

研究資料

燃焼処理システムによる木質系汚染廃棄物の安全処理試験

小川秀樹、伊藤博久、村上海、熊田淳*

平野由里香***、伊芸滋光***、横田かほり***、新井志緒***、吉田博久***

目 次

要 旨	
I はじめに	78
II 樹皮等の汚染状況	78
1 調査地及び実験方法	78
2 結果と考察	79
III 燃焼処理システムの試作と実証試験	80
1 燃焼処理システムの全体概要	80
2 排煙処理装置の試作及び実証試験	80
3 燃焼灰回収装置の試作及び汚染水処理の方法	82
IV おわりに	84
V 引用文献	84

要 旨

スギ樹幹は材部の汚染レベルは低いものの樹皮部の汚染レベルは高く、特に放射性セシウムの多くは樹皮表面に付着した状態で存在していた。そのため、汚染された樹木から木材を製材する場合には、樹皮等外部汚染部位の処理が問題となる。そこで、放射性セシウムを含む木質系廃棄物を安全に燃焼して減容化するための、燃焼処理システムを試作した。本システムは、排煙を捕捉する「排煙処理装置」と燃焼灰を回収する「燃焼灰回収装置」からなる。排煙処理装置は、循環する水に排煙を取り込む閉鎖系のシステムとした。実証試験を行ったところ、燃焼処理システムの適正な効果が確認された。さらに、システム内に蓄積される汚染水から効果的に放射性セシウムを除去する方法についても検討を行った。

キーワード：セシウム、スギ、バーク、除染、燃焼

受付日 平成27年3月10日

受理日 平成28年1月7日

* 現県南農林事務所

*** 首都大学東京都市環境科学研究科

課題名 排煙処理装置における安全性確認試験（県単課題 平成23～26年度）

I はじめに

従来、原木の製材過程から発生する樹皮は、畜産農家で利用する敷料や堆肥の原料として有効に利用されてきた。しかし、樹皮を原料とする家畜敷料や肥料に暫定許容値（400 Bq/kg）が設定されたことに伴い⁵⁾、樹皮の取引が停滞することとなった。さらに従来は製紙工場等でも樹皮は燃焼され、発生した燃焼灰をコンクリート骨材として再利用してきた。しかし、放射性物質の汚染により燃焼灰の再利用もできず、樹皮の燃焼も進まない状況にある。各製材所における樹皮の滞留は、仮置き場の設置や産業廃棄物処理により徐々に解消されている。しかし、事故以前のような樹皮の再利用が今後見込めない中では、長期的な視点で樹皮の処理方法を検討する必要がある。

樹皮を減容化する方法の1つとして考えられる燃焼処理は、燃焼時に発生する排煙（飛灰、ガス）に放射性物質が含まれる危険性がある。首都大学東京が実施した室内実験によれば、汚染された竹を400～500℃で燃焼させると放射性物質の25～35%がガス化することが報告されている¹⁾。樹皮の燃焼処理で大気中に放射性物質が放出されれば、焼却炉周辺が再汚染されることとなる。

環境省が2011年6月23日に示した「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」によれば、放射性物質に汚染された可能性のある廃棄物でも「排ガス処理装置としてバグフィルター及び排ガス吸着能力を有している施設では焼却可能である」としている。しかしそのためには、それらの施設まで樹皮を運搬することが必要となる。しかし現状では、処理機能を有する施設は各地にあるわけではないため、樹皮を長距離輸送する運搬経費の増加等が今後問題となる可能性がある。また、運搬による放射性物質の拡散リスクや、受け入れ施設の周辺住民の感情も考慮する必要がある。そこで、本研究では、既存の小規模な燃焼施設を利用して、樹皮を安全に燃焼させ減容化するシステムを開発することとした。

樹皮の燃焼による減容化、さらに燃焼時に排煙や燃焼灰に含まれる放射性セシウムの安全な処理を進めるため、燃焼処理システムの開発目的を以下のとおり定めた。

＜燃焼処理システムの開発目的＞

- 1 放射性物質が含まれる排煙を捕捉することが可能であること
- 2 樹皮を減容化し放射性物質を濃縮することが可能であること
- 3 既存の小規模な燃焼炉に接続することが可能であること
- 4 作業者が容易にかつ安全に装置を運用することが可能であること

