# 報文

# 飯舘村蕨平における放射性物質の分離による焼却灰 及び汚染土壌の資材化に関する研究

本間 健一1\*、 吉川 知久2、 片岡 誠2、 玉重 宇幹2、 小林 航3、 高橋 祐司4、 久岡 夏樹5

- 1 太平洋セメント株式会社中央研究所 (〒 285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)
- 2太平洋セメント株式会社までいな減容資材化実証プロジェクト

(〒135-8578 東京都港区台場 2-3-5 台場ガーデンシティービル 4F)

- <sup>3</sup> 日揮株式会社 (〒 220-6001 神奈川県横浜市西区みなとみらい 3-6-3 MM パークビル)
- 4 太平洋エンジニアリング株式会社 (〒135-0042 東京都江東区木場 2-17-12 SA ビルディング 5F)
- 5 環境省 大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 (〒100-8975 東京都千代田区霞ヶ関1-2-2)

現所属は国土交通省水管理・国土保全局

# Reports of Entrusted Research and Demonstration Work for Cs Removal and Recycling Technology to Turn Radioactive Soil and Incineration Ash into Construction Materials at a Pilot Plant in Warabidaira Area, Iitate Village, Fukushima Prefecture

Kenichi HONMA<sup>1\*</sup>, Tomohisa YOSHIKAWA<sup>2</sup>, Makoto KATAOKA<sup>2</sup>, Takamiki TAMASHIGE<sup>2</sup>, Wataru KOBAYASHI<sup>3</sup>, Yuuji TAKAHASHI<sup>4</sup>, and Natsuki HISAOKA<sup>5+</sup>

(1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8975, Japan), <sup>+</sup>Present office: Water and Disaster Management Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

# **Summary**

This study is an entrusted verification research project for Cs removal, volume reduction and recycling technology for radioactive waste. The purpose is to recycle radioactive waste, including soil removed in Iitate Village and incineration ash generated in an incinerator, into safe construction material products at a pilot plant built next to the incinerator. A preliminary electric furnace test was carried out using various types of radioactive waste including removed soil, fluidized bed combustion fly ash, stoker bottom ash and stoker fly ash. It was found that, with any of the waste types tested, residual radioactive Cs (r-Cs) concentration could be reduced to below the clearance level of 100 Bq/kg by controlling CaO/SiO<sub>2</sub> to over 2.0 in weight and Cl/K to 0.8 to 1.1 in moles and heat treating the raw material at 1300 °C or above. In the verification test using the pilot plant, the raw materials using fluidized bed combustion fly ash, stoker bottom ash or removed soil achieved a yield rate of accepted product of over 95%, with residual r-Cs concentration after the heat treatment successfully reduced to below 100 Bq/kg by controlling CaO/SiO<sub>2</sub> of the raw materials and optimizing the heat treatment operation to minimize adhesion of molten raw materials to the kiln inner wall. Vaporized r-Cs was recovered by a bag filter and stored as byproduct. The r-Cs in the byproduct was found condensed to a concentration of 7 to 16 times higher than that in the radioactive waste materials, while the volume of the radioactive waste materials was reduced by 90.6% on average. It was also demonstrated that the r-Cs concentration of exhaust gas was below the detection limit.

Key Words: Radioactive Cs, Removed soil, Incineration ash, Products, CaO/SiO<sub>2</sub>, Clearance level

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Central Research Laboratory, Taiheiyo Cement Corporation (2-4-2 Osaku, Sakura, Chiba 285-8655, Japan)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Madeina Reduction and Recycling Project, Taiheiyo Cement Corporation (2-3-5 Daiba, Minato-ku, Tokyo 135-8578, Japan)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>JGC Corporation (2-3-1 Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa 220-6001, Japan)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Taiheiyo Engineering Corporation (2-17-12 Kiba, Koto-ku, Tokyo 135-0042, Japan)

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>Waste Management and Recycling Department, Minister's Secretariat, Ministry of the Environment

<sup>\*</sup>Corresponding author: E-mail: kenichi honma@taiheiyo-cement.co.jp

# 1. はじめに

### (1) 背景及び既往の研究

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い、大量の放射性物質が放出され、広い範囲にわたり地表や建物、森林などが汚染され、環境汚染への対応として、除染、汚染廃棄物の処理、中間貯蔵施設の整備などの各種取組が進められている。除染等の措置により生じた除去土壌等及び事故由来放射性セシウム(以下r-Csと称す)により汚染された廃棄物の総発生見込み量は最大で約2200万m³であり、そのうち土壌約2000万m³、焼却灰約160万m³と報告されている¹)。これらは中間貯蔵施設に集約して一定期間安定的に貯蔵及び管理を行った後、最終処分することとされており、中間貯蔵・環境安全事業株式会社法(平成15年法律第44号)第3条第2項において、「中間貯蔵開始後30年以内に福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講ずる」ことが国の責務として明記されている¹)。

県外最終処分に向けては最終処分必要量を低減することが鍵となり、減容処理が可能と考えられる技術として、土壌の分級処理技術、土壌の化学処理技術、土壌の熱処理技術、焼却灰(発尿)の洗浄処理技術、焼却灰(主灰・飛灰)の熱処理技術が挙げられている¹)。このうち、土壌、焼却灰の熱処理技術は必要に応じて添加剤を添加した上で加熱し、r-Csを揮発させ分離した後、冷却・捕集する方法であり、土壌の種類(砂質土、粘性土など)、焼却灰の種類(ストーカ主灰・飛灰、流動床飛灰など)によらず適用でき、r-Csの効率的な減容処理が可能である。

熱処理技術は主に焼成法と溶融法に大別される。焼成法としては、添加剤を加えて1300℃以上の高温で熱処理する高温焼成法<sup>2-7)</sup>、セシウム除去剤の存在下、1000~1200℃で加熱化学処理する方法<sup>8,9)</sup>、土壌等に薬剤を添加して20 Pa程度の低圧環境下で700~800℃で加熱処理を行うことでセシウムを除去するセシウムフリー鉱化法<sup>10,11)</sup>などが提案されている。溶融法は処理物に塩化物や可燃物を共存させて1300~1400℃で塩素化または還元して揮発させる技術で、回転式表面溶融炉を用いた方法<sup>12,13)</sup>、シャフト式ガス化溶融炉を用いた方法<sup>14,15)</sup>などが提案されている。また、粘土鉱物に数%以上のCaCl<sub>2</sub>-NaCl共晶組成溶融塩を混合して溶融温度以上に加熱して、粘土鉱物からセシウムを離脱させた後、水洗してセシウムを除去する溶融塩法<sup>16)</sup>も提案されている。いずれの方法においてもr-Csの減量が期待できるが、実汚染物を用いた実証例は少ない。

# (2) 本技術の概要

熱処理技術のうち、著者らのグループが提案した技術は高温による焼成法である。一般にr-Csは土壌中の粘土と強固に結合し、1300℃の高温で熱処理しても揮発せずに土壌中に残留することが報告されている<sup>17)</sup>。この原因として土壌が高

