

調査研究成績（平成 21 年度）

担 当 機 関	(独) 農研機構 生物系特定産業技術研究支援センター 生産システム研究部 乾燥調製システム研究単位
実 施 期 間	2009 年 6 月～12 月
大 課 題 名	
課 題 名	もみがら熱風発生装置を用いた小麦と米の乾燥試験
目 的	未利用資源であるもみがらの燃焼熱を利用し、共同乾燥施設の熱源として利用するための基礎的データを収集することを目的とする。
担 当 研 究 者	日高靖之、野田崇啓、横江未央

1. 試験場所

乾燥試験：JA レーク伊吹 長浜カントリーエレベータ
(滋賀県長浜市加田町 1 6 6 0)

品質検査：(独) 農研機構 生研センター
(埼玉県さいたま市北区日進町 1-40-2)

2. 試験方法

もみがら熱風発生装置を用いた小麦と米の乾燥に関する性能試験として、乾燥エネルギー、能率及び胴割れ等や食味やにおいに関する品質への影響を検証することを目的に実施した。

1) 供試機械名 もみがら熱風発生装置 YMB-60 (図 1)

本年度は、もみがら燃焼炉 (図 2) の籾殻投入口を流動方向に順流するよう前方右上部に再配置するとともにくん炭もみがらの排出を補助する空気エジェクタを取り付けた。



図 1 全体の外観

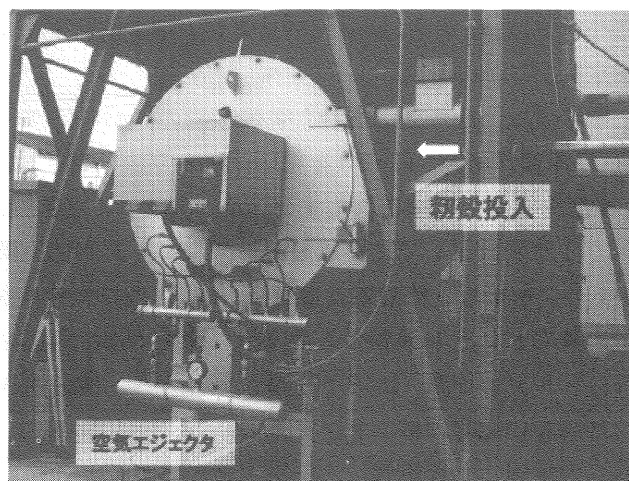


図 2 燃焼炉の外観

2) もみがら燃焼炉基礎試験

もみがら燃焼炉の改良を行ったため、昨年度と同様、着火から定常状態に要する時間および電力と灯油の使用量および定常状態でのもみがら消費量、燃焼炉での熱量を100としたときの各部の熱量割合、くん炭排出量を求めた。

3) 小麦・米乾燥試験

共同乾燥施設に設置の連続式乾燥機を用い、もみがら熱風発生装置による場合と常設の灯油バーナによる場合で小麦と米の乾燥試験を行い、小麦と米の品質と乾燥に要するエネルギーの違い等を比較検討した。なお、米乾燥時の乾燥エネルギーについては平成20年度調査成績で報告しているため、本試験では水分推移と品質試験を中心に行った。試験条件を表1に示す。

表1 乾燥試験条件

試験番号	1	2	3	4
試験日	2009年6月23日	2009年6月25日	2009年9月25日	2009年9月27日
試験区	もみがら 燃焼区	灯油バーナ 燃焼区	もみがら 燃焼区	灯油バーナ 燃焼区
作目	小麦	小麦	米	米
品種	農林61号	農林61号	日本晴れ	日本晴れ
産地	滋賀県長浜市	滋賀県長浜市	滋賀県長浜市	滋賀県長浜市
処理量	30 t	29 t	23 t	24 t
初期水分	14.9 %w.b.	14.6 %w.b.	23.0 %w.b.	24.0 %w.b.

注) 試験番号3と4については貯留ビンで一晩通風した試料を使用

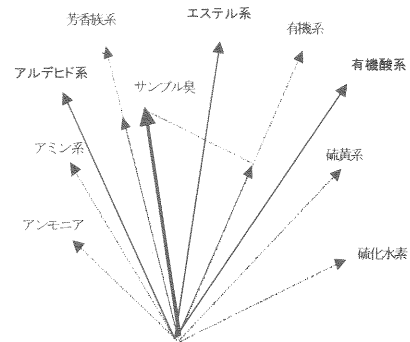


図3 絶対値表現解析の原理

4) 小麦・米品質試験

小麦については、原麦の品質として、容積重（ブラウエル）、水分（炉乾燥法）、灰分（直接灰化法）、たん白質（ケルダール法）を測定した。小麦粉の品質として、製粉試験（ブラベンダテストミル）、水分（炉乾燥法）、たん白質（ケルダール法）、色（カラーグレーダー、反射率）、フォーリングナンバー、アミログラフ、ファリノグラフ、エキソテンソグラフを調査した。なお、本試験については（財）穀物検定協会に依頼した。

