

令和5年度室内燃焼炉での放射性セシウムを含む木材の燃焼試験等 業務実施計画書

1 背景・目的

放射性セシウムを含む木材の適正処理に寄与するため、福島県環境創造センターが供する放射性セシウムを含む木材の基礎物性確認試験を行う。また、ストーカ式と流動床式の2種類の室内燃焼炉において木材を各種燃焼条件で燃焼させ、その際に生じた焼却灰（主灰及び飛灰）や排気ガスを分析することにより、燃焼に伴う放射性セシウムの挙動や安定的な燃焼条件を明らかにする。

2 試験内容

2.1 試料

環境創造センターより供した表1に示す3種類の木材について試験を行う。

表1 試料の一覧

番号	名称
1	バーク
2	黒チップ
3	白チップ

2.2 基礎物性確認試験

バークについて、燃焼試験前の性状確認のため、表2に示す分析試験を行う。

表2 分析試験項目及び分析方法

分析項目	分析方法	分析条件等	備考
熱物性	熱重量・示差熱同時分析 (TG-DTA)による	<ul style="list-style-type: none">均一化後のもの昇温速度：2 K/min、ガス雰囲気：150 ml/minの Air 雰囲気温度範囲 室温～1500℃	
燃焼熱量	自動ポンベ型熱量計による	<ul style="list-style-type: none">分析ベース① 均一化後のもの② 均一化後のものをさらに 105℃で乾燥したもの	それぞれ3回実施する

元素組成	エネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX) による	<ul style="list-style-type: none"> 均一化後のもの バルク FP 法 電圧 15.0keV、電流は自動設定 (最小値～最大値) 測定時間：600 秒 試料作成：ペレット法 	対象元素： Na、Mg、Al、 Si、P、S、Cl、 K、Ca、Fe、Cu、 Zn、Pb の 13 元素
放射性セシウム濃度	放射能濃度等測定方法ガイドライン環境省平成 25 年 3 月	<ul style="list-style-type: none"> マリネリ容器を用い、測定時間は 1000 秒程度とする。Cs-134 は 605keV の値を用い、参考値として 795 keV の値も併記する。 	
放射性セシウムの溶出量	放射能濃度等測定方法ガイドライン環境省平成 25 年 3 月	<ul style="list-style-type: none"> 溶出試験方法：JIS K0058-1 検出下限：0.5Bq/L 	
溶出液の重金属濃度等 ※表 3 参照	表 3 参照	溶出試験方法：JIS K0058-1 定量下限値は表 3 のとおり	対象元素等： Na、Mg、Al、K、Ca、 Fe、Cu、Zn、 Pb、Hg、Cd、 Se、Cr、As、Cl ⁻ pH、電気伝導率

表 3 溶出液の重金属濃度等の分析項目、定量下限値及び分析方法

分析項目	定量下限値 (mg/L)	分析方法
Na	0.2	JIS K0102 (2019) 48.2 フレーム原子吸光法
Mg	0.01	JIS K0102 (2019) 51.3 ICP 発光分光分析法
Al	0.01	JIS K0102 (2019) 58.4 ICP 発光分光分析法
K	0.2	JIS K0102 (2019) 49.2 フレーム原子吸光法
Ca	0.01	JIS K0102 (2019) 50.3 ICP 発光分光分析法
Fe	0.01	JIS K0102 (2019) 57.4 ICP 発光分光分析法
Cu	0.01	JIS K0102 (2019) 52.5 ICP 質量分析法
Zn	0.01	JIS K0102 (2019) 53.4 ICP 質量分析法
Pb	0.01	JIS K0102 (2019) 54.4 ICP 質量分析法
Hg	0.0005	S46 環告第 56 号付表 2 還元気化原子吸光法
Cd	0.009	JIS K0102 (2019) 55.4 ICP 質量分析法

Se	0.005	JIS K0102 (2019) 67.4 ICP 質量分析法
Cr	0.01	JIS K0102 (2019) 65.1.5 ICP 質量分析法
As	0.005	JIS K0102 (2019) 61.4 ICP 質量分析法
Cl ⁻	5	JIS K0102 (2019) 35.3 イオンクロマトグラフ法
pH	—	JIS K0102 (2019) 12.1 ガラス電極法
電気伝導率	—	JIS K0102 (2019) 13

2.3 室内燃焼炉による燃焼試験

本試験に用いる室内燃焼炉は表4（ストーカ式）と表5（流動床式）の能力条件を全て満たすものとして、受託者が準備する。

表4 ストーカ式燃焼炉の能力条件

項目	能力条件
燃焼能力	～10 k g / 時間で5時間程度まで連続運転可能
燃焼方式	揺動ストーカ式
燃焼制御	燃焼温度を燃料供給量あるいは空気量で調整可能
付帯装置	連続燃料供給装置、サイクロン集じん機、余熱空気供給装置、点火装置、排出口を有しており、排出ガス、主灰、飛灰が分離回収可能

