

共乾施設に導入されたOEM遠赤外線乾燥機の性能に関する 調査研究

誌名	農業施設
ISSN	03888517
著者名	土方,享 中谷,紘志 松田,昌万 佐竹,隆顕
発行元	農業施設学会
巻/号	47巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-9
発行年月	2016年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



技術論文

共乾施設に導入された OEM 遠赤外線乾燥機の
性能に関する調査研究土方 享^{*1}・中谷紘志^{*2}・松田昌万^{*3}・佐竹隆顕^{*4}^{*1} 全国農業協同組合連合会生産資材部, 〒 100-6832 東京都千代田区^{*2} 全国農業協同組合連合会西日本施設農住事業所, 〒 700-8722 岡山県岡山市^{*3} 全国農業協同組合連合会札幌営農資材事業所, 〒 060-0003 北海道札幌市^{*4} 筑波大学大学院生命環境科学研究科, 〒 305-8572 茨城県つくば市

要 旨

国内で稼動している穀類共同乾燥調製（貯蔵）施設の多くは設置年数が 15 年以上経過し、施設の機能を維持することとそのコストのバランスをとることが課題となっている。

近年、こうした共乾施設の運営実態に対応させるべく海外製の遠赤外線乾燥機が国内メーカー扱いで導入されている。この乾燥機は燃料消費量の低減効果に優れている遠赤外線加熱方式をとっていることに加え、OEM 品を利用することで設置導入にかかわるコストを低減させている。これによって既存施設への入れ替え・改修の際の建設コストおよび導入後のランニングコストの削減が期待されている。

乾燥機は共乾施設の中心的な機能を担う設備であることから、実用化が進みつつある OEM 遠赤外線乾燥機の基本性能の検証試験を行った。

その結果、実稼動時に張込み量を満量にして行った際の張込み質量は 20.2 t、乾減率は 0.6 %/h となり仕様能力が確認された。乾燥中の穀温は基準である 35℃を概ね下回り、品質評価の指標である乾燥前後の重割れ率の増加は認められなかった。また、除去水分 1 kg に対する投入エネルギー量は 4.2 ~ 4.8 MJ/kg・水であり、これまで国内で生産された遠赤外線を用いない従来の穀類乾燥装置報告例（5.7 MJ/kg・水等）に比較して低く抑えられていた。

これらの結果により乾燥機の基本性能と省エネルギー、低コスト化を両立させ、実利用上問題のないことが確認された。

キーワード：遠赤外線乾燥機、乾減率、共乾施設、除去水分あたりエネルギー、割れ粒

はじめに

穀類共同乾燥調製（貯蔵）施設（以下、共乾施設という）は、乾燥調製作業の合理化や高品質・大量均質な米麦の供給、検査の合理化、流通の合理化等をその設置目的として 1960 年代以降普及が進んできた（海老沢, 1992）。

現在においても米の作付面積に対する施設の受益面積の割合（共乾施設普及率）は 3 割程度あると考えられ（和田, 2014）、稲作地域における役割は重要である。

しかし、主に米の消費の減少に伴う水稻作付面積の減少を反映して、共乾施設の新設施設数は 1990 年代後半のピークを境に減少傾向にある。現在では多くの施設の設置年数が建設後 15 年以上経過し、老朽化が進んでいるとされている。施設の老朽化は機器の更新や修理費等の増加を招くことから、要求される機能の維持とそれに費やすコストのバランスをとることが共乾施設の運営上の課題となっている（土方, 2014）。

一方、施設の経営収支の観点では、利用料金を中心とした「収益」が乾燥調製を行う上で掛る「費用（コスト）」を下回らないことが必要である。収支均衡のためには収

益の増もしくは費用の減、すなわち利用料金を上げて収益を確保すること、もしくは経費を低減することが必要である。しかし最近の米麦の販売環境の厳しさや稼働率低下の懸念を背景として利用料金を高く設定することが困難な施設も多い。そこで施設の収支均衡のためにコストの削減が広く行われている。

コストには処理量にかかわらず一定額を計上する固定費と処理量に応じて変動する変動費がある。固定費の主たる要素は共乾施設の機能維持、すなわち保守管理に要する投資ならびに建設後の地域農業構造や社会的な要求の変化に伴って派生する機能を付加するための投資などの建設コストである。変動費の中心は燃料等の資材費や労務費などの運転コストである。

そのうち建設コストの低減方法として、乾燥機を屋外型とし粗選機と精選機を兼用するなど設備面の合理化を図った施設建設とする例（全国農業協同組合連合会, 1991）や、貯蔵乾燥方式におけるコルゲートビンに断熱を施し、貯蔵機能を加えた丸ビンの実用化（農林水産省, 1999）などが取り組まれている。運転コストの低減には除湿乾燥を利用することで夜間における労務費を削減す

原稿受領 2015 年 9 月 30 日

照会先：土方 享 e-mail: hijikata-tooru@zennoh.or.jp

ることなどが行われている（山下，1992）。

このようなコスト低減策のうち，近年導入が進んでいる遠赤外線を利用した乾燥機は，従来型の火力乾燥機に比較して燃料消費・消費電力量が少ないとされている（農業・食品産業技術研究総合研究機構，1998）。乾燥機の更新や複数の施設の再編整備を行う場合にあって，施設の主たる機能を果たす乾燥機については，遠赤外線方式が採用される例も少なくない。

共乾施設の機能維持とコスト低減を図ることへの対応の一つとして，海外製の遠赤外線乾燥機が国内メーカーの OEM 品（他社製品の自社ブランド販売，Original Equipment Manufacture）として導入されている。遠赤外線を利用することで運転コストである燃料消費と電力量の削減を図り，当初国内メーカーが開発した遠赤外線乾燥機の OEM 品を利用することで本体価格を従来機比で 4 割程度を低減させ導入時の固定費を抑えることが期待されている。

しかしながら，遠赤外線を利用した穀類乾燥機の性能評価には日高ら（2013）による報告や遠赤外線を用いない共乾施設向け乾燥機の性能評価についての報告例はあるものの，海外製の共乾施設向け遠赤外線穀類乾燥機についてはその性能評価を試みた報告は国内で認められない。このため，遠赤外線を用いた OEM 品の共乾施設用乾燥機についてその性能の検証試験を行う事とした。

