

福島県内の焼却施設における放射性ストロンチウム及び プルトニウムの核種分析の結果について

平成 24 年 6 月 5 日

環境省

放射性ストロンチウム及びプルトニウムについては、文部科学省が行った土壌の調査¹により、今回の東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下「事故」という。）に伴う新たな沈着が認められるものの、それらの濃度は事故前の環境（土壌）中の濃度の範囲内に収まるレベルであり、その 50 年間積算実効線量もセシウム 134 及びセシウム 137 に比べて非常に小さいことが確認されています。また、そのことから、被ばく線量評価や除染対策においては、セシウム 134 及びセシウム 137 の沈着量に着目していくことが適切とされています。このことを踏まえて、廃棄物処理施設における放射性物質のモニタリングも放射性セシウムを対象としています。

環境省では、比較的高濃度の放射性セシウムを含む廃棄物の処理が想定される、福島県内の対策地域内廃棄物の処理を行う際の参考とするため、今般、焼却灰から比較的高濃度の放射性セシウムが検出されている焼却施設において、焼却を行った際の焼却灰や排ガスを対象に、セシウム 134 及びセシウム 137 以外の放射性核種について以下の調査を行いました。

1. 調査方法

(1) 放射性核種の選定

放射性セシウム以外に着目すべき核種として、放射性ストロンチウムとプルトニウムを調査対象に選定しました。

放射性ストロンチウムは、ベータ崩壊に伴いベータ線しか放出しない核種であり、事故によって放出された半減期の長い放射性物質の中では、放射エネルギーにして 2 桁程度少ないもののセシウムに次いで放出量が多いものです²。また、プルトニウムは、事故による放出量は極めて少ないとされているものの、アルファ線放出核種として存在が懸念されているものです。

そこで、一般廃棄物焼却施設における主灰、飛灰及び排ガスについて、放射性セシウムとともに、放射性ストロンチウム（Sr-89、Sr-90）及びプルトニウム（Pu-238、Pu-239、Pu-240）の放射能濃度測定を行いました。

¹ 文部科学省による、プルトニウム、ストロンチウムの核種分析の結果について（平成 23 年 9 月 30 日）

² 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る 1 号機、2 号機及び 3 号機の炉心の状態に関する評価について（経済産業省、平成 23 年 6 月 6 日（平成 23 年 10 月 20 日一部訂正））

(2) 主灰・飛灰、排ガス調査

試料採取は、福島県内の一般廃棄物焼却施設である、あらかわクリーンセンター（以下「同センター」という。）において行いました。主灰及び飛灰については平成 24 年 2 月 17 日、排ガスについては 1 月 16 日に採取しました。

表 1 調査内容、試料採取日時及び採取場所等

施設名	調査内容	試料採取日	採取時刻	採取箇所
福島市 あらかわクリーンセンター	・主灰、飛灰採取、Cs、Sr、Pu 分析	2012年 2月17日	10:10～13:10 (1時間毎、4回)	1号炉の灰コンベアから採取
	・排ガスの Sr,Pu 分析	2012年 1月16日	12:07～16:07	煙突から排ガスを採取

主灰と飛灰の放射性セシウム (Cs-134、Cs-137) の濃度測定は、文部科学省放射能測定シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(平成 4 年改定) に準じて行いました。

放射性ストロンチウムについては、調査期間の制約から、長期間を要する公定法ではなく、迅速検査法³に従って測定しました。放射性ストロンチウムの Sr-89 及び Sr-90 を対象としますが、この検査法では両者を区別できないことから、両者の合計としての報告となります。

プルトニウム分析は、文部科学省・測定法シリーズに準拠し、陰イオン交換法によりプルトニウム (Pu) を分離・精製し、 α 線スペクトロメトリーで定量しました。測定時間は 8 万秒 (約 22 時間) とし、分析回収率の補正には Pu-242 を用いました。なお、主灰及び飛灰試料については、乾燥処理は行っていません。

今回報告する分析対象核種は Pu-238、Pu-239 及び Pu-240 です。ただし、Pu-239 及び Pu-240 については放出される α 線のエネルギーが同程度のため、Si 半導体検出器では区別できないことから、Pu-239 及び Pu-240 の合計としての報告となります。

