

規模と形態に応じた稲わら燃料価格の算定 に関する研究

—南幌町をケーススタディとして—

石井 一英¹・古市 徹²・藤山 淳史³・渡邊 進太郎⁴

¹正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

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

²正会員 北海道大学客員教授 大学院工学研究科 (〒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非会員 北海道大学公共政策大学院生 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

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

本研究では、①稲わらの収集・運搬から、燃料製造、燃料運搬のサプライチェーンを考慮した稲わら燃料価格算定モデルを構築し、製造規模、収集・保管方法及び燃料形態の視点から、燃料価格の低減方法を検討した。②南幌町において熱需要創出を検討し、熱需要規模と燃料形態に応じた燃料価格を算出し、事業拡大の可能性を評価した。その結果、施設整備費のスケールメリットより販売価格は規模に応じて低減され、ペレット・ブリケット共に 1,500 t/y 以上の生産規模が推奨されることを示した。②南幌町では公共施設と農業ハウスで最大で約 1,800 t/y の熱需要創出が見込まれ、収集・保管方法の改善により稲わら燃料価格が、熱量当たりで化石燃料に十分対抗できることを示した。

Key Words: rice straw fuel, supply chain analysis, cost estimation model, production capacity

1. 研究背景と目的

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、バイオマス利活用の推進が求められている。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、利活用が進んでいない。国内の農業残渣の内、稲わらの発生量は年間約 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。しかし、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の発生が大きいとする指摘がある。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、鋤き込み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取れた地域については、最近で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うために、リサイクルに取り組む農家が増えてきている。しかし、飼料や堆肥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に着目した。全国で唯一稲わらの燃料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。稲わら燃料利活用事業を普及・拡大してい

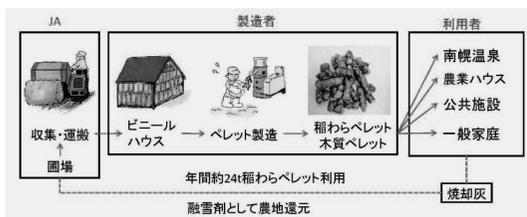


図-1 稲わらの利活用フロー図

くための課題として、南幌町では稲わら燃料の需要の拡大が挙げられる。現在南幌町にて年間 24t の稲わらペレットを生産しているが、他の化石燃料価格に対抗するためには生産規模の拡大、つまり熱需要創出が必要となる。そのためには、収集・保管・製造工程において課題が挙げられる。収集工程は稲わら燃料費に占める割合が多く収集システム改善による収集費削減が求められる。保管工程では、現在ビニールハウスで保管しているが、規模拡大時に多数の棟数が必要となるため、より高効率な保管システムが必要となる。製造工程では、化石燃料価格に対抗するため、より安価で製造できる稲わらブリケットも視野に入れるべきである。

そこで本研究では、以下を研究目的とする。①収集・保管・製造過程を考慮した稲わら燃料価格算定モデルを構築し、製造規模、収集保管方法及び燃料形態の視点から、燃料価格の削減方法を検討する。②南幌町において熱需要創出を検討し、その熱需要規模と燃料形態に応じた燃料価格を算出することにより、事業拡大可能性を評価する。

2. 南幌町稲わらペレット事業の概要と課題

(1) 事業の概要

南幌町の稲わら賦存量は約 13,500t/年であり、これを熱量換算すると、197,145GJ 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³⁾。

図-1 に示すように、秋に稲刈り後、農家が圃場に放置された稲わらをレーキ（集草機）で乾燥させ、ロールベアラにてロール化し、圃場から搬出する。その後、トラックを用いて、製造者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。次に製造者が稲わらロールを破碎し、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。

(2) 課題

課題としては、収集時の稲わらの品質（含水率や泥砂の付着）、農家の協力や人手不足、保管といった問題がある。それ以外のシステム全体を通じての課題として、今後熱需要が拡大した場合に既存の収集保管システムでは事業の採算が合わず、事業として成立しないことが考えられる。需要が拡大した際、収集から運搬、保管、製造に至るまでの一貫したシステムの構築が必要となる。また、南幌町のケーススタディを通じて、他の稲作地域で稲わら熱利活用事業を計画した際、地域の需要形態に応じて、生産規模と燃料形態に応じた一般的な燃料価格算定方法を示す必要がある。

南幌町においては、熱需要規模の創出に応じた燃料価格の算定を行い、想定する稲わら熱需要者に対し具体的なメリットを定量的に示し、稲わら燃料導入へのインセンティブを働きかける必要がある。

3. 稲わら燃料価格の算定モデル

(1) 稲わら燃料価格算定の目的

稲わら燃料価格算定の目的として、知見の少ない稲わら熱利活用事業において、より具体的な事業方策を立てるためということが挙げられる。稲わら熱利活用事業を実規模の事業として行っている地域は現在南幌町のみだが、今後普及拡大が大いに見込める事業と言える。というのも、稲作地域は全国的に見ても多く点在しており、農家で稲わらの処理に困っている農家が多くいるのが現状としてある。また、稲わらの賦存量は年間 900 万 t と未利用バイオマスの中では一番多いのが現状である。この稲わらを熱源として有効利用していくことが環境面やバイオマス産業の発展に、非常に重要になっていく。そのため、本研究は今後稲わら熱利活用事業が全国的に認知され始め、他の稲作地域において事業が検討される際に、本研究での稲わら燃料価格算定方法に基づいた定量的な評価により、稲わら熱利活用事業の事業採算性の向上に役立てることができる。

