

放射性Csを含む除去土壌等の熱処理 に関する技術評価

除染・減容化のあり方に関するWG
放射性Csを含む除去土壌等の熱処理
に関する技術評価SG

除染・減容化のあり方に関するWG 放射性Csを含む除去土壌等の熱処理 に関する技術評価SG名簿

氏名	所属
大迫 政浩	国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター センター長
倉持 秀敏	国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 室長
保高 徹生	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門 主任研究員
万福 裕造	国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター 企画調整部 情報広報室 技術促進科長
阿部 清一	国立研究開発法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 客員研究員

資料提供協力

太平洋セメント、神鋼環境ソリューション、クボタ、三菱マテリアル、
産総研ナノ材料研究部門

本資料の位置づけ

本資料では、除去土壌・焼却灰の加熱処理の技術について、現段階で収集可能な公表情報、企業等から提供された情報を元に構成をしている。

これらの試験に用いた土壌種類、対象としたCs（安定Cs・放射性Cs）、もしくは試験条件が異なり、小規模な試験結果およびその結果に基づく推定値が含まれている。

そのため、現状では各方法の比較等は難しいものの、分級処理の適用が難しい粘性土、焼却灰の減容化が可能なこと、さらに90%~99%以上（土壌の場合）の除去効率、元重量の1/10以下に減容・減量できるなどの特徴がある。

加熱処理技術を適用した結果得られる浄化物は、コンクリート用骨材、路盤材、盛土材等として各種規格等を満足することを確認しており、品質の観点からは再生利用できる。

さらに、これらの技術は、廃棄物処理や汚染土壌処理の分野で実績のある既存技術の組み合わせであることから、技術的な成熟度は高い。

これらの技術の適用については、コストや目標とする浄化物濃度、有効利用先、さらには濃度に応じた濃縮物の管理方法等も含めた総合的な判断が必要であるが、超減容化が必要な場面において適用可能と考えられる。

1 : 熱処理の概要

- ❖ 土壌、焼却灰等の熱処理には、熔融状態まで達するか否かで分類でき、**焼成法**と**熔融法**に大別される。さらに焼成法は、1300℃以上の高温で焼き固める方法や、1100℃程度の低温でほぼ土壌の性状を残す方法等がある。いずれも添加剤を加えて加熱する。これらの手法は、加熱温度、添加剤が異なるが、いずれの手法で得られる浄化物も再生利用可能であり、90%以上のCs除去効率を有する。
 - ❖ **焼成法**：添加剤を加え、回転炉で1時間以上1000～1300℃程度に加熱をすることで、土壌等のCs吸着サイトの結晶構造を変化させることにより、Csを土壌構造から分離させ、Csを塩化物として気化除去する。濃縮物としてはいじん（飛灰）が発生し、浄化物としてコンクリート用骨材、路盤材、盛土材等に利用できる砂礫が得られる。
 - 低温：1000～1100℃程度で熱処理を行う。Cs除去率は約90～98%であり、得られる浄化物は処理前と同程度の粒度分布の砂礫である。
 - 高温：1300℃程度で熱処理を行う。Cs除去率は99.9%であり、得られる浄化物は再利用の用途に応じた粒度・品質に作り分けることができる。
 - ❖ **熔融法**：添加剤を加え、熔融炉で土壌が熔融する1400℃以上・・・分で加熱し、土壌構成鉱物の結晶構造を破壊するとともに、熔融初期の段階で、土壌構造から分離させCsを塩化物として気化除去する。濃縮物としてははいじん（飛灰）が発生し、浄化物としてはスラグが得られる。
- (参考) 土壌、焼却灰を対象とした熔融法以外に、金属を対象とした熔融法もある。金属を対象とした熔融の場合、加熱温度が1600℃程度（鋼材の場合）であり、金属に付着したCsをクリアランスレベルまで除去できる。

2 : 土壌熱処理技術例と濃縮率等

- 放射性Csの浄化率は約90%~99.9%以上、減容率は4%~10%である。
- 浄化物は、土木資材として利用しやすい物理化学性を有している。
- 本技術では濃縮物としてばいじんが発生する。これらは濃度や性状、減容化の有無に応じて、放射性廃棄物用容器等での保管、また、減容処理（熱処理／飛灰洗浄後PB吸着等）等がなされる。

