

開発支援事業 第3回検討委員会

平成26年度「地域材利用活用倍増戦略プロジェクト事業のうち木質バイオマス加工・利用システム開発事業」

高効率バイオマス発電システムのための 木質バイオマス燃焼灰の再資源化実証事業

平成27年3月11日

中国木材株式会社

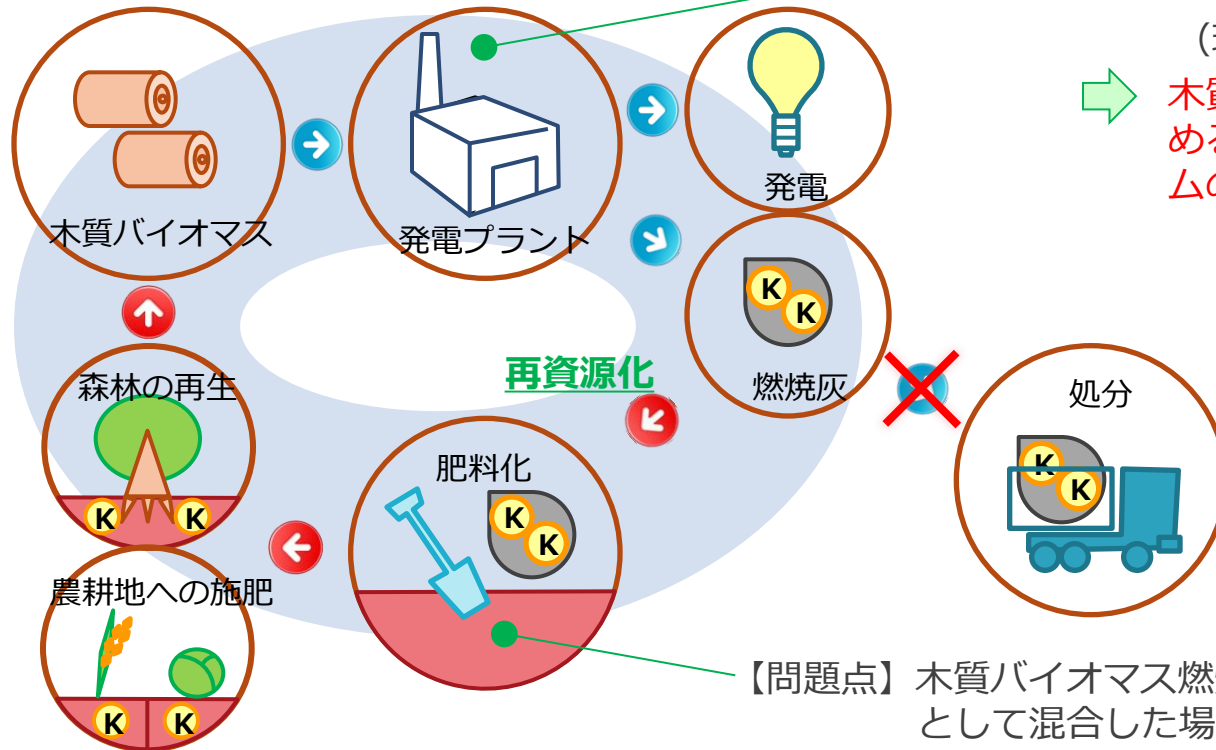
株式会社タクマ

広島大学大学院工学研究院

片倉チッカリン株式会社

当該事業の目的

木質バイオマス燃焼灰の肥料利用による 経済効果と環境負荷低減



【問題点】 木質バイオマス燃焼灰のカリ濃度 (K_2O) の安定化と高濃度化 (現状5~25%→目標30~50%)

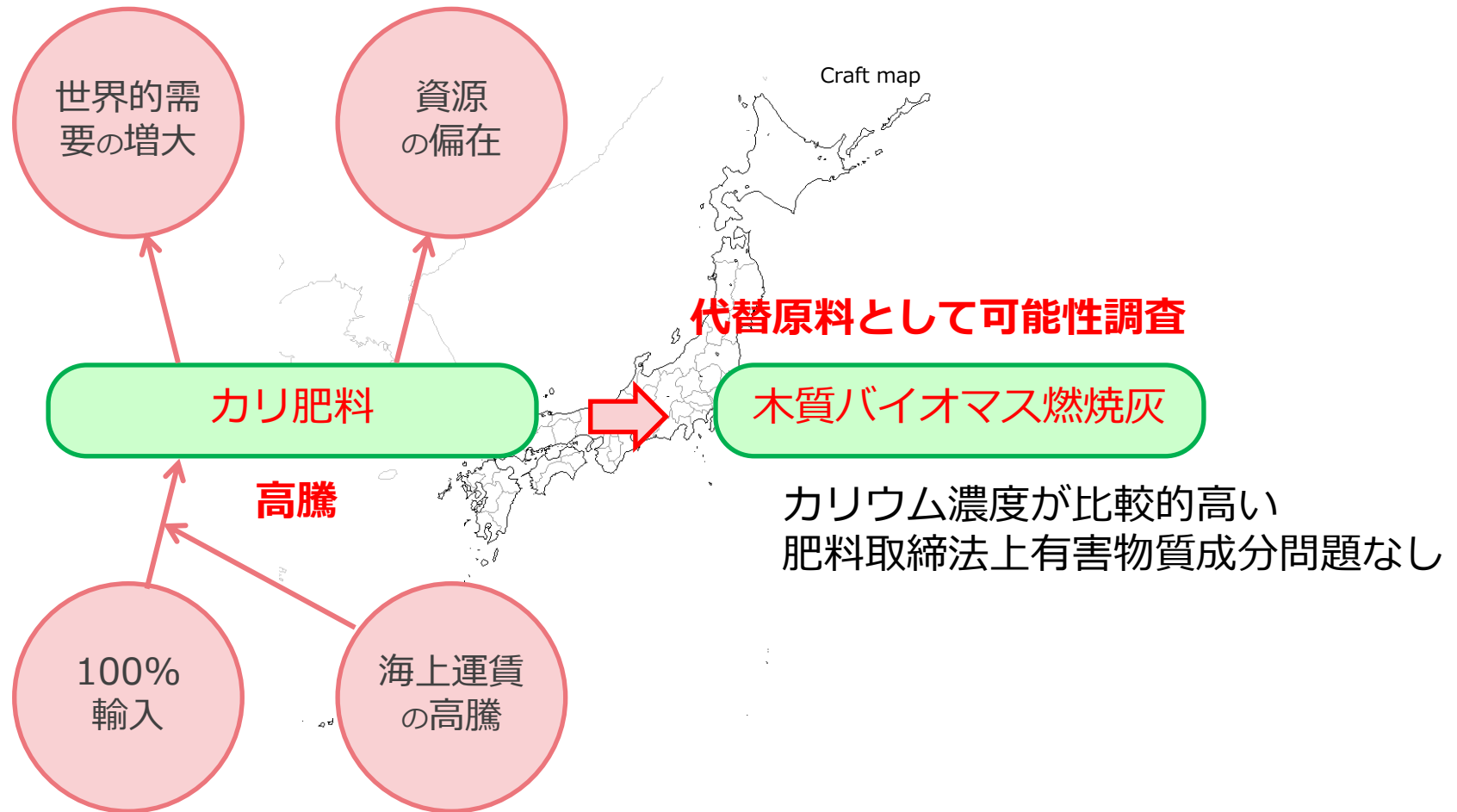
➡ 木質バイオマス燃焼灰のカリ濃度を高める新規な木質バイオマス発電システムの開発・実証

