

稲わら燃料利用に向けた半炭化稲わらと木くずの混合ペレットの特性に関する研究

木塚 嶺介¹・石井 一英²・藤山 淳史³・佐藤 昌宏⁴

¹非会員 北海道大学大学院工学院修士1年 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: ryokizu@eis.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学特任助教 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: fujiyama@eng.hokudai.ac.jp

⁴正会員 北海道大学助教 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp

稲わらのエネルギー利用が求められているが、保管場所の確保や輸送コストなどが課題となっている。そこで半炭化によってサプライチェーン全体での課題の解決につながると考えた。本研究では乾燥と半炭化による破碎性、エネルギーの比較を行い、稲わらを混合した木質ペレット燃料の価値向上、家庭用木質ペレットストーブでの燃焼特性を評価した。その結果、破碎性は220℃以上で改善が見られ、エネルギー面では半炭化の処理温度により、エネルギー損失最小の視点と燃料性拡大の視点が重要だと明らかにした。また、破碎稲わらを混合したペレットの灰は堆積し、稲わらの混合割合が低いとクリンカが発生するため、家庭用木質ペレットストーブでの燃焼に不適であった。また半炭化稲わらと混合することによって熱量低下を抑制できることを示した。

Key Words: rice straw, wood pellets mixed with rice straw, torrefaction, combustion inhibition

1. 序論

我が国では、21世紀環境立国戦略が閣議決定され、持続可能な社会を形成するための手段の一つとして、バイオマス利活用の推進が求められている¹⁾。しかし、バイオマスの中でも特に農業残渣などの未利用バイオマスは利活用が進んでいない。国内の農業残渣の中では、稲わらの発生量が年間約850万トンで最も多く²⁾、稲わらの有効利用を図ることが重要である。しかし、稲わらの約75%が鋤き込みされている。稲わらの鋤き込みに関しては賛否両論あるが、温室効果ガスであるメタンの発生が大きいとする指摘がある³⁾。また、窒素肥沃度の高い水田や透排水性の悪い水田における稲わらの鋤き込みは、移植後の稲わらの分解に伴う土壌の還元化や生育阻害物質を生成させ、初期生育を不良とする原因になると言われている⁴⁾。さらに、生育後半において窒素が無機化されタンパク含有率を高める原因になるという見解もある⁵⁾。基本的には鋤き込みをせずに堆

肥化してから施用するのが基本であり、鋤き込みをする場合でも透排水性の良い乾田を対象にしている場合が多い。

このような事情から、畜産と脱穀農業の需給バランスが取れた地域については、わらを鋤き込みせずに家畜の飼料や堆肥の水分調整剤として使われてきた。しかし、飼料や肥料などのマテリアル利用ができない地域もあり、そのような地域ではエネルギー資源としての利用を進めていくべきと考える。また、稲わらのエネルギー利用は、化石燃料に代わるエネルギー源としてだけでなく、地域振興への期待からも、大いに普及を検討すべき分野といえる。

稲わらをエネルギー利用するにあたって、稲わらは稲の収穫時期である秋に集中して発生するため、収集に多大な労力が必要であり、かつ保管場所の確保が課題となっている。そこで、本研究では半炭化技術に注目した。稲わらを半炭化することでかさ(嵩)を減らせるほか、稲わらのエネルギー密度を高めることができるため、必要保管面積の削減や輸送

表-1 半炭化の温度と時間の条件

半炭化条件		半炭化時間[分]					
		0	10	30	60	90	120
処理温度 [°C]	190	✓			✓		
	220	✓			✓		✓
	250	✓			✓		✓
	280		✓	✓	✓	✓	

