

令和7年度林野庁補助事業成果発表 「地域エコシステム」技術開発・実証事業

スギ・ヒノキ等を原料とする国産ペレット燃料の 品質向上のための技術開発

2026年3月18日

一般社団法人日本木質ペレット協会

1. 事業概要
(目的、実施概要、成果・目標、計画・実績、実施体制)

2. 事業実施内容
 - 2-1 全国の木質ペレット製造実態調査
 - 2-2 サンプルペレット分析
 - 2-3 シミュレーション・添加物検討
 - 2-4 混合ペレットの試作・コスト検討
 - 2-5 ストーブ燃焼試験

3. まとめ

4. 残された課題

【背景】

国産ペレットをストーブで燃焼させる際に、クリンカの問題があることが知られている。

これは、日本固有の樹種であるスギ・ヒノキ等に含まれる成分（カリウム等）ならびに全木ペレットに含まれる樹皮の成分に由来した問題で、灰の融点が低いためクリンカが発生する。

この問題は、灰融点の高いマツ系を中心に樹皮を含まないホワイトペレットを主に利用している欧米では、あまり問題となっていない

【課題】

国産ペレットは、スギ・ヒノキ等を原料とし、樹皮を含んだ全木ペレットが普及している。

しかし、原料特有の成分に起因したクリンカが機器燃焼部で発生し、機器のトラブル発生要因になっている。

この問題に対して、クリンカ発生を抑制するための添加剤に関する研究が行われてきているが、コスト面で実用化に至っていない。

課題解決のためのアプローチ

No.	実施項目	実施内容
1	全国的な実態調査	全国のペレット事業者アンケート調査（原料の樹種と入手地域、加工の工程）
2	サンプルペレットの収集	協力可能な事業者からペレットのサンプルを入手（目標：50検体）
3	サンプルペレットの分析	灰化作業（灰分測定）、灰の成分分析、溶融挙動試験（酸化性/空気、酸化性/CO ₂ 、還元性/COおよびCO ₂ ）
4	予測シミュレーションと添加物の検討	中部大と協力して、灰の成分とグリンカ発生に関する予測シミュレーションを実施。国産ペレットの灰融点を上昇させるための添加物を調査、添加物を混ぜたことによる効果を検証
5	添加物を混ぜたペレットの試作	添加物を調達し混合ペレットを試作
6	ストーブでの燃焼試験	混合ペレットをペレットストーブで試験燃焼
7	コストの検討	安価な添加物、均一な混合方法、コストを検討
8	まとめ（報告書作成）	報告書を作成

① 国産ペレットの品質向上

- ・国産ペレットであってもクリンカの発生が少ない高品質なペレットが生産できるようになる。
- ・ペレット生産者のペレット品質への関心が高まり、JAS規格の浸透が図れる。

② JAS/ISO基準への適合と認証

- ・ISOに記載された灰溶融挙動の基準値をJASに引用することができるようになる。
- ・灰溶融挙動を含む製品認証が可能になり、高品質なペレットを市場に提供できる。

③ ペレットストーブユーザーの増加

- ・クリンカの発生が少ないペレットを使うことで、ユーザーは灰処理が簡単になる。
- ・全国のペレット工場のペレットが国産・輸入のストーブで使えるようになる。

④ 国産ペレットの普及と国産材利用の増加

- ・以上をもって、国産ペレットが普及し、国産材利用が増加する。

1. 計画（黒）と実績（赤）

	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
交付決定	●										
検討委員会 <small>注) 10月はISO/TC238 で経過を報告</small>		●				●	●		●	●	
支援委員会			●							●	●
調査票の送付・アンケート集計			●	●		●	●				
サンプルの回収			●	●		●	●				
サンプルの分析				●	●	●	●				●
添加物の検討・シミュレーション			●	●	●	●	●				●
添加物を混ぜたペレットの成形・評価							●	●		●	
添加物を混ぜたペレットの分析							●	●			
添加物を混ぜたペレットの燃焼								●	●		
コストと普及策の検討									●	●	
まとめ（報告書の作成）										●	●

1. 事業実施体制

検討委員会



(一社) 日本木質ペレット協会【JPA】

- ・全体統括
- ・調査票の送付/回収
- ・サンプルの回収
- ・委員会の運営
- ・コスト/普及策の検討
- ・報告書の作成

ペレットクラブ【PCJ】

- ・調査票作成協力
- ・添加物の調達と混合ペレットの成形
- ・コスト/普及策の検討協力
- ・報告書作成協力

(株)サンコー環境調査センター

- ・回収したサンプルの分析（最大50件）

(株)PEO技術士事務所【PEO】

- ・添加物の検討
- ・クリンカ発生予想シミュレーション

中部大学

- ・添加物混合ペレットの灰融点試験

(一社) 日本ペレットストーブ工業会【PSJ】

- ・ペレットストーブでの燃焼試験

1. 事業概要
(目的、実施概要、成果・目標、計画・実績、実施体制)
2. 事業実施内容
 - 2-1 全国の木質ペレット製造実態調査
 - 2-2 サンプルペレット分析
 - 2-3 シミュレーション・添加物検討
 - 2-4 混合ペレットの試作・コスト検討
 - 2-5 ストーブ燃焼試験
3. まとめ
4. 残された課題

2-1. 事業実施内容 (全国の木質ペレット製造実態調査)

全国ペレット製造事業者アンケート

○調査概要

全国の木質ペレット製造事業者を対象に

- ・ペレット生産
- ・価格動向
- ・品質管理
- ・認証制度
- ・課題等

を把握する為アンケートを実施。

令和7年度「地域内エコシステム」技術開発・実証事業 全国ペレット製造事業者アンケート

木質ペレットのクリンク問題への対応として品質改良実証試験をするにあたって、全国のペレット事業者の現状を調査するために、ペレットサンプルのご提供のお願いとアンケート調査を実施させていただきます。

会社・団体名	様
担当者様お名前	様
メールアドレス	

ペレットサンプル提供のお願いについて
 この度、林野庁の令和7年度「地域内エコシステム」技術開発・実証事業に応募し採択されました。技術開発・実証事業では、国内のスギ・ヒノキを原料とする木質ペレットのクリンク問題に対する品質向上を担った事業になります。実証事業を進めるにあたり、国内の木質ペレット事業者の状況調査の為、貴事業者で製造されております、木質ペレット灰の成分分析や溶融挙動試験を行う予定でございます。その方法は、下記の通りになります。ご理解ご協力をお願いいたします。

①貴工場で生産しているペレットの品質について試験を実施しその結果を報告させていただきます。
 ②サンプル発送費及び試験に関する費用は無償です。ただし、サンプルは無償提供をお願いいたします。
 ③実証事業での試験結果については、サンプル提供いただいた事業所名は非公開で行います。

また、**ペレットサンプルの発送時期及び数量などの要領は、改めて協会よりご連絡させていただきます。**※。時期は8月下旬頃となります。発送先は、「株式会社サンコー環境調査センター 担当：武 苑て」を設定しています。また、発送の際は、着払いをお願いいたします。住所は、〒182-0025 東京都調布市多摩川1-4-1 です。

サンプルのご提供にご協力いただけますか	可	不可
どちらかに「○」を記入願います。		

木質ペレットに関するアンケートへのご協力をお願いについて
 また、自社生産の他に仕入れペレット販売をされている場合は、それぞれについて回答をお願いいたします。

1. 自社製造及び仕入れペレットの種類と生産・仕入量 2024年4月～2025年3月

ペレットの種類	生産量	仕入量
全本（混合）ペレット	ton	ton
ホワイト（木部）ペレット	ton	ton
パーク（樹皮）ペレット	ton	ton
その他（種類：建築廃材）ペレット	ton	ton
その他（種類： ）ペレット	ton	ton
合計	ton	ton

