

稲わらペレットの成形性に及ぼす 破碎粒径と成形温度の影響に関する研究

渡邊進太郎¹・古市徹²・石井一英³

¹非会員 北海道大学修士課程 公共政策大学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: watanabe @kanri-er.eng.hokudai.jp

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

E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp

³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

70%がメタンの発生源と指摘されているすきこみ処理されている稲わらのバイオマス熱利用が望まれている。稲わらのペレット化事業を行っている南幌町では、ペレット製造時の成形性(歩留まり率・機械的耐久性)が問題となっていた。そこで本研究では、稲わらペレットの成形性の影響因子として考えられる破碎粒径と成形温度に着目し、それらが稲わらペレットの成形性に及ぼす影響について実験的に明らかにした。破碎粒径によって成形性に大きな違いは見られず、含水率15%、成形温度60℃及び80℃の条件において成形性の高いペレットを製造できたが、含水率15%、成形温度100℃では全ての粒径において成形性が低下した。そこで含水率20%に調整したところ成形性は向上した。つまり、成形温度に応じた水分調整が必要であることがわかった。

Key Words : Rice straws, pellets, formability, shredded particle size, forming temperature

1. 序論

(1) 研究背景

我が国では、21世紀環境立国戦略¹⁾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、バイオマス利活用への推進が進められている。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、その利活用は進んでいない。国内の農業残渣の中では、稲わらの発生量が年間約900万トンで最も多く、稲わらの有効利用を図ることが重要であるが、現在、稲わらの約70%が鋤き込みされている²⁾。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発生量が大きいとの指摘がある。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。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。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³⁾。

このような事情から、畜産と脱穀農業の需給バランス

がとれた地域については、稲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うために、圃場から搬出しリサイクルに取り組む農家が増えてきている。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、農業の活性化と、化石燃料に代わるエネルギー源としての期待からも、大いに普及を検討すべき分野といえる。

そこで、本研究では、低コストで燃料を製造できる固形燃料化(ペレット化)に着目した。全国で唯一稲わらのペレット化を実規模の事業として実施している南幌町に焦点を当てる。

稲わらのペレット化は全国的に見ても前例が無く、ペレットの品質や条件に関する知見の蓄積は進んでいないため、良い品質の稲わらペレットを製造するノウハウは十分ではない。友川ら⁴⁾により、発熱量や灰分といった燃焼特性に関する知見は少しずつ明らかになりつつあるが、稲わらペレットの成形性(歩留まり率や機械的耐久性)に関するデータは不足しており、知見の蓄積が必要とされる。成形性に及ぼす影響因子は、含水率、破碎粒径、ダイス温度(成形温度)、ローラー回転速度など

が考えられるが、特に含水率、破碎粒径、成形温度に着目することにした。

(2) 研究目的

稲わらペレットの成形性（歩留まり率・機械的耐久性）に及ぼす

①前処理工程での破碎粒径

②製造時の成形温度

の影響を実験的に明らかにする。

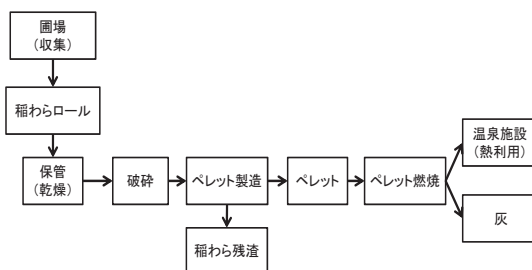


図-1 稲わら利活用フロー図

2. 南幌町稲わらペレット事業の現状と課題

(1) 南幌町の概要

南幌町は北海道の中央部よりもやや西南端の石狩平野、空知総合振興局南部に位置し、幌向原野が広がっていた土地を開拓者が基盤の目状に農地整理した田園地帯である。川に囲まれた平地で、西を千歳川、南東を旧夕張川、北を夕張川が流れている。東北は岩見沢市、東南は旧夕張川を隔てて長沼町、西南は地租背側を挟んで北広島市、江別市に接している。

