

バックエンド部会セッション

**福島第一原発事故による環境汚染の回復に伴う汚染廃棄物の管理と
除去土壌の減容・再生利用の取り組み**

Challenges for management of radioactively contaminated wastes and volume reduction and reuse/recycling of removed soil derived from the activities for environmental remediation after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident

(1) 環境中における事故由来の放射性物質汚染廃棄物の総合的な管理

(1) Comprehensive management of radioactively contaminated wastes in the environment/biosphere

*遠藤 和人¹

¹国立研究開発法人国立環境研究所

1. はじめに

福島第一原発事故によって放出された放射性物質によって、東日本の広範な地域が汚染された。その結果、事故由来放射性物質（Cs-134 と Cs-137）によって汚染された土壌や廃棄物が多量に発生している。これら汚染物については、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」（以下、特措法とする）が平成 23 年 8 月 30 日に交付され、オフサイトにおける総合的な管理のための制度が整備された。福島県内外を問わず、多量の除去土壌が発生しているが、本論では汚染廃棄物である一般廃棄物や産業廃棄物に着目し、その管理状況等について述べる。

2. 放射性物質汚染廃棄物に対する初動

我々の家庭から出されるごみは一般廃棄物に分類されているが、一般廃棄物の可燃物については通常、中間処理として焼却処理が施されて、燃えかすである主灰と飛灰の多くが埋立処分されている。また、下水道で集められた汚水は、下水処理場で処理されて副次産物として下水汚泥が排出される。この下水汚泥は、セメント原料として利用されたり、焼却して下水汚泥焼却灰（産業廃棄物）となる。平成 23 年 5 月、福島県内の下水処理場から発生する下水汚泥ならびにその熔融処理スラグ等の放射能濃度が高いことが明らかとなり^{[1],[2]}、その対応のため、5 月 12 日に「福島県内の下水処理副次産物の当面の取扱いに関する考え方」を原子力災害対策本部がとりまとめ^[2]、翌 6 月 16 日には上水汚泥等も含めて「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方」が発出された^[3]。追加被ばく防護と汚染拡大防止のため、運搬や保管に対する留意点が示されると共に、埋立処分に対しては跡地利用制限を設けた埋立基準 8,000 Bq/kg という閾値が初めて設定された。6 月 23 日には、環境省が「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」^[4]を発出しており、上下水処理等副次産物と同様に主灰や飛灰についても 8,000 Bq/kg までは埋立可能としており、8,000 Bq/kg を超過する廃棄物（後に指定廃棄物として分類される廃棄物）は一時保管することが適当とされていた。一方、福島県外については、同年 6 月 27 日に南関東において 8,000 Bq/kg を超える一般廃棄物焼却飛灰が観測され^[5]、翌 28 日には「一般廃棄物焼却施設における焼却灰の測定及び当面の取扱いについて」という事務連絡が環境省より発出された。この事務連絡にしたがって焼却灰の放

*Kazuto ENDO¹

¹National Institute for Environmental Studies

射能濃度の一斉調査が実施されたため、一般廃棄物についてはこの7月の測定値が最も古い値となっている。

特措法が公布された翌日、平成23年8月31日には「8,000 Bq/kg を超え 100,000 Bq/kg 以下の焼却灰等の処分方法に関する方針について」^[6]が発出され、これまで一時保管が適当とされてきた 8,000 Bq/kg を超える廃棄物に対しても埋立処分する方向に変更された。特措法では処理基準の具体等については記されておらず、「省令で定める方法により」という文言が使われており、その省令である特措法施行規則（以下、規則とする）は同年12月14日に環境省令第33号として施行され、放射性物質汚染廃棄物等への体制が概ね整った形となった。また、規則の公布に伴い、廃棄物関係ガイドライン第1版が同年12月27日に公表された。その後、新たな知見や告示等を盛り込んで改訂され、平成25年3月に第2版が発刊されている（以下、廃棄物関係ガイドラインと記す場合は第2版を指す）。現在は、特措法や一連の告示等に当たって放射性物質汚染廃棄物の処理が行われており、従来の廃棄物管理による公衆衛生対策と同時に、放射性物質に対する被ばく防護と環境保全への対応が継続されている。