2. 自社製造及び仕入れペレット原料の樹種について

原料の樹種	自社製造分割合	仕入分割合
スギ	%	%
ヒノキ	%	%
マツ	%	%
その他（ ）	%	%

3. 自社製造及び仕入れペレット原材料の種類別数量割合及び入手地域 2024年4月～2025年3月

原材料の種類	自社製造分割合	自社製造分原料入手地域	仕入分割合	仕入分原料入手地域
樹皮	%		%	
おが粉	%		%	
フレナ・モルダ屑	%		%	

<table border="1"> <tr> <td>樹皮材・林地残材</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>製材屑・端材</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>グム生機木・工業次産物</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>樹脂類・製材製材屑</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>建築廃材 種類：</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>その他 種類：</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>0%</td> <td>0%</td> </tr> </table>	樹皮材・林地残材	%	%	製材屑・端材	%	%	グム生機木・工業次産物	%	%	樹脂類・製材製材屑	%	%	建築廃材 種類：	%	%	その他 種類：	%	%	合計	0%	0%	<p>4. 自社製造及び仕入れペレットの添加剤について【使用している場合、可能な範囲で回答願います】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>添加剤について</th> <th>自社製造分</th> <th>仕入れ分</th> <th>4月～2025年3月</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>添加剤名</td> <td></td> <td></td> <td>発電機利用</td> </tr> <tr> <td>添加剤</td> <td>%</td> <td>%</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>添加剤の価格</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>不詳（該当する場合は）</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>5. 自社及び仕入れペレット販売価格（工場渡し価格） 2024年4月～2025年3月</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ペレットの種類（樹種）</th> <th>ストープ燃料用</th> <th>ボイラ燃料用</th> <th>発電機燃料用</th> <th>※その他</th> <th>3号機</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全本（混合） （自社製造分）</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>全本（混合） （仕入れ分）</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>ホワイト（木部） （自社製造分）</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>ホワイト（木部） （仕入れ分）</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>パーク（樹皮） （自社製造分）</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>パーク（樹皮） （仕入れ分）</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>円/kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>※その他の種類：</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>例示：ペレット屑等</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table> <p>6. 自社製造及び仕入れペレットの利用先別販売数量 2024年4月～2025年3月</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>販売先およびペレットの用途</th> <th>自社製造分販売数量</th> <th>仕入分販売数量</th> <th>3号機</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ストープ燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>ボイラ燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>発電機燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>その他燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>ストープ燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>ボイラ燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>発電機燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>その他燃料用</td> <td>Kg</td> <td>Kg</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table> <p>9. 保有乾燥機の概要 乾燥機の有無について⇒有・無</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機種について</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>メーカー名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>機種名</td> <td></td> </tr> <tr> <td>方式（床コン・ベルト・気流など）</td> <td></td> </tr> <tr> <td>乾燥能力（乾燥水分量×入口）出口の差量</td> <td>乾燥水分量 kg/h</td> </tr> <tr> <td>入口</td> <td>kg/h</td> </tr> <tr> <td>出口</td> <td>kg/h</td> </tr> <tr> <td>乾燥機が稼働している場合の乾燥機稼働時間（稼働時間）</td> <td>稼働時間 h</td> </tr> <tr> <td>燃料（薪チップ、遡パークなど）</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>ペレット生産量の変動と価格上昇について現状やご意見を聞かせてください</p> <p>例）電気代の高騰、原料高騰への対応策、目標生産販売数について。</p>	添加剤について	自社製造分	仕入れ分	4月～2025年3月	添加剤名			発電機利用	添加剤	%	%	%	添加剤の価格	円/kg	円/kg	%	不詳（該当する場合は）				ペレットの種類（樹種）	ストープ燃料用	ボイラ燃料用	発電機燃料用	※その他	3号機	全本（混合） （自社製造分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%	全本（混合） （仕入れ分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%	ホワイト（木部） （自社製造分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%	ホワイト（木部） （仕入れ分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%	パーク（樹皮） （自社製造分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%	パーク（樹皮） （仕入れ分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%	※その他の種類：					%	例示：ペレット屑等					%	販売先およびペレットの用途	自社製造分販売数量	仕入分販売数量	3号機	ストープ燃料用	Kg	Kg	%	ボイラ燃料用	Kg	Kg	%	発電機燃料用	Kg	Kg	%	その他燃料用	Kg	Kg	%	ストープ燃料用	Kg	Kg	%	ボイラ燃料用	Kg	Kg	%	発電機燃料用	Kg	Kg	%	その他燃料用	Kg	Kg	%	機種について	内容	メーカー名		機種名		方式（床コン・ベルト・気流など）		乾燥能力（乾燥水分量×入口）出口の差量	乾燥水分量 kg/h	入口	kg/h	出口	kg/h	乾燥機が稼働している場合の乾燥機稼働時間（稼働時間）	稼働時間 h	燃料（薪チップ、遡パークなど）	
樹皮材・林地残材	%	%																																																																																																																																																				
製材屑・端材	%	%																																																																																																																																																				
グム生機木・工業次産物	%	%																																																																																																																																																				
樹脂類・製材製材屑	%	%																																																																																																																																																				
建築廃材 種類：	%	%																																																																																																																																																				
その他 種類：	%	%																																																																																																																																																				
合計	0%	0%																																																																																																																																																				
添加剤について	自社製造分	仕入れ分	4月～2025年3月																																																																																																																																																			
添加剤名			発電機利用																																																																																																																																																			
添加剤	%	%	%																																																																																																																																																			
添加剤の価格	円/kg	円/kg	%																																																																																																																																																			
不詳（該当する場合は）																																																																																																																																																						
ペレットの種類（樹種）	ストープ燃料用	ボイラ燃料用	発電機燃料用	※その他	3号機																																																																																																																																																	
全本（混合） （自社製造分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%																																																																																																																																																	
全本（混合） （仕入れ分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%																																																																																																																																																	
ホワイト（木部） （自社製造分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%																																																																																																																																																	
ホワイト（木部） （仕入れ分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%																																																																																																																																																	
パーク（樹皮） （自社製造分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%																																																																																																																																																	
パーク（樹皮） （仕入れ分）	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	%																																																																																																																																																	
※その他の種類：					%																																																																																																																																																	
例示：ペレット屑等					%																																																																																																																																																	
販売先およびペレットの用途	自社製造分販売数量	仕入分販売数量	3号機																																																																																																																																																			
ストープ燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
ボイラ燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
発電機燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
その他燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
ストープ燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
ボイラ燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
発電機燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
その他燃料用	Kg	Kg	%																																																																																																																																																			
機種について	内容																																																																																																																																																					
メーカー名																																																																																																																																																						
機種名																																																																																																																																																						
方式（床コン・ベルト・気流など）																																																																																																																																																						
乾燥能力（乾燥水分量×入口）出口の差量	乾燥水分量 kg/h																																																																																																																																																					
入口	kg/h																																																																																																																																																					
出口	kg/h																																																																																																																																																					
乾燥機が稼働している場合の乾燥機稼働時間（稼働時間）	稼働時間 h																																																																																																																																																					
燃料（薪チップ、遡パークなど）																																																																																																																																																						

○アンケート調査対象概要

※90件アンケート依頼、回答35件（39%）の内、実生産事業者32件の集計
ペレット割合：全木50%、ホワイト47%、その他3%
原料樹種：スギ100%が全体の3割、マツ100%が全体の2割、スギ・ヒノキ混合が5割



調査した木質ペレット事業者の8割は杉材を原料とした木質ペレット

○調査データ（抜粋）

①ペレットの種類

自社生産しているペレットの50%は全木、47%がホワイトである。

②添加剤使用有無

自社生産しているストーブ用ペレットでは添加剤を使用していない。

③ペレット価格

全木小袋用ペレットの工場渡し価格は45～55円/kgが全体の約4割である。安い物は30円/kg、高い物は100円/kgの物がある。

④生産設備

成型機の方式は、75%がリングダイ方式で25%がフラットダイ方式である。

ペレット工場のフル稼働時の生産能力は4t/日前後が多い。

○アンケートデータ総括

アンケートから、木質ペレット事業者が直面している主要な課題

- ① 製造コスト上昇 : 原材料、電気、物流、人件費の上昇が継続しており採算性が悪化
- ② 原料調達 : バイオマス発電との競合により、安定調達が難しい状況
- ③ 需要停滞 : 新規ボイラー案件が減少し、家庭用需要の伸び悩み
- ④ 製造の人材不足 : 高齢化や担い手不足による製造体制の維持困難。
- ⑤ 認証制度 : JAS認証取得を希望する事業者がいる一方で、品質評価システムや認証取得のコストに躊躇する事業者もいる。
- ⑥ 品質 : クリンカ対策を含めたペレット品質基準の見直し



事業者は地域貢献や環境保全の観点から価格維持を試みているが、**現状では経営的に厳しい局面**にある。政策的には、生産者補助や品質認証支援、品質基準、ボイラー導入補助を通じて、**国内ペレット産業の持続的発展を支えるため、木質ペレットの品質の安定化に取り組む必要がある。**

