

バイオマス焼却灰の簡便な固形化手法

熊谷 亜未¹、島 長義²、佐藤 理夫^{1*}

¹福島大学大学院 共生システム理工学研究科 (〒 960-1296 福島県福島市金谷川 1 番地)

²福島大学 うつくしまふくしま未来支援センター (〒 960-1296 福島県福島市金谷川 1 番地)

Solidification Technique of Biomass Ash

Ami KUMAGAI¹, Nagayoshi SHIMA², and Michio SATO^{1*}

¹Graduate School of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

(1 Kanayagawa, Fukushima 960-1296, Japan)

²Fukushima Future Center for Regional Revitalization, Fukushima University

(1 Kanayagawa, Fukushima 960-1296, Japan)

Summary

Handling of incineration ash from small-scale biomass facilities; such as firewood stoves, wooden-pellet heaters, small boilers and small incinerators, is usually handwork. Since it is worried that radioactive materials are concentrated in ash, an easy and safe handling method of incineration ash is required. When a diluted polyvinyl-alcohol aqueous solution (3-5 wt-%) was mixed with incineration ash, the ash was solidified. The solid was elastic and had enough strength for handling. No fine particles were formed after drying the solid. Though the elements and particle shapes of ashes from bamboo grass, wild weeds and compost were different from wooden ash, polyvinyl alcohol was effective to solidify all these ashes. Automated solidification of incineration ash was tried using a noodle-making machine for family use. With slight modification of the noodle-outlet parts, ash-pellets were formed successively.

Key Words: Biomass ash, Polyvinyl alcohol, Handling, Solidification

1. はじめに

日本には、石油、天然ガス等のエネルギー資源はほとんどなく、エネルギー自給率は極めて低い。また、化石燃料の大量消費に伴い発生する膨大な二酸化炭素による地球温暖化が、地球規模の問題となっている。地球温暖化の防止策として再生可能エネルギーの活用が以前より推奨されていたが、2011年3月の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故により更に注目を集めるようになった。原子力発電に頼らずに地球温暖化を防止するためには、省エネルギーと再生可能エネルギー活用の双方が不可欠である¹⁾。

再生可能エネルギーの中のひとつにバイオマスエネルギーがある。木質を燃焼させて高温水蒸気を発生させてタービンを回して発電するバイオマス発電、蒸気・温水・温風を発生させる熱利用、汚泥や糞尿といった含水率が高いバイオマスを発酵させてメタンを主成分とするバイオガスを発生させて発電等を行うメタン発酵である。これらの中で、燃焼を伴う方法では焼却灰が排出される。バイオマス発電施設のような大

規模な施設では、灰を取り扱う施設を併設している場合がほとんどである。しかし、ペレットストーブや薪ストーブ等の小規模な熱利用設備での焼却灰の処理方法は手作業である。これまでは手作業で回収した焼却灰は庭や畑に撒いて肥料とすることができた。農地に生える雑草等を刈り倒してその場で焼却することが行われている。これはエネルギー利用ではないが、バイオマス中のミネラルを農地に還元するという効果を持っている。

原発事故以降、バイオマス燃料や雑草等に含まれる放射性Csが焼却灰に含まれてしまうことが懸念されている。肥料中の放射性Cs濃度の暫定許容値は400 Bq/kg(製品重量)と定められた²⁾。農地に散布される焼却灰には、この許容値が適用される。一方で、多くの福島県の農地土壌の放射性Cs濃度は、この許容値を大幅に上回っている³⁾。2011年4月、原子力災害対策本部は水田土壌から玄米への放射性Csの移行の指標を公表し、土壌中放射性Cs濃度の上限を5,000 Bq/kgとした⁴⁾。これを受けて、原子力災害対策本部から

*Corresponding author: TEL & FAX: 024-548-8314, E-mail: msato@sss.fukushima-u.ac.jp

福島県知事に指示があり、避難区域・計画的避難区域・緊急時避難準備区域での稲の作付が制限された⁵⁾。耕運後の土壌中放射性 Cs 濃度が 5,000 Bq/kg 以下となる農地の多くでは、作付が再開された。埋め立て処分が可能な廃棄物の放射性 Cs 濃度の上限値は 8,000 Bq/kg であるが、本宮市東部の農村地帯にある堆肥化施設敷地内で土を表面から約 2 cm を採取して測定した結果は 10,000 ~ 40,000 Bq/kg であった^{6,7)}。このような状況下で、小規模な熱利用設備での焼却灰を土壌に還元するかどうかの判断は様々である。著者らは福島県中通りおよび会津地方において、薪ストーブ等の灰の処理方法について聞き取りを 20 件程度行った。散布する土壌の放射性 Cs 濃度のほうが肥料の許容値よりも高いため、また焼却灰は堆肥などと比べると散布する量も少ないため、従来通り散布している事例があった。花壇や自家菜園にのみ散布する事例、微量であっても不安を感じるために散布を取りやめている事例もあった。

