



PROFILE

■ 押野 嘉雄

1955年生。1979年北海道大学衛生工学科卒業。同年鹿島建設入社、現在に至る。2011年～除染・廃棄物技術協議会運営委員（前代表幹事）、2014年～同ロジスティックマネジメントWGリーダー。

分級による減容化 ～湿式分級とその課題～

Volume Reduction System by Soil Classifying; Soil-washing System and Problems to Be Solved

押野 嘉雄^{1*}、除染・廃棄物技術協議会浄化土壌ワーキンググループ²

¹除染・廃棄物技術協議会前代表幹事

(鹿島建設株式会社：〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11)

²除染・廃棄物技術協議会

(事務局：株式会社三菱総合研究所：〒100-8141 東京都千代田区永田町 2-10-3)

Yoshio OSHINO^{1*}, Purified Soil Working Group in Technical Advisory Council on Remediation and Waste Management²

¹Previous Chairman of Technical Advisory Council on Remediation and Waste Management

(Kajima corporation:5-11, Akasaka 6-Choume, Minato-ku, Tokyo 107-8348, Japan)

²Technical Advisory Council on Remediation and Waste Management

(Secretariat:Mitsubishi Research Institute, Inc. : 10-3, Nagata-cho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8141, Japan)

Summary

Radioactive contamination of ground surfaces, buildings and forests in a broad area was caused by the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in Japan. The national government and municipalities have still been carrying out the decontamination works for livelihood areas after five years from the accident. The government estimated that the amounts of soils and wastes removed by the decontamination works would be about 28,000,000 cubic meters maximum including 20,000,000 cubic meters maximum of soils. The removed soils will be stored in “Interim Storage Facility” then will be finally disposed outside of Fukushima prefecture within 30 years. On the other hand, shortage of the soils as materials needed for the revitalization in Fukushima prefecture is expected.

Technical Advisory Council on Remediation and Waste Management, which consists of about 90 companies, started a working group to investigate solutions to these problems. The working group focused on the investigation of the possibility to recycle the soils by washing and classification to use them as the materials for civil engineering works, and to reduce the volume of the interim storage. In the first part of this report, we have evaluated the applicability of various technologies for purification and volume reduction of the removed soils, and have researched usages, required quantities and specifications of the recycled soils. In the second part, we have made trial calculations of the volume reduction effects and costs using the washing and classification system. The calculated results showed the possibilities of reducing the storage capacity of the interim storage facility, as well as the construction and the operation costs by recycling the removed soils with the washing and classification system inside the interim storage facility. At the end of this report, we proposed problems to be solved in order to adopt the washing and classification system.

Key Words: Radioactive contamination in the environment, Interim storage facility, Recycle, Soil-washing system

*Corresponding author: TEL: 03-5544-0785, FAX 03-5544-1735, E-mail: oshino@kajima.com

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故では、大量の放射性物質が放出され、広範囲にわたる地表、建物、森林などを汚染した。2012年1月1日から施行された放射性物質汚染対策特措法に従い、国や市町村による本格除染が生活圏（住宅、道路、公共施設、農地など）を中心に事故から5年となる今も行われている。

除染計画区域からの除染による除染廃棄物（除去土壌等（不燃物、可燃物））の発生量は、全体で最大約2,800万 m^3 、除去土壌だけで最大約2,000万 m^3 と推測されている¹⁾。2,800万 m^3 の除染廃棄物は、減容されたのち2,200万 m^3 の貯蔵容量の土壌貯蔵施設等の中間貯蔵施設で貯蔵した後、30年以内に最終処分される。

2015年に国は、中間貯蔵施設建設が難航する中、計画地域内に保管場を建設し、パイロット輸送として仮置場から保管場までの輸送も開始した。今後は、新しい技術の適用によるさらなる除染の加速の他に、大量の土壌や廃棄物の仮置き場から中間貯蔵施設への輸送や土壌・廃棄物の減容処理方法の開発などの中間貯蔵に関連する技術的問題の解決が必要となってきた。

「除染・廃棄物技術協議会」は、2011年11月に、放射能汚染という未曾有の国難に対する企業の社会的責任の一環として、産業界が除染や廃棄物の処理・処分において主体的な役割を果たし、一連の除染活動の円滑な遂行にも積極的に貢献していくことを目的として設立された。2016年1月までに17回の定例会を通じて会員相互及び国や地方自治体との意見や情報の交換を行うとともに、ワーキンググループ（WG）活動を通じて、除染効果評価のための線量測定方法、焼却灰の処理方法、焼却施設の安全性確保、輸送管理、除去土壌の再生利用、ステークホルダとの対話といった課題に対して、具体的な方法の提示や提案を行ってきた。

中間貯蔵施設の建設は、16 km^2 にも及ぶ広大な敷地の中に約2,000万 m^3 の容量を持つ土壌貯蔵施設や減容化施設、廃棄物貯蔵施設の建設であり、2,000万 m^3 を超える放射性物質を含む土壌の輸送も初めての試みで、ますます企業の持つ技術・ノウハウが重要となってきた。このような社会の要請に応えるべく、除染・廃棄物技術協議会は、除染や放射性物質に汚染された廃棄物等の処理・処分に関する国や地方自治体の取り組みを、企業の持つ技術・ノウハウによって支援することにより、福島県のみならず除染の対象となる地域の環境回復と復興に資することを目的として、活動を行ってきた。今後も環境回復及び復興にも目を向けて、これに資する活動を行っていく予定である。

