

空気の渦流れを利用するバイオマスと石油の異種燃料燃焼器の開発

藤原逸平** 土門正幸** 森田清** 山口哲央** 王青躍*** 熊谷知哉*

Development of Hybrid Combustor of Biomass and Oil by Vortex Current of Air

FUJIWARA Ippei**, DOMON Masayuki**, MORITA Kiyoshi**, YAMAGUCHI Norio**,
OU Seiyou***, KUMAGAI Tomoya*

抄録

籾殻などの農業廃棄バイオマスを簡便に熱利用するために自動運転ができる低コストでコンパクトな金属製の燃焼器の開発を目標に研究を行った。いくつかの改良の結果、当初の想定に近い燃焼が実現し、石油の燃焼と籾殻の燃焼を行うことができる装置が出来た。

円筒形の燃焼炉体の一端の接線方向にバイオマス(もみ殻)を供給できるようにして炉体外周部に空気の一次旋回流を発生させ、この旋回流が他端で反転して排気口より排出されるように形成した。

装置は縦型とし上部に石油燃焼器を設け、下部からバイオマスを供給して燃焼させると旋回流とともに上昇して火炎が反転旋回流となって下方に排出される方式を採用した。

また、旋回流を発生させる原動力は圧縮空気として炉体中心の高温ガスを一次旋回流に吹き込み、温度上昇を図った。圧縮空気はバイオマス供給部と灰の分離部にも利用している。

基本的な特性を調査した結果、籾殻燃焼の開始時にも消火時にも煙が低減できるだけでなく、当初設定した目標をある程度満足していることが判明したが、さらなる燃焼条件の改善も求められる。

キーワード、化石燃料・加工燃料、循環型社会システム、環境に対する負荷の軽減

1 はじめに

農村地域で広く発生するバイオマスをエネルギーとして有効に利用するために、すでに数多く利用されている石油燃焼方式の機器とほぼ同等の利便性を有する低コストでコンパクトな燃焼器を開発して、農村地域に普及させることによりCO₂の削減や省エネ化を実現する。

また、このような機器が普及すれば、現在廃棄物として処理されているバイオマスを有価物化す

ることが可能になり、莫大な雇用を生み出し地域の活性化を実現できる。

2 実験方法

2.1 供試した農業廃棄バイオマス成分

昨年度収穫された籾殻を産地別・品種別に複数のサンプルについて成分分析を行った。産地間・品種間に若干の成分差が認められたもののほぼ一定の成分範囲内にあり、もみ殻はバイオマス燃料として安定した性状であると判断された。測定結果を表1に示す。

** 金子農機株式会社 技術部

*** 埼玉大学大学院 理工学研究科

* 試験研究室 環境・分析担当

	灰分 (wt%)	水分 (wt%)	揮発分 (wt%)	固定炭素 (wt%)	炭素 (%)	水素 (%)	窒素 (%)
コシヒカリ宮崎	14.3	9.9	61.3	14.6	38.7	5.1	0.4
キラリ宮崎	13.3	10.0	61.9	14.8	39.0	5.1	0.3
新潟	18.9	8.4	58.2	14.5	37.4	4.7	0.3
北海道	16.7	9.7	60.9	12.7	39.2	5.1	0.5
供試サンプル	18.4	6.70	60.0	14.9	38.8	5.1	0.4
北海道ほしのゆめ	19.2	7.6	59.2	14.0	37.9	5.1	0.5