本報告では，実稼動時の検証試験を運転実態に即して張込み量を満量および端量の 2 条件で実施するとともに，既往の乾燥機を対象とした性能確認試験結果等との比較によりその乾燥性能を評価した結果について報告する。

供試乾燥機および方法

1. 供試乾燥機の概要

調査対象とした装置は，共乾施設向けとして導入された M 社扱いの海外製遠赤外線乾燥機（全高 8 950 mm，全幅 4 190 mm，全長 5 170 mm）である。外観を図 1 に，主な仕様を表 1 に示す。供試乾燥機は既存のライスセンタに設置された 5 台×2 系列，合計 10 台（張込み容量 5 t/台）のうち 2 台を撤去して設置したものである。

排気ダクト（ $\phi 500$ mm×2 本）は既設の乾燥機 3 台とつながる集中ダクトに接続されている。排風は施設に付設されている重力沈降室を経由し湿式集塵装置から大気放出されている。

1) 構造

供試機は上部にテンパリングタンク（容量 16.2 t，29.0 m³）を配置し，下部にスクリーン型の乾燥部（容量 4.0 t，7.2 m³）を配置した総張込み容量 20.2 t の循環式乾燥機である。

遠赤外線放射体はセラミック塗料が塗布されたステンレス管である。4 つの熱風路内にそれぞれ設置されており，放射体 2 本につき 1 台，合計 2 台のガンタイプバーナにより放射体を加熱する。乾燥はバーナによる熱風と放射体からの遠赤外線により行われる。乾燥部は 8 層の

穀層（穀層厚 113 mm）を持つスクリーン型（ $\phi 2$ mm，開孔率 30%）であり，通風は 2 台のファン（斜流式 3.7 kW×2 台）による吸引方式としている。（図 2）

2) 循環速度

1 時間に 1 循環を目安に乾燥機下部の回転式繰出し装置（シャッタドラム）の駆動時間を調整する。張込み量に応じて 12 段階の設定が可能となっており，乾燥運転中の循環速度は一定にしている。シャッタドラムは容量 0.212 m³/本（約 119 kg）であり，乾燥機 1 台あたり 4 本設置されている。

3) バーナ

ガンタイプ 2 台（最大燃焼量 17 L/(h・台)）であり，目標とする熱風温度になるように自動的に 3 段階で制御され，熱風温度が調節される。それぞれのバーナに対応した熱風路内に温度センサが設置されている。

4) 水分計

付設している電気抵抗式水分計は 15 分間隔で測定する。約 3 分間サンプル採取し，100 回測定した平均値が表示される。

5) 乾燥制御

供試乾燥機では，熱風温度・仕上げ水分・張込み量を使用者が設定し，その設定値にもとづいて運転する制御方法を「一般乾燥制御」と呼び，張込み量・仕上げ水分を使用者が設定し，熱風温度及び循環時間は外気温と乾燥速度にもとづいて乾燥機が自動制御する方法を「知能乾燥制御」と呼んでいる。

一般乾燥制御における熱風温度は，張込み量と平均外気温からメーカーが定めた「熱風温度設定表」に基づいて使用者が設定することとしており，設定された熱風温度は乾燥期間中一定である。知能乾燥制御では，表示水分の推移から乾減率を推定し，目標乾減率となるように送風温度（バーナの燃焼量）が自動調整される。

2. 検証試験および試験条件

1) 試験日と場所

2008 年 10 月 7 日～10 日に S 県 H ライスセンタ内で実施した。

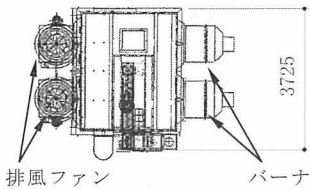
2) 試験条件

供試乾燥機の試験条件として張込み量が満量時（以下，満量区）と端量時（以下，端量区）を設定した。これは，実際の施設の運転において循環型乾燥機を設置する多くの施設では複数台の乾燥機を稼働させることから，その日の荷受量によって満量で運転されない乾燥機が生ずること，荷受期間の初期や終末期は施設への搬入量が少なくなる場合もあるためである。満量区の張込み量は 20.2 t，端量区は 7.3 t で乾燥試験を行った。

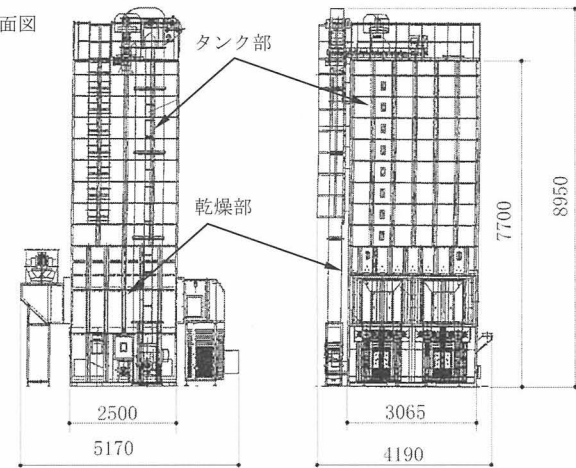
供試試料は当該ライスセンタで荷受・乾燥調製されている水稻うるち粳（キヌヒカリ）である。