除染等に伴って排出される除去土壌等は、最大2,000万 m^3 程度と予想されており、これらの汚染土壌等を全て中間貯蔵施設で貯蔵する計画となっている。一方、福島県等の被災

地の復旧・復興工事に伴って必要とされる土砂・砕石は非常に逼迫しておりその供給に苦慮することが予想される。

中間貯蔵された除去土壌等は、30年以内に福島県外で最終処分することが定められており、最終処分に向けた技術開発も今後重要な課題となってくる。こうした中で、除染・廃棄物技術協議会は、2013年4月に浄化土壌WGを立ち上げ、中間貯蔵量や最終処分量の減容を図るべく、除去土壌の再生利用の検討を行っている。

除去土壌の内、比較的低線量のもの、分別や分級洗浄により再生利用の可能性がある浄化土壌を得ることができると考えられ中間貯蔵施設への減容化技術として期待されるのである。これらを実現するためには、土壌洗浄に係る技術・システムの整備と再生利用のニーズ・用途や要求される品質・仕様の二つの側面からの検討が必要になる。本WGでは、後者の側面に焦点をあて再生利用及び減容化実現のための検討を行ったので報告する。なお、この報告は2015年9月29日に行われた環境放射能除染学会第10回講演会の発表資料等を中心にまとめたものである^{2,3)}。

2. 分級洗浄について

土壌汚染の分野では、重金属などの汚染物質が土粒子中の細粒分に多く付着する性質に着目し、水による洗浄を行うことにより粗粒分と細粒分に分け、汚染物質濃度が比較的薄い粗粒分については健全土として再生利用を行い、汚染物質濃度が濃い細粒分については濃縮汚染物として処分をする分級洗浄による土壌洗浄処理が行われている。

通常、分級はJISの土質分類に基づく粒径により行い、2mm以上の土粒子を礫、2mm～0.075mmを砂、0.074mm～0.005mmをシルト、それ以下を粘土としている。ここでは、砂以上の粒径を持つ土粒子（0.075mm以上）を粗粒分、それより下を細粒分としている。

これらの土粒子を2mmや0.075mmで分級するために、洗浄を行いながらふるいやサイクロン等を使用する（図1）。

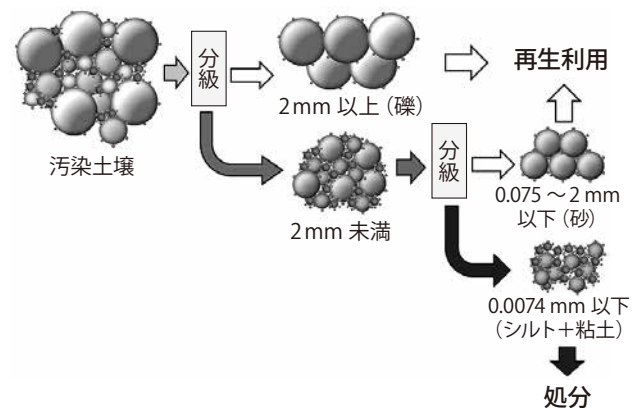


図1 分級洗浄の原理

この技術を応用し、放射性セシウムを含んだ除去土壌の分級を行い、高濃度の細粒分、低濃度の粗粒分に分けることにより、高濃度は中間貯蔵、最終処分に、低濃度は管理された状態で再生利用することが可能となると考えている。

洗浄技術に着目し、その土質ごとの効果を検証するとともに、浄化土壌を中間貯蔵施設内で再生利用した場合の経済的効果などの定量的な効検討を行った。以下にこれらの活動内容を報告する。

3. 土壌浄化ワーキンググループの活動

土壌浄化WGは、除去土壌を対象として、再生利用、中間貯蔵施設の貯蔵容量を減容化する目的で発足し、2013年5月～2014年2月まで25社による活動をフェーズ1、2014年2月～10月まで23社による活動をフェーズ2としている。フェーズ1では①再生利用のニーズおよび用途、②再生利用のための土壌の品質・仕様・放射線遮へい、③対象とする除去土壌とニーズのマッチング、④浄化土壌の発生量と浄化技術、再生利用の可能性等を検討・整理し、フェーズ2では、フェーズ1の結果を踏まえ、浄化技術として最も可能性の高い土壌

4. 除去土壌の再生利用に関わる検討

(1) 浄化・減容化技術の現状の調査

除去土壌の減容化・再生利用のための浄化技術の調査を2012年、2013年の環境省や福島県などの実証調査事業⁴⁻⁶⁾などの報告書をベースに行なった。その結果を表1に示す。

浄化土壌は、適用する浄化技術により、物理的、化学的性質が元の土壌と変わる場合があるので、再生利用するには、放射能濃度に関する基準を満足すると共に、再生利用用途に応じた土質性状、強度特性などを満足する必要がある。主な浄化技術の除染率、処理コストおよび浄化土壌の土質性状・