³ 「研究施設等廃棄物に含まれる放射性核種の簡易・迅速分析法 (分析指針)」(日本原子力研究開発機構 平成 21 年 10 月) に準拠した、固相抽出法による放射性ストロンチウム濃度 (Sr-89 及び Sr-90 の合計) の測定方法

表2 放射性ストロンチウム及びプルトニウム測定用試料

試料		採取日	分析数量	性状	提供する試料量	備考	
Sr 分析用 試料	主灰	2012年 2月17日	1	粒状	約0.2kg		
	飛灰	2012年 2月17日	1	粘土状(湿り 気あり)	約0.2kg	風乾後の試料を採取 (飛灰(風乾前)含水率: 29.24%⇒飛灰(風乾後)含水 率:11.71%)	
	排ガス 測定	ろ紙部	2012年 1月16日	1	裁断したろ紙	0.7g	採取日時:1/16 12:07~16:07 採取量:3.4159m ³ N×1/2
		ドレン部	2012年 1月16日	1	液体	1リットル	
Pu 分析用 試料	主灰	2012年 2月17日	1	粒状	約0.2kg		
	飛灰	2012年 2月17日	1	粘土状(湿り 気あり)	約0.2kg	風乾後の試料を利用 (飛灰(風乾前)含水率: 29.24%⇒飛灰(風乾後)含水 率:11.71%)	
	排ガス 測定	ろ紙部	2012年 1月16日	1	裁断したろ紙	0.7g	採取日時:1/16 12:07~16:07 採取量:3.4159m ³ N×1/2
		ドレン部	2012年 1月16日	1	液体	1リットル	

* 放射性ストロンチウム測定:株式会社同位体研究所
プルトニウム測定:(独)日本原子力研究開発機構

2. 調査結果

(1) 放射性ストロンチウム

主灰及び飛灰についての放射性ストロンチウム及び放射性セシウムの測定結果を表3、4に示し、排ガスについての放射性ストロンチウムの測定結果を表5に示します。

放射性ストロンチウム (Sr-89 及び Sr-90 の合計) の放射能濃度は主灰で 13.9 Bq/kg、飛灰で 9.7 Bq/kg であり、事故発生前 (平成 11 年度~21 年度) に全国で観測された土壌中のストロンチウム 90 の測定値 (不検出~30 Bq/kg) ⁴の範囲内に入るレベルでした。

また、排ガスの放射性ストロンチウムは不検出でした。

なお、今回用いたストロンチウムの分析方法については、土壌等由来の鉛の天然核種の影響で測定値が高めに出る可能性などが指摘されており、その点に留意した解釈が必要です。しかし、今回検出されたストロンチウム 90^{*}のセシウム 137 に対する濃度の比率は、事故後に文部科学省が測定した土壌沈着量における比率⁵の範囲内となっていたことから、ストロンチウム 90 の測定値は極端に高い値が出ていたわけではないと考えられます。

⁴ 環境放射能調査 (文部科学省)

⁵ 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果 (文部科学省、農林水産省、平成 24 年 3 月 13 日)

※ ストロンチウム 89 の半減期が短い (50.53 日) ため、試料採取時 (事故後 10 か月以上経過) にはほとんど残っていないと見なし、検出された放射性ストロンチウムはすべてストロンチウム 90 と仮定した。

表 3 主灰及び飛灰の放射性セシウム測定結果

試料名	採取日時		測定結果		
			^{134}Cs	^{137}Cs	$^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$
飛灰 (Bq/kg)	H24.2.17	10:10-13:10	22,600	31,900	54,500
主灰 (Bq/kg)	H24.2.17	10:10-13:10	1,560	2,150	3,710

表 4 主灰及び飛灰の放射性ストロンチウム測定結果

試料名	採取日時		測定結果		$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ (事故後における 土壌沈着量)
			$^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$	$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$	
飛灰 (Bq/kg)	H24.2.17	10:10-13:10	9.7	$3.0 \times 10^{-4} *$	$1.6 \times 10^{-4} \sim$ 5.8×10^{-2} (平均 2.6×10^{-3})
主灰 (Bq/kg)	H24.2.17	10:10-13:10	13.9	$6.5 \times 10^{-3} *$	
(参考)国内の土壌 (Bq/kg)			不検出~30		

* ストロンチウム 89 の半減期が短い (50.53 日) ため、試料採取時 (事故後 10 か月以上経過) にはほとんど残っていないと見なし、検出された放射性ストロンチウムはすべてストロンチウム 90 と仮定した。