米については、発芽率、胴割れ増加率および食味官能試験を行った。食味官能試験は（財）穀物検定協会に依頼した。

また本年度は、昨年懸念された乾燥穀物のおいについても調査を行った。におい識別装置（島津製作所製、FF-2A）を用い、次の方法で測定した。まず、各試験区のサンプル20.0g程度を窒素で充填されたサンプルバック（NS光研製造、容量2l）に封入。30℃の恒温器内で3時間放置して、臭気をサンプルバック内に充満させた後、におい識別装置にて測定した。解析は、絶対値表現解析ソフト（島津製作所製、Asmell2）を用いた。本装置は、予め基準となる9種類の基準ガス（硫化水素、硫黄系、アンモニア、アミン系、有機酸系、アルデヒド系、エステル系、芳香族系、炭化水素系）の検量線ベクトルを求め設定したにおい空間上に、サンプルの測定データをベクトルとして投入し、そのベクトルの長さの情報（強度情報）と基準ガスの検量線との角度の情報（質情報）を用いて、においの強度と質（基準ガスとの類似性）を数値化して表現している。類似度とは基準ガスベクトルとの角度で寄与率は基準ガスベクトルにサンプルガスベクトルを投射したときの基準ガスベクトルの長さをさす。（図3）

3. 試験結果

- 1) もみがら燃焼炉は着火から3時間後には炉内温度が約700℃で安定し始め、定常状態(バーナが不要の状態)となった。この間電力40kwhと灯油46Lを消費した。定常状態以降は灯油を全く消費せず、1時間当り約15kwの電力のみ消費した。くん炭発生率は昨年と同様約20%であった。
- 2) 小麦の乾燥試験の結果を表2に示す。乾燥中の熱風温度は49.2~53.7℃で外気からの上昇温度も22.6~26.2℃であり、全試験区において異常な温度上昇など無く適切な熱風温度であった。乾減率は、もみがら燃焼区で0.49%/h、灯油バーナ燃焼区で0.60%/hであった。もみがら燃焼区は熱風温度が灯油バーナ区よりも約3℃低かったため乾減率が若干遅くなったが、実用上問題なく作業することができた。なお、使用したもみがらの水分は13.9% w. b. であった。除水量1kg当たりの乾燥エネルギーは、灯油バーナ燃焼区が10.8MJ/kgであり、もみがら燃焼区は1.06MJ/kgであった。もみがら燃焼区は灯油バーナ燃焼区に比して電力消費量が若干多いものの乾燥中の灯油消費が無いため、除水量1kg当たりの乾燥エネルギーが約90%低減できた。また、CO₂排出量は灯油バーナ燃焼区に比して約85%低減できた。
- 3) 表3に小麦および小麦粉品質試験結果を示す。原小麦の成分品質は差が認められなかった。小麦粉についても、製粉歩留まりおよび成分についてほとんど差が認められなかった。小麦粉の粘弾性から α アミラーゼ活性を測定するアミログラムやフォーリングナンバーにおいても両試験区に差がないと判断された。小麦粉生地の物理性であるファリノグラム、エキソテンソグラムで若干の差異が認められたが、一般的に本指標は装置による差や複雑な小麦粉生地の物理性を限られた条件下で測定していることを考慮すると特筆すべき差でないことが考慮された。以上の結果よりもみがら本熱風発生装置を使った乾燥で小麦および小麦粉の品質低下は認められなかった。
- 4) 米乾燥中の水分推移を図4に示す。乾燥開始水分が、もみがら燃焼区17.0%w. b.、灯油バーナ区16.1%w. b.と低水分であったが順調に仕上げ乾燥が行えた。テンパリング時間を差し引いた乾燥時間は、もみがら燃焼区が5.45h、灯油バーナ区が3.25hであり、推定乾減率のもみがら燃焼区が0.44%/h、灯油バーナ区が0.46%/hとなり同等の性能であったことが推察された。米乾燥に関する乾燥エネルギー等については平成20年度調査で報告したところであるが、熱風温度等の乾燥条件やもみがら使用量、灯油使用料から推測して、今回の米乾燥においても同様の乾燥エネルギー、乾燥コスト及びCO₂排出量削減効果は充分期待できるものと推察された。
- 6) 胴割れ増加率と発芽率の測定結果を表4に示す。もみがら燃焼区は灯油バーナ燃焼区に比較しても胴割れが増大することなく、また発芽率が低下すること無く乾燥することができた。食味官能試験結果を図5に示す。もみがら燃焼区の方が、味、香り、総合評価が高くなる傾向になった。平成20年度の調査報告ではもみがら燃焼区と灯油バーナ区で総合評価に有意差がなかったため今回の試験だけで良食味になるという判断はできないが、本装置を用いたも乾燥を行っても、食味が低下することはないことが確認された。
- 7) 図6から図8に小麦の、図9から図11に米(粳)のにおい分析結果を示す。もみがら燃焼区と灯油バーナ燃焼区で乾燥した小麦、米(粳)のにおいには差異は検出されなかった。また、我々や現地検査員の官能評価からも差異を確認することができなかった。

