

超ウラン・プロファイリング特許技術を備える
DOEのマウンド施設での実演

コンクリート汚染 プロファイリング技術

S.アッガーウォール (S. Aggarwal)

G.チャーターズ (G. Charters)

D.ザッカー (D. Thacker)

米エネルギー省は、国内の原子力施設の多くで除染と廃炉 (D&D) に取り組んでいる。その後、この施設を解体し、解体された廃棄物を取り扱いやすい大きさにして処理および処分しなければならない。D&Dを進めている施設は、通常、化学物質または放射能、あるいはその両方により汚染されている。

マウンドは、当初マウンド研究所と呼ばれており、1940年代後半に開所してから研究、開発、製造を行ってきた施設である。マウンドでの仕事は、DOEの主要な仕事の一部であり、爆発物と原子力技術に重点を置いた兵器および非兵器のためのエネルギー計画を支えている。数年間にわたる数々のプロジェクトでは、ポロニウム-210、プルトニウム-238、トリウム・プロトアクチニウム-231、ラジウム-226、アクチニウム-227 と、ヘリウム、アルゴン、ネオン、クリプトン、キセノンなどの希ガスの安定した同位元素の研究および製造を行っている。トリウムの収集は、1950年代以後、施設の操業の一部となっている。したがって、これまでの操業により汚染されていると思われるこの施設内やその周辺には大量の物質が存在する。

DOEの請負業者は、2006年までにマウンド施設を閉鎖する作業に従事している。この施設での浄化ペースを速めるには、効果的で集中的な行動計画が必要となる。つまり、安全かつ経済的に実現可能な閉鎖を確実にする計画である。予備解体調査と汚染施設の除染により、コンクリート建物の廃材を効果

的に分離し、コンクリートや鉄骨を再利用することができる。

現場の作業員が汚染に対処し、安全意識を高めることができるには、この建物の材料基質の深部でトリチウムを検出しなければならない。トリチウム検出の基本は、フィールド・スワイプ (field swipes) の液体シンチレーション計数または副標本コアの消化である。この方法は、計数室で実施されるが、測定区域から遠くに離れていることが多く、未処理の作業が増えることもある。このために、所要時間が数分から数時間、場合によっては数日、数週間遅れる。このような遅延に伴う中断時間により、生産性の低下やコスト増をもたらす、最も大切なことだが、作業員が除染区域に気付くことが遅れる。

New Millenium Nuclear Technologies (NMNT) 社による超ウラン・プロファイリング (profiling) 特許技術、TRUPROSM の実演が、マウンド施設の SW-13/1B 区域で行われた。結果について、同じ区域で前回取得したコンクリートの従来のサンプリングおよび分析結果と比較した。

求められているものは

コンクリート床と根積基材の全体に放射性核種が存在するため、マウンド施設での廃炉対象である各種の核処理施設から生じる放射性廃棄物の特性評価とこれらの施設の改善について検討した。迅速なプロファイリング (profiling) 手法を使い、種々の分離廃棄物の放射能と数量を削減したことが、最終的にはコンクリートを無制限に引き渡す根拠となった。そのために、掘削に要するコストやリスクがな

くなり、施設所有者、利害関係者、米原子力規制委員会の要求に沿った最終的な施設閉鎖を実現する。

この技術を実施するのに以下の複数の問題を解決した。

- ・自由に引き渡すために基礎を除去し、廃炉計画全体における1つの選択肢として未汚染の建物や地下コンクリートを残す確かな手順を示すこと。
- ・材料が深部で汚染されていないことを立証した後、建物や未汚染のコンクリートを現場に残す事例を補足し、汚染区域から汚染されていないコンクリートを地元の処分埋立地へ無制限に引き渡す事例を立証すること。
- ・多量の基礎や土台の一部を除染し、汚染されていないものを分離する能力を高め、粉碎して低レベル放射性廃棄物処分施設へ送る汚染コンクリートの量を最小限に抑えること。
- ・従来の調査を補足し、より多くの調査やサンプリングの実施が必要な場所を判定するために汚染度に関する詳細な情報を提供すること。
- ・すべてのコンクリートを自由に放出する（引き渡す）までに必要な処理量と除染量を測定するのに求められる放射能および数量、コスト情報の理解を深めること。この情報は、マウンドで最も経済的な廃炉ルートを確認するのに重要である。
- ・コンクリート床や基礎を現場に残す手順を示すこと。