また、他の稲作地域において稲わら熱利活用事業

を想定した際に、本研究で構築する価格算定方法を基に事業計画を立てることで、稲わら熱利用事業の普及・拡大を促進することが可能となる。

(2) 稲わら燃料価格算定方法

稲わら燃料価格を算定するための要因として、「稲わら収集費用」・「圃場から保管施設までの運搬費用」・「保管費用」・「保管施設から製造施設までの運搬費用」・「製造費用」・「製造施設から利用施設までの運搬費用」の計6つの項目に分類することができる。これら6つの項目を合計し、製造業者の利益を加味した料金の合計が年間の稲わら燃料販売総額となる。また、稲わら燃料販売価格は稲わら燃料販売総額を稲わら燃料生産量で除して、1kgあたりの販売価格で示すことにする。

なお、各計算は南幌町でのヒアリング、全国的に行われている木質ペレット事業の資料等を基に計算を行った。

a) 稲わら収集費用

人件費及び稲わらを収集しロール化するロールベアラーの購入台数、ロールベアラーを稼働させる燃料費を考慮した。また、収集期間 (T_{coll}) は最大15日と設定した。圃場から稲わらを収集する方法は、JA等のコントラクターを利用する場合と製造業者が自らアルバイトを雇用する場合の2通りが考えられるので、それぞれ算出する。

稲わらペレット量製造量を A_{rice} (t) とし、歩留まりを E_{pe} とすると、収集稲わら量は、(1) 式のように M_{rice} (kg) となる。これ以降、文字の説明は、後掲の表-1を参照されたい。

収集稲わら量 (kg)

$$M_{rice} = A_{rice} \cdot 1000 / E_{pe} \quad (1)$$

収集費用 (コントラクター) (燃料費込み) (円)

$$C_{col-con} = P_{coll-con} \cdot M_{rice} + R_{heavy} \cdot HM1 \cdot N_{HM1} / Y_{HM1} \quad (2)$$

収集費用 (アルバイト) (円)

$$C_{col-ar} = P_{la} \cdot N_{HM1} \cdot T_{coll} + R_{heavy} \cdot HM1 \cdot N_{HM1} / Y_{HM1} + M_{fu-col} \cdot M_{rice} / M_{rice-ha} \cdot C_{do} \quad (3)$$

ロールベアラー購入数 (台)

$$N_{HM1} = M_{rice} / M_{rice-ha} \cdot T_{rice-ha} / T_d / T_{coll} - N_{HM1e} \quad (4)$$

稲わら収集期間 (最大15日) (日)

$$T_{coll} = M_{rice} / M_{rice-ha} \cdot T_{rice-ha} / T_d \quad (T_{coll} = 15, T_{coll} > 15 \text{の時}) \quad (5)$$

b) 稲わらロール運搬費用 (圃場から保管施設まで)

人件費及び稲わらロールをトラックに積載 (積み降ろしも必要なので、トラック1台につき、2台のフ

ロントローダーが必要) するための重機であるフロントローダーの購入台数を考慮した。また、保管施設への運搬 (平均距離 L_{st} は 10 km, 平均速度 V_{tc10} は 20 km/h を想定) は、10tトラックをレンタルし、最大20日間 (T_{tr1}) かけて運搬することとした。

ロール運搬費用 (保管施設まで) (円)

$$C_{tr1} = P_{tr1} \cdot M_{rice} + CR_{tc10} + C_{HM2} \quad (6)$$

ロール運搬人件費 (積載・積み下ろし) (円/kg)

$$P_{tr1} = P_{la} \cdot T_{roll} \cdot 2 / T_d / M_{roll} \quad (7)$$

トラックレンタル料 (運転手, 燃料込み) (円)

$$CR_{tc10} = R_{tc10} \cdot NR_{tc10} \cdot T_{tr1} \quad (8)$$

トラックレンタル必要日数 (日) (最大20日)

$$T_{tr1} = (T_{roll} \cdot 2 \cdot N_{roll} + T_{mtc10} \cdot N_{roll}) / T_d \quad (T_{tr1} = 20, T_{tr1} > 20 \text{の時}) \quad (9)$$

10tトラックレンタル必要台数 (台)

$$NR_{tc10} = (T_{roll} \cdot 2 \cdot N_{roll} + T_{mtc10} \cdot N_{roll}) / T_d / T_{tr1} \quad (10)$$