表1 実証事業等に採用された浄化減容化技術

浄化原理	技術区分	原理	浄化土壌の性状					
			除去率 ^{*1}	溶出性 ^{*2}	粒度への影響 ^{*3}	汚染物 ^{*4}	実用化 ^{*5}	
濃度分別	ソーティング	放射能濃度を測定し、設定値以上と以下に区別する技術。浄化・減容化の前段階としての位置付け。各浄化技術を用いても目標濃度に届かないような高濃度土壌の分別に用いる。	—	—	—	発生せず	実用化済み	
物理的除去	分別	除去土壌中の異物(主として草木)を除去する技術。有機物中のCsは濃度が高く、溶出しやすい傾向があることから、これを取り除くことで浄化土壌の再生利用を図る。	ほとんど変化なし	ほとんど変化なし	影響せず	有機物	実用化済み	
分級	分級洗浄(乾式)	Csが土壌中の細粒分に多く含まれることに着目し、細粒分と粗粒分を分離して、粗粒分を浄化土壌として回収する技術。一旦乾燥して解さい・研磨等を行い、乾燥状態で分級を乾式という。水を加えて、湿潤状態で分級を湿式というが、上記に加え、磨砕やキャピテーション、超音波等で粗粒分表面に付着したCs含有粘土を取り除き浄化性能の向上を図る場合もある。	63～86%	変化なし	細粒分が少なくなる	脱水ケーキ	実用段階(中規模)	
	分級洗浄(湿式)		59～95%(8割程度)	ほとんど溶出せず	細粒分がなくなる。粗粒分も多少粒度構成が変化	脱水ケーキ	実用段階(大規模)	
化学的処理	酸洗浄	分級洗浄と同様に細粒分を分離すると共に、洗浄液として各種の酸を用いて、粗粒分に付着および吸着しているCsを除去することで浄化性能の向上を図るもの。	85～97%(9割程度)	酸残留で溶出の可能性有	同上	脱水ケーキ	実用段階(大規模)	
	酸抽出	土壌を抽出液(シュウ酸、硫酸等)に浸漬し、Csを抽出液中に溶かし出し、抽出液を回収することで土壌を浄化する技術。常温では抽出効率が十分でないことから、加温・加圧条件下で実施される場合がある。	77～93%(9割程度)	酸残留で溶出の可能性有	多少細粒化	廃酸/セシウム吸着物	実用段階(小規模)	
熱脱着(昇華)	熱処理	土壌を加熱し、Csを昇華させて分離する技術。土壌中のCsは多くの場合、土壌の構成鉱物と結合しているが、1100℃程度に加熱することで、Csをガス化させて分離出来る。	99.8～99.9%(99%)	溶出せず	細粒分の焼結による団粒化の可能性有	飛灰	実証済み	
その他	水熱処理	除去土壌を水に入れ、高温高压の亜臨界～超臨界状態でCsを水中に溶かし出して浄化する技術。					研究段階につき不明	研究段階

※1. 公表データより想定した各工法の一般的な数値として示したもの。土壌の種類や性状、処理技術によって違う場合がある。
 ※2. 処理前の除去土壌の溶出率(=溶出量/含有量)と浄化後の土壌の溶出率について比較。一部想定を含む。
 ※3. 浄化処理後の浄化物の粒度について記載。再生利用のための後処理(破砕、細粒分添加)等は考慮していない。
 ※4. 浄化処理に伴い発生する濃縮汚染物。
 ※5. 「実用化済み」: 海外ないし国内で実処理実績を有する技術(分別については放射性物質以外での実績)
 「実用段階」: 実証試験で処理性能を確認し、実用規模の処理装置も存在するもの
 「実証済み」: 実証試験により処理性能を確認し、今後実用規模の処理装置を作成するもの
 「小規模」は1t/h程度以下、中規模は～20t/h程度、「大規模」は20t/h以上を想定

表2 浄化技術と浄化土壌の特性

技術一覧	除去率 (%)		処理コスト(千円/t)	浄化土壌の土質	
	実験実績 (代表値)				
物理的処理	分別	—	—	大きな有機物や異物などは除去される。土壌性状的には処理前と変わらず。微細な有機物は残留する可能性有。	
	分級洗浄	乾	38 ~ 86% (70%)	4.9	細粒分を除去するため、砂、レキ主体となる。有機物は分別除去される。
		湿	60 ~ 95% (80%)	3.5 ~ 19	
化学的処理	酸洗浄	85 ~ 90% (90%)	20 千円/m ³	細粒分を除去するため、砂、レキ主体となる。酸処理に伴い有機物は分解除去される。	
	酸抽出	77 ~ 93% 程度 (90%)	50 ~ 100	抽出処理では粒度構成は基本的には処理前と変わらないが、土粒子骨格が酸におかされるためもろくなる。	
熱処理	熱処理	99.8 ~ 99.9% (99%)	170 ~ 210	高温処理に伴い、土粒子の焼結・造粒化や強度低下する可能性がある。有機物は熱分解されるため、含まれない。	

※除染率及び減容率の代表値は、実証試験結果等から各技術毎の平均的な値として想定したもの。

表3 浄化土壌の用途別の再生利用のしやすさ

浄化技術	セシウム濃度	盛土材 (表面覆土併用)	コンクリート/ アスファルト骨材	その他	
				地盤改良材	中間貯蔵施設 覆土材 等
分別	比較的高	○	×	○(砂質土) ×(粘性土)	△(γ線発生)
分級洗浄	中	△(要粒度調整)	○	○	○
酸洗浄	低~中	△(要粒度調整)	△(強度に留意)	○	○
酸抽出	低~中	○	△(別途、分級必要、 強度に注意)	○(砂質土) ×(粘性土)	○
熱処理	低	○	△(別途分級必要)	△	○