温で溶融ガラス化し、r-Csの拡散が著しく阻害されることが考えられた。高温下での液相量や粘性は原料の化学組成などにより変わり、中でもCaO/SiO₂(塩基度、以下C/Sと示す)は大きな影響を及ぼす。そこで、高温焼成法では原料が高温下で溶融しないよう処理対象物にカルシウム源を加えてC/S調整し、さらにr-Csの塩化揮発を促進するため、塩化カルシウムを適量加えた後、1300℃以上の高温で熱処理する。これにより土壌中のr-Csの99.9%以上を揮発させることができる²)。さらにこの技術はr-Csで汚染された下水汚泥などの焼却灰にも適用できる⁴。

これまでに内閣府委託事業平成23年度除染技術実証試験「放射性物質汚染土壌等からの乾式Cs除去技術の開発」、国土交通省委託事業平成23年度「下水汚泥等に含まれる放射性物質の乾式対策に係る業務」及び日本下水道事業団共同研究平成23、24年度「放射性セシウムを含む下水汚泥処理方法の開発」において、実汚染除去土壌及び下水汚泥焼却灰中のr-Cs濃度を100 Bq/kg以下にできることなどを実証した<sup>3-5)</sup>。しかしながら、これらの実証事業は設備規模が小さく、規模が大きくなった場合のr-Csの挙動については未確認であったこと、また、運転時間が短かったことから平衡状態における評価という点では十分とはいえないという課題があった。

# (3) 資材化実証調査業務の概要

平成25年度から環境省委託事業「飯舘村蕨平地区における放射性物質の分離による焼却灰及び汚染土壌の資材化実証調査業務」を受託し、平成28年4月~平成30年3月までの2年間にわたり実証試験を実施した<sup>6</sup>。本業務は図1に示す飯舘村蕨平地区における2つの減容事業のひとつで、焼却灰及び除去土壌に含まれるr-Csを分離し、再生利用可能なレベルまでr-Csを低減させ、工事資材として有効活用が可能となる生成物を得ることを目的とし、同一施設内に併設された仮設焼却炉から発生した焼却灰及び飯舘村内の除染作業で発生した除去土壌を処理対象物として実施した実証試験

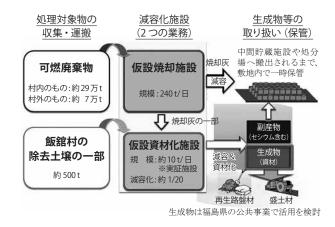


図1 飯舘村蕨平地区における減容事業

である。受託者として日揮が代表企業となり、太平洋セメント、 太平洋エンジニアリング、日本下水道事業団、農業・食品産 業技術総合研究機構、国際農林水産業研究センターの6者 で実施した。

# (4) 本研究の目的

本研究では、はじめにラボ試験にて実汚染物を用いて汚染物の種類、原料調合条件及び熱処理条件を変えた場合に r-Csの除去特性に与える影響について改めて評価し、さらに 実証調査業務を通じて、より規模の大きい仮設資材化施設を 用いて 200 時間程度の運転を実施することにより、平衡状態に達したと考えられる条件において生成物を安定してクリアランスレベルである 100 Bq/kg 以下にできるか (生成物の良品率)、汚染物をどの程度まで減量できるか (副産物の減量率)、r-Csが排ガスを通じて施設から漏洩することはないかについて評価した結果を報告する。

# 2. 実汚染物を用いたラボ試験

# (1) 試験方法

# a) 処理対象物

隣接する仮設焼却施設より、固化成型する前の流動床飛灰、ストーカ主灰、ストーカ飛灰を入手し試料とした。また、飯舘村仮置場に保管された除去土壌から伐根や岩石を除去した後、除去土壌に含まれる水分により輸送機等に付着し閉塞することを防止する目的で生石灰を加えて改質し、バックホウで均一化したものを採取し、試料とした。なお、ストーカ

表 1 試験に用いた処理対象物の r-Cs 濃度及び粒度分布

		r-Cs 濃度		粒度	分布
	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	Total	100 μm 残分	32 μm 残分
		(Bq/kg-乾	()	(mas	ss%)
流動床飛灰	3,740	23,500	27,200	21.9	55.6
ストーカ主灰	5,760	36,300	42,000	20.3	49.0
ストーカ飛灰	19,700	122,000	141,000	14.6	51.4
除去土壌	2,860	18,500	21,300	39.1	61.0

主灰は粒度が粗いためディスク型振動ミル (川崎重工社製、 T-100) で粉砕した。除去土壌は 105℃で乾燥後、ディスク 型振動ミルで粉砕した。流動床飛灰、ストーカ飛灰は有姿の 状態を試料とした。表1に処理対象物として用いた試料の r-Cs濃度、粒度分布 (100 μm残分、32 μm残分) を、表 2 に化学組成をそれぞれ示す。r-Cs濃度はゲルマニウム半導体 検出器(ミリオンテクノロジーズキャンベラ社製、GC1520、 以下断りがない限りr-Cs濃度の測定は本装置を使用)を用い て 100 mlのU8 容器に入れて 10 分間測定した。100 μm 残 分、32 µm 残分はエアジェットシーブ (ホソカワミクロン社製 e200LS) を用いて試料量を10gとし、吸引力2,500 Paで5 分間吸引後の重量変化から算出した。 化学組成はJIS R 5204:2002 に準拠し、試料に融剤を加えて、ガラスビード作 製装置(東京科学社製、TK-4100)を用いてガラスビードを作 製後、蛍光X線分析装置(リガク社製、ZSX-100e、以下蛍 光 X 線を用いた化学組成の測定は全て本装置を使用)を用い て検量線法で測定した。

# b) 反応促進剤

原料のC/S、CI/K、 $P_2O_5$ 量を調整するための添加剤(以下反応促進剤と称す)として、工業用生石灰粉末、塩化カルシウム粉末及びリン酸石灰粉末を用いた。表3に反応促進剤の粒度分布、化学組成を示す。100  $\mu$ m残分、32  $\mu$ m残分はエアジェットシーブを用いて処理対象物と同様の方法で測定した。生石灰粉末の化学組成は処理対象物と同様にJIS R5204:2002 に準拠し、ガラスビードを作製後、蛍光 X線分析装置を用いて検量線法で測定した。塩化カルシウムの塩素量は試料を硝酸で分解後、塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法で測定した。リン酸石灰粉末は試料を成型後、蛍光 X線分析装置を用いてファンダメンタルパラメーター法(以下FP法と称す)で測定した。

# c) 原料調合

反応促進剤の添加量を決定するためのパラメータとしてC/S及びCl/Kを用い、流動床飛灰、除去土壌を対象としてC/S(重量比)及びCl/K(モル比)を変えた原料を調合し、r-Cs除去特性の評価を行った。さらにストーカ主灰、ストーカ飛灰について、単味品及びこれらを所定の割合で混合したものに対して、反応促進剤を加え、r-Cs除去特性の評価を行った。なお、生成物の粉状化防止のため<sup>18,19)</sup>に、熱処理後の