表 5 排ガスの放射性ストロンチウム測定結果

試料名		採取日時		$^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$
排ガス (Bq/m ³)	ろ紙部	H24.1.16	12:07 ~16:07	不検出 (<0.03)
	ドレン部	H24.1.16	12:07 ~16:07	不検出 (<0.03)

(2) プルトニウム

プルトニウムの測定結果は表6に示すように、Pu-239,240が主灰で検出されたが、その他は不検出でした。

主灰で検出されたPu-239,240の濃度は、過去の大気圏内核実験の影響である事故発生前に全国で観測された土壤中濃度の測定値（不検出～4.5 Bq/kg）⁶の範囲内でした。

表6 プルトニウム測定結果

試料名		採取日	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu
主灰 (Bq/kg)		2012/2/17	不検出 ($<9.2 \times 10^{-3}$)	$(1.6 \pm 0.43) \times 10^{-2}$
飛灰 (Bq/kg)		2012/2/17	不検出 ($<8.8 \times 10^{-3}$)	不検出 ($<8.8 \times 10^{-3}$)
排ガス (Bq/m ³)	ろ紙部	2012/1/16	不検出 ($<5.3 \times 10^{-4}$)	不検出 ($<2.6 \times 10^{-4}$)
	ドレン部	2012/1/16	不検出 ($<2.6 \times 10^{-4}$)	不検出 ($<2.6 \times 10^{-4}$)
(参考)国内の土壌 (Bq/kg)			不検出～ 1.5×10^{-1}	不検出～4.5

3. まとめ

放射性ストロンチウム及びプルトニウムについて、焼却灰や排ガスについての調査を行った結果、排ガスについてはいずれの調査結果においても不検出でした。焼却灰については、放射性セシウムが比較的高濃度（飛灰で 54,500 Bq/kg、主灰で 3,710 Bq/kg）で検出されていても、放射性ストロンチウム及びプルトニウムは不検出か、検出されても検出下限値をわずかに超える値で、事故前の土壤中の濃度の範囲に収まっています。これらのことから、今回の調査結果から、事故による放射性ストロンチウム及びプルトニウムの影響は確認されませんでした。ただし、原子力発電所近傍の高濃度に汚染された廃棄物の処理に向けては、引き続き検討を行い、知見を集める必要があると考えられます。

⁶ 環境放射線データベース（文部科学省、昭和53年～平成20年）

(参考) IAEA-TECDOC-1162 の換算係数を用いた放射性核種ごとの 50 年間積算実効線量

今回得られた調査結果を用いて、被ばく線量について放射性ストロンチウム及びプルトニウムと、放射性セシウムとの比較を行いました。比較を行うに当たっては、本来土壌についての評価に用いる、IAEA が提案している緊急事態時の被ばく評価方法 (IAEA-TECDOC-1162) に定められた換算係数を用いて、50 年間、放射性核種が沈着した焼却灰上に人間が留まると想定した際の外部被ばく線量及び再浮遊に起因する預託実効線量 (以下「50 年間積算実効線量」という。) を算出しました。

当該評価は、比較を行うために、焼却灰の上に何の遮蔽措置もなく人間が 50 年間留まるという極端な仮定を置いて試算したものであり、通常は管理型最終処分場で 50cm の最終覆土等の必要な遮蔽措置等を講じて処分されることに留意する必要があります。

推定計算の考え方を以下に示します。

まず、単位重量当たりの放射能濃度から単位面積当たりの放射能濃度に換算します。

・ 試料 1kg の体積 $\Rightarrow V\text{cm}^3 = 1000 \text{ g} \div \text{湿潤密度 (g/cm}^3)$

↓

・ 試料 1kg について厚さ 5cm の面積を算定 $\Rightarrow S\text{cm}^2 = V \div 5\text{cm}$

↓

・ 試料 1m² への換算 $\Rightarrow \text{換算値 } a = 10000\text{cm}^2 \div S\text{cm}^2$

↓

・ 単位面積あたりの放射能濃度 (Bq/m²) 算出 $\Rightarrow \text{放射能濃度 (Bq/kg)} \times \text{換算値}$

次に、単位面積当たりの放射能濃度から 50 年間の積算実効線量を計算します (換算係数は、IAEA のデータを用います)。

・ 50 年間積算実効線量 $\Rightarrow \text{単位面積あたりの放射能濃度 (Bq/m}^2) \times \text{換算係数 (mSv/kBq/m}^2)$