比較的小規模な発生源毎に樹皮を処理することができれば、運搬による放射性物質の拡散リスクを軽減できる。さらに樹皮だけではなく、地域で発生した森林除染廃棄物や果樹剪定枝等の農業系廃棄物の処理にも活用ができれば地域住民の理解が比較的得られやすいと思われる。なお、本装置の開発は首都大学東京との共同研究であり、装置開発を首都大学東京、燃焼試料等の提供を当センター、燃焼試験を共同で実施した。

II 樹皮等の汚染状況

1 調査地及び実験方法

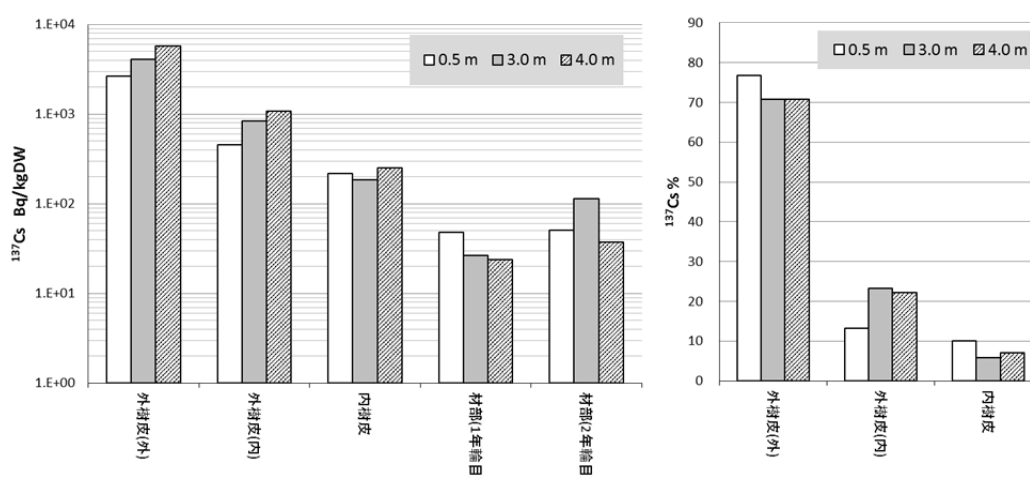
まず問題となっている樹木の汚染状況について調査した。福島県林業研究センター内において2012年4月にスギ成木を1本伐採した。さらに0.5, 3.0, 4.0 mの高さで30×30cmの範囲で樹皮部とそこに隣接する材部を採取した。樹皮部は外樹皮と生きてい

る組織である内樹皮に区分し、外樹皮はさらに表面1～2mm（外樹皮（外））とそれ以外（外樹皮（内））に区分した。材部は樹皮部に隣接した1年輪目と2年輪目を採取した。採取したサンプルの全重量を計測後に粉碎し、350ml容器に詰めてNaI検出器（EMF社製EMF211型ガンマ線スペクトロメータ）を用い積算時間900秒で¹³⁴Cs濃度および¹³⁷Cs濃度（以下「放射性セシウム濃度」とする）を求めた。乾燥重量当たりの放射性セシウム濃度を求めるため、測定用試料と同一のサンプルから約20gを取り出し、105℃で全乾状態まで乾燥して含水率を求めて、含水率補正を行った。

2 結果と考察

採取した部位別の放射性セシウム濃度分布の結果を示す（図－1、左図）。外樹皮（外）の放射性セシウム濃度が非常に高く、そこから材部に向かって急激に減少する傾向が確認された。外樹皮（外）の放射性セシウム濃度は、外樹皮（内）の約5倍、内樹皮の約10倍、材部の約100倍であった。この傾向はいずれの採取高のサンプルでも同様であった。外樹皮（外）の放射性セシウムはフォールアウト時に樹皮表面に付着した外部汚染であり、それに対し、内樹皮や材部の放射性セシウムは樹体内に吸収された内部汚染と考えられる。このことから、外部汚染は内部汚染に比べて非常に高いレベルにあることがわかった。また、樹皮部に存在する放射性セシウムの分布割合を図－1（右図）に示す。その結果、樹皮全体（外樹皮＋内樹皮）に含まれる放射性セシウム量のほぼ70～80%が外樹皮（外）に存在していた。