2-1. 事業実施内容（サンプルペレット収集）

サンプル提供事業者リスト

No.	サンプルNo.	樹種(数値は割合)	No.	サンプルNo.	樹種(数値は割合)
1	5	マツ	15	48	スギ
2	6	マツ	16	51	スギ
3	8	マツ	17	57	スギ,ヒノキ
4	14	スギ	18	58	スギ
5	18	スギ	19	68	マツ
6	20	スギ,マツ	20	75	スギ,ヒノキ
7	22	スギ,広葉樹	21	77	スギ,ヒノキ
8	24	マツ	22	81	スギ,ヒノキ
9	25	スギ	23	87	スギ,ヒノキ
10	30	マツ	24		スギ
11	41	スギ,マツ	25		スギ
12	43	スギ,マツ	26		不明
13	46	マツ	27		アカシア
14	47	不明			

全国の木質ペレット事業者90社から23件のサンプル提供と4件の追加サンプルの合計27件収集。

①試験内容

【木質ペレット試験試料 2 3 検体の受入れ、分析】

受入れ試料量：約 1 0 k g

灰分分析（灰化条件：550°C）

- 灰化作業（ISO法による550°C灰化試料作製）
- 灰の成分分析

(SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaCO₃, MgO, Na₂O, K₂CO₃, MnO,
P₂O₅, SO₃, Cl)

溶融挙動試験：ISO21404（2020）準拠

- （酸化性/空気、酸化性/CO₂、還元性/COおよびCO₂混合）

2-2. 事業実施内容（サンプルペレット分析）

②灰の成分分析試験結果 - 1

試料名	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
樹種	マツ	マツ	マツ	スギ	スギ	スギ・マツ	スギ・広葉樹	マツ	スギ	マツ	スギ・マツ	スギ・マツ
灰分(%)	0.7	0.4	0.4	0.9	0.5	0.6	2.5	0.4	0.5	0.2	3.2	0.5
SiO ₂ (%)	33.01	16.13	34.21	0.78	3.63	6.86	0.70	6.48	1.90	4.19	15.70	1.27
Al ₂ O ₃ (%)	7.92	4.22	8.67	0.20	1.03	1.96	0.18	3.25	0.50	1.33	3.86	0.46
Fe ₂ O ₃ (%)	6.02	2.53	4.43	0.18	0.84	1.70	0.12	0.86	0.50	0.90	3.08	0.44
CaCO ₃ (%)	25.38	36.43	21.09	27.88	40.95	44.54	70.46	53.18	44.02	55.16	62.16	48.66
MgO(%)	4.63	3.80	3.55	5.10	4.17	3.81	1.66	6.36	4.91	7.02	2.08	5.76
Na ₂ O(%)	2.03	0.72	2.22	0.57	0.59	0.96	12.03	2.46	0.31	1.76	0.66	0.31
K ₂ CO ₃ (%)	19.01	30.18	15.61	61.81	46.40	30.59	5.22	15.67	48.37	17.63	7.16	42.91
MnO(%)	0.47	1.76	0.90	0.02	0.10	0.79	0.11	0.82	0.08	2.79	0.17	0.29
P ₂ O ₅ (%)	1.26	1.39	2.63	0.44	1.68	1.03	0.69	1.75	1.35	2.52	1.71	1.30
SO ₃ (%)	1.67	1.96	1.57	0.92	1.45	2.18	0.41	2.18	1.09	3.17	2.21	1.47
Cl(%)	0.23	0.13	0.14	0.36	0.13	0.22	0.44	0.14	0.08	0.28	1.49	0.08

No.1～12についてはシリカ成分値が0.7～34%と濃度に幅がある。概ねマツが高めの傾向となっている。アルミ・鉄は約0.5～9%だが、概ねシリカと連動した濃度分布がみられる。カリウムについても5～62%の濃度に幅があり、概ねスギが高い傾向であった。硫黄は概ねマツの方が杉より高めの傾向である。

2-2. 事業実施内容（サンプルペレット分析）

②灰の成分分析試験結果－2

試料名	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23
樹種	マツ	不明	スギ	スギ	スギ・ヒノキ	スギ	マツ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ
灰分(%)	0.2	1.0	0.9	0.9	0.3	1.0	0.2	0.7	0.4	0.5	0.7
SiO ₂ (%)	2.89	6.23	3.69	3.38	2.90	2.50	0.83	3.32	0.46	3.23	16.95
Al ₂ O ₃ (%)	1.29	2.57	1.19	0.85	0.76	0.20	0.52	3.47	0.34	0.94	6.26
Fe ₂ O ₃ (%)	1.24	1.44	0.94	0.36	0.81	0.17	0.16	0.86	0.45	0.81	3.59
CaCO ₃ (%)	46.36	62.38	51.63	28.50	34.96	19.05	53.36	53.43	57.18	49.59	32.48
MgO(%)	6.99	3.71	4.20	3.92	5.51	11.19	8.62	4.44	4.20	4.36	4.39
Na ₂ O(%)	0.30	0.41	1.45	0.64	0.40	0.22	0.17	0.40	0.40	0.36	0.98
K ₂ CO ₃ (%)	30.56	16.27	32.58	58.18	42.65	41.65	24.50	28.08	28.73	33.27	31.54
MnO(%)	0.75	0.31	0.09	0.03	0.89	0.13	3.38	0.53	0.73	0.29	0.17
P ₂ O ₅ (%)	2.99	1.99	1.84	2.26	1.91	27.50	3.44	1.81	0.42	1.61	0.85
SO ₃ (%)	2.48	2.01	1.85	0.97	2.60	2.43	2.60	2.32	1.31	1.84	1.83
Cl(%)	0.07	0.04	0.13	0.08	0.06	0.06	0.02	0.19	0.04	0.16	0.10

Mo.13～23についてはシリカ成分値が0.5～17%と濃度に幅がある。アルミ・鉄は約0.2～6%だが、概ねシリカと連動した濃度分布がある。カリウムは16～58%の濃度となっており、概ねスギが高い傾向であった。硫黄は概ねマツの方がスギより高め傾向である。No.18のリンが約27%と高い値となっているが土壌由来なのか要因は不明。

③灰の溶融性試験結果－1

※ISO17225-2の溶融性試験用灰化試料は灰化温度815°Cで作成

試験雰囲気	試料名	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12
	樹種	マツ	マツ	マツ	スギ	スギ	スギ・マツ	スギ・広葉樹	マツ	スギ	マツ	スギ・マツ	スギ・マツ
酸化性 (Air) 単位：°C	収縮開始点(SST)	1100	810	930	710	710	720	810	750	720	760	1030	850
	軟化点(DT)	1180	1330	1230	1040	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	1440	>1500
	融解点(HT)	1220	1340	1240	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500
	溶流点(FT)	1240	1360	1260	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500
酸化性 (CO2) 単位：°C	収縮開始点(SST)	1010	680	915	690	760	750	760	720	760	680	1130	760
	軟化点(DT)	1190	1320	1230	690	780	770	790	>1500	780	860	1400	780
	融解点(HT)	1200	1350	1250	730	800	820	810	>1500	790	>1500	>1500	800
	溶流点(FT)	1200	1350	1270	740	810	>1500	840	>1500	810	>1500	>1500	>1500
還元性 (CO・CO2) 単位：°C	収縮開始点(SST)	960	710	1040	690	790	670	710	700	750	650	900	670
	軟化点(DT)	1160	1270	1210	690	800	750	765	>1500	790	>1500	1400	760
	融解点(HT)	1190	1300	1230	740	>1500	780	790	>1500	810	>1500	>1500	>1500
	溶流点(FT)	1200	1310	1260	750	>1500	>1500	830	>1500	830	>1500	>1500	>1500

黄色網掛けはA1を、オレンジ網掛けはA2,Bを満足しない【DT基準値：A1:1200°C、A2・B：1100°C】

酸化性雰囲気（空気）では一般的にマツよりスギの方がカリウム濃度が高く、軟化点が低い傾向があるとされているが、No.1マツは軟化点が低めであった。シリカ濃度が31%と高いため1200°C付近から溶解したと考えられる。No.4スギは軟化点が1100°Cを下回り、カリウム濃度が60%以上と高濃度であった。酸化性雰囲気（CO2）および還元性雰囲気ではカリウム濃度が高い試料は軟化点が酸化性雰囲気（空気）より低い傾向であった。

