

平成27年度

「新たな木材需要創出総合プロジェクト事業のうち地域材利用促進の木質バイオマスの利用拡大」
「木質バイオマス加工・利用システム開発事業」

木質バイオマス循環利用のための 高付加価値燃焼灰分離システムの技術開発・実証

成果報告会資料

平成28年3月8日

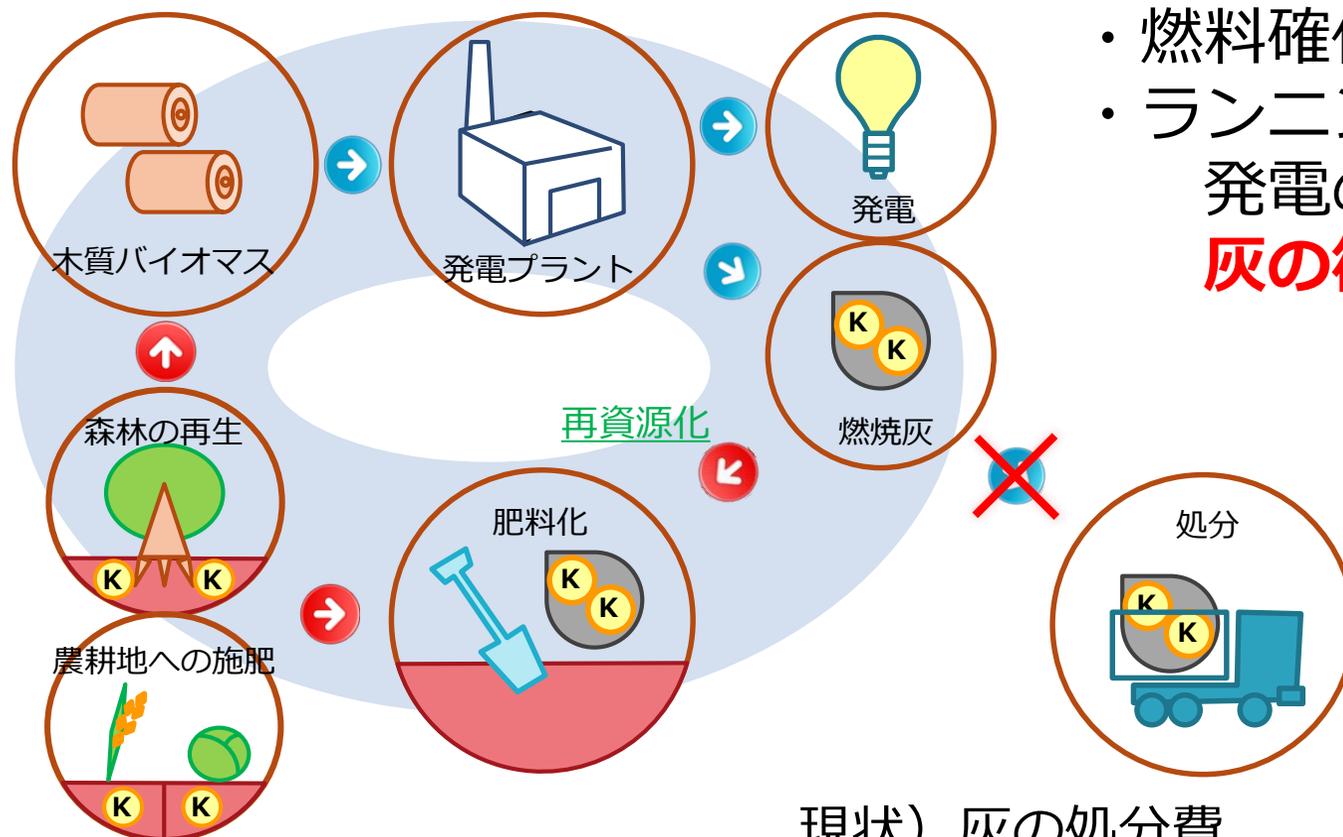
【代表提案者】 中国木材株式会社

【共同提案者】 株式会社タクマ

【共同提案者】 広島大学大学院工学研究院

事業背景と目的(1/2)

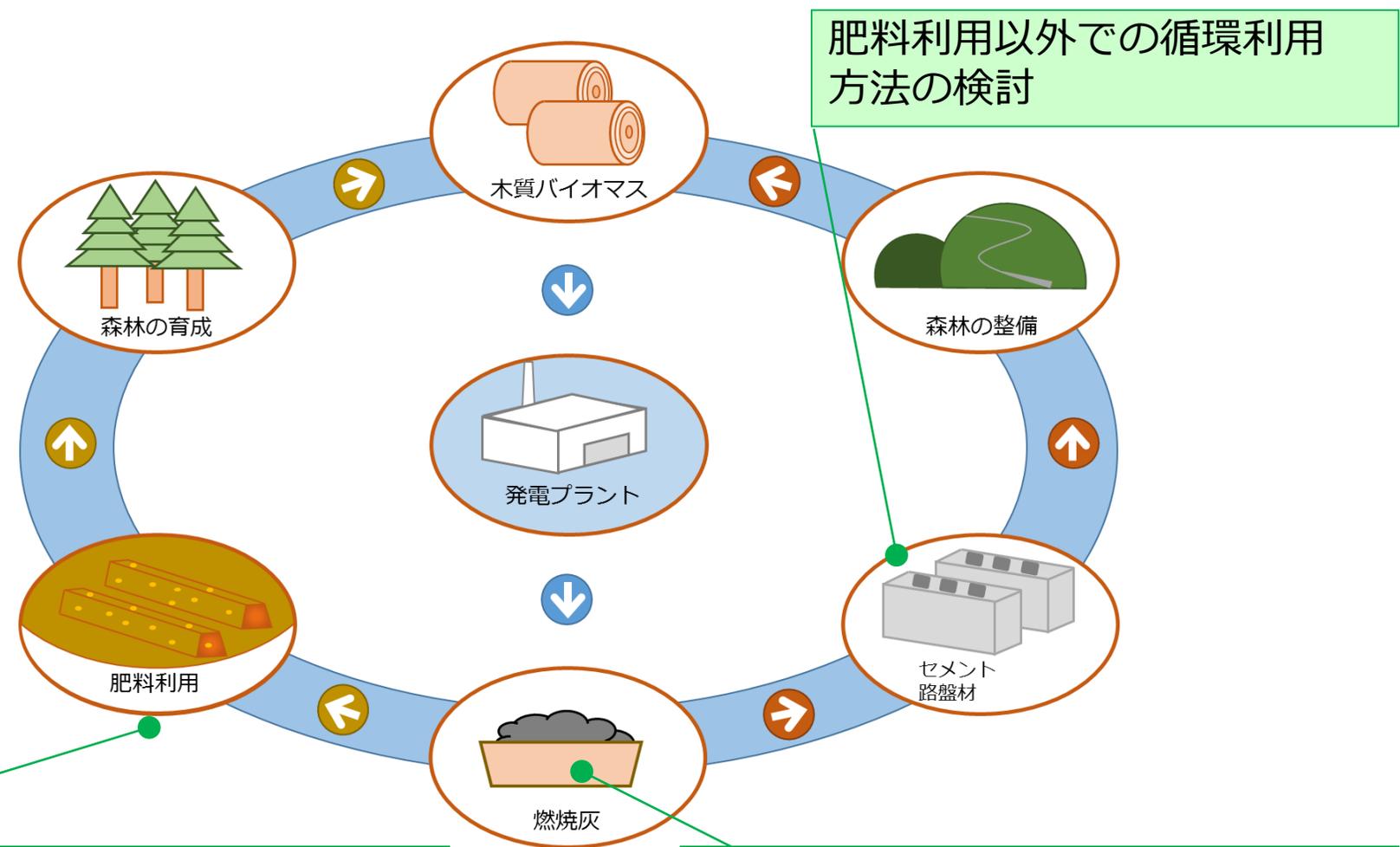
バイオマス発電の普及促進のためのキーワード



- ・ 燃料確保
- ・ ランニングコスト削減
発電の効率化
灰の循環利用

現状) 灰の処分費
発電の売上に対し5~10%を占める

事業背景と目的(1/2)



実用プラント規模での有効成分の
分離システムの開発・実証

燃料・燃焼方式別の分析による
木質バイオマス燃焼灰の性状把握

分級による有効・有害成分の濃縮

分級という簡易な方法で有効・有害成分の分離濃縮を図る

分級前

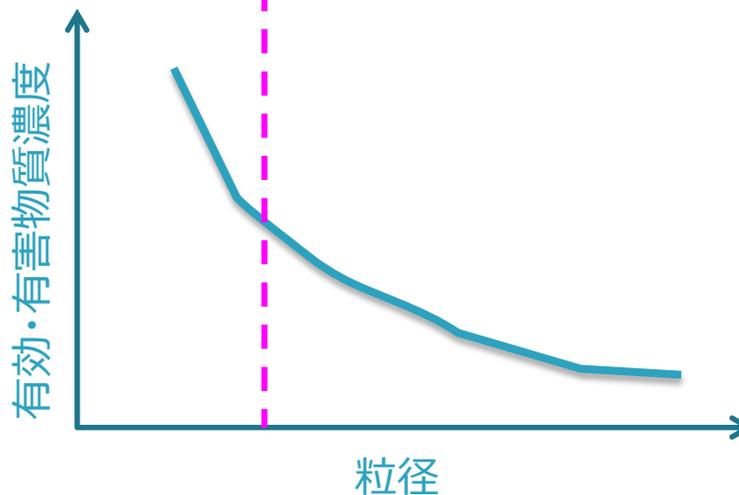
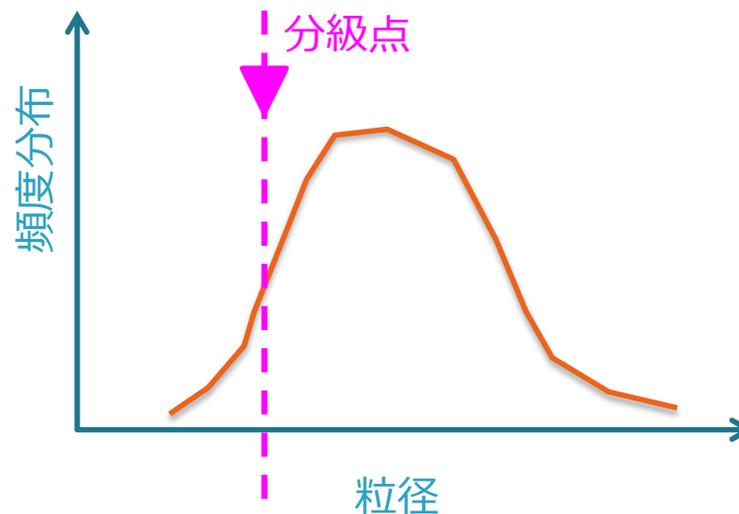
分級後



