

稲わらペレット熱利用システム 普及のための事業採算性の検討 ー熱需要規模と収集保管方法に着目してー

針谷 将吾¹・古市 徹²・石井 一英³・藤山 淳史⁴

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

E-mail: hariya@kanri-er.eng.hokudai.ac.jp

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

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

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

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

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

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

稲わらの鋤き込みは、メタンの発生や作物の生育不良などの懸念がある。稲わらのペレット化事業を行う南幌町は、熱需要規模が限られていること及び一時期に大量に発生する稲わらの収集と保管に、手間やコストがかかり、事業採算性に問題がある。本研究は、南幌町をケーススタディとし、熱需要規模拡大を想定し、事業採算性向上策の検討を行った。その結果、稲わらと別時期に発生する麦わらの利用で保管費用を削減でき、事業採算性が向上することを示した。また、南幌町による一部補助を用いてコントラクター事業により収集と保管を行った場合、比較的少ない補助でコントラクター事業を創出できることを示した。さらに将来、重油価格が高騰した場合は、南幌町の補助無しで、事業が成立する可能性を示した。

Key Words : rice straw, pellet, heating energy demand capacity, collection, storage

1. 序論

(1) 研究背景

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900万トンで最も多く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70%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、初期生育不良の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⁾。

稲わらを土壌還元する場合、基本的には鋤き込みをせずに堆肥化してから施用し、鋤き込みをする場合でも、透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、稲わらを鋤き込みせずに家畜の飼料や堆肥の水分調整材として利用する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、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。

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研究を進める。

南幌町の稲わらペレット熱利用システムでは、ペレットの熱需要規模が小さいこと、及び稲わらは短期間で大

量に収集保管する必要があるため、収集保管に手間とコストがかかり、農家の協力が得られないなどの理由により事業採算性に問題がある。そこで熱需要拡大のため、既存の温泉での利用量増大や、南幌町の総合計画で建設が予定されている温水プールでのペレット利用が検討されている。また、収集保管方法の改善策として、8月から9月頃の天候の良い時に収集できる麦わらをペレット原料として一部利用することや、南幌町の一部補助によるコントラクター事業を行うことが検討されている。

(2) 研究目的

南幌町をモデルケースとし、温水プール建設などによる熱需要規模拡大を想定する。さらに、麦わらの利用及びコントラクター事業による労働力と重機の提供による収集保管システムの改善を行った場合の事業採算性に対する効果を試算する。

また、南幌町による補助軽減を考察するために、将来の重油価格の高騰を想定した場合の事業採算性を検討する。

2. 南幌町稲わらペレット熱利用システムの現状と課題

(1) 南幌町の概要

南幌町は北海道の中央部からやや南西の石狩平野、空知支庁南部に位置し、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。

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15,500 t/年であり、これを熱量換算すると、約243,000 GJとなる。稲わら賦存量のうち、現在約80%が鋤き込み等として処理されている³⁾。

(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。農家は圃場で稲わらをロール化し、保管施設まで運搬する。その後、ペレット事業者がペレット成形し、町内の温泉まで運搬する。利用者である温泉はペレットを熱利用する。そして燃焼後の灰を農家に融雪剤として販売するという事業である。

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、ロールペーラーにてロール化し、圃場から搬出する。その後、トラックを用いて、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を保管し、乾燥させる。次に広教資材（株）が稲わらを破砕し、ペレタイザー（造粒機）を用いてペレットに成形する。同時に、廃材を利用して木質ペレットを製造し、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、ペレットボイラー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

a) 収集工程

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、ロールペーラーでロールにされる。ある程度乾燥した状態で収集する必要があるため、作業は短期間で行う必要がある。ロールの収集単位は、直径120 cm、幅120 cm、重量約200 kgである。

b) 運搬工程

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、10 tダンプトラックに積み込み、農家が保管施設まで運ぶ。

c) 保管工程

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。

バイオマスは一般に発熱量が低く嵩があるため、収集・運搬・保管コストをいかに抑えるかが重要である。特に農業系バイオマスは木質バイオマス以上に嵩張ること、年間を通してバイオマス排出時期が短期間に集中していることも、保管施設などの費用の割合を大きくしている。

(4) ペレットの製造・燃焼工程と灰の資源化

a) 製造工程

稲わらの破砕工程では、手作業、または機械でロールから稲わらをはがし、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（約1.5 cm）に切断する。

次の造粒工程では、放射状に取り付けられた3個のローラーが公転しながらディスク・ダイとの摩擦によって

回転する。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、同時に加水され、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。排出される際は、カッターで、直径6mm、長さ20mmにカットされる。

b) 燃焼工程

稲わらペレットは木質ペレットに比べて焼却灰が多く発生する。また、融点が低いために灰がすぐに固まり、クリンカーと呼ばれる堅固な塊が発生する。クリンカーは燃焼阻害を起こすため、クリンカーの生成を抑制するために、南幌温泉では稲わらペレットを木質ペレットと1:1混合して燃焼している。

c) 灰の資源化

クリンカーは燃焼阻害を引き起こすだけでなく、その処理には多くの費用がかかるため、クリンカーの有効利用が求められている。現在は土壤改良剤や融雪剤としての利用が検討され、資源としての有効利用が検討されている。

