

日本原子力学会「放射性廃棄物の管理」
ウィークリーウェビナー2021
2022年1月20日（木）

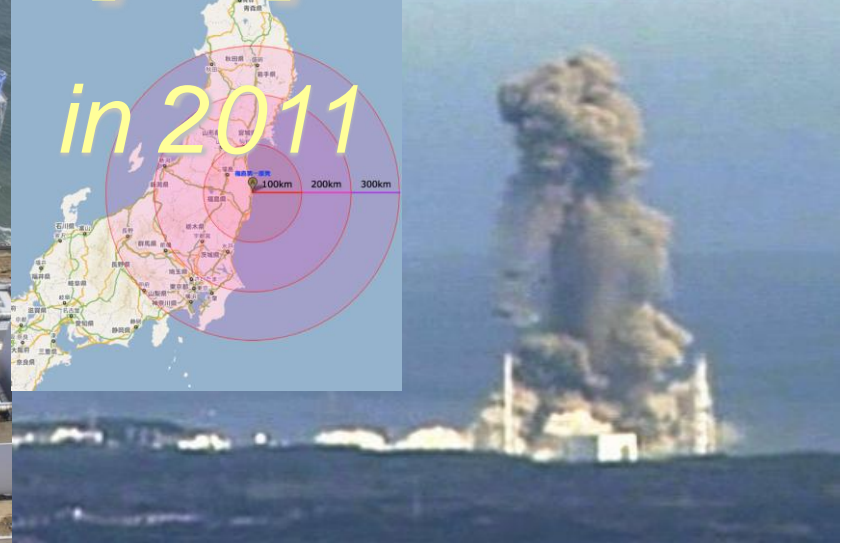
1F事故オフサイト廃棄物 ～放射能汚染からの環境再生～



国立環境研究所 資源循環領域
大迫政浩



東日本大震災と福島第一原発事故



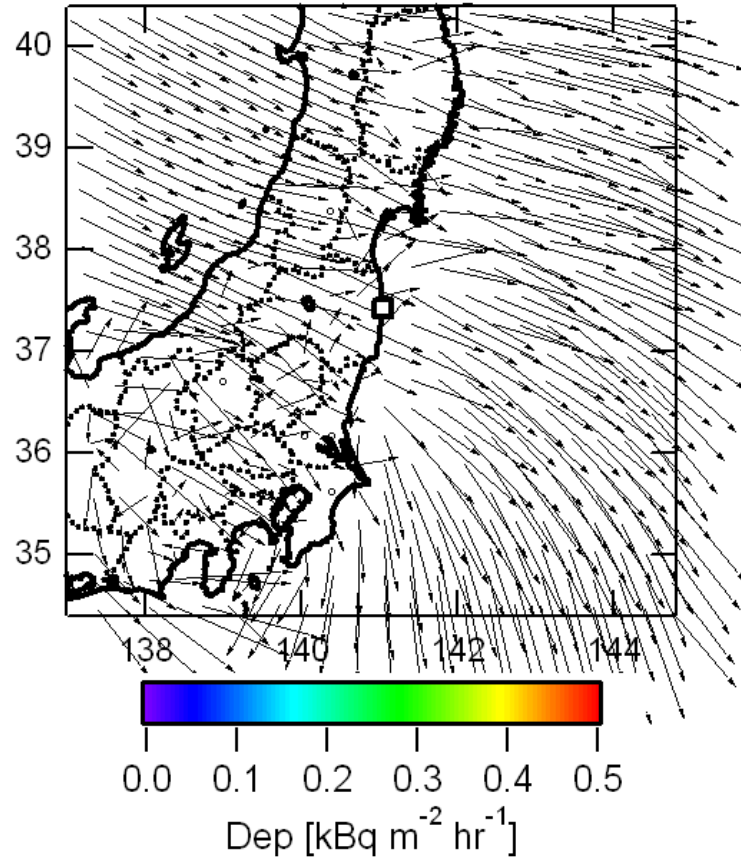


放射性物質の放出と拡散

DEP, 2011/03/12, 01JST

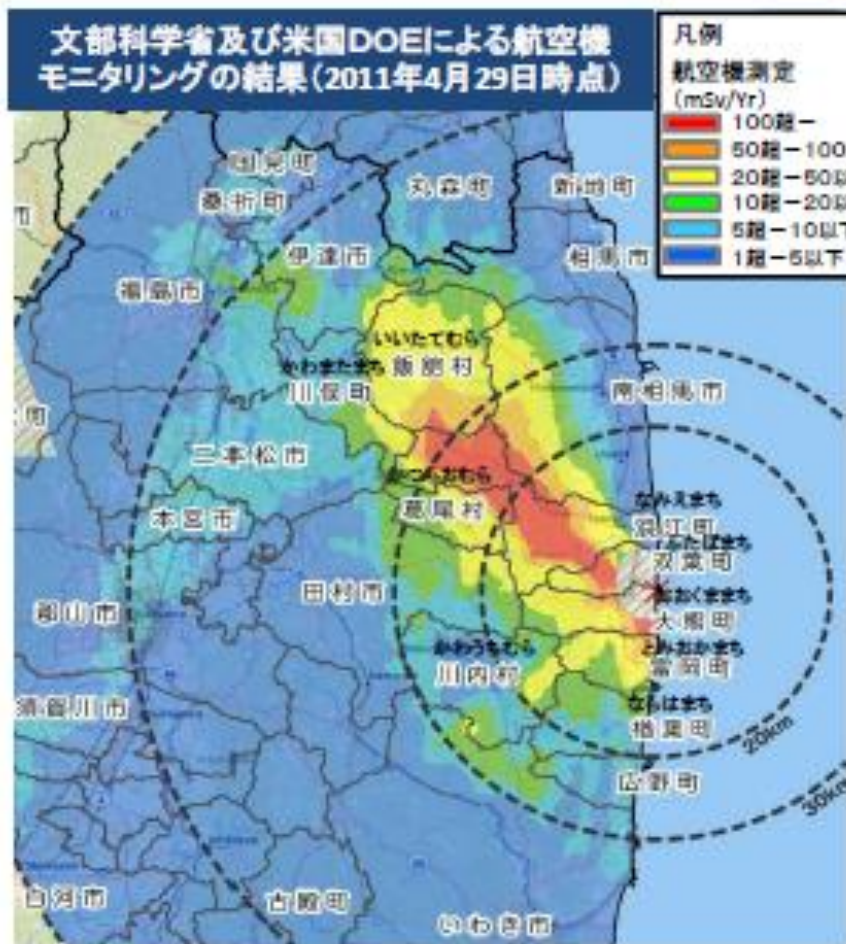
Cs-137

Half-life = 30 years



Morino Y. et al., Environ.Sci.Tech.(2013)

放射性物質による汚染の広がり



福島第一原発事故による環境放射能汚染の特徴

- 汚染が人口密集地域に及び、除染等の環境回復措置と生活維持を同時に進めざるを得なかった
- 民主化された情報化社会のもとで、合意形成、意思決定を図った
- 原爆経験国としての放射線に対する特異的リスク認知
- 当初は環境基本法から事故による放射性物質汚染への対処は除外されていた。
- 特別措置法において、原発政策を進めてきた国の責任に鑑み、国主導で環境回復措置を進めた