石狩川流域には低地土、泥炭土が広く分布し、台地には重粘な土壌が分布し、稲作のほか畑作が行われており、地域全体で稲作から排出されるもみ殻、稲わら等の農業系バイオマスが存在する。南幌町の総面積は約82 km²であり、そのうち67%が田である。

南幌町の稲わら賦存量は約13,500 t/年であり、これを熱量換算すると、197,145 GJとなる。稲わら賦存量のうち、現在約80%が鋤込み等として処理されている⁹⁾。

(2) 南幌町稲わらペレット事業の概要

南幌町は、稲わらを活用したペレット(固形燃料)の製造、バイオマスボイラーの導入によるエネルギーの地域内循環システムを目指している。農家のほ場で稲わらがロール化され、そして保管施設まで運搬され、ペレット事業者によりペレット成形され、町内の温泉にて熱利用される。そして燃焼後の灰を融雪剤として利用するという事業である。

図-1に示すように、秋に稲刈り後、農家がほ場に放置された稲わらをレーキ（集草機）で乾燥させ、ロールベアラーにてロール化し、ほ場から搬出する。その後、トラックを用いて、広教資材（株）が所有する保管施設（ビニールハウス）へ運ぶ。保管施設では長期間ロールが保管される。次に広教資材（株）が稲わらロールを乾燥、破碎し、ペレタイザ（造粒機）を用いてペレットに成形する。同時に、木質チップもペレット化し、木質ペレットと稲わらペレットをそれぞれ、南幌温泉に提供する。南幌温泉では、ペレットボイラを用いてペレットを燃焼

している。燃焼後の灰は融雪剤としての利用が検討されている。

2006年12月から事業の検討が開始され、2010年の秋には、収集・保管した稲わらロールのペレット化が開始された。そして、南幌温泉のボイラーにて稲わらペレットと木質ペレットの混合燃焼が行われている。

(3) 稲わらの収集・運搬・保管工程

収集工程では、稲の刈り取りはコンバインを使用し、稲わらは一定の長さに裁断されて放出される。次に、テッダーレーキを使って攪拌、乾燥させてから、ロールベアラーでロールにされる。ロールの収集単位は、直径120 cm、幅100 cm、重量約200 kgである。

次に運搬工程としてロール化された稲わらを圃場から搬出して、2 tダンプトラックに積み込み、保管庫まで運ぶ。

保管工程では、稲わらロールは、ビニールハウス内で保管する。乾燥を促進するために、天気の良い日は入り口を開放し、風通しを良くしている。保管方法が燃料としての質を大きく左右する。インプットの発生が稲刈りの時期である秋に集中する一方で、アウトプットであるペレットは年間通してほぼ定量ずつ利用されるので、秋口に大量に発生した稲わらを通年にわたり、いかに含水率を調整し品質を劣化させずに保管するかが重要なポイントになる。

(4) ペレット製造工程

図-2に稲わらペレットの製造プロセスを示す。

a) 破碎工程

手作業でロールから稲わらをはがし、さらに泥砂を払い落としながら剪断機に入れ、稲わらを所定の長さに切断する。収集時コンバインでカットされた稲わらはここでさらに約10～50 mmになる（不均質である）。