同センターで採取した飛灰及び主灰について、放射性ストロンチウム及びプルトニウムの 50 年間積算実効線量を推定した結果を表 7 に示します。

放射性ストロンチウムについては、飛灰による 50 年間積算実効線量は 0.015mSv、主灰によるものは 0.011mSv と推定されました。プルトニウムについては、検出された主灰の値 (Pu-239 及び Pu-240 の合計) を用いて計算した結果、50 年間積算実効線量は 0.0051mSv と推定されました。

放射性セシウムについて行った推定計算の結果を表 8 に示します。

計算の結果得られた 50 年間積算実効線量は、飛灰については Cs-134 で 8.64mSv、Cs-137 で 311mSv であり、主灰については Cs-134 で 0.30mSv、Cs-137 で 10.4mSv でした。

以上の検討結果から、放射性セシウム (Cs-134、Cs-137) の 50 年間積算実効線量に比べて、放射性ストロンチウム及びプルトニウムの 50 年間積算実効線量は非常に小さいことが

確認されました。

なお、放射性ストロンチウム及びプルトニウムの50年間積算実効線量が放射性セシウムのそれに比べて非常に小さいという結果は、文部科学省が福島第一原発の概ね100km圏内の土壌調査において放射性ストロンチウム及びプルトニウムの核種分析を行い評価した内容⁷とも一致しています。

表7 放射性ストロンチウム及びプルトニウムによる50年間積算実効線量推定結果

項目	試料		飛灰	主灰	
	単位				
ストロンチウム	放射能濃度		Bq/kg	9.71	13.88
	湿潤密度		g/cm ³	1.5(想定)	0.745(実測)
	1m ² への換算値(a)		—	75.0	37.3
	1m ² 当たりの放射能濃度		Bq/m ²	728	518
	50年間積算実効線量	換算係数	mSv/kBq/m ²	0.021	0.021
		計算結果	mSv	0.015	0.011
プルトニウム	放射能濃度(Pu-239,240)		Bq/kg	ND	0.016
	湿潤密度		g/cm ³	—	0.745(実測)
	1m ² への換算値(a)		—	—	37.3
	1m ² 当たりの放射能濃度		Bq/m ²	—	0.60
	50年間積算実効線量	換算係数	mSv/kBq/m ²	—	8.5E+00
		計算結果	mSv	—	0.0051

注1) 飛灰: あらかわクリーンセンターで採取した飛灰(採取日: 2012年2月17日)

注2) 主灰: あらかわクリーンセンターで採取した主灰(採取日: 2012年2月17日)

注3) 単位重量当たりの放射能濃度から単位面積当たりの放射能濃度への換算及び年間被ばく量の推定方法。

試料1kgの体積 $\Rightarrow V\text{cm}^3 = 1000\text{g} \div \text{湿潤密度}(\text{g}/\text{cm}^3)$

↓
試料1kg、厚さ5cmの面積 $\Rightarrow S\text{cm}^2 = V \div 5\text{cm}$

↓
1m²への換算値 $\Rightarrow \text{換算値 } a = 10000\text{cm}^2 \div S\text{cm}^2$

↓
単位面積あたりの放射能濃度(Bq/m²) $\Rightarrow \text{放射能濃度}(\text{Bq}/\text{kg}) \times \text{換算値}$

↓
50年間積算実効線量

$\Rightarrow \text{単位面積あたりの放射能濃度}(\text{kBq}/\text{m}^2) \times \text{換算係数}(\text{mSv}/\text{kBq}/\text{m}^2)$

注4) 放射性ストロンチウムの換算係数は、Sr-89は2.8E-05(mSv/kBq/m²)、Sr-90は2.1E-02(mSv/kBq/m²)であるが、保守的に「2.1E-02=0.021」を採用した。

注5) NDは検出下限値未満であることを示す(<8.8E-3Bq/kg)。

注6) プルトニウムの換算係数は、Pu-239は8.5E+00(mSv/kBq/m²)、Pu-240は8.4E+00(mSv/kBq/m²)であるが、保守的に「8.5E+00」を採用した。