放射性物質汚染対処特別措置法による 除染と廃棄物処理

除染措置

- 1) 国による除染：
除染特別地域（高線量）
中間貯蔵施設の設置

- 2) 市町村による除染：
汚染状況重点調査地域（低線量）

除染の目安 $0.23\mu\text{Sv/hr}$



汚染廃棄物の処理

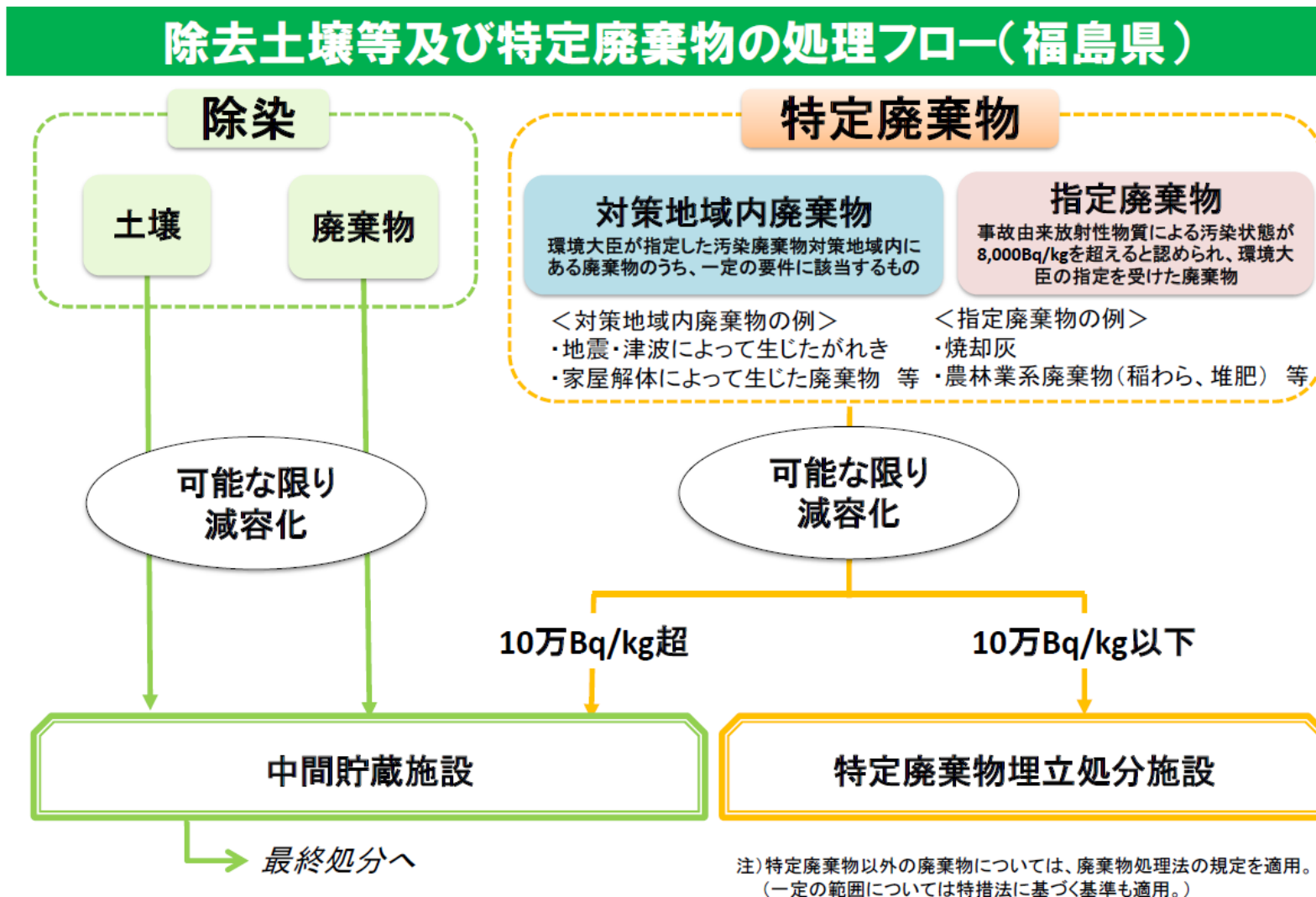
- 1) 国による処理：
汚染廃棄物対策地域における
特定廃棄物（高濃度汚染廃棄物）

指定廃棄物基準 $8,000\text{Bq/kg}$

- 2) 市町村・事業者による処理：
特定一般・産業廃棄物（低濃度
汚染廃棄物）



除染土壌等及び特定廃棄物の処理フロー（福島県）





除染

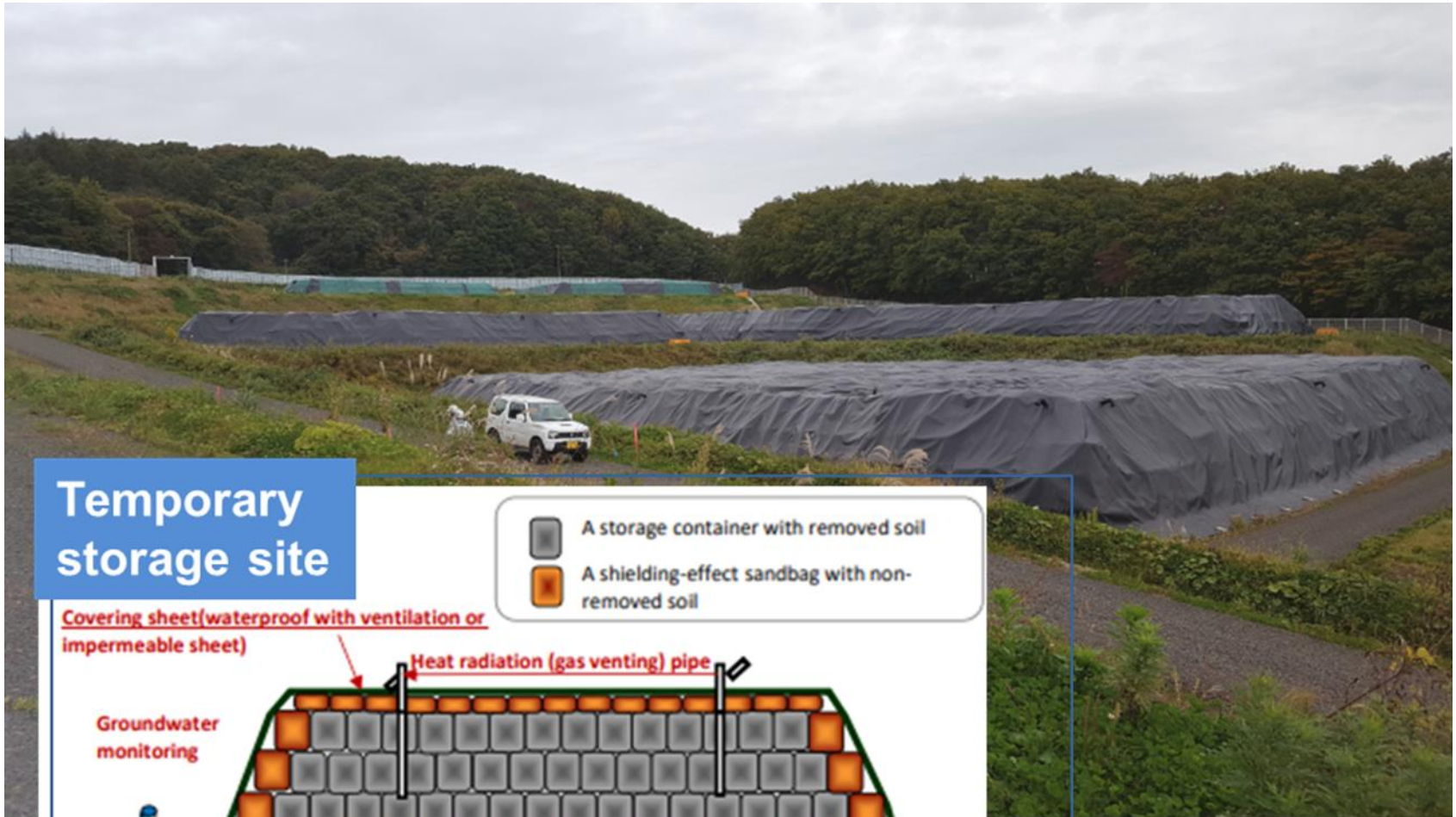
除染の対象箇所及び除染方法

○ 除染の対象箇所及び除染方法は、以下のとおり。



	除染の様子	除染方法
宅地		<ul style="list-style-type: none">○ 庭、雨どい、屋根などの放射性物資を取りのぞきます。・庭では、表土のはぎ取り、天地返し(*)などを行います。・雨どいでは、落葉や堆積物を除去し、拭き取ります。・屋根では、堆積物・こけ・泥などを取りのぞきます。(*)天地返し: 上下層の土の入れ替え
農地		<ul style="list-style-type: none">○ 田んぼや畑では、表面の土を30cm程度の深さで、下側の土と入れ替える反転耕や、これ以上深く耕す深耕などを行います。○ 耕されていない農用地で、放射性セシウム濃度が5000ベクレル/kgを超えている場合、表土の削り取りを行うこともあります。
森林		<ul style="list-style-type: none">○ 林縁から20m程度を目安に低減効果を確認し、効果的な範囲で落ち葉や落ちた枝などを取りのぞきます。○ 落ち葉などの除去だけでは十分な効果が得られない場合は、林縁から5mを目安に残っている細かい落ち葉等堆積有機物残渣を取りのぞきます。
道路		<ul style="list-style-type: none">○ 堆積物(落葉・こけ・泥等)を取りのぞきます。○ 十分な除染の効果が見られない場合、ブラシや高圧水などで洗浄します。