稲わらロール数 (ロール)

$$N_{roll} = M_{rice} / M_{roll} \quad (11)$$

ロール当たりの移動時間 (h/ロール)

$$T_{mtc10} = L_{st} / V_{tc10} \cdot 2 / N_{roll-tc10} \quad (12)$$

フロントローダー購入費 (円)

$$C_{HM2} = R_{heavy} \cdot HM2 \cdot N_{HM2} / Y_{HM2} \quad (13)$$

フロントローダ購入台数 (台)

$$N_{HM2} = 2 \cdot NR_{tc10} - N_{HM2e} \quad (14)$$

c) 保管費用

稲わらロールの保管は、ビニールハウスで行うこととし、必要な棟数を新設することにした。土地は無料で貸与できると想定した。稲わらの保管方法は、現在南幌町で行われているビニールハウスでの保管方法と、ビニールハウスよりも1棟当たりの収容量の多い大型保管移設 ($W15m \cdot L5m \cdot H5m=2475m^3$, 1296ロール/棟保管可能) での保管方法が考えられるため、それぞれ算出する。

ビニールハウス保管費用 (円)

$$C_{st} = R_{st} \cdot V_H \cdot N_{VH} / Y_{VH} \quad (15)$$

ビニールハウス必要棟数 (棟)

$$N_{VH} = N_{roll} / Ca_{VH} - N_{VHe} \quad (16)$$

大型保管庫保管費用 (円)

$$C_{SL} = R_{st} \cdot SL \cdot N_{SL} / Y_{SL} \quad (17)$$

大型保管庫必要棟数 (棟)

$$N_{SL} = N_{roll} / Ca_{SL} - N_{SLe} \quad (18)$$

d) 運搬費用 (保管施設から製造施設まで)

稲わらロールを製造施設まで運ぶために2tトラックを購入する。この2tトラックは生産された稲わらペレットを利用施設までの運搬にも利用する。そのため、ここで求める人件費は、保管施設から製造施設及び製造施設から利用施設までの運搬に

表-1 (1) 稲わら燃料価格算定モデルのパラメータ

パラメータ	記号	一般モデル	南幌モデル	単位	参考文献備考
稲わらペレット発熱量	H_{rice}	15.7		MJ/kg	3)
重機購入負担割合	R_{heavy}	1.0	0.5		仮定
製造施設購入負担割合	R_{pe}	1.0	0.5		仮定
ビニールハウス負担割合	R_{vh}	1.0	0.5		仮定
稲わらロール収集コスト					
ペレット製造歩留まり	E_{pe}	0.8			7)
圃場1haあたりの稲わら量	$M_{rice-ha}$	4,000		kg/ha	3)
圃場1haあたりの稲わら収集時間	$T_{rice-ha}$	1.67		h/ha	3)
1日の作業時間	T_d	8		h/d	
既存ロールベラー台数	N_{HM1e}	0	17	台	8)
収集人件費	$P_{coll-con}$	8.89		円/kg	3)
アルバイト日当	P_{la}	11,000		円/d/人	3)
ロールベラー燃費	M_{fu-col}	10		L/ha	仮定
軽油価格	C_{do}	90		円/L	
ロールベラー価格	$HM1$	7,000,000		円/台	8)
ロールベラー耐用年数	Y_{HM1}	7		y	8)
運搬費用 (圃場から保管施設)					
1ロールあたりの作業時間 (積み上げ、積み下ろし)	T_{roll}	0.05		h/ロール	8)
ロールあたりの重量	M_{roll}	200		kg/ロール	3)
10tトラックへのロール積載数	$N_{roll-tc10}$	20		ロール/台	8)
既存フロントローダー台数	N_{HM2e}	0	210	台	8)
フロントローダー価格	$HM2$	1,250,000		円/台	8)
フロントローダー耐用年数	Y_{HM2}	7		y	8)
10tトラックレンタル料金	R_{tc10}	50,000		円/台	仮定
圃場と保管施設の平均距離	L_{st}	10		km	仮定
10 t トラック平均速度	V_{tc10}	20		km/h	仮定

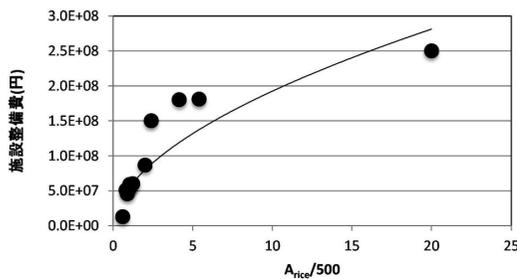


図-2 規模と稲わらペレット製造施設整備費の関係^{3,10)}

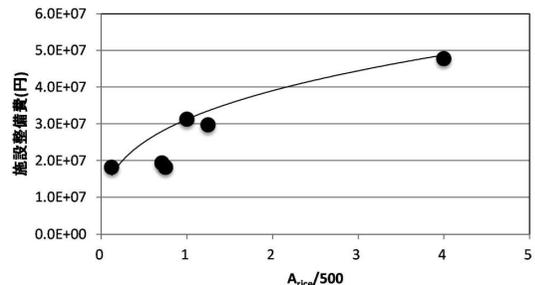


図-3 規模と稲わらブリケット製造施設整備費の関係^{3,10)}

必要な人件費の和として求めている。なお、保管施設から製造施設までの平均距離 (L_{pe}) は 1km、製造施設から利用施設までの平均距離 (L_{ptr}) は 10 km、平均時速 (V_{tc2}) は 20 km/h と設定した。