b) 造粒工程

まず、切断された稲わらは成形するために加水される。含水率が高い稲わらの場合には加水しなくても成形が可能な場合もある。

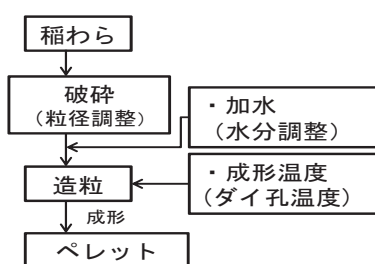


図2 ペレット製造工程

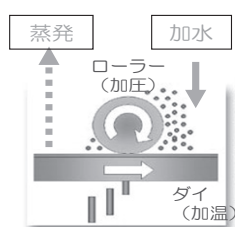


図3 ペレタイザ

そして、水分調整された稲わら粉碎物が上部より供給される。放射状に取り付けられた3個のローラーが回転しながらディスク・ダイとの摩擦によって回転する（図3）。原料である稲わら粉碎物は固定されたダイと回転ローラーに挟まれ加圧されながらダイ孔に押し込まれ、加圧と摩擦熱の作用で固まり、円筒状のペレットとなって排出される。原料の質によって押し出し時の圧力を調整する。そして排出される際、カッターで適当な長さにカットされる。ペレットの寸法は、直径6 mm、長さ20 mmである。

成形圧力、温度の調整は、原料の含水率に大きく依存する。原料の含水率が一定以上を越えれば、原料の流動性が増し、ダイスからの流出圧力、つまり成形圧力の低下が起こり、圧縮が利かないので、ペレットは密度が低くすぐ崩れる状態になる。一方で含水率が一定以下なら、ペレット成形機の圧力が上昇して、成形機の内部の温度が上昇し、粉状になってしまう。成形性を保つために許容される含水率の振れ幅はたいへん狭いので、造粒機に投入される原料の含水率の安定化が最も重要な項目となる。

また、成形直後のペレットは高温・多湿でありもろいため、この状態のままでは膨潤したり、形くずれを起こす恐れがあるので、空気で冷却する。冷却工程は稲わらの化学成分であり、接着剤の役割をするリグニンを硬化させるためでもある。

(5) ペレットの燃焼工程と灰の資源化

燃焼機器は、ストーブ、5～10万 kcal/hのペレット専用の小型ボイラーから20～50万 kcal/hのペレット専用ボイラーまで開発されている。コスト面では収集・運搬コストの他に、ペレタイザー（造粒機）などの設備・ペレ

ット成形のコストがかかるが、保管場所は最小限にでき、形状からはペレットストーブや温室ハウスの加温用ペレットボイラーのように自動供給・制御などの利便性の求められる燃料として使うこともできる。また、稲わらペレットは燃焼後の発生するクリンカ（灰）が多く、クリンカの有効利用が求められている。現在、燃やした後のクリンカは土壌改良剤や融雪剤として使われ、資源としての有効利用が考えられている。

(6) 稲わらペレット化事業の課題

a) 社会的課題

稲わら収集に協力してくれる農家が少ない（手間、重機の問題）という課題がある。農家が鋤込みをやめ、本事業に参加するメリットを感じていないためである。南幌町地域新エネルギー導入に関するアンケート調査結果によると、すきこみに対して「有効に活用している」と回答した農家・農業法人が約44%（111件中49件）「仕方なく活用している」と回答した農家・農業法人は、約20%（111件中23件）、とすきこみに関して有効に活用していると考えている割合が高い。

農家の協力不足、人手不足の影響で、収集は農業法人に委託しているため、事業を運営するための収集コストが高くなっており、現在はペレット価格が重油価格よりも高い状況である。

これらより言えることは、農家が鋤込みをやめる必要性を感じていないことが大きな課題となっていると考えられる。もし、新たに事業に参入する農家が農業法人に委託せず、自身で稲わらを収集すると考えた場合、収集コストは大きく削減できる。アンケート調査によると、農家自身が収集・運搬を行う場合、54%の農家が、収集から運搬までを2,000 円/ロール以下で行うことができると回答している。農家に対して、鋤込みのデメリットを提示した上で、農家が鋤込みをせずに収集することにインセンティブを示すことが重要と思われる。

b) 技術的課題

製造時の運転パラメータに関する知見が不足している。特に、稲わらペレットの成形性に影響を及ぼす影響因子を明らかにする必要がある。また、ペレット製造時の歩留まり率、製造されるペレット性状（灰分、発熱量、機械的耐久性など）とその変動状況やその要因を把握し、発熱量が高く、品質の高いペレットの製造方法に関する知見を蓄積していく必要がある。また、稲わらペレットは燃焼後の灰分が 14～18%と多く、クリンカの生成が良好な燃焼の阻害要因と処理等時間の増加につながる。クリンカの状況によっては、塊を粉碎する設備の必要性も検討されている。ペレットの燃焼後の灰の利用方法も問題であるが、現在融雪剤としての利用に目処がつつ

