

3 - 2 麦類の収穫・乾燥・調製技術の問題点と研究方向

九州沖縄農業研究センター・水田作研究部・機械化研究室 関 正 裕

・ 共乾施設における乾燥方式別乾燥技術と問題点

1. 穀類乾燥機

乾燥は、穀類の含水率を下げ貯蔵の安全性を高めるだけでなく、品質の劣化を防ぐことや出荷時期を調節することを目的としています。穀類乾燥は、穀粒の隙間に空気を送り、穀類の水分を取り去る蒸発乾燥法が一般的です。

乾燥方法には大きく2つあり、穀類を堆積したまま乾燥する静置法と、穀類を動かしながら乾燥する循環法に分けられます。

1) 乾燥機開発

日本での乾燥機の開発は、下のフローチャートのように主に戦後から始まっています。

戦前：慣行法（架掛け、棒掛け等の天日乾燥など）

戦後：平形通風乾燥機（常温通風 加熱通風）

立形静置式乾燥機 改良静置式乾燥機（施設用）
コンバイン収穫に伴う生脱穀の普及とともに
循環式乾燥機（個人用、施設用）

新しい乾燥方法として、加熱した空気を送り込むだけでなく遠赤外線を利用した穀物遠赤外線乾燥機や太陽熱穀物乾燥・貯留システムが開発されています。

2) 品質と乾燥方法

小麦では籾や大麦に比べて堆積見かけ密度が大きいため、張込量を減らすように乾燥機マニュアルなどで指示されています。これは、張込量を減らすことにより相対的な風量比を増し、テンパリング時間を減らすためです。

これまでの研究の結果として、送風温度は乾燥前原粒水分20%程度では60℃、原粒水分40%程度のものでは35℃以下とされています。また、品質変化しない穀粒温度の限界は40℃近辺にあることが指摘されています。