焼却灰は強アルカリ性であり飛散しやすいため、本来あまり人の手に触れて良い物ではない。また、放射性 Cs を含むあるいは含む可能性があることによる不安を解消する必要がある。そこで著者らはバイオマス焼却灰を固形化することにより飛散を抑え、取り扱いを容易とすることを検討した。固形化した焼却灰は、廃棄物として処分することの他、農地等に撒いて肥料とすることも想定されるため、固形化に使用する材料は環境負荷の少ないことが必要である。また安価で入手しやすいものであることが望ましい。製材所の薪ストーブから排出されたスギ由来の焼却灰を用い、でんぷんや粉寒天など粘性が期待できる様々な材料を用いて焼却灰の固形化実験を行い、ポリビニルアルコール (Polyvinyl alcohol 以下、PVA) 水溶液によって焼却灰が固形化することを著者らは見出し報告した⁸⁻¹⁰⁾。本報では福島県内の木質および雑草の放射性 Cs 濃度の測定事例を紹介するとともに、PVA 水溶液によるバイオマス焼却灰の固形化を行った実験結果を報告する。

2. 実験方法

放射性 Cs 濃度の測定には、NaI シンチレーション検出器 (ATOMTEX, AT1320 A) を使用した。細断した試料を 1 L マリネリ容器に入れ、1 時間または 2 時間計測した。バイオマスは比重が 1 以下であり、容器中に空隙ができることが避けられないため、試料充填量は 150 ~ 500 g となった。検出下限は ¹³⁷Cs、¹³⁴Cs とともに約 4 ~ 13 Bq/kg である。熱風循環乾燥機 (東京硝子器械、FS-45 WT) を用いて 105 °C で試料を乾燥させて含水率を求め、乾燥重量当たりの放射性 Cs 濃度を算出した。

放射性 Cs 降下量が多い計画的避難区域 (川俣町山木屋) の木質と、放射性 Cs 降下量の少ない会津地方 (三島町) の木質の放射性 Cs 濃度を測定した。川俣町山木屋の木質は、2012 年秋に自治体から測定を依頼されたものであり、区域内

の学校や公園にあった広葉樹の直径 5 ~ 10 cm の太い枝である。樹皮を厚く剥ぎ取り、芯材と樹皮とを分けて測定した。三島町の木質は 2014 年夏に製材所に依頼して入手した。ササと雑草 (スギナ・ナズナ) は、福島市に隣接し放射線量も福島市内と同等の地区 (川俣町秋山) で 2014 年春に採取した。土を付着させないように刈り取り、根や地下茎は含まない。測定前に洗浄は行っていない。

焼却灰の試料として、川俣町の製材所の工場用薪ストーブの灰を入手した。このストーブはスギの端材を燃料として使用している。ササと雑草の焼却灰は実験室で作製した。ササは稈 (節を含む管状の部位) と葉に分けて試料とした。熱風循環乾燥機を用いて 105 °C で乾燥させてから屋外で焼却し、燃え残った塊を金属棒で粉碎して坩堝に入れ、小型電気炉内において 600 °C・6 時間焼却したものである。放射性 Cs 濃度は高くはないが活用できずに処理する必要があるバイオマスの一つに、牛糞由来堆肥がある。堆肥化の過程で敷き料やエサに含まれる微量の Cs が濃縮するために、震災以降に生産された堆肥からは Cs が検出されることが多い^{6,7,11)}。放射性 Cs 濃度が 400 Bq/kg を超えた堆肥は、施用および出荷の自粛が福島県より要請されている¹²⁾。牛糞由来堆肥からの放射性物質の除去は難しく^{7,13)}、焼却処分して減容化することも検討されていることから、本研究では牛糞由来堆肥の焼却灰も雑草と同じ方法で作製した。焼却灰は実体顕微鏡で観察し、成分を蛍光 X 線分析 (Rigaku, RIX-1000) で測定した。

焼却灰の固形化には研究用試薬として販売されている PVA (和光純薬工業・重合度 900 ~ 1,100) を用いた。成型にはガラスピーカーまたはプラスチック製円筒容器を用いた。フォースゲージ (IMADA, ZTA-100) および円形平型 (直径 12 mm) の圧縮治具を用いて、成型後の固形化物の強度を測定した。焼却灰に水溶液を加えて混ぜて成型するという一連の作業の自動化を、家庭用製麺機 (PHILIPS, HR2365/01) で試みた。製麺機は、小麦粉を練って射出成型するという目的で作られた製品である。