ロール運搬費用 (保管施設から製造施設まで) (円)

$$C_{tr2} = C_{tc2} + C_{ptr2} + C_{ftr2} \quad (19)$$

トラック購入費 (円)

$$C_{tc2} = TC2 \cdot N_{tc2} / Y_{tc2} \quad (20)$$

輸送人件費 (製造施設から利用施設までも含む) (円)

$$C_{ptr2} = P_{la} \cdot T_{pe} \cdot N_{tc2} \quad (21)$$

ペレット製造稼働日数 (d)

$$T_{pe} = 260 \cdot A_{rice} / 500 \quad (A_{rice} < 500)$$

$$\text{or } 260 \quad (A_{rice} > 500) \quad (22)$$

表-1 (2) 稲わら燃料価格算定モデルのパラメータ

パラメータ	記号	一般モデル	南幌モデル	単位	参考文献備考
保管費用					
ビニールハウス1棟あたりのロール数	Ca _{VH}	150		ロール	3)
既存ビニールハウス数	N _{VH} e	0	2	棟	8)
ビニールハウス価格	VH	1,500,000		円/棟	8)
ビニールハウス耐用年数	Y _{VH}	14		y	8)
大型保管庫1棟あたりのロール数	Ca _{SL}	1,296		ロール	3)
既存大型保管庫数	N _{SL} e	0			
大型保管庫価格	SL	20,000,000		円/棟	3)
大型保管庫耐用年数	Y _{SL}	35		y	3)
運搬費用 (保管施設から製造施設)					
2tトラック価格	TC2	3,500,000		円/台	9)
2tトラック耐用年数	Y _{TC2}	15		y	9)
2tトラックロース登載数	N _{roll-tc2}	3		ロール	仮定
保管施設と製造施設の距離	L _{pe}	1	0.5	km	仮定
燃費	E _{do}	3.2		km/L	9)
トラック平均速度 (保管施設～製造施設)	V _{tc2}	20		km/h	仮定
燃料製造費用					
メンテナンス費用単価	Ma _{pe}	1,000		円/t	10)
ペレタイザ耐用年数	Y _{PE}	15		y	3)
ブリケットマシン耐用年数	Y _{BR}	15		y	3)
ペレタイザ電気量単価	W _{el-pe}	230		kWh/t/y	3)
ブリケットマシン電気量単価	W _{el-br}	200		kWh/t/y	3)
電気料金	C _{el}	14.15		円/kwh	仮定
運搬費用 (製造施設から利用施設)					
トラックのペレット積載量	M _{pe-tc2}	2		t/台	仮定
製造施設～利用施設までの距離	L _{ptr}	10	1	km	仮定
トラック平均速度 (製造施設から利用施設まで)	V _{tc3}	20		km/h	仮定
利益	利益 _{pro}	20	10	%	仮定

トラック必要台数 (台)

$$N_{tc2} = (L_{pe}/V_{tc2} \cdot 2 \cdot N_{tc2-d} + T_{roll} \cdot 2 \cdot N_{roll}/T_{pe} + L_{ptr}/V_{tc3} \cdot 2 \cdot N_{ptr-d})/T_d \quad (23)$$

1日のロール運搬回数 (回)

$$N_{tc2-d} = N_{roll}/T_{pe}/N_{roll-tc2} \quad (24)$$

1日のペレット運搬回数 (回)

$$N_{ptr-d} = A_{rice}/T_{pe}/M_{pe-tc2} \quad (25)$$

輸送燃料費

$$C_{ftr2} = N_{tc2-d} \cdot T_{pe} \cdot L_{pe} \cdot 2 \cdot C_{do}/E_{do} \quad (26)$$

e) 製造費用

雇用1人、施設整備費の減価償却費とメンテナンス費用、電気代を考慮した。既存の木質ペレット等の資料を参考^{3,10)}に、生産規模とペレタイザ、ブリケットマシンそれぞれの施設整備費のデータをまとめると図-2と図-3の関係になっている。

年間生産規模 500 t/y の時の施設整備費を標準規模と価格とする。そのときの施設と価格がべき乗則になると仮定した場合、ペレットの施設整備費、ブリケットの施設整備費はそれぞれ下記のように求められた。

$$\begin{aligned} \text{ペレット施設整備費} = \\ 54,600,000 \cdot (A_{rice}/500)^{0.547} \quad (27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ブリケット施設整備費} = \\ 31,210,000 \cdot (A_{rice}/500)^{0.321} \quad (28) \end{aligned}$$

一般的には0.6乗則になると言われているが、今回は実施施設のデータが少ないため、0.547, 0.321のべき乗則関数として、施設整備費を試算した。

ペレット製造費用

$$C_{pe} = PE + P_{pe} + M_{pe} + EL_{pe} \quad (29)$$

ペレット施設整備費

$$PE = R_{pe} \cdot 54,600,000 \cdot (A_{rice}/500)^{0.547} / Y_{pe} \quad (30)$$