仮置場



Temporary storage site

-  A storage container with removed soil
-  A shielding-effect sandbag with non-removed soil

Covering sheet (waterproof with ventilation or impermeable sheet)

Heat radiation (gas venting) pipe

Groundwater monitoring



Water collection tank

Bottom sheet (impermeable)



汚染土壌等の運搬輸送



除去土壌等の輸送

輸送対象物量*

約1,400万m³

累積輸送量

約1245.6万m³

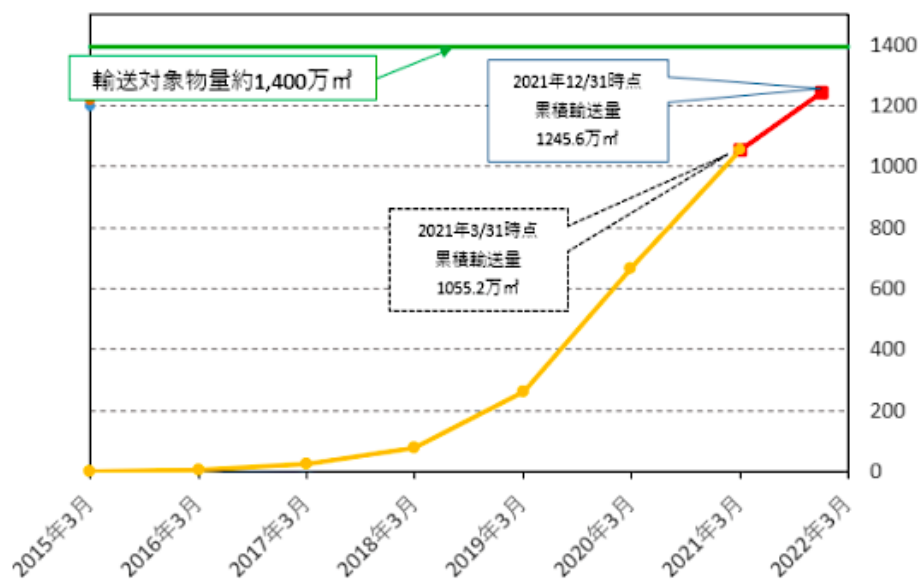
輸送対象物量に対して約89.0%の輸送が完了

2021年度の輸送実績

約190.4万m³

※ 2021年12月31日時点

累積輸送量（2015年3月～）（万m³）



搬出が完了した仮置場等

仮置場等総数

1,374箇所

搬出完了仮置場等数*3

1,171箇所

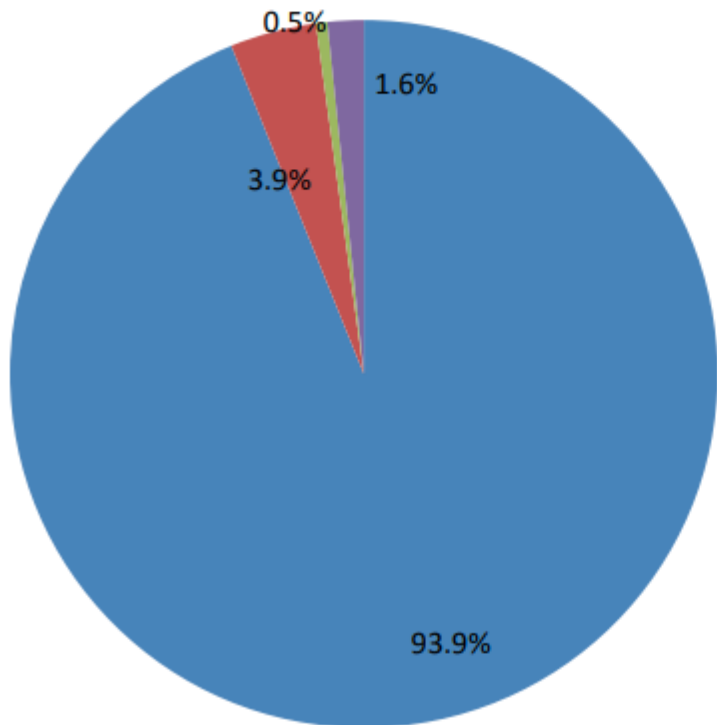
※ 約8割が運搬終了している
(2021年8月31日時点)