○: そのまま、ないし浄化作業と並行してできる簡易な後処理で利用可能
 △: 後処理を別途行う必要がある/利用に当って懸念がある
 ×: 再生利用困難

特性などを表2に示す。表中の除染率や処理コストについては、内閣府や環境省で実施した除染技術実証調査の成果⁴⁻⁶⁾に基づいている。

各浄化技術で得られた浄化土壌の想定される再生利用用途毎の適用性の一覧を表3に示す。なお表1中のソーティングは浄化の前処理技術として捉え、今回の対象外とした。

分別技術は土壌中から草木根等の有機性の夾雑物を取り除くことが主目的であり処理後の土質性状の変化は少ない。このため、分別処理により得られた浄化土壌は、元の土壌の性状やセシウム濃度に応じて、各種の用途に利用可能である。分級洗浄では土壌中の細粒分(シルト・粘土)が浄化土壌から失われるため、盛土材に利用するには細粒分の補充などの粒度調整が必要になるが、覆土材など砂質系の土質性状を要する用途には適材である。酸を用いた処理では、土粒子自体の強度が損なわれる可能性があり、注意が必要である。熱処理についても、加熱に伴う造粒化や強度低下のおそれがある

が、セシウムの除去率は各技術の中では最も高くなる。

除去土壌は最大 2,000 万 m³ を超える膨大な量になると推定されており、再生利用のための浄化対象の土量も多量になることが想定される。調査した技術の中では、分級洗浄(湿式)が、このような大量の除去土壌の処理に最も実現の可能性が高いと考えた。

(2) 再生利用先の検討

浄化土壌を再生利用するには、まず利用用途先を調査することが重要である。

浄化土壌の再生利用用途としては、表4に示すようなものを想定した。いずれの用途も、施設等の供用中を通じて、管理者がモニタリングを含めた浄化土壌の維持管理を適切に行えること、一般公衆への被ばくに対する影響が許容値以内に抑えられること等を利用可能の必要条件と考えた。

この表の中から中間貯蔵施設内での覆土材としての利用が

表 4 再生利用時の用途先

利用用途	想定される利用方法
中間貯蔵施設 覆土材	・ 中間覆土（排水層）・保護層材
中間貯蔵施設 建設材料	・ 貯留堰堤のコア材
河川・海岸の堤防、防潮堤	・ 堤防のコア材
防災林・防災緑地	・ 防災林、防災緑地の盛土材
復興事業専用道路の盛土材	・ 30 cm の覆土下における道路等の路床、路体材
管理型処分場内覆土	・ 通常の（一廃・産廃）処分場における中間覆土・区画堰堤
空港・鉄道の盛土材	・ 30 cm の覆土下の道路等路床、路体材
地盤改良材	・ サンドコンパクションパイル材料 ・ サンドドレーン材
コンクリート材料	・ 管理下で使用するコンクリート材料 例) 地下構造物（杭、下水管等）、山間部構造物（砂防ダム）等
上下水道他埋め戻し材	・ 30 cm の覆土下における埋め戻し材

最も可能性が高いものと考えた。中間覆土や排水層などとして利用可能な量は貯蔵量約 2,000 万 m³ の 15 ~ 20 %、即ち、300 ~ 400 万 m³ と想定し、後述する種々の検討を行っている。

また、海岸堤防のコア材や防災緑地の盛土材、道路盛土の路体などについても、被覆による遮へいと十分な流出防止対策を行ない、適切な管理の下であれば利用可能であると考えられるが、企業者（使用者）側、行政、住民などとのコンセンサスを得ることが先決であり、今回の検討からは除いた。この他、管理型処分場の場内覆土や各種盛土材、地盤改良材料、コンクリート材料、埋め戻し材料などについても再生利用先の可能性があると思われる。

(3) 浄化設備の仕様

除去土壌の湿式分級洗浄法による浄化・減容化処理のコスト試算にあたっては、その処理設備の規模や設置期間、調達しやすさなどを考慮する必要がある。このため、WG 参加各社（10 社）に中間貯蔵施設での適用を想定した大規模土壌洗浄設備についてアンケートを行い、その結果に基づき、コスト試算にあたっての処理設備規模を 50 m³/h と設定し、環境省などの実証事業⁴⁻⁶⁾および WG 各社の意見を基に処理フローを設定した。また、平成 26 年度建設機械等損料表に掲載されている機械をベースに処理設備の構成を決め、コスト試算を実施した。設定した処理フロー及び主な設備の仕様を図 2 に示す。