ペレット製造人件費

$$P_{pe} = P_{la} \cdot T_{pe} \quad (31)$$

ペレット製造メンテナンス費用

$$M_{pe} = Ma_{pe} \cdot A_{rice} \quad (32)$$

ペレット製造電気料金

$$EL_{pe} = W_{el-pe} \cdot A_{rice} \cdot C_{el} \quad (33)$$

ブリケット製造費用

$$C_{br} = BR + P_{br} + M_{br} + EL_{br} \quad (34)$$

ブリケット施設整備費

BR =

$$R_{pe} \cdot 31,210,000 \cdot (A_{rice}/500)^{0.321} / Y_{br} \quad (35)$$

ブリケット製造人件費

$$P_{br} = P_{pe} \quad (36)$$

ブリケット製造メンテナンス費

$$M_{br} = M_{pe} \quad (37)$$

ブリケット製造電気料金

$$EL_{br} = W_{el-br} \cdot A_{rice} \cdot C_{el} \quad (38)$$

f) 運搬費用（製造施設から利用施設まで）

人件費は、運搬費用（保管施設から製造施設まで）に含まれているため、製造施設と熱供給施設までを運搬するために必要な往復平均距離にかかる燃料費を計上した。

運搬（製造施設から利用施設まで）燃料費

$$C_{tr3} = A_{rice} / M_{pe-tc2} * L_{ptr} \cdot 2 \cdot C_{do} / E_{do} \quad (39)$$

g) 稲わら燃料価格

次に、稲わら燃料価格を算定した。全てのコストを合計し、利益（pro）20%を加味して試算した。稲わら販売価格は、年間生産量に対する稲わら燃料販売価格を1kg当たりの値段で算定した。

稲わらペレット（またはブリケット）製造原価

$$C_{\text{pellet}} \text{ (or } C_{\text{bricket}}) = (C_{\text{col-con}} \text{ (or } C_{\text{col-ar}}) + C_{\text{tr1}} + C_{\text{st}} \text{ (or } C_{\text{SL}}) + C_{\text{tr2}} + C_{\text{pe}} \text{ (or } C_{\text{br}}) + C_{\text{tr3}}) / A_{\text{rice}} / 1000 \quad (40)$$

稲わらペレット（またはブリケット）販売単価

$$C'_{\text{pellet}} \text{ (or } C'_{\text{bricket}}) = C_{\text{pellet}} \text{ (or } C_{\text{bricket}}) / (1 - \text{pro} / 100) \quad (41)$$

4. 稲わら燃料価格算定結果と考察

(1) 生産規模と燃料単価の関係

生産規模とペレット価格とその内訳の関係を表-2に、ブリケットとペレット価格の比較を図-4にまとめた。稲わら燃料年間生産量が増加するごとに、スケールメリットにより稲わら販売価格が減少していることがわかる。ペレットの生産量が1,500

t/y～2,000 t/yで販売価格がほぼ横ばいとなることが分かった。また、製造コストがペレットよりもやや低く済むブリケットも同様の傾向にあることが分かる。

図-5に各費用単価と生産規模の関係を示す。製造費用が2,000 t/y当たりで横ばいになるのに対して、収集費用や運搬費用は500～1,000 t/yで横ばいになっており、製造費用に比べてスケールメリットは小さいことが分かる。スケールメリットの主な要因は、製造施設整備費の単価が低下することと、相対的に人件費が占める割合が小さくなることである。

(2) 低コスト化の検討

次に、稲わら燃料価格の低コスト化の検討を行う。ペレット価格が横ばいになる1500 t/yの生産規模の場合の各価格を基準として、①収集段階でのコントラクタ事業からアルバイト雇用に変化させた場合、②保管庫としてビニールハウスの代わりに大型保管庫を用いた場合、さらに、燃料形態としてブリケットを採用した場合を計算した。さらに、全ての購入する重機、保管庫及びペレタイザ等の施設整備に50%の補助があった場合を計算した。その結果を、表-3に示す（基準に比べて変化のあった値に網掛けしている）。

a) 収集費用

コントラクタからアルバイト雇用に変化させる場合、基準の15.8円/kgから5.7円/kgまで、大幅に収集費用を削減することができる。ただし、実際の運用面においては、アルバイトの確保、稲わら提供農家との稲わら価格交渉、コントラクタ業者との調整が必要である。

b) 保管施設

大型保管庫を用いることにより、基準の4.5円/kgから3.0円/kgまでコストを削減することができたが、燃料価格全体に比べて、低コスト効果は限定的であった。しかしながら、生産量1,500 t/yの場合、ビニールハウスが63棟必要となり、現実的な数値とは言えない。しかし、大型保管施設であれば8棟のみであり、建設可能な棟数と言える。また、ヒアリングによると製造業者は冬期にビニールハウスが倒壊しないように、ビニールハウスの側面や屋根上に積もった雪を除雪する必要があるとのことだった。大型保管施設では、そのような除雪の頻度や手間が削減できるので、コストに含まれない点でも優れていると言える。

c) 燃料形態（ペレットとブリケット）による違い

先に述べたとおり、ブリケットの方がペレットに比べ約3円/kg程度、低コスト化が可能である。製

表-2 生産規模と稲わらペレットの価格とその内訳

		稲わら製造量 (t/y)								
		100	200	500	1,000	1,500	2,000	3,000	4,000	5,000
ペレット価格	円/kg	88.1	79.6	68.1	56.9	55.5	52.7	51.5	50.5	49.8
収集費用	円/kg	21.1	16.1	17.1	16.1	15.8	15.6	15.8	15.6	15.5
運搬費用1 (圃場から保管施設)	円/kg	10.4	14.4	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
保管費用	円/kg	5.4	4.8	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
運搬費用2 (保管施設から製造施設)	円/kg	8.2	7.0	6.3	3.2	4.3	3.2	3.2	3.2	3.2
ペレット製造費用	円/kg	25.1	21.0	17.3	12.4	10.6	9.6	8.4	7.8	7.4
運搬費用3 (製造施設から利用施設)	円/kg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
利益	円/kg	17.6	15.9	13.6	11.4	11.1	10.5	10.3	10.1	10.0