図1：コンクリート放射化学プロファイリング装置

技術内容

コンクリート放射化学プロファイリング装置は、主に4つの部品から構成されている。すなわち、図1に示すように、特殊カット・サンプリングヘッドが付いたドリル、ドリルビット、サンプル収集装置、真空ポンプである。この装置は、携帯放射計とつなぎ、分析対象の材料中の放射能汚染や化学汚染の断面図を作成する。

硬い表面を貫通するには、ハンマーを叩いてからドリルヘッドを使う。このために、放射能で汚染された材料中をドリルが移動する際に大きな塊の材料が粉末化するので、粉末化した材料の代表的なサン

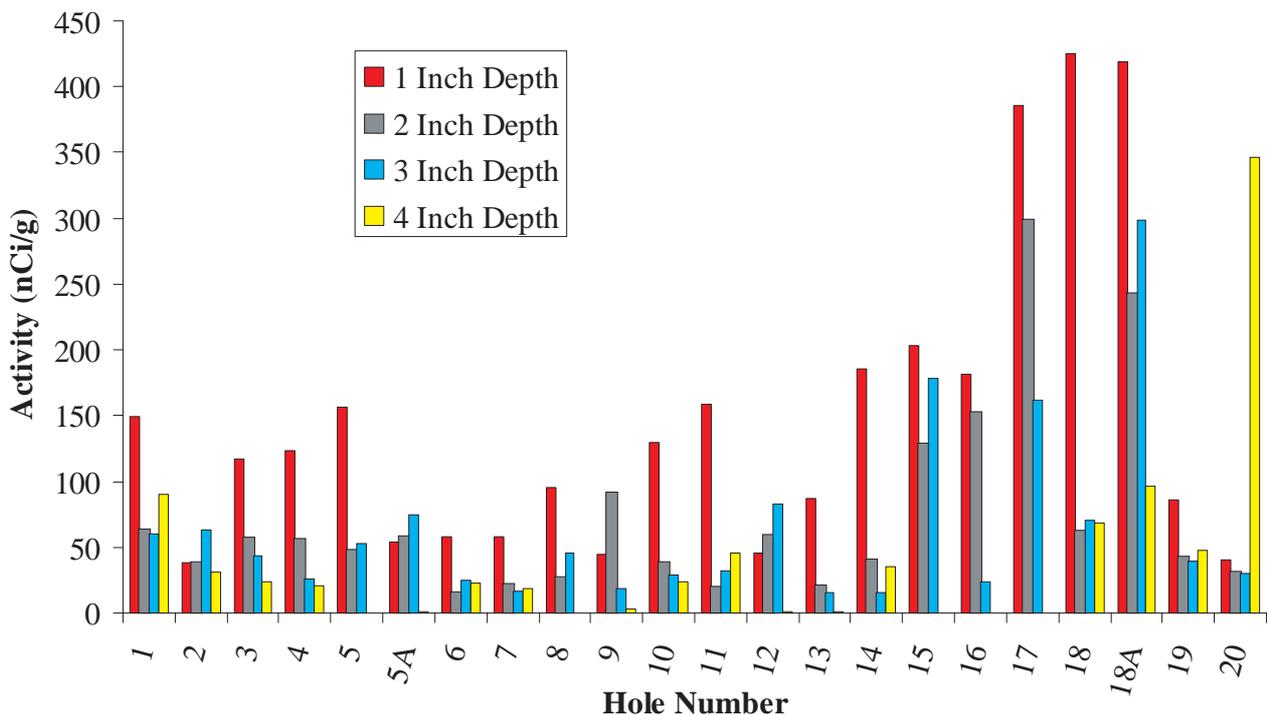


図2：ホール番号と深さに対するトリチウム放射能

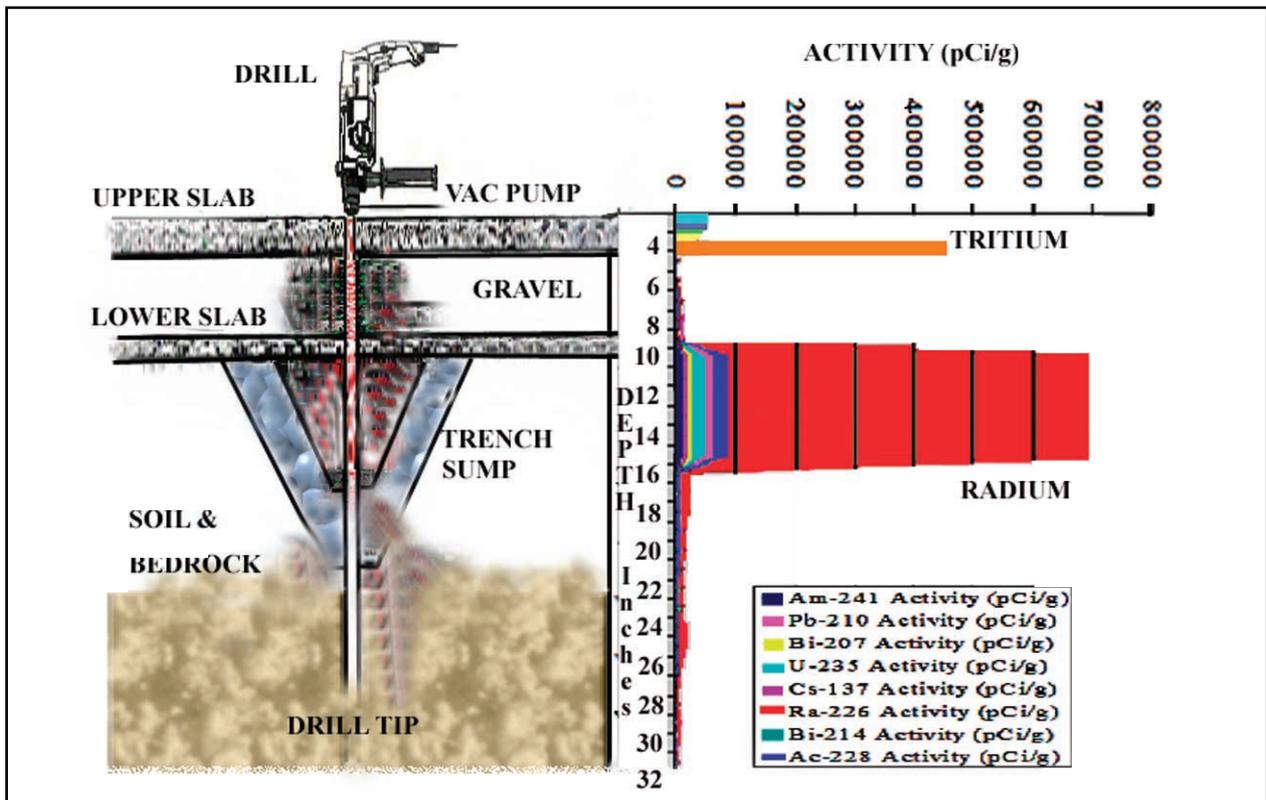


図3：深さ5～35インチにいたる20ホールの全ガンマ放射能分布図

ブルをサンプリング装置へ旨く送出することができる。このプロファイリング装置は、すべての材料を穴から連続的に収集するように作られている。この材料サンプルは、汚染されていない収集サンプルの二次汚染を防止する特殊設計の真空サンプル収集装置により、連続収集する。このプロファイリングプロセスでは循環は一切不要である。そのために、切削による唯一の副産物がこのサンプルとなる。

定性および定量データ、代表値を使い、塊状の建物材料の熱い斑点表面から放射能断面図を作成することもある。プロファイリングプロセスで得た放射能データを換算し、放射能問題に関する詳細な報告書の一部として建物の図面へ転写する。次に、この放射能断面図を展開して、最終的に施設の特性評価を行い、コストを削減し、リスクを低下した状態で廃棄物の分離と施設の閉鎖を促す。

マウンドでの手法

20ホールのうち15ホールから、コンクリート粒子4サンプルを4インチの深さに対して1インチ刻みで収集した。1インチ刻みの4サンプルについて1つ1つ、フィールド・シンチレーション計数管を使ってトリチウム分析を実施した。20ホールのうち3ホールについては、サンプルの上から2インチ掘削している最中にトリチウム化した水（HTO）の形態で逸散しやすいトリチウムを収集した。このよう