粒径 大



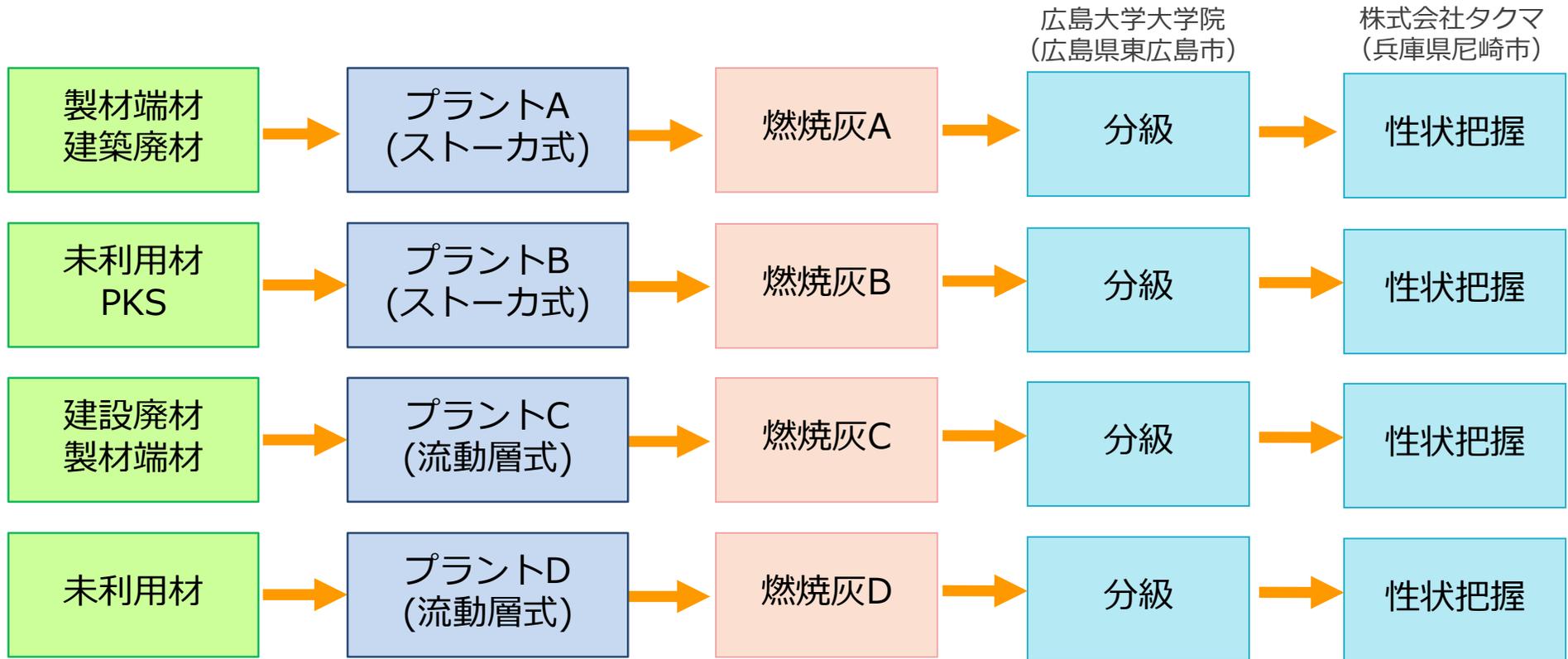
粒径 小



※本報告に記載の「平均粒径」は、中位径(d50)を示す。
 ※特に注記がないときは本事業における燃焼灰とはボイラ灰、サイクロン灰、バグフィルタ灰の混合灰を示す。

実施概要 (1/2)

Step1 木質バイオマス燃烧灰の性状把握とそれに基づく循環利用方法検討



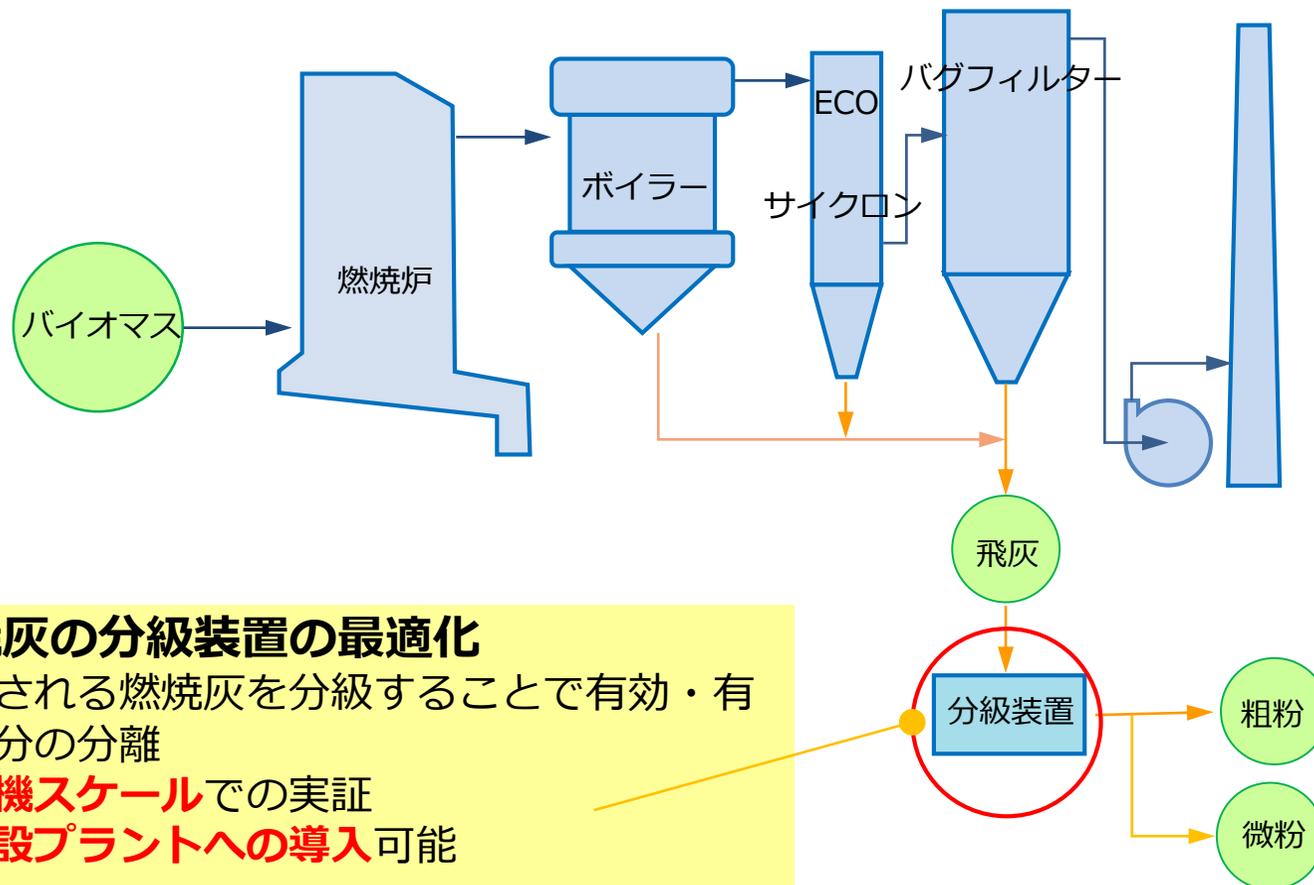
どのような燃烧灰が排出されている？ その燃烧灰は粒子径により有効，有害成分は異なる？



これら調査結果とセメント分野や肥料分野等へのヒヤリングとを突き合わせながら、循環利用方法を検討する

実施概要（2/2）

Step2 木質バイオマス燃烧灰の成分分離システムの開発・実証



実証サイト：宮崎県日向市

スケジュール

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
step1 木質バイオマス燃焼 飛灰の性状把握とそれに基づく循環利用 方法検討		燃焼灰の性状把握 (各プラント)											
		燃焼灰の分級性状調査											
						燃焼灰の循環利用調査					解析・まとめ		
step2 木質バイオマス燃焼 飛灰の成分分離シス テムの開発・実証		燃焼飛灰の成分分離システムの開発・実証										解析・まとめ	
事業検討会									● 中間報告		● 検討 委員会	● 成果 報告会	
検討委員会		◎ 第1回					◎ 第2回				◎ 第3回		