(5) 稲わらペレット熱利用システムの課題

第一に、稲わらペレットの熱需要先が限られていることが挙げられる。現状では南幌町の既存の温泉施設で稲わら24 t年のペレットを用いているだけで、公共施設も含めて熱需要先を増やす必要がある。そこで南幌町では、総合計画で建設が計画されている温水プールで、ペレットの利用を検討している。熱需要が増加すると、大量製造によりペレット単価が安くなることが期待できる。

次に収集保管の負担が大きいことが挙げられる。稲わらは11月ごろの短期間に大量に収集する必要があるため、多くの労働力や重機、保管施設などが必要になる。さらに長雨など稲わら収集時期に天候条件が悪化すると、稲わらの含水率や泥砂などの不純物が増加する。また、重機が圃場に入れなくなることもある。ゆえに収集保管システムを改善し、コストを下げ、ペレット原料を安定して確保することが、熱需要拡大の促進につながる。これに対しては、8月から9月頃の天候の良い時に収集できる麦わらをペレット原料として一部利用することを検討している。

また、労働力や重機の不足からやむを得ず鋤き込みしている農家がある。南幌町が実施した「新エネルギー導入に関するアンケート調査結果のまとめ」⁷⁾によると、鋤き込みに対して「仕方なくしている」と回答した農家・農業法人は、約20% (111件中23件) 存在する。現在、ペレットに利用している稲わらは元々堆肥用に販売する目的で農業法人が収集したもので、3500 円/ロールで収集している稲わらをペレット用に購入している。

しかし、結果的にペレット価格が重油価格よりも高くなってしまっている。そこで現在鋤き込みをしている農家から稲わらを収集し、安く稲わらを購入することで事業採算性の向上を図る必要がある。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2000 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、鋤き込みのデメリットを提示した上で、労働力や重機の補助を行い、収集に協力してもらうことが重要である。これについては、南幌町の一部補助によるコントラクター事業により農家の負担を軽減することを検討する。

3. 稲わらペレット熱利用システム事業採算性の検討

(1) 事業採算性の検討条件と判定方法

a) 想定するフローと評価範囲

図-1に示すように、農家あるいはコントラクターは、8月から9月頃に麦わらを収集し、保管施設まで運搬する。収集重機は既存の重機を活用し、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、前年度収集した麦わらを次の稲わら収集時期までにすべてペレット化する。11月頃に麦わらと同様に稲わらを収集運搬し、保管施設で保管する。製造者は順次稲わらをペレット化し、麦わらペレット・木質ペレットと共に保有しているトラックを用いて利用者まで運搬する。利用者はペレットを熱利用し、焼却灰は農家に融雪剤として販売する。この時融雪剤の運搬は農家が各自で行う。本研究での事業採算性の検討は、農家やコントラクターが稲わら・麦わらを収集し、利用者が焼却灰を融雪剤として販売するまでのシステム全体を評価範囲とする。

b) 事業成立判断の方法

農家が、収集・運搬作業にかかる経費を考慮して決定

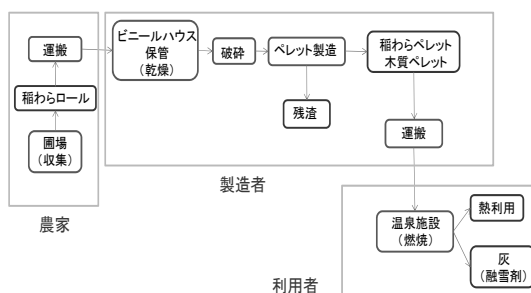


図-1 稲わら利活用のフロー図

表-1 想定する熱需要規模

		ペレットボイラーの熱供給量
		稲わら利用量
現状	既存の温泉で稲わら120ロール分利用	463[GJ/年]
		24t
規模1	既存の温泉の重油ボイラー3台のうち、1台をペレットボイラーに変更する	4205[GJ/年]
		218t
規模2	規模1に加え、新設する温水プールの熱供給量の半分にペレットボイラーを利用する	4962[GJ/年]
		257t

した稲わらや麦わらを販売する価格を「農家販売価格」とする。稲わらペレットを販売する製造者が、人件費等を考慮して稲わらや麦わらの購入に充てられる金額を「稲わら購入価格」とする。農家の「農家販売価格」と製造者の「稲わら購入価格」を比較し、稲わら購入価格が農家販売価格に対して同額以上の時に事業は成立するとする。

(2) 熱需要規模拡大の想定

現状の熱需要規模は、既存の温泉で稲わら120ロール(24 t)分の稲わらペレットを利用している。本研究では、表-1に示すように熱需要を拡大した規模1として、既存の温泉の重油ボイラー3台のうち、1台をペレットボイラーに変更した場合の事業採算性を検討する。これは稲わら218 tの利用に相当する。また、さらに熱需要規模を拡大した規模2として、規模1の条件に加え、新設する計画である温水プールの熱供給量の半分にペレットボイラーを利用する場合の事業採算性を検討する。これは稲わら257 tの利用に相当する。この2通りの規模設定を想定する。

