

平成23年（2011）8月17日（水曜日）第6685号

## 夏期特集号

『原子力発電所事故後の  
周辺環境の修復について』

エネルギー総合工学研究所 副参事  
工学博士 石倉 武

- ▼福一事故の汚染状況の特徴
- ▼環境汚染対策の検討方法
- ▼原位置修復技術
- ▼専門設備修復技術
- ▼自然修復
- ▼汚染廃棄物の貯蔵処分方法
- ▼まとめ

東北地方太平洋沖地震がもたらした津波により、福島第一原子力から漏洩した放射能は発電所サイトだけでなく、福島県地方を中心に各地において非常に高い濃度で検出されている。この結果、周辺地域では積算線量が住民の居住に適さない程上昇し、また、発生した放射性廃棄物はこれまで操業または計画されている原子力施設用の処分場では収容できない大きな物量に達している。

これまで我が国では今回のような広範囲の地域を放射能汚染させた経験はなく、このような事態への対応経験が少なくない。このため、これらの対応を効果的に実施するために、国内外での汚染事例を参考に環境修復について概説する。

#### ▼福一事故の汚染状況の特徴

##### (1) チェルノブイリ事故と米国の環境管理

今回の事故とチェルノブイリ事故の放出放射能を比較すると、揮発性のあるヨウ素やセシウムはチェルノブイリより約1桁低い値であるが、揮発性の低いストロンチウムは約2桁、プルトニウムは約3桁低い。これらは両者の事故状況（水蒸気爆発と水素爆発）から類推され、今回の修復には放射性セシウムを除去・除染することが基本であると考えられる。

チェルノブイリでは98年に事故発生後、同年秋に「石棺」を設置したが、修復は遅々としていた。その後、ウクライナが99年に独立し、EUなどと共同して段階的な修復に取り組み、放射能の安全な閉じ込めに向けて低レベル放射性廃棄物処理・貯蔵施設、使用済燃料中間貯蔵施設が建設され、現在、新しいシエルターを建設中である。

一方、米国では、エネルギー省が環境管理プロジェクト（EM）で核的に汚染した軍事施設の浄化を99年頃より開始し、年間60億ドル（約5000億円）の予算が投入され、50～60年代まで継続される予定である。このEMにはプルトニウム製造や核実験サイトが含まれるので、放射性セシウムなどの汚染を浄化した経験がある。現在、土壌および地下水汚染の修復や低レベル廃棄物処分についても実施中で、また、新規技術の開発も継続されている。

#### (2) セシウムの特徴

放射性セシウムはウラン235の核分裂でセシウム134（半減期2年）と同137（半減期30年）がほぼ同程度発生する。セシウムはアルカリ金属であり、ナトリウムやカリウムと類似し、生物中で移動性が高い。一方、土壌中では粘土への選択的な吸着性があり、土壌に吸着したセシウムの移動性は低い。人体に入るとカリウムと置換して筋肉に蓄積し、生体半減期100日程度で体外に排出される。植物ではキノコなどに濃縮し、魚類では魚食性のカツオ、マグロなどに濃縮する。都市ごみとして焼却されると、放射性セシウムは主灰と飛灰に移行し、排ガス中ではバグフィルターで除去できる。高温ではヨウ化物や塩化物の場合、沸点の1290℃で蒸発する。

#### ▼環境汚染対策の検討方法

修復活動の基本は、汚染源の種類、濃度、物量の分布を精緻に測定し、汚染マップを正確に作成することである。これを基に、複数のシナリオから絞り込み、対象別の修復計画を立案し、個々の業務の作業構成明細（WBS）を策

定する。WBSは各現場での実施期間、組織体制、人員配置を明細化するので、費用積算できる。米国ではこれまでの経験を基にソフトウエアでWBSが作成されている。

#### ▼原位置修復技術

##### (1) 洗浄および除染

今回の事故における主要汚染核種は通常の廃止措置におけるコバルト60などとは異なるが、表面汚染への除染技術には共通して適用できる方法が多い。物理的除染技術では、高圧洗浄が比較的ソフトに付着した汚染に対し効果的であり、また、研磨材入りブラストやスキヤブラは材料表面の剥離方法として適用できる。化学的除染技術では、対象表面に塗装して汚染を剥離する可剥性塗料がある。米国のEMでは水が不要な現場的な除染法として以前から使用されてきた。仏国や米国では泡除染法が定検時において燃料プールなどに適用されている。この除染法の二次廃棄物量を少なくできる特徴を生かして、環境修復時のコンクリートの除染に適用することが考えられる。

##### (2) 掘削

土地の汚染表面を除去する方法としては、一般の土木・建築工事の掘削設備が汚染対象に応じて使用できる。ブルドーザー、グレーダー、スクレーパー、ドラッグショベル(バックホウ)などである。これらは畑や庭などの土地の除去や天地返しにも適用できる。また、汚染表面の除去にあたっては、掘削の現場で線量測定し、必要以上に掘削しないことが廃棄物最小化の観点から望ましい。

##### (3) 植物修復(ファイトレメディエーション)

土壌や地下水中の汚染物質を植物の根から吸収・分解するファイトレメディエーションが、有害物や放射性物質を分離・分解する方法として米国などで発展してきた。放射性セシウムを浄化する方法として、ヒマワリ、カラシナなどで一定の効果が確認されており、今回の事故後にもすでに東北の一部地域で試みられている。しかし、セシウムは土壌中の粘土と強く結合するので、植物の浄化性能を現地の土壌条件で確認すると共に、放射性セシウムを取込んだ植物の処分法もあらかじめ手当てしておく必要がある。