4. 主要成果の具体的データ

表2 小麦乾燥試験の結果

試 験 番 号				1	2
試 験 区				もみがら燃焼区	灯油バーナ燃焼区
原料状態	質 量	乾 前	t	30.1	29.5
		乾 後		28.8	28.4
	水 分	乾 前	%w.b.	14.9	14.6
		乾 後		11.2	11.4
除 水 量			kg	1254	1064
外気状態	温 度		°C	26.62	26.59
	湿 度		%RH	63.41	63.00
乾燥機状態	熱 風 温 度		°C	49.24	52.74
	外気からの上昇温度		°C	22.62	26.15
	風 量		m ³ /s	20.00	19.83
	穀物風量比		m ³ /s/t	0.66	0.67
	灯油消費量		L	0	315
	電力消費量		kWh	368	191
乾減率	乾 燥 時 間		h	7.50	5.33
	乾 減 率		%/h	0.49	0.60
エネルギー	乾 燥 エ ネ ル ギ		MJ	1325	11538
	除水量1kg当たり 乾 燥 エ ネ ル ギ		MJ/kg-H ₂ O	1.06	10.8
乾燥コスト	灯 油 コ ス ト		円	0	19709
	電 力 コ ス ト		円	7362	3822
	総 コ ス ト		円	7362	23531
	乾燥原料1t当たり コ ス ト		円/t	255	829
	コ ス ト 比 率		%	30.8	100
CO ₂ 排出	CO ₂ 排 出 量		kg-CO ₂	135	853
	乾燥原料1t当たり CO ₂ 排 出 量		kg-CO ₂ /t	4.7	30.0
	CO ₂ 排 出 量 比 率		%	15.5	100

注1) 灯油の価格は1,128円/18L(滋賀県、平成21年6月)で計算した。

注2) 電力の価格は20円/kWhで計算した。

注3) CO₂排出係数は、灯油2.49kg/L(環境省・経済産業省「温室効果ガス排出算定・報告マニュアルVer2.3参照)、電力0.366kg/kWh(平成20年12月19日環境省報道発表資料より関西電力の値を参照)とした。

表3 小麦および小麦粉の品質試験結果

			もみがら燃焼区	灯油燃焼区	
原麦	容積重	g/ l	820	838	
	水分	%	11.8	11.9	
	たんぱく質(13.5%水分ベース)	%	8.8	9.3	
	灰分(13.5%水分ベース)	%	1.7	1.7	
製粉	テストミル製粉歩留	%	63.4	66.1	
小麦粉 60%粉	水分	%	14.4	14.1	
	たんぱく質	%	7.6	8.1	
	灰分	%	0.4	0.4	
	フォーリングナンバー ⁴⁾ (13.5%水分ベース)	%	359	365	
	色	反射率:554nm ¹⁾	%R	68.0	57.4
		反射率:455nm ²⁾	%R	53.9	46.3
		C.G.V. ³⁾	—	-1.85	-2.37
	アミログラム ⁵⁾	糊化開始温度	°C	58.0	56.5
		最高粘度時温度	°C	89.5	89.5
		最高粘度	B.U.	850	850
	ファリノグラム ⁶⁾	吸水率	%	54.7	55.7
		生地形成時間(DT)	min	1.7	2.9
		バリロメーターバリュー	W	44	50
		弱化度(Wk)	B.U.	80	70
エキステンソグラム ⁷⁾	面積(A)	cm ²	84	91	
	抗張力(R)	B.U.	495	425	
	伸長度(E)	mm	119	147	
	形状係数(R/E)	—	4.16	2.89	