2. カントリー・エレベータ（CE）

現在、共同乾燥施設には様々な乾燥方式や貯蔵方式があります。しかし、基本的には図1に示すように、収穫後の乾燥・調製・貯蔵行程を一貫して担っています。

カントリーエレベータは、乾燥方式によって次の3仕様に分類されます。

1) 火力乾燥を行う方式

火力乾燥機により乾燥を行う方式で、原料の貯留、仕上籾・麦の貯蔵のため、サイロを設置していま

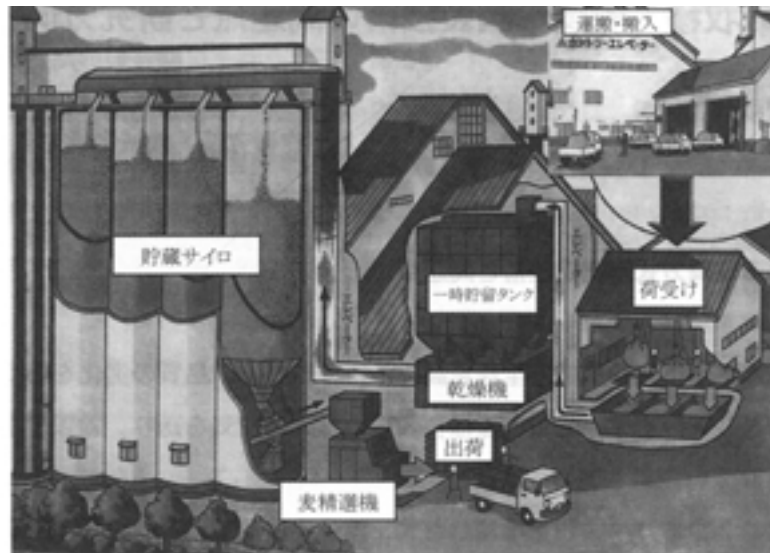


図1 カントリーエレベータでの作業行程

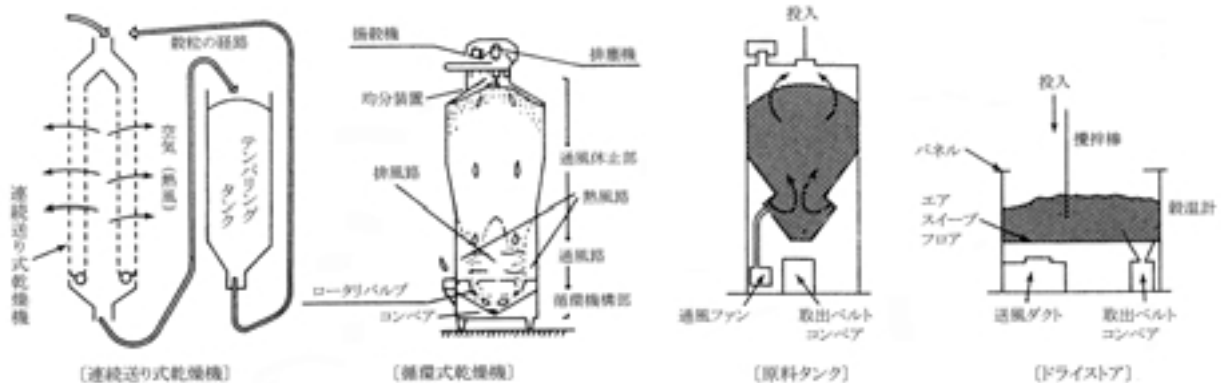


図2 火力乾燥機の例

図3 原料貯留方式の例

す。主な火力乾燥方法には図2に示すように、連続送り式乾燥と循環式乾燥の2つがあります。連続送り式乾燥方法では、連続的に穀物を乾燥機に投入し、別に設置されたテンパリングタンクと組み合わせ、大量の処理を行うことができます。乾燥機では、穀物を連続的に送り込みながら加熱空気を通風して乾燥させる構造になっています。連続送り式乾燥においては、荷受けから乾燥作業に入るまでの穀粒の一時貯留や予備乾燥を行うために、図3に示すような通風機能がある原料タンク（一時貯留タンク）やドライストアピン（DSピン）で貯留されています。

循環式乾燥機は、通風がなされる通風路（乾燥部）と、通風は行わず貯留を目的とした通風休止部（タンク部）とから構成されています。穀物は、乾燥機下部にある循環機構部のロータリーバルブの間欠的な回転によりコンベアに送られ、揚穀機を経て通風休止部に戻され、所定の穀粒水分の値になるまで繰り返し作業が行われます。

2) 貯蔵乾燥を行う方式

従来の貯蔵乾燥は、火力乾燥を行うまでの一時貯留時の予備的な乾燥でした。ここでの貯蔵乾燥は従来までの貯蔵乾燥とはことなり、荷受けされた穀物を乾燥ピンに累積的に継ぎ足し、仕上げ水分まで乾燥を行った上でそのまま貯蔵を行う方法です。この方法は累積貯蔵乾燥方式とも呼ばれています。

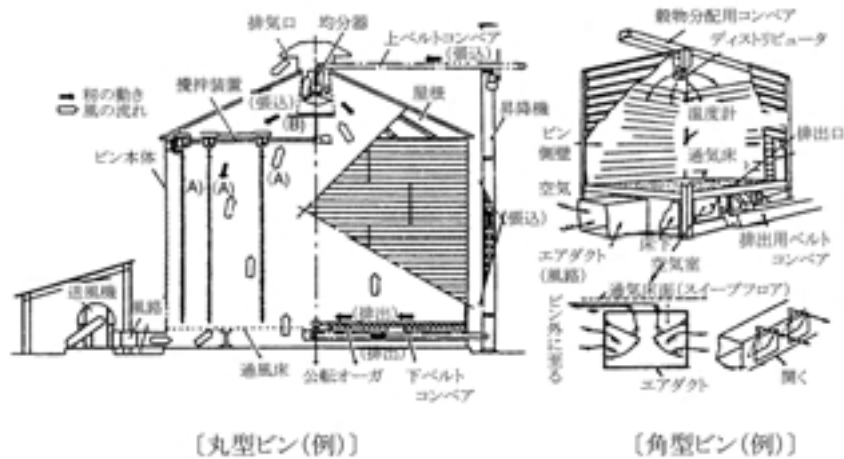


図4 貯蔵乾燥ビンによる乾燥方式の例

累積的な荷受け穀物の投入や穀物の厚い層の乾燥によって生ずる水分ムラを起こさないように工夫された種々の貯蔵乾燥ビンがありますが、図4のように「丸型ビン」、「角型ビン」に分類されます。