※ 2021年度で概ねの搬出を完了予定

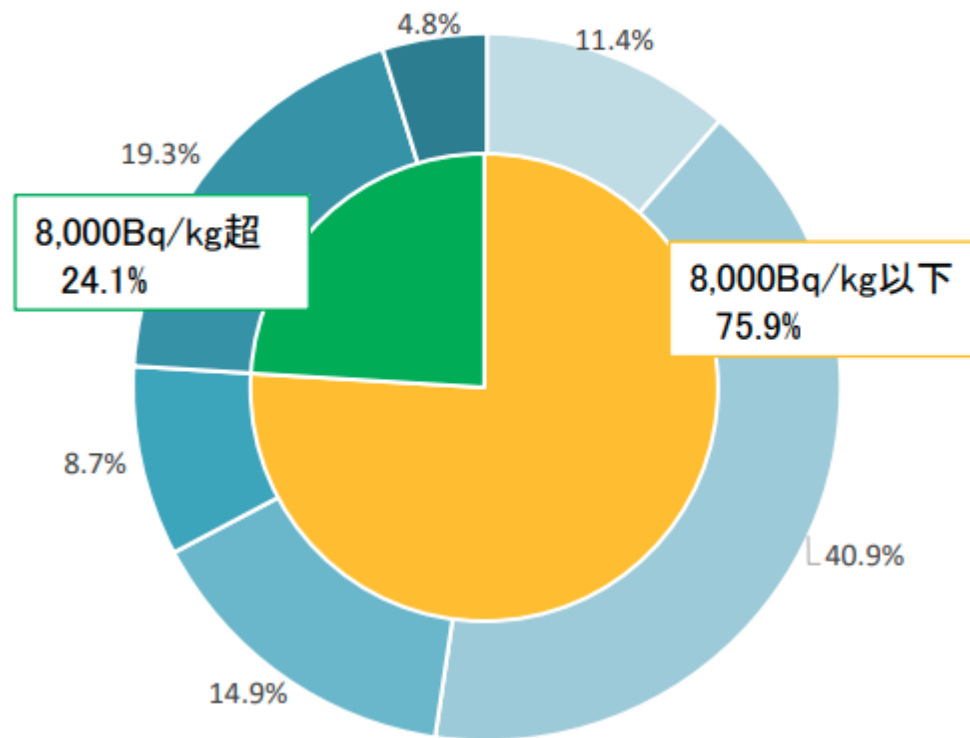
搬出が完了した仮置場は
順次、原形復旧作業が進められている

輸送された除去土壌等の種類と濃度

■ 除去土壌 ■ 可燃
■ その他不燃 ■ 焼却灰

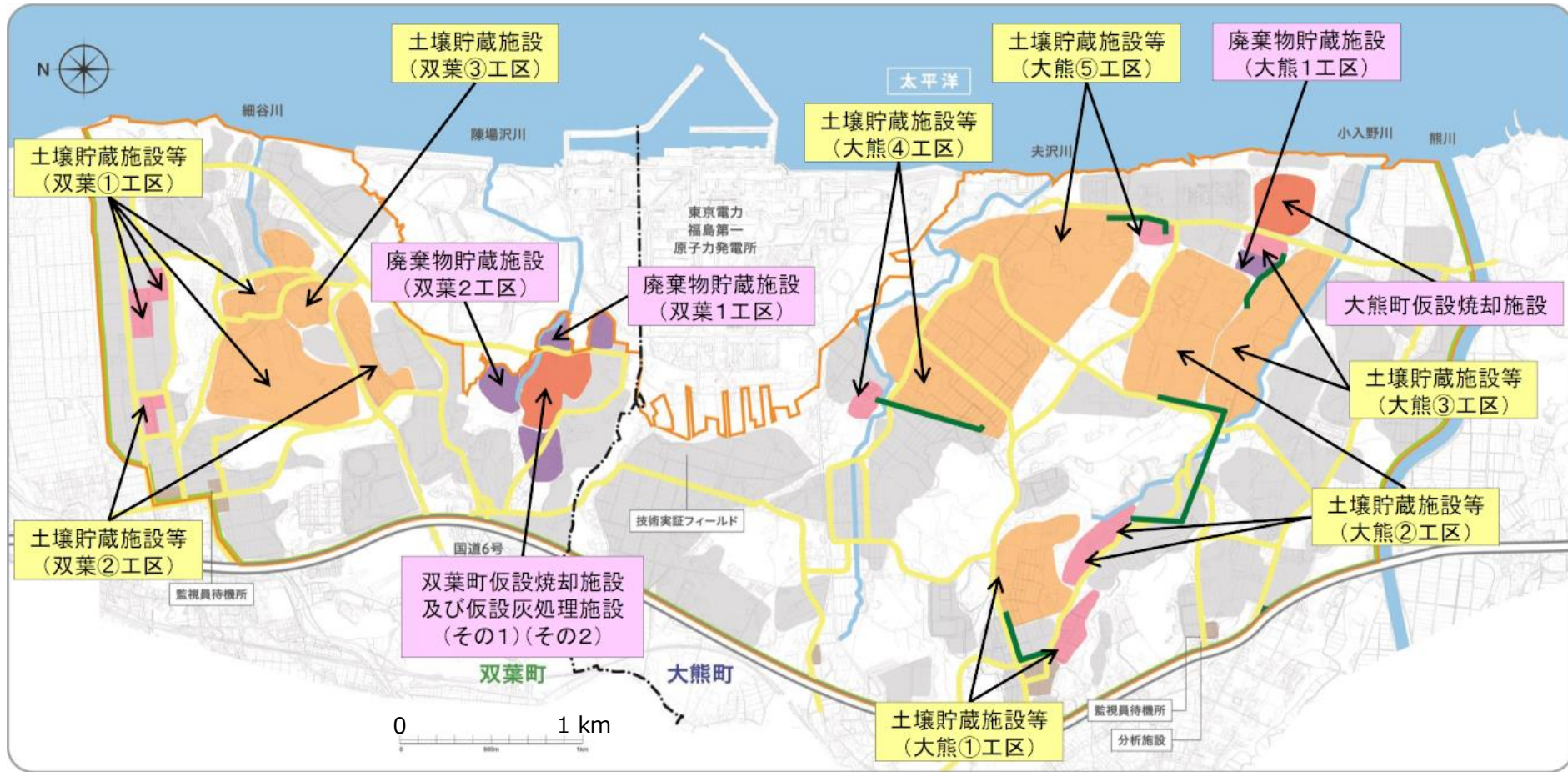


■ 1,000Bq/kg以下 ■ 1,000～3,000Bq/kg ■ 3,000～5,000Bq/kg
■ 5,000～8,000Bq/kg ■ 8,000～20,000Bq/kg ■ 20,000Bq/kg超



※ 中間目標（2018年度）の時は、8,000Bq/kg以下は80%と試算している

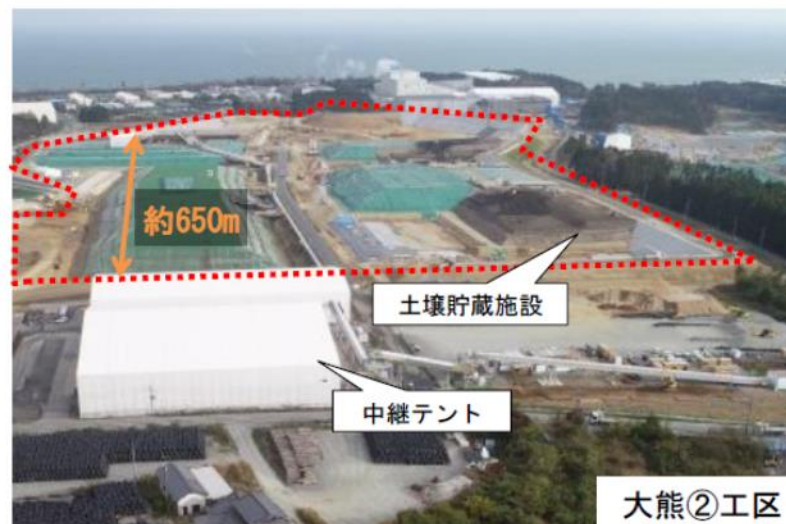
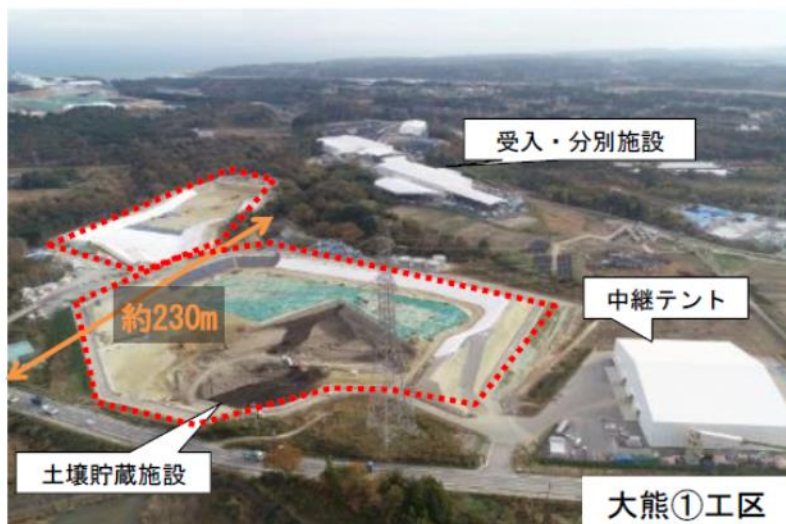
中間貯蔵施設の配置図





中間貯蔵施設

福島県大熊町と双葉町にまたがる16平方kmの広大な土地に建設





中間貯蔵 異物除去・分別



福島県内の除去土壌等の総量：約1400万立米



中間貯蔵 土壌貯蔵施設



異物除去等の選別施設から長距離のベルトコンベアで直接貯蔵施設まで移送



貯蔵施設の底面、法面には遮水シート等を施工



可燃性の汚染物の焼却処理

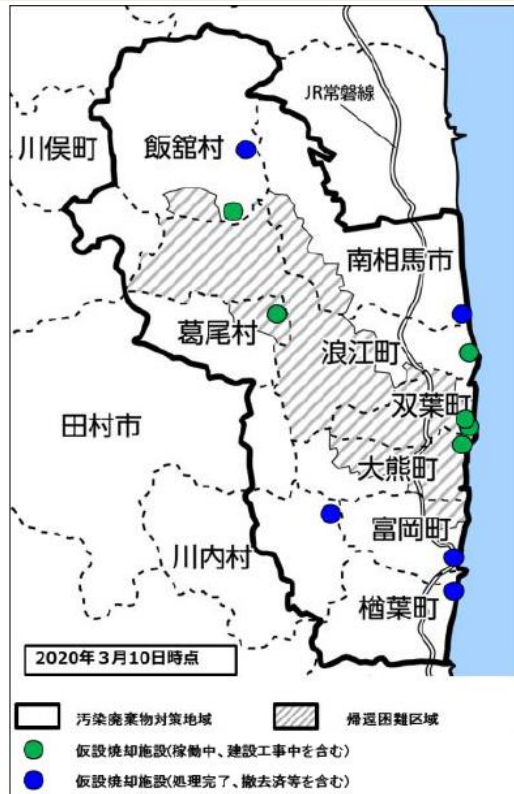


焼却処理の安全性に関する根拠提示: Fujiwara H., J. Environmental Radioactivity, 2017 など

国直轄による福島(対策地域内)における 仮設焼却炉設置状況

- 9市町村(10施設)において仮設焼却施設を設置することとしており、それぞれの進捗状況は下表のとおり。2019年1月末までに約95万トン(除染廃棄物を含む)を処理済み。**約117万トン(2020.6時点)**
- 現在稼働している仮設焼却施設においては、環境モニタリング(※1)を実施しており、排ガス中の放射能濃度が検出下限値未満であること等を確認している。