(3) 収集保管システムの改善の想定

a) コントラクター事業

農家は年々高齢化が進んでおり、労働力が不足している。また稲わらの収集にはローラーなどの専用の重機が必要である。これら労働力や重機の不足が原因で、鋤き込みがメタンの発生や稲の生育不良の懸念があると知りつつも、やむを得ず鋤き込みしている農家がいる。そこで本研究では農協(JA)がコントラクターを用いて、このような農家の代わりに稲わらを収集することを想定する。コントラクターとは農作業を請け負う外部組織であり、今回は地元のシルバー人材や青年グループなどの雇用を想定する。また、人件費や重機の購入及びメンテナンス費等により、コントラクター事業の経費が不足した場合には、南幌町が不足分の経費を補うとする。コントラクター事業を活用することで、これまで鋤き込みされていた稲わらを収集することができる。ま

た、コントラクターによって地元の雇用が増加し、地域振興につながることが期待できる。

b) 麦わらの利用

稲わらは米の収穫が終わった11月ごろに大量に収集しなければならない。また、質の良いペレットを製造するため、ある程度天日乾燥させ、乾いた状態で収集する必要がある。そのため天候が良い数日間に一斉に収集を行う必要がある。ゆえに、短期間に大量の労働力や収集重機が必要となり、また保管施設も多く必要なので、農家や製造者にとって大きな負担となっている。そこで本研究では麦わらをペレット原料として一部利用することで負担の軽減を図る。麦わらは稲わらとは違い、8月から9月ごろに発生する。麦わらをペレット原料としてある程度収集し、稲わらの収集時期までにペレット化しておくことで、稲わらの収集量を減らすことができる。これにより、必要な労働力や収集重機、保管施設も少なくて済む。さらに2次的な効果として、ペレット原料を稲わらと麦わらに分散することで、収集時期の天候不順に左右されにくく、ペレット原料を安定的に確保することができる。なお南幌町で実施された「なんぼろ温泉ペレットボイラ性能試験結果」⁸⁾より、麦わらペレットの発熱量は13.81 MJ/kgであり、稲わらペレットと同様に燃焼させることができる。

(4) 検討するケースの設定

本研究では、熱需要規模を拡大した規模1で、稲わらのみ利用する場合を基準ケースとし、これを比較対象とする。次に、麦わら収集の効果検証のために規模1で麦わらを用いた場合を検討する。次に熱需要規模拡大の効果をみるために規模2で、稲わらのみ利用する場合を検討する。最後に基準ケースで重油価格が高騰した場合を検討し、将来的な南幌町の補助軽減の考察を行う。

(5) 事業採算性の評価方法

a) ペレット利用者(表-2)

ペレット利用者は重油とペレットのトータル費用を熱量ベースで比較し、ペレットの費用が重油の費用と同額以下になった時、ペレットを利用するとする。重油のトータル費用とは、燃料の重油の購入費用と、重油ボイラーの減価償却費やメンテナンス費などの重油ボイラー関連費用の合計である。同様にペレットのトータル費用とは、燃料のペレットの購入費用と、ペレットボイラーのメンテナンス費や建屋の減価償却費などのペレットボイラー関連費用の合計である。この時、ペレットの購入費用を「ペレット購入費用」と定義する。なお、ペレット

表-2 ペレット利用者の収支計算条件

ペレット利用者	項目	記号	値	単位	備考、参考文献
ペレット・重油発熱量	稲わら	Ca_{rice}	13.00	MJ/kg	6)
	麦わら	Ca_{wheat}	13.81	MJ/kg	9)
	木質	Ca_{wood}	15.37	MJ/kg	9)
	重油発熱量	Ca_{oil}	37.1	MJ/L	9)
各設備購入費	ペレットボイラー&配管	$C_{pellet boiler}$	49,320,000	円/台	9)
	重油ボイラー	$C_{oil boiler}$	7,000,000	円/台	9)
	その他ペレット関連設備	$C_{others burning}$	4,070,000	円	9)
	ペレットボイラー&サイロ購入補助率	$S_{pellet boiler}$	100	%	仮定
ボイラー性能効率	ペレットボイラー性能	$Pe_{pellet boiler}$	1465	MJ/h/台	9)
	ペレットボイラー熱効率	$Ef_{pellet boiler}$	85	%	9)
	重油ボイラー性能	$Pe_{oil boiler}$	2722	MJ/h/台	9)
	重油ボイラー熱効率	$Ef_{oil boiler}$	85	%	仮定
耐用年数	ペレットボイラー&配管	$Li_{pellet boiler}$	15	年	9)
	重油ボイラー	$Li_{oil boiler}$	10	年	10)
	その他ペレット関連設備	$Li_{others burning}$	15	年	3)
各設備メンテナンス費	ペレットボイラー&配管	$C'_{pellet boiler}$	500,000	円/台	3)
	重油ボイラー	$C'_{oil boiler}$	150,000	円/台	9)
灰の発生割合	稲わら	$Q_{rice ash}$	0.1489		9)
	麦わら	$Q_{wheat ash}$	0.0652		9)
	木質	$Q_{wood ash}$	0.0021		9)
	灰の融雪剤としての販売価格	In_{ash}	6	円/kg	9)
各ボイラー使用条件	温泉年間重油使用量	$Q_{oil burning}$	400,000	L	9)
	温水プール年間重油使用量	$Q'_{oil burning}$	48,000	L	9)
	重油購入価格	C_{oil}	70.5	円/L	9)
ペレット使用割合	稲わら	$R_{rice burning}$	50	%	麦わらを利用する場合は40% 仮定
	麦わら	$R_{wheat burning}$	0	%	麦わらを利用する場合は10% 仮定
	木質	$R_{wood burning}$	50	%	仮定