丸型ビンおよび攪拌装置付き角型ビンの乾燥方式は、貯蔵乾燥ビンで連続強制通風による乾燥を行いながら、さらに次の日に穀物の継ぎ足し攪拌混合を繰り返す方式です。攪拌装置のない角型ビンの乾燥方式は、連続強制通風による乾燥とビンの移し替えのローテーションをしながら水分ムラのをなくし、一定水分以下に達した穀粒を積み上げていく方式です。

3. 現在の乾燥施設やそれに関する問題

1) 収穫・運搬に関わる問題

兼業農家の多い地域では、勤めが休みの土曜・日曜・祭日に収穫などの作業を行うことで作業可能日数が少なくなり、共乾施設への持ち込みが過度に集中し荷受け待機時間が長くなってしまいます。同様に降雨が予想される前および降雨後に共乾施設への持ち込みが過度に集中し荷受け待機時間が長くなり、品質劣化が起こることもしばしばあります。

異なる品種を受け入れる場合には品種ごとに持ち込み量・日時が決められており、収穫適期が早い品種が終わらなければ、次の品種を持ち込むことが出来ません。

小口農家の一部ではコンバイン袋で搬入が行われ、搬入量に対して搬入時間が長くなり、計画的な荷受けが困難になります。

2) 乾燥に関わる問題

過剰な荷受けになった場合、乾燥不足による品質劣化や乾燥温度の上げすぎによる異臭麦の発生がときどき聞かれます。

連続送り式では、一定量の麦が集まらなると一次乾燥を行うことが出来ないため、原料タンクでの滞留時間が長くなります。特に、温暖地域のように高温・多湿の場合には問題があると言われています。

高水分の小麦が混入すると、水分ムラの解消するためにテンパリング時間や乾燥時間が長くしなければならぬなど経済的、施設の稼働率の問題が起こります。

外気温が高く穀温が低下しない場合、熱損粒などの品質低下につながる恐れがあります。

3) その他の問題

CE での作業の平準化のため、作付け品種の制限や作業時間の制約が生じます。

5 ha 以上の農家では CE を利用するとコストが高くついたり、1 日の荷受け量が制限されるため利用されない場合が多く見られます。

・高水分小麦の低温・除湿乾燥制御システムの開発の研究内容

1. 目的・方法

北部九州の小麦収穫時期は、6 月上旬で入梅と重なり、穂発芽・赤かび・色落ち等の発生により大きな被害がでることが多くあります。この研究では、雨濡れ被害に遭いそうな場合に早刈りを行った高水分小麦を安全に乾燥を行うことを目的としています。具体的には、従来行われてきた熱風乾燥で高水分小麦を乾燥させると品質が劣化することが多くあり、一方低温除湿乾燥では乾燥はできるものの初期原粒水分が高いために乾燥時間が長く、乾燥過程で変質するなどの問題点があげられています。そこで、穀温が高い場合に穀温を低下させ、活発な呼吸を押しさえながら、除湿空気で乾燥する方法で、高水分小麦を乾燥することを試みています。

2. 試験・調査方法

1) 試験乾燥機の概略

現在試験を行っている試験乾燥機の概略を図 5 に示します。冷却器の出力は 2.6kW、除湿空気発生装置は、140m³/min を送風する能力があります。実験用のピンは、1 坪型静置式平型乾燥機（乾燥ピン）を用いています。