な3つの「専用トリチウムホール」については、コンクリート紛の上から2インチの部分をもつ成分サンプルとして収集した。サンプリングポンプ排気流のすべてに含まれている一過性のHTO蒸気を、代表的な割合（％）で直列型ウォータートラップに収集した。フィールド・シンチレーション計数管により、収集したHTO水と粉末について分析した。また、バックグラウンドのHTO蒸気を収集し、専用トリチウムホール近傍の大気を分析した。

底部から1インチずつの2つ分をコンクリートサンプルを収集し、フィールド・シンチレーション計数管で分析した。（約20立法センチメートルのねじ蓋式容器に）収集した粉末と（ポリマーボトルに入っている）HTOの残りは、今後予想される分析のために提供した。20ホールのうち2ホールは「特別な深穴」と言われており、それぞれのホールからコンクリート粒子または砂粒を17～20サンプル、17～20インチの深さに対して1インチ刻みで収集した。上から4つ分についてのみ、トリチウム分析を行った。サンプリング中、トリチウムはHTO蒸気となって損失すること、また、種々の基材について深部でのサンプリングが実用的であることを記録した。

目盛り付き放射計で作成した放射能データは、定性および定量データ、代表値を求めるために評価した。次に、これらの数値を使って塊状の建物材料の熱い斑点表面から放射能断面図を作成した。もう1

度繰り返すが、プロファイリングプロセスで得た放射能データを換算し、放射能問題に関する詳細な報告書の一部として建物の図面へ転写する。次に、この放射能断面図を展開して、最終的に施設の実態評価を行い、コストを削減し、リスクを低下した状態で廃棄物の分離と施設の閉鎖を促す。

携帯液体シンチレーション計数管（LSC）用に必要不可欠なコンクリート粉末は、0.1～0.25グラムで十分であった。その残りは、放射能断面結果を比較するために現場での研究のために収集した。1インチ刻みでサンプルを収集するのにそれぞれ10秒かかった。それぞれの深さの粉末サンプルについて既知量を目盛り付き天秤で計り取りし、次に、蒸留水2ミリリットルと Insta Gel LSC 混合液2ミリリットルを、20ml の LSC ガラス瓶に添加し、十分に振り混ぜて LSC 混合液全体にコンクリート粉末が均一に分散するようにした。最良のサンプル形状となるように、土と粉末が LSC 混合液全体に均一に分散させた。粉末は、大量の極微粒子となっているので、存在している放射能の自己吸収を最小限に抑えている。それぞれのサンプルを、トリチウム目盛り付き LSC の計数室に入れ、トリチウム放射能の分析を10分間実施した。サンプリングから分析終了まで、1サンプルにつき計20分間観察した。従来の技術よりも時間やコストで大幅な改善が見られ、非常に代表的なサンプルをより安全かつ正確に収集できた。

コンクリート・プロファイリングは、次に、ホール1から数フィートに離れたポジション2へ移り、1インチ刻みの4箇所の深部でサンプルを収集した。コンクリートスラブのサンプリングを行う所定の4インチまで達するのに7分もかからなかった。

結 果

コンクリートサンプルの目視検査

それぞれのサンプリング地点で上から最初の1インチの所で収集したコンクリート粉末は、茶色の微粒子であり、より大きく黒い骨材が僅かに含まれている。コンクリート基材のより深部で収集した粉末は、計量かつ黒っぽい材料が満遍なく配分されている。溝や排水溜めから回収した材料は微細な砂であったが、建物の表面下の基盤サンプルは、石灰岩基盤層の成分や密度が様々なために、微粒子から微細な砂や砂利とばらつきがあった。コンクリートのセメント材と骨材の平均配分比をさらに分析する方が良い。主に骨材が含まれている標準サンプルのトリチウム汚染は、骨材にトリチウムがほとんど拡散していないので、その汚染度が低い方向へ傾くものと思われる。