ボイラー本体はグリーンニューディール基金事業の助成を受け、購入の際100%の補助を受けたと想定して試算を行った。また、重油ボイラー及びペレットボイラーの運転に関する人件費は、他の業務と兼用のため専任は必要無いとの理由から、ゼロと想定した。さらに、南幌町の総合計画において、温水プールの建設が計画されているが、具体的な計画内容は決まっていないため、南幌町の隣町である由仁町の温水プールを参考にした。

b) ペレット製造者（表-3）

製造者は、利用者の「ペレット購入費用」と同額でペレットを販売するとする。これを「ペレット販売価格」と定義する。このペレット販売価格からロール保管費用・ペレット製造費用・ペレット運搬費用・製造者の利益を差し引き、稲わら・麦わら購入に充てられる稲わら購入価格を算出する。

c) 農家（表-4）

農家は稲わらの収集費用・ロール運搬費用を算出し、この合計額で稲わらを製造者に販売するとする。これを

「農家販売価格」と定義する。なお、稲わらの収集、運搬に必要な重機のメンテナンス費は、実質的にかからないと想定した⁹⁾。

表-3 ペレット製造者の収支計算条件

ペレット製造者	項目	記号	値	単位	備考、参考文献
設備購入費					
	ビニールハウス	C _{plastic greenh}	1,500,000	円/棟	9)
	破砕機	C _{crusher}	500,000	円/台	9)
	ペレタイザー	C _{pelletizer}	11,830,000	円/台	9)
	袋詰機	C _{wrapping}	1,820,000	円/台	9)
	ロール解体機	C _{roll}	500,000	円/台	9)
	その他ペレット関連設備	C _{others manu}	4,550,000	円	9)
	2tダンプトラック	C _{truck}	1,500,000	円/台	仮定
	製造機械一式購入補助率	S _{pelletizer}	100	%	仮定
設備性能					
	必要保管用地	L _{keeping}	0.72	m ² /ロール	9)
	ビニールハウス保管可能量	Q _{plastic greenh}	150	ロール/棟	9)
	破砕機性能	Pe _{crusher}	5400	kg/h	9)
	ペレタイザー性能	Pe _{pelletizer}	200	kg/h	9)
	ペレタイザー非製品化率	L _{pelletizer}	20	%	9)
	袋詰機性能	Pe _{wrapping}	4000	kg/h	9)
	ロール解体機性能	Pe _{roll}	200	kg/h	最低限の性能として仮定
	手作業でロールを解体する時の効率	Pe _{manual}	40	kg/h	9)
	各機械稼働可能時間	T _{manufacture}	8	h/日	9)
	各機械稼働可能日数	Day _{manufactu}	260	日/年	9)
耐用年数					
	ビニールハウス	Li _{plastic greenh}	14	年	9)
	破砕機	Li _{crusher}	15	年	3)
	ペレタイザー	Li _{pelletizer}	15	年	3)
	袋詰機	Li _{wrapping}	15	年	3)
	ロール解体機	Li _{roll}	15	年	仮定
	その他ペレット関連設備	Li _{others manu}	15	年	3)
	2tダンプトラック	Li _{truck}	4	年	11)
メンテナンス費					
	ビニールハウス	C' _{plastic greenh}	0	円/棟	9)
	破砕機	C' _{crusher}	150,000	円/台	9)
	ペレタイザー	C' _{pelletizer}	150,000	円/台	9)
	袋詰機	C' _{wrapping}	0	円/台	9)
	ロール解体機	C' _{roll}	100,000	円/台	仮定
	その他ペレット関連設備	C' _{others manu}	0	円	9)
	2tダンプトラック	C' _{truck}	80,000	円/台	仮定
諸経費					
	保管人件費	P _{keeping}	0	円/kg	9)
	保管用地費用	C _{keeping}	0	円/m ²	無償と仮定
	製造人件費	P _{manufacture}	6.3	円/kg	ロール解体機を用いた時、日給10000円 8ロール と仮定
	ペレット運搬人件費	P _{pellet transpor}	0.8	円/kg	時給1000円、作業時間含め1往復30分、600kg運搬と仮定
	ペレット運搬燃料費	F _{pellet transpor}	0.15	円/kg	参考文献3)の1.5円/kg(20km)を用いて、温泉までの往復距離を2kmと設定
既存設備					
	ビニールハウス	E _{plastic greenh}	2	棟	9)
	破砕機	E _{crusher}	1	台	9)
	ペレタイザー	E _{pelletizer}	1	台	9)
	袋詰機	E _{wrapping}	1	台	9)
	ロール解体機	E _{roll}	0	台	9)
	その他ペレット関連設備	E _{others manu}	1	式	9)
	2tダンプトラック	E _{2t truck}	1	台	仮定
利益率	製造者粗利益率	Pr _{manufacture}	20	%	3)