3. 実験結果と考察

(1) バイオマスの放射性 Cs 濃度

木質の放射性 Cs 濃度の測定結果を Table 1 および Table 2 に示す。

放射性物質降下量が多く放射線量が高い計画的避難区域の木は、Table 1 に示すような高い数値を示した。樹皮には芯材の 10 ~ 100 倍の濃度で放射性 Cs が存在していた。芯材の測定にあたっては、汚染が激しい表面の影響を除くため、樹皮を 5 mm 以上厚く剥ぎ取った。樹皮の量は 100 g 程度と少ないため、樹皮の放射性 Cs 濃度測定には 0.5 L 平型容器を使用した。芯材の測定のために表面に存在する放射性 Cs が混入しないことを優先して剥ぎ取り作業を行ったため、樹皮の厚さは均一ではない。

Table 1 計画的避難区域の木質バイオマス放射性物質濃度

サンプル名	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	¹³⁴ Cs (Bq/kg)	Cs 合計 (Bq/kg)
木 A・芯	74	46	120
木 A・樹皮	7,790	5,440	13,230
木 B・芯	719	463	1,182
木 B・樹皮	8,560	5,940	14,500
木 C・芯	2,040	1,250	3,290
木 C・樹皮	14,900	10,200	25,100

※ 2012 年 秋

Table 2 会津地方の木質バイオマス放射性物質濃度

サンプル名	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	¹³⁴ Cs (Bq/kg)	Cs 合計 (Bq/kg)
スギ・樹皮	35	5	40
スギ・葉	304	116	420
スギ・おがくず	10	14	24
広葉樹・細枝	200	78	278
ナラ・樹皮あり	45	10	55
ナラ・樹皮なし	ND	10	10

※ 2014 年 夏

会津地方の製材所から入手した試料の測定結果を Table 2 に示す。測定装置の検出下限 (4 ~ 13 Bq/kg) に近い値のため、測定値が含む誤差が大きく、同位体の比率が正確ではない。芯材から発生するおがくずに含まれていた放射性 Cs は極僅かであり、樹皮からも多くは検出されていない。

完全燃焼させた後に残る灰 (灰分) の量は木質では通常 1 ~ 2% (重量%) である¹⁴⁾。焼却灰の放射性 Cs 濃度は、燃料とする木質の 50 ~ 100 倍になると推算できる。実際には、薪ストーブなどの小型の設備では焼却灰が黒く見えるのが通常であり、炭の塊のような燃え残りが確認されることも多く、灰の発生量は完全燃焼させた場合よりも多量である。飛散防止のために水を含ませるなどの操作を行うと重量が増えるため、放射性 Cs 濃度は減少する。灰分量からの推定は、取り扱う焼却灰の放射性 Cs 濃度を低く算定することがない推定方法と言える。

Table 1 の試料は放射性 Cs 濃度が高く、芯材のみを燃やした場合でも焼却灰が 8,000 Bq/kg を越えると推定されるため、燃料にはならないと考える。Table 2 の試料は、葉や細い枝のみを燃やすようなことをしなければ、焼却灰の放射性 Cs 濃度が 8,000 Bq/kg を越えることはない。しかしながら、農地に散布できる 400 Bq/kg の許容値を上回る可能性が高い。樹皮の放射性 Cs 濃度は芯材に比べ高いので、樹皮を除いて燃料とすることが望ましい。

Table 3 福島県中通りのバイオマス放射性物質濃度

サンプル名	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	¹³⁴ Cs (Bq/kg)	Cs 合計 (Bq/kg)
スギナ	31	ND	31
ナズナ	13	ND	13
ササ (稈)	84	16	101
ササ (葉)	84	22	106

※ 2014 年 春

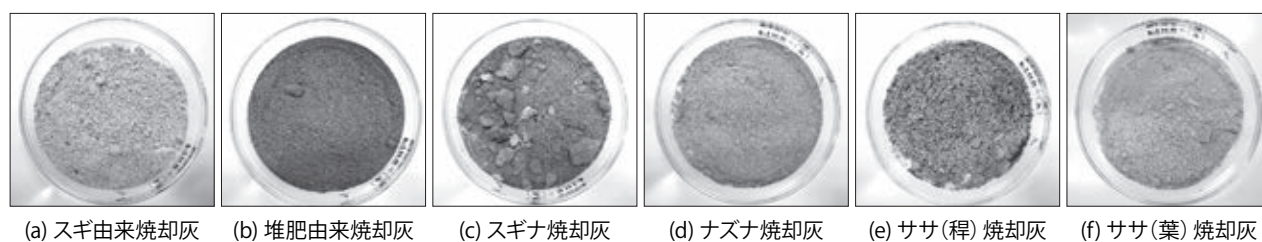
スギナ・ナズナ・ササの放射性 Cs 濃度の測定結果を Table 3 に示す。試料は土を付着させないように採取したが、測定前に洗浄は行っていない。検出された放射性 Cs が植物中に含まれていたものであるか表面に付着したホコリに由来するものなのかの区別は行っていない。草刈では刈り取ったものをそのまま処分するので、Table 3 に示す程度の放射性物質が含まれたまま焼却されるものと考えられる。この雑草を焼却すると 400 Bq/kg を上回るものの 8,000 Bq/kg を越えない放射性 Cs 濃度の焼却灰が発生することが予想される。