装置の乾燥制御は「一般乾燥制御」とした。これは試験者側が設定した状態を乾燥機が実現する程度を確認しやすくするためである。「知能乾燥制御」では乾燥速

平面図



立面図



単位 mm

図1 供試乾燥機概要

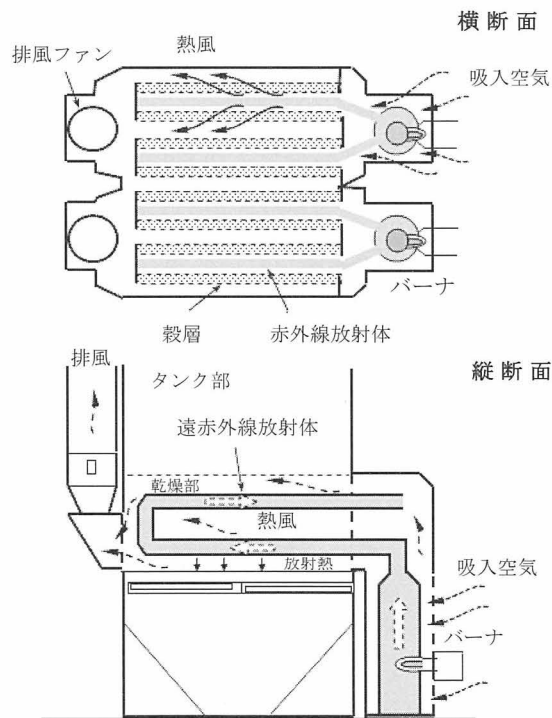


図2 乾燥部模式図

度によって自動的に熱風温度および循環速度が変化する一方、「一般乾燥制御」では目標熱風温度および循環速度が一定となることから試験条件として採用した。今回満量区では平均外気温を20℃と推定し、張込み量区分20.6tから、「熱風温度設定表」により53℃に設定した。端量区は同様に外気温25℃と推定し、張込み量7.4tから、熱風温度は43℃に設定した。

表1 供試乾燥機的主要仕様

乾燥部形状	スクリーン式吸引型
張込み量	籾6～20 (t) *1
構造	上部：テンパリングタンク， 下部：熱風通風部 (4t)
基本性能	
毎時乾減率	0.6～0.9 (%/h) *2
張込・排出能力	張込能力30 (t/h)・排出能力20 (t/h)
排風機	
形式×台数	斜流式×2 (基)
風量・動力	500 (m³/min)・3.7 (kW)×2
遠赤外線放射体	
放射材	高効率放射材：SUS430 セラミック塗料
設置位置	熱風路内
バーナ	
型式・台数	ガンタイプ×2 (台)
燃焼量	最大34 (L/h)
動力	0.12 (kW)×2
所要電力	
電源	三相200V (操作盤：単相200V)
総合動力	最大13.2 (kW)
全幅×全長×全高	4190×5170×8950 (mm)

付帯装置

安全装置

- ①プロテクトリレー②炎センサ③加熱防止装置
④電磁弁⑤過電流検出装置⑥満量センサ

運転制御装置

乾燥速度制御・水分自動停止制御・乾燥温度自動制御

標準装備

- ①自動水分計②排塵機③自動排出シャッター・投入口

その他

乾燥機の運転状態の信号出力

*1 水分24%w.b.、見掛け比重600kg/m³、枝梗付着粒・穂切粒2%以下、その他の夾雑物混入率1%時の籾。

*2 籾：水分24%から15%まで乾燥する場合。

3. 測定項目

1) 乾燥機張込み重量

施設付設の荷受計量機により乾燥機の張込み重量を測定した。

2) 水分

乾燥前、乾燥中、乾燥後に試料を採取し、農業機械学会(1975)の穀物の含水率測定方法基準にもとづいて、絶乾法(10g粒-135℃-24h)により測定し、標準法(5g粉碎-105℃-5h)に換算した。1回の採取量は他の分析用も含めて150g程度とした。

乾燥前水分は満量区では約700kgごと、端量区では約300kgごとにサンプルを採取してその平均値を用いた。採取は荷受計量機通過後の搬送経路内とした。

乾燥中は30分毎に乾燥機循環用バケットコンベアの下部サンプル採取口から採取して1回のサンプリングについて3回測定し、その平均値を用いた。

乾燥終了時は排出される籾をサンプル採取口から満量区では約1000kgごと、端量区では約250kgごとに採取して平均をとった。

3) 毎時平均乾減率

乾燥前後の平均水分と乾燥所要時間から、毎時平均乾減率を算出した。

4) 供試物の品位

乾燥前および乾燥後の試料をそれぞれ均分器で合成縮分し、容積重、安息角を測定し、組成分析を行った。容積重は一斗升を用いて重量を計測し、容積(18 L)で除して算出した(充填重量計測法)。安息角は、三輪式円筒回転法安息角測定器(筒井理化機器株式会社)により測定した。組成分析は試料を7項目(①整粒、②枝梗付着粒、③穂切粒、④未熟粒、⑤被害粒、⑥脱ぶ、⑦秕・その他)に手選別しそれぞれの重量割合を求めた。胴割れ率は手選別で「整粒」区分されたものについて、200粒を手剥きし米粒透視器により目視測定した。乾燥後のサンプルについては初状態のまま24時間以上放置した後に測定した。

5) 熱風・排風・吸入空気温湿度

図3に外気がバーナで加温された後、穀層を経て吸引送風される乾燥部における送風温度の測定位置を示す。縦断面図には放射体の位置を示したが、横断面図では省略した。乾燥部の測定点は、熱風胴側(放射体側)のスクリーン表面とした。乾燥部8層はバーナ1基に対応する4層が並列して対称に配置されていることから、測定点を図に示す4層の穀層表面4点×上中下段の3段×バーナ側および排風側2点の合計24点とした。乾燥部の温度は熱電対、排風・吸入空気温湿度はデータロガー(TR-72U, 株式会社ティアンドデイ)を用いて10分ごとに自動計測した。

6) 穀温

試料を採取して断熱保温瓶に入れ、サーミスタにより測定した。試料の採取は水分測定と同時にを行った。

7) 風量

風量は熱線式風速計(testo425, 株式会社テスト)を用い、2本の排風ダクト(φ500 mm)内の風速各20点を測定し、ダクト断面積と風速の平均値を乗じて算出した。測定は満量区・端量区ともに乾燥中に行った。

8) 循環量

試験開始前と終了直前にシャッタドラムが一回転する間に排出される初めの重量とその時間を計測し、時間当たりの循環量(連続運転時)を算出した。

9) 燃料消費量

灯油配管に設置した積算油量計を30分毎に読みとった。

10) 消費電力量

積算電力計により電力および電力量を計測した。

結果と考察

1. 乾燥時間

満量区は10月7日18:00にバーナを点火して乾燥開始し、10月8日13:00に乾燥を終了し、その後クーリングを行った。15%の目標水分までの実乾燥時間は19.17