表 2 試験に用いた処理対象物の化学組成

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	$P_2O_5$	Cl
					(mas	ss %)				
流動床飛灰	50.9	14.7	6.0	8.8	1.9	1.87	1.3	3.3	4.6	0.45
ストーカ主灰	59.6	13.5	5.1	4.7	1.8	0.10	1.6	3.1	5.1	0.00
ストーカ飛灰	43.5	15.1	4.9	15.1	1.4	3.38	1.4	2.4	1.3	4.54
除去土壌	50.4	12.8	3.5	12.1	0.9	0.25	1.5	2.2	0.5	0.00

表 3 反応促進剤の粒度分布及び化学組成

	粒度	分布		化学組成									
	100 μm 残分	32 μm 残分	$SiO_2$	${\rm Al_2O_3}$	$\mathrm{Fe_2O_3}$	CaO	MgO	$SO_3$	$Na_2O$	$K_2O$	$\mathrm{P_2O_5}$	Cl	
	(ma	ss %)					(mas	ss %)					
生石灰粉末	14.6	49.1	1.27	0.70	0.4	92.9	0.5	0.2	0.02	0.03	0.03	0.00	
塩化カルシウム粉末	-	-	-	-	-	33.9*	-	-	-	-	-	59.25	
リン酸石灰粉末	16.4	44.5	2.6	0.70	0.46	48.5	1.2	0.0	7.2	0.2	37.9	0.00	

\*Ca量

 $P_2O_5$ 量が 2.0%以上になるように必要に応じてリン酸石灰粉末を混合した。

表 4 に原料の調合割合を示す。水準 1 は流動床飛灰を処理対象とした水準であり、それぞれ水準 1-1 は流動床飛灰単味品、水準 1-2  $\sim$  1-6 は Cl/K を 1.1 として C/S を 1.2  $\sim$  2.5 まで変えた水準、水準 1-6  $\sim$  1-11 は C/S を 2.5 として Cl/K を 0.2  $\sim$  1.6 まで変えた水準である。水準 2 は除去土壌を

処理対象とした水準であり、それぞれ水準 2-1 は除去土壌単味品、水準  $2-2 \sim 2-4$  はCl/K を 1.1 としてC/S を  $1.2 \sim 2.0$  まで変えた水準、水準  $2-4 \sim 2-7$  はC/S=2.0 としてCl/K を  $0.2 \sim 1.1$  まで変えた水準である。水準 3 はストーカ主灰、ストーカ飛灰を処理対象とした水準であり、水準  $3-1 \sim 3-4$  はストーカ主灰及びストーカ主灰とストーカ飛灰を所定の割合で混合した試料について、C/S=2.0、Cl/K=1.1 となるように

表 4 電気炉試験に用いた調合原料

	X - EVW MOVIOUS (CHARLOW)											
			目根	票組成			原料	混合割合				
水準名	処理対象物	C	/S	Cl/K	$P_2O_5$	処理対象物	生石灰	塩化カルシウム	リン酸石灰			
		(重量比)	(モル比)	(モル比)	(mass%)		(m	nass%)				
水準 1-1		0.2	0.19	0.18	4.9	100	-	-	-			
水準 1-2		1.2	1.28	1.1	3.1	62.8	34.7	2.5	-			
水準 1-3		1.5	1.61	1.1	2.8	56.8	41.0	2.3	-			
水準 1-4		1.8	1.92	1.1	2.5	51.7	46.2	2.1	-			
水準 1-5		2.0	2.14	1.1	2.4	48.8	49.2	2.0	-			
水準 1-6	流動床飛灰	2.5	2.68	1.1	2.1	42.7	55.5	1.7	-			
水準 1-7		2.5	2.68	0.8	2.1	42.9	56.0	1.2	-			
水準 1-8		2.5	2.68	0.5	2.1	43.0	56.4	0.6	-			
水準 1-9		2.5	2.68	0.2	2.1	43.1	56.9	0.05	-			
水準 1-10		2.5	2.68	1.3	2.1	42.7	55.2	2.1	-			
水準 1-11		2.5	2.68	1.6	2.1	42.6	54.8	2.7	-			
水準 2-1		0.2	0.25	0.1	0.5	100	-	-	-			
水準 2-2		1.2	1.29	1.1	2.0	63.4	30.6	2.0	3.9			
水準 2-3		1.5	1.61	1.1	2.0	57.2	37.0	1.8	4.0			
水準 2-4	除去土壌	2.0	1.92	1.1	2.0	49.0	45.3	1.6	4.2			
水準 2-5		2.0	2.14	0.8	2.0	49.1	45.6	1.1	4.2			
水準 2-6		2.0	2.14	0.5	2.0	49.2	45.9	0.7	4.2			
水準 2-7		2.0	2.14	0.2	2.0	49.3	46.2	0.3	4.2			
水準 3-1	ストーカ主灰単味	2.0	2.14	1.1	2.2	43.7	54.4	2.0	-			
水準 3-2	ストーカ主灰 3 ストーカ飛灰 1	2.0	2.14	1.1	2.0	46.2	52.7	1.1	-			
水準 3-3	ストーカ主灰 2 ストーカ飛灰 1	2.0	2.14	1.1	2.0	47.2	51.8	0.7	0.3			
水準 3-4	ストーカ主灰 1 ストーカ飛灰 1	2.0	2.14	1.1	2.0	49.0	50.1	0.04	0.9			
水準 3-5	ストーカ飛灰単味	2.0	2.14	2.5	2.0	54.8	42.1	-	3.2			

調整した水準である。水準 3-5 はストーカ飛灰に対し、C/ S=2.0 となるように調整した水準であり、飛灰中に塩素が多く含まれていたことから塩素源は添加せず、結果的にCI/K は 2.5 となった。

# d) 熱処理方法

調合原料 50 gを 100 mlのアルミナるつぼに入れ、所定の温度に達した箱型電気炉(アサヒ理化社製、AMH-S)に投入し、1時間保持し、その後 1000℃まで冷却(約 30分間)して試料を取り出した。生成物が溶融し、るつぼから取り出せない場合には、るつぼを破砕し、生成物に付着したるつぼを剥離させたものを試料とした。

### e) 分析·評価

生成物のr-Cs濃度は、ディスク型振動ミルで粉砕後、ゲルマニウム半導体検出器を用いて100 mlのU8容器に入れて60分間測定した。生成物の化学組成をJIS R 5204:2002に準拠し、ガラスビードを作製後、蛍光 X 線分析装置を用いて検量線法で測定した。

# (2) 結果

# a) 流動床飛灰単味、除去土壌単味の r-Cs 除去特性

図2に流動床飛灰単味(水準1-1)及び除去土壌単味(水準2-1)を熱処理した場合の温度と生成物中のr-Cs濃度の関係

を示す。既存の文献<sup>17)</sup>などで報告されているように、流動床 飛灰単味、除去土壌単味を単純に 1000℃以上の高温で熱 処理してもr-Csは揮発せず生成物中に残留することが確認 された。