#### (4) 動物飼育

牛肉などの放射能濃度を減らす方法として、①セシウム吸収剤を3か月程度与える、②汚染のない飼料を出荷前3か月与える—などの方法により放射能を2〜3分の1削減したとの報告がある。基準値を若干超える程度の牛肉であればこれらの方法で基準値以下にすることが期待できる。

#### (5) 安定セシウム剤

災害時に放射性ヨウ素の甲状腺への蓄積を抑えるため、安定ヨウ素を予防服用することは知られている。放射性セシウムに対しても同様であり、人体や農産物にあらかじめ安定ナトリウムやセシウムを与えることにより、放射性セシウム量を抑える効果が期待できる。刺し身には細切大根を具として添えるように、牛肉を食するときはセシウム吸収剤や安定セシウム剤を添えることが考えられる。

#### ▼専門設備修復技術

専門設備修復とは、汚染物を専門設備に移動して浄化することを指す。専門設備修復技術の多くは原子力プラント

の廃棄物処理系などで実績がある。新たな修復設備を設置するには、適切な敷地が必要であり、二次廃棄物の処置についてあらかじめ対策を立てる必要がある。

(1) 汚染水処理

現在、福島第一施設内では、高レベル滞留水を処理する油分離装置(東芝)、セシウム吸着装置(クリオン、東芝)、加圧浮上凝集沈殿装置(アレバ)、逆浸透装置(日立GE)、蒸発装置(東芝、アレバ)からなるプロセスが操業中で、汚染水を処理し、原子炉の冷却水として再利用されている。

同じような狙いで、東京工業大原子炉研究所では、セシウム吸収剤のフェロシアン化鉄と凝集沈殿剤を組み合わせた方法を開発中であり、上下水道の浄化や処理水の農業用水への再利用を図る技術の実用化を目指している。

米国のEMでは、地下水へ汚染が広がっている例があり、複数のポンプで汚染水を汲み上げて地下水位を下げ、水処理して再利用するプロセスが典型的に適用されている。

福島地方の周辺地域で田んぼの水の浄化が必要な場合に、このような水処理方法の適用が想定される。

(2) 災害廃棄物とガラコンクリート

大量に発生した災害廃棄物の処分場を確保することは大きな課題であるが、可燃物は焼却炉で焼却・減容し、不燃物は分別して埋設処分することになる。不燃物のうちコンクリートガラは弁別し、破砕・分級することにより充填材、路盤材、バリア材などへの再利用が可能である。ただし、汚染廃棄物の再利用にはクリアランスレベル以下にすることが必要となるので、粒径による分離や加熱処理でセシウムを除去するなど、今後の製品化に向けた課題がある。

## ▼自然修復

自然修復とは放射能の減衰、自然現象による汚染の減少、制度的管理などを指す。森林のように汚染が広範囲に広がる場所では、除染のコスト効果がないため、立ち入り制限などの制度的管理を主に行い、人の立ち入る場所などを限定的に除染するような方式が妥当と考えられる。

## ▼汚染廃棄物の貯蔵処分方法

### (1) 汚染廃棄物の処分と再利用

原子力安全委員会は廃棄物の再利用に関する当面の考え方として「再利用して生産された製品は・・・クリアランスレベルに用いた基準（10マイクロシーベルト／年）以下になるように放射能濃度が管理される必要がある」とした（6月3日）。この考え方では、「製品」について述べていることを注目すべきで、従前のクリアランスレベルの検認とは異なり、クリアランスレベル以下の「製品」は再利用できる可能性が示された。

今回、関東地方などでも、下水汚泥などに高い放射能が検出されたため、原子力災害対策本部が当面の取り扱いについて基準を示した。これによれば、8000ベクレル/kg以下なら管理型処分場で受け入れが可能などの考え方を示した（6月16日）。下水汚泥以外にもサイト周辺部にある汚染廃棄物は、原子炉等規制法でも「廃棄物の処理および清掃に関する法律（廃掃法）」でも対象外とされており、取り扱う法律がない「法の空白」が指摘されている。今後、事故で発生した汚染廃棄物に対する処理方法や技術基準を定める法令が必要となる。

(2) 大量の汚染廃棄物の再利用貯蔵処分  
今回の事故以前に、原子炉等規制法の下で放射性廃棄物処分場に対する国の方針、考え方、濃度上限値が整備されているが、今回の事故で発生した汚染廃棄物は大量であり、これらを収容する処分場を修復活動に先立って設置する必要がある。このためには、処分容量、地理的特性などの要件を備えた処分施設として、従来のようなトレンチ、ピットの形式以外でも、廃坑、天然盆地や谷など幅広い形態を検討する必要がある。

▼まとめ

原子力事故後の周辺環境に関する修復技術について国内外の経験を概説した。要点は次の通り。

- ① 物量の定量化⇨汚染地域の放射能区分別物量マップを修復活動以前に定量化すべき。また、施設や家屋を除染する段階では、除染前に精緻な汚染マップを準備すべき。
- ② 周辺地域の修復⇨汚染の修復技術は国際的な経験を参考にすべき。また、各種の有力な修復技術を実際の条件下で効果を確認し、選定すべき。
- ③ 貯蔵・処分場の建設⇨汚染廃棄物の貯蔵・処分方法を整備すると共に、施設建設を具体化すべき。

(おわり)

石倉 武 工学博士。エネルギー総合工学研究所副参事(非常勤)、日本原子力技術協会テクニカルアドバイザー。東芝にてBWR水処理・水化学、旧原子力発電技術機構にて実用炉廃止措置技術開発に従事した。11年1月からIAEA「放射性廃棄物管理技術委員会」の日本代表。