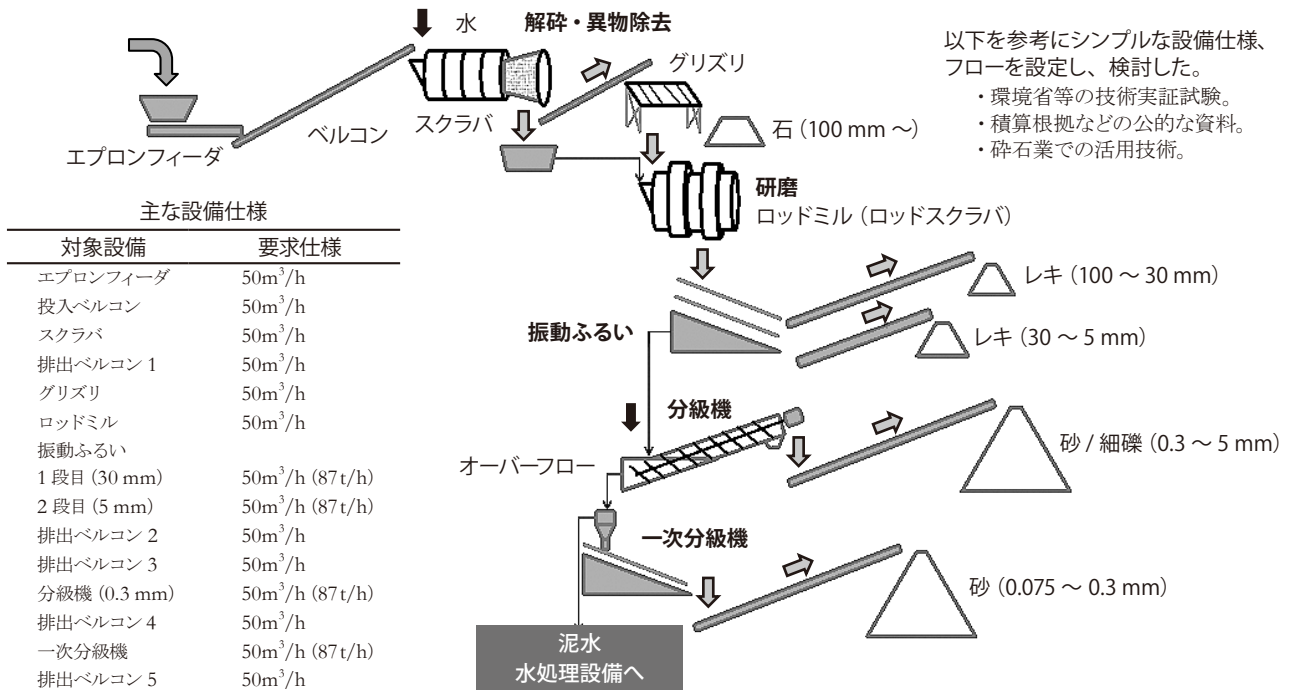


図 2 土壌洗浄処理フロー及び主要設備仕様

表 5 検討条件一覧

			①	②	③	④	⑤	⑥	
運転条件	処理期間	年	3	3	5	5	7	7	
	運転体制	時間/日	8	24	8	24	8	24	
	実運転効率	%	80						
	処理日数	日/年	240						
	設備処理量	m ³ /h	50 m ³ /h を基本 (下に示す各土質毎の処理能力による)						
土質条件	A	クラシャラン	C-40 (上限)	7.81					
	B		C-40 (下限)	20.7					
	C	粒度調整砕石	M-40 (上限)	16.76					
	D		M-40 (下限)	46.71					
	E	レキ質土	F _C = 2%	処理能力 m ³ /h	50				
	F	レキ混り砂	F _C = 10%		50				
	G	シルト混り砂	F _C = 20%		50				
	H	シルト質砂	F _C = 30%		37.97				
	I	シルト質砂	F _C = 40%		34.54				
	J	砂質シルト	F _C = 50%		19.82				

処理コストの試算にあたっては、設備の運転条件 (処理を行う期間、1日あたりの運転時間および年間稼働日数など) や処理対象の除去土壌の性状 (主として細粒分含有率) をパラメータとした。また、これらの処理設備は、中間貯蔵施設内に設置後、長期にわたり利用し、転用はしないと想定した。従って、コスト試算にあたって処理設備は購入・全損扱いとした。また、被ばく対策費用については、除外している。

処理コスト試算の検討条件の一覧を表 5 に示す。対象土の細粒分含有率 (F_C) によっては、各機器の処理能力が 50 m³/h よりも低下する場合があるため、F_C をパラメータとして設備全体としての処理能力を検討した結果が土質条件の欄である。この結果より、設備の設計にあたって土壤洗浄対象の土壤中に含まれる細粒分含有率 (F_C) は (シルト、粘土分) は 20% を標準とした。

(4) 土壤洗浄による減容効果

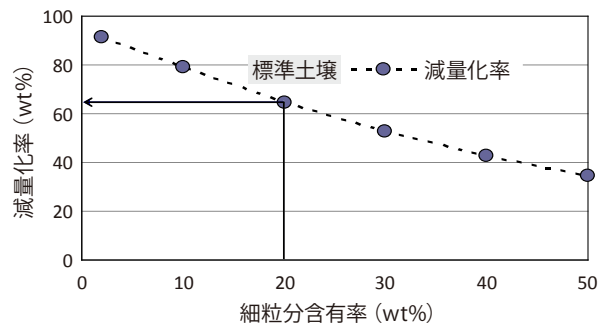
土壤洗浄による減容効果を図 3 に示す。放射性セシウムは細粒分とともに脱水ケーキに濃縮されるため、細粒分が少ないほど浄化土壌の回収率が増加し、減容化効果が高くなる。

本検討で標準とする F_C = 20% の土壌では、約 64% の減容化が可能であることが示唆された。

(5) 処理コスト

各検討条件における土壤洗浄処理コストの検討結果を図 4 に示す。

細粒分含有率の差異による影響は、設備の設計条件である F_C = 20% 以下ではほとんど発生しない。しかしながら、細粒



減量化率 = (処理対象土重量 - 脱水ケーキ重量) ÷ 処理対象土重量

図 3 細粒分含有率と減量化率の関係

- ・ 除去土壌 ⇒ 浄化土壌
- 15,000 Bq/kg ⇒ 3,000 Bq/kg 以下
- ・ 被ばく対策関係費用は含まず
- ・ 2014 年時点での積算