# b) 原料の C/S がセシウム除去特性に及ぼす影響

図 3 に処理対象物として流動床飛灰を用い、C/Sを変えて作製した水準  $1-2 \sim 1$ -6原料を熱処理した場合の、C/S、熱処理温度と生成物中の r-Cs 濃度の関係を示す。 いずれの水準についても温度 1200  $\mathbb{C}$  で生成物中の r-Cs 濃度は 1,000  $\mathbb{B}q/kg$ 程度となった。 さらに温度を 1250  $\mathbb{C}$  まで上げた場合、C/S=1.5 以上では r-Cs 濃度は  $200 \sim 400$   $\mathbb{B}q/kg$  程度と 1200  $\mathbb{C}$  の場合よりも低減されたが、C/S=1.2 の場合には 1200  $\mathbb{C}$  の場合よりもわずかではあるが r-Cs 濃度は増加した。 塩化セシウムの沸点(1297  $\mathbb{C}$ )より高い 1300  $\mathbb{C}$  まで上げると、C/S=1.8 以上の場合には r-Cs 濃度がさらに下がりクリアランスレベルである 100  $\mathbb{B}q/kg$  程度となったが、C/S=1.5 の場合には、1250  $\mathbb{C}$  のときよりもr- $\mathbb{C}$  濃度は増加した。 C/S=1.8 以上の場合に温度を 1350  $\mathbb{C}$  まであげると生成物中r- $\mathbb{C}$  濃度は 100  $\mathbb{B}q/kg$  以下となった。

温度を上げたことによりr-Cs 濃度が増加した、水準1-2(C/S=1.2) 1250℃、水準1-3 (C/S=1.5) 1300℃においては、図4に示すように生成物に光沢が見られ、溶融していると考

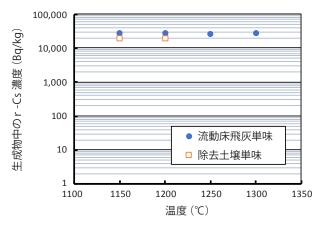


図 2 流動床飛灰、除去土壌を熱処理した場合の 生成物中の r-Cs 濃度

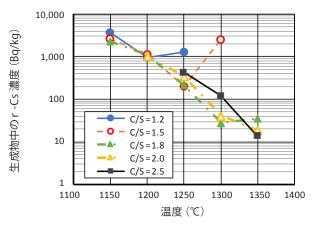


図3 C/S、熱処理温度と生成物中の r-Cs 濃度の関係 (処理対象物:流動床飛灰、Cl/K=1.1)



水準 1-2 1250℃



水準 1-3 1300℃ 図 4 生成物の外観



水準 1-4 1350℃

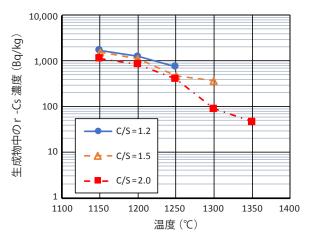


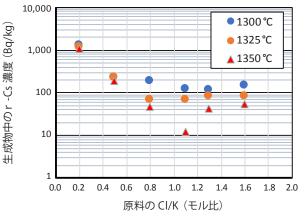
図 5 C/S、熱処理温度と生成物中の r-Cs 濃度の関係 (処理対象物:除去土壌、Cl/K=1.1)

えられた。一方、r-Cs 濃度が 100 Bq/kg以下となった水準 1-4 (C/S=1.8) 1350 ℃では焼き締まりはあったが光沢は見られず、溶融していなかった。したがって、生成物をクリアランスレベルである 100 Bq/kg以下まで低減するためには、塩化セシウムの沸点である 1297 ℃を超える温度で熱処理しても溶融しないよう、C/Sを上げることが重要と考えられた。

図 5 に処理対象物として除去土壌を用い、C/Sを変えて作製した原料 (水準 2-2 ~ 2-4) を熱処理した場合の、C/S、熱処理温度と生成物中のr-Cs濃度の関係を示す。除去土壌においてもC/S=1.2 では 1250°C、C/S=1.5 の場合には温度 1300°Cでは溶融し、r-Cs濃度が下がりにくくなる傾向にあり、100 Bq/kg以下とすることが困難であった。C/S=2.0 では温度 1350°Cで 100 Bq/kg以下となった。

以上より焼却灰、土壌いずれにおいても生成物中のr-Csを安定して100 Bq/kg以下にするためには、原料が溶融しないよう、C/Sを2.0程度まで上げて、1300℃を超える温度で熱処理することが必要と考えられた。

# (a) 流動床飛灰



# c) 原料中の塩素量が r-Cs 除去特性に及ぼす影響

次に原料中の塩素(以下CIと表記)が生成物中のr-Cs濃度に及ぼす影響について検討した。なお、CIはカリウム(以下Kと表記)とも結合すること、セシウムに対してKは多量に存在することから、CI添加量の指標としてCI/K(モル比)を使用した。図 6 (a)、(b) に処理対象物として流動床飛灰及び除去土壌を用い、CI/Kを変えて作製した水準  $1-6\sim1-11$ 、水準  $2-4\sim2-7$  を熱処理した場合のCI/K、熱処理温度と生成物中のr-Cs濃度の関係をそれぞれ示す。

流動床飛灰においてはCl/Kが0.5以下では1350°Cでも生成物は100 Bq/kg以下にならないのに対し、Cl/K=0.8以上で1325°C以上にすると生成物は100 Bq/kg以下となった。また、Cl/Kが1.1以上でも生成物を100 Bq/kg以下にできるものの、コスト、排ガス中の塩化水素濃度、生成物の用途などの観点から、Clの添加量を可能な限0少なくすることが好ましく、Cl/Kの適正値は0.8~1.1と判断された。

除去土壌を処理対象物とした場合においても流動床飛灰と比較すると低いCl/Kでも生成物中のr-Cs 濃度は低くなるが、生成物を安定して100~Bq/kg以下にするためにはCl/Kが $0.8 \sim 1.1$ にすることが好ましいと考えられた。

# d) ストーカ主灰、ストーカ飛灰及びその混合物の r-Cs 除去特性

流動床飛灰、除去土壌の結果に基づき、ストーカ主灰、ストーカ飛灰及びその混合物についてC/S=2.0、Cl/K=1.1になるように原料を作製し、r-Cs除去特性の評価を行った(水準3-1~3-4)。ただし、ストーカ飛灰100%である水準3-5においてはもともとのCl量が多いことから塩素源を添加しなかった。結果としてCl/Kは2.5となった。図7にストーカ飛灰の混合割合、熱処理温度と生成物中のr-Cs濃度の関係を示す。熱処理温度1300℃では生成物中のr-Cs濃度は100 Bq/kgを超過するものの、1350℃まで上げることによりストーカ主灰、ストーカ飛灰いずれにおいても、生成物中のr-Cs濃度を100 Bq/kg以下にできることが確認された。

