成績概要書（2011年1月作成）

研究課題：大豆の混合貯留乾燥における乾燥機の断熱被覆による省エネ効果
担当部署：農研機構・北海道水田輪作研究チーム
担当者名：井上慶一、澁谷幸憲、辻　博之
協力分担：なし
予算区分：交付金
研究期間：2007～2010年度（平成19～22年度）

---

1. 目的

北海道においては、大豆の乾燥調製時期の10月～12月は低温な気候で推移するため、乾燥機で外気を加温通風する際には本州よりも多くの熱量を必要とする。また、乾燥装置の壁面からの熱の散逸も多くなり、穀温が低下して乾燥効率が下がると考えられる。そこで、大豆に乾燥小麦を一定割合で混合し貯留しておく品質低下の少ない混合貯留乾燥や慣行の循環式乾燥で使用する乾燥装置の周囲を断熱シートなどで覆う断熱処理の効果について、その保温や乾燥効率の向上の程度を数値的に明らかにし、省エネの効果を明らかにする。

2. 方法

１）混合貯留乾燥用に用いる汎用型循環式乾燥機（容量25石、4.51㎥、約2.8t、表１）の側壁を図１のようにグラスウール断熱シート（表２）で被覆し、側壁の断熱を図り、対照区として米麦用乾燥機（容量50石、9.02㎥、約5.4t）を設け、それぞれ、大豆－小麦混合物、小麦での層中の温度変化を調べ、熱伝導のシミュレーション結果と比較検討し、保温効果を明らかにした。小麦を充填し被覆した米麦用乾燥機と被覆したフレコンバックでの大豆－小麦混合貯留層での温度変化についても調べた。

２）混合貯留過程での平衡水分、乾燥定数を測定するため、水分22.5%、16%、14.7%w.b.の大豆（ユキホマレ、ツルムスメ、いわいくろ）を650mLの容器に水分11.6%の小麦、2.1%のBCNを体積混合比でほぼ0.5の割合で混合して密封し、恒温器内の一定温度4℃、15℃、20℃で保存し、水分変化を調べた。

３）循環式乾燥機（PCE-25）に大豆（ユキホマレ、ツルムスメ、いわいくろ、水分15～20%)と乾燥した小麦（ホクシン、キタノカオリ、水分11～12%前後）を混合し、それぞれの経時的な堆積層内の温度と水分変化を測定し、貯留温度の違いによる乾燥速度の違いをモデルを用いて検討した。

４）乾燥装置の断熱被覆による省エネ効果と省エネ技術について、実際に油量計を取り付け、実測データとシミュレーションから、混合貯留乾燥、循環式乾燥での灯油使用量、電力を比較した。また、断熱被覆した場合の省エネ効果について、乾燥経過の違いから灯油削減量を試算した。

3. 成果の概要

１）断熱被覆した初期温度25℃の混合物の内側15cmの部位の温度は、40時間以上、外気より5～10℃以上保たれ、70時間近く20℃以上で推移した。対照区の小麦体積層の温度は、測定部位で一番高かった部位でも、10時間後には21℃以下、外気温より4℃以下の状態で推移し、外気温の変化の影響が大きかった（図２）。

２）断熱被覆したフレコンバックでは、初期温度25℃の混合物は、120時間の間、ゆっくりと約0.08℃／hのほぼ直線的な温度変化で下降し、混合貯留乾燥で最低必要な10℃以上が確保された。外側より20cm内側の周辺部でも50時間以内で+10℃以上で推移した。

３）実測データに基づく層内の温度分布の数値解析の結果、被覆がない場合は周辺部が外気温に近づいて全体の温度も低下するのに比して、被覆した場合は、周辺の温度低下が緩慢になり、全体の温度低下も遅くなった。層全体の平均温度は、被覆しない場合に比べ＋4℃（計算では2℃）以上の差があった（図３）。

４）貯留温度の異なる大豆の実規模の小麦混合乾燥において、断熱被覆した平均貯留温度18.9℃の大豆では、図４のような水分変化で乾減率0.075%/hであったが、8℃（ツルムスメ）では0.056%/h、5℃（いわいくろ、図５）では0.036%/hであった。貯留温度を5℃から＋10℃上昇させた場合の水分変化をモデルにより計算し、目標水分14.5%になる時間短縮を計算した結果、＋5℃では約5時間、＋10℃では約10時間短縮できることが計算された（図５矢印）。混合貯留乾燥での品質低下は認められなかった（表３）

５）慣行の循環式乾燥機での乾燥と混合乾燥での所要電力、灯油消費量の比較計算を行った結果、大豆１トン当たり慣行635円に比して、小麦再乾燥は307円と52%、電力料金は、慣行では155円/tに比して小麦再乾燥では電力料金は25円/tと84%削減される（表４）。

６）循環式乾燥機での大豆の小麦混合貯留乾燥において、外気との温度差を+10℃以上維持するために加温に必要な灯油量は、被覆ありでは0.077L/ｈ、被覆なしでは0.166L/hと半分に削減される（表５）。

図１　断熱シートで被覆した米麦用循環式乾燥機（左）と大豆・小麦混合貯留用の循環式乾燥機（右）

表１　混合貯留用循環式乾燥機の仕様

形式	S社製PCE-25　乾燥時最大所要電力 1.8kw
容積	4.51m^3(25石)　　重量　906kg
乾燥機寸法	全長 3062mm　全幅 1495mm　全高 3612mm
側板の大きさ	横 2002mm　幅 1495mm　高 2150mm