(2) バイオマス焼却灰の性状および成分

工場用薪ストーブの焼却灰 (主としてスギの端材を燃料としている)・堆肥焼却灰・スギナ焼却灰・ナズナ焼却灰・ササ (稈) 焼却灰・ササ (葉) 焼却灰の 6 種類のバイオマス焼却灰の写真を Fig.1 に、実体顕微鏡で観察した結果を Fig.2 に示す。焼却灰の色・粒子の大きさ・形状等は異なることが分かる。スギ由来・ナズナ・ササ (葉) 焼却灰は全体的に白みがかかった灰色であるが、堆肥・スギナ・ササ (稈) 焼却灰は黒っぽい灰色であった。実体顕微鏡により拡大した画像により堆肥・スギナ・竹には多くの炭の燃え残りが確認でき、特にササ (稈) では 1 mm に近い大きさの炭の燃え残りも見られる。灰の取り扱いに際しては、炭粒子などの存在も考慮する必要がある。これらの焼却灰のかさ密度を Table 4 に示す。かさ密度は小さく、試料により 2 ~ 3 倍の差が見られた。

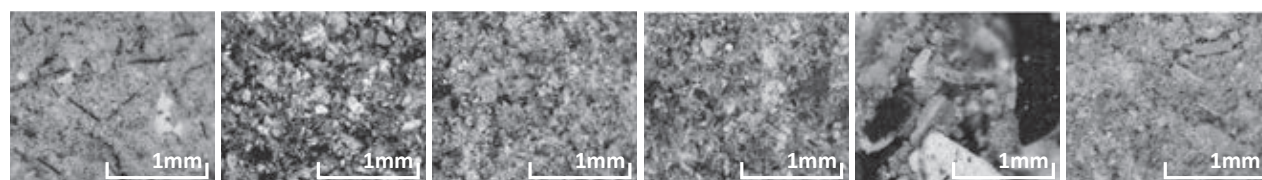
Table 4 バイオマス焼却灰のかさ密度

焼却灰	密度 (g/cm ³)
スギ由来焼却灰 (工場用ストーブ)	0.32
堆肥	0.55
スギナ	0.31
ナズナ	0.46
ササ (稈)	0.23
ササ (葉)	0.15



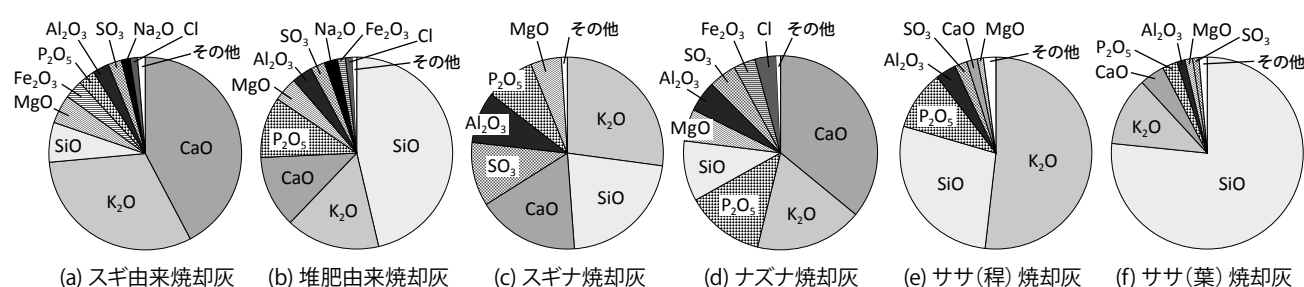
(a) スギ由来焼却灰 (b) 堆肥由来焼却灰 (c) スギナ焼却灰 (d) ナズナ焼却灰 (e) ササ(稈) 焼却灰 (f) ササ(葉) 焼却灰