以上の結果から、2012年時点におけるスギ幹部の放射性セシウムはほとんどが樹皮表面に付着した外部汚染であることが明らかとなった。また内部汚染は非常に低いレベルにあることから、現段階で木材等の目的でスギを利用することは問題にはならないと考えられる。それに対し、伐採や製材の過程で廃棄物となる樹皮や枝葉等は放射性セシウムによって高レベルに外部汚染されていることから、その処理が課題となる。以上から、燃焼等の方法によって汚染された樹皮等を減容化し、かつ安全に処理可能なシステムの必要性が再認識された。



図－1 スギ樹皮及び材部における¹³⁷Cs濃度分布(左)と樹皮における¹³⁷Cs分布割合(右)

Ⅲ 焼却処理システムの試作と実証試験

1 焼却処理システムの全体概要

焼却処理システムは2つの装置、「排煙処理装置」と「焼却灰回収装置」により構成される。システムの全体像を図-2に示す。焼却炉中で汚染樹皮を焼却すると、放射性セシウムは排煙と焼却灰に移行する。排煙が環境中に放出されることを排煙処理装置によって防止し、焼却炉内に滞積した高濃度の焼却灰を焼却灰回収装置によって安全に回収することをシステム開発の目的とした。

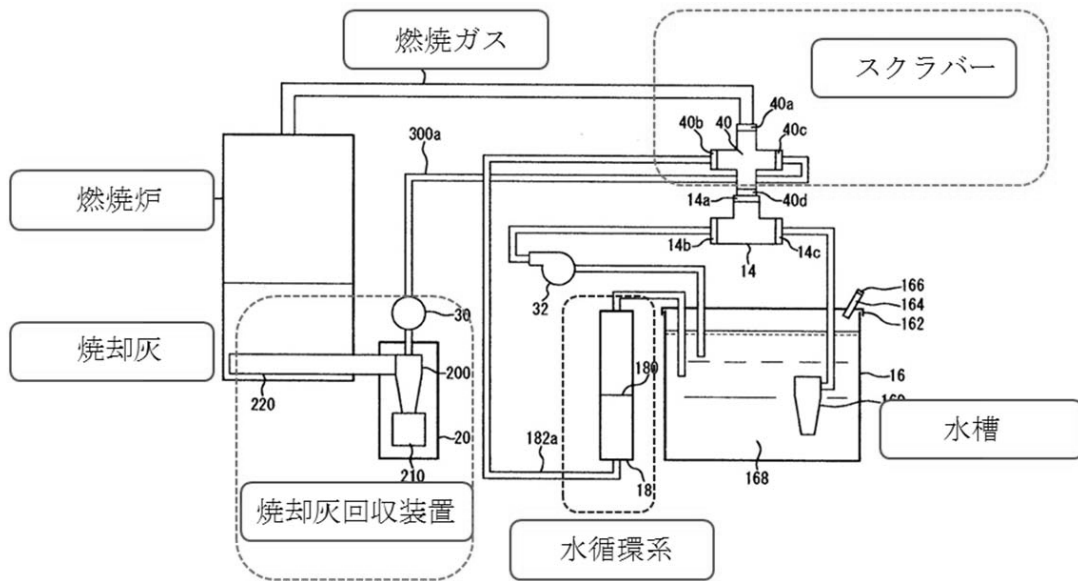


図-2 焼却処理システムの全体像

排煙処理装置は、スクラバー、水槽、水循環系（ポンプ）により構成

2 排煙処理装置の試作及び実証試験

首都大学東京が開発した排煙処理装置³⁾の特徴は、排煙を水に閉じ込める閉鎖型の排煙処理機能を有することにある⁶⁾（図-3）。

排煙を処理する仕組みは以下のとおり。

- ① 電動ポンプにより高い水圧をかけた水が、スクラバーという装置内でジェット水流となる。
- ② ジェット水流に伴い煙突内が低圧化し、排煙がスクラバー内のジェット水に引き込まれる。
- ③ 排煙が引き込まれたジェット水がタンク内の水の中で攪拌され、タンク内の水に排煙が取り込まれる。
- ④ タンク内の水は再びポンプでスクラバー内に送られ、システム内を循環する。