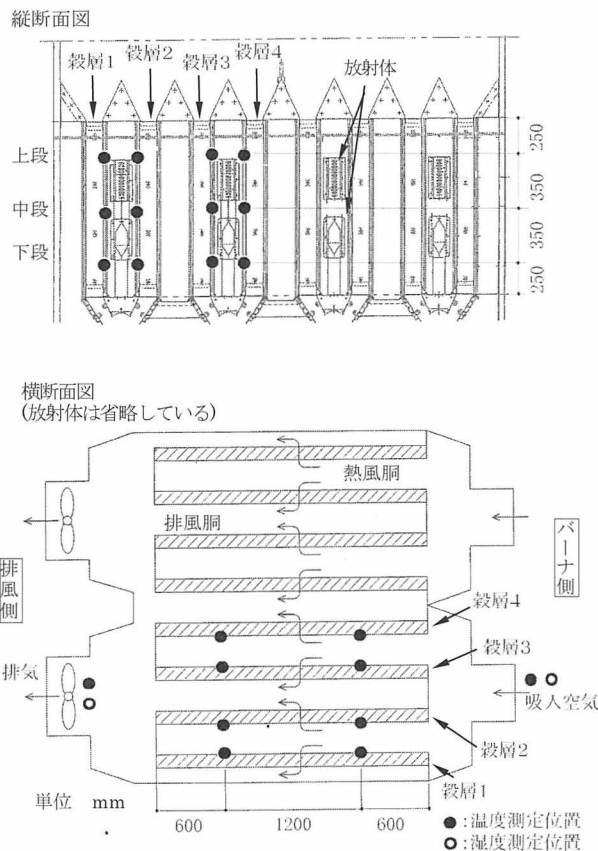


図3 熱風胴内温度測定位置

hであった。端量区は10月9日15:10に乾燥開始し、10月10日3:15乾燥終了、実乾燥時間は12.12 hとなった。

2. 水分と毎時平均乾減率

1) 水分

満量区および端量区の平均張込み水分はそれぞれ27.0 %w.b., 28.1 %w.b.であった。満量区の最高水分と最低水分の差は10.6 %w.b. 標準偏差2.55 %w.b., 端量区は水分差6.1 %w.b. 標準偏差1.96 %w.b.であった。

平均仕上げ水分は満量区で14.4 %w.b. 仕上がり時の最高水分と最低水分の差は0.4 %w.b., 標準偏差0.11 %w.b.となった。端量区の平均仕上げ水分は14.6 %w.b., 水分差0.4 %w.b., 標準偏差0.11 %w.b.となった。乾燥後は端量区、満量区とも水分のばらつきが小さくなり均一な仕上がりとなった。乾燥後の水分のばらつきが少なくなることは、乾燥後の貯蔵・すり・出荷までの保管時に起こりうる蒸れや発酵などの品質事故を抑え、精米に至る流通の各場面での保存性の向上に寄与することが期待される。

乾燥による除去水分を次式により算出した結果、満量区は2957 kg, 端量区は除去水分1159 kgとなった。

$$W_w = W_p \times \left(1 - \frac{100 - m_p}{100 - m_f} \right) \quad (1)$$

ここで、 W_w : 乾燥によって供試物から除去された水分

(kg), W_p : 乾燥前粉重量 (kg), m_p : 乾燥前粉水分 (%w.b.), m_f : 乾燥後粉水分 (%w.b.)

2) 毎時平均乾減率

水分差と乾燥時間から算出した毎時平均乾減率は満量区 0.65 %/h で端量区は 1.11 %/h となった。満量区は、農林水産省 (2005) の乾減率 (0.6 %/h) および表 1 に示すメーカー仕様 (0.6 ~ 0.9 %/h) をほぼ満たす結果となり、端量区は仕様値を上回った。

3. 温度・湿度

乾燥運転中の吸入空気および排風の温度・湿度の経時変化を満量運転時の例として図 4 に示す。同様に満量区における乾燥部の各測定点の温度推移を図 5 にまとめた。

1) 外気

天候が雨天や曇天時には、晴天時で空気が乾燥している時よりも乾燥が進まないため、一般的に施設のオペレーターは送風設定温度をやや高めにすることや、循環量を落とすことで所定の乾減率の確保を考える。また、貯蔵に移行する場合には穀類と外気温の温度差によって表面の結露を予想することもする。このように外気の雰囲気を含めて運転することとなる。

今回満量区の乾燥試験中の天候は曇りのち雨、平均気温 20.8 °C 平均湿度 78.8 %R.H., 絶対湿度 0.0121 kg/kg (DA) であった。端量区の天候は晴れ、平均気温 19.8 °C 平均湿度 74.0 %, 絶対湿度 0.0107 g/kg (DA) となり、満量区は端量区に比べて高湿の環境となった。

2) 乾燥部

満量区・端量区の熱風温度は乾燥試験中の総平均でそれぞれ 49.9 °C, 40.0 °C であった。設定した送風温度はそれぞれ 53 °C, 43 °C であったことからやや低めの温度であった。これは、乾燥機に設置されている温度センサは遠赤外線放射体の円筒管出口近傍に設置されており、放射体の管内を経由してバーナの熱風を受ける位置にある。一方で今回計測した通風部のセンサは穀層表面に取り付けているため、外気および流下する粉のスクリーンを経由した伝熱を受ける位置にあることによると考えられる。

満量区における測定位置別の温度推移を示した図 5 によれば、バーナ側よりも排風側の温度が高くなった。バーナは円筒状の遠赤外線放射体を内部から加熱する構造であることから、外気による影響をバーナ側は受け、比較的低温になっていることが考えられる。

次に送風管内の温度の分布を高さ方向にみると、上段・中段・下段の平均温度は満量区でそれぞれ 50.4 °C, 48.4 °C, 50.9 °C, 端量区で 40.7 °C, 38.7 °C, 40.6 °C であった。中段は上段および下段に比べてやや低めに推移した。中段の測定点は遠赤外線放射体からの距離が上段および下段に比較して離れていることが原因の一つであると考えられる。