【問題点】 木質バイオマス燃焼灰はアルカリ性のため複合肥料として混合した場合、アンモニア揮散する

➡ 木質バイオマス燃焼灰を肥料原料として使用するための開発・実証

➡ 木質バイオマス燃焼灰から製造した肥料の作物、土壌に対する影響評価

背景 ; 木質バイオマス燃焼灰の肥料利用について



当該事業の概要

step1

燃料， 燃焼灰の現状把握

中国木材本社工場（広島県呉市）
中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）

step2-1

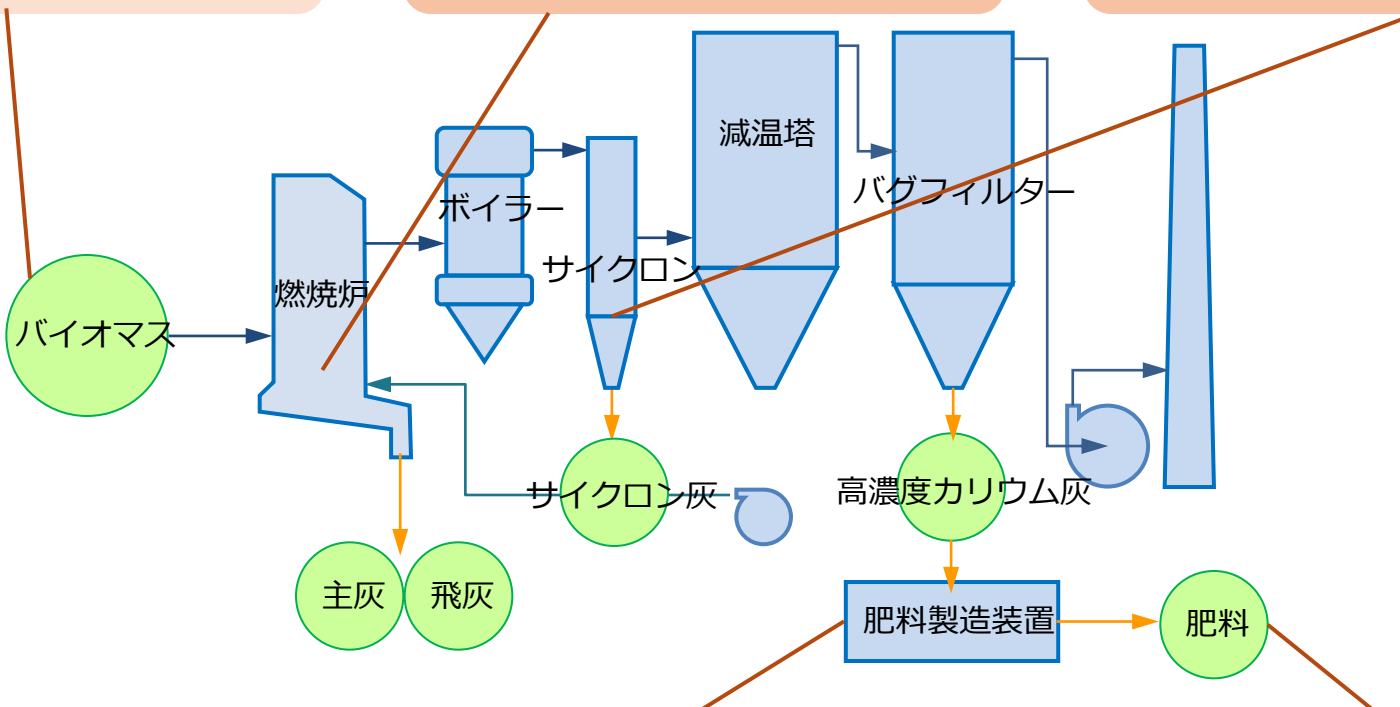
未燃分の燃焼技術開発

タクマ播磨工場（兵庫県高砂市）

step2-2

燃焼灰の回収技術開発

中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）
広島大学大学院（広島県東広島市）



step3-1

燃焼灰の利用技術開発

片倉チッカリン日出工場（大分県速見郡）

step3-2

燃焼灰肥料利用評価

島根大学（島根県松江市）

当該事業の概要

step1

燃料， 燃焼灰の現状把握

中国木材本社工場（広島県呉市）
中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）

step2-1

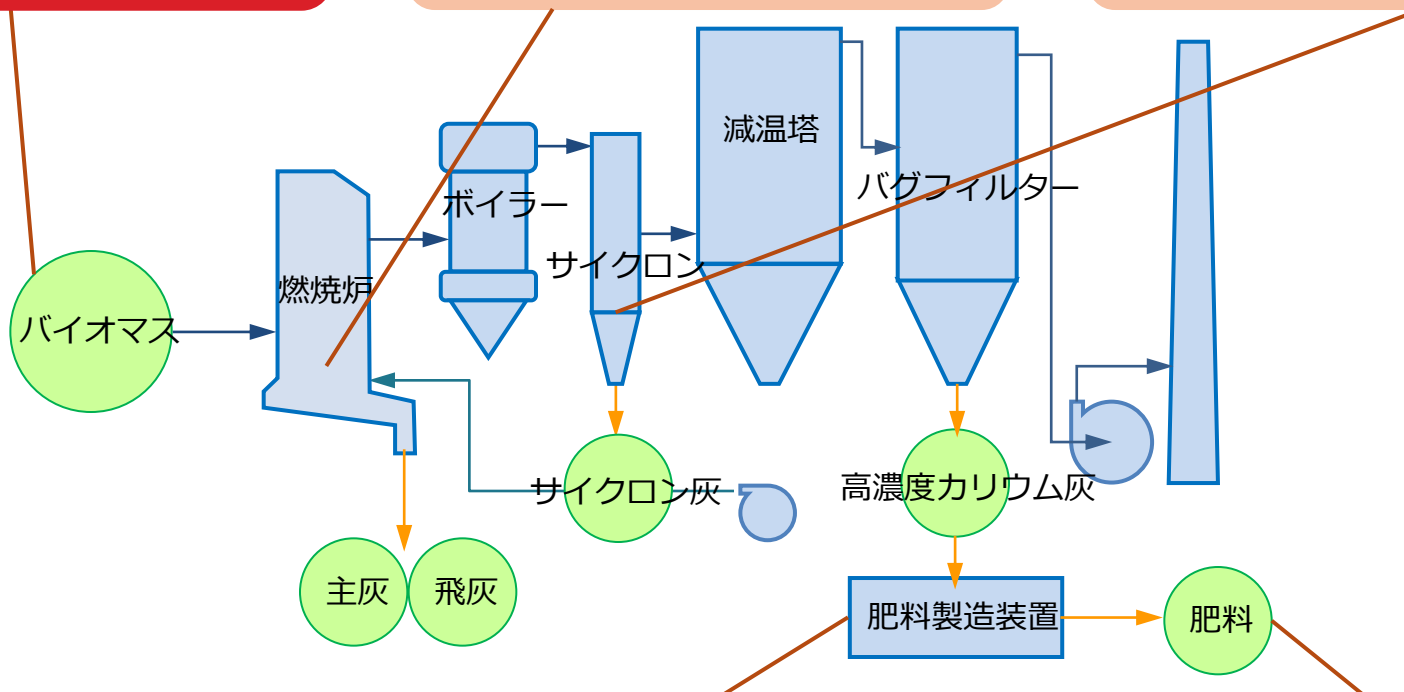
未燃分の燃焼技術開発

タクマ播磨工場（兵庫県高砂市）

step2-2

燃焼灰の回収技術開発

中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）
広島大学大学院（広島県東広島市）



step3-1

燃焼灰の利用技術開発

片倉チッカリン日出工場（大分県速見郡）

step3-2

燃焼灰肥料利用評価

島根大学（島根県松江市）

目的およびプラント概要

目的

燃料、燃焼方式別の燃焼灰のカリ濃度等の性状の把握を行い、木質バイオマス発電プラントの高効率化、再資源化の検討を行うための基礎データとする。

流動層式

生オガ 木材樹皮 乾燥オガ



『米松』のみ

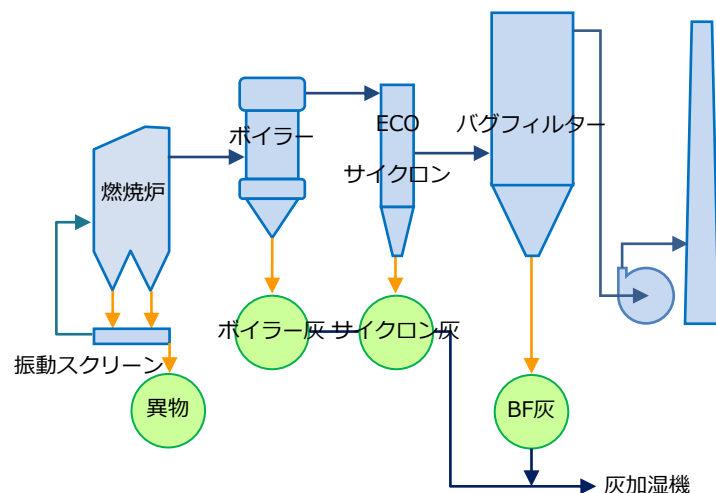
ストーカー式

乾燥オガ 木端・樹皮

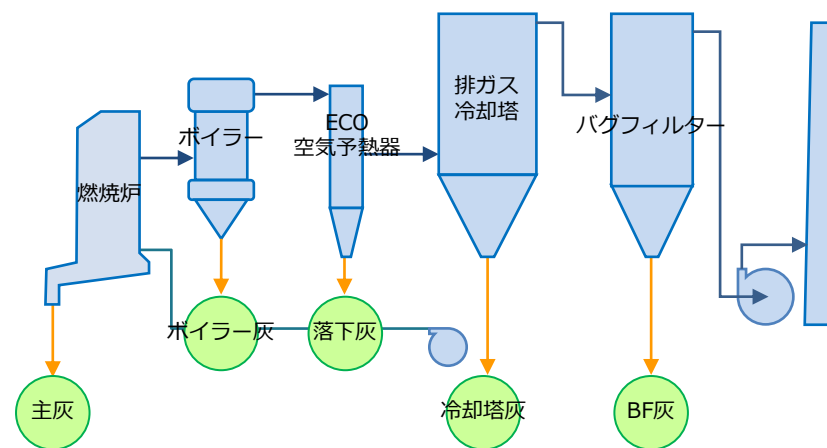


『杉』が多い

本社工場



伊万里工場



燃料の分析値

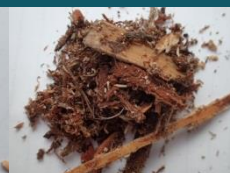
本 社 工 場

『米松』のみ

1回目サンプリング



2回目サンプリング