Step 1 成果概要

木質バイオマス燃焼灰の性状把握と循環利用方法検討

プラント調査 各プラントの燃料の性状把握（主成分）

項目		Aプラント			Bプラント			Cプラント		Dプラント		Eプラント		
		ストーカ式			ストーカ式			流動層式		流動層式		ストーカ式		
燃料		未利用 枝葉多	未利用 チップ状	建築 廃材	未利用 枝葉多	未利用 チップ状	PKS	建築 廃材	一般材 枝葉多	未利用 切削 チップ	未利用 ハンマ 破碎	未利用	オガ	PKS
燃焼比率		15%	15%	70%	40%	40%	20%	65%	35%	50%	50%	60%	20%	20%
水分	wt%	39.1	46.2	16.1	37.8	39	14.4	23.3	42.7	37.1	49.4	38	43.3	30.2
灰分	wt%-dry	9.6	0.7	1.2	3.6	0.6	1.6	5.3	12.1	0.47	4.7	0.55	0.45	1.98
全硫黄 (S)	wt%-dry	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
全塩素(Cl)	wt%-dry	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
全リン(P)	wt%-dry	0.03	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.06	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	0.02
Na ₂ O	mg/kg-dry	100	<100	2,000	<100	<100	100	900	600	<100	<100	<100	<100	200
K ₂ O	mg/kg-dry	2,600	1,400	1,200	1,800	800	1,300	1,600	4,900	1,000	2,600	1200	1400	900
CaO	mg/kg-dry	7,100	2,600	3,400	4,600	2,600	3,900	4,900	12,000	900	4,900	3100	1800	3800
MgO	mg/kg-dry	1,800	400	500	800	300	500	1,000	1,800	200	700	300	300	400
P ₂ O ₅	mg/kg-dry	700	100	200	400	200	600	300	1,300	<100	800	200	<100	500

プラント調査 各プラントの燃料の性状把握 (重金属)

項目		Aプラント			Bプラント			Cプラント		Dプラント		Eプラント		
		ストーカ式			ストーカ式			流動層式		流動層式		ストーカ式		
燃料		未利用 枝葉多	未利用 チップ状	建築 廃材	未利用 枝葉多	未利用 チップ状	PKS	建築 廃材	一般材 枝葉多	未利用 切削 チップ	未利用 ハンマ 破碎	未利用	オガ	PKS
燃焼比率		15%	15%	70%	40%	40%	20%	65%	35%	50%	50%	60%	20%	20%
Cd	mg/kg-dry	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Pb	mg/kg-dry	3	<1	5	2	<1	2	6	6	<1	<1	<1	<1	<1
T-Cr	mg/kg-dry	3	<1	1	1	<1	1	3	2	<1	<1	<1	<1	2
Cr(VI)	mg/kg-dry	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1
Zn	mg/kg-dry	24	8	21	14	8	7	64	67	3	12	5	6	9
As	mg/kg-dry	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	3	<1	<1	<1	<1	2
Se	mg/kg-dry	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
T-Hg	mg/kg-dry	0.01	<0.01	0.01	0.02	0.02	<0.01	0.05	0.05	0.01	0.03	0.01	0.01	<0.01

プラント調査 各プラントの燃焼飛灰の性状把握（主成分）

項目		Aプラント	Bプラント	Cプラント	Dプラント	Eプラント	Fプラント
		ストーカ式	ストーカ式	流動層式	流動層式	ストーカ式	ストーカ式
燃料		建築廃材 一般木材	未利用材 PKS	建築廃材 一般木材	未利用材	未利用材 一般木材 PKS	建築廃材 一般木材
全硫黄 (S)	wt%-dry	1.6	4.5	0.9	2.1	5.9	3.3
全塩素(Cl)	wt%-dry	2.0	4.4	0.5	0.7	4.3	6.1
T-C	wt%-dry	12.6	8.8	1.0	4.8	9.3	14.0
SiO ₂	wt%-dry	31	12	45	14	7.4	17
Na ₂ O	%-dry	2.2	0.8	1.0	0.8	0.5	4.1
K ₂ O	%-dry	4.7	15	2.6	22	14	8.4
CaO	%-dry	13	26	14	18	23	22
MgO	%-dry	2.3	3.5	2.2	4.2	2.5	3.4
P ₂ O ₅	%-dry	1.1	2.7	1.0	1.5	1.9	1.9

※Bプラントのみバグフィルタ灰（サンプリング位置の都合により）

プラント調査 各プラントの燃焼飛灰の性状把握（重金属類）

項目		Aプラント	Bプラント	Cプラント	Dプラント	Eプラント	Fプラント
		ストーカ式	ストーカ式	流動層式	流動層式	ストーカ式	ストーカ式
燃料		建築廃材 一般木材	未利用材 PKS	建築廃材 一般木材	未利用材	未利用材 一般木材 PKS	建築廃材 一般木材
Cd	mg/kg-dry	3	5	4	4	2	36
Pb	mg/kg-dry	80	44	110	32	33	770
T-Cr	mg/kg-dry	110	40	15	38	30	1500
Cr(VI)	mg/kg-dry	22	17	4	16	10	100
Zn	mg/kg-dry	550	500	700	340	400	8900
As	mg/kg-dry	86	35	26	6	38	360
Se	mg/kg-dry	2	6	2	2	2	6
T-Hg	mg/kg-dry	2.2	1.9	4.9	0.02	0.08	38

最も高い

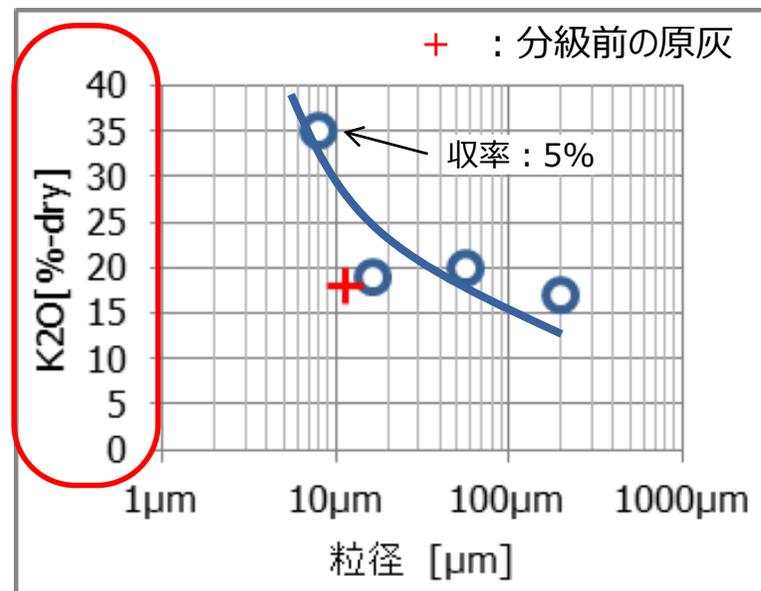
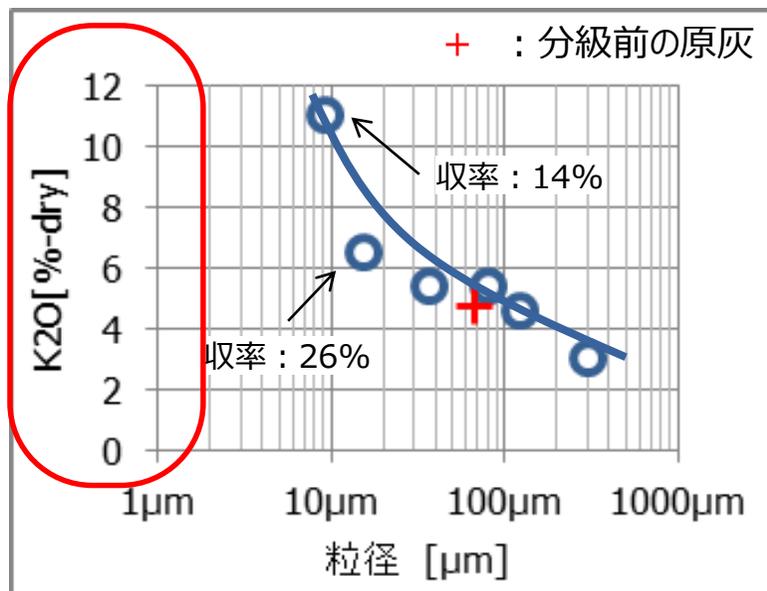
2番目に高い

※Bプラントのみバグフィルタ灰（サンプリング位置の都合により）

有効成分（カリウム）の粒径依存性の一例（燃焼飛灰中）

Aプラント 燃料：建築廃材メイン
燃焼方式：ストーカ式

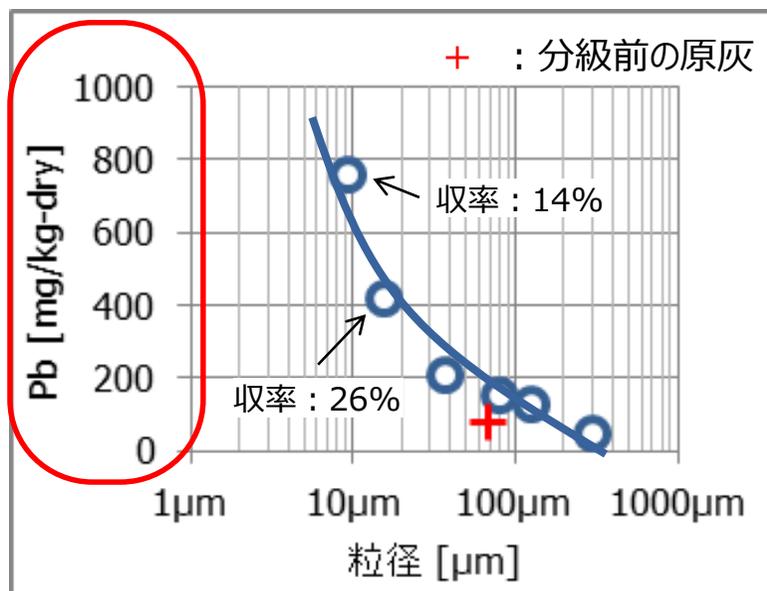
Dプラント 燃料：未利用材メイン
燃焼方式：流動層式



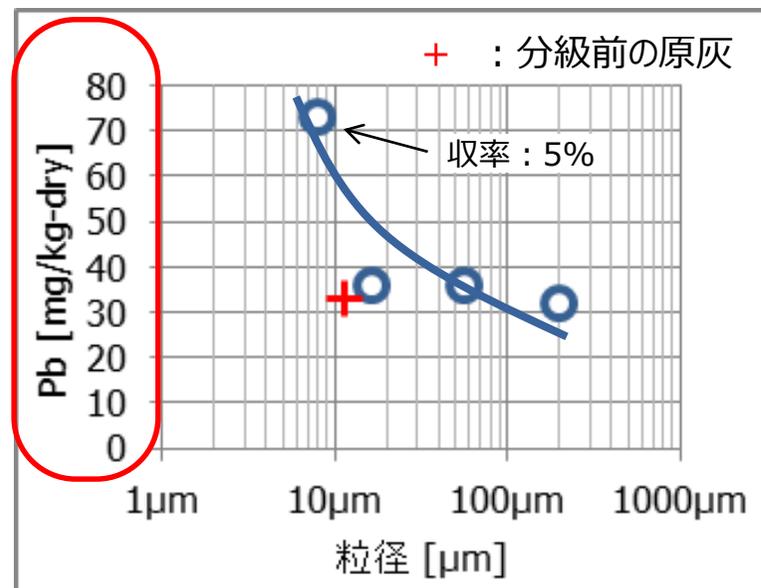
- AプラントよりDプラントの方が、カリウム濃度が高い。
- 粒径が小さくなるにつれて、カリウム濃度が高くなる。