穀層ごとの温度分布をみると、下段では穀層毎のばらつきが少なく、下段バーナ側、下段排風側、上段排風側

上段バーナ側の順に層間のばらつきが増加した。上段排風側は下段と同様の温度を概ね維持している一方、上段バーナ側の穀層 2 および穀層 3 は同 1 および 4 に比較してやや低めに推移した。放射体が排風側で折り返していることから、排風側の上段と下段の穀層間のばらつきは同様の温度変化をしたことが考えられる。また、穀層 2 および 3 は排風胴が共通であり、その排風胴は排風機の正面に位置している。各穀層を通過する風量が排風機や穀層、吸入空気口の相対的な位置の影響を受けていることが要因の一つとして考えられた。なお、図 5 に示す各測定点の変化は端量区においても同様の推移を示し、張込み量によらず機内の熱風温度のばらつきは同様に生じるものと考えられた。

3) 排風

満量区および端量区の排気平均温度は、それぞれ 29.4 °C, 27.5 °C であった。平均湿度は 67.8 %R.H., 59.9 %R.H. であった。満量区の排気温度と吸入空気温度の差は平均で 8.6 °C 上昇、湿度は平均値で 11.0 %R.H. 上昇した。同様に端量区は温度が 7.7 °C 上昇し湿度は 14.1 %R.H. 上昇した。

一方、吸入空気と排気の絶対湿度をそれぞれの温湿度から算出し、その差を求めたところ、満量区では、乾燥初期に 0.008 kg/kg (DA) 程度であったが乾燥終期にかけて 0.004 kg/kg (DA) 程度に漸減した。排風温度が上昇傾向にあることは、加温温度設定が一定であること、一般に共乾施設向け大型乾燥機の乾燥中の風量は概ね一定であることから、穀物水分の蒸発に利用されないエネルギーが乾燥過程に従って増える傾向にあったことが考えられる。これは乾燥の後半ほど、空気に含まれる穀物由来の水分が少なくなったことを示すものであり、乾燥が

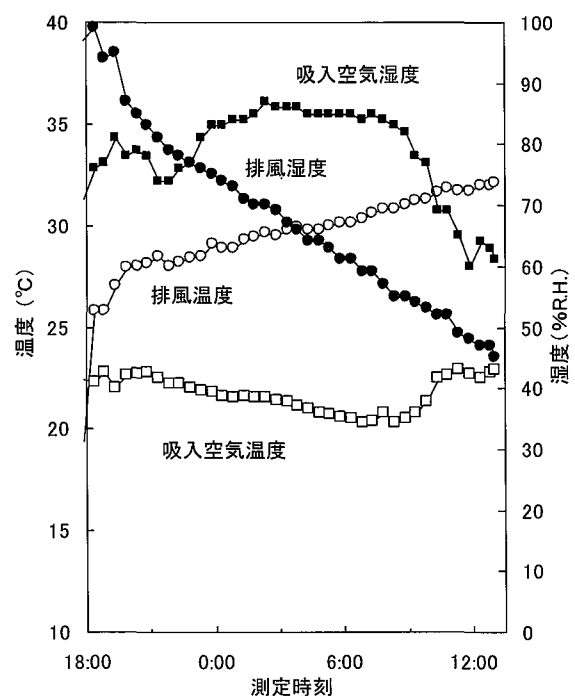


図 4 乾燥時の吸入空気・排風温湿度の変化 (満量区)