表-1 試験に使用する稲わら試料

	ロール(kg)	破砕粒径(mm)	破砕時間(h:m)	成形時間(h:m)
No.1	111	20	1h12m	1h10m
No.2	116	10	1h45m	1h50m
No.3	133	5	2h40m	1h58m

つある。また、ボイラーで発生した熱の有効利用方法も模索されている。

(7) 稲わらペレットとの成形性に及ぼす影響因子

稲わらペレットの成形性に及ぼす影響因子として、まず稲わら含水率、破砕粒径、ローラー回転速度、成形温度（ダイ孔温度）、が影響していると考えられる。稲わらペレットの成形の仕組みは、原料の稲わらに含まれるリグニンという物質が加熱により軟化することで接着剤の役割を果たす。よって、成形温度が高くなるほど、リグニンの軟化により成形性が向上すると予想される。

また、前処理工程における破砕粒径も成形性に影響しているのではないかと考えられる。現在、南幌町では裁断機で10～50 mmに裁断しているが、破砕粒径はより小さいほどよく縮まり、成形性が向上すると考えられる。

4. 稲わらペレット製造試験方法

(1) 試験材料と製造条件の設定

試験材料に用いた稲わらロールは全部で3つである。

表-1に示すように、No.1、No.2、No.3のロールはそれぞれ20 mm、10 mm、5 mmの粒径に破砕した。ロールの重量はそれぞれ異なるが、破砕粒径が小さくなるほど、破砕工程に要した時間は多くなった。

(2) 測定項目と測定方法

まず、破砕した稲わらの単位重量当たりから得られるペレット重量を求め、歩留まり率を測定した。

次に、輸送・保管時の耐久性の指標となる機械的耐久性について、「木質ペレット品質規格」⁹⁾に基づき測定した（次節にて詳細を説明する）。また、各条件で設定されたペレットの性状の他のデータ項目として、微粉率、寸法（直径、長さ）、かさ密度、含水率、発熱量、灰分、についても測定を行った⁹⁾。

(3) 機械的耐久性

機械的衝撃力に対する木質ペレットの耐粉化性能を求める方法で、木質ペレットに関する欧州規格EN 15210-1に準拠して規格化したものである。回転箱は、表面はアクリル樹脂製で、微粉が漏れないようにこの隙間のない構造にする。寸法は300（縦）×300（横）×125（幅）

mmで、内部には緩衝翼（230×50 mm）を対角線方向に強固に取り付ける。試料の投入扉を側面に一箇所設ける。微粉率測定後に得られた微粉除去試料を、再度円孔径3.15 mmの板ふるいで十分にふるって使用した。試料100 ±10 gを取採り、その質量を0.1 gの桁まで測定した。試料を回転箱内に定量的に移し、ふたを開けて50±2 rpmの回転速度で正確に500回転する。

終了後回転箱から試料を取り出し、円孔径3.15 mmの板ふるいに掛け、残った試料の質量を0.1 gの桁まで測定した。機械的耐久性DUを次式により求める。

$$DU = \{m1/m0\} \times 100 \quad (1)$$

DU：機械的耐久性（%）

m0：回転処理前の試料質量(g)

m1：回転処理後にふるいに残った試料質量（g）

(4) 稲わらペレット製造試験方法

ペレットの製造において、北海道林産試験場所有のダイス温度の調整が可能なペレタイザを使用した。

破砕粒径は3条件（20mm、10mm、5mm）、成形温度（ダイ孔温度）3条件（60℃、80℃、100℃）、含水率は15%の1条件の計9条件に設定した。

一般的な稲わらペレットの破砕粒径は10～20 mmである。粒径が小さいほど、良く縮まり、成形性が向上するのではないかとという仮定のもと、今回は5 mmを設定した。南幌町の実プラントでの成形温度は約80℃と設定されているが、成形温度が高い方が、リグニンが軟化し成形性が向上するという仮定から、100℃を設定した。また、温度上昇に必要なエネルギーやコストを考慮すると、設定温度は低い方が良いので、60℃も設定することにした。含水率は友川による過去の研究⁴⁾より、ペレットが成形できる最低の値を設定した。