項目	単位	生オガ	木材樹皮	乾燥オガ	生オガ	木材樹皮	乾燥オガ
水分	[%]	39.3	33.5	8.9	49.1	51.3	10.7
灰分	[%-dry]	0.01	1.15	0.01	0.12	2.07	0.10
カリウム濃度	[mg/kg-dry]	590	1,500	60	230	1,100	100

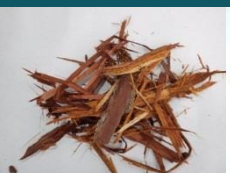
伊 万 里 工 場

『杉』が多い

1回目サンプリング



2回目サンプリング



項目	単位	木端	木材樹皮	乾燥オガ	木端	木材樹皮	乾燥オガ
水分	[%]	6.3	53.3	9.8	14.2	47.3	10.1
灰分	[%-dry]	0.47	2.67	0.46	0.48	2.31	0.37
カリウム濃度	[mg/kg-dry]	5,700	2,600	3,500	540	1,500	1,500

- ・『米松』よりも『杉』のカリウム濃度が高い傾向にある（特に乾燥オガで比較）。
- ・木材樹皮の灰分は1~3%と高く、燃焼後の灰量が増加する。

燃焼灰の分析値

流動層式

本社工場
『米松』のみ



項目	単位	主灰	ボイラー灰	サイクロン灰	バグフィルター灰
未燃分	[%]	発生しない	0.30~1.1	7.7~40.4	0.20~1.4
カリ(K ₂ O)濃度	[%]		2.3~3.0	2.3~3.3	13.3~16.9
粒度分布(d50)	[μm]		313~495	143~602	3.4~4.2

ストーカー式

伊万里工場
『杉』が多い

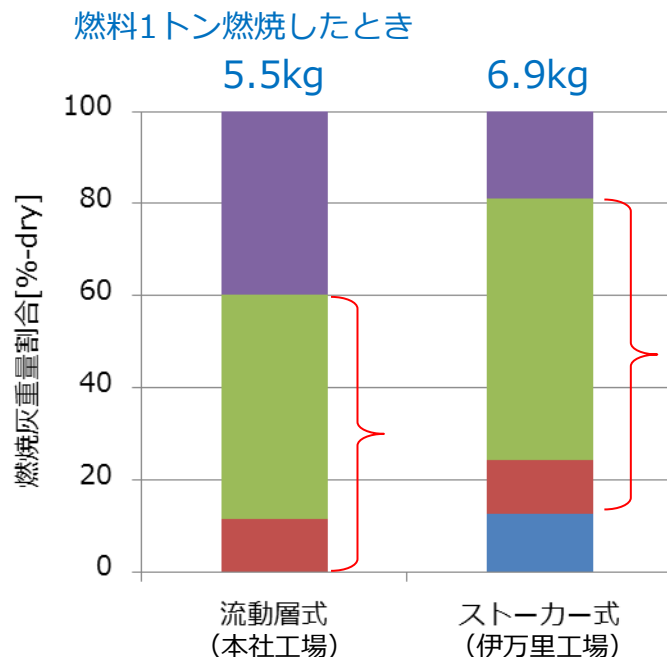


項目	単位	主灰	ボイラー灰	サイクロン灰	バグフィルター灰
未燃分	[%]	3.5~22.0	1.1~3.1	6.1~6.2	1.2~2.4
カリ(K ₂ O)濃度	[%]	2.8~7.0	5.5~7.0	5.7~13.3	28.9~43.4
粒度分布(d50)	[μm]	-	71~272	23.1~242	5.4~7.0

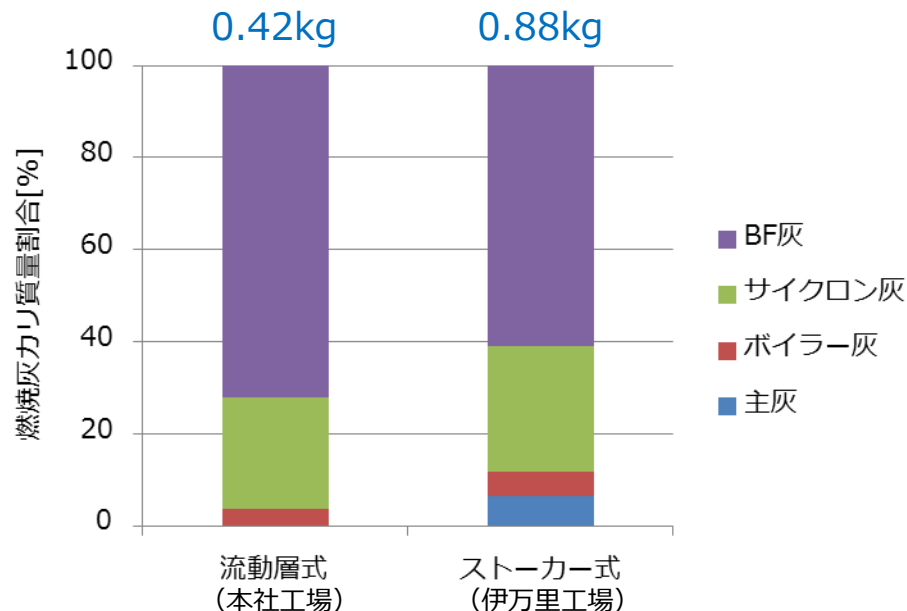
- ・ボイラー灰→サイクロン灰→バグ灰と、粒径が小さくなり、カリ濃度が高くなる。
→肥料利用しやすい灰はストーカー式のバグフィルター灰。
- ・『流動層式』よりも『ストーカー式』のバグ灰のカリ濃度が高い。(ただし、燃料の樹種が異なる)

物質収支

燃 焼 灰 量



燃 焼 灰 カ リ 量



- ・『流動層式』『ストーカー式』のボイラー灰、サイクロン灰の割合はほぼ同じ。
- ・『ストーカー式』のバグ灰発生割合は『流動層式』に比べて少ない（主灰が発生）。
- ・『流動層式』で「杉」を燃焼したと仮定した場合…