表-3 稲わら燃料価格の低コスト化の検討 (生産規模 = 1500t/y の時)

		稲わら製造量 1,500 (t/y)								
		補助無し						補助あり(50%)		
		基準	①収集 (アルバイト)	②保管 (大型保管庫)	燃料形態 (ブリケット)	ペレット (①+②)	ブリケット (①+②)	基準	ペレット (①+②)	ブリケット (①+②)
ペレット価格	円/kg	55.5	42.9	53.7	51.9	41.1	37.5	45.5	32.0	29.9
収集費用	円/kg	15.8	5.7	15.8	15.8	5.7	5.7	13.4	3.4	3.4
運搬費用1 (圃場から保管施設)	円/kg	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	7.9	7.9	7.9
保管費用	円/kg	4.5	4.5	3.0	4.5	3.0	3.0	2.3	1.5	1.5
運搬費用2 (保管施設から製造施設)	円/kg	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.1	4.1	4.1
燃料製造費用	円/kg	10.6	10.6	10.6	7.7	10.6	7.7	8.4	8.4	6.7
運搬費用3 (製造施設から利用施設)	円/kg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
利益	円/kg	11.1	8.6	10.7	10.4	8.2	7.5	9.1	6.4	6.0

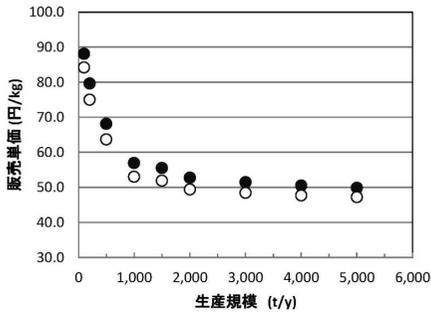


図-4 稲わらペレットとブリケット価格の比較

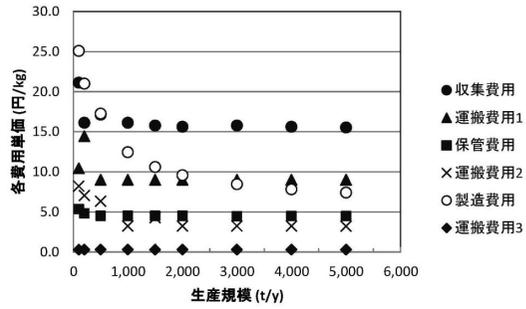


図-5 各費用単価と生産規模の関係

造コスト面ではブリケットの方が望ましいが、製造実績や需要量という面では、現段階ではペレットに比べ少ないあるいは未知数である。

d) 補助

稲わらを収集するのに必要なローラー、フロントローダー、保管庫、運搬用トラック、ペレット及びブリケット施設整備に係る初期投資費用の50%に対して何らかの補助があったと仮定した場合のコスト削減効果は非常に大きなものになった。

例えば、補助無しの場合の、ペレット単価は基準の場合 55.5 円/kg であるのに対して、補助有りの場合は 45.5 円/kg まで低コスト化が可能である。同時に、収集や保管施設等の改善により、ペレットは 32

円/kg、ブリケットは 29.9 円/kg にまで販売価格の低減化が可能であることが分かった。

5. 熱需要創出による南幌町での稲わら燃料拡大の検討

(1) 全体システム構成

農家、コントラクター、あるいは製造業者が雇用したアルバイトが 11 月頃に稲わらを収集し、10 t トラックにて保管施設まで運搬する。圃場から保管施設までの運搬用のトラックは必要に応じてレンタルする。製造者は、2 t トラックを用いて保管した稲わ

表-4 稲わらペレット販売価格（生産規模 500t/y）

		稲わら製造量 500 (t/y)			
		補助者あり(50%)			
		基準	①収集 (アルバイト)	②保管 (大型保管庫)	ペレット (①+②)
ペレット価格	円/kg	44.1	32.1	43.7	31.7
収集費用	円/kg	11.1	0.3	11.1	0.3
運搬費用1 (圃場から保管施設)	円/kg	6.9	6.9	6.9	6.9
保管費用 (保管施設から製造施設)	円/kg	2.0	2.0	1.7	1.7
運搬費用2 (製造施設から製造施設)	円/kg	6.0	6.0	6.0	6.0
燃料製造費用	円/kg	13.6	13.6	13.6	13.6
運搬費用3 (製造施設から利用施設)	円/kg	0.0	0.0	0.0	0.0
利益	円/kg	4.4	3.2	4.4	3.2
が基準と比べて変わった部分					

