

指定廃棄物（農林業系副産物）の減容化・安定化技術について

平成28年4月
環 境 省

1. 背景と目的について

- 東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、5年が経過しようとしているが、指定廃棄物の処理については未だ進んでおらず、各県の保管場所における保管が、当初想定されていたよりも長く継続している状況にある。
- また、農林業系副産物(稲わら、牧草等)は減容化されないまま保管されていることで、保管場所の土地の有効利用を妨げる場合があり、減容化が望ましい。
- 更に農林業系副産物などの有機性汚染廃棄物については、焼却するまでの間、長期間保管することによる悪影響(腐敗や自然発火など)が懸念されるため、中間処理を行い、安定した状態で保管することが望ましい。
- そこで、焼却処理をするまでの間、保管するために行う農林業系副産物の減容化・安定化技術について、現状技術の整理、検討を行った。
- また、農林業系副産物の処理にあたっては、焼却が最適であるが、他の処理方法による可能性についても、併せて検討を行った。

2. 農林業系副産物の減容化・安定化技術の必要性について

- 農林業系副産物(稲わら・牧草等)の保管によって土地の有効利用を妨げている場合には、農林業系副産物の減容化が有効な対策となる。
- また、農林業系副産物の保管時において、湿った空気の流入や結露により局所的な湿潤が生じた場合、発酵、腐敗にともなう悪臭の発生により周辺環境の悪化が懸念される。このため、一部保管状態に劣化がみられる農林業系副産物については、必要に応じて安定化処理を行う必要がある。
- また、焼却や最終処分の受入状況によっては、焼却以外の処理を必要とする場合もあると考えられる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について

- 農林業系副産物は従来、家畜の飼料や農耕地への肥料など原則、再利用していたため、農林業系副産物の安定化に関する研究事例は少数に限られる。
- このため、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて実施された「除染技術実証事業報告(環境省、内閣府)」* 及び文献検索を行い抽出された論文の中から農林業系副産物の減容化・安定化に活用できる処理技術がないか確認を行った。
- 平成23年度から26年度にかけて行われた除染技術実証事業においては、実証事業全83件のうち10件が、また、文献検索の結果、抽出された研究事例からは4件が農林業系副産物(稲わら、牧草等)の減容化・安定化に活用できると考えられる。
- これらの技術を整理すると、大きく分けて乾燥、圧縮、堆肥化、炭化技術などに分類できる。
- 各技術の特徴などについては次頁の通り。

* 「除染技術実証事業(H23年度～H26年度)」 環境省、「除染技術実証試験事業(H23年度)」 内閣府

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について(類型化)

乾燥

- ・常温あるいは100℃以下の加熱により、廃棄物中の水分を蒸発させる。
- ・汚泥では、濃縮→脱水→乾燥の工程を経て含有水分を分離し、減容・減量化する。
- ・草木等では、乾燥によりある程度の減容が図られるとともに、腐敗等に対する二次処理が不要となる。

圧縮

- ・嵩密度の低い廃棄物を、プレス機等により圧縮し、減容化を図る。
- ・処理後の廃棄物は高密度となる。
- ・前処理として破碎の併用や、後処理として梱包やバンディングが併用される場合が多い。

堆肥化

- ・水分調整、材料の混合、切返しを行い、酸素供給と通気性を確保して発酵を促進する。
- ・処理に時間を要するが、高温好気堆肥菌により高温で短期間で効率的に発酵させる技術も開発されている。

炭化

- ・酸素のない状態で廃棄物を高温で熱し、熱分解により炭素分と灰分からなる炭化物を生成する。
- ・炭化することにより、腐敗、腐臭が起こらない長期保存可能な炭化物となる。

その他

- ・熱分解: 有機物を還元状態で加熱し、熱化学的に分解しガス・油・固形物を生成する。
- ・エタノール製造: 粉碎した有機性廃棄物を糖化・発酵し、バイオエタノールを製造する。
- ・メタンガス製造: 高含水の有機性廃棄物を嫌気性微生物の働きによりメタン発酵させる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[考察]1

(1) 除染技術実証事業(H23年度～H26年度) 環境省 1/4

| | 処理方式 | 対象物 | 減容化 | 減量化 | 事業の概要 |
|---|---------------------|-----------|---|------------------|---|
| ① | 乾燥分級(H25) | 稲わら 牧草 | — | 50～70% (減量化率) | 除染された植物には多くの土砂が混入している。混入している土砂を植物から乾式で分級除去することで、焼却処理量を減量化する。 |
| ② | 乾燥・加熱・圧縮成型 (H26) | 枝葉・草 | 1/6 以下に減容 ※工程別減容化内訳 (選別・破碎工程) 4.8/5 (乾燥工程) 3.8/5 (減容化工程) 0.6/5 | — | 汚染バイオマス(樹木枝葉・草等)を用いてバイオコークス化(バイオマスを乾燥し加熱圧縮して石炭コークス並みの強度を持つバイオコークスを製造する)による減容化を行い、減容による輸送効率の向上、安全性および経済性を評価する。 |