	『米松』を燃焼した場合	『杉』を燃焼した場合
バグ灰カリ濃度	$= \frac{0.42\text{kg} \times 70\%}{5.5\text{kg} \times 40\%} = 13.3\%$	$= \frac{0.88\text{kg} \times 70\%}{6.9\text{kg} \times 40\%} = 22.3\%$

→『流動層式』よりも『ストーカー式』の方が、バグ灰のカリ濃度の高くなる。



Step1 燃料及び木質バイオマス燃焼灰のカリ濃度把握 まとめ

- 1) 燃料分析を行った結果、『米松』よりも『杉』の方がカリウム含有濃度が高い傾向となった。
 - 2) 燃焼灰分析を行った結果、ボイラー灰、サイクロン灰、バグフィルター灰と粒径が小さくなる一方、カリ濃度が高くなる傾向となった。
 - 3) 「流動層式」よりも「ストーカー式」でバグ灰のカリ濃度が高くなる傾向であった。
- 杉を燃料とし、ストーカー式で燃やしたバグフィルター灰が肥料として利用しやすい。(継続的な分析は必要)

当該事業の概要

step1

燃料， 燃焼灰の現状把握

中国木材本社工場（広島県呉市）
中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）

step2-1

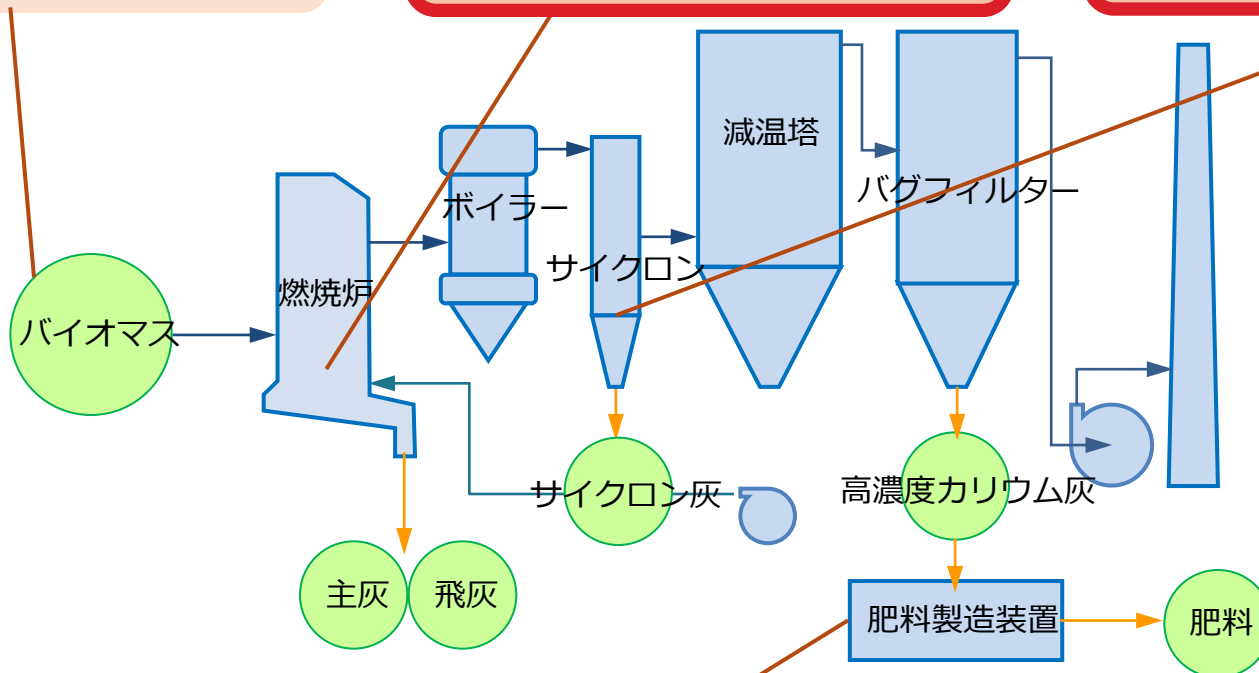
未燃分の燃焼技術開発

タクマ播磨工場（兵庫県高砂市）

step2-2

燃焼灰の回収技術開発