表-4 農家の収支計算条件

農家	項目	記号	値	単位	備考、参考文献
重機購入・レンタル費	トラクター	$C_{tractor}$	10,000,000	円/台	9)
	テッダーレーキ	$C_{tedder\ rake}$	981,750	円/台	9)
	ロールベアラー	$C_{roll\ baler}$	7,000,000	円/台	9)
	10tダンプトラックレンタル費用	$C_{10t\ truck}$	50,000	円/8h	ドライバー付 燃料費込み 仮定
	フロントローダー	$C_{front\ loader}$	1,250,000	円/台	9)
収集効率	1ロール当たりの重さ	W_{roll}	200	kg/ロール	3)
	収集可能量	Q_{gather}	4,000	kg/ha	収集によるロスを考慮した値 3)
重機作業効率	トラクター	$T_{tractor}$	200	分/ha	3)
	ロールベアラー	$T_{roll\ baler}$	100	分/ha	3)
	フロントローダー	$T_{front\ loader}$	6	分/ロール	ロールの積み下ろしにかかる時間 仮定
	10tダンプトラック	$T_{10t\ truck}$	0.7	分/ロール	往復20分 30ロールを積載 仮定
耐用年数	トラクター	$L_{tractor}$	7	年	9)
	テッダーレーキ	$L_{tedder\ rake}$	7	年	9)
	ロールベアラー	$L_{roll\ baler}$	7	年	9)
	フロントローダー	$L_{front\ loader}$	4	年	11)
諸経費	収集人件費	P_{gather}	8.89	円/kg	燃料費込み 3)
	フロントローダー人件費	$P_{front\ loader}$	0.81	円/kg	日給13000円 燃料費込み 作業時間6分/ロールと仮定

表-5 ペレット利用者のペレット購入価格の試算結果

項目	記号	重油70.5円/L		麦わら利用		単位	数式、備考
		温泉	温水ブール	温泉	温泉		
1. 重油ボイラーを用いる場合							
新規重油ボイラー台数	C_9	1	1	1	1	台	
重油使用量	C_{10}	133,333	24,000	133,333	133,333	L/年	温泉 $Q_{oil\ burning}/3$ 温水ブール $Q'_{oil\ burning}/2$
ボイラーメンテナンス等の諸費用	C_{11}	850,000	850,000	850,000	850,000	円/年	$C_{oil\ boiler}*C_9+C_{oil\ boiler}/L_{oil\ boiler}*C_9$
重油1L当たりの諸費用	C_{12}	6.4	35.4	6.4	6.4	円/L	C_{11}/C_{10}
重油購入価格	C_{oil}	70.5	70.5	70.5	83	円/L	C_{oil}
1L当たりの重油トータル費用	C_{13}	76.9	105.9	76.9	89.4	円/L	$C_{12}+C_{oil}$
熱量当たりの重油トータル費用	C_{14}	2.07	2.85	2.07	2.41	円/MJ	C_{13}/C_{oil}
2. ペレットボイラーを用いる場合							
①重油と同等の熱量をペレットで代替する場合のトータル費用の算出							
ペレットで代替する熱量	C_5	4,204,667	756,840	4,204,667	4,204,667	MJ/年	温泉 $C_{10}*C_{a_{oil}}*Ef_{oil\ boiler}/100$
(木質・稲わら・麦わら混合)ペレット発熱量	C_4	14.2	14.2	14.3	14.2	MJ/kg	温水ブール $C_{10}*C_{a_{oil}}*Ef_{oil\ boiler}/100$
							$C_{a_{rice}}*R_{rice\ burning}/100+C_{a_{wheat}}*R_{wheat\ burning}/100$
							$+C_{a_{wood}}*R_{wood\ burning}/100$
ペレット使用量	C_{20}	348,725	62,771	346,745	348,725	kg/年	$C_5/C_4*100/Ef_{pellet\ boiler}$
内訳							
稲わらペレット	C_{21}	174,363	31,385	138,698	174,363	kg/年	$C_{20}*R_{rice\ burning}/100$
麦わらペレット	C_{22}	0	0	34675	0	kg/年	$C_{20}*R_{wheat\ burning}/100$
木質ペレット	C_{23}	174,363	31,385	173,373	174,363	kg/年	$C_{20}*R_{wood\ burning}/100$
ペレット重量当たりのトータル費用 (=②+③)	C_{24}	29.4	40.5	29.6	34.2	円/kg	$C_{14}*C_4$
②ペレットボイラーの諸経費							
新規購入数							
ペレットボイラー&配管	C_{18}	1	1	1	1	台	
その他ペレット関連設備	C_{19}	1	1	1	1	式	
ペレット年間諸経費	C_{25}	771,333	771,333	771,333	771,333	円/年	$-In_{ash}*(Q_{rice\ ash}*C_{21}+Q_{wheat\ ash}*C_{22}+Q_{wood\ ash}*C_{23})$
							$+C_{pellet\ boiler}/L_{pellet\ boiler}*(100-S_{pellet\ boiler})/100*C_{18}+C_{pellet\ boiler}*C_{16}$
							$+C_{others\ burning}/L_{others\ burning}*C_{19}+C_{others\ burning}*C_{17}$
重量当たりのペレット諸経費	C_{26}	2.2	12.3	2.2	2.2	円/kg	C_{25}/C_{20}
③重油使用と同額となるペレット購入価格							
ペレット購入価格(=①-②)	C_{27}	27.2	28.2	27.3	32.0	円/kg	$C_{24}-C_{26}$

