

2020年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「竹の燃焼時に生成するクリンカーのシリカ微粒子添加による大幅低減技術の開発」

[山口大学大学院創成科学研究科機械工学系専攻・教授] [田之上 健一郎]

1. はじめに

化学工業のエネルギー生成において、高温雰囲気を作り出すために、大量の灯油や石炭を燃焼させなければならない、さまざまな企業が二酸化炭素排出の低減対策に取り組んでいる。また、カーボンニュートラル資源であるバイオマスと石炭を混焼させるエネルギー発電プロセスがいくつか開発されており、燃料割合にして 10 % 程度までの混合が可能となってきた。さらに、混合割合を増やしていくためには、低カロリーかつ低融点酸化物を有するバイオマスを何らかの手段で改良していくことが必要である。

また、国内のバイオマス資源に着目すると、森林はもとより、管理が行えずに放置されたモウソウチクを主とする荒廃竹林の面積が年々拡大しており、竹を混焼用エネルギー資源としての利活用システムが開発できれば、化学工業だけにとどまらずバイオマス産業としてのブレークスルーになることは間違いない。

以上より、本研究では、未利用バイオマス資源のひとつである竹にシリカなどを添加することによって燃焼時のクリンカー発生量を大幅に低減させる手法を確立し、竹をエネルギー資源として利用できるようにするためにその低減メカニズムを調査することを目的とした。

木質バイオマス発電は、地域でのカーボンニュートラルかつ自給可能なエネルギー資源として注目されている。中でも竹は生長の早さ、国内の竹材需要の減少、それによる放置竹林の拡大が招く植生の単純化や、浅根による表層地すべりの発生などの竹害の対策として、エネルギー作物としての活用が期待されている⁽¹⁾。しかしながら、竹は低融点のカリウムが多く含まれることから、燃焼時にクリンカーが生成され、これにより火の立ち消えや連続運転に支障をきたす事が問題視されている。よって、クリンカーの生成を抑制する事が重要である。

K. Takata ら⁽²⁾ は平面火炎における熊本県産竹粉燃焼時の灰の物質移動について実験および化学平衡計算を用いて調査を行っている。その結果、竹粉の燃焼は、揮発分の放出、揮発分の燃焼、チャーの形成、チャーの燃焼、そして最後に灰の形成から構成された。発生した灰収率は、約 2~3wt% であること、平面火炎の当量比の増加とともに、灰収率が減少することを明らかにした。さらに、化学平衡計算により、燃焼時に金属酸化物成分の一部が溶融・消失することで、燃焼灰の共晶物は電気炉で酸化された灰の共晶物と比べて大きく異なることを明らかにした。また Toscano ら⁽³⁾ はトウモロコシ粒に CaO, SiO₂, MgO, CaCO₃ を添加し、灰の熱的挙動を確認した。その結果、融点 2800 °C の MgO と融点 2572 °C の CaO がカリウムと高融点共晶物を作り、灰全体の溶融点を上げる事に最も効果的であるとされた。このように、竹粉の電気炉灰化実験と火炎燃焼実験について灰溶融の挙動および灰組成の比較や、添加物による熱物性値の変化について検討が行われている。

本研究では、竹粉への酸化物粒子の添加が火炎燃焼環境における灰付着および結晶組成に与える影響について調査することを目的とした。

参考文献

- 1) <https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/d/3/a/d3a09ae7da3ee293f74fefbd36027a52.pdf>
(Last access : 2020/12/03)
- 2) K. Takata, N. Umehara, K. Tanoue et al., J. Japan Inst. Energy, 99, 108-116 (2020)
- 3) Toscano et al, J. Agric. Eng., 2, 13-19 (2010)

2. 概要

本研究では、未利用バイオマス資源のひとつである竹にシリカなどの高融点酸化物を添加すること

によって燃焼時のクリンカー発生量を大幅に低減させる手法を目指し、竹をエネルギー資源として利用できるようにするためにその低減メカニズムを調査した。

2. 1 実験手順

2. 1. 1 電気炉による灰化実験

角形灰化皿に山口県産モウソウチク粉末(DP 50 = 455 μm)を均一にひろげ、電気炉(いすゞ製作所製 EPKR - 14R)で、大気雰囲気下で、600 $^{\circ}\text{C}$ で所定の時間加熱した。昇温速度は10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ とした。加熱終了後、灰化された竹粉を計量し、収率を求めた。

2. 1. 2 火炎燃焼実験

図1に示すように、実験装置は、メタンおよび空気の供給部、混合部、バーナー部、試料充填層および排気用ブロワから構成される。メタンおよび空気の流量はマスフローコントローラ(HORIBA STEC製 SEC-E40)によって制御した。ステンレス製円筒容器にはガラスビーズおよびアルミナビーズを充填した混合部を用意した。空気9.20 SLMとメタン0.676 SLM(当量比 $\Phi = 0.70$)を供給し着火、火炎生成後、予熱のため約1時間放置した。次に、火炎上部に山口県産モウソウチク粉末($D_{p,50} = 455 \mu\text{m}$)に高融点酸化物粒子を充填質量のそれぞれ0%、0.50%、1.0%として作成した試料20.00gを充填した円筒耐熱レンガを設置し、燃焼実験を開始した。同時に、熱電対による温度測定を開始し、ブロワを用いて燃焼ガスを排出させた。所定の時間燃焼させ、実験後の残留物およびインコネルメッシュへの付着量を計量し、収率を計算した。