本試験乾燥機は、カタログ値では外気温 30℃、湿度 80% の場合、送風温度 15 ~ 30℃、湿度 40 ~ 60% の空気を送り込む性能があるとされています。本試験機に利用した除湿空気発生装置による乾燥は、北部九州でもビール麦生産の盛んな地域である、佐賀県や福岡県の筑後地域に多数導入されています。

2) 試験方法

(1) これまでの乾燥試験方法

平成 10・11 年度の試験では、冷却器と除湿空気発生装置を組み合わせ、仕上げ乾燥まで行う試験を

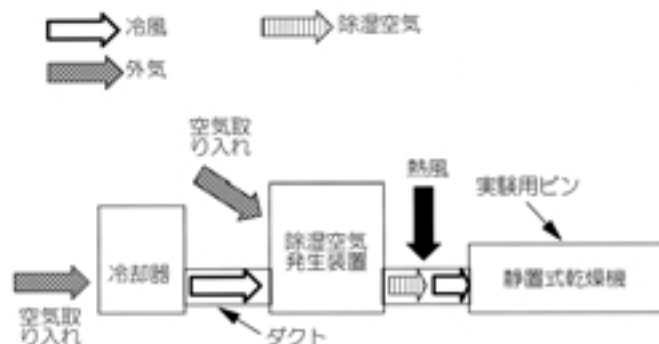


図 5 試験乾燥機の概要

行いました。平成 10 年度の試験では原粒水分 40%のチクゴイズミを用いました。原粒水分 40%で収穫を行うと、収穫適期よりも 4～5 日程度早く収穫できることから、雨濡れ被害回避の方法として利用できると考えられます。平成 11 年度の試験では原粒水分 36%のチクゴイズミと原粒水分 40%のシロガネコムギを用いました。試験条件としては、温度 20℃、湿度 40%の空気を送風し、小麦 400kg を供試しました。乾燥ビンに堆積した小麦の攪拌は穀粒への損傷を考え、収穫適期水分である原粒水分が 28%以下になるまで、行いませんでした。

平成 12 年度の試験では、経済的に有利にするために、乾燥を行っている高水分小麦が収穫適期水分である原粒水分 28%まで低下してから火力乾燥を行う方法に改めました。試験条件としては、原粒が収穫適期水分になるまで温度 25℃、湿度 40%の空気を送風し、その後火力乾燥を行いました。また、乾燥規模拡大のためチクゴイズミおよびイワイノダイチをそれぞれ 600kg を供試しました。

平成 13 年度の試験では、3 年間の研究成果を受け、乾燥規模を小麦 1,700kg と大幅にアップし、原粒水分 35%の小麦で試験を行いました。原粒水分 35%での収穫は、適期収穫の 2～3 日前であり、原粒水分 40%よりも 2 日遅くなります。

(2) 乾燥後の品質の調査

小麦を乾かしただけでは、乾燥が出来たことにはなりません。そのためには品質の調査を行い製品として問題なく仕上がっているかどうか重要になるため、以下の調査を行いました。比較対照として、収穫適期水分以下で収穫した小麦を火力乾燥したのを用いました。

調査の内容は、検査等級および原粒灰分、製粉歩留まり、ラビッドビスコアナライザ (RVA)、色およびめんの食味官能試験です。

(3) 小麦の収穫限界水分の調査

乾燥機投入前の小麦に、未熟粒や想定以上の高水分原粒が入っている場合があり、そのような場合には、乾燥する前に外観品質などが決まってしまう。そのため、温暖地の小麦での高水分収穫の限界を把握することが重要となります。そのため、穂の各部位での原粒水分の違いや、原粒の水分分布の調査を行いました。

3. 試験の結果および考察

1) 乾燥試験について

(1) 平成 10 年度の乾燥試験結果

温度 20℃、湿度 40%の空気を品質劣化させないと思われる十分な風量で送風しました。小麦 400kg を原粒水分 12%まで乾燥するのに、ほぼ 4 日間かかりましたが、異臭や変色した小麦は見られず外観上は問題なく乾燥できました。しかし、乾燥ビンの攪拌は収穫適期水分である原粒水分が 28%以下になるまで行わない予定でしたが、乾燥ビン内での上層と下層の水分の差が大きくなり、堆積層上部で結露が見られたりしたので攪拌を行うことにしました。