③灰の溶融性試験結果－2

※ISO17225-2の溶融性試験用灰化試料は灰化温度815℃で作成

試験雰囲気	試料名	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23
	樹種	マツ	不明	スギ	スギ	スギ・ヒノキ	スギ	マツ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ
酸化性 (Air)	収縮開始点(SST)	790	1030	690	740	800	1000	980	710	710	720	1050
	軟化点(DT)	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	1160	>1500	>1500	>1500	>1500	1350
	融解点(HT)	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	1170	>1500	>1500	>1500	>1500	1360
	溶流点(FT)	>1500	>1500	>1500	>1500	>1500	1180	>1500	>1500	>1500	>1500	1360
酸化性 (CO ₂)	収縮開始点(SST)	700	730	740	700	750	1010	710	750	740	690	740
	軟化点(DT)	760	>1500	780	730	780	1150	790	770	790	740	1350
	融解点(HT)	>1500	>1500	830	760	800	1180	920	>1500	850	770	1370
	溶流点(FT)	>1500	>1500	1000	790	840	1200	>1500	>1500	880	840	1370
還元性 (CO・CO ₂)	収縮開始点(SST)	700	790	720	700	750	1120	720	750	750	740	680
	軟化点(DT)	780	830	770	710	770	1150	920	800	820	760	1240
	融解点(HT)	>1500	>1500	>1500	760	>1500	1170	>1500	>1500	910	810	1290
	溶流点(FT)	>1500	>1500	>1500	920	>1500	1200	>1500	>1500	>1500	>1500	1300

黄色網掛けはA1を、オレンジ網掛けはA2,Bを満足しない【DT基準値：A1:1200℃、A2・B：1100℃】

酸化性雰囲気（空気）ではNo.18とNo.23が低めの軟化点であったが他は溶融しない結果となった。No.23は1300℃以上で溶解した。No.13～23は全体的にカリウム濃度が30%以上と高めであったため、酸化性雰囲気（CO₂）および還元性雰囲気ではカリウム濃度が高い試料で軟化点が基準値より低い傾向であった。

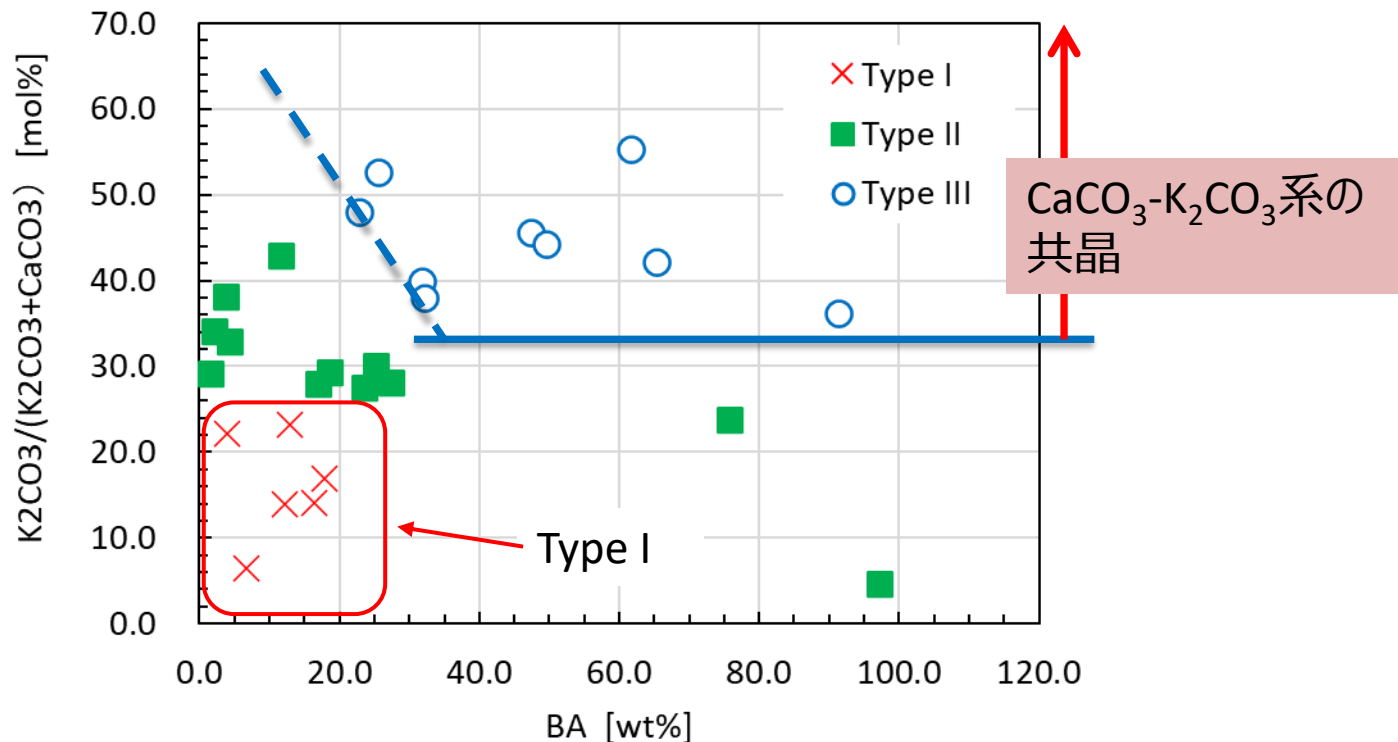
2-3. 事業実施内容（シミュレーション・添加物検討）

中部大学 工学部 二宮善彦
PEO技術士事務所 笹内謙一

23サンプル+追加サンプル（No.24、No. 4、No.25、No.27）のXRF分析結果の整理：灰分の組成によって3種類のTypeに分類することができそうである。

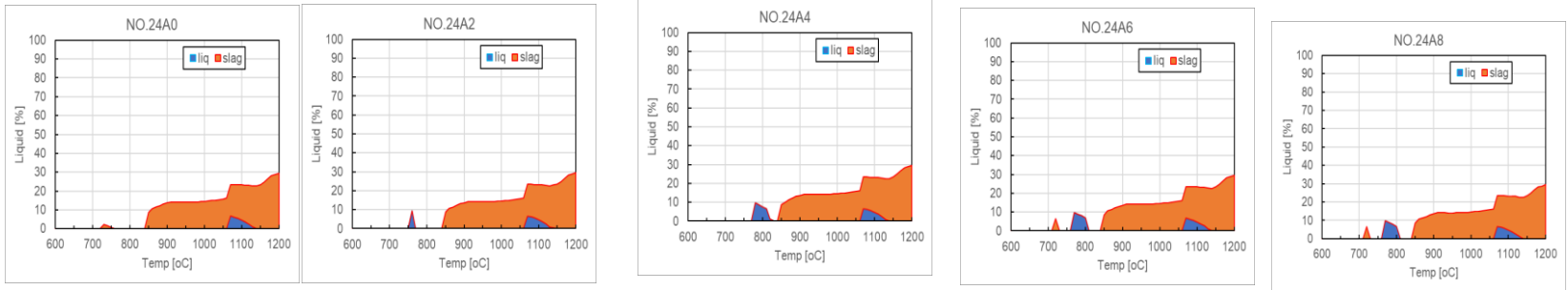
Type I：欧州産ペレットの灰組成に近く、燃焼ポット内部でのクリンクトラブルが発生しにくい。

Type IIおよびIII： $\text{CaCO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3$ 系の共晶による融液の発生によって燃焼ポット内部でのクリンクが生成しやすい

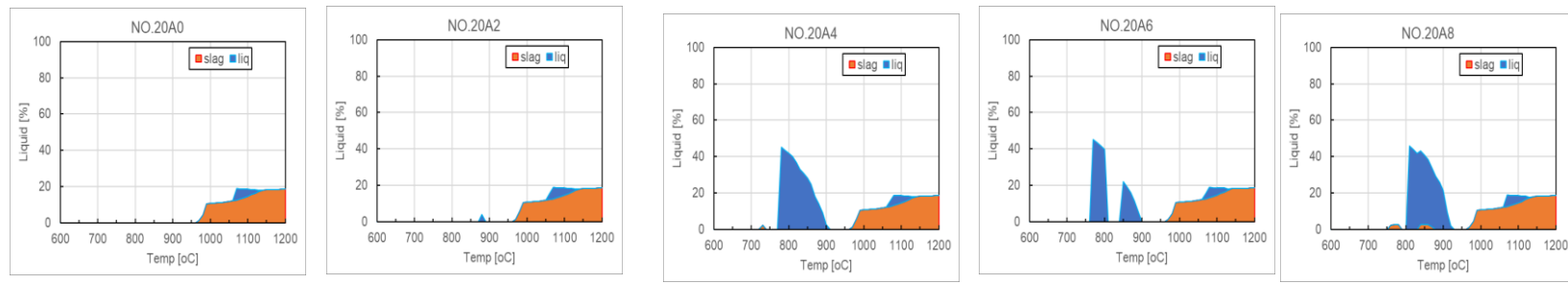


CO₂雰囲気気濃度による灰の溶融挙動 (FactSageの計算結果)