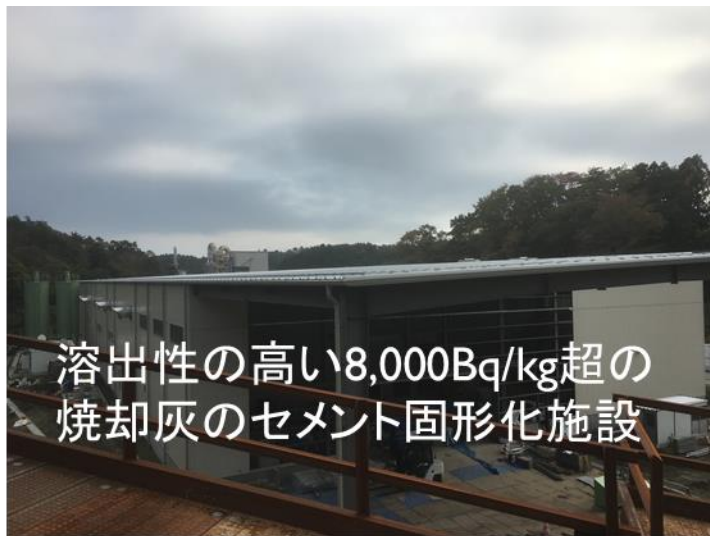
(※1) 環境省放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト <<http://shiteihaiki.env.go.jp/>>



立地地区	進捗状況	処理能力	処理済量 (2020年6月末時点)
葛尾村	稼働中(2015年4月より)	200t/日	約123,000トン(約36,000トン)
浪江町	稼働中(2015年5月より)	300t/日	約252,000トン(約165,000トン)
飯舘村 (蕨平地区)	稼働中(2016年1月より)	240t/日	約228,000トン(約50,000トン)
大熊町	稼働中(2017年12月より)	200t/日	約62,000トン(約28,000トン)
双葉町	稼働中(2020年3月より)	350t/日	約16,000トン(約4,300トン)
楢葉町	災害廃棄物等の処理完了	200t/日	約77,000トン(約32,000トン)
川内村		7t/日	約2,000トン(約2,000トン)
飯舘村 (小宮地区)		5t/日	約2,900トン(約2,900トン)
富岡町		500t/日	約155,000トン(約55,000トン)
南相馬市		400t/日	約214,000トン(約91,000トン)
川俣町	既存の処理施設で処理 (処理完了)	—	—
田村市		—	—

※処理済量については、除染廃棄物も含み、()内はうち災害廃棄物等の処理済量です。

8千～10万Bq/kgの汚染廃棄物の埋立処分



埋立処分構造に関する根拠提示: 石森他, 廃棄物資源循環学会論文誌, 2017 など

特定廃棄物の埋立処分



既存の管理型産業廃棄物最終処分場（富岡町）を活用した特定廃棄物の埋立処分を2017年11月より開始

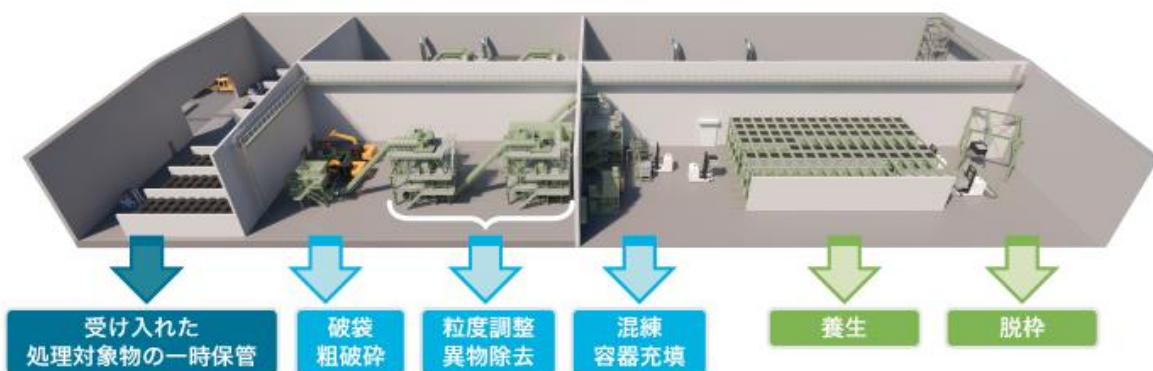
- 双葉郡8町村の生活ごみ
2.7万m³（10年間を予定）
- 対策地域内廃棄物等
44.5万m³（6年間を予定）
- 福島県内の指定廃棄物
18.2万m³（6年間を予定）

※ 2021年12月28日時点で209,112袋が処分済み



【リプルンふくしま】
処分施設の下流側に位置しており、実際にモニタリングが可能。
室内の展示施設も先進的。

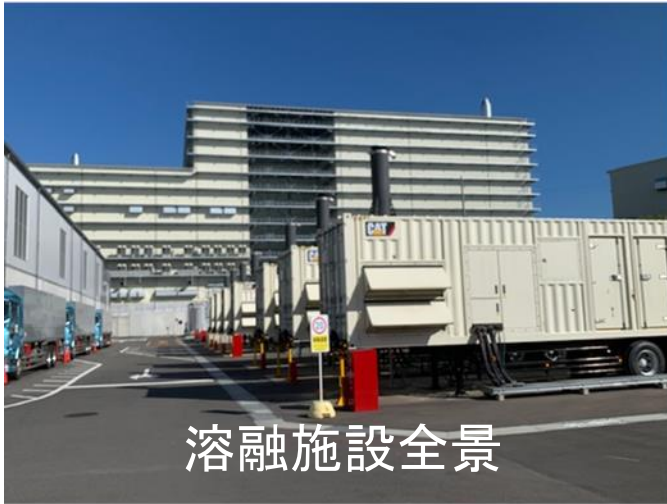
固型化処理棟内で行う処理



楢葉町のセメント固型化処理施設にて、なるべく無人で固型化処理が実施されている。
溶出性の高い飛灰や混合灰など。
固型化物は処分施設の上流側に埋立処分される。



中間貯蔵 焼却灰の減容化



溶融施設全景



溶融炉(1300°C以上の
高温で溶かして処理)



中央制御室



砂状の溶融スラグ(溶けたものを水で冷やしたもので土木資材となる)

溶融処理でのCs揮発促進効果 : Noda K., et al., *Process Safety and Environmental Protection*, 2020 など

仮設焼却施設・灰処理施設の紹介

【第一施設】

【第二施設】

スラグ

飛灰

測定日	生成物 放射性物質濃度 (Bq/kg)			飛灰 放射性物質濃度(※1) (Bq/kg)		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)
11月19日	11	200	210	690	20,000	21,000
11月20日	16	600	620	—	—	—
11月21日	20	600	620	—	—	—
11月22日	11	260	270	620	18,000	19,000
11月23日	11	210	220	440	13,000	13,000
11月24日	14	250	260	520	16,000	17,000
11月25日	ND	100	100	430	12,000	12,000
11月26日	ND	190	190	480	15,000	15,000
11月27日	ND	55	55	—	—	—
11月28日	ND	130	130	—	—	—
11月29日	ND	130	130	480	14,000	14,000
11月30日	ND	40	40	400	12,000	12,000

※1 扉扉について測定している。

仮設焼却施設
(予定27.7万トン)

溶融

焼却

仮設灰処理施設
(予定23.1万トン)

