－研究記録（Research Note）－

北海道における木質バイオマス燃焼灰のリサイクルの可能性

折橋　健，原田　陽*[1]，西宮　耕栄*[2]

Recycling potential of woody biomass combustion ash in Hokkaido

Ken ORIHASHI, Akira HARADA, Koei NISHIMIYA

キーワード：エネルギー，木質バイオマス，燃焼灰，リサイクル

木質バイオマス燃焼灰のリサイクルの可能性を把握するために，農業・環境，土木，窯業，建設分野でリサイクル事業を行っている道内事業者に郵送アンケートを行った。アンケート票は39事業者に送付し，25事業者より回答を得た（回答率64%）。灰はリサイクル事業者が関心を示す素材であり，肥料や埋戻材の原料，煉瓦原料の代替など，複数の用途で活用可能性があると判明した。また，一部のリサイクル事業者は，既に灰リサイクルの相談を受けていることや，灰をセメントや路盤材の原料として使用していることも明らかとなった。リサイクル事業者による灰の活用条件は，事業者により様々であった。大きくは，品質，供給，コストの3項目に分類され，品質面では有害成分や異物の制限，水分や成分，粒度が所定条件を満たすことなどが，供給面では安定供給や需要に応じた供給などが条件として挙げられた。今回のアンケート結果から，発生量が増加する灰の活用先としてリサイクル分野が期待される一方で，実際にこの分野で活用が進むかどうかは，リサイクル事業者の提示する多様な活用条件を灰が満たせるかどうかに左右されると示唆された。

1. はじめに

道内では，木質バイオマスのエネルギー利用が拡大している。燃料としての木質バイオマスの使用量は，近年では年間70万dry-t前後に及び，全国でも上位の量である[1)]。このようなエネルギー利用の進展に対し，資源の循環利用などの観点から木質バイオマス燃焼灰（以下，灰とする）の有効利用が重要性を増している。そこで筆者らは，道内における灰の発生や利用の実態を調査し[2,3)]，利用上の課題を把握するとともに，灰の性状調査[4)]や用途開発[5,6)]に取り組んでいる。

灰の利用には，木質バイオマスエネルギーを製造，利用する事業者（以下，木質エネルギー製造・利用事業者とする）が自ら主動する場合と，リサイクル事業者といった他者による利用がある。このうち前者に関しては，上記の実態調査[2)]において道内の状況を把握しており，また，著者らのこれまでの用途開発[5,6)]も前者を想定したものである。一方，後者に関しては，燃料源は異なるが石炭灰やごみ焼却灰でリサイクルが普及しており[7)]，木質バイオマスに由来する灰にもリサイクル分野で様々な活用可能性が予想される。ただ，その点を道内で調査した例はなく，灰の利用拡大に向けて把握が必要である。そこで本研究では，道内のリサイクル事業者を対象に，リサイクル素材としての灰への関心度や，灰の活用可能性を確認する目的で，郵送アンケート（以下，アンケートとする）を行った。

2. 方法

灰利用の動きが進んでいる海外の事例[8)]を参考に，アンケートを行うリサイクル分野として農業・環境，土木，窯業，建設分野を選定した。これらの分野においてリサイクル事業を行っている道内の39事業者を公開情報から把握し，当該事業者に対して2020年11月にアンケート票を送付した。

アンケート票には，灰の性状や道内での灰の発生・利用の実態，課題に関する説明文を載せ，回答前に読んでもらうよう指示を付けた。その上で，全事業者を対象に，灰リサイクルへの関心，灰リサイクルの相談を受けた経験，灰の活用可能性について選択式で回答を求めた（**第1表**）。また，既に灰を活用している場合も含め，灰の活用可能性があると回答した事業者には，活用方法や活用するための条件について追加の自由記述を求めた。

得られた回答は内容を確認し，より正確な把握のため，必要に応じて補足の聞き取り調査（書面，電話調査）を行った。

3. 結果と考察

アンケート票を送付した39事業者のうち25事業者より回答を得た（**第2表**）。回答率は全体で64%，分野別では回答のなかった建設分野を除いて50～71%であった。

灰リサイクルへの関心では，農業・環境と土木分野の計4事業者（25事業者のうち16%）が「関心はない」と答えた（**第3表**）。残る21事業者（同84%）は関心を示し，内訳をみると，農業・環境と土木分野の計12事業者が「以前より関心がある」と答え，以上の2分野と窯業分野の計9事業者が「説明を読み関心を持った」と回答した。

灰リサイクルの相談を受けた経験では，18事業者（25事業者のうち72%）が「ない」，7事業者（同28%）が「ある」と答えた（**第4表**）。後者のうち，5事業者は土木分野，2事業者は農業・環境分野であった。

灰の活用可能性では，農業・環境と土木分野の計8事業者（25事業者のうち32%）が「可能性はない」と答えた（**第5表**）。一方，「既に活用，活用できる，可能性はある」の3選択肢を計17事業者（同68%）が選んだ。内訳をみると，土木分野の2事業者が「既に活用」と回答し，農業・環境と土木分野の計3事業者が「現在はやっていないが，活用できる」と答えた。また，12事業者が「やってみな