表1 籾殻の成分

2.1.1 農業廃棄バイオマスの燃焼特性評価

供試した農業廃棄バイオマス成分(もみ殻)の燃焼特性を図1の示差熱・熱重量(TG-DTA)同時測定装置により評価した。TG-DTAによる結果を図2に示す。

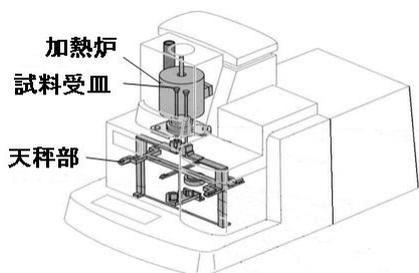


図1 示差熱・熱重量(TG-DTA)同時測

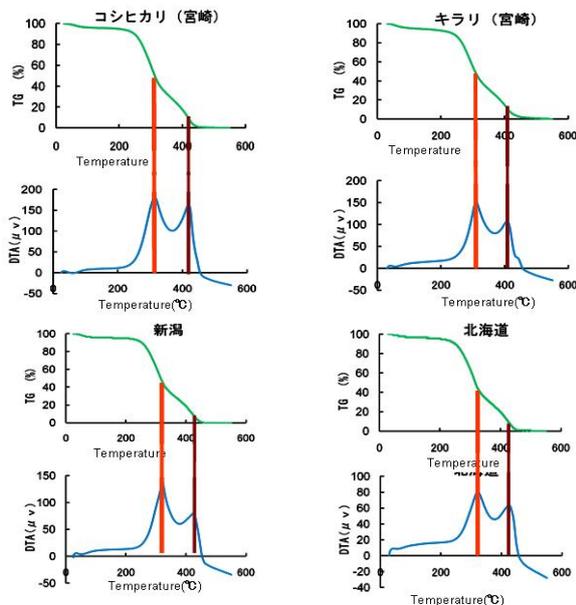


図2 TG-DTAにより測定したバイオマスの燃焼

コシヒカリ宮崎産もみ殻試料では320°Cおよび

400°C程度でDTAのピークが確認できた。これは320°Cで熱分解がピークに達し、さらに、400°C以上で着火したためだと考えられる。

このような挙動はコシヒカリ宮崎産もみ殻試料以外の3種のもみ殻でも同様の傾向が確認できた。しかし、それぞれ20~50°C程度それぞれのピークにずれがあり、もみ殻試料中の灰分、揮発分、固定炭素分の含有量の違いによって生じたものと考えられる。特に、揮発分、炭素分の最も低い新潟産もみ殻試料では450°Cに到達しないと、着火しなかった。

2.2 供試装置

今回提案した燃焼器は空気の旋回流によって発生する円筒状燃焼炉外側の1次旋回流と、円筒軸に対して流れ方向が中央で逆流する反転旋回流を発生させ、石油による予熱燃焼を中央の領域で行う方式であり、下記の技術選択を行った結果写真1の装置となった。



写真1 実験装置

2.2.1 縦型燃焼方式の採用

提案当初の燃焼炉は横型であったが農業廃棄バイオマス成分の籾殻は瞬時に反転端に到達して滞留した。装置を縦型にして確認したところ籾殻は比較的ゆっくり上昇することが判明したのでその

後この方式を採用した。

2.2.2 圧縮空気による籾殻の供給と旋回気流の発生

当初は農業廃棄バイオマス成分の供給ファンにより旋回流を起こさせる方式であったが炉内がプラス圧になり籾殻が供給部から噴出するためコンプレッサーによる圧縮空気により吹き込む方式に切り替えた。

また、供給された籾殻を速やかに燃焼させるため旋回流の温度を高くする必要があり炉体中心部の高温ガスを高圧空気の外周に吹き込み案内翼で旋回を起こす方式を採用した。

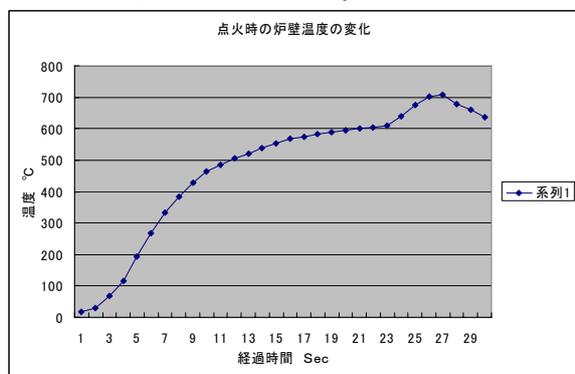


図3 炉壁温度の変化

これによって1次旋回流の温度を600°C以上まで上昇させることが可能になった。(図3参照) 炉壁の温度は耐久性を考慮して800°Cを上限と考え650°C~750°Cを常用温度にしている。

2.2.3 農業廃棄バイオマス成分の供給方式

農業廃棄バイオマス成分の供給はスクリーフィーダーで定量性を確保して高速回転金具により連続性を実現する方式を採用したが籾殻に関してはほぼ予定通りの機能を果たすことが出来た。

スクリーフィーダーの能力を図4に示す。

試験の過程でスクリーフィーダーの羽根が数回破損し負荷の低減とともに強度UPを検討していく予定である。

おがくずの定量供給は水分・粒度などの性状の影響を大きく受けるため改良が必要であると判断した。

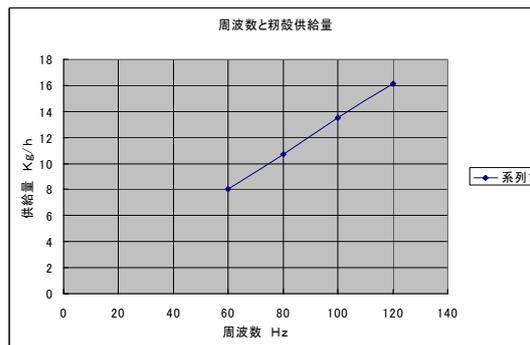


図4 籾殻供給量の変化

2.2.4 灰の分離・除去

燃焼排気を円筒状の分離部に吹き込み遠心力と重力により燃焼灰を分離して外部に取り出し搬送ファンでサイクロン捕集を行う。この際燃焼灰は空気冷却され約40°C程度になりビニール袋での捕集が出来るようになった。