# (b) 除去土壌

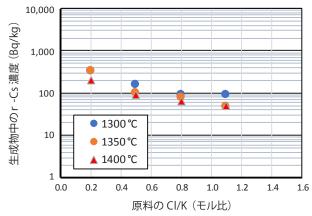


図 6 CI/K、熱処理温度と生成物中の r-Cs 濃度の関係

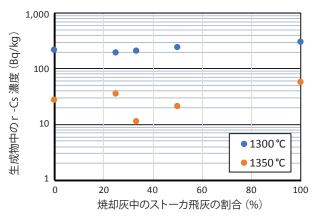


図7 焼却灰中のストーカ飛灰の割合、熱処理温度と 生成物中の r-Cs 濃度の関係

# (3) ラボ試験結果まとめ

電気炉を用いたラボ試験により、処理対象物として流動床 飛灰、ストーカ主灰、ストーカ飛灰、除去土壌いずれを用い た場合においても各種反応促進剤を加えて塩化セシウムの沸 点である1297℃でも原料が溶融しないようC/S(重量比)を 2.0程度まで上げ、r-Csを塩化揮発させるためCl/K(モル比) を 0.8~1.1 となるように調整した後、1297℃を超える温度 で熱処理することにより、生成物中のr-Csをクリアランスレ ベルである100 Bq/kg以下にできることが確認された。資材 化実証試験においては本条件を基本とし、処理対象物ごとにC/Sなどを変更して試験を実施した。

### 3. 資材化実証試験

資材化実証試験では種類、r-Cs 濃度などが異なる処理対象物を用いた試験(以下それぞれの試験をRUNと称す)を計26回実施した $^{20}$ 。運転を積み重ねていくことにより除去土壌、焼却灰いずれを処理した場合においても安定して生成物を100 Bq/kg以下にできる適正な原料組成及び運転方法を確立した。さらに後半の3回の試験(RUN24  $\sim$  26)において、除去土壌、ストーカ主灰、流動床飛灰それぞれを処理対象物にした場合について200時間程度の運転を実施し、式(1)(2)で示した計算式により算出した生成物の良品率やr-Cs 汚染物の減量率の評価を行った。本報告ではRUN24  $\sim$  26 の試験結果について報告する。

良品率 = (1-100 Bq/kg 以上の生成物量 / 全生成物量)×100 .....(1)

減量率 = (1-副産物発生量 / 処理対象物使用量)×100 ····(2)

# (1) 設備フロー

図8に資材化実証施設の設備フローを示す。飯舘村内の 仮置場に保管された除去土壌及び隣接する仮設焼却炉で発 生したストーカ主灰、流動床飛灰を乾燥機及び粉砕機で水

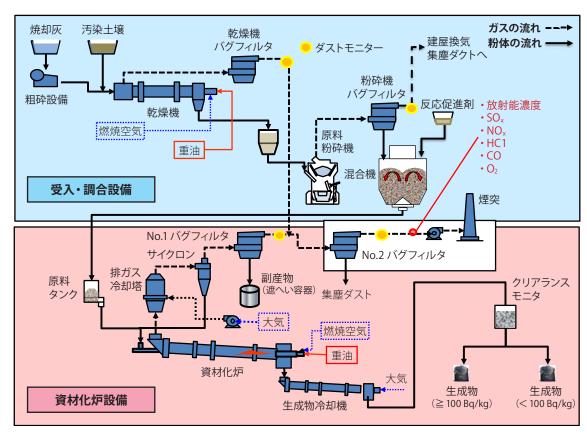


図8 資材化施設設備フロー

分量 2%以下、100 μm残分が 25±5%程度になるように乾燥・粉砕後、原料混合機に投入した。 さらに別系統から表 3 に示した工業用生石灰粉末、塩化カルシウム粉末などの反応促進剤を投入し、圧縮空気を用いて原料を混合し、調合原料とした。

調合原料を資材化炉(レンガ内径1 m、長さ15 m)に送入し、重油バーナを用いて熱処理した。生成物は冷却機で冷却後、クリアランスモニタで生成物のr-Cs濃度を測定し、生成物を100 Bq/kg以下と100 Bq/kg超に振り分け、それぞれフレキシブルコンテナ内に保管した。

一方、気化した r-Cs は冷却塔で 200℃以下まで空冷し、サイクロンで粗粒を除去した後、バグフィルタで副産物として回収した。 なお、r-Cs はバグフィルタで 99.9%以上除去できることが実証されている<sup>21)</sup>が、万全を期すためバグフィルタを 2段化した。最終排ガス中の放射能濃度を定期測定することに加えて、バグフィルタ入口のガス温度、バグフィルタ出口の r-Cs 濃度、煤塵濃度を連続モニタリングすることにより常時監視した。r-Cs を含む副産物は圧縮成型した後、1 m³の特殊コンクリート製容器に封入して保管した。副産物を保管した 1 m³容器は鋼繊維補強コンクリートの細孔にポリマーを含浸・重合させたコンクリート (SFPIC: Steel Fiber reinforced Polymer Impregnated Concrete) <sup>22)</sup>を構造材料に使用した特殊コンクリート製容器であり、普通コンクリートに比べ強度、気密性、化学的安定性などに優れる。

# (2) 試験方法

# a) 原料調合

表 5 にRUN24~26 の運転に使用した処理対象物の r-Cs 濃度と使用量を示す。 さらに RUN23 までに発生した、

表 5 試験に用いた処理対象物の種類、r-Cs 濃度、 使用量 (RUN24 - RUN26)

	処理対象物	r-Cs 濃度 (Bq/kg-湿)	使用量 (t)
RUN24	除去土壌	11,100 ( 8,600 ~ 18,000)	15.6
RUN25	ストーカ主灰	34,700 (20,000 ~ 56,000)	19.8
RUN26	流動床飛灰	37,600 (25,000 ~ 44,000)	16.9

100 Bq/kgを超える生成物(以下規格外品と称す)及び設備 の立上げ・立下げ時などに排出された耐火物やタンク、配管 などに付着した原料(以下炉内堆積物と称す)なども粉砕して 処理対象物に添加した。 なお、本試験ではRUNごとに設 備の立上げ・立下げを行ったため、炉内堆積物が多く発生し、 原料に占める炉内堆積物の割合が多くなったが、事業化の際 には設備の立上げ・立下げが大幅に減少し、それに伴い炉内 堆積物の量も減少すると推測される。 これらに対し、生石灰 粉末、塩化カルシウムなど、表3で示した反応促進剤を所定 の化学組成になるように投入し、原料混合機で混合して調合 原料とした。原料混合後、原料混合機から3点以上採取し、 r-Cs濃度、化学組成を確認した。表6に調合原料のr-Cs 濃度、化学組成、C/S及びCl/K(いずれも平均値)を示す。 r-Cs濃度はゲルマニウム半導体検出器を用いて100 mlの U8容器に入れて10分間測定した。化学組成はJISR 5204:2002 に準拠し、ガラスビードを作製後、蛍光X線分 析装置を用いて検量線法で測定した。なお、処理対象物ご とに溶融しやすさなどが異なり、運転に与える影響も異なっ たため、処理対象物ごとに生石灰粉末の混合量などを変更 し、溶融しやすいストーカ主灰、流動床飛灰では除去土壌よ りもC/Sを高い値とした。