注7) 50年間積算実効線量換算係数: 「放射線緊急事態時の評価および対応のための一般的手順」(放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター 線量評価研究部 訳 国際原子力機関(IAEA) 2000年8月) p98-p100より

⁷ 文部科学省による、プルトニウム、ストロンチウムの核種分析について(文部科学省、平成23年9月30日)

表8 放射性セシウムによる50年間積算実効線量推定結果

項目		単位	試料	飛灰	主灰	
セシウム 1 3 4	放射能濃度	Bq/kg		22600	1560	
	湿潤密度	g/cm ³		1.5(想定)	0.745(実測)	
	1m ² への換算値(a)	—		75.0	37.3	
	1m ² 当たりの放射能能度	Bq/m ²		1695000	58188	
	50年間積算実効線量	換算係数	mSv/kBq/m ²		5.10E-03	5.10E-03
		計算結果	mSv		8.64	0.30
セシウム 1 3 7	放射能濃度	Bq/kg		31900	2150	
	湿潤密度	g/cm ³		1.5(想定)	0.745(実測)	
	1m ² への換算値(a)	—		75.0	37.3	
	1m ² 当たりの放射能能度	Bq/m ²		2392500	80195	
	50年間積算実効線量	換算係数	mSv/kBq/m ²		1.30E-01	1.30E-01
		計算結果	mSv		311	10.4
合計		mSv		320	10.7	

注1) 飛灰: あらかわクリーンセンターで採取した飛灰(採取日: 2012年2月17日)

注2) 主灰: あらかわクリーンセンターで採取した主灰(採取日: 2012年2月17日)

注3) セシウムの換算係数は、Cs-134は5.1E-03(mSv/kBq/m²)、Cs-137

(Cs-137+Ba-137m)は1.3E-01(mSv/kBq/m²)である。

注4) 50年間積算実効線量換算係数: 「放射線緊急事態時の評価および対応のための一般的手順」(放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター線量評価研究部訳 国際原子力機関(IAEA) 2000年8月) p98-p100より

岩手・宮城 がれき処理データサイト

(広域処理)

[ホーム](#)

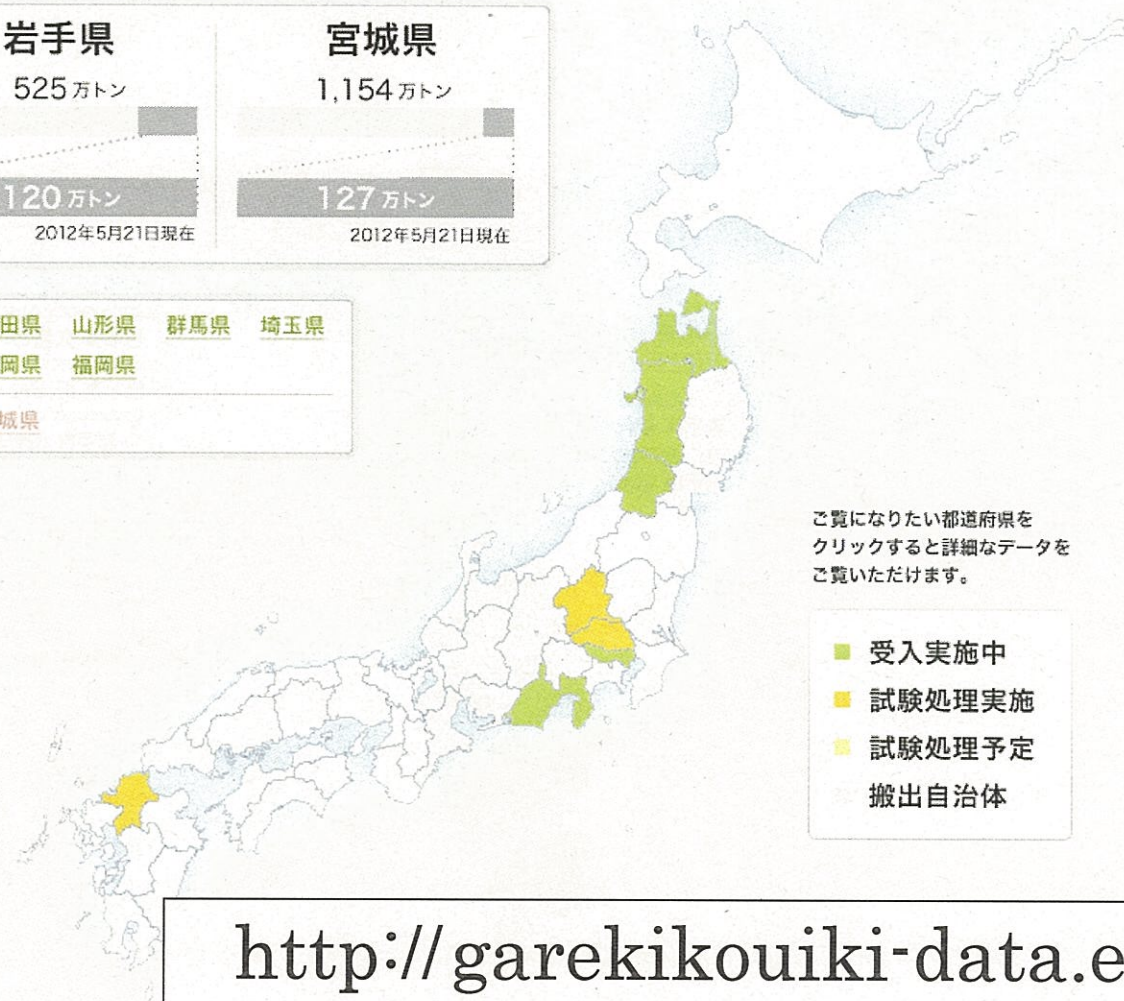
[このサイトについて](#)

