて活用される貴重なベースライン情報を提供できる。



PNNLの手配によって始められた対話を通じて、浄化について合意の得られた計画表が作成された。この計画表には、560平方マイル(1,450平方キロメートル)のハンフォード・サイトを、中央台地の75平方マイル(194平方キロメートル)に縮小することが含まれる。

作業員の安全確保

PNNL は、ハンフォード・サイト作業員の健康と安全を確保するうえで非常に重要な役割を果たしている。PNNL は40年近くにわたって、サイト要件の変更に迅速に対応して線量測定および較正サービスを提供してきた。PNNL の活動範囲は、計装機器、線量計測、および生物定量法による作業員の線量測定から、測定記録の保管にわたる。今日の健康と安全性の重点には、ベリリウム、鉛、ヒ素、および他の有害物質も含まれる。

PNNL は、ハンフォードおよび他の DOE サイトにおける作業員防護技術を高めるために、生物学、センサー、およびナノテクノロジーに関する能力を強化している。開発目標には、次世代の化学物質被ばくモニターのほか、化学物質または放射線への被ばく、応答、および感受性を明らかにする被ばく特性調査のための新しい計装機器、センサー、およびバイオマーカーが含まれる。

例えば PNNL は、微量金属と有機物の現場監視のための、可搬的で、信頼性が高く、迅速かつ経済的な方法として、唾液モニターを開発した。唾液を利用することは、試料をすぐに採取でき、従来のバイオモニタリング法に比べてより多くの個人を迅速に選り分けられるので、特に便益がある。



PNNL は40年近くにわたって、タンク場と他のハンフォード・サイトの作業員を防護するために、作業員被ばく線量を監視する放射線測定ツールを提供してきた。また PNNL は、複雑な廃棄物操作時とタンク場操作時の作業員の被ばく線量を低減するために、先進的な分析ツールと自動システムを開発している。

浄化進捗のための提携

いずれの場所でも、浄化を速める最も効果的な方法の1つは、幅広い環境産業の専門家とチームを組むことである。DOE とバツェル社との間の契約に組み込まれた一連の機構のおかげで、このようなチーム編成は、PNNL では標準的な手立てになっている。バツェル社は、1965年以来 PNNL を運営している研究機関である。

PNNL の運営に関するバツェル社と DOE の契約は、利用許可が含まれる点で独特である。利用許可によって、バツェル社は PNNL の施設とスタッフに対し、連邦・州・地方政府から国内外の私企業までのさまざまな依頼者の仕事にあたらせることができる。BNI 社は、廃棄物処理プラントについて PNNL から支援を受けるために、バツェル社と利用許可に基づく契約を結んでいる。

バツェル社とワシントン・グループ・インターナショナル社は、余剰の兵器級プルトニウムを処分する DOE の計画において、ピット分解・転換施設設計プロジェクトについて技術支援を行うために利用許可を用いた。PNNL のエンジニアと科学者は、原子力安全解析、臨界制御、作業員の健康と安全、環境保護と廃棄物管理、プルトニウム・プロセス技術、および保障措置と保安に関連する分野で貢献している。

また利用許可によって、S.M. ストロー社のような小規模企業が PNNL と提携することができる。

PNNL はバツェル社を通して、ストロー社とともに、コロラド州グランドジャンクションの DOE サイトにおける環境修復作業など、いくつかの浄化プロジェクトに取り組んでいる。

PNNL の研究者がハンフォード浄化のために開発した独特の技術と特殊技能は、同サイト以外にも幅広い用途がある。それらは、利用、免許、または共同開発の協定によって、政府と産業界が利用できる。例として、土壌と地下水ブルームを処理する原位置廃棄物修復技術が挙げられる。その1つである ISRM 法は、ワシントン州のスーパーファンド・サイトで使用されており、適用対象を増やすために現場試験が行われている。

ジョン・ラフェミナ氏は、PNNL の環境計画責任者であり、廃棄物修復に関する科学技術開発計画の実施について多くの経験がある。