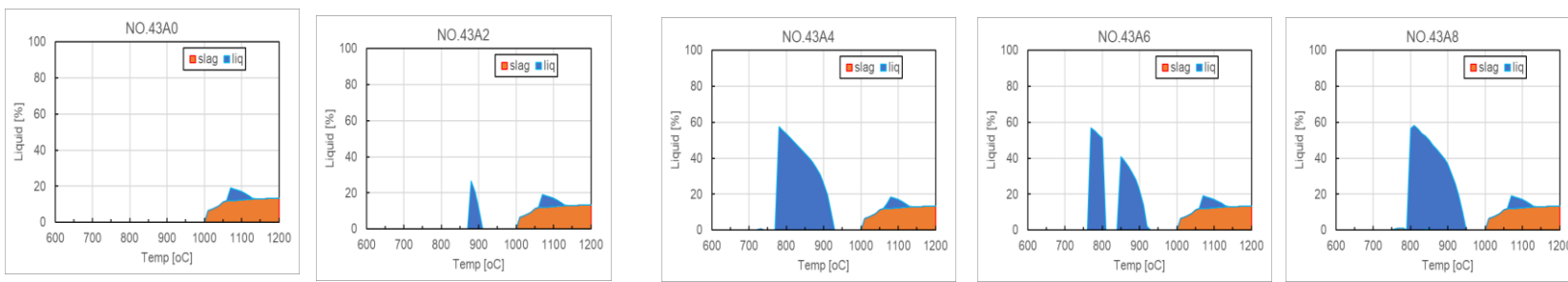
Type I



Type II



Type III



Air

CO₂=2%

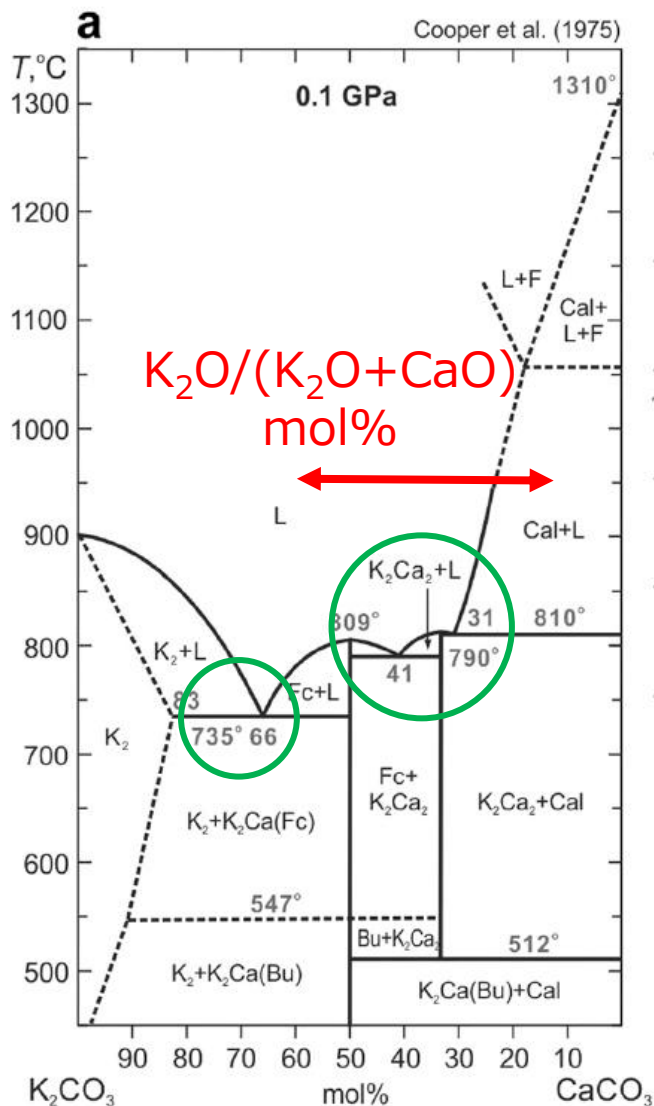
4%

6%

8%

Type IIおよびIIIは、燃焼ガス中のCO₂濃度の増加によって、CaCO₃-K₂CO₃系の共晶の影響を受けやすい

灰中のCaOおよびK₂O含有率が高く、SiO₂含有率が低い灰の状態図



- この図は、灰の主成分になりやすいK（カリウム）系とCa（カルシウム）系の炭酸塩が、温度によって「溶け始める条件」を示す。
- 混合状態では、約735–790°C付近から“少量の融液（融けた成分）”が発生しやすい。この温度域は燃焼ポット／炉内の温度域と重なるため、融液ができる起点になり得る。
- 融液が少しでも出ると、それが粒子同士を“のり”のようにつなぐため、灰がくっつく（付着・凝集）→塊化（焼結）しやすくなる。
- さらに燃焼中はCO₂が多く、炭酸塩が残りやすい雰囲気になり得るため、この「低温で溶け始める」現象が起きやすくなる。
- 重要点：全部が溶ける必要はなく、“少量の融液”だけで付着・塊化が進み、トラブルにつながり得る。