有害成分（鉛）の粒径依存性の一例（燃焼飛灰中）

Aプラント 燃料：建築廃材メイン
燃焼方式：ストーカ式

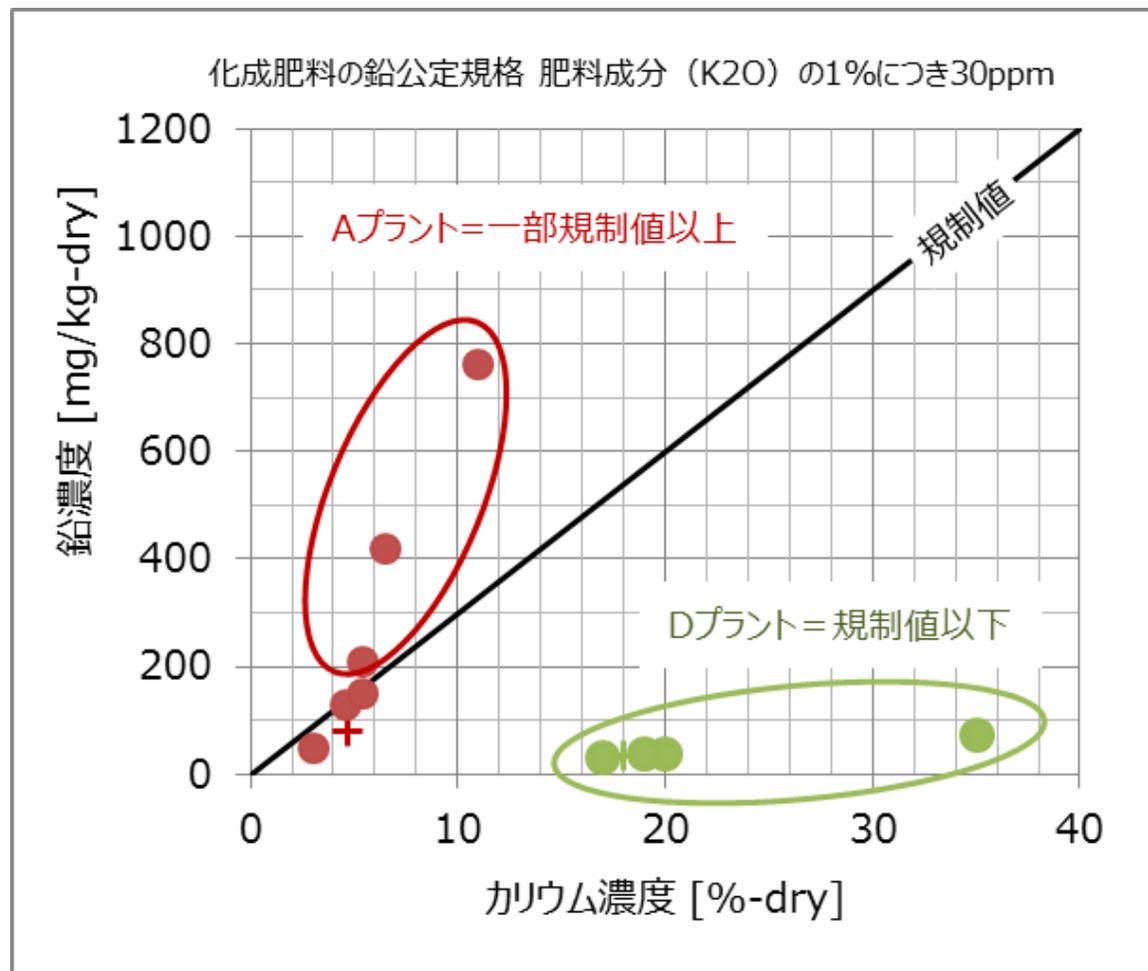


Dプラント 燃料：未利用材メイン
燃焼方式：流動層式



- **DプラントよりAプラントの方が、鉛濃度が高い。**
- 粒径が小さくなるにつれて、鉛濃度が高くなる。

化成肥料の公定規格（鉛）との比較



肥料への利用可否は、鉛濃度やカリウム濃度に依存



Step 2 成果概要

木質バイオマス燃焼灰の成分分離システムの開発・実証

実証設備 設置場所

実証場所： 中国木材株式会社 日向工場
(宮崎県日向市)

実証対象プラント： 木質バイオマス発電プラント

燃料： 未利用材、一般木材、PKS など

発電出力： 18,000kW

燃焼設備： ストーカ式

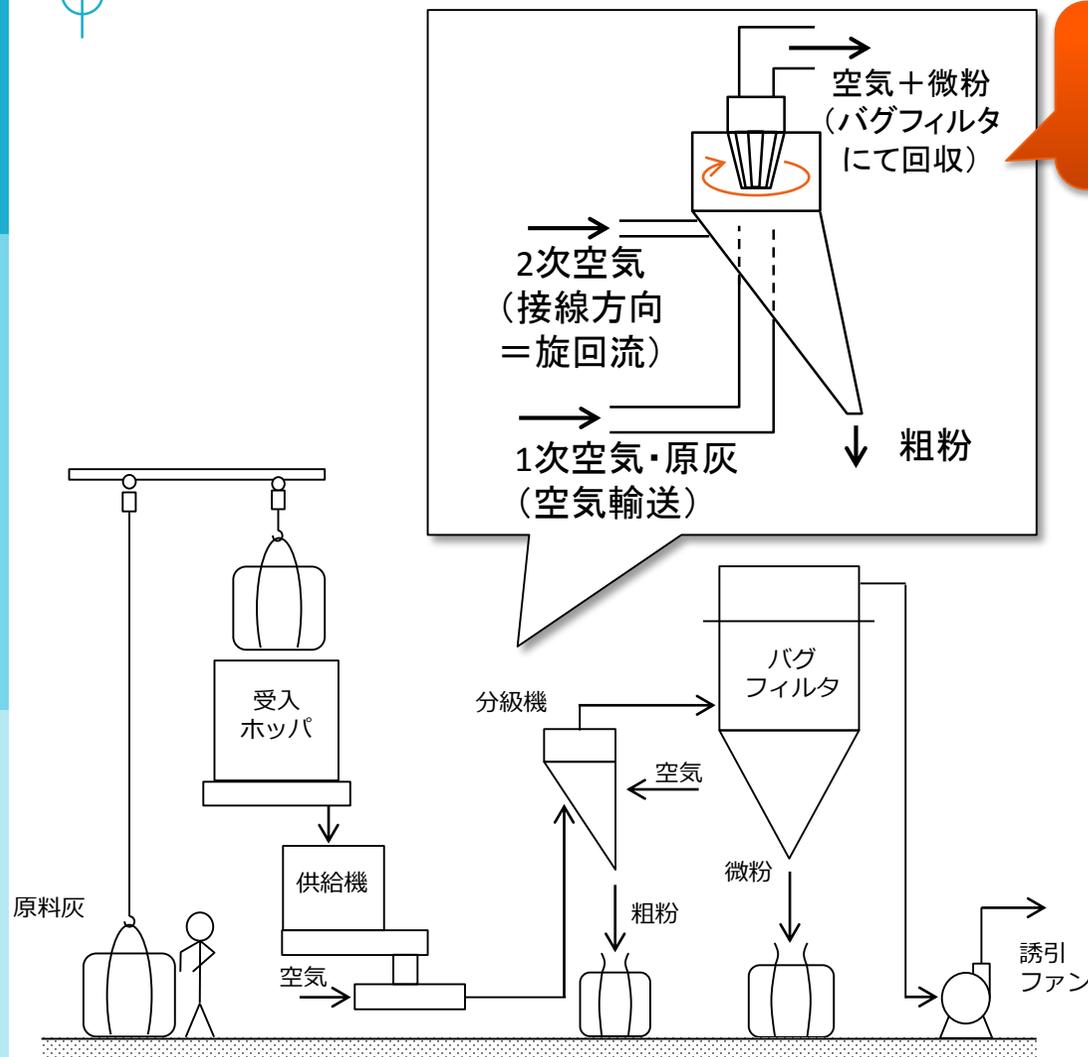
実証対象灰： 発電プラント排出飛灰 など
(ボイラ灰、サイクロン灰、バグフィルタ灰の混合灰)