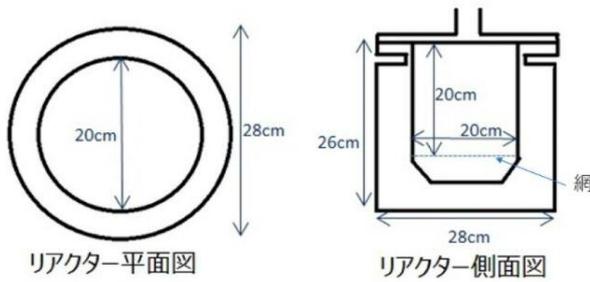


図-1 リアクター平面図側面図

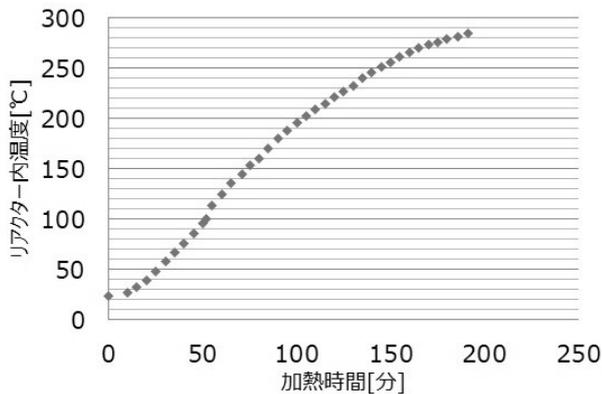


図-2 リアクター内の温度変化 (280°C まで昇温させた場合)

コスト・輸送効率の向上につながる。したがって、半炭化自体にコストやエネルギーがかかるが、保管や輸送も含めたサプライチェーン全体からみるとさまざまな課題の解決につながる可能性があると考えた。さらに稲わらを半炭化した事例も限られており、温度や時間などの半炭化条件と半炭化された稲わらの破碎特性や熱量損失、必要なエネルギー量、発熱量を明らかにする必要がある。

また、南幌町では、現在稲わらペレットの新たな需要先として、家庭用木質ペレットストーブでの利用を検討している。しかし稲わらペレットは灰分が多い上、その灰が燃焼部（火格子上）にたまりやすく、空気穴が塞がるなどの燃焼阻害が発生しやすいため長時間燃焼が難しい⁶⁾。現在は利用者が木質ペレットに稲わらペレットを10%ほど混ぜ、混焼を行っているが、火格子上に灰が溜まらないように自動で灰を砕く装置（灰処理装置）が装備されたペレットストーブに限られており、灰処理装置のない一般家庭用木質ペレットストーブでの利用も検討すべきと考えた。それに対して、針谷らは破碎稲わらと破碎木くずの混合ペレットを製造して、灰処理装置のない一般家庭用木質ペレットストーブでの燃焼試験を行っている⁶⁾。そこで、半炭化稲わらと木くずの混合ペレットの燃焼特性を明らかにする必要があると考えた。

本研究では、以下を研究目的とする。

- ① 稲わらの燃料利用に向けたサプライチェーンの改善のために、稲わら前処理方法として乾燥と半炭化を取り上げ、破碎性及びエネルギーの観点から比較を行う。
- ② 破碎稲わらと木くずの混合ペレットを作成し、稲わらを混合したペレット燃料としての価値向上を評価し、さらに家庭用木質ペレットストーブで燃焼したときの燃焼特性を評価する。

2. 前処理方法としての半炭化条件の検討

(1) 実験方法

a) 実験手順

リアクターの形状と寸法を図-1に示す。リアクターの深さ20cmの位置に網を張り、その上に稲わらを入れ、密閉した。窒素ポンプを用いチューブを通して窒素をリアクター内に注入し、排ガスは吸収瓶（水）を通し屋外に排出される。リアクターを乾燥器（ADVANTEC製FS-605）に入れ、窒素を流入させながら乾燥器を加熱し、リアクター内を処理温度まで昇温させたのち一定時間、処理温度を維持し、その後室温にて放熱した。リアクター内の温度は栓に穴をあけ、その穴に熱電対を差し込み測定した。半炭化の後、重量を量り、稲わらを破碎機で破碎した。使用した破碎機はカッター型ミル形式（IKA製MF10basic）で、回転する刃によって破碎された稲わらは3mmのメッシュのふるいを通り排出される仕組みとなっている。

b) 温度と時間の条件

半炭化の温度と時間の条件を表-1に示す。ただし、処理温度は半炭化時のリアクター内の最大温度、半炭化時間は半炭化中の処理温度での維持時間である。また、半炭化時のリアクター内の温度変化の一例を図-2に示す（280°Cまで昇温させた場合）。なお、稲わらは107°Cで1時間乾燥させたものも作成した。