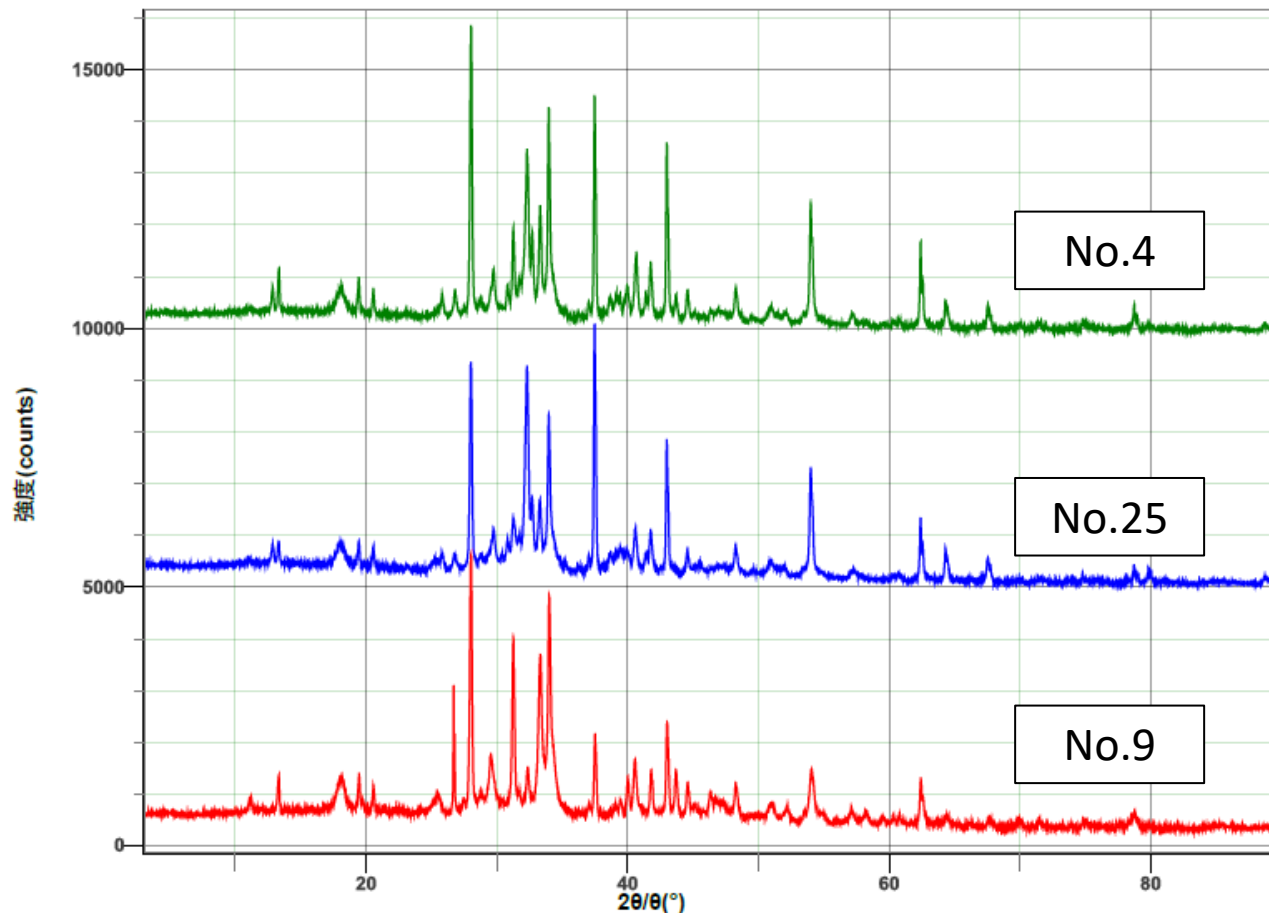
ペレットストーブ向けクリンカ試験用ペレットおよび燃焼灰の分析結果

	No.25			No.4			No.24			No.9		
	ペレット	燃焼ポット		ペレット	燃焼ポット		ペレット	燃焼ポット		ペレット	燃焼ポット	
かたまりの程度			手で崩れる			手で崩れる			手で崩れる			手で崩れる
提供会社		豊実精工	北越融雪		豊実精工	北越融雪		豊実精工	北越融雪		豊実精工	北越融雪
SiO ₂	0.54	0.52	0.52	0.44	1.08	0.77	4.86	4.93	5.29	1.12	1.02	0.98
Al ₂ O ₃	0.98	0.25	0.26	0.33	0.45	0.28	2.67	2.05	2.4	0.75	0.62	0.45
Fe ₂ O ₃	1.58	0.84	0.36	0.45	0.72	0.69	1.97	2.4	2.42	1.94	4.39	3.01
CaO	28.36	34.67	42.33	26.55	44.61	42.34	35.29	42.62	40.75	36.82	48.46	46.98
MgO	4.62	5.82	5.56	5.33	9.11	6.89	4.07	3.87	4.32	5.11	4.62	4.17
Na ₂ O	0.6	0.48	0	0.54	0.24	0.28	1.19	0.73	0.87	0.37	0	0
K ₂ O	58.95	54.14	48.61	63.29	42.51	47.52	44.62	40.74	40.91	48.91	38.14	41.59
P ₂ O ₅	1.47	1.35	1.54	0.54	0.64	0.66	2.13	1.63	1.96	1.87	1.77	1.79
MnO	0	0	0.21	0	0	0	0.14	0.28	0.25	0	0.14	0.13
SO ₃	2.44	1.2	0.32	2.17	0.31	0.3	2.61	0.45	0.51	2.61	0.3	0.41
Cl	0.19	0.24	0	0.19	0	0	0.17	0	0.04	0.17	0	0.01
灰分(%)	0.63			0.81			0.75			0.46		

灰のかたまり

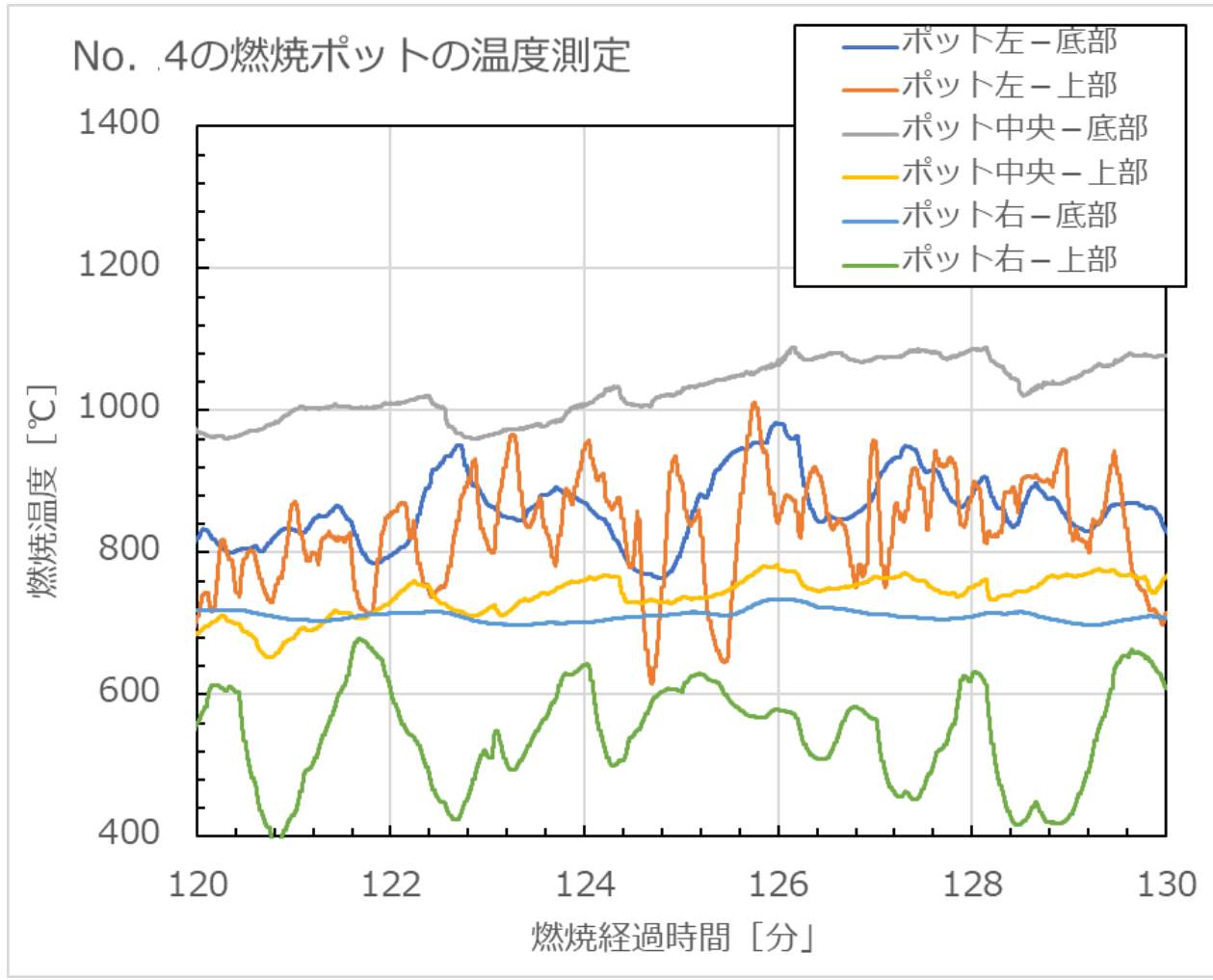


ペレットの灰組成と燃焼ポットの灰組成とを比較するとあまり異なっておらず、CaCO₃-K₂CO₃系の共晶による融液の発生によって燃焼ポット内部でクリンカが生成していることが確認された



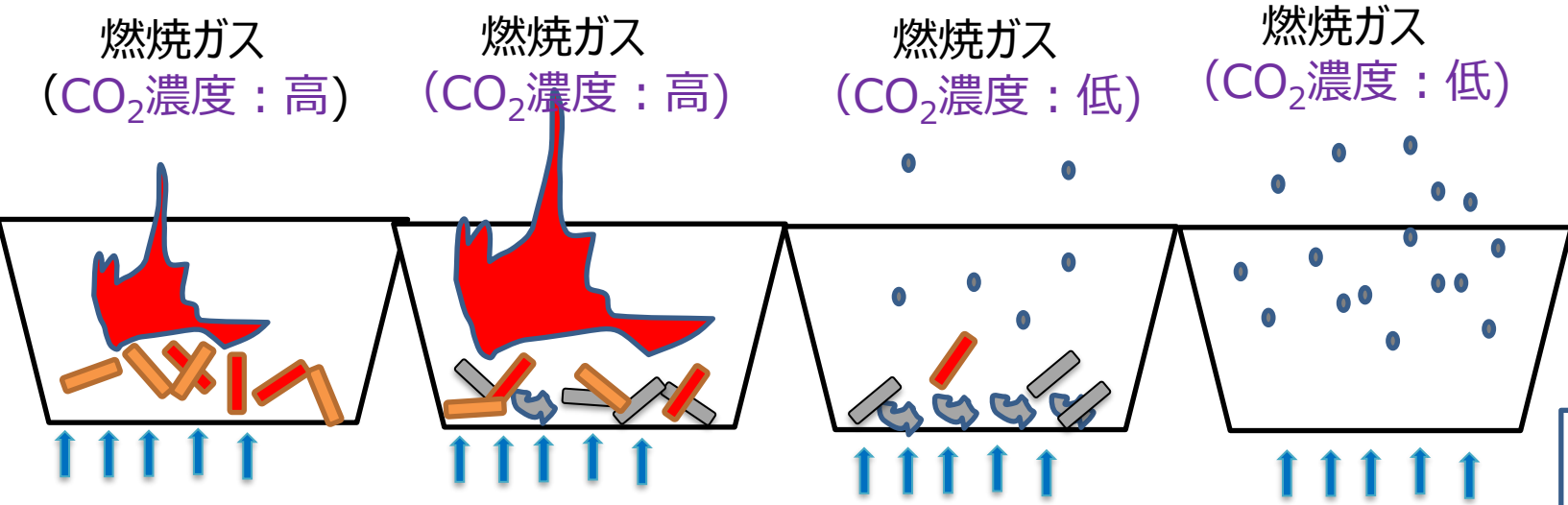
- ✓ 主な結晶相 : CaO 、 MgO 、 $(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ 、 $\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{CO}_3)$ 、 $\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ 、などの複合酸化物や複合炭酸塩が同定された。
- ✓ $2\theta = 30^\circ$ 付近にブロードなピークがなく、溶融したガラス状物質は生成していない