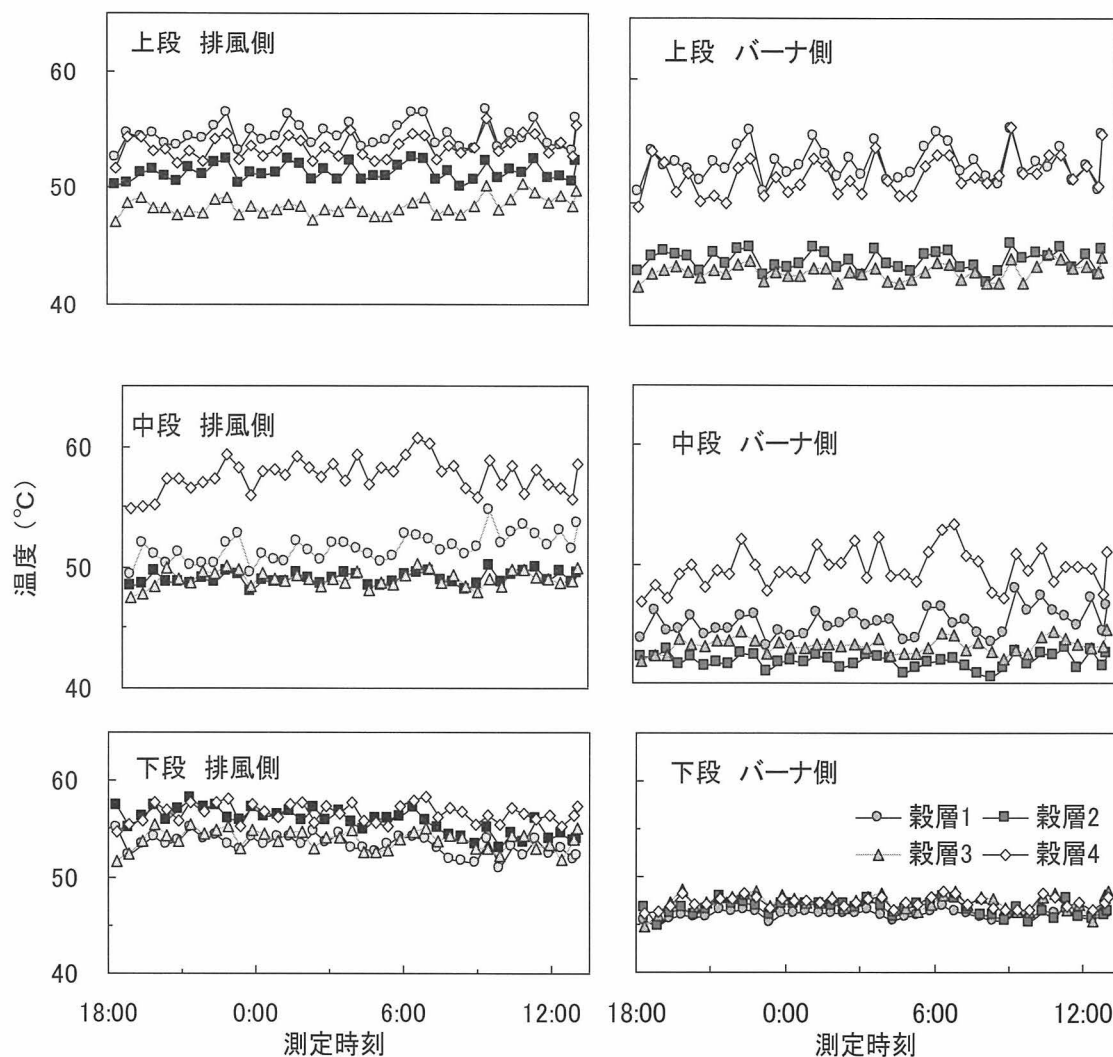


図5 熱風胴各部の温度変化（満量区）

進行するにつれて水分蒸発が低下し、減率乾燥が進んだことによるものである。

4. 穀温

乾燥部通過直後の最高穀温は満量区、端量区でそれぞれ 35.4, 35.2 °C であった。共同乾燥施設の穀類乾燥において品質保持のための乾燥時の穀温の上限値は通常 35 °C, 最高でも 40 °C 以下とされている（農林水産省, 2005）ことから、この基準を満たした結果となった。（図 6）

5. 送風機性能・風量比

満量区は乾燥開始後 1 時間経過時点で 376 m³/min (27.1 °C), 端量区の乾燥開始後 1 時間経過時点の風量は 347 m³/min (23.6 °C) であった。いずれもメーカー仕様数値である 500 m³/min（既存の乾燥機とダクト等を独立して単体で用いた場合の風量）を下回った。供試乾燥機の排気ダクトが接続している集中ダクトは、既設の循環式乾燥機の排気ダクトも接続されている。排風は集中ダクトから重力沈降室を経由して湿式集塵に送られる。供試装置は同一集中ダクトに接続している既設乾燥機と

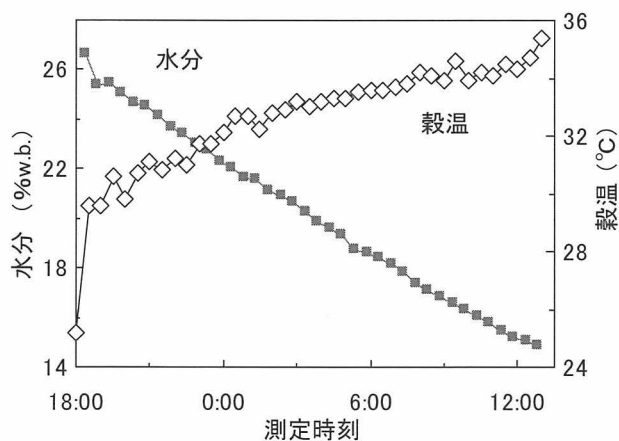


図6 乾燥時の水分と穀温の変化（満量区）

同時に運転しないことを前提に計画されたものであったが、今回の試験時は荷受集中により施設内の全ての乾燥機が同時に稼働した。そのため処理風量が過大となって圧力損失を生じ、その結果供試乾燥機通風部の風量が小さくなったと考えられた。

乾燥開始後の張込み量全体に対する風量比は満量区・端量区それぞれ $0.030 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$, $0.079 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$, 通風部に対する風量比はそれぞれ $0.156 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$, $0.144 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$ であった。張込み量全体に対する風量比の標準を農林水産省 (2005) は $0.03 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$ としており, これまで実測した乾燥機における調査結果によれば張込み量全体に対する風量比が満量時 $0.03 \sim 0.08 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$ 程度であった (全国農業協同組合連合会, 2000, 2007) ことからこれらと概ね同等の風量であった。(表 2)

6. 循環量

満量区の推定循環量は 16.9 t/h , 端量区は 5.6 t/h であった。供試材が乾燥機内を 1 循環するために要する時間は, 張込み量を循環量で除して, 満量区で 1.20 h (72 min), 端量区で 1.31 h (79 min) となった。また乾燥部を 4.00 t として算出した乾燥部通過時間は満量区 0.24 h (14 min), 端量区 0.71 h (43 min) となった。

供試材が乾燥部以外 (タンク部および昇降機) を通過している時間はテンパリング (乾燥休止) 時間となる。乾燥部通過時間に対するテンパリング時間は, 満量区で 4 倍, 端量区で 0.8 倍となり, 端量区のテンパリング時間が満量区に比較して短くなった。これは端量区では循環量を落としているものの, 通風される乾燥部の容量 (4.00 t) に比較して張込み量が少なかった (7.40 t) ことが原因である。(表 2)

表 2 風量・風量比

	満量区	端量区	備考
平均風速 (m/s)	16.0	14.7	排風ダクト測定
風量 (m^3/min)	376	347	
張込み量に対する風量比 ($\text{m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$)	0.030	0.079	
通風部に対する風量比 ($\text{m}^3/(\text{s} \cdot 100 \text{ kg})$)	0.156	0.144	通風部容量: 4 t
循環量 (t/h)	16.9	5.6	
排出量 (t/h)	16.6	5.9	

7. 燃料および電気消費量

1) 燃料消費量

乾燥運転中の燃料消費と電力の経時変化を端量区の例として図 7 に示す。また, 表 3 は満量区・端量区の燃料と電気の消費量等の結果を整理した。

毎時燃料消費量は満量区は 16.7 L/h (13.3 kg/h), 端量区で 11.6 L/h (9.3 kg/h) であった。先に述べた除去水分量から除去水分 1 kg に要する燃料エネルギーを算出すると満量区で 3.97 MJ/kg-水 , 端量区で 4.45 MJ/kg-水 となった。従来機を対象とした試験結果では $3.88 \sim 5.1 \text{ MJ/kg-水}$ であったことから灯油の燃焼による除水性能については概ね同等であると考えられた。

2) 消費電力量

クーリング工程を除く乾燥時の消費電力量は満量区で 211.5 kWh , 端量区は 124.4 kWh であった。乾燥機の運転時間で除した 1 時間あたりの平均電力量は, 満量区 11.0 kWh , 端量区 10.3 kWh , 最大瞬間電力はそれぞれ 15.6 kW , 17.7 kW であった。