3. 放射性物質汚染廃棄物の分類と処理

3-1. 福島県内の汚染廃棄物

福島県内における汚染廃棄物処理に関する判断フローを図1に示す。汚染廃棄物対策地域と除染特別地域は同一であり、放射性物質による汚染の度合い（年間被曝線量）によって地域を分類している。この地

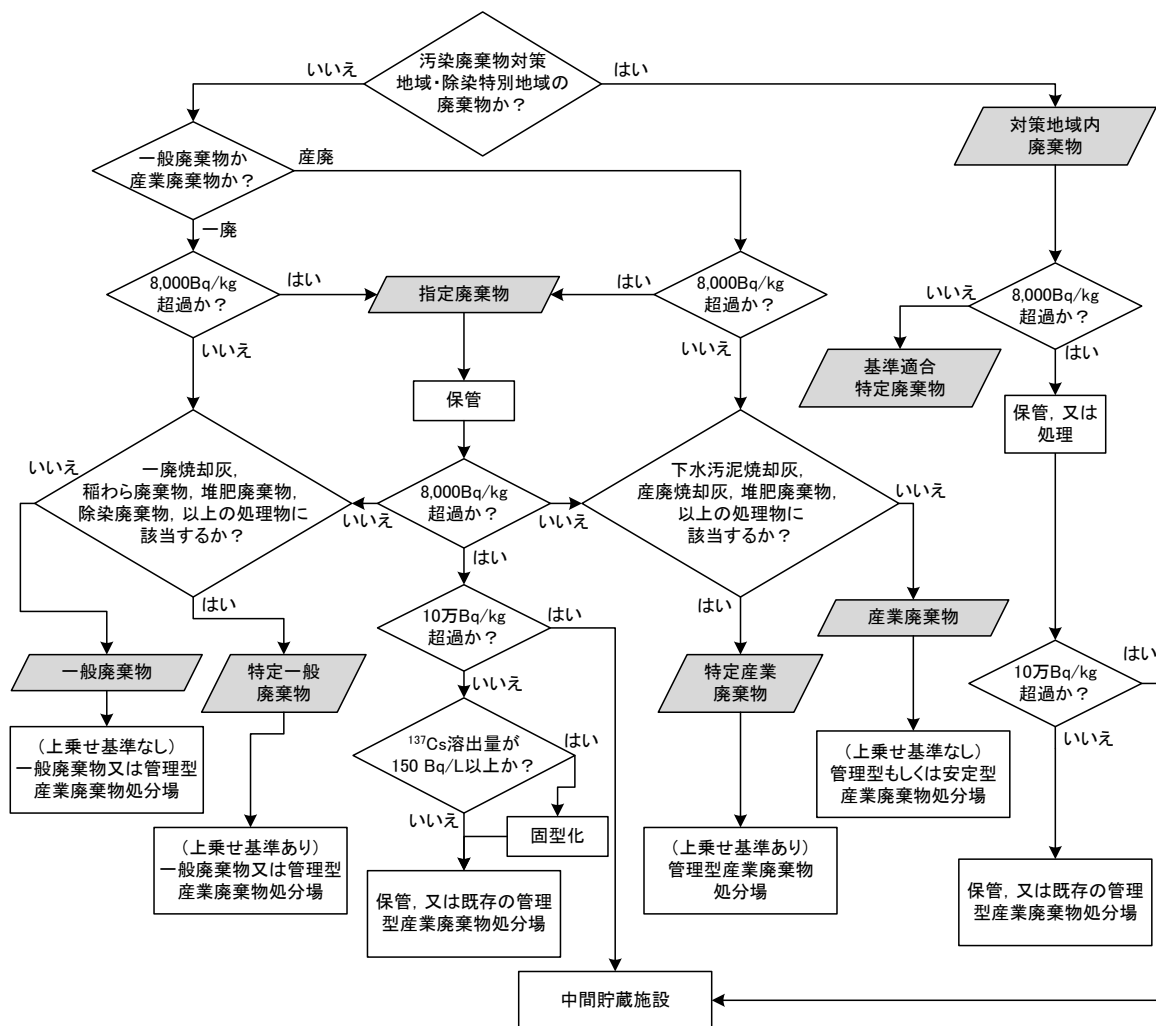


図1 福島県内の汚染廃棄物の分類

表 1 溶出試験結果の一例

試料名称	放射性 Cs 溶出率 (%)