実証設備： 50kg/h (計画値) ※
灰供給量

※バイオマス発電プラントから排出される飛灰量 (計画値) に相当

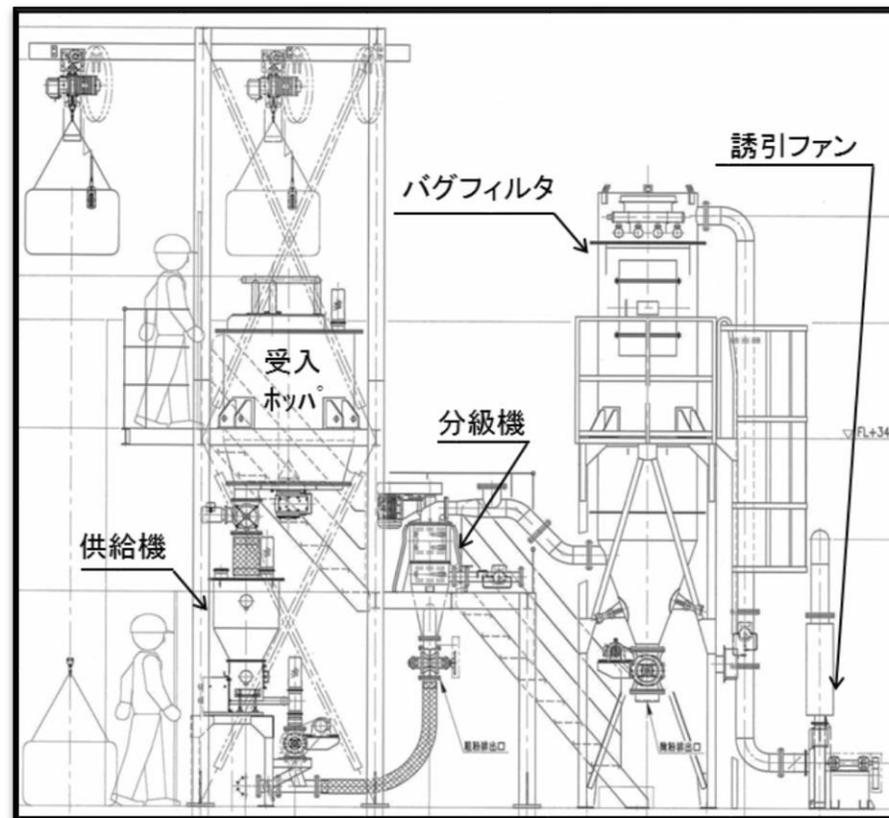


実証設備 フローシート・組立図



実証設備フローシート

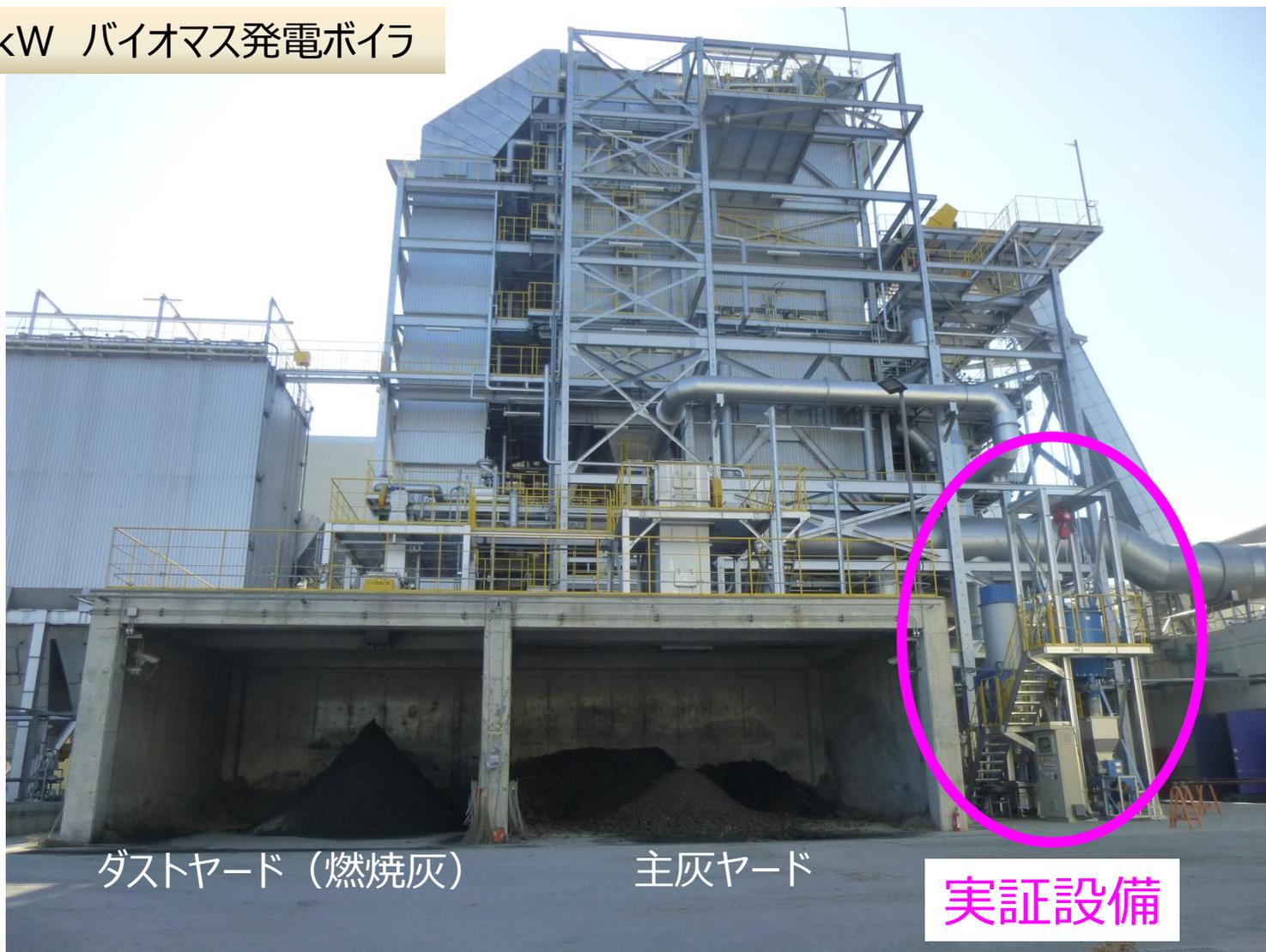
分級ロータの回転によって作られる遠心力の場に空気に乗った粉体を流入させて微粉と粗粉に分級する機械遠心分離型分級機



実証設備組立図

実証設備 設置状況写真

18,000kW バイオマス発電ボイラ



ダストヤード (燃焼灰)