[受入側自治体\(施設一覧\)](#)

[国の基準等](#)



受入側自治体	青森県	秋田県	山形県	群馬県	埼玉県
	東京都	静岡県	福岡県		
搬出側自治体	岩手県	宮城県			



<http://garekikouiki-data.env.go.jp/>

岩手・宮城 がれき処理データサイト

(広域処理)

[ホーム](#)

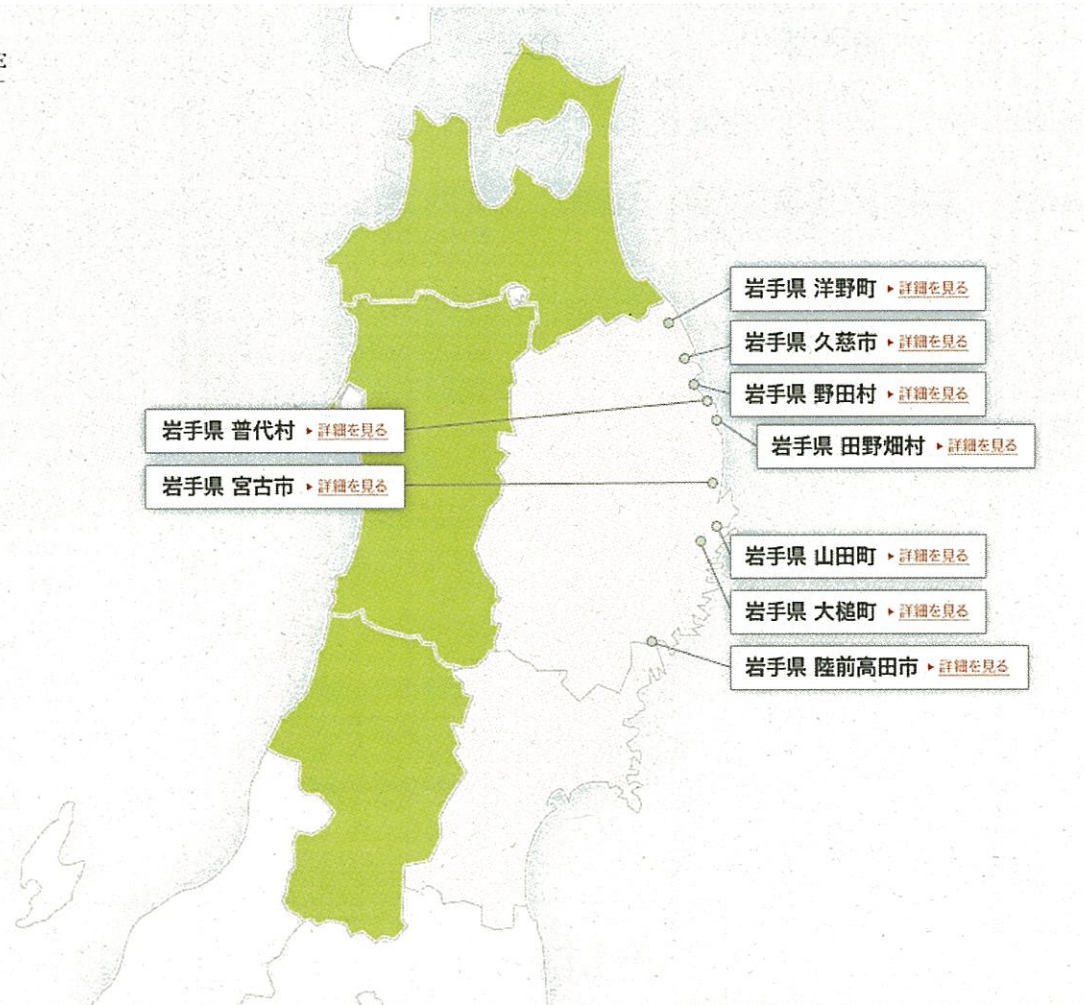
[このサイトについて](#)