一般廃棄物焼却主灰	1.6 *
一般廃棄物未処理飛灰	64.1～89.1
飛灰セメント処理物	62.5～86.3
飛灰セメント固型化物	13.1
主灰 4：飛灰 1 混合物	27.1
下水汚泥焼却飛灰	0.9 *

* 放射性セシウムが検出下限値以下なので安定セ

シウムの溶出率を計算している。

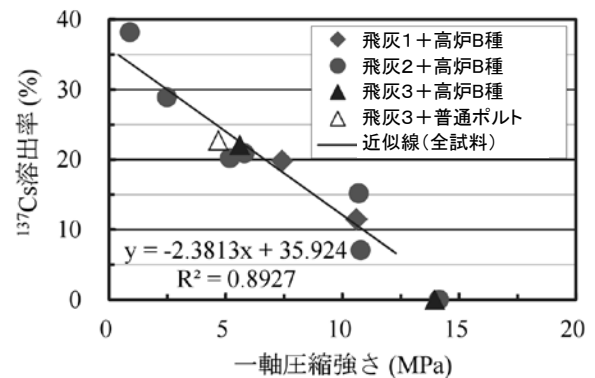
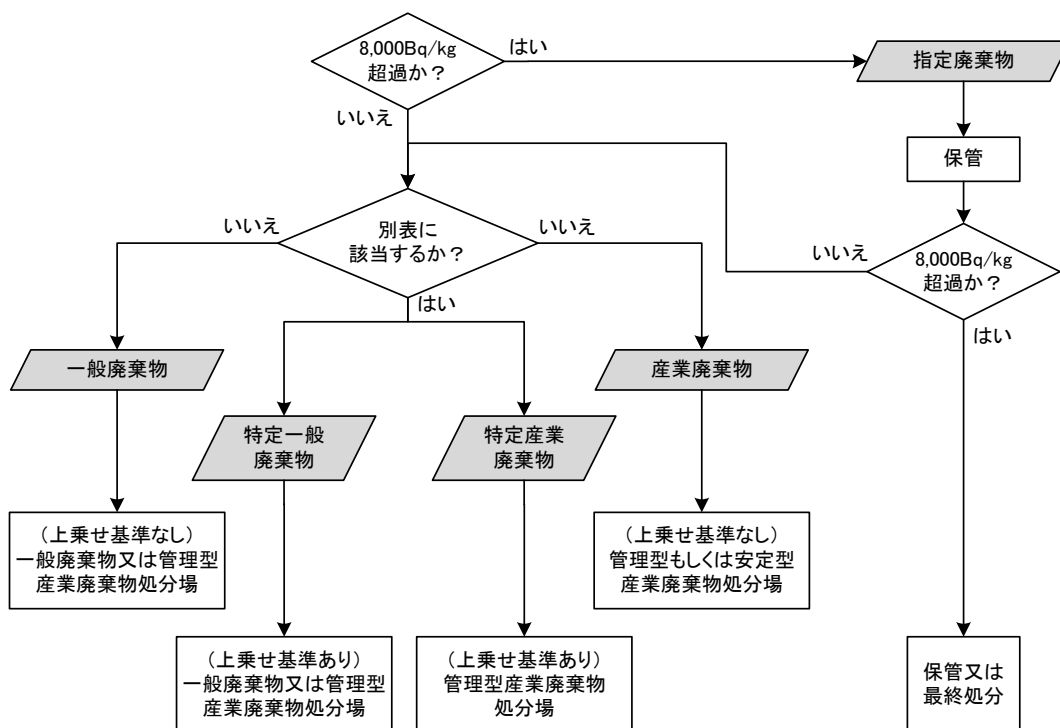