表２　断熱シートの仕様

材質	グラスウール（旭ﾌｧｲﾊﾞｰｸﾞﾗｽ ﾏｯﾄｴｰｽ）
大きさ	幅　430mm　長さ　2880mm　厚さ 100mm
熱伝達率	0.5[W/(m^{2}K)]

表３　混合貯留乾燥前後の大豆（いわいくろ）の外観品質

	水分 (%w.b).	しわ粒(%)	乾燥裂皮 (%)	機械的損傷粒(%)
混合貯留乾燥後	13.8	26	0	0.57
乾燥前	17.6	28	0	0.35

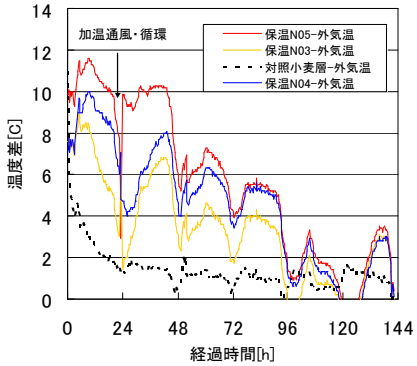

図２　大豆・小麦混合物の各堆積層内温度測定部位の外気との温度差の変化（外気は2～6℃で変化）

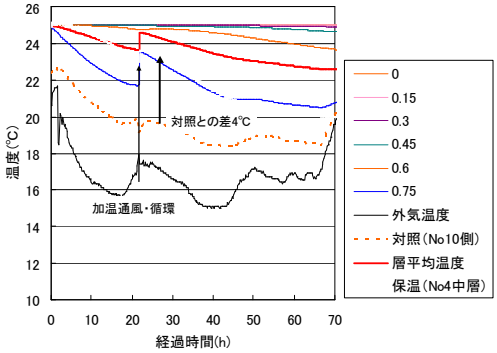

図３　被覆した堆積層内の部位別の温度変化（実測値、数値解）と対照区の比較（初期温度25℃）

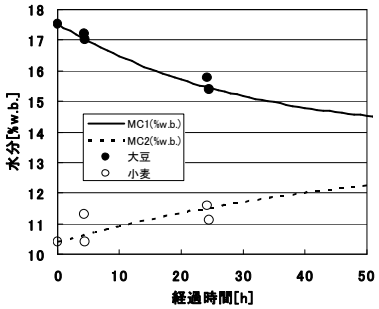

図４　断熱被覆した循環式乾燥機内の平均貯留温度19℃（外気温14℃）における大豆、小麦の水分変化（乾減率0.075%/h、曲線はモデルによる計算値）

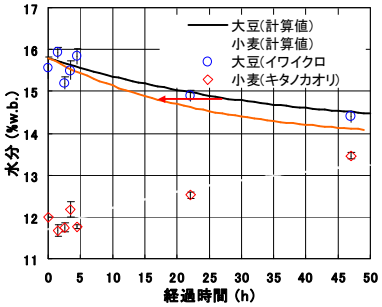

図５　平均貯留温度 5℃での大豆の水分変化（乾減率0.036%/h）と貯留温度を+10℃上昇させた場合の水分変化（乾減率0.07%/h）と乾燥所要時間短縮の推定

表４　循環式乾燥機での大豆の小麦混合貯留乾燥と慣行法での灯油と電力の消費量と費用の比較

	加温上昇温度 (外気温＋℃)	平均乾減率 (%/h)	乾燥所要時間 (h)	灯油消費量 (L/t)	灯油費用 (円/t)	削減率 (%)
慣行循環式乾燥（大豆）	10	0.18	19.2	9.1	635	
混合乾燥（小麦の再乾燥）	30	0.97	3.1	4.4	307	52
	送風時間 (h)	送風機電力 (kWh)	搬送機電力 (kWh)	消費電力 (kWh/t)	電力料金 (円/t)	削減率 (%)
慣行循環式乾燥（大豆）	19.2	28.9	12.5	10.3	155	
混合乾燥（小麦の再乾燥）	3.1	4.7	2.0	1.7	25	84

注：18%の水分の大豆4tを循環式乾燥機で14.5%に乾かす場合と小麦の必要量4.9tを14%から11%に再乾燥する場合の比較、乾燥機風量を1.5m^3/sec、大豆循環量4.4t/h、小麦循環量8.4t/hとする。

表５　循環式乾燥機内の温度を外気+10℃とするための被覆有りと無しでの毎時必要灯油量の比較

	総熱抵抗 (m^{2}K/W)	放熱量 (W/m^2)	総熱流面積 (m^2)	総放熱量 (W)	必要灯油量 (L/h)
被覆なし	2.067	4.838	25.2	122.1	0.166
被覆あり	4.457	2.244	25.2	56.6	0.077

注）堆積層熱伝導率kb=0.10(W/mK)、壁面自然対流熱伝達率hs=1.765(被覆なしW/m^{2}K)、1.045(被覆W/m^{2}K)、グラスウール熱伝達率hg=0.58W/m^{2}K)、L=0.15(m)、放熱量=10/(L/kb+1/hg+1/hs)（被覆なしでは1/hgの項なし）、灯油発熱量35958(kJ/L)、伝熱効率7.4%で計算

4. 成果の活用面と留意点　混合貯留乾燥の省エネ効果と省エネ技術として利用。小麦の水分は11%以下。一定割合で小麦を混合する方法は平成21年度成果情報「循環式乾燥機の排出量可変コントローラ」を参照。

5. 残された問題点とその対応　慣行の遠赤外乾燥機での効果を確認する。熱解析モデルの改良。