灰溶融

灰溶融

主灰

飛灰

測定日	主灰 放射性物質濃度(※1) (Bq/kg)			飛灰 放射性物質濃度(※1) (Bq/kg)		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)
10月24日	—	—	—	850	25,000	26,000
10月25日	—	—	—	870	24,000	25,000
10月26日	—	—	—	730	22,000	23,000
10月30日	—	—	—	820	23,000	24,000
11月1日	—	—	—	780	23,000	24,000
11月2日	—	—	—	1,400	43,000	44,000
11月3日	—	—	—	830	26,000	27,000
11月4日	—	—	—	850	23,000	24,000
11月4日	—	—	—	600	18,000	19,000
11月5日	—	—	—	740	21,000	22,000
11月6日	370	11,000	11,000	820	25,000	26,000

スラグ

飛灰

測定日	生成物 放射性物質濃度 (Bq/kg)			灰処理ばいじん 放射性物質濃度(※1) (Bq/kg)		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)
10月31日	95	2,700	2,800	17,000	460,000	480,000
11月1日	120	3,400	3,500	17,000	490,000	510,000
11月2日	140	4,000	4,100	17,000	490,000	510,000
11月3日	86	2,400	2,500	18,000	480,000	500,000
11月4日	110	3,200	3,300	16,000	450,000	470,000
11月5日	72	2,100	2,200	15,000	420,000	440,000
11月6日	86	2,800	2,900	14,000	400,000	410,000

スラグ

飛灰

測定日	生成物 放射性物質濃度 (Bq/kg)			灰処理ばいじん 放射性物質濃度(※1) (Bq/kg)		
	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	合計(※3)
10月18日	140	4,500	4,600	3,700	110,000	110,000
11月19日	160	5,100	5,300	2,200	64,000	66,000
11月20日	160	4,900	5,100	2,500	73,000	76,000
11月21日	160	4,800	5,000	3,100	87,000	90,000
11月22日	150	4,800	5,000	2,300	71,000	73,000
11月23日	160	4,700	4,900	3,200	93,000	96,000
11月24日	180	5,500	5,700	3,000	89,000	92,000
11月25日	130	3,800	3,900	4,300	120,000	120,000



福島再生・未来志向プロジェクト

基本的な考え方

- 福島県内の地元のニーズに応え、環境再生の取組のみならず、脱炭素、資源循環、自然共生といった環境省の得意分野と福島との連携を深め、福島復興の新たなステージに向けた取組を推進。
- 環境省事業を効果的に組み合わせ、また、放射線健康不安に対するリスクコミュニケーションや広報・情報発信を通じて地元寄り添いつつ、分野横断的な政策パッケージを戦略的に展開。

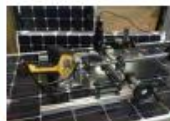
産業創生への支援

〈なりわいの復興〉

- 福島イノベーションコースト構想の下、資源循環型産業の創生を支援。今年7月に地元企業を含む共同事業として不燃物リサイクル施設の建設に着手



不燃物処理施設イメージ



- 先端リサイクル技術の実証や事業化に向けた取組を推進（使用済み太陽光パネルのリサイクルや、人工知能を使った自動選別システム等）

使用済み太陽光パネルの先端リサイクル技術の例

ふくしまグリーン復興への支援

〈自然資源活用による復興〉

- 今年4月に福島県と共同で策定した「ふくしまグリーン復興構想」に基づき、国立・国定公園の魅力向上等の取組を推進
- 環境にやさしいツーリズムやCO₂排出の少ない交通技術の活用を検討



尾瀬沼ビジターセンター完成予想図

脱炭素まちづくりへの支援

〈暮らしの復興〉

- 脱炭素社会の実現に向けた新たなまちづくりを支援
- 平成31年度は、暮らしの足を確保するバスシェアリング、ソーラーシェアリングやバイオマスによる地域エネルギーシステム、スマート農業や人工知能の活用等のF S 査 5 件を実施中



EV/FCV
環境省が推進する
方々の通勤の足

バスのシェアリング
環境省が推進する
暮らしの足

暮らしの足
環境省が推進する
暮らしの足



農林再興に向けた環境
保全としての創エネ
(ソーラーシェアリング)



地域活性化への支援

〈リスクミ・情報発信による復興〉

- 特定廃棄物埋立情報館「リプルンふくしま」等を活用し、ホープツーリズムに貢献
- 檜葉町で首都圏等の学生のボランティアによる「米作り」を開催、富岡町で「えびす講市」を共催
- 新宿御苑で行われるイベント開催時に出席し、福島マルシェの開催に協力



リプルンふくしま内観



檜葉町における田植イベントの様子

情報発信

〈福島再生・未来志向プロジェクト シンポジウム、現地見学会の開催〉

- 今年6月、環境省と国立環境研究所の主催により、自治体関係者や県内外の企業関係者ら約220名が参加。パネルディスカッションで、浜通り地域の現状と今後について議論が行われた。
- シンポジウムの翌日に、現地見学会（バスツアー）を実施し、復興再生拠点事業、まちづくりの活動、スマート農業の現場や、廃炉・環境再生事業関連施設の現場を見学。





環境再生事業を数字から見る

- 約1,400万立米 → 除去された汚染土壌(福島県)
- 延べ3,140万人 → 除染作業者の延べ人数
- 1,372か所 → 仮置場の数(福島県)
- 約200万台・回
(10トンダンプで換算) → 中間貯蔵施設への運搬回数
- 約5兆3千億円 → 除染と廃棄物処理の累計予算



国の環境再生事業による 放射性Csの回収・保管量

保管場所と区分		放射能濃度区分	体積	質量	放射能濃度 ^{※1}	放射エネルギー ^{※2}	対放出量
		Bq/kg	万m ³	万t	万Bq/kg	T (10 ¹²) Bq	%
放出量 (地上沈着分)						4900~6600	100
内 帰還困難区域・森林区域 を除く福島県						773	12~16
中間貯蔵	土壌A	≤ 8,000	1071.1	1500	0.4	108	1.6~2.2
	土壌B	8,000 - 20,000	85.3	119	1.4	30	0.5~0.6
	土壌C	20,000 - 80,000	133.7	206	5.0	185	2.8~3.8
	土壌D	80,000 ≤	10.6	16	10.0	29	0.4~0.6
	焼却灰		34.4	41	3.3	24	0.4~0.5
	小計		1335.1	1882	-	376	5.7~7.7
特定廃棄物 埋立処分施設	特定廃棄物	≤ 100,000	65	78	2.5	44	0.7~0.9
県外	土壌		33	46	0.08	0.8	0.013~0.017
	指定廃棄物		-	2.5	1.0	0.49	0.007~0.010
合計			-	2009	-	421	6.4~8.6

※1 測定時 ※2 事故時

- ✓ 放射性Csの全放出量の2割が陸上に降下沈着
- ✓ 降下沈着量のうち、6.4~8.6%を除染等の環境再生事業により回収
- ✓ 福島県について、未除染地域(帰還困難区域、森林区域)を除いた地域では、降下沈着量の5割以上を回収。被ばく線量の低減に、除染は効果的であったと評価

放射性Csのフローストック: 飯野他、環境放射能除染学会、2021など

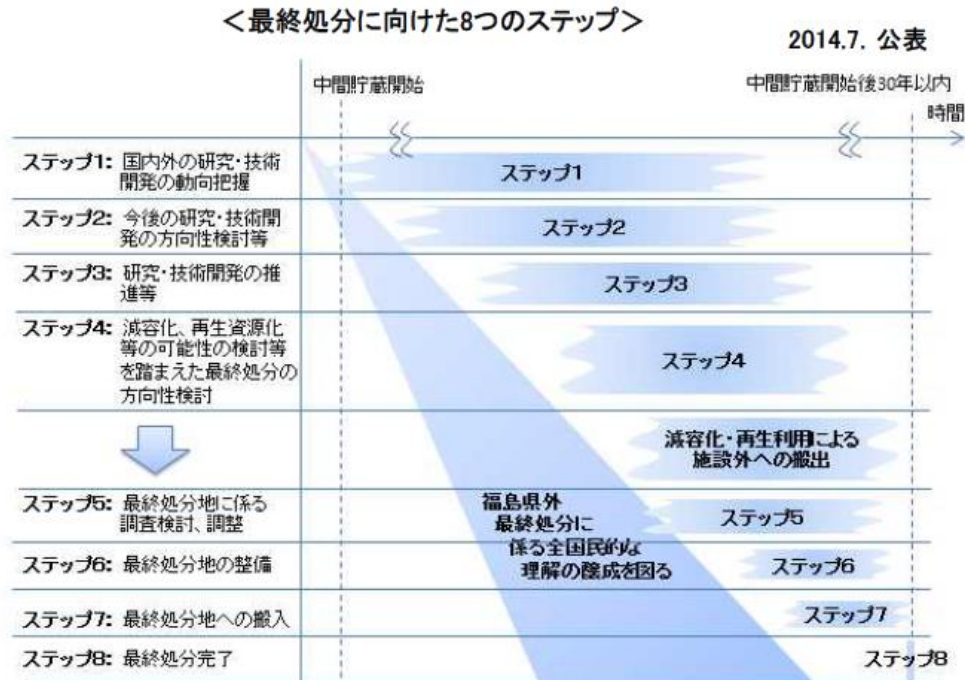
県外最終処分に向けて

- 福島県内で発生した除去土壌等は、中間貯蔵開始後30年以内に福島県外で最終処分することになっているが、その量は膨大であり、最終処分量を低減するために、除去土壌等の減容・再生利用を進めることが重要。