図 2 一軸圧縮強さと溶出率の関係

域内にある廃棄物等については自治体の管理ではなく、国の管理となっており管理主体が異なる。そのため、最初の判断フローとしては、この地域内であるかどうかの判断が必要となる。地域内の廃棄物については、対策地域内廃棄物と呼ばれ、特措法における特定廃棄物の一つとなる。8,000 Bq/kg 以下であれば基準適合特定廃棄物と呼ばれ、8,000 Bq/kg 以下の管理方法と同一となるが、それ以上の場合には指定廃棄物と同様の管理が必要となっている。地域外については、8,000 Bq/kg を超えていて、申請があった場合には指定廃棄物に指定される。8,000 Bq/kg 以下であり、指定品目に該当する場合には特定一般廃棄物、特定産業廃棄物として分類され、処理基準に放射線防護ならびに溶出抑制に対する上乗せ基準が課せられる。上乗せ基準はあるものの、埋立処分については従来通りの一般廃棄物処分場や管理型産業廃棄物処分場への埋立処分が可能となっている。一方、地域外の廃棄物の内、8,000 Bq/kg を超える指定廃棄物は保管され、その後、既存の管理型最終処分場に埋め立てられる計画となっている。保管期間中、8,000 Bq/kg を下回った場合、指定を解除できるように平成 28 年 4 月 28 日に施行規則の一部が改正された^[7]。指定廃棄物の内、10 万 Bq/kg を超える廃棄物は中間貯蔵施設で保管される予定となっているが、10 万 Bq/kg 以下の場合には既存の管理型産業廃棄物処分場を活用し、特定廃棄物処分場として埋立処分が行われる。その際、溶出濃度で Cs-137 が 150 Bq/L を超える場合にはセメント等による固型化処理を行った後、埋立処分することが定められている。セメント固型化の基準は環境省告示 14 号（平成 24 年）に記されている。表 1 のように固型化しない焼却飛灰の溶出率は約 60～90%であるが^[8]、セメント固型化することによって溶出率が低減し、溶出率は固型化物の一軸圧縮強度に依存することが報告されている（図 2 参照）^[9]。

3-2. 福島県外の汚染廃棄物

福島県外の場合、図 3 に示される通り、中間貯蔵施設がないために、8,000 Bq/kg を超える指定廃棄物は全て最終処分される予定となっており、10 万 Bq/kg を超える廃棄物を含む場合には管理型相当ではなく、遮断型相当の廃棄物処分場に埋め立てることとなっている。しかしながら、住民反対等のために埋立処分は実現されておらず、現時点では全て保管されている状況である。また、指定解除の施行規則改正により、一部の指定廃棄物は既に指定が解除されている。一方、8,000 Bq/kg 以下の特定一般廃棄物や特定産業廃棄物については、1 都 9 県で埋立処分が行われている。一部の処分場では上限濃度を 5,000 Bq/kg にするなどの上乗せ基準を設けて、より安全な埋立を目指す工夫もされている。特定一般廃棄物や特定産業廃棄物の埋立処分では、上乗せ基準が設けられており、埋め立てる際に土壌層を設置したり、煤じん（飛灰）を埋め立てる場合には遮水を施すなどの規定があり、廃棄物関係ガイドラインに詳述されている。ガイドラインに示された内容と追補的な留意事項は以下の 8 項目となる。①「汚染飛灰を水と接触させない。」：水と接触しなければ放射性セシウムが溶出しないためである。②「汚染飛灰の下を遮水しない。」：万が一、汚



別表： 特定一般廃棄物・特定産業廃棄物の該当要件

	岩手県	宮城県	山形県	茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県	除染実施区域	全国その他
流動床炉以外の下水汚泥はいじん				●	●	●	●	●	●	●		
焼却飛灰(ばいじん)	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
廃稻わら	●	●			●							
廃堆肥	●	●			●							
除染廃棄物											●	
特定一廃・特定産廃の処理物												●