5. 測定結果の解析と考察

(1) 各項目の測定結果

各項目の測定結果を表-2に示す。次節以降、考察を行う。

(2) 破砕粒径と成形性の関係

図-4に破砕粒径と歩留まり率の関係を示す。横軸に破砕粒径を、縦軸に歩留まり率をとった。

表-2 各項目の測定結果

測定項目	単位	15									20		
稲わら含水率	%												
ダイス温度	℃	60			80			100			100		
破碎粒径	mm	20	10	5	20	10	5	20	10	5	20	10	5
歩留まり率	%	89.2	89.7	89.9	89.3	93.3	86.3	69.0	75.5	68.3	91.3	78.2	71.1
含水率(製品)	%	10.5	8.8	11.4	10.8	9.6	11.6	7.9	8.7	8.1	11.9	13.2	9.1
高位発熱量	MJ/kg	14.8	15.7	15.7	14.9	15.5	15.3	15.9	15.8	15.9	15.2	15	15.9
低位発熱量	MJ/kg	13.4	14.3	14.2	13.4	14.1	13.9	14.5	14.3	14.4	13.8	13.5	14.5
灰分	%	16.3	16.1	14.6	17.7	15.5	15.5	16	15.5	15.6	15.8	15.5	15.2
直径の寸法	mm	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.1	6.0
長さ	%	98.8	99.5	99.6	98.9	98.2	98.4	98.5	98.7	94.2	98.9	98.9	96.9
かさ密度	kg/m ³	660	650	670	650	650	660	480	610	520	610	560	570
微粉率	%	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.4	4.3	6.6	9.1	0.8	2.1	3.2
機械的耐久性	%	97.8	97.4	98.2	97.4	97.9	98.2	84.9	86.1	84.0	97.6	94.6	94.0

これより、各成形温度に対して、破碎粒径を変えても、歩留まり率に大きな変化はなかった。成形温度100℃の時に、歩留まり率が大きく低下しているが、これについては後述する。

次に、破碎粒径と機械的耐久性の関係を図-5に示す。横軸に破碎粒径、縦軸に機械的耐久性をとった。歩留まり率と同じように、各成形温度に対して、破碎粒径を変えても機械的耐久性に大きな変化はなかった。

以上より、本研究で設定した破碎粒径範囲では、成形性（歩留まり率と機械的耐久性）に影響を与えないことがわかった。これは、粒径が20mmの場合でも、ローラーの回転によってすり潰され粒径が小さくなったためであると考えられる。

なお、先に示したように、破碎粒径が小さくなるほど、破碎に要する時間は長くなる。よって、破碎工程におけるエネルギーやコストを考慮すると破碎粒径が20 mmでも十分に成形できることが分かった。

(3) 成形温度と成形性の関係

図-6に成形温度と歩留まり率の関係を示す。横軸に成形温度、縦軸に歩留まり率をとった。さらに、図-7に成形温度と機械的耐久性の関係を示す。横軸に成形温度、縦軸に機械的耐久性をとった。

各粒径に対して、60℃及び80℃の時の歩留まり率は約90%、また60℃及び80℃の時の機械的耐久性は約97.5%と、どの粒径でも高い歩留まり率と機械的耐久性が得られ、つまり高い成形性を示すことが確かめられた。このことから、温度上昇に必要なエネルギーやコストを考慮すると、60℃で十分に成形できることがわかった。