### b) 資材化実証試験

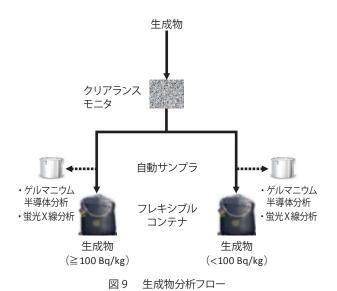
クリアランスモニタで測定される生成物のr-Cs濃度及び 炉内監視カメラなどにより判断される炉内壁へ付着した原料溶融物 (以下コーチングと称す) の厚さなど運転状況に応じて、原料送入量、炉回転数、重油量などを調整し、運転を行った。

# c) 分析·評価

生成物の分析フローを図9に示す。生成物はクリアランスモニタで約40kgごとにr-Cs濃度を測定した。クリアランスモニタはモニタタンク内に生成物を投入し、重量計を用いて重量を測定後、円筒計 φ3"×t3"NaI(T1)シンチレーション検出器を用いてγ線を測定する方法によりr-Cs濃度を算出し、バックグランドの測定時間及び生成物の測定時間をいずれも3分とした。さらにクリアランスモニタ通過後の生成物を自動サンプラで20分ごとにサンプリングし、フレキシブルコンテナ交換のタイミングで回収した後、粗粉砕機で5mm以下程度に粗粉砕後、2Lマルネリ容器に入れて、ゲルマニ

表 6 調合原料の r-Cs 濃度、化学組成及び諸率 (RUN24-26)

	to order to de sit	C ## ##					化学	組成					諸	率
	処理対象物 種類	r-Cs濃度 (Bq/kg)	SiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO (mas	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	$P_2O_5$	C1	C/S (重量比)	Cl/K (モル比)
RUN24	除去土壌	5,300	23.5	6.63	1.99	49.2	0.89	0.29	0.41	0.84	1.75	0.73	2.1	1.2
RUN25	ストーカ主灰	8,300	20.0	4.54	1.77	57.1	0.93	0.39	0.17	1.37	1.53	1.20	2.9	1.1
RUN26	流動床飛灰	11,600	21.0	5.19	1.90	54.7	0.95	0.79	0.25	1.28	1.77	1.06	2.6	1.1



ウム半導体検出器を用いて20分間測定した。 また、生成物の化学組成をJIS R 5204:2002 に準拠し、ガラスビードを作製後、蛍光 X 線分析装置を用いて検量線法で測定した。

r-Csが濃縮した副産物を8時間ごとに採取し、r-Cs濃度及び化学組成を測定した。r-Cs濃度は試料をU8容器に約30g入れ、ゲルマニウム半導体検出器を用いて10分間測定した。化学組成は試料を加圧成型後、蛍光X線分析装置を用いてFP法で測定した。

最終排ガスは月1度、運転安定後に「放射能濃度等測定方法ガイドライン(平成25年3月第2版)」に準拠し、No.2 バグフィルタ出口より4時間採取し、r-Cs 濃度の測定を行った。測定はゲルマニウム半導体検出器(セイコー・イージーアンドジー社製、SEG-EMS)を用い、ろ紙部はU8容器で25分(1,500秒)、ドレン部は2Lマルネリ容器で25分(1,500秒)測定した。検出限界値は測定ごとに変わり、粉じんで0.1~0.2  $Bq/m^3$ 、吸収液で0.4~0.5  $Bq/m^3$ であった。さらに、JIS Z8808:2013 に準拠してばいじん濃度を、JIS K0103:2013付属書JCイオンクロマトグラフ法に準拠して硫黄酸化物濃度を、JIS K0104:2011イオンクロマトグラフ法に準拠して窒素酸化物濃度を、JIS K0107:2012付属書Aイオンクロマトグラフ法に準拠して塩化水素濃度をそれぞれ測定した。

# (3) 試験結果

### a) 運転状況及び生成物

表 7 に RUN24 ~ 26 における資材化炉の運転条件及び生成物の r-Cs 濃度を示す。図 10 に資材化実証試験の一例として処理対象物にストーカ主灰を用いて運転した RUN25 の原料送入量、炉回転数、重油量、炉内温度及び生成物の r-Cs 濃度の推移を示す。生成物の r-Cs 濃度及び炉内のコーチングの付着状況に応じて、原料送入量、炉回転数、重油量などを調整し、運転を行った。ストーカ主灰、流動床飛灰処理の運転では除去土壌処理時よりも重油量を増やし、1300  $^{\circ}$  以上の温度で焼成した。その結果、コーチングが脱落したときに生成物の r-Cs 濃度が 100 Bq/kg以上にあがる場合はあるものの、それ以外では安定してクリアランスレベルである100 Bq/kg以下となり、いずれの水準でも良品率が 95%以上となった。

# b) 副産物

表8に処理対象物・副産物のr-Cs濃度及び汚染物の減量率を示す。副産物のr-Csは200,000~300,000 Bq/kgに濃縮され、RUN24~26における減量率(平均値)は90.6%となった。表9にRUN24~26における副産物の化学組成をそれぞれ示す。副産物中にはK2OやClなどの揮発成分に加えて、CaOなど、原料の飛散に由来する不揮発成分が20~50%程度含まれていた。副産物中に含まれる飛散原料の量は、炉内の流速やサイクロンでの粗粒分の分級の程度によって変化し、炉内の流速が速くなると、飛散原料も多くなる。炉内の流速は設備規模によって変化し、設備規模が小さくなると、放散熱割合が大きくなり、必要熱量を得るための燃料原単位が増加し、燃焼ガス量が増加するため、炉内の流速が大きくなる。過去の同様な施設での運転実績から判断して、実用化規模においては副産物発生量は低減すると推察される。

# c) 最終排ガス

表 10 に最終排ガスのr-Cs 濃度、煤塵濃度、硫黄酸化物 濃度、窒素酸化物濃度及び塩化水素濃度を示す。いずれの 運転においてもr-Cs 濃度は検出限界値以下となった。また、 硫黄酸化物濃度、塩化水素濃度が高い場合には、後段バグ フィルタの前に酸性ガス処理剤を吹き込むことを想定していた

	60 TU + 1. 65 H/m		生成物					
	処理対象物 種類	原料送入量 (kg/h)	炉回転数 (rph)	重油使用量 (L/h)	炉内温度 (℃)	運転時間 (H)	r-Cs 濃度 (Bq/kg)	良品率 (%)
RUN24	除去土壌	290 ~ 350	80 ~ 95	70 ~ 75	1250 ~ 1300	189	10 ~ 99	99
RUN25	ストーカ主灰	290 ~ 330	$90 \sim 95$	$75 \sim 85$	$1300 \sim 1350$	208	7 ~ 34	99
RUN26	流動床飛灰	280 ~ 300	$80 \sim 90$	$75 \sim 85$	$1280{\sim}1330$	221	9 ~ 46	95