本装置の利点は、排煙を最終的に水に閉じ込める閉鎖系のシステムとすることで放射性物質が系外に漏れ出ることを防止できること、またバグフィルターや電気集塵機といった特殊な排ガス処理装置を用いる従来の焼却炉の方法に比べると管理が容易であることにある。また装置の構成はスクラバー、水タンク、電動ポンプと非常にシンプルで

あるため、分解しトラック等で運搬可能で、各地域にある既存の焼却炉に接続することができる。



図-3 排煙処理装置の全体写真
右から水タンク、スクラバー、ポンプ

本装置を用いて2回の実証試験を行った。第1回目の実証試験は2012年1月23日に福島県林業研究センターで実施した。本装置を市販の薪ストーブに接続し、アカマツの葉(10k~20k Bq/kg)、樹皮(5k~20k Bq/kg)に燃焼補助材料としてスギの端材を加えて6.3kgを約4時間燃焼させた(図-4)。タンクには水道水を約1トン注入した。燃焼の結果、焼却灰約140gを回収したことから、樹皮等の重量を約45分の1に減量化することができた。なお、排煙を回収したタンク内の汚染水にはススが混入しており、ススをろ過後に放射性セシウム濃度を測定すると50Bq/kgであった。



図-4 実証試験(第1回)

第2回目の実証試験を2012年5月1~3日に伊達市の農家の敷地において実施した。200L容量のドラム缶を利用した農家自作のストーブに本装置を接続した(図-5)。剪定枝条や廃棄果樹等約100kgを燃焼し、焼却灰1.5kgを回収した。燃焼により剪定枝条等を約67分の1に減量化することができた。汚染水にはススが混入しており、ろ過後の水の放

放射性セシウム濃度は10Bq/kgであった。なお、試運転の際には周辺の住民の方々に集まって頂き、装置を開発した首都大学東京が装置の仕組み等について説明を行い、周辺住民とのリスクコミュニケーションを図りつつ試運転を実施した。



図-5 実証試験（第2回）

3 燃焼灰処理装置の試作及び汚染水処理の方法

放射性セシウムを含む試料を燃焼処理すると、燃焼炉内には高濃度の燃焼灰が蓄積する。この燃焼灰を人力により回収すると放射性物質を飛散させる、あるいは誤って吸引してしまう恐れがある。そこで燃焼灰を安全に回収する装置（燃焼灰回収装置）を首都大学東京が試作した（図-6）。

燃焼灰回収の仕組みは以下のとおり。

- ① 燃焼炉内に蓄積した燃焼灰をホースで吸引する。
- ② 回収した燃焼灰をサイクロン遠心分離によって分離し集める。
- ③ 分離した燃焼灰を塩化ビニル袋に封印し、真空パック化する（図-7）。

以上の手順により、作業者は直接灰に触れることなく、また灰の飛散も伴わず灰を回収することができる。これらの動作を実際に確認したところ、人が直接手を触れることなく燃焼灰を回収できることを確認した。



図-6 燃焼灰回収装置

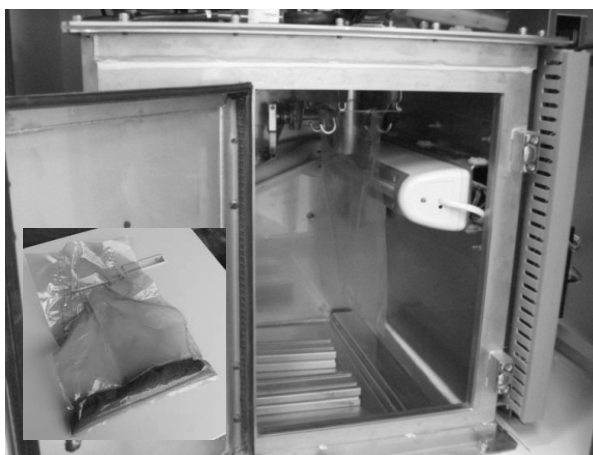


図-7 燃焼灰回収装置内部

また、水タンク内には燃焼にともない発生した排煙が取り込まれる。水はシステム内を循環することから、タンク内の水には放射性セシウムが蓄積することとなる（図-8）。水タンク内に蓄積する汚染水から放射性セシウムを効果的に取り除くことができれば、水を繰り返し利用することが可能となる。そこで、汚染水からの放射性セシウムの除去方法についても検討した。