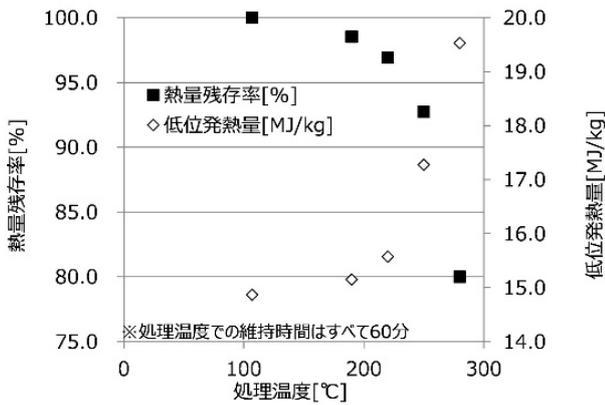


図-3 処理温度と低位発熱量，熱量残存率の関係

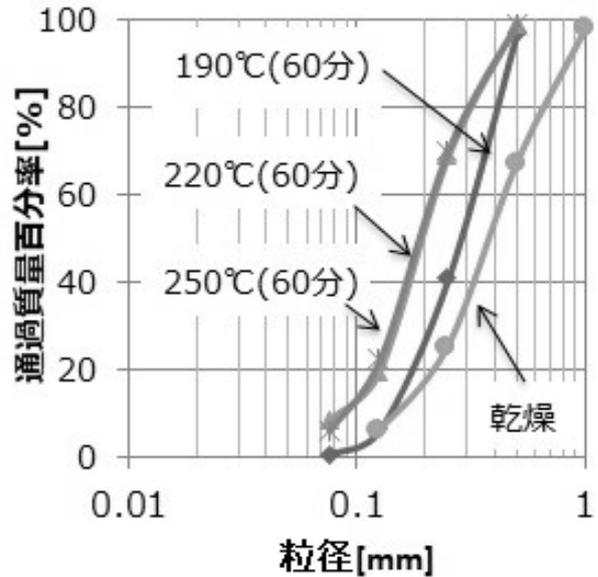


図-4 破碎稻わらの粒径分布の比較

(2) 測定項目と測定方法

a) 高位発熱量

JIS M 8814⁷⁾ に準拠し，自動ボンブ熱量計（IKA 製 C7000）を用いて半炭化物の高位発熱量を測定した．1 回の発熱量測定で，約 0.5g の粉末状の半炭化物を秤量して供試し，試料 1 条件につき 4 回の測定を行った．

b) 水素含有量及び低位発熱量

全自動元素分析装置（elementar 製 varioEL）を用いて，半炭化物中の水素の含有率を定量した．測定は試料 1 条件につき 4 回行った．そして，水素含有率と含水率と高位発熱量を用いて次式 (1) より低位発熱量を算出した．

$$LHV = HHV - r \times (U + 9 \times H) \quad (1)$$

LHV : 低位発熱量 (MJ/kg)

HHV : 高位発熱量 (MJ/kg)

r : 蒸発潜熱 (2.5MJ/kg)

U : 含水率 (%)

H : 水素含有率 (%)

c) 熱量残存率

乾燥稻わらの低位発熱量に対する各半炭化物の低位発熱量の割合を熱量残存率として算出した．

d) 粒径分布

稻わらの破碎の程度を知るために粒径を測定した．

方法は，メッシュの大きさが 5.6~0.075mm の 7 種類の試験用ふるいの質量をはかり，メッシュが細かいふるいが下になるように重ねた．半炭化物約 20g を最上段のふるいに入れ，ふるいにふたをして手で 5 分ほど振った．各ふるいとふるいに残っている半炭化物の質量を量り，半炭化物が残っていないふるいは取り除き，ふるいを重ね再び 5 分ほど振った．各ふるいとふるいに残っている半炭化物の質量

を量り，質量が変わらなかったものを取り除いた．全てのふるいと半炭化物の質量が同じになるまで同じ動作を繰り返し，粒径分布を求めた．

(3) 実験結果及び考察

a) 発熱量

処理温度と低位発熱量，熱量残存率の関係を図-3 に示す．

これより，温度を上げるほど半炭化稻わら単位重量当たりの熱量は増加することが分かる．これは炭化に伴う稻わらの重量減少が揮発分の減少に比べて急であることが原因である．一方，半炭化に伴い揮発分が減少することから，半炭化前の稻わらの有する全熱量を 100% とした場合の，熱量残存率が減少することがわかった．

b) 破碎性

まず定性的な評価であるが，半炭化した稻わらを指で破碎してみたところ，280℃で半炭化した稻わらは軽くすりつぶすだけで破碎できた．220℃と 250℃で半炭化した稻わらも指で破碎できたが温度が高い 250℃で半炭化した稻わらの方がより力を加えず破碎できた．190℃で半炭化した稻わらは乾燥稻わら程度の破碎性で，指で破碎するのは難しかった．図-4 に半炭化稻わらを破碎機で破碎したときの粒径分布を示す．縦軸に通過質量百分率，横軸に対数で粒径をとった．