Fig.1 バイオマス焼却灰



(a) スギ由来焼却灰 (b) 堆肥由来焼却灰 (c) スギナ焼却灰 (d) ナズナ焼却灰 (e) ササ(稈) 焼却灰 (f) ササ(葉) 焼却灰

Fig.2 実体顕微鏡 (56 倍) で撮影したバイオマス焼却灰



(a) スギ由来焼却灰 (b) 堆肥由来焼却灰 (c) スギナ焼却灰 (d) ナズナ焼却灰 (e) ササ(稈) 焼却灰 (f) ササ(葉) 焼却灰

Fig.3 蛍光 X 線分析によるバイオマス焼却灰成分測定結果 (酸化物換算)

これら 6 種類の焼却灰の成分を Fig.3 に示す。蛍光 X 線分析では軽い元素を検出することが出来ない為、H、C、N、O を除く重い元素のみの記載となっている。構成元素はすべて酸化物であると仮定し、重量比をとっている。Ca、K、Si がバイオマス焼却灰の主成分となっていることがわかる。また、それぞれの成分の割合は大きく異なり、ササ(稈)の Si 成分は約 28 %であったが、ササ(葉)での Si 成分は約 77 %と同一植物でも部位によって成分の割合が大きく異なることがわかる。

(3) PVA 水溶液によるバイオマス焼却灰の固形化

工場用薪ストーブのスギ由来の焼却灰を用いて PVA 水溶液の有効性を確認する実験を行った。固形化に必要な PVA 水溶液の濃度は 3 ~ 5 % 程度であり、必要な溶液量は焼却灰の重量の 4 割程度であった⁸⁾。50 mL ビーカーを用いて作製した、PVA 水溶液 (3 %) を用いた場合と脱イオン水を用いた場合の焼却灰固形化物の写真を、Fig.4 に示す。溶液量は焼却灰重量の 4 割とした。PVA 水溶液で固形化した焼却灰は弾力を持ち、崩れにくいものであった。これを手で押し潰してから

105 °C の熱風循環乾燥機で 24 時間乾燥させた後の写真を Fig.5 に示す。PVA 水溶液を用いたものは押し潰しても欠けることなく、一つの塊のままであった。乾燥後も潰した後の形状を保ち、飛散するような微粉の発生は全く見られなかった。水を用いたものは押し潰した時点で円形の端が欠け始めた。乾燥後はさらに脆くなって形状が崩れ、微粉が多く発生した。添加した PVA 量は焼却灰重量に対して 1.2 ~ 2 % と極僅かであるが、形状を保持する能力が高いことが判る。

バイオマス種による固形化の差や、固形化物の強度を調べるため、同一形状の固形化物試料を作製した。それぞれのバイオマス焼却灰に PVA 水溶液 (3 % または 5 %) を添加し、葉さじで十分に混合した。添加する PVA 水溶液量は焼却灰重量の 1 割から 2 倍程度まで変化させた。これを内径 16 mm 長さ 65 mm の円筒容器に詰め、押し出して固形化物試料とした。105 °C に保持した熱風循環乾燥機の中で 24 時間乾燥させた後に室温まで冷却し、フォースゲージを使用して強度を測定した。スギ由来、堆肥、スギナ、ナズナ焼却灰に関しては 5 g、ササ(稈)、ササ(葉) 焼却灰に関しては 2.5 g に対して PVA

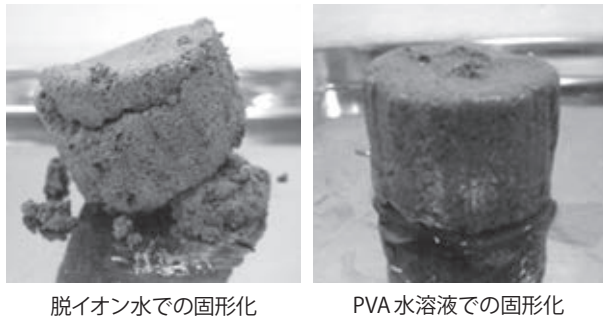


Fig.4 使用する溶液の違いによる固形化の比較

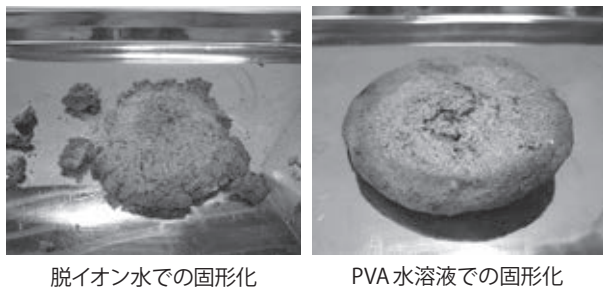


Fig.5 乾燥後の様子

水溶液を添加した。これは焼却灰のかさ密度の違いにより、ササ焼却灰を 5 g 入れた場合には円筒容器に入りきらなかったためである。

PVA 水溶液量を焼却灰重量の 1 割とすると、水溶液が少なすぎるために均一に混ざらず、固形化後に崩れやすい部分があった。PVA 水溶液が多すぎると、押し出す際に溶液が染み出すことが観察された。PVA 水溶液が染み出さない最大量は、バイオマス種により異なっていた。スギ由来・堆肥・スギナ・ナズナの焼却灰は焼却灰の重量に対して 4～8 割程度、ササ（稗および葉）では焼却灰の重量と同量～2 倍程度で