中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）
広島大学大学院（広島県東広島市）



step3-1

燃焼灰の利用技術開発

片倉チッカリン日出工場（大分県速見郡）

step3-2

燃焼灰肥料利用評価

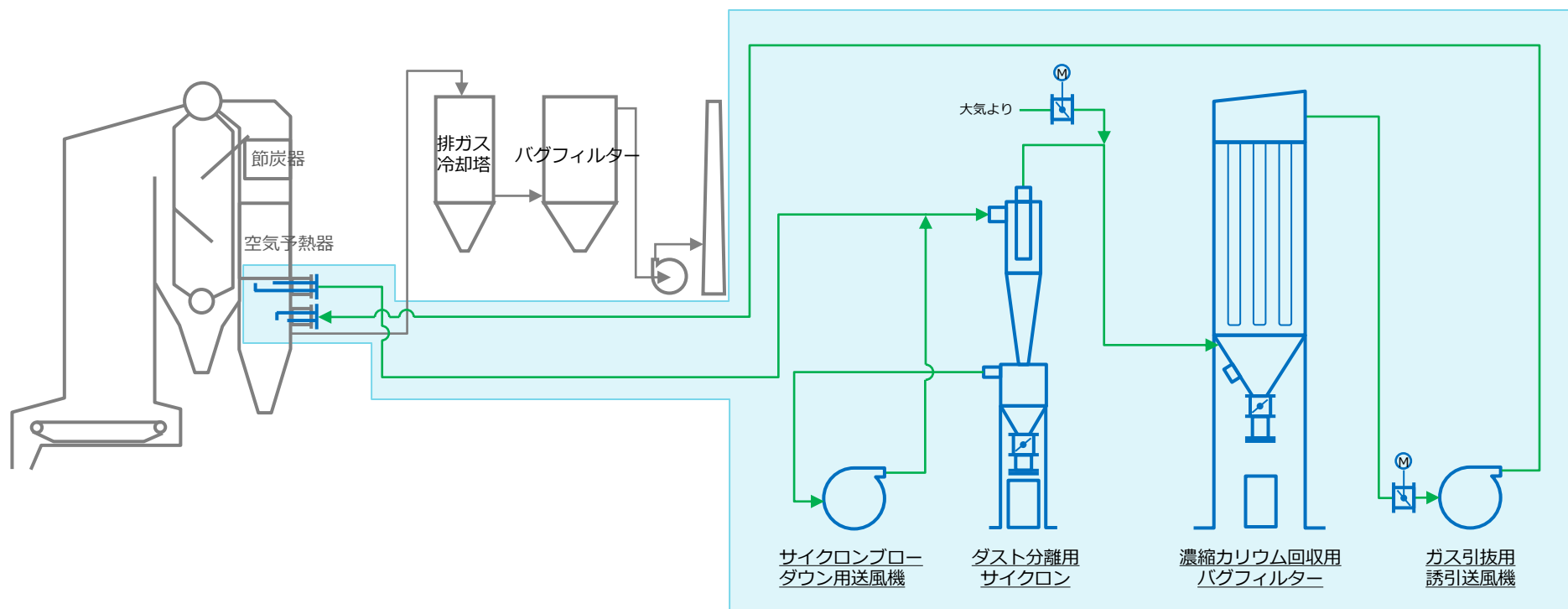
島根大学（島根県松江市）



目的およびプラント概要

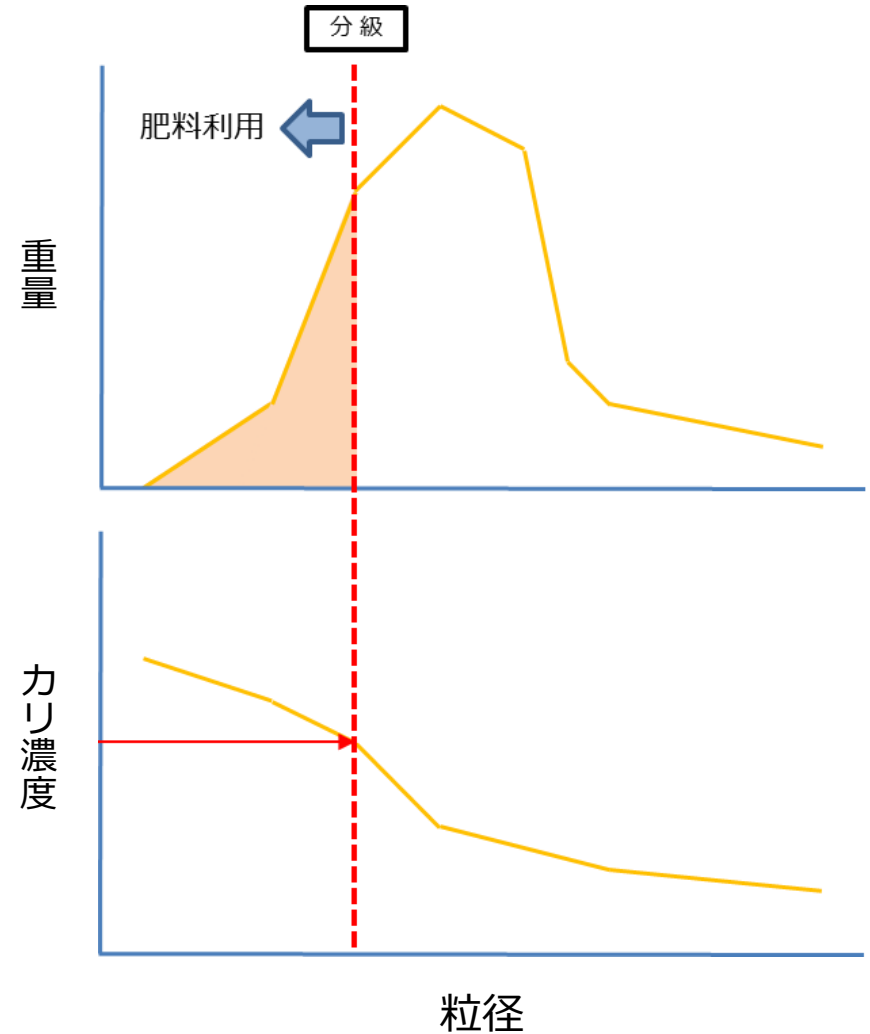
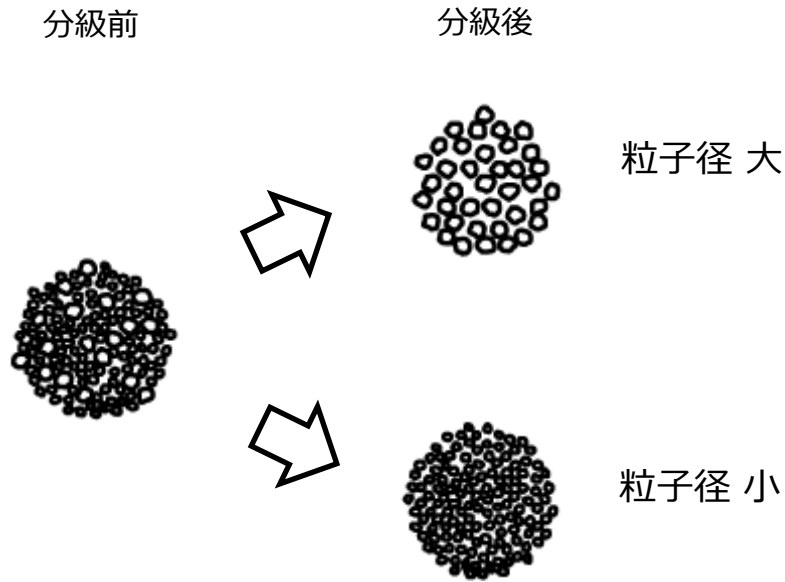
目的

排ガスラインにサイクロンを導入し、ダスト中の未燃分、高濃度カリ含有燃焼灰を分級しダストを回収する技術の開発・実証を行う。





分級によるカリウム成分の濃縮について



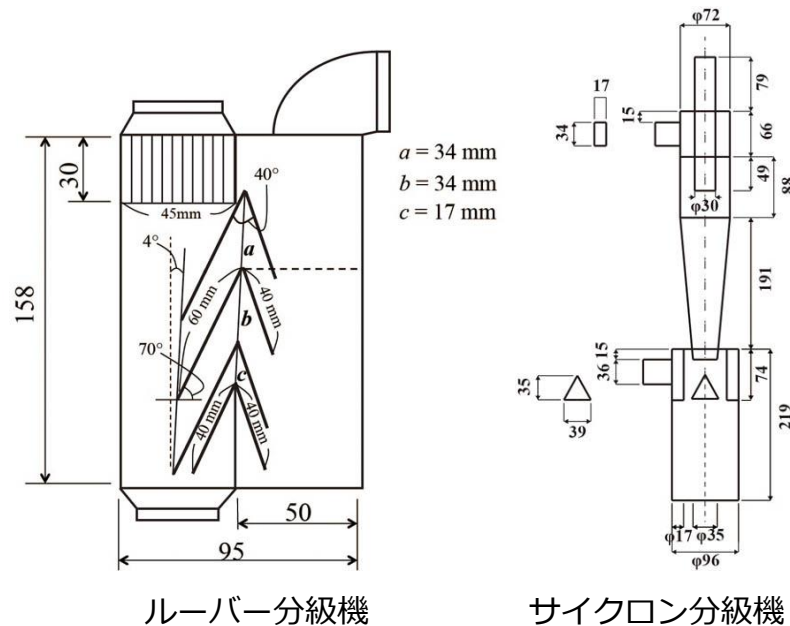


分級回収による燃焼灰のカリウム成分濃縮（実験室スケール）

目的

本社工場，伊万里工場のサイクロン灰とバグフィルター灰を実験室スケールで分級し，カリの高濃度化が実現可能かを検討

分級装置



分級後写真（例）

バグフィルター灰



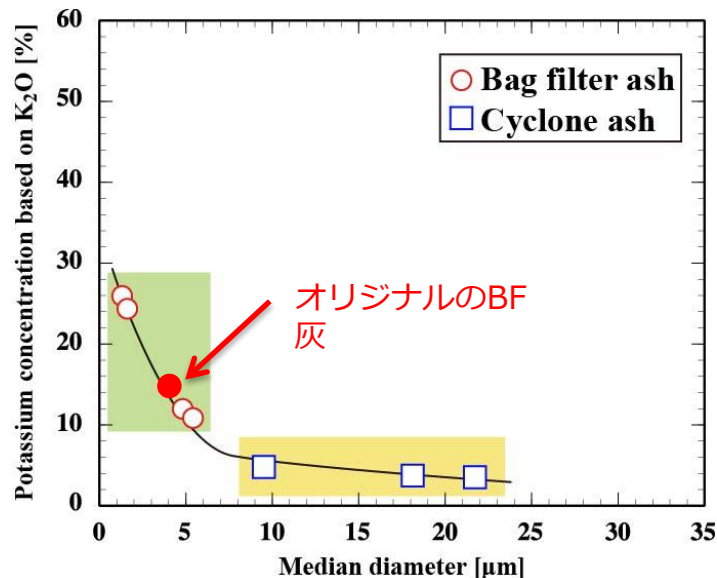
粗粉 $d_{50\%}$ 粒径 5.8 μm 原料 4.0 μm 微粉 1.3 μm

粒子径の減少とともに白色化



カリウム濃度と収率の粒子径依存性 (バグフィルター灰)