これより，乾燥稻わらと 190℃で半炭化した稻わらの粒径は比較的大きかったが，220℃及び 250℃で半炭化した稻わらについては粒径に大きな違いは見られなかったため，同程度の破碎性だと考えられる．

表-2 混合ペレットの作成条件と製造量

原料重量(加水除く)		稲わらの重量割合		
		10%	30%	50%
稲わら (処理温度)	乾燥(107℃)	7kg		
	半炭化(220℃)	7kg	5kg	2.8kg
	半炭化(280℃)	7kg		

(4) 破碎稲わらの特性から見た好ましい半炭化条件

2. (3) a) で示したように、半炭化が進むにつれて半炭化稲わらの単位重量当たりの熱量は増加するが、稲わらが元々持っていた熱量は減少してしまう。したがって、エネルギーの観点から半炭化を考察すると、以下の2つの視点を考慮することが重要になる。

- ① 半炭化を最小限にとどめることで半炭化にかかるエネルギーを少なくしつつ稲わら自体の熱量を生かす視点（エネルギー損失最小）
- ② 半炭化にエネルギーがかかってしまうが半炭化をある程度進めて稲わらの熱量を大きくする視点（稲わら燃焼性向上）

また破碎性の観点では、半炭化時間に関係なく220℃以上で半炭化すれば、単なる乾燥と比べて、十分向上したといえる。

したがって、220℃で半炭化すれば十分な破碎性をもち稲わらが元々持っている熱量を生かすことができ（①エネルギー損失最小）、それ以上の温度で半炭化すれば温度を上げるほど半炭化にかかるエネルギーは大きくなるが稲わらの単位重量当たりの熱量が大きく十分な破碎性をもった稲わら燃料（②稲わら燃焼性向上）になる。

(5) まとめ

エネルギーの面から半炭化を考察すると、①エネルギー損失最小、②稲わら燃焼性向上、の2つの視点を考慮することが重要だと明らかにした。2. (3) b) より破碎性能は処理温度220℃以上の半炭化で同程度の破碎性と評価したため、本実験では①エネルギー損失最小の視点から220℃で半炭化した稲わら、また、②稲わら燃焼性向上の視点から280℃で半炭化した稲わらを木くずと混合して混合ペレットを作ることにした。

3. 破碎稲わらと木くずの混合ペレットの特性

(1) 目的

現在、灰処理装置が装備されたペレットストーブで稲わらペレットを利用する場合、南幌町では木質ペレットとの混焼が行われている。混焼は稲わらと

木質をそれぞれペレットに成形し、燃焼時に混合する方法だが、稲わらペレットの灰はペレットの形状を保ち粒度が大きくなる。一方で混合ペレットは稲わらと木質を成形時に混合し混合ペレットを成形、燃焼する方法で、灰の粒度が小さくなることが確認されている⁶⁾。本章では、半炭化稲わらと木くずから混合ペレットを作成し、ペレット燃料としての価値が向上するか評価することにした。

(2) 混合ペレットの製造

a) 製造方法

ペレットの原料となる稲わら、木くずは広教資材株式会社から購入したものをを用いた。稲わらは炭化装置で半炭化させ、もしくは乾燥機で乾燥させ、1mmのメッシュの破碎機を用いて破碎した。ペレットの製造に関しては地方独立行政法人北海道立総合研究機構林産試験場にて成形作業を行った。まず、重量比で稲わらとおがくずを混合し、水分が約15%になるように加水し、十分に手作業で攪拌した。これをフラットダイ式成形機に投入し、5mmのメッシュのふるいにかけて、直径6mm長さ3cm程度の混合ペレットを成形した。同様に木質ペレットの成形も行った。