表 実証・試験適用事例と濃縮率等

名称	焼成法（高温）	焼成法（低温）	溶融法
試験条件 (加熱温度 + 添加剤種類・量)	1,300℃以上で転動加熱 添加剤（処理対象物の80~150%）	1000~1100℃ 添加剤2種、土壌の50~120% 加熱時間：1時間以上、空気雰囲気	1400℃ CaCl ₂ + Ca(OH) ₂ 処理対象物灰分の61%、54%
試験条件・ 土壌性質	農地土壌 放射性Cs 最大67,000Bq/kg以上	粘土質土(水田)、砂質土(畑、宅地) 事故由来放射性Cs	安定Cs ①模擬土壌（草木類乾ベース30%含） ②もぐ土壌70%+バイオ灰30%
濃縮率（濃縮物Cs濃度 /元土壌Cs濃度）	20倍 (1,120,000Bq/kg/56,000Bq/kg)	10~20倍 (バグダスト洗浄・吸着無の場合) (元土壌Cs濃度、添加剤量により変動)	①13.8倍 (0.13%→1.93%) ②12.9倍 (0.14%→1.8%)
減容率（濃縮物重量 /元土壌重量）	5%以下 焼成原料中の揮発成分量より推定	10%以下(添加剤量により変動)減容率 =100-(濃縮物重量/元土壌重量*100) で計算	①5.1% (106.2kg dry→5.5kg dry) ②6.9% (114.4kg dry→7.9kg dry)
濃縮物性状	ばいじん (バグフィルター捕捉)	ばいじん (バグフィルター捕捉)	ばいじん (二段バグフィルターの前段補足)
浄化率 (1-(浄化物Cs 濃度/元土壌Cs濃 度))	99.9%以上 (19Bq/kg以下/56,000Bq/kg)	89-98%	①94.5% ②97.6%
浄化物性状	砂礫状 (コンクリート用骨材、路盤材、盛土 材等としての各種規格を満足すること を確認済み。)	土砂代替資材 (第2種建設発生土相 当)	ガラス質スラグ粒度調整後コンクリ ート用骨材、路盤材、盛土材等土木資材 として利用可能
出典 (公開・非公開 効果含め)	<ul style="list-style-type: none"> ・ JAEA 福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証事業【除染技術実証試験事業編】報告書 (2012) ・ JATAFFジャーナル Vol.1, No.4, p.44-51 (2013) ・ 都市清掃 Vol.66, No.313, p.51-55 (2013) ・ 特許5159971号 ・ 除染技術探索サイトT-00019(2013) 	<ul style="list-style-type: none"> 神鋼環境ソリューション技報Vol.9, No.2, p.15-20(2013) 同Vol.10, No.2, p.P.2-9(2014) 特許第5175995号(2013) 除染技術探索サイトT-00033(2013) 第3回環境放射能除染研究発表会要旨集P.135(2014) 	<ul style="list-style-type: none"> 国立環境研究所委託研究 「草木類を含む土壌及び バイオマス系焼却灰等の溶融処 理試験業務平成25年度 報告書」(非公開) 環境放射能除染学会誌、vol 3、NO.2 (2015) 第3回環境放射能除染研究発表会要旨集 (2014)