表5 流動床式燃焼炉の能力条件

項目	能力条件
燃焼能力	～10 k g / 時間で5時間程度まで連続運転可能
燃焼方式	流動床式
燃焼制御	燃焼温度を燃料供給量あるいは空気量で調整可能
付帯装置	連続燃料供給装置、サイクロン集じん機、余熱空気供給装置、点火装置、排出口を有しており、排出ガス、流動砂と主灰の混合物、飛灰が分離回収可能

2. 3. 1 試験場所

大気圧下の無風に近い状態の場所で、燃焼により周囲へ影響を及ぼすことがない構造を有する場所であること。また、環境創造センターが試験の見学や進捗について確認等を可能とすること。

2. 3. 2 燃焼条件

環境創造センターより供した3種類の木材について次の条件で試験を行う。供した試料の状態等により当該燃焼条件の実施が難しく、変更が生じる場合には、その都度環境創造センターと協議を行い、協議記録を残した上で、条件の変更を行う。また、試料の放射性セシウム濃度の均一化のために試料調製を行うこと。

2. 3. 2. 1 ストーカ式燃焼試験

表6に示す燃焼条件毎に表7に示す分析を行う。なお、分析方法は表8に示す方法によるものとする。

表6 燃焼条件

番号	試料	燃焼温度	試験回数
1	バーク	500℃	3
2		600℃	3
3		700℃	3
4	黒チップ	500℃	1
5		600℃	1
6		700℃	1
7	白チップ	500℃	1
8		600℃	1
9		700℃	1

表7 分析項目

対象	採取・測定箇所	分析項目	試料数	備考
バーク	環境創造センターより供したものの	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度（試験 9 回×5 ロット） 	45	試料の均一化のために試料調製ロット毎に放射性セシウム濃度を把握する。
黒チップ	環境創造センターより供したものの	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度（試験 3 回×5 ロット） 	15	試料の均一化のために試料調製ロット毎に放射性セシウム濃度を把握する。
白チップ	環境創造センターより供したものの	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度（試験 3 回×5 ロット） 	15	試料の均一化のために試料調製ロット毎に放射性セシウム濃度を把握する。
排気ガス	サイクロン排出口	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度（JIS Z 8808 に準拠） 窒素酸化物 硫黄酸化物 	15	試験条件毎の燃焼温度を測定する。
主灰	炉床	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度 放射性セシウム溶出量 元素組成※1 溶出液中重金属等濃度 溶出液中 pH と EC 	15	試験条件毎の主灰発生量を測定する
飛灰	サイクロン下部	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度 放射性セシウム溶出量 元素組成※1 溶出液中重金属等濃度 溶出液中 pH と EC 	15	試験条件毎の飛灰発生量を測定する

※1 Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Fe、Cu、Zn、Pb（13 元素）

表8 分析方法

対象	分析項目	分析方法	備考
バーク 黒チップ 白チップ 主灰 飛灰	放射性セシウム濃度	放射能濃度等測定方法ガイドライン 環境省平成 25 年 3 月	Ge 半導体検出器を用いて測定。測定容器には木材は 2L マリネリ容器を用い 2L 充填し、測定時間は 1,000 秒とする。主灰、飛灰は U8 容器を用い高さ 5cm 程度となるように充填し、容器底部からの高さを測る。測定時間は 3,600 秒程度とし、放射性セシウム濃度を求める。Cs-134 は荷重平均値ではなく 605keV の値を用いる。さらに、帳票には参考値として 795 keV の値も記載することとする。
	放射性セシウム溶出量 (JIS K 0058-1 あるいは環告 13 号溶出試験によって得られた溶出液)	放射能濃度等測定方法ガイドライン 環境省平成 25 年 3 月	放射性セシウム溶出量の検出下限値は 0.5Bq/L 以下とする。Cs-134 は荷重平均値ではなく 605keV の値を用いる。さらに、帳票には参考値として 795 keV の値も記載することとする。
	元素組成	エネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX) による	真空雰囲気バルク FP 法により、電圧 15.0keV、電流は自動設定(最小値～最大値)、測定時間は 600 秒とする。測定試料の作成は、ペレット法とする。
	溶出液中重金属等濃度	ICP 質量分析装置、ICP 発光分光分析装置、フレイム原子吸光度計、還元気化原子吸光装置、およびイオンクロマトグラフ装置等	Na、Mg、Al、K、Ca、Fe、Cu、Zn、Pb、Hg、Cd、Se、Cr、As、Cl ⁻ 。 定量下限値は、定量下限値は、Na (0.2mg/L)、Mg (0.01mg/L)、Al (0.01mg/L)、K (0.2mg/L)、Ca (0.01mg/L)、Fe (0.01mg/L)、Cu (0.01mg/L)、Zn (0.01mg/L)、Pb (0.01mg/L)、Hg (0.0005mg/L)、Cd (0.009mg/L)、Se (0.005mg/L)、Cr (0.01mg/L)、As (0.005mg/L)、Cl ⁻ (5mg/L)。