No. 4 のペレットストーブの燃焼試験結果

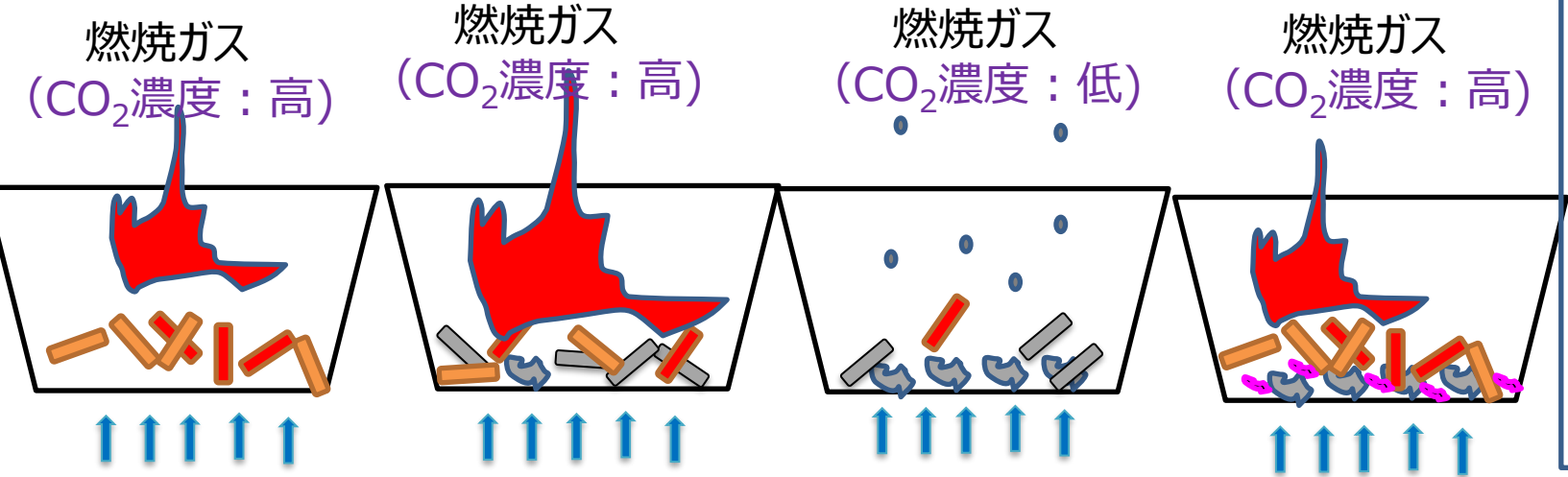


燃焼ポットの左側底部の温度は1000～1100°C。左側上部の火炎の揺らぎによって700～1000°Cに変動している

ペレットストーブの燃焼状態とクリンカ生成モデル

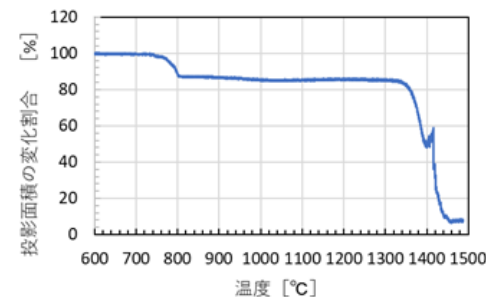
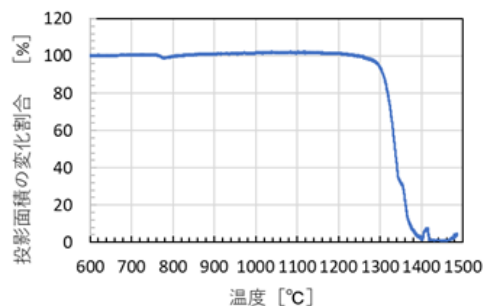
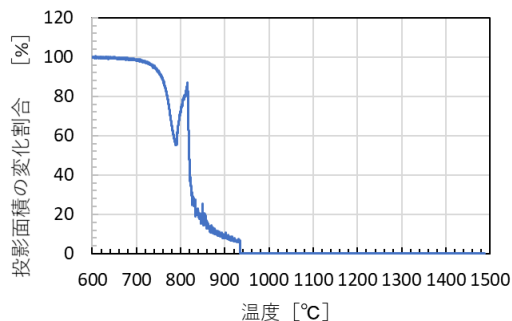


空気 ペレットの供給速度が遅いとき：ペレットが完全に燃焼し、灰が飛散

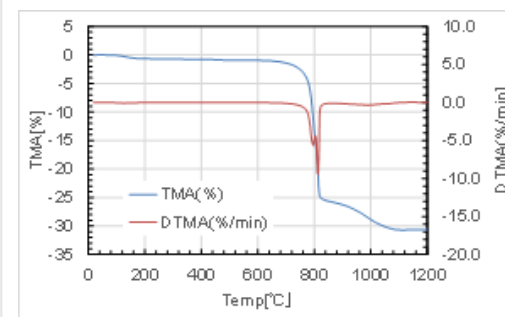
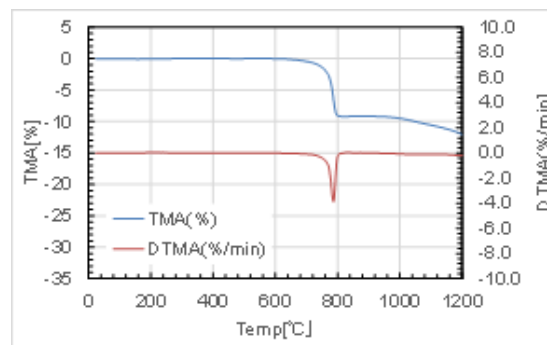
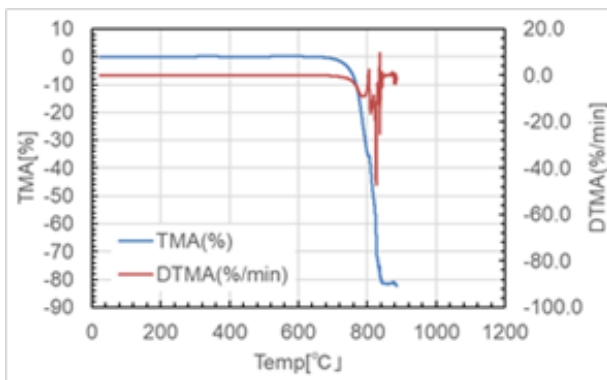


- ペレット
- 燃焼ペレット
- 燃焼灰
- 柔らかく固まった灰
- 灰の塊
- 飛散灰

ペレットの間欠供給：ペレットの燃焼して灰化したときの新しいペレットによる燃焼がおこり、CO₂濃度が高く、共晶化合物の凝集がおこる



溶融温度測定（試験片の投影面積（550°Cの面積基準）の加熱時の変化過程）



TMAによる収縮率測定

スギ灰

スギ灰 + タルク（ペレットに0.5wt%） スギ灰 + カオリン（0.5wt%）

- ✓ 試験灰の作製：スギ材に添加剤（タルク、カオリン）を所定量混合した後、マッフル炉で550°Cで灰化した試験灰を作製
- ✓ CO₂雰囲気において、試験灰の溶融温度測定およびTMAによる収縮試験を実施
- ✓ スギ灰は800°Cで発泡・溶融するが、スギ灰に添加剤をペレットに0.5wt%添加すると、1200°Cまで収縮がおこらなくなる。