b) 製造条件

本実験では半炭化時のエネルギーに注目し、よりエネルギーをかけずに作ることでできる220℃での半炭化稲わらで稲わらの混合割合を10%、30%、50%と変えて混合ペレットを作成することにし、半炭化にエネルギーをかけた280℃の半炭化稲わらを木質と混合して作ったペレットも稲わらの混合割合10%で作成することにした。また、比較として破碎した乾燥稲わらを木質に対して10%混合したペレットと木質100%ペレットも作成した。稲わらの半炭化時間(220℃、280℃)は2.での半炭化実験での各処理温度における半炭化時間0分と同程度の炭化進行度(重量減少)になるように設定した。表-2に混合ペレットの製造量を示す。

(3) 測定項目と測定方法

a) 含水率

JIS Z 7302-3⁷⁾に準拠し、蒸発皿の質量とそれに半炭化物を約1g入れたときの質量を1mgの桁まではかる。それをあらかじめ105±2℃に調整した乾燥装置内で1時間乾燥させ、デシケータ内で10分程度放熱させたのち蒸発皿と半炭化物の質量を1mgの桁まではかった。式(2)により含水率Uを求めた。試料1条件につき3回の測定を行った。

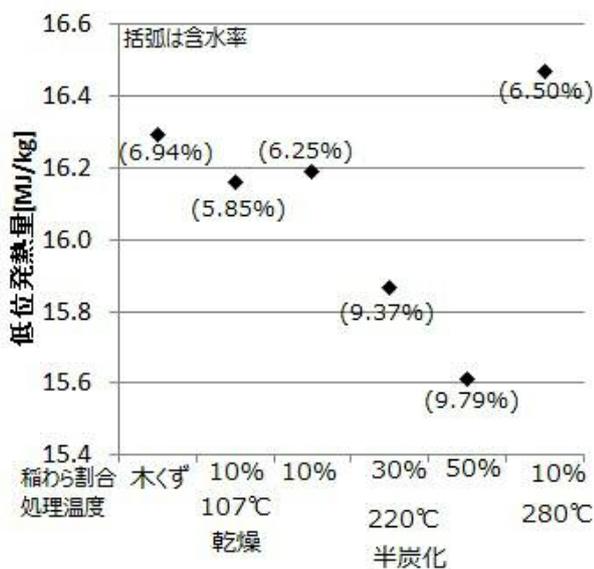


図-5 混合ペレットの低位発熱量

$$U = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (2)$$

U : 含水率 (%)

m_1 : 乾燥前の蒸発皿と半炭化物の質量 (g)

m_2 : 乾燥後の蒸発皿と半炭化物の質量 (g)

m_0 : 蒸発皿の質量 (g)

b) 発熱量

おがくずの発熱量を 2. (2) で記述した同様の方法で測定し、低位発熱量を算出した。その後 2. で測定した半炭化稲わらの発熱量を用いて単位重量当たりの各ペレットの低位発熱量を算出した。低位発熱量とペレットの含水率、木質及び稲わらの水素含有率を用い、各ペレットの高位発熱量も算出した。

(4) 測定結果と考察

図-5 に混合ペレットの低位発熱量を示す。

これより、木くずの発熱量を基準にすると、乾燥及び 220 °C の半炭化稲わら (混合率 10, 30, 50%) の場合は低位発熱量が低下したが、280 °C での半炭化稲わらの場合は熱量が増加した。木くず自体の発熱量にもよるが、熱量の低い稲わらと混合することによる熱量の低下を抑制できる。