また、成形温度100℃の時、歩留まり率および機械的耐久性ともに急激に低下した。表-3に示すように、リグニンは含水率が低下すると軟化温度が上昇する性質がある。このことから、成形温度の上昇によってリグニン軟化に必要な水分が蒸発による減少し、成形性が低下した

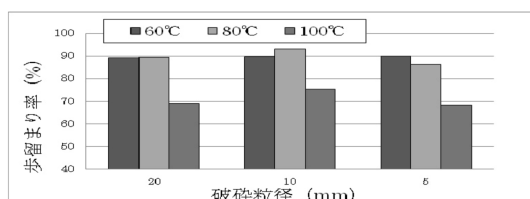


図-4 破碎粒径と歩留まり率の関係

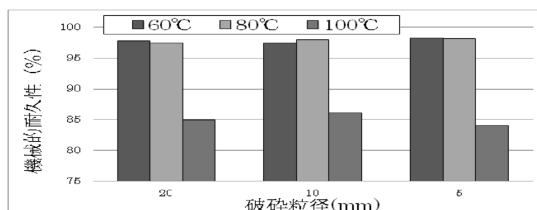


図-5 破碎粒径と機械的耐久性の関係

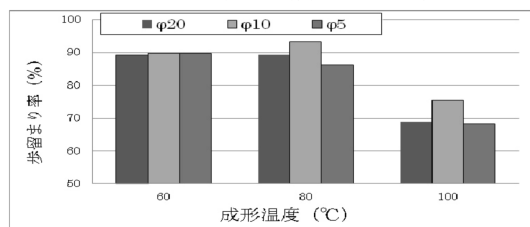


図-6 成形温度と歩留まり率の関係

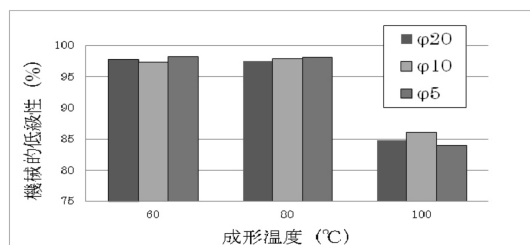


図-7 成形温度と機械的耐久性の関係

表-3 リグニン軟化温度と含水率の関係

リグニンの軟化温度	
含水率 20%以上	約 80℃
全乾状態	約 150℃

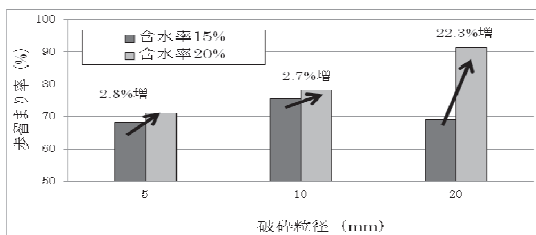


図-8 歩留まり率 (成形温度100℃)

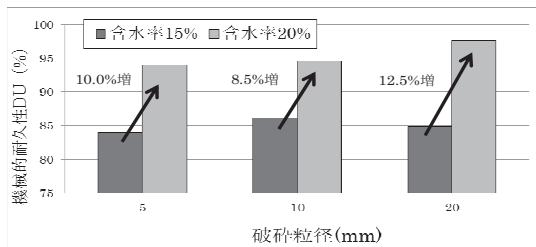


図-9 機械的耐久性 (成形温度100℃)

と示唆される⁷⁾。

(4) 含水率と成形性の関係

次に、含水率20%になるように加水を行い、含水率20%、成形温度100℃で追加実験を行った。その結果を、含水率15%、成形温度100℃の場合と比較した。図-8に破砕粒径と歩留まり率の関係を示す。さらに図-9に破砕粒径と機械的耐久性の関係を示す。

これらより、すべての粒径において歩留まり率および機械的耐久性が向上した。これは、含水率増加に伴いリグニン軟化温度が低下したことで成形性が向上したと示唆される。このことから、成形温度に応じて加水による含水率の調整が必要であることがわかった。