(2) 平成 11 年度の乾燥試験結果

前年度の結果から、小麦の様子を見ながら日に 2 回乾燥ビンを攪拌しながら乾燥を行ったところ、前年度同様に異臭や変色した小麦は見られませんでした。しかし、シロガネコムギでは緑色の未熟粒が多

く入っており、品種や生育状況などにより平均原粒水分 40%では乾燥以前の品質に問題がありました。

ここで乾燥過程の一例として、原粒水分 40%のチクゴイズミを冷却器と除湿空気発生装置を組み合わせさせて運転した場合の雰囲気気温、送風温、穀温の変化を図 6 に示します。乾燥開始 18 時間後に原粒水分が 30%以下に低下したので冷却器を停止し、除湿空気のみを送風しています。この図からも穀温が迅速に低下することが明らかになったため、次年度から穀温が雰囲気気温と同じか低くなったら、冷却器を停止することにしました。

前年度の結果と同様に、冷却器と除湿空気発生装置を組み合わせさせて運転した場合には、乾燥終了までに 4 日程度かかることが明らかになりました。使用エネルギーや施設の占有を考えると 4 日間は、従来の火力乾燥と比べると当然のことながら多い結果となり、使用エネルギーの削減と乾燥時間を短くすることが課題となりました。

(3) 平成 12 年度の乾燥試験結果

平成 11 年度ので問題となった使用エネルギーの削減と乾燥時間を短くすることへの解決方法として、乾燥機投入後から収穫適期原粒水分までを低温・除湿乾燥で行い、収穫適期原粒水分からは火力乾燥で行うハイブリッド乾燥方法により、使用エネルギーの削減と乾燥時間の短時間化を試みることにしました。また、収穫時の原粒水分が 40%前後であると未熟粒の混入などの問題が生じるため、収穫時の原粒水分を 35%前後としました。