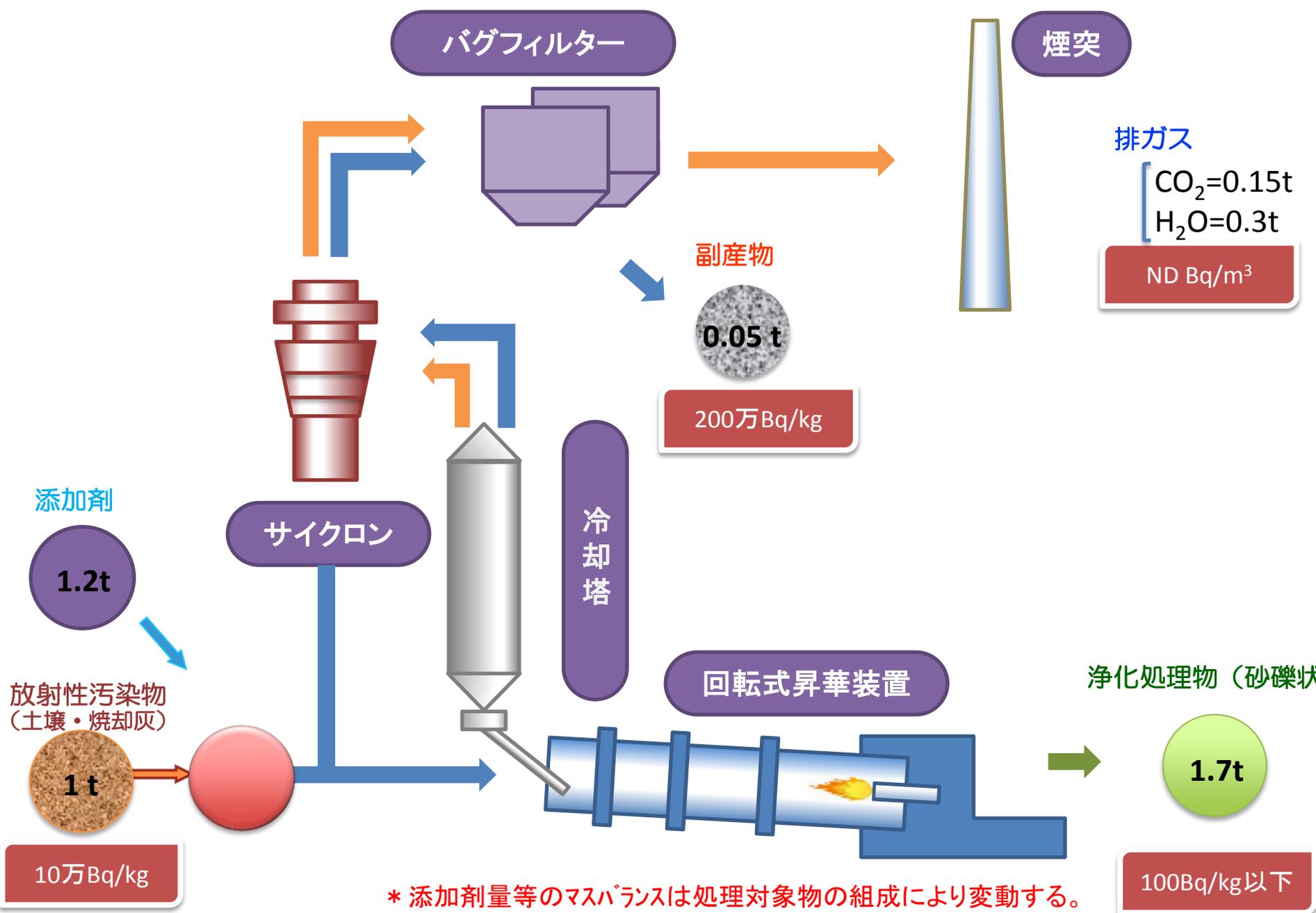
3 : 焼却灰（主灰・飛灰）－熱処理技術例と濃縮率等

- 焼却灰の熱処理は、飛灰・主灰に適用可能であるが、灰の種類により浄化効率が異なるという研究事例もあり、今後の更なる知見の蓄積が必要である。
- 既存の試験結果から得られた、放射性Csの濃縮率が7-17倍、浄化率は約80%~99.9%以上、減容率は5%~15%以下である。
- 浄化物は、土木資材として利用しやすい物理化学性を有している。
- 本技術では濃縮物としてばいじんが発生する。これらは濃度や性状、減容化の有無に応じて、放射性廃棄物用容器等での保管、また、減容化処理（熱処理/飛灰洗浄後PB吸着等）等がなされる。

表 焼却灰加熱処理技術の実証・試験適用事例と濃縮率等

名称	焼成法（高温）	焼成法（低温）	熔融法
試験条件 （加熱温度＋ 添加剤種類・量）	1,300℃以上で転動加熱 添加剤（処理対象物の80~150%）	1000~1100℃ 添加剤2種、主灰の50~120% 加熱時間：1時間以上、空気雰囲気	1400℃ CaCl ₂ 処理対1象物灰分の42%
燃焼物・焼却灰性質・ 放射性Csor安定Cs	下水汚泥焼却灰 放射性Cs	都市ごみ焼却主灰 バイオマス焼却主灰(未公開) 事故由来放射性Cs	バイオマス焼却灰（主灰・飛灰混合） 安定Cs
濃縮率（濃縮物Cs濃度 ／元飛灰Cs濃度）	9.13倍 （485,666Bq/kg／53,170Bq/kg）	主灰：7~17倍(元主灰種類・Cs濃度、 添加剤量により変動)(未公開)	12.4倍 （0.10%→1.2%）
減容率（濃縮物重量/ 元飛灰重量）	5%以下（焼成原料中の揮発成分量よ り推定）	主灰：15%以下(主灰種類、添加剤量 により変動)(未公開)	7.7% （132.9kgdry→10.2kgdry）
濃縮物性状	ばいじん（バグフィルター捕捉）	ばいじん（バグフィルター捕捉）	ばいじん（二段バグフィルターの前段補足）
浄化率（1-(浄化物Cs濃 度/元焼却灰Cs濃度)）	99.9%以上 （25Bq/kg以下／53,179Bq/kg）	80-90%（主灰）	96.1%
浄化物性状	砂礫状（コンクリート用骨材、路盤材、盛土 材等としての各種規格を満足すること を確認済み。）	土砂代替資材（第2種建設発生土相 当）	ガラス質スラグ粒度調整後コンクリー ト用骨材、路盤材、盛土材等土木資材 として利用可能
出典（公開・非公開効 果含め）	・国土交通省 下水汚泥等に含まれる放射性物質の乾 式対策に係る業務報告書(2012) ・季刊 水すまし No.150,p.74-76(2012) ・特許5159971号 ・除染技術探索サイトT-00019(2013)	神鋼環境ソリューション技報Vol.11,No.2,p.9-15(2015) 第3回環境放射能除染研究発表会要旨集P.15(2014)	国立環境研究所委託研究 「草木類を含む土壌及びバイオマス系焼却灰等の溶 融処理試験業務平成25年度報告書」(非公開) 環境放射能除染学会誌、vol3、NO.2(2015) 第3回環境放射能除染研究発表会要旨集(2014)