[考察]

- ① 乾燥分級処理による減量化率は50%～70%とされているが、これには植物に付着していた土砂も含まれており、植物の破碎乾燥処理のみによる減量化率はより低くなると考えられる。
- ② バイオコークス化するまでの工程ごとに減容化率が示されており、バイオコークス化した場合には減容化率は88%程度、工程途上の乾燥処理までであれば24%程度である。また、バイオコークス化には大がかりな設備を必要とするため、対応可能な場所が限定されるが、乾燥処理までの工程とすれば、設備は相対的にコンパクトとなり、対応範囲が広がる。さらに、乾燥した草木については安定した保管が可能と考えられる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[考察] 2

(1) 除染技術実証事業(H23年度～H26年度) 環境省 2/4

| | 処理方式 | 対象物 | 減容化 | 減量化 | 事業の概要 |
|---|-----------|-------------|--------------|----------|--|
| ③ | 圧縮成型(H23) | バーク(樹皮) | 60%前後(圧縮成型後) | — | バーク(樹皮)を前処理(粉碎等)を行った後、圧縮成型し減容化することで保管性・輸送性を改善する。圧縮成型の過程において発生する除去物はほとんどなし。 |
| ④ | 炭化(H23) | 汚染有機物(落ち葉等) | 96%(炭化後) | 90%(炭化後) | 放射性物質に汚染された有機物(汚染有機物)を発生場所にて減容から収納まで可搬式連続炭化減容装置により自動で行う。効率的かつ安全に作業できるかを実証する。 |

[考察]

- ③ 圧縮成型処理による減容化率は60%程度であり、また処理にともなう副生成物がほとんどない。なお、大がかりな設備が不要なため(5mx5mの敷地があれば設置可能)、多くの保管場所での対応が可能となる。
- ④ 炭化処理による減容化率は96%程度と高い。また、この実証事業では、可搬式の減容化装置を用いており、多くの保管場所での対応が可能と考えられる。ただし、炭化処理では250℃まで加熱を行っており、排ガスや廃液などの副生成物が発生するため、その処理のための付帯設備が必要となり、施設が大がかりなものになると考えられる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[考察] 3

(1) 除染技術実証事業(H23年度～H26年度) 環境省 3/4

| | 処理方式 | 対象物 | 減容化 | 減量化 | 事業の概要 |
|---|----------|----------------|---|--|---|
| ⑤ | 炭化(H24) | 木質系廃棄物(植物) | 82.6% (炭化後) | 63.4% (炭化後) | 放射性物質に汚染された植物(木質系廃棄物)を、無酸化、間接加熱での炭化を連続で行うことで、大量減容処理の提案を行う。 |
| ⑥ | 熱分解(H23) | 有機物(樹木、草、農産物等) | 99.9% ※工程別減容化内訳 (ペレット化工程) 74.4% (熱分解工程) 92.4% (水蒸気ガス化工程) 99.9% | 99.0% ※工程別減容化内訳 (ペレット化工程) 0% (熱分解工程) 82.8% (水蒸気ガス化工程) 99.9% | 放射能で汚染された有機物(樹木、草、農産物、木材加工残渣、下水汚泥等)を熱分解して減容化する。その際に発生するガスを有効活用する。 |

[考察]

- ⑤ 炭化処理による減容化率は82.6%程度。ただし、炭化処理では700℃程度まで加熱を行っており、排ガスや廃液などの副生成物が発生するため、その処理のための附帯設備が必要となり、施設が大がかりなものになると考えられる。
- ⑥ 熱分解処理は、工程ごとに減容化率が示されており、最終的な水蒸気ガス化工程では99.9%程度、処理途上の熱分解工程では92.4%程度、ペレット化工程では74.4%程度となっている。最終工程まで行った場合には大がかりな設備を必要とするため、対応可能な場所が限定されるが、ペレット化工程までの処理とすれば、設備は相対的にコンパクトとなり、対応範囲が広がる。さらにペレット化した有機物については安定した保管が可能と考えられる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[考察] 4