表-6 ペレット製造者の稲わら購入価格の試算結果

項目	記号	基準	麦わら利用	規模2	重油83円/L	単位	数式、備考
1. 保管							
稲わら購入量	B ₁	217,953	173,373	257,185	217,953	kg/年	$C_{21}/(1-L_{pelletizer}/100)$
麦わら購入量	B ₂	0	43,343	0	0	kg/年	$C_{22}/(1-L_{pelletizer}/100)$
稲わらロール数	B ₄	1090	867	1286	1,090	ロール	B_1/W_{roll}
麦わらロール数	B ₅	0	217	0	0	ロール	B_2/W_{roll}
ビニールハウス必要数	B ₆	8	6	9	8	棟	麦わらよりも稲わらの方が多いため、稲わらの保管に必要な数を求める $ROUNDUP(B_4/Q_{plastic\ greenhouse}/0)$
新規ビニールハウス数	B ₇	6	4	7	6	棟	$B_6-E_{plastic\ greenhouse}$
稲わら・麦わら保管諸費用	B ₃₁	642,857	428,571	750,000	642,857	円/年	$P_{leasing}*(Q_{rice\ leasing}+Q_{wheat\ leasing})+C_{lease}*(L_{leasing}*(B_4+B_2)+C_{plastic\ greenhouse}*B_7/L_{plastic\ greenhouse}+E_{plastic\ greenhouse}*C_{plastic\ greenhouse})$
ペレット1kg当たりの稲わら・麦わら保管諸費用	B ₃₂	3.7	2.5	3.6	3.7	円/(ペレット)kg	$B_{31}/(B_4+B_2)/(1-L_{pelletizer}/100)$
2. ペレット製造							
必要設備数							
ロール解体機	B ₂₂	1	1	1	1	台	$B_{21}-E_{roll}$
破砕機	B ₁₉	1	1	1	1	台	$B_{18}-E_{crusher}$
ペレタイザ	B ₂₀	1	1	1	1	台	$B_{20}-E_{pelletizer}$
袋詰機	B ₂₁	1	1	1	1	台	$B_{21}-E_{packing}$
その他ペレット関連設備	B ₂₃	1	1	1	1	式	$B_{23}-E_{others\ manufacture}$
新規購入数							
ロール解体機	B ₂₇	1	1	1	1	台	$B_{27}-E_{roll}$
破砕機	B ₂₄	0	0	0	0	台	$B_{24}-E_{crusher}$
ペレタイザ	B ₂₅	0	0	0	0	台	$B_{25}-E_{pelletizer}$
袋詰機	B ₂₆	0	0	0	0	台	$B_{26}-E_{packing}$
その他ペレット関連設備	B ₂₈	0	0	0	0	式	$B_{28}-E_{others\ manufacture}$
稲わら・麦わらペレット製造諸費用	B ₃₃	1,489,766	1,483,579	1,685,924	1,489,766	円/年	$P_{manufacture}*(C_{21}+C_{22})+(C_{crusher}*E_{crusher}+C_{pelletizer}*E_{pelletizer}+C_{roll}*B_{22})+(C_{crusher}/L_{crusher}*B_{24}+C_{pelletizer}/L_{pelletizer}*B_{25}+C_{packing}/L_{packing}*B_{26}+C_{roll}/L_{roll}*B_{27}+C_{others\ manufacture}/L_{others\ manufacture}*B_{28})*(100-S_{pelletizer})/100$
ペレット重量当たりの製造諸費用	B ₃₄	8.5	8.6	8.2	8.5	円/kg	$B_{33}/(C_{21}+C_{22})$
3. 運搬							
2tダンブトラック必要数	B ₈	1	1	1	1	台	$B_8-E_{2t\ truck}$
新規購入2tダンブトラック数	B ₉	0	0	0	0	台	$B_8-E_{2t\ truck}$
稲わら・麦わらペレット運搬諸費用	B ₃₅	251,457	250,483	282,319	251,457	円/年	$(P_{pellet\ transport}+F_{pellet\ transport})*(C_{21}+C_{22})+C_{truck}*B_9+C_{2t\ truck}*B_8$
稲わら・麦わらペレット運搬諸費用	B ₃₆	1.4	1.4	1.4	1.4	円/kg	$B_{35}/(C_{21}+C_{22})$
4. 稲わら・麦わら購入価格の試算							
稲わら・麦わらペレット 保管・製造・運搬費用	B ₃₇	13.7	12.5	13.2	13.7	円/kg	$B_{32}+B_{34}+B_{36}$
ペレット販売価格	B ₃₈	27.2	27.3	27.3	32.0	円/kg	$C_{27}*(C_{21}+C_{22}+C_{23})$
ペレット販売価格総計	B ₃₉	9,478,667	9,478,667	11,249,333	11,145,333		
熱量案分した場合の							
稲わら・麦わらペレット販売価格	B ₄₃	24.9	25.2	25.1	29.3	円/kg	
木質ペレット販売価格	B ₄₄	29.5	29.5	29.6	34.6	円/kg	
製造者の利益	B ₄₅	4.2	4.2	4.2	4.9	円/kg	$B_{43}-B_{44}/(100+Pr_{manufacture})*100$
稲わら・麦わら購入価格	B ₄₇	8.9	10.7	9.6	13.4	円/(稲わら・麦わら)kg	$(B_{43}-B_{44}-B_{45})/(1-L_{pelletizer}/100)$