[受入側自治体\(施設一覧\)](#)

[国の基準等](#)

岩手県 IWATE

[日本地図に戻る](#)



岩手・宮城 がれき処理データサイト

(広域処理)

ホーム | このサイトについて | 受入側自治体(施設一覧) | 国の基準等

岩手県 田野畑村

測定日:2011年6月29日

単位:ベクレル/kg

	廃棄物の種類	放射性セシウム濃度の測定値		セシウム合計値
		左数値 セシウム134	右数値 セシウム137	
木くず	木質①	ND(24)	ND(24)	ND(48)
	木質②	ND(25)	ND(21)	ND(46)
	木質③	ND(21)	ND(23)	ND(44)
可燃物	紙類	ND(15)	ND(14)	ND(29)
	繊維	ND(19)	ND(15)	ND(34)
	プラスチック	ND(22)	ND(18)	ND(40)
	わら	ND(15)	ND(19)	ND(34)
不燃物	5mm未満細塵①	ND(8.8)	ND(9.3)	ND(18.1)
	5mm未満細塵②	ND(13)	ND(8.1)	ND(21.1)
	5mm未満細塵③	ND(8.7)	ND(9.2)	ND(17.9)

ベクレル=放射能を表す単位で、1ベクレルは、放射性核種が1秒間に1回崩壊することを示す。
 ND=Not Detectedの略。「不検出」という意味で、検出下限値以下であることを示す。()内数字は検出下限値を示す。

[日本地図に戻る](#)

岩手・宮城 がれき処理データサイト

(広域処理)

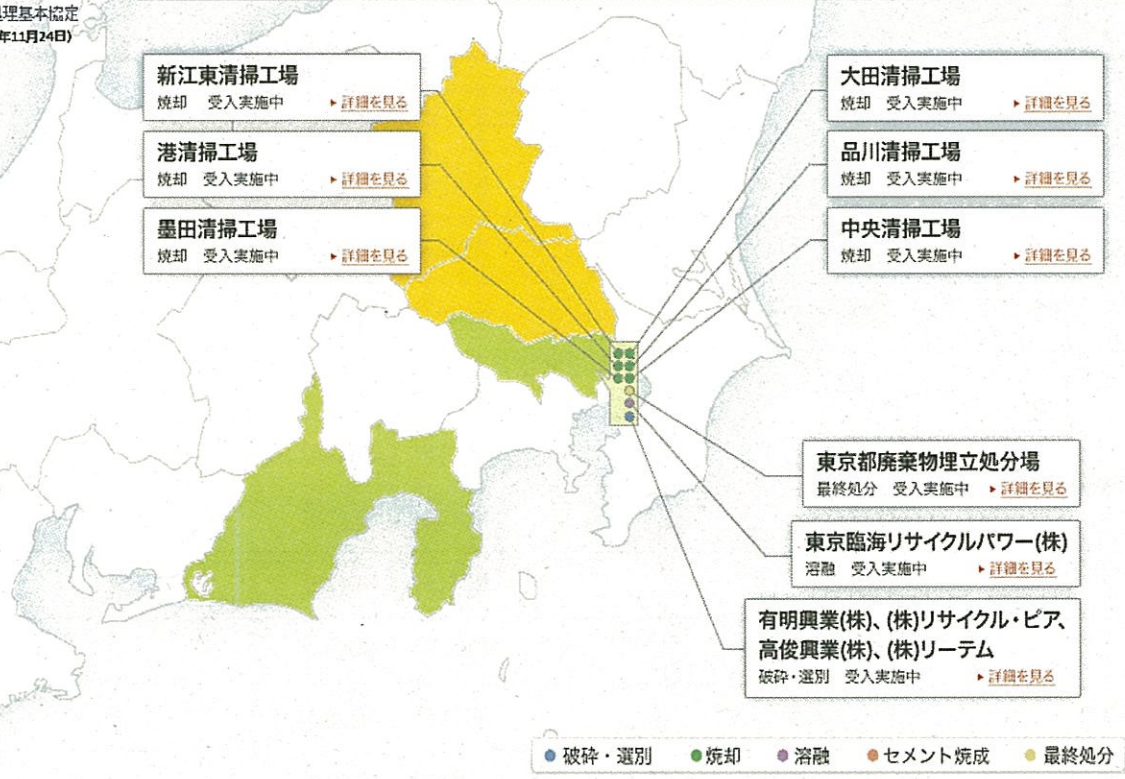
[ホーム](#) | [このサイトについて](#) | [受入側自治体\(施設一覧\)](#) | [国の基準等](#)