燃焼灰の重量を測定したところ籾殻供給重量に対して28%の捕集結果であった。

2.2.5 制御

石油による予熱と籾殻燃焼への切り替えは炉体外壁の温度を利用して行うこととした。

現状では石油の燃焼により炉壁温度を630°Cまで過熱してから籾殻を供給し700°Cで石油の噴霧を停止して籾殻のみの燃焼に移行するようにしている。

火炎の監視は通常使用されるものをそのまま使用しているが石油の燃焼時に比較して籾殻燃焼時の火炎の輝度が低下するものの利用可能と判断された。

燃焼空気はコンプレッサーとバーナーファンにより供給されており手動制御の状態なので自動制御を検討して行きたい。

2.3 籾殻燃焼の状態

石油燃焼による予熱工程では中央の領域での燃焼になり炉壁部はあまり加熱されないのが点火時から圧縮空気を使用して炉壁の温度上昇を図っている。

一次旋回流中に籾殻が供給されると揮発分の燃焼が始まり燃焼しながら上昇して反転端で旋回流が下方に反転した部分で完全にガス化した火炎が

認められる。籾殻は透明な炎で燃焼し籾殻供給部から反転端までほぼ均一に炉体が加熱され強力な輻射熱を発生する。

2.4 燃焼灰

2.4.1 燃焼灰の成分分析

燃焼灰燃焼後のバイオマス(もみ殻燃焼灰)の成分分析結果を表2に示す。燃焼灰の成分は揮発分、炭素分ともに燃焼する前のバイオマスの成分と比べると、急激に減少している。しかし、炭素分はまだ12%含まれていることから、もみ殻試料は完全燃焼まで至っていないことと考えられた。今後、さらなる燃焼条件の改良が求められる。

燃焼灰の成分分析結果

	灰分 (wt%)	水分 (wt%)	揮発分 (wt%)	固定炭素 (wt%)	炭素 (%)	水素 (%)	窒素 (%)
燃焼灰	82.4	2.3	6.3	9.0	12.4	0.6	0.2

表2 籾殻燃焼灰の成分

2.4.2 燃焼灰の特性

2.2.4で回収された燃焼灰について、BET吸着法により測定した比表面積は149m²/g(n=6)であった。また初濃度3.5mg/L、ガス容量:4L、燐炭0.3gのトルエン吸着試験の結果、平衡吸着量19.0mg/gであった。

燐炭の特性を評価する対照試料として、るつぼを用い表3の9通りの条件により籾殻を焼成した。

焼成温度の他、ボンベ窒素および室内空気を送り炉内雰囲気操作した。

No	温度 (°C)	焼成炉内への供給ガス量(L/min)		処理前後の重量比(-)
		窒素	空気	
1	600	25	0	0.408
2		20	5	0.407
3		0	25	0.405
4	800	25	0	0.392
5		20	5	0.387
6		0	25	0.372
7	1000	25	0	0.387
8		20	5	0.384
9		0	25	0.353

試料供試量:16g、昇温速度:20°C/min、
上記焼成温度での保持時間:1min

表3 比較対照試料の調製条件

対照試料9検体について焼成温度と比表面積の関係を図5に示す。焼成温度1000°Cでは比表面積の著しく小さい対照試料(No7、No8)が得られた。温度800°C以上で空気のみを供給した場合の試料(No6、No9)のプロットは、燃焼灰の比表面積値149m²/gより高い値に分布していた。

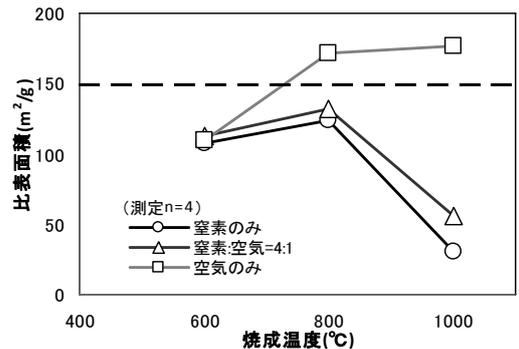


図5 焼成温度と比表面積の関係

燃焼灰と同条件でトルエン吸着試験を行った際の、焼成温度と平衡吸着量の関係を図6に示す。トルエン吸着量についても比表面積と同様に焼成温度1000°Cで著しく吸着容量の小さい対照試料(No7、No8)が得られた。No7、No8を除く7個のプロットは燐炭での平衡吸着量19.0mg/gよりやや高い値に分布していた。