除去水分 1 kg に要する電力量のエネルギー換算値を発熱量換算 ($1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$) して算出した結果, 満量区は 0.26 MJ/kg-水 , 端量区 0.39 MJ/kg-水 となった。

3) 総エネルギー量

除去水分 1 kg に要する総エネルギー (燃料と電力量との合計) は満量区が 4.23 MJ/kg-水 , 端量区で 4.84 MJ/kg-水 となった。乾燥に要する燃料消費は既往の報告例であるコラム乾燥機による遠赤外線を用いない高温乾燥の初平均 5.69 MJ/kg-水 (戸次, 1999) に比較して低め

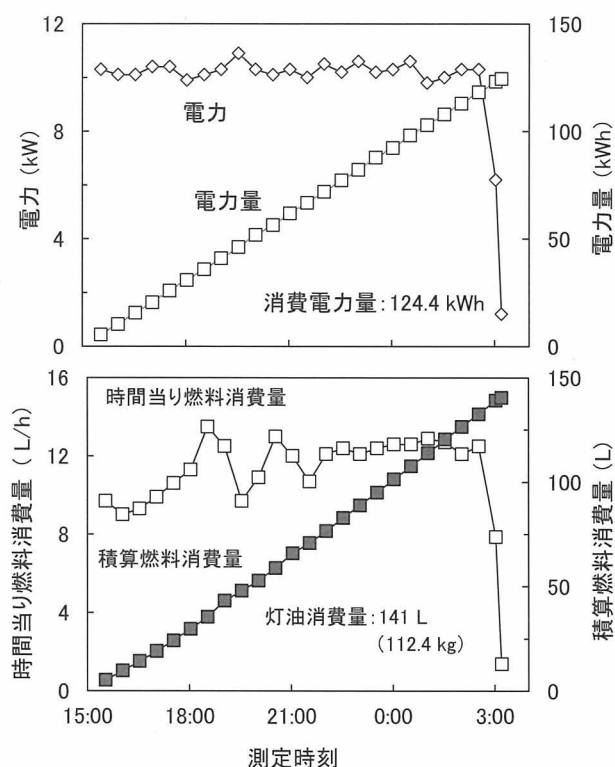


図 7 電力量と燃料消費量の変化 (端量区)

表 3 除水量と投入エネルギー

	満量区	端量区	備考
除去水分重量 (kg)	2 957	1 159	
燃料使用量 (kg)	255.8	112.4	比重 0.8
消費電力量 (kWh)	211.5	124.4	クーリングを除く
除水量 1 kg に要するエネルギー			
燃料エネルギー (MJ/kg-水)	3.97	4.45	灯油発熱量: 45.9 MJ/kg
電気エネルギー (MJ/kg-水)	0.26	0.39	$1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$
合計	4.23	4.84	

に抑えられている。遠赤外線乾燥機は、従来型の火力乾燥機と比較して放射効果加わることでエネルギー効率が高くなることが指摘されている（農林水産技術情報協会, 2001）ことは、効率的な乾燥が行われた要因のひとつであると考えられた。

8. 品位

満量区における供試粉の容積重は、乾燥前で 624 g/L、乾燥後で 612 g/L であった。端量区ではそれぞれ 587 g/L, 588 g/L であった。安息角は満量区の乾燥前後で 49°, 42°, 端量区は同様に 48°, 43° となった。組成分析結果を表 4 に示した。

粉の容積重は水分によって大きく変化しないことは全国農業協同組合連合会（1992）の報告とも合致した。また安息角が乾燥前後で低下したことは、生原料を乾燥させて行った測定例として 15% 程度までは低下する傾向にあった複数の例（全国農業協同組合連合会, 1992）に合致した。今回は水分の低下の影響に加え、乾燥機内部を循環する間に表面が磨かれ、平滑になったこともその要因であると考えられた。

乾燥前後における軽胴割れ率は、満量区が 3% の増加であったが端量区は 19% 増加した。被害粒に計上される重胴割れ率は、満量区では増減はなかったものの端量区で 6.5% 増加した。満量区は概ね問題ない水準であるが、端量区は特に重胴割れ粒が大きく増加した。

この一因として端量区では乾減率が高かったことが考えられる。これは、端量区で平均外気温は 19.8℃ であったが、試験では平均外気温を 25℃ と推定し、設定した熱風温度（43℃）が結果として高めであったと考えられること、乾燥部容量に比較して張込み量が少なかったことからテンパリング時間が短く、穀粒内の水分移行のための時間が十分に確保されなかったと考えられること、加えて荷受の集中により、全乾燥機が同時稼働したことによる風量の減少により、乾燥機内において温度ムラが誘発されたことも考えられる点とその背景にあると考えられる。

表 4 組成分析結果 (単位: %)

	満量区		端量区	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
整粒	75.7	70.7	72.5	79.4
枝梗付着粒	6.4	1.3	8.9	1.0
穂切粒	1.4	0.0	1.6	0.0
未熟粒	1.6	4.7	4.4	5.7
被害粒	13.9	21.0	10.6	12.5
脱ぶ	0.1	0.1	0.0	0.2
秕・その他	0.9	2.3	1.9	1.1
胴割れ率				
軽胴割れ粒	3.5	6.5	3.5	22.0
重胴割れ粒	0.5	0.5	0.0	6.5

まとめ

国内で稼働している穀類共同乾燥調製（貯蔵）施設の運営上の課題である機器の更新や新設にあたってコストを抑えることを目的として、海外製の遠赤外線乾燥機を国内メーカーが OEM 調達して国内市場に導入されている。遠赤外線乾燥機は放射体を利用することで効率よく乾燥できることに加え海外製乾燥機を OEM 品とすることで設置・運営コストの低減が期待されている。