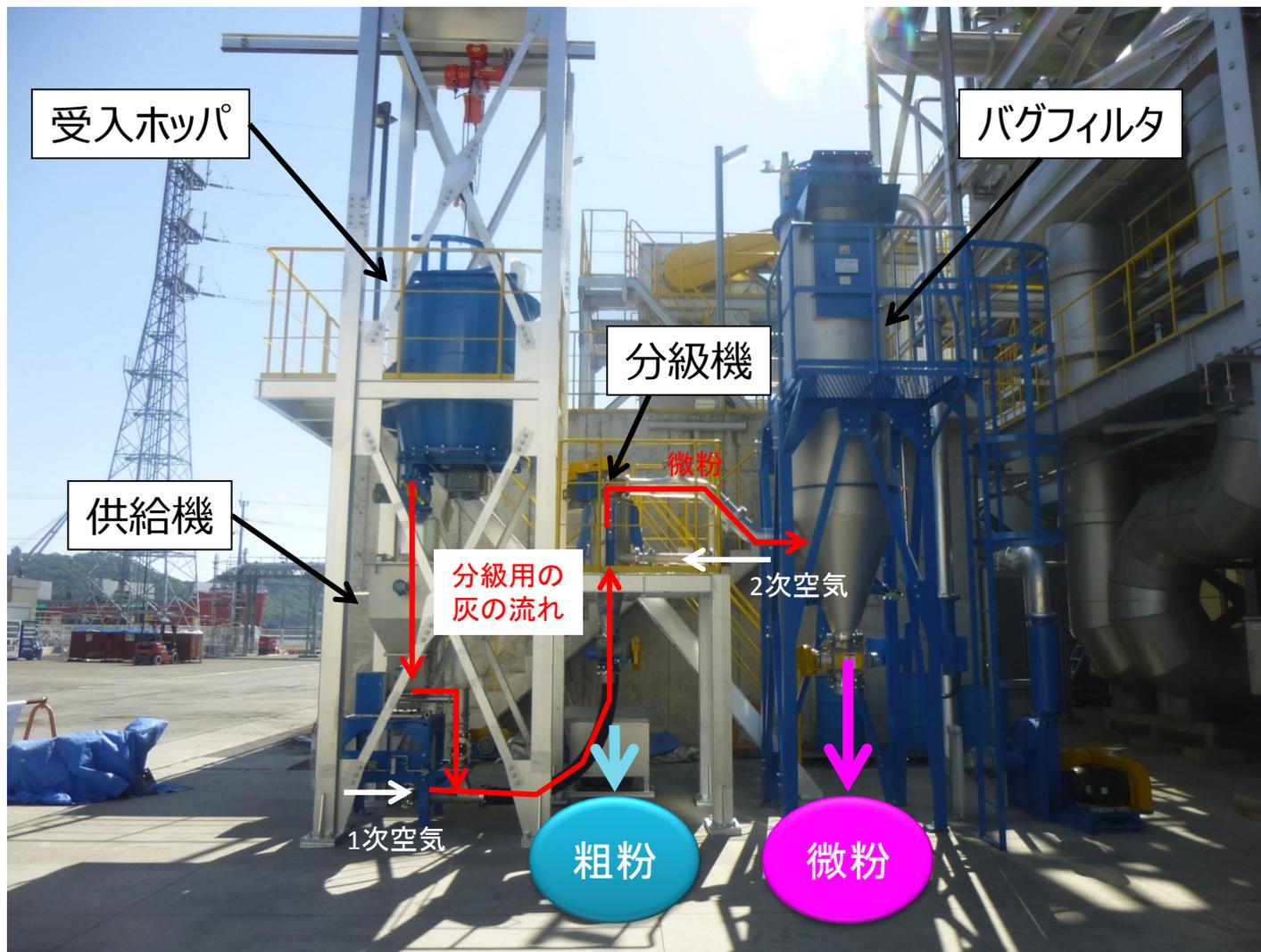
主灰ヤード

実証設備

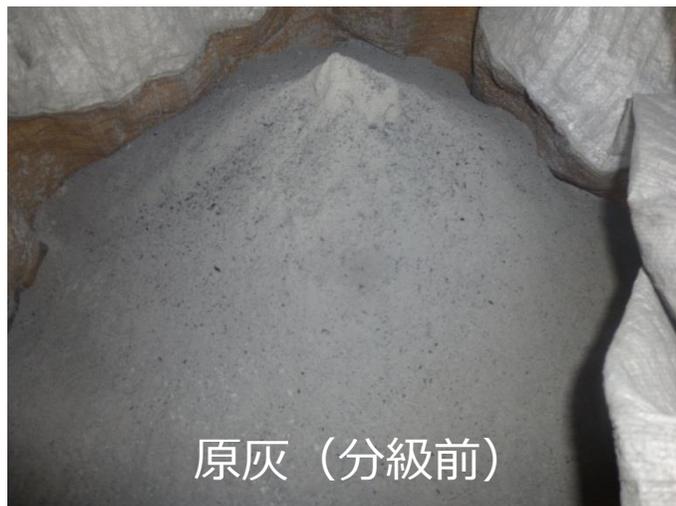
実証設備 全体写真



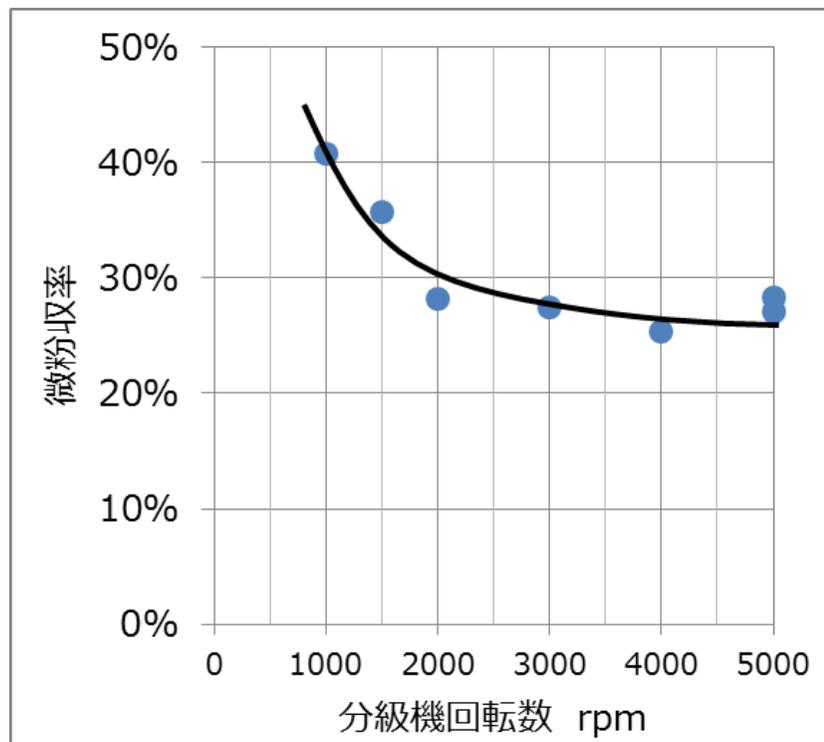
実証設備 全体写真



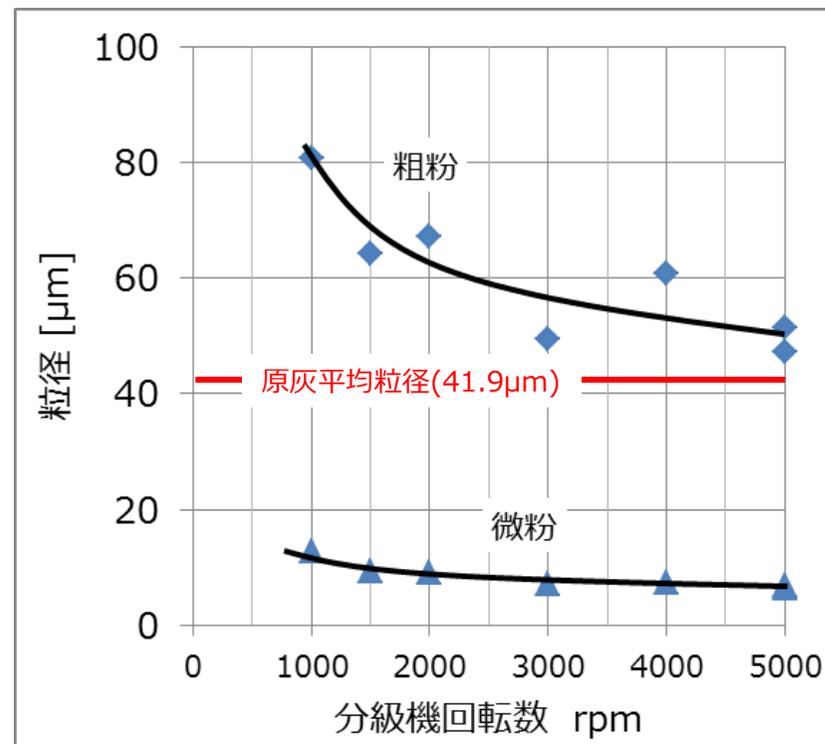
分級灰の外観



実証試験結果の一例(分級機ロータの回転数)



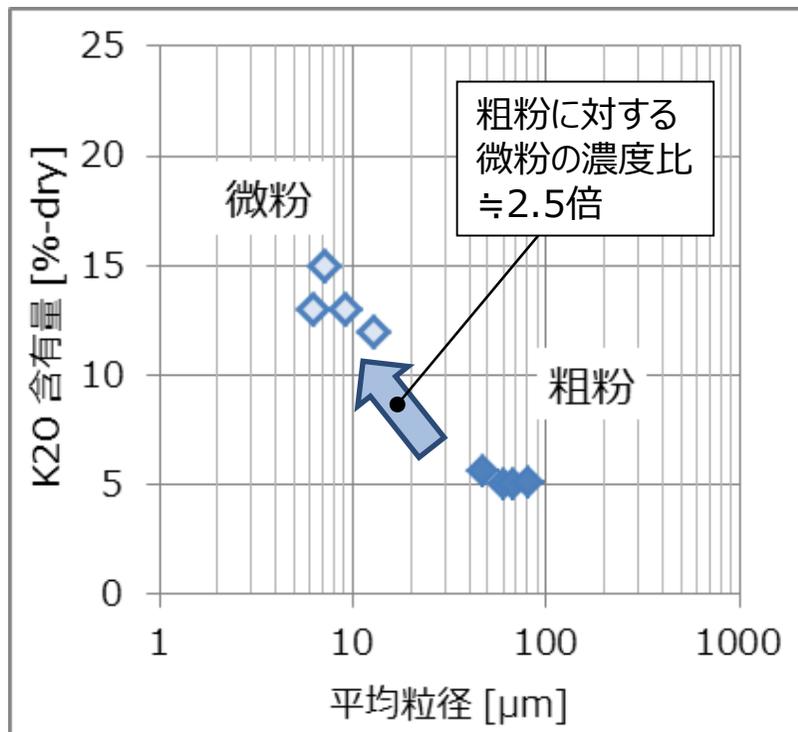
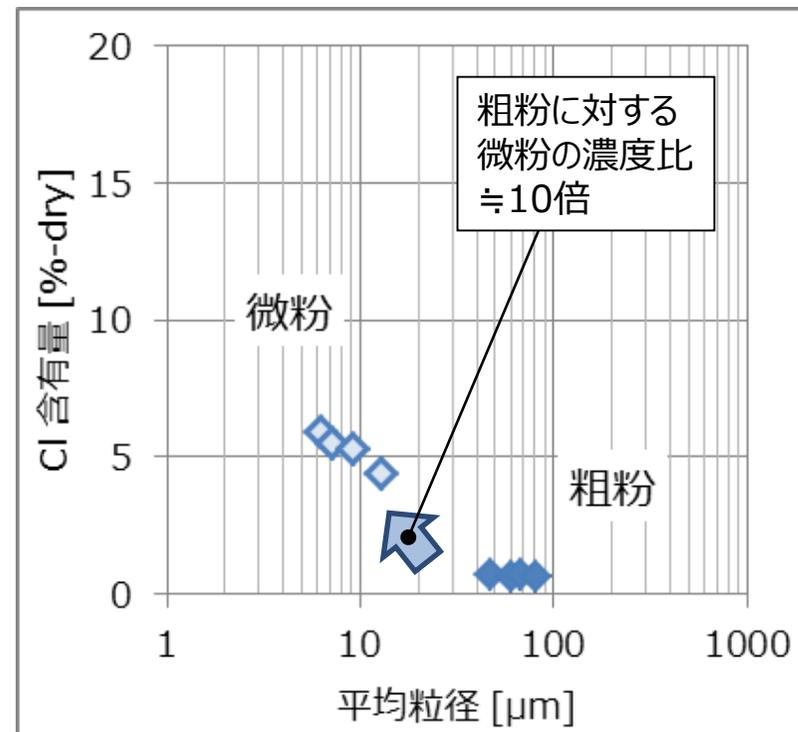
分級機ロータ回転数と微粉収率



分級機ロータ回転数と微粉・粗粉の平均粒径

$$\text{微粉収率} = \frac{\text{微粉回収量 [kg]}}{\text{粗粉回収量 [kg]} + \text{微粉回収量 [kg]}}$$