4. 家庭用木質ペレットストーブを用いた連続燃焼試験

(1) 目的

本章では灰処理装置のない家庭用木質ペレットストーブでの稲わら混合ペレットの利用を検討するた

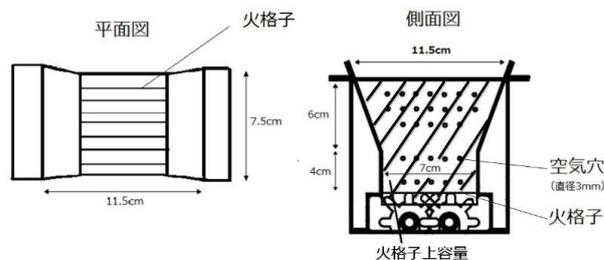


図-6 ストーブ燃焼部の形状と寸法

めに、半炭化稲わらを混合したペレットを家庭用木質ペレットストーブで燃焼したときの燃焼特性を評価した。

(2) 実験方法

a) ペレットストーブ

燃焼実験にはサンポット株式会社製のペレットストーブ (FFP701-DF-1) を用いた。燃焼部の形状と寸法を図-6 に示す。燃焼部上部から供給されたペレットは火格子下方からの流入空気により火格子の上で燃焼し、灰は火格子から落下し灰受皿にたまる。ストーブの説明書より、点火方式は電気点火であり、最大熱量は木質ペレット燃焼時の値で 7797kcal/h である。また、今回用いるペレットストーブには灰たまり検知装置があり、ある一定の灰が火格子上に堆積すると、検知 30 分後に自動でペレット供給を停止する。また灰処理装置として火格子の下部に手で灰を砕くための歯車が備わっているが、灰の掃除用であり、燃焼時の使用は想定していない。火格子の目の間隔は 5mm である。火格子上容量とは図-6 で示した部分の体積で 626cm³ である。

なお、本研究ではペレットストーブにおける燃焼実験の各項目の測定にあたり、灰を「火格子上の灰」と「その他の灰」の 2 種類に分けて測定した。図-6 に示す火格子上容量内に堆積した灰を「火格子上の灰」とし、燃焼室内の飛灰、灰受皿に落下した灰、灰処理装置に落下した灰を「その他の灰」とした。ただし、煙突排出の飛灰は測定していない。灰を区別して測定した理由は本来火格子から落下するはずの灰が、火格子上に堆積することが燃焼阻害に大きく影響すると考えたためである。

b) ペレット

前章で作成した、木質 100% ペレット、107 °C で 1 時間乾燥させた稲わらを木質に対し 10% 混合して成形した混合ペレット、220 °C で半炭化させた稲わらを木質に対し 10%, 30%, 50% 混合して成形した混合ペレット 3 種類、280 °C で半炭化させた稲わらを木質に対し 10% 混合して成形した混合ペレットの 7 種類に加えて、木質に対し稲わらを 30% 混合して成

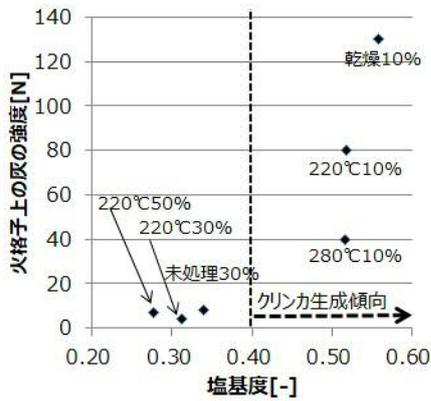


図-7 火格子上の灰の強度と塩基度の関係

形した未処理の稲わらの混合ペレット（原料となる稲わらは半炭化せずに5mmのメッシュの破砕機で破砕されたもので、前章のペレット製造と同様の方法で製造した）を用いた。

(3) 測定項目と測定方法

a) 燃焼時間

燃料自動送りによって、ペレットストーブのスクリーン内にペレットを充填する。ペレットストーブの運転ボタンを押すと同時に燃焼時間の計測を始めた。燃焼時間は1時間としたが、灰たまり検知装置の作動、もしくは灰が火格子上一杯になった場合は手動で運転ボタンを押し、ペレット供給が停止するまでの時間を測定した。