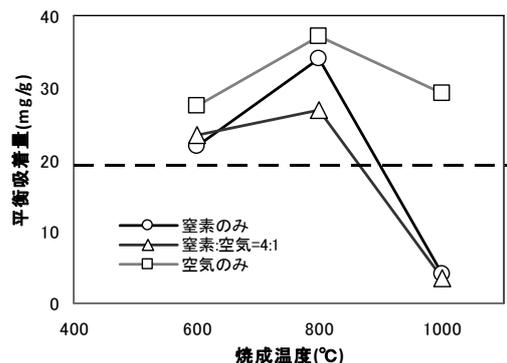


図6 焼成温度とトルエン吸着量の関係

図5、図6の結果より、温度800°C以上で空気を十分に供給した場合、今回回収された燃焼灰よりも比表面積、トルエン吸着量の更に高い値を得る

と予想された。今後、諸々の試運転で得られた燃焼灰について対照試料のデータとの比較を行っていきたい。

2.5 研究目標の達成度

2.5.1 石油依存率10%以下

予熱の段階で約300CCの灯油を使用するがその後の燃焼は籾殻だけで継続する。籾の乾燥においてはほとんど石油を使用することがなく依存率も1%以下になる。

2.5.2 燃焼負荷 500万Kcal/hr・m3以上

現状では目標値の80%程度の出力で試験を行っており燃焼能力の上限値は確認されていない。

燃焼炉体を縦型にしたことも設置面積の縮小に貢献しており装置は大変コンパクトで実用上の設置性においても大きな問題は発生しないと思われる。

2.5.3 燃焼排気ガス中のガスと大気浮遊粒子状物質の捕集と測定の見計

燃焼排気ガスの窒素酸化物(NOX)濃度は100ppmに対し、二酸化硫黄(SO₂)は観測されなかった。

バイオマス中のFuel-NOxとして排出が考えられる。

一方、COの濃度は400から550 ppmとなり、燃焼灰の成分分析結果からも分かるように、一部の不完全燃焼の可能性があったことが示唆される。

バイオマス燃焼装置から発生する排ガスの評価を行うために、排気ガス直後に分級捕集可能なアンダーセンハイボリウムサンプラー(以下AHV)を設置し(写真2)、それより排ガスのサンプリングを行った。



写真2 . AHV

測定条件は排ガス中の大気浮遊粒子状物質の捕集粒径をく1.1 μm、1.1~2.0 μm、2.0~3.3 μm、3.3~7.0 μm、>7.0 μmとし、吸引流量を566 l/min、捕集時間を10 minとして、サンプリングを行った。AHVを設置している様子を写真2に示す。

今回は燃焼直後の排ガスのサンプリングとなるため、排ガスがかなり高温である。そのため、排ガスをある程度冷却する必要があることから、装置にパイプを設置し、パイプを屋外に出した状態でサンプリングを行った。

サンプリング後、イオンクロマトグラフィーにより、排ガスの分析をするため、フィルターを8mmΦのポンチでくりぬきバイアルにいれ、さらに超純水20mlを加えた。その後、超音波で20分間抽出し、常温で20~30分間静置後、0.20 μmメンブレンフィルターで抽出液を濾過後、分析した。

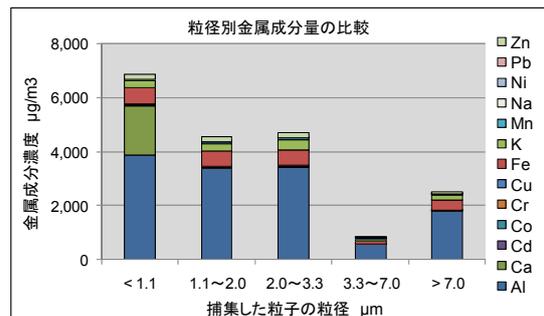
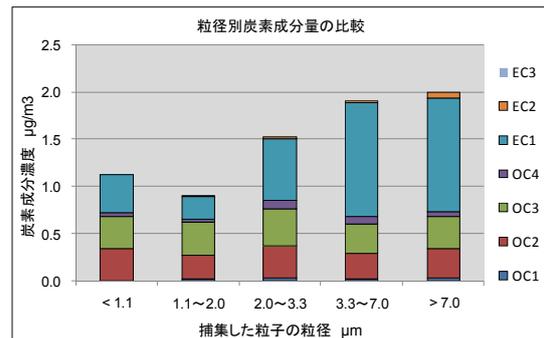
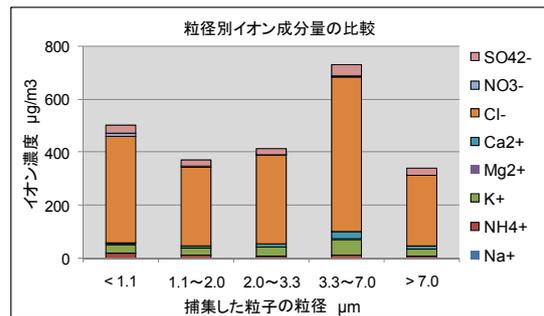