主灰 飛灰	溶出液中の 水素イオン 濃度 (pH)	JIS K0102 12.1 ガラス電極式	
	溶出液中の 電気伝導度 (EC)	JIS K0102 13 電気伝導度計	単位 : mS/m
排気ガス	窒素酸化物	検知管法	
	硫黄酸化物	検知管法	
	放射性セシ ウム濃度	「放射能濃度等 測定方法ガイド ライン環境省平 成 25 年 3 月」 に示される方法 に従う	JIS Z 8808 に準拠

2. 3. 2. 2 流動床式燃焼試験

表9に示す燃焼条件毎に表10に示す分析を行う。なお、分析方法11に示す方法によるものとする。

表9 燃焼条件

番号	試料	燃焼温度	試験回数
1	バーク	600°C	2
2		700°C	2
3		800°C	2

表10 分析項目

対象	採取・測定箇所	分析項目	試料数	備考
バーク	環境創造センターより供したもの	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度（試験6回×3ロット） 	18	試料の均一化のために試料調製ロット毎に放射性セシウム濃度を把握する。
排気ガス	サイクロン排出口	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度（JIS Z 8808に準拠） 窒素酸化物 硫黄酸化物 	6	試験条件毎の燃焼温度を測定する。
主灰	炉床	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度 放射性セシウム溶出量 元素組成※1 溶出液中重金属等濃度 溶出液中 pH と EC 	6	試験条件毎の主灰発生量を測定する
飛灰	サイクロン下部	<ul style="list-style-type: none"> 放射性セシウム濃度 放射性セシウム溶出量 元素組成※1 溶出液中重金属等濃度 溶出液中 pH と EC 	6	試験条件毎の飛灰発生量を測定する
※1 Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Fe、Cu、Zn、Pb（13元素）				

表 11 分析方法

対象	分析項目	分析方法	備考
バーク 主灰 飛灰	放射性セシウム濃度	放射能濃度等測定方法ガイドライン 環境省 平成 25 年 3 月	Ge 半導体検出器を用いて測定。測定容器には木材は 2L マリネリ容器を用い 2L 充填し、測定時間は 1,000 秒とする。主灰、飛灰は U8 容器を用い高さ 5cm 程度となるように充填し、容器底部からの高さを測る。測定時間は 3,600 秒程度とし、放射性セシウム濃度を求める。Cs-134 は荷重平均値ではなく 605keV の値を用いる。さらに、帳票には参考値として 795 keV の値も記載することとする。
	放射性セシウム溶出量 (JIS K 0058-1 あるいは環 告 13 号 溶出試験 によって 得られた 溶出液)	放射能濃度等測定方法ガイドライン 環境省 平成 25 年 3 月	放射性セシウム溶出量の検出下限値は 0.5Bq/l 以下とする。Cs-134 は荷重平均値ではなく 605keV の値を用いる。さらに、帳票には参考値として 795 keV の値も記載することとする。
	元素組成	エネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX) による	真空雰囲気バルク FP 法により、電圧 15.0keV、電流は自動設定 (最小値～最大値)、測定時間は 600 秒とする。測定試料の作成は、ペレット法とする。
	溶出液中 重金属等 濃度	ICP 質量分析装置、ICP 発光分光分析装置、フレイム原子吸光光度計、還元気化原子吸光装置、およびイオンクロマトグラフ装置等	Na、Mg、Al、K、Ca、Fe、Cu、Zn、Pb、Hg、Cd、Se、Cr、As、Cl ⁻ 。 定量下限値は、定量下限値は、Na (0.2mg/L)、Mg (0.01mg/L)、Al (0.01mg/L)、K (0.2mg/L)、Ca (0.01mg/L)、Fe (0.01mg/L)、Cu (0.01mg/L)、Zn (0.01mg/L)、Pb (0.01mg/L)、Hg (0.0005mg/L)、Cd (0.009mg/L)、Se (0.005mg/L)、Cr (0.01mg/L)、As (0.005mg/L)、Cl ⁻ (5mg/L)。

主灰及び 飛灰	溶出液中 の水素イ オン濃度 (pH)	JIS K0102 12.1 ガラス電極式	
	溶出液中 の電気伝 導度 (EC)	JIS K0102 13 電気伝導度計	単位 : mS/m
排気ガス	窒素酸化 物	検知管法	
	硫黄酸化 物	検知管法	
	放射性セ シウム濃 度	「放射能濃度等測 定方法ガイドライ ン環境省平成 25 年 3 月」に示され る方法に従う	JIS Z 8808 に準拠

3 報告書作成

得られた各種データを図表や考察等を含めて整理するとともに、各燃焼条件における放射性セシウムの主灰／飛灰等への濃縮や移行挙動について報告書の作成を行う。なお、報告書の作成にあたっては、構成や内容について環境創造センターと協議の上進める。