あった。ササ焼却灰のかさ密度が他のバイオマス焼却灰よりも小さく空隙が多いため、多量の水分を保持できると考えられる。それぞれのバイオマス焼却灰に PVA 水溶液を添加した後に乾燥させた固形化物試料の写真を Fig.6 に示す。灰の色が異なるために試料の色が異なるが、すべての灰は固形化し、乾燥後もその形状を保っていた。

乾燥させた固形化物試料にフォースゲージを押し付け、試料が押し潰されて壊れた時の荷重を測定した。フォースゲージの荷重は円筒形の試料の上部より加えている。焼却灰重量に対して PVA 水溶液量を 2 割または 4 割とした時の結果を Table 5 に示す。フォースゲージのフルスケールが 100 N であったため、100 N を計測した時点で壊れなかった試料は、>100 N と表記している。PVA 濃度が高くなると PVA 水溶液の粘度も高くなるため均一に混ざりにくく、固形化後に崩れやすくなる傾向がみられた。10 N は約 1 kg の重量を試料の上部に載せた場合に相当する。全ての試料は取り扱い上十分な強度を有している。1 m くらいの高さから落下させても、欠け壊れることはなかった。強度が比較的小さい堆肥焼却灰とササ（稗および葉）焼却灰には、Si 成分が多いという共通点がある。特にササ（葉）には Si 成分が多い。SiO₂ は化学的に安定であり、PVA の架橋成分にならないため、強度を多少落としたと考えられる。

PVA は洗濯糊の主成分としても用いられている、安価な材料である。PVA は生分解性があり、土壌改良に用いられている実績もある^{15, 16)}。原発事故前は、一般家庭から排出される焼却灰は庭などに還元するか自治体の分別方法に従ってゴミとして処分するようにと、ペレットストーブや薪ストーブの説明書等に記載されていた。固形化させた焼却灰が可燃ゴミとして処分された場合も、PVA は容易に燃焼するため残渣を増やすことはない。以上のことから、PVA 水溶液によるバイオマス焼却灰の固形化は、焼却灰の取り扱いを容易にする手法として有望であると考えられる。

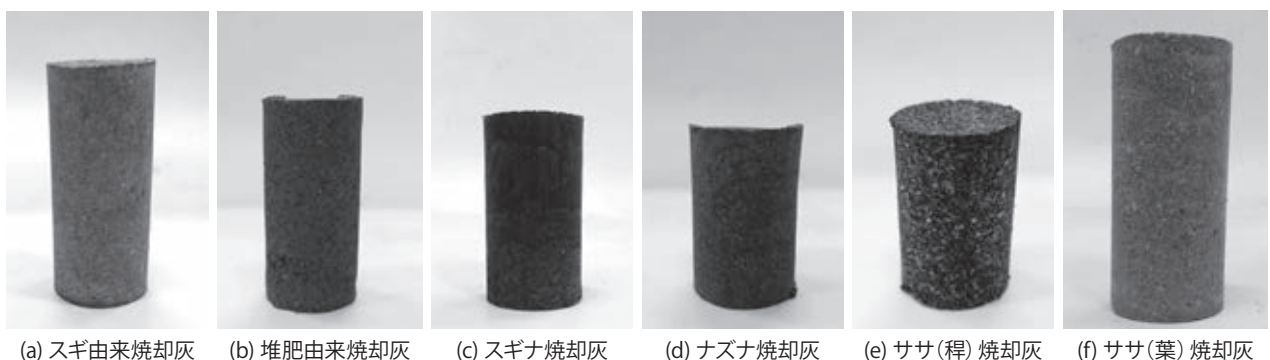


Fig.6 固形化したバイオマス焼却灰

Table 5 焼却灰重量に PVA 水溶液を添加し固化した焼却灰の強度

焼却灰	PVA 水溶液 2 割添加		PVA 水溶液 4 割添加	
	PVA 濃度 3% 荷重 (N)	PVA 濃度 5% 荷重 (N)	PVA 濃度 3% 荷重 (N)	PVA 濃度 5% 荷重 (N)
スギ由来焼却灰 (工場用ストーブ)	52.1	51.5	93.6	72.0
堆肥	作製せず	作製せず	作製せず	30.2
スギナ	95.2	77.6	93.8	82.4
ナズナ	>100.0	94.0	>100.0	93.6
ササ (稈)	11.9	作製せず	9.7	18.1
ササ (葉)	4.4	6.1	7.0	作製せず