<sup>\*</sup>良品率 = (1-100 Bq/kg 以上の生成物量 / 全生成物量)×100

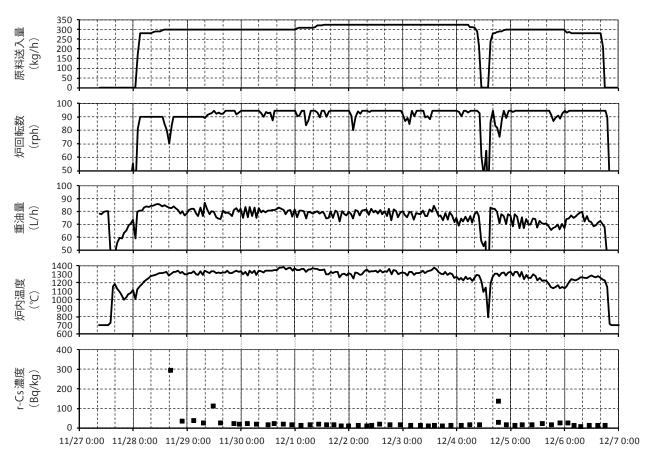


図10 運転条件及び生成物中の r-Cs 濃度の推移 (RUN25、ストーカ主灰処理)

表8 処理対象物・副産物の r-Cs 濃度及び汚染物の減量率・濃縮率 (RUN24-RUN26)

	処理対象物種類	処理対象物中の r-Cs 濃度 (Bq/kg)	副産物中の r-Cs 濃度 (Bq/kg)	減量率 * <sup>1</sup> (%)
RUN24	除去土壌	11,100	190,000	90.2
RUN25	ストーカ主灰	34,700	233,000	91.4
RUN26	流動床飛灰	37,600	286,000	90.2

<sup>\*1</sup> 減量率 = (1- 副産物発生量 / 処理対象物使用量) ×100

表 9 副産物の化学組成 (RUN24-RUN26)

	処理対象物 種類	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO		Na <sub>2</sub> O (mass %)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C1	不揮発成分*1	揮発成分*2
RUN24	除去土壌	6.26	4.04	1.49	30.1	0.48	4.88	7.46	20.9	0.79	22.9	43.1	56.2
RUN25	ストーカ主灰	1.41	0.64	0.40	16.9	0.22	6.83	8.96	31.9	0.27	31.6	19.8	79.3
RUN26	流動床飛灰	2.54	1.08	0.65	22.3	0.32	9.03	7.53	28.8	0.43	26.5	27.3	71.8

<sup>\*1</sup> 不揮発成分: SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

が、吹き込みを行わなくても、いずれも基準値を大幅に下回った。硫黄酸化物及び塩化水素ガスが飛散原料中のCaOと反応して石膏及び塩化カルシウムとなり、副産物として回収されたと考えられる。

# d)物質量および r-Cs の挙動

図11にRUN24~26における処理対象物、生成物、副産物などの物質量の割合を示す。インプットである調合原料を100%とした場合、そのうち処理対象物などが49.5%、生石灰などの反応促進剤が約50.5%であった。アウトプット

 $<sup>*^2</sup>$  揮発成分: SO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + Cl

	加亚基金粉	粉じん中 r	Cs 濃度	吸収液中	r-Cs 濃度	- 煤塵濃度	硫黄酸化物	窒素酸化物	塩化水素
	処理対象物	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	床座仮皮	濃度	濃度	濃度
	種類	(Bq/	$m^3$	(Bq	$(Bq/m^3)$		(volppm)	(volppm)	$(mg/m^3N)$
RUN24	除去土壌	ND*1 (<0.18)	ND (<0.17)	ND (<0.40)	ND (<0.49)	<0.001	2.7	28	<1
RUN25	ストーカ主灰	ND (<0.17)	ND (<0.17)	ND (<0.47)	ND (<0.36)	0.002	1.7	62	<1
RUN26	流動床飛灰	ND (<0.15)	ND (<0.14)	ND (<0.31)	ND (<0.38)	<0.001	4.5	48	<1
管理	里基準値	连準值 <sup>134</sup> Cs/20 + <sup>13</sup>				0.25 以下	420以下	180以下	700以下

表 10 施設運転時の最終排ガスの r-Cs、煤塵、硫黄酸化物、窒素酸化物及び塩化水素濃度 (RUN24-26)

に関しては、規格外品を含めた生成物が約75%であり、副産物が約3%、最終排ガスから排出される水分や二酸化炭素などが約15%、1週間程度の運転において設備内に堆積したコーチングなどが約7%であった。

図 12 にRUN24 ~ 26 におけるr-Cs の挙動を示す。 アウトプットのr-Cs のほとんどが副産物に含まれており、その割合は約 82% であった。 その他に炉内堆積物などが約 18% で、生成物中にはほとんど含まれておらず、その割合は約 0.3% であった。

# 4. まとめ

環境省委託事業として実施した飯舘村蕨平における放射性物質の分離による焼却灰及び汚染土壌の資材化に関する実証調査業務において、より規模の大きい仮設資材化施設を用いて200時間程度の運転を実施することにより、平衡状態に達したと考えられる条件で100 Bq/kg以下となる生成物の割合(良品率)、副産物の減量率及び最終排ガス中のr-Cs濃度などの評価を行った。得られた結果を以下に示す。

事前に行った電気炉を用いたラボ試験により、処理対象物として流動床飛灰、ストーカ主灰、ストーカ飛灰、除去土壌いずれを用いた場合においても各種反応促進剤を加えて原料のC/S(重量比)を2.0程度まで上げ、

Cl/K (モル比)を  $0.8 \sim 1.1$  となるように調整し、 1300  $^{\circ}$   $^{\circ}$  以上の温度で熱処理することにより生成物中の r - Cs をクリアランスレベルである 100 Bq/kg 以下にできることが確認された。

- 実証試験においても処理対象物ごとにC/Sを調整し、 運転方法を適正化したことにより、ストーカ主灰、流動 床飛灰、除去土壌いずれの場合においても安定して生 成物を100 Bq/kg以下にでき、良品率95%以上を達 成した。
- 気化したr-Csはバグフィルタで回収され、減量率(平均値)は90.6%となった。
- 排ガス中のr-Cs 濃度は検出限界値以下となり、煤塵濃度、硫黄酸化物濃度、窒素酸化物濃度、塩化水素濃度も排ガス処理剤などを吹き込まない場合にも管理基準値をクリアした。

# 参考文献

1) 平成 28 年 4 月 「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略」環境省 HP (http://josen.env. go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative\_commission\_text.pdf), 2018 年 12 月 20 日閲覧.