表-6 稲わらペレット販売価格（生産規模 1500t/y）

		稲わら製造量 1,500 (t/y)			
		補助者あり(50%)			
		基準	①収集 (アルバイト)	②保管 (大型保管庫)	ペレット (①+②)
ペレット価格	円/kg	33.0	20.9	32.1	20.1
収集費用	円/kg	11.1	0.3	11.1	0.3
運搬費用1 (圃場から保管施設)	円/kg	6.8	6.8	6.8	6.8
保管費用 (保管施設から製造施設)	円/kg	2.2	2.2	1.4	1.4
運搬費用2 (製造施設から製造施設)	円/kg	1.7	1.7	1.7	1.7
燃料製造費用	円/kg	7.8	7.8	7.8	7.8
運搬費用3 (製造施設から利用施設)	円/kg	0.0	0.0	0.0	0.0
利益	円/kg	3.3	2.1	3.2	2.0
が基準と比べて変わった部分					

らロールを順次製造施設に運び、ペレット化していく。製造されたペレットは保管施設から製造施設まで利用した2tトラックを用いて利用施設まで運搬する。利用者はペレットを熱利用し、焼却灰は農家で融雪剤として利用する。この時、融雪剤の運搬は農家が各自で行う。本研究では、農家やコントラクタ事業、アルバイトによる稲わらを収集から、保管、製造、運搬するまでのシステムを評価範囲とする。

(2) 利用拡大を想定した熱需要の創出

現状の熱需要規模は、既存の温泉施設で稲わら120ロール(24t)分の稲わらペレットを利用している。本研究では、先行研究とヒアリングにより南幌町内にある公共施設で稲わらペレットを使用すると想定した。また、町内の農業ハウスでボイラー利用したと想定する。これは、伊達市における木質ペレットの農業利用の取り組みをもとに、需要量を試算した¹¹⁾。これらを合計すると、年間約1,838t/y(公共施設1120t/y+農業ハウス718t/y)の稲わら燃料利用に相当する。

以上より、段階的に500t/y、1,000t/y、1,500t/yと生産量の拡大を想定し、各規模での稲わらペレット価格の算出を行う。

(3) 検討するケースの設定

ここでは、各生産規模において、コントラクタによる稲わら収集とビニールハウスによる保管を基準ケースとし、これを比較対象とする。次に基準ケースから、JAコントラクタ事業をアルバイト雇用に

表-5 稲わらペレット販売価格（生産規模 1000t/y）

		稲わら製造量 1,000 (t/y)			
		補助者あり(50%)			
		基準	①収集 (アルバイト)	②保管 (大型保管庫)	ペレット (①+②)
ペレット価格	円/kg	36.6	24.6	35.8	23.8
収集費用	円/kg	11.1	0.3	11.1	0.3
運搬費用1 (圃場から保管施設)	円/kg	6.9	6.9	6.9	6.9
保管費用 (保管施設から製造施設)	円/kg	2.1	2.1	1.4	1.4
運搬費用2 (製造施設から製造施設)	円/kg	3.0	3.0	3.0	3.0
燃料製造費用	円/kg	9.8	9.8	9.8	9.8
運搬費用3 (製造施設から利用施設)	円/kg	0.0	0.0	0.0	0.0
利益	円/kg	3.7	2.5	3.6	2.4
が基準と比べて変わった部分					

表-7 各燃料の熱量あたりの販売価格の比較

生産規模	販売価格	稲わらペレット		化石燃料	
		基準	アルバイト+大型保管庫採用	重油	灯油
t/y	円/kg	円/MJ	円/kg	円/MJ	円/MJ
500	44.1	2.8	31.7	2.0	1.8
1000	36.6	2.3	23.8	1.5	1.4
1500	33.0	2.1	20.1	1.3	1.2
重油価格 73.0円/L(H27.3)~95.7円/L(H26.3) 重油発熱量 38.90 MJ/L					
灯油価格 64.2円/L(H27.3)~86.4円/L(H26.3) 灯油発熱量 36.49 MJ/L					
いずれも北海道の値、重油については小型ローリー価格					

更した場合とビニールハウスを大型保管施設に変更した場合の両方を考慮して場合の販売価格を算出することにした。

さらに、各ペレット販売価格において、熱量単価を算出し、重油及び灯油との熱量単価の比較を行うことにした。

なお、南幌町では、既に稲わらの圃場からの収集が行われてきたので、ロールベアラーやフロントローダーは既に存在する。そのような南幌町特有のパラメータについては、表-1にその変更部分のみを示すことにする。

(4) 稲わら燃料価格の算定と事業可能性の検討

各生産規模での稲わら燃料価格を表-4、表-5、表-6に示した。

生産規模1,500t/yの場合を例に説明する。基準ケースでは、33.0円/kgに対し、コントラクタ事業からアルバイト雇用(①)では20.9円/kg、ビニールハウスから大型保管施設に変更した場合(②)では32.1円/kgとなった。基準ケースの内訳を見てみると、収集費用が占める割合が多く、次いで燃料の製造費用が大きく、次に圃場から保管施設までの運搬費用が多かった。その他の輸送や保管にかかる経費はそれほど大きくはなかった。