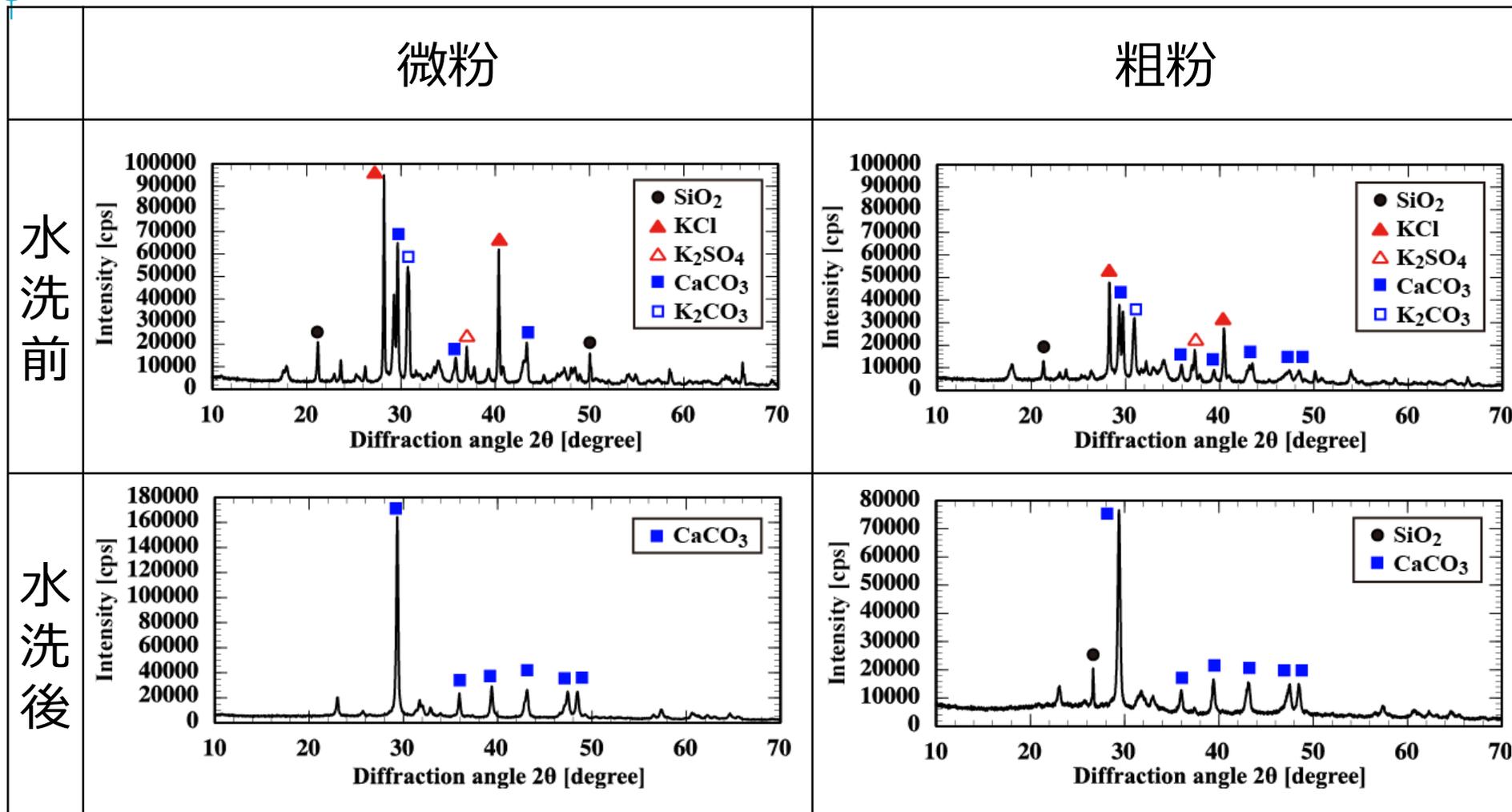
実証試験結果の一例(K₂OとT-Clの粒径依存性)

粒径とK₂Oの関係

粒径とClの関係

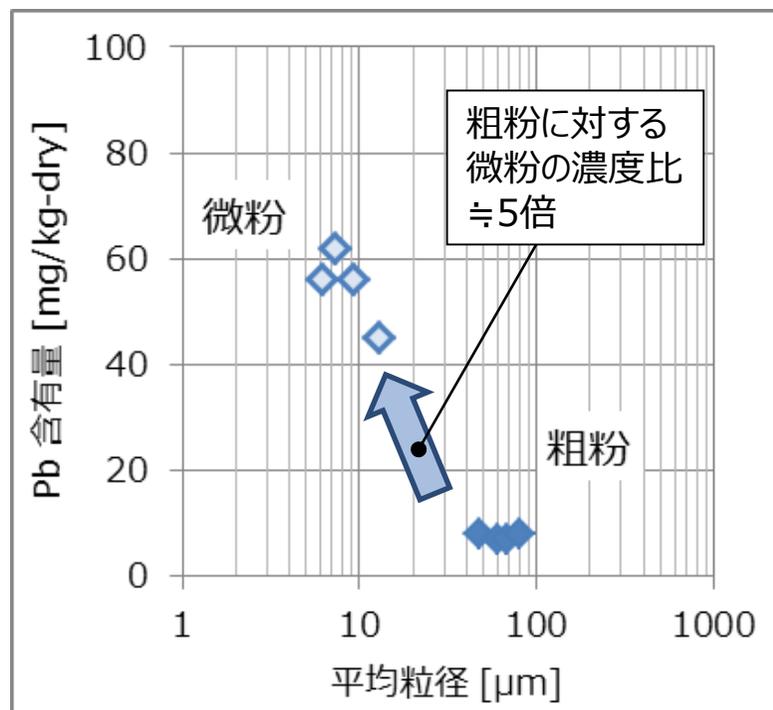
- 微粉と粗粉に分級することで、微粉側にK₂Oは濃縮。
- Clも濃縮されていることからカリウムは塩化物(KCl)の形態で存在している可能性が示唆された (KとClのモル比はおおよそ5:3)

カリウムの化学形態 (XRD分析)

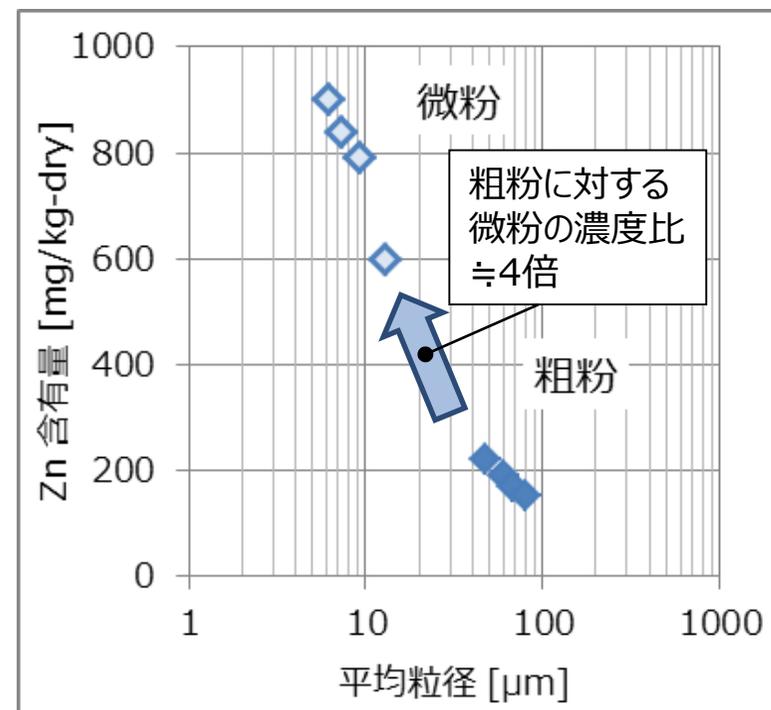


灰に含有しているカリウムは、水溶性であった。

実証試験結果の一例(PbとZnの粒径依存性)



粒径とPbの関係



粒径とZnの関係

- 微粉と粗粉に分級することで、重金属類も微粉側に濃縮。
- 化成肥料に使用する場合、鉛はカリウム1%につき30ppmの公定規格がある。
K₂O \approx 12~15%-dry …鉛規制値は360~450ppm（亜鉛は規制外）
したがって、本装置では鉛も濃縮されるが、肥料取締法上は鉛は公定規格以下である。

本事業の結果

Step-1：様々な燃料、燃焼方式の異なるバイオマスボイラ灰の調査

- ◆ 未利用材を燃料とした場合の方が、肥料の有効成分である灰中のカリウム濃度が高い傾向であり、リン濃度は燃料・燃焼方式の差異はなかった。
- ◆ 建築廃材を燃料とした場合は、灰中の重金属類は高い傾向であった。
- ◆ カリウムや重金属類は、粒径の小さい灰に濃縮されている傾向であった。

Step-2：木質バイオマス燃焼灰の成分分離システムの開発・実証

- ◆ 実機で利用可能な分級装置を設置し、分級装置の性能を把握した。
- ◆ 微粉収率は20～30%、微粉側の平均粒径は10 μ m程度であった。
- ◆ カリウムは粗粉側に対する微粉側の濃度比は2.5倍程度で、Clは10倍程度であった。
- ◆ 微粉側のK₂Oは水溶性であった。
- ◆ 重金属類は、粗粉側に対する微粉側の濃度比は4～5倍であった。

成果・まとめ

目標：実用プラント規模での燃烧灰の分離システムの実証

- ◆ 18,000kWのバイオマス発電プラント実機で、利用可能な分級装置を設置し、燃烧灰の分離システムを実証した。

目標：灰の有効利用率20%程度

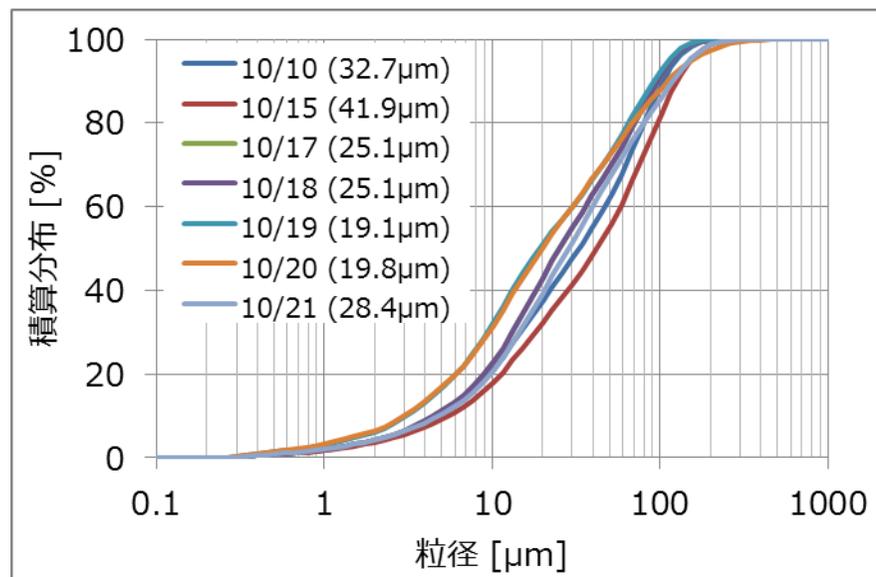
- ◆ 実証事業を通じて、20%以上の微粉回収率を達成した。
- ◆ 回収した微粉は、肥料の有効成分であるカリウムを濃縮でき、加えて水溶性カリウムであることから、肥料として利用価値が高い形態であることが分かった。