プルシアンブルー染色ウールフィルター（以下「PBフィルター」）は首都大学東京が開発した繊維で⁴⁾、水溶性の放射性セシウムの吸着能力が高いナノサイズのプルシアンブルー結晶をウール表面に付着させている²⁾。プルシアンブルーはウールから非常に外れにくい構造にあることが確認されている。

以上の手順を2つのタンクを利用して実施した（図-9）。

- ① 汚染水に含まれる飛灰やスス等をフィルターや凝集剤によって除去する。
- ② 飛灰やスス等除去後の汚染水をPBフィルターで濾過し、水溶性の放射性セシウムを取り除く（図-10）。
- ③ 放射性セシウムが吸着したPBフィルターを取り除き、水をシステム内で再び利用する。

このPBフィルターで汚染水を濾過した結果を図-11に示す。当初、汚染水には13.6 Bq/L (¹³⁷Cs)、5.0Bq/L (¹³⁴Cs)の放射性セシウムが含まれていた。この汚染水が1回目の濾過で¹³⁷Csが13.6Bq/Lから1.1Bq/Lに、¹³⁴Csが5.0Bq/Lから0.3Bq/Lまで低下し、さらに2回目の濾過で検出限界値（0.02Bq/L）以下にまで水に含まれる放射性セシウム濃度は低下した。このことから、PBフィルターを利用すれば汚染水から効果的に放射性セシウムを取り除くことができることが確認された。



図-8 排煙処理装置水タンク内の汚染水



図-9 汚染水処理タンク



図-10 プルシアンブルー染色ウールによるろ過

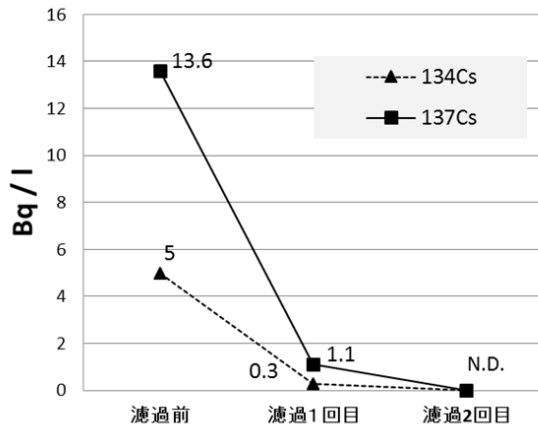


図-11 プルシアンブルー染色ウールによる汚染水処理

IV おわりに

スギの樹幹部の汚染は樹皮の表面に付着した放射性セシウムが大きな割合を占めていた。放射性物質に汚染された森林を木材生産に利用する場合には、外部汚染された樹皮等の木質系廃棄物の処理が問題となる。そこで、汚染された樹皮等の木質系廃棄物を安全に燃焼し、減容化するための燃焼処理システムを試作した。本システムは、排煙を捕捉する「排煙処理装置」と燃焼灰を回収する「燃焼灰回収装置」からなる。また排煙処理装置内の汚染水から放射性セシウムを効果的に除去する方法についても検討を行った。実証試験等により本システムの適正な効果が確認された。

本試作機は、各機能を確認するために開発されたものであることから、今後の現場での普及のためには現場ニーズを踏まえたより実用性の高いタイプの開発が望まれる。

V 引用文献

- 1) 伊芸滋光. “福島県における土壌から植物への放射性物質移行に関する研究”. 平成24年度大学院博士前期課程修士論文. 首都大学東京大学院.

- 2) K. Yokota et al., (2015) Decontamination system of radiocesium contaminated water, Proceedings of the Radiological issues for Fukushima's Revitalized Future. Part1, 2 (CD-ROM)
- 3) 首都大学東京, 特開2013-224831.
- 4) 首都大学東京, 特願2014-185584.
- 5) 農林水産省. “原子力発電所事故を踏まえた家畜用の敷料の取り扱いについて（平成23年8月23日）”. http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/c_sinko/110823.html, (参照2015_11_25) .
- 6) H. Yoshida et al., (2015) Safe decontamination system for combustion of forestry wastes, Proceedings of the Radiological issues for Fukushima's Revitalized Future. Part1, 4 (CD-ROM).