(4) PVA 水溶液による固化の自動化

焼却灰に水溶液を加えて混ぜて成型するという一連の作業の自動化を、家庭用製麺機を用いて試みた。混練部と射出部の写真を Fig.7 に示す。この中にスギ由来焼却灰 150 g と PVA 水溶液 (3%) 45 g を投入し、5 分間混練した後に射出成形した。Fig.7 に示した攪拌棒での混合で、PVA 水溶液はバイオマス焼却灰と良く混合し、均一な色となった。射出部は 8 mm の厚さの硬質プラスチックに孔をあけたものである。うどんを作る際に使用する射出部 (2 mm・角型の孔、直径 3 mm・円形の孔) では目詰まりを起こし、焼却灰固形物を押し出すことができなかった。そのため、ボール盤で射出部の孔を直径 13 mm になるよう加工した。射出部の拡大で混練した焼却灰を押し出すことはできたが、ペレット状に固まることはなかった。そこで射出部を延長させるような加工を施した (Fig.8)。円筒は内径約 12 mm、長さ 55 mm とし、混練した焼却灰はこの円筒を押し出されてくる。この構造は、木質ペレットの成型機構を参考にしている。焼却灰が射出されるとき摩擦力によって圧密され、焼却灰がペレット状に固化して排出されることを期待した構造である。

射出部に加工を施したことによって、家庭用製麺機を用いて焼却灰を射出成形することができた (Fig.9)。排出された焼却灰固形物はペレット状になっており、このままポリ袋などに入れて捨てるのが容易である。湿った状態で触れても、手に付着するものは僅かであった。また、乾燥しても細かい粉塵は発生しなかった。

4. まとめ

放射性物質の存在を意識せざるを得ない地域において小規模分散型のバイオマス熱利用施設を普及させていくため、また雑草等を焼却した後に残る灰の取り扱いを容易にするため、焼却灰を固化して取り扱う手法について検討した。焼却灰に PVA 水溶液 (3 ~ 5% の希薄水溶液) を加えて混練して成



Fig.7 家庭用製麺機

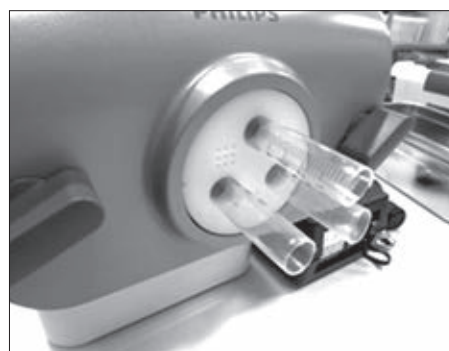


Fig.8 射出部を改造した家庭用製麺機

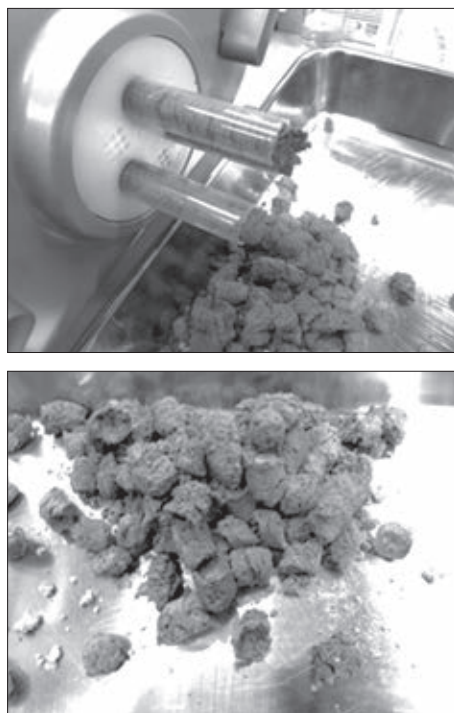


Fig.9 家庭用製麺機での焼却灰の固形化

型すると、実用上十分な強度を持つ固形化物が得られることを見出した。ササ・雑草・堆肥など、成分や粒子形状の異なるバイオマスの焼却灰に対しても、PVA 水溶液により固形化できた。固形化物は乾燥しても形状を保持しており、微粉化して再飛散するようなことはなかった。家庭用製麺機を用いて混練から成型までの自動化を試みた。射出部に軽微な改造を加えるのみで、ペレット状のバイオマス焼却灰固形化物を連続的に得ることができた。PVA 水溶液による固形化は、バイオマス焼却灰の取り扱いを安全にする手法として有効である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、有限会社花の木製材所(伊達郡川俣町)・佐久間建設工業株式会社(大沼郡三島町)・会津みしま自然エネルギー研究会(大沼郡三島町)より、様々な木質サンプルや焼却灰を提供いただき、福島県の木質バイオマスに関して御教授いただいた。