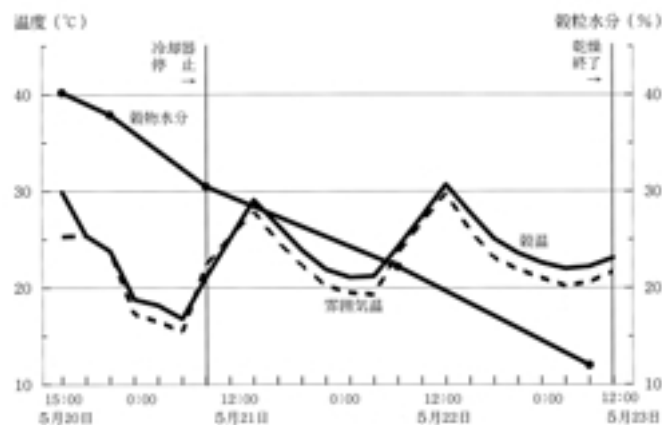


図 6 平成 11 年度の乾燥過程の一例

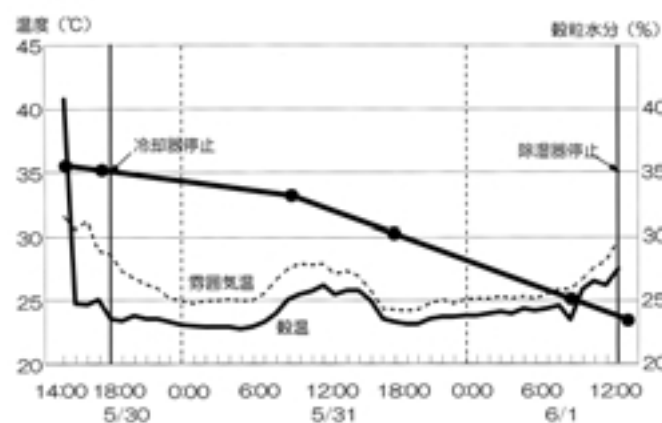


図 7 平成 12 年度の乾燥過程の一例

原粒水分 36%のチクゴイズミを用いて、電力消費量を減少させるため、送風温を5 高い25 で実験を行ったときの乾燥過程の一例を図7に示します。風量比は0.33 ~ 0.45m³/sec・100kg としました。この数値は、循環型乾燥機の約50%，CEの約160%になります。乾燥ピンの攪拌は日に2回行った。毎時乾減率は、循環型乾燥機の30%程度の0.23%/hour になりました。使用電力は、166kWh となり、金額に換算すると2,656円（九州電力）となります。

2) 乾燥後の品質調査について

冷却・除湿乾燥で行ったときの平成11年産の検査等級および品質結果を表1に示します。シロガネコムギの検査等級は高水分で収穫した試料で未熟粒が多く規格外になってしまいました。シロガネコムギの品質結果を見ても未熟粒が多かったため、原粒灰分が高く、製粉歩留が低下する結果となりました。しかし、RVA（デンプン糊化特性）には影響がみられませんでした。この原因は、収穫日が早すぎたため水分分布が広がったこと、シロガネコムギの品種特性として高次分げつが多く成熟揃いが悪いためと考えられます。チクゴイズミは品質、検査等級とも適期収穫試料とほとんど変わらない結果となりました。

表1 平成11年度乾燥試験の検査等級・品質結果

品 種	収穫日	収穫時水分(%)	等 級	原粒灰分(%)	製粉歩留(%)	RVA	
						Peak	Diff
チクゴイズミ	5月26日	36.1	1等下	1.49	55.7	338	211
	5月30日	26.8	1等中	1.51	56.6	337	215
シロガネコムギ	5月20日	39.9	規格外	1.62	52.4	285	114
	5月29日	27.0	1等中	1.54	56.6	274	104

注：規格外は整粒不足（未熟粒）が理由， 収穫時水分は原粒水分，
原粒灰分は13.5wb.， 製粉歩留はA粉+B粉の歩留

表2～4は平成12年度に行ったハイブリッド乾燥試験の検査等級および品質結果です。チクゴイズミでは原粒灰分以外は収穫時期の差はみられませんでした。イワイノダイチは原粒灰分と製粉歩留に差が見られませんでした。表3の60%粉の灰分および色相を見ると、両品種とも収穫時期による差はありませんでした。表4のめんの食味官能試験の結果から、チクゴイズミでは収穫時期により色、食味、合計点、総合評価で差が見られ、いずれも早刈りの方が劣っていました。しかし、イワイノダイチでは、いずれの特性も早刈りの方が良く、結果的に合計点が高く、総合評価が優れている結果となりました。等級検査の結果を見ると、5月30日収穫は1等上、6月2日収穫は1等中となり、外観品質に大き

表2 平成12年度の穀粒および粉の品質

品 種	収 穫 時 期	水 分 (%)	原粒粗蛋白 (%)	原粒灰分 (%)	製粉歩留 (%)	アミログラム	
						M.V.	B.D.
チクゴイズミ	高水分(5/30)	35.1	8.7	1.51	63.2	1305	605
	適 期(6/ 2)	27.8	8.7	1.44	63.4	1285	605
イワイノダイチ	高水分(5/25)	36.9	9.0	1.62	63.6	1210	480
	適 期(5/29)	26.0	9.2	1.58	65.8	1330	550

注：水分は収穫時の原粒水分

表3 平成12年度の60%粉の灰分および色相

品 種	収穫時期	60%粉 灰分(%)	L *	a *	b *	W
チクゴイズミ	高水分	0.38	88.1	0.1	16.0	80.0
	適期	0.36	88.0	0.2	15.9	80.1
イワイノダイチ	高水分	0.37	88.2	0.2	15.8	80.3
	適期	0.39	88.1	0.3	15.2	80.7