基準ケースとアルバイト雇用(①)を比較すると、収集費用が大幅削減されたことで価格が低くなったことがわかる。表-6で確認すると、収集費用が10.8円/kgの削減が見られた。収集方法をコントラクタによる委託業務から、製造業者自らがアルバイトを

雇用することで大きな収集費用の削減が見込まれる。

基準ケースと大型保管施設を比較すると、販売価格は 0.8 円/kg 低くなることがわかった。これは、スケールメリットにより稲わらロールあたりの保管費用が削減されたことが言える。今回、大型保管施設のデータは一つのみだが、想定する熱需要規模に応じた規模の保管施設を建設すればより効果的な保管費用の削減が見込まれる。

アルバイト雇用と大型保管施設を組み合わせたシステムに変更した場合 (①+②)、販売価格は 20.1 円/kg となり基準ケースに比べ 12.9 円/kg の販売価格の削減が見込まれることがわかった。

(5) 他の燃料との比較

稲わら燃料と他の燃料(重油、灯油)を比較したものを表-7 に示す。

なお、重油価格と灯油価格¹²⁾は、最近の重油価格の下落を考慮して、平成 26 年 3 月と平成 27 年 3 月(現時点)の値を用いることにして、高値～低値の幅で比較することにした。発熱量は参考文献¹³⁾を参照した。化石燃料である重油と灯油では、それぞれ 1.9～2.5 円/MJ、1.8～2.4 円/MJ となった。

稲わらペレットについて基準ケースの場合では、1,000 t/y 以上の生産規模場合で、2.3 円/MJ となり化石燃料との価格競争が可能となる。さらに、収集方法や保管方法に改善を加えることにより、500 t/y の生産規模の場合でも、化石燃料価格に対抗しうる事が分かる。特に今後の重油及び灯油価格が高騰した場合(高値とした場合)には、1000 t/y～1,500 t/y の需要を確保できた場合には、稲わらペレット利用による利用者側のコスト削減に大きな貢献をするものと考えられる。

6. 結論

本研究を通じて、以下のことが示された。

①稲わら燃料価格算定モデルに基づき、稲わら燃料生産規模と形態における販売価格の関係を示した。稲わらブリケットは稲わらペレットに比べ、燃料価格が約 2～3 円/kg 安く販売できることがわかった。また、稲わらペレット・ブリケット共に燃料生産量が 1500t/y を以上でスケールメリットによる価格変動幅が小さくなる事が示された。

②南幌町熱需要創出を検討したところ、最大で約 1,800t/y の需要が見込まれた。そこで、500 t/y から段階的に 1,500 t/y まで生産量を増大した場合を想定し、稲わら燃料価格を算出したところ、1,000 t/y 以上の需要が確保できた場合には、熱量ベースで化石燃料価格に比べて、メリットを創出できることが分かった。

謝辞

本研究にご協力いただいた南幌町及び南幌町農協の皆様へ感謝申し上げます。

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) そらち・エコプロジェクトリサイクルグループ：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) 佐賀清崇：バイオエタノール生産に向けた稲わら等の収集運搬作業体系に関する研究, エネルギー資源学会, Vol. 29, No. 6
- 5) 農林水産省生産局畜産部畜産振興課：飼料作物関係資料, p. 84, 2006,
- 6) ペレットクラブ：木質ペレットの歴史, <http://www.pelletclub.jp/jp/pellet/history.html>
- 7) K. Ishii and T. Furuichi: Influence of Moisture Content, Particle Size and Forming Temperature on Productivity and Quality of Rice Straw Pellets, Waste Management, Vol. 34, pp. 2621-2626, 2014
- 8) 北海道南幌町ヒアリング結果
- 9) 国土交通省自動車局貨物課。(社)全日本トラック協会：トラック運送事業の運賃・原価に関する調査 調査報告書, <http://www.mlit.go.jp/common/000167957.pdf>
- 10) 新エネルギー財団：バイオマス技術ハンドブック, オーム社, 2008
- 11) 伊達市における木質ペレットの農業利用の取り組みについて, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/nsk/datesi.pdf>
- 12) 一般財団法人日本エネルギー経済研究所, 石油情報センター, <https://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>
- 13) 石油連盟：統計情報, <http://www.paj.gr.jp/statis/kansan/>

(2015. 7. 16 受付)

STUDY ON THE ESTIMATION OF RICE STRAW FUEL PRICE ACCORDING TO THE SCALE AND FORM - A CASE STUDY OF NANPORO TOWN -

Kazuei ISHII, Toru FURUICHI, Atsushi FUJIYAMA, Shintaro WATANABE

In this study, 1) we developed a cost estimation model for the rice straw fuel, considering the collection, transportation, and manufacturing process, from the point of view of the manufacturing scale, collection storage method and fuel types. Using the model, we examined how to reduce the fuel price. 2) By investigation of the heat demand creation in Nanporo town, we estimated the fuel price in accordance with the heat demand scale, to evaluate the potential of business expansion. As a result, the relationship among the selling price in the rice straw and the manufacturing scale was clarified quantitatively. We showed that the fuel production scale of 1500 t/ y or more are needed for business. The heat demand creation was estimated about 1, 800 t/ y in public facilities and agricultural houses in Nanporo town. The rice straw fuel prices can be competitive against that of fossil fuel by improving the collection and storage method.