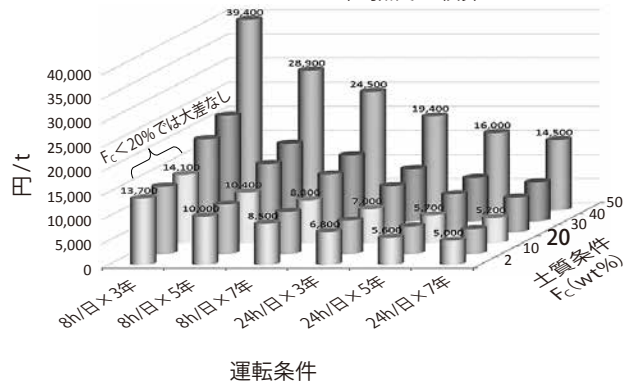


図 4 運転条件と処理コストの関係

表 6 コスト試算の設定条件

項目	仮定値	備考
除去土壌全体量	20,000,000 m ³	
覆土量	・ 貯蔵量に対し 20% ・ 貯蔵量に対し 15%	覆土・中間覆土・保護層・排水層への使用を想定
土質	シルト混り砂 (F _C =20%)	
運転条件	・ 24 時間 / 日・7 年稼働 ・ 8 時間 / 日・7 年稼働 ・ 8 時間 / 日・5 年稼働	・ 洗浄費 : 約 5,000 円 / t ・ 洗浄費 : 約 8,500 円 / t ・ 洗浄費 : 約 10,000 円 / t
中間貯蔵施設建設・埋立・管理費	・ 18,000 円 / t ・ 30,000 円 / t ・ 50,000 円 / t	浜通り近傍の産廃管理型処分場の処分費をベースにその 1.5 ~ 3 倍を想定

(注) 中間貯蔵施設の建設・運営に関する詳細が公表されていないことから、本 WG 内で独自に検討した数値・条件を使用した。

分が 20% を超えると水処理能力の制約から単位時間当たりの処理量が低下するため処理コストが大幅に増加する。

処理期間については長くなるほど固定費(機械設備購入費)の割合が低下するため、処理コストは低下する。ただし、処理期間が想定以上に長くなると設備の更新が必要になり、その後の処理期間が短い場合には処理コストが増加する可能性があることに留意が必要である。細粒分が 20% 以下の土壌洗浄による処理単価は運転期間・運転時間により 5,000 ~ 14,100 円/t となった。

5. 中間貯蔵施設における浄化土壌再生利用効果の検討

(1) 検討条件

除去土壌の土壌洗浄によるコスト削減効果および減容化効果を検討するため、浄化土壌の中間貯蔵施設内での再生利用を想定した試算を行った。

中間貯蔵施設での除去土壌等の貯蔵にあたっては、覆土や排水層などに土木資材が必要となる。これらは、既存の管理型処分場の実績などから埋め立て対象土量の 15 ~ 20% 程度が必要と想定した。現時点で、これらの資材には山砂等の購

入土を用いると考えられるが、このうち貯蔵完了後に表面に露出する最終覆土を除けば、建設副産物の再生利用の考え方⁷⁾に基づいて、浄化土壌を利用できるものと想定した。

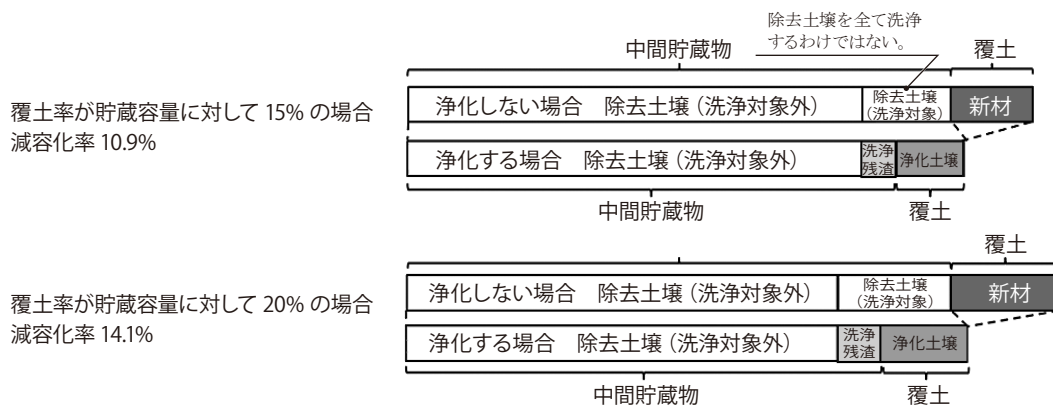
これにより、再生利用分に相当する中間貯蔵施設内の貯蔵量の削減が図れ、結果として中間貯蔵施設全体の規模を縮小できると共に、山砂等の購入費が不要になる。さらに、それらの運搬に伴う交通量の削減、環境負荷の低減効果が期待できるものと考えた。

コスト試算のための主な設定条件を表 6 に示す。浄化対象土壌の細粒分含有率は 20% (設備の仕様と同等) と設定した。中間貯蔵施設内での除去土壌貯蔵単価は、既存の公共管理型処分場における処分費などを参考に 18,000 円/t、30,000 円/t、50,000 円/t と設定し、前節での検討結果より土壌洗浄に伴う処理コストを 5,000 円/t ~ 10,000 円/t として比較検討を行った。