第1表　郵送アンケートでの設問

1. 灰リサイクルへの関心（選択式）
   1）以前から関心がある
   2）説明文を読み，関心を持った
   3）関心はない
2. 灰リサイクルの相談を受けた経験（選択式）
   1）ある
   2）ない
3. 灰の活用可能性（選択式）
   1）既に活用
   2）現在やってはいないが，活用できる
   3）やってみないと分からないが，可能性はある
   4）可能性はない
4. 灰の活用方法（見込みも含む）や活用条件
   （設問3で1～3を選択した場合のみ自由記述式で回答を求める）

第2表　アンケート票の送付と回答の数

リサイクル分野	送付（件）	回答（件）	回答率（%）
農業・環境	17	12	71
土木	16	11	69
窯業	4	2	50
建設	2	0	0
全体	39	25	64

第3表　灰リサイクルへの関心（25事業者の回答）

リサイクル分野 [n]	以前から関心がある		説明文を読み，関心を持った		関心はない	
	回答数	(%)	回答数	(%)	回答数	(%)
農業・環境 [12]	7	(58)	3	(25)	2	(17)
土木 [11]	5	(45)	4	(36)	2	(18)
窯業 [2]	0	(0)	2	(100)	0	(0)
全体 [25]	12	(48)	9	(36)	4	(16)

[n]：回答を寄せた事業者数，(%)：各選択肢を選んだ事業者数の[n]に対する%で，四捨五入値のため合計が100%にならない場合がある

第4表　灰リサイクルの相談を受けた経験（25事業者の回答）

リサイクル分野 [n]	ある		ない	
	回答数	(%)	回答数	(%)
農業・環境 [12]	2	(17)	10	(83)
土木 [11]	5	(45)	6	(55)
窯業 [2]	0	(0)	2	(100)
全体 [25]	7	(28)	18	(72)

[n], (%)：第3表を参照

いと分からないが，活用可能性がある」と回答し，これには以上の2分野に加え窯業分野の事業者も含まれた。

既に活用している場合も含めて灰の活用可能性があると回答した事業者に，活用の方法や条件の記述を求めたところ，まず灰の活用方法では，農業・環境分野や土木分野で肥料や埋戻材の原料といった複数の用途が，窯業分野では煉瓦原料の代替が挙げられた（**第6表**）。このうち，灰を既に活用している土木分野の2事業者の回答は，路盤材およびセメントの原料であった。

次に，灰の活用条件は，ほとんどが農業・環境と土木分野から挙げられ，窯業分野から出た条件はわずかであった（**第7表**）。その内容は業者により様々であったが，大きく品質，供給，コストの3項目に分類された。回答数が最も多かったのは品質で，その内容は「有害成分の含有量や溶出量の制限」「クリンカや燃え殻の混入制限」「水分や成分が所定条件を満たすこと」「主灰と飛灰の分別・受入制限」「粒度が所定条件を満たすこと」「使用燃料源の制限」と多様であった。また，供給に関する内容は，「安定供給」「発生元での在庫管理・供給量調整」「まとまった量での供給」であった。

以上のように，灰はリサイクル事業者が関心を示す素材であり，活用可能性があると判明した（第3～5表）。また，一部のリサイクル事業者は，既に灰リサイクルの相談を受けていることや，リサイクル原料として使用していることも明らかとなった。

灰の活用方法では，複数の用途が挙げられた（第6表）。一方，灰の活用可能性に関する設問では，「やってみないと分からないが，活用可能性はある」との回答が最も多かった（第5表）。このため用途の実現には，リサイクル事業者による試行を働きかけ，これを支援する仕組みがあれば望ましい。

第5表　灰の活用可能性（25事業者の回答）

リサイクル分野 [n]	既に活用		現在やってはいないが，活用できる		やってみないと分からないが，可能性はある		可能性はない	
	回答数	(%)	回答数	(%)	回答数	(%)	回答数	(%)
農業・環境 [12]	0	(0)	2	(17)	6	(50)	4	(33)
土木 [11]	2	(18)	1	(9)	4	(36)	4	(36)
窯業 [2]	0	(0)	0	(0)	2	(100)	0	(0)
全体 [25]	2	(8)	3	(12)	12	(48)	8	(32)

[n], (%)：第3表を参照

第6表　灰の活用方法（17事業者の回答）

分野 [n]	内訳と回答数*
農業・環境 [8]	原料（肥料4，土壌改良材3，培土2，緑化基盤材2，融雪資材1）
土木 [7]	原料（埋戻材4，路盤材2，セメント1，コンクリート1，覆土材1，盛土材1）
窯業 [2]	煉瓦原料の代替2