- ✓ **灰の量と組成**：灰分率は0.30～2.50%とペレット種で大きく異なり、多くの試料で $K_2O \cdot CaO$ が主要成分。特にK高・Si/Al低の灰は約800°Cでも付着・凝集しやすい。
- ✓ **塊の成因（XRF所見）**：燃烧ポット側灰と塊のXRF組成は概ね同等で、特定成分の濃縮で塊ができたというより、同組成灰の凝集・焼結による塊化が主体。K-Ca優勢系では手で崩れる焼結塊として現れやすい。
- ✓ **間欠供給と CO_2 分圧の影響**：投入直後は CO_2 高分圧で炭酸塩相が安定化し、薄い融液膜を介して再付着・凝集が起こりやすい。燃烧安定後に CO_2 が低下すると脱炭酸等で脆化・粉化し、理想的には空気流で搬送される。
- ✓ **機構の整理と対策**：燃烧ポット温度域は735–790°C付近の低融点域と重なり、K-Ca炭酸塩系液相が「糊」として焼結・凝集を促進、残渣がサイクルで成長してクリンカ化する。燃料側（K固定化等）に加え、流れ最適化・停滞域低減で「粉化→搬送」を成立させることが有効。

- ・添加物（カオリン、タルク）を調達し混合ペレットを試作

⇒添加物の混合に関して、原料比1%を均一に混ぜつつ、成型を行うのは簡単ではない

添加剤の評価対象は、「No.24」と「No.4」のペレット

- ・添加物の混合ペレットの効果確認結果

⇒クリンカ発生への対策としては、添加剤を灰分と同率（原料に対して約1%）で混ぜることが有効であることが確認された

2-5. 事業実施内容（ストーブ燃焼試験）

【試験方法】

■ 試験燃料No (主成分)

※各10kg

NO.4 (スギ)

NO.9 (スギ)

No.19 (マツ)

NO.24 (スギ)

No.25 (スギ)

No.27 (スギ)

NO.9



NO.24



NO.4



No.25



No.19



No.27



■ 試験機種

・エコティ PS302 (西村精工)

暖房出力:最大5.4kw

・PelleStar 300 (豊実精工)

暖房出力:最大7.4kw

・EDILKAMIN LIKE 80 (北越融雪)

暖房出力:最大7.6kw

・RS-4 (新越ワークス)

暖房出力:最大6.0kw



エコティ PS302

RS-4











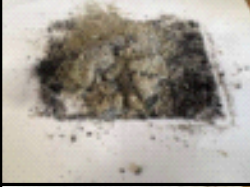


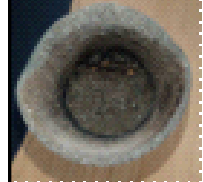
PelleStar 300



EDILKAMIN LIKE 80

各機種において最大燃焼時の燃焼灰とクリンカ形成について調べる

2-5. 事業実施内容（ストーブ燃焼試験）

	エコティP302	RS-4	PelleStar300	EDILKAMIN LIKE 80	燃焼灰（RS-4）
No.4					
No.9					
No.19					
No.24					
No.25					
No.27					

《NO.4》

形成されたクリンカは若干黄色みがかっており、特にPelleStar 300において顕著に確認できた。

PelleStar 300、P302では給気不足による黒煙が発生、RS-4は給気量確保の為、給気レバーを最大値に設定した。これは他ペレットにくらべ長さが短く時間当たり投入量が増加し、継続燃焼に必要な空気量が増加したことが理由と思われる。相対的に高火力なペレット燃料といえるのではないか。

《NO.9》

クリンカの生成が確認されたが継続燃焼に影響は無く、硬度も低いため多少の物理刺激で崩れる程度であった。

PelleStar 300において、ペレットの機械的耐久性が原因と思われるペレット供給経路の閉塞が発生した。

《No.19》

試験試料中で燃焼ポット内に滞留した灰の量が最も少なかった。

比較的短いペレットが多く、適正燃焼維持には比較的多くの給気が必要な傾向であった。

機種によりクリンカの生成が確認されたが、非常に柔らかく指で突いてすぐさま崩れる程度であった。

《NO.24》

機種によりクリンカ生成を原因とした黒煙発生、全機種において試験後の燃焼ポット内部にペレット形状を保った燃焼灰の残留が確認された。

灰分、クリンカ形成量が多く、継続燃焼後期になるほど燃焼ポット内部への給気量の減少が伺える状態であった。

また、NO.9と同様にPelleStar 300においてペレットの機械的耐久性が原因と思われる燃料供給経路の閉塞が発生した。

《 No.25 》

NO.4と同様に、形成されたクリンカはやや黄色みがかっていた。

継続燃焼後期になるほどクリンカ生成を原因とした燃焼ポットへの給気量の減少により、黒煙や白煙を発生させる機種が見受けられた。

また、PelleStar 300において、燃焼後にの正面ガラスと燃焼ポット内に湿気を帯びたタール状の煤付着が確認された。

燃焼後4時間付近からの給気不足による不完全燃焼の発生の際に発生したと思われる。

《No.27》

試験試料中で最も灰分が多く、クリンカの生成も確認されたが、燃焼ポットへの残留灰分に対するクリンカの比率は低い様に感じた。

継続燃焼中盤から後半にかけて給気不足による黒煙が確認されたが、クリンカ生成の影響というより高灰分による給気穴閉塞の影響が強いと思われる。

《全体として》

試験試料中で試験機の燃焼状態に最も影響を与えた試料は、クリンカ生成、給気不足による不完全燃焼、燃料供給経路閉塞の発生した【No.24】と結論付ける。該当試料は、ペレットストーブでのクリンカ生成が見られる杉材・間伐材を主原料としており、添加剤によるクリンカ抑制効果が確認できれば、クリンカ生成が課題となっている全国の他ペレット燃料への効果が見込めるのではないかとと思われる。

1. 事業概要
(目的、実施概要、成果・目標、計画・実績、実施体制)
2. 事業実施内容
 - 2-1 全国の木質ペレット製造実態調査
 - 2-2 サンプルペレット分析
 - 2-3 シミュレーション・添加物検討
 - 2-4 混合ペレットの試作・コスト検討
 - 2-5 ストーブ燃焼試験
3. まとめ
4. 残された課題

- ・日本固有の樹種であるスギ・ヒノキに含まれるアルカリ成分や灰の溶融特性がクリンカ発生に影響する。
- ・ペレットストーブ燃焼では、燃料が間欠投入されることから、燃焼温度やO₂/CO₂濃度の時間的変化及び空間的分布があり、これらは灰の溶融特性（酸化雰囲気・還元雰囲気）と関連づけることが可能であることが推察される。
- ・FactSageによるシミュレーションからは、燃焼温度によりK・Ca共晶体による融液とガラス成分による融液の発生が予想されたが、燃焼実験からはクリンカ発生には、ガラス成分による融液よりもK・Ca共晶体による融液が影響していることが推察された。
- ・ペレットへの添加剤として、カオリン・タルクにクリンカ抑制効果があることが実証された。

1. 事業概要
(目的、実施概要、成果・目標、計画・実績、実施体制)
2. 事業実施内容
 - 2-1 全国の木質ペレット製造実態調査
 - 2-2 サンプルペレット分析
 - 2-3 シミュレーション・添加物検討
 - 2-4 混合ペレットの試作・コスト検討
 - 2-5 ストーブ燃焼試験
3. まとめ
4. 残された課題

・クリンカ発生要因について、具体的な成分（K・Ca）や燃焼時の雰囲気（酸化性/還元性）が影響することが判ったが、定量的な評価が出来ていないため、クリンカ発生のメカニズムをさらに調査する必要がある。

⇒燃焼温度測定・ガス分析などの導入による、燃焼状況・クリンカ発生メカニズム等についての調査

⇒ガラス成分の融液によるクリンカがなぜできないのか検証

・クリンカ抑制添加剤として、カオリン・タルクを混ぜることで効果があることは判明したが、添加方法の詳細が不明確である。

⇒成型性/コスト/添加剤混合・分離/添加割合

・ペレット燃焼機器の燃焼条件の調整が出来ていない。

⇒添加剤の添加割合と燃焼条件の最適化

ご清聴ありがとうございました