流動層式

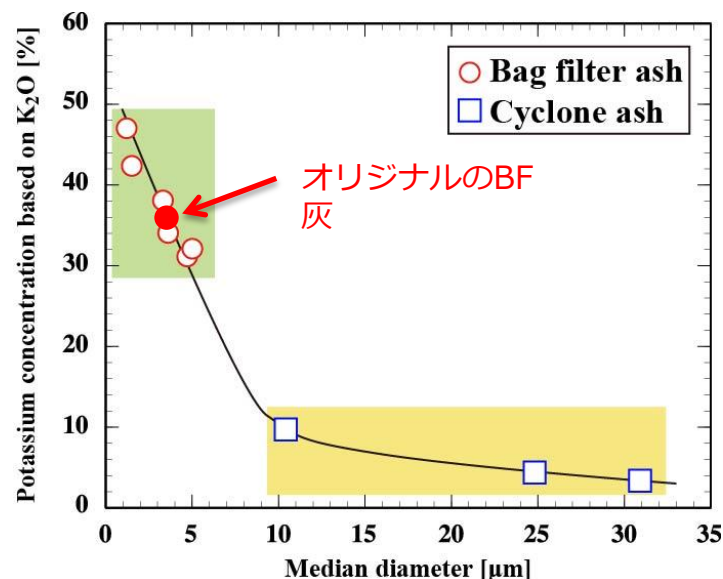


燃焼灰のカリウム濃度の粒子径依存性

カリ(K₂O)濃度が
15%→26%に上昇した灰

バグフィルター灰全体の質量
の25%に相当

ストーカー式



燃焼灰のカリウム濃度の粒子径依存性

カリ(K₂O)濃度が
34%→45%上昇した灰

バグフィルター灰全体の質量
の20%に相当

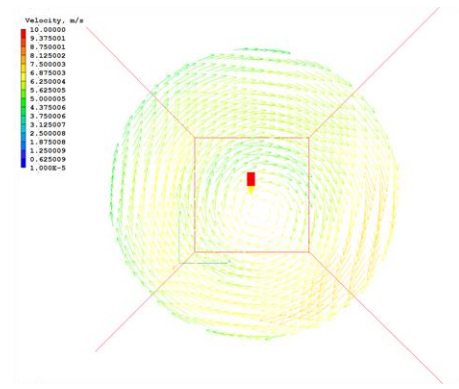
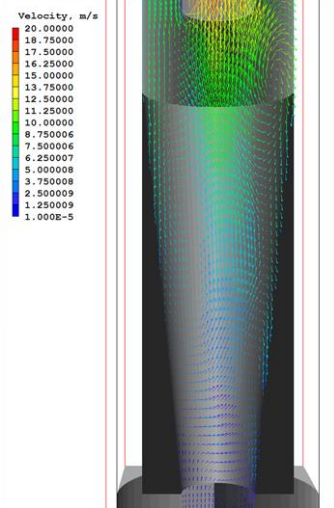
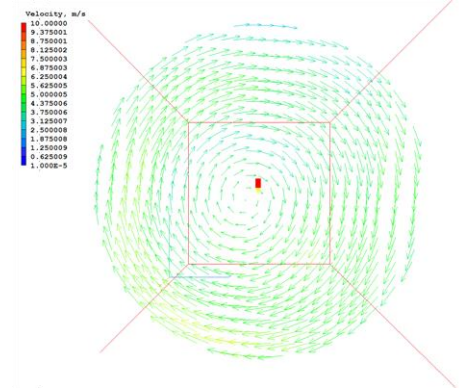
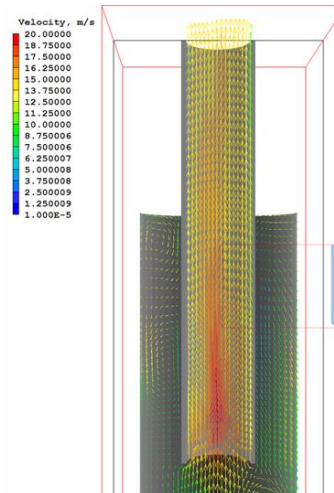
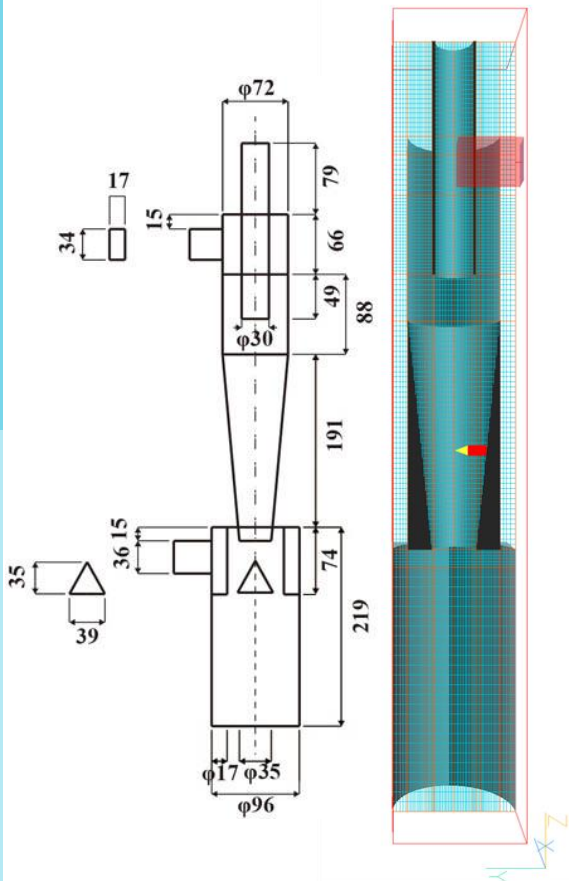
- ・ バグフィルター灰, サイクロン灰いずれも粒子径を微細粒子のみを捕集することで、カリ濃度を濃縮可能
- ・ ストーカー式 (伊万里工場) バグフィルター灰の方がカリウム濃度は高い



サイクロン実証設備シミュレーション設計

【数値計算条件】

- 座標 : xyz-直交座標系
- 計算グリッド数 : $77 \times 80 \times 140 = 862,400$
- 乱流モデル : LESモデル