- 本事業を通じて、これまで廃棄処分されていたバイオマスボイラ発電プラントの燃烧灰を有効利用するための基礎データを蓄積し、実機で実証することで、肥料用途としての灰の循環利用の道程を示すことができた。
- 重金属類を微粉側に濃縮することにより、粗粉側を有効利用できることを示した。

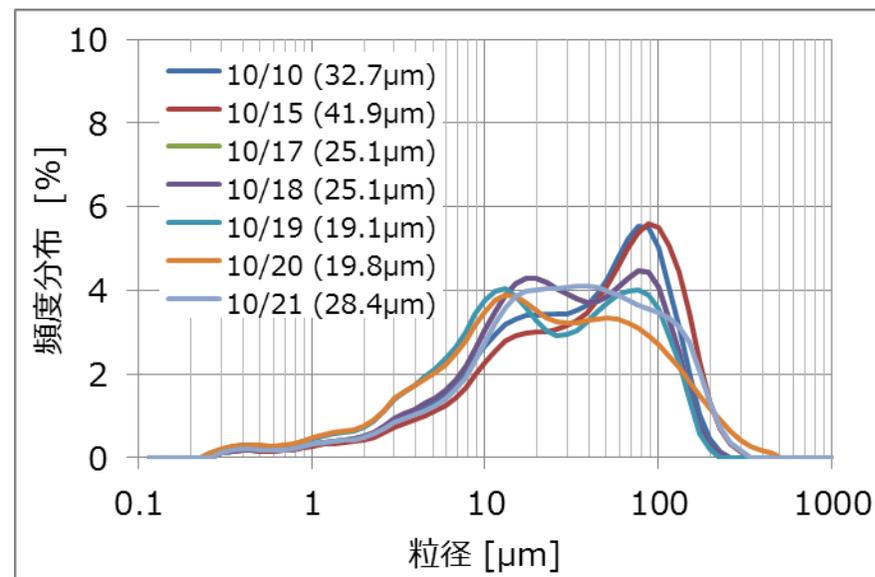


以下 質疑応答対応用スライド

実証試験結果の一例(原灰(分級前の灰)の特性)



積算分布



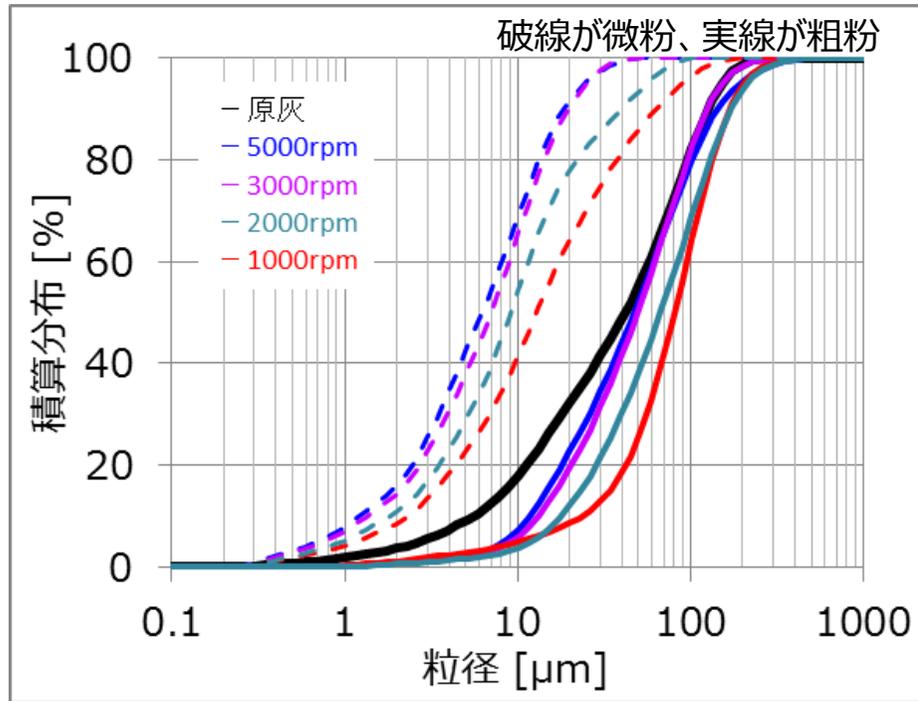
頻度分布

色付き:最大 最小

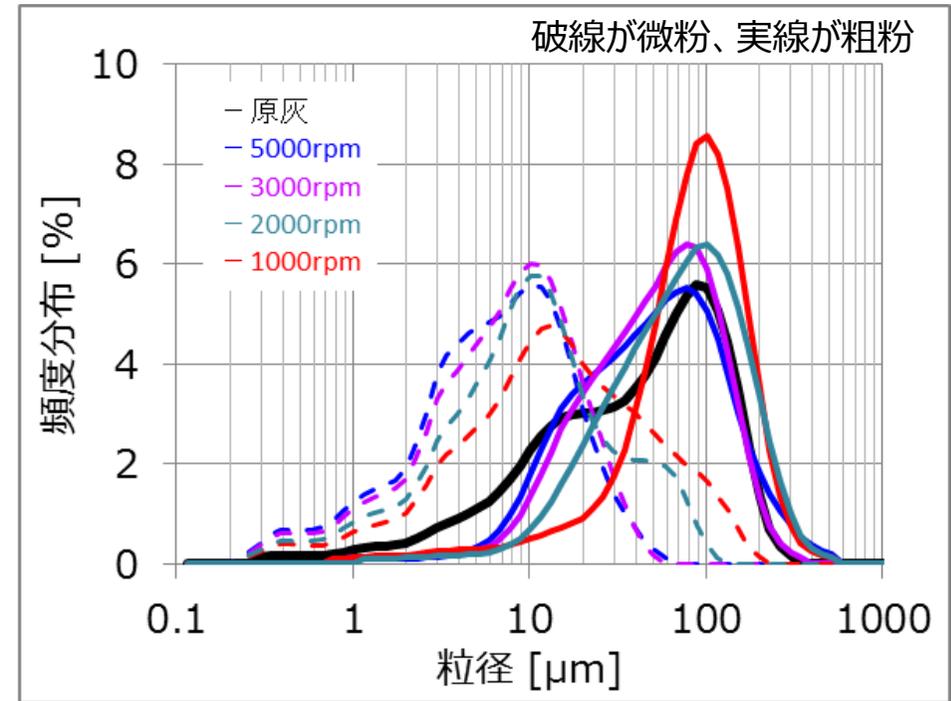
項目	単位	10/10	10/15	10/17	10/18	10/19	10/20	10/21
K2O	%-dry	6.4	4.8	5.4	5.4	10	9.8	7
T-Cl	%-dry	1.6	1.4	1.6	0.88	2.8	3	1.7
Pb	mg/kg-dry	20	19	15	10	23	26	12
Zn	mg/kg-dry	290	280	270	190	420	470	290
見かけ比重	ゆるめ	-	0.47	-	-	-	-	0.39
見かけ比重	かため	-	0.75	-	-	-	-	0.58

実証試験結果の一例(分級特性)

分級機のロータの回転速度が分級特性に与える影響



積算分布



頻度分布

分級ロータの回転が	高速になると・・・	低速になると・・・
微粉側への粗粉の混入	少なくなる	多くなる
粗粉側への微粉の混入	多くなる	少なくなる

事業実施体制

step1

研究代表者

中国木材株式会社

- プロジェクト取りまとめ
- プラントの運転状況調査
- 燃料及び燃焼灰の採取・解析
- 燃焼灰循環利用方法のヒアリング
- システムの経済性検討

燃焼灰サンプル
プラント運転データ

実証装置
分析データ
フィードバック

step1,2

燃焼灰分離システムの開発・実証

株式会社タクマ

- 木質バイオマス発電プラントの運転状況調査, 燃料及び燃焼灰の採取・分析・解析
- 燃焼灰循環利用方法のヒアリング結果に基づいた実用化検討
- 燃焼灰分級システムの設計, 製作・手配, 運転, データ採取・分析・解析

広島大学大学院工学研究院

教授 福井国博

- 木質バイオマス発電プラントの燃焼灰の分級, 分析, 解析
- 燃焼灰分級システムの計画立案, 分析, 解析

昨年度事業概要と委員からのご意見等

①主に工場製材廃材を燃料としている2つのバイオマスプラントを調査した

意見

工場製材廃材だけでなく、**建築廃材や間伐材等を燃料としているプラント**が増えており、調査が必要

②バイオマス燃焼灰の有効成分に着目し、肥料への利用可能性を調査した

アイデア

有効成分を取り出すという考え方もあるが、**有害成分を除去する**ことで灰を有効利用するという考え方もあるはず

③プラント組込み型の実証試験により、有効成分が濃縮可能であることを実証した

アイデア

社会へ広く普及させるためには、新設プラントにしか適用できないプラント組込み型システムより、**既設プラントに適用可能な外付け型のシステムの構築**が不可欠

昨年度事業との比較

項目	昨年度事業	今年度事業
調査対象 プラント	2プラントのみ (主に製材端材等)	4プラント以上 (製材端材、 建築廃材、未利用木材 等)
調査内容	有効成分のみ	有効成分、 有害成分
実証装置	バイオマスプラント 組込み型 実証装置 ↓ 新設プラントのみ 適用可能	バイオマスプラント 外付け型 実証装置 ↓ 新設・ 既設プラント 両方に適用可能
普及可能性	中	大