[n]：第3表を参照，＊：同一事業者による複数回答があるため合計は[n]とは合致しない

第7表　灰の活用条件（17事業者による回答）

リサイクル分野 [n]	内訳と回答数*									
	品質						供給			コスト
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
農業・環境 [8]	4	2	5	1	3	1	2	2	1	3
土木 [7]	4	2	0	2	0	1	2	1	1	1
窯業 [2]	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
全体 [17]	8	5	5	3	3	2	4	3	2	5

a：有害成分の含有量や溶出量の制限，b：クリンカや燃え殻の混入制限，c：水分や成分が所定条件を満たすこと，d：主灰と飛灰の分別・受入制限，e：粒度が所定条件を満たすこと，f：使用燃料源の制限，g：安定供給，h：発生元での在庫管理・供給量調整，i：まとまった量での供給，[n]：第3表を参照，＊：同一事業者による複数回答があり，合計は[n]とは合致しない

リサイクル事業者による灰の活用条件は，業者により様々であった（第7表）。このため，一括りにまとめるのは難しいが，幅広く捉えると，灰の排出者である木質エネルギー製造・利用事業者は，品質面では有害成分や異物の制限をはじめ，水分や成分，粒度等が所定条件を満たすことを，供給面では安定供給や需要に応じた供給などをリサイクル事業者より求められる可能性があり，その上でコスト面の条件も示される可能性がある。

近年著者らは，道内の木質エネルギー製造・利用事業者を対象に，灰の利用実態を調査した[2,3]。その結果より，未利用灰の量が多い，あるいは灰を未利用の事業者割合が高いといった点から，灰の利用を進めるべき業種として発電所・熱供給業，木材関連産業，公共機関と（以上の業種や紙製造業を除く）その他の産業が挙げられる。このうち発電所・熱供給業では，事業者あたりの灰の発生量が多いため[2]，各事業者の灰がリサイクル事業者の求める供給やコストの条件，さらには品質条件を満たす可能性が十分にあり，リサイクルに期待が持てる。一方，残りの3業種では，多くの場合，事業者あたりの灰の発生規模が小さいため[2]，特に供給面で個々の灰が越えるべきハードルが高く，その分リサイクルの可能性は低いと予想される。このため，木材関連産業等3業種の灰をリサイクルするためには，複数事業者の灰をまとめた上でリサイクル事業者に供給する（例えば，灰の発生規模が大きい事業者を拠点として，周辺事業者の灰をまとめ，リサイクル事業者に供給する）といった仕組みを検討する必要がある。

道内では，今後も木質バイオマスエネルギーの利用が増加すると見込まれる[9]。それに伴って，灰の発生量も増え，その有効利用の重要性がさらに高まると予想されるが，上記のとおり，増加する灰の行先としてリサイクル分野が期待される。ただし，この分野で灰の活用が進むかどうかは，リサイクル事業者の提示する多様な活用条件を灰が満たせるかどうかに左右されると示唆されたことから，今後の灰リサイクルの検討ではこの課題への対処が求められる。また，今回のアンケートにより道内での灰利用の課題を初めて知ったというリサイクル事業者も少なからず確認された（第3表）。このため，引き続き灰の発生や利用の実態について情報を発信していくことも，灰リサイクルの普及に重要である。

謝　辞

本研究は，北海道循環資源利用促進重点課題研究開発事業費補助金により実施した。郵送アンケートと補足の調査では，道内のリサイクル事業者各位に多大なご協力をいただいた。記して厚くお礼申し上げる。

引用文献

1）農林水産省：木質バイオマスエネルギー利用動向調査，https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/ 2023年10月17日参照.

2）折橋健, 原田陽, 西宮耕栄：木質バイオマスのエネルギー利用に伴う燃焼灰の発生と利用の実態. 木材学会誌69(2), 92-101 (2023).

3）折橋健, 原田陽, 西宮耕栄：北海道における木質バイオマス燃焼灰の発生量と利用量の推計. 林産試験場報551, 1-4 (2024).

4）折橋健, 原田陽, 安久津久：小～中型木質専焼ボイラーより採取したチップもしくは薪由来の燃焼灰の性状. 木材学会誌67(1), 33-43 (2021).

5）折橋健, 原田陽, 安久津久：木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討（5）灰の明度と融雪効果. 林産試験場報549, 15-18 (2022).

6）折橋健, 原田陽, 安久津久：木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討（6）酸性土壌に対するpH矯正力. 林産試験場報549, 19-24 (2022).

7）高岡昌輝, 池美乃里：我が国におけるごみ焼却残渣及び木質バイオマス燃焼灰の発生量. 日本エネルギー学会機関誌えねるみくす100(1), 40-47 (2021).

8）IEA Bioenergy : Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing, http://task32.ieabioenergy.com/iea-publications/ 2023年10月17日参照.

9）北海道水産林務部総務課：北海道森林づくり基本計画（令和4年(2022年)3月策定），https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/r-g/r-keikaku/top.html 2023年10月17日参照.

ー森林研究本部企画調整部　企画課ー

ー＊1：利用部　微生物グループー

ー＊2：利用部　バイオマスグループー

（原稿受理：23.10.17）