参 考 文 献

- 1) 「エネルギー白書 2014 第一部 第二部」資源エネルギー庁 HP (<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014pdf/>)、2015 年 7 月閲覧
- 2) 「放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について」農林水産省 HP (<http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/shizai.html>)、2015 年 7 月閲覧
- 3) 佐藤 睦人：福島県内の農地における放射性セシウムの

分布。福島県農業総合センター研究報告、放射性物質対策特集号、10-14 (2013)

- 4) 「稲の作付に関する考え方」農林水産省 HP (原子力災害対策本部、平成 23 年 4 月 8 日) (http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/ine_sakutuke.html)、2015 年 7 月閲覧
- 5) 「農家の皆様へ(平成 23 年 4 月 22 日)」福島県農林水産部 HP (<https://www.pref.fukushima.lg.jp/download/1/230422minasama.pdf>)、2015 年 7 月閲覧
- 6) 佐藤 理夫、佐藤 幹雄、尾形 宏樹、新井 宏受、武田 栄輝、橋本 久雄：放射性セシウム汚染が堆肥化を中心とする有機資源循環に与えた影響。第 1 回環境放射能除染研究発表会要旨集、134 (2012)
- 7) 佐藤 理夫、尾形 宏樹、塩谷 昌之、佐藤 幹雄、武田 栄輝、橋本 久雄：福島第一原子力発電事故で汚染された堆肥の汚染原因と処分方法。第 23 回 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、B11-5 (2012)
- 8) 熊谷 亜未、佐藤 理夫：小規模エネルギー利用設備で排出されるバイオマス焼却灰の飛散防止処理。化学工学会第 79 年会要旨集、SD3P78 (2014)
- 9) 熊谷 亜未、佐藤 理夫、島 長義：バイオマス焼却灰の飛散防止処理の検討。第 3 回環境放射能除染研究発表会要旨集、145 (2014)
- 10) 熊谷 亜未、佐藤 諒、菅野 大樹、島 長義、佐藤 理夫：ポリビニルアルコールによるバイオマス焼却灰の飛散防止。化学工学会第 46 回秋季大会要旨集、X301 (2014)
- 11) 佐藤 理夫、武田 栄輝、佐藤 幹雄：福島第一原子力発電所事故が家畜排せつ物の堆肥化に与える影響。第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、B6 -6 (2011)
- 12) 「堆肥の放射性セシウム検査」福島県農林水産部 環境保全農業課 HP (<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36021d/h26taihi.html>)、2015 年 7 月閲覧
- 13) 塩谷 昌之、小磯 将広、島 長義、佐藤 理夫：放射性セシウムに汚染された牛ふん堆肥の安定処分。第 2 回環境放射能除染研究発表会要旨集、130 (2013)
- 14) 岡本 利彦：1.4.2 燃焼(小型ボイラ)、「バイオマスプロセスハンドブック」、pp.238、化学工学会・日本エネルギー学会 共編、オーム社、東京(2012)
- 15) 喜田 大三：粘土をつなぐ高分子。高分子、**13**、306-311 (1964)
- 16) 喜田 大三：高分子と土壌改良剤。高分子、**10**、962-967 (1961)

2015 年 3 月 18 日受付

2015 年 7 月 14 日受理

和 文 要 約

薪ストーブ・ペレットストーブ・小型ボイラーといった分散型バイオマス熱利用設備や小型の焼却炉では、焼却灰の処理は手作業である場合が多い。放射性物質が灰に濃縮することが心配されるため、簡便で安心な焼却灰の取り扱い方法が求められている。濃度 3 ～ 5 % の希薄なポリビニルアルコール水溶液を焼却灰に加えて混ぜることにより、焼却灰は弾力のある固形物となった。固形物は取り扱い時に壊れない強度を持ち、乾燥後も飛散しない状態を保った。木材のみならず、ササ・雑草・堆肥など、成分や粒子形状の異なるバイオマスの焼却灰に対しても、ポリビニルアルコール水溶液による固形化は有効であった。焼却灰に水溶液を加えて混ぜて成型するという一連の作業の自動化を、家庭用製麺機を用いて試みた。射出部の形状を工夫することにより、ペレット状の焼却灰固形化物を連続的に得ることができた。