b) ペレット燃焼量

燃料タンクに投入したペレット重量から、燃焼実験後に燃料タンクとスクリーン内に残ったペレット重量を差し引くことで、ペレット燃焼量を算出した。

c) 灰の重量

「火格子上の灰」と「その他の灰」の2種類に分けて測定した。燃焼実験終了後、灰の温度が十分に下がるまで自然放冷する。その後、それぞれの灰を採取し重量を測定した。

d) 理論発生灰重量

ペレットの灰分とペレット燃焼量から灰の発生量の理論値を算出した。

e) 系外へ排出された灰の重量（理論値）

測定した全体灰重量（火格子上の灰+その他の灰）を、理論発生灰重量を差し引いたものを、煙突から排出された灰の重量の理論値として算出した。

f) 灰の強度

火格子上に灰が堆積した場合、株式会社イマダ製デジタルフォースゲージ ZTA-200N を用いて灰が完全に崩れるまでの強度の最大値を測定した。

g) 火格子上の灰の成分及び塩基度

ペレットストーブの火格子上に堆積した灰の成分を、HORIBA 製蛍光 X 線元素分析装置 MESA-500 を用いて測定した。電圧、電流は自動に設定し、真空状態で測定した。試料は各ペレットの火格子上の灰を粉状にすりつぶして用いた。また、灰の成分比を用いて塩基度を式(3)で算出した。塩基度とは石炭燃焼時の灰の状態を示す指標の一つで、0.4以上でクリンカと呼ばれる強固な灰の生成傾向が高いとされている⁹⁾。

$$\text{塩基度} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \quad (3)$$

(4) 実験結果

30%以上稲わらを混合したペレットは灰分が多く、火格子上に灰が堆積したため1時間の燃焼も困難であった。図-7に火格子上の灰の強度と塩基度の関係を示す。これより、塩基度が0.4を下回るペレットでは火格子上の灰の強度は10N以下と低くなり、0.4を上回ったペレットでは強度が高いクリンカを生成することが明らかとなった。したがって、塩基度を用いてクリンカの形成の有無を判断できることが分かった。

図-8に各ペレットの燃焼時に発生した灰の量と内訳を示す。これより、未処理の稲わらの混合ペレットは混合割合が10%でも30%でも系外にほとんど灰が排出されなかったことが分かった。これらの混合ペレットは粉末になるまで稲わらを破砕していないため細かい灰が発生せず、灰が系内にとどまったと考えられる。それに対して、稲わらを粉状になるまで細かく粉砕した稲わらを10%混合したペレットは系外に排出された稲わらが多くなった。稲わらを細かくした分、細かい灰が発生し、系外に排出される灰が多くなり、火格子上にたまる灰の量は少なくなった。しかし、火格子上にたまった灰は細かい灰が互にくっつき、手では壊せない強度のクリンカが発生した。粉状に粉砕した稲わらを30%混合したペレットは10%混合したペレットと比べて系外に多く排出されたため、稲わらの混合割合が増えて灰分が多くなった割に系内にとどまった灰（火格子上の灰とその他の灰）の量は多くならなかった。しかし、系外に排出される灰の多くは煙突から屋外に排出されるため、環境面について考慮する必要がある。粉末状に粉砕した稲わらを50%混合したペレットはペレット内での稲わらの割合が多かったため、ペレットの形を保ったまま火格子上手で壊せる程度の強度の灰が溜まり、系外にはほとんど排出されなかつ

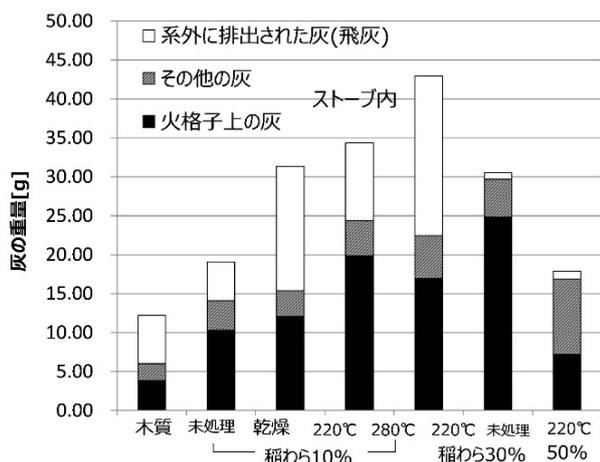


図-8 各ペレット燃焼時に発生した灰の重量と内訳

た。

(5) まとめ

粉状に破碎した半炭化稲わらと木質との混合ペレットを燃料とする場合、灰処理装置のない家庭用木質ペレットストーブでの利用は火格子上に灰が溜まるので不適であった。また、稲わらを10%程度混合した場合、発生する灰がクリンカを形成するため、灰処理装置のあるストーブやボイラでの利用は灰処理装置がクリンカを処理できる場合に限る。一方、稲わらを30%や50%混合した場合、発生する灰はクリンカを形成せず、手で壊せる程度の強度の灰が発生したため、灰処理装置のあるストーブやボイラでの利用が可能であり、稲わらの半炭化によって保管場所の確保等の課題の解決にもつながると考えられる。