採取対象ホールのトリチウム検出結果

図2は、分析の対象となる1サンプルあたりのトリチウム放射能を示している。このホールの多くの一般的な傾向は、トリチウム放射能は、サンプルの最初の1インチのところのが最も濃度が高いということである。ホール4と11の4インチのところの2サンプルとホール8の3インチのところの1サンプルを全く同一に分析した。その結果は一致していた。ホール12の3～8インチのところの1サンプルとホール13の3～12インチのところの1サンプルについて、その分析結果は、検出限界値、すなわち、1グラムあたり0.59ナノキュリーであると報告されている。このような測定結果は、2つのケースではバックグラウンドレベルを下回っている。マッシュアップサンプル18が、放射能レベルが最も高かった。

土と気泡におけるトリチウム%			
ホール番号	固体と水における全トリチウム量	トリチウムの損失率%	固体の%
15	237.659	14.329	85.671
16	255.008	28.655	71.345
17	496.621	22.406	77.594

この表は、ホール15、16、17の最初の2インチから収集したサンプルの全トリチウム放射能を表示している。固体サンプルと水の全放射能を使い、それぞれの媒体に含まれているトリチウムの割合（%）を計算した。この結果から、トリチウムの14～28%が大気中へ損失したことが分かる。

流速が低下し、減圧すれば、深部でのサンプリング地点からの粒子の除去率が低下する。したがって、トラップは、サンプリング技術の性能を損なうことなく、逸散しやすいトリチウムを閉じ込める最適な人工装置である。トラップ2に非常に小さな貫通孔が観察された。

しかし、コンクリート基材からフィルターカバーと真空ポンプで手の届かない内部表面へ揮発したトリチウムを蓄積して集中させるには、一連のウォータートラップの中でオフガスを洗浄して、無数のサンプリング地点でのサンプル収集による残留トリチウムを確実に格納しなければならない。

ホール20での線スペクトロメトリー

図3は、19インチのコンクリート境界面での全放射能が大幅に低下していること、また、19インチ未満での主な放射性核種が鉛-210であることを示している。

技術への信頼

- 評価したサンプルを踏まえ、結論と提言として、
- ・採取地点でのコンクリートスラブのトリチウム濃度が非常に高かった。
 - ・これまでににおいてトリチウム濃度が分かっている3本のトリチウム特別ホールの気泡での結果を踏まえ、逸散しやすいトリチウムをすべて、気泡装置のトラップ1と2に閉じ込め、トリチウムが作業区域へ一切放出しないようにした。
 - ・隣接区域や表面下の基盤にトリチウム汚染や懸念される汚染物質がないことを立証するには、より詳細かつ広範なサンプリング・分析方式が必要である。
 - ・コンクリートサンプリング・プロファイリング装置は、従来の装置よりも品質の高い、より多くの代表的なサンプルを短時間で収集し、放射化分析がより信頼性の高いものとなった。
 - ・これまで未知だったものに対する理解力がさらに深まったことで、D&D作業の放射線面での安全性への信頼性が高まった。
 - ・コンクリートサンプリング・プロファイリング装置は、Beta Scout LSCと線スペクトロメトリーにつなぎ、サンプル分析の遅延による中断時間を数桁短縮した。したがって、この改良装置は、生産性を高め、コストを削減し、最も重要なことは、作業区域での汚染に対する作業員の自覚を非常に高め、安全かつ放射線に注意を払う作業員の育成に貢献している。

- ・コンクリートサンプリング・プロファイリング装置は、建材の塊が汚染されておらず自由に引き渡せるか、または即時に再利用できることを立証するために、サンプル収集で使用することができる。一連の廃材は、深部まで放射線の痕跡を採取することができるので、建材をより効果的かつ効率的に除染する能力が向上し、相当な時間と費用が節減される。

マウンド施設での40インチ以深の深部でのサンプリング・プロファイリングは比較的簡単である。この手法は、建物の表面下の材料が汚染されておらず自由に引き渡せるか、または即時に再利用できることを立証するために、追加サンプルの収集で利用することができ、相当な時間と費用が節減され、D&D計画が更に充実する。

S.アグガーウォール (S. Aggarwal) は、NMNTの放射線・環境プログラムの監督である。

G.チャーターズ (G. Charters) は、廃棄物管理のノウハウを提供し、NMNTのD&Dや他の放射線プロジェクトの技術分野や研究室の管理業務を監督している。

D.ザッカー (D. Thacker) は、NMNTの社長である。本文は、アリゾナ州トゥーソンで2003年2月23～27日に開催された「廃棄物管理2003年」で行われた発表に基づくものである。