※1 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 基本方針(2011.11.11閣議決定)、中間貯蔵施設の周辺地域の安全確保等に関する協定書(福島県、大熊町、双葉町、環境省)(2015.2.25締結)、福島復興再生基本方針(2012.7.13閣議決定、2017.6.30改定)等で再生利用の記載がされている。

※2 中間貯蔵・環境安全事業株式会社法(JESCO法)に、中間貯蔵開始後30年以内の県外最終処分は国の責務であることが記載されている。

- 福島県外での最終処分に向け、8つのステップに沿って取組を進めていく。



2045年までの県外最終処分完了を法的に約束

技術開発戦略の工程表（抜粋）

	2015年	2018年	2021年	2024年	2025~2044
進行管理	技術の現状把握・評価				基盤技術開発を一通り完了
	戦略の進捗レビュー、精緻化等				
	見直し				
減容・再生利用技術の開発	分級処理の実証		分級以外の技術開発と実証		
	土木資材へのモデル的活用に関する実証				
	公募型技術実証（減容等技術実証事業）				
再生利用の推進	手引きの作成		手引きの充実化		
	社会的受容性の向上に向けた取組やモデル事業				
	再生利用先の具体化、本格化の推進				
最終処分の方向性の検討	シナリオに応じた技術組合せ		減容技術の絞り込みと処分方式		方式具体化
	施設構造要件等整理		構造や必要面積等の選択肢検討		調査、整備、搬入開始
全国民的な理解の醸成等	各種機関等と連携した取組、ウェブサイト等を通じた情報発信				
	技術開発・再生利用の進捗に応じた対話型・参加型理解醸成活動の実施				
	国際的な情報交換・レビュー、国内外機関との連携や体制整備				



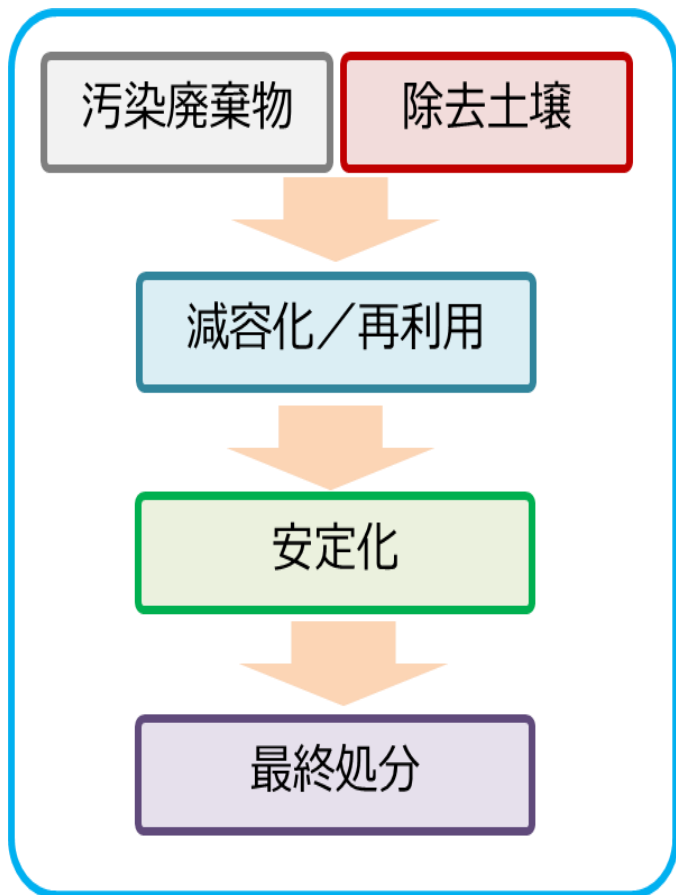
低濃度土壌の再生利用実証事業



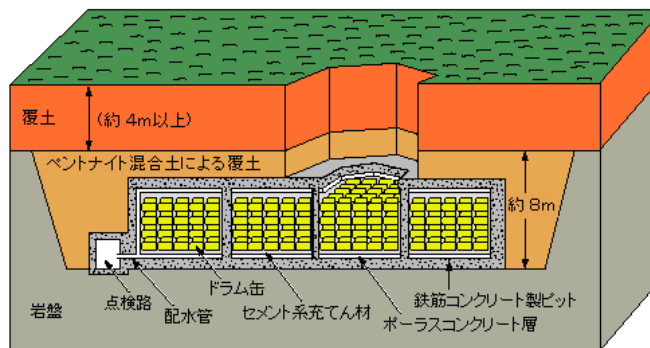
汚染土壌を農地の基盤として有効利用し、花卉栽培の試験を行っている様子（福島県飯舘村長泥地区）