図7 分析結果

結果を図7に示す。燃焼炉から排出される排ガス中には、粒子成分もまだ多く残っており、金属成分は $3.3 \mu\text{m}$ 以下の浮遊粒子状物質には数 mg/m^3 の存在しており、不完全燃焼の炭素成分は $3.3 \mu\text{m}$ 以上の浮遊粒子状物質に多く存在している。今後、燃焼条件を向上させ、それらの燃料排気ガスの低減技術(浮遊粒子状物質除去装置など)の併用も検討していく必要がある。

2.5.4 自動運転の実現

炉壁温度を基準にして運転しており籾殻燃焼時においては 700°C 程度に管理される。籾殻がない場合もほぼ同様の炉壁温度を維持するように石油燃焼を行う。

用途に応じた燃焼能力の設定が重要であり、それに対する燃焼空気供給の自動化が今後の課題である。

2.5.5 適応バイオマス

籾殻については基本機能の確認が出来たもののオガコについてはブリッジ現象により燃焼することが出来なかった。他のバイオマスについては今後確認を行う予定である。

2.5.6 コスト 50万円以下/5万Kcal/hr

コンプレッサーの価格が含まれていないものの今回試作した装置の変動費は30万円程度でありこれまでの籾殻燃焼装置に比較して大幅な低コスト化を実現することが出来た。

実験装置の中で最も高額であったのは制御部であり燃焼器の仕様を限定して制御の低コスト化をはかることが今後の課題である。

3 考察と今後の研究課題

3.1 考察

今回の開発は圧縮空気の利用によって新しい燃焼システムを実現することが出来た。

この燃焼器による籾殻の燃焼はこれまでに研究されてきたものに比較して燃料が装置内に滞留しない点で大きく異なっており自動化を容易にすると同時に安全性も確保することが出来ると思われる。

今後、燃焼条件を改善させ、燃料排気ガスの低

減技術も検討しながら、実用化に向けた研究によって、より低コスト、低排気ガスで使い勝手のよい燃焼器に仕上げていきたい。

3.2 今後の研究課題

3.2.1 燃焼空気の供給方式の改善

今回の研究ではコンプレッサーの圧縮空気を利用したが燃焼量に応じた空気量を供給できるような自動化システムを検討し、不完全燃焼を改善したい。

3.2.2 多様なバイオマスへの対応

バイオマス供給部はスクリーフィーダー方式を採用しているが、現在の開口面積ではブリッジ現象のために安定した供給を阻害する場合があります。もっと大径のスクリーフィーダーを使用するなどの工夫が必要となる。

3.2.3 制御部の低コスト化

実験装置においては燃焼量や空気供給量の自動化のためにインバーターを使用しているが燃焼器の仕様を一定燃焼量にすることにより低コスト化が実現できる。

3.2.4 特許取得について

提案時の出願内容に対して現在の方式は若干技術内容が変化しているため新たな出願を予定している。

この結果を踏まえて外国に対する出願も検討して行きたい。

4 まとめ

地球温暖化防止のための取り組みは世界各国共通の課題として認識しており、農水分野においても籾の乾燥調製施設における農業廃棄バイオマス成分の籾殻の熱利用を検討している¹⁾。

現状の技術レベルで提案されているシステムはコストが高く具体的な方策は見出されていないのが実態である。

現在開発中の燃焼器が完成して普及する段階になれば大幅なコスト低減が可能になり具体的な提案として受け入れられる可能性があり早期の商品化が待たれる。

本年度は燃焼器の基本的な特性を明確にする

ことが目標であり石油燃焼による加熱から農業廃棄バイオマス成分の燃焼に移行するための条件の明確化などほぼ期待通りの成果が得られたと判断される。

参考文献

- 1) 乾燥調製施設における籾殻の利活用について
穀物乾燥貯蔵施設協会技術委員会 (2009)
15, 16