以下に、検討結果の一例を示す。

(2) 中間貯蔵施設の減容化効果

覆土率の違いによる減容化効果に関する検討結果を図 5 に



覆土・中間覆土以外でも利用可能な場所に、なるべくたくさんの浄化土壌を使用することによって、減容化率がアップする。

図 5 減容効果の比較

示す。覆土量は除去土壌全体に対して少ないため、覆土として再生利用できるものだけを土壌洗浄により浄化・減容化するものとした。細粒分 20% の除去土壌を洗浄処理して覆土利用した場合、覆土率が貯蔵容量に対して 15% の場合は、減容化率 10.9%、20% の場合は 14.1% となり、浄化土壌を利用することで中間貯蔵量は削減可能となる。

(3) コスト削減効果

運転条件、中間貯蔵施設の貯蔵費および覆土率の違いによる中間貯蔵総事業費への影響を検討した。なお、ここでは 30 年以内に必要となる除去土壌の搬出および最終処分に係る費

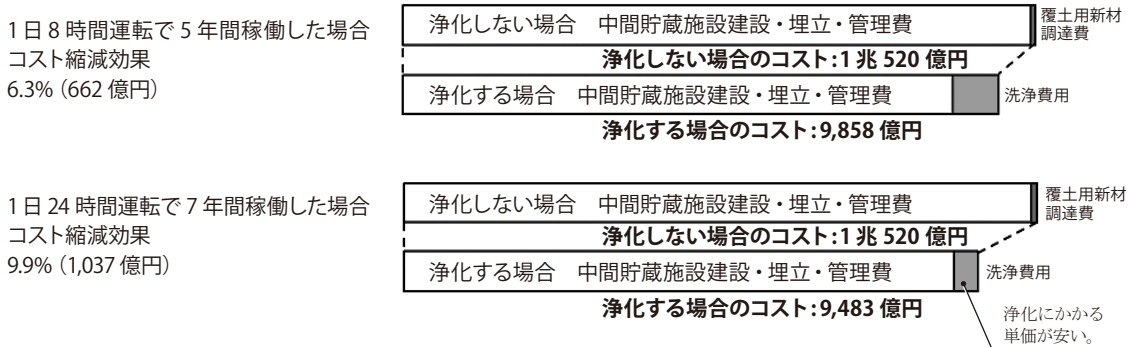
用は考慮していない。

a) 運転条件による影響

図 6 に土壌洗浄の運転条件として、1 日 8 時間・5 年間運転する場合と 1 日 24 時間・7 年間運転する場合の総事業費およびコスト削減効果の比較を示す。ここで、中間貯蔵施設の運営費は 30,000 円 / t、覆土率は 20% としている。1 日 8 時間・5 年間運転する条件での総事業費のコスト削減効果は 662 億円 (対総事業費 6.3%) に対し、1 日 24 時間・7 年間運転での総事業費の削減効果は 1,037 億円 (9.9%) となり、洗浄プラントの稼働率が高くなるほどコスト削減効果が高いことがわかる。

① 運転条件による比較

(覆土率:20%、シルト混じり砂を使用、施設建設・埋立・管理費が 30,000 円 / t の場合)



洗浄プラントの稼働率が高いほど、浄化にかかる単価が安くなるため、コスト削減効果が高い。

図 6 運転条件による比較

b) 中間貯蔵施設運営費による影響

図 7 に中間貯蔵施設の運営費が 1,8000 円 / t の場合および 50,000 円 / t の場合の総事業費およびコスト削減効果を示す。なお、30,000 円 / t の条件は図 6 下段の図を参考にされたい。これらより、コスト削減効果は 1,8000 円 / t の場合 504 億円 (8.0%)、30,000 円 / t の場合 1,037 億円 (9.9%)、50,000 円 / t の場合 1,926 億円 (11.0%) となり、中間貯蔵施設の運営費が高くなるほど、浄化・減容化処理を行うことによるコスト削減効果が大きいことがわかる。

6. 今後の課題について

土壌浄化 WG で検討した結果から、いくつかの課題が出てきているので、下記に示す。

浄化率・減容化率に関する課題について

- ・宅地、公園・グラウンド、田畑など様々な種類の土壌が搬入されてくる中で、細粒分含有率等に基づき洗浄

対象土壌と対象外土壌を、効率的に判別可能か

- ・標準的な機械の組合せでどこまで浄化できるのか、また更に浄化率を上げる手段はあるか
- ・実際の中間貯蔵施設の建設・運営コストと処理単価は見合うか (処理コストをどこまでかけられるか)
- ・今回検討した浄化土壌は 3,000 Bq/kg 以下を再生利用する基準としているが、基準値として適正か