(1) 除染技術実証事業(H23年度～H26年度) 環境省 4/4

| | 処理方式 | 対象物 | 減容化 | 減量化 | 事業の概要 |
|---|----------------------|----------------------------------|--|--|--|
| ⑦ | 熱分解 (H24) | バーク | 約1.8%に減容 (熱分解後) | 約29%に減量 (熱分解後) | 放射能汚染されたバークを低温で熱分解することで放射性セシウムを固体残渣中に濃縮、減容化を図るとともに、非汚染留分を燃料化する。 |
| ⑧ | エタノール 生産 (H23) | 木質系、草本系 廃棄物(剪定枝、 稲わら、落ち葉等) | 草本系:94.3% 木質系:95.6% ・草本系(粉碎工程) 32.7% (3500/5200) ・木質系(粉碎工程) 36.7% (4500/7100) | 草本系:90.0% 木質系:90.0% ・草本系(粉碎工程) 0% ・木質系(粉碎工程) 0% | バイオエタノール生産技術を用い、木質系および草本系の汚染廃棄物(剪定枝・稲わら・雑草・落ち葉等)に付着あるいは吸着・蓄積した放射性物質の除染・回収・減容化とともに副生物として再資源化(バイオエタノール、バイオマス発電原料等)を図る技術の実証を行う。 |

[考察]

- ⑦ 熱分解処理による減容化率は98%程度と高い。ただし、熱分解処理では500℃程度まで加熱を行っており、排ガスや廃液などの副生成物が発生するため、その処理のための附帯施設が必要となり、設備が大がかりなものになると考えられる。
- ⑧ エタノール生産では木質系、草本系の廃棄物を対象としており、最終的な減容化率は94.3%～95.6%程度、前処理の粉碎工程では32.7%～36.7%程度となっている。最終工程まで行った場合には大がかりな設備を必要とするため、対応可能な場所が限定されるが、乾燥工程までの処理とすれば、設備がコンパクトとなり、対応範囲が広がる。さらに、乾燥した草木は安定した保管が可能と考えられる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[考察] 5

(2) 除染技術実証試験事業(H23年度) 内閣府

| | 処理方式 | 対象物 | 減容化 | 減量化 | 事業の概要 |
|---|---------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---|
| ⑨ | 堆肥化 (高温発酵) | 有機物 (落ち葉、牧草、 野菜等) | — | 50% (減量化率、処 理開始1日以 内) | 植物体などを高温好気堆肥菌により生物学的に燃焼(80℃~100℃)して減容化する有効性について実証する。 |
| ⑩ | 堆肥化 | 有機物 (伐採樹木、庭木、 野菜、雑草等) | 87%以上 (処理開始3 ~4日以内) | 82%以上 (処理開始3~4 日以内) | 有機物(伐採樹木や庭木、農地雑草など)を破碎後、攪拌しながら常在菌による好気分解を行うことで減容化する(50℃~60℃)。 |

[考察]

- ⑨⑩ 堆肥化処理による減量化率は50%~82%程度、減容化率は87%程度となっている。ただし、堆肥は有機分を含むため、一定期間保管を継続する場合は、湿潤による臭気や自然発火に留意した管理が必要と考えられる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[考察] 6

(3) その他研究事例 1/2

| | 処理方式 | 対象物 | 減容化 | 減量化 | 研究の概要 |
|---|--------------|-----------------|-------------------|-------------------|--|
| ⑪ | 乾燥・圧縮成型(H26) | 稲わら、牧草、 枝葉など | 元の容積の 1/5~1/10 | — | 裁断→乾燥→粉碎→混合→成型(ペレット化)という工程の減容化処理により、水分15%以下で元の容積の1/5~1/10に減容したペレットに加工し、安定的に保管する植物系除染廃棄物の減容化設備を開発した研究。 |
| ⑫ | 炭化(H25) | 稲わら 牧草 | — | 稲わら 84% 牧草 95% | 稲わらや牧草等の放射性Cs汚染廃棄物を常圧過熱水蒸気による炭化処理技術により、安全に減容化し、含有する放射性Csを炭化処理物に固定化するとともに、処理装置本体を車載可能な大きさにコンパクト化し、実証試験を行った研究。 |

[考察]

- ⑪ 乾燥・圧縮成型による減容化率は80%~90%程度で、処理にともなって発生する副生成物もほとんどないが、研究では可搬性のない比較的大がかりな設備を使用しており、場所によっては対応が限定される。
- ⑫ 炭化処理により減量化率は84%~95%と高い。また、車載可能な減容化装置を用いているため、現地での対応も可能である。ただし、炭化処理では550℃程度まで加熱を行っており、排ガスや廃液などの副生成物を発生する。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[考察] 7