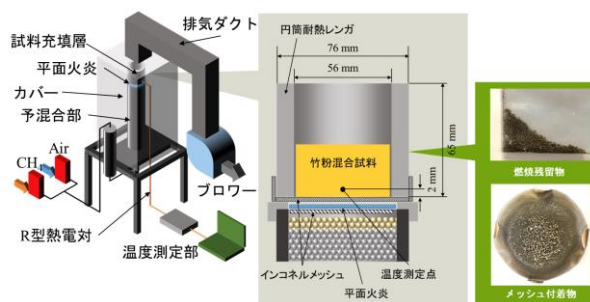


図1 実験装置概略図

2. 1. 3 酸化物および共晶物の分析

残留物および電気炉酸化灰は乳鉢で粉碎の上XRF分析(Rigaku ZSX Primus)およびXRD分析(Rigaku MiniFlex 600C)によって酸化物および結晶組成を調査した。XRF分析結果に基づき、FactSage 7.3による化学平衡計算を行い、予想された共晶物組成をXRD分析結果と比較した。また温度による融液量の変化について考察を行った。

3. 研究成果および今後の課題

3. 1 研究成果

3. 1. 1 インコネルメッシュへの灰の付着量測定結果

竹のみの場合は、原料の約0.1 wt%が付着することが分かった。酸化物の種類によって大きく変化し、i) 添加量が増えるほど付着量が増加する場合、ii) ある添加量で最大の付着量を持つ場合、iii) 添加するほど付着量が減少する場合の3つのパターンに分類できることが明らかになった。

3. 1. 2 XRFによる酸化物組成測定結果

図2に、XRFによる竹粉の電気炉酸化灰および燃焼残留物の酸化物組成を示す。電気炉で灰化させた試料は、 SiO_2 が31%、 K_2O は26%であった。燃焼後の残留物組成は、電気炉灰の組成と大きく異なることが分かった。また、前報2)で用いた熊本竹の場合は、 K_2O が燃焼によって50%近くまで上昇しており、産地によって燃焼灰の性質が異なることが示唆された。さらに、添加物を加えた場合の燃焼灰の組成は、その種類によって電気炉灰から予想した結果と大きく異なることが分かった。

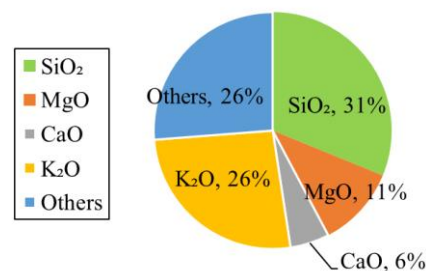


図2 竹粉の電気炉酸化灰の酸化物組成

3.1.3 XRD による結晶組成分析

図3に、竹粉の燃焼残留物のXRD分析によるピークダイアグラムを示す。無添加条件の結晶組成は主に低温型石英(SiO_2)およびDiopside($\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$)からなり、他にSylvite(KCl)、Orthoclase($\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$)、Sanidine($\text{AlK}_0.65\text{Na}_{0.35}\text{O}_8\text{Si}_3$)を含むことがわかった。また結晶組成から求められた酸化物組成とXRF分析結果を比較した所、XRF分析結果では K_2O がより大きな値となった。これより残留物中には非晶質の化学種が含まれている事が示唆された。

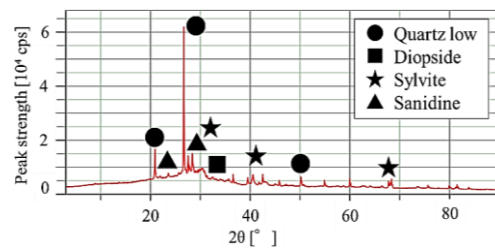


図3 竹粉の燃焼残留物のXRD分析によるピークダイアグラム

3.2 今後の課題

竹の燃焼後の酸化物組成が山口竹と熊本竹とで大きく異なることが分かった。今後の課題として、その原因を検討するために、XRD、TGなどを用いて灰の揮発の影響について調査していく必要がある。

4. おわりに

火炎燃焼環境において、竹粉への酸化物の添加が灰付着および灰組成に与える影響を明らかにすることを目的とし、燃焼時の温度変化、灰付着挙動、XRD分析、Fact sageによる灰融点予測を行った。

- 1) 竹の種類によって、燃焼前後での灰の酸化物組成は大きく変化する。
- 2) 添加する酸化物によって、金属メッシュへの付着量は大きく変化し、Fact sageによる化学平衡計算結果やXRDによる結晶組成の結果により説明が可能であることが分かった。

5. 本研究の今後の計画

今後は、他のバイオマスについても実験を行い、竹との混焼による温度変化、灰付着量変化、灰融点変化、生成される灰の結晶構造について調査を行っていく予定である。

6. その他

(1) 出願特許 (タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

出願検討中

(2) 投稿論文 (タイトル・学会名等)

学会発表

- i) N. Umehara, K. Tanoue, M. Yokota, T. Niki, and Y. Ninomiya, Ash adhesion formed by bamboo particles with adding silica powder on the metal surface under high temperature atmospheric conditions, Joint Conference on Renewable and Nanotechnology, 2020.11.29 (オンライン), Outstanding paper award
- ii) 平尾 栞南, 梅原直, 藤田聖之, 田之上健一郎, シリカ添加竹粉灰の高温空気場における金属表面への付着, 第16回バイオマス科学会議, 2021.1.20-21 (オンライン), ポスター賞
- iii) 梅原直, 平尾 栞南, 藤田 聖之, 田之上 健一郎, 高融点酸化物を添加した竹粉灰の高温空気場における金属表面への付着, 第58回日本伝熱シンポジウム, 2021.5.27-30 (予定, オンライン)

(3) 本研究会の参加企業・団体名

株式会社 トクヤマ



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>