1) 反射率554nm: 粉の明るさ

2) 反射率455nm: 粉の白さ

3) C. G. V.: カラーグレーダー値。ケント・ジョーンズ・マーチン社製フラワーカラーグレーダーで測定。値が小さいほど色がきれい。

4) フォーリングナンバー: 小麦粉の粘弾性を測定。スエーデン製

5) アミログラム: 小麦粉の粘弾性を測定。ブラベンダー社製

6) ファリノグラム: 製パンのミキシング中の生地の挙動や性質を解析。ブラベンダー社製

7) エキステンソグラム: 生地の「あし」や「こし」の強さとバランスを読み取る。ブラベンダー社製

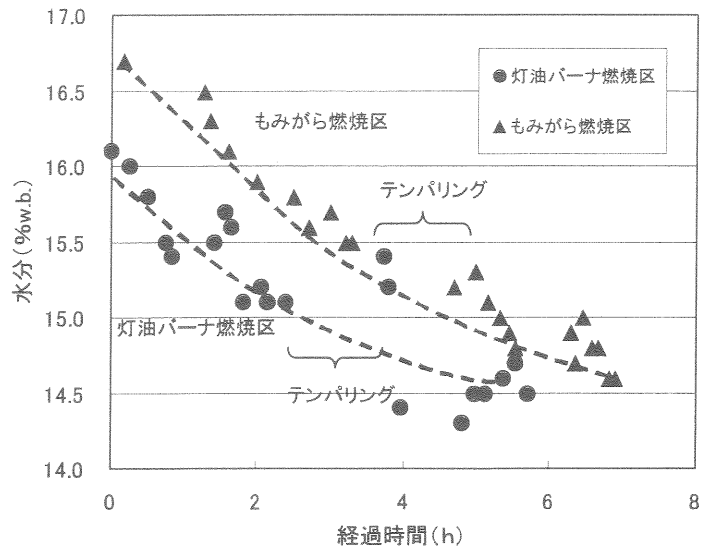


図4 米乾燥時の乾燥曲線

表4 米の胴割れ増加率と発芽率の結果

	胴割れ増加率 (%)	発芽率 (%)
もみがら燃焼区	0.0	99.8
灯油バーナ燃焼区	0.2	98.8

発芽率:t検定の結果、両試験区における有意差なし。

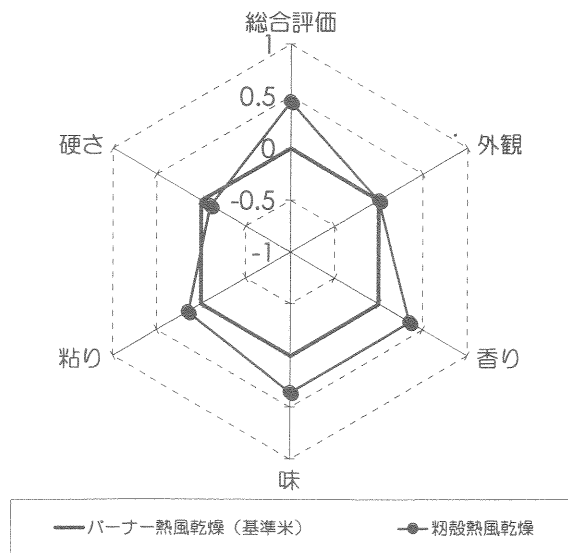


図5 米の食味官能試験結果

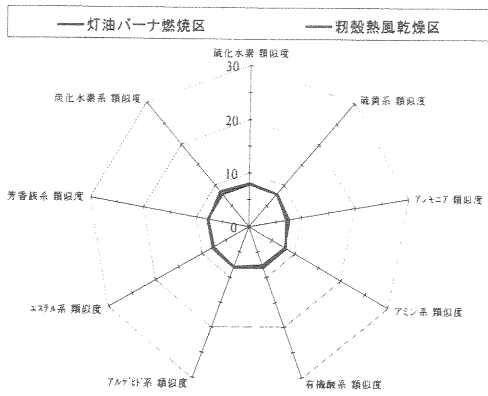


図6 小麦-類似度試験結果

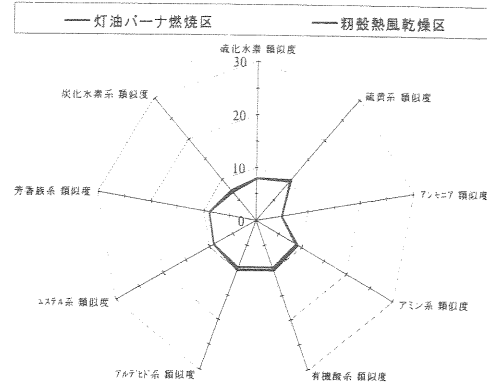


図9 米(籾)-類似度試験結果

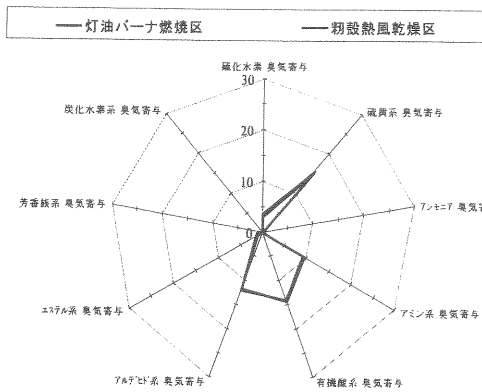


図7 小麦-臭気寄与試験結果

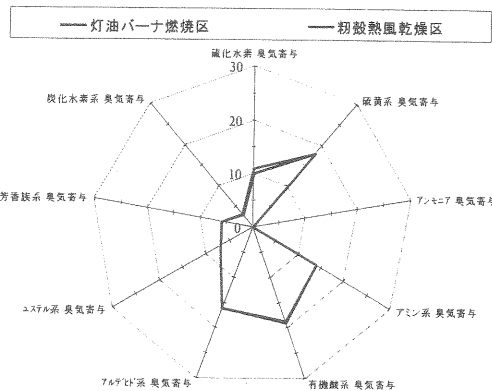


図10 米(籾)-臭気寄与試験結果

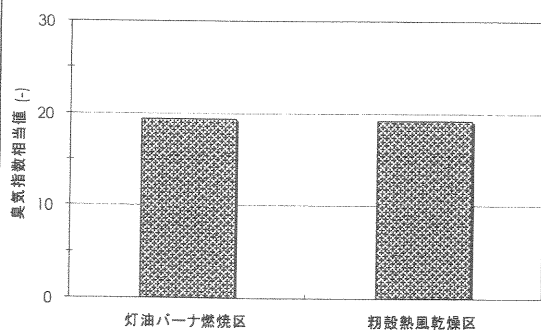


図8 小麦-臭気指数相当値