※ 廃棄物の濃度等の要件によって個別の除外要件がある。

図3 福島県外の汚染廃棄物の分類

染飛灰中に浸透水が発生した場合、浸透水の放射性セシウム濃度が高い状態で滞留したり、横方向等に移動したりすることを防止するためである。③「汚染飛灰の下には土壌系吸着層を敷設する。」：浸透水が発生した場合であっても、土壌層を通過させて放射性セシウムを吸着させ、濃度が下がった状態の浸透水とするためである。④「汚染飛灰を臭突（ガス抜き管）の近くに埋めない。」：碎石等と有孔管で構成される臭突（ガス抜き管）に、放射性セシウムが高濃度のまま移動して水処理施設へと行かせないためである。⑤「汚染飛灰を法面集排水管近くに埋めない。」：臭突（ガス抜き管）と同様に、高濃度浸透水が水処理施設へと移動することを防止するためである。⑥「汚染飛灰を下流側や下の方に埋めない。」：台風やゲリラ豪雨等の影響で浸透水が内部貯留する可能性があるため、貯留水と汚染飛灰を接触させないためである。⑦「汚染飛灰の上に有機性廃棄物を埋めない。」：嫌気性環境下で窒素分がアンモニア態となって浸透水に溶解していると、汚染飛灰からの溶出性を高め、土壌層での吸着能を低下させる恐れがあるためである。

⑧「汚染飛灰の埋立が終わったら上部を遮水する。遮水が必要なのは、この上部のみ。」：繰り返しになるが、①と②の状況を回避するためである。これらを満足していれば、将来的にも放射性セシウムが処分場の系外に漏出することは無い。

放射性セシウムは土壌との親和性が高く、極めてよく吸着することが知られているが、飛灰溶出液等の塩濃度は海水なみに高く、数百 ppm 以上のカリウムイオンを含んでることが一般的である。また、処分場内は嫌気性環境下である場合も多く、窒素分がアンモニア態窒素として存在していることで、一般環境に比較すると、放射性セシウムの吸着能は高く無く、一般環境で測定された分配係数に比較すると1〜3 オーダー程度低い値となることから、土壌による吸着を過信しないことも重要である。

特定一般廃棄物は既に数十箇所を超える処分場で埋め立てが行われており、一部の処分場では埋め立てが終了している。現在、特定一般廃棄物や特定産業廃棄物の埋立処分については、処分場をどのように廃止し、跡地の形質変更をどう考えるか、という議論にシフトしてきている。

4. おわりに

事故から6年が経過し、8,000 Bq/kg 以下の特定一般廃棄物や特定産業廃棄物については、処分場での実測値や課題への対処方法等、経験値も蓄積されている状況である。指定廃棄物の埋立処分等についてはこれから始まるため、特定一廃や特定産廃の経験を生かしながら対応し、将来的な中間貯蔵後の最終処分に向けた知見を蓄積できるよう科学的な観点での検証を進めていく必要があると思われる。また、特定一廃や特定産廃であっても、処分場が負の遺産とならないよう、廃止確認や跡地利用、環境モニタリング等の環境保全対策を考えていくことが重要である。

参考文献

- [1] 福島県災害対策本部（2011）：県中浄化センターにおける下水汚泥の放射能量調査結果について，平成23年5月1日記者発表資料
- [2] 原子力災害対策本部（2011）：「福島県内の下水処理副次産物の当面の取扱いに関する考え方」について，平成23年5月12日
- [3] 国土交通省都市・地域整備局長（2011）：「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方」について，平成23年6月16日
- [4] 環境省（2011）：福島県内の災害廃棄物の処理の方針，平成23年6月23日
- [5] 東京二十三区清掃一部事務組合（2011）：放射能測定結果及び焼却飛灰の一時保管について，平成23年6月27日報道資料
- [6] 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル部（2011）：8,000 Bq/kg を超え 100,000 Bq/kg 以下の焼却灰等の処分方法に関する方針について，平成23年8月31日
- [7] 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課長（2016）：平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則の一部を改正する省令の施行について（通知），平成28年4月28日
- [8] 独立行政法人国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター（2014）：放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料 第四版），第4章，放射性セシウムの溶出挙動，pp. 32-41
- [9] 杉橋直行・馬場勇介・遠藤和人（2015）：放射性セシウムを含む一般廃棄物焼却飛灰のセメント固型化処理に関する研究，土木学会論文集 E2，Vol. 71，No. 1，pp. 14-28