4 : 処理フロー 焼成法 (高温)



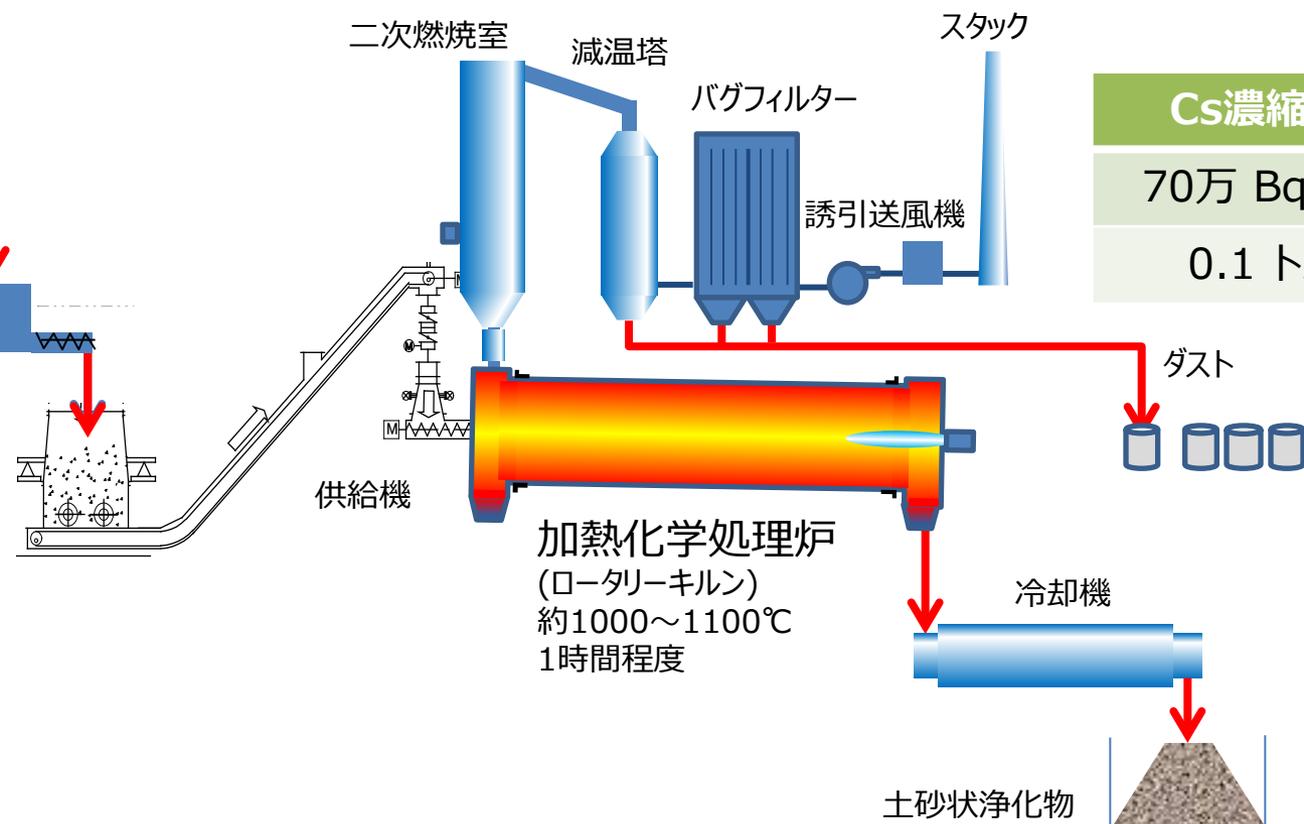
5 : 処理フロー 焼成法 (低温)