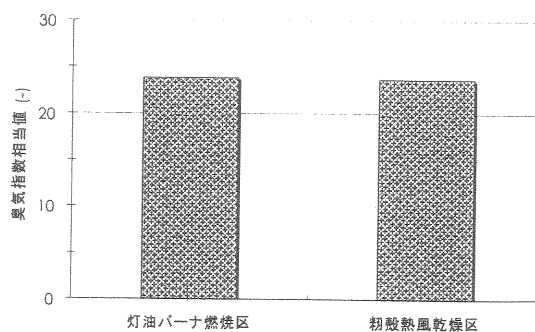


図11 米(籾)-臭気指数相当値

5. 考察

- 1) もみがら燃焼炉の改良を行い、定常状態までの温度、時間、消費エネルギー等に変更はなかった。くん炭についても昨年と同様、原料もみがらの重量比(乾物基準)で約20%発生した。
- 2) もみがら熱風発生装置にて小麦乾燥した結果、供試機は灯油バーナ使用時と同等の乾燥能力を発揮するとともに、灯油バーナに比べ1/10のエネルギーで運転することができた。また、CO₂排出量は灯油バーナ使用時に比べ約8割削減することができた。昨年度の米乾燥と同様の効果を確認した。
- 3) もみがら燃焼炉の熱を直接利用しても小麦、米ともに品質に影響はなかった。昨年度の結果からも、熱風温度の制御が充分であれば品質上問題はおきないことが確認された。
- 4) 直火式による穀物へのにおい付着は測定器で検知されず、官能評価でも認めらなかった。もみがら燃焼炉内のもみがら流動性が改善されたため燃焼効率が向上したことと、空気エジェクタによる円滑なくん炭排出が可能になったことによるものと考えられた。

6. 経営評価

もみがらのみ熱源とする場合の乾燥工程のみにかかるランニングコストは、昨年の籾乾燥と今年の小麦乾燥試験から、灯油を使う場合に比べ70~80%削減できることが確認でき、経営評価をする上での基礎データを得ることができた。

共乾施設から発生するもみがらは、地産地消できるバイオマスエネルギーである。本装置はその燃焼エネルギーを穀物乾燥に利用でき、品質・環境両面において導入メリットが大きいと期待できる。

7. 問題点と課題

- 1) 様々な施設の構成に合わせた他の乾燥機方式との適合性について把握する必要がある。
- 2) 初期投資費用、労働費、くん炭売買にかかる経費など施設全体の経済評価も行う必要がある。