表-7 農家の稲わら販売価格の試算結果

項目	記号	基準	麦わら利用	規模2	単位	数式、備考
1. 収集						
稲わら収集面積	A ₁	54.5	43.3	64.3	ha	B_1/Q_{gather}
各重機の稲わら収集作業総時間						
トラクター	A ₄	182	144	214	h	$A_1*T_{tractor}/60$
ロールベアー	A ₅	91	72	107	h	$A_1*T_{roll\ baler}/60$
必要収集重機台数						稲わらの方が多いため、稲わら収集に必要な台数を求める 2日で収集と仮定(8h*2日)
収集時間	A ₆	16	16	16	h	$ROUNDUP(A_4/A_6)$
トラクター	A ₇	12	10	14	台	トラクターと同数
テッターレーキ	A ₈	12	10	14	台	$ROUNDUP(A_5/A_6)$
ロールベアー	A ₉	6	5	7	台	
新規購入台数						
トラクター	A ₁₀	0	0	0	台	必要収集重機台数は確保可能
テッターレーキ	A ₁₁	0	0	0	台	必要収集重機台数は確保可能
ロールベアー	A ₁₂	0	0	0	台	必要収集重機台数は確保可能
収集人件費	P _{gather}	8.89	8.89	8.89	円/kg	
稲わら・麦わら収集諸費用	A ₂₀	1,937,604	1,926,603	2,286,373	円/年	$P_{gather}*(Q_{rice\ gather}+Q_{wheat\ gather})$
2. 運搬						
各重機の稲わら・麦わら運搬作業総時間						
フロントローダー・10tダンブトラック	A ₁₃	121.1	120.4	142.9	h	$(B_4+B_5)/60*(T_{front\ loader}+T_{10t\ truck})$
必要運搬重機台数						1日1台10tダンブトラックをレンタルし、同時にフロントローダーが2台(荷上場と荷下ろし場)必要になると仮定
フロントローダー	A ₁₄	2	2	2	台	
10tダンブトラック	A ₁₅	1	1	1	台	
レンタル台数						
フロントローダー	A ₁₆	0	0	0	台	必要収集重機台数は確保可能
10tダンブトラック	A ₁₇	1	1	1	台	
レンタル日数						
10tダンブトラック	A ₁₉	16	16	18	日	$ROUNDUP(A_{13}/8/A_{17},0)$
稲わら・麦わら運搬諸費用	A ₂₂	977,087	976,082	1,108,963	円/年	$P_{front\ loader}*(B_1+B_2)+C_{10t\ truck}*A_{15}*A_{19}$
重量当たりの稲わら・麦わら運搬諸費用	A ₂₃	4.5	4.5	4.3	円/kg	$A_{22}/(B_1+B_2)$
3. 収集・運搬費用合計						
稲わら・麦わら	A ₂₄	13.4	13.4	13.2	円/kg	$P_{gather}+A_{23}$
稲わら・麦わらロール	A ₂₅	2675	2679	2640	円/ロール	

(5) 結果と考察

a) 事業採算性試算結果

各主体の試算結果の詳細を表-5、表-6、表-7に示すと共に、事業採算性試算のまとめの結果を図-2に示す。

b) 基準ケース（図-2の規模1の稲わらのみ）

重油と熱量相当で同等の価格でペレットを温泉が購入するとして算出されたペレット購入費（26.7円/kg-稲わら:比較のためペレット重量当たりではなく、原料の稲わら重量当たりで示している）から、保管費用・製造費用・運搬費用と利益の必要経費を差し引いた稲わら購入価格（8.9円/kg-稲わら）が、収集・運搬経費を計上した農家販売価格（13.4円/kg-稲わら）を下回ったので、事業として成立しない。規模を年間24 tから218 tに拡大しても、既存ペレタイザーの製造能力（年間約500 tのペレット生産可能なので、費製品化率20%を考慮すると625 tの稲わらのペレットが可能）には達していないため、相対的に製造費が高いのが一因であると考えられた。

c) 麦わらの利用（図-2の規模1の稲わら+麦わら）

稲わら購入価格（10.7円/kg-稲わら）が農家販売価格（13.4円/kg-稲わら）を下回っているので事業は成立しないが、基準ケースよりも事業採算性は向上した。事業採算性が向上した主な要因は、表-6に示すように麦わらの利用によってビニールハウスの必要数が減り、保管費用が大きく削減されたことである。また、麦わらペレットの発熱量が、稲わらペレットよりも大きいので、ペレット全体の発熱量が向上したことから、ペレット販売価格が26.7円/kg-稲わらから27.4円/kg-稲わらへ増加（表-6も参照）したこともその理由として挙げられる。

d) 規模2と規模1の比較（図-2）

規模2の稲わらのみでは、稲わら購入価格（9.6円/kg-稲わら）は農家販売価格（13.2円/kg-稲わら）を下回っているので事業は成立しないが、基準ケースより事業採算性は向上した。これは製造量が増えたことから、製造費単価が削減できたのが要因である。これより、既存ペレタイザーの製造能力にまで増産することが、事業成立には少なくとも必要である。

e) 南幌町補助によるコントラクター事業

次に、事業成立のために南幌町から、差額分の補助を受けたとする。この場合、表-8に示す通り、規模1の場合で98万円、規模2の場合で93万円の補助が必要である。その結果、年間290～340万円規模のコントラクター事業を展開することができることを示した。シルバー人材の活用など、町の他の政策との連携によって事業化できる可能性がある。