加熱化学処理法における物質収支(推算例)

土壤・焼却灰
5万 Bq/kg
1 トン

土壤・焼却灰
添加剤

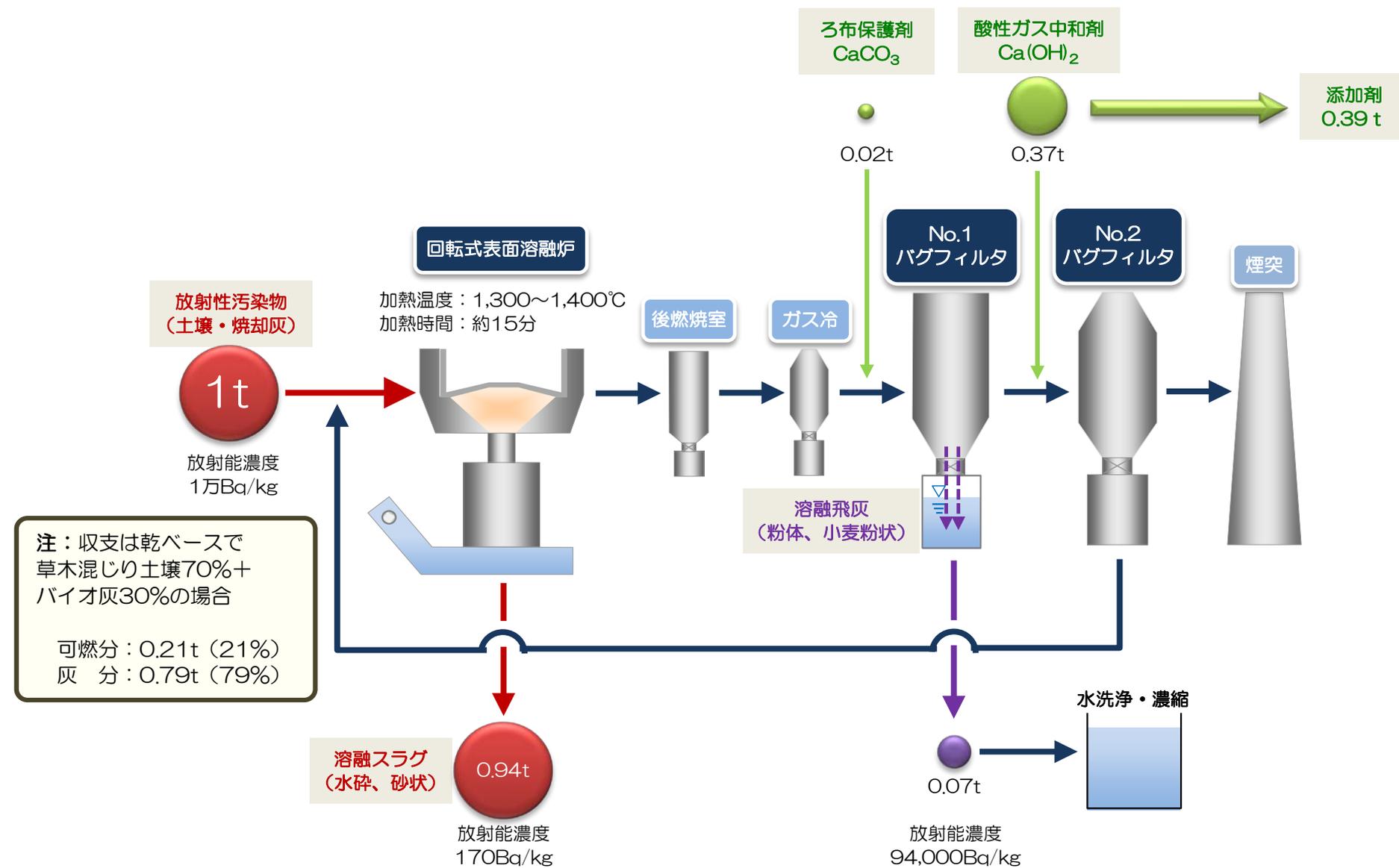
添加剤
0.4~1.9 トン



Cs濃縮物
70万 Bq/kg
0.1 トン

浄化物
<100 ~ <3000Bq/kg
0.9~2 トン

H25国環研試験での固形物収支 【土壌70%+バイオ灰30%】



(参考) 処理フロー 溶融法 (金属)