表4 平成12年度のめんの食味官能試験

品 種	収 穫 時 期	色 (20)	外 観 (15)	かたさ (10)	粘弾性 (25)	滑らかさ (15)	食味 (15)	合計点 (100)	総合評価 (100)
チクゴイズミ	高水分	15.6	11.6	7.4	19.6	11.8	10.8	76.8	76.2
	適期	15.9	11.6	7.5	19.8	12.1	11.4	78.3	77.4
イワイノダイチ	高水分	15.6	11.8	7.2	19.3	11.7	11.2	76.8	77.4
	適期	15.4	11.4	7.1	19.0	11.4	11.0	75.3	75.4

な違いは見られませんでした。

以上のことから、品質面から見ても、高水分小麦をハイブリッド乾燥方法により、乾燥できる可能性があることがわかりました。

3) 小麦の収穫限界水分の調査

穂の各部位では原粒水分が異なっており、原粒水分40%以下の場合でも5~8%も差がありました。一例として図8にチクゴイズミの穂を上中下に分けた含水率の変化を示しています。図9の収穫直後の単粒水分計測定による原粒水分分布を見てみると、5月30日の高水分収穫の場合、平均水分は

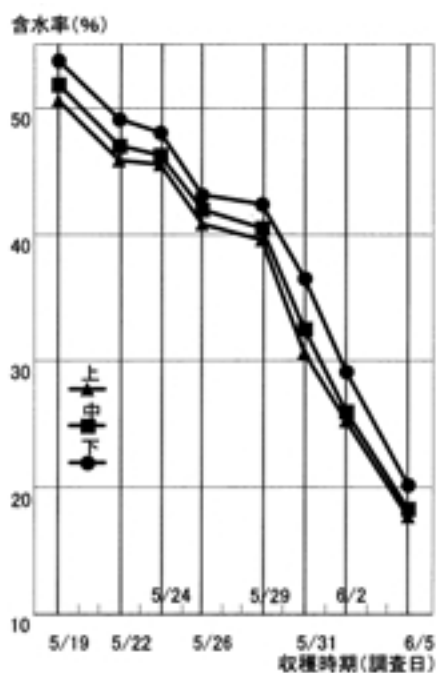


図8 穂の部位による含水率(チクゴイズミ)

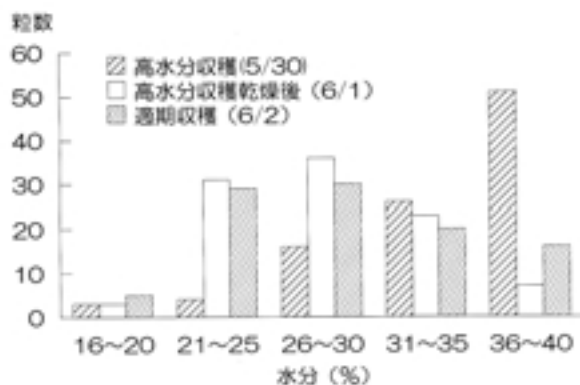


図9 各時期における原粒水分分布 (チクゴイズミ)

33.3% (135 - 24 時間での測定値は 35.1%) で、標準偏差は 5.25、レンジは 15.3 ~ 39.3% であり、最大・最小の差は 24% と大きく、中央値が 36% と、水分が高い方に分布が偏っています。一方、6 月 2 日の適期収穫では、平均水分 28.1% で、標準偏差 5.45、レンジは 15.5 ~ 38.6% であり、最大・最小の差が 23.1%、中央値は 24.5% となっていました。以上のことから、チクゴイズミでは、汎用コンバインが収穫できる限界の 40% では、それ以上の高水分粒が多く混入することが予想されるため、35% 程度の原粒水分で収穫することが望ましいと考えられます。

低温・除湿乾燥によって 30% 以下にまで下げられた小麦の原粒水分分布は、適期収穫の原粒水分分布と同じかそれ以下になっており、熱風乾燥で処理することは問題ないと思われます。

4. 今後の研究課題と問題点

図 10 の循環式山形多管乾燥機を新規に導入することになっています。この乾燥機は、もともとは麦の乾燥用に考案された乾燥方法で北部九州でもいくつかの CE にも導入されています。