5. 結論と今後の課題

半炭化稲わらを燃料として利用するにあたって

- ① 破碎特性の面では220℃以上で半炭化することによって、半炭化時間に関係なく破碎性の改善が見られた。また、エネルギーの面では半炭化の処理温度によって 1. エネルギー損失最小(190~220℃)、2. 稲わら燃焼性向上(280℃)、の2つの視点を考慮することが重要だと明らかにした。
- ② 灰が火格子上にたまってしまい、また、稲わらの混合割合が10%程度と低いとクリンカを生成してしまうため灰処理装置のない家庭用木質ペレットストーブでの燃焼に半炭化稲わらと木質の混合ペレットは不適であった。
- ③ 半炭化によってペレットの成形性に支障が出

ず、処理温度によっては木質よりも発熱量が増加し、熱量の低い稲わらと混合することによる熱量の低下を抑制できることを示した。

半炭化を行うことによって稲わらの体積が減少し、エネルギー密度の増加により輸送効率が向上した。したがって、半炭化稲わらの混合割合を多くし灰がクリンカを形成しないようにして、温泉施設や温水プールの灰処理(破碎)・排ガス処理が可能なボイラで半炭化稲わらのペレットを利用することで多くの稲わらを燃焼できるほか、保管場所の確保などの課題の解決にもつながると考えられる。

謝辞: 南幌町、地方独立行政法人北海道立総合研究機構工業試験場及び林産試験場、広教資材(株)をはじめとして研究に協力して頂いた多くの方々にお礼と感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省:21世紀環境立国戦略(2017年1月26日閲覧) http://www.env.go.jp/guide/info/21c_ens/
- 2) 環境省:廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書(平成27年度)(2017年1月26日閲覧) <http://www.env.go.jp/recycle/report/h28-01/>
- 3) 北海道南幌町:南幌町稲わら・籾殻・麦わらの有効利用の具体化検討調査
- 4) 農林水産省:水稲栽培指針(2017年1月26日閲覧) http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/nii03.html
- 5) 北海道米麦改良協会:良食味米を目指した土壌管理、施肥技術(2017年1月26日閲覧) http://www.beibaku.net/rice/2012/manual/rice/rice_06.pdf
- 6) 針谷将吾・石井一英・佐藤昌宏・藤山淳史・古市徹:家庭用木質ペレットストーブにおける稲わら燃料利用に関する研究—稲わら・木質混合ペレットによる燃焼阻害改善—, 土木学会論文集G(環境), Vol. 72, No. 6(環境システム研究論文集 第44巻), II 15-II 21, 2016
- 7) 廃棄物固形化燃料-第3部:水分試験方法(2017年1月26日閲覧) <http://kikakurui.com/z7/Z7302-3-1999-01.html>
- 8) 石炭類及びコークス類ボンブ熱量計による総発熱量の測定方法及び真発熱量の計算方法(2017年1月26日閲覧) <http://kikakurui.com/m/M8814-2003-01.html>
- 9) Slag & fouling Indices(2017年1月26日閲覧) <http://www.coaltech.com.au/LinkedDocuments/Slagging%20and%20Fouling.pdf>

(2017. 6. 21 受付)

STUDY ON CHARACTERISTICS OF WOOD PELLETS MIXED WITH TORREFIED RICE STRAW FOR ENERGY UTILIZATION OF RICE STRAW

Ryosuke KIZUKA, Kazuei ISHII, Atsushi FUJIYAMA and Masahiro SATO

Energy utilization of rice straw, whose annual generation is about 8.5 million ton, has been required. It is a problem to secure a storage place. Torrefaction would solve the problems throughout the supply chain. In this study, grindability and energy were compared between dried and torrefied rice straw. The value improvement of wood pellets mixed with rice straw and the combustion characteristics in household wood pellet stoves was evaluated. As a result, in terms of grindability, improvement was found at 220°C or more. And in terms of energy, it demonstrated that two viewpoints (minimum energy loss and increase in energy of rice straw fuel) are important. In addition, because ash of pellets mixed crushed rice straw accumulated and clinker generated when the mixture ratio of rice straw is low, combustion in household wood pellet stoves was unsuitable. It was clarified that decrease in the heat values of pellets was suppressed by mixture with torrefied rice straw instead of untreated rice straw.