本報ではその基本性能を検証することで、今後の運転や施設の導入計画の際の基礎資料を得ることを目的とした。得られた知見は以下のとおりである。

1. 供試乾燥機は海外製乾燥機であり、約 4 割のコスト低減が図られ、既設の共乾施設へ導入しやすくなっている。
2. 通風部に対する風量比は満量区・端量区それぞれ 0.156 m³/(s・100 kg), 0.144 m³/(s・100 kg) であった。
3. 乾減率は満量運転時 0.65 %/h, 端量運転時で 1.11 %/h となり、農林水産省の指導値である 0.6 %/h 以上を満たした。端量区はメーカー仕様値標準 0.6 ~ 0.8 %/h を上回る結果となった。
4. 乾燥中の供試粉が乾燥部を通過した直後の穀温は農林水産省が指導する 35℃ を概ね下回って推移した。
5. 供試粉の品質は、組成分析によって確認したところ、満量区は概ね問題なかったが、端量区では重胴割れ粒の増加がみられた。端量区は、送風温度の設定が高めになったこと、循環量を下げて運転したものの、テンパリング時間が少なかったと考えられること、同一排風ダクトに接続された乾燥機をすべて運転したことによる風量の低下により機内の水分ムラが起きやすくなっていたこと等が想定された。
6. 除去水分 1 kg に要する総エネルギーは満量区 4.23 MJ/kg・水, 端量区 4.84 MJ/kg・水であった。これまでの報告例に比較して省エネルギーとなっていることが確認された。

これらのことから、供試乾燥機は導入コスト低減と運営コストの低減を実現しつつ満量運転時の基本性能は要求水準を満たすことが確認された。加えて端量運転時や既設乾燥機との排風ダクトへの配慮等の課題が明らかとなった。

今回は、熱風温度・仕上げ水分・張込み量を設定して運転する「一般乾燥制御」を用いて試験・検討した。今後、乾減率によって制御する「知能乾燥制御」での乾燥が実用上主流となることも想定されることから当該制御の場合の乾燥特性についても明らかにすることが必要である。

謝 辞

本調査の実施ならびにデータの取りまとめに当たりご協力を頂いた当該装置の製造メーカー、装置の設置先で

あるライスセンタおよび運営主体である農協の関係各位に記して謝意を表します。

引用文献

海老沢勲 (1992) : 共乾施設の展開に関する研究, 全国農業協同組合連合会, 29-61.
 農業・食品産業技術総合研究機構 (1998) : 緊プロ開発機のご紹介「遠赤外線乾燥機」, <http://www.naro.affrc.go.jp/brain/iam/urgent/urgent200/013444.html>. (2015 年 9 月 26 日参照)
 戸次英二 (1999) : 穀物水分 1 kg の乾減に要するエネルギー量, 農業施設, 30 (2), 93-95.
 日高靖之・久保田興太郎・市川友彦・柏寄 勝・小篠玲二・土門正幸・造賀和成・伊藤正人・大沼信彦 (2013) : 穀物遠赤外線乾燥機の実用機開発及び生産現場での性能評価, 農業機械学会誌, 75 (5), 316-325.
 土方 享 (2014) : カントリーエレベーターをはじめとする共乾施設の役割と課題, 日本建築士会連合会会誌, 63 (738), 26-29.
 農林水産技術情報協会 (2001) : エネルギー管理型農業生産システム開発調査, 15-16.
 農林水産省 (1999) : コルゲート鋼板製の貯蔵乾燥ビンを用いた大

規模乾燥調製貯蔵施設の補助事業における取扱いについて, 農蚕園芸局農産課生産班長事務連絡, 平成 11 年 3 月 17 日.
 農林水産省 (2005) : 大規模乾燥調製貯蔵施設の設置・運営に当たっての留意事項について, 農蚕園芸局長通知, 平成 17 年 5 月 25 日 17 生産第 965 号改正, 3・8.
 資源エネルギー庁 (2002) : エネルギー源別発熱量一覧表の改訂について 2. 標準発熱量表.
 和田聡一 (2014) : 農産物の生産・流通の現状 3. 穀類, 農産物流通技術 2014, 29-33.
 山下律也 (1992) : 農業施設コストエンジニアリング, 農業機械学会, 1-6.
 全国農業協同組合連合会 (1991) : 共乾施設コスト低減のてびき, 132-137, 281.
 全国農業協同組合連合会 (1992) : 穀物の物性値解説書, 11-12・24-25.
 全国農業協同組合連合会 (2000) : 共乾施設のてびき (補追版), 47.
 全国農業協同組合連合会 (2001) : 平成 12 年度試験成績 (農業施設), 1-29.
 全国農業協同組合連合会 (2007) : 大型循環式乾燥機性能試験, 4-5.

Evaluation of the Performance of an Original Equipment Manufacturing Far-infrared Radiation Dryer for Cooperative Grain Drying Processing Facilities

Toru HIJIKATA*¹, Hiroshi NAKATANI*², Masakazu MATSUDA*³ and Takaaki SATAKE*⁴

*¹ Agricultural Materials, Machinery and Facilities Dept., Zennoh, Chiyoda, Tokyo, 100-6832, Japan

*² West Japan Facilities Business Station, Zennoh, Okayama, Okayama, 700-8722, Japan

*³ Sapporo Agricultural Materials Business Station, Zennoh, Sapporo, Hokkaido, 060-0003, Japan

*⁴ Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, 305-8752, Japan

Abstract

A new original equipment manufacturing (OEM) model dryer has been introduced for the operation of cooperative grain drying, processing, and storage facilities. Far-infrared rays are used as the heat source of this dryer. The use of far-infrared rays leads to a reduction in fuel consumption, and hence, the overall costs associated with the OEM product. As such, owners and operators will benefit from the reduced costs of replacing old systems in existing facilities and the construction of new facilities. Owing to its important function in the operation of grain storage facilities, we examined the basic performance of the new OEM far-infrared radiation dryer in actual use at half- and full-capacity operations. The results were consistent with design expectations, and are listed below.

The processing capacity and drying rate were 17 t/h and ~0.6 %/h, respectively, at full-capacity operation, thereby confirming the prescribed operation rates. Furthermore, according to the standard drying methods, the drying temperature of the grains is <35 °C.

Further, there was negligible increase in the percentage of cracked grains after drying, and there was no decrease in the quality of the grain. Moreover, the energy input (4.2–4.8 MJ/kg-H₂O) requirement for the removal of water, is significantly lower than that (5.7 MJ/kg-H₂O) required for older systems. These results confirm that the use of this dryer will lead to both reductions in energy consumption and operating costs.

Keywords: far infrared radiation dryer, drying rate, cooperative grain drying processing facilities, input energy for 1 kg of removal water, rate of cracked grain