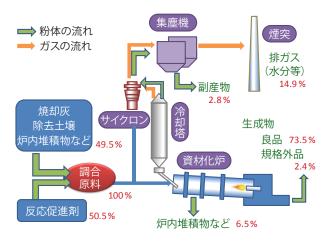


図 11 物質量(RUN24-26)

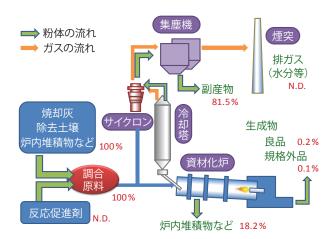


図 12 r-Cs 挙動 (RUN24-26)

<sup>\*1</sup> 測定結果が検出限界値未満であった場合は「ND」と表示

<sup>\*2</sup> 放射能濃度等測定方法ガイドライン (平成25年3月第2版)

- 2) 本間健一, 高野博幸, 三浦啓一, 佐々木忠志, 木村 武, 万福裕造: 放射性セシウムで汚染された土壌からの熱処理によるセシウム除去. 粘土科学, **52**, 71-73 (2014).
- 3) 本間健一,三浦啓一,佐々木忠志,木村 武,万福裕造, 真保 崇:放射性物質汚染土壌からの乾式 Cs 除去技術 の開発.全国都市清掃,5月号,51-55(2013).
- 4) 山本博英:下水汚泥等に含まれる放射性物質の乾式処理技術.季刊水すまし、No.150、74-76 (2016).
- 5) 本間健一,田中宜久,石田泰之,高野博幸,山本博英,宮内千里,後藤菊次:乾式 Cs除去技術で生成する浄化処理物の各種土工資材評価.第35回全国都市清掃研究・事例発表会,V-112,pp.330-332 (2014).
- 6) 本間健一, 高野博幸, 小林 航, 佐々木忠志, 高橋祐 司, 信濃卓郎, 八田珠郎, 万福裕造, 碓井次郎: 乾式 Cs 除去技術の概要と飯舘村蕨平における仮設資材化実 証調査委託業務について. 環境放射能除染学会誌, **4**, 165-172 (2016).
- 7) 常世田和彦,山田一夫,本間健一,市村高央,石田泰 之,高野博幸,万福裕造,大迫政浩:焼成技術を活用 した汚染土壌の再利用に関する研究. 環境放射能除染 学会誌,**6**,63-72 (2018).
- 8) 竹田尚弘,小倉正裕,藤原 大,倉持秀敏,大迫政浩:加熱化学処理法による土壌・粘土鉱物からのセシウム 揮発除去と揮発メカニズムの推定.環境放射能除染学 会誌,4,303-312 (2016).
- 9) 藤原 大, 倉持秀敏, 竹田尚弘, 小倉正裕, 大迫政浩: 加熱化学処理法による焼却主灰からの放射性セシウム 除去および除去メカニズムの推定. 環境放射能除染学会誌, **6**, 3-16 (2018).
- 10) 下山 巌, 本田充紀, 小暮敏博, 馬場祐治, 矢板 毅, 岡本芳浩: セシウムフリー鉱化法を用いた汚染土壌の除 染における塩化物の添加効果. 第6回環境放射能除染研究発表会要旨集, p.3 (2017).
- 11) 下山 巌, 小暮敏博, 奥村大河, 馬場祐治: セシウムフ リー鉱化法を用いた土壌除染における塩化物反応剤と 低圧環境の相乗効果. 第7回環境放射能除染研究発 表会要旨集, p.9 (2018).
- 12) 釜田陽介, 佐藤 淳, 上林史郎, 阿部清一: 溶融に伴う 都市ごみ及び下水汚泥焼却灰中のセシウムの揮散特性 に関する基礎研究. 環境放射能除染学会誌, **2**, 3-11 (2014).
- 13) 釜田陽介, 阿部清一, 川本克也, 由井和子, 倉持秀敏, 大迫政浩:溶融技術による土壌等からのセシウム熱分 離に関するプラント実証試験評価. 環境放射能除染学 会誌, **3**, 49-64 (2015).

- 14) 倉持秀敏, 大迫政浩, 野田康一, 伊藤浩平, 鈴木 浩, 吉本雄一, 吉元直子, 永田俊美, 越田 仁:シャフト式 ガス化溶融施設における放射性 Cs の挙動と Cs 揮発促 進剤の添加効果. 第6回環境放射能除染研究発表会 要旨集, p.5 (2017).
- 15) 倉持秀敏,野田康一,伊藤浩平,由井和子,大迫政浩, 鈴木浩,吉本雄一,永田俊美,真名子一隆,吉元直 子,越田仁,高岡昌輝:廃プラを含む除染廃棄物等 のシャフト式ガス化溶融処理における放射性セシウムの 挙動.第7回環境放射能除染研究発表会要旨集,p.39 (2018).
- 16) 原田幸明: 溶融塩法による土壌からのセシウムの抽出. ケミカルエンジニアリング, **59**, 84-89 (2014).
- 17) 日本原子力研究開発機構 福島支援本部環境支援部 人 形峠環境技術センター,東海研究開発センター 核燃 料サイクル工学研究所 再処理技術開発センター ガラス 固化技術開発部,研究開発センター 核燃料サイクル工 学研究所 放射線管理部環境監視課:土壌の原位置加 熱による放射性セシウムの除去可能性の検討. JAEA Research 2011-026,74p. (2011).
- 18) H.F.W.Taylor, "CEMENT CHEMISTRY," 2nd Edition, Thomas Telford, Wiltshire 13-16, London, ISBN072772592, http://dx.doi.org/10.1680/cc.25929.
- 19) 鈴木一孝, 荘野英一, 酒井陸夫: B, V および P により安定化された $\alpha'$ - $Ca_2SiO_4$ . セメント技術年報, **22**, 22-26 (1968).
- 20)「飯舘村蕨平地区における仮設資材化実証事業の稼働状況」環境省 HP (http://shiteihaiki.env.go.jp/initiatives\_fukushima/waste\_disposal/iitate/materials\_warabidaira, html), 2018年12月20日閲覧.
- 21)「放射性物質を含む廃棄物の適正な処理処分(技術資料)第4版」国立環境研究所 HP (http://www.nies.go.jp/fukushima/act-pg1-01.html#result),2018年12月20日閲覧。
- 22) 荒木邦夫, 満木泰郎, 進士義正, 石崎寛治郎, 峰岸敬一, 須藤儀一: PIC Container for containment and disposal of low and intermediate level radioactive wastes (低・中レベル放射性廃棄物の処理・処分用 PIC 容器). 日本原子力研究所報告書 JAERI-M 9389, 13p. (1981). (論文の言語は英語).

2019年5月 5日受付 2019年7月16日受理 (第7回研究発表会 座長推薦論文)

# Vol.7, No.4, 2019 / 環境放射能除染学会誌

# 和文要約

環境省委託事業として飯舘村蕨平地区において飯館村内の除去土壌および、隣接する焼却炉で発生する焼却灰を熱処理し、土工資材として再生利用できるレベルまで放射性Csを除去させる技術の実証試験を実施した。事前に電気炉にて検討した結果、除去土壌、流動床飛灰、ストーカ主灰・飛灰いずれにおいても原料の $CaO/SiO_2$ 比(重量比)を 2.0以上、Cl/K比(モル比)を  $0.8 \sim 1.1$  として、1300 C以上で熱処理することで、生成物中の放射性Cs 濃度をクリアランスレベルである 100 Bq/kg以下にできることを確認した。仮設資材化炉を用いた試験においても、除去土壌、ストーカ主灰、流動床飛灰いずれの場合にも、C/S を調整することにより生成物の 95%以上を安定して 100 Bq/kg以下にできることを実証した。放射性Cs 汚染物の 90.6% が減量されること、最終排ガスからの放射性Cs 濃度が検出限界値以下となることも実証した。