6. 結論と今後の課題

(1) 結論

- ①破砕粒径5 mmから20 mmの範囲では、成形性に大きな違いは見られなかった。破砕に必要な時間やエネルギーを考慮すると破砕粒径20 mmで十分に成形できることを示した。
- ②含水率15%、成形温度60℃及び80℃の条件において成形性の高い稲わらペレットを製造することが出来た。温度上昇に必要なエネルギーやコストを考慮すると、60℃で十分に成形できることを示した。
- ③含水率15%、成形温度100℃ではすべての粒径で成形性が低下した。そこで、含水率20%・成形温度100℃で追加実験を行ったところ成形性は向上した。つまり、温度調整が造粒器では、成形中に成形温度が上昇する

ことがあるので、その成形温度に応じた加水による含水率の調整が必要であることを示した。

(2) 今後の課題

本研究では、成形性に及ぼす破砕粒径と成形温度の影響の究明に重点をおいた。本研究の知見をペレット製造現場に生かすためには、本研究の結果をもとに、実プラントにて各製造条件に設定したうえで、ペレットを製造し、成形性を確かめる必要がある。今後は、稲わらペレットの成形性において、破砕粒径・成形温度以外の、例えば成形圧力やダイの回転速度などの影響因子を考慮する必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、北海道総合研究機構工業試験場上出氏、同林産試験場山田氏、広教資材、南幌町の協力を得た。ここに感謝申し上げる。なお、本研究の一部は、環境研究総合推進費補助金「バイオマスの利活用を基軸とした地域循環圏のモデル化と普及方策に関する研究」により実施した。

参考文献

- 1) 環境省：21世紀環境立国戦略, 2007
http://www.env.go.jp/guide/info/21c_ens/21c_strategy_070601.pdf
- 2) 農業系未利用バイオマスの利用促進に関する検討報告書, 2008
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/jss/grp/04/bionetH20_siryous3_3.pdf
- 3) 北海道南幌町：南幌町稲わら・もみ殻・麦わらの有効利用の具体化検討調査, 2008
- 4) 友川 悠, 古市 徹, 石井 一英, 金 相烈, 翁 御棋: 南幌町の稲わらペレットの発熱量に影響を及ぼす因子の実プラントによる検討, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.81-88, 2012
- 5) 北海道南幌町：南幌町地域新エネルギービジョン, 2007
- 6) 一般社団法人 日本木質ペレット協会：木質ペレット品質規格, pp. 3-8, 平成 23 年 3 月 31 日制定
- 7) 吉田裕三, 中島聖充, 中谷丈史, 神代圭輔, 石丸 優：飽水木材の熱軟化特性に及ぼすリグニンの影響, (Journal of the Society of Materials Science, Japan), Vol.57, No.4, 2008

(2013.7.19 受付)

STUDY ON EFFECT OF SHREDDING SIZE AND FORMING TEMPERATURE ON FORMABILITY OF RICE STRAW PELLETS

Shintaro WATANABE, Toru FURUICHI, Kazuei ISHII

In Hokkaido, 70% of rice straws has been left on rice field. A utilization system using rice straws is needed. Nanporo town built a heat utilization system by producing rice straw pellets. However, there is a problem on lower formability (low yield rate and low mechanical durability) during the pellet production. Therefore, this study focused shredded particle size and forming temperature which are considered as critical factors on the formability of rice straw pellets. This study clarified effects of the shredded particle size and forming temperature on the formability of rice straw pellets. As a result, the significant difference was not seen in the formability by changing the shredded particle size (5 mm to 20 mm). Pellets were produced with high formability under the following conditions : the moisture content of 15%, and the forming molding temperature of 60 °C to 80 °C. However, the formability decreased in all particle sizes under moisture content of 15% and the forming temperature of 100 °C. Adding water to moisture content of 20% improved the formability. Therefore, water adjustment by adding water depending on the forming temperature was necessary.