県外最終処分に向けた技術課題

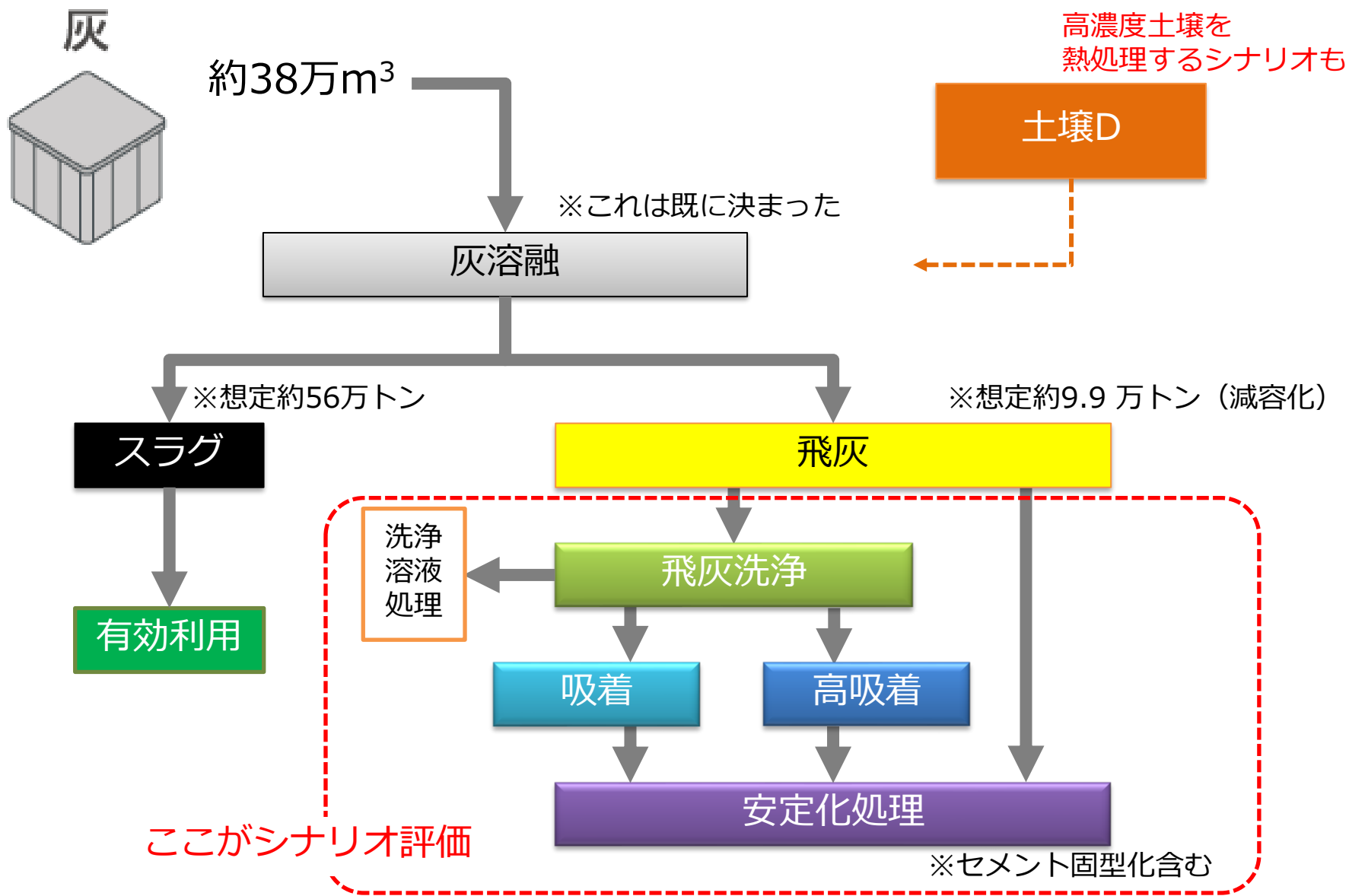


- ✓ 熱処理技術は溶融技術など既に実用化。土壌に対する分級洗浄技術も実証済み
- ✓ 今後、熱処理後の灰洗浄技術、洗浄液からの吸着技術の実証が必要
- ✓ 最終処分のための安定化技術(セメント固型化、ジオポリマー、焼結、ガラス固化等)の実証が必要
- ✓ 処分物の性状と処分構造・管理方法の相互関係を踏まえた各技術要件の明確化、そのための安全評価技術の高度化が必要



コンクリートピット処分の例(上限r-Cs1千億Bq/kg)

熔融飛灰処理の技術オプション



将来の県外最終処分に向き合うか？

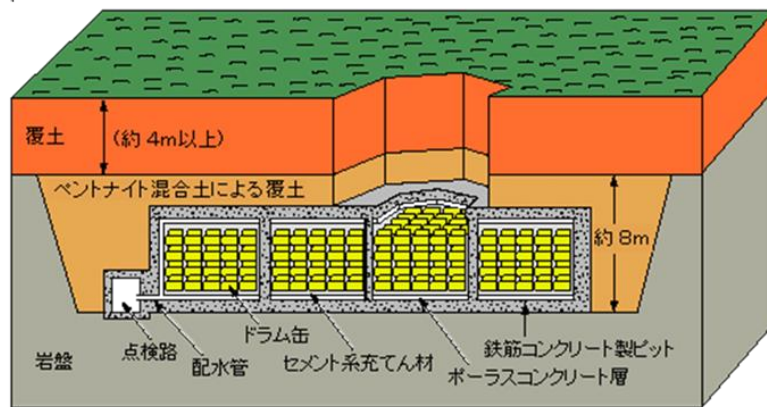
県外最終処分の立地は、福島以外の
どの都道府県も候補になりうる

最終処分負荷を下げるための再生利
用は福島以外でも求められる

功利主義的に集約処分を基本
とするか、公平性から一程度
分散配置にするか？

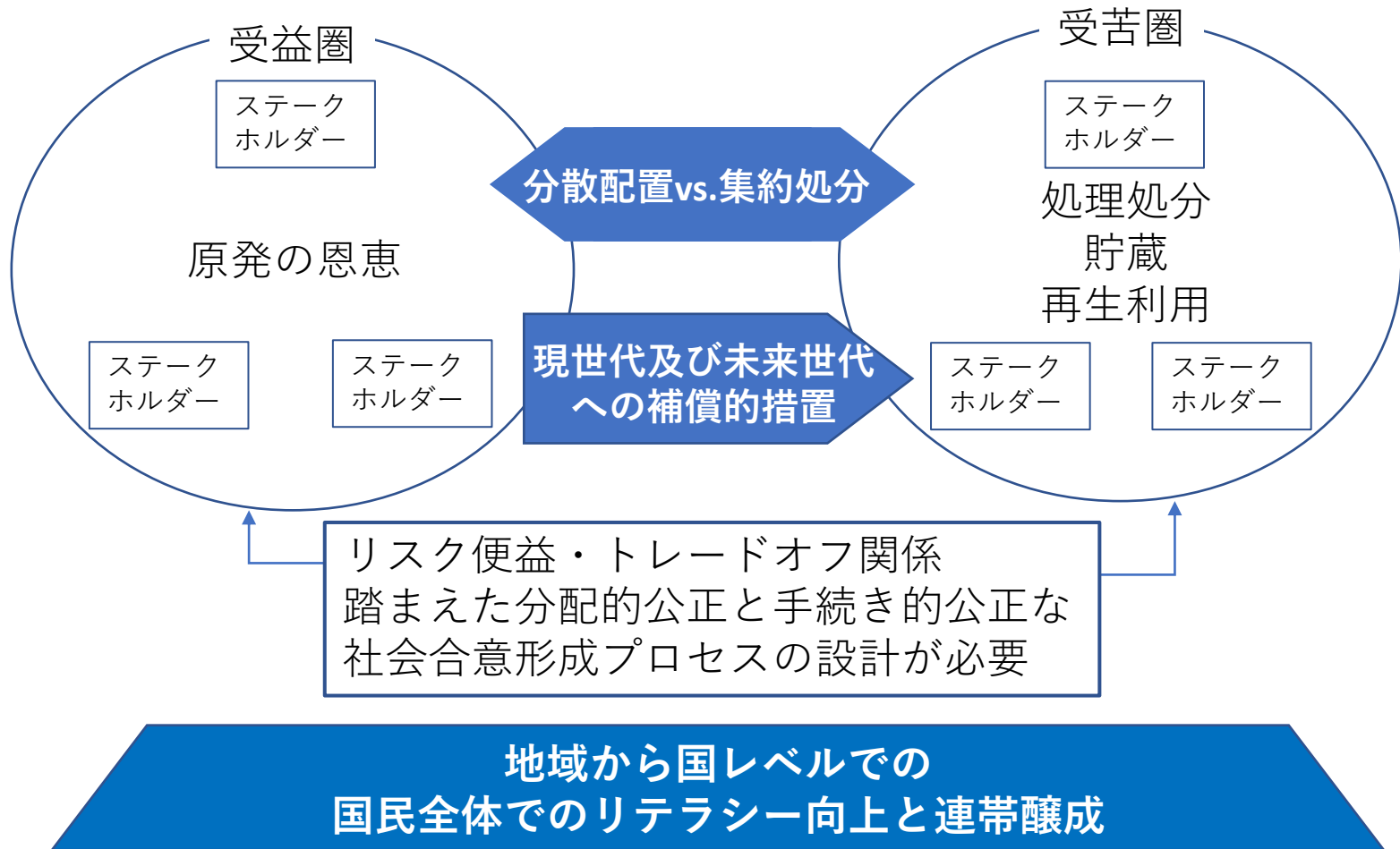
どれくらい減容化し濃縮して、ど
の程度の規模でどのような形態・
管理方法の最終処分を行うか？

社会として責任をどのように分配
し、負担していくか？



コンクリートピット処分の例(上限r-Cs1千億Bq/kg)

将来の県外最終処分に向けた社会合意形成



災害という歴史上の不連続面、人類史上の未曾有の災禍を乗り越えて、日本社会がどのように成熟した持続可能な社会を築けるかが問われている！



**1Fオフサイト廃棄物への環境分野の
対応：膨大な量と多様な質への廃棄
物処理技術や汚染土壌対策技術を基
盤とした対策、原子力分野の放射線
管理技術との融合**
今後は、理工学的技術に加えて**社会
科学的技術**の高度化とその適用を通
して、**県外最終処分実現**そして**持続
可能な社会への成熟**が必要

ご静聴 有難うございました。

大迫政浩

国立環境研究所 資源循環領域