(3) その他研究事例 2/2

| | 処理方式 | 対象物 | 減容化 | 減量化 | 研究の概要 |
|---|------------|-------------------|--------------------|--------------------|---|
| ⑬ | ペレット化(H26) | 稲わら | 75%以上 (ペレット化工程) | — | 食料と競合しないセルロース系原料(稲わら)からエタノール製造を行うにあたり、前処理として、ペレット化を行うことで酵素糖化性の向上を確認するとともに、ペレット化による減容化効果によるコスト削減の可能性を検討した研究。 |
| ⑭ | メタン発酵(H26) | 稲わら 牧草類 枝打ち | 94% | 64% (乾燥バイオマス換算) | 放射能に汚染された植物バイオマスの、焼却に依存しない減容化法として、メタン発酵に着目し、各工程における放射性物質の挙動、分布を明らかにすることを目的とした研究。 |

[考察]

- ⑬ ペレット化工程で減容化率が75%以上となる。エタノール生成の最終工程まで行った場合には大がかりな設備を必要とするため、対応可能な場所が限定されるが、ペレット工程までの処理とすれば、設備が相対的にコンパクトとなり、対応範囲が広がる。さらにペレット化した稲わらについては安定した保管が可能と考えられる。
- ⑭ メタン発酵を用いた処理による減容化率は94%と高い。処理工程で、排ガスや廃液などの副生成物を発生するため、その処理のための附帯設備が必要となり、施設が大がかりなものになると考えられる。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[結論1]

- これらの技術のうち、炭化・熱分解については炭化炉、熱分解炉等の装置を用いるが、現地での対応が可能なものもある。
- しかしながら、焼却施設同様、処理によって排ガスなどの副生成物の発生をとまなうため、設置にあたって地元交渉等に時間を要することが予想される。
- 堆肥化処理については、一定の減容化・安定化がみられるものの、その後、保管を続けるにあたって、臭気の問題をとまなうおそれがある。また、堆肥化は一般的に開放された環境で行われることが多いが、電離放射線障害防止規則に対応するため密閉構造とする必要があると考えられる。
- 一方、乾燥・圧縮成型については、6割以上の減容化が見込まれ、安定した保管が可能であるとともに、処理にとまなう副生成物がほとんどなく、現地対応性も高いことがわかった。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について[結論2]

- 以上のことから、農林業系副産物の減容化・安定化技術としては、焼却が最も望ましいが、文献調査の範囲では、現状の技術による焼却以外の処理技術としては、乾燥・圧縮成型技術も可能と考えられる。なお、実際の適用においては、地域ごとの実情に応じて検討する必要がある。
- 更に、減容化・安定化の後、資料1で示した保管強化策をとることで、より安全な対策をとることが可能と考える。
- また、農林業系副産物の処理にあたっては、他の廃棄物と混焼により濃度調整して処理する方法は、減容化・安定化に極めて有効と考えられる。
- なお、放射性セシウム濃度が1キログラム当たり1万ベクレルを超える廃棄物を取扱う場合には、電離放射線障害防止規則の規定に従って、事故由来廃棄物等が飛散しないように専用の作業施設内で作業を行うほか、労働者の放射線による障害を防止するため必要な規程を定め、これにより作業を行わなければならない点に留意が必要である。

3. 農林業系副産物の減容化・安定化技術について [参考イメージ]

圧縮梱包の実施のイメージ



破砕した廃棄物を1m³大型土のうに半分(約0.5m³)充填

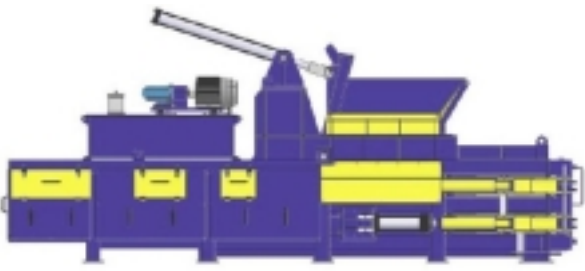


大型圧縮梱包機で土のうのまま4袋を投入



4袋分の圧縮物を1袋の大型土のうに封入し、バンドで結束

据置型圧縮梱包機の例



- ・一度に多くの処理が可能
- ・梱包物寸法(mm): 1,000 × 1,000 × 任意

小型圧縮梱包機の例



- ・一度に少量しか処理できない
- ・機械サイズ(mm): 1,745 × 1,260 × 2,295 ⇒ 車載可能

出典) 腐敗性除染廃棄物の圧縮保管に関する研究((株)竹中工務店、(独)国立環境研究所)、サンモア株式会社ホームページ