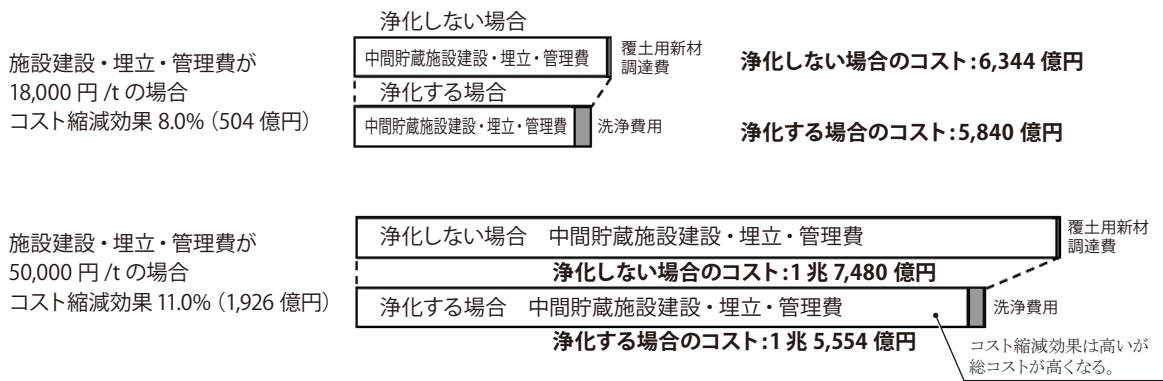
再生利用先に関する課題について

- ・各種土壌を処理し、得られた浄化土壌と再生利用先のマッチングは可能か (再生利用先はどこか、減容化を測るタイミングはいつか)

が主たる課題として挙げられており、これらを解決するためには、行政側 (国・県・市町村) と企業側が協力して取り組むことが重要であると考えます。

②施設建設・運営費による比較

(覆土率：20%、1日24時間運転、7年稼働、シルト混じり砂を使用の場合)



施設建設・埋立・管理費が高いほどコスト削減効果は高いが、総コストは高くなる。
施設建設・埋立・管理費が低く抑えられない場合は、浄化がより有効な手段となる。

図7 建設・運営費による比較

7. おわりに

本WGでは除染・除去された土壌を対象にその減容化・再生利用について技術等を取りまとめ、分級洗浄による浄化・減容化処理システムを計画し、得られた浄化土壌を中間貯蔵施設内で限定再生利用することによる事業費の削減効果や土壌貯蔵施設の規模の縮減効果などを検討した。この結果、土質条件や運転条件などにより幅はあるものの、浄化土壌の覆土、排水層などへの利用による土壌貯蔵施設規模の縮減やコスト削減効果が期待できる可能性があることが示唆された。

中間貯蔵された除去土壌等を30年以内に福島県外へ最終処分することを考えると、2,000万m³を超える除去土壌等の減容化や再生利用に向けた検討は、膨大な量の除去土壌を処理することを含め、最終処分に対する優先順位や可能性の高いものから課題を解決し、実施していくことが重要であると思われる。中間貯蔵施設内での限定利用は建設・運営コストや土木資材逼迫への対応といったメリットがあるが、その減容率は全体容量に比べると効果は限定的であるが、中間貯蔵施設外での再生利用に先立つ実施例、検証としては重要であり、早期に実現することが望ましいと考える。

参考文献

1) 中間貯蔵施設等福島現地推進本部：除去土壌等の中間貯蔵施設の案について(2014).
(URL:https://josen.env.go.jp/chukanchozou/action/acceptance_request/pdf/draft_131214.pdf)

2) 押野 嘉雄：分級による減容化湿式分級とその課題. 環境放射能除染学会 第10回講演会資料(2015).

3) 田澤 龍三, 中島 卓夫, 小竹 茂夫, 中島 広志, 宮越 靖宏：除染に伴って発生する除去土壌の再生利用に関する検討. 第11回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 465-470(2015).

4) 独立行政法人日本原子力研究開発機構：福島第一原子力発電所事故に係る避難指示区域等における除染実証業務(除染技術実証事業編)報告書(2012).

5) 独立行政法人日本原子力研究開発機構：平成23年度除染技術実証事業(環境省受託事業)報告書(2012).

6) 独立行政法人日本原子力研究開発機構：平成24年度除染技術実証事業(環境省受託事業)報告書(2013).

7) 内閣府原子力災害対策本部 原子力被災者生活支援チーム：福島県内における公共工事における建設副産物の再生利用等に関する当面の取扱いに関する基本的考え方(2013).
(URL:http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131025_01a.pdf)

8) 除染・廃棄物技術協議会浄化土壌ワーキンググループ：除染に伴って発生する除去土壌の再生利用の提案. RADIEX 2014 パネルディスカッション講演資料集(2014).

2016年1月8日 原稿受付

和文要約

東京電力福島第一原子力発電所の事故では、広範囲にわたる地表、建物、森林などに放射性物質による汚染が発生した。国や市町村による本格除染は生活圏を中心に事故から5年になる今も行われている。政府の試算では、除染による除去土壌や廃棄物の量は、全体で最大約2,800万 m^3 、除去土壌だけで最大約2,000万 m^3 と推測されている。除去土壌は中間貯蔵施設で貯蔵され、30年以内に県外で最終処分される。一方で、福島県の復興のために必要な資材としての土壌が不足することが予測されている。約90社の企業からなる除染・廃棄物技術協議会は、これら問題の解決策を検討するためにワーキンググループを設置し、土壌を分級・洗浄し、これを土木資材として活用し、中間貯蔵施設の容量を減らす可能性の検討を行った。本報告の前半では、各種の土壌浄化減容技術の適用性を評価するとともに、再生利用の用途、必要量、仕様について調査を行った。後半は、分級洗浄システム適用時の減容効果と費用を試算した。この結果、中間貯蔵施設内において土壌を再生利用することにより、中間貯蔵施設の必要容量を減らし、建設及び運用コストも減らすことができることが明らかとなった。最後に、分級洗浄システムを適用するにあたり、今後の検討が必要な課題を示した。