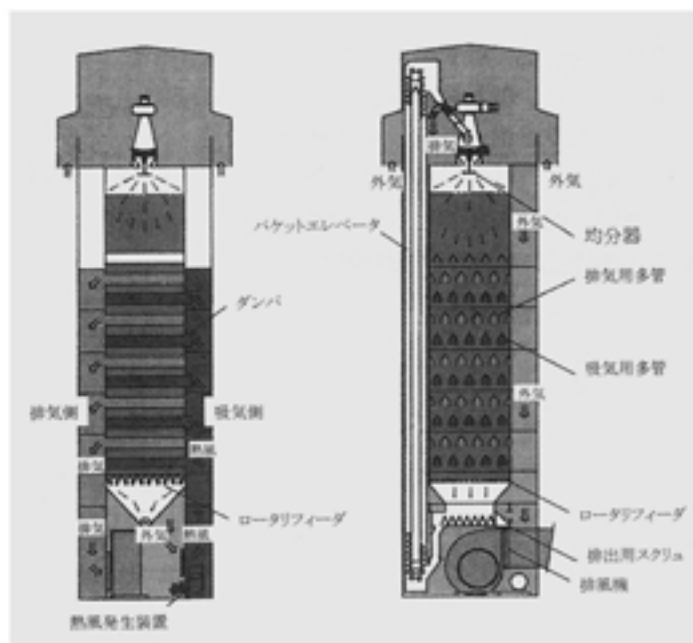


図 10 山形多管式乾燥機の一例

この乾燥機の特徴は、穀粒が流下中に多数の山形管によってその進路が変えられ、乾燥機内を通過する間に攪拌されることです。また、山形の吸気管（熱気管ともいいます）、排気管が多数交互に配置されているため、比較的風量が少なくても水分ムラが小さいと考えられている乾燥機です。

この乾燥機を用いて、以下の方法で試験を行うことを検討しています。

(1) 高水分小麦荷受け時

穀温が 25 以下にいったん下がるまで冷却装置を利用して、穀温を低下させます。また、同時に穀粒表面の水分を除湿空気により奪います。

(2) 高水分時の乾燥（水分 35 ~ 28%程度）

除湿空気を使い乾燥します。外気温が 30 を越えるような場合には冷却器を使い穀温の上昇を抑制します。また、ロータリバルブ付近では送風が当たらないことと、水分ムラを防ぐために穀物を数時間に 1 回程度ずつ入れ替える程度の攪拌を行います。

(3) 収穫適期水分（水分 28%以下）

冷却装置や除湿空気発生装置を停止し、火力による乾燥を行います。穀粒も循環させ、通常の乾燥により仕上げ水分まで持って行く予定です。

今後の問題点としては、高水分時に循環させると高水分小麦の流動性の悪さや穀粒への損傷などが考えられますが、循環させないとロータリバルブ付近での穀粒の滞留、堆積高さ別の水分ムラが出来るなどの問題も起こるので循環させるタイミングや回数などを十分に検討します。さらに、山形多管式では設定値以上に風量上げることが構造上困難なため、小麦のように見掛け比重が大きいものでも障害がないかどうかなどの問題も検討する必要があります。

また、今までは温暖地の特徴である麦収穫時の高温多湿を想定していましたが、平成 13 年度のように低温・高湿が続く場合の対策も検討する予定です。

参考文献

前田 耕一（1994）農業機械化発展史．農業機械化発展史刊行会．

鷹尾宏之進（1982）乾燥条件と品質．農業機械学会誌 44(3)．525-533

山下律也（1982）日本における乾燥機の動向．農業機械学会誌 44(3)．545-554

全国農協カントリーエレベータ協議会（1997）カントリーエレベータオペレータ必携（カントリーエレベータにおける米麦の乾燥・調製・貯蔵の要点）．

JA 全農施設住宅部（2000）共乾施設のとびき（追補版）．