東京都 TOKYO

▶ [日本地図に戻る](#)

- ・災害廃棄物の処理基本協定(岩手県) (平成23年9月30日)
- ・災害廃棄物の処理基本協定(宮城県) (平成23年11月24日)

岩手県宮古市からの災害廃棄物を、有明興業(株)、(株)リサイクル・ピア、高俊興業(株)、(株)リーテムの4社で受け入れ、破碎・選別を行っていました。破碎・選別後の可燃物については、東京臨海リサイクルパワー(株)のガス化溶融炉で溶融した後、スラグは建設資材として利用。溶融時に発生する飛灰と破碎・選別後の不燃物は、東京都の廃棄物埋立処分場で最終処分しています。また、宮城県女川町からの災害廃棄物を東京二十三区清掃一部事務組合の清掃工場で受け入れ、本格的に焼却処理を開始しています。順次受入清掃工場を拡大していく予定です。焼却後の主灰、飛灰は、東京都の廃棄物埋立処分場で最終処分しています。



岩手・宮城 がれき処理データサイト

(広域処理)

ホーム | このサイトについて | 受入側自治体(西設一覧) | 国の基準等

焼却

受入自治体名: 東京都

運営: 公営施設 施設名: 新江東清掃工場 東京都江東区夢の島3-1-1

処理: 焼却 施設型式: ストーカ炉 処理能力: 1800 t/日

搬出自治体: 宮城県女川町 受入廃棄物: 可燃物(木くず等)

受入段階: 受入実施中 試験処理日(予定日): - 試験処理量: - 受入開始日(予定日): 2012年3月 累計受入量: 1,285.68t (2012年4月現在)

放射性セシウム濃度

	放射能濃度の測定結果 左数値 セシウム134 右数値 セシウム137	自治体の受入基準	測定日(公表日)
受入廃棄物 (ベクレル/kg)	48 (-)* ¹	-	2012年4月13日
排ガス (ベクレル/m ³)	ND (0.87), ND (0.93)* ²	-	2012年3月22~26日
主灰 (ベクレル/kg)	55 (-), 75 (-)	-	2012年3月22~26日
飛灰 (ベクレル/kg)	896 (-), 1,270 (-)	-	2012年3月22~26日
スラグ (ベクレル/kg)			

ベクレル=放射能を表す単位で、1ベクレルは、放射性物質が1秒間に1回崩壊することを示す。
ND=Not Detectedの略。「不検出」という意味で、検出下限値以下であることを示す。()内数字は検出下限値を示す。

<国の基準等>

国の受入基準

可燃物について 240 ベクレル/kg 以下 (ストーカ炉)

排ガスの安全性を確認するためのモニタリングの目安

$$\frac{(\text{セシウム134の濃度})}{20} + \frac{(\text{セシウム137の濃度})}{30} \leq 1$$

*1 セシウム134とセシウム137との合計値 (2012年4月13日)

*2 検出下限値は3回測定の際の最大値

測定業者

不明

データ参照元

- 災害廃棄物処理支援 (<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/resource/disaster-waste/index.html>)

日本地図に戻る