サイクロン分級機内の流体・粒子運動のシミュレーションを行い、必要とされるカット径を実現できるサイクロンを設計。

実験室規模の4.2倍でのスケールアップを決定



サイクロン実証試験設備

ガス引き抜き



サイクロン実証試験設備全景

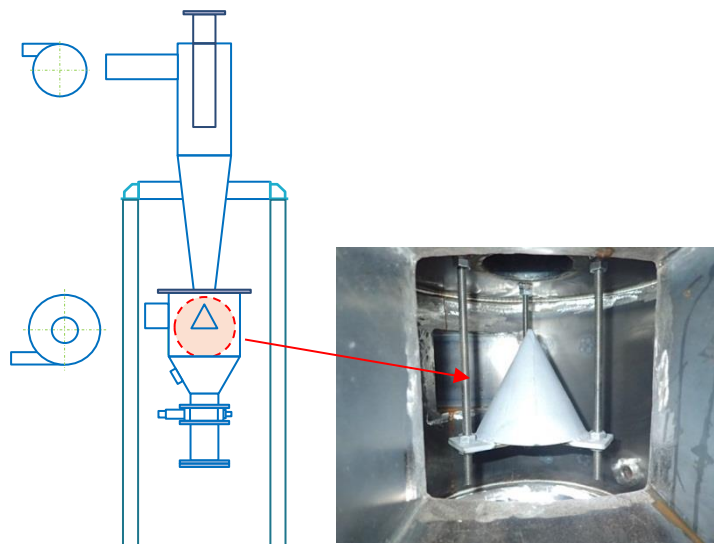


ガスの引き抜き



ガスの引き抜き配管

サイクロン



サイクロンシュート内三角コーン

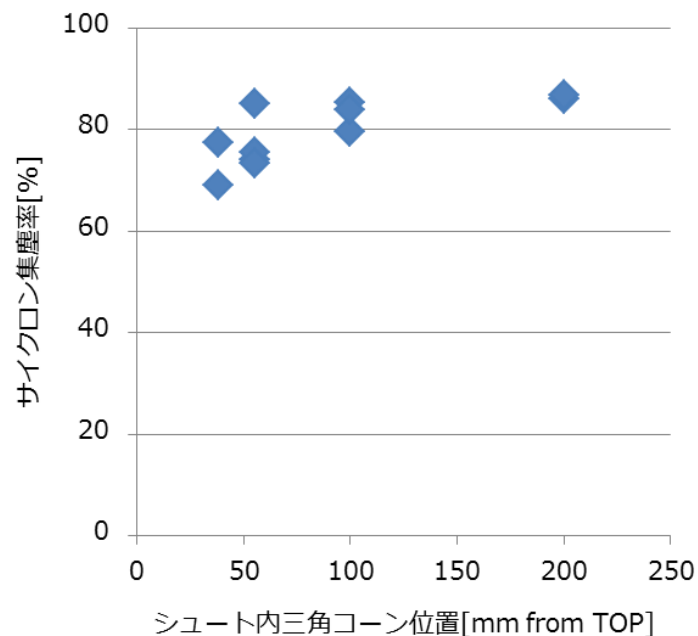


サイクロン

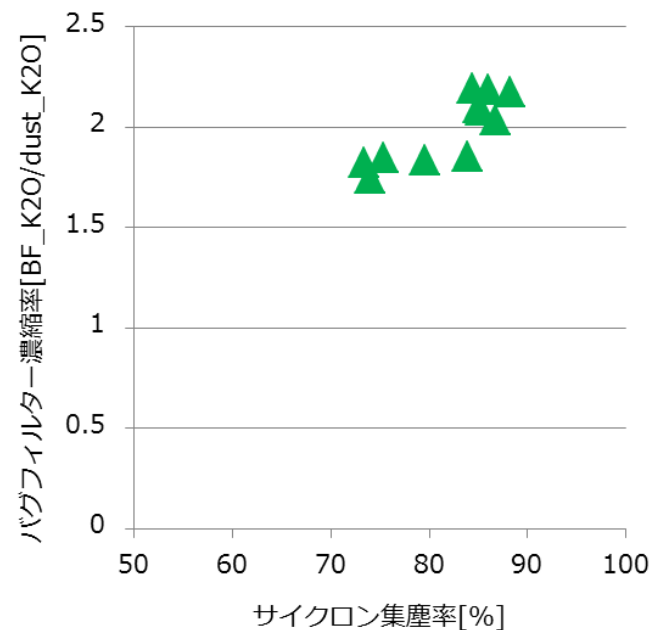


サイクロン実証試験結果

サイクロン集塵率



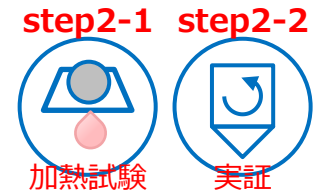
カリウム濃度



$$\text{バグフィルター濃縮率} = \frac{\text{バグフィルター灰のK}_2\text{O濃度}}{\text{浮遊ダストのK}_2\text{O濃度}}$$

- ・サイクロンシュート内三角コーンの位置を変化→サイクロン集塵率を制御できる。
- ・サイクロン集塵率を制御=バグフィルター側に移行する粒子径を制御
→バグフィルターのカリ濃度の濃縮率を変化させることができる。

step2のまとめ



- 1) 実験室スケールで燃焼灰の分級を行い、粒径の小さい灰を集めることでカリ成分の高濃度化が実現できることを確認。
 - 2) サイクロンを設置し、その集塵率を制御することで、バグフィルター灰のカリ濃度の濃縮率をコントロールできることを実証。
- 燃焼灰のカリウム濃度・収率を調節し、より経済効果の高い燃焼灰を排出できるよう調整が可能。

当該事業の概要

step1

燃料， 燃焼灰の現状把握

中国木材本社工場（広島県呉市）
中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）

step2-1

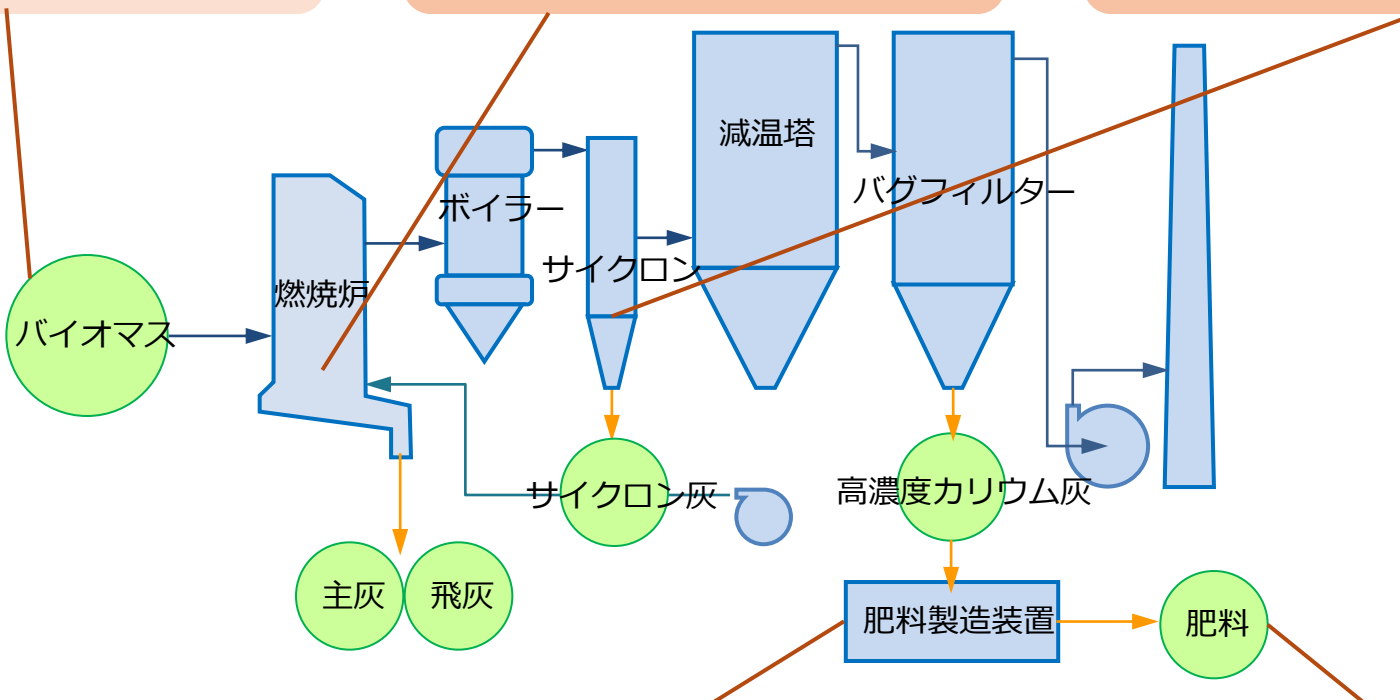
未燃分の燃焼技術開発

タクマ播磨工場（兵庫県高砂市）

step2-2

燃焼灰の回収技術開発

中国木材伊万里工場（佐賀県伊万里市）
広島大学大学院（広島県東広島市）



step3-1

燃焼灰の利用技術開発

片倉チッカリン日出工場（大分県速見郡）

step3-2

燃焼灰肥料利用評価

島根大学（島根県松江市）

目的

目的

木質バイオマス燃焼灰において、肥料として利用する際の技術的な問題を解決するため、実証実験を行うと共に、肥料としての効果について調査を行った。

課題

1. pHが高い → アンモニア揮散
2. 比重が軽い → 発塵
3. 植物に対する肥効確認

Step3-1 燃焼灰の利用技術開発（課題1・2）

- ・木質燃焼灰の肥料化試験(ビーカー試験、プラント試験)

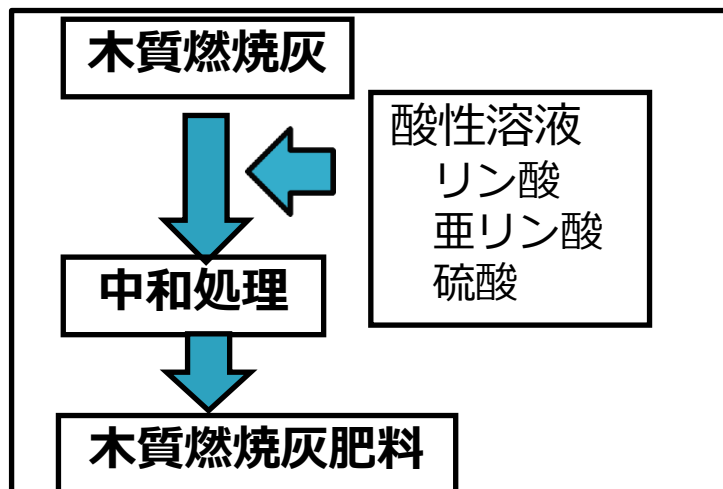
Step 3 -2 燃焼灰肥料利用評価（課題3）

- ・木質燃焼灰の肥効試験



木質燃焼灰の肥料化試験(ビーカー試験)