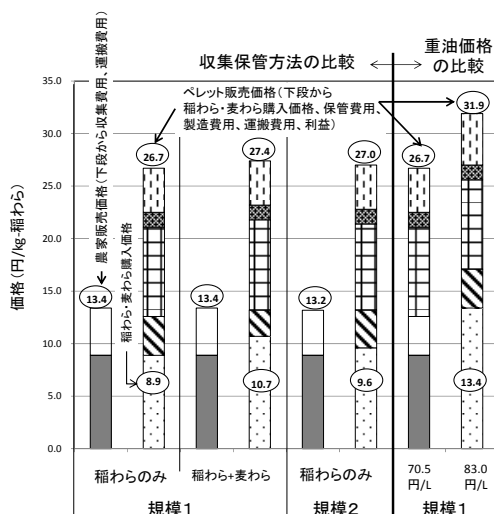


図-2 事業採算性試算結果

表-8 コントラクター事業試算結果

	規模1	規模2
事業成立のための南幌町の補助額	4.5円/kg × 218 × 10 ³ kg = 98万円/年	3.6円/kg × 257 × 10 ³ kg = 93万円/年
コントラクター事業の雇用創出効果	13.4円/kg × 218 × 10 ³ kg = 292万円/年	13.2円/kg × 257 × 10 ³ kg = 339万円/年

d) 重油価格高騰と事業成立可能性

ペレットは長年に渡り、化石燃料との価格競争にさらされてきた。しかし化石燃料は限りある資源である。既存の温泉施設では重油を70.5円/Lで購入しているが、将来的には重油の価格が高騰すると想定される。そこで事業が成立する重油価格を求めるため、規模1の熱需要規模で試算を行った。

その結果、図-2に示すように、重油価格が83.0円/Lまで高騰すると、ペレット販売価格の値上げ（31.9円/kg）が可能となり、稲わら購入価格も、13.4円/kg-稲わらまで値上げできる。一方、農家販売価格は重油価格高騰前の13.4円/kg-稲わらと変わらないと想定した（本来は、稲わらの収集・運搬に必要な燃料費も高騰することを考慮しなくてはならない）。よって、重油価格が83.0円/Lまで高騰した時、稲わら購入価格と農家販売価格が等しくなることが分かる。よって今後、重油価格が高騰すると、南幌町の補助なしで事業が成立する可能性がある。

今後は、さらなる稲わらペレットの需要調査に基づくさらなる規模拡大の解析を行う必要があること、そして重油価格高騰に伴う、稲わら収集・運搬費用の影響やペレット製造等にも及ぼす影響を考慮しなくてはならない。

4. 結論

- 今回想定した熱需要規模の拡大だけでは、事業成立は困難であることを示すと共に、事業成立のため

めに必要な補助金額として93万円～98万円必要であることを示すことができた。

- 収集保管システムの改善として麦わらを利用すると事業採算性が向上することを示した。つまり、収集・保管時期をずらすことにより、特に保管にかかる経費を削減できることを示した。
- 収集保管システムを南幌町補助下でのコントラクター事業を展開した場合の事業規模を示すことができた。シルバー人材の活用など、町の他の政策との連携によって事業化できる可能性があることを示唆した。
- 将来重油価格が高騰すると、南幌町の補助なしで事業が成立する可能性があることを示した。

謝辞：南幌町の担当者や公教資材（株）様、農家の皆様など、ヒアリング調査等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
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23年度）

<http://www.env.go.jp/recycle/report/h24-01/>

- 3) 北海道南幌町：南幌町稲わら・穀殻・麦わらの有効利用の具体化検討調査, 2009
- 4) 農林水産省：水稻栽培指針
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
http://www.beibaku.net/rice/2012/manual/rice/rice_06.pdf
- 6) 友川悠：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.81-87, 2012.
- 7) 南幌町：新エネルギー導入に関するアンケート調査結果のまとめ, 2009
- 8) 南幌町：なんぼろ温泉ペレットボイラ性能試験結果, 2013
- 9) 北海道南幌町ヒアリング結果
- 10) 森のエネルギー研究所：木質バイオマスボイラー導入指針
<http://www.mori-energy.jp/>
- 11) 東京都主税局ホームページ
http://www.tax.metro.tokyo.jp/shisan/info/taiyo_nensu.htm

(2014. 7. 11 受付)

FINANCIAL FEASIBILITY STUDY FOR PROMOTION OF A HEAT UTILIZATION SYSTEM USING RICE STRAW PELLETS - FOCUS ON THE HEATING ENERGY DEMAND CAPACITY AND THE COLLECTION AND STORAGE METHOD -

Shogo HARIYA, Toru FURUICHI, Kazuei ISHII and Atsushi FUJIYAMA

Application of rice straw to soils might cause methane emissions and inhibit the growth of rice. Nanporo town is the first case, where a heat utilization system using rice straw pellets were developed. However, it is unprofitable because the heating energy demand capacity is limited and effort and costs to collect and storage is needed because rice straw has to be collected for a period of time in November. In this study focusing on Nanporo town, we estimated financial feasibility for this system when the heating energy demand capacity is expanded and the collection and storage method is improved. As a result, financial feasibility will be improved by using wheat straw pellets, which can be collected in summer, because storage costs are reduced. Contractor business supported by Nanporo town can create jobs. In addition, we estimated financial feasibility will be improved without support from Nanporo town, when the oil prices increase in future.