		りん酸処理			亜りん酸処理			硫酸処理			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
割付 (%)	木質灰	60	70	50	60	70	50	60	55	70	50
	りん酸	40	30	50							
	亜りん酸				40	30	50				
	希硫酸							40	45	30	50
	計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
反応時の状況		激しく発泡	激しく発泡	激しく発泡	発泡	激しく発泡	激しく発泡 流動性粘土状	激しく発泡 茶気体発生	激しく発泡 茶気体発生	激しく発泡 茶気体発生	激しく発泡 茶気体発生
調査	pH	6.81	8.59	5.67	6.71	8.65	5.09	7.74	4.47	9.59	1.42
	水分	13.93	8.3	13.46	11.84	6.37	21.67	9.84	9.99	5.6	11.86



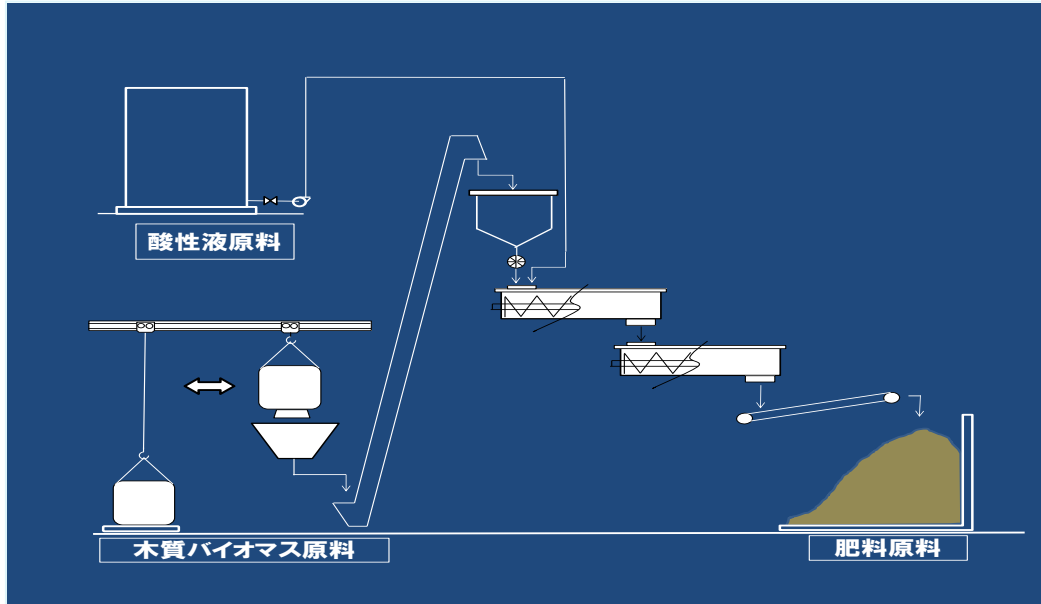
木質灰／リン酸系



木質灰／亜リン酸系



木質燃焼灰の肥料化試験(プラント試験)





木質燃焼灰の肥料化試験(プラント試験)

木質燃焼灰肥料成分分析

		成分分析 (%)						
		pH	TP	CP	WP	CK	WK	CMg
木質燃焼灰		12.18	1.41	1.39	ND	26.93	25.37	2.16
燃焼灰 肥料	リン酸処理	6.81	26.97	–	12.89	22.59	20.56	1.50
	亜リン酸処理	6.71	26.67	–	15.97	25.52	23.84	1.48
	硫酸処理	4.47	1.10	–	0.15	21.43	21.02	1.37

粒度分布及び仮比重

		仮比重	粒度分布 (%)			
			32me> (約0.5mm以下)	16-32	16me< (1mm以上)	計
木質燃焼灰原料		0.40	60.0	21.6	18.4	100.0
燃焼灰 肥料	リン酸処理	0.65	17.9	24.5	57.6	100.0
	亜リン酸処理	0.68	21.3	27.5	51.2	100.0



木質燃焼灰肥料の有害成分分析結果

		成分分析(ppm)						
		チタン Tr	鉛 Pb	クロム Cr	ニッケル Ni	カドミウム Cd	ヒ素 As	水銀 Hg
木質燃焼灰 (伊万里工場)	公定規格 (1)					24 以下	634 以下	
	分析値					4.56	5.25	
燃焼灰 肥料 リン酸タイプ	公定規格 (2)	9600 以下	1440 以下	24000 以下	2400 以下	36 以下	960 以下	24 以下
	分析値	340	158	72	11	4	9	0.5

公定規格（1）：副産複合肥料の公定規格を適用

窒素、リン酸及びカリ成分の最も大きい主成分の合計量1%につき、カドミウム0.75ppm以下、ヒ素20ppm以下

公定規格（2）：化成肥料の公定規格を適用

窒素、リン酸及びカリ成分の最も大きい主成分の合計量1%につき、チタン200ppm、鉛30ppm、クロム500ppm、ニッケル50ppm、カドミウム0.75ppm、ヒ素20ppm、水銀0.5ppm



燃焼灰処理肥料のカリ肥料としての肥効の確認

- ・ 供試作物：コマツナ，ホウレンソウ
- ・ 供試土壌：沖積土
- ・ 供試肥料：リン酸処理品，亜リン酸処理品，硫酸処理品，塩化カリ
- ・ 施用量：75, 150, 225 mg/kg (K₂Oとして)
- ・ 試験規模：1L容ポット，3連
- ・ 栽培概要：播種：10月31日，収穫12月24日



コマツナ



ホウレンソウ



燃焼灰処理肥料の違いが乾物重量とカリ吸収量に及ぼす影響

カリ肥料	コマツナ		ホウレンソウ	
	乾物重 (g/ポット)	カリ吸収量 (mg/ポット)	乾物重 (g/ポット)	カリ吸収量 (mg/ポット)
リン酸処理品	4.44	167ab	2.48	133
亜リン酸処理品	4.66	195a	2.91	147
硫酸処理品	4.43	180ab	2.94	149
塩化カリ	4.32	162b	2.69	133
分散分析	NS	*	NS	NS

- カリ肥料施用量を共変量とした共分散分析（施用量は150mg/ポットに調整）
- 危険率5%で有意差あり，**危険率1%で有意差あり
- 異なるアルファベット間に有意差あり（Tukey法， $p < 0.05$ ）

Step3 カリウム含有燃焼灰利用技術の開発・実証 まとめ

- 1) 木質燃焼灰：酸 = 6：4の割合で反応させると中性付近になり、肥料製造の際のアンモニア揮発を防げるようになった。
- 2) 仮比重の増加、粒度改善により、肥料製造の際、取り扱いやすくなった。
- 3) 水分を10%程度含んでおり、発塵量が軽減した。
- 4) 木質燃焼灰及び調整した燃焼灰肥料に含まれる重金属成分は肥料公定規格に適合していた。
- 5) 肥効試験により、燃焼灰を原料とした肥料は塩化カリと同等以上の性能があることを確認した。

当該事業におけるまとめ

- 1) 中国木材(株) 本社工場・伊万里工場ボイラーの燃焼灰において、分級を行う事で、肥料成分であるカリ成分の濃縮が可能であることを確認した。
- 2) 伊万里工場ボイラーにおいてサイクロンの設備導入により、木質バイオマス燃焼灰のカリ成分の濃縮の実証実験に成功した。
- 3) カリ成分を濃縮した木質バイオマス燃焼灰において、肥料利用上の技術的課題が解決でき、実証用設備で肥料原料の生産が可能となった。
- 4) 木質バイオマス燃焼灰を原料とした肥料の肥効試験を行い、